МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

А. В. НЕСТЕРОВ

ИНЖЕНЕРНЫЙ ДИЗАЙН РЭС

Модуль усилителя СВЧ

Электронное учебное пособие

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
2025

УДК 66.013.512(07)
ББК З 844-02-5-05я7
Н55

Нестеров А. В.

Н55 Инженерный дизайн РЭС. Модуль усилителя СВЧ: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2025. 1105 с.

ISBN 978-5-7629-1818-3

Рассматриваются этапы разработки радиоэлектронного устройства, начиная с получения технического задания и заканчивая созданием 3D-модели как альтернативного варианта производству. Демонстрируются основные возможности программного обеспечения по созданию сопутствующей документации и моделированию СВЧ-структур, в том числе возможность использования результатов работы одного программного пакета в другом. Для каждого этапа проектирования приведено подробное описание, заканчивающееся примером.

Предназначено для студентов радиотехнических специальностей вузов.

УДК 66.013.512(07)
ББК З 844-02-5-05я7

Рецензенты: кафедра радиоэлектронных средств защиты информации СПбПУ; генеральный директор ООО «Поток-С», канд. техн. наук, доцент В. Б. Губарев.

Утверждено
редакционно-издательским советом университета
в качестве электронного учебного пособия

ISBN 978-5-7629-1818-3 © СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2025

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

3D – трехмерный
SMD (Surface Mounted Device) – прибор, монтируемый на поверхность
АЧХ – амплитудно-частотная характеристика
ВАХ – вольт-амперная характеристика
ВУ – внешнее управление
ГПК – гибкий печатный кабель
ДПП – двусторонняя печатная плата
ЕСКД – единая система конструкторской документации
ЗП – защита от переполюсовки
ИИ – извещение об изменении
ИПС – индикация питания на выходе стабилизатора
КД – конструкторский документ
КП – контактная площадка
ЛКМ – левая кнопка мышки
ЛР – лист регистрации изменений
МПЛ – микрополосковая линия
МПП – многослойная печатная плата
ОПП – односторонняя печатная плата
ПИ – панель инструментов
ПКМ – правая кнопка мышки
ПП – плата печатная
ПФ – полосовой фильтр
РФ – режекторный фильтр
РУ – ручное управление
САПР – система автоматизированного проектирования
СВЧ – сверхвысокие частоты
СКМ – средняя кнопка мышки
СЛ – полосовой фильтр на параллельно связанных резонаторах
ТТ – технические требования
УГО – условное графическое обозначение
ФВЧ – фильтр верхних частот
ФНЧ – фильтр нижних частот
ШТ – встречно-штыревой полосовой фильтр

ПРЕДИСЛОВИЕ

В данном учебном пособии подробно рассматривается процесс разработки изделия, представляющего собой усилитель сигнала СВЧ-диапазона с регулировкой выходной мощности.

Последовательность действий в пособии приведена для условного варианта задания с обозначением «П1» (см. 1.2), а каждому студенту предлагается произвести аналогичную разработку по уникальному варианту индивидуального задания. Оригинальность достигается разнобразием использованных параметров, их количеством и комбинациями:

– 50 диапазонов частот от 1,5 до 9,6 ГГц;

– 33 микросхемы усилителей фирмы Mini-Circuits;

– 40 СВЧ-материалов фирм Arlon, Isola, Rogers и Taconic;

– 6 вариантов схем защиты от переполюсовки;

– 9 вариантов формы печатной платы (ПП) и др.

Некоторые различия также появляются и в процессе проектирования, однако основные функциональные узлы, взаимосвязи между ними и подключение микросхем во всех вариантах остаются практически одинаковыми.

В конечном итоге студенты разработают не только полный комплект конструкторских документов (КД) в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации (ЕСКД), но и выполнят следующие сопутствующие действия:

– осуществят предварительный расчет полосового фильтра (ПФ) и его моделирование;

– создадут библиотечный компонент;

– выполнят расчеты номиналов резисторов и параметров питания изделия в схеме электрической принципиальной;

– произведут компоновку и трассировку ПП;

– разработают 3D-модели и др.

Процесс создания изделия в пособии разделен на этапы, каждый из которых посвящен решению отдельной задачи (например, разработка схемы электрической структурной) и находится в отдельном разделе или приложении. Этапы расположены в том порядке, в котором следует выполнять проектирование, и разделены на две группы:

– основные (разделы 1–24) – обязательные;

– дополнительные (прил. Е–Р) – делаются по желанию.

Общая информация об этапах проектирования содержится в 2.6.

В приложениях к пособию кроме описания дополнительных этапов проектирования также приведены: внешний вид изготовленного опытного образца для варианта «П1», результаты его работы, вспомогательные теоретические и практические сведения.

Отличительными чертами учебного пособия являются:

1. Подход к проектированию. Здесь используется не подбор задач для их решения с помощью одного программного продукта, а применение ряда программ и взаимосвязей между ними для достижения поставленной цели.

Стоит отметить, что всек возможностей используемых в рамках настоящего курса программ в короткие сроки раскрыть невозможно. Тем не менее преследуется цель ознакомления с основами работы на конкретных примерах, что облегчит, при необходимости, дальнейшее освоение не только описанных в пособии средств проектирования.

2. Самодостаточность. В пособии содержится вся необходимая информация для выполнения разработки:

– подробные инструкции по выполнению этапов проектирования рассчитаны на пользователей, впервые сталкивающихся с используемыми программными продуктами;

– основные правила оформления КД и общие теоретические сведения позволяют понять процессы производства и проектирования, а также принципы работы изделия;

– текстовые и графические пояснения приведены не только для рассматриваемого варианта «П1», но и для всех возможных ситуаций из других вариантов задания.

3. Результаты проектирования. В конце этапов проектирования приводятся результаты их выполнения для варианта «П1». Для лучшего понимания изложенного материала перед началом каждого этапа рекомендуется просматривать эту информацию.

Кроме того, в Г.18 содержатся полноценные результаты трех этапов проектирования (схема электрическая принципиальная, перечень элементов к ней и трассировка ПП) для варианта с обозначением «П2», максимально отличающегося от варианта «П1».

Теоретические сведения в совокупности с результатами для одного конкретного изделия позволяют использовать пособие в качестве справочника для аналогичных разработок.

4. Наличие внутритекстовых гиперссылок. Для удобства работы с пособием в тексте присутствует большое количество гиперссылок, выделенных серым цветом. Переход между местами назначения и отправления при их использовании осуществляется комбинациями клавиш:

– **Alt+Left** (назад);

– **Alt+Right** (вперед).

Для быстрого перехода к любому разделу или подразделу можно воспользоваться как гиперссылками из содержания, находящегося в конце пособия, так и списком закладок, расположенным в левой части окна просмотра pdf-документа.

1. ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ

1.1. Цели и задачи проектирования

В ходе выполнения данного практического курса студенты осваивают этапы разработки радиоэлектронного СВЧ-устройства с использованием основных возможностей программного обеспечения, начиная с получения технического задания и заканчивая созданием его 3D-модели как альтернативного варианта производству. По окончании проектирования студенты будут обладать следующими навыками:

– иметь представление и уметь пользоваться основными возможностями программного обеспечения по созданию радиоэлектронного устройства (создание основных типов электрических схем, 3D-моделей устройств, чертежей, компоновка печатного узла, трассировка ПП и др.);

– иметь представление и уметь пользоваться справочной информацией (datasheet) на электронные компоненты;

– иметь представление о типоразмерах электронных компонентов;

– уметь производить теоретический расчет СВЧ-структур и осуществлять моделирование, понимать влияние геометрических параметров на их характеристики;

– уметь оформлять КД согласно требованиям ЕСКД.

1.2. Содержание задания на проектирование

В результате проектирования необходимо разработать полный комплект КД и 3D-модели на устройство СВЧ-диапазона, выполняющее три функции:

– усиление сигнала заданной частоты;

– ослабление помех, поступающих с полезным сигналом;

– регулировка уровня выходной мощности.

Разработка изделия осуществляется в соответствии с заданием на проектирование, которое состоит из двух частей: индивидуальное и общее.

Индивидуальное задание на проектирование. Данная часть задания представлена вариантами с примерно одинаковой сложностью выполнения. Они распределяются между студентами (один вариант на бригаду из 1–2 человек) и состоят из набора уникальных параметров.

В учебном пособии разработка изделия осуществляется для данных из варианта с обозначением «П1» (пример № 1), приведенных в табл. 1.1. Здесь содержится следующая информация:

Таблица 1.1

Вариант «П1»

Материал ПП	Структура СВЧ-фильтра	Уровень мощности входного сигнала, дБм	Граничные частоты полосы пропускания, ГГц	Частоты помех, ГГц	Ослабление помехи, дБ	Типоразмер корпуса конденсатора	Усилитель	Аттенюатор	Способ управления	Разъемы	Рисунок формы ПП	Критичные размеры ПП, мм	Дополнительные требования
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
AD1000-0,508-18/18	ШТ	–10	2,35 / 2,55	1,8 / 2,85	30 / 35	C	GALI-3+	HMC467LP3	ВУ	MW-2MR, IDC-10MS	6	25 / – / –	ЗП-3

1. В столбце 1 – название СВЧ-материала ПП, на котором необходимо разработать устройство.

Например, AD1000-0,508-18/18 из варианта «П1» – фольгированный диэлектрик AD1000 фирмы Arlon с толщиной основания 0,508 мм и с двусторонней металлизацией толщиной по 18 мкм.

Необходимые параметры СВЧ-материалов, используемых при проектировании, приведены в табл. Б.2.

2. В столбце 2 – аббревиатура структуры СВЧ-фильтра. Возможные варианты:

– **СЛ** – ПФ на параллельно связанных резонаторах (рис. 4.6, *а*);

– **ШТ** – встречно-штыревой ПФ (рис. 4.6, *в*).

3. В столбце 3 – уровень мощности входного сигнала.

4. В столбце 4 – нижняя и верхняя граничные частоты полосы пропускания СВЧ-фильтра, указанные через дробную черту (на устройство будет подаваться сигнал со средней частотой из указанного диапазона).

5. В столбце 5 – частоты помех, подлежащие ослаблению. Указаны через дробную черту.

6. В столбце 6 – значения, на которые необходимо ослабить соответствующие помехи с частотами из столбца 5.

Например, в варианте «П1» помеху на частоте 1,8 ГГц требуется ослабить на величину 30 дБ, а помеху на частоте 2,85 ГГц – на 35 дБ.

7. В столбце 7 – типоразмер (типовой размер) корпуса танталового конденсатора, для которого необходимо разработать посадочное место, условное графическое обозначение (УГО) и 3D-модель.

Параметры корпусов типоразмеров A, B, C, D, E и V приведены на рис. 5.13 и в табл. 6.2.

8. В столбце 8 – наименование микросхемы усилителя.

9. В столбце 9 – наименование микросхемы аттенюатора.

10. В столбце 10 – способ управления аттенюатором. Возможные варианты:

– **ВУ** – внешнее управление (через разъем по кабелю);

– **РУ** – ручное управление (ручное замыкание или размыкание контактов в коммутационных устройствах, расположенных в изделии).

11. В столбце 11 – наименования одного или двух разъемов:

– первый – разъем питания. Через него на изделие будет подаваться внешнее напряжение питания;

– второй (только для вариантов задания с ВУ) – разъем управления. Через него будет осуществляться управление аттенюатором.

Например, для варианта «П1»:

– разъем питания – вилка угловая MW-2MR фирмы Connfly;

– разъем управления – розетка прямая IDC-20MS фирмы Connfly.

Для вариантов задания с РУ для управления аттенюатором вместо разъема управления необходимо выбрать коммутационные устройства в соответствии с табл. 1.2.

Таблица 1.2

Коммутационные устройства для вариантов задания с РУ

Кол. управляющих выводов аттенюатора	Коммутационное устройство	
	Наименование	Кол.
От 1 до 3 включ.	Тактовая кнопка DTSM-32N-V-T/R фирмы Diptronics или кнопка с фиксацией MPS-580D-G фирмы Switronic	На каждый управляющий вывод аттенюатора по 1 шт.
4	DIP-переключатель SWD4-4 фирмы Connfly	1 шт.
5	DIP-переключатель SWD4-5 фирмы Connfly	1 шт.

Примечания:

– тактовая кнопка не имеет фиксации толкателя, тогда как кнопка с фиксацией работает по аналогии с кнопкой в шариковой ручке;

– DIP (Dual In-line Package) – тип корпуса прямоугольной формы с двумя рядами выводов по длинным сторонам.

Внешние виды некоторых используемых при проектировании разъемов показаны на рис. 8.33, а коммутационных устройств – на рис. 8.35.

12. В столбце 12 – вариант формы ПП с рис. 1.1.

Сплошной линией на рисунке показан контур ПП, а пунктирной – контур экранирования (область, в которой необходимо разместить СВЧ-тракт). Также на рисунке отмечены положения входа и выхода изделия.



Рис. 1.1

13. В столбце 13 – значения размеров с рис. 1.1 в формате «*A* / *B* / *C*». Допуски на размеры следующие:

– для *A* и *C* – не более указанных значений;

– для *B* – плюс-минус 1 мм от указанного значения.

Например, в варианте «П1» размер *A* (ширина области экранирования по рис. 1.1, *б*) должен быть не более 25 мм, а размеров *B* и *C* нет.

Отсутствующие и неуказанные на рисунке размеры ПП должны быть минимально возможными. Определяются они на этапе компоновки и трассировки ПП отдельно для каждого варианта задания в зависимости от использованных компонентов (их количество, размеры и расстановка на ПП).

14. В столбце 14 – дополнительные требования:

– **ЗП-N** – номер (N) схемы защиты от переполюсовки (см. В.11);

– **ИПС** – наличие схемы индикации питания на выходе стабилизатора, выполненной на основе светодиода.

Например, в варианте «П1» необходимо организовать только схему защиты от переполюсовки № 3 (ЗП-3).

Общее задание на проектирование. Данная часть задания содержит общие для всех вариантов задания требования к изделию:

– изделие должно быть выполнено на двусторонней ПП (ДПП, см. Б.2) с расположением компонентов и печатных проводников только на верхней ее стороне;

– на нижней стороне ПП должна быть сплошная металлизация, за исключением частей контактных площадок (КП) выводных компонентов;

– габариты ПП – минимальные;

– округление размеров элементов топологии ПП – до десятых долей миллиметра;

– класс точности ПП – 4-й по ГОСТ Р 53429–2009 (табл. Б.6) [1];

– входное и выходное волновые сопротивления – 50 Ом;

– наименование печатного узла – «усилитель»;

– для крепления «усилителя» должна быть разработана деталь с наименованием «основание» из алюминиевого сплава Д16 ГОСТ 4784–97;

– для экранирования СВЧ-тракта должна быть разработана деталь с наименованием «экран» из алюминиевого сплава Д16 ГОСТ 4784–97;

– внешний контур «экрана» – пунктирная линия на рис. 1.1. В местах, в которых на рисунке «экран» и ПП имеют общие стороны, внешний контур «экрана» должен проходить по контуру ПП;

– тип коаксиальных СВЧ-разъемов для подачи и снятия полезного сигнала – розетка **SMA-KFD5A** фирмы-поставщика ООО «Амитрон Электроникс» (рис. 10.2);

– СВЧ-разъемы должны крепиться к «основанию» винтами М2;

– наименование изделия в сборе («усилитель», «экран», «основание» и СВЧ-разъемы) – «модуль усилителя»;

– соединение «усилителя», «экрана» и «основания» – винты М2,5;

– толщина «модуля усилителя» в области «экрана» – не более 10 мм;

– необходимо предусмотреть возможность использования «усилителя» отдельно от «основания» и «экрана» с установкой двух торцевых коаксиаль-

ных СВЧ-разъемов **EMPCB.SMAFSTJ.B.HT** фирмы Taoglas, для чего на ПП должны быть размещены соответствующие КП (см. рис. 12.51, *в*).

Структура изделия для варианта «П1» приведена на рис. 2.1.

1.3. Содержание отчета

По 1-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Содержание варианта индивидуального задания на проектирование в виде таблицы с расшифровкой всех указанных в нем данных.

2. Содержание общего задания на проектирование.

2. ПЕРЕЧЕНЬ КД И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1. Виды изделий

Виды изделий всех отраслей промышленности при выполнении конструкторской документации устанавливает ГОСТ 2.101–2016 [2].

Изделие – предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению в организации (на предприятии) по КД.

Составная часть изделия – изделие, выполняющее определенные функции в составе другого изделия.

Виды изделий по конструктивно-функциональным характеристикам:

1. Деталь – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций (например, литой корпус или колпачок от шариковой ручки).

К деталям также относятся указанные изделия, подвергнутые покрытиям (защитным или декоративным), независимо от вида, толщины и назначения покрытия, или изготовленные с применением местной сварки, пайки, склейки, сшивки и т. п., например: винт, подвергнутый хромированию; трубка, спаянная или сваренная из одного куска листового материала; коробка, склеенная из одного куска картона; ДПП.

2. Сборочная единица – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, пайкой, клепкой, сваркой, опрессовкой, склеиванием, сшивкой, развальцовкой и т. п.), например: автомобиль, телефонный аппарат, микромодуль, сварной корпус, шариковая ручка, многослойная ПП (МПП).

К сборочным единицам также относят следующие изделия:

– изделия, для которых конструкцией предусмотрена разборка их на составные части, например для удобства транспортирования;

– совокупность сборочных единиц и (или) деталей с общим функциональным назначением, устанавливаемых на предприятии-изготовителе вместе в другой сборочной единице, например: электрооборудование автомобиля, набор составных частей врезного замка (замок, запорная планка, ключи);

– совокупность сборочных единиц и (или) деталей, имеющих общее функциональное назначение, совместно уложенных на предприятии-изготовителе в укладочные средства (футляр, коробку и т. п.), которые предусмотрено использовать вместе с уложенными в них изделиями (например, набор чертежных инструментов – готовальня);

– упаковочную единицу, представляющую изделие, создаваемое в результате соединения упаковываемой продукции с упаковкой.

3. Комплекс – два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Каждое из этих изделий служит для выполнения одной или нескольких основных функций, установленных для всего комплекса, например изделие, состоящее из метеорологической ракеты, пусковой установки и средств управления.

В комплекс также могут входить детали, сборочные единицы и комплекты, предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например для монтажа комплекса на месте его эксплуатации.

4. Комплект – два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например комплект запасных частей, укладочных средств или тары.

К комплектам также относят сборочную единицу или деталь, поставляемую вместе с набором других сборочных единиц и (или) деталей, предназначенных для выполнения вспомогательных функций при эксплуатации этой сборочной единицы или детали, например осциллограф в комплекте с укладочным ящиком и сменными частями.

Виды изделий по назначению:

– основного производства – изделие, предназначенное для поставки (реализации) в качестве товарной продукции;

– вспомогательного производства – изделие, предназначенное для нужд предприятия, изготовившего его (нетоварное изделие).

Виды изделий по разработке:

– собственного производства – изделие, изготавливаемое на данном предприятии по КД, переданным держателем подлинника (разработчиком или другой организацией, предусмотренной техническим заданием);

– покупное – изделие, изготовленное по КД предприятия-поставщика, приобретаемое в готовом виде с эксплуатационной документацией;

– кооперированное – изделие, получаемое предприятием в готовом виде и изготовленное по его КД;

– заимствованное – изделие, которое применяют в другом изделии по ранее разработанной КД данным предприятием.

Виды изделий по структуре:

– специфицированное – изделие из двух и более составных частей (сборочная единица, комплекс, комплект);

– неспецифицированное – изделие без составных частей (деталь).

Виды изделий по уровню стандартизации:

– оригинальное – изделие, примененное в КД только одного изделия;

– унифицированное – изделие, примененное в КД нескольких изделий;

– стандартное – изделие, примененное по стандарту, полностью и однозначно определяющему его конструкцию, показатели качества, методы контроля, правила приемки и поставки.

2.2. Стадии разработки изделий

По ГОСТ 2.103–2013 [3] установлены следующие стадии разработки КД на изделия всех отраслей промышленности:

1. Техническое предложение – совокупность КД, содержащих технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации изделия на основании анализа технического задания и вариантов возможных решений изделий, сравнительной оценки разрабатываемого и существующих изделий, а также патентные исследования.

Техническое предложение после утверждения является основанием для разработки эскизного проекта, а КД присваивается литера П (реквизит КД на изделие, соответствующий стадии разработки).

2. Эскизный проект – совокупность КД, содержащих принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление о назначении, об устройстве, принципе работы и габаритных размерах разрабатываемого изделия, а также данные, определяющие его основные параметры.

Эскизный проект после утверждения является основанием для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации, а КД присваивается литера Э.

3. Технический проект – совокупность КД, содержащих окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для разработки рабочей конструкторской документации.

Технический проект после утверждения является основанием для разработки рабочей конструкторской документации, а КД присваивается литера Т.

КД, созданные на стадиях технического предложения, эскизного и технического проектов образуют проектную конструкторскую документацию.

4. Рабочая конструкторская документация – совокупность КД, выполненных на стадиях опытного образца (опытной партии), серийного (массового) и единичного производства и предназначенные для изготовления, эксплуатации, ремонта (модернизации) и утилизации изделия.

КД на данной стадии присваиваются следующие литеры:

– без литеры – КД до изготовления и испытания опытного образца (опытной партии) изделия;

– О – скорректированные КД после изготовления и испытания опытного образца (опытной партии) изделия;

– $О_1$ – скорректированные КД после приемочных испытаний опытного образца (опытной партии) изделия;

– А – скорректированные КД после изготовления и испытания установочной серии, а также оснащения технологического процесса изготовления изделия;

– И – КД, предназначенные для изготовления и испытания изделий единичного производства.

Для изделий, разрабатываемых по заказу Министерства обороны, также предусмотрены следующие литеры:

– $О_2$, $О_3$, …, $О_n$ – скорректированные КД после повторных изготовлений и испытаний опытного образца (опытной партии) изделия;

– Б – скорректированные КД после изготовления и испытания головной (контрольной) серии по КД с литерой А.

2.3. Обозначение изделий и КД

Правила обозначения изделий машиностроения всех отраслей промышленности и КД кроме эксплуатационных и ремонтных документов устанавливает ГОСТ Р 2.201–2023 [4].

Общие положения:

– каждому изделию и КД должно быть присвоено уникальное обозначение, которое нельзя использовать для идентификации другого изделия и КД;

– обозначение присваивает организация – разработчик изделия и КД;

– изделия и КД сохраняют присвоенное им обозначение независимо от того, в каких изделиях и КД они применяются;

– обозначение представляет собой совокупность идентифицирующих и разделительных знаков (последние в отдельных случаях могут отсутствовать). Идентифицирующими знаками могут быть арабские цифры и пропис-

ные буквы латинского и русского алфавита, а разделительными знаками – точка (код в Unicode16: 002E) и дефис (код в Unicode16: 2012);

– при обозначении изделий и КД применяют два способа: обезличенный и объектно-ориентированный. Способ обозначения и детальные требования к присвоению обозначений с учетом особенностей изделий устанавливают в стандартах организации, при этом для изделий, разрабатываемых по заказам государственного заказчика, такие документы должны быть согласованы с заказчиком (представительством заказчика).

Обезличенный способ обозначения изделий основан на использовании кода организации-разработчика и классификации изделия по конструктивным, функциональным, геометрическим и иным признакам. Структура обозначения изделия для данного способа приведена на рис. 2.1.

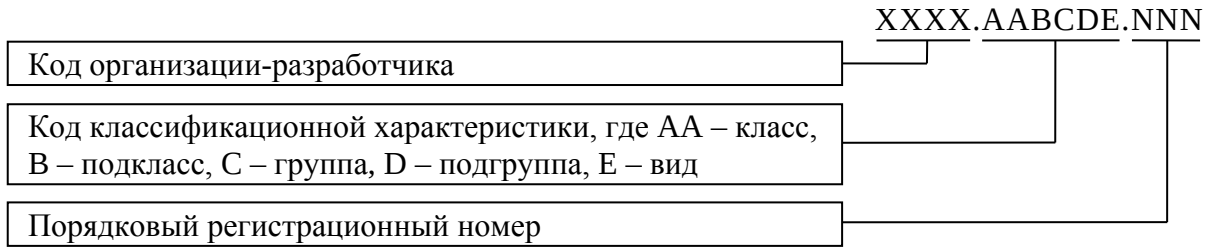


Рис. 2.1

Код организации-разработчика – код из четырех прописных букв русского алфавита, который присваивает Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии или иные уполномоченные организации, например для СПбГЭТУ «ЛЭТИ» – СПВГ. Также возможны допущения:

– при невозможности использования букв русского алфавита в обозначении (например, при поставке изделия на экспорт) допускается записывать восьмизначный цифровой код из арабских цифр, представляющих собой цифровую кодировку имеющихся четырех букв, например для «СПВГ» – 19170304. При наличии у организации-разработчика четырехзначного буквенного кода дополнительная регистрация (присвоение) восьмизначного цифрового кода уполномоченной организацией не требуется;

– допускается применять код по Общероссийскому классификатору предприятий и организаций (ОК 007-93 – ОКПО) [5], присвоенный Федеральным агентством государственной статистики (Росстат), например для СПбГЭТУ «ЛЭТИ» – 02068539.

Код классификационной характеристики определяют по Общероссийскому классификатору изделий и конструкторских документов (ОК 012–93 – классификатор ЕСКД) [6]. Например, код 687252 означает:

– класс 68 – оборудование электротермическое, электросварочное и для диффузионной сварки. Устройства магнитопроводящие, токопроводящие, электроизолирующие, электромонтажные. Монтаж механический;

– подкласс 7 – устройства электромонтажные. Монтаж механический;

– группа 2 – элементы электромонтажные;

– подгруппа 5 – ПП многослойные до 5 слоев включительно шириной;

– вид 2 – свыше 20 до 50 мм включительно.

Расшифровка некоторых других кодов приведена в прил. Р.

Допускается применение иных классификаторов, принятых в отрасли, корпорации или организации с другим количеством знаков, уровней и признаков классификации, указанных в стандарте организации. Однако для изделий, разрабатываемых по заказу государственного заказчика, данное решение должно быть согласовано с заказчиком (представителем заказчика).

Порядковый регистрационный номер присваивают последовательно в рамках изделий с одной классификационной характеристикой. Количество знаков может быть увеличено по усмотрению организации-разработчика (на один и более).

Обозначение КД должно содержать обозначение изделия, на которое оно разработано. Общая структура обозначения КД при обезличенном способе приведена на рис. 2.2.

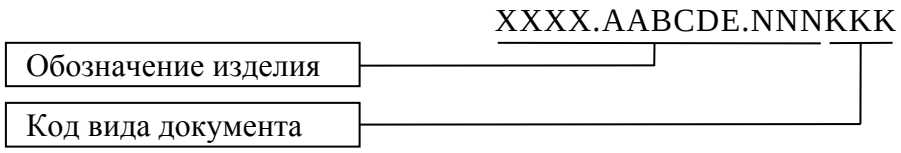


Рис. 2.2

Код вида документа указывают по ГОСТ Р 2.102–2023 [7] (например, для сборочного чертежа – СБ). Отдельно следует обратить внимание на основные КД (см. п. 1 из 2.4), обозначения которых должны совпадать с обозначением изделия (код вида документа отсутствует), однако при необходимости код все же допускается указывать (например, для спецификации – СП).

Примеры обозначений по обезличенному способу для двадцатой четырехслойной ПП шириной 40 мм, разработанной в СПбГЭТУ «ЛЭТИ»:

– СПВГ.687252.020СБ – сборочный чертеж;

– СПВГ.687252.020 – изделие и спецификация.

Объектно-ориентированный способ обозначения изделия основан на использовании кода конечного изделия и признаков, указывающих на позицию изделия в структуре конечного изделия. Структура обозначения для данного

способа по общему виду похожа на приведенную на рис. 2.1 и состоит из трех групп идентифицирующих знаков с разделителями между ними (по умолчанию – точки; допускается использованием дефисов):

– код конечного изделия;

– код, отражающий позицию изделия в структуре конечного изделия;

– порядковый регистрационный номер.

Код (индекс) конечного изделия (итоговая разработка данной организации) присваивает организация-разработчик или заказчик изделия. Если конечное изделие имеет несколько вариантов (модификаций), то код может состоять из кода типа изделия (идентифицирующий признак, общий для совокупности всех вариантов (модификаций) изделия) и кода варианта (модификации) изделия. При необходимости, эти две части могут быть записаны через разделительный знак.

Код, отражающий позицию изделия в структуре конечного изделия, присваивают по принятым в отрасли или организации правилам. Он может характеризовать данное изделие как составную часть другого изделия по различным признакам:

– принадлежность к функциональной системе (подсистеме);

– входимость в агрегат или значимый конструктивный узел;

– отнесение к конструктивной группе (подгруппе);

– иные принципы декомпозиции и (или) классификации составных частей (в том числе по классификатору ЕСКД);

– сочетание перечисленных выше признаков.

Код данной группы может быть представлен совокупностью нескольких групп знаков, отделенных разделительными знаками.

Порядковый регистрационный номер изделия присваивают в рамках выделенной составной части (предыдущей группы знаков) или конечного изделия в целом. Он также может быть представлен совокупностью нескольких групп знаков (например, при разделении сборочных единиц и деталей), отделенных разделительными знаками.

Количество знаков в рассмотренных трех группах идентифицирующих знаков – 4, 6 и 4 соответственно, однако в каждой группе оно может быть как увеличено, так и уменьшено.

Структура обзначения КД в объектно-ориентированном способе совпадает с показанной на рис. 2.2, за исключением того, что по умолчанию обозначение изделия отделяется от кода вида документа точкой.

Примеры обозначений по объектно-ориентированному способу для первой четырехслойной ПП шириной 40 мм (использована классификация изделия по классификатору ЕСКД) в конечном изделии «0110»:

– 0110.687252.0001.СБ – сборочный чертеж;

– 0110.687252.0001 – изделие и спецификация.

Особенности структур обозначения изделия и КД:

– при использовании исполнений изделий по ГОСТ 2.113–75 [8] (см. прил. Н) к общей части обозначения изделия по рис. 2.1 (в этом случае оно называется базовым обозначением) через дефис добавляется номер исполнения (например, СПВГ.687252.020-05) и (при необходимости) дополнительный номер исполнения, отделяемый от первого точкой;

– между обозначением изделия и кодом вида документа допускается как использовать разделительный знак, так и не применять его исходя из особенностей КД;

– после кода вида документа в случае, если на одно изделие разрабатывается больше одного КД определенного вида (например, несколько инструкций со сведениями разного характера), добавляется порядковый номер такого КД (по умолчанию через точку в объектно-ориентированном способе и без разделительного знака в обезличенном способе);

– в текстовых КД, разбитых на части и книги, после кода вида документа (или порядкового номера КД при наличии) указывают порядковые номера части и книги (по умолчанию через точки в объектно-ориентированном способе и без разделительных знаков в обезличенном способе).

При проектировании в данном учебном пособии обозначение изделий будет строиться по объектно-ориентированному способу, но без кода, отражающего позицию изделия в структуре конечного изделия (рис. 2.3).



Рис. 2.3

Код конечного изделия состоит из буквы «У», обозначающей «учебный проект», и номера варианта. Например, У15.

Порядковый номер сборочной единицы начинается с 00, при этом 00 обозначает разрабатываемое изделие в целом (1-ю сборочную единицу), 01 – 2-ю сборочную единицу, 02 – 3-ю сборочную единицу и т. д.

Порядковый номер детали начинается с 01 и определяет номер детали из состава указанной сборочной единицы, при этом 01 означает саму сборочную единицу, 02 – 1-ю деталь, 03 – 2-ю деталь и т. д.

Примеры обозначений:

– У06.00.03 – основной КД (чертеж) 2-й детали из состава 1-й сборочной единицы, разработанной в учебном проекте по 6-му варианту задания;

– У10.00.01 – основной КД (спецификация) 1-й сборочной единицы, разработанной в учебном проекте по 10-му варианту задания;

– У15.01.01СБ – неосновной КД (сборочный чертеж) 2-й сборочной единицы, разработанной в учебном проекте по 15-му варианту задания.

Преимущество принятой структуры состоит в следующем:

– по ней легко определить вхождение одного изделия в другое;

– обозначение изделия не зависит от его функционального назначения, особенностей работы и конструктивных различий, поэтому для каждого варианта задания оно будет отличаться только номером варианта.

2.4. Комплектность КД

При определении комплектности КД, устанавливаемой на стадиях разработки изделия в ГОСТ Р 2.102–2023, следует различать:

1. Основной КД изделия в отдельности или в совокупности с другими записанными в нем КД (неосновными КД) полностью и однозначно определяет данное изделие и его состав. Основными КД являются:

– для деталей – чертеж или электронная модель детали;

– для сборочных единиц, комплексов и комплектов – спецификация или электронная конструктивная структура изделия.

Изделие записывают в документы других изделий, в которых оно применено, за обозначением своего основного КД.

2. Основной комплект КД изделия состоит из основного КД изделия, а также КД, относящихся ко всему изделию в целом и записанных в его основном КД (например, сборочный чертеж, схема электрическая принципиальная, технические условия). КД на составные части изделия в основной комплект КД данного изделия не входят.

3. Полный комплект КД изделия в общем случае состоит из:

– основного комплекта КД на данное изделие;

– основных комплектов КД на все составные части данного изделия, кроме покупных и стандартных изделий.

2.5. Перечень разрабатываемых КД

Для составления перечня полного комплекта КД необходимо представить внешний вид разрабатываемого изделия и понять, из каких составных частей оно состоит.

На рис. 2.4 показан эскиз изделия для варианта «П1» с разнесенными составными частями (в других вариантах задания будут точно такие же составные части, но они могут отличаться внешним видом и расположением в соответствии с рис. 1.1). Винты представлены в виде условных изображений по ГОСТ 2.315–68 [9].

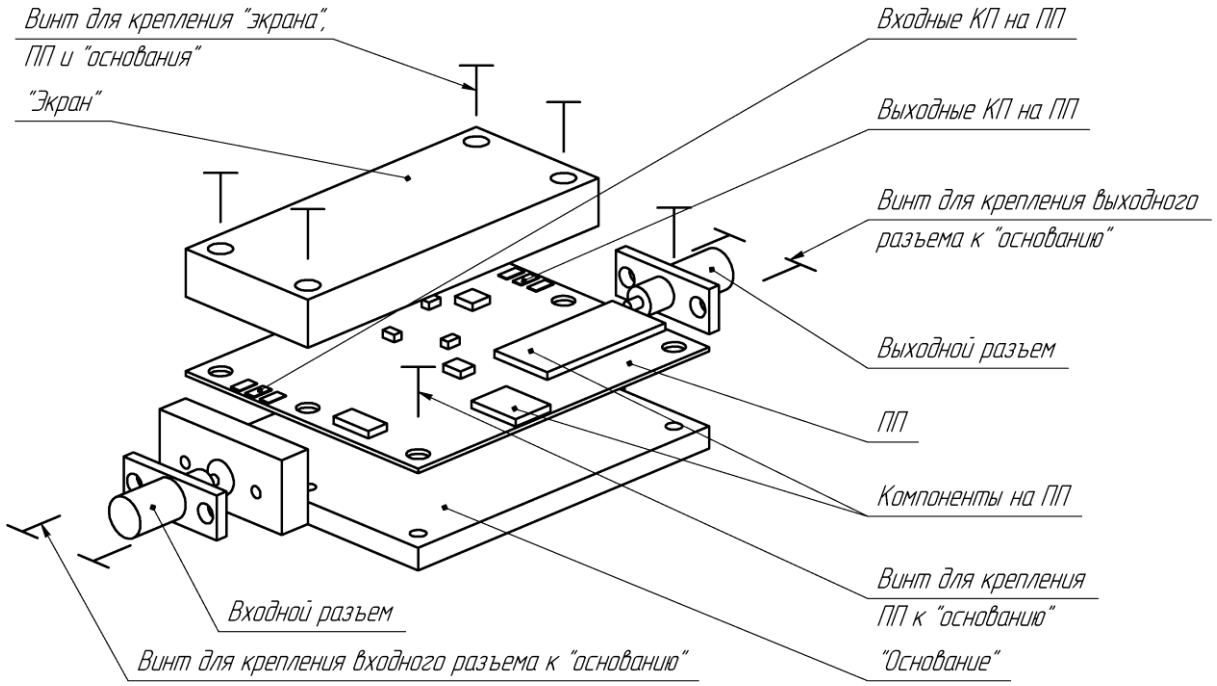


Рис. 2.4

Из приведенного эскиза видно, что изделие, имеющее по общему заданию на проектирование наименование «модуль усилителя», является сборочной единицей, т. е. оно состоит из составных частей, соединяемых друг с другом. Основным КД для сборочной единицы является спецификация, в которой перечисляются ее составные части. Правила выполнения спецификаций приведены в 18.1.

По структуре обозначения с рис. 2.3 спецификации на «модуль усилителя» будет присвоено обозначение **УП1.00.01**. Следует обратить внимание на то, что код документа в обозначении отсутствует.

Чтобы собрать «модуль усилителя», необходим сборочный чертеж, который содержит изображение изделия и данные, требуемые для осуществления сборки (взаимное расположение деталей после сборки, способ стопоре-

ния крепежных винтов, покрытия и т. п.). Правила выполнения сборочных чертежей приведены в 19.4.

Любому неосновному документу, разработанному для сборочной единицы, присваивается обозначение его спецификации с добавлением соответствующего кода документа. Для сборочного чертежа – СБ. Таким образом, обозначение сборочного чертежа «модуля усилителя» будет записано в виде **УП1.00.01СБ**.

Кроме сборочного чертежа будет разработан документ, в котором показывается полный состав компонентов в виде УГО и их взаимосвязи. В вариантах задания – соединение входного и выходного СВЧ-разъемов с печатным узлом (ПП с установленными на ней компонентами). Этим документом является схема электрическая принципиальная (полная), правила выполнения которой приведены в 8.1. Код документа для такой схемы – Э3. Обозначение документа – **УП1.00.01Э3**.

Так как на схеме Э3 присутствуют только УГО компонентов, то для получения подробной информации о них (фирма, обозначение производителя и др.) необходим перечень элементов, правила оформления которого приведены в 9.1. Код документа для перечня элементов состоит из буквы **П** и кода схемы, для которой он разрабатывается. Таким образом, обозначение перечня элементов для схемы Э3 «модуля усилителя» – **УП1.00.01ПЭ3**.

Для отражения функциональных частей изделия, их назначения, взаимосвязей и путей распространения основных сигналов необходимо разработать схему электрическую структурную, правила выполнения которой приведены в 3.1. Код документа для такой схемы – Э1. Обозначение документа – **УП1.00.01Э1**. Перечень элементов для схемы Э1 не разрабатывается, так как все необходимые данные указываются прямо на ней.

Перечисленные выше документы представляют собой основной комплект КД на «модуль усилителя».

Как видно из рис. 2.4, «модуль усилителя» состоит из двух деталей и одной сборочной единицы. По общему заданию на проектирование детали имеют наименования «экран» и «основание», а сборочная единица (печатный узел) – наименование «усилитель».

Для детали основным КД является ее чертеж, т. е. документ, по которому ее можно изготовить. Правила выполнения чертежей приведены в прил. Д. Обозначение чертежа детали составляется аналогично спецификации на сборочную единицу без указания кода документа.

Так как «экран» и «основание» входят в состав сборочной единицы с порядковым номером «00», то в соответствии с рис. 2.3 обозначения чертежей будут следующими:

– для «основания» – **УП1.00.02**;

– для «экрана» – **УП1.00.03**.

Так как «усилитель» является 2-й сборочной единицей и представляет собой ПП с размещенными на ней компонентами (резисторами, конденсаторами, микросхемами и т. п.), то для него, как и для «модуля усилителя», будут разработаны спецификация и сборочный чертеж с обозначениями **УП1.01.01** и **УП1.01.01СБ** соответственно.

Для получения полного состава компонентов «усилителя» (резисторы, микросхемы и др.) и их взаимосвязей, а также для последующей разработки ПП понадобится создать схему Э3 с обозначением **УП1.01.01Э3** и перечень элементов к ней с обозначением **УП1.01.01ПЭ3**.

ПП выполняет функцию несущей конструкции для обеспечения электрического соединения и механического крепления устанавливаемых на нее компонентов. Также на ней будет реализован один из функциональных узлов изделия – полосовой СВЧ-фильтр.

ДПП (именно такая задана по общему заданию на проектирование) является деталью, поэтому на нее необходимо выпустить чертеж, правила оформления которого приведены в 17.1. Так как ПП входит в состав «усилителя» и является 1-й деталью, то ее обозначение – **УП1.01.02**. Наименование детали должно быть «плата печатная».

Для «платы печатной» будет создан документ «данные проектирования», состоящий из одного файла на носителе данных. Код документа – Д33. Обозначение – **УП1.01.02Д33**.

Указанный файл из «данных проектирования» появится после расстановки компонентов и разработки топологии по разд. 12 и обеспечит получение на предприятии-изготовителе полного комплекта или части комплекта КД на ПП. В нем содержится информация для изготовления рисунка ПП (например, положение и параметры печатных проводников), координаты и размеры отверстий, области нанесения защитной паяльной маски и др.

Для указания лиц, ответственных за разработку, изготовление, согласование и утверждение «данных проектирования», разрабатывается удостоверяющий лист. Его обозначение складывается из обозначения «данных проектирования» и кода **УД** через дефис: **УП1.01.02Д33-УД**.

Компоненты, устанавливаемые на ПП, являются покупными, поэтому на них КД не разрабатываются.

Все указанные выше КД, перечень которых для варианта «П1» приведен в табл. 2.1, разрабатываются на основных этапах проектирования. Аналогичные КД необходимо создать и в каждом варианте задания.

Таблица 2.1

Перечень КД, разрабатываемых на основных этапах проектирования

Обозначение КД	Наименование КД	Наименование изделия	Раздел пособия
УП1.00.01	Спецификация	Модуль усилителя	22
УП1.00.01СБ	Сборочный чертеж		23
УП1.00.01Э1	Схема электрическая структурная		3
УП1.00.01Э3	Схема электрическая принципиальная		10
УП1.00.01ПЭ3	Перечень элементов		11
УП1.00.02	Чертеж	Основание	21
УП1.00.03	Чертеж	Экран	20
УП1.01.01	Спецификация	Усилитель	18
УП1.01.01СБ	Сборочный чертеж		19
УП1.01.01Э3	Схема электрическая принципиальная		8
УП1.01.01ПЭ3	Перечень элементов		9
УП1.01.02	Чертеж	Плата печатная	17
УП1.01.02Д33	Данные проектирования		12
УП1.01.02Д33-УД	Удостоверяющий лист		12.6

В прил. Р для сравнения приведена запись перечисленных КД по основной структуре системы обозначения.

Кроме перечисленных КД в пособии предлагается разработать также схему электрическую функциональную «усилителя» и ведомость покупных изделий для «модуля усилителя», но уже в рамках дополнительных этапов проектирования.

2.6. Средства и последовательность проектирования

Как отмечалось ранее, весь процесс разработки изделия в пособии разделен на этапы проектирования, каждый из которых содержит необходимую информацию по выполнению отдельной задачи. Этапы проектирования представлены в виде двух групп: основные и дополнительные.

Основные этапы проектирования. Данные этапы являются обязательными и при очной форме обучения выполняются в основном в выделенные на дисциплину аудиторные часы в присутствии преподавателя.

Основные этапы проектирования приведены в разделах с 1-го по 24-й (каждый раздел содержит описание только одного этапа того же номера), а последовательность их выполнения показана в виде блок-схемы на рис. 2.5. Каждый из десяти блоков на рисунке – это условное занятие (суммарное время всех занятий по дисциплине в неделю), за которое необходимо выполнить приведенные в нем этапы. Около блоков размещены характерные для них графические пояснения – миниатюры разработанных КД, скриншоты программ, в которых производится проектирование, и др.

Указанный на рис. 3.5 порядок выполнения обусловлен тем, что практически для каждого последующего этапа проектирования нужны результаты предыдущих, например:

– для создания чертежа «экрана» желательно наличие его 3D-модели;

– для создания 3D-модели «экрана» нужны размеры ПП и вид проводящего рисунка на ней;

– для трассировки ПП нужны схема Э3 «усилителя» и геометрические размеры топологии ПФ и др.

На основных этапах проектирования необходимо выполнить следующие ключевые действия:

1. На этапе 1 (разд. 1) разобраться с требованиями общего задания на проектирование и с параметрами варианта индивидуального задания на проектирование в соответствии с описанием, приведенным для варианта «П1».

2. На этапе 2 (разд. 2):

– разобраться с принятой в пособии системой обозначений КД;

– ознакомиться с внешним видом разрабатываемого изделия и его составными частями, а также составить перечень разрабатываемых КД;

– ознакомиться с кратким содержанием этапов проектирования, а также с последовательностью и средствами их выполнения;

– получить представление о способе организации файловой структуры проекта и при желании продумать свой вариант.

3. На этапе 3 (разд. 3):

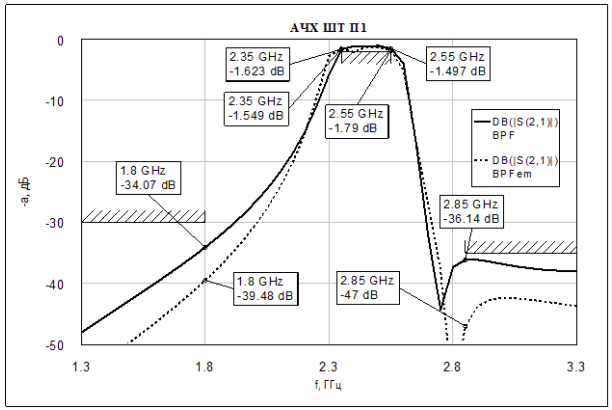
– ознакомиться с правилами выполнения структурных схем;

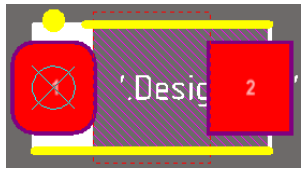
– настроить редактор схем, в котором будет производиться работа, и осуществить подключение рамок и заполнение их полей;

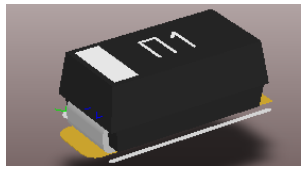
– нарисовать схему Э1 «модуля усилителя»;

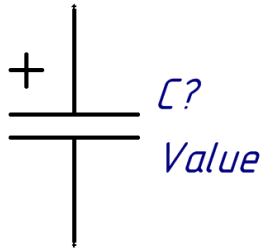
– произвести необходимые вычисления с использованием данных из документации на микросхемы усилителя и аттенюатора.

– **УП1.00.01** (Модуль усилителя);
– **УП1.00.01СБ** (Модуль усилителя);
– **УП1.00.01Э1** (Модуль усилителя);
– **УП1.00.01Э3** (Модуль усилителя);
– **УП1.00.01ПЭ3** (Модуль усилителя);
– **УП1.00.02** (Основание);
– **УП1.00.03** (Экран);
– **УП1.01.01** (Усилитель);
– **УП1.01.01СБ** (Усилитель);
– **УП1.01.01Э3** (Усилитель) и др.





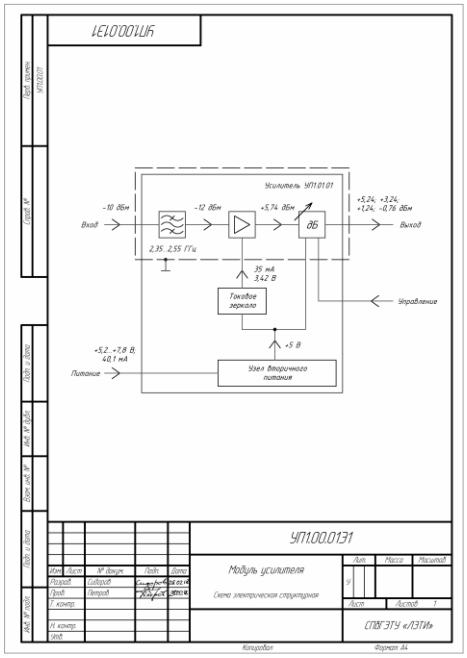


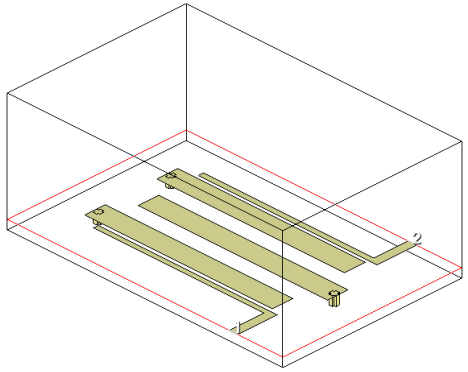


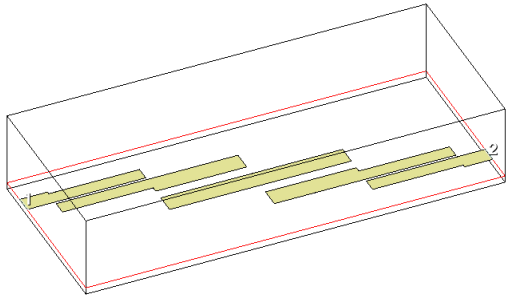
1. Получение задания
2. Проработка перечня КД
3. Схема Э1

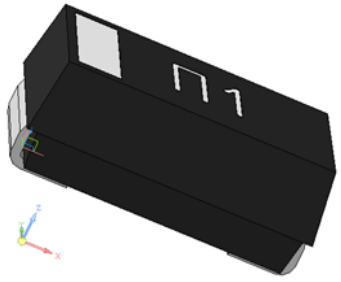
→ 4. Проектирование СВЧ-фильтра →

5. Библиотечный элемент
6. 3D-модель компонента
7. Установочный чертеж компонента →









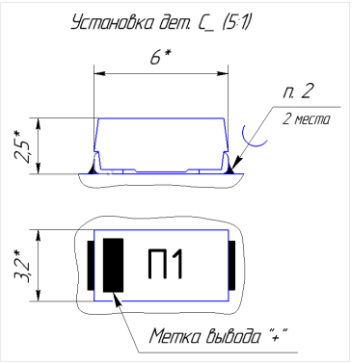
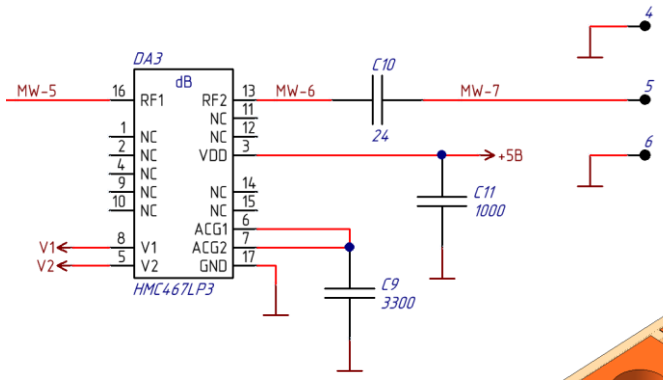
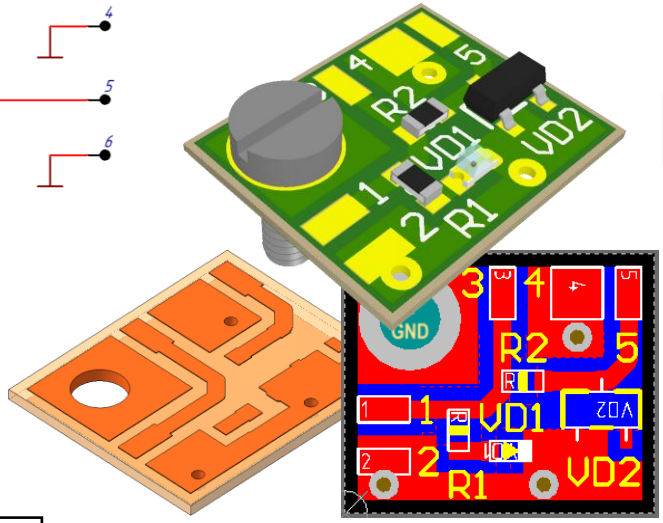
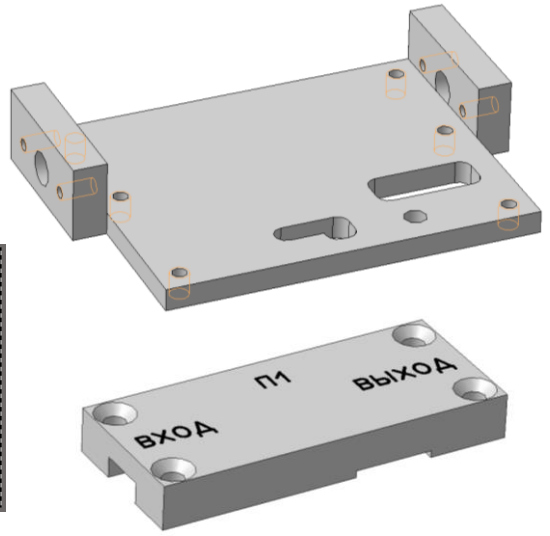


Рис. 2.5 Начало (продолжение и окончание см. на с. 28 и 29)

Рис. 2.5 Продолжение (начало см. на с. 27, окончание – на с. 29)





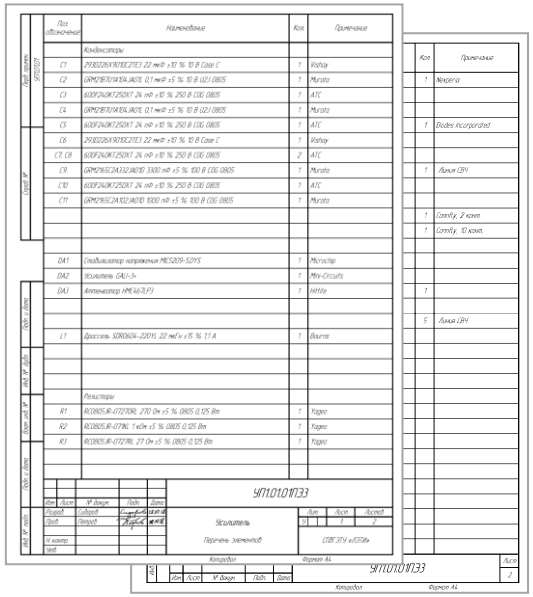


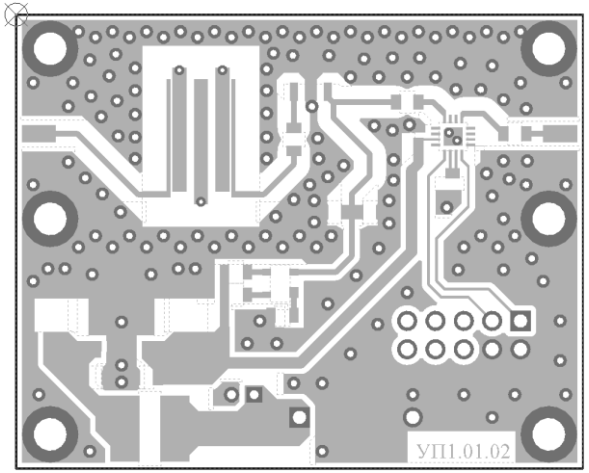
8. Схема Э3 «усилителя»
9. Перечень элементов ПЭ3 «усилителя»
10. Схема Э3 «модуля усилителя»
11. Перечень элементов ПЭ3 «модуля усилителя»

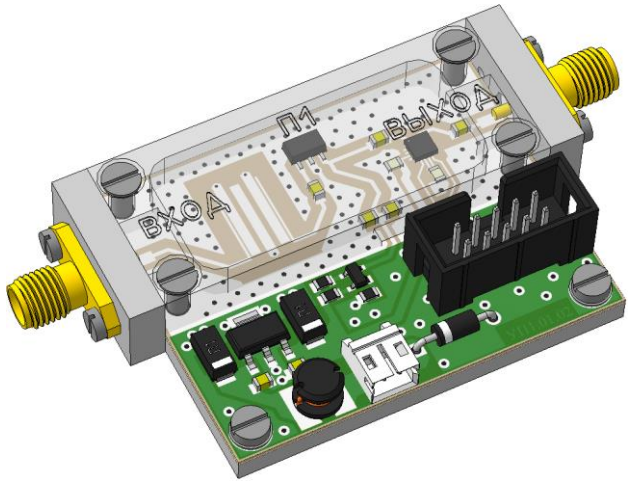
12. Компоновка ПП

12. Трассировка ПП и создание УД

13. 3D-модель «усилителя»
14. 3D-модель «экрана»
15. 3D-модель «основания»
16. 3D-модель «модуля усилителя»







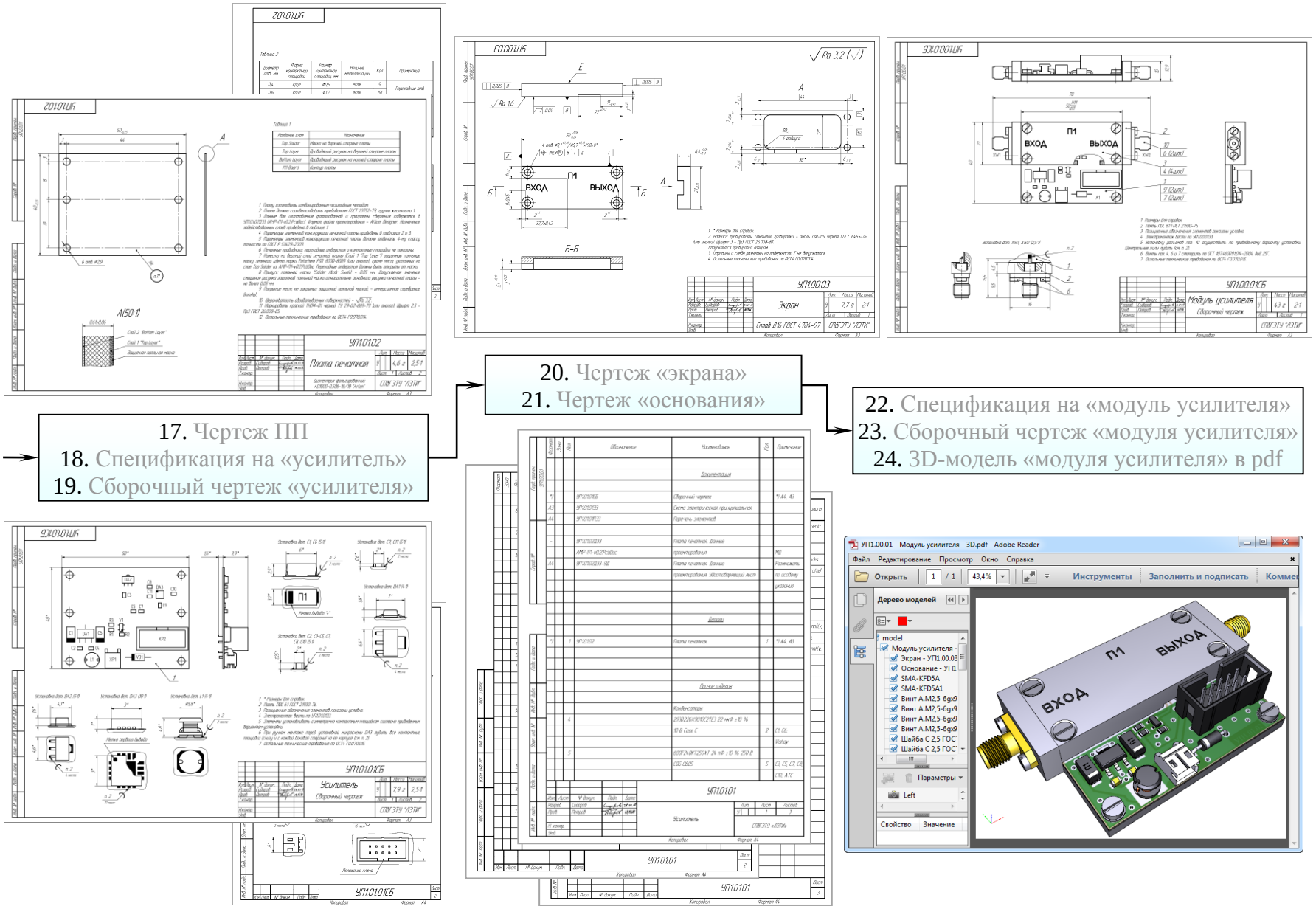


Рис. 2.5 Окончание (начало см. на с. 27 и 28)

Разработка схем, трассировка ПП и создание библиотечных компонентов в пособии будет производиться в системе автоматизированного проектирования (САПР) **Altium Designer**. По отраслевому назначению такие САПР, используемые в области радиоэлектроники, имеют аббревиатуры EDA (electronic design automation) или ECAD (electronic computer-aided design).

Altium Designer – передовая динамично развивающаяся профессиональная САПР фирмы Altium Limited, предоставляющая пользователям максимум возможностей по разработке радиоэлектронных устройств: схемотехническое моделирование, интерактивная и автоматическая трассировка сложных цифровых ПП, 3D-режим просмотра, совместная работа над большими проектами, импорт и экспорт файлов в форматы других САПР, разработка программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), написание собственных приложений и др.

Примерами похожих САПР являются **Mentor Graphics Expedition** фирмы Mentor Graphics и **OrCAD** фирмы Cadence Design Systems.

Следует отметить, что профессиональные САПР, несмотря на все свои достоинства, обладают и вытекающими из них недостатками: требовательность к системным ресурсам, высокая цена и относительно большие временные затраты на их освоение из-за разнообразных настроек и функций.

Среди более простых развивающихся ECAD, предназначенных для разработки ПП, можно выделить две группы:

– САПР, подходящие для разработки небольших ПП и имеющие ограниченный набор функций и возможностей. Например, **Sprint-Layout** фирмы Abacom позволяет трассировать ПП только с двумя сигнальными слоями, а **DipTrace** фирмы Novarm Limited хоть и обладает возможностями, уступающими Altium Designer, но для некоммерческого использования является бесплатной со всеми функциями полной версии при ограничении на 300 выводов и два сигнальных слоя максимум;

– САПР, распространяемые по лицензии на свободное программное обеспечение (GNU General Public License). Например, **KiCad** под разработкой KiCad Developers Team.

Отдельно стоит выделить САПР **P-CAD**. Несмотря на то что в 2006 г. фирма Altium Limited прекратила ее поддержку, при работе в одиночку над относительно несложными проектами ПП она уступает Altium Designer по большей части только отсутствием 3D-режима просмотра, но при этом имеет существенно более низкие системные требования.

Каждая из перечисленных САПР обладает своими достоинствами и недостатками, которые в том числе определяются и личными предпочтениями пользователя (например, удобство интерфейса). Тем не менее общий принцип работы в целом одинаковый.

4. На этапе 4 (разд. 4):

– ознакомиться с теоретической информацией по фильтрам, а также по ПП из прил. Б;

– произвести предварительные расчеты, определив ширину 50-омного полоскового элемента и порядок СВЧ-фильтра;

– нарисовать схему структуры СВЧ-фильтра из варианта индивидуального задания на проектирование (СЛ или ШТ) и произвести ее оптимизацию;

– выполнить статистический анализ;

– осуществить электромагнитное моделирование СВЧ-фильтра и сохранить полученную топологию в формате DXF для последующего импорта в Altium Designer для разработки ПП.

Моделирование СВЧ-фильтра будет производиться в редакторе **Microwave Office** (**MWO**) из состава САПР **NI AWR Design Environment** фирмы National Instruments (ранее – AWR Corporation). Он предназначен для проектирования радиочастотных устройств и устройств СВЧ, позволяет производить линейное (2D-анализ) и электромагнитное моделирование (2.5D-анализ – EMSight-симулятор; 3D-анализ планарных СВЧ-структур – AXIEM-симулятор), а также обладает рядом других возможностей.

Примерами САПР, предназначенных для электромагнитного моделирования с 3D-анализом планарных СВЧ-структур (микрополосковые линии (МПЛ), копланарные линии**,** МПП с переходными отверстиями различных конфигураций и др.), являются **Genesys** фирмы Keysight Technologies, Inc. и **Sonnet Suites** фирмы Sonnet Software, Inc. В Sonnet Suites отсутствует 2D-анализ, но при этом доступна бесплатная версия (**Sonnet Lite**) для моделирования несложных СВЧ-структур.

Примерами САПР, позволяющих моделировать произвольные 3D-объекты СВЧ-диапазона с построением объемной сетки (объемные антенны, волноводные элементы, 3D-неоднородности, СВЧ-фильтры и др.), являются **CST Microwave Studio** фирмы CST и **HFSS** фирмы ANSYS.

5. На этапе 5 (разд. 5):

– создать посадочное место для танталового конденсатора с типоразмером из варианта индивидуального задания на проектирование;

– нарисовать УГО поляризованного конденсатора;

– подключить посадочное место к УГ0 и создать интегрированную библиотеку, необходимую для создания схемы Э3 «усилителя».

Работа будет производиться в Altium Designer в редакторах посадочных мест и УГО.

6. На этапе 6 (разд. 6):

– произвести настройку САПР и ознакомиться с основными понятиями при создании 3D-моделей;

– разработать 3D-модель танталового конденсатора с типоразмером из варианта индивидуального задания на проектирование, которая понадобится для получения 3D-модели «усилителя»;

– добавить 3D-модель в состав посадочного места библиотечного компонента для 3D-визуализации печатного узла в Altium Designer.

Для работы будет использоваться САПР **КОМПАС-3D** российской компании АСКОН, которая максимально соответствует требованиям ЕСКД, предназначена для выполнения чертежных КД и построения 3D-моделей, обладает интуитивно понятным интерфейсом, высокой производительностью и занимает относительно малый объем дискового пространства.

Для некоммерческого использования существует бесплатная версия указанной САПР (**КОМПАС-3D LT**) со следующими ограничениями: недоступно создание 3D-моделей сборок, многолистовых чертежей и др.

Примерами похожих САПР являются **AutoCAD** фирмы Autodesk и **SolidWorks** фирмы SolidWorks Corporation.

По отраслевому назначению подобные САПР, используемые в машиностроении, имеют аббревиатуру MCAD (mechanical computer-aided design).

7. На этапе 7 (разд. 7):

– ознакомиться с видами и масштабами изображений на чертеже;

– в КОМПАС-3D по ранее разработанной 3D-модели танталового конденсатора создать его установочный чертеж, который понадобится для получения сборочного чертежа «усилителя».

8. На этапе 8 (разд. 8):

– ознакомиться с правилами выполнения принципиальных схем;

– по прил. В освежить в памяти назначение применяемых при проектировании компонентов, посмотреть системы их обозначений (Part Number), а также понять работу схемы ЗП, номер которой указан в варианте индивидуального задания на проектирование;

– в редакторе схем Altium Designer с использованием библиотечных компонентов нарисовать схему Э3 «усилителя», которая в дальнейшем будет использоваться для разработки ПП;

– в процессе создания схемы Э3 по документации выбрать номиналы конденсаторов, рассчитать номиналы резисторов и записать их наименования, определить значения напряжений и токов;

– проверить правильность соединений.

9. На этапе 9 (разд. 9):

– ознакомиться с правилами оформления перечня элементов;

– заполнить перечень элементов для схемы Э3 «усилителя».

Основные действия будут осуществляться в редакторе **Microsoft Word**, так как он удобен в работе с текстовыми данными и таблицами.

10. На этапе 10 (разд. 10) в редакторе схем Altium Designer нарисовать схему Э3 «модуля усилителя».

11. На этапе 11 (разд. 11) в Microsoft Word заполнить перечень элементов для схемы Э3 «модуля усилителя».

12. На этапе 12 (разд. 12):

– осуществить настройку редактора ПП Altium Designer;

– внимательно и основательно изучить пример, разобранный в 12.2;

– в соответствии со схемой Э3 «усилителя» произвести расстановку и группировку компонентов внутри контура ПП (процесс компоновки) и осуществить соединение их КП печатными проводниками (процесс трассировки) для получения файла трассировки, который в дальнейшем будет использоваться для создания чертежа ПП и 3D-модели «усилителя»;

– в Microsoft Word создать удостоверяющий лист.

13. На этапе 13 (разд. 13):

– в КОМПАС-3D из файла трассировки создать 3D-модель «усилителя» (сборка из 3D-моделей компонентов, ПП и топологии СВЧ-фильтра);

– рассчитать толщину и массу ПП.

14. На этапе 14 (разд. 14):

– рассчитать высоту «экрана» и его внутренней полости;

– в КОМПАС-3D создать пустой файл сборки 3D-модели «модуля усилителя», добавить в него 3D-модель «усилителя» и со стороны размещения компонентов создать 3D-модель «экрана».

15. На этапе 15 (разд. 15) в КОМПАС-3D в составе 3D-модели «модуля усилителя» создать 3D-модель «основания» с отверстиями под СВЧ-разъемы.

16. На этапе 16 (разд. 16) в КОМПАС-3D завершить создание 3D-модели «модуля усилителя»:

– отредактировать 3D-модель «экрана», добавив необходимые надписи и изменив размеры прорезей в боковых стенках;

– проверить отсутствие пересечений между всеми 3D-моделями, и при необходимости внести корректировки в 3D-модель «основания»;

– добавить все необходимые крепежные изделия (шайбы и винты) для соединения составных частей «модуля усилителя»;

– добавить на верхнюю и нижнюю поверхности ПП из состава 3D-модели «усилителя» рисунки с информацией слоев из файла трассировки.

Созданные 3D-модели понадобятся для разработки чертежей, а 3D-модель «модуля усилителя» – еще и для получения файла 3D-pdf.

17. На этапе 17 (разд. 17):

– ознакомиться с правилами выполнения чертежей ПП и деталей;

– в КОМПАС-3D создать чертеж ПП, используя файл трассировки и 3D-модель ПП.

18. На этапе 18 (разд. 18):

– ознакомиться с правилами выполнения спецификаций;

– в Microsoft Word создать спецификацию на «усилитель», воспользовавшись перечнем элементов ПЭ3 «усилителя».

19. На этапе 19 (разд. 19):

– ознакомиться с правилами выполнения сборочных чертежей и особенностями монтажа компонентов на ПП;

– в КОМПАС-3D создать сборочный чертеж «усилителя», используя его 3D-модель, файл трассировки и установочные чертежи компонентов.

20. На этапе 20 (разд. 20):

– в КОМПАС-3D создать чертеж «экрана», используя его 3D-модель;

– произвести расчеты допусков расположения крепежных отверстий.

21. На этапе 21 (разд. 21):

– в КОМПАС-3D по аналогии с «экраном» создать чертеж «основания»;

– произвести расчеты допусков расположения крепежных отверстий для СВЧ-разъемов.

22. На этапе 22 (разд. 22) в Microwave Word создать спецификацию на «модуль усилителя», используя данные из его 3D-модели.

23. На этапе 23 (разд. 23) в КОМПАС-8D создать сборочный чертеж «модуля усилителя», используя его 3D-модель и спецификацию.

24. На этапе 24 (разд. 24):

– преобразовать 3D-модель «модуля усилителя» в формат PDF с добавлением текстур верхнего и нижнего слоев ПП

– сохранить рисунок устройства с прозрачным экраном, используя возможности **Adobe Reader**.

Примечание. Многие САПР (например, Altium Designer, КОМПАС-3D) предлагаются их фирмами в виде бесплатных пробных версий без ограничения функционала на небольшой срок (15–30 лет).

В процессе выполнения основных этапов проектирования необходимо формировать отчет, требования по содержанию которого и краткие инструкции приведены в конце соответствующих разделов.

Перечень основных этапов проектирования с указанием баллов за их выполнение приведен в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Основные этапы проектирования

Этап	Балл	Раздел пособия с описанием		Основной программный продукт
		этапа	отчета	
1. Получение задания	0,05	1	1.3	MS Word
2. Проработка перечня КД	0,05	2	2.8	
3. Схема Э1	0,2	3, 8	3.4, 8.5	Altium Designer
4. Моделирование СВЧ-фильтра	0,6	4	4.5	MWO
5. Библиотечный элемент	0,2	5	5.6	Altium Designer
6. 3D-модель компонента	0,1	6	6.7	КОМПАС-3D
7. Установочный чертеж компонента	0,1	7	7.4	
8. Схема Э3 «усилителя»	0,6	8	8.5	Altium Designer
9. Перечень элементов ПЭ3 «усилителя»	0,2	9	9.3	MS Word
10. Схема Э3 «модуля усилителя»	0,05	10	10.2	Altium Designer
11. Перечень элементов ПЭ3 «модуля усилителя»	0,05	11	11.2	MS Word
12. Компоновка и трассировка ПП, разработка удостоверяющего листа	0,7	12	12.7	Altium Designer, MS Word
13. 3D-модель «усилителя»	0,1	13	13.2	КОМПАС-3D
14. 3D-модель «экрана»	0,1	14, 16	16.2	
15. 3D-модель «основания»	0,1	15, 16		
16. 3D-модель «модуля усилителя»	0,1	16		
17. Чертеж ПП	0,3	17	17.4	
18. Спецификация на «усилитель»	0,1	18, 19	19.4	MS Word

Окончание таблицы 2.2

Этап проектирования	Балл	Раздел пособия с описанием		Основной программный продукт
		этапа	отчета	
19. Сборочный чертеж «усилителя»	0,3	19	19.4	КОМПАС-3D
20. Чертеж «экрана»	0,3	20	20.2	
21. Чертеж «основания»	0,3	21	21.2	
22. Спецификация на «модуль усилителя»	0,05	22, 23	23.2	MS Word
23. Сборочный чертеж «модуля усилителя»	0,2	23		КОМПАС-3D
24. 3D-модель «модуля усилителя» в PDF	0,15	24	24.5	Adobe Reader

Максимальный балл за выполнение всех основных этапов проектирования составляет 5,0.

Дополнительные этапы проектирования. При медленном выполнении основных этапов проектирования и отсутствии предварительной подготовки (знакомство с теоретическими сведениями и графической информацией по предстоящим этапам, а также выполнение предварительных расчетов) может наметиться отставание от плана, приведенного на рис. 2.5. Для получения дополнительных знаний и навыков и для повышения оценки предусмотрены дополнительные этапы проектирования, которые выполняются по желанию в любое время и в любом месте до окончания проектирования.

На дополнительных этапах проектирования необходимо выполнить следующие ключевые действия:

1. На этапе 1 (прил. Е) создать эскиз (или эскизы) «модуля усилителя» с обозначениями его составных частей одним из двух способов:

– от руки или в любом пригодном для этого графическом редакторе с соблюдением требований ЕСКД;

– в КОМПАС-3D с использованием 3D-модели (как на рис. 2.4).

2. На этапе 2 (прил. Ж) рассчитать коэффициент шума «модуля усилителя» и сравнить его со значением при взаимной замене первых каскадов.

3. На этапе 3 (прил. И):

– вывести формулу в символьном виде для корректировки сопротивления одного из резисторов в схеме «токового зеркала»;

– по полученной формуле вычислить сопротивление резистора и записать его Part Number;

– с учетом скорректированного сопротивления резистора определить значения всех токов и напряжений в схеме «токового зеркала»;

– сформулировать условия, при которых по приближенной формуле, использованной на этапе создания схемы Э3 «усилителя» в расчетах схемы «токового зеркала», будут получаться достаточно точные результаты, т. е. выполнение корректировки номинала резистора не потребуется.

4. На этапе 4 (прил. К):

– ознакомиться с правилами выполнения функциональных схем;

– в редакторе схем Altium Designer создать схему электрическую функциональную «усилителя» из схем Э3 «усилителя» и Э1 «модуля усилителя».

5. На этапе 5 (прил. Л):

– ознакомиться с особенностями форматов Gerber и Excellon;

– в редакторе ПП Altium Designer получить из файла трассировки все необходимые для ее производства данные в указанных форматах.

6. На этапе 6 (прил. М):

– ознакомиться с правилами выполнения извещения об изменении (ИИ);

– в КОМПАС-3D составить ИИ и внести необходимые изменения по данному ИИ в соответствующие КД.

Таблица 2.3

Дополнительные этапы проектирования

<table>
<tr><th>Этап</th><th>Балл</th><th>Раздел пособия с описанием</th><th>Основной этап, после которого указанный этап станет доступным</th></tr>
<tr><td>1. Эскиз «модуля усилителя»</td><td>0,15</td><td>Прил. Е</td><td>2 или 16</td></tr>
<tr><td>2. Расчет коэффициента шума</td><td>0,1</td><td>Прил. Ж</td><td>3</td></tr>
<tr><td>3.1. Вывод формулы для корректировки сопротивления резистора</td><td>0,15</td><td rowspan="4">Прил. И</td><td rowspan="5">8</td></tr>
<tr><td>3.2. Расчет сопротивления резистора</td><td>0,05</td></tr>
<tr><td>3.3. Расчет токов и напряжений</td><td>0,1</td></tr>
<tr><td>3.4. Условия получения точных результатов по приближенной формуле</td><td>0,1</td></tr>
<tr><td>4. Схема Э2</td><td>0,15</td><td>Прил. К</td></tr>
<tr><td>5. Файлы форматов Gerber и Excellon</td><td>0,15</td><td>Прил. Л</td><td>12</td></tr>
<tr><td>6. Выпуск ИИ и внесение изменений в КД</td><td>0,15</td><td>Прил. М</td><td>18 (8)</td></tr>
<tr><td>7. Исполнение «усилителя»</td><td>0,15</td><td>Прил. Н</td><td>19 (8)</td></tr>
<tr><td>8. Ведомость покупных изделий</td><td>0,1</td><td>Прил. П</td><td>22 (18)</td></tr>
<tr><td>9. Замена обозначений КД</td><td>0,15</td><td>Прил. Р</td><td>23 (3)</td></tr>
<tr><td colspan="4">Примечание – В скобках указаны номера основных этапов проектирования, после выполнения которых соответствующие дополнительные этапы становятся доступными в ограниченном объеме, т. е. возможный балл за их выполнение не будет максимальным.</td></tr>
</table>

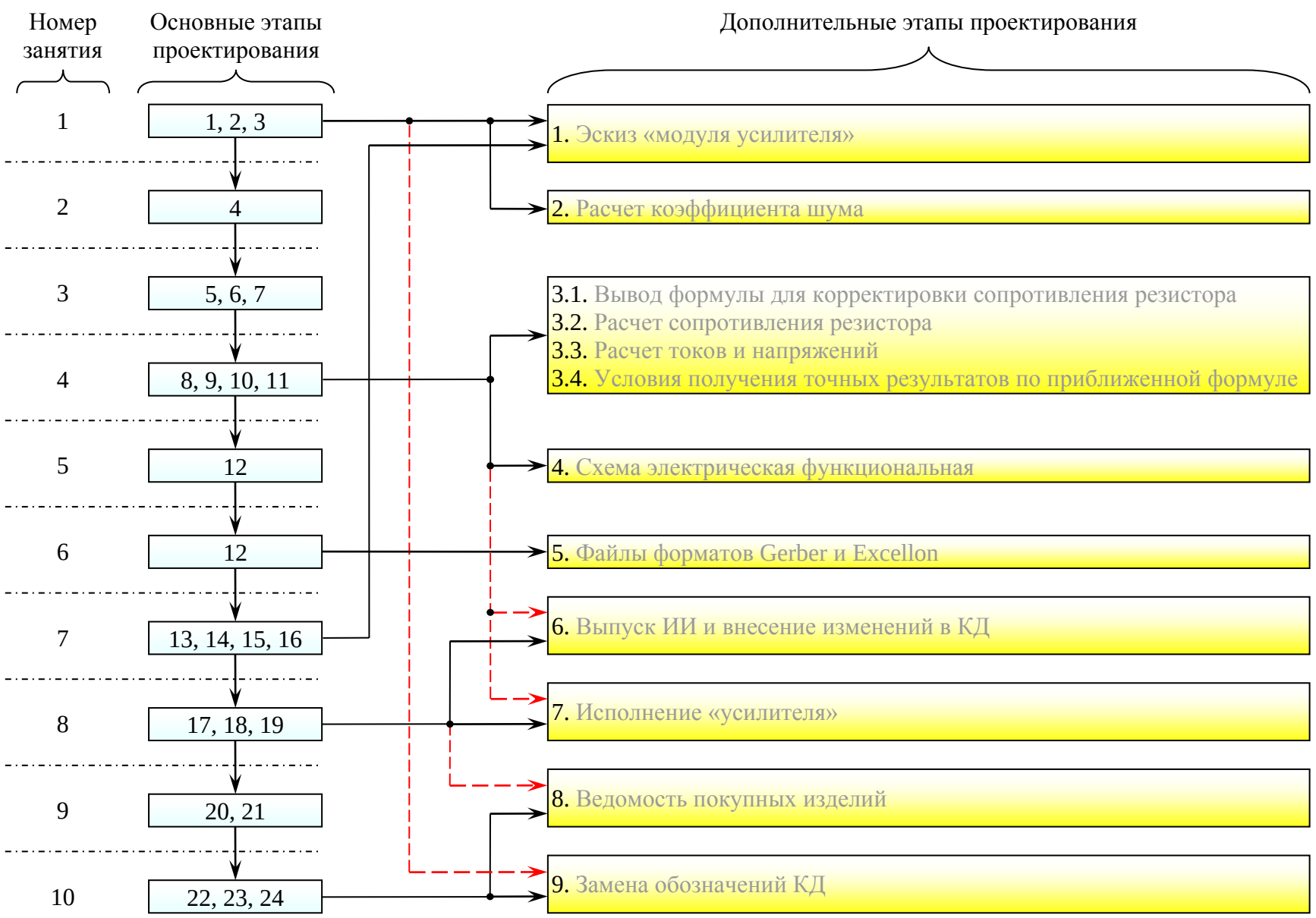

Номер занятия
Основные этапы проектирования
Дополнительные этапы проектирования
1
1, 2, 3
2
4
3
5, 6, 7
4
8, 9, 10, 11
5
12
6
12
7
13, 14, 15, 16
8
17, 18, 19
9
20, 21
10
22, 23, 24
1. Эскиз «модуля усилителя»
2. Расчет коэффициента шума
3.1. Вывод формулы для корректировки сопротивления резистора
3.2. Расчет сопротивления резистора
3.3. Расчет токов и напряжений
3.4. Условия получения точных результатов по приближенной формуле
4. Схема электрическая функциональная
5. Файлы форматов Gerber и Excellon
6. Выпуск ИИ и внесение изменений в КД
7. Исполнение «усилителя»
8. Ведомость покупных изделий
9. Замена обозначений КД

Рис. 2.6

7. На этапе 7 (прил. Н):

– ознакомиться с правилами выполнения групповых КД;

– скорректировать необходимые КД для создания исполнения «усилителя», в котором для подачи и снятия СВЧ-сигнала используются указанные в общем задании на проектирование коаксиальные торцевые СВЧ-разъемы.

8. На этапе 8 (прил. П):

– ознакомиться с правилами выполнения ведомости покупных изделий;

– в Microsoft Word создать ведомость покупных изделий для «модуля усилителя», используя спецификации «усилителя» и «модуля усилителя».

9. На этапе 9 (прил. Р):

– ознакомиться с обезличенным способом обозначения КД;

– во всех разработанных КД заменить обозначения, использованные при проектировании, на обозначения по обезличенному способу.

Перечень дополнительных этапов проектирования с указанием баллов за их выполнение и основных этапов проектирования, после которых они становятся доступными, приведен в табл. 2.3 и на блок-схеме с рис. 2.6. На рисунке сплошные черные линии отведены от недель, с которых можно полноценно выполнить соответствующие этапы, а пунктирные красные линии – от недель, с которых эти этапы можно начать постепенно делать.

2.7. Файловая структура проекта

При разработке проектов важно придерживаться следующих правил:

1. Удобно и понятно организовать файловую структуру, так как от этого напрямую зависит скорость поиска и доступа к нужным файлам.

Пример файловой структуры проекта, реализованной в пособии для основных этапов проектирования по варианту «П1», приведен на рис. 2.7 и 2.8. Здесь все файлы расположены в двух основных папках, каждая из которых представляет собой сборочную единицу:

– папка **…ИДРЭС-П1** («П1» – номер варианта задания), являющаяся также папкой проекта, с файлами «модуля усилителя» (рис. 2.7);

– папка **…ИДРЭС-П1\Усилитель** с файлами «усилителя» (рис. 2.8).

Так как «усилитель» входит в состав «модуля усилителя», то и расположение папок соответствующее (первая находится внутри второй).

Все файлы разделены на основные и вспомогательные.

Основные файлы находятся непосредственно в папках их сборочных единиц и являются составляющими комплекта КД на изделие:

– оригиналы КД (например, схема Э8 «модуля усилителя» на рис. 2.7 – «УП1.00.01Э3 - Модуль усилителя - v0.1.SchDoc»);

– файлы, необходимые для разработки и настройки изделия (например, файл трассировки на рис. 2.8 – «AMP-П1-v0.2.PcbDoc»).



Рис. 2.7

Вспомогательные файлы (3D-модели деталей и сборочных единиц, файлы моделирования, расчеты, заметки и пр.) размещены в соответствующих подпапках, названия у которых начинаются с нижнего подчеркивания, что позволяет расположить их в списке файлов и папок при сортировке с одной стороны, отметив при этом отсутствие в них основных файлов, например:

– файл 3D-модели «экрана» («УП1.00.03 - Экран.m3d») находится в папке **…ИДРЭС-П1_Модели**;

		Раздел	Описание
Усилитель	–	–	Из «ИДРЭС-П1» (см. рис. 2.7)
_pdf			
УП1.01.01 - Усилитель - v0.2.pdf	–	19	КД «усилителя», сохраненные в формате PDF
УП1.01.01ПЭ3 - Усилитель - v0.1.pdf	–	9	
УП1.01.01СБ - Усилитель - v0.1.pdf	–	19	
УП1.01.01Э3 - Усилитель - v0.1.pdf	–	8	
УП1.01.02 - Плата печатная - v0.1.pdf	–	17	
УП1.01.02Д33-УД - Плата печатная - v0.1.pdf	–	12.6	
_Библиотека			
Capacitors-П1.IntLib	–	5	Библиотека с конденсатором
_Заметки			
Расчеты (3D-модель).xmcd	–	13	Расчеты для 3D-модели ПП и схемы Э3 «усилителя»
Расчеты (Э3).xmcd	–	8	
_Модели			
AMP-П1-v0.2.brd	–	13	3D-модели «усилителя», ПП и ПФ (*.a3d, *.m3d). Файлы для создания модели «усилителя» из файла трассировки (*.brd, *.pro). Файл со связями между компонентами и их 3D-моделями (*.ini). Библиотека с моделью ПП (*.l3d).
AMP-П1-v0.2.ini	–	13	
AMP-П1-v0.2.l3d	–	13	
AMP-П1-v0.2.pro	–	13	
Полосовой фильтр.m3d	–	13	
УП1.01.01 - Усилитель.a3d	–	13	
УП1.01.02 - Плата печатная.m3d	–	13	
_Модели элементов			
CASE-C-293D-П1.m3d	–	6	3D-модель конденсатора
_Установочные чертежи			
CASE-C-293D-П1.cdw	–	7	Чертеж установки конденсатора
_Фильтр			
BPFem.dxf	–	4	Файлы моделирования ПФ в Microwave Office (основной – *.emp, вспомогательные – *.vin и *.y2p). Топология фильтра – *.dxf. Расчеты по ПФ – *.xmcd
BPFem.y2p	–	4	
BPF-П1.emp	–	4	
BPF-П1.vin	–	4	
Расчеты (фильтр).xmcd	–	4	
PCB_Project-П1			
AMP-П1-v0.2.PcbDoc	–	12	Проект ПП из Altium Designer: файл трассировки – *.PcbDoc; схема – *.SchDoc; файл и структура проекта ПП – *.PrjPcb и *.PrjPcbStructure
PCB_Project-П1.PrjPcb	–	8	
PCB_Project-П1.PrjPcbStructure	–	8	
УП1.01.01Э3 - Усилитель - v0.1.SchDoc	–	8	
УП1.01.01 - Усилитель - v0.2.doc	–	19	Оригиналы КД «усилителя», выполненные в Microsoft Word (*.doc) и КОМПАС-3D (*.cdw)
УП1.01.01ПЭ3 - Усилитель - v0.1.doc	–	9	
УП1.01.01СБ - Усилитель - v0.1.cdw	–	19	
УП1.01.02 - Плата печатная - v0.1.cdw	–	17	
УП1.01.02Д33-УД - Плата печатная - v0.1.doc	–	12.6	

Рис. 2.8

– файл с расчетами по схеме Э3 «усилителя» («Расчеты (Э3).xmcd»), созданный в системе компьютерной алгебры **Mathcad** фирмы PTC, находится в папке **…ИДРЭС-П1\Усилитель_Заметки**, и т. д.

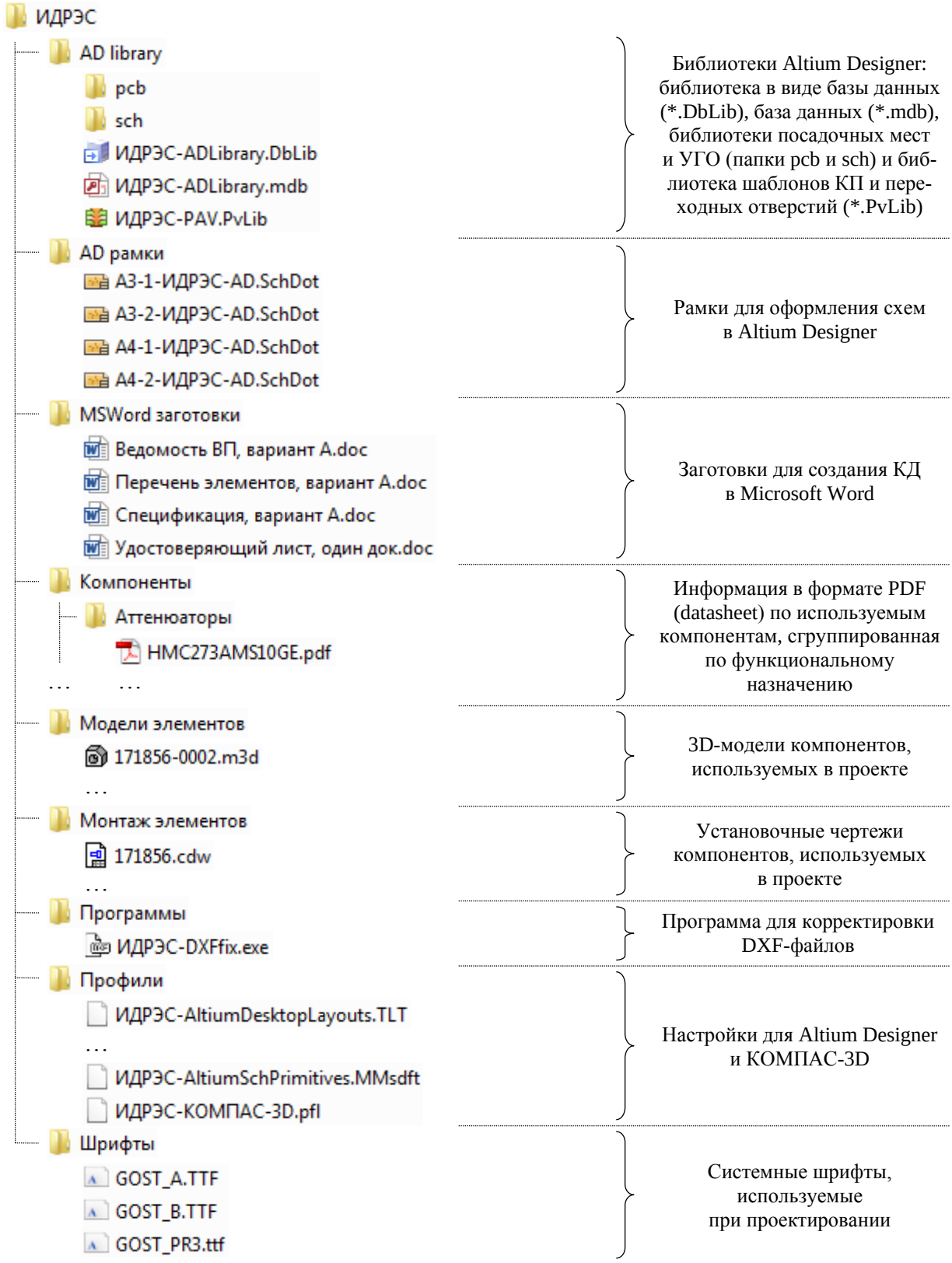


Рис. 2.9

Файлы, используемые во всех проектах, рекомендуется размещать в отдельной папке, не относящейся к какой-либо конкретной разработке. Например, при проектировании такой папкой будет **…\ИДРЭС** (см. рис. 2.9). Здесь находятся 3D-модели, установочные чертежи и библиотеки компонентов (конденсаторов, микросхем, разъемов и др.), заготовки для КД, оформляемых в Microsoft Word, и другие общие для всех вариантов задания файлы.

Если редактируется готовый файл или создается новый только под конкретный проект, то его следует размещать в одной из папок проекта для вспомогательных файлов. Например, 3D-модель танталового конденсатора с номером варианта задания на корпусе («CASE-C-293D-П1.m3d») расположена в папке **…ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели элементов** (см. рис. 2.8).

2. Присваивать осмысленные имена файлам и папкам, в особенности при совместной работе над проектом группы людей.

Названия вида «1111» хороши только в одном – скорость присвоения в момент сохранения. Однако через некоторое время (порой хватает нескольких десятков минут) возникнут следующие трудности:

– затруднено понимание того, что находится в файле;

– затруднено отслеживание последней удачной версии файла;

– затруднен поиск необходимых файлов;

– практически невозможна работа с файлами других соисполнителей.

Поэтому при проектировании рекомендуется придерживаться формы названия, предлагаемой для каждого сохраняемого файла в соответствующих разделах учебного пособия. Например, название КД будет складываться из его обозначения, наименования изделия и номера версии (см. рис. 2.7 и 2.8).

Примечание. Номера версий используются для возможности возврата к промежуточному результату и при работе с соисполнителями.

3. Сохранять результаты в ходе работы и уделять внимание настройкам по автосохранению файлов (периодическое сохранение, выполняемое программой автоматически) и созданию их резервной копии (backup-файл, являющийся копией файла с предыдущим сохранением пользователя).

Примечания:

– в Altium Designer настройки автосохранения задаются в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в подразделе Data Management ⇒ Backup. При включении опции Auto save every указываются периодичность сохранения, максимальное количество сохраненных версий документа (от 1 до 10) и путь сохранения. Сохранение происходит только при наличии в документе

ранее несохраненного изменения. Процесс осуществляется циклически в пределах заданного количества версий с постепенной их перезаписью.

При каждом ручном сохранении документа в папке History (по умолчанию располагается в директории документа) создается его резервная копия в виде архива. Настройки резервных копий задаются в подразделе Data Management ⇒ Local History окна Preferences. Здесь можно указать число дней их хранения (после этого начнется перезапись устаревших сохранений), включить копирование автосохранений в папку с резервными копиями (ограничений по количеству хранимых версий нет) и задать их сохранение в общую папку (в этом случае в папку History ничего добавляться не будет). Для работы с резервными копиями служит панель Storage Manager (см. Г.50);

– в КОМПАС-3D настройки автосохранения задаются в окне «Параметры» (команда Сервис ⇒ Параметры) на вкладке «Система» в группе Файлы ⇒ Автосохранение. По умолчанию оно включено с периодом 1 мин.

Настройки создания резервной копии задаются на той же вкладке в группе Файлы ⇒ Резервное копирование. По умолчанию сохранение осуществляется в директорию текущего файла. Файл резервной копии имеет расширение «.bak» и перезаписывается после каждого сохранения;

– в Microsoft Word настройки автосохранения задаются в окне «Параметры Word» (команда Файл ⇒ Параметры) в группе Сохранение ⇒ Сохранение документов. По умолчанию оно включено с периодом 40 мин.

Включить создание резервной копии позволяет опция «Всегда создавать резервную копию» в том же окне в группе Дополнительно ⇒ Сохранение. Файл резервной копии имеет расширение «.wbk», сохраняется в директорию текущего файла и перезаписывается после каждого сохранения.

2.8. Содержание отчета

По 2-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Перечень разрабатываемых КД для основных этапов проектирования с указанием обозначений КД, их наименований и наименований изделий.

2. Краткое описание использованной при проектировании структуры обозначений.

При желании можно выполнить 1-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3 и прил. Е) первым способом, т. е. вручную без использования 3D-модели «модуля усилителя».

3. СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРНАЯ

3.1. Общие сведения

При разработке радиоэлектронной аппаратуры в любой системе проектирования в первую очередь необходимо определиться с функциями будущего устройства. Для этого служат структурные схемы.

Основные определения и правила оформления схем содержатся в ГОСТ 2.701–2008 [10] и ГОСТ 2.702–2011 [11].

Схема – это документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

Схема электрическая – один из видов схем наряду со схемой гидравлической, схемой пневматической, схемой оптической, схемой деления и др. Это документ, содержащий в виде условных изображений или обозначений составные части изделия, действующие при помощи электрической энергии, и их взаимосвязи. Код схемы электрической – Э.

Схема структурная – один из типов схем наряду со схемой функциональной, схемой принципиальной, схемой соединений, схемой подключения и др. Это документ, определяющий основные функциональные части изделия, их назначения и взаимосвязи. Код схемы структурной – 1. Такие схемы разрабатывают при проектировании изделий на стадиях, предшествующих разработке схем других типов, и пользуются ими для общего ознакомления с изделием.

Код документа схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы. Поэтому схема электрическая структурная имеет код **Э1**.

К правилам выполнения схем Э1 относятся следующие:

1. На схеме изображают все основные функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы) и основные взаимосвязи между ними.

2. Функциональные части на схеме изображают в виде прямоугольника или УГО.

3. Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в изделии.

На линиях взаимосвязей рекомендуется стрелками обозначать направление хода процессов, происходящих в изделии.

4. На схеме должны быть указаны наименования каждой функциональной части изделия, если для ее обозначения применен прямоугольник. На схеме допускается указывать тип элемента (устройства) и (или) обозначение документа (основной КД, государственный стандарт, технические условия), на основании которого этот элемент (устройство) применен. При изображении функциональных частей в виде прямоугольников наименования, типы и обозначения рекомендуется вписывать внутрь прямоугольников.

5. При большом количестве функциональных частей допускается взамен наименований, типов и обозначений проставлять порядковые номера справа от изображения или над ним, как правило, сверху вниз в направлении слева направо. Вэтом случае наименования, типы и обозначения указывают в таблице, помещаемой на поле схемы.

6. Допускается помещать на схеме поясняющие надписи, диаграммы или таблицы, определяющие последовательность процессов во времени, а также указывать параметры в характерных точках (величины токов, напряжений, формы и величины импульсов, математические зависимости и т. п.).

3.2. Подготовка к созданию схемы

3.2.1. Начальное окно Altium Designer

Для создания схем, библиотек компонентов и ПП в данном учебном пособии будет использоваться САПР Altium Designer, начальное окно которой показано на рис. 3.1.

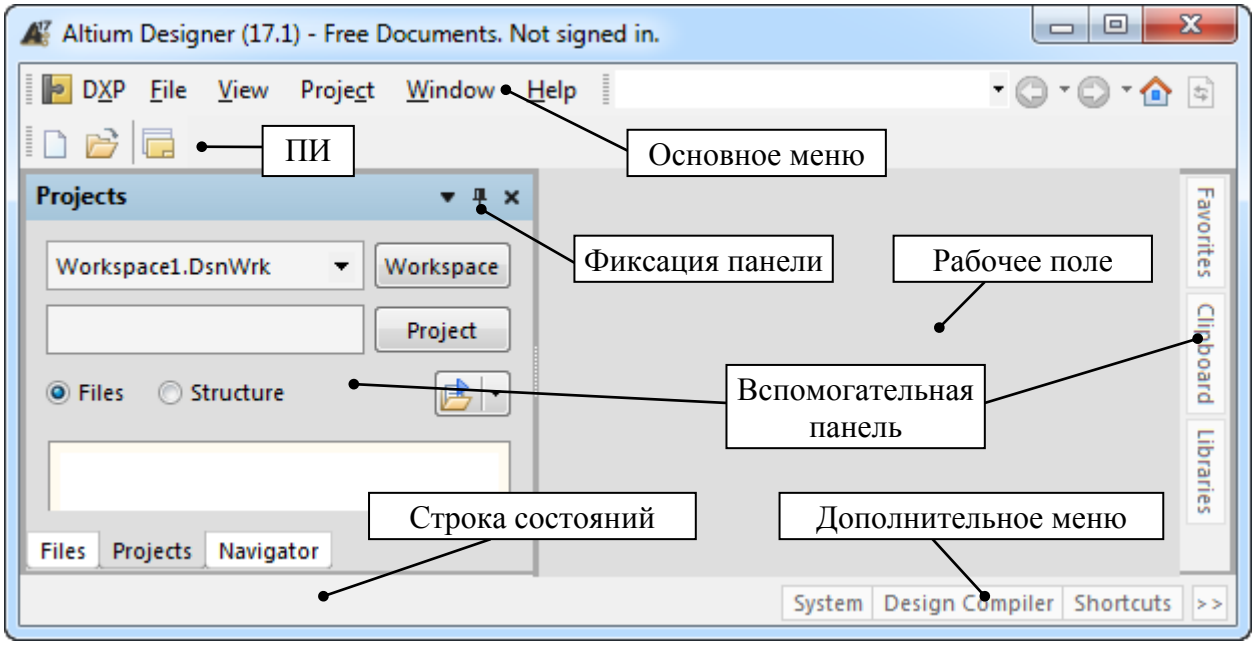


Рис. 3.1

В верхней части размещаются строка основного меню и горизонтальные панели инструментов (ПИ), содержащие пиктограммы системных команд. Состав команд основного меню и ПИ зависит от типа документа, с которым в данный момент осуществляется работа.

Подключение, отключение и создание собственных ПИ производится из контекстного меню, вызываемого нажатием правой кнопки мыши (ПКМ) в любом месте верхней части окна.

В центре находится рабочее поле, в котором располагаются необходимые для работы документы с вкладками в верхней его части. Через контекстное меню, вызываемое щелчком ПКМ по области с вкладками, можно закрыть (или скрыть) документы, расположить их в рабочем поле рядом друг с другом или открыть в новом окне (рис. 3.2).

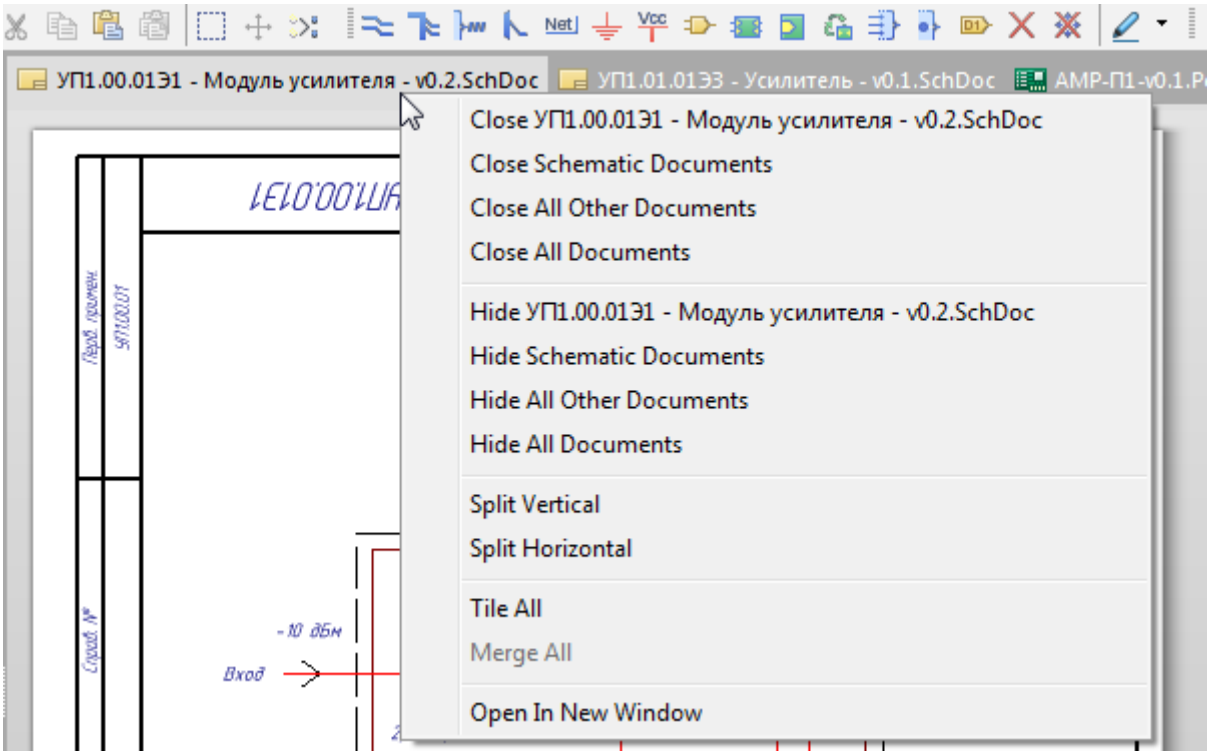


Рис. 3.2

В нижней левой части располагается строка состояний, в которой отображаются координаты курсора мышки, текущий шаг сетки и различные подсказки по выполнению команд.

В нижней правой части находится дополнительное меню для запуска вспомогательных панелей (например, панели Projects для работы со структурой проекта). Такую панель можно встроить с какой-нибудь стороны рабочего поля, для чего необходимо переместить ее за заголовок зажатой левой кнопкой мыши (ЛКМ) на одну из появляющихся в нем пиктограмм (рис. 3.3).

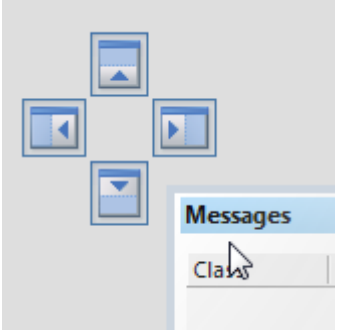


Рис. 3.3

Встроенную вспомогательную панель можно зафиксировать (постоянно отображается как панель Projects) или сделать скрытой (автоматически сворачивается после использования и отображается в виде кнопки как панель Libraries) с помощью пиктограммы булавки в ее заголовке (см. рис. 3.1).

Существует два режима группировки встроенных фиксированных вспомогательных панелей:

– режим вкладок, при котором с одной стороны рабочего поля полностью видна только активная в данный момент панель;

– смешанный режим, при котором одновременно могут отображаться сразу несколько панелей с одной стороны рабочего поля.

Перегруппировать вспомогательные панели можно путем перетаскивания зажатой ЛКМ их вкладок (в режиме вкладок) или заголовков (смешанный режим) внутри требуемой группы.

3.2.2. Предварительная настройка Altium Designer

Все настройки в Altium Designer делятся на несколько групп:

– системные настройки;

– настройки редакторов;

– настройки документов;

– настройки проектов.

Под предварительной настройкой в данном учебном пособии понимается задание общих системных настроек и настроек для редакторов схем и ПП, а для экономии времени это будет сделано загрузкой заранее подготовленного файла (профиля с настройками). Для этого запустить команду **DXP ⇒ Preferences** и в открывшемся окне Preferences выполнить следующее:

– внизу окна нажать кнопку **Load** и из папки **…\ИДРЭС\Профили** (см. рис. 2.9) выбрать файл **ИДРЭС-AltiumPreferences.DXPPrf**;

– в окне Load preferences from file нажать ссылку **Show options page list**, отметить только первые четыре раздела (рис. 3.4) и нажать кнопку **OK**;

– применить изменения в окне **Preferences** кнопкой **OK**;

– перезапустить Altium Designer;

– снова открыть окно Preferences и в подразделе **System ⇒ View** отключить опцию **Autosave desktop**;

– применить изменения в окне **Preferences** кнопкой **OK**.

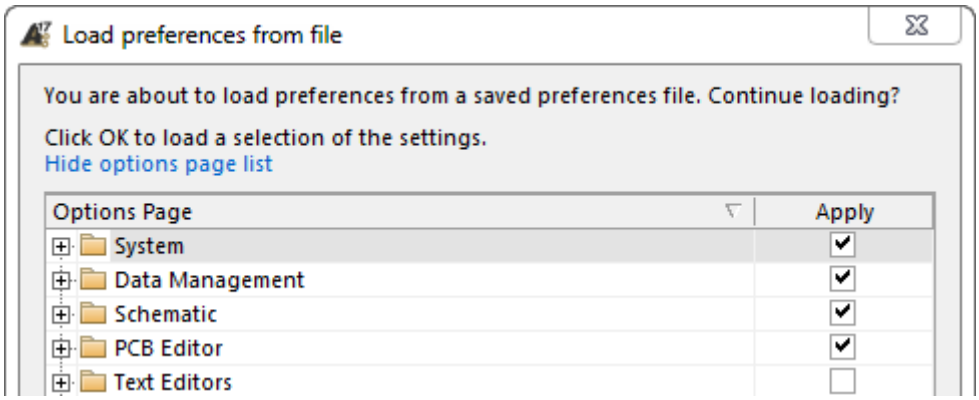


Рис. 3.4

Примечания:

– описание изменений, произошедших в результате загрузки профиля, приведено в Г.1;

– настройки документов и проектов будут задаваться во время работы с ними, однако их заготовки можно подготовить заранее и автоматически загружать при создании новых документов и проектов;

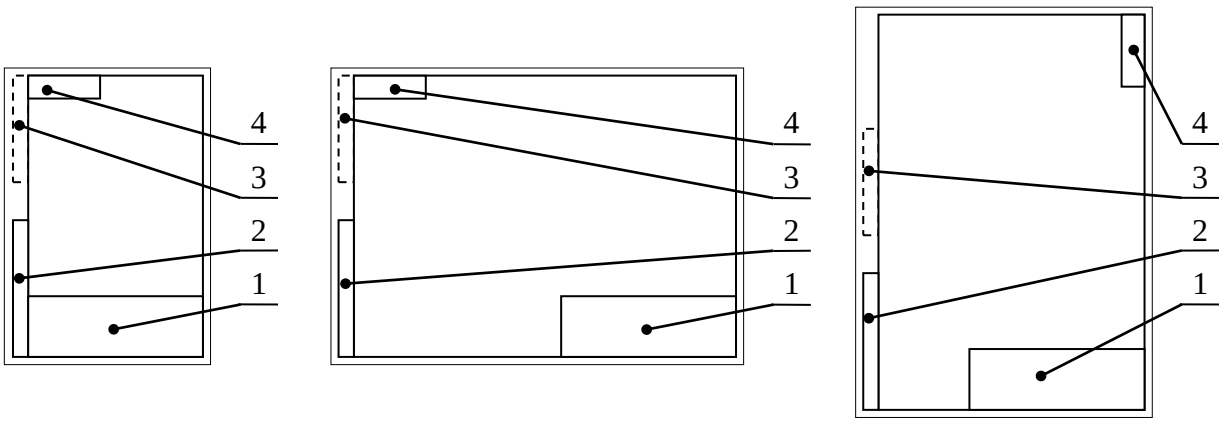
– кнопка Set To Defaults возвращает настройки по умолчанию.

3.2.3. Подключение рамок и заполнение полей

КД размещают на форматах листов, приведенных в ГОСТ 2.301–68 [13], и с оформлением в рамках по ГОСТ Р 2.104–2023 [14]. В рамках выделяют основную надпись и дополнительные графы к ней, упрощенный вид и расположение которых показано:

– для формата А4 – на рис. 3.5, *а*;

– для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа – на рис. 3.5, *б*;



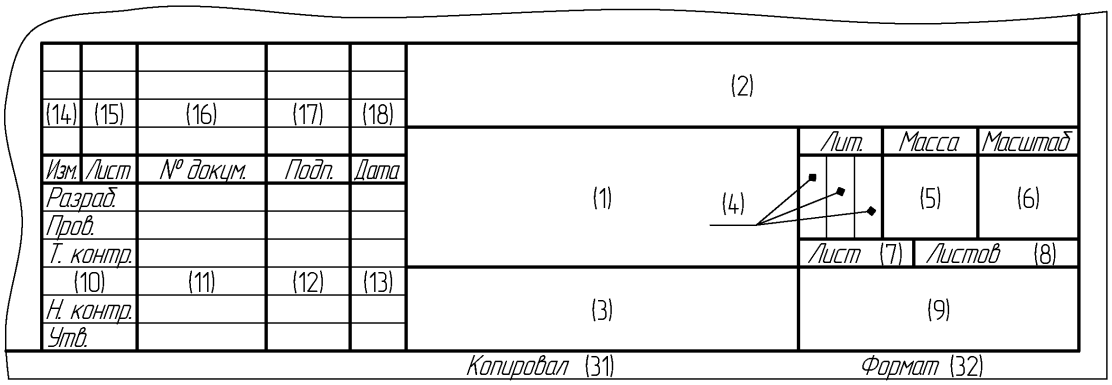
а *б* *в*

1 – основная надпись; *2–4* – дополнительные графы

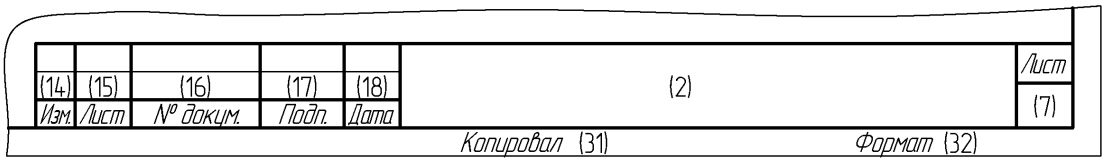
Рис. 3.5

– для формата больше А4 при расположении основной надписи вдоль короткой стороны листа – на рис. 3.5, *в*.

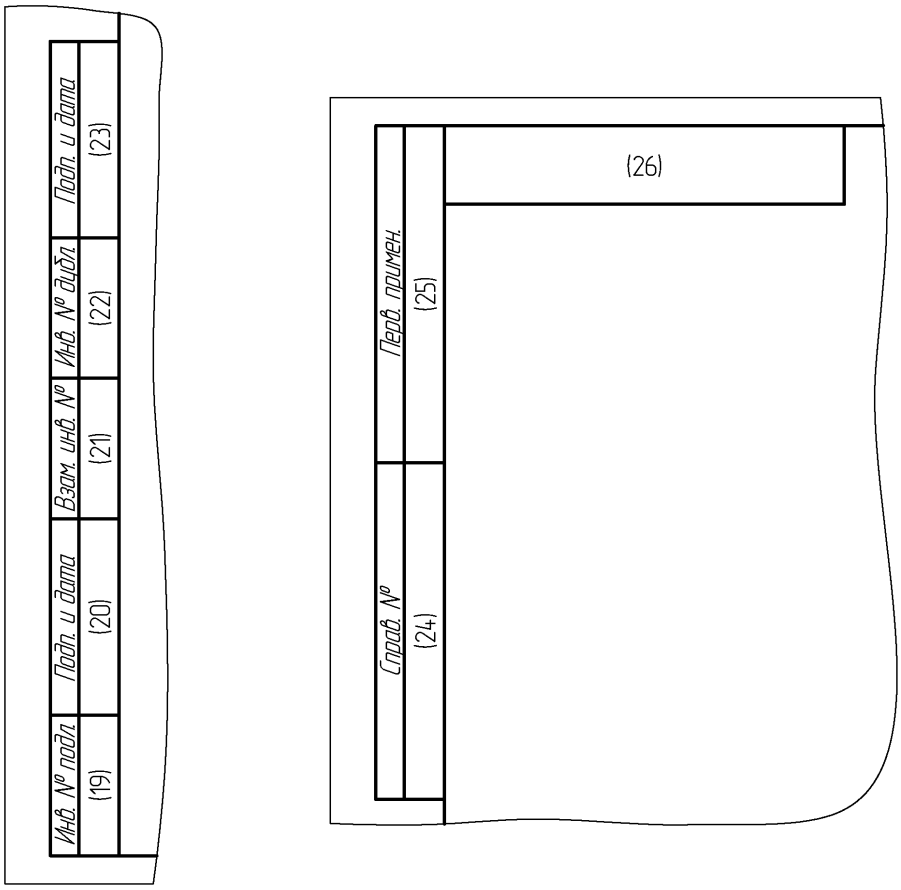
Дополнительные графы, отмеченные номером 3 (пунктирный контур) на рис. 3.5, есть только на первом листе.



а



б



в

Рис. 3.6

Оформление основной надписи и дополнительных граф различается:

– между схемой (или чертежом) и текстовым документом;

– между первым и последующими листами;

– в зависимости от назначения (некоторые графы, выделенные специально в ГОСТ Р 2.104–2023, вводят при необходимости). В данном учебном пособии рамки для всех КД будут содержать только обязательные графы.

Оформление основной надписи для схем и чертежей на первом листе показано на рис. 3.6, *а*, а на последующих листах – на рис. 3.6, *б*.

Оформление дополнительных граф показано на рис. 3.6, *в*.

В круглых скобках на рис. 3.6 отмечены номера граф в соответствии с ГОСТ Р 2.104–2023. Содержание граф указано в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Содержание граф основной надписи и дополнительных граф

Номер графы	Данные в графе
1	Наименование изделия, а также наименование документа, если у него есть код. Наименование изделия должно соответствовать принятой терминологии и быть по возможности кратким. Его записывают в именительном падеже единственного числа. Если оно состоит из нескольких слов, то на первом месте помещают имя существительное (например, «Плата печатная»). В наименование изделия не включают, как правило, сведения о назначении изделия и его местоположении
2	Обозначение документа
3	Обозначение материала детали. Графу заполняют только на чертежах деталей
4	Литера, присвоенная данному документу (см. 2.2). На документе в бумажной форме графу заполняют последовательно, начиная с крайней левой клетки. Для всех разработанных КД по данному учебному пособию необходимо присвоить литеру У, что означает «учебный проект»
5	Масса изделия по ГОСТ Р 2.109–2023 [15]. В килограммах записывается без указания единицы измерения, а в граммах и тоннах – с указанием. Принято массу до 100 г указывать в граммах (г), от 100 г до 1000 кг – в килограммах, от 1000 кг и свыше – в тоннах (т)
6	Масштаб
7	Порядковый номер листа. Допускается не заполнять для КД из одного листа
8	Общее количество листов документа
9	Наименование организации, разработавшей (выпустившей) КД. Допускается указывать код организации, краткое наименование, код и (или) эмблему
10	Характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ. Здесь приняты следующие сокращения по ГОСТ Р 2.316–2023 [16]: **разраб.** – разработал; **пров.** – проверил; **т. контр.** – технологический контроль; **н. контр.** – нормоконтроль; **утв.** – утвердил. Свободную строку заполняют по усмотрению разработчика, например: «Начальник отдела», «Начальник лаборатории» и пр.

Окончание таблицы 3.1

Номер графы	Данные в графе
11	Фамилии и (при необходимости) инициалы лиц, подписавших документ
12	Собственноручные подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11
13	Дата подписания документа. В бумажных КД год может быть указан двумя последними цифрами
14–18	Сведения об изменениях
19	Инвентарный номер подлинника
20	Сведения о приемке подлинника в службу технической документации (подпись и дата приемки)
21	Инвентарный номер подлинника, взамен которого выпущен данный подлинник
22	Инвентарный номер дубликата
23	Сведения о приемке дубликата в службу технической документации (подпись и дата приемки)
24	Обозначение документа, взамен или на основании которого выпущен данный документ. Допускаются обозначения, установленные в стандарте организации
25	Обозначение КД, в котором впервые записан данный документ
26	Обозначение документа, повернутое на 180° для формата А4 и для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа и на 90° для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль короткой стороны листа
31	Дата и подпись лица, копировавшего бумажный КД или распечатавшего электронный КД
32	Обозначение формата листа

Рамки в Altium Designer представляют собой отдельные файлы с расширением «.SchDot», которые подключаются отдельно к каждому листу схемы. После подключения в них заполняются значения параметров, которые соответствуют графам, описанным ранее. Особенности создания рамок и их использования приведены в Г.51.

Основным понятием в Altium Designer является проект (Project) – структура, которая объединяет группу документов для одного разрабатываемого объекта. Например, для создания ПП минимальный набор таких документов включает в себя файлы схемы и трассировки.

В данном пособии рассматриваются 2 типа проектов:

– PCB Project – проект ПП;

– Integrated Library – проект интегрированной библиотеки.

Файл проекта представляет собой текстовый файл, в котором перечислены использующиеся в проекте документы и параметры формирования выходных данных (например, для печати). Каждый проект (как и каждый документ) может иметь особые настройки.

Однако документы могут быть созданы и без привязки к каким-то проектам. В этом случае они называются свободными (Free Documents).

Схема Э1 «модуля усилителя» будет разработана на одном листе формата А4 в виде свободного документа. Для этого требуется:

1. Создать новый документ схемы командой **File ⇒ New ⇒ Schematic**.

В результате выполнения команды в панели Projects появится группа Free Documents с документом схемы (Sheet1.SchDoc), а в рабочем поле – вкладка с листом схемы с оформлением, заданным по умолчанию (рис. 3.7).

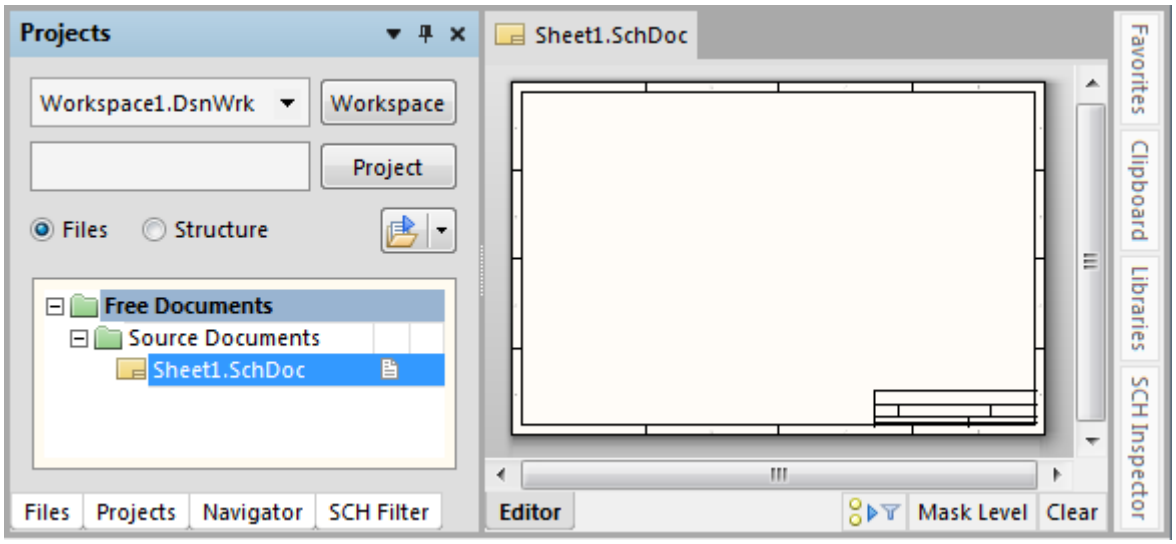


Рис. 3.7

Примечания:

– белая иконка справа от документа в панели Projects означает, что он открыт в рабочем поле. Изменение ее цвета на красный и появление символа «» в конце названия документа означает несохраненные изменения;*

– способы управления изображением документа описаны в Г.3.

2. Сохранить схему с расширением «.SchDoc», запустив в панели Projects на ее названии команду **ПКМ ⇒ Save As**. Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01Э1 - Модуль усилителя - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1** (см. рис. 2.7).

3. Изменить рамку и формат листа схемы:

– запустить команду **Design ⇒ Templates ⇒ Project Templates ⇒ Choose a File** и выбрать файл рамки для первого листа формата А4 – **А4-1-ИДРЭС-AD.SchDot** из папки **…\ИДРЭС\AD рамки** (см. рис. 2.9);

– в появившемся окне Update Template выбрать опции **Just this Document** (загрузить шаблон рамки только в текущий документ) и **Replace all matching parameters** (заменить все совпадающие параметры) и нажать **OK**.

4. Запустить команду **Design ⇒ Document Options** и перейти на вкладку **Parameters**, на которой в соответствии с табл. 3.2 заполнить значения (столбец **Value**) для тех параметров, чьи имена в столбце **Name** начинаются с цифр (номера граф рамки).

Пояснения к графам даны в табл. 3.1 и на рис. 3.6, *а* и *в*.

Таблица 3.2

Параметры рамки для схемы Э1 «модуля усилителя»

Название параметра	Значение	Комментарий к заполнению
01.1_Наименов. изд.	Модуль усилителя	Наименование изделия определено в табл. 2.1
01.2_Наименов. изд.	Отсутствует	Зарезервированная вторая строка для наименования изделия. «Отсутствует» здесь и долее означает незаполненное значение параметра
01.3_Наименов. док.	Схема электрическая структурная	–
02_Обознач. док.	УП1.00.01Э1	Обозначение документа определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»
04_Литера	У	–
07_Номер листа	Отсутствует	–
08_Кол. листов	1	–
09_Наименов. орг.	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	–
11.1_Разраб.	Сидоров	Указывается фамилия студента, разработавшего КД. Если вариант задания выполняется студентами в паре, то фамилия второго студента записывается в поле «11.2_Пров.»
11.2_Пров.	Петров	Указывается фамилия преподавателя. Если вариант задания выполняется студентами в паре, то фамилия преподавателя указывается в поле «11.6_Утв.», а в данном поле записывается фамилия второго студента
11.3_Т. контр.	Отсутствует	–
11.5_Н. контр.	Отсутствует	–
11.6_Утв.	См. комментарий	Если вариант задания выполняется студентами в паре, то в данном поле записывается фамилия преподавателя. В противном случае значение отсутствует
25_Перв. примен.	УП1.00.01	Обозначение спецификации, в которой записан КД, определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»

Примечания:

– графа 26 заполняется автоматически в соответствии со значением параметра «02_Обознач. док.»;

– альтернативные способы заполнения граф 2, 7 и 8 в проектах для многолистовых схем описаны в п. 5 из 8.2.

Document Options

Sheet Options | Parameters | Units | Template

Name	Value	Type
01.1_Наименов. изд.	Модуль усилителя	STRING
01.2_Наименов. изд.		STRING
01.3_Наименов. док.	Схема электрическая структурная	STRING
02_Обознач. док.	УП1.00.01Э1	STRING
04_Литера	У	STRING
07_Номер листа		STRING
08_Кол. листов	1	STRING
09_Наименов. орг.	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	STRING
11.1_Разраб.	Сидоров	STRING
11.2_Пров.	Петров	STRING
11.3_Т. контр.		STRING
11.5_Н. контр.		STRING
11.6_Утв.		STRING
25_Перв. примен.	УП1.00.01	STRING
Address1	*	STRING

Рис. 3.8

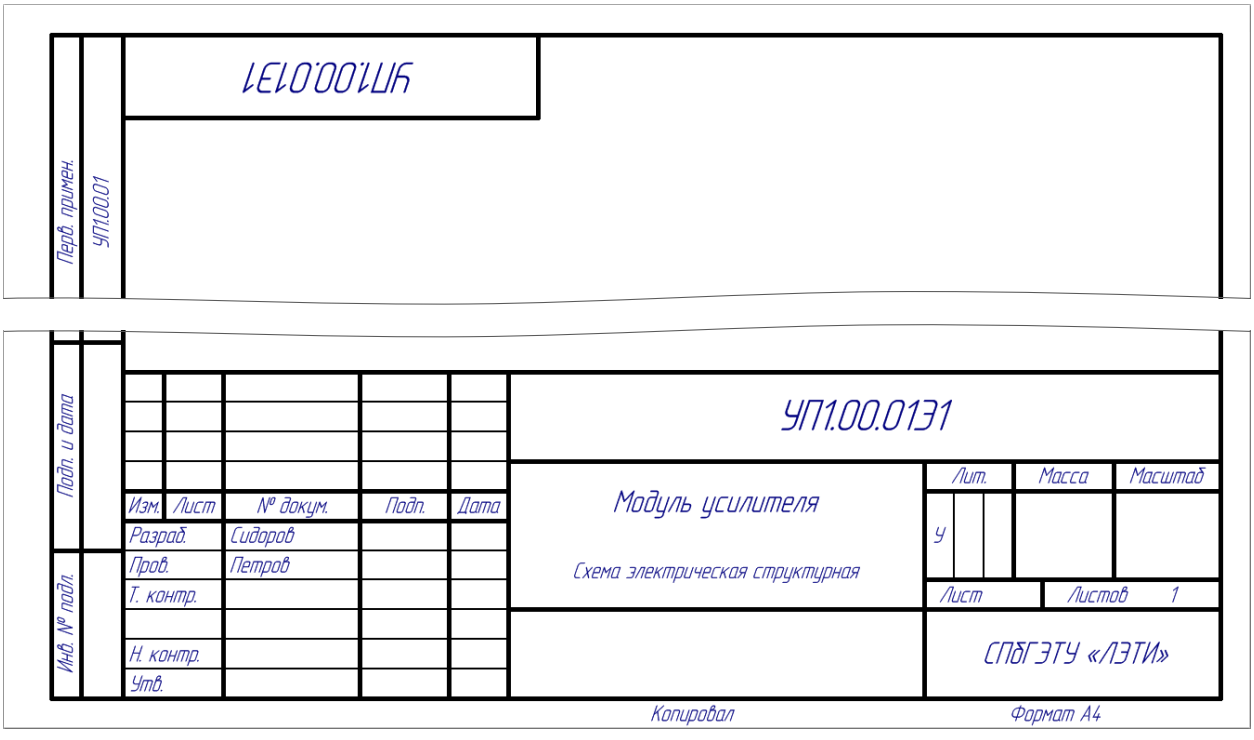


Рис. 3.9

Результат на вкладке **Parameters** окна **Document Options** в варианте «П1» показан на рис. 3.8, а в рабочем поле – на рис. 3.9.

5. Убедиться в том, что в ячейках рамки не содержится посторонней информации.

6. Сохранить изменения в схеме, выполнив в панели Projects на ее названии команду **ПКМ ⇒ Save** (или нажать комбинацию клавиш **Ctrl+S**).

3.3. Создание схемы Э1

«Модуль усилителя» по общему заданию на проектирование состоит из печатного узла («усилитель»), помещенного между двумя деталями («основанием» и «экраном»), и двух СВЧ-разъемов (см. рис. 2.4).

Для выполнения указанных в задании функций (ослабление помех, усиление полезного сигнала и регулировка уровня выходной мощности) «усилитель» содержит ПФ, усилитель и управляемый аттенюатор.

Сигнал через входной СВЧ-разъем поступает на ПФ, в котором происходит ослабление помех в соответствии с данными индивидуального задания на проектирование. Далее он усиливается в усилителе и через аттенюатор с цифровым параллельным управлением, в котором осуществляется регулировка его уровня мощности, поступает на выходной СВЧ-разъем. СВЧ-разъемы, ПФ, усилитель и аттенюатор образуют СВЧ-тракт.

В зависимости от варианта задания управление аттенюатором происходит одним из двух способов:

– подача управляющих сигналов извне через разъем (ВУ);

– формирование управляющих сигналов в ручном режиме (РУ) в узле управления, который состоит из переключателя или тактовых кнопок.

Для работы микросхемы усилителя во всех вариантах задания на ее выход подается стабильное значение тока, в качестве источника которого используется схема, называемая «токовое зеркало».

Для работы всего «усилителя» необходимо внешнее питание, которое через двухконтактный разъем подается на узел вторичного питания, представляющий собой набор различных функциональных частей:

– во всех вариантах задания он содержит схему ЗП, а также микросхему стабилизатора для формирования и стабилизации требуемого уровня напряжения;

– в некоторых вариантах задания в нем могут быть реализованы ИПС и параметрический стабилизатор напряжения.

Напряжения с узла вторичного питания поступают на «токовое зеркало» и управляемый аттенюатор. Их значения зависят от информации, указанной в документации на микросхемы аттенюатора и усилителя. Кроме того, там же указывается способ подачи питания на микросхему аттенюатора.

Пути прохождения сигналов в «модуле усилителя» для варианта «П1» без соблюдения требований ЕСКД и выделения «усилителя» как составной части изделия показаны на рис. 3.10.

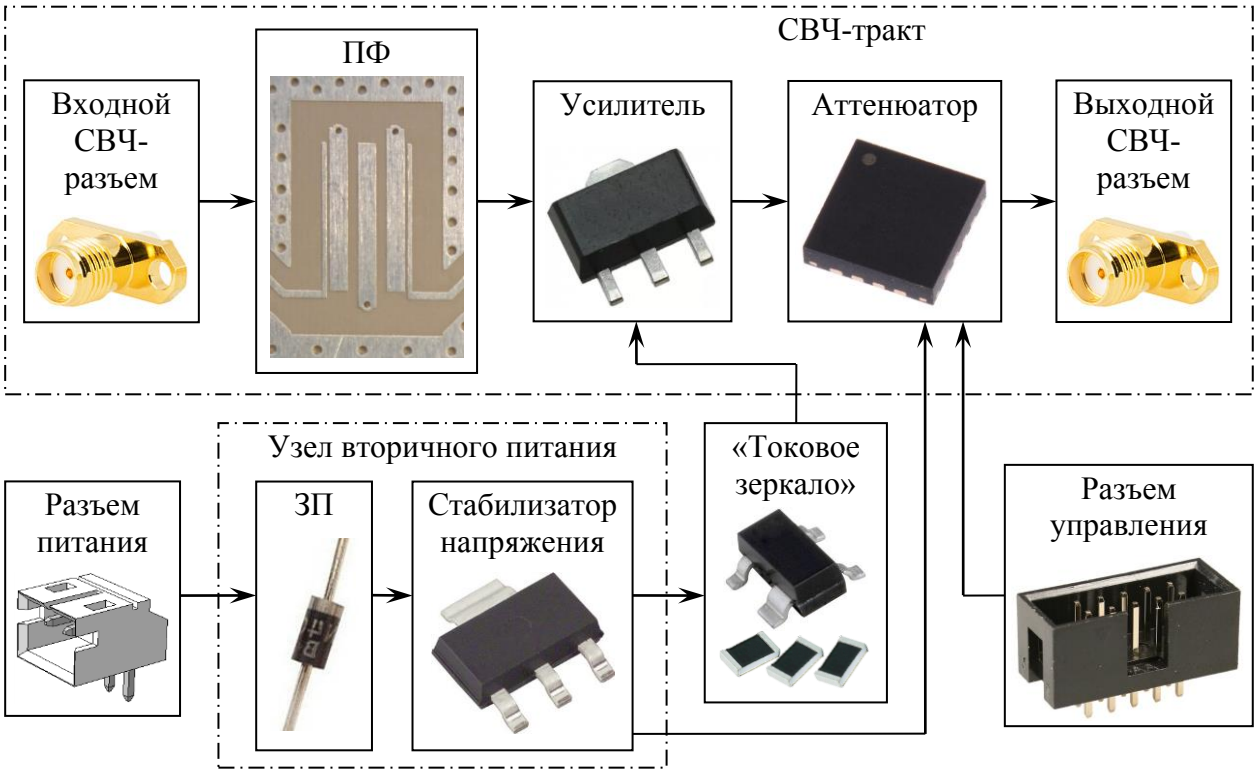
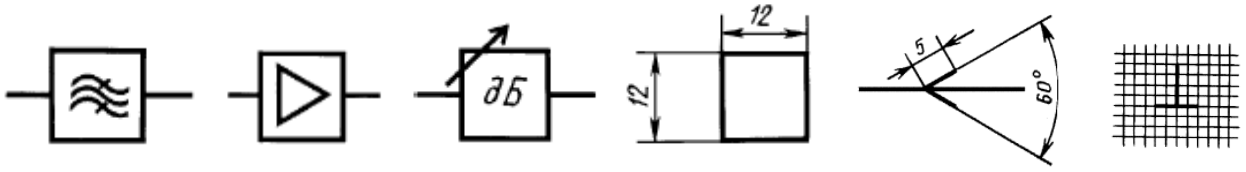


Рис. 3.10

УГО ПФ (рис. 3.11, *а*), усилителя (рис. 3.11, *б*) и управляемого аттенюатора (рис. 3.11, *в*), а также размеры общего обозначения устройства (рис. 3.11, *г*) приведены в ГОСТ 2.737–68 [17].

Обозначение распространения тока, сигнала, информации и потока энергии в одном направлении с указанием размеров (см. рис. 3.11, *д*), а также обозначение электрического соединения с корпусом с размерами в модульной сетке (см. рис. 3.11, *е*) приведены в ГОСТ 2.721–74 [18].



а *б* *в* *г* *д* *е*

Рис. 3.11 [17], [18]

Модульная сетка – виртуальная сетка, образованная вертикальными и горизонтальными линиями. Ее шаг для каждой схемы может быть любым, но одинаковым для всех элементов и устройств данной схемы.

Для создания описанной выше структуры «модуля усилителя» выполнить следующие действия:

1. Перейти в сетку **1** мм.

Переключение между установленными шагами сетки осуществляется клавишей **G** (перебор значений в сторону увеличения) или комбинацией клавиш **Shift+G** (перебор значений в сторону уменьшения).

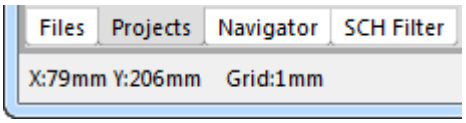


Рис. 3.12

Значение текущего шага сетки отображается в строке состояний (рис. 3.12).

2. Нарисовать три квадрата с размерами, указанными на рис. 3.11, *г*, для чего выполнить следующие действия:

2.1. Последовательно нажать клавиши **P ⇒ D ⇒ R** или запустить команду **Place ⇒ Drawing Tools ⇒ Rectangle** (создание прямоугольника).

Следует обратить внимание на то, что здесь и далее по тексту клавиши нажимаются при включенной английской раскладке клавиатуры.

2.2. После появления фантома фигуры нажать клавишу **Tab** и в открывшемся окне свойств с помощью значений координат задать требуемые размеры (рис. 3.13). Затем применить изменения кнопкой **OK**.

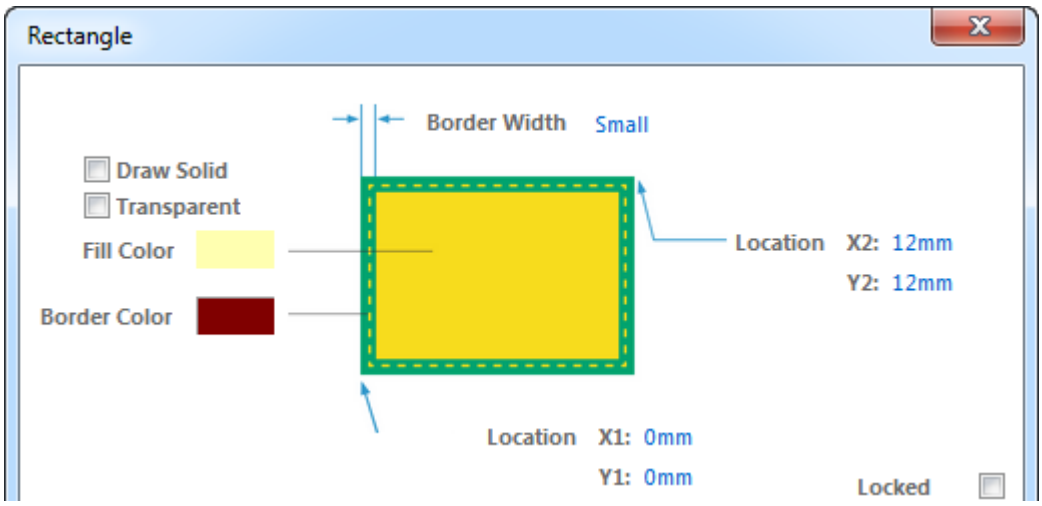


Рис. 3.13

2.3. Переместить курсор мышки в место рабочего поля, куда планируется установить фигуру, и дважды нажать клавишу **Enter**.

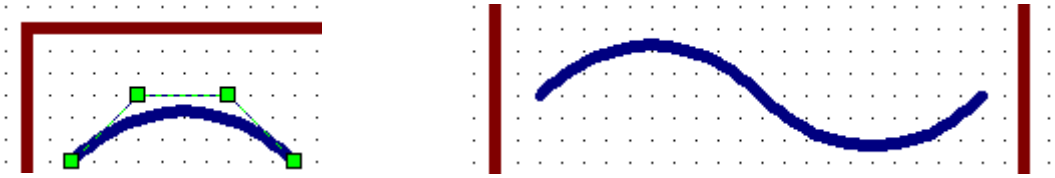
2.4. Дважды выполнить п. 2.3, разместив недалеко друг от друга еще два квадрата. После чего завершить команду клавишей **Esc** (или ПКМ).

3. В первом квадрате нарисовать обозначение ПФ (рис. 3.11, *а*), для чего выполнить следующие действия:

3.1. Перейти в сетку **0.5** мм.

3.2. Последовательно нажать клавиши **P ⇒ D ⇒ B** или запустить команду **Place ⇒ Drawing Tools ⇒ Bezier** (создание кривой Безье), после чего щелчками ЛКМ последовательно указать четыре опорные точки и завершить команду двойным нажатием клавиши **Esc** (или ПКМ).

При необходимости отредактировать положение опорных точек, предварительно щелкнув ЛКМ по нарисованной кривой (рис. 3.14, *а*).



а *б*

Рис. 3.14

3.3. Для добавления второй части волнистой кривой выполнить следующие действия:

– выбрать ЛКМ нарисованный сегмент кривой Безье и скопировать его в буфер обмена (комбинация клавиш **Ctrl+C**);

– добавить скопированный сегмент из буфера обмена без установки в рабочем поле (комбинация клавиш **Ctrl+V**);

– повернуть фантом сегмента на угол 180º двойным нажатием клавиши **Space** и зафиксировать его в рабочем поле щелчком ЛКМ так, чтобы крайние точки двух сегментов совпали (рис. 3.14, *б*).

Примечания:

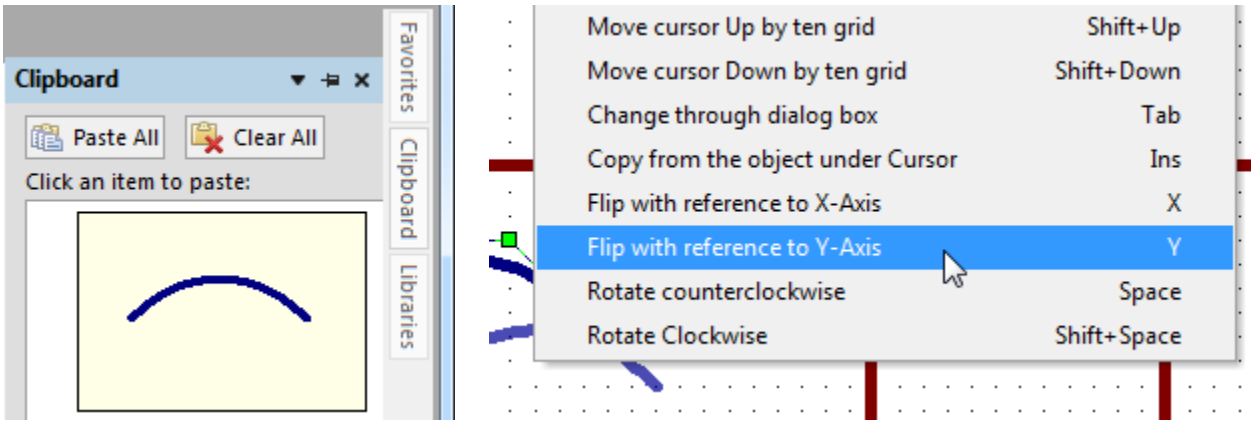
– вторую половину кривой можно было нарисовать заново;

– вместо поворота клавишей Space копию сегмента можно было перевернуть вдоль оси Y клавишей Y (переворот вдоль оси X производится клавишей X);

– объекты из буфера обмена находятся в скрытой панели Clipboard, расположенной с правой стороны рабочего поля (рис. 3.15, а);

– список доступных действий при работе с командой вызывается клавишей F1 или «~». В контекстном меню, появляющемся при нажатии клавиши «~», можно сразу же выбрать требуемое действие (рис. 3.15, б).

3.4. Скопировать созданную волнистую кривую (**Ctrl+C**) и вставить две ее копии (**Ctrl+V**) внутри квадратного контура.



а *б*

Рис. 3.15

3.5. Последовательно нажать клавиши **P ⇒ D ⇒ L** или запустить команду **Place ⇒ Drawing Tools ⇒ Line** (создание линии), после чего нарисовать два косых отрезка под углом 45º, проходящих через середины верхней и нижней волнистых линий.

Примечание. Дополнительные сведения к отдельным используемым при проектировании в Altium Designer командам даны в прилож. Г.

3.6. Выделить все графические примитивы получившегося УГО ПФ и выполнить команду **ПКМ ⇒ Unions ⇒ Create Union from selected objects** (сгруппировать выделенные объекты).

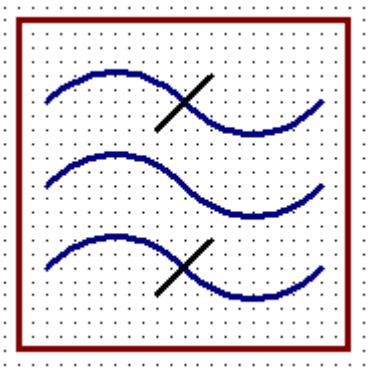


Рис. 3.16

Примечания:

– при массовом выделении мышкой слева направо выделенными окажутся только полностью попавшие в контур выделения объекты;

– при массовом выделении мышкой справа налево выделенными окажутся полностью и частично попавшие в контур выделения обекты.

Результат проделанных действий в варианте «П1» показан на рис. 3.16.

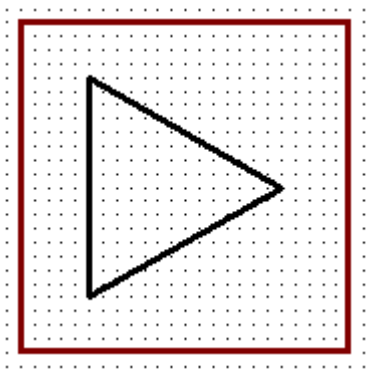


Рис. 3.17

4. В центре второго квадрата последовательным нажатием клавиш **P ⇒ D ⇒ L** (создание линии) нарисовать обозначение усилителя (рис. 3.11, *б*) в виде равностороннего треугольника.

Затем сгруппировать все графические примитивы УГО усилителя.

Результат проделанных действий в варианте «П1» показан на рис. 3.17.

5. В третьем квадрате создать обозначение управляемого аттенюатора:

5.1. Перейти в сетку **1** мм.

5.2. Последовательно нажать клавиши **P ⇒ T** или запустить команду **Place ⇒ Text String** (создание надписи).

5.3. После появления в рабочем поле фантома надписи нажать клавишу **Tab** и в открывшемся окне его свойств выполнить следующее (рис. 3.18):

– задать вертикальное и горизонтальное выравнивание по центру;

– в поле **Text** ввести **дБ**;

– в поле **Font** задать шрифт с параметрами GOST type B, 22, Italic и закрыть окно свойств кнопкой **OK**.

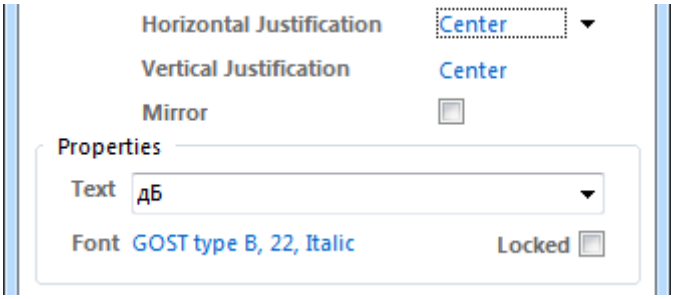


Рис. 3.18

5.4. Поместить надпись в центр третьего квадрата и завершить команду.

5.5. Последовательно нажать клавиши **P ⇒ D ⇒ L** (создание линии), после чего клавишей **Tab** открыть окно свойств, в котором в поле **End Line Shape** выбрать опцию **Arrow**, а в поле **Line Shape Size** – опцию **Medium**.

Затем закрыть окно свойств кнопкой **OK** и в левом верхнем углу третьего квадрата снизу вверх нарисовать наклонную линию под углом 45º.

При необходимости после завершения команды отредактировать положение линий.

5.6. Сгруппировать все графические примитивы УГО управляемого аттенюатора.

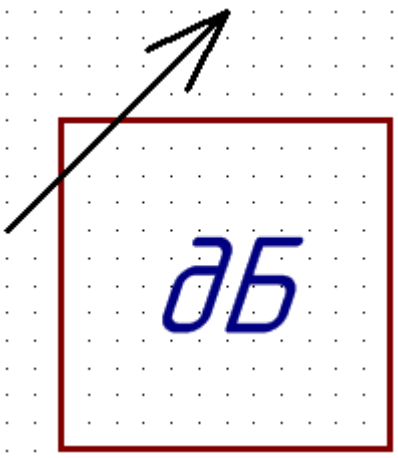


Рис. 3.19

Результат показан на рис. 3.19.

6. Добавить на рабочее поле следующие надписи:

– **Токовое зеркало**;

– **Узел вторичного питания**;

– **Узел управления** (только для вариантов задания с РУ).

Для этого последовательно нажать клавиши **P ⇒ F** или запустить команду **Place ⇒ Text Frame** (создание текстового блока).

Затем нажать клавишу **Tab** и в окне свойств текстового блока с помощью кнопки **Change** ввести требуемую надпись. После этого закрыть окно свойств кнопкой **OK** и в рабочем поле указать границы объекта.

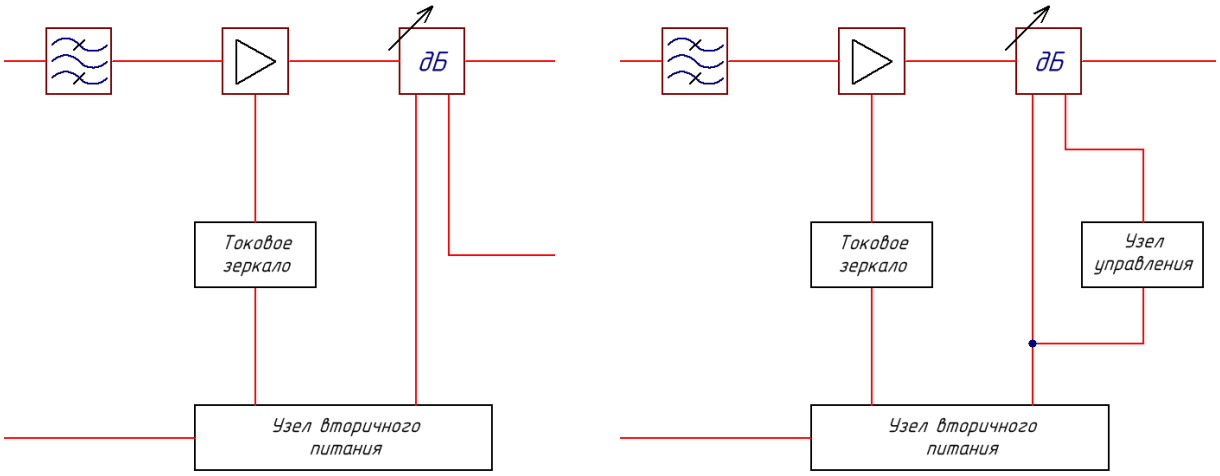
Аналогичным образом добавить оставшиеся текстовые блоки.

Если требуется, то после завершения команды произвести необходимые корректировки (например, изменить положение текста по вертикали).

Примечание. Параметры шрифта (GOST type B, 16, Italic) в текстовых блоках установлены при загрузке профиля в 3.2.2.

7. Последовательно нажать клавиши **P ⇒ W** или запустить команду **Place ⇒ Wire** (создание линии электрической связи) и показать взаимосвязи между нарисованными функциональными частями «модуля усилителя», а также все входные и выходные сигналы.

Возможный вариант расположения функциональных частей и взаимосвязей между ними для вариантов задания с ВУ показан на рис. 3.20, *а*, а для вариантов задания с РУ – на рис. 3.20, *б*.



а *б*

Рис. 3.20

Примечания:

– обозначение электрического соединения (контакта) на рис. 3.20, б появляется автоматически при соединении двух линий электрической связи. Размер точки задан в настройках в подразделе Compiler (см. табл. Г.3);

– в дальнейшем возможны корректировки расположения нарисованных объектов из-за размещения необходимой текстовой информации.

8. Показать пути распространения сигналов (см. рис. 3.10):

– перейти в сетку **0.5** мм;

– последовательно нажать клавиши **P ⇒ D ⇒ L** (создание линии) и нарисовать в любом месте рабочего поля стрелку с размерами по рис. 3.11, *д*;

– перейти в сетку **1** мм;

– выделить стрелку и вырезать ее (комбинация клавиш **Ctrl+X**);

– добавить стрелку (**Ctrl+V**) на все линии электрической связи. В момент установки ее можно повернуть клавишей **Space**

Участок схемы между ПФ и усилителем на данном этапе показан на рис. 3.21. Точки на рисунке соответствуют узлам сетки 1 мм.

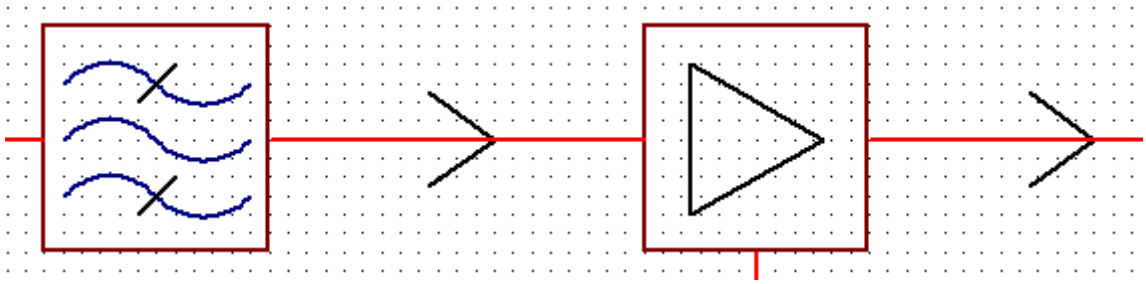


Рис. 3.21

9. Добавить на схему текстовую информацию (надписи или текстовые блоки без контура) с параметрами шрифта по умолчанию (GOST type B, 16, Italic), которые были установлены при загрузке профиля в 3.2.2.

Для этого выполнить следующие действия:

9.1. Указать названия входных и выходных сигналов: **Вход**, **Выход** и **Питание**.

Для вариантов задания с ВУ также показать сигнал **Управление**.

9.2. До ПФ записать в децибел-милливаттах уровень мощности входного сигнала из варианта индивидуального задания.

Величина децибел-милливатт (***дБм***, ***dBm***, ***dBmW***) – единица измерения абсолютного уровня мощности в децибелах относительно опорного уровня в 1 мВт. Другими словами, она показывает на сколько в децибелах данный уровень мощности больше или меньше опорного значения в 1 мВт.

Децибел (***дБ***, ***dB***) – отношение двух величин в логарифмическом масштабе. Показывает на сколько одна величина больше или меньше другой.

После создания схемы Э1 в отчете потребуется привести все указанные на ней значения мощности в милливаттах. Перевести милливатты в децибел-милливатты и обратно можно по следующим формулам:

$$P_{\text{д}} = 10\lg\left(P_{\text{м}} / P_{\text{оп}}\right),$$

$$P_{\text{м}} = P_{\text{оп}} \cdot 10^{P_{\text{д}}/10},$$

где $P_{\text{д}}$ – уровень мощности, дБм; $P_{\text{м}}$ – уровень мощности, мВт; $P_{\text{оп}}$ – опорный уровень мощности, $P_{\text{оп}} = 1$ мВт.

Поясняющие примеры соответствия некоторых уровней мощности в упомянутых единицах измерения приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Соответствие некоторых уровней мощности в разных единицах измерения

$P_{Д}$, дБм	Пояснение	$P_{М}$, мВт
+10	Текущая мощность на 10 дБ больше (или в 10 раз больше), чем 1 мВт	10
+2	Текущая мощность на 2 дБ больше (или в 1,58 раза больше), чем 1 мВт	1,58
0	Текущая мощность на 0 дБ больше (или в 1 раз больше), чем 1 мВт	1
–6	Текущая мощность на 6 дБ меньше (или в 3,98 раза меньше), чем 1 мВт	0,25
–20	Текущая мощность на 20 дБ меньше (или в 100 раз меньше), чем 1 мВт	0,01

Также следует обратить внимание на то, что дальше будет выполняться сложение и вычитание уровней мощности в децибел-милливаттах и коэффициентов усиления (или ослабления) в децибелах. В этом нет ошибки, так как фактически работа осуществляется только с децибелами (при постоянном опорном уровне 1 мВт).

Логарифмический масштаб удобен тем, что позволяет заменить операции умножения и деления сложением и вычитанием соответственно, что значительно упрощает вычисления и исключает ошибку от округления при каждом действии. Например, если сигнал мощностью минус 10 дБм ослабить на 2 дБ, то получится значение минус 12 дБм (или 0,063 мВт). При работе с милливаттами пришлось бы 0,1 мВт разделить на 1,5848 раза.

Примечание. В варианте «П1» по данным столбца 3 из табл. 1.1 записано «-10 дБм».

9.3. Под ПФ указать диапазон частот пропускания из варианта индивидуального задания.

Примечание. В варианте «П1» по данным столбца 4 из табл. 1.1 записано «2,35…2,55 ГГц».

9.4. Вычислить значение центральной частоты полосы пропускания (F_0) по следующей формуле:

$$F_0 = \left(F_{C+} + F_{C-}\right)/2, \qquad (3.1)$$

где F_{C+} и F_{C-} – верхняя и нижняя частоты полосы пропускания соответственно, указанные в варианте индивидуального задания, ГГц.

В варианте «П1» по данным столбца 4 из табл. 1.1:

$$F_0 = (2{,}55 + 2{,}35)/2 = 2{,}45 \text{ ГГц}.$$

Все расчеты с пояснениями, а также величины, для которых в тексте данного пособия будет дано указание об их сохранении, необходимо сразу же заносить в отчет или отдельный файл. Например, в варианте «П1» вычисления и записи по схеме Э1 сохранялись в Mathcad в файле «**Расчеты (Э1).xmcd**» в папке **…\ИДРЭС-П1_Заметки** (см. рис. 2.7).

9.5. Задать коэффициент передачи по мощности в децибелах для ПФ ($G_{\text{пф}}$) на частоте F_0 и сохранить его.

Так как ПФ еще нет, то эту величину следует выбрать из диапазона от минус 1,5 до минус 3 дБ. Это наиболее вероятные значения, которые получатся после моделирования в вариантах задания.

Примечание. В варианте «П1» $G_{\text{пф}} = -2$ *дБ.*

9.6. Указать уровень мощности сигнала на входе усилителя.

Примечания. В варианте «П1» с учетом результатов из пп. 9.2 и 9.5 записано «-12 дБм».

9.7. Под усилителем записать ток и напряжение, требуемые для работы указанной в варианте индивидуального задания микросхемы. Документация на микросхемы усилителей находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Усилители Mini-Circuits** (см. рис. 2.9).

Необходимые данные переписать из условий, помещаемых перед таблицей с результатами работы микросхемы при температуре +25 °С.

Примечания:

– для микросхемы GALI-3+ из варианта «П1» (столбец 8 из табл. 1.1) фрагмент указанной таблицы приведен на рис. 3.22. Как видно, ток (величина Icc) составляет 35 мА, а напряжение (величина Vd) – 3,42 В;

TEST CONDITIONS: Icc = 35mA, Vd = 3.42V @Temperature = +85degC

FREQ	Gain	Isolation	Input Return Loss	Output Return Loss	Stability		IP3 Output	1dB Comp. Output	Noise Figure
(MHz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	K	Delta	(dBm)	(dBm)	(dB)
2300	18.07	24.70	16.48	24.37	1.28	0.47	24.23	11.19	3.27
2400	17.84	24.65	16.25	23.93	1.30	0.46	23.97	10.84	3.39
2500	17.64	24.57	15.92	23.46	1.31	0.46	23.72	10.80	3.28
2600	17.41	24.60	15.63	22.84	1.33	0.44	23.28	10.48	3.35

Рис. 3.22

– при отсутствии тока над таблицей взять его номинальное значение в общих характеристиках на микросхему (таблица Electrical Specifications);

– ток и напряжение в варианте «П1» специально выбраны для температуры +85 °С для отличия от других вариантов задания.

9.8. Проверить, что уровень сигнала на входе микросхемы усилителя не превышает предельно допустимого значения, и сохранить результат.

Предельно допустимые значения параметров обычно указываются в документации в таблице *Absolute Maximum Ratings*, которая для микросхемы GALI-3+ приведена на рис. 3.23.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Ratings
Operating Temperature*	-45°C to 85°C
Storage Temperature	-65°C to 150°C
Operating Current	55mA
Input Power	13dBm

Рис. 3.23

Требуемая величина – параметр **Input Power**.

Примечание. В варианте «П1» превышения нет: –12 дБм < 13 дБм.

9.9. Определить коэффициент передачи по мощности в децибелах микросхемы усилителя (G_y) на частоте F_0 и сохранить его.

Требуемая величина – параметр **Gain** в таблице из п. 9.7.

Примечания:

– в варианте «П1» $G_y = 17{,}74$ дБ (так как частоты 2,45 ГГц в таблице нет, то значение определено по двум ближайшим частотам);

– так как ток и напряжение микросхемы GALI-3+ выбраны для температуры +85 °С, то на практике при температуре +25 °С следует ожидать увеличения коэффициента усиления примерно на 0,5 дБ (рис. 3.24).

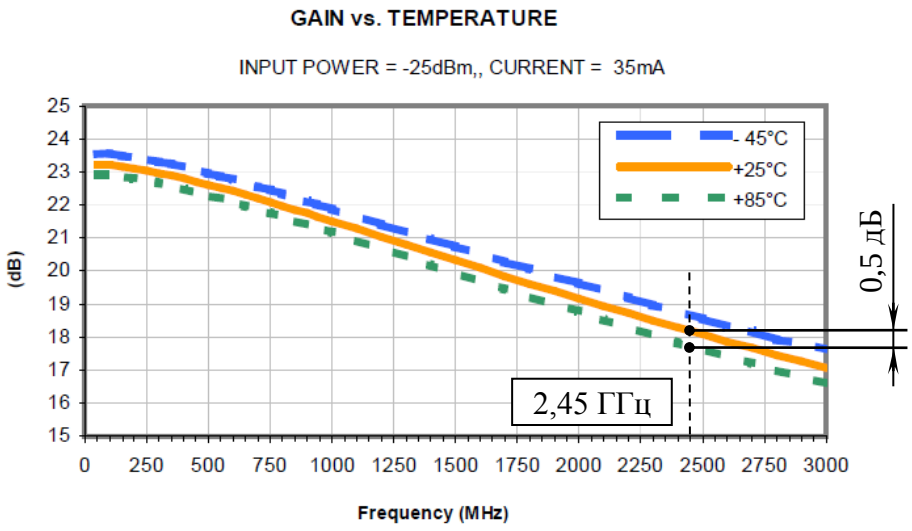


Рис. 3.24

9.10. Записать уровень сигнала на выходе усилителя.

Примечание. В варианте «П1» с учетом результатов из пп. 9.6 и 9.9 записано «+5,74 дБм».

9.11. Проверить, что уровень сигнала на выходе микросхемы усилителя на частоте F_0 не превышает значения однодецибельной точки компрессии, и сохранить результат.

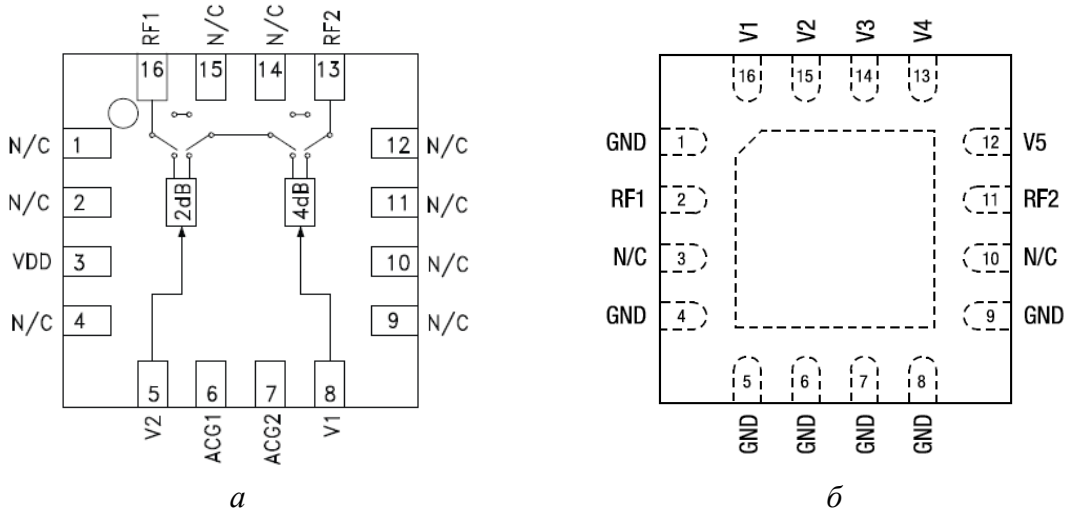
Однодецибельная точка компрессии (1dB compression output point) – точка, где отклонение амплитудной характеристики устройства от идеальной составляет 1 дБ. Характеризуется соответствующей величиной сигнала (выходного или входного) и является верхней границей линейного участка амплитудной характеристики.

Требуемая величина – параметр **1dB Comp. Output** в таблице из п. 9.7.

Примечание. В варианте «П1» превышения нет: 5,74 дБм < 10,82 дБм (значение определено по двум ближайшим частотам, как и для Gain).

9.12. Под аттенюатором записать напряжение питания, требуемое для работы указанной в варианте индивидуального задания микросхемы. Документация на микросхемы аттенюаторов находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Аттенюаторы** (см. рис. 2.9).

О подаче питания зачастую свидетельствует наличие вывода **VDD**, показанного на рисунке с условным изображением корпуса микросхемы. Например, в микросхеме HMC467LP3 из варианта «П1» (столбец 9 из табл. 1.1) таким выводом является вывод 3 на рис. 3.25, *а*.



а *б*

Рис. 3.25

Однако питание может требоваться и микросхеме, у которой нет такого отдельного вывода, как например SKY12328-350LF с рис. 3.25, *б*.

Величина напряжения питания (**Supply Voltage**), его диапазон и необходимость подачи приводятся в документации на микросхему в разделах *Features* и *General Description* и в таблицах *Electrical Specifications*, *Operating Characteristics*, *Pin Descriptions*, *Bias Voltage & Current*.

Пример таблицы *Bias Voltage & Current* для микросхемы HMC467LP3 показан на рис. 3.26. Здесь указано номинальное напряжение питания +5 В с допустимым диапазоном ±10 %, а также номинальное и максимальное значения тока потребления на выводе VDD (0,7 и 1,2 мА соответственно).

Bias Voltage & Current

Vdd Range= +5.0 Vdc ± 10%		
Vdd (Vdc)	Idd (Typ.) (mA)	Idd (Max.) (mA)
+5.0	0.7	1.2

Рис. 3.26

На рис. 3.27, *а* для микросхемы SKY12328-350LF показан фрагмент таблицы с описанием назначения выводов, из которой следует, что напряжение питания в диапазоне от 2,7 до 5,5 В должно быть подано на вывод 2 (обозначен как RF1) через резистор номиналом 10 кОм по схеме с отделного рисунка. Также этот вывод требует установки разделительного конденсатора и может использоваться как вход, так и выход аттенюатора. Кроме того, из фрагмента таблицы *Electrical Specifications* (рис. 3.27, *б*) следует, что напряжение питания не должно отличаться от высокого уровня напряжения управления (High Control voltage с диапазоном от 2,7 до 5,5 В) более чем на 0,2 В.

Table 1. SKY12328-350LF Signal Descriptions

Pin #	Name	Description
1	GND	Ground
2	RF1	RF input or output port. A DC blocking capacitor is required. Supply voltage of 2.7 to 5.5 V is applied to pin 2 through a 10 kΩ resistor (see Figure 10).
3	N/C	No connection

а

Table 3. SKY12328-350LF Electrical Specifications (Note 1)
(V_{CTL} = 0/5 V, T_{OP} = +25 °C, P_{IN} = 0 dBm, Characteristic Impedance [Z_0] = 50 Ω, Unless Otherwise Noted)

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typical	Max	Units
Supply voltage	V_S		V_{HIGH} – 0.2		V_{HIGH} + 0.2	V
Control voltage: High Low	V_{CTL}		 2.7 –0.2		 5.5 +0.2	 V V

б

Рис. 3.27

Примечания:

– все микросхемы аттенюаторов из вариантов задания требуют подачи напряжения питания;

– при наличии диапазона значений желательно подавать на микросхему уровень напряжения питания выше среднего;

– в варианте «П1» по рис. 3.26 напряжение задано равным +5 В.

9.13. Проверить, что уровень сигнала на входе аттенюатора не превышает предельно допустимого значения, и сохранить результат.

Таблица с предельно допустимыми значениями параметров для микросхемы HMC467LP3 показана на рис. 3.28.

Absolute Maximum Ratings

Control Voltage (V1, V2)	-0.5 Vdc to Vdd +1 Vdc
Bias Voltage (Vdd)	+7.0 Vdc
Staorage Temperature	-65 to +150 °C
Operating Temperature	-40 to +85 °C
RF Input Power	+30 dBm
ESD Sensitivity (HBM)	Class 1A

Рис. 3.28

Требуемая величина – параметр **RF Input Power**.

Примечание. В варианте «П1» превышения нет: 5,74 дБм < 30 дБм.

9.14. После аттенюатора с использованием документации на соответствующую микросхему указать уровни выходного сигнала с учетом всех возможных ослаблений:

9.14.1. Определить количество выводов управления микросхемы аттенюатора ($N_{\text{упр}}$) и сохранить значение.

Необходимую информацию можно найти на функциональной схеме, в таблице *Pin Descriptions* и в головке таблицы *Truth Table*. Вид последней для микросхемы HMC467LP3 показан на рис. 3.29, *а*.

Примечание. В варианте «П1» по рис. 3.25, а таких выводов два: № 5 (обозначен как V2) и № 8 (обозначен как V1).

9.14.2. Вычислить количество возможных уровней ослабления ($N_{\text{атт}}$) по следующей формуле, сохранив полученное значение:

$$N_{\text{атт}} = 2^{N_{\text{упр}}},$$

где 2 – число уровней напряжения управления, значения которых обычно приводятся в таблицах *Control Voltages*, *Electrical Specifications* или около таблицы *Truth Table*.

Truth Table

Control Voltage Input		Attenuation Setting RF1 - RF2
V1 4 dB	V2 2 dB	
High	High	Reference I.L.
High	Low	2 dB
Low	High	4 dB
Low	Low	6 dB Max. Atten.
Any combination of the above states will provide an attenuation approximately equal to the sum of the bits selected.		

а

TTL/CMOS Control Voltages

State	Bias Condition
Low	0 to 0.8 Vdc @ -5 uA Typ.
High	+2.0 to +5.0 Vdc @ 40 uA Typ.

б

Рис. 3.29

Примечания:

– для микросхемы HMC467LP3 по рис. 3.29, б уровни напряжения управления составляют: высокий уровень (High или U_H) – от плюс 2 до плюс 5 В, низкий уровень (Low или U_L) – от 0 до плюс 0,8 В. Например, при подаче уровня Low на вывод V1 и уровня High на вывод V2 будет получено ослабление 4 дБ без учета опорных вносимых потерь (см. пп. 9.14.3 и 9.14.4);

– уровни управляющих напряжений вместо Low и High могут быть обозначены как «0» и «1»;

– в варианте «П1» существует 4 уровня ослабления.

9.14.3. Записать в отчет все уровни ослабления микросхемы аттенюатора на основании таблицы *Truth Table*, обратив внимание на следующее:

– минимальный уровень ослабления на данном этапе записать равным нулю. Приведенные в таблице значения ослаблений указаны без учета опорных вносимых потерь, т. е. нормированы к этому параметру (см. п. 9.14.4). Зависимости нормированных уровней ослабления от частоты для микросхемы HMC467LP3 показаны на рис. 3.30. Как видно из рисунка, они практически не изменяются в рабочем диапазоне частот микросхемы;

– если управляющих выводов много, то в таблице *Truth Table* будут перечислены не все возможные уровни ослабления. Например, для микросхемы SKY12328-350LF в таблице на рис. 3.31 для пяти выводов управления приведено лишь семь уровней ослабления из возможных 32:

а) минимальный (на все выводы управления подан уровень High);

б) максимальный (на все выводы управления подан уровень Low);

в) уровни ослабления отдельно по каждому выводу управления (на соответствующий вывод подан уровень Low, а на все остальные – уровень High).

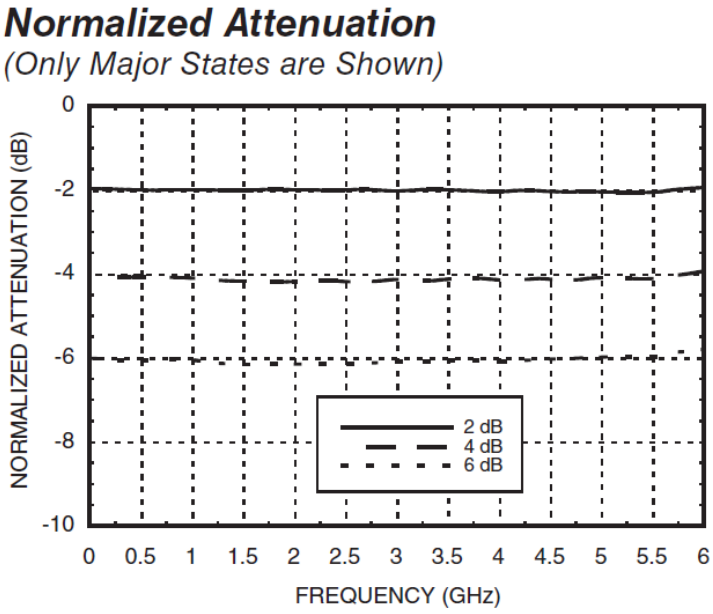


Рис. 3.30

Table 4. SKY12328-350LF Truth Table

Nominal Attenuation	V1 (Pin 1)	V2 (Pin 2)	V3 (Pin 3)	V4 (Pin 4)	V5 (Pin 5)
Reference insertion loss	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{HIGH}
0.5 dB	V_{LOW}	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{HIGH}
1.0 dB	V_{HIGH}	V_{LOW}	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{HIGH}
2.0 dB	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{LOW}	V_{HIGH}	V_{HIGH}
4.0 dB	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{LOW}	V_{HIGH}
8.0 dB	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{HIGH}	V_{LOW}
15.5 dB	V_{LOW}	V_{LOW}	V_{LOW}	V_{LOW}	V_{LOW}

Note: V_{HIGH} = +3 V to 5 V. V_{LOW} = 0 V to +0.2 V.
This Table shows the logic required for the major bits and full attenuation. Bit states need to be used in combination to set the sum of the bits selected.

Рис. 3.31

Неуказанные уровни ослабления определяются суммой уровней ослабления по каждому выводу управления. Например, для получения ослабления 6,5 дБ необходимо подать уровень Low на выводы V1, V3 и V4 (0,5, 2 и 4 дБ соответственно) и уровень High на выводы V2 и V5;

– при большом количестве значений запись осуществить в виде «*А; Б; В; …; Ж*», где *А*, *Б*, *В* и *Ж* – первое, второе, третье и последнее значение соответственно (между *А* и *Б*, *Б* и *В* будет одинаковый шаг).

Примечание. В варианте «П1» по рис. 3.29, а: 0; 2; 4; 6 дБ.

9.14.4. Определить значение опорных вносимых потерь на частоте F_0 и зафиксировать результат в отчете вместе с графиком.

Опорные вносимые потери (Reference Insertion Loss) – это дополнительное ослабление, которое микросхема вносит в проходящий через нее сигнал

вне зависимости от установленной комбинации напряжений управления на управляющих выводах. Данные потери зависят от рабочей температуры и частоты сигнала и приводятся на соответствующем графике, который для микросхемы HMC467LP3 показан на рис. 3.32.

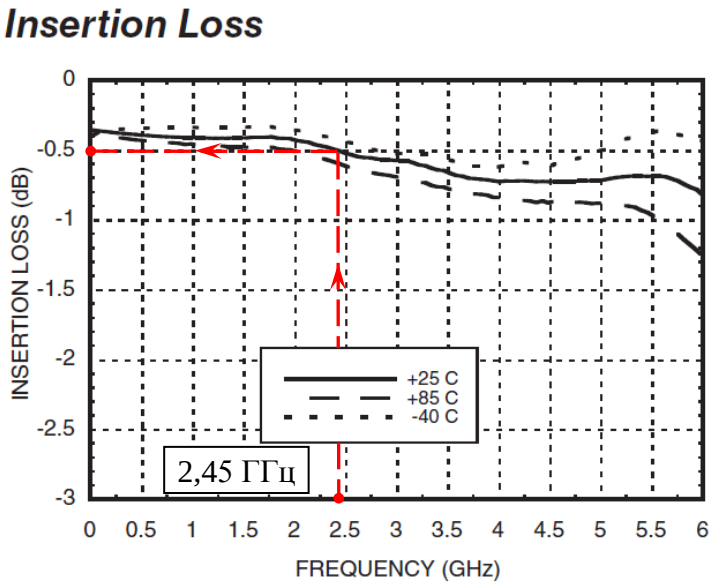


Рис. 3.32

Примечание. При температуре +25 ºС на частоте F_0 в варианте «П1» опорные вносимые потери составили 0,5 дБ (см. рис. 3.32).

9.14.5. Добавить к каждому уровню ослабления из п. 9.14.3 модуль опорных вносимых потерь и записать значения в отчет.

Примечание. В варианте «П1»: 0,5; 2,5; 4,5; 6,5 дБ.

9.14.6. Вычесть из уровня мощности на выходе усилителя (см. п. 9.10) значения из п. 9.14.5, записав результат на схеме после аттенюатора.

Примечание. Запись в варианте «П1»: «+5,24; +3,24; +1,24; -0,24 дБм».

10. Обозначить «усилитель», для чего выполнить следующие действия:

– последовательным нажатием клавиш **P ⇒ D ⇒ R** нарисовать прямоугольный контур, охватывающий все функциональные части, обратив внимание на то, что от надписей и границ функциональных частей до нарисованного контура должен быть оставлен зазор не менее 3 мм;

– последовательным нажатием клавиш **P ⇒ T** внутри прямоугольного контура сверху справа записать название и обозначение «усилителя».

Примечание. В варианте «П1» записано «Усилитель УП1.01.01».

11. Обозначить «экран» вокруг функциональных узлов СВЧ-тракта.

Экранирование по ГОСТ 2.721–74 обозначается замкнутым контуром (рекомендуется прямоугольной формой) из штриховых линий, которые со-

стоят по ГОСТ 2.303–68 из штрихов длиной 2–8 мм, расположенных на расстоянии 1–2 мм друг от друга [19]. Размеры штриховой линии должны быть одинаковы на всей схеме.

Для создания «экрана» последовательным нажатием клавиш **P ⇒ D ⇒ L** отдельными штрихами нарисовать замкнутый контур вокруг ПФ, усилителя и аттенюатора, при этом он должен находится за пределами контура, обозначающего «усилитель» (так как «экран» входит в состав «модуля усилителя»). Используются отдельные штрихи, так как стиль линии **Dashed** не соответствует указанным выше параметрам.

Расстояние до других объектов должно быть не менее 3 мм.

12. Под один из штрихов на нижней стороне контура «экрана» последовательным нажатием клавиш **P ⇒ O** (или командой **Place ⇒ Power Port**) добавить символ земли – идентификатор цепи **GND Power Port**.

Примечание. Подробнее об идентификаторах цепей см. в Г.27.

13. В месте соединения символа земли и контура «экрана» последовательным нажатием клавиш **P ⇒ J** или командой **Place ⇒ Manual Junction** добавить обозначение электрического соединения, выбрав в его свойствах размер **Small**.

14. Сохранить изменения в схеме (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 3.33.

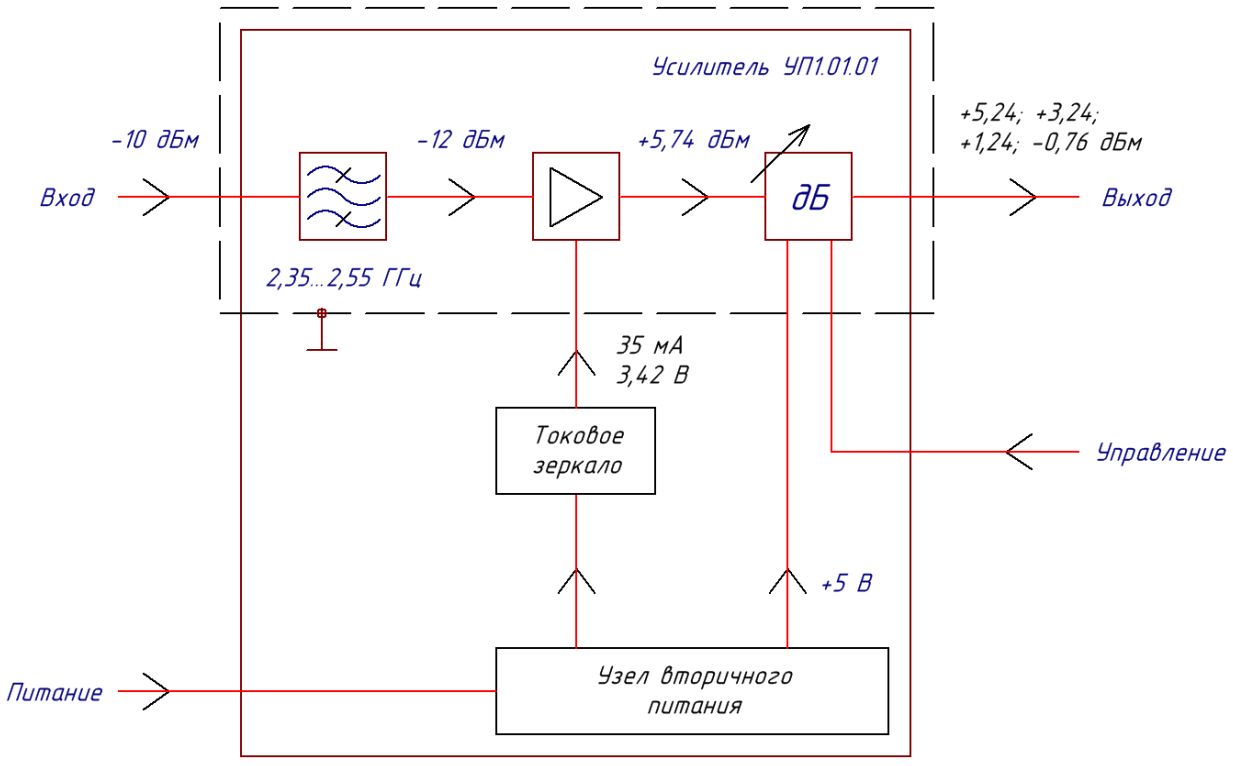


Рис. 3.33

15. При желании выполнить 2-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3 и прил. Ж).

В дальнейшем по результатам расчетов, произведенных в схеме Э3 «усилителя» из разд. 8, в схему Э1 будут внесены следующие изменения:

– добавлены значения диапазона входного напряжения питания и тока потребления устройства;

– добавлено значение напряжения, поступающего на «токовое зеркало», или скорректировано количество уровней напряжений, формируемых узлом вторичного питания.

На рис. 3.34 показано содержание файла «**Расчеты (Э1).xmcd**».

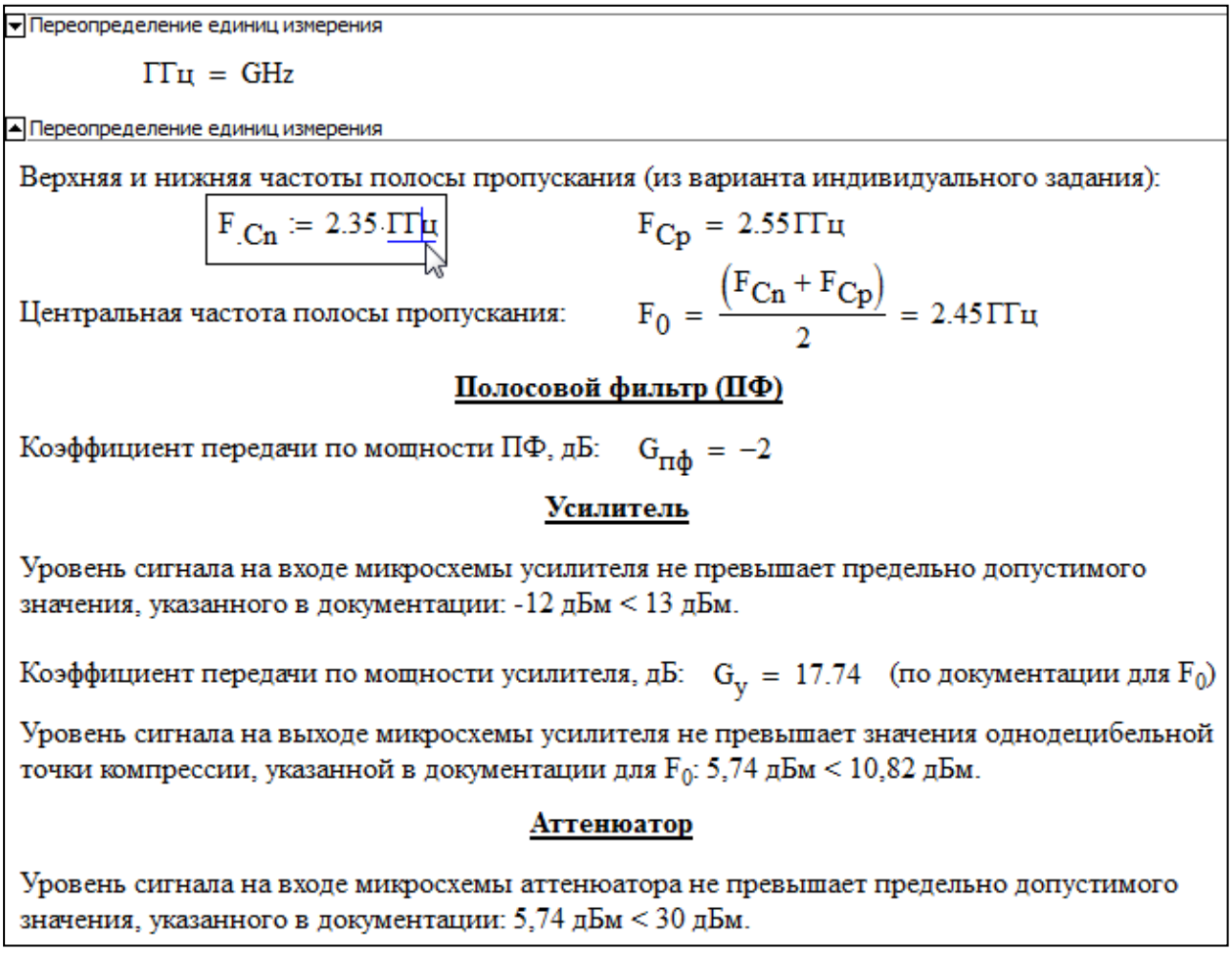


Рис. 3.34

Для составления выражений использовалась ПИ **Calculator**, вызываемая командой **View ⇒ Toolbars ⇒ Calculator** (рис. 3.35).

Левый нижний оператор в данной ПИ (**:=**) – оператор присваивания (значение или выражение справа от него задается переменной, записанной слева), а правый нижний оператор (**=**) – оператор вычисления (выводит значение переменной).

Текстовые надписи выполнены стилем **Normal**. В окне **Text Styles** (команда **Format ⇒ Style**) для него были заданы следующие параметры: Font – Times New Roman, Font style – обычный, Size – 12, Script – Кириллица.



Рис. 3.35

Редактирование стилей выражений производится в окне **Equation Format** (команда **Format ⇒ Equation**). Для стилей **Variables** (выражения) и **Constants** (константы) были заданы такие же параметры, как и для стиля Normal.

В начале документа командой **Insert ⇒ Area** добавлена область, щелкнув по границам которой ЛКМ можно скрыть находящуюся внутри нее информацию. Например, это может пригодиться для защиты информации паролем (**ПКМ ⇒ Lock**, где ПКМ – правая кнопка мышки) или для разбиения расчетов на части (в свойствах области можно изменить цвет границ и задать наименование). В данном файле в нее помещено выражение для смены единиц измерения (с английских названий на русские).

Пользовательские единицы измерения записываются при редактировании выражений переменных после их значений.

Для изменения наименования единицы измерения результата выражения на пользовательское необходимо ввести его перед черным квадратом (рис. 3.36).

$$F_{.0} := \frac{\left(F_{.Cn} + F_{.Cp}\right)}{2} = 2.45 \times 10^{9} \cdot \frac{1}{s}$$

Рис. 3.36

Запись индекса начинается с ввода символа «точка» с клавиатуры сразу после буквенного обозначения переменной.

Чтобы заменить знак умножения, отображающийся между числом и единицей измерения (например, на пробел), необходимо выполнить на нем команду **ПКМ ⇒ View Multiplication As ⇒ Thin Space**.

Заменить обозначение «**:=**» на «**=**» можно как отдельно в каждой формуле, выполнив на нем команду **ПКМ ⇒ View Definition As ⇒ Equal**, так и для всего документа, выполнив последовательность команд **Tools ⇒ Worksheet Options ⇒ Display ⇒ Definition ⇒ Equal ⇒ OK**.

В Mathcad существует средство автоматической подстановки значений переменных в формулу – функция (ключевое слово) explicit из ПИ **Symbolic** (команда **View ⇒ Toolbars ⇒ Symbolic**). Функция добавляется сразу после выражения (если последним элементом является дробь, то курсор должен находиться или в конце числителя, или в конце знаменателя), а далее после запятой записываются переменные, значения которых должны быть подстав-

лены (разделитель – также запятая). Для указания всех переменных служит слово ALL (рис. 3.37).

$$F_{.0} := \frac{F_{.Cn} + F_{.Cp}}{2} \text{ explicit, ALL} \rightarrow \frac{2.35 \cdot GHz + 2.55 \cdot GHz}{2} = 2.45 \cdot \text{ГГц}$$

Рис. 3.37

Для скрытия названия функции служит команда **ПКМ ⇒ Hide keywords**, а для замены стрелки на знак равенства – команда **ПКМ ⇒ View Evaluation As ⇒ Equal sign** (также это можно сделать сразу во всем документе последовательностью команд **Tools ⇒ Worksheet Options ⇒ Display ⇒ Symbolic Evaluation ⇒ Equal ⇒ OK**).

Недостатки указанной подстановки:

– единицы измерения всегда записываются после соответствующих значений и без учета пользовательской смены их названий;

– десятичные дробные значения необходимо предварительно округлять (вручную или с помощью функции round с указанием в скобках через запятую округляемого числа и количества знаков после запятой).

3.4. Содержание отчета

По 3-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Краткое описание назначения изображенных на схеме Э1 функциональных частей и путей распространения сигналов.

2. Расчет центральной частоты полосы пропускания ПФ.

3. Уровни СВЧ-сигнала, указанные на схеме Э1, в милливаттах и децибел-милливаттах.

4. Результаты проверок по пп. 9.8, 9.11 и 9.13 из З.З с соответствующими рисунками из документаций на микросхемы.

5. Уровни ослабления микросхемы аттенюатора без учета опорных вносимых потерь на частоте F_0 и с их учетом, а также график, по которому производилось определение указанных потерь.

6. Рисунок схемы Э1 без рамки. Рисунок сделать или клавишей **Prt Sc** с последующей обрезкой лишней информации, или с помощью приложения **Ножницы**.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЧ-ФИЛЬТРОВ

4.1. Общие сведения о фильтрах

Фильтром называется устройство, устанавливаемое между выводами электрической цепи с целью изменения соотношения между частотными составляющими спектра проходящего через него сигнала.

В зависимости от формы ***амплитудно-частотной характеристики*** (АЧХ, кривая зависимости затухания от частоты) имеется четыре основных класса фильтров [20]:

1. ***Фильтр нижних частот (ФНЧ)***. Фильтры этого класса пропускают только низкочастотные составляющие спектра сигнала обычно от постоянной составляющей и до частоты, называемой частотой среза. Все спектральные составляющие сигнала выше этой частоты ФНЧ подавляет.

2. ***Фильтр верхних частот (ФВЧ)***. Фильтры этого класса подавляют в спектре сигнала все компоненты с частотой от 0 до частоты среза. Спектральные составляющие сигнала выше этой частоты пропускаются ФВЧ без искажений.

3. ***Полосовой фильтр (ПФ)***. Фильтры этого класса пропускают без искажений все спектральные компоненты сигнала только в пределах заданной полосы частот (***полоса пропускания***) и подавляют все компоненты вне ее (***полоса задерживания***).

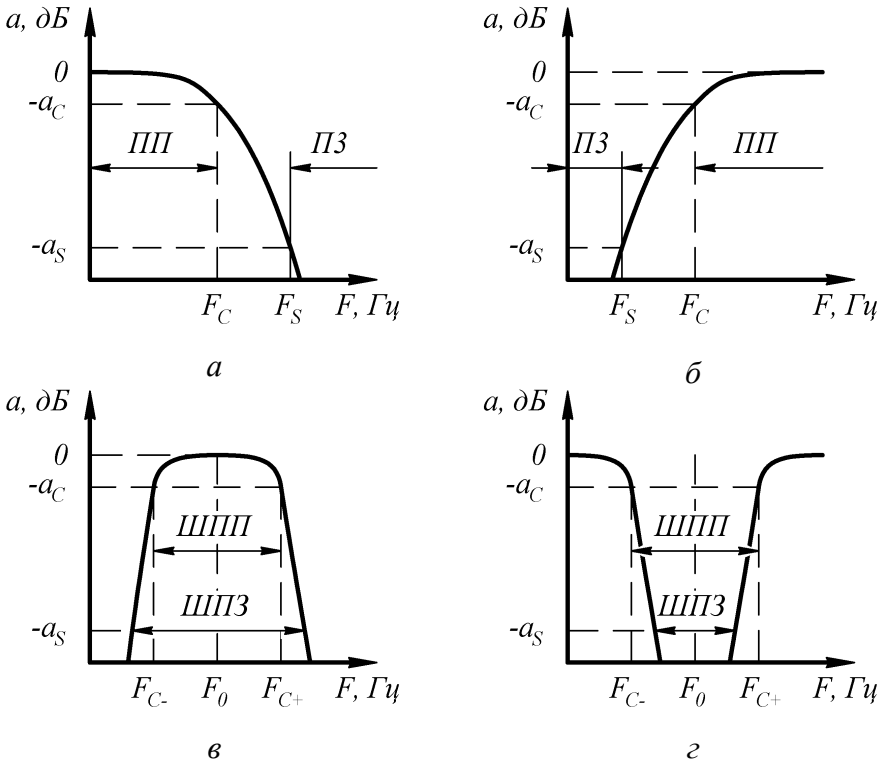
4. ***Режекторный фильтр (РФ)***. Фильтры этого класса подавляют компоненты спектра внутри заданной полосы и пропускают без искажений частоты вне этой полосы.

Данные выше определения характеризуют идеальные фильтры и применимы для фильтров на любых частотах.

В реальных фильтрах между полосой пропускания и полосой задерживания всегда существует некоторая переходная область, поэтому вводится понятие ***граничная частота полосы задерживания*** (F_S). Это частота, выше или ниже которой фильтр начинает подавлять спектральные составляющие на величину, превышающую заданный уровень ослабления a_S.

Кроме того, реальные фильтры ослабляют сигнал и в полосе пропускания, поэтому в данном пособии под ***частотой среза*** (F_C) будет пониматься частота, выше или ниже которой фильтр подавляет спектральные составляющие на величину, не превышающую заданного уровня ослабления a_C.

На следующих рисунках приведены формы ФЧХ реальных фильтров: ФНЧ – рис. 4.1, *а*; ФВЧ – рис. 4.1, *б*; ПФ – рис. 4.1, *в*; РФ – рис. 4.1, *г*.



ПП – полоса пропускания; *ПЗ* – полоса задерживания;
ШПП – ширина полосы пропускания; *ШПЗ* – ширина полосы задерживания

Рис. 4.1

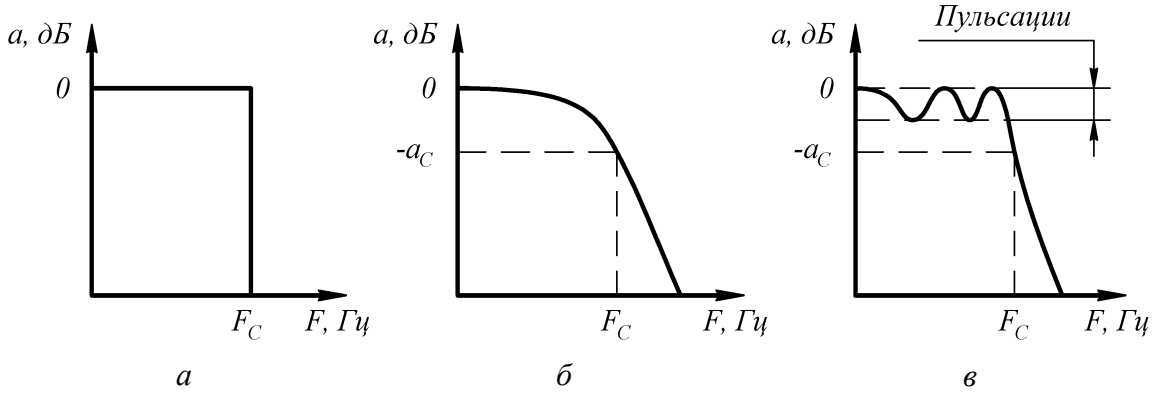


Рис. 4.2

Среди наиболее характерных видов АЧХ на примере ФНЧ в сравнении с его идеальной характеристикой (рис. 4.2, *а*) различают следующие группы фильтров:

1. ***Фильтр Баттерворта***. Этот фильтр (рис. 4.2, *б*) имеет АЧХ, форма которой в середине полосы пропускания очень близка к плоской и несколько закругляется в окрестности частоты среза. За пределами полосы пропускания скорость затухания увеличивается и в некоторых случаях достигает $6n_ф$ дБ

на октаву, где $n_ф$ – порядок фильтра. Порядок для фильтра Баттерворта рассчитывается по формуле [21]:

$$n_ф = \frac{\lg\left(\sqrt{\frac{L_S - 1}{L_C - 1}}\right)}{\lg\left(F_S / F_C\right)}, \tag{4.1}$$

где L_S и L_C – функции рабочего затухания, соответствующие уровням затухания a_S и a_C в полосе задерживания и пропускания соответственно.

Указанные параметры можно найти по следующим формулам:

$$L_S = 10^{a_S/10}, \tag{4.2}$$

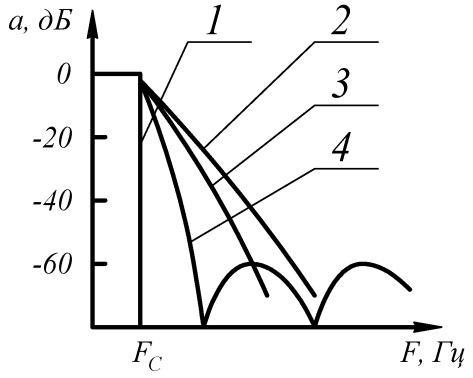
$$L_C = 10^{a_C/10}. \tag{4.3}$$

Фильтры Баттерворта очень просты в изготовлении, так как к параметрам элементов схемы не предъявляется никаких особых требований.

2. ***Фильтр Чебышева***. Этот фильтр (см. рис. 4.2, *в*) точнее воспроизводит АЧХ идеального ФНЧ. В области частоты среза форма его АЧХ является почти прямоугольной, а скорость ее спуска к полосе задерживания более крутой, чем у фильтра Баттерворта. Однако в полосе пропускания присутствует неравномерность в виде пульсаций. Чем их больше, тем круче АЧХ в области частоты среза для данного порядка и тем чувствительнее к изменению параметров элементов становится схема.

В первой октаве затухание превосходит $6n_ф$ дБ.

3. ***Эллиптический фильтр***. Фильтры Чебышева и Баттерворта полностью подавляют лишь спектральные составляющие с бесконечными частотами, а эллиптические фильтры позволяют получить форму АЧХ (рис. 4.3), обеспечивающую полное подавление определенных компонентов спектра в полосе задерживания вблизи частоты среза.



1 – идеальный ФНЧ;
2 – ФНЧ Баттерворта;
3 – ФНЧ Чебышева;
4 – эллиптический ФНЧ

Рис. 4.3

В полосе пропускания эллиптических фильтров имеются пульсации, а в полосе задерживания – дополнительные участки с одинаковой амплитудой. Для заданного порядка фильтра данная группа фильтров обладает АЧХ с самым крутым из теоретически возможных спуском к полосе задерживания.

4.2. Типовые топологии основных классов СВЧ-фильтров

С повышением частоты физические размеры сосредоточенных элементов уменьшаются и на частотах выше нескольких сотен мегагерц становятся настолько малыми, что их изготовление и применение вызывает серьезные трудности. Например, изготовить пригодные для практического применения сосредоточенные индуктивности в диапазоне выше 200 МГц и сосредоточенные емкости в диапазоне выше 2 ГГц становится затруднительно, так как межвитковая емкость катушек индуктивности и индуктивность выводов конденсаторов приводит к возникновению резонансов.

Кроме того, по мере повышения частоты на параметры сосредоточенных элементов все большее влияние начинают оказывать излучение и тепловые потери в них. Поэтому на достаточно высоких частотах предпочтение часто отдается отрезкам линии передачи, используемым в качестве элементов фильтров.

Таким образом, СВЧ-фильтр представляет собой линию передачи, которая включает неоднородности, согласованные в определенной полосе частот и резко рассогласованные вне этой полосы. В этом смысле работа фильтра похожа на работу широкополосного согласующего устройства.

Подбором длин и волновых сопротивлений отрезков линий передачи стараются смоделировать поведение сосредоточенных элементов в схеме соответствующего фильтра-прототипа. Однако такой подход к синтезу фильтров – это лишь начальное и весьма грубое приближение, так как в этом случае не учитывается ряд важных факторов, влияющих на АЧХ, например:

– реактивности в месте стыка отрезков линий передачи;

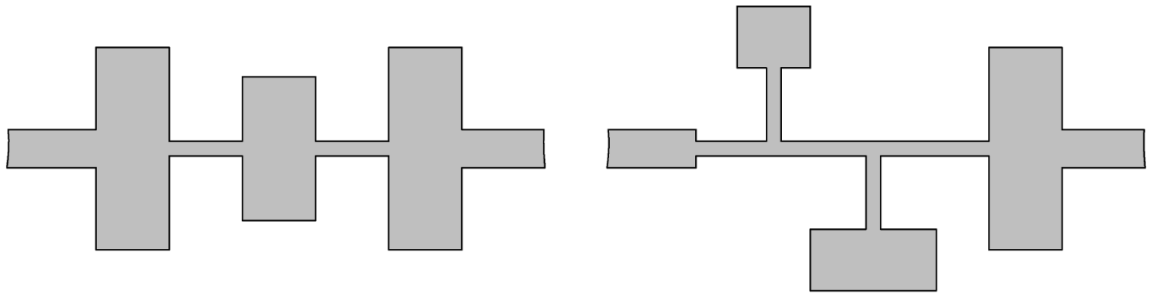
– дисперсия в линиях передачи;

– периодичность частотных характеристик элементов с распределенными параметрами.

Действительная АЧХ фильтров на резонаторах обычно оказывается смещена вниз по частоте. Основной вклад в это вносят краевые емкости на концах разомкнутых отрезков линии, которые приводят к тому, что длина резонаторов оказывается завышенной. Поэтому часто расчетные значения длин резонаторов необходимо уменьшать [22]–[24].

Топологии ФНЧ СВЧ-диапазона. Наиболее простая топология ФНЧ представлена на рис. 4.4, *а*. Она состоит из каскадного соединения коротких отрезков линии с высоким и низким волновыми сопротивлениями. Отрезки линии с высоким волновым сопротивлением эквивалентны индуктивностям

фильтра-прототипа, а отрезки с низким волновым сопротивлением – емкостям фильтра-прототипа.

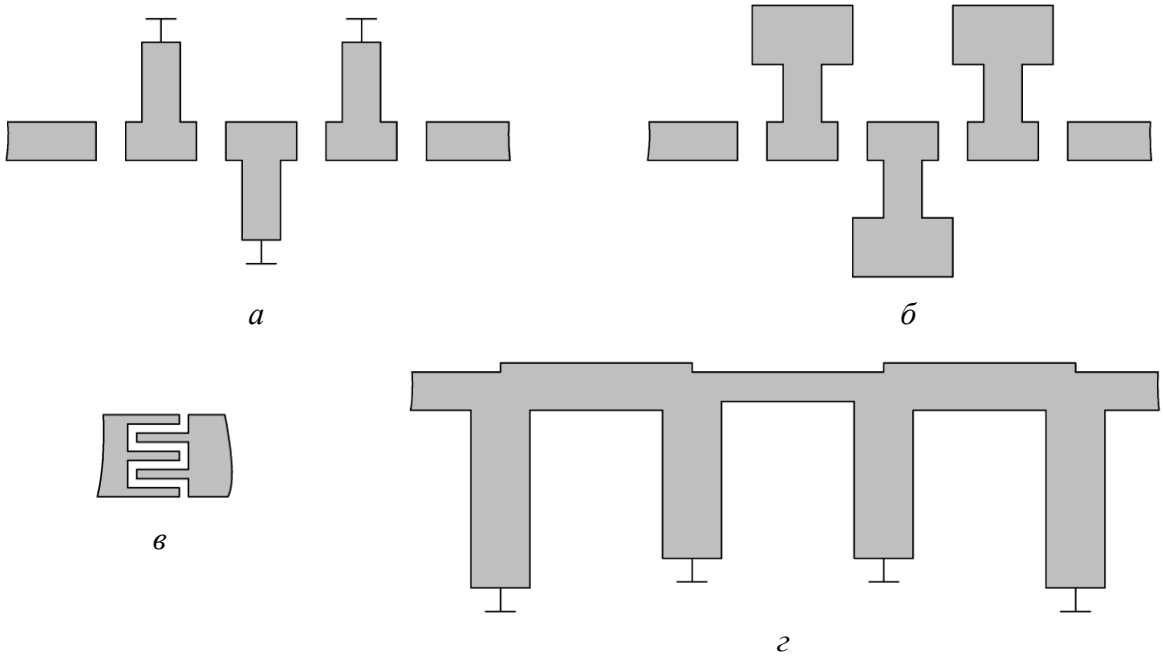


а *б*

Рис. 4.4

На рис. 4.4, *б* показан еще один вариант ФНЧ, в котором две индуктивно-емкостные ветви дают пики затухания на частотах, расположенных выше частоты среза фильтра и достаточно близко к ней, что приводит к увеличению крутизны характеристики – эллиптический фильтр [25].

Топологии ФВЧ СВЧ-диапазона. В топологии ФВЧ на рис. 4.5, *а* индуктивности выполнены в виде короткозамкнутых отрезков линии передачи с разрывами в основной линии, представляющими собой последовательные емкости.



а *б*

в *г*

Рис. 4.5

Как и во втором варианте ФНЧ, на рис. 4.5, *б* показан вариант с индуктивно-емкостными ветвями.

Следует отметить, что для получения требуемых значений последовательных емкостей могут потребоваться очень малые зазоры, воспроизвести

которые при изготовлении будет весьма трудно. К тому же зазор в токонесущем проводнике линии ведет себя не как чистая сосредоточенная емкость, так как его эквивалентная схема представляет собой П-образную цепь, состоящую из последовательно и параллельно включенных емкостей.

Помимо разрывов, при большой величине емкости (порядка 2–6 пФ), могут быть использованы соединения типа «ласточкин хвост» (см. рис. 4.5, *в*) или перекрытия одной части центральной жилы полосковой линии другой с диэлектрической прокладкой между ними [24].

В СВЧ-диапазоне трудно или вообще невозможно построить ФВЧ с хорошей характеристикой в полосе пропускания (вплоть до частот, во много раз превышающих граничную частоту), поэтому в качестве ФВЧ часто используют фильтры псевдоверхних частот – ПФ с широкой полосой пропускания. Примером (см. рис. 4.5, *г*) может служить фильтр на замкнутых шлейфах со связью через отрезки линий [25].

Топологии ПФ СВЧ-диапазона. ФВЧ с топологией на рис. 4.5, *г*, как отмечалось выше, – это ПФ с широкой полосой пропускания.

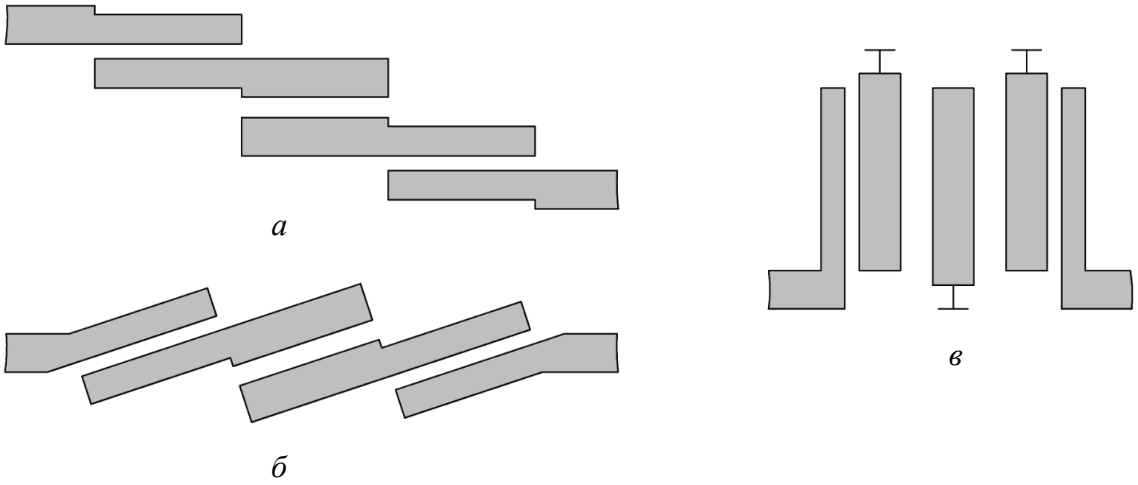


Рис. 4.6

Другой топологией ПФ служит фильтр с боковыми электромагнитными связями или фильтр на параллельно связанных резонаторах (рис. 4.6, *а*). Он состоит из полуволновых отрезков МПЛ, разомкнутых на обоих концах и расположенных параллельно друг другу со сдвигом на четверть длины волны. Особенности такого фильтра:

– разомкнутые на концах резонаторы технологически удобны в печатном исполнении;

– габариты фильтров – наименьшие в классе планарных полосковых фильтров;

– при незначительной расстройке могут появиться узкие паразитные полосы вблизи частоты $2\omega_0$, где ω_0 – средняя частота первой полосы пропускания;

– паразитная полоса пропускания – на частоте $3\omega_0$;

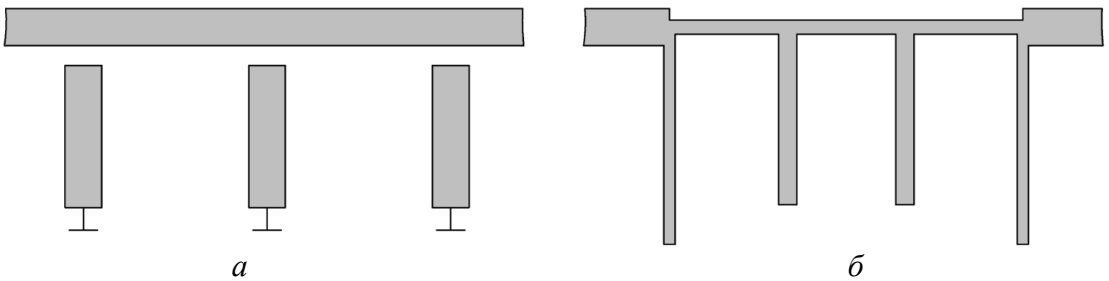
– ограничение широких полос, которое связано с трудностями реализации малых зазоров между резонаторами;

– ограничение узких полос, которое вызвано ростом тепловых потерь.

Габариты по ширине у данной топологии фильтра можно дополнительно уменьшить, повернув ее таким образом, чтобы вход и выход были на одной линии (см. рис. 4.6, *б*).

Еще одна топология ПФ – встречно-штыревой фильтр (см. рис. 4.6, *в*). Он состоит из четвертьволновых отрезков полосковых линий, короткозамкнутых на одном конце, разомкнутых на другом и расположенных параллельно друг другу так, что их короткозамкнутые и разомкнутые концы чередуются. Тепловые потери и габариты у такого фильтра находятся в области минимальных достижимых значений, а полоса пропускания может быть реализована в широких пределах. Расстояния между резонаторами относительно велики, что снижает требования к допускам изготовления, а паразитная полоса пропускания находится на частоте $3\omega_0$ [25]–[27].

Топологии РФ СВЧ-диапазона. Нежелательные частоты достаточно хорошо подавляются ПФ обычного типа, но если на какой-то определенной частоте помеха особенно велика, то эффективность использования одного или нескольких РФ, подавляющих только определенные частоты, оказывается выше ПФ, рассчитанного на подавление широкого диапазона частот вне требуемой полосы пропускания.



а *б*

Рис. 4.7

Топология РФ, показанного на рис. 4.7, *а*, подходит для узких полос задерживания. Такой фильтр состоит из полоснозадерживающих резонаторов в виде шлейфов с емкостной связью, отстоящих друг от друга на расстоянии четверти длины волны на средней частоте полосы задерживания.

РФ, показанный на рис. 4.7, *б*, может быть рассчитан на довольно широкие полосы задерживания. Средними частотами полос задерживания служат те, на которых длина разомкнутых шлейфов становится равной одной четверти длины волны или нечетному числу четвертей длины волны. Этот фильтр можно использовать и в случае узких полос задерживания, однако тогда требуемые сопротивления шлейфов могут стать слишком большими [28].

4.3. Линейное моделирование ПФ в Microwave Office

4.3.1. Интерфейс Microwave Office

Линейное моделирование (2D-анализ) в Microwave Office для определения характеристик электрической цепи использует метод узловых напряжений. Оно может применяться для цепей типа усилителей в линейном режиме, фильтров, направленных ответвителей, делителей мощности и других, чьи элементы описываются матрицей полных проводимостей. Для такого моделирования характерно определение измеряемых величин типа усиления, устойчивости, коэффициента отражения, коэффициента передачи.

При линейном моделировании есть возможность выполнять оптимизацию, а также производить статистический анализ для оценки влияния разброса параметров элементов схемы на разброс характеристик. Кроме того, моделирование происходит в реальном масштабе времени, что позволяет настраивать элементы схемы и сразу наблюдать результаты [29].

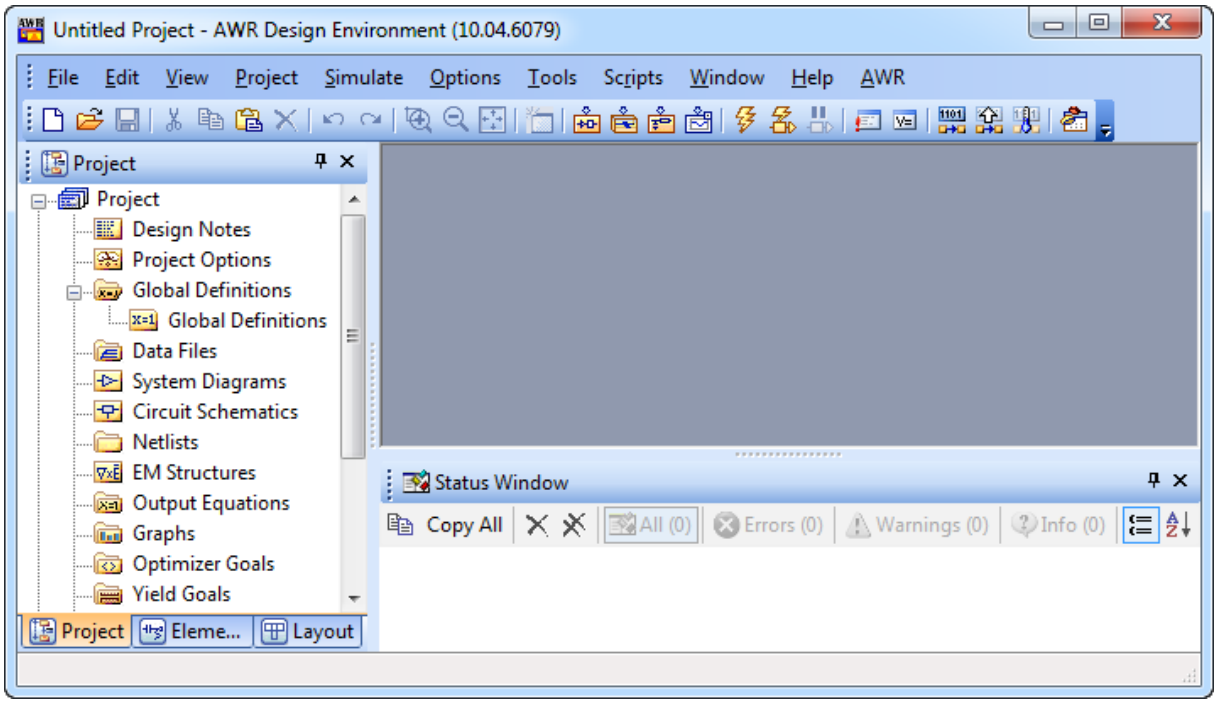


Рис. 4.8

В верхней части главного окна Microwave Office (рис. 4.8) располагается строка меню и ПИ с часто используемыми командами.

Слева находится окно просмотра проекта – древовидная структура групп и модулей, которая определяет активный проект, включая схемы, электромагнитные структуры, частоты моделирования и выходные графики. По умолчанию под ним располагаются три вкладки:

– **Project** (состав проекта);

– **Elements** (набор элементов для формирования схем);

– **Layout** (параметры для просмотра и рисования топологии и создания новых элементов топологии).

Внизу по умолчанию помещено окно системных сообщений (**Status Window**).

Оставшаяся область – рабочее поле, представляющее собой зону для создания схем и электромагнитных структур. Также здесь отображаются результаты проектирования в виде графиков [29].

4.3.2. Предварительные расчеты

Перед выполнением дальнейших действий кроме информации по фильтрам из 4.1 и 4.2 следует ознакомиться с информацией по ПП из прил. Б.

В зависимости от варианта индивидуального задания на проектирование необходимо создать и промоделировать одну из двух структур ПФ на МПЛ:

– **СЛ** – ПФ на параллельно связанных резонаторах (рис. 4.6, *а* и *б*);

– **ШТ** – встречно-штыревой ПФ (рис. 4.6, *в*).

Параметры МПЛ можно определить в программе **TXLine** из состава Microwave Office (команда **Tools ⇒ TXLine**), а синтезировать фильтры – в программе **Nuhertz Filter**, устанавливаемой отдельно. В вариантах задания все действия необходимо осуществить вручную.

В варианте «П1» вычисления выполнялись в Mathcad в файле **Расчеты (фильтр).xmcd**. Этот файл и все файлы, полученные при проектировании ПФ, сохранялись в папку **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Фильтр** (см. рис. 2.8).

Порядок выполнения предварительных расчетов следующий:

1. Записать по табл. Б.2 значения параметров материала из варианта индивидуального задания и сохранить их.

В варианте «П1» для AD1000-0,508-18/18 (столбец 1 из табл. 1.1):

– базовая толщина диэлектрика – $h = 0{,}508$ мм;

– толщина меди (с каждой стороны) – $t = 18$ мкм;

– тангенс угла диэлектрических потерь – $\tan\delta = 0{,}0023$;

– относительная диэлектрическая проницаемость – $\varepsilon_r = 10$;

– допуск ε_r – $\Delta\varepsilon_r = 0{,}35$ (плюс-минус).

2. Определить по (Б.4)–(Б.7) ширину полоскового элемента МПЛ для волнового сопротивления $Z_0 = 50$ Ом.

В варианте «П1» параметр A:

$$A = \frac{50}{60}\sqrt{\frac{10+1}{2}} + \frac{10-1}{10+1}\left(0{,}23 + \frac{0{,}11}{10}\right) = 2{,}152.$$

Так как $A > 1{,}52$, то ширина плоского элемента:

$$W = \frac{8 \cdot 0{,}508\exp(2{,}152)}{\exp(2 \cdot 2{,}152) - 2} = 0{,}486 \approx 0{,}5 \text{ мм}. \qquad (4.4)$$

Округление размеров (ширин и длин полосковых элементов, зазоров между ними) по общему заданию на проектирование необходимо производить с точностью до десятых долей миллиметра. Большая точность приведет к увеличению времени электромагнитного моделирования из-за уменьшения шага сетки.

При выполнении расчетов в Mathcad следует обратить внимание на необходимость принудительной установки знака умножения между числом и переменной *h* в (Б.5) и (Б.6), так как от этого зависит правильность результата вычисления (рис. 4.9).

h := 0.508мм	- переменная h
8h = 8	- запись числа 8 в шестнадцатеричной системе счисления.
	Ответ дан в десятеричной системе счисления: $8 \cdot 16^0 = 8$
8·h = 4.064мм	- произведение числа 8 и переменной h

Рис. 4.9

3. Записать и сохранить значения параметров из варианта индивидуального задания, определяющих форму АЧХ ПФ.

В варианте «П1» по табл. 1.1:

– $F_{C-} = 2{,}35$ ГГц – нижняя частота полосы пропускания (столбец 4);

– $F_{C+} = 2{,}55$ ГГц – верхняя частота полосы пропускания (столбец 4);

– $F_{S-} = 1{,}8$ ГГц – нижняя частота помехи (столбец 5);

– $F_{S+} = 2{,}85$ ГГц – верхняя частота помехи (столбец 5);

– $a_{S-} = 30$ дБ – ослабление нижней частоты помехи (столбец 6);

– $a_{S+} = 35$ дБ – ослабление верхней частоты помехи (столбец 6).

Кроме того, записать и сохранить значение частоты F_0, определенной в п. 9.4 из 3.3 (в варианте «П1» – $F_0 = 2{,}45$ ГГц), а также вычислить затухание в полосе пропускания ПФ (a_C) по следующей формуле:

$$a_C = \left|G_{\text{пф}}\right|.$$

Коэффициент $G_{\text{пф}}$ выбран в п. 9.5 из 3.3, поэтому в варианте «П1»:

$$a_C = \left|-2\right| = 2 \text{ дБ}.$$

4. Определить порядок ПФ.

На рис. 4.10 приведены две АЧХ ПФ, имеющие симметричные относительно частоты F_0 формы. У них одинаковая ширина полосы пропускания (W_C), ограниченная точками 2 и 3 и определяемая по формуле:

$$W_C = F_{C+} - F_{C-}. \tag{4.5}$$

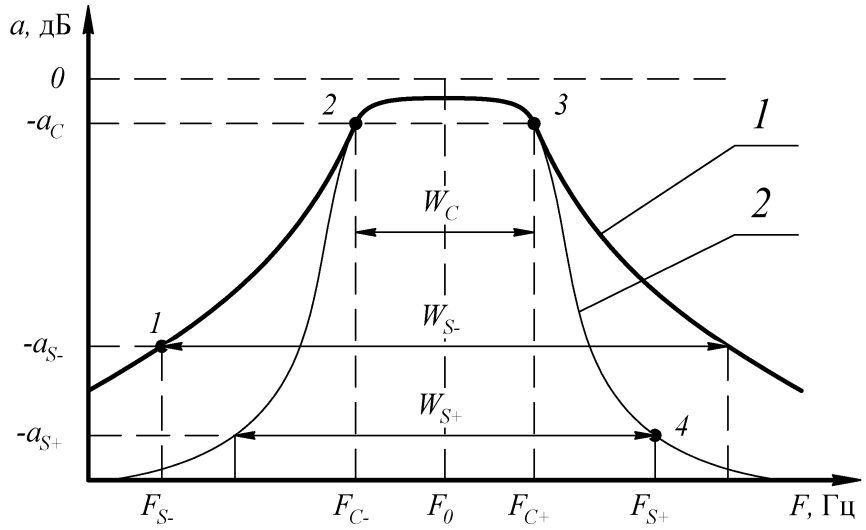


Рис. 4.10

АЧХ с номером 1 проходит через точку 1, в которой действует левая помеха, и имеет ширину полосы задерживания по уровню ее ослабления (W_{S-}):

$$W_{S-} = 2\left(F_0 - F_{S-}\right). \tag{4.6}$$

АЧХ с номером 2 проходит через точку 4, в которой действует правая помеха, и имеет ширину полосы задерживания по уровню ее ослабления (W_{S+}):

$$W_{S+} = 2\left(F_{S+} - F_0\right). \tag{4.7}$$

Для определения порядка ПФ необходимо вычислить порядки фильтров с 1-й и 2-й АЧХ, сравнить их друг с другом, выбрать большее значение и округлить его в соответствии с заданной структурой ПФ:

4.1. По (4.5)–(4.7) вычислить W_C, W_{S-} и W_{S+}:

В варианте «П1»:

$$W_C = 2{,}55 - 2{,}35 = 0{,}2 \text{ ГГц};$$
$$W_{S-} = 2(2{,}45 - 1{,}8) = 1{,}3 \text{ ГГц};$$
$$W_{S+} = 2(2{,}85 - 2{,}45) = 0{,}8 \text{ ГГц}.$$

4.2. По (4.2) и (4.3) определить функции рабочего затухания, соответствующие уровням затухания a_C, a_{S-} и a_{S+}.

В варианте «П1»:

$$L_C = 10^{2/10} = 1{,}585;$$
$$L_{S-} = 10^{30/10} = 1000;$$
$$L_{S+} = 10^{35/10} = 3162{,}3.$$

4.3. В (4.1) заменить частоты F_S и F_C на ширины полос W_S и W_C соответственно и вычислить порядки ПФ $n_{ф-}$ и $n_{ф+}$.

В варианте «П1»:

$$n_{ф-} = \frac{\lg\left(\sqrt{\frac{L_{S-}-1}{L_C-1}}\right)}{\lg(W_{S-}/W_C)} = \frac{\lg\left(\sqrt{\frac{1000-1}{1{,}585-1}}\right)}{\lg(1{,}3/0{,}2)} = 1{,}988;$$
$$n_{ф+} = \frac{\lg\left(\sqrt{\frac{L_{S+}-1}{L_C-1}}\right)}{\lg(W_{S+}/W_C)} = \frac{\lg\left(\sqrt{\frac{3162{,}3-1}{1{,}585-1}}\right)}{\lg(0{,}8/0{,}2)} = 3{,}1.$$

4.4. Определить большее значение порядка фильтра из п. 4.3 и округлить его в большую сторону:

– для ШТ – до ближайшего нечетного целого числа;

– для СЛ – до ближайшего целого числа.

В варианте «П1» $n_{ф+} > n_{ф-}$ и задан ШТ, поэтому $n_ф = 5$.

Чем выше порядок фильтра, тем больше крутизна спада АЧХ и тем сложнее его структура (больше звеньев, из которых он образован), например:

– ШТ состоит из $n_ф$ резонаторов;

– СЛ состоит из $(n_ф + 1)$ каскадно-соединенных звеньев.

Примечание. В выполненном расчете не учитывается вид АЧХ конкретной топологии ПФ, поэтому вычисления носят оценочный характер.

4.3.3. Создание схемы встречно-штыревого ПФ

Необходимо обратить внимание на то, что последовательность действий по разработке схемы СЛ приведена в 4.3.4.

Для создания схемы ШТ 5-го порядка выполнить следующее:

1. Создать новую схему, для чего на элементе **Circuit Schematics** из вкладки **Project** запустить команду **ПКМ ⇒ New Schematic** (рис. 4.11) и в открывшемся окне задать имя схемы – **BPF** (Band-Pass Filter). После этого в рабочем поле откроется пустое окно схемы.

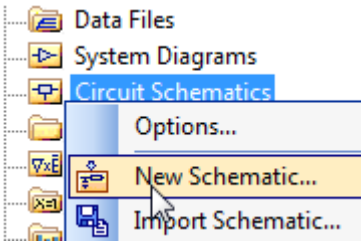


Рис. 4.11

2. Задать единицы измерения и частотный диапазон моделирования, для чего запустить команду **Options ⇒ Project Options** и в открывшемся окне **Project Options** выполнить следующее:

2.1. На вкладке **Global Units**:

– в поле **Frequency** выбрать **GHz**;

– включить опцию **Metric units**;

– в поле **Length type** выбрать **mm**.

2.2. На вкладке **Frequencies** установить начальное и конечное значения частот моделирования примерно на 0,5 ГГц меньше и больше частот левой и правой помехи из варианта задания соответственно, а также шаг изменения в заданном диапазоне – 0,05 ГГц.

В варианте «П1» с учетом данных столбца 5 из табл. 1.1 записано:

– в поле **Start** – **1.3** ГГц;

– в поле **Stop** – **3.3** ГГц;

– в поле **Step** – **0.05** ГГц.

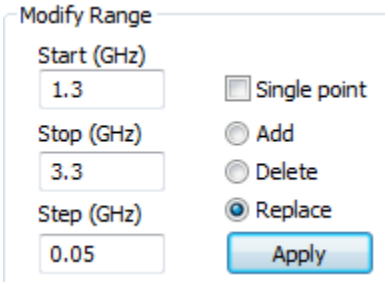


Рис. 4.12

После этого выбрать опцию **Replace** и нажать **Apply** (рис. 4.12), а затем закрыть окно кнопкой **OK**.

3. Сохранить проект командой **File ⇒ Save Project As** с расширением «.emp». Имя файла в варианте «П1» – «**BPF–П1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Фильтр** (см. рис. 2.8).

4. Добавить в схему необходимые элементы, для чего выполнить следующие действия:

4.1. Сделать активной вкладку **Elements**.

4.2. Щелкнуть ЛКМ по группе **Substrates**. Затем в нижней части окна просмотра элементов найти элемент **MSUB** (рис. 4.13) и перетащить его за-

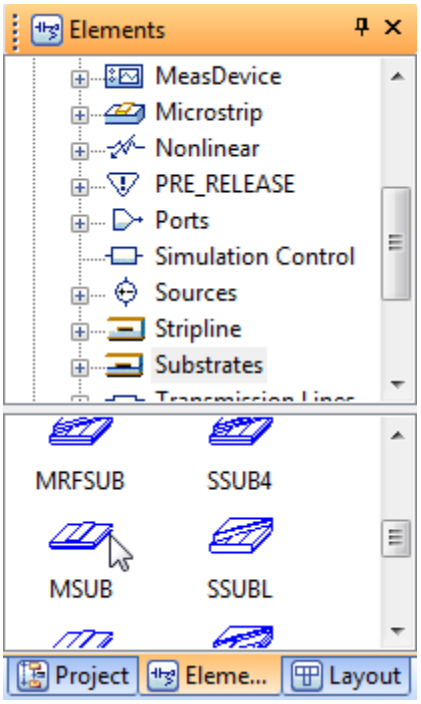


Рис. 4.13

жатой ЛКМ на свободное поле схемы, после чего щелчком ЛКМ зафиксировать. MSUB – модель МПЛ с общими для всей схемы параметрами.

Перемещение элемента по полю схемы осуществляется зажатой ЛКМ.

4.3. Войти в свойства элемента MSUB (команда **ПКМ ⇒ Properties**, выполненная на нем) и в появившемся окне на вкладке **Parameters** в столбце **Value** ввести значения параметров МПЛ, после чего нажать **OK**.

В варианте «П1» записано (рис. 4.14):

– **10** в поле **Er** – относительная диэлектрическая проницаемость (ε_r);

– **0.508** в поле **H** – толщина подложки (h);

– **0.018** в поле **T** – толщина проводника (t);

– **0.783** в поле **Rho** – удельное сопротивление металла проводника, нормированное к золоту. Так как используется медная фольга, то указанное значение во всех вариантах задания будет одинаковым (удельное сопротивление меди – 0,018 Ом·мм^2/м, а золота – 0,023 Ом·мм^2/м);

– **0.0023** в поле **Tand** – тангенс угла диэлектрических потерь ($\tan\delta$);

– **10.2** в поле **ErNom** – номинальная диэлектрическая проницаемость, используемая в элементах с X-моделями. Эти элементы в конце названий имеют символ **X**, а их параметры определены с помощью электромагнитного моделирования и сохранены в таблицах. Значение **ErNom** должно быть выбрано ближайшим к **Er** из ряда – 2,2; 2,33; 2,45; 2,5; 2,94; 3; 3,2; 3,25; 3,38; 3,4; 3,48; 3,66; 4,5; 4,99; 6; 6,15; 9,2; 9,7; 9,8; 10,2; 10,8; 11,2; 12,4; 12,9;

– **SUB1** в поле **Name** – имя подложки.

Parameters | Statistics | Display | Symbol | Layout | Model Options | Vector

Name	Value	Unit	Tune	Opt	Limit	Lower	Upper	Step	Description
Er	10		☐	☐	☐	0	0	0	Relative dielectric constant
H	0.508	mm	☐	☐	☐	0	0	0	Substrate thickness
T	0.018	mm	☐	☐	☐	0	0	0	Conductor thickness
Rho	0.783		☐	☐	☐	0	0	0	Metal bulk resistivity normalized to gold
Tand	0.0023		☐	☐	☐	0	0	0	Loss tangent of dielectric
ErNom	10.2		☐	☐	☐	0	0	0	Nominal relative dielectric constant, used for X-models
Name	SUB1								Substrate name

Рис. 4.14

4.4. Раскрыть группу **Microstrip**.

4.5. Щелкнуть ЛКМ по подгруппе **Coupled Lines**. Найти и перетащить на поле схемы элемент **M5CLIN**, при этом до его фиксации нажать один раз ПКМ, чтобы он повернулся так, как показано на рис. 4.15. M5CLIN – модель связанной линии с пятью связанными полосковыми элементами.

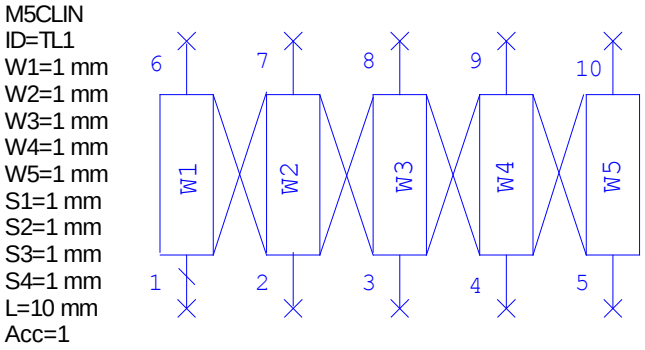


Рис. 4.15

Если элемент уже размещен, то повернуть его можно командой **ПКМ ⇒ Rotate**, выполненной на нем.

Примечание. Первый вывод всех элементов в Microsoft Office отмечается косой чертой.

4.6. Щелкнуть ЛКМ по подгруппе **Lines**. Найти и перетащить на свободное поле схемы три элемента **MLSC**, после чего подключить их к выводам 3, 7 и 9 элемента M5CLIN. MLSC – модель полоскового элемента, подключенного с одной стороны к земле.

Соединить выводы элементов можно одним из двух способов:

– совместить концы выводов элементов друг с другом, в результате чего в месте соединения появится зеленый квадрат. Если к одной точке подключено больше двух цепей, то вместо зеленого квадрата отображается зеленый круг. При перемещении элемента между соединенными выводами будет появляться красная линия, свидетельствующая о наличии связи;

– подвести курсор мышки к концу одного вывода и щелкнуть ЛКМ. Затем подвести курсор мышки к концу другого вывода и снова щелкнуть ЛКМ. Ведя связь от одного вывода к другому ЛКМ, можно фиксировать изгибы линии связи.

Удаление выделенной линии связи осуществляется клавишей **Delete**.

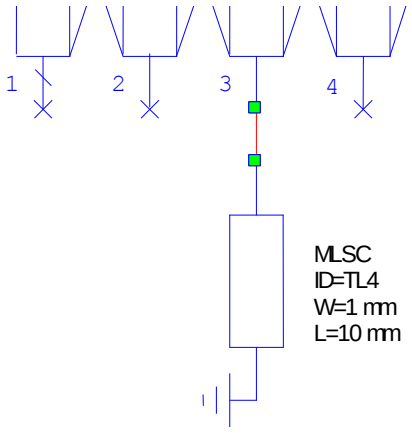


Рис. 4.16

Результат подключения одного из MLSC к выводу 3 элемента M5CLIN показан на рис. 4.16.

4.7. Щелкнуть ЛКМ по подгруппе **Other**. Найти и перетащить на свободное поле схемы пять элементов **MOPENX$**, после чего подключить их к выводам 2, 4, 6, 8 и 10 элемента M5CLIN. MOPENX$ – модель открытого (разомкнутого) конца полоскового элемента.

4.8. Щелкнуть ЛКМ по подгруппе **Junctions**. Найти и перетащить на свободное поле схемы два элемента **MTEE**. MTEE – модель места соединения трех полосковых элементов.

Первый элемент MTEE подключить первым выводом к выводу 1 элемента M5CLIN, при этом третий вывод будет направлен влево.

Второй элемент MTEE подключить вторым выводом к выводу 5 элемента M5CLIN, при этом третий вывод будет направлен вправо.

Результат подключения показан на рис. 4.17.

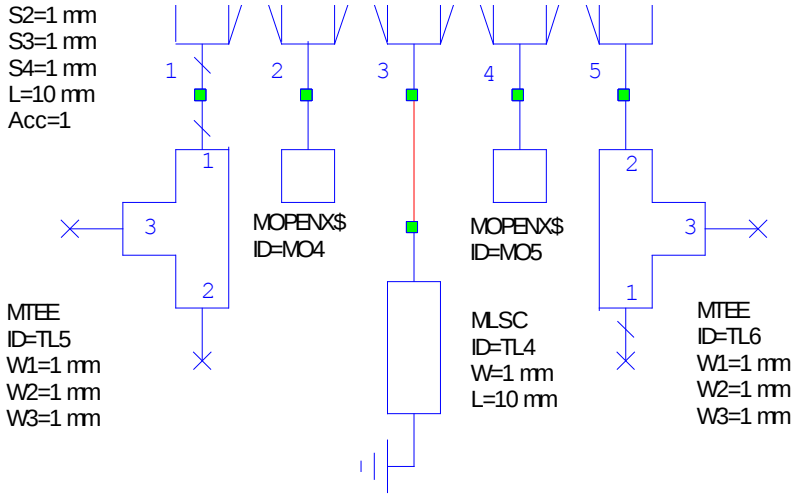


Рис. 4.17

4.9. Щелкнуть ЛКМ по подгруппе **Lines**. Найти и перетащить на свободное поле схемы два элемента **MLIN**, после чего подключить их к выводам 3 элементов MTEE. MLIN – модель полоскового элемента.

В свойствах элементов MLIN для параметра **L** установить значение длины полоскового элемента 2 мм.

4.10. Выделить на схеме элемент MOPENX$, подключенный к выводу 2 элемента M5CLIN, и последовательно нажать комбинации клавиш **Ctrl+C** (копировать) и **Ctrl+V** (вставить). Появившийся фантом совместить с выводом 2 левого элемента MTEE и зафиксировать.

Нажать еще раз комбинацию клавиш **Ctrl+V** (вставить) и подключить вторую копию элемента MOPENX$ к выводу 1 правого элемента MTEE.

Примечание. Копирование происходит со всеми свойствами исходного элемента.

4.11. Командой **Draw ⇒ Add Port** добавить в схему два порта и подключить их к свободным выводам элементов MLIN (порт 1 должен быть подсоединен к левому элементу).

Убедиться в том, что волновое сопротивление (параметр **Z**) в добавленных портах составляет 50 Ом.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 4.18.

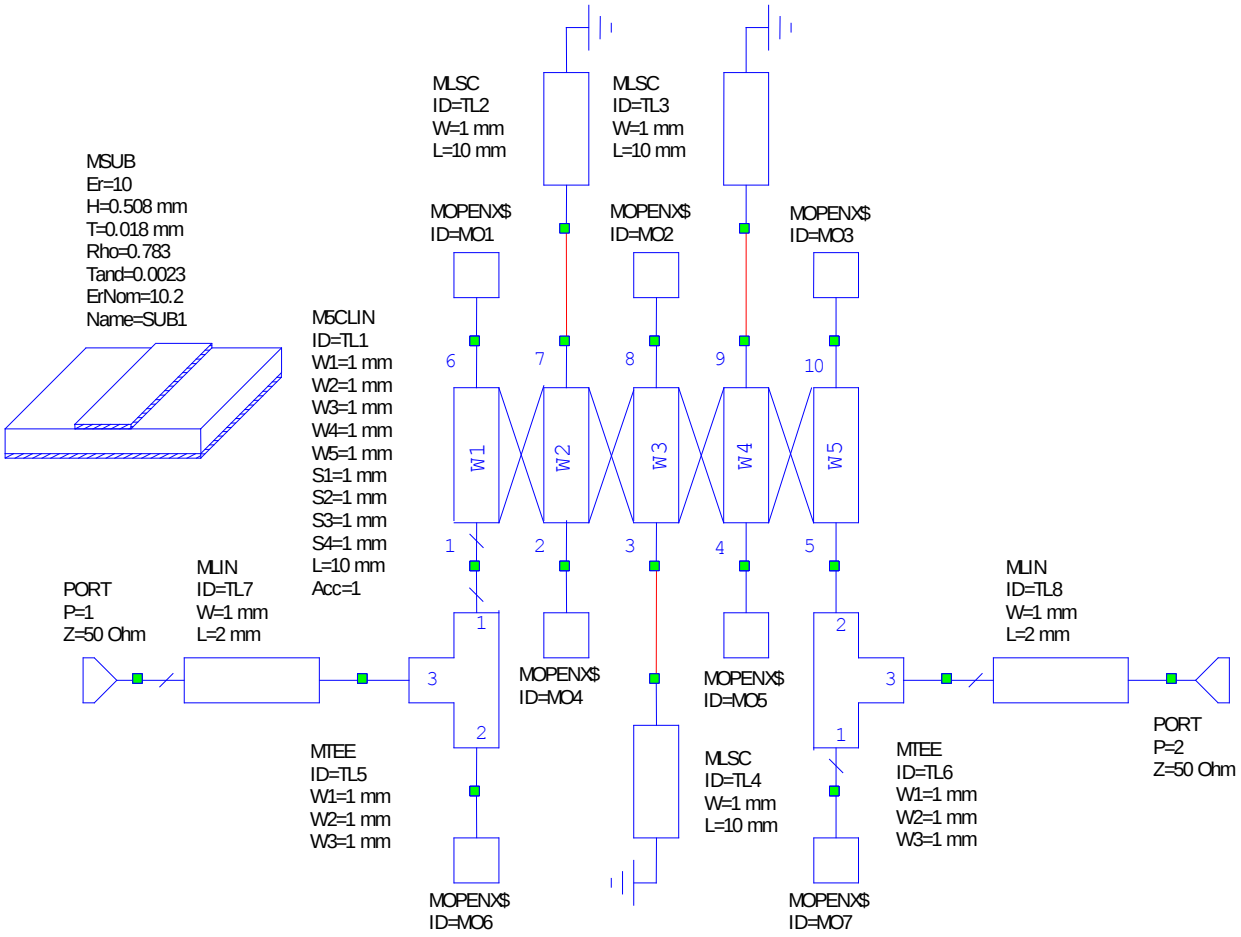


Рис. 4.18

5. Чтобы получить при расчете симметричную структуру ПФ и сократить тем самым количество подборных величин, необходимо ввести собственные переменные.

Для этого выполнить следующие действия:

5.1. В свойствах элемента M5CLIN заменить числовые значения ширин и длин полосковых элементов, а также зазоров между ними на буквенные:

– **W1** (ширина полосковых элементов 1 и 5);

– **W2** (ширина полосковых элементов 2 и 4);

– **W3** (ширина полоскового элемента 3);

– **S1** (зазор между полосковыми элементами 1 и 2, 4 и 5);

– **S2** (зазор между полосковыми элементами 2 и 3, 3 и 4);

– **L** (длина полосковых элементов).

Результат показан на рис. 4.19.

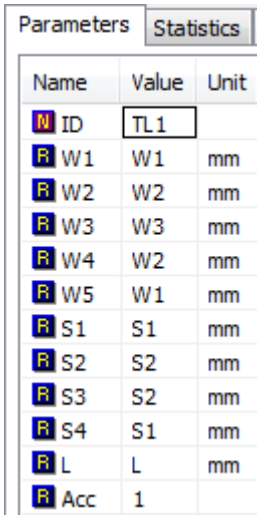


Рис. 4.19

5.2. В свойствах каждого элемента MLSC заменить числовые значения ширины и длины на буквенные:

– для элементов MLSC, соединенных с выводами 7 и 9 элемента M5CLIN: **W2** – для ширины, **L1** – для длины;

– для элемента MLSC, соединенного с выводом 3 элемента M5CLIN: **W3** – для ширины, **L2** – для длины.

5.3. В свойствах элементов MLIN для параметра **W** записать переменную **W50**, которая будет определять ширину полоскового элемента с волновым сопротивлением 50 Ом.

5.4. В свойствах каждого элемента MOPENX$ для параметра **W** записать переменную, соответствующую ширине полоскового элемента, к которому он подключен. При отсутствии в свойствах указанного параметра следует нажать кнопку **Show Secondary**.

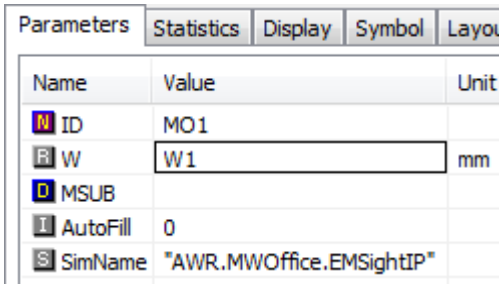


Рис. 4.20

Так, в свойствах элементов MOPENX$, подключенных к выводам 6 и 10 элемента M5CLIN и к выводам элементов MTEE, необходимо ввести **W1** (рис. 4.20).

5.5. В свойствах каждого элемента MTEE для параметров **W1**, **W2** и **W3** записать переменные, соответствующие ширине полосковых элементов, к которым они подключены.

Таким образом, для параметров **W1** и **W2** необходимо записать **W1**, а для параметра **W3** – **W50**.

6. Задать диапазоны, в которых могут изменяться добавленные переменные, для чего выполнить следующие действия:

6.1. Определить границы изменения ширин полосковых элементов и сохранить результаты.

Минимальную ширину полоскового элемента для незаземленных резонаторов ($W_{NZ\,\min}$) принять равной 0,2 мм. Такое значение обусловлено требованиями общего задания на проектирование:

– точность элементов топологии ПП – десятые доли миллиметра;

– класс точности ПП – 4-й по ГОСТ Р 53429-2009 (табл. Б.6).

Минимальную ширину полоскового элемента для заземленных резонаторов из середины топологии ШТ ($W_{Z\,\min}$) принять равной 0,9 мм. Такое значение обусловлено диаметром металлизации вокруг отверстий для заземления, показанного соответствующими УГО на рис. 4.6, *в*.

Максимальную ширину полоскового элемента ($W_{\max}$) условно принять равной 2 мм. Такое значение обеспечивает одномодовый режим работы МПЛ по (Б.1), и при этом полосковые элементы не будут слишком широкими.

6.2. Определить минимальное и максимальное значения зазоров между полосковыми элементами ($S_{\min}$ и $S_{\max}$) и сохранить результаты.

Указанные величины выбрать равными $W_{NZ\,\min}$ и $W_{\max}$ соответственно. Таким образом:

$$S_{\min} = W_{NZ\,\min} = 0{,}2 \text{ мм}; \; S_{\max} = W_{\max} = 2 \text{ мм}.$$

6.3. Определить минимальное и максимальное значения длины полосковых элементов в элементе M5CLIN ($L_{\min}$ и $L_{\max}$) и сохранить результаты.

Указанные величины выбрать примерно на границах диапазона ($\lambda_4 \pm 2{,}5$ мм) для эффективной диэлектрической проницаемости ($\varepsilon_{r\,эф}$) на частоте F_0.

В варианте «П1» $\varepsilon_{r\,эф}$ по (Б.2):

$$\varepsilon_{r\,эф} = \frac{10+1}{2} + \frac{10-1}{2}\left(1 + \frac{10 \cdot 0{,}508}{0{,}5}\right)^{-1/2} = 6{,}847.$$

Четверть длины волны квази-ТЕМ (λ_4) определяется выражением:

$$\lambda_4 = \Lambda/4. \qquad (4.8)$$

В варианте «П1» по (4.8) и (Б.3):

$$\lambda_4 = 3 \cdot 10^{11} \Big/ \left(4 \cdot F_0 \sqrt{\varepsilon_{r\,эф}}\right) = 3 \cdot 10^{11} \Big/ (4 \cdot 2{,}45 \cdot 10^9 \cdot \sqrt{6{,}847}) = 11{,}7 \text{ мм}.$$

Полученный результат, как отмечалось ранее, необходимо округлить до десятых долей миллиметра.

Таким образом:

$$L_{\min} = \lambda_4 - 2{,}5 = 9{,}2 \text{ мм}; \; L_{\max} = \lambda_4 + 2{,}5 = 14{,}2 \text{ мм}.$$

6.4. Определить минимальное и максимальное значения длин полосковых элементов в элементах MLSC ($L1_{\min}$ и $L1_{\max}$ – для подключенных к выводам 7 и 9 элемента M5CLIN; $L2_{\min}$ и $L2_{\max}$ – для подключенного к выводу 3 элемента M5CLIN) и сохранить результаты.

Указанные величины выбрать следующими:

$$L1_{\min} = L2_{\min} = 0{,}1 \text{ мм}; \; L1_{\max} = L2_{\max} = 1{,}3 \text{ мм}.$$

6.5. Так как округление элементов топологии ПФ по требованию общего задания на проектирование должно производиться с точностью до десятых долей миллиметра, то переменным необходимо присвоить наборы дискретных значений с шагом 0,1 мм.

Для этого сначала требуется в виде уравнений создать векторы значений, указав их имена, диапазоны изменений и шаг.

Так, в варианте «П1» с помощью команды **Draw ⇒ Add Equation** было создано пять уравнений отдельными записями:

– **WidthNZ=stepped(0.2,2,0.1)** – ширины полосковых элементов для незаземленных резонаторов;

– **WidthZ=stepped(0.9,2,0.1)** – ширины полосковых элементов для заземленных резонаторов;

– **Gap=stepped(0.2,2,0.1)** – зазоры между полосковыми элементами;

– **Len=stepped(9.2,14.2,0.1)** – длины полосковых элементов в M5CLIN;

– **LenM=stepped(0.1,1.3,0.1)** – длины полосковых элементов в MLSC.

Например, запись **WidthNZ=stepped(0.2,2,0.1)** означает, что ширина полоскового элемента принимает значения от 0,2 до 2 мм с шагом 0,1 мм.

7. С помощью команды **Draw ⇒ Add Equation** присвоить всем переменным начальные значения:

– переменной **W50** задать значение, полученное по (4.4), и расположить равенство под элементом MSUB;

– для остальных переменных задать начальные значения примерно из середины соответствующих векторов значений. Выражения расположить обязательно ниже указанных векторов.

В варианте «П1» были записаны следующие выражения:

– **W50=0.5**;

– **W1=WidthNZ[9]**;

– **W2=WidthZ[6]**;

– **W3=WidthZ[6]**;

– **S1=Gap[9]**;

– **S2=Gap[9]**;

– **L=Len[26]**;

– **L1=LenM[7]**;

– **L2=LenM[7]**.

Например, запись **W1=WidthNZ[9]** означает, что переменной **W1** (ширина 1-го и 5-го полоскового элемента в M5CLIN) присваивается значение 9-го элемента из вектора **WidthNZ**, которое равно 1 мм (появится автоматически после записанного выражения).

Убедиться в том, что после определения переменных на схеме не осталось надписей с красным цветом шрифта.

8. В свойствах выражений для каждой переменной, кроме **W50**, включить следующие опции (рис. 4.21):

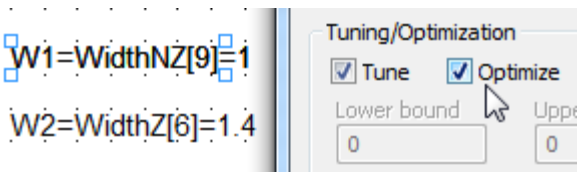


Рис. 4.21

– **Tune** (разрешение ручной подстройки переменной);

– **Optimize** (разрешение использования переменной в оптимизации).

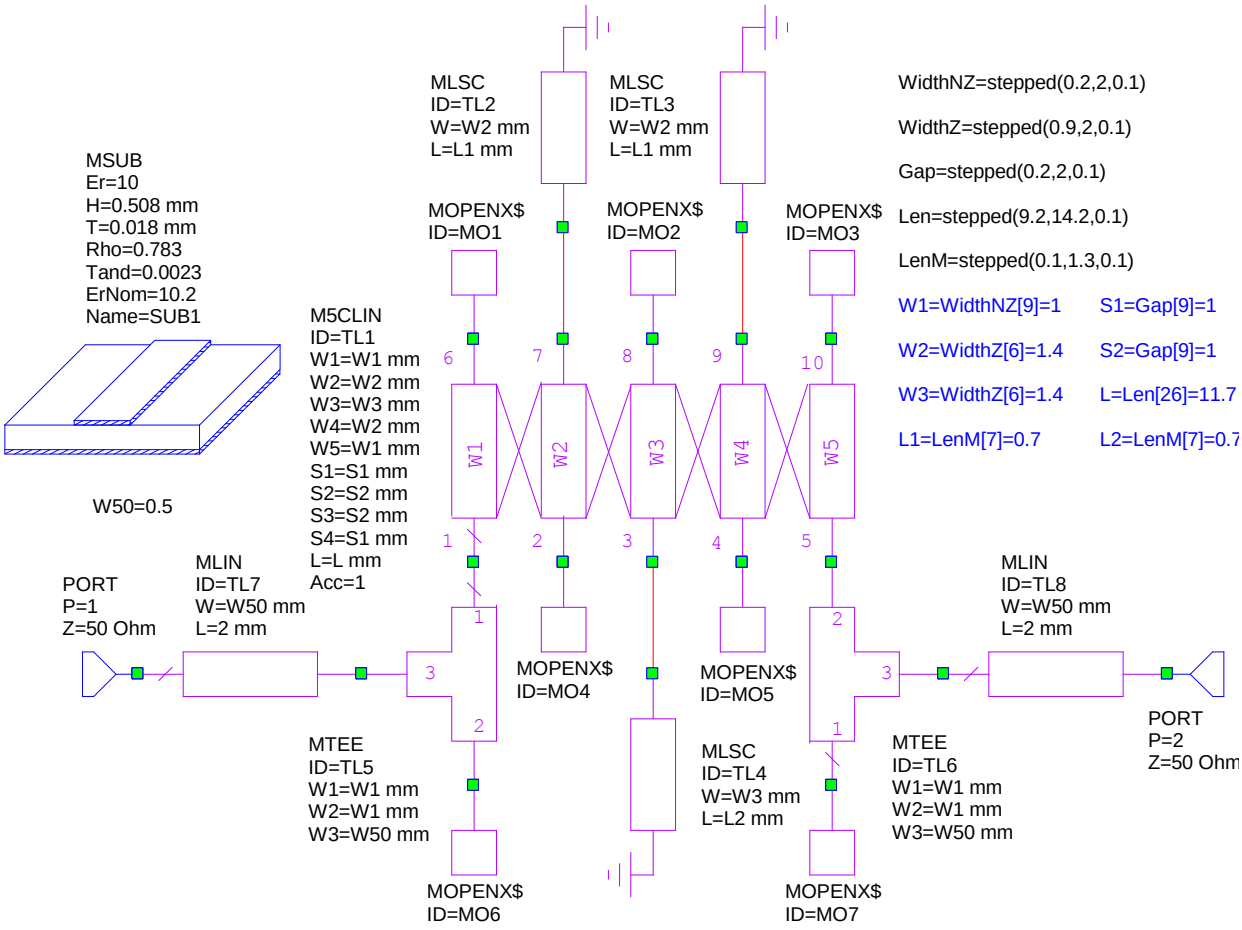


Рис. 4.22

Примечание. Опцию Tune в выражениях также можно включать и отключать командой Simulate ⇒ Tune Tool или клавишей F10. Ее включение визуально сопровождается изменением цвета выражения с черного на синий.

Результат проделанных операций по созданию схемы ШТ в варианте «П1» показан на рис. 4.22.

4.3.4. Создание схемы ПФ на параллельно связанных резонаторах

Для создания схемы СЛ необходимо проделать следующее:

1. Выполнить п. 1 из 4.3.3, т. е. создать новую схему и задать ей имя.

2. Выполнить п. 2 из 4.3.3, т. е. задать единицы измерения по умолчанию и частотный диапазон моделирования.

3. Выполнить п. 3 из 4.3.3, т. е. сохранить проект.

4. Добавить в схему необходимые элементы, для чего выполнить следующие действия:

4.1. Сделать активной вкладку **Elements**.

4.2. По п. 4.2 из 4.3.3 добавить элемент **MSUB**.

4.3. По п. 4.3 из 4.3.3 в свойствах элемента MSUB ввести значения параметров МПЛ.

4.4. Раскрыть группу **Microstrip**.

4.5. Щелкнуть ЛКМ по подгруппе **Coupled Lines**. Найти и перетащить на поле схемы элементы **MCFIL** ($n_ф$ +1 шт.). Расположить их «лесенкой» в соответствии с рис. 4.6, *а*, но не соединять друг с другом, оставив зазоры.

MCFIL – модель двух связанных полосковых элементов с разомкнутыми концами с одной стороны каждого полоскового элемента (в схеме ШТ такой эффект моделировался элементом MOPENX$).

4.6. Щелкнуть ЛКМ по подгруппе **Junctions**. Найти и перетащить на поле схемы элементы **MSTEPX$** ($n_ф + 2$ шт.). Поместить их в зазоры между элементами MCFIL, перед первым элементом MCFIL и после последнего.

MSTEPX$ – модель перехода между двумя полосковыми элементами.

4.7. Соединить соседние выводы элементов MSTEPX$ и MCFIL.

Способы осуществления соединений описаны в п. 4.6 из 4.3.3.

В результате на схеме останется по одному свободному выводу на крайних элементах MSTEPX$.

4.8. Щелкнуть ЛКМ по подгруппе **Lines**. Найти и перетащить на свободное поле схемы два элемента **MLIN** (модель полоскового элемента), после чего подключить их к свободным выводам элементов MSTEPX$.

В свойствах элементов MLIN для параметра **L** установить значение длины полоскового элемента 2 мм.

4.9. Выполнить п. 4.11 из 4.3.3, т. е. добавить и подключить два порта, а также проверить значение их волнового сопротивления.

При необходимости повернуть порт по п. 4.5 из 4.3.3.

5. Для получения при расчете симметричной структуры ПФ и сокращения количества подборных величин ввести собственные переменные, выполнив следующие действия:

5.1. В свойствах элементов MLIN для параметра **W** записать переменную **W50**, которая будет определять ширину полоскового элемента с волновым сопротивлением 50 Ом.

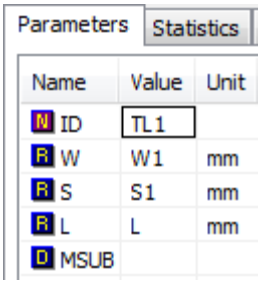


Рис. 4.23

5.2. В свойствах каждого элемента MCFIL заменить числовые значения ширины (параметров **W**) и длины (параметров **L**) полосковых элементов, а также зазора (параметров **S**) между ними на буквенные.

Например, для 4-го порядка фильтра при расположении элементов слева направо:

– **W=W1**, **S=S1**, **L=L** (для 1-го и 5-го элементов MCFIL);

– **W=W2**, **S=S2**, **L=L** (для 2-го и 4-го элементов MCFIL);

– **W=W3**, **S=S3**, **L=L** (для 3-го элемента MCFIL).

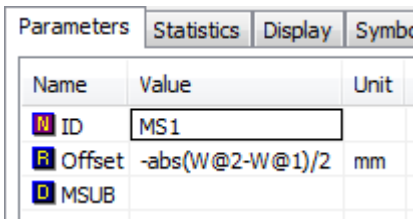
Результат замены для 1-го элемента MCFIL показан на рис. 4.23.

6. В свойствах каждого элемента MSTEPX$ для параметра **Offset** записать следующее выражение (рис. 4.24, *а*):

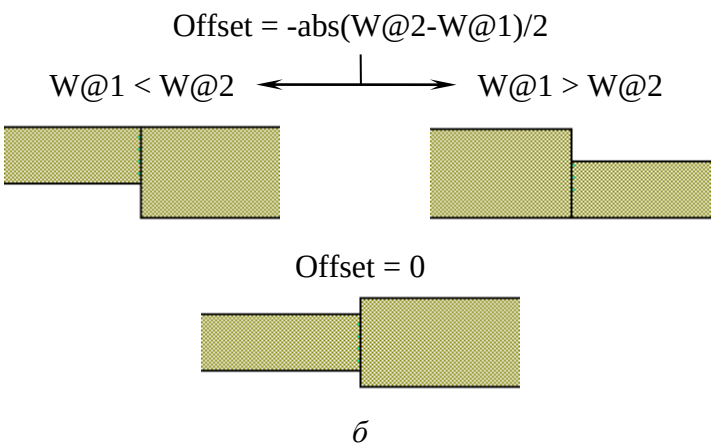
-abs(W@2-W@1)/2,

где **abs** – функция, возвращающая модуль числа; **W@1** и **W@2** – ширина полоскового элемента 1-го и 2-го портов элемента MSTEPX$.

Примечание. Это выражение задает смещение полосковых элементов друг относительно друга так, чтобы они имели общую сторону. При этом осуществляется сдвиг полоскового элемента, подключенного ко 2-му порту элемента MSTEPX$, вниз относительно его осевой линии. Результаты его работы в сравнении с нулевым смещением показаны на рис. 4.24, б.



а



б

Рис. 4.24

7. Задать диапазоны, в которых могут изменяться добавленные переменные, для чего проделать следующее:

7.1. Выполнить пп. 6.1–6.3 из 4.3.3 для определения значений переменных в элементах MCFIL:

– для ширин полосковых элементов – $W_{NZ\,\min}$ и $W_{\max}$;

– для зазоров между полосковыми элементами – $S_{\min}$ и $S_{\max}$;

– для длин полосковых элементов – $L_{\min}$ и $L_{\max}$.

7.2. Выполнить п. 6.5 из 4.3.3, т. е. записать три выражения для векторов значений с именами **WidthNZ**, **Gap** и **Len**.

8. Выполнить п. 7 из 4.3.3, т. е. присвоить начальные значения всем созданным в п. 5 переменным.

Убедиться в том, что после определения переменных на схеме не осталось надписей с красным цветом шрифта.

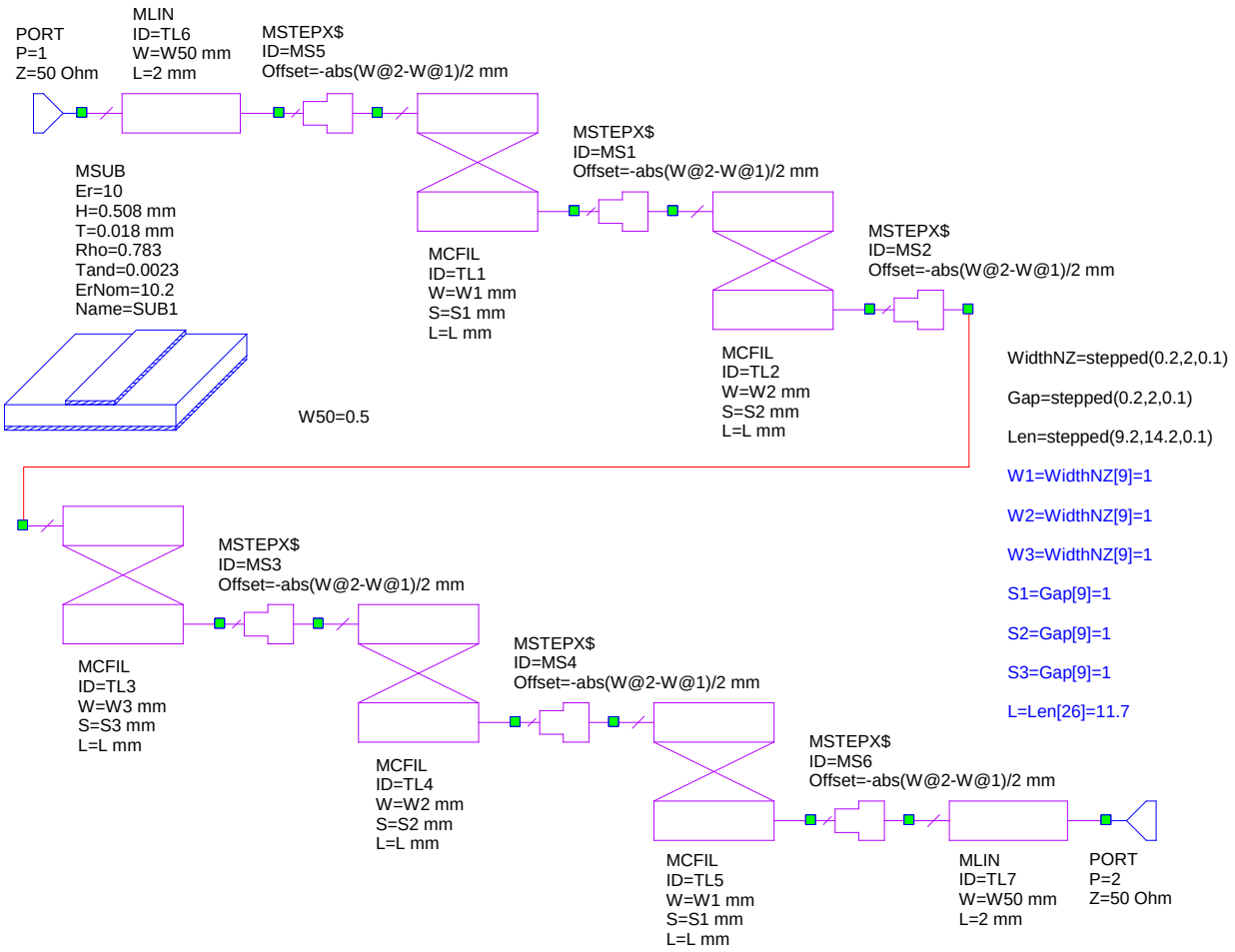


Рис. 4.25

9. Выполнить п. 8 из 4.3.3, т. е. включить опции **Tune** и **Optimize** в свойствах выражений для каждой переменной, кроме **W50**.

На рис. 4.25 показана схема СЛ 4-го порядка с данными варианта «П1».

4.3.5. Создание графика измеряемой величины

Для создания графика и добавления в него измеряемой величины необходимо проделать следующее:

1. Перейти на вкладку **Project** и на группе **Graphs** запустить команду **ПКМ ⇒ New Graph**.

2. В появившемся окне **New Graph** выполнить следующее:

– задать название графика с указанием аббревиатуры структуры ПФ и номера варианта задания (например, в варианте «П1» – **АЧХ ШТ П1**);

– выбрать тип графика **Rectangular** (прямоугольный);

– применить изменения кнопкой **Create**.

В результате в рабочем поле откроется пустое окно графика, а на вкладке **Project** в группе **Graph** появится иконка с его названием.

Следует отметить, что название в окне графика может отображаться некорректно. Для исправления этого следует на графике в рабочем поле запустить команду **ПКМ ⇒ Properties**, затем в открывшемся окне Rectangular Plot Properties перейти на вкладку **Fonts** и нажать кнопку **Titie**, после чего в появившемся окне **Шрифт** из выпадающего списка **Набор символов** выбрать **Кириллица**.

3. Для построения АЧХ ПФ потребуется добавить величину $|S_{21}|$:

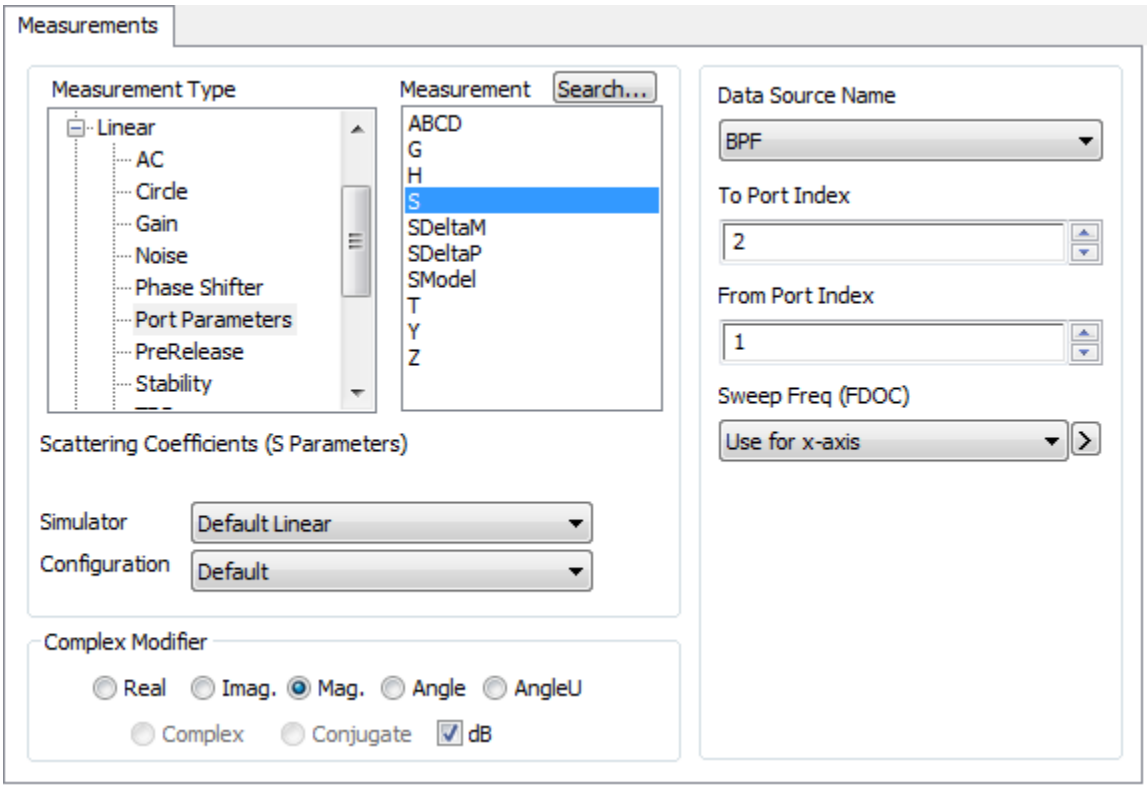


Рис. 4.26

3.1. На вкладке **Project** на названии созданного графика запустить команду **ПКМ ⇒ Add Measurement**.

3.2. В открывшемся окне выполнить следующее (см. рис. 4.26):

– в списке **Measurement Type** выбрать **Linear ⇒ Port Parameters**;

– в списке **Measurement** выбрать **S** (S-параметры);

– в списке **Data Source Name** выбрать название схемы – **BPF**;

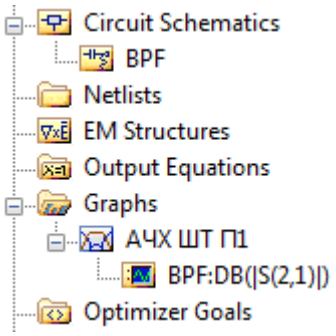


Рис. 4.27

– в поле **To Port Index** выбрать **2**;

– в поле **From Port Index** выбрать **1**;

– в группе **Complex Modifier** отметить **dB** (децибелы) и **Mag** (модуль);

– применить изменения нажатием кнопок **Apply** и **OK**.

В результате на вкладке **Project** под названием графика появится надпись **BPF:DB(|S(2,1)|)**, характеризующая измеряемую величину: модуль параметра S_{21} в децибелах для схемы BPF (рис. 4.27).

Примечание. Надпись аналогичного содержания появится и в окне графика в правом верхнем углу.

4.3.6. Оптимизация

Оптимизация – это процесс, в котором Microwave Office автоматически корректирует назначенные для оптимизации параметры электрической цепи (например, значение схемного элемента, отрезка линии передачи и др.) для достижения заданных целей оптимизации (например, уменьшение шумов, уменьшение неравномерности усиления и др.).

Под ***целью оптимизации*** (goal) подразумевается некоторая граница изменения какой-либо характеристики анализируемой схемы, к которой должен стремиться выбранный метод оптимизации при изменении определенных параметров элементов. Параметры электрической цепи, назначенные для оптимизации, должны быть или изменяемыми параметрами элементов схемы, или независимыми переменными, заданными на схеме.

Процесс оптимизации заключается в попытке найти минимум или максимум ***целевой функции*** (error function), определяющей разницу между расчетной и желательной характеристикой. Оптимизация – итерационный процесс. Microwave Office вычисляет целевую функцию, затем изменяет значение параметров и вычисляет ее снова. Алгоритмы оптимизации стремятся

изменить параметры и переменные так, чтобы характеристика приближалась к установленным целям после каждой итерации, т. е. уменьшалась ошибка. Каждому параметру можно присвоить свой вес (weight).

Под ***весом параметра*** понимается то, какой вклад вносится ошибкой этого параметра в изменение целевой функции. Чем больше вес у параметра, тем больше оптимизатор будет стремиться уменьшить ошибку в нем по сравнению с другими параметрами, у которых вес меньше.

Дискретную оптимизацию, при которой параметры элементов схемы могут принимать конечное число значений, в Microwave Office поддерживают только методы оптимизации, приведенные в табл. 4.1 [30].

Таблица 4.1

Методы дискретной оптимизации

Метод оптимизации	Краткое описание
Random (Global)	Значения каждой переменной выбираются произвольно во всем доступном для нее диапазоне
Random (Local)	Значения переменных изменяются произвольно около их начальных значений
Pointer – Robust Optimization	В простейшем виде используются подобно градиентной или случайной (random) оптимизации. Методы группы Pointer сочетают в себе широко используемые методы поиска (генетические алгоритмы, симплекс скоростного спуска, последовательное квадратичное программирование и линейные методы) и обладают возможностью к самообучению, что позволяет автоматически определять наилучшую стратегию поиска для конкретной задачи. Значения переменных должны быть ограничены
Pointer – Gradient Optimization	
Discrete Local Search	Локальный метод по дискретной сетке значений переменных (для непрерывных переменных указывается размер шага их значений в графе Step на вкладке Parameters в свойствах компонентов) с двумя параметрами: – **number grid levels** – количество уровней уточнения сетки с соотношением 4. Например, при значении «3» решение для каждой переменной сначала ищется в грубой сетке с каждым 16-м ее значением, затем – в сетке с каждым 4-м значением, а после – в сетке с каждым 1-м значением; – **allow increase** – фактор, определяющий возможность поиска решения в области увеличения ошибки: «0» – поиск прекращается, если в данной точке ошибка меньше, чем в ближайших; от «0» до «1» включительно – область поиска увеличивается, что позволяет выходить из локальных неглубоких минимумов целевой функции. По умолчанию равен 0,5. Значения дискретных переменных должны быть упорядочены

Для создания целей оптимизации выполнить следующее:

1. Запустить анализ командой **Simulate ⇒ Analyze** (или клавишей **F8**) и убедиться в том, что в окне **Status Window** нет ошибок (рис. 4.28).

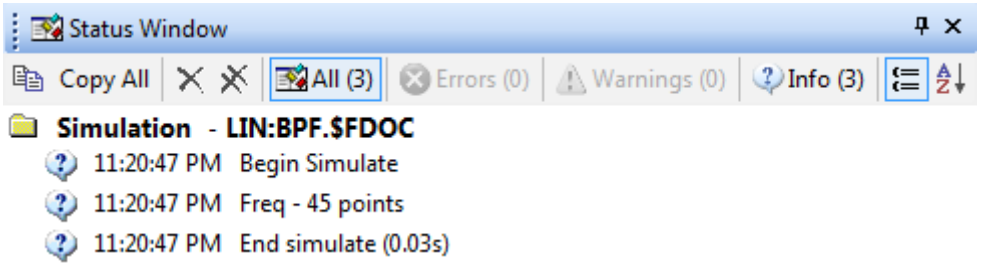


Рис. 4.28

Часто встречающиеся ошибки и предупреждения при анализе и способы их устранения приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Некоторые ошибки и предупреждения при запуске анализа

Ошибка или предупреждение	Возможная причина	Способ устранения
N.P: The X-Model Database has not been filled	В электромагнитной модели компонента с названием N и позиционным обозначением P не может быть заполнена таблица с данными. Например, в элементе MSUB задано нестандартное значение параметра ErNom или неудачное сочетание значений ErNom и Er	Наиболее быстрый способ – изменить в элементе MSUB значение параметра ErNom на другое ближайшее к Er по п. 4.3 из 4.3.3
N.P: SEVERE WARNING – MSUB |Er – Er(Nominal)|/ Er(Nominal)=…	В элементе MSUB значения параметров ErNom и Er сильно отличаются, что может привести к большим погрешностям моделирования для компонента с названием N и позиционным обозначением P	Изменить в элементе MSUB значение параметра ErNom на ближайшее к Er по п. 4.3 из 4.3.3
N.P: Error evaluating parameter ‘Y’ … (Equation Error: Variable ‘Z’ is not valid) или (Equation Error: Variable not found ‘Z’)	В компоненте с названием N и позиционным обозначением P возникла ошибка в параметре Y, так как указанная в нем переменная Z содержит ошибку (not valid) или не найдена (не задана) на схеме (not found)	Внести корректировки в надписи зеленого цвета (синтаксические ошибки), внимательно просмотрев соответствующие пункты разделов пособия. Обратить внимание на определение значений переменных как на поле схемы, так и в свойствах компонентов, указанных в тексте ошибки
N.P: Error evaluating parameter ‘Y’ (Parse Error: syntax ‘,’)	В компоненте с названием N и позиционным обозначением P возникла ошибка в параметре Y синтаксического характера (запятая вместо точки в разделителе целой и дробной части числа)	
X – Equation Error: Variable ‘Z’ is not valid	Ошибка в уравнении для переменной X, так как переменная Z содержит ошибку	
X – Parse Error:…	Ошибка обработки в переменной X. Например, синтаксическая ошибка использования функции	

2. Приступить к созданию новой цели оптимизации, для чего на элементе **Optimizer Goals** из вкладки **Project** запустить команду **ПКМ ⇒ Add Optimizer Goal**.

Примечание. В окне Old Optimization Goal в списке Measurement будет выделена только одна созданная ранее величина – BPF:DB(|S(2,1)|).

2.1. Ввести диапазон частот и ослабление для задания полосы пропускания ПФ, для чего выполнить следующее (рис. 4.29):

– в группе **Goal Type** выбрать опцию **Meas > Goal**;

– в группе **Range** отключить опции **Min** и **Max**;

– в поле **Start** ввести значение частоты F_{C-} (в варианте «П1» – **2.35**);

– в поле **Stop** ввести значение частоты F_{C+} (в варианте «П1» – **2.55**);

– в поле **Goal start** ввести отрицательное значение уровня затухания a_C (в варианте «П1» – «**-2**») и нажать **OK**.

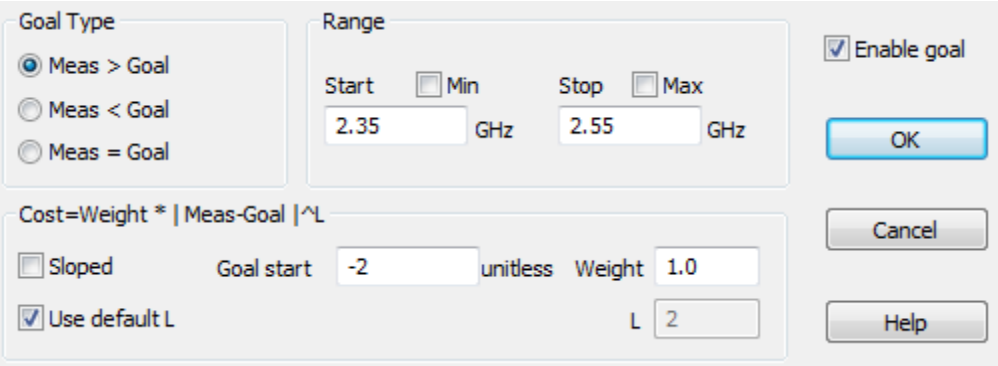


Рис. 4.29

2.2. Ввести диапазон частот и ослабление для задания полосы задерживания ПФ в области низких частот, для чего выполнить следующее:

– создать новую цель оптимизации;

– в группе **Goal Type** выбрать опцию **Meas < Goal**;

– в группе **Range** отключить опцию **Max**;

– в поле **Stop** ввести значение частоты F_{S-} (в варианте «П1» – **1.8**);

– в поле **Goal** ввести отрицательное значение уровня затухания a_{S-} (в варианте «П1» – «**-30**») и нажать **OK**.

2.3. Ввести диапазон частот и ослабление для задания полосы задерживания ПФ в области высоких частот, для чего выполнить следующее:

– создать новую цель оптимизации;

– в группе **Goal Type** выбрать опцию **Meas < Goal**;

– в группе **Range** отключить опцию **Min**;

– в поле **Start** ввести значение частоты F_{S+} (в варианте «П1» – **2.85**);

– в поле **Goal** ввести отрицательное значение уровня затухания a_{S+} (в варианте «П1» – «**-35**») и нажать **OK**.

3. При необходимости изменения введенных выше данных следует запустить команду **ПКМ ⇒ Properties** на требуемой цели оптимизации во вкладке **Project**.

Результат на вкладке **Project** на данном этапе в варианте «П1» показан на рис. 4.30, а вид АЧХ – на рис. 4.31.



Рис. 4.30

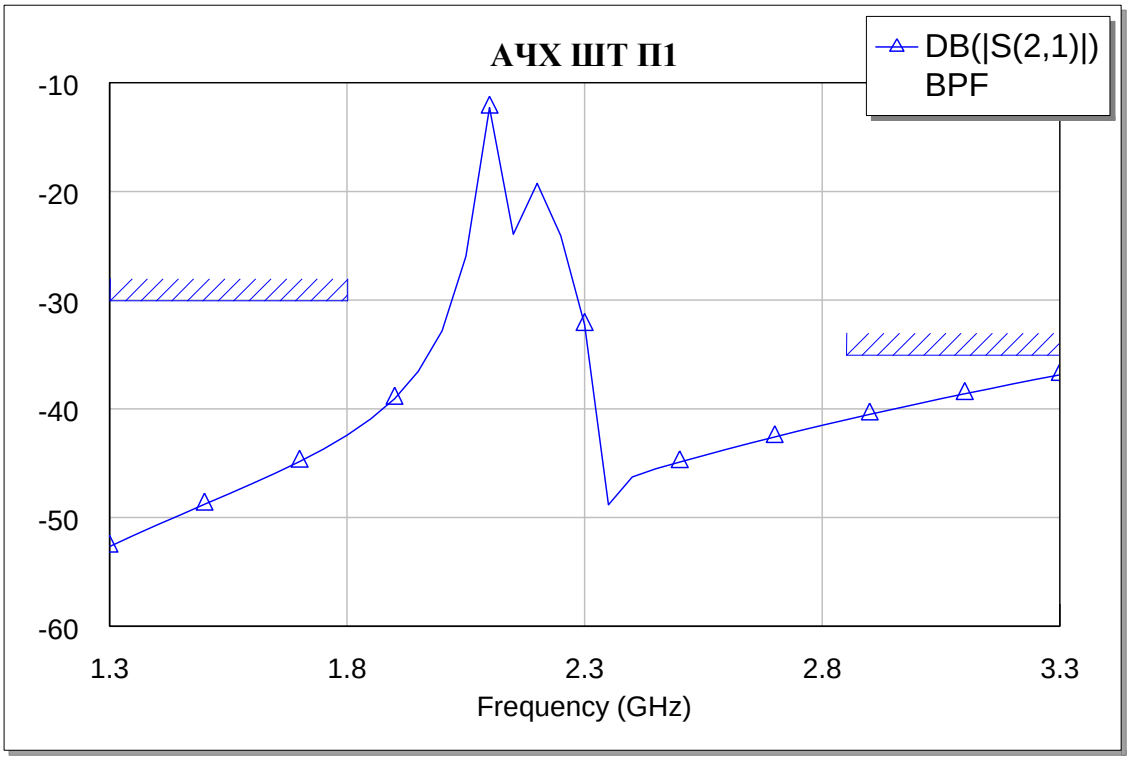


Рис. 4.31

Примечание. Штриховкой показаны цели оптимизации из пп. 2.2 и 2.3. Цель оптимизации из п. 2.1 находится за пределами видимой области.

Вид АЧХ до проведения оптимизации может сильно отличаться от требуемого результата и представлять собой линию без локальных минимумов и максимумов. Все зависит от начальных значений переменных, заданных на схеме.

4. Настроить вид графика, для чего на нем в рабочем поле запустить команду **ПКМ ⇒ Properties** и в появившемся окне Rectangular Plot Properties выполнить следующие действия:

– на вкладке **Axes** для оси **Left 1** отключить опцию **Auto limits**, в поле **Min** ввести «**-50**», а в поле **Max** – «**0**»;

– на вкладке **Traces** в группе **Style** для 1-й кривой в соответствующих выпадающих списках установить: Color – **черный**, Symbol – **none**, Line – **сплошная**, Weight – **вторая сверху**;

– на вкладке **Format** в группе **Border** отключить опцию **Shadow**;

– на вкладке **Labels** для оси **x** отключить опции **Show units** и **Auto label**, в поле **Selected Axis Label** ввести «**f, ГГц**», а для оси **Left 1** в этом же поле записать «**-a, дБ**»;

– на вкладке **Fonts** для всех стилей (Title, Labels, Axis numbers, Legend, Markers) установить размер шрифта **20**. Также нажать кнопку **Labels** и из выпадающего списка **Набор символов** выбрать **Кириллица**;

– на вкладке **Markers** выбрать: Symbol – **круг**, Size – **2**;

– применить изменения нажатием кнопок **Apply** и **OK**.

5. Добавить маркеры (поля с координатами выбранных точек характеристики) на частотах F_{S-}, F_{C-}, F_{C+} и F_{S+}.

Для этого для каждого значения частоты выполнить следующее:

– на графике в рабочем поле запустить команду **ПКМ ⇒ Add Marker**;

– щелкнуть ЛКМ в любом месте кривой;

– запустить на появившемся маркере команду **ПКМ ⇒ Marker Search**;

– в появившемся окне в группе **Data** выбрать опцию **Find x value**, заполнить поле **Value** и нажать кнопку **Search** (рис. 4.32).

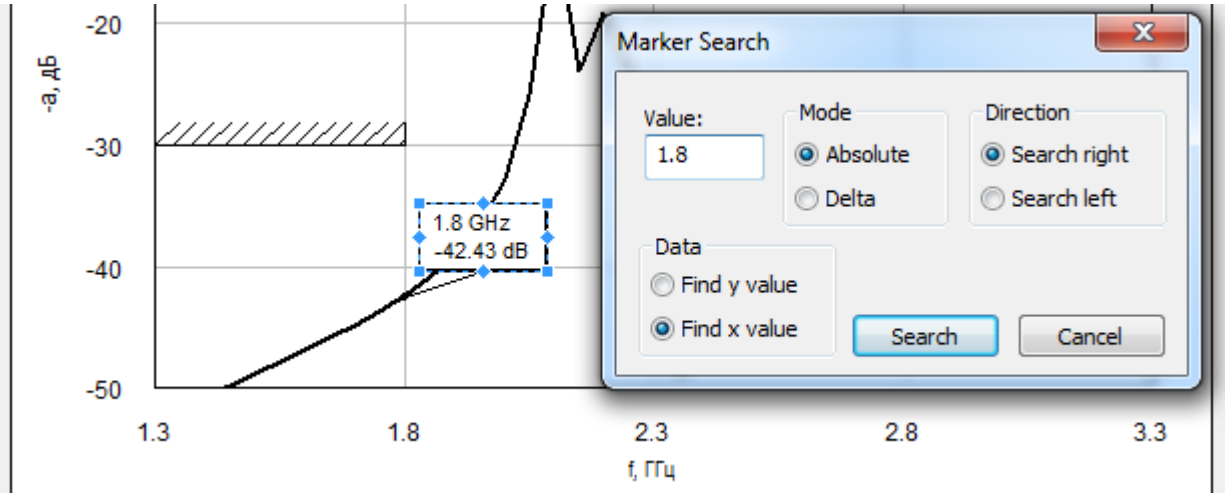


Рис. 4.32

6. Произвести оптимизацию в ручном режиме, т. е. попытаться получить требуемый вид АЧХ, изменяя значения каждой переменной вручную.

Примечание. Данный режим позволяет оценить влияние параметров схемы на поведение оптимизируемых характеристик, что может оказаться полезным при настройке опытного образца, и подобрать для них начальные значения, что облегчит режим автоматической оптимизации (при необходимости последующего ее выполнения).

Ручной режим запускается командой **Simulate ⇒ Tune**. В открывшемся окне **Variable Tuner** (рис. 4.33) будут перечислены все переменные, для которых в их свойствах на схеме включена опция Tune (см. п. 8 из 4.3.3). Так как переменные заданы дискретными значениями, то здесь отображаются не значения параметров, а номера их позиций в соответствующих векторах. Например, на рисунке для переменной L1 в векторе значений содержится 13 значений (поле Max), а в данный момент выбрано седьмое (поле Nom).

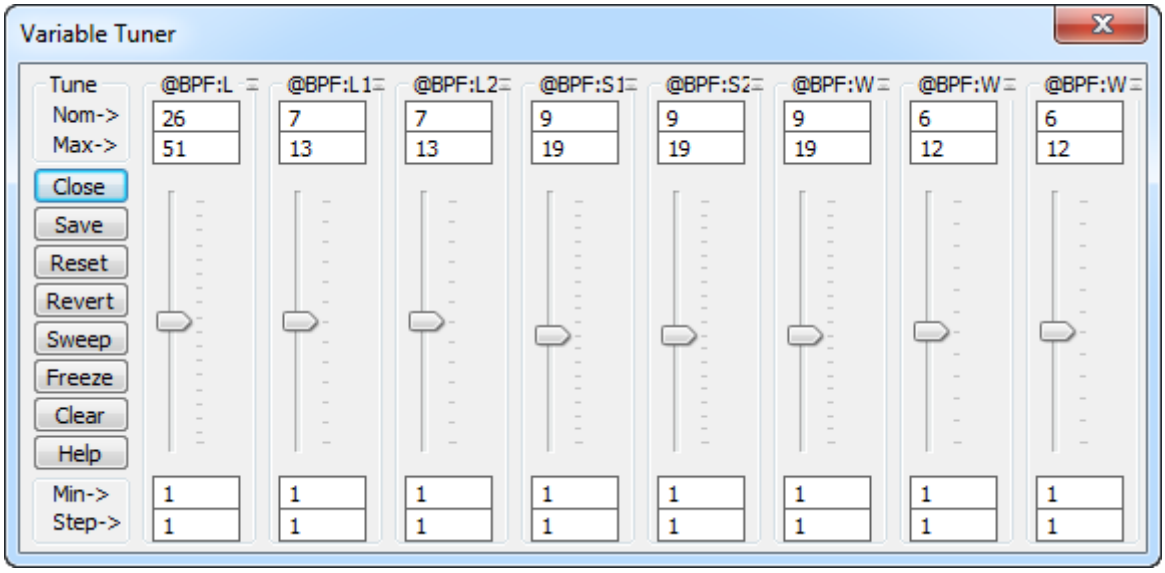


Рис. 4.33

При перемещении ползунков зажатой ЛКМ (или колесиком мышки) или вводе номеров позиции в поле **Nom** сразу же происходят соответствующие изменения в характеристике на графике и в значениях параметров на схеме.

При оптимизации диапазона изменения некоторых переменных может не хватить (например, ползунок находится на последнем номере из вектора значений, а форма характеристики немного не доходит до желаемой). В этом случае на схеме допускается в соответствующих векторах изменить значения их границ, кроме минимальных значений ширин полосковых элементов и зазоров между ними ($W_{NZ\,\min}$, $W_{Z\,\min}$, $S_{\min}$).

Назначение некоторых кнопок на рис. 4.33:

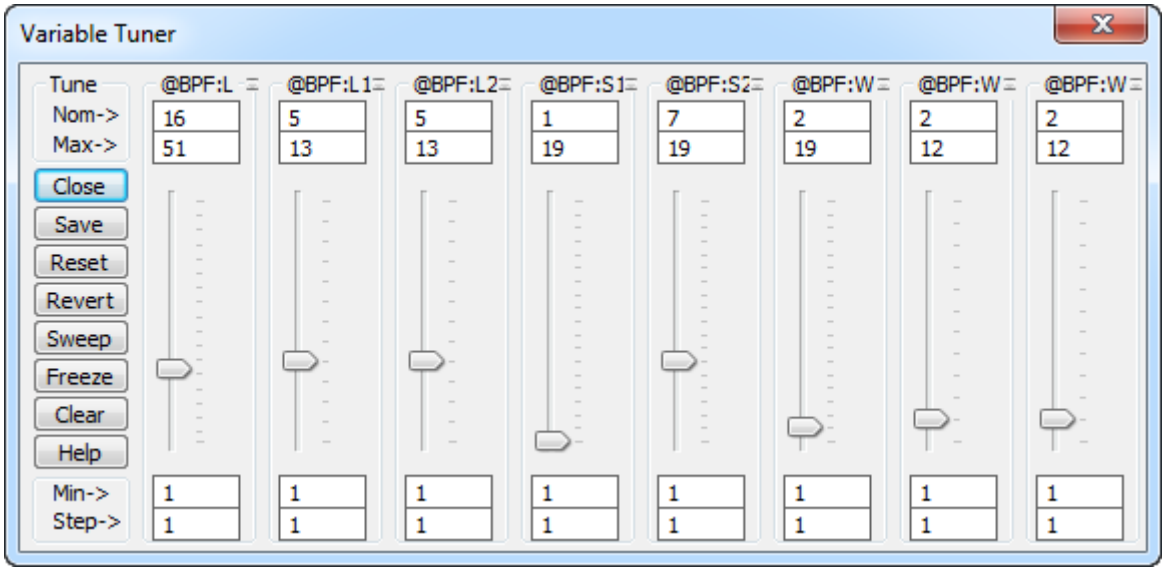
– **Reset** – сброс значений переменных в их начальные значения, которые были на момент открытия окна Variable Tuner;

– **Save** – сохранение текущего состояния значений переменных под заданным именем (не запоминаются после закрытия окна Variable Tuner);

– **Revert** – возврат к одному из сохраненных состояний;

– **Freeze** – фиксация характеристики на графике;

– **Clear** – очистка зафиксированных графиков.



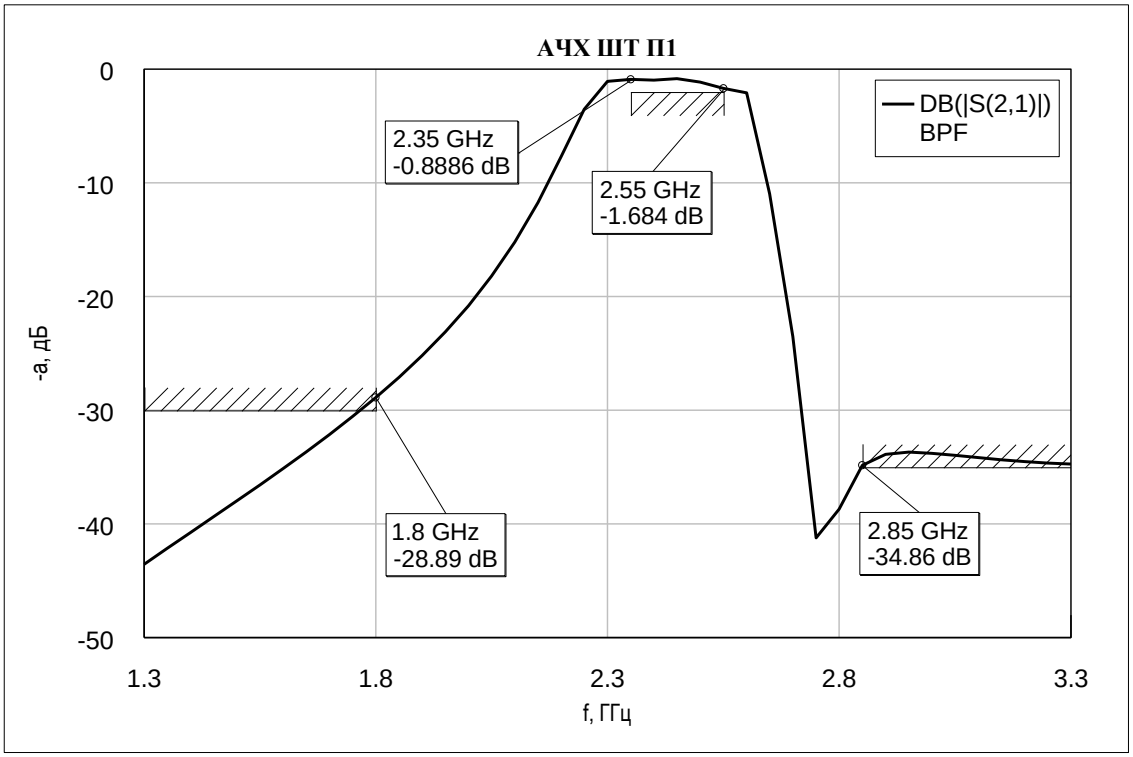


Рис. 4.34

На рис. 4.34 показаны результаты проведения оптимизации в ручном режиме в варианте «П1» (окно Variable Tuner и АЧХ).

7. Произвести оптимизацию в автоматическом режиме, т. е. попытаться получить требуемый вид АЧХ с помощью автоматических методов оптимизации.

Следует обратить внимание на то, что если вид АЧХ после проведения оптимизации в ручном режиме полностью удовлетворяет требованиям целей оптимизации, то выполнение автоматической оптимизации не требуется. В варианте «П1» автоматическая оптимизация необходима, так как на рис. 4.34 желательно увеличить затухание в полосах задерживания.

Автоматическая оптимизация запускается командой **Simulate ⇒ Optimize** (или клавишей **F7**), в результате чего открывается окно **Optimizer**, показанное на рис. 4.35.

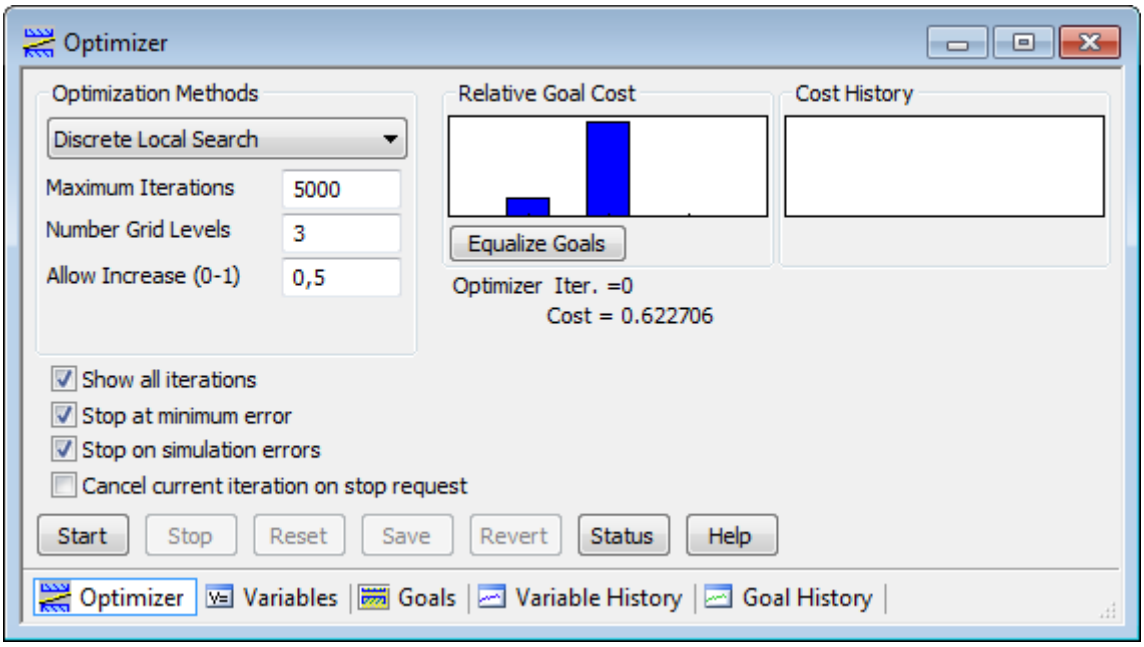


Рис. 4.35

В группе **Optimization Methods** из выпадающего списка выбирается один из методов оптимизации, описанных в табл. 4.1, а в полях под ним задаются соответствующие параметры. Общим для всех методов оптимизации является параметр **Maximum Iterations**, в котором устанавливается максимальное количество итераций работы выбранного метода до его остановки.

В группе **Relative Goal Cost** отображается гистограмма со столбцами, показывающими относительную «стоимость» каждой цели оптимизации. Порядок столбцов соответствует порядку записи целей оптимизации на вкладке **Project** (см. рис. 4.30).

Просмотреть подробности целей оптимизации и при необходимости внести корректировки позволяет вкладка **Goals** (рис. 4.36).

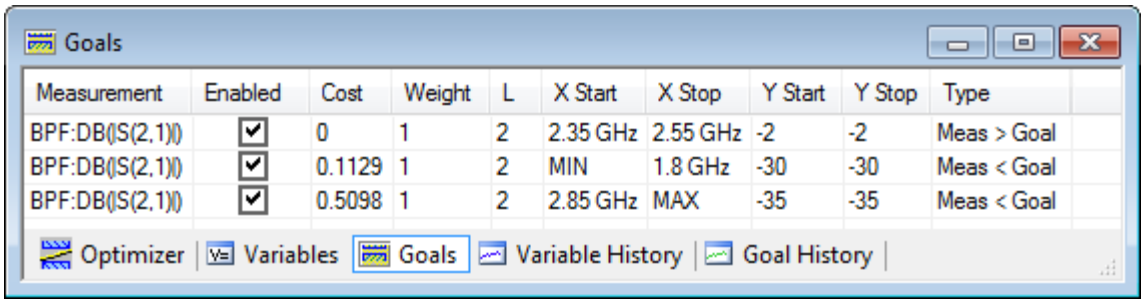


Рис. 4.36

Под «стоимостью» (cost) понимается значение, используемое для измерения сходимости целевой функции (мера близости к желаемому результату). Так, при нуле характеристика полностью удовлетворяет целям оптимизации.

Видно, что в варианте «П1» АЧХ наиболее удалена от цели оптимизации в области верхней полосы задерживания (Cost = 0,5098), тогда как в полосе пропускания все хорошо (Cost = 0).

При необходимости кнопкой **Equalize Goals** на рис. 4.35 можно автоматически выбрать вес целей оптимизации со «стоимостью» не равной нулю так, чтобы их «стоимости» стали одинаковыми. При этом общая «стоимость» остается постоянной и отображается под группой Relative Goal Cost.

В группе **Cost History** на рис. 4.35 в процессе работы оптимизатора показывается график зависимости общей «стоимости» от номера итерации.

Опция **Show all iterations** позволяет в процессе работы оптимизатора отображать на графике каждое изменение в реальном времени.

Назначение некоторых кнопок на рис. 4.35:

– **Start** – запуск оптимизации;

– **Stop** – остановка оптимизации на текущей итерации;

– **Reset**, **Save**, **Revert** – аналогичны по функциям кнопкам из окна Variable Tuner, описанным в п. 6.

Перед каждым последующим запуском автоматической дискретной оптимизации следует обращать внимание на начальные значения оптимизируемых переменных на схеме, которые не должны быть первым и последним элементом в заданных векторах значений. Если это не так, то необходимо вручную изменить номер элемента вектора значений на любой другой.

Оптимизация ШТ и СЛ происходит одинаково. Различие будет заключаться только в форме оптимизированной АЧХ.

Результат оптимизации в варианте «П1» показан на рис. 4.37.

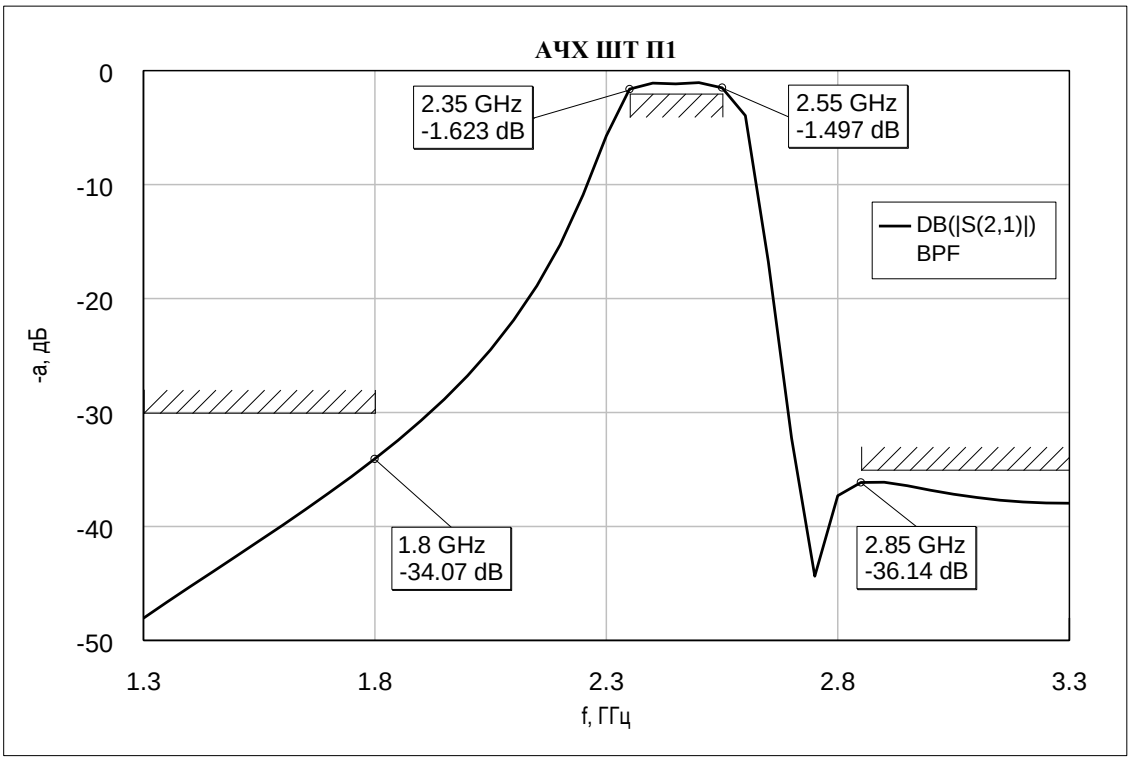


Рис. 4.37

Значения переменных в варианте «П1»:

– **W1** = 0,3 мм; **W2** = **W3** = 1,2 мм;

– **S1** = 0,2 мм; **S2** = 0,9 мм;

– **L** = 9,9 мм; **L1** = 1 мм; **L2** = 1,1 мм.

Аналогичные значения в других вариантах задания необходимо сохранить в отчет.

4.3.7. Статистический анализ

Статистический анализ позволяет оценить влияние разброса значений параметров элементов схемы на вид характеристик. В Microwave Office можно выполнять также и технологическую оптимизацию [30].

Статистический анализ будет произведен в следующем порядке:

1. Чтобы в статистическом анализе участвовали значения переменных, а не номера их позиций в соответствующих векторах, необходимо осуществить подготовительные действия:

1.1. Временно скопировать выражения для всех переменных на схеме в текстовые надписи, добавляемые командой **Draw ⇒ Add Text** (или комбинацией клавиш **Ctrl+T**).

При копировании выражений только в одну текстовую надпись новые строки добавляются комбинацией клавиш **Ctrl+Enter**.

1.2. Заменить в выражениях для переменых названия векторов значений с номерами позиций в квадратных скобках на их числовые значения, полученные после оптимизации.

Результат произведенных действий в сравнении с исходными выражениями переменных в варианте «П1» показан на рис. 4.38.

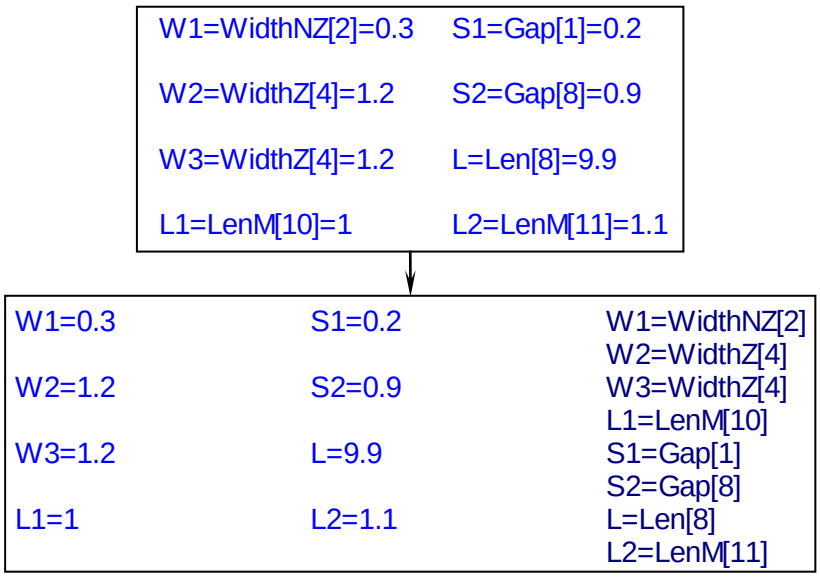


Рис. 4.38

2. Оценить влияние разброса параметров материала (относительной диэлектрической проницаемости и толщины диэлектрика):

2.1. В свойствах элемента **MSUB** перейти на вкладку **Statistics**.

2.2. Напротив параметра **Er** выполнить следующее:

– поставить галочку в столбце **Use** (использовать);

– в столбце **Distribution** (распределение) выбрать **Uniform** (равномерное);

– в поле **Tol** ввести значение величины $\Delta\varepsilon_r$.

2.3. Напротив параметра **H** выполнить следующее:

– поставить галочки в столбцах **Use** и **In%**;

– в столбце **Distribution** выбрать **Uniform**;

– в поле **Tol** ввести **10**, что означает ±10 % (см. Б.5).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 4.39.

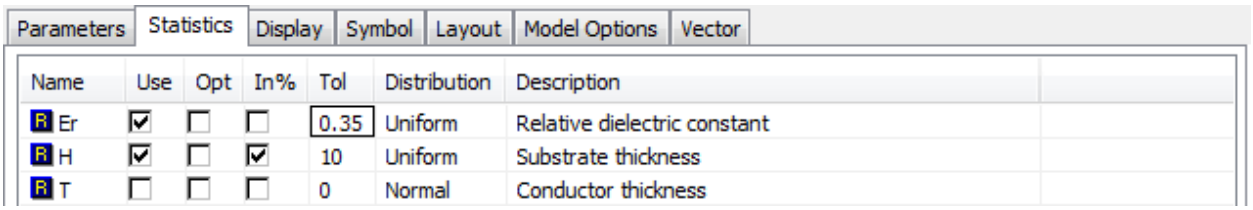


Рис. 4.39

2.4. Запустить команду **Simulate ⇒ Yield Analysis**.

В появившемся окне в группе **Analysis Methods** из выпадающего списка выбрать **Yield Analysis**, в поле **Maximum Iterations** ввести **500** и нажать **Start**.

Для ускорения процесса анализа можно отключить опцию **Show all trace updates** (при каждой итерации происходит обновление графика).

2.5. После завершения статистического анализа в свойствах графика на вкладке **Yield Data** отключить опцию **Show traces**, включить опцию **Show Range** и в выпадающем списке выбрать **Max/Min**. Это приведет к отображению результатов анализа в виде двух кривых, соответствующих максимальным отклонениям от исходной характеристики в обе стороны.

Полученный график сохранить в отчет.

3. Оценить влияние разброса размеров проводящего рисунка (ширин, длин полосковых элементов и зазоров между ними):

3.1. В свойствах элемента **MSUB** на вкладке **Statistics** для параметров **H** и **Er** убрать галочки в столбце **Use**.

3.2. В свойствах всех выражений для переменных на схеме выполнить следующее (рис. 4.40):

– в группе **Statistics** включить опцию **Use statistics**;

– в выпадающем списке для **Distribution Type** выбрать **Uniform**;

– в поле «+/–» установить величину разброса **0.05**, что соответствует предельному отклонению размеров (±0,05 мм) проводящего рисунка с покрытием для 4-го класса точности (табл. Б.7).

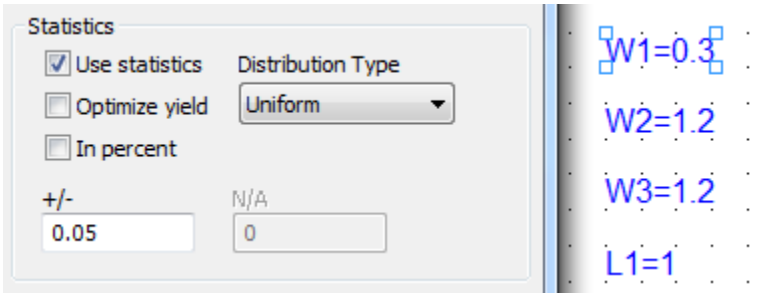


Рис. 4.40

3.3. Выполнить п. 2.4 и сохранить полученный график в отчет.

4. Оценить суммарное влияние разброса параметров материала и проводящего рисунка:

4.1. В свойствах элемента **MSUB** на вкладке **Statistics** для параметров **H** и **Er** поставить галочки в поле **Use**.

4.2. Выполнить п. 2.4 и сохранить полученный график в отчет.

Результат статистического анализа, учитывающий разброс параметров материала и проводящего рисунка в варианте «П1», показан на рис. 4.41.

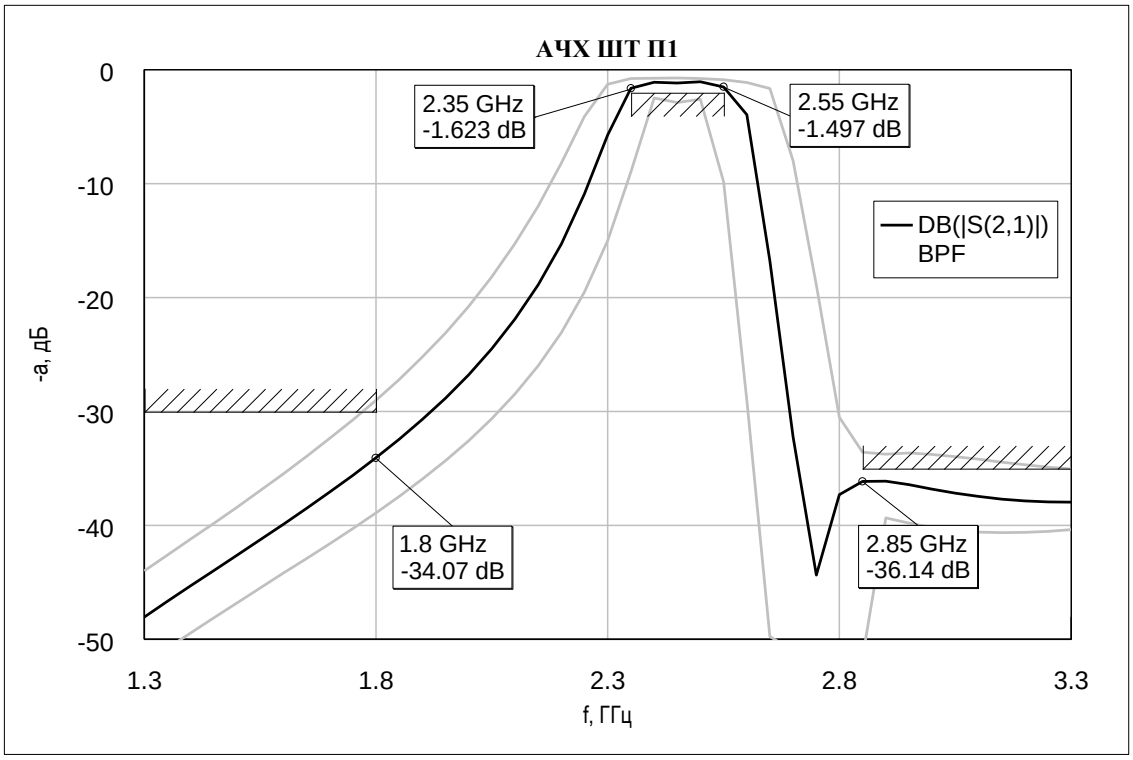


Рис. 4.41

5. Восстановить исходные выражения для переменных, воспользовавшись данными из текстовой надписи, созданной в п. 1.1. Затем указанную надпись удалить.

4.4. Электромагнитное моделирование ПФ в Microwave Office

Электромагнитное моделирование использует уравнения Максвелла для определения характеристик устройства по его заданной физической геометрии, поэтому оно свободно от ограничений, имеющихся в моделях электрических цепей в линейном моделировании. С помощью этого моделирования можно анализировать произвольные структуры и обеспечивать очень точные результаты.

Недостатком электромагнитного моделирования является увеличение необходимого объема оперативной памяти и времени моделирования с увеличением сложности структуры.

Моделирование ПФ будет производиться в EMSight-симуляторе, осуществляющем 2.5D-анализ. Это анализ плоскопараллельных многослойных планарных структур, которые могут содержать множество металлических и диэлектрических слоев с межслойными переходами или заземлениями, в

прямоугольном корпусе с боковыми проводящими стенками и автоматически созданной электрической сеткой с ячейками прямоугольной формы.

Существует два наиболее значимых ограничения данного симулятора.

Во-первых, проводники моделируются бесконечно тонкими, а задаваемая в проекте толщина учитывается только при расчете потерь. В результате возникает погрешность в связях между резонаторами, что приводит к сужению полосы пропускания и смещению частоты F_0 вниз. Погрешность может стать существенной, если зазор в связанных линиях мал и соизмерим с толщиной проводников.

Несмотря на то что проводники могут быть сделаны условно объемными с помощью дополнительного слоя и вертикальных перемычек, такая модификация не является полноценной заменой и, кроме того, приводит к сильному увеличению времени расчета.

Во-вторых, необходимо внимательно относиться к выбору размеров ячеек геометрической сетки и к положению элементов топологии относительно ее узлов:

– слишком маленький шаг сетки значительно увеличит необходимый объем оперативной памяти и время моделирования;

– если шаг сетки будет превышать самое узкое место в топологии (например, узкий проводник), то программа может аппроксимировать его в элемент нулевой ширины, т. е. в разрыв (отсутствие соединения);

– если разместить элементы топологии под углом к линиям сетки (например, при моделировании повернутой структуры ПФ, показанной на рис. 4.6, *б*), то программа все наклонные элементы аппроксимирует ступеньками. В результате этого полученная характеристика может быть сдвинута вниз по частоте относительно аналогичной топологии без поворота и иметь отличную от последней ширину полосы пропускания за счет увеличения длины проводников.

Следует отметить, что кроме EMSight-симулятора в Microwave Office есть AXIEM-симулятор, осуществляющий 3D-анализ планарных СВЧ-структур и обладающий следующими основными особенностями:

– используется смешанная электрическая сетка с прямоугольными и треугольными ячейками, что позволяет осуществлять моделирование структур с криволинейными контурами;

– проводники могут иметь толщину в направлении оси Z, при этом на нее не накладывается ограничений;

– диэлектрические слои имеют бесконечную протяженность в плоскости X0Y (то есть нет боковых металлизированных стенок);

– нет ограничений на встраивание проводников в геометрическую сетку;

– для анализа используется сетка на всех поверхностях проводника включая боковые стороны [29].

Применение EMSight-симулятора в данном учебном пособии объясняется простотой использования для рассматриваемых структур ПФ. Работа с AXIEM-симулятором кратко приведена в A.3.

Моделирование в вариантах задания необходимо произвести в следующем порядке:

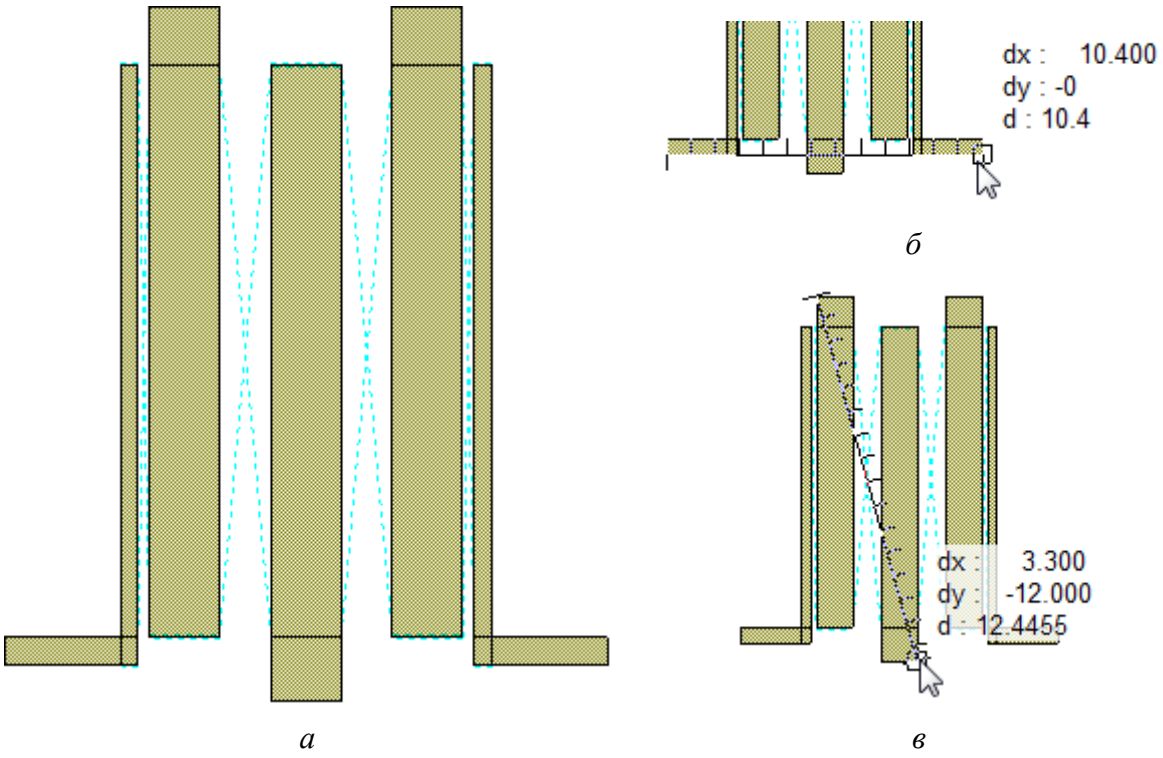
1. Получить топологию ПФ из результатов линейного моделирования:

1.1. Сделать активным окно схемы (**BPF**), дважды щелкнув ЛКМ по ее имени в группе **Circuit Schematics** на вкладке **Project**.

1.2. Запустить команду **View ⇒ View Layout**.

1.3. Топология ПФ на данном этапе состоит из полосковых элементов с разрывами. Для группировки элементов выполнить команду **Edit ⇒ Select All** (или нажать комбинацию клавиш **Ctrl+A**), а затем **Edit ⇒ Snap Together**.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 4.42, *а*.



а *б* *в*

Рис. 4.42

1.4. Командой **Draw ⇒ Measure** произвести измерения габаритных размеров топологии ПФ и временно сохранить результат.

Для этого необходимо щелкнуть ЛКМ по точке начала измерения и переместить курсор мышки с зажатой ЛКМ в конечную точку измерения. Результат измерения (переменная dx или dy) отобразится около курсора.

В варианте «П1» размер топологии ПФ по оси X (между входом и выходом) составил 10,4 мм, а по оси Y – 12 мм (см. рис. 4.42, *б* и *в*).

2. Задать параметры корпуса МПЛ и окружающей обстановки:

2.1. На элементе **EM Structures** из вкладки **Project** запустить команду **ПКМ ⇒ New EM Structure**. В открывшемся окне ввести имя модели (**BPFem**), отметить симулятор **AWR EMSight Simulator** и нажать **Create**.

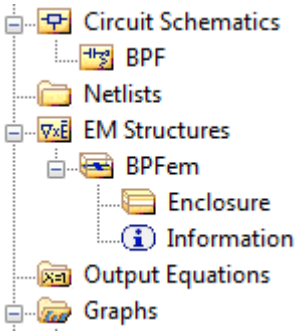


Рис. 4.43

В результате в рабочем поле откроется пустое окно электромагнитной модели, а в группе **EM Structures** появится подгруппа с его названием (рис. 4.43).

2.2. На элементе **Enclosure** из созданной подгруппы **BPFem** запустить команду **ПКМ ⇒ Edit**, в результате чего откроется окно свойств электромагнитной модели.

Важный момент – все значения далее должны вводиться с точкой в качестве десятичного разделителя.

2.3. На вкладке **Enclosure** ввести размеры сетки и габаритные размеры подложки для размещения топологии ПФ, при этом учесть следующее:

– по требованию общего задания на проектирование шаг геометрической сетки (параметры **Grid_X** и **Grid_Y**) должен составлять **0.1** мм;

– параметр **X_Dim** – размер между входом и выходом ПФ;

– параметр **Y_Dim** должен быть задан на 4–6 мм больше, чем второй габаритный размер топологии ПФ. Добавка нужна для получения двух зазоров от топологии ПФ до заземленных границ корпуса, в котором она находится.

Значения **X_Dim** и **Y_Dim** необходимо сохранить в отчет, так как они понадобятся при разработке ПП.

Enclosure | Material Defs. | Dielectric Layers | Materials

Name	Value	Unit	Step	Description
ID	ENCL			Element ID
X_Dim	10.4	mm	0	Enclosure X Dimension
Y_Dim	16	mm	0	Enclosure Y Dimension
Grid_X	0.1	mm	0	Enclosure Grid X Spacing
Grid_Y	0.1	mm	0	Enclosure Grid Y Spacing

Рис. 4.44

Примечание. Если ввести значения с запятой в качестве десятичного разделителя, то в X_Dim и Y_Dim будет учитываться только целая часть, а сетка сбросится к 0,01 мм.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 4.44.

2.4. На вкладке **Materials** кнопкой **Delete** удалить все строки, кроме первой (Perfect Conductor).

2.5. На вкладке **Material Defs** выполнить следующее:

– в разделе **Dielectric Definitions** в столбцах **Er** и **TanD** ввести значения относительной диэлектрической проницаемости (ε_r) и тангенса угла диэлектрических потерь ($\tan\delta$) соответственно;

– в разделе **Conductor Definitions** удалить существующую запись кнопкой **Remove**. Затем нажать кнопку **Add** и в появившемся окне в списке **Presets** выбрать **Copper**.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 4.45.

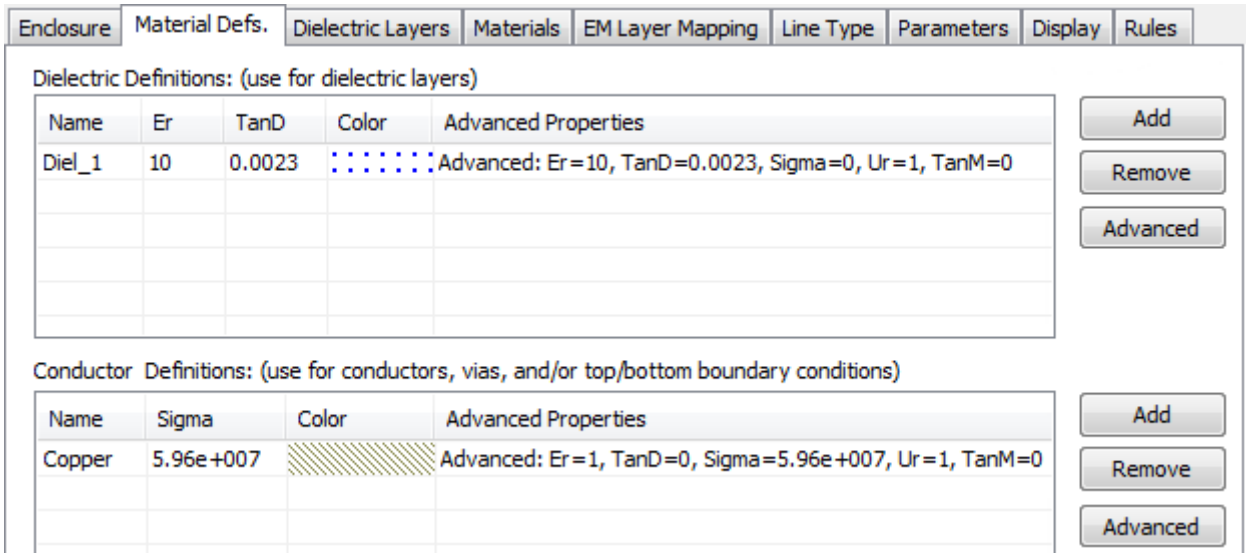


Рис. 4.45

2.6. Определить толщину воздушного заполнения над основанием полосковой платы ($h_{\text{взэ}}$) по следующей формуле:

$$h_{\text{взэ}} = h_{\text{муэ}} - \left(h + t + h_{\text{гм}} + h_{\text{фп}}\right) - h_{\text{осн}} - h_{\text{кэ}}, \qquad (4.9)$$

где $h_{\text{муэ}}$ – толщина «модуля усилителя» в области размещения «экрана», заданная в общем задании на проектирование, $h_{\text{муэ}} = 10$ мм; $h_{\text{гм}}$ – толщина гальванической меди (см. п. 8 из Б.4), мм; $h_{\text{фп}}$ – толщина финишного покрытия ImmAg (см. п. 3 из Б.6), мм; $h_{\text{осн}}$ – толщина «основания» в месте расположения ПП, $h_{\text{осн}} = 3$ мм; $h_{\text{кэ}}$ – толщина верхней стенки «экрана», $h_{\text{кэ}} = 1$ мм.

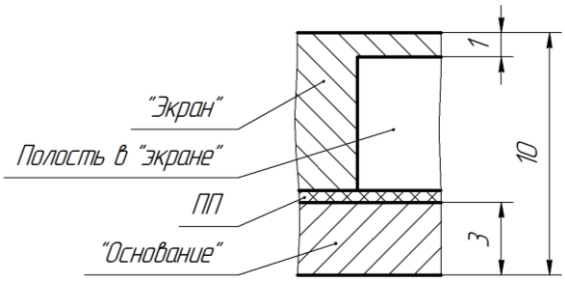


Рис. 4.46

На рис. 4.46 рассматриваемая величина соответствует полости в «экране».

В варианте «П1»:

$$h_{\text{взэ}} = 10 - \left(0{,}508 + 0{,}018 + 0{,}02 + 0{,}0004\right) - 3 - 1 \approx 5{,}454 \text{ мм}.$$

2.7. На вкладке **Dielectric Layers** в столбце **Thickness** ввести:

– для слоя № 1 – толщину воздушного заполнения ($h_{\text{ВЗЭ}}$);

– для слоя № 2 – базовую толщину диэлектрика (h).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 4.47.

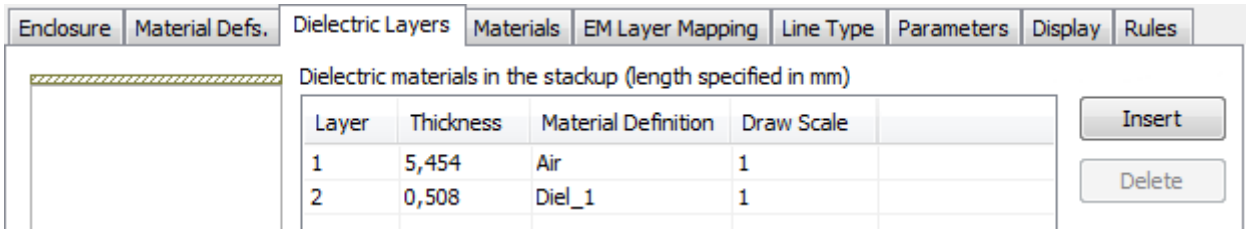


Рис. 4.47

Примечания:

– параметр Draw Scale определяет масштаб отображения слоев при просмотре топологии в 3D-режиме;

– на вкладке каждое записанное число отображается с запятой в качестве десятичного разделителя. Однако если изначально ввести значение с запятой, то после закрытия данного окна вместо одного слоя появятся два с толщинами, равными целой и дробной части исходного числа.

2.8. На вкладке **Materials** нажать кнопку **Insert** и в появившейся строке выполнить следующее:

– в столбце **Name** ввести название материала полоскового элемента (например, **StripElement**);

– в столбце **Thickness** ввести толщину меди (t);

– в столбце **Material Definition** выбрать материал **Copper**.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 4.48.

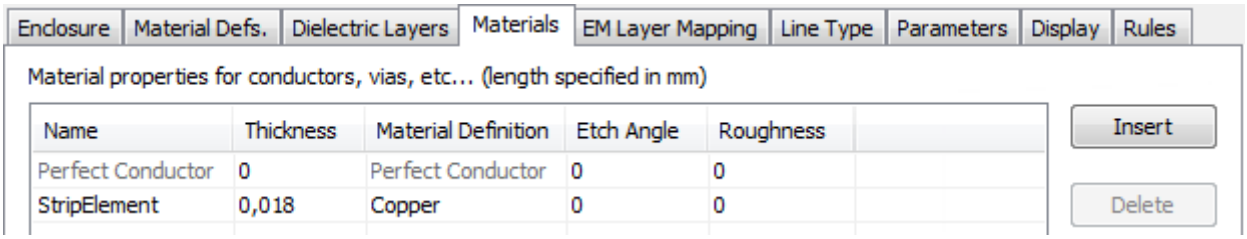


Рис. 4.48

Примечание. Если ввести значение с запятой в качестве десятичного разделителя, то будет учитываться только его целая часть.

2.9. Закрыть окно свойств элемента **Enclosure** кнопкой **OK**.

3. Добавить топологию ПФ в корпус, созданный ранее:

3.1. Сделать активным окно с топологией ПФ (см. рис. 4.42, *а*).

3.2. Выделить всю топологию ПФ (**Ctrl+A**) и скопировать ее (**Ctrl+C**).

3.3. Сделать активным окно электромагнитной модели и выполнить следующие действия:

– без фиксации вставить топологию ПФ (**Ctrl+V**);

– сориентировать и расположить топологию симметрично границам корпуса (при необходимости поворота щелкнуть ПКМ);

– зафиксировать топологию ЛКМ;

– при необходимости скорректировать положение топологии;

– убедиться в том, что края входной и выходной МПЛ точно совпадают с краями корпуса, а сама топология находится в сетке.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 4.49.

Если топология ПФ не попала в сетку, то выполнить следующее:

– выделить все объекты (**Ctrl+A**);

– подвести курсор мышки к любому углу проводника и зажать клавишу **Ctrl** (при этом курсор «прилипнет» к этой точке проводника);

– не отпуская клавишу **Ctrl**, зажать ЛКМ и передвинуть выделенные объекты до ближайшего узла сетки.

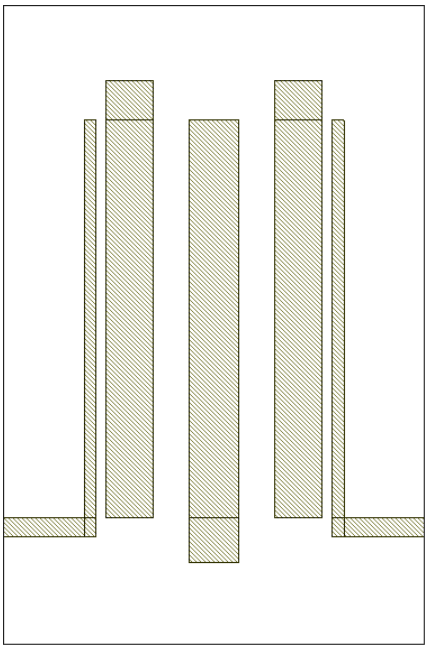


Рис. 4.49

3.4. Выделить все объекты (**Ctrl+A**) и на любом элементе топологии ПФ запустить команду **ПКМ ⇒ Shape Properties**.

В открывшемся окне в списке **Material** выбрать **StripElement** и нажать **OK**.

3.5. Щелкнуть ЛКМ по входной МПЛ для ее выделения и запустить команду **Draw ⇒ Add Edge Port**. Затем поместить курсор мышки на ее левый край так, чтобы он подсветился, и щелкнуть ЛКМ для закрепления порта.

Щелкнуть по добавленному порту ЛКМ для его выделения. Поместить курсор мышки на черную линию так, чтобы он отобразился в виде двойной стрелки, а затем щелкнуть ЛКМ и, не отпуская ее, сместить референсную плоскость порта на 1 мм вправо (рис. 4.50). После чего отпустить ЛКМ.

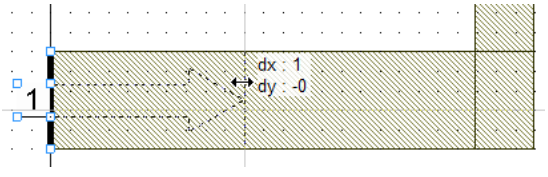


Рис. 4.50

Примечание. Так как порт помещается на край проводника, совпадающий с краем корпуса, где действуют граничные условия для стенки из идеального проводника, то в области порта присутствует

неоднородность, приводящая к возникновению высших запредельных типов волн, искажающих реальные характеристики. Для исключения этого и служит референсная плоскость. В результате порт находится не на краю моделируемой структуры, а смещен от него. При этом запредельные типы волн успевают затухнуть и не оказывают существенного влияния на характеристики [29].

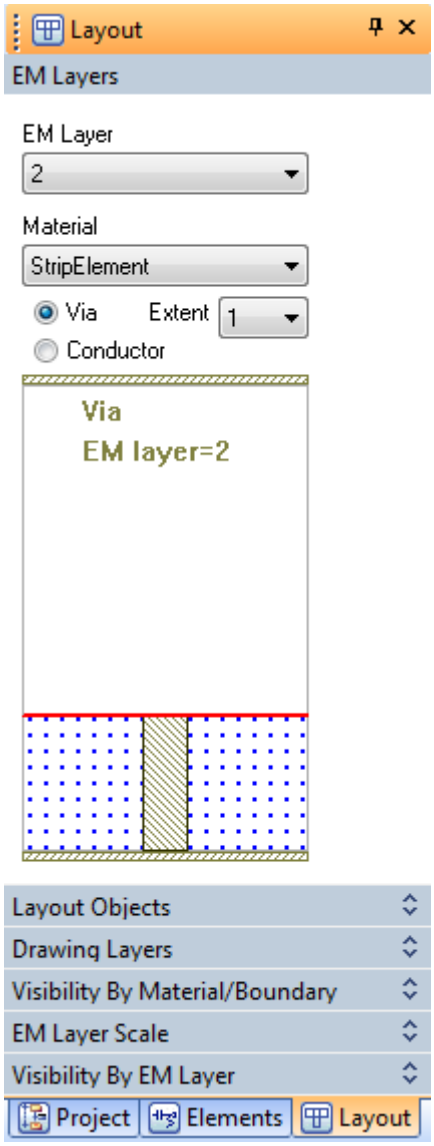


Рис. 4.51

Обычно расстояние от порта до референсной плоскости рекомендуется выбирать примерно равным двум толщинам основания полосковой платы, что и было сделано в рассматриваемом примере.

3.6. По п. 3.5 установить второй порт на правой кромке выходной МПЛ топологии ПФ.

3.7. В вариантах задания с ШТ, добавить металлизированные переходные отверстия для связи между слоями модели, для чего выполнить следующие действия:

– сделать активной вкладку **Layout** и раскрыть группу **EM Layers**;

– в списке **EM Layer** выбрать **2**, в списке **Material** – **StripElement**, а также включить опцию **Via** (рис. 4.51);

– запустить команду **Draw ⇒ Rectangle** и в окне с электромагнитной моделью в любом месте ЛКМ нарисовать прямоугольную перемычку с размерами 0,2 × 0,4 мм;

– скопировать (**Ctrl+C**) нарисованную перемычку и вставить копию (**Ctrl+V**) в центр исходной перемычки, предварительно повернув ее на 90º однократным щелчком ПКМ (в результате получится перекрестие);

– выделить две созданные перемычки и объединить их в одну командой **Draw ⇒ Modify Shapes ⇒ Union**;

– передвинуть созданный крестообразный полигон на край полоскового элемента, который

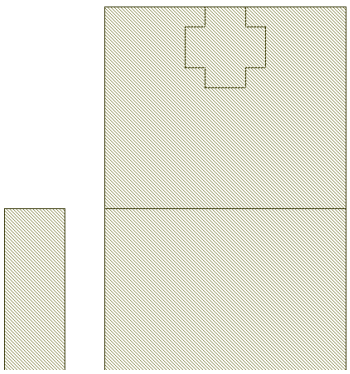


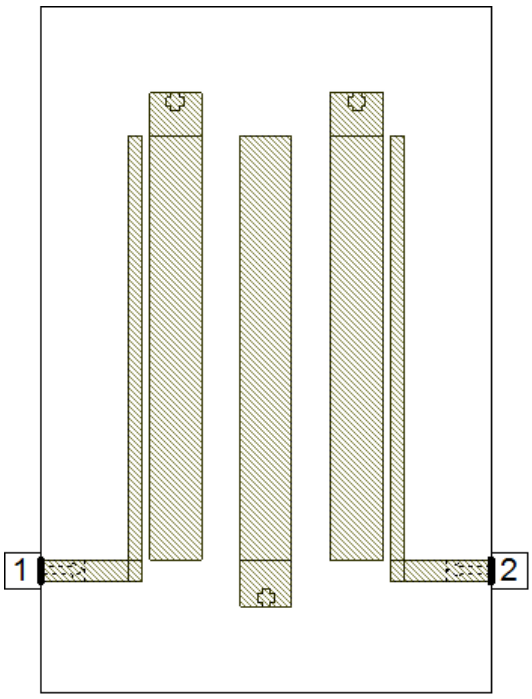
Рис. 4.52

должен быть заземлен (см. рис. 4.52). Этот полигон и будет отверстием в будущей КП;

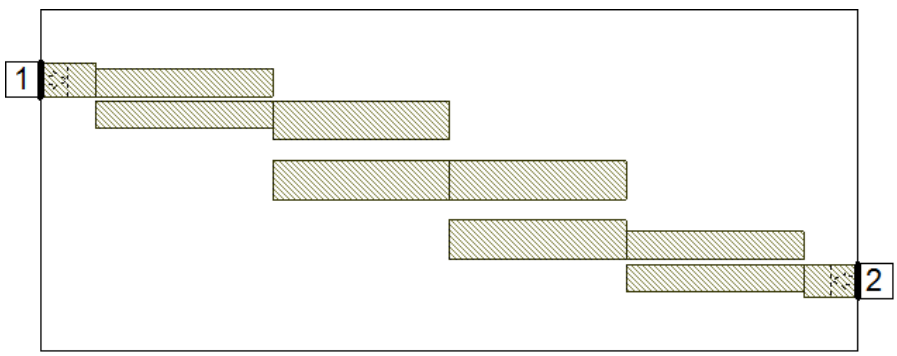
– скопировать крестообразный полигон и поместить копии на все заземленные края полосковых элементов.

Примечание. Не обязательно использовать круглые полигоны или мелкую сетку, чтобы аппроксимировать круглое отверстие межслойного перехода. Точность моделирования будет достаточной, если цилиндрическое отверстие межслойного перехода представить призмой в виде двух вписанных в окружность пересекающихся прямоугольников, как и было сделано выше. Центр призмы должен совпадать с центром отверстия [29].

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 4.53, *а*, а возможный вид топологии СЛ 3-го порядка – на рис. 4.53, *б*.



а



б

Рис. 4.53

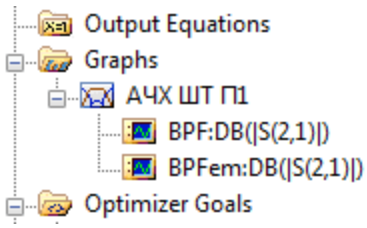


Рис. 4.54

4. Добавить к графику АЧХ, полученному в результате линейного моделирования, график АЧХ электромагнитной модели.

Для этого выполнить пп. 3.1 и 3.2 из 4.3.5, выбрав в поле **Data Source Name** название электромагнитной модели – **BPFem**.

Изменения на вкладке **Project** в варианте «П1» показаны на рис. 4.54.

5. Выполнить моделирование командой **Simulate ⇒ Analyze**.

6. Удалить с графика результаты статистического анализа, для чего запустить команду **Simulate ⇒ Yield Analysis** и в появившемся окне нажать кнопку **Close**.

7. Настроить вид второй кривой, для чего в свойствах графика перейти на вкладку **Traces**, в группе **Style** выбрать ЛКМ вторую строку и в выпадающих списках установить: Color – **черный**, Symbol – **none**, Line – **пунктирная**, Weight – **вторая сверху**.

8. По п. 5 из 4.3.6 добавить маркеры на указанных частотах на графике АЧХ для электромагнитной модели.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 4.55.

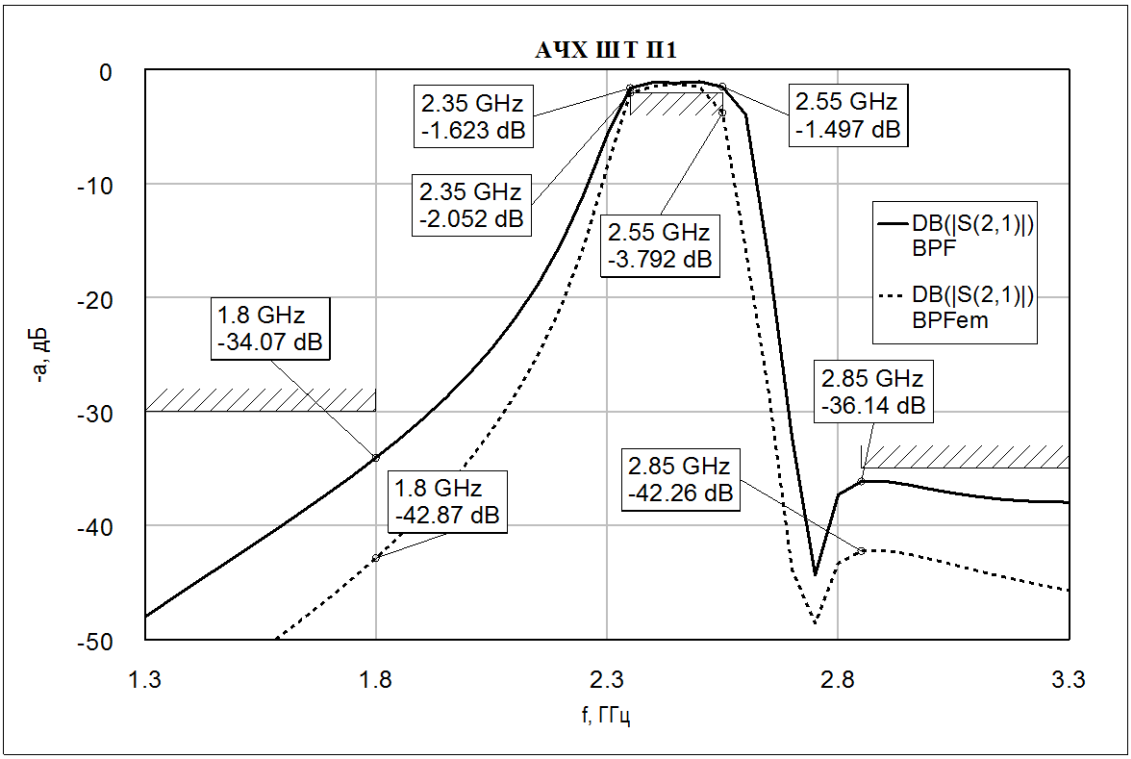


Рис. 4.55

Как видно из рисунка, полоса пропускания АЧХ для электромагнитной модели получилась уже, чем для линейного моделирования. Похожий ре-

зультат следует ожидать и в готовом устройстве. Поэтому топологию ПФ необходимо скорректировать, изменив положение и (или) размеры полосковых элементов.

Следует обратить внимание на то, что в других вариантах задания результат может отличаться от варианта «П1»:

– полоса пропускания АЧХ может быть не только уже, но и шире;

– АЧХ может быть сдвинута вверх или вниз по частоте;

– АЧХ может полностью удовлетворять целям оптимизации (в этом случае дальнейшая корректировка не требуется).

9. Чтобы произвести правильные корректировки в топологии ПФ, необходимо понять влияние на вид АЧХ переменных, заданных при линейном моделировании, для чего выполнить следующие действия:

– в рабочем поле оставить только вкладки со схемой ПФ и графиком;

– выполнить команду **Window ⇒ Tile Horizontal**, в результате чего каждое окно займет по половине площади рабочего поля;

– запустить команду **Simulate ⇒ Tune** и в окне **Variable Tuner** с помощью ползунков определить переменную (или переменные), которая позволит правильно скорректировать вид АЧХ электромагнитной модели. Исследовать влияние переменных нужно по отдельности, каждый раз возвращаясь к исходным значениям кнопкой **Reset**.

Например, в варианте «П1» понадобится переменная **S2** (зазор между резонаторами 2 и 3, 3 и 4). При ее увеличении полоса пропускания АЧХ сужается, а при уменьшении – расширяется. Также может понадобиться переменная **L** (длина резонаторов), при увеличении которой полоса пропускания АЧХ сдвигается вниз по частоте с небольшим сужением, а при уменьшении – сдвигается вверх по частоте с небольшим расширением. Влияние указанных переменных на АЧХ показано на рис. 4.58;

– вернуть исходные значения переменным в схеме кнопкой **Reset** и закрыть окно **Variable Tuner**.

10. Открыть окно электромагнитной модели, произвести корректировки в топологии ПФ и сохранить график АЧХ в отчет.

В варианте «П1» для расширения полосы пропускания АЧХ потребовалось уменьшить зазоры между резонаторами 2 и 3, 3 и 4 (переменная **S2**). Для этого были выполнены следующие действия:

– выделены элементы, находящиеся слева от центрального резонатора, за исключением входного полоскового элемента (см. рис. 4.57, *а*);

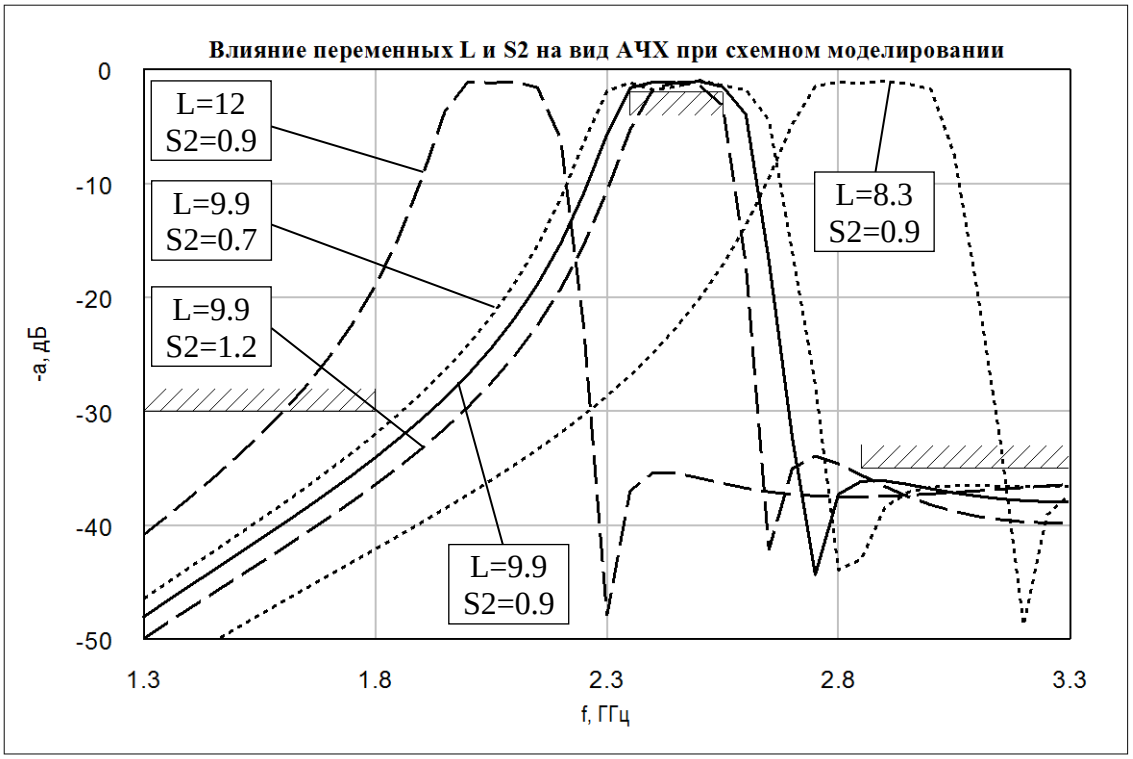
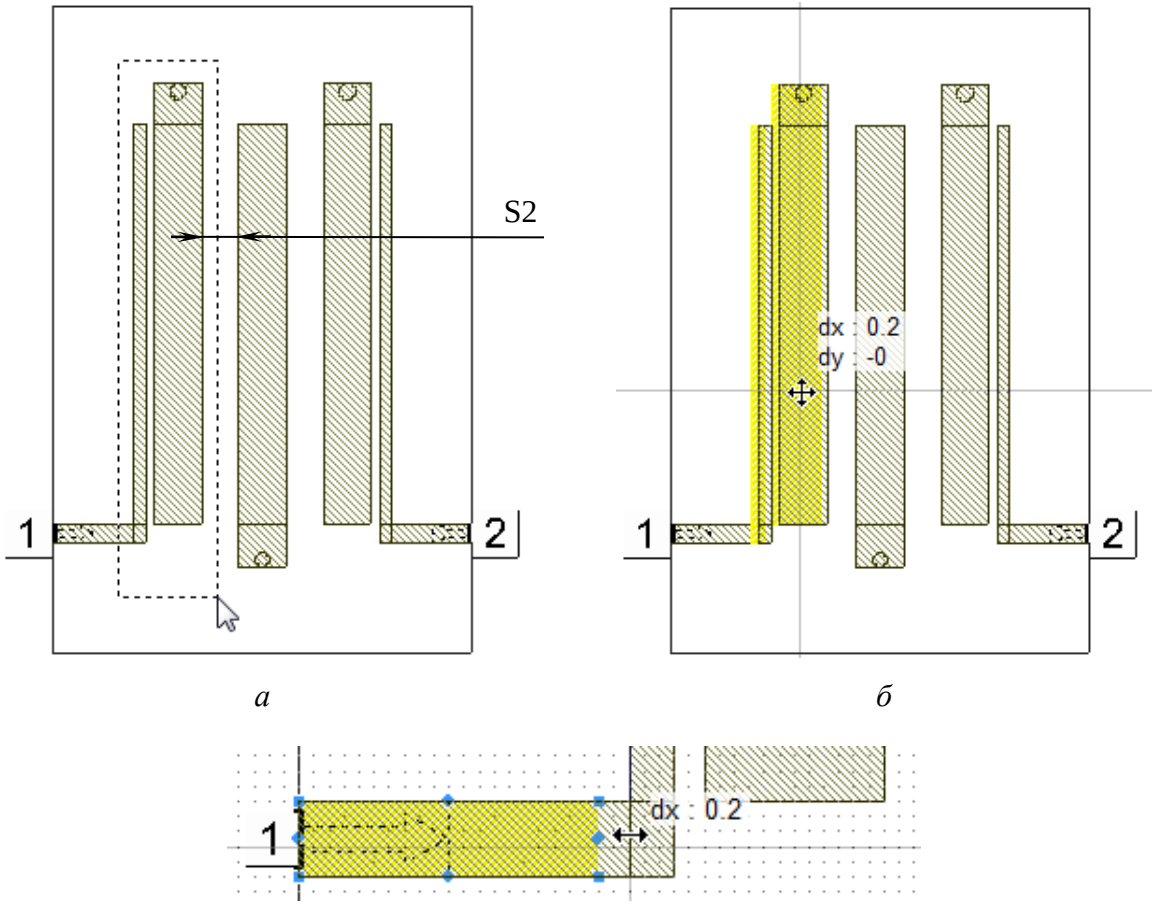


Рис. 4.56



а *б*

в

Рис. 4.57

– выделенные объекты перемещены с зажатой ЛКМ по горизонтали вправо. Рекомендуется изменять размеры (ширины, длины, зазоры) на небольшие величины. Так, на рис. 4.57, *б* сдвиг был осуществлен на 0,2 мм, т. е. переменная **S2** уменьшена с 0,9 мм до 0,7 мм;

– увеличена длина входного полоскового элемента до касания с резонатором. Для этого по нему был сделан двойной щелчок ЛКМ и перемещена характерная точка, отмеченная синим ромбом (см. рис. 4.57, *в*);

– проделаны описанные выше действия с элементами топологии, находящимися справа от центрального резонатора, при этом сдвиг производился влево на 0,2 мм (для сохранения симметричности топологии);

– выполнено моделирование командой **Simulate ⇒ Analyze**.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 4.58.

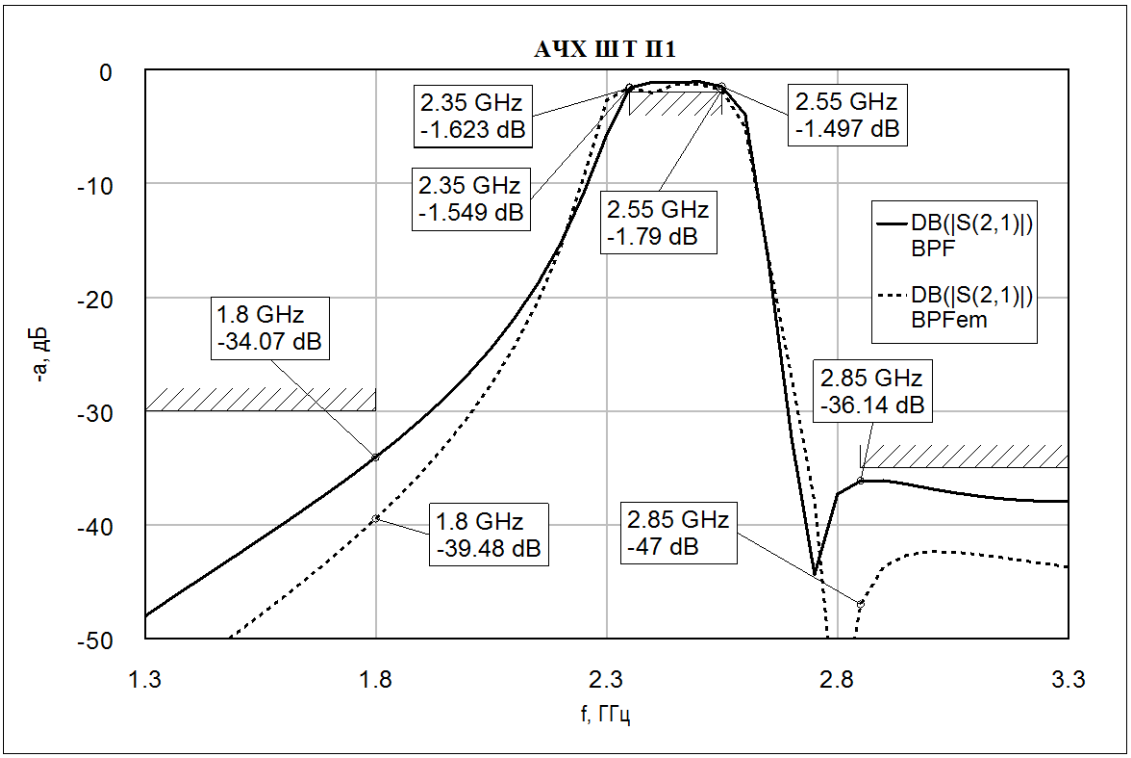


Рис. 4.58

Как видно из рисунка, теперь АЧХ электромагнитной модели полностью удовлетворяет целям оптимизации. Следует отметить, что приемлемый результат в вариантах задания не обязательно получится сразу, поэтому может потребоваться проведение дополнительных корректировок.

Скорректированные параметры топологии ШТ в варианте «П1»:

– **W1** = 0,3 мм; **W2** = **W3** = 1,2 мм;

– **S1** = 0,2 мм; **S2** = 0,7 мм;

– **L** = 9,9 мм; **L1** = 1 мм; **L2** = 1,1 мм.

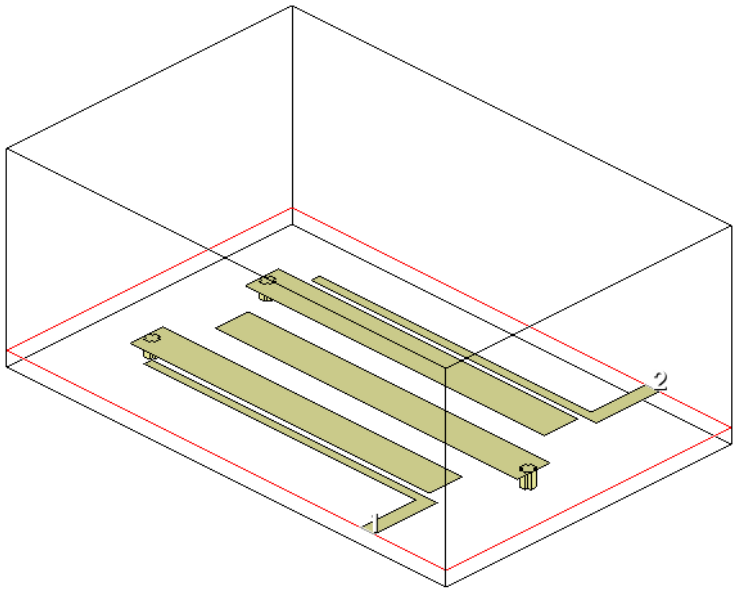
Аналогичные значения в других вариантах задания необходимо сохранить в отчет.

11. Открыть окно электромагнитной модели, после чего выделить все объекты (**Ctrl+A**) и выполнить команду **Draw ⇒ Modify Shapes ⇒ Union**.

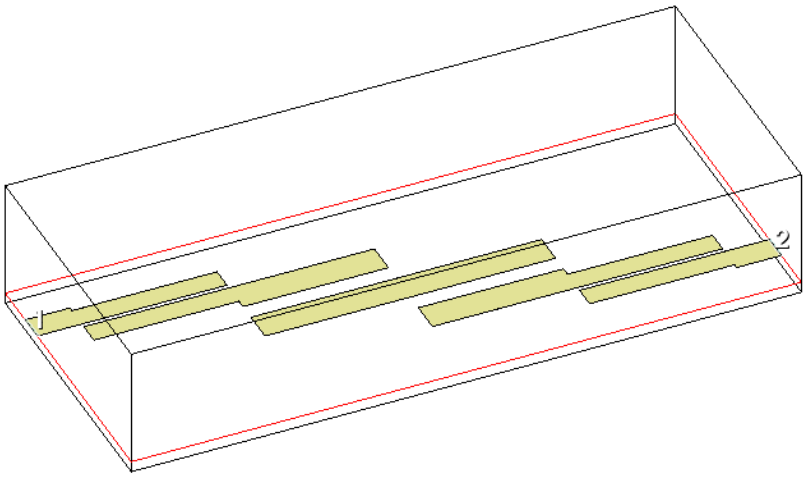
В результате полигоны на одном слое с общими сторонами или пересечениями будут объединены (полигоны под металлизированные переходные отверстия в ШТ останутся в виде отдельных объектов).

12. Сохранить в отчет 3D-вид полученной топологии ПФ, для чего выполнить команду **View ⇒ View 3D EM Layout** при активном окне электромагнитной модели.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 4.59, *а*, а возможный 3D-вид для ШТ 3-го порядка – на рис. 4.59, *б*.



а



б

Рис. 4.59

13. Сохранить скорректированную топологию ПФ в формате DXF для последующего импорта в редактор ПП Altium Designer.

Для этого на вкладке **Project** на названии электромагнитной модели (**BPFem**) запустить команду **ПКМ ⇒ Export Layout**, после чего в появившемся окне **Export Layout** выполнить следующее:

– в списке **Тип файла** выбрать **DXF (DXF Flat, *.dxf)**;

– в поле **Имя файла** оставить имя по умолчанию – **BPFem.dxf**;

– выбрать папку для сохранения. Путь сохранения в варианте «П1» – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Фильтр** (см. рис. 2.8).

На рис. 4.60 показан фрагмент файла «**Расчеты (фильтр).xmcd**», в котором производились расчеты в варианте «П1».

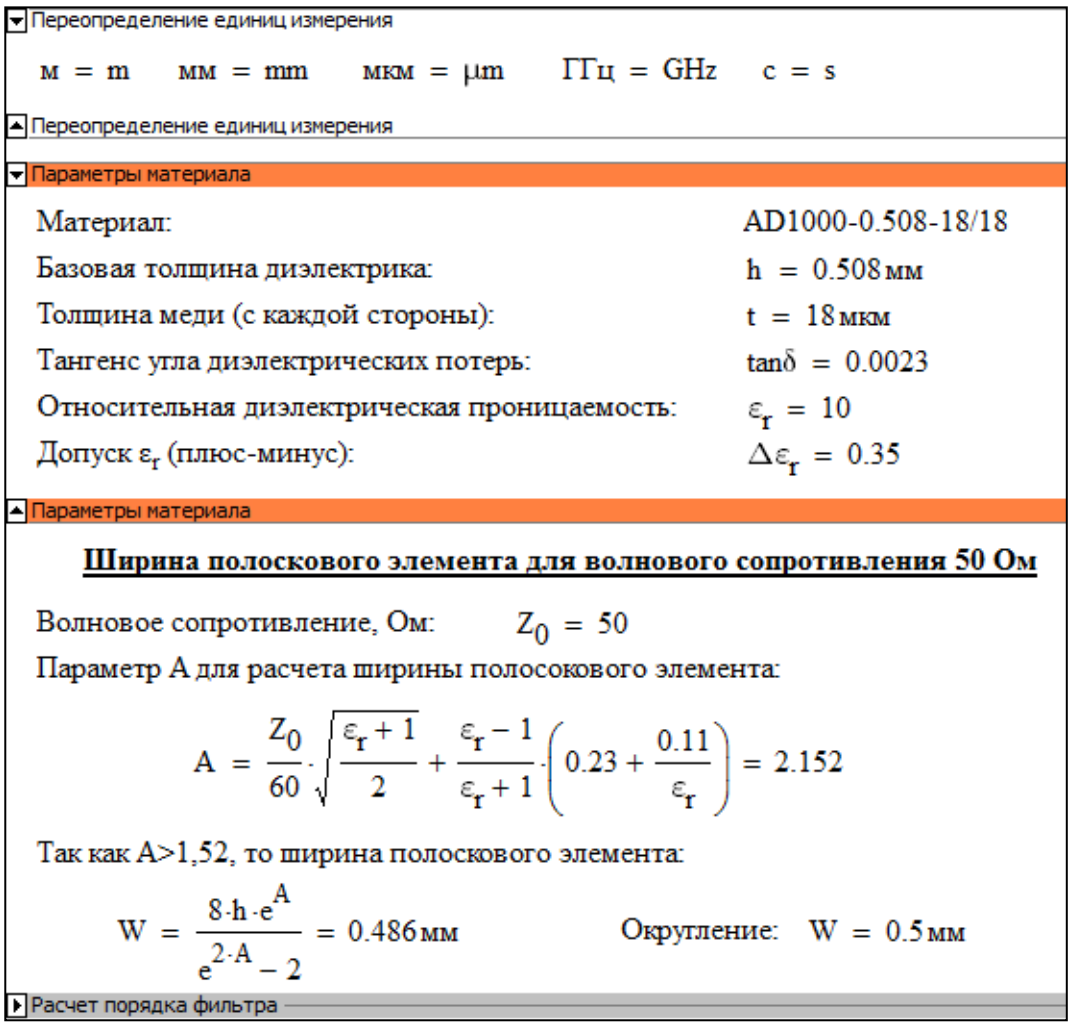


Рис. 4.60

Для временного скрытия предупреждений (подчеркивание зеленой ломаной линией) следует запустить команду **Tools ⇒ Preferences**, а затем в открывшемся окне перейти на вкладку **Warnings** и отключить опцию **Show warnings on redefinitions of**.

4.5. Содержание отчета

По 4-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Расчет ширины полоскового элемента.
2. Расчет порядка ПФ.
3. Расчет эффективной диэлектрической проницаемости.
4. Расчет четверти длины волны.
5. Рисунок схемы ПФ.
6. Результаты статистического анализа в виде трех графиков.
7. Выводы по результатам статистического анализа (не менее трех).

Примечание. Под выводами понимаются любые пояснения к полученным графикам, в том числе и их взаимное сравнение.

8. Предложения по уменьшению разброса в АЧХ с последнего графика с результатами статистического анализа (не менее двух).

Проимечания:

– материал замене не подлежит;

– одно из предложений практически полностью описано в тексте пособия и легко находится по ключевому слову.

9. Результат электромагнитного моделирования после корректировки топологии ПФ в сравнении с результатом линейного моделирования на одном графике.
10. Параметры топологии ПФ, полученные после оптимизации при линейном моделировании и после их корректировки при электромагнитном моделировании, в виде одной сравнительной таблицы.
11. Рисунок 3D-модели ПФ.

5. БИБЛИОТЕЧНЫЙ КОМПОНЕНТ В ALTIUM DESIGNER

5.1. Общие сведения

Для разработки схемы Э3 «усилителя», а затем и ПП, необходима база компонентов – библиотека. У разработчиков обычно есть свои библиотеки, но при работе над проектом могут появиться компоненты, которые ранее не использовались (например, микросхема в новом корпусе). Можно попытаться найти такие компоненты в сети Интернет, но в этом случае придется осуществить проверку, чтобы исключить возможные ошибки, и, вероятно, привести их в соответствие с требованиями ЕСКД и стилем уже используемых библиотек. Надежнее нарисовать компонент вручную, да и с приобретенным опытом это не составит труда.

Библиотечный компонент в Altium Designer (конденсатор, резистор, микросхема и др.) представляет собой составной объект, включающий в себя следующие части:

– УГО (symbol) – для изображения на схеме;

– посадочное место (footprint, pattern) – КП и вспомогательная информация для размещения корпуса на ПП (шелкография, внешние очертания и пр.);

– SPICE-модель – для схемотехнического моделирования;

– IBIS-модель – для анализа целостности сигналов;

– 3D-модель – для отображения внешнего вида корпуса (3D-модель рекомендуется включать в состав посадочного места).

Следует отметить, что библиотечный компонент не обязательно должен содержать все перечисленные части. Например, в данном курсе во все компонентах не будут использоваться SPICE- и IBIS-модели, а в некоторых – еще и посадочные места.

В качестве примера на рис. 5.1 показаны УГО, 3D-модель и посадочное место для одного из используемых при проектировании резисторов.

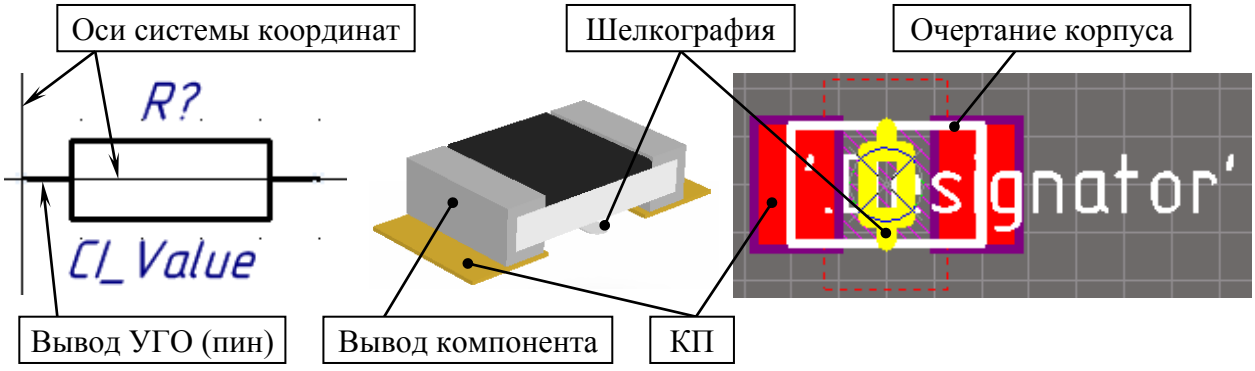


Рис. 5.1

Библиотеки компонентов в Altium Designer можно создать несколькими способами, но в основе каждого из них находятся два типа файлов:

– с расширением «.SchLib» – для хранения УГО;

– с расширением «.PcbLib» – для хранения посадочных мест.

На рис. 5.2 показаны фрагменты составов таких файлов с выбранными УГО и посадочным местом для микросхемы аттенюатора HMC273AMS10GE фирмы Analog Devices.

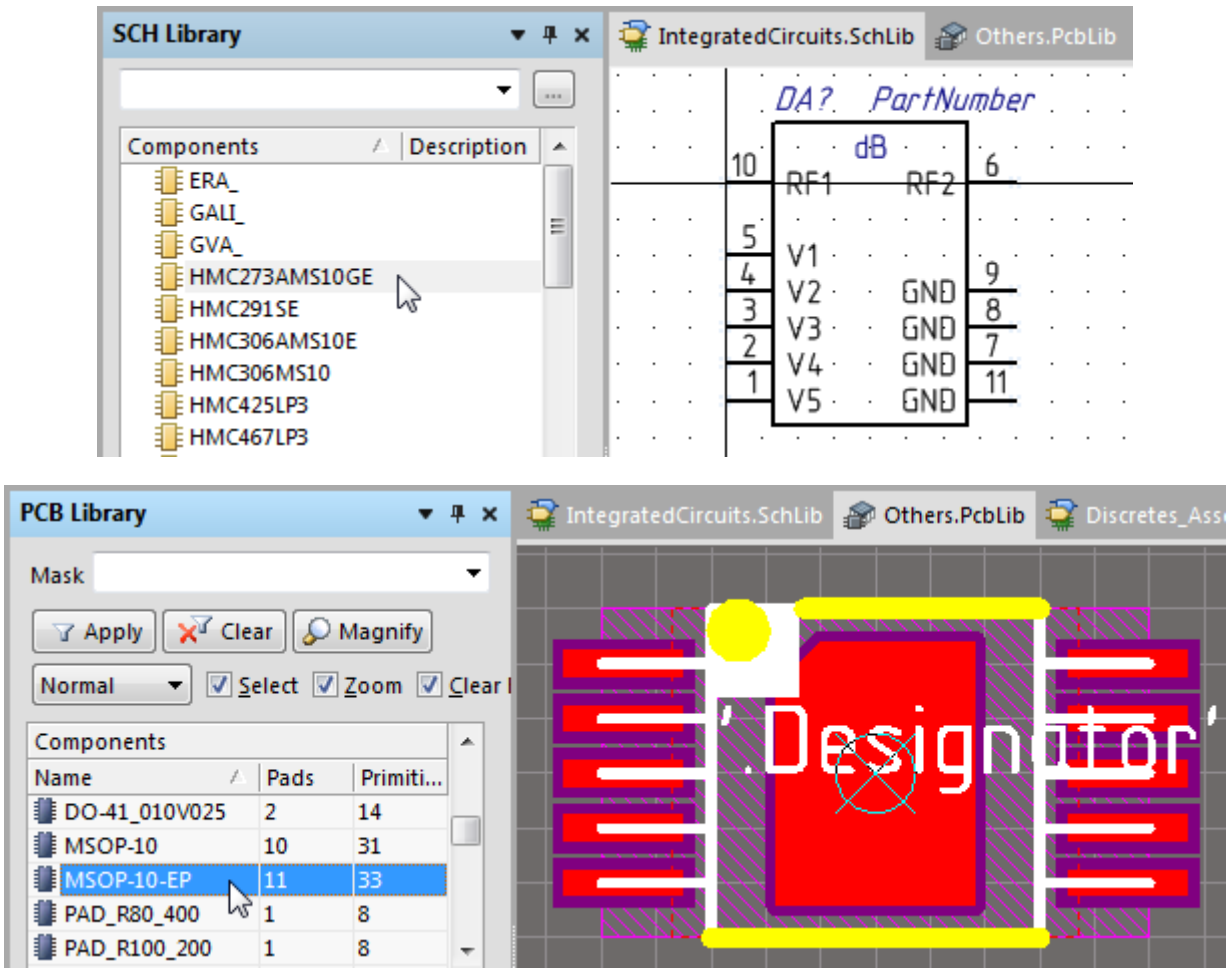


Рис. 5.2

Основные способы организации библиотек в Altium Designer:

1. В виде отдельных файлов с расширениями «.SchLib» и «.PcbLib».

В этом способе возможны три варианта:

1.1. Рекомендуемый вариант, в котором каждое УГО в файле с расширением «.SchLib» рассматривается как отдельный компонент. На этапе его создания к нему подключаются файлы для моделирования, посадочные места из файлов с расширением «.PcbLib», устанавливаются взаимосвязи между номерами выводов в УГО и КП в посадочном месте, а также задаются требуемые системные и пользовательские параметры (атрибуты).

Возможный фрагмент окна свойств библиотечного компонента для конденсатора фирмы Murata с заполненными параметрами и подключенным посадочным местом 0603-C-080 показан на рис. 5.3.

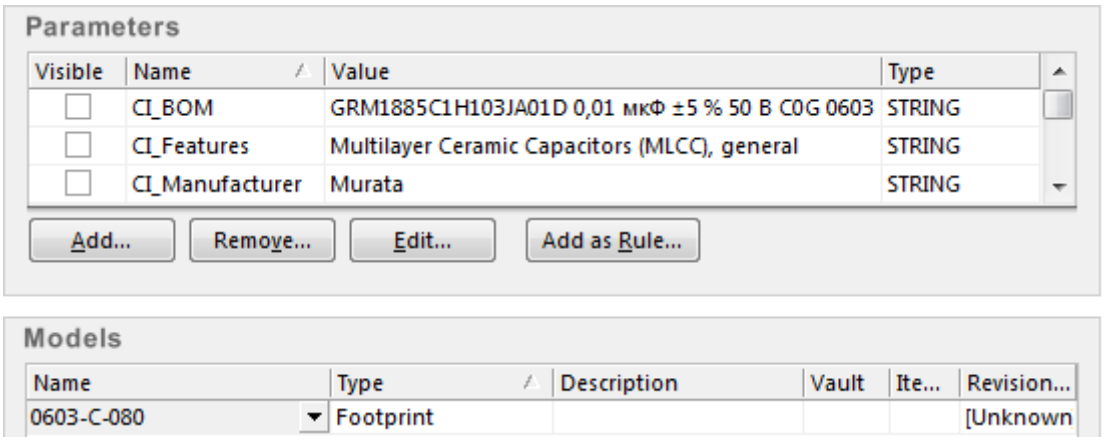


Рис. 5.3

Недостатки данного варианта:

– для каждого компонента требуется отдельное УГО. Например, если в библиотеке находится 100 керамических конденсаторов с разными номиналами, то в ней будет и 100 отдельных одинаковых УГО (на рис. 5.4 показана библиотека с тремя конденсаторами);

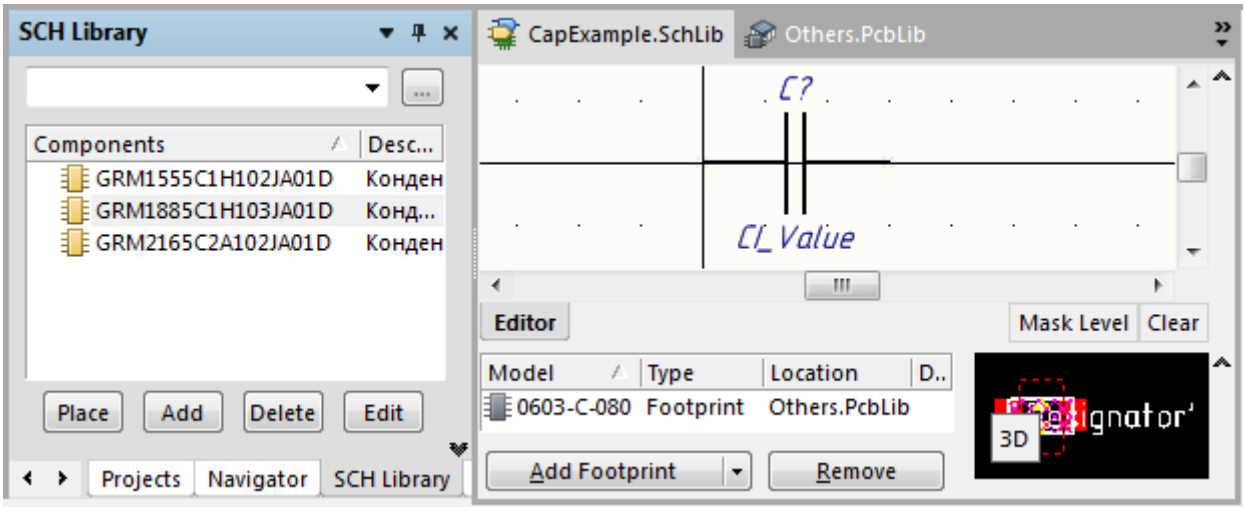


Рис. 5.4

– подключение к проекту ПП нескольких отдельных файлов с расширениями «.SchLib» и «.PcbLib» (рис. 5.5). Таких файлов может быть достаточно много, если УГО и посадочные места хранятся в разных библиотеках. Это общий недостаток для всех вариантов рассматриваемого способа организации библиотек компонентов.

1.2. Нерекомендуемый вариант, при котором каждое УГО в файле с расширением «.SchLib» рассматривается только как УГО.

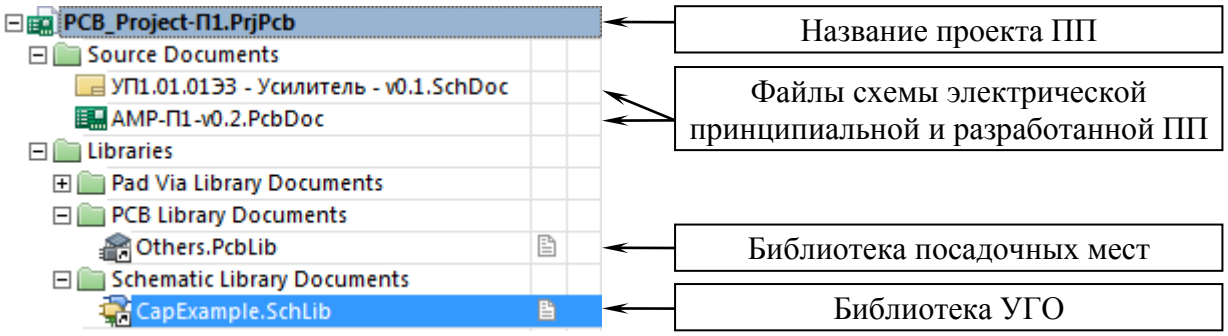


Рис. 5.5

Например, в библиотеке с рис. 5.4 для всех керамических конденсаторов можно создать всего лишь одно УГО с наименованием C_Ceramic без пользовательских параметров и подключенных посадочных мест. Добавление параметров и подключение необходимых файлов в этом случае придется осуществлять вручную в каждом размещенном на схеме УГО.

Данный вариант позволяет избавиться от второго недостатка первого варианта ценой сильного увеличения времени на создание схемы и большой вероятности допустить ошибку.

1.3. Комбинации первых двух вариантов.

2. В виде интегрированной библиотеки, представляющей собой один файл с расширением «.IntLib» и содержащей всю информацию о хранящихся в ней компонентах.

Интегрированная библиотека – это усовершенствование первого варианта первого способа организации библиотек компонентов с получением преимущества в компактности и удобстве перемещения библиотеки, так как ее размер меньше суммарного размера файлов с расширениями «.SchLib» и «.PcbLib», из которых она создается.

Пример подключения библиотеки к проекту ПП показан на рис. 5.6.

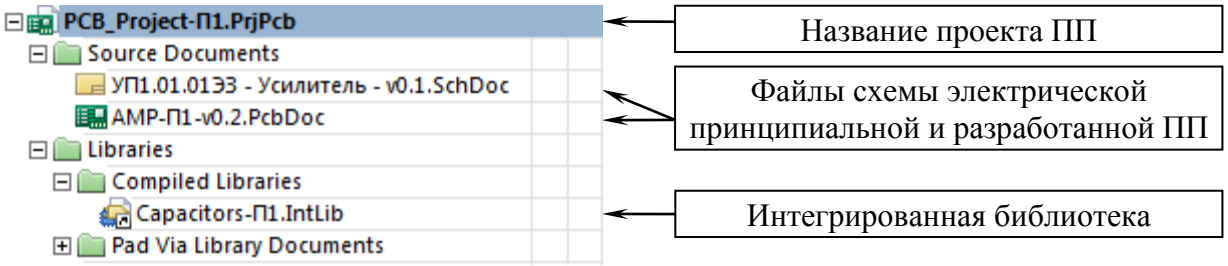


Рис. 5.8

Недостатком способа являются дополнительные временные затраты, так как для редактирования, добавления и удаления компонентов интегрированную библиотеку необходимо сначала распаковать, а после внесения всех требуемых изменений заново собрать.

3. В виде базы данных, которую, например, можно подготовить в Microsoft Excel или Microsoft Access. Каждая строка в ней представляет собой отдельный компонент с указанием в столбцах всех необходимых данных (УГО, посадочные места, параметры и др.).

Подключение базы данных в Altium Designer осуществляется с помощью файла с расширением «.DBLib», который описывает соответствие между столбцами базы данных и параметрами компонентов.

Достоинства способа:

– каждое УГО в файлах с расширением «.SchLib» может быть использовано в разных компонентах;

– удобство создания новых однотипных компонентов и заполнения параметров;

– возможность совместного использования базы данных с другими подразделениями предприятия (например, с отделом складского учета).

Недостатки способа:

– несмотря на подключение в Altium Designer только одного файла, для работы библиотеки необходимы все остальные файлы (с УГО, с посадочными местами и т. д.), которые должны храниться в заранее заданном месте;

– нельзя установить произвольные взаимосвязи между номерами выводов в УГО и КП в посадочном месте, т. е. первый вывод в УГО будет автоматически соответствовать первой КП в посадочном месте, второй вывод в УГО – второй КП в посадочном месте и т. д.

Структура и особенности создания используемой при проектировании библиотеки в виде базы рассмотрены в Г.34.

Общие особенности всех способов организации библиотеки:

– каждый размещенный на схеме компонент можно отредактировать вручную (например, удалить или добавить посадочное место);

– можно осуществить автоматическое преобразование библиотеки компонентов из одного рассмотренного способа в другой (в первом способе используется первый вариант).

Для возможности создания схемы электрической принципиальной «усилителя» не хватает библиотечного компонента танталового конденсатора с типоразмером из индивидуального задания на проектирование (остальные компоненты находятся в библиотеке из папки **…\ИДРЭС\AD library**). В текущем разделе будут приведены действия по разработке интегрированной библиотеки такого компонента.

5.2. Посадочное место компонента

5.2.1. Подготовительные действия

Перед созданием посадочного места необходимо произвести некоторые подготовительные действия:

1. Создать новую библиотеку посадочных мест (файл с расширением «.PcbLib»), для чего выполнить команду **File ⇒ New ⇒ Library ⇒ PCB Library**.

Примечание. В рассмотренных в 5.1 способах организации библиотек компонентов необязательно каждое посадочное место хранить в отдельном файле. На данном же этапе проектирования рассматривается процесс разработки библиотеки посадочных мест с нуля.

В результате выполнения команды произойдет следующее:

1.1. В панели **Projects** появится группа **Free Documents** с документом библиотеки посадочных мест с наименованием по умолчанию (PcbLib1), а в рабочем поле откроется вкладка для создания посадочного места (рис. 5.7).

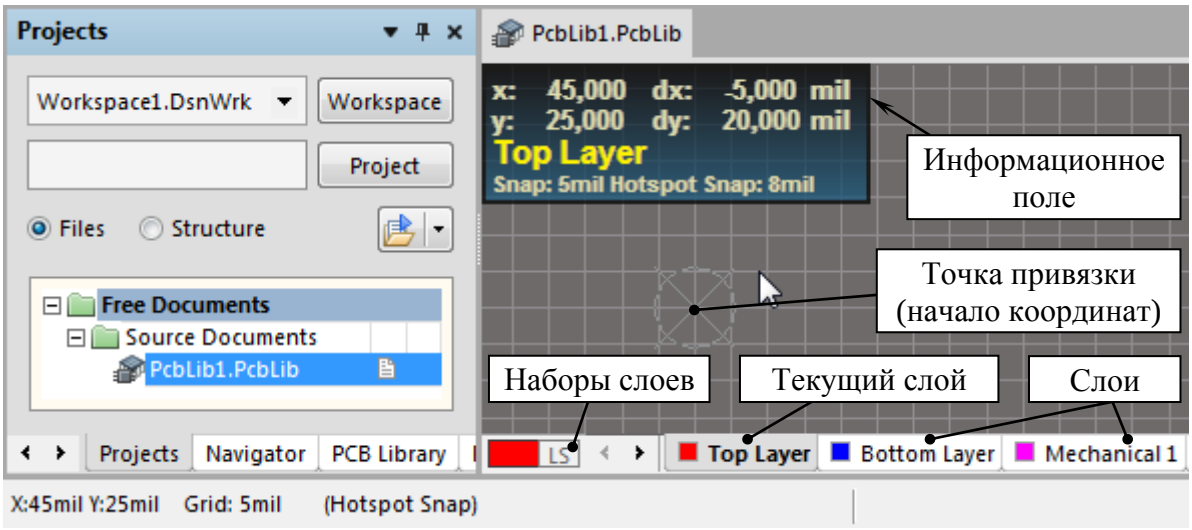


Рис. 5.7

Внизу рабочего поля располагаются вкладки с названиями слоев и пиктограмма для работы с их наборами. Текущий в данный момент слой отмечен серым цветом. Назначение слоев и управление ими описано в Г.38.

При отсутствии выделенных объектов в информационном поле (особенности работы с ним приведены в Г.37) отображаются следующие данные:

– текущие координаты курсора мышки (x и y);

– смещение курсора мышки от места обнуления его координат (dx и dy);

– текущий слой;

– шаг сетки, к которой осуществляется привязка курсора мышки (Snap);

– наличие привязки к объектам и размер области вокруг курсора для ее срабатывания (Hotspot Snap).

Примечание. Способы управления изображением в рабочем поле описаны в Г.3.

1.2. Автоматически откроется панель **PCB Library** с заготовкой посадочного места с наименованием PCBCOMPONENT_1.

Если данная панель не открылась, то необходимо выбрать ее из группы PCB в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

Примечание. Назначение частей панели приведено в Г.7.

2. Сохранить библиотеку посадочных мест.

Для этого в панели **Projects** на библиотеке запустить команду **ПКМ ⇒ Save As** и в появившемся окне выполнить следующее:

– задать имя библиотеки с указанием номера варианта задания через дефис (в варианте «П1» – **Footprint-П1**);

– тип файла оставить по умолчанию – **PCB Library File (*.PcbLib)**;

– выбрать папку для сохранения и нажать **Сохранить**. Путь сохранения в варианте «П1» – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Библиотека** (см. рис. 2.8).

3. Перейти в метрическую систему измерения, для чего щелкнуть ЛКМ в рабочем поле и нажать клавишу **Q**. Успешность действия можно проконтролировать по единицам измерения в строке состояний.

Примечание. Изменить систему измерений также можно в окне Board Options в поле Unit. Для его открытия последовательно нажимаются клавиши T ⇒ O или запускается команда Tools ⇒ Library Options.

4. Установить шаг сетки **0,1** мм.

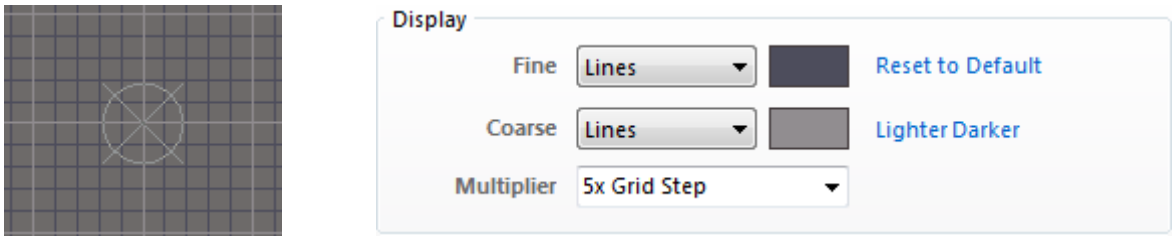
Для этого нажать клавишу **G** и в контекстном меню выбрать требуемое значение. Шаг сетки отображается в строке состояний после слова **Grid**.

Следует обратить внимание на следующее:

– если требуется установить шаг сетки, значение которого отсутствует в списке доступных, то необходимо последовательно нажать клавиши **G ⇒ G** и в открывшемся окне Snap Grid ввести требуемое значение (данное окно можно открыть разными способами: комбинацией клавиш **Shift+Ctrl+G**, командой **View ⇒ Grids ⇒ Set Global Snap Grid** и др.);

– светлые вертикальные и горизонтальные линии на рис. 5.7 в рабочем поле по умолчанию проведены с пятикратным шагом сетки. При увеличении масштаба появятся темные линии, которые расположены на растоянии установленного шага сетки (рис. 5.8, *а*). Настроить отображение линий можно в

окне Cartesian Grid Editor (комбинация клавиш **Ctrl+G**) в группе Display (рис. 5.8, *б*).



а *б*

Рис. 5.8

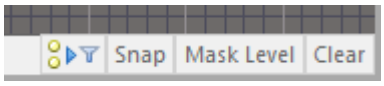


Рис. 5.9

5. Включить привязку к сетке.

Для этого включить опцию **Snap To Grids** в окне Board Options (клавиши **T ⇒ O**).

Примечание. Управлять привязками можно из меню Snap в нижнем правом углу рабочего поля (рис. 5.9). Подробнее об особенностях и видах привязок см. в Г.36.

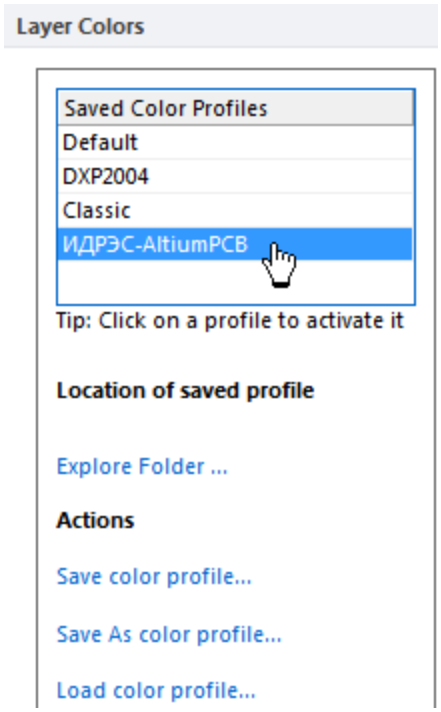


Рис. 5.10

6. Задать цветовые настройки, для чего выполнить следующее:

– запустить команду **DXP ⇒ Preferences** и в появившемся окне Preferences выбрать подраздел **PCB Editor ⇒ Layer Colors**;

– с помощью команды **Load color profile** загрузить из папки **…ИДРЭС\Профили** профиль **ИДРЭС-AltiumPCB.PCBSysColors**;

– для применения профиля выбрать его в группе **Saved Color Profiles** (рис. 5.10) и закрыть окно кнопкой **OK**.

7. Выбрать слои, необходимые для создания посадочного места.

Для этого нажать клавишу **L** и в появившемся окне View Configurations на вкладке **Board Layers And Colors** проделать следующее:

– в группах **Signal Layers**, **Mask Layers** и **Silkscreen Layers** включить отображение слоев с верхней стороны ПП (опция **Show** для названий, содержащих слово «Top»);

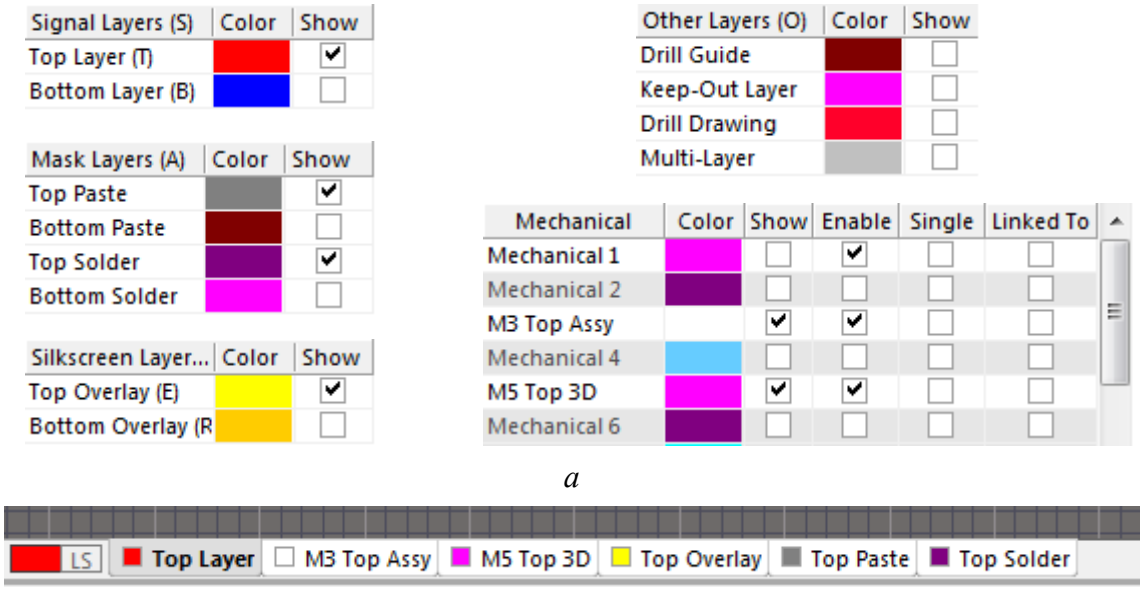
– в группе **Other Layers** отключить отображение всех слоев;

– в группе **Mechanical** отключить отображение 1-го слоя;

– в группе **Mechanical** отключить опцию **Only show enabled mechanical Layers** для отображения в списке всех доступных слоев, после чего добавить 3-й и 5-й слои (опция **Enable**), включить их отображение и с использованием клавиши **F2** задать названия в соответствии с табл. Г.15;

– применить изменения кнопкой **Apply** и закрыть окно.

Результаты проделанных действий в окне View Configurations показаны на рис. 5.11, *а*, а вид вкладок внизу рабочего поля – на рис. 5.11, *б*.



а

б

Рис. 5.11

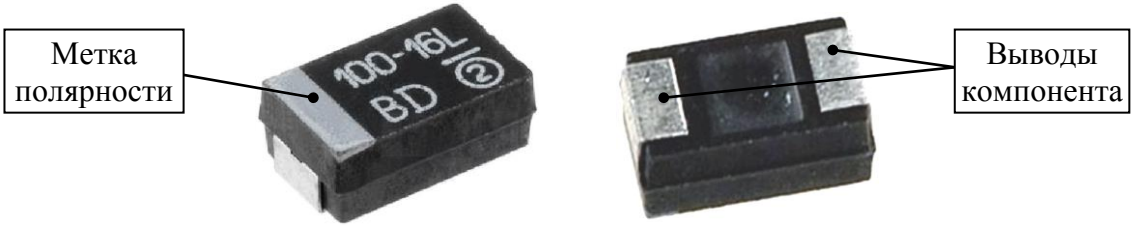
8. Сохранить изменения в библиотеке.

Для этого в панели **Projects** на библиотеке выполнить команду **ПКМ ⇒ Save** или в рабочем поле нажать комбинацию клавиш **Ctrl+S**.

Остальные настройки для редактора ПП были загружены в 3.2.2.

5.2.2. Внешний вид посадочного места

В варианте «П1» необходимо создать библиотечный компонент для танталового конденсатора типоразмера **C** серии 293D фирмы Vishay (столбец 7 из табл. 1.1), внешний вид которого показан на рис. 5.12.



а *б*

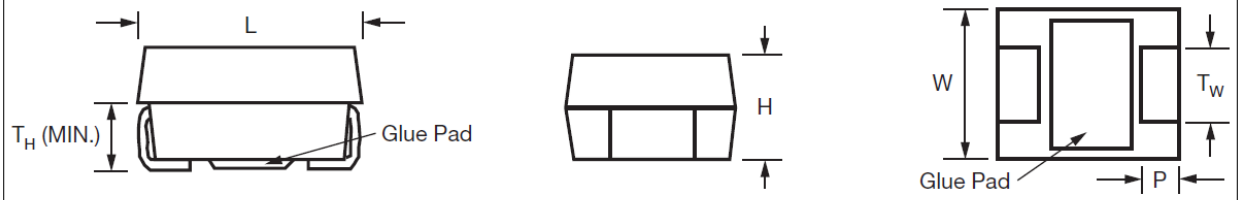
Рис. 5.12

Конденсаторы указанной серии представлены шестью типоразмерами, размеры которых приведены на рис. 5.13 в двух единицах измерения:

– в дюймах в первой строке;

– в миллиметрах во второй строке в квадратных скобках.

DIMENSIONS in inches [millimeters]



CASE CODE	EIA SIZE	L	W	H	P	T_W	T_H (MIN.)
A	3216-18	0.126 ± 0.008 [3.2 ± 0.20]	0.063 ± 0.008 [1.6 ± 0.20]	0.063 ± 0.008 [1.6 ± 0.20]	0.031 ± 0.012 [0.80 ± 0.30]	0.047 ± 0.004 [1.2 ± 0.10]	0.028 [0.70]
B	3528-21	0.138 ± 0.008 [3.5 ± 0.20]	0.110 ± 0.008 [2.8 ± 0.20]	0.075 ± 0.008 [1.9 ± 0.20]	0.031 ± 0.012 [0.80 ± 0.30]	0.087 ± 0.004 [2.2 ± 0.10]	0.028 [0.70]
C	6032-28	0.236 ± 0.012 [6.0 ± 0.30]	0.126 ± 0.012 [3.2 ± 0.30]	0.098 ± 0.012 [2.5 ± 0.30]	0.051 ± 0.012 [1.3 ± 0.30]	0.087 ± 0.004 [2.2 ± 0.10]	0.039 [1.0]
D	7343-31	0.287 ± 0.012 [7.3 ± 0.30]	0.169 ± 0.012 [4.3 ± 0.30]	0.110 ± 0.012 [2.8 ± 0.30]	0.051 ± 0.012 [1.3 ± 0.30]	0.094 ± 0.004 [2.4 ± 0.10]	0.039 [1.0]
E	7343-43	0.287 ± 0.012 [7.3 ± 0.30]	0.169 ± 0.012 [4.3 ± 0.30]	0.157 ± 0.012 [4.0 ± 0.30]	0.051 ± 0.012 [1.3 ± 0.30]	0.094 ± 0.004 [2.4 ± 0.10]	0.039 [1.0]
V	7343-20	0.287 ± 0.012 [7.3 ± 0.30]	0.169 ± 0.012 [4.3 ± 0.30]	0.079 max [2.0 max]	0.051 ± 0.012 [1.3 ± 0.30]	0.094 ± 0.004 [2.4 ± 0.10]	0.039 [1.0]

Note

- Glue pad (non-conductive, part of molded case) is dedicated for glue attachment (as user option).

Рис. 5.13

Типоразмер записан в двух вариантах:

– буквенным кодом (столбец CASE CODE);

– цифровым обозначением (столбец EIA SIZE), принятым в стандарте EIA (Electronic Industries Alliance) и состоящим из габаритных размеров корпуса (длина, ширина и максимальная высота).

Примечание. В последней версии документации фирмы Vishay на конденсаторы данной серии типоразмер V отсутствует.

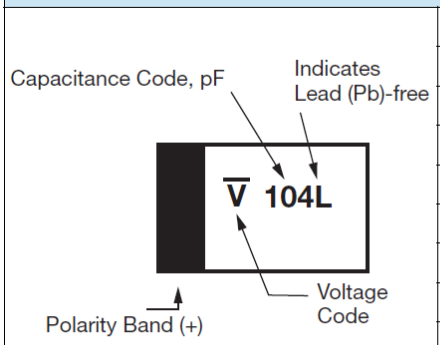
Элемент Glue Pad, показанный на рис. 5.13, представляет собой небольшой выступ с нижней стороны корпуса и предназначен для приклеивания компонента к ПП при автоматическом монтаже.

Из рис. 5.12 видно, что конденсатор является SMD-компонентом (Surface Mounted Device – компонент, монтируемый на поверхность) с двумя выводами, уходящими под корпус. Компонент является полярным, поэтому со стороны расположения положительного вывода на верхней стороне корпуса нанесена метка в виде белой полосы.

Также на корпусе конденсатора размещается дополнительная информация (рис. 5.14): емкость в пикофарадах для типоразмера A (**104** – 0,1 мкФ) и в

микрофарадах для остальных типоразмеров (**22** – 22 мкФ), номинальное напряжение буквой для типоразмера А (**V** – 35 В) и цифрами для остальных типоразмеров (**10** – 10 В), отметка об отсутствии свинца (**L**), код даты выпуска и логотип компании.

MARKING



"A" CASE VOLTAGE CODE	
VOLTS	CODE
4.0	G
6.3	J
10	A
16	C
20	D
25	E
35	V
50	T
75	S

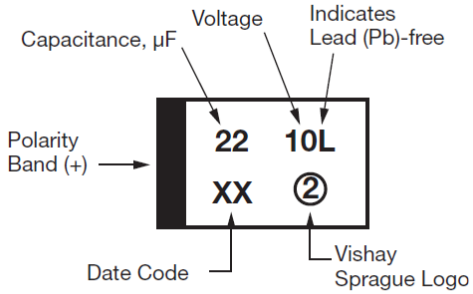
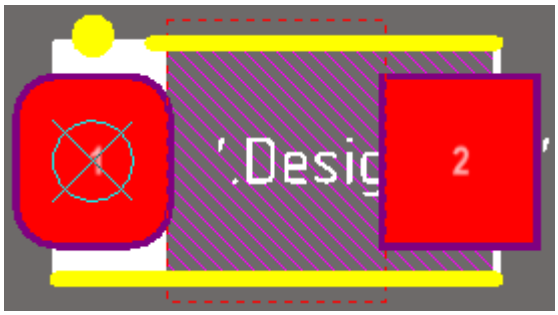


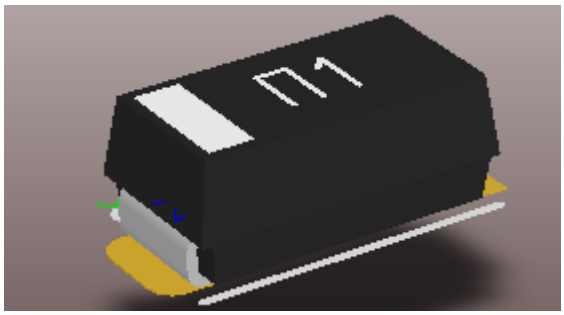
Рис. 5.14

Остальная информация находится в документации в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Конденсаторы\Конденсаторы Vishay**.

Внешний вид посадочного места конденсатора из варианта «П1», которое будет создано в данном учебном пособии в Altium Designer, в 2D-режиме просмотра представлен на рис. 5.15, *а*, а в 3D-режиме – на рис. 5.15, *б*.



а



б

Рис. 5.15

Содержание каждого слоя посадочного места с рис. 5.15, *а* приведено на рис. 5.16:

– на слое **Top Layer** расположены две КП для пайки выводов конденсатора и пунктирный контур, используемый при трассировке ПП для создания в этом месте участка без металлизации;

– на слое **M3 Top Assy** (цвет слоя временно изменен на зеленый) изображен контур корпуса с отметкой стороны положительного вывода, а также размещена надпись со ссылкой на позиционное обозначение компонента;

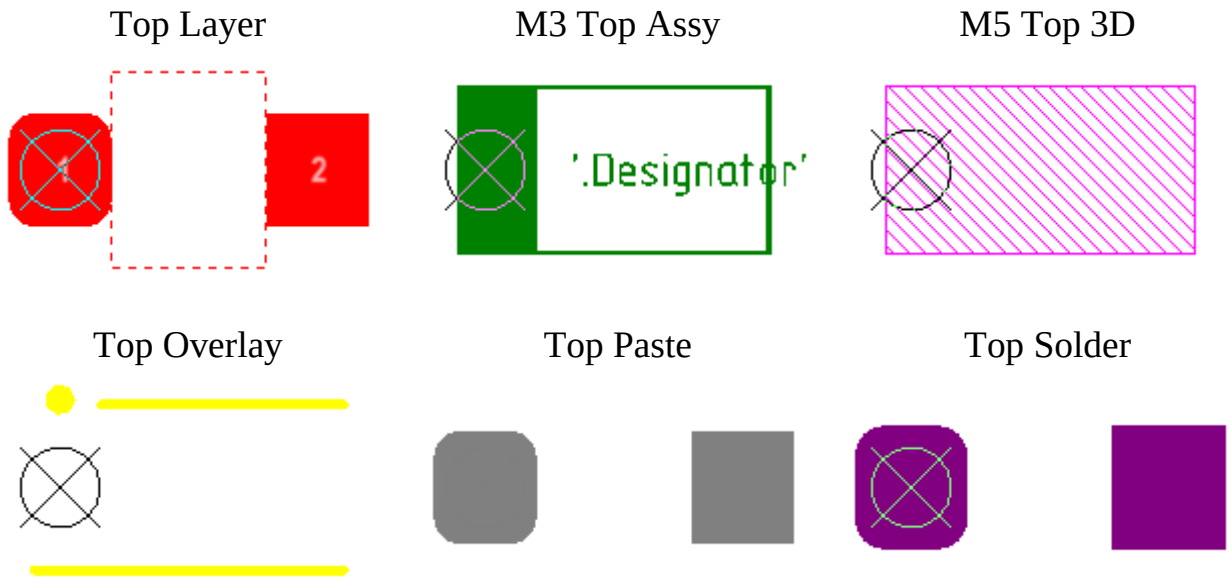


Рис. 5.16

– на слое **M5 Top 3D** расположен контур подключенной 3D-модели в формате STEP;

– на слое **Top Overlay** линиями показаны длинные стороны корпуса, а кругом обозначен положительный вывод;

– на слоях **Top Paste** и **Top Solder** объекты для КП создаются автоматически, но при необходимости их можно изменить или добавить собственные.

Перечеркнутая окружность – точка привязки (начало координат). Относительно нее осуществляется перемещение и вращение посадочного места.

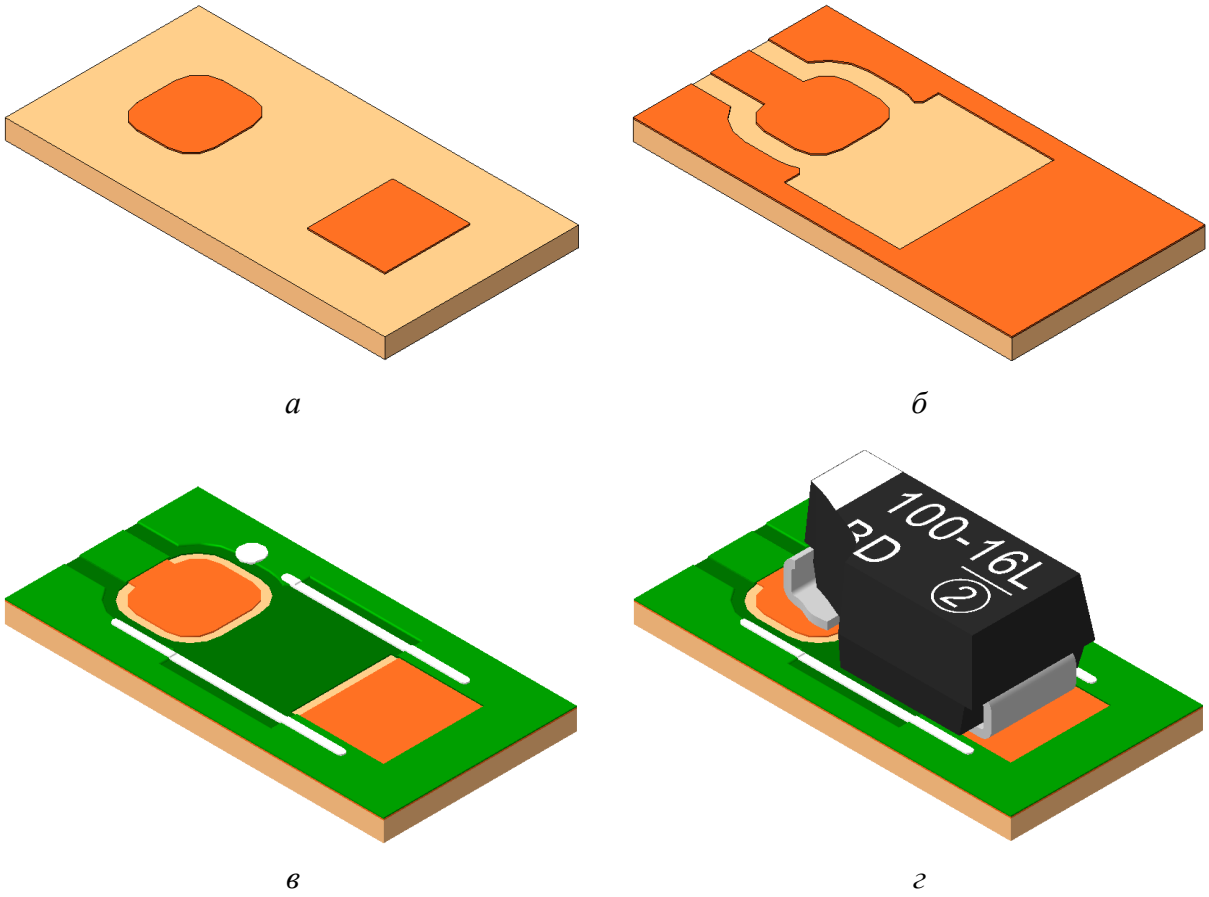
Иногда в посадочном месте предусматривают еще один механический слой с наименованием Courtyard, в котором вычерчивается контур вокруг корпуса компонента и его КП (обычно на расстоянии 0,1, 0,25 или 0,5 мм). Используется он для обеспечения гарантированного зазора между компонентами при их расстановке на ПП.

Посадочные места в САПР всегда создаются на верхних слоях, независимо от того, на какой стороне ПП окажется компонент после ее разработки.

В Altium Designer сигнальные слои Top Layer и Bottom Layer, а также слои паяльной пасты, защитной паяльной маски и шелкографии, в названиях которых содержатся Top и Bottom, являются парными по умолчанию. Пары для механических слоев задаются отдельно и только при создании ПП.

Таким образом, при переносе компонента на противоположную сторону ПП при ее разработке автоматически будут перенесены на парные слои и соответствующие объекты посадочного места (например, графика шелкографии со слоя Top Overlay перейдет на слой Bottom Overlay и наоборот).

На рис. 5.17, *а* изображены две КП на диэлектрическом основании без шелкографии, защитной паяльной маски и финишного покрытия. В таком виде посадочное место на ПП не используется, так как КП, являясь участками металлизации, не подключены к печатным проводникам. Следовательно, сигналы можно подать только подпайкой проводов.



а *б* *в* *г*

Рис. 5.17

На рис. 5.17, *б* добавлены подключения:

– КП для установки положительного вывода конденсатора соединена с печатным проводником;

– КП для установки отрицательного вывода конденсатора соединена с земляным полигоном в виде большого участка металлизации.

Подключение к земляному полигону может быть двух видов:

– прямое (рис. 5.17, *б*);

– с тепловым барьером (через узкие перемычки как на рис. 5.18).

Область с отсутствующей металлизацией между КП на рис. 5.17, *б* связана с наличием на слое Top Layer пунктирного контура (см. рис. 5.16). Такие области можно задавать вручную при разработке ПП или редактировать уже созданные в посадочных местах.

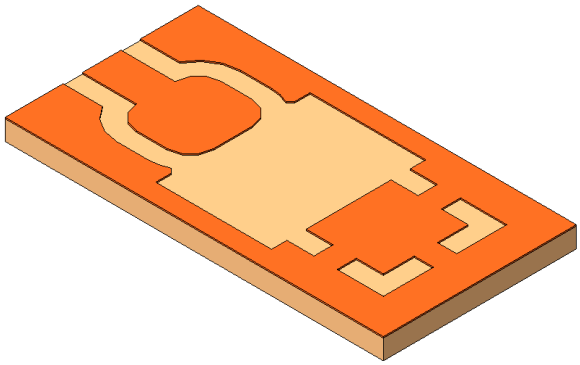


Рис. 5.18

На рис. 5.17, *в* добавлены:

– защитная паяльная маска зеленого цвета (слой Top Solder на рис. 5.16);

– шелкография белого цвета (слой Top Overlay на рис. 5.16).

На рис. 5.17, *г* показан конденсатор на посадочном месте с разрезом в области положительного вывода.

Примечания:

– цвет объекта в САПР не определяет его цвет в готовой ПП;

– на рисунках не показаны позиционное обозначение компонента (по умолчанию расположено в слое шелкографии и не отображается при просмотре посадочного места), финишное покрытие и переходные отверстия;

– информация со слоев M3 Top Assy и M5 Top 3D (см. рис. 5.16) на ПП отсутствует, так как это вспомогательные слои;

– зазоры в проводящем рисунке ПП задаются на этапе ее трассировки.

5.2.3. Создание посадочного места

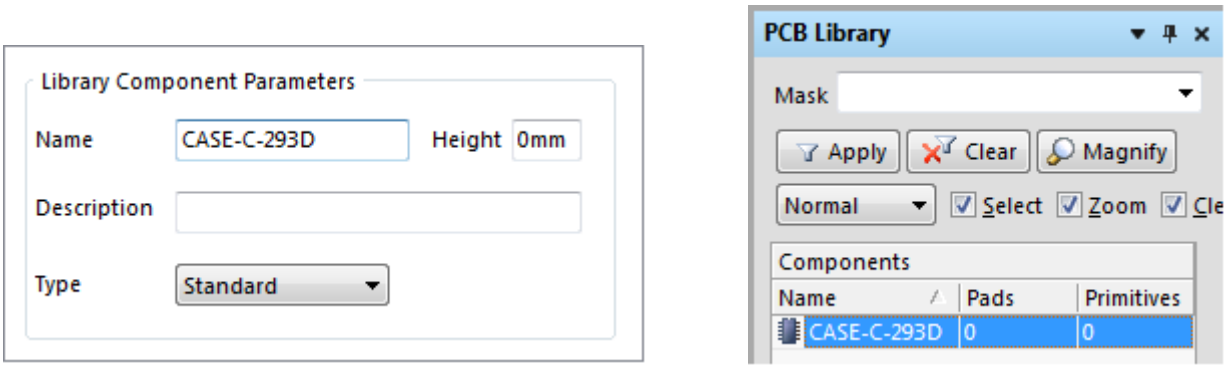
Для создания посадочного места выполнить следующее:

1. Сохранить в отчет все размеры корпуса, указанные на рис. 5.13 для типоразмера из варианта индивидуального задания на проектирование.

2. Задать имя посадочному месту.

Для этого в панели **PCB Library** в группе Components дважды щелкнуть ЛКМ по заготовке посадочного места и в появившемся окне **PCB Library Component** в поле **Name** ввести имя, характеризующее типоразмер корпуса танталового конденсатора с указанием серии (рис. 5.19, *а*).

Вид панели **PCB Library** в варианте «П1» показан на рис. 5.19, *б*.



а *б*

Рис. 5.19

Примечания по рис. 5.19, а:

– в поле Height можно указать высоту корпуса для создания правил по размещению компонентов на ПП (если в посадочном месте используется 3D-модель, то значение из этого поля игнорируется);

– в поле Description можно дать краткое описание посадочного места;

– опции из поля Type подробно описаны в Г.33.

3. Сделать текущим слой **M3 Top Assy**.

Для этого щелкнуть ЛКМ по соответствующей вкладке с названием слоя внизу рабочего поля. Для циклического перехода между вкладками слоев также можно использовать клавиши **Plus** (перебор слева направо) и **Minus** (перебор справа налево) на цифровой клавиатуре (**Numpad**).

4. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ L** (создание линии) нарисовать прямоугольный контур с размерами **L** (по горизонтали) и **W** (по вертикали) по рис. 5.13. Ширину линии задать 0,1 мм.

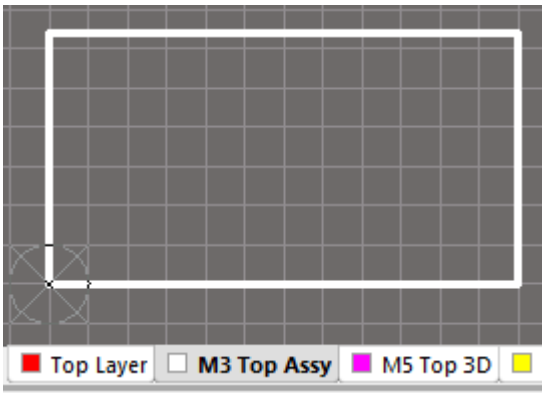


Рис. 5.20

Примечания:

– задать ширину линии можно в процессе рисования клавишей Tab;

– рисовать контур удобнее из начала координат, а размеры контролировать в информационном поле (см. рис. 5.7);

– координаты точек можно вводить после последовательного нажатия клавиш J ⇒ L или запуска команды Edit ⇒ Jump ⇒ New Location.

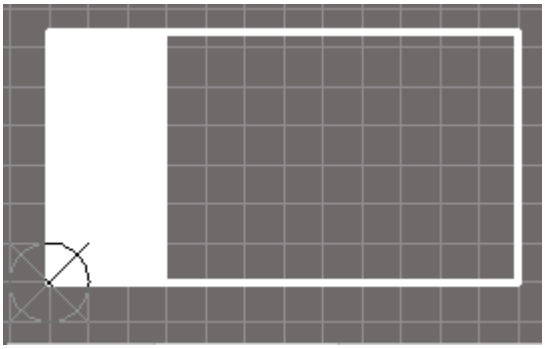


Рис. 5.21

В варианте «П1» размеры контура составили 6 × 3,2 мм (рис. 5.20).

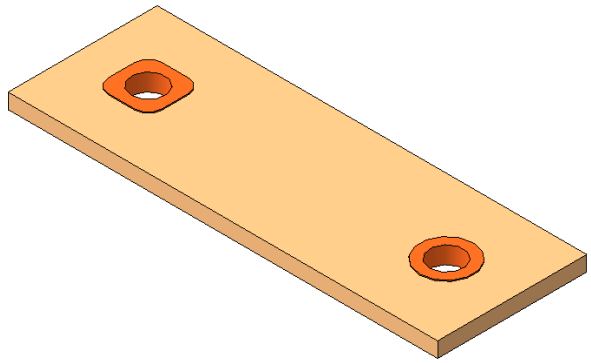
5. Внутри прямоугольного контура с его левой стороны нарисовать закрашенную прямоугольную область произвольного размера, тем самым обозначив положение полярного вывода на чертеже.

Для этого последовательно нажать клавиши **P ⇒ F** или запустить команду **Place ⇒ Fill** (создание полигона Fill).

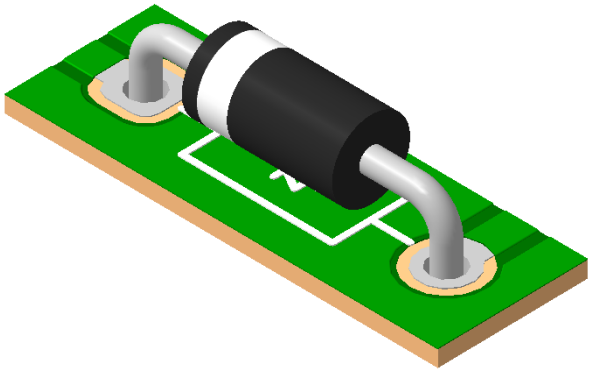
В варианте «П1» размеры области составили 1,5 × 3,2 мм (рис. 5.21).

6. Убедиться в том, что начало координат находится точно в нижнем левом углу нарисованного ранее прямоугольного контура.

Изменить положение начала координат можно после последовательного нажатия клавиш **E ⇒ F ⇒ L** (или запуска команды **Edit ⇒ Set Reference ⇒ Location**) и щелчка ЛКМ в требуемой точке рабочего поля.



а



б

Рис. 5.22

7. Добавить первую КП со стороны полярного вывода.

КП – это металлизированный участок на ПП для организации контакта с выводом компонента или другим объектом (например, с проводом). Число КП в посадочном месте компонента обычно равно числу его выводов.

Различают два типа КП:

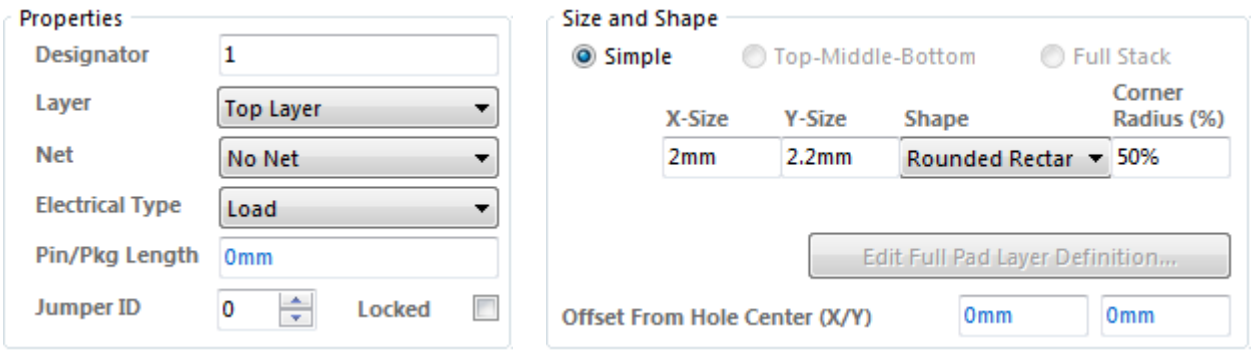
– плоские (планарные) – для монтажа SMD-компонентов (рис. 5.17, *г*);

– с отверстием – для монтажа выводных компонентов. На рис. 5.22, *а* показаны КП для установки выводного компонента, а на рис. 5.22, *б* – диод в корпусе DO-41 на посадочном месте с шелкографией, защитной паяльной маской и финишным покрытием.

Первая КП будет иметь форму скругленного прямоугольника для обозначения расположения положительного вывода компонента на проводящем рисунке ПП. Индикация КП не обязательна, но желательна.

Для добавления КП выполнить следующее:

7.1. Последовательно нажать клавиши **P ⇒ P** или запустить команду **Place ⇒ Pad**, после чего открыть свойства КП клавишей **Tab** (окно Pad).



а *б*

Рис. 5.23

7.2. В группе **Properties** выбрать слой расположения **Top Layer** и убедиться в том, что в поле **Designator** указан первый номер КП (рис. 5.23, *а*).

7.3. В группе **Size and Shape** выбрать форму КП – **Rounded Rectangle** (скругленный прямоугольник).

7.4. В группе **Size and Shape** задать размеры КП и сохранить их в отчет:

– по горизонтали (поле **X-Size**) – размер **P** с рис. 5.13 плюс выступ за пределы корпуса ($\Delta X = 0{,}3\ldots0{,}5$ мм) для возможности ручного монтажа;

– по вертикали (поле **Y-Size**) – размер **Tw** с рис. 5.13.

В варианте «П1»:

$$XSize = P + \Delta X = 1{,}5 + 0{,}5 = 2 \text{ мм};$$

$$YSize = Tw = 2{,}2 \text{ мм}.$$

Необходимо обратить внимание на следующее:

– значения размеров **Tw** и **P** следует выбрать ближе к их максимумам;

– записанные размеры КП в варианте «П1» показаны на рис. 5.23, *б*;

– расположение КП относительно выводов корпуса конденсатора типоразмера С показано на рис. 5.24.

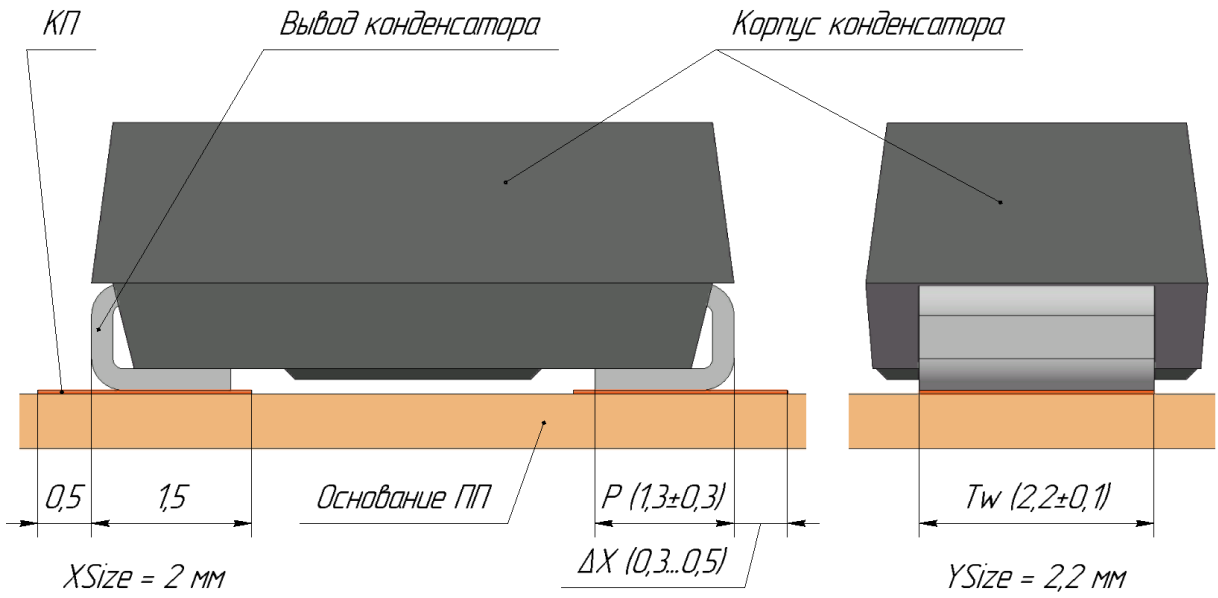


Рис. 5.24

7.5. Применить изменения, после чего щелчком ЛКМ разместить КП в любом удобном месте рабочего поля и завершить команду.

7.6. Зайти в свойства добавленной КП (дважды щелкнуть по ней ЛКМ или запустить команду **ПКМ ⇒ Properties**) и в группе **Location** указать координаты расположения центра КП:

– по оси X – половина размера КП по горизонтали минус выбранный размер ΔX ;

– по оси Y – половина короткой стороны прямоугольного контура (половина размера **W** по рис. 5.13).

В варианте «П1»:

$$X = XSize/2 - \Delta X = 2/2 - 0{,}5 = 0{,}5 \text{ мм};$$

$$Y = W_к/2 = 3{,}2/2 = 1{,}6 \text{ мм}.$$

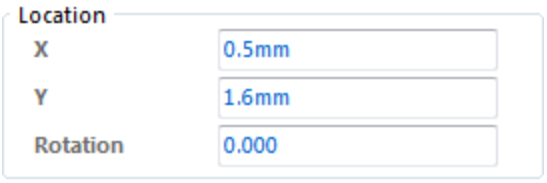


Рис. 5.25

Примечание. Для размера W добавлен индекс «к», чтобы исключить путаницу с шириной МПЛ при расчете ПФ.

Записанные в варианте «П1» значения для первой КП показаны на рис. 5.25.

Полученное значение координаты X для первой КП необходимо сохранить в отчет, так как оно понадобится при создании 3D-модели в разд. 6.

8. Добавить вторую КП со стороны неполярного вывода.

Она будет иметь форму прямоугольника без скруглений, и ее удобнее получить копированием ранее размещенной КП:

8.1. Скопировать первую КП (**Ctrl+C**), указав базовую точку, относительно которой будет произведено копирование (например, в центре КП).

8.2. Вставить КП (**Ctrl+V**) в любое удобное место рабочего поля, зайти в ее свойства и выполнить следующие действия:

– в группе **Properties** в поле **Designator** указать второй номер КП;

– в группе **Size and Shape** выбрать форму КП – **Rectangular** (прямоугольник);

– в группе **Location** для координаты **X** указать значение, равное размеру длинной стороны прямоугольного контура (размер **L** по рис. 5.13) плюс выбранный размер ΔX и минус половина размера КП по горизонтали.

В варианте «П1»:

$$X = L_к + \Delta X - XSize/2 = 6 + 0{,}5 - 2/2 = 5{,}5 \text{ мм}.$$

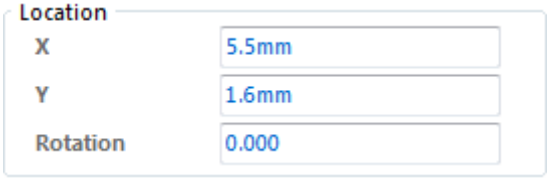
Примечание. Для размера L добавлен индекс «к», чтобы исключить путаницу с длинами резонаторов при расчете ПФ;

– в группе **Location** для координаты **Y** записать значение, полученное для первой КП.

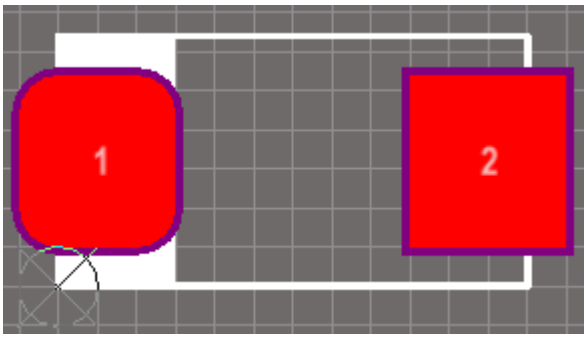
Записанные в варианте «П1» значения для второй КП показаны на рис. 5.26, *а*, а вид посадочного места на данном этапе – на рис. 5.26, *б*.

Примечание. Позиционирование КП по координатам исключает неточности, которые могли бы возникнуть при ручной расстановке.

9. Убедиться в том, что текущим является слой **Top Layer**.



а



б

Рис. 5.26

10. Нарисовать прямоугольный контур, проходящий примерно по границам КП и выходящий за пределы контура конденсатора на 0,3–0,4 мм. Внутри этого контура при трассировке ПП не будет земляного полигона.

Для этого выполнить следующее:

– последовательно нажать клавиши **P ⇒ R** или запустить команду **Place ⇒ Solid Region** (создание полигона Solid Region);

– в рабочем поле ЛКМ указать четыре вершины контура;

– нажать клавишу **Tab** и в появившемся окне Region для параметра **Kind** выбрать опцию **Polygon cutout**;

– применить изменения в окне Region и нажать клавишу **Esc** для завершения команды.

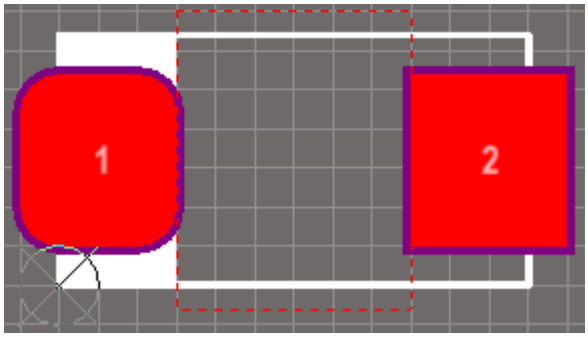


Рис. 5.27

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 5.27.

11. Сделать текущим слой **Top Overlay**.

12. Добавить элементы шелкографии:

– последовательным нажатием клавиш **P ⇒ L** (создание линии) обозначить границы корпуса конденсатора линиями толщиной 0,2 мм;

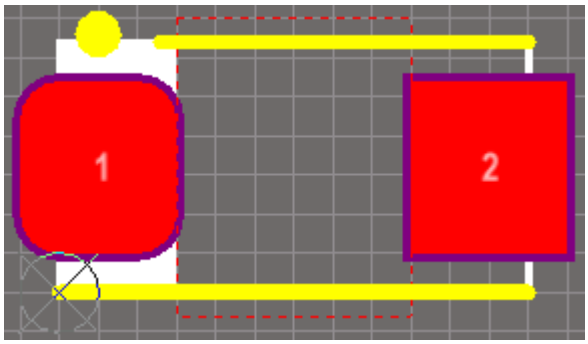
– последовательным нажатием клавиш **P ⇒ U** или командой **Place ⇒ Full Circle** (создание окружности) добавить обозначение полярности окружностью радиусом 0,1 мм и толщиной линии 0,4 мм.

Необходимо обратить внимание на то, что между границами графики шелкографии и КП должны остаться зазоры не менее 0,15 мм.

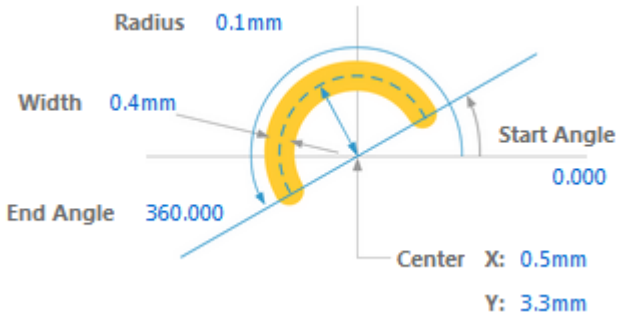
Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 5.28, *а*.

Примечания:

– ореол вокруг КП – информация со слоя Top Solder (см. табл. Г.14);



а



б

Рис. 5.28

– для создания окружности с требуемыми параметрами достаточно нарисовать любую окружность и в ее свойствах (рис. 5.28, б) указать радиус (поле Radius), толщину линии (поле Width), положение центра (группа Center), начальный и конечный углы дуги (поля Start и End Angle);

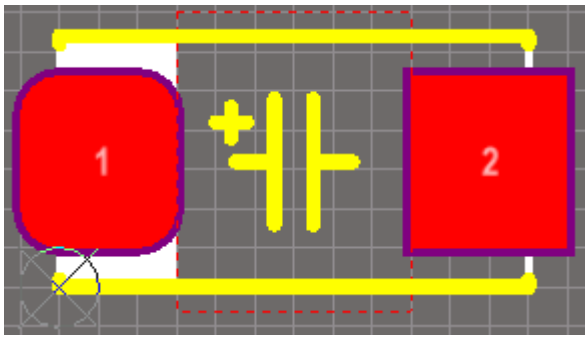


Рис. 5.29

– шелкографию из состава любого посадочного места можно отредактировать на этапе разработки ПП;

– один из возможных вариантов шелкографии показан на рис. 5.29 (на ПП – см. рис. Г.185 и Г.188).

13. Установить начало координат в центр первой КП.

Для этого последовательно нажать клавиши **E ⇒ F ⇒ P** или выполнить команду **Edit ⇒ Set Reference ⇒ Pin 1**.

Примечание. Начало координат можно поставить в центр компонента и использовать при генерации файла «Pick and Place» (параметры Ref-X и Ref-Y) из файла трассировки для автоматического монтажа.

Команда Edit ⇒ Set Reference ⇒ Center устанавливает начало координат в точку, равноудаленную от центров всех КП посадочного места, а команда Edit ⇒ Set Reference ⇒ Location – в точку, указанную пользователем.

14. Сделать текущим слой **M3 Top Assy**.

15. У каждого посадочного места есть два системных параметра, которые в рабочем поле при его создании не отображаются:

– Designator (позиционное обозначение);

– Comment (комментарий).

При добавлении посадочных мест на ПП значения этим параметрам присваиваются автоматически из схемы. Настройки для них были загружены

в 3.2.2 (примитив Component в табл. Г.6). Параметр Designator по умолчанию располагается в верхнем слое шелкографии (Top Overlay), но для создания сборочных чертежей позиционное обозначение необходимо и на слое с контурами компонентов (MЗ Top Assy). Для этого требуется добавить надпись со ссылкой на параметр:

15.1. Последовательно нажать клавиши **P ⇒ S** или запустить команду **Place ⇒ String** (создание надписи).

15.2. Нажать клавишу **Tab** для открытия окна свойств.

15.3. В группе **Properties** вместо слова **String** записать «**.Designator**». Ссылку можно выбрать из списка, появляющегося после ввода первого символа – точки. Одинарные кавычки при этом можно не удалять (рис. 5.30, *а*).

15.4. Настроить шрифт надписи:

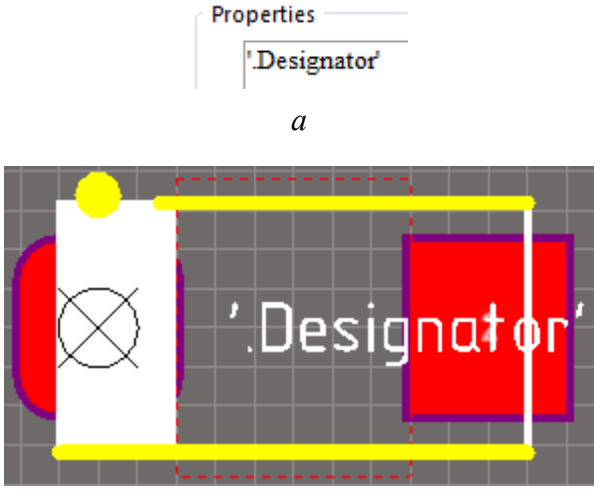
– Font – **TrueType**;

– Font Name – **GOST type B**;

– Height – **1mm**.

15.5. Применить настройки в окне **String**, после чего щелчком ЛКМ указать положение надписи внутри контура компонента.

Затем завершить команду клавишей **Esc** (рис. 5.30, *б*).



а

б

Рис. 5.30

15.6. При необходимости скорректировать положение надписи, после чего в ее свойствах включить опцию **Locked** (блокировка объекта).

16. Проверить посадочное место.

Для этого запустить команду **Reports ⇒ Component Rule Check**, включить проверку правил в соответствии с рис. 5.31 и нажать **OK**.

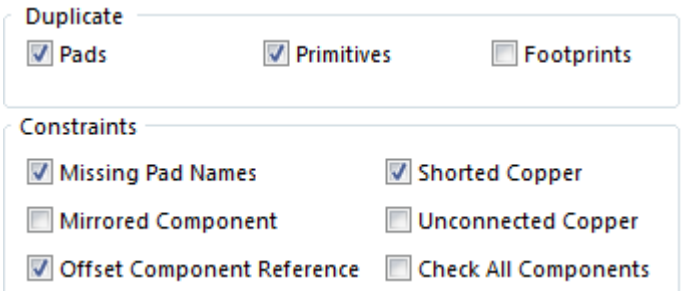


Рис. 5.31

В результате проверки в новой вкладке рабочего поля откроется отчет, в котором при наличии ошибок будут даны соответствующие пояснения с ко-

ординатами их расположения. Отчет необходимо внимательно проанализировать и исправить обнаруженные ошибки в соответствии с табл. 5.1.

Таблица 5.1

Некоторые ошибки при проверке посадочного места

Правило	Описание	Способ устранения
Duplicate Pads	КП с одинаковыми номерами	В свойствах КП отредактировать числа для параметра Designator (номер КП)
Missing Pad Names	КП без номеров	
Duplicate Primitives	Наложение примитивов на одном слое (например, линий)	Удалить повторяющиеся примитивы
Offset Component Reference	Начало координат находится за пределами посадочного места	Выполнить п. 13
Shorted Copper	Разные КП, соединенные в посадочном месте участками металлизации	Проверить значение параметра Kind для объекта Solid Region из п. 10, а также слой графики контура компонента из пп. 4 и 5

После анализа закрыть вкладку с отчетом, например выполнив на ней команду **ПКМ ⇒ Close Text Documents**.

17. Сохранить в отчет два рисунка посадочного места в серых тонах:

17.1. Применить профиль **ИДРЭС-AltiumFootprintGray.PCBSysColors** из папки **…ИДРЭС\Профили** (см. п. 6 из 5.2.1).

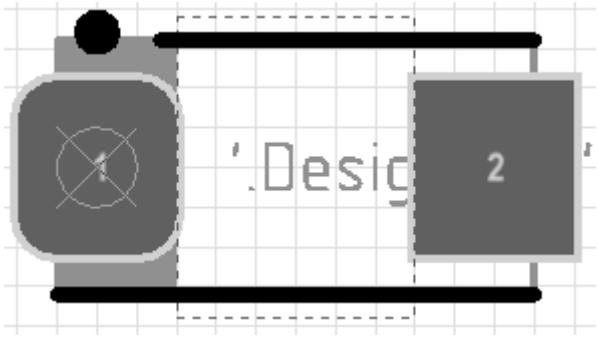


Рис. 5.32

17.2. Сохранить один рисунок посадочного места при текущем слое **M3 Top Assy**, а другой – при текущем слое **Top Layer**.

Масштаб выбрать таким, чтобы на экране были видны только линии с пятикратным шагом сетки.

Результат второго изображения в варианте «П1» показан на рис. 5.32.

17.3. Вернуть цветовые настройки, заданные в п. 6 из 5.2.1.

18. Перейти в 3D-режим просмотра, для чего нажать клавишу **3** или выполнить команду **View ⇒ 3D Layout Mode**.

Включить вид на верхнюю сторону ПП (см. Г.3) и сохранить рисунок.

19. Вернуться в 2D-режим просмотра, для чего нажать клавишу **2** или выполнить команду **View ⇒ 2D Layout Mode**.

20. Сохранить изменения в посадочном месте (**Ctrl+S**).

3D-модель будет добавлена к посадочному месту в 6.6.

5.3. УГО компонента

5.3.1. Подготовительные действия

Перед созданием УГО необходимо произвести некоторые подготовительные действия:

1. Создать новую библиотеку УГО (файл с расширением «.SchLib»), для чего выполнить команду **File ⇒ New ⇒ Library ⇒ Schematic Library**. Как и в случае с посадочным местом в рассмотренных в 5.1 способах организации библиотек компонентов необязательно каждое УГО хранить в отдельном файле. На данном же этапе проектирования рассматривается процесс разработки библиотеки УГО с нуля.

В результате выполнения команды произойдет следующее:

1.1. В панели **Projects** в группе Free Documents появится документ библиотеки УГО с наименованием по умолчанию (Schlib1), а в рабочем поле откроется соответствующая вкладка, состоящая из трех областей (рис. 5.33):

– область разработки УГО;

– область подключения моделей (посадочных мест, моделей для схемотехнического моделирования и для анализа целостности сигналов);

– область просмотра посадочных мест и 3D-моделей.

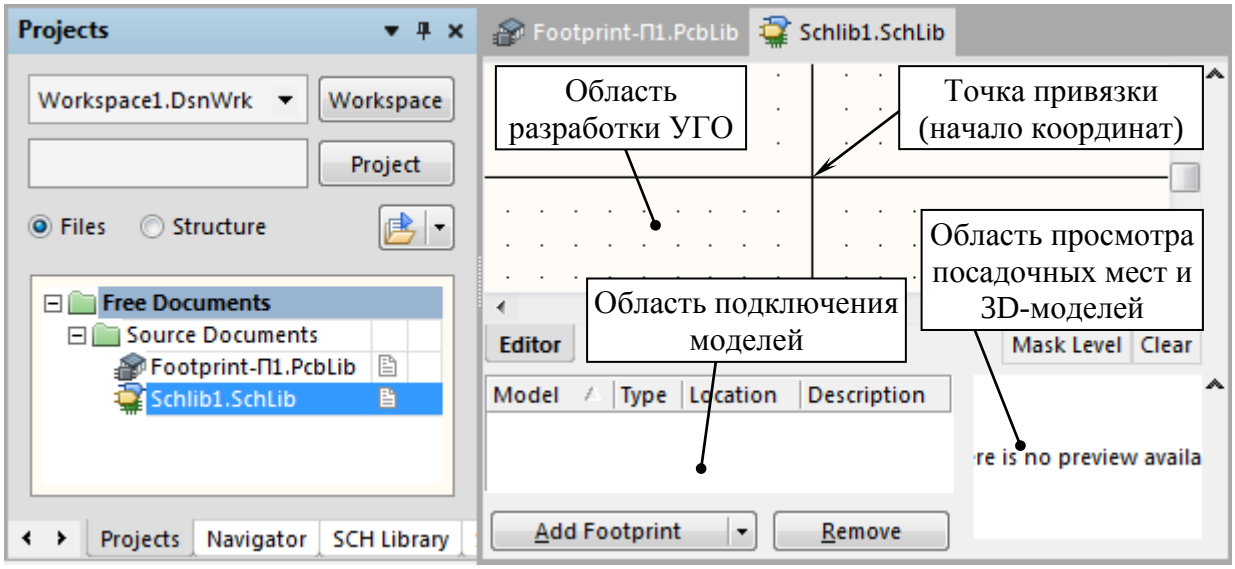


Рис. 5.33

Примечание. Способы управления изображением в рабочем поле описаны в Г.3. В области просмотра посадочных мест и 3D-моделей доступен как 2D-режим просмотра, так и 3D-режим.

1.2. Автоматически откроется панель **SCH Library** с заготовкой УГО с наименованием Component_1.

Если данная панель не открылась, то необходимо выбрать ее из группы SCH в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

Примечание. Описание работы с панелью приведено в Г.8.

2. Сохранить библиотеку УГО.

Для этого в панели **Projects** на библиотеке запустить команду **ПКМ ⇒ Save As** и в появившемся окне выполнить следующее:

– задать имя библиотеки с указанием номера варианта задания через дефис (в варианте «П1» – **Symbol-П1**);

– тип файла оставить по умолчанию – **Advanced Schematic binary library (*.SchLib)**;

– выбрать папку для сохранения и нажать **Сохранить**. Путь сохранения в варианте «П1» – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Библиотека** (см. рис. 2.8).

3. При необходимости изменить цвет рабочего поля с цветочного белого на белый, для чего запустить команду **Tools ⇒ Document Options** и в открывшемся окне Schematic Library Options на вкладке Library Editor Options в поле Workspace задать желаемую настройку.

4. Перейти в сетку 0,5 мм.

5. Сохранить изменения в библиотеке (**Ctrl+S**).

Остальные настройки для редактора УГО были загружены в 3.2.2.

5.3.2. Общие сведения об УГО

УГО – условные знаки, которыми изображают компоненты (резисторы, микросхемы и др.) на схемах. Общие требования к их оформлению даны в ГОСТ 2.701–2008.

При выполнении схем применяют следующие типы УГО:

– установленные в стандартах ЕСКД или построенные на их основе;

– прямоугольники;

– упрощенные внешние очертания (в том числе аксонометрические);

– нестандартизованные УГО (при необходимости).

Для двух последних типов УГО на схеме дают пояснения.

Если для УГО установлено несколько допустимых (альтернативных) вариантов выполнения, то на всех схемах одного типа, входящих в комплект документации, должен быть применен только один вариант обозначения.

УГО в стандартах ЕСКД приводятся в следующих вариантах:

– с указанием диапазона размеров;

– на модульной сетке;

– без размеров и без модульной сетки (в этом случае УГО изображают в размерах, в которых они выполнены в соответствующих стандартах).

Все размеры УГО допускается пропорционально изменять. Предел уменьшения определяется минимальным расстоянием (просветом) между двумя соседними линиями УГО, который по ГОСТ 2.701–2008 не должен быть менее 1,0 мм. Аналогичное требование по зазору между линиями дано и в ГОСТ 13.1.002–2003 [31], где это расстояние должно быть не менее 0,8 мм (в этом случае при печати на листе линии не сольются).

УГО на схемах следует выполнять линиями той же толщины, что и линии взаимосвязи (при проектировании в Altium Designer – Small).

Размеры УГО, а также толщины их линий должны быть одинаковыми на всех схемах для данного изделия (установки).

УГО допускается изображать повернутыми на угол, кратный 45°, или изображать зеркально повернутым, если в соответствующих стандартах отсутствуют специальные указания. Если при повороте может нарушиться смысл или удобочитаемость обозначений, то их изображают так, как они приведены в соответствующих стандартах. УГО, содержащие цифровые или буквенно-цифровые обозначения, допускается поворачивать против часовой стрелки только на угол 90° или 45°.

По ГОСТ 2.702–2011 на схеме следует указывать обозначения выводов (контактов) элементов (устройств), нанесенные на изделие или установленные в их документации.

Стандарты ЕСКД для наиболее часто встречающихся элементов:

– ГОСТ 2.721–74 (обозначения общего применения). Здесь можно найти примеры обозначений линий электрической связи;

– ГОСТ 2.722–68 (машины электрические) [32]. Здесь можно найти размеры дуг для УГО индуктивностей;

– ГОСТ 2.723–68 (катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители) [33];

– ГОСТ 2.728–74 (резисторы и конденсаторы) [34];

– ГОСТ 2.788–73 (приборы полупроводниковые) [35];

– ГОСТ 2.734–68 (линии сверхвысокой частоты и их элементы) [36];

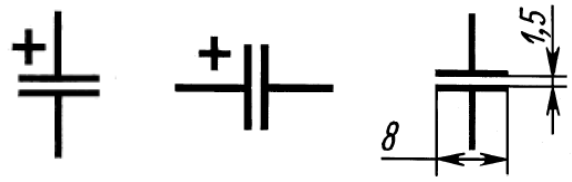
– ГОСТ 2.743–91 (элементы цифровой техники) [37];

– ГОСТ 2.755–87 (устройства коммутационные и контактные соединения) [38];

– ГОСТ 2.759–82 (элементы аналоговой техники) [39].

5.3.3. Создание УГО

УГО поляризованного (полярного) конденсатора по ГОСТ 2.728–74 в вертикальном виде приведено на рис. 5.34, *а*, а в горизонтальном виде – на рис. 5.34, *б*. Размеры УГО показаны на рис. 5.34, *в*.



а *б* *в*

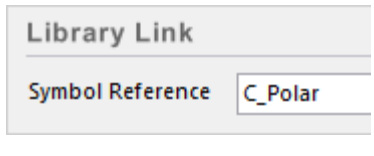
Рис. 5.34 [34]

УГО будет создаваться в вертикальном виде, так как именно так оно используется наиболее часто. Для получения на схеме горизонтального вида его можно будет отразить относительно оси Y, а затем повернуть.

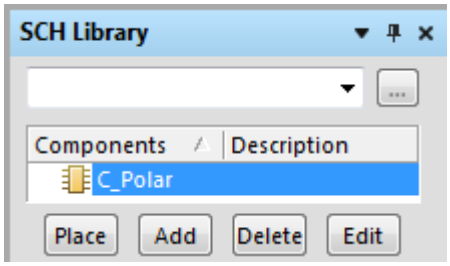
Для создания УГО выполнить следующее:

1. Задать имя УГО.

Для этого в панели **SCH Library** в списке Components дважды щелкнуть ЛКМ по заготовке УГО и в появившемся окне **Library Component Properties** в группе **Library Link** в поле **Symbol Reference** ввести имя **C_Polar**, где C – буквенное обозначение конденсаторов в схемах; Polar – полярный конденсатор (рис. 5.35, *а*).



а

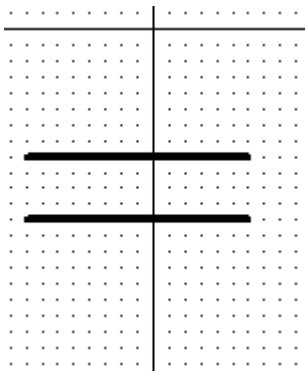


б

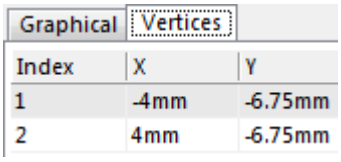
Рис. 5.35

Вид панели **SCH Library** в варианте «П1» показан на рис. 5.35, *б*.

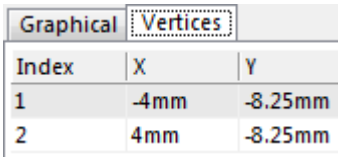
2. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ L** (создание линии) нарисовать две горизонтальные линии произвольной длины, обозначающие обкладки конденсатора (например, как на рис. 5.36, *а*).



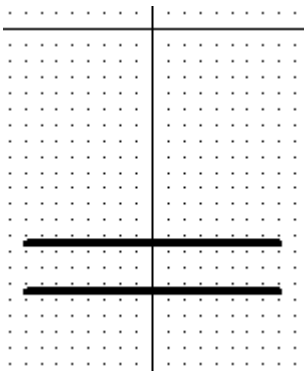
а



б



в



г

Рис. 5.36

3. Отдельно для каждой линии открыть ее свойства, перейти на вкладку **Vertices** и задать координаты вершин в соответствии с рис. 5.36, *б* и *в*.

Результат корректировки координат показан на рис. 5.36, *г*.

Примечание. Способ рисования линий по координатам связан с тем, что схемный редактор и редактор УГО в Altium Designer позволяют задать шаг сетки менее 0,254 мм только последовательным нажатием клавиш V ⇒ G ⇒ S или командой View ⇒ Grids ⇒ Set Snap Grid, при этом узлы сетки отображаются в старом шаге, а сама сетка сбрасывается на 0,254 мм, если в процессе рисования будет изменен масштаб. Если для сложных УГО это оказывается неудобным, то есть альтернативный вариант:

– УГО рисуется в любом чертежном САПР (например, КОМПАС-3D);

– УГО сохраняется в формате DWG или DXF;

– результат импортируется в Altium Designer с масштабирующим коэффициентом 0,03937 (в 25,4 раза меньше, чем предлагается по умолчанию).

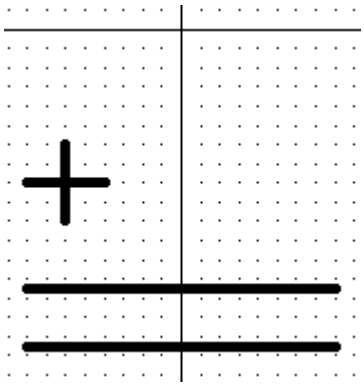


Рис. 5.37

4. Двумя линиями длиной по 2 мм каждая нарисовать знак «+».

Результат в варианте «П1» показан на рис. 5.37.

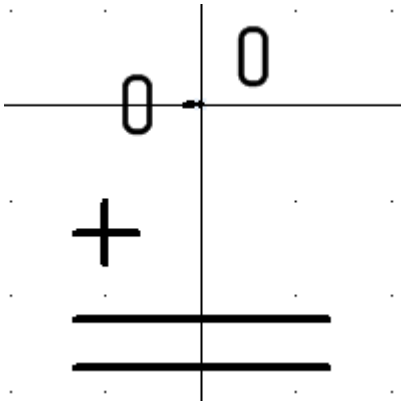
5. Перейти в сетку 3 мм.

6. Добавить первый пин, который будет располагаться над двумя горизонтальными линиями (со стороны знака «+»).

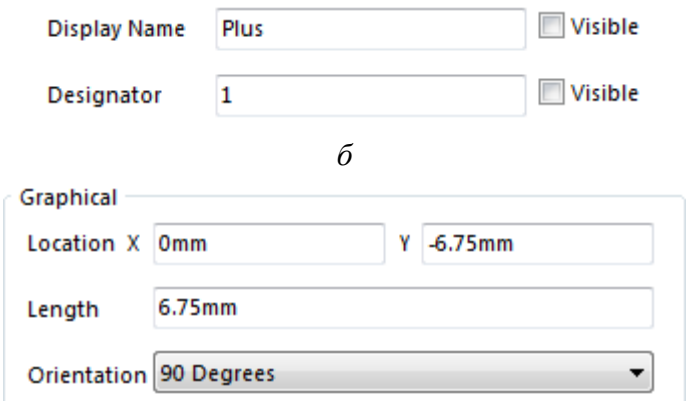
Пин (pin, вывод) – объект, предназначенный для осуществления связи с КП в посадочном месте и подключения линий связи к УГО на схеме.

Для добавления первого пина выполнить следующее:

6.1. Последовательно нажать клавиши **P ⇒ P** или запустить команду **Place ⇒ Pin**, после чего щелчком ЛКМ установить пин в начало координат и завершить команду (рис. 5.38, *а*).



а



б *в*

Рис. 5.38

6.2. Зайти в свойства пина и задать настройки:

– в поле **Display Name** указать функциональное назначение пина (**Plus**) и отключить отображение поля (рис. 5.38, *б*);

– в поле **Designator** указать номер пина (**1**) и отключить отображение поля (рис. 5.38, *б*);

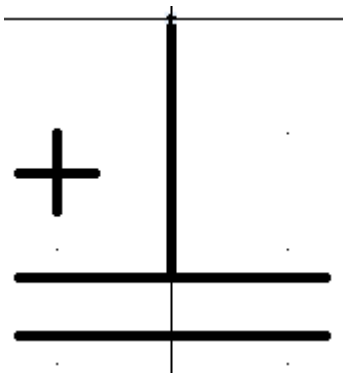


Рис. 5.39

– в группе **Graphical** задать длину, расположение и угол поворота пина в соответствии с рис. 5.38, *в*.

Результат размещения первого пина показан на рис. 5.39.

7. Добавить второй пин, который будет располагаться под двумя горизонтальными линиями.

Это удобнее сделать копированием первого пина:

7.1. Скопировать первый пин (**Ctrl+C**).

7.2. Сначала нажать комбинацию клавиш **Ctrl+V**, а затем дважды клавишу **Пробел** для поворота фантома. После этого зафиксировать пин ЛКМ так, чтобы верхний его конец касался нижней горизонтальной линии.

7.3. Зайти в свойства пина и внести следующие изменения:

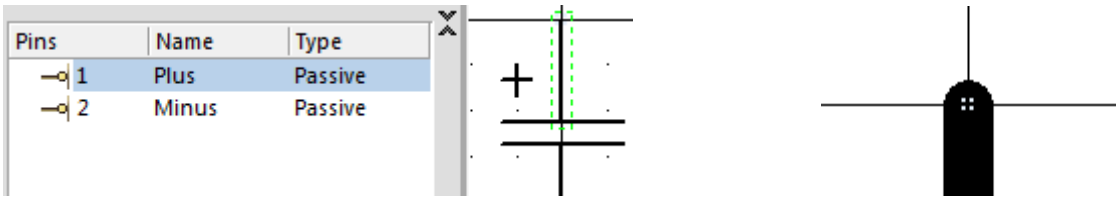
– в поле **Display Name** записать **Minus**;

– в поле **Designator** указать **2**.

8. Проконтролировать правильность установки пинов:

– сверху должен быть первый пин, а снизу – второй. При выборе ЛКМ пина в рабочем поле подсвечивается соответствующая строка в панели **SCH Library** (рис. 5.40, *а*). Также верно и обратное;

– конец первого пина, к которому будет подключаться линия электрической связи на схеме (содержит четыре светлые точки как на рис. 5.40, *б*), должен находиться сверху, а такой же конец второго пина – снизу.



а *б*

Рис. 5.40

Примечания:

– отображение информации из полей Display Name и Designator у пинов используется в основном в УГО микросхем, например в усилителе GALI-3+ из варианта «П1» (рис. 8.22);

– функциональные назначения выводов конденсатора были указаны для контроля правильности организации связей с КП посадочного места. В этих полях можно было записать номера выводов или оставить их пустыми;

– начало первого вывода находится в начале координат, так как относительно этой точки осуществляется перемещение и вращение УГО на схеме при добавлении компонента из библиотеки.

9. Настроить системные параметры Designator и Comment.

Если в посадочном месте (см. п. 15 из 5.2.3) на их расположение не накладывается строгих ограничений, то в УГО они должны располагаться в соответствии с ГОСТ 2.702–2011 (рис. 5.41). Для настройки параметров выполнить следующее:

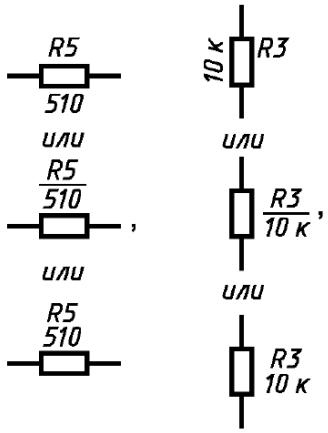


Рис. 5.41 [11]

9.1. В панели **SCH Library** в списке Components дважды щелкнуть ЛКМ по строке с УГО или выделить ее ЛКМ и нажать кнопку **Edit** (см. рис. 5.35, *б*).

В появившемся окне **Library Component Properties** в разделе **Properties** внести корректировки:

– в поле **Default Comment** записать **Comment**. Поле будет отредактировано в следующем подразделе, а на данном этапе эта запись гарантирует переход на латинскую раскладку клавиатуры;

– в поле **Default Designator** записать **C?**, где латинская буква С – буквенный код конденсатора по ГОСТ 2.710–81 [40], знак «?» – место для простановки порядкового номера компонента с указанным кодом при автоматической перенумерации схемы.

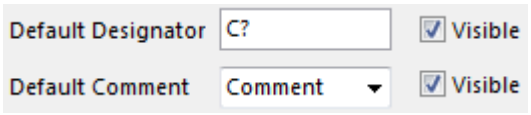


Рис. 5.42

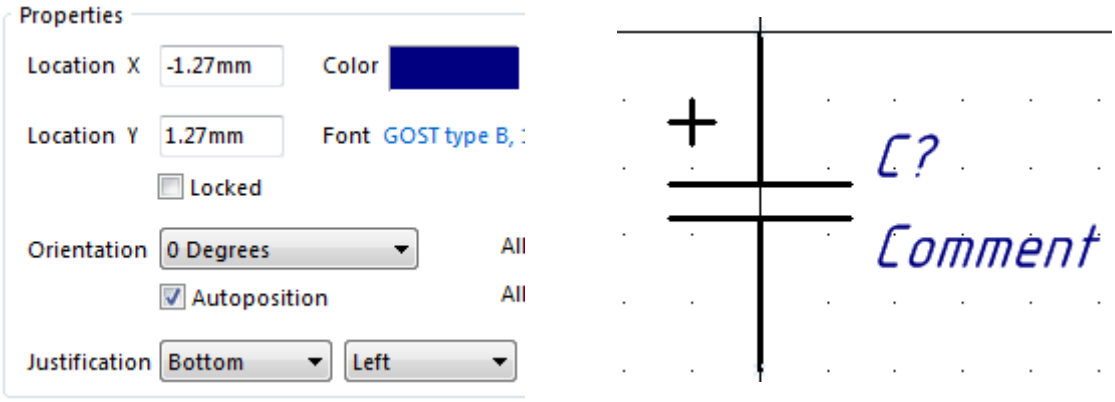
Примечание. Опции Visible около системных параметров позволяют управлять их видимостью на схеме (рис. 5.42).

9.2. Отобразить системные параметры в редакторе УГО.

Для этого запустить команду **Tools ⇒ Document Options** и в появившемся окне **Schematic Library Options** на вкладке **Library Editor Options** включить опцию **Always Show Comment/Designator**.

По умолчанию в свойствах системных параметров включена опция **Autoposition** (например, как для параметра Designator на рис. 5.43, *а*), которая означает следующее:

– при добавлении УГО на схему параметр Designator всегда будет находиться над параметром Comment;



а *б*

Рис. 5.43

– на схеме при повороте УГО данные параметры будут располагаться относительно него или по верхнему левому варианту с рис. 5.41, или по нижнему правому варианту с этого рисунка;

– любые действия, произведенные с изменением положения, угла поворота или точки привязки данных параметров в редакторе УГО, будут проигнорированы.

Опцию Autoposition рекомендуется включать для системных параметров в УГО дискретных компонентов (конденсаторов, резисторов и др.) и отключать в УГО для всех остальных компонентов (например, микросхем), настраивая их расположение в библиотеке. При этом положение этих параметров можно изменить для любых УГО после размещения на схеме.

В варианте «П1» системные параметры для удобства были расположены справа от УГО (рис. 5.43, *б*), но опции Autoposition остались включенными.

10. Сохранить изменения в УГО (**Ctrl+S**).

Примечание. Проверку УГО можно осуществить с помощью команды Reports ⇒ Component Rule Check, но делать это имеет смысл при большом количестве выводов. Тогда рекомендуется проверять наличие пинов с одинаковыми номерами (duplicate pins), пинов с отсутствующими именами (missing pin name) и номерами (missing pin number), пропущенных пинов (missing pins in sequence).

5.4. Библиотечный компонент

На данном этапе файлы с посадочным местом и УГО дают возможность пользоваться вторым вариантом первого способа организации библиотек компонентов (см. п. 1.2 из 5.1). Следующий шаг к созданию интегрированной библиотеки – организация 1-го или 3-го варианта (см. п. 1.1 или 1.3 из 5.1).

Для этого необходимо выполнить следующее:

1. Если библиотеки с посадочным местом и УГО были закрыты, то открыть их командой **File ⇒ Open** (расположение файлов указано в п. 2 из 5.2.1 и в п. 2 из 5.3.1).

2. Подключить к УГО посадочное место:

2.1. В рабочем поле перейти на вкладку с библиотекой УГО.

Примечание. При наличии в библиотеке нескольких УГО для дальнейших действий требуется выбрать нужный в панели SCH Library.

2.2. В области подключения моделей (см. рис. 5.33) нажать кнопку **Add Footprint**. Если кнопка имеет другое название, то необходимо нажать на область с треугольником и из выпадающего списка выбрать опцию Footprint.

2.3. В открывшемся окне **PCB Model** выполнить следующее:

– в группе **PCB Library** выбрать опцию **Library name**;

– в группе **Footprint Model** нажать кнопку **Browse** (рис. 5.44);

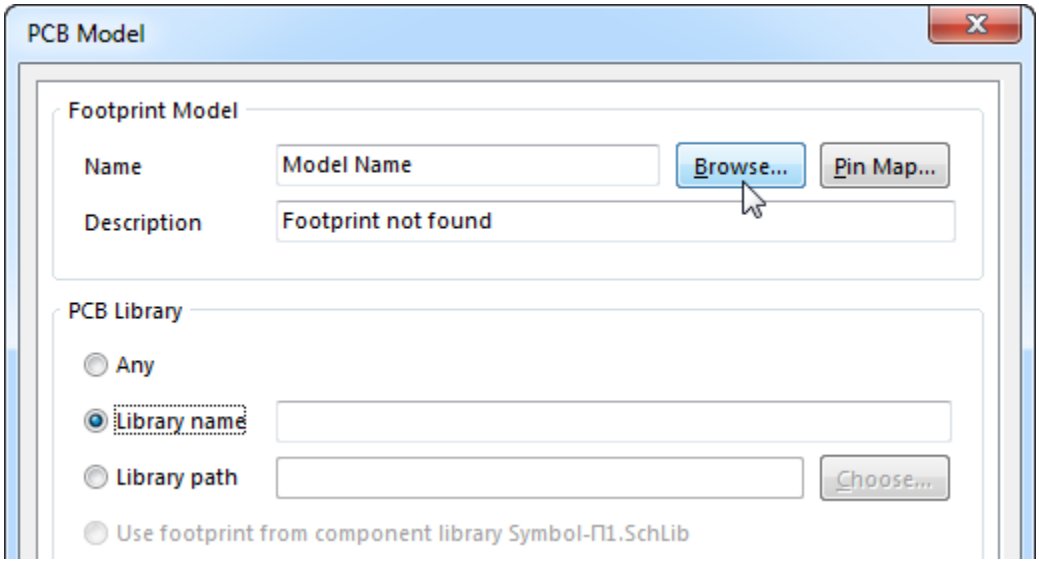


Рис. 5.44

– если список **Libraries** пустой, то нажать пиктограмму с тремя точками и в появившемся окне **Available Libraries** на вкладке **Installed** добавить требуемую библиотеку посадочных мест с расширением «.PcbLib» по аналогии с п. 6 из 10.1. Результат в варианте «П1» показан на рис. 5.45;

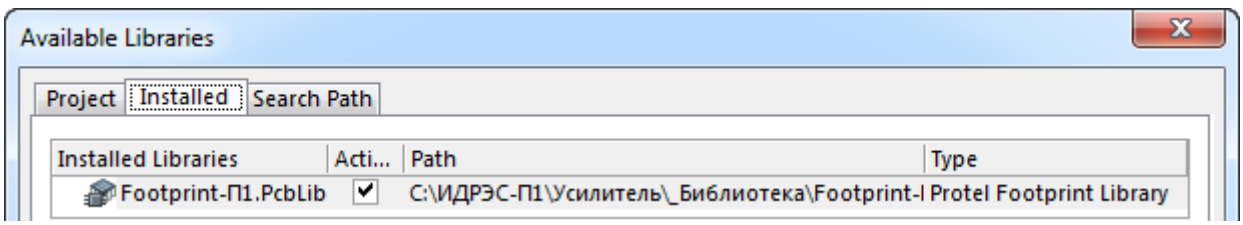


Рис. 5.45

– в окне **Browse Libraries** в поле **Libraries** выбрать необходимую библиотеку, а в таблице ниже – требуемое посадочное место (рис. 5.46);

– закрыть окна **Browse Libraries** и **PCB Model** кнопками **OK**.

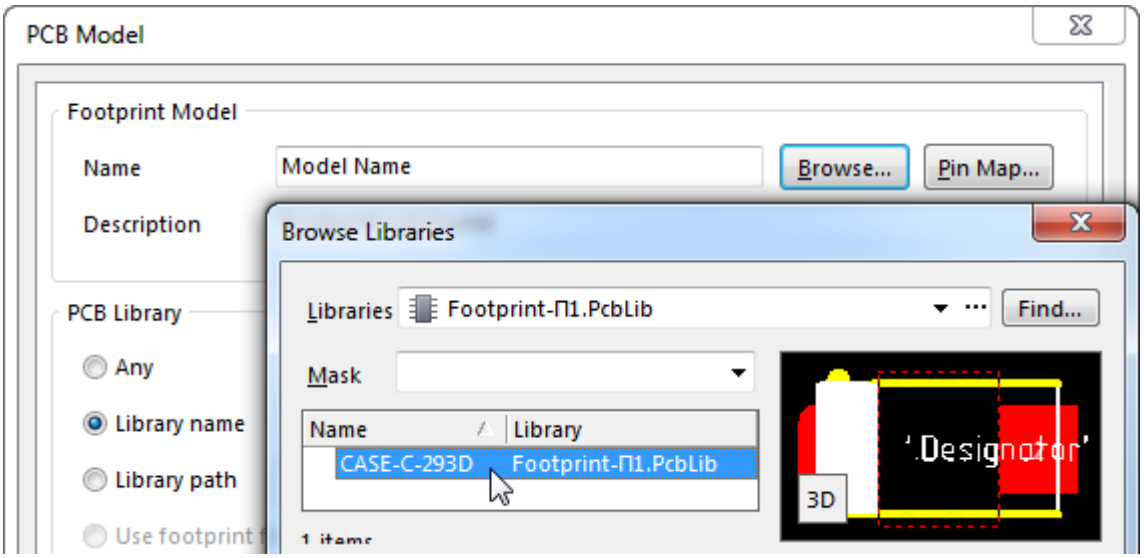


Рис. 5.46

Примечания:

– назначение вкладок окна Available Libraries приведено в п. 2 из Г.9;

– опция Library name гарантирует, что посадочное место будет выбрано только из указанной библиотеки. Это отличает ее от опции Any, при которой посадочное место при совпадении наименований может быть автоматически подключено и из другой доступной в данный момент библиотеки посадочных мест;

– при использовании опции Library path посадочное место будет выбрано только из библиотеки посадочных мест, расположенной по указанному пути. Это не всегда удобно, так как при изменении ее расположения потребуется заново указать к ней путь. При использовании этой опции не обязательно подключать библиотеку посадочных мест. Ее можно выбрать кнопкой Choose, а наименование посадочного места ввести в поле Name группы Footprint Model.

2.4. Проконтролировать правильность установки связей между выводами УГО и КП в посадочном месте. Для этого щелкнуть ЛКМ или по КП в области просмотра посадочных мест и 3D-моделей, или по пину в области разработки УГО, или по соответствующей строке в панели **SCH Library**.

Примечание. Переход между режимами просмотра в области просмотра посадочных мест и 3D-моделей осуществляется соответствующей пиктограммой (2D – переход в 2D-режим, 3D – переход в 3D-режим).

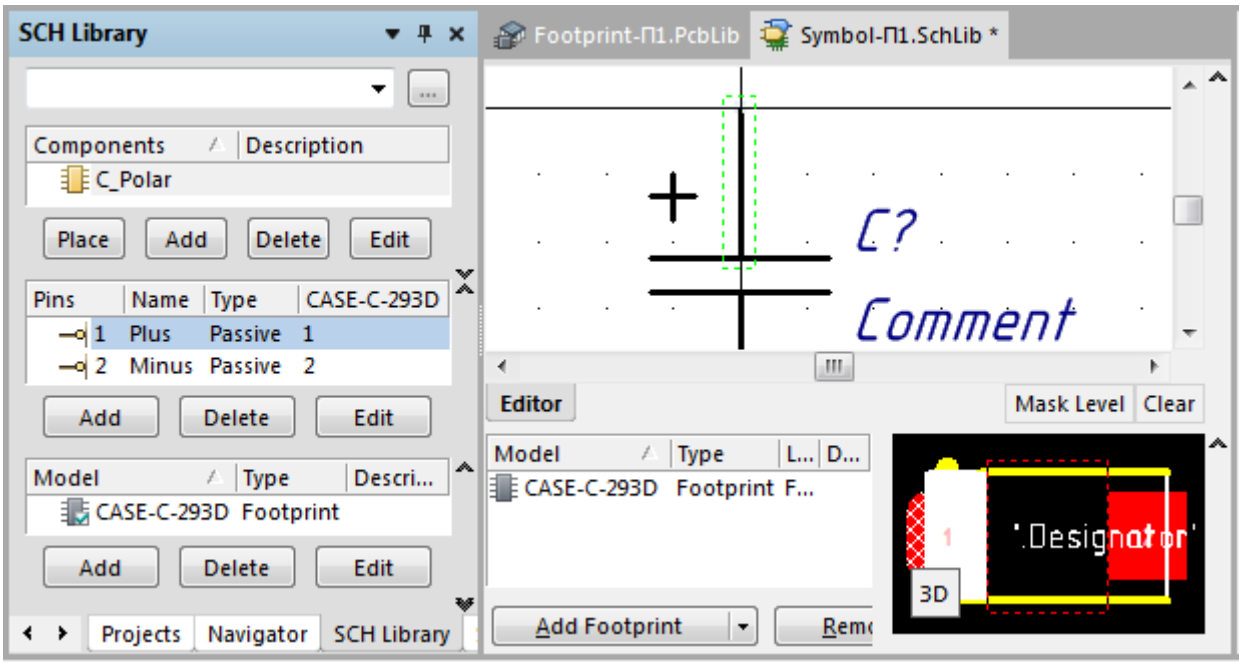


Рис. 5.47

Например, в варианте «П1» на рис. 5.47 связи установлены правильно, так как первая КП, расположенная в посадочном месте слева под положительным выводом, соединена с первым пином, расположенным в УГО сверху около знака «+».

Если связи установлены неправильно, то поменять их можно в окне **Model Map**, для вызова которого выполняется следующее:

– осуществляется двойной щелчок ЛКМ по строке с посадочным местом в области подключения моделей (или ЛКМ выделяется строка с подключенным посадочным местом в панели **SCH Library** и нажимается кнопка **Edit**);

– в открывшемся окне PCB Mobel в группе **Footprint Model** нажимается кнопка **Pin Map** (см. рис. 5.46).

С этого момента УГО с подключенным посадочным местом будет называться компонентом.

3. Отредактировать свойства компонента.

3.1. По п. 9.1 из 5.3.3 открыть окно **Library Component Properties**.

3.2. В разделе **Parameters** с помощью кнопки **Add** добавить девять пользовательских параметров и присвоить им значения по табл. 5.2.

Примечание. Префиксы CI_ (component information) и PI_ (package information) используются для удобства сортировки параметров. Значения параметров, для которых в таблице записан символ «», будут редактироваться после добавления компонента на схему.*

Пример добавления параметра **PartNumber** показан на рис. 5.48.

Таблица 5.2

Пользовательские параметры для конденсатора из варианта «П1»

Параметр (Name)	Значение (Value)	Назначение
CI_BOM	*	Для формирования перечня элементов (BOM – Bill of Materials)
CI_Manufacturer	Vishay	Производитель
CI_Temperature	-55…+125 °C	Рабочий диапазон температур
CI_Tolerance	*	Допуск номинала
CI_Value	*	Номинал
CI_Voltage	*	Рабочее напряжение
PartNumber	*	Уникальный номер, присваиваемый компоненту его производителем (пример приведен в В.2)
PI_Mounting Style	SMD	Тип монтажа
PI_Package	Case C	Типоразмер корпуса из варианта индивидуального задания

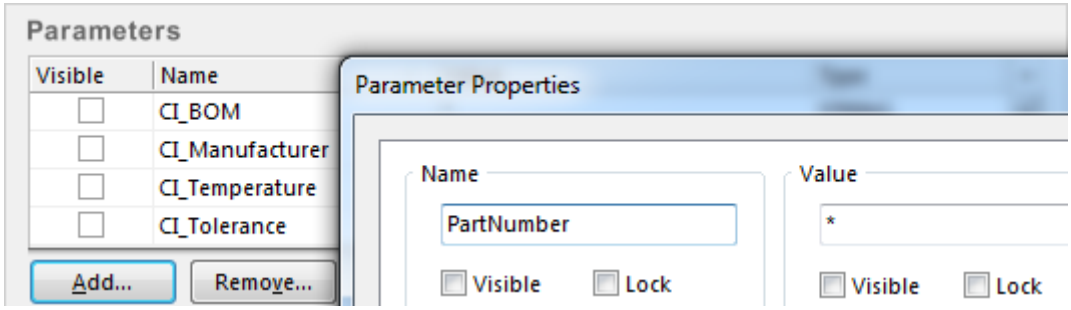


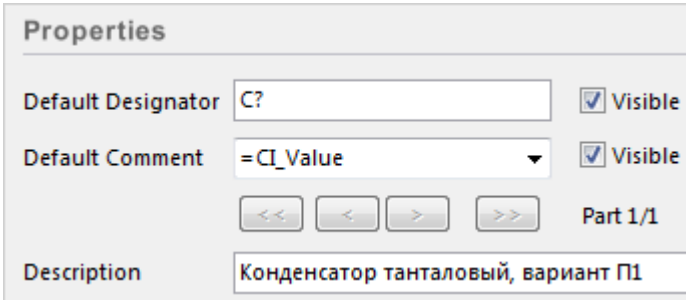
Рис. 5.48

3.3. Сохранить в отчет изображение группы **Parameters** с параметрами.

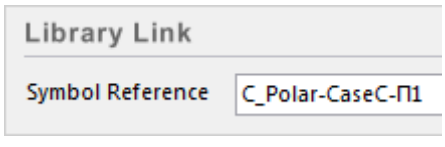
3.4. Внести корректировки в раздел **Properties**:

– в поле **Default Comment** записать или выбрать из выпадающего списка «**=CI_Value**». В результате в этом системном параметре будет отображаться информация пользовательского параметра CI_Value;

– в поле **Description** дать краткое описание компонента с указанием номера варианта задания по аналогии с рис. 5.49, *а*.



а



б

Рис. 5.49

3.5. Скорректировать название компонента, для чего в разделе **Library Link** в поле **Symbol Reference** добавить к записанному тексту название типоразмера корпуса и номер варианта задания по аналогии с рис. 5.49, *б*.

3.6. Применить изменения в окне **Library Component Properties**, после чего сохранить в отчет рисунок УГО компонента.

4. Сохранить изменения в компоненте (**Ctrl+S**).

Примечания:

– в результате была создана заготовка компонента. Таким образом зачастую поступают с дискретными компонентами, которые имеют для одного типоразмера корпуса много номиналов, при организации библиотек по первому и второму способам (см. пп. 1 и 2 из 5.1), тем самым уменьшая количество одинаковых УГО. В этом случае параметры компонентов конкретизируют уже на схеме;

– разработка компонентов под отдельные номиналы обычно производится или при наличии библиотеки в виде базы данных (см. п. 3 из 5.1), где можно указать их количество на складе, или при частом их использовании;

– к одному УГО можно подключить несколько посадочных мест, но делать это рекомендуется только в том случае, если один корпус допускает установку на ПП разными способами (см. рис. 12.67 и 19.37). Делать заготовку компонента для нескольких разных корпусов не стоит, так как чем больше параметров у компонента придется корректировать на схеме, тем больше вероятность допустить ошибку.

5.5. Интегрированная библиотека

Действия для создания интегрированной библиотеки:

1. Создать проект интегрированной библиотеки.

Для этого запустить команду **File ⇒ New ⇒ Project** и в открывшемся окне **New Project** (рис. 5.50, *а*):

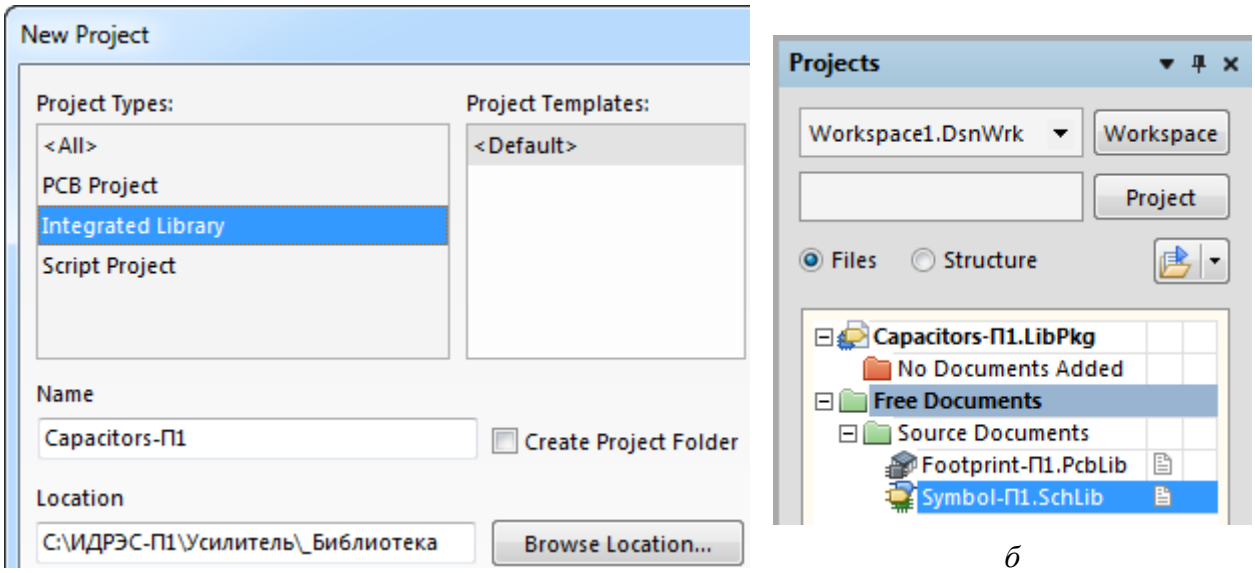
– в группе **Project Types** выбрать **Integrated Library**;

– в поле **Name** присвоить имя библиотеке в виде **Capacitors-XX**, где вместо XX указать номер варианта;

– отключить опцию **Create Project Folder** (в этом случае для проекта интегрированной библиотеки не будет создаваться отдельная папка);

– в поле **Location** с помощью кнопки **Browse Location** указать папку с созданными файлами библиотек УГО и посадочного места (см. п. 2 из 5.2.1).

Затем применить изменения кнопкой **OK**.



а *б*

Рис. 5.50

В результате в панели Projects появится группа с названием файла проекта интегрированной библиотеки и расширением «.LibPkg» (рис. 5.50, *б*), в которой не будет ни одного документа.

2. В панели **Projects** перетащить зажатой ЛКМ библиотеки УГО и посадочного места в группу проекта интегрированной библиотеки.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 5.51.

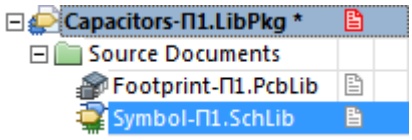


Рис. 5.51

Если библиотеки в панели отсутствуют, то выполнить следующее:

– на названии проекта интегрированной библиотеки запустить команду **ПКМ ⇒ Add Existing to Project** (команда также доступна из меню Project);

– в появившемся окне выбрать тип файлов **All files (*.*)**;

– выделить файлы с расширением «.PcbLib» и «.SchLib»;

– нажать кнопку **Открыть**.

3. Запустить команду **Project ⇒ Project Options** и в открывшемся окне на вкладке **Options** в поле **Output Path** удалить название последней папки по указанному пути вместе с бэкслешем, чтобы интегрированная библиотека сохранилась в папку с библиотеками УГО и посадочным местом (рис. 5.52).

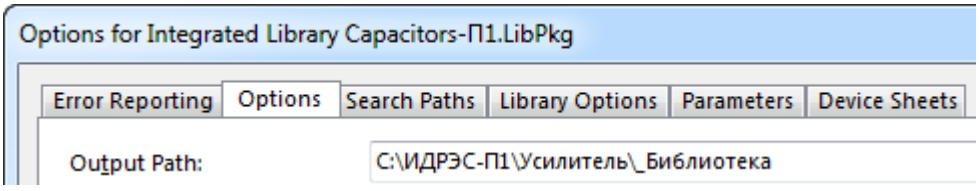


Рис. 5.52

Примечание. На вкладке Error Reporting перечислены параметры, по которым осуществляется проверка интегрированной библиотеки и которым можно задать различные уровни серьезности. При проектировании по данному учебному пособию настройки этой вкладки не меняются.

Применить настройки проекта кнопкой **OK**.

4. Сохранить изменения в проекте, выполнив на нем в панели **Projects** команду **ПКМ ⇒ Save Project**.

5. Скомпилировать проект интегрированной библиотеки, выполнив на нем команду **ПКМ ⇒ Compile Integrated Library** (команда также доступна из меню Project).

В результате компиляции будет создан файл интегрированной библиотеки с расширением «.IntLib», который автоматически добавится в список установленных библиотек и станет доступен в панели Libraries (см. Г.9).

6. В панели **Libraries** выбрать интегрированную библиотеку, после чего сохранить изображение панели в отчет. На картинке должны быть видны показанные на рис. 5.53 части панели.

Примечание. Библиотека УГО будет также в списке доступных библиотек, так как она находится в текущем проекте.

7. Удалить все библиотеки из списка установленных библиотек:

– в верхней части панели **Libraries** нажать одноименную кнопку;

– в открывшемся окне **Available Libraries** на вкладке **Installed** выбрать все библиотеки и нажать кнопку **Remove**;

– закрыть окно **Available Libraries** кнопкой **Close**.

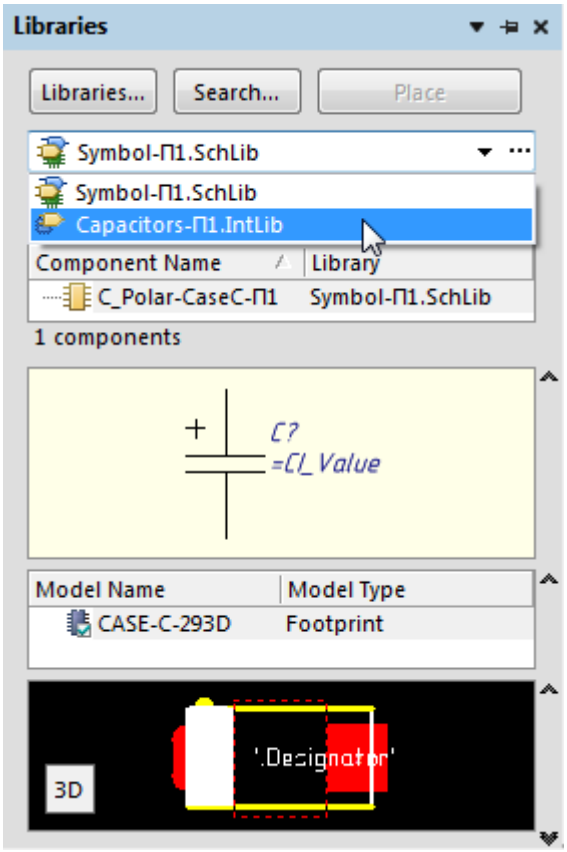


Рис. 5.53

8. В панели **Projects** закрыть проект, выполнив на нем команду **ПКМ ⇒ Close Project**.

9. В проводнике Windows открыть папку, в которую производилось сохранение библиотек и файлов проекта, и удалить из нее все файлы и папки, кроме файла интегрированной библиотеки с расширением «.IntLib».

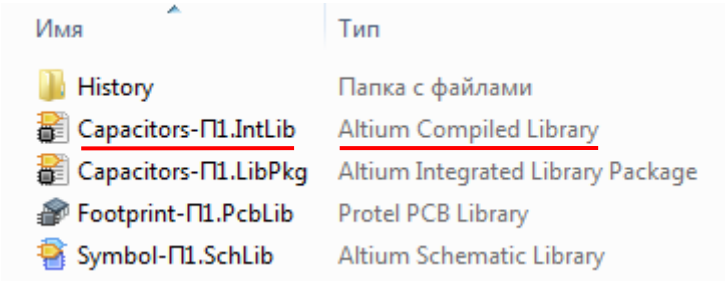


Рис. 5.54

Следует обратить внимание на то, что иконки файлов интегрированной библиотеки и проекта интегрированной библиотеки совпадают. Поэтому необходимо дополнительно проконтролировать правильность удаления по описанию типа файла (рис. 5.54).

5.6. Содержание отчета

По 5-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Размеры корпуса конденсатора из варианта индивидуального задания, для которого разрабатывался библиотечный компонент.

2. Размеры созданных КП с указанием причины различия в их форме.

3. Значение координаты X для первой КП (расстояние от центра КП до короткой стороны корпуса конденсатора).

4. Два рисунка посадочного места в 2D-режиме просмотра (один – при текущем слое **M3 Top Assy**, а другой – при текущем слое **Top Layer**).

5. Рисунок посадочного места в 3D-режиме просмотра.

6. Рисунок группы **Parameters** из окна свойств компонента со всеми добавленными пользовательскими параметрами.

7. Рисунок УГО после добавления и корректировок параметров.

8. Изображение панели **Libraries** с выбранной интегрированной библиотекой.

6. 3D-МОДЕЛЬ КОМПОНЕНТА

6.1. Начальное окно КОМПАС-3D

Для создания 3D-модели «усилителя» необходимы 3D-модели корпусов компонентов, размещаемых на ПП. В папке **…\ИДРЭС\Модели элементов** (см. рис. 2.9) находятся все используемые при проектировании 3D-модели, кроме корпуса танталового конденсатора с типоразмером, указанным в варианте индивидуального задания на проектирование, для которого в разд. 5 был создан библиотечный компонент.

В данном разделе разбирается пример создания недостающей 3D-модели в САПР **КОМПАС-3D**, начальное окно которой показано на рис. 6.1.

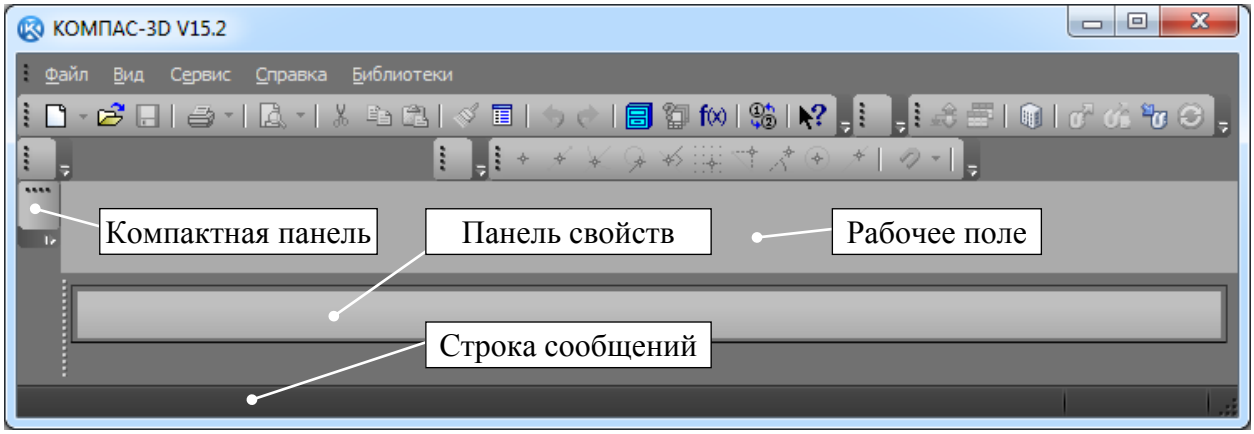


Рис. 6.1

Сверху располагаются пункты главного меню, под которым размещены ПИ с пиктограммами системных команд. В зависимости от настроек программы в начальном окне может присутствовать разное число ПИ в разном составе, например в виде заготовок без отображения или с неполным набором пиктограмм команд. Подключать и отключать ПИ можно командой **Вид ⇒ Панели инструментов** в любой момент.

В левой части окна по умолчанию зарезервировано место для **Компактной панели**, которая представляет собой составную ПИ, состоящую из набора панелей.

В середине окна располагается **рабочее поле** – область, в которой размещаются по мере надобности те или иные документы: эскиз, модель (детали, сборки), графический документ (чертеж, фрагмент) и др. В рабочем поле одновременно могут находиться разные документы, при этом они располагаются либо в виде отдельных окон, либо в виде окон в полный размер рабочего поля с вкладками в верхней его части.

Ниже рабочего поля зарезервировано место для **Панели свойств**, которая служит для управления параметрами активной в данный момент команды.

Самая нижняя строка экрана – **Строка сообщений**, в которой выводится информация, помогающая правильно реагировать на запросы и сообщения системы, а также избегать ошибок при выполнении тех или иных действий, например: информация по текущему действию, выполняемому системой, или информация об элементе экрана, к которому подведен курсор мышки [43].

6.2. Настройки КОМПАС-3D

Перед началом работы в КОМПАС-3D необходимо произвести настройку. Это можно сделать двумя способами:

– задать все настройки вручную;

– загрузить профиль с уже заданными настройками.

Вручную настройки задаются в окне **Параметры**, которое вызывается командой **Сервис ⇒ Параметры**.

Профили удобны для быстрого восстановления настроек, например после нештатных ситуаций в виде сбоя в работе программы или неудачного внесения изменений. Их можно разделить на две группы:

– пользовательские, в которые можно сохранять настройки, заданные в любой момент работы;

– стандартные, находящиеся в папке **Profiles** каталога, в котором установлена текущая версия КОМПАС-3D. Например, загрузка профиля **mcad.pfl** восстановит исходные настройки для машиностроительной конфигурации.

Сохранение и загрузка профилей осуществляются командой **Сервис ⇒ Профили**, при этом доступны следующие группы настроек:

– настройки рабочего окна (размеры окна и его вид, размещение и состав ПИ, настройки интерфейса и др.);

– настройки параметров системы (все настройки, сделанные на вкладке **Система** окна **Параметры**);

– настройки параметров новых документов (все настройки, сделанные на вкладке **Новые документы** окна **Параметры**).

С целью экономии времени предлагается воспользоваться вторым способом, загрузив пользовательский профиль. Для этого следует выполнить указанную выше команду и в появившемся окне **Профили пользователя**, показанном на рис. 6.2, произвести следующие действия:

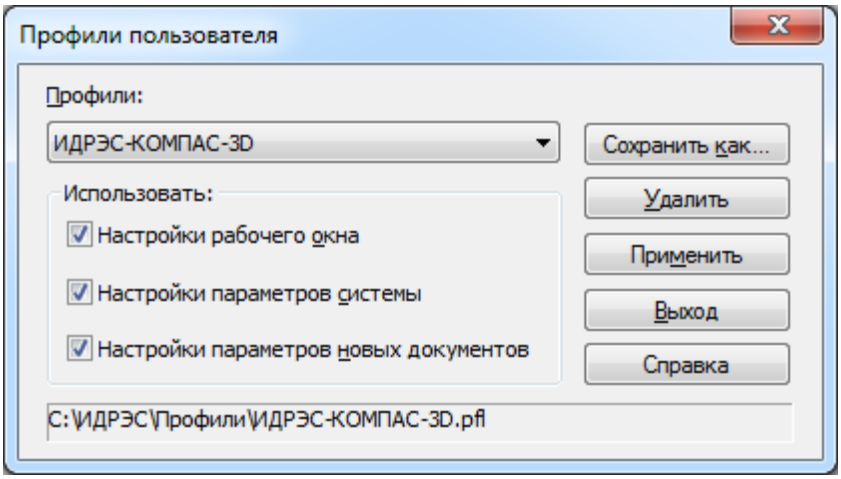


Рис. 6.2

– в списке **Профили** выбрать пункт **Другие** и в появившемся окне указать профиль **ИДРЭС-КОМПАС-3D.pfl**, расположенный в папке **…\ИДРЭС\Профили** (см. рис. 2.9);

– в группе **Использовать** включить все опции и нажать **Применить**.

В результате произойдут следующие изменения:

– в окне **Параметры** применятся настройки, указанные в табл. 8.1;

– внешний вид поменяется на стиль приложения **Microsoft Office 2010** с цветовой схемой **Dark** (изменяется командой **Сервис ⇒ Вид приложения**);

– на ПИ **Вид** в моделях отключится пиктограмма **Упрощенное отображение**;

– на ПИ **Режимы** в моделях отключится пиктограмма **Перспектива**.

Таблица 6.1

Изменения в окне Параметры по профилю ИДРЭС-КОМПАС-3D.pfl

Вкладка	Группа	Настройка
Новые документы	Модель ⇒ Размеры ⇒ Надпись	Шрифт – **GOST type A** Высота шрифта – **3.5**
	Модель ⇒ Размеры ⇒ Допуски и предельные значения ⇒ Параметры	Опция **Предельные отклонения или значения** в группе **Отображать в надписи** – отключена
	Модель ⇒ Размеры ⇒ Допуски и предельные значения ⇒ Допуски по умолчанию	Опции в группе **Назначать допуски в размерах** – отключены
	Модель ⇒ Эскиз ⇒ Параметризация	Опция **Запретить все** – включена
	Графический документ ⇒ Размеры ⇒ Допуски и предельные значения ⇒ Параметры	Опция **Предельные отклонения или значения** в группе **Отображать в надписи** – отключена
	Графический документ ⇒ Размеры ⇒ Надпись	Высота шрифта – **3.5** Шаг строк – **5.5**

Продолжение таблицы 6.1

Вкладка	Группа	Настройка
Новые документы	Графический документ ⇒ Размеры ⇒ Параметры	Угол стрелки – **20** Длина стрелки – **2.5**
	Графический документ ⇒ Линия-выноска ⇒ Параметры	Угол стрелки – **20** Длина стрелки – **3.5**
	Графический документ ⇒ Линия-выноска ⇒ Текст над/под/за полкой	Высота шрифта – **3.5** Шаг строк – **5.5**
	Графический документ ⇒ Линия-выноска ⇒ Наклонный текст	Высота шрифта – **3.5**
	Графический документ ⇒ Обозначения для машиностроения ⇒ Обозначение позиции ⇒ Параметры	Угол стрелки – **20** Длина стрелки – **2.5**
	Графический документ ⇒ Обозначения для машиностроения ⇒ Обозначение позиции ⇒ Текст обозначения позиций	Высота шрифта – **5.0** Шаг строк – **8**
	Графический документ ⇒ Обозначения для машиностроения ⇒ Отклонения формы и база	Высота шрифта – **3.5**
	Графический документ ⇒ Обозначения для машиностроения ⇒ (Линия разреза/сечения ⇒ Параметры, Стрелка взгляда ⇒ Параметры)	Высота шрифта – **7.00** Длина штриха – **10.00** Опция **Курсив** – включена
	Графический документ ⇒ (Текст на чертеже, Параметры таблицы (все подгруппы), Параметры документа ⇒ Технические требования ⇒ Текст)	Шаг строк – **5.5** Высота шрифта – **3.5** (параметры шрифта по кнопке **Шрифт**)
	Графический документ ⇒ Параметры документа ⇒ Вид	На вкладке **Параметры** включена опция **Создавать ссылку на масштаб вида в основной надписи**
	Графический документ ⇒ Параметризация	Опция **Фиксировать размеры** – отключена
Система	Графический редактор ⇒ Курсор	Опция **Округление** – отключена
	Графический редактор ⇒ Системные линии	Тонкая линия – **0.17** мм Основная линия – **0.5** мм Утолщенная линия – **0.75** мм
	Графический редактор ⇒ Привязки	Опции **По сетке** и **Только к видимым точкам сетки** – включены
	Графический редактор ⇒ Виды	Опция **Отображать имена видов** – включена
	Графический редактор ⇒ Сетка	Шаг по оси X и Y – **0.1** мм Тип сетки – второй в первом ряду
	Редактор моделей ⇒ Сетка	

Окончание таблицы 6.1

Вкладка	Группа	Настройка
Система	Экран ⇒ Фон рабочего поля моделей	Опция **Использовать градиентный переход** – отключена
	Экран ⇒ Настройка интерфейса ⇒ Панели инструментов	**Глобальные привязки** – включено

Настройки высоты шрифта, формы и размеров стрелок и других параметров обозначений относятся по большей части к чертежам и соответствуют ГОСТ Р 2.109–2023, ГОСТ 2.303–68, ГОСТ 2.304–81, ГОСТ 2.305–2008 [44], ГОСТ 2.307–2011 [45], ГОСТ Р 2.308–2023 [46] и ГОСТ Р 2.316–2023.

6.3. Основные понятия при создании 3D-моделей в КОМПАС-3D

Эскиз – контур из основных линий, на основе которого образуется объемный объект. Различают следующие виды контуров:

– ***замкнутые*** (эскизу можно придать объем) – рис. 6.3, *а*, *г*, *и*;

– ***разомкнутые*** (эскизу придать объем нельзя, но его можно использовать как траекторию для перемещения других эскизов) – рис. 6.3, *з*.

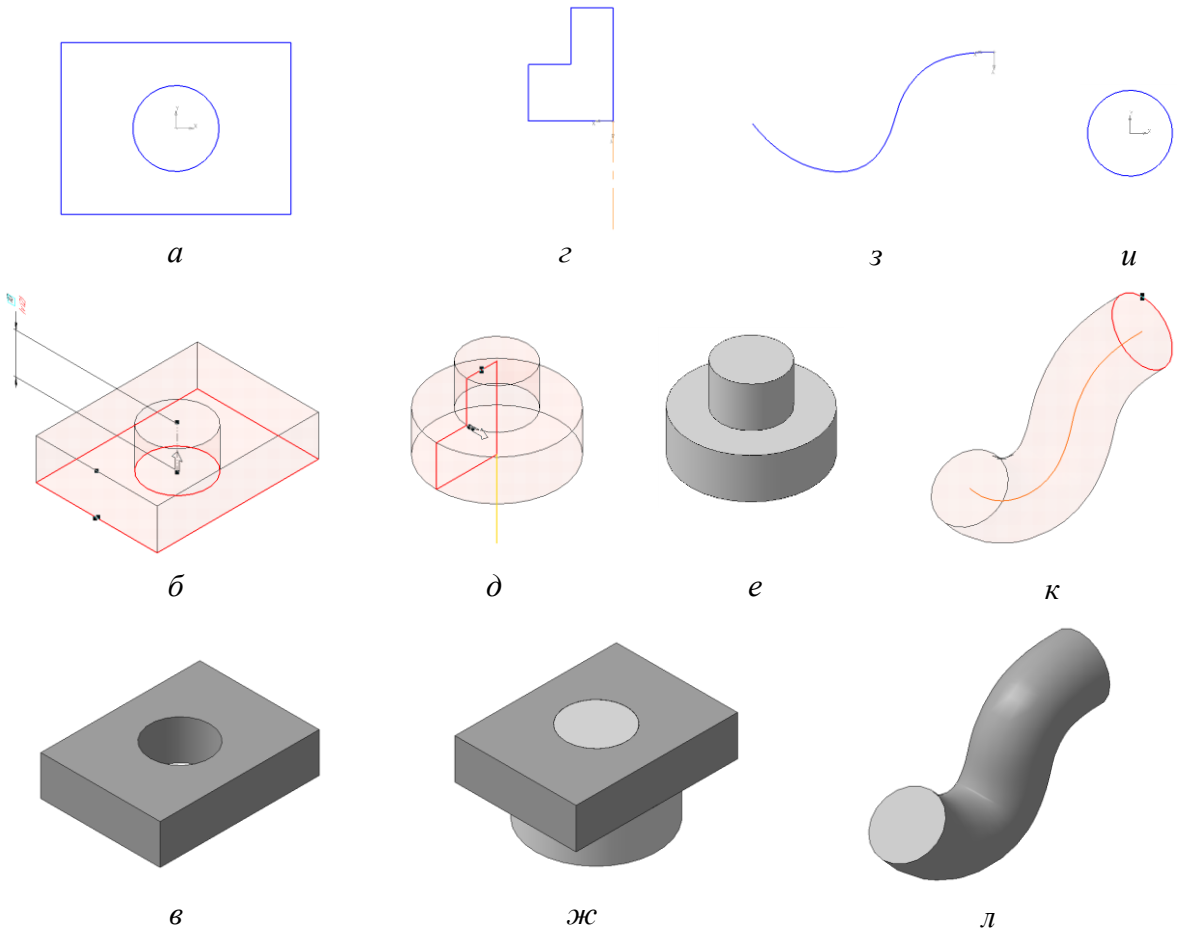


Рис. 6.3

Фантом – изображение, временно появляющееся на экране при выполнении какой-либо операции и показывающее текущее состояние создаваемых или редактируемых объектов (рис. 6.3, *б*, *д*, *к*).

Основание – первый формообразующий элемент детали. Основание есть у любой детали, и оно всегда одно. Например, для детали на рис. 6.3, *л* основанием является эскиз с рис. 6.3, *и*.

Деталь – 3D-модель (расширение «.m3d»), созданная с помощью одного действия (рис. 6.3, *в*, *е*, *л*) или комбинации нескольких действий (например, вращение, выдавливание, перемещение по направляющей и по сечениям соответствующих эскизов). В целом процесс создания детали заключается в операциях над эскизами, которые могут создаваться как на произвольных плоскостях, так и на гранях уже созданных частей детали.

Деталь на рис. 6.3, *в* можно было получить и двумя действиями: сначала выдавить эскиз с прямоугольным контуром, получив параллелепипед, а затем вырезать выдавливанием из него на всю толщину эскиз с круглым контуром.

Элемент вращения – деталь или элемент детали, полученный методом вращения эскиза вокруг оси (рис. 6.3, *е*).

Элемент выдавливания – деталь или элемент детали, полученный методом выдавливания эскиза перпендикулярно плоскости эскиза (рис. 6.3, *в*).

Элемент перемещения эскиза по направляющей – деталь или элемент детали, полученный методом перемещения эскиза по траектории (направляющей). Например, деталь на рис. 6.3, *л* получена перемещением эскиза с рис. 6.3, *и* по эскизу с рис. 6.3, *з*, т. е. последний эскиз – траектория.

Сборка – 3D-модель (расширение «.a3d»), объединяющая модели деталей, подсборок и стандартных изделий, а также информацию о взаимном положении компонентов и связи между параметрами их элементов. Например, сборка на рис. 6.3, *ж*, полученная соединением деталей с рис. 6.3, *в* и *е*.

Привязка – механизм, позволяющий точно задать положение курсора, выбрав условие его позиционирования (например, в узлах сетки, на пересечении объектов и т. д.) [43].

6.4. Главное окно КОМПАС-3D в режиме создания детали

Для перехода в режим создания детали необходимо выполнить команду **Файл ⇒ Создать ⇒ Деталь**. Главное окно КОМПАС-3D в этом режиме показано на рис. 6.4. На рисунке в центре рабочего поля находится исходная система координат:

– ось X и перпендикулярная ей плоскость Z0Y – красные;

– ось Y и перпендикулярная ей плоскость Z0X – зеленые;

– ось Z и перпендикулярная ей плоскость X0Y – синие.

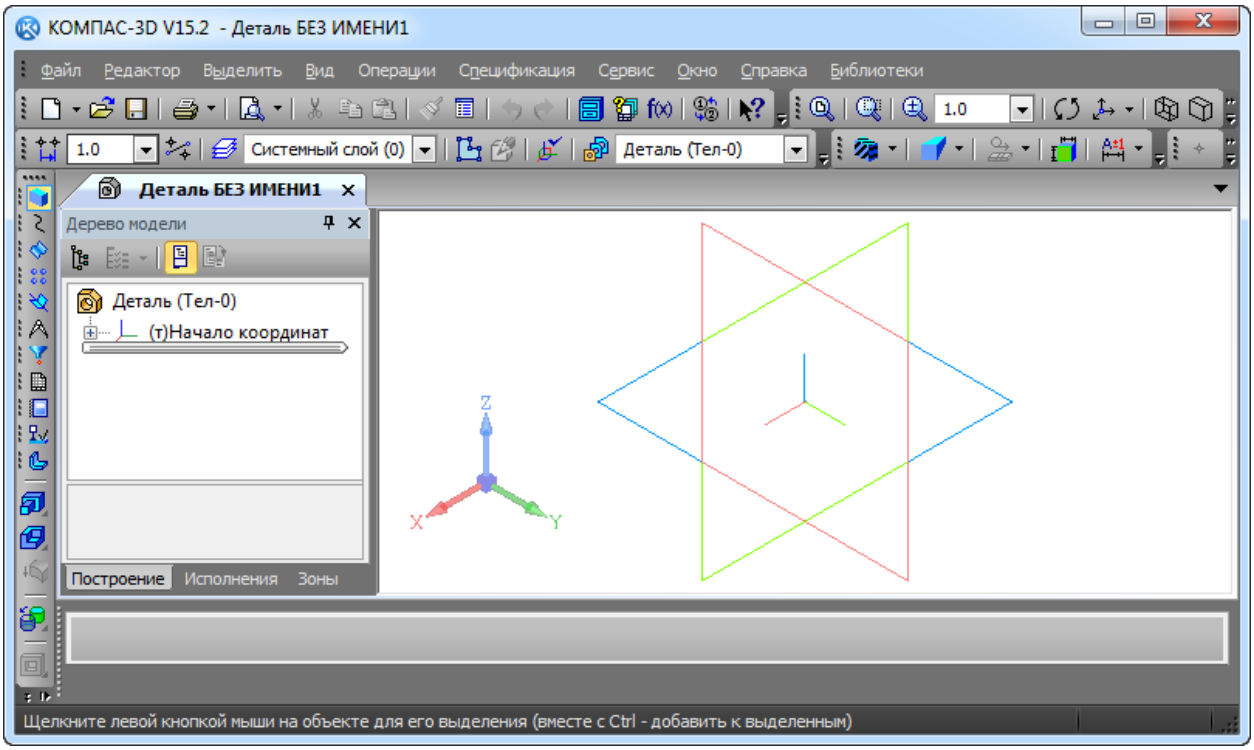


Рис. 6.4

Все элементы построения детали и составные части сборки отображаются в **Дереве модели**, которое включается командой **Вид ⇒ Дерево модели**.

В отличие от главного окна, приведенного на рис. 6.1, в этом окне раскрыты ПИ, для которых было зарезервировано место.

6.5. Создание 3D-модели конденсатора

Так как цель создания 3D-модели – использование ее для получения сборки «усилителя», то для автоматического расположения на поверхности (плоскости) монтажа ПП необходимо выполнить следующие условия:

– 3D-модель должна создаваться в положительном направлении оси Z с учетом установки ее на плоскость ПП, лежащую параллельно плоскости X0Y (для определенности плоскости будут совпадать);

– направление осей X и Y в плоскости X0Y должно совпадать с направлением соответствующих осей координат в файле посадочного места;

– в 3D-модели должна быть создана локальная система координат с именем **MTG**, а ее положение должно соответствовать положению начала координат в посадочном месте компонента.

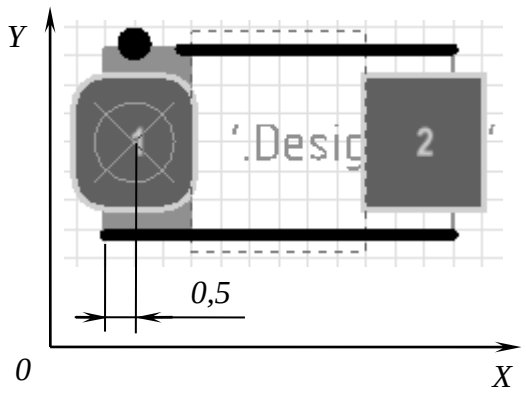


Рис. 6.5

На рис. 6.5 приведено посадочное место для конденсатора типоразмера **C**, созданное в 5.2. Также здесь показано направление осей в Altium Designer и положение начала координат относительно короткой стороны его корпуса в варианте «П1» (координата X из п. 7.6 из 5.2.3).

3D-модель конденсатора будет представлять собой деталь, созданную с помощью комбинации нескольких действий и состоящую из двух функциональных частей: корпуса и выводов. Схематично процесс создания показан на рис. 6.6.

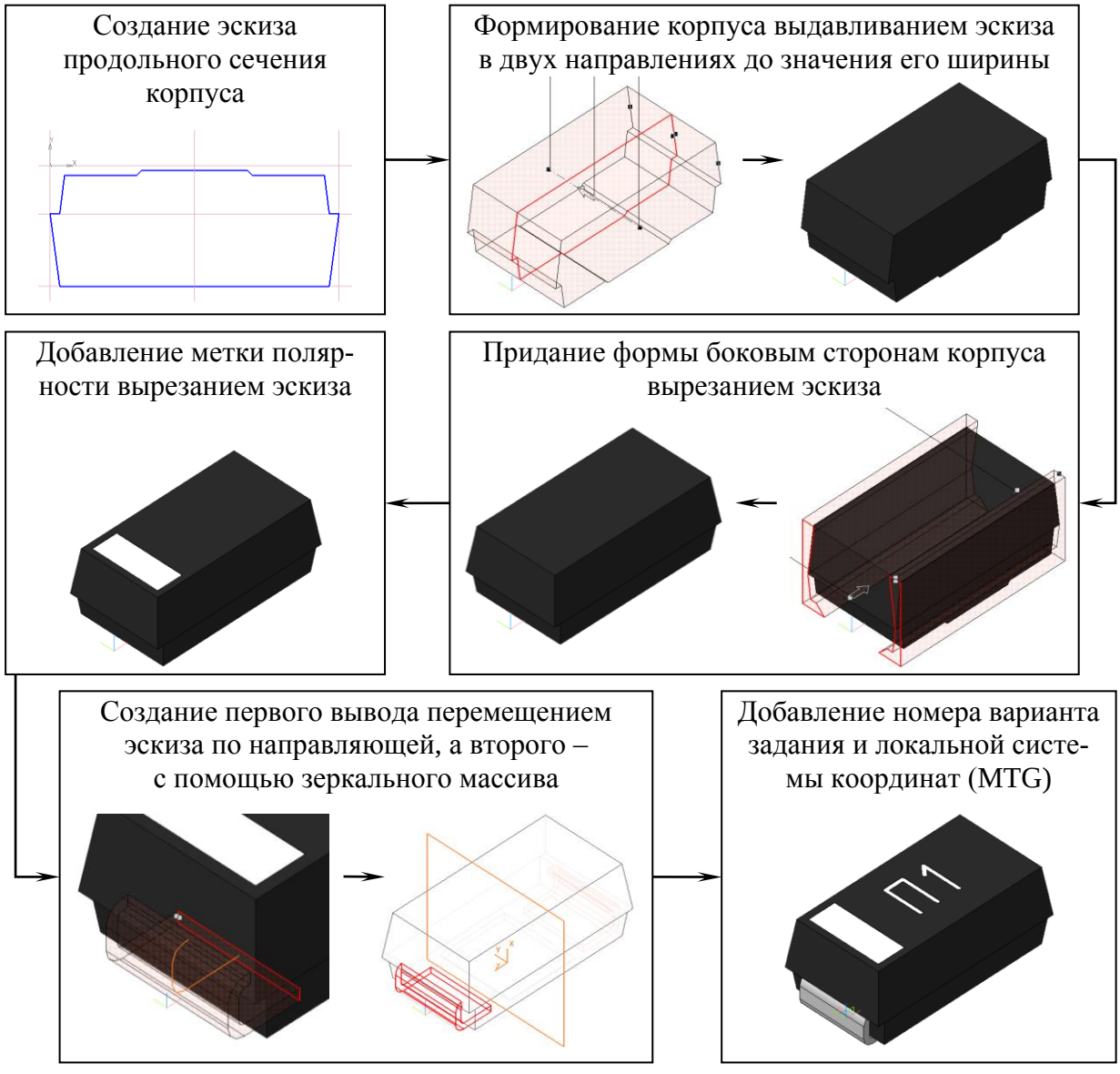


Рис. 6.6

Для создания 3D-модели корпуса конденсатора необходимо:

1. Чтобы при добавлении 3D-модели в сборку у нее было уникальное имя, в **Дереве модели** выбрать ЛКМ первую строку, нажать клавишу **F2** и заменить название **Деталь** на название посадочного места с номером варианта через дефис (рис. 6.7).

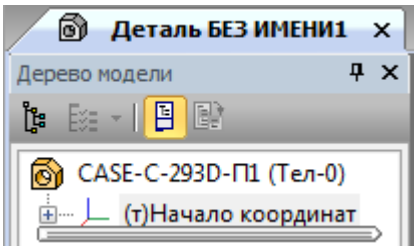


Рис. 6.7

Примечание. Надпись вида (Тел-0) рядом с названием детали к ее имени не относится, присутствует всегда и показывает число тел, из которых состоит 3D-модель. Так как на данном этапе ничего не нарисовано, то и тел пока нет.

2. Сохранить 3D-модель командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.m3d». Имя файла в варианте «П1» – **CASE-C-293D-П1** (название будет предложено автоматически), а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели элементов** (см. рис. 2.8).

3. В **Дереве модели** раскрыть группу **(т)Начало координат** и выбрать **Плоскость ZX**, щелкнув по ней ЛКМ.

Затем нажать пиктограмму **Эскиз** на ПИ **Текущее состояние** (рис. 6.8) или выполнить команду **Операции ⇒ Эскиз**.

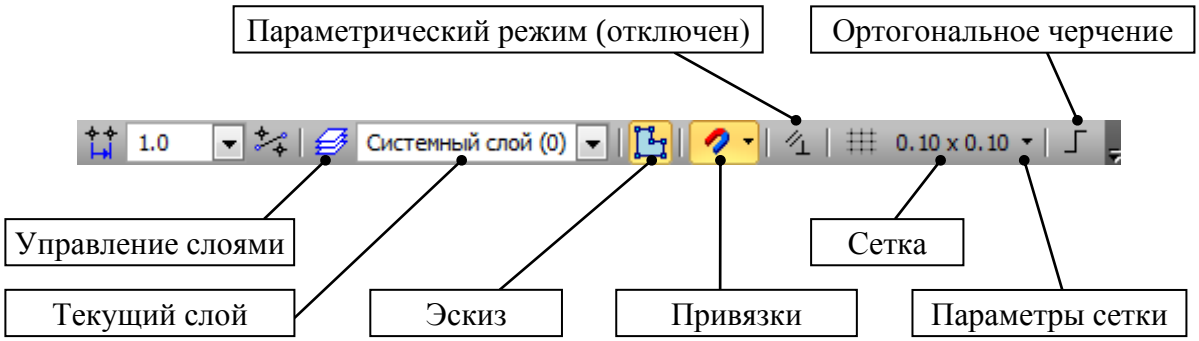


Рис. 6.8

Примечания:

– буква «т» в скобках перед названием группы «Начало координат» означает, что эта система координат текущая;

– плоскость ZX можно было выделить ЛКМ в рабочем поле, а команду «Эскиз» запустить из меню, появившемся над курсором (рис. 6.9);

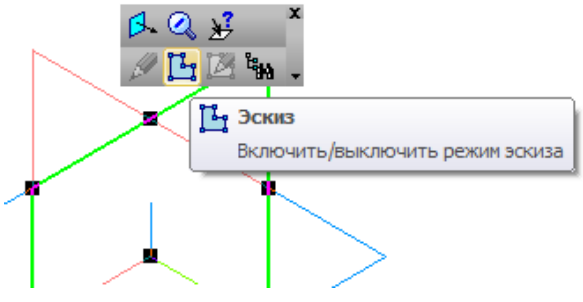


Рис. 6.9

– для масштабирования изображения используется колесо мышки или команды из меню Вид ⇒ Масштаб;

– в отдельных случаях эскиз может не оказаться в плоскости экрана (например, если он был случайно повернут). Для возврата в исходное состояние служит команда ПКМ ⇒ Нормально к.

4. Убедиться в том, что на ПИ **Текущее состояние** (рис. 6.8) включена пиктограмма **Привязки**.

Эта пиктограмма подсветится также и на ПИ **Глобальные привязки** (рис. 6.10), которая предназначена для управления привязками курсора мышки (включенные привязки отображаются на оранжевом фоне).

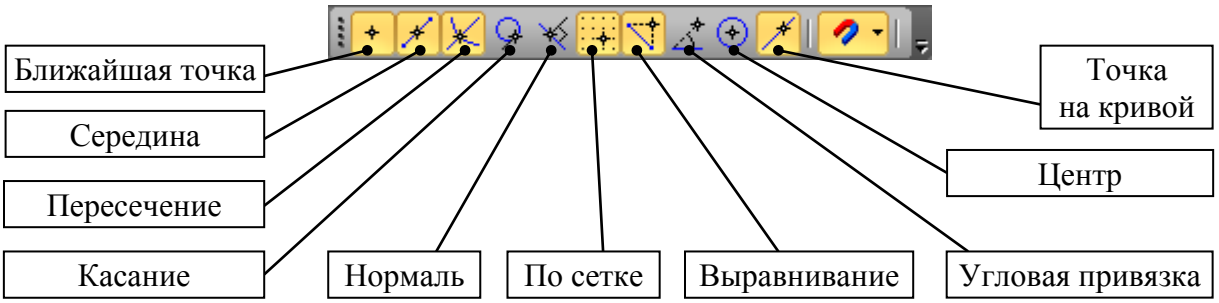


Рис. 6.10

На данном этапе ПИ должна выглядеть так, как показано на рис. 6.10.

Примечание. Подсказки появляются при наведении курсора мышки на пиктограммы, а также в «Строке сообщений» внизу экрана.

5. На ПИ **Текущее состояние** (рис. 6.8) настроить сетку:

– включить отображение сетки, щелкнув ЛКМ по соответствующей пиктограмме;

– нажать на треугольник рядом с пиктограммой сетки (**Параметры сетки** на рис. 6.8) и в выпадающем меню убедиться в том, что включена опция **Отображать параметры** (отображение видимого на экране шага сетки);

– в этом же выпадающем меню выбрать опцию **Настроить параметры** и убедиться в том, что в настройках сетки на вкладке **Параметры** шаг сетки по осям X и Y равен **0.1** мм.

Примечания:

– включить отображение сетки также можно комбинацией клавиш Ctrl+G;

– в ПИ «Текущее состояние» отображается значение видимого на экране шага сетки, которое зависит от масштаба изображения в рабочем поле (чем он меньше, тем крупнее шаг). Заданное значение шага в настройках на вкладке «Параметры» – минимальное значение. Шаг, с которым будет осуществляться ее прореживание, задается в настройках сетки на вкладке «Отрисовка».

6. На **Компактной панели** (рис. 6.11) активизировать панель **Геометрия**, в результате чего в нижней ее части отобразятся характерные для выбранной панели команды (в данном случае – для рисования).

Примечание. Серый треугольник около пиктограммы означает, что в этой группе можно выбрать дополнительные команды.

Например, если нажать ЛКМ на пиктограмму «Отрезок» и подержать несколько секунд, то откроется дополнительное меню (рис. 6.11), в котором на данный момент будет доступен вариант создания отрезка не только по двум точкам, но и по двум точкам параллельно другому отрезку («Параллельный отрезок»).

Последняя использованная команда из группы команд после ее использования остается в виде пиктограммы группы.

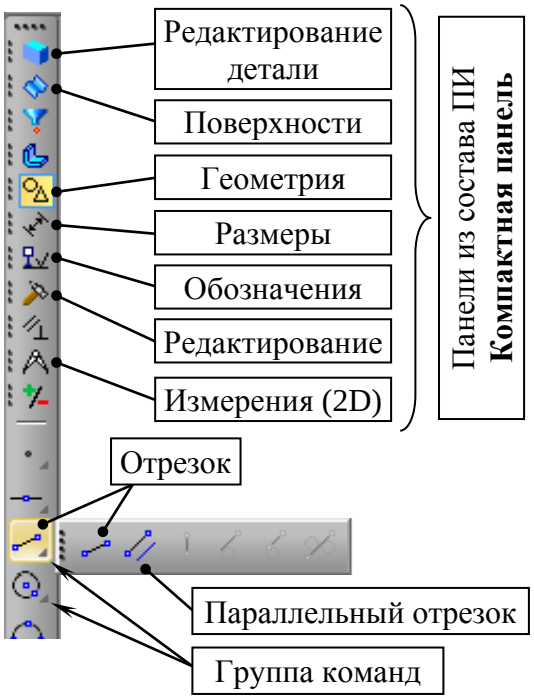
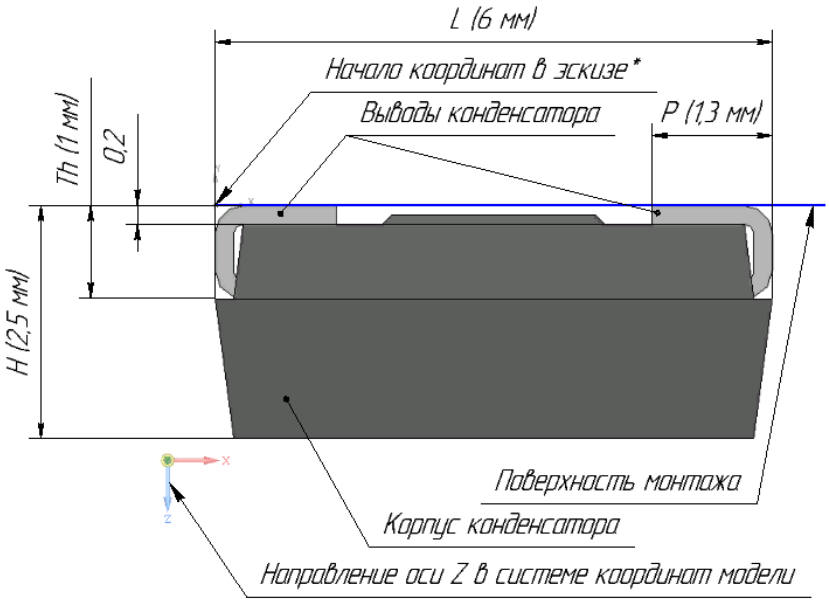


Рис. 6.11

7. Нарисовать контур продольного сечения корпуса конденсатора.

На рис. 6.12 показано расположение будущей 3D-модели в текущем эскизе (**Эскиз:1**) с указанием переменных с рис. 5.13.



** Начало координат в эскизе – также положение точки начала координат в системе координат модели*

Рис. 6.12

Примечания:

– в скобках приведены размеры для корпуса типоразмера С;

– на рисунке ось Z направлена вниз, т. е. основание конденсатора будет сверху, а его верх – снизу.

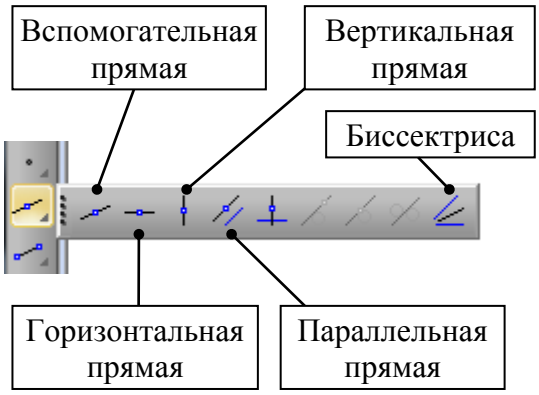


Рис. 6.13

Последовательность действий для создания контура:

7.1. На ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия** в группе «Вспомогательная прямая» выбрать команду **Горизонтальная прямая** (рис. 6.13).

Затем щелчком ЛКМ установить прямую в точку начала координат в эскизе и завершить команду клавишей **Esc**.

Примечание. При наведении курсора мышки на эту точку будет срабатывать привязка «Ближайшая точка» с указанием об этом в сообщении под курсором (рис. 6.14).

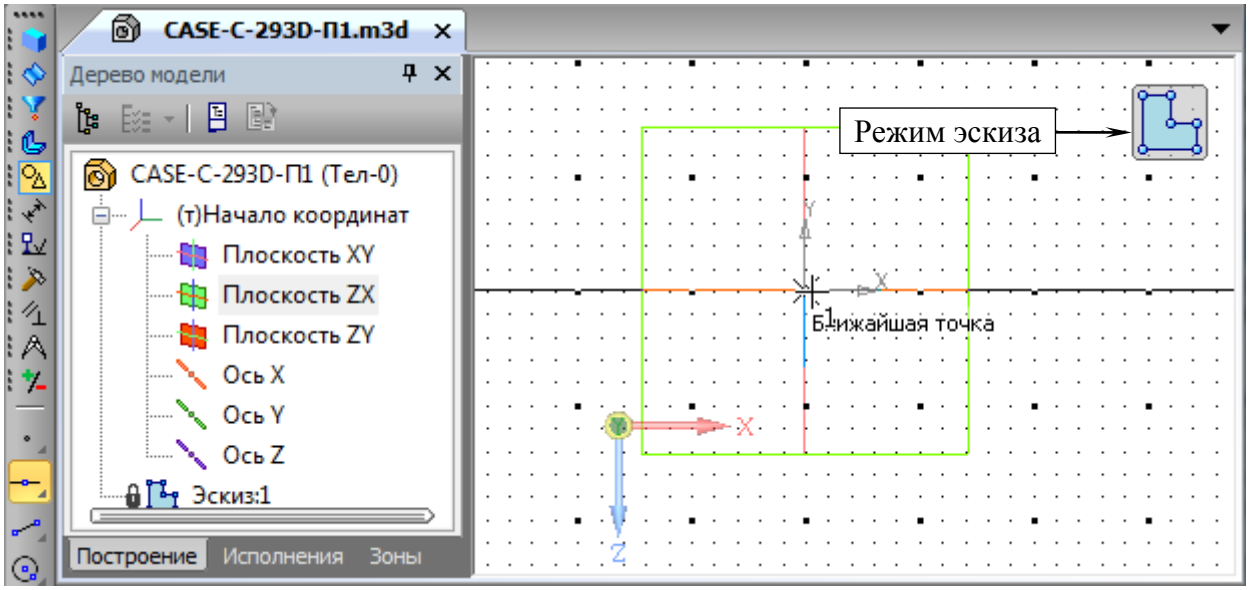


Рис. 6.14

7.2. Из этой же группы команд (пиктограммой группы теперь будет команда «Горизонтальная прямая») выбрать команду **Вертикальная прямая** (рис. 6.13).

Затем снова установить прямую в точку начала координат (рис. 6.15), после чего завершить команду клавишей **Esc**.

7.3. Из этой же группы команд (пиктограммой группы теперь будет команда «Вертикальная прямая») выбрать команду **Параллельная прямая** (см.

рис. 6.13) и провести параллельную прямую на расстоянии **H** от уже размещенной горизонтальной прямой в отрицательном направлении оси Y, для чего проделать следующие действия:

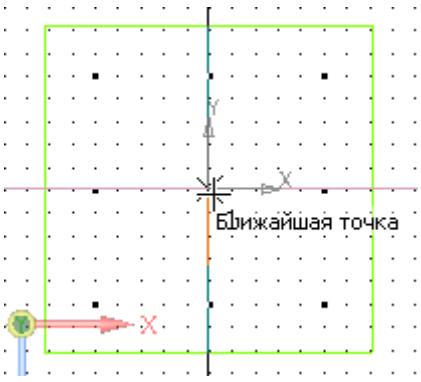


Рис. 6.15

– в рабочем поле щелкнуть ЛКМ по горизонтальной прямой;

– в **Панели свойств** в поле **Расстояние** (рис. 6.16) ввести значение размера **H** по рис. 5.13 (высота корпуса) и нажать клавишу **Enter**.

Примечание. В варианте «П1» значение размера равно 2,5 мм;

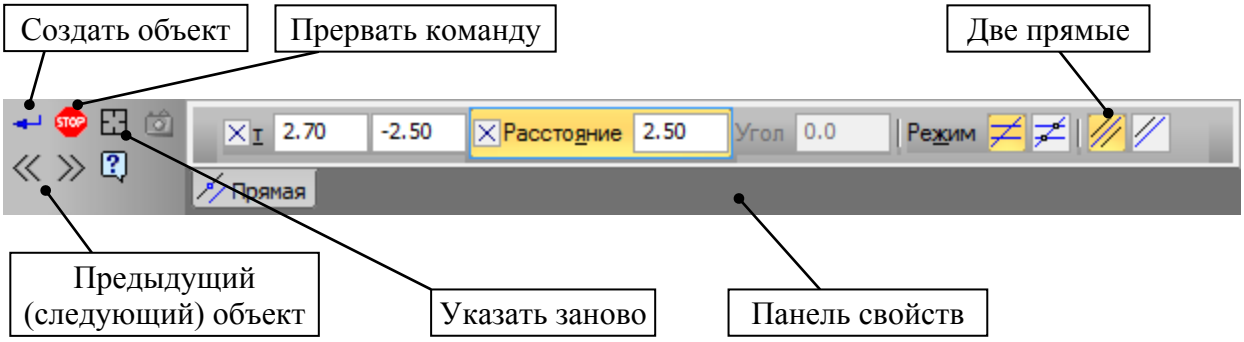


Рис. 6.16

– убедиться в том, что в **Панели свойств** активна пиктограмма **Две прямые**;

– в **Панели свойств** с помощью пиктограммы **Следующий объект** (или **Предыдущий объект**) выбрать в рабочем поле нижнюю из двух параллельных прямых, после чего нажать пиктограмму **Создать объект**.

Примечание. Выбор нужного варианта прямой можно осуществлять в рабочем поле щелчком по нему ЛКМ;

– в **Панели свойств** нажать пикограмму **Указать заново** для использования команды без повторного запуска ее из ПИ.

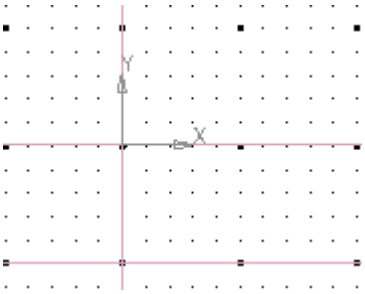


Рис. 6.17

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 6.17.

7.4. При необходимости переместить изображение в рабочем поле. Для этого запустить команду **Вид ⇒ Сдвинуть** или зажать ЛКМ и клавиши **Ctrl** и **Shift**.

7.5. В соответствии с п. 7.3 добавить еще две прямые, параллельные горизонтальной прямой, проходящей через начало координат, на расстояниях **0,2** мм и **Th** в отрицательном направлении оси Y.

7.6. В соответствии с п. 7.3 добавить три прямые, параллельные вертикальной прямой, проходящей через начало координат, на расстояниях **P**, **L/2** и **L** в положительном направлении оси X.

После этого завершить команду клавишей **Esc**.

Примечание. Завершение команд также можно осуществлять пиктограммой «Прервать команду» из «Панели свойств» (рис. 6.16).

Результат на данном этапе в варианте «П1» показан на рис. 6.18.

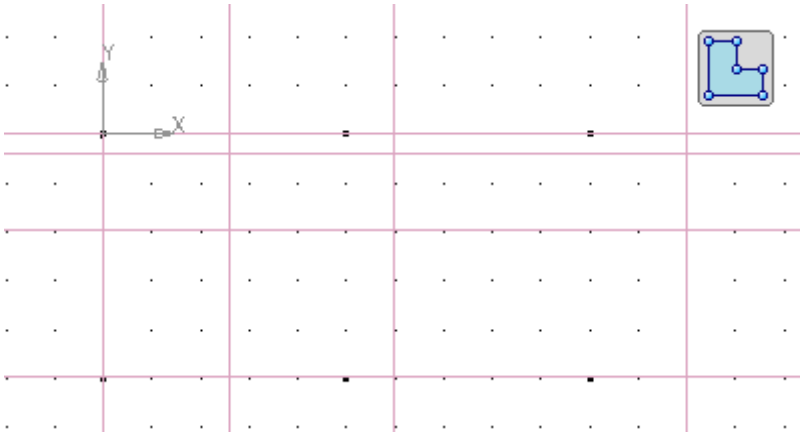


Рис. 6.18

7.7. Нарисовать левую половину контура продольного сечения конденсатора (рис. 6.19) командой **Отрезок** (ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия**), при этом убедиться в том, что в **Панели свойств** нажата пиктограмма **Автосоздание объекта** и установлен стиль линии **Основная**.

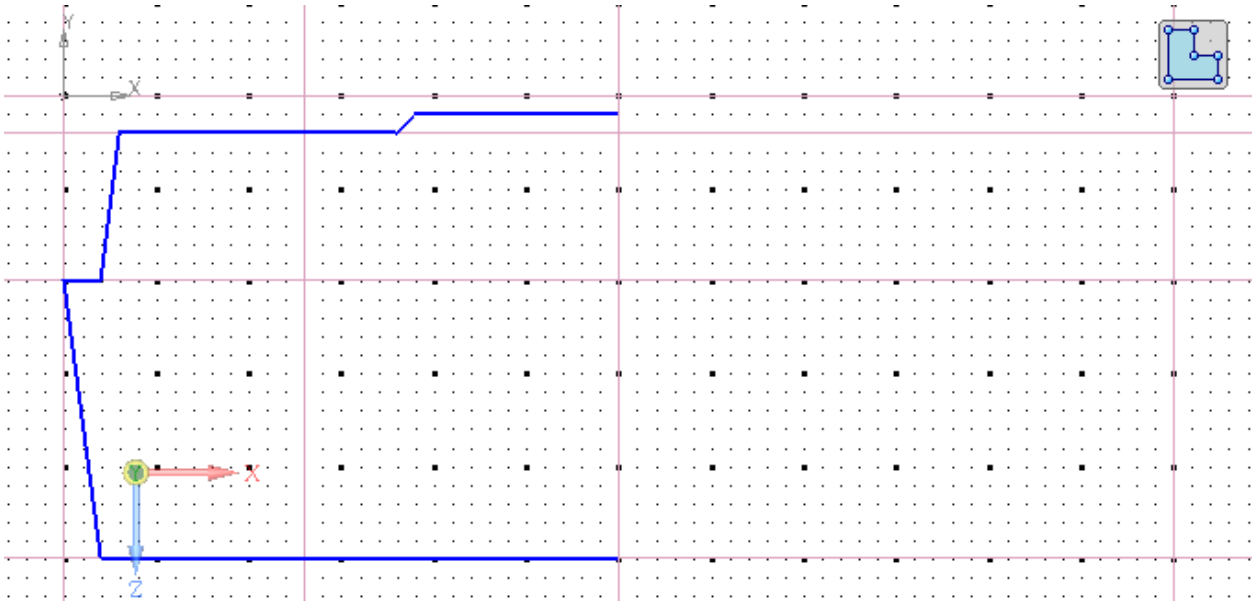


Рис. 6.19

Численные значения углов наклона боковых плоскостей и размеры нижнего выступа в корпусе конденсатора между его выводами (**Glue Pad**) в до-

кументации не указаны, поэтому их следует нарисовать примерно похожими на приведенные на рис. 5.13 и 6.19.

После создания отрезков для завершения команды нажать пиктограмму **Прервать команду** на **Панели свойств** (или клавишу **Esc**).

Примечание. Менять параметры объекта можно в «Панели свойств» как в процессе рисования, так и уже после его создания. Для запуска режима редактирования следует дважды щелкнуть по объекту ЛКМ (или щелкнуть по нему ЛКМ, а затем выполнить команду ПКМ ⇒ Редактировать).

Другой способ редактирования объекта – щелкнуть по нему ЛКМ, а затем тянуть за характерные точки (черные квадраты и ромбы).

Полезными при создании контура могут быть следующие команды:

– «Ортогональное черчение» (ПИ «Текущее Состояние») – рисование только под углом к оси координат, кратным 90° (см. рис. 6.8);

– «Сдвиг» (ПИ Компактная панель ⇒ Редактирование) – перемещение выделенных объектов относительно указанной точки (рис. 6.20);

– «Усечь кривую» (ПИ Компактная панель ⇒ Редактирование) – удаление участка кривой между двумя объектами (рис. 6.20);

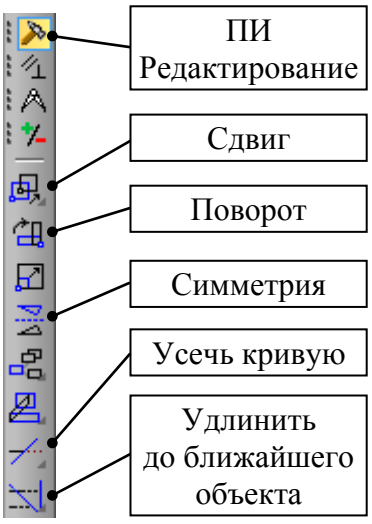


Рис. 6.20

– «Удлинить до ближайшего объекта» (ПИ Компактная панель ⇒ Редактирование) – удлинение участка кривой до пересечения с ближайшим объектом (рис. 6.20).

7.8. Создать правую половину контура зеркальным копированием левой:

– массовым выделением мышкой слева направо выделить нарисованные отрезки;

– запустить команду **Симметрия** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование** (рис. 6.20);

– убедиться в том, что в **Панели свойств** на вкладке **Симметрия** включен режим **Оставлять исходные объекты**;

– последовательно указать щелчками ЛКМ две точки в любом месте на вертикальной прямой, расположенной на расстоянии **L/2** от вертикальной прямой, проходящей через начало координат (она будет осью симметрии);

– завершить команду нажатием клавиши **Esc**.

Результат создания контура в варианте «П1» показан на рис. 6.21.

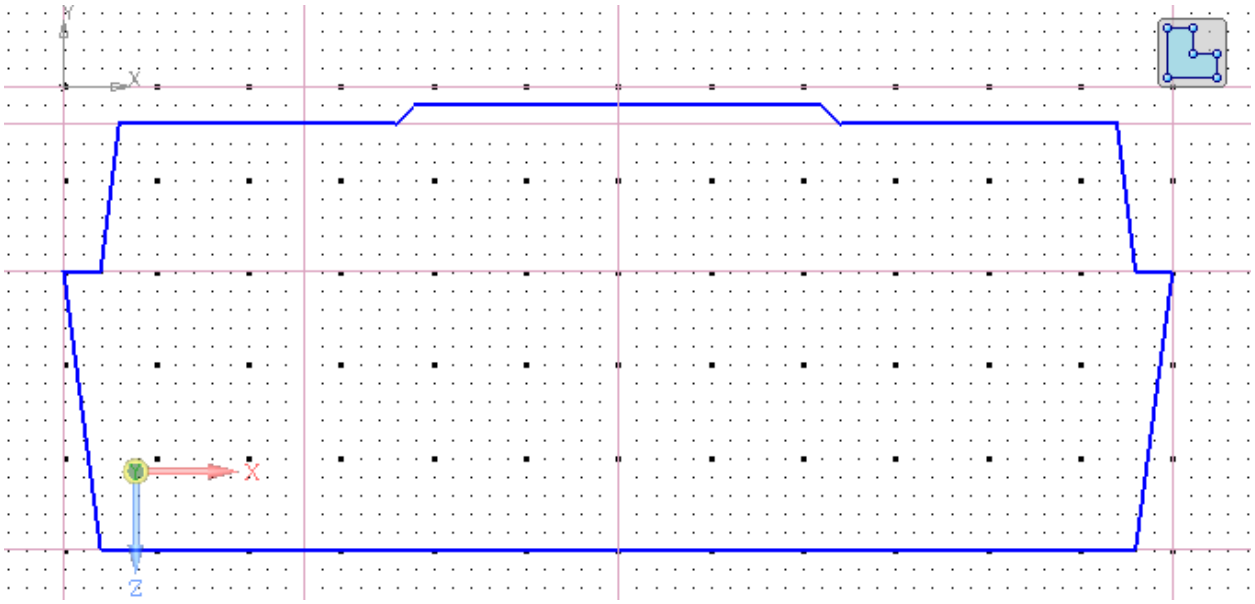


Рис. 6.21

8. Проверить замкнутость контура и отсутствие наложения элементов друг на друга с помощью подключаемых библиотек:

8.1. Для проверки отсутствия наложений выполнить следующее:

– запустить команду **Сервис ⇒ Менеджер библиотек**;

– в появившемся внизу экрана окне **Менеджер библиотек** открыть папку **Прочие** и поставить галочку рядом с пунктом **Проверка документа**;

– на вкладке **Проверка документа** дважды щелкнуть ЛКМ по пункту **Проверка наложения элементов**;

– в открывшемся окне включить опции **Все** и **Анализировать частичные перекрытия**. Затем нажать **ОК** и следовать указаниям системы до полного удаления всех перекрытий.

8.2. Для проверки замкнутости контура выполнить следующее:

– в окне **Менеджер библиотек** перейти на вкладку **Библиотеки КОМПАС** и в папке **Прочие** поставить галочку рядом с пунктом **Сервисные инструменты**. В результате появятся ПИ **Сервисные инструменты** (рис. 6.22) и вкладка **Сервисные инструменты** в окне **Менеджер библиотек**;

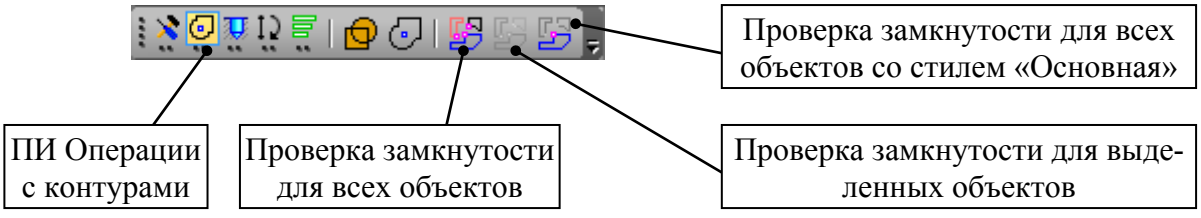


Рис. 6.22

– на ПИ **Сервисные инструменты ⇒ Операции с контурами** нажать пиктограмму **Проверка замкнутости для всех объектов** (рис. 6.22);

– если контур в каких-то местах разомкнут, то система предложит оставить вспомогательные точки (в этом случае нажать **Да**);

– отмеченные места исправить вручную.

9. Выйти из режима редактирования эскиза одним из способов:

– отжать пиктограмму **Эскиз** на ПИ **Текущее состояние** (см. рис. 6.8);

– в рабочем поле выполнить команду **ПКМ ⇒ Эскиз;**

– нажать на иконку режима эскиза в правом верхнем углу рабочего поля (см. рис. 6.14).

10. Если объекту в **Дереве модели** требуется изменить наименование, то на нем необходимо запустить команду **ПКМ ⇒ Свойства** и в **Панели свойств** ввести его в поле **Наименование**.

Примечание. Также изменить наименование можно прямо в «Дереве модели», дважды щелкнув по объекту ЛКМ.

11. Если эскиз требуется отредактировать, то в **Дереве модели** на нем необходимо запустить команду **ПКМ ⇒ Редактировать**.

Примечание. Аналогично можно скорректировать любой этап создания модели (эскиз, операцию выдавливания и т. д.).

12. Сохранить 3D-модель (**Ctrl+S**), после чего убедиться в том, что сохранение произведено успешно. Для этого проверить обновление даты изменения файла в папке сохранения 3D-модели (см. п. 2), а также наличие в этой папке файла с расширением «.bak» (backup-файл).

Примечание. Сохранять файлы рекомендуется регулярно, во избежание потери информации при нештатных ситуациях.

13. Чтобы оси и дополнительные плоскости (группа **Начало координат**) в дальнейших действиях не мешались их следует скрыть.

Для этого в **Дереве модели** на требуемом объекте выполнить команду **ПКМ ⇒ Скрыть**.

14. Придать объем корпусу конденсатора:

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ **Эскиз:1**;

– запустить команду **Операция выдавливания** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование детали** (рис. 6.23);

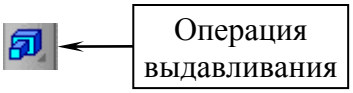


Рис. 6.23

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в списке **Направление** выбрать **Средняя плоскость**, а в поле **Расстояние 1** ввести значение размера **W** по рис. 5.13 (ширина корпуса) и нажать клавишу **Enter**.

Примечание. В варианте «П1» значение размера равно 3,2 мм;

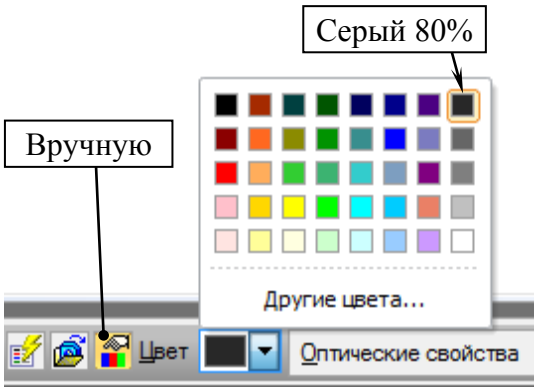


Рис. 6.24

– в **Панели свойств** на вкладке **Свойства** установить: Назначить Цвет – **Вручную**; Цвет – **Серый 80%** (рис. 6.24);

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**.

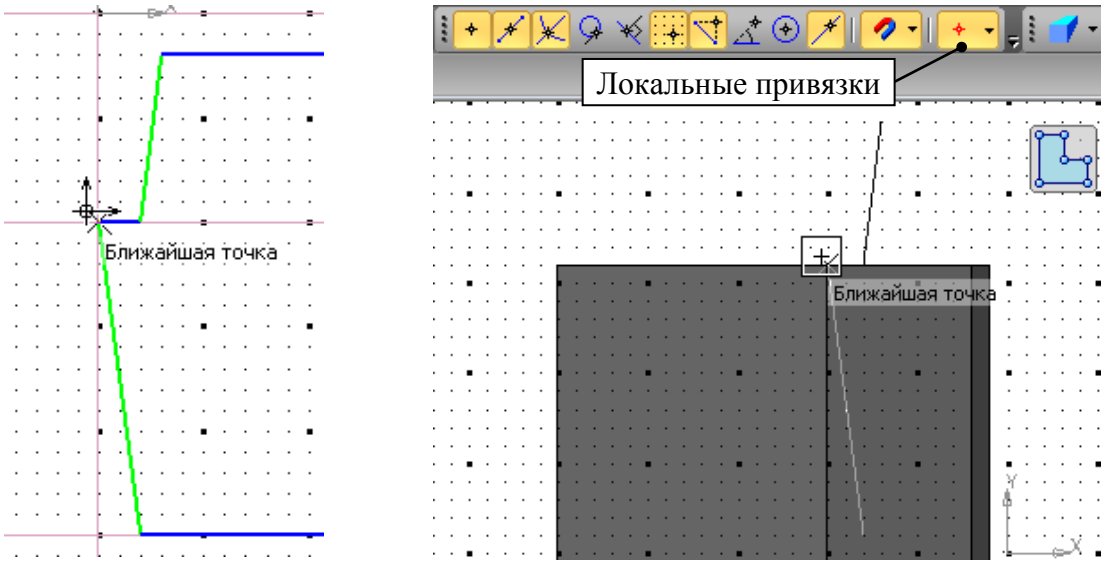
В результате в **Дереве модели** появится **Операция выдавливания:1**.

15. Создать эскиз с замкнутыми контурами для придания формы боковым сторонам в поперечном сечении корпуса:

15.1. Чтобы наклон боковых сторон совпадал в поперечном и продольном сечениях, выполнить следующее:

– войти в режим редактирования эскиза **Эскиз:1**;

– с зажатой клавишей **Ctrl** выделить ЛКМ два наклонных отрезка с левой стороны контура и скопировать их (**Ctrl+C**), указав в качестве базы точку на конце одного из отрезков, показанную на рис. 6.25, *а*;



а *б*

Рис. 6.25

– выйти из режима редактирования эскиза **Эскиз:1**;

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ **плоскость ZY** и создать новый эскиз (**Эскиз:2**);

– нажать комбинацию клавиш **Ctrl+V** (вставить);

– на ПИ **Глобальные привязки** раскрыть группу **Локальные привязки** и выбрать **Ближайшая точка** (или в рабочем поле выполнить команду **ПКМ ⇒ Привязка ⇒ Ближайшая точка**);

– указать ЛКМ в качестве базы точку, показанную на рис. 6.25, *б*, и нажать клавишу **Esc** для завершения вставки.

Примечание. Локальная привязка обладает большим приоритетом, чем любая глобальная, т. е. она позволяет в данный момент использовать только выбранную привязку без необходимости подключения или отключения глобальных привязок. Так, при вставке отрезков их необходимо было привязать к конкретной точке. Наличие же большого числа активных глобальных привязок могло этому помешать. Локальная привязка действует однократно, т. е. после завершения операции она автоматически отключается, и снова начинают действовать глобальные привязки;

– включить режим **Ортогональное черчение**, для чего нажать либо соответствующую пиктограмму на ПИ **Текущее Состояние** (см. рис. 6.8), либо клавишу **F8**;

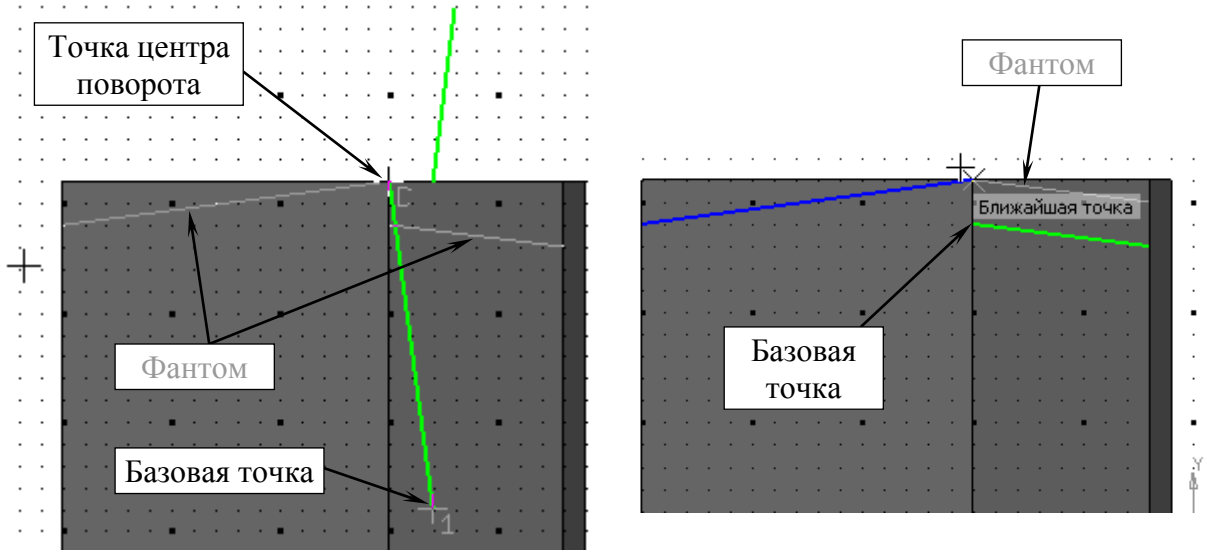
– выделить вставленные отрезки и запустить команду **Поворот** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование** (см. рис. 6.20);

– убедиться в том, что в **Панели свойств** на вкладке **Поворот** включен режим **Удалять исходные объекты**;

– в рабочем поле указать ЛКМ сначала точку центра поворота (точка, за которую были вставлены отрезки), а затем базовую точку на конце нижнего отрезка;

– повернуть выделенные отрезки по часовой стрелке на 90°, передвинув курсор мышки влево (рис. 6.26, *а*), и зафиксировать их щелчком ЛКМ;

– завершить команду нажатием клавиши **Esc**;



а *б*

Рис. 6.26

– отключить режим **Ортогональное черчение**;

– снять выделение с отрезков, а затем выделить только правый из них;

– запустить команду **Сдвиг** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование** (см. рис. 6.20);

– указать ЛКМ базовую точку на левом конце выделенного отрезка, а затем щелкнуть ЛКМ на правом конце невыделенного отрезка (рис. 6.26, *б*);

– завершить команду нажатием клавиши **Esc**.

Примечание. Временное включение режима «Ортогональное черчение» доступно с помощью зажатой клавиши Shift.

15.2. Завершить создание замкнутых контуров, для чего выполнить следующие действия:

– командой **Отрезок** закончить верхний контур (рис. 6.27);

– выделить нарисованный контур;

– включить режим **Ортогональное черчение**;

– запустить команду **Симметрия** (см. рис. 6.20);

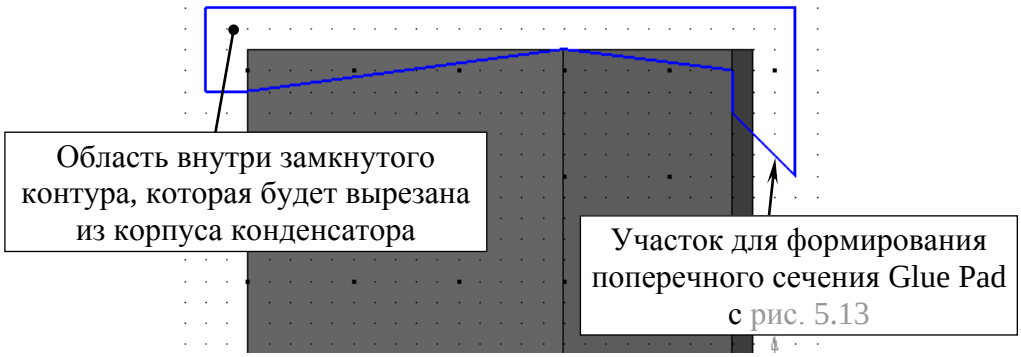


Рис. 6.27

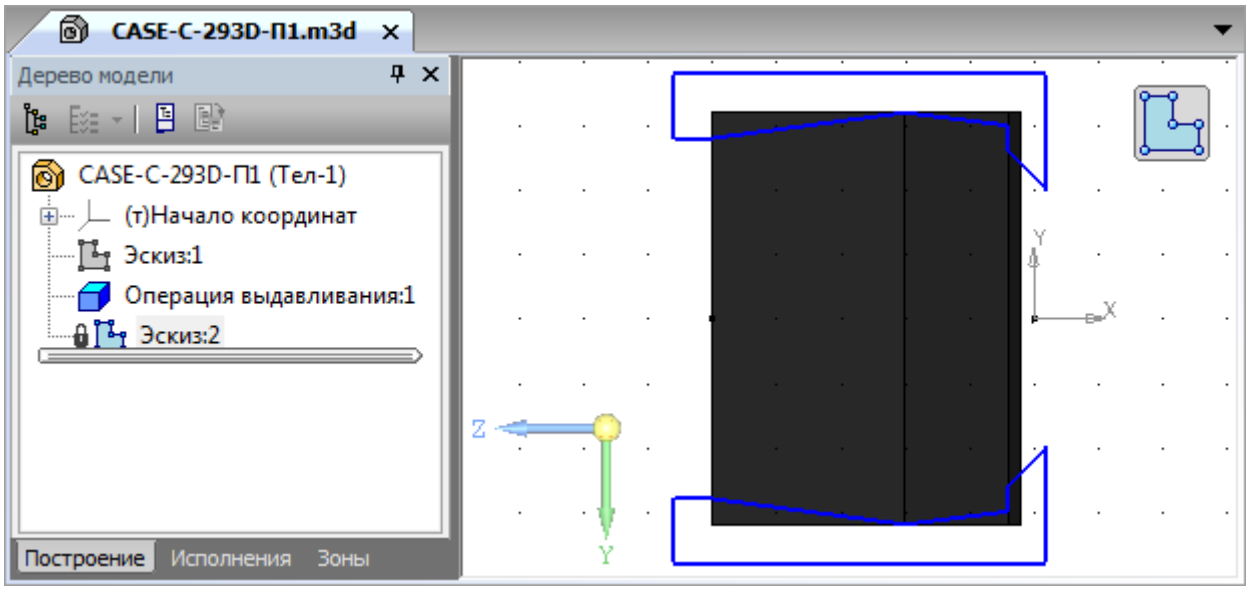


Рис. 6.28

– убедиться в том, что в **Панели свойств** включена пиктограмма **Оставлять исходные объекты**;

– в качестве 1-й точки указать ЛКМ точку начала координат. Вторую точку указать в любом месте слева или справа от 1-й так, чтобы пунктирная линия, показывающая ось симметрии, была горизонтальна;

– завершить команду клавишей **Esc** (см. рис. 6.28);

– отключить режим **Ортогональное черчение**.

16. Придать форму боковым сторонам корпуса конденсатора:

– выйти из режима редактирования эскиза **Эскиз:2**;

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ **Эскиз:2**;

– запустить команду **Вырезать выдавливанием** на ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование детали** (рис. 6.29);

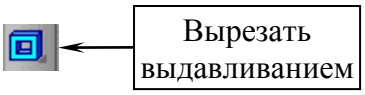


Рис. 6.29

– при появлении ошибки выполнения команды проверить **Эскиз:2** по пп. 8.1 и 8.2, после чего повторить команду вырезания эскиза;

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в списке **Направление** выбрать направление фантома в сторону корпуса, в поле **Расстояние 1** ввести значение размера **L** по рис. 5.13 (длина корпуса) и нажать клавишу **Enter**.

Примечание. В варианте «П1» значение размера равно 6 мм;

– в **Панели свойств** на вкладке **Свойства** установить: Назначить цвет – **Вручную**; Цвет – **Серый 80%** (см. рис. 6.24);

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**.

17. Для завершения корпуса конденсатора добавить метку полярности как на рис. 5.12, *а*, для чего выполнить следующее:

– в рабочем поле ЛКМ нажать на верхнюю поверхность корпуса конденсатора, тем самым выделив ее (рис. 6.30, *а*);

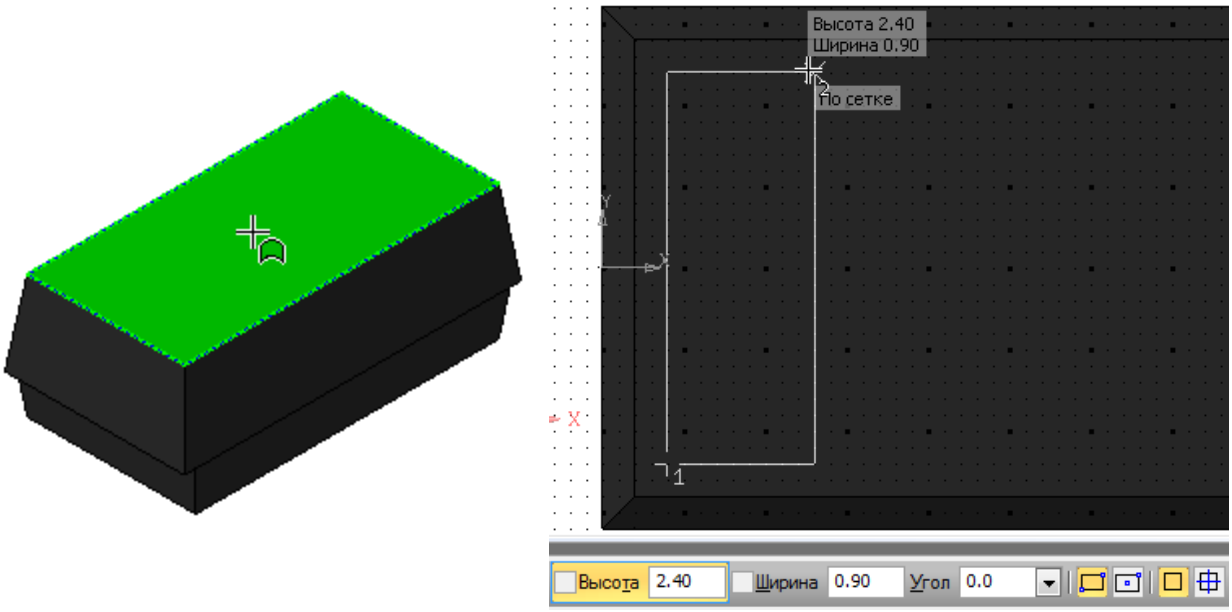
– на выделенной поверхности создать новый эскиз (**Эскиз:3**);

– запустить команду **Прямоугольник** (ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия**) и в рабочем поле со стороны начала координат указать начальную и конечную точки (рис. 6.30, *б*) прямоугольного контура. Контур не должен касаться границ поверхности, на которой был создан эскиз, а по ширине не должен быть больше четверти длины корпуса конденсатора;

– выйти из режима редактирования эскиза **Эскиз:3**;

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ созданный эскиз;

– запустить команду **Вырезать выдавливанием** (ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование детали**);



а *б*

Рис. 6.30

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в списке **Направление** выбрать направление фантома внутрь корпуса и в поле **Расстояние 1** ввести глубину вырезания **0.01**;

– в **Панели свойств** на вкладке **Свойства** установить: Назначить цвет – **Вручную**; Цвет – **Белый**;

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**.

18. Создать первый вывод конденсатора, который будет получен перемещением эскиза с контуром его поперечного сечения вдоль эскиза с траекторией:

18.1. Для создания эскиза с траекторией выполнить следующее:

– войти в режим редактирования эскиза с контуром продольного сечения корпуса конденсатора (**Эскиз:1**);

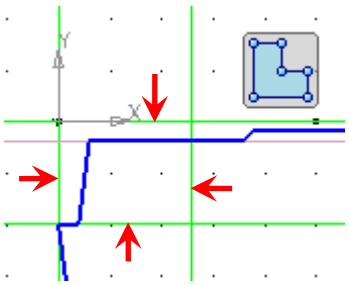


Рис. 6.31

– с зажатой клавишей **Ctrl** выделить ЛКМ четыре прямые, показанные на рис. 6.31;

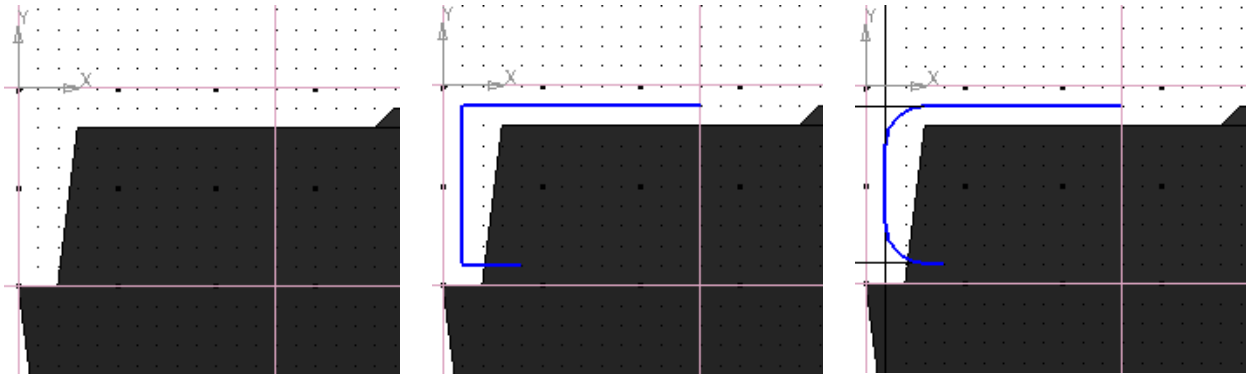
– скопировать выделенные прямые (**Ctrl+C**), указав в качестве базы точку начала координат;

– выйти из режима редактирования эскиза **Эскиз:1**;

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ **плоскость ZX**;

– на выделенной плоскости создать новый эскиз (**Эскиз:4**);

– вставить скопированные прямые (**Ctrl+V**), указав в качестве базы точку начала координат (рис. 6.32, *а*), и завершить вставку клавишей **Esc**;



а *б* *в*

Рис. 6.32

– командой **Отрезок** нарисовать три отрезка внутри прямоугольного контура, образованного скопированными прямыми, на расстоянии 0,1 мм от его границ в соответствии с рис. 6.32, *б*;

– запустить команду **Скругление** (ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия**);

– в **Панели свойств** в поле **Радиус** ввести **0,2** мм;

– в рабочем поле ЛКМ последовательно указать отрезки с общими точками для создания между ними двух скруглений (рис. 6.32, *в*);

– завершить команду клавишей **Esc**;

– выйти из режима редактирования эскиза.

18.2. Повернуть 3D-модель так, чтобы была видна нижняя его сторона.

Это можно сделать одним из следующих способов:

– командой **Вид ⇒ Повернуть**;

– пиктограммой **Повернуть** (рис. 6.33) на ПИ **Вид**;

– зажатой средней кнопкой мышки (СКМ).

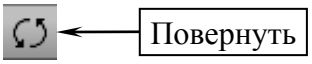


Рис. 6.33

18.3. Для создания эскиза с контуром поперечного сечения вывода выполнить следующее:

– запустить команду **Плоскость через вершину перпендикулярно ребру** из группы «Смещенная плоскость» на ПИ **Компактная панель ⇒ Вспомогательная геометрия** (рис. 6.34, *а*);

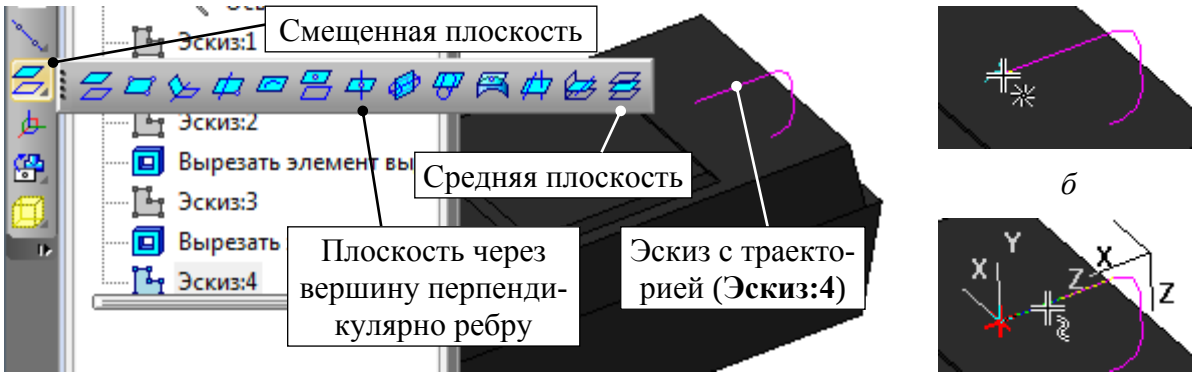
– в рабочем поле щелкнуть ЛКМ на открытом конце длинного отрезка из эскиза с траекторией (около курсора появится звездочка – рис. 6.34, *б*), а затем по самому отрезку (около курсора появится кривая – рис. 6.34, *в*);

– завершить команду клавишей **Esc**;

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ **Перпендикулярная плоскость:1**;

– на выделенной плоскости создать новый эскиз (**Эскиз:5**);

– запустить команду **Прямоугольник**;



а *б* *в*

Рис. 6.34

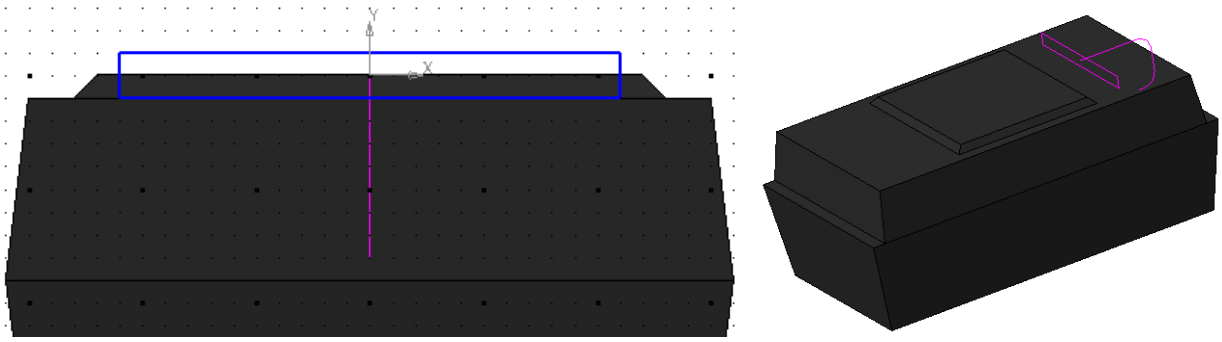
– в **Панели свойств** включить опцию **По центру и вершине**;

– в рабочем поле в качестве центральной точки прямоугольника указать точку начала координат в эскизе;

– в **Панели свойств** в поле **Высота** ввести **0,2** мм, а в поле **Ширина** – значение размера **Tw** по рис. 5.13 (ширина вывода) и нажать клавишу **Enter**.

Примечание. В варианте «П1» значение размера равно 2.2 мм.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 6.35, *а*;



а *б*

Рис. 6.35

– завершить команду клавишей **Esc**;

– выйти из режима редактирования эскиза **Эскиз:5**;

– скрыть объект **Перпендикулярная плоскость:1**.

Результат на данном этапе показан на рис. 6.35, *б*.



Рис. 6.36

18.4. Создать вывод конденсатора, запустив команду **Кинематическая операция** из группы «Операция выдавливания» на ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование детали** (рис. 6.36).

Затем выполнить следующие действия:

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** убедиться в том, что включена пиктограмма **Сечение**;

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ эскиз с поперечным сечением вывода конденсатора (последний созданный эскиз – **Эскиз:5**). После этого в рабочем поле он подсветится красным цветом;

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** убедиться в том, что включилась пиктограмма **Траектория**;

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ эскиз с траекторией для перемещения поперечного сечения вывода (предпоследний созданный эскиз – **Эскиз:4**). После этого в рабочем поле он подсветится оранжевым цветом, а также появится фантом вывода конденсатора (рис. 6.37);

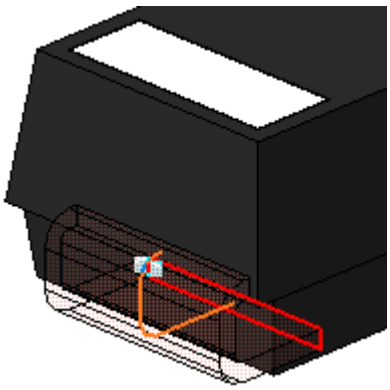


Рис. 6.37

– в **Панели свойств** на вкладке **Свойства** выбрать: Назначить Цвет – **Вручную**; Цвет – **Серый 25%**;

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**;

– в **Дереве модели** скрыть эскизы **Эскиз:4** и **Эскиз:5**, если они не скрылись автоматически.

19. Так как второй вывод конденсатора располагается с другой стороны корпуса и симметричен первому, то его можно создать в виде зеркальной копии:

19.1. Добавить плоскость симметрии, относительно которой будет создана зеркальная копия вывода:

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ **плоскость ZY**;

– запустить команду **Смещенная плоскость** (см. рис. 6.34) из группы «Плоскость через вершину пепендикулярно ребру» на ПИ **Компактная панель ⇒ Вспомогательная геометрия**;

– в **Панели свойств** в поле **Расстояние** ввести значение половины размера **L** по рис. 5.13 (половина длины корпуса) и нажать клавишу **Enter**.

Примечание. В варианте «П1» значение размера равно 3 мм;

– в **Панели свойств** установить такое направление смещения, чтобы фантом создаваемой плоскости проходил через 3D-модель. Результат на данном этапе показан на рис. 6.38;

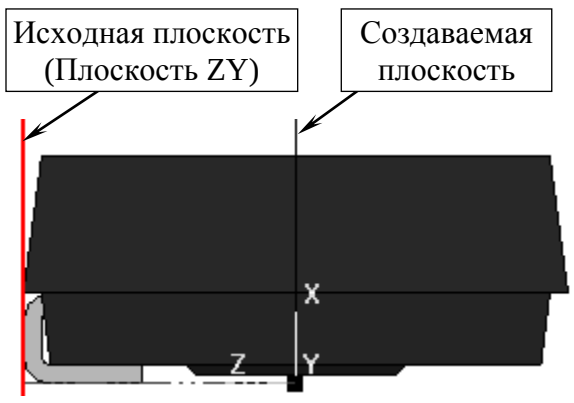


Рис. 6.38

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**, а затем – **Прервать команду**.

19.2. Для создания зеркальной копии первого вывода необходимо:

– запустить команду **Зеркальный массив** (рис. 6.39) из ПИ **Компактная панель ⇒ Массивы**;



Рис. 6.39

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ объект **Кинематическая операция:1** (1-й вывод конденсатора). В результате он добавится в **Список объектов** на **Панели свойств**, а в рабочем поле окрасится в красный цвет;

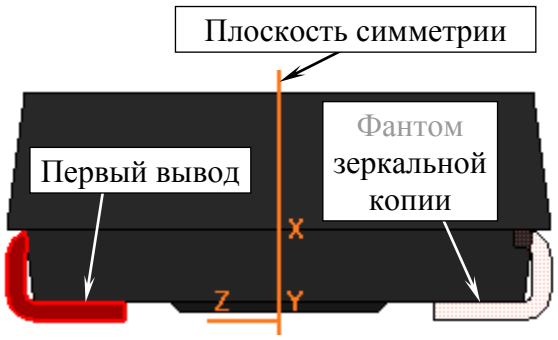


Рис. 6.40

– в **Панели свойств** включить пиктограмму **Плоскость симметрии**;

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ объект **Смещенная плоскость:1**. В результате в рабочем поле указанная плоскость окрасится в оранжевый цвет, а также появится фантом зеркальной копии 1-го вывода (рис. 6.40);

– в **Панели свойств** на вкладке **Свойства** в поле **Назначить Цвет** выбрать **По источнику**. В результате цветовые настройки зеркальной копии будут скопированы из настроек, заданных для 1-го вывода;

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**;

– скрыть объект **Смещенная плоскость:1**.

20. Добавить номер варианта задания на верхнюю поверхность корпуса конденсатора, отредактировав ранее созданный эскиз:

– в **Дереве модели** найти эскиз с нарисованным прямоугольником, обозначающим полярность (см. рис. 6.30, *б*). В данном случае – **Эскиз:3**.

Примечание. При выделении объекта в «Дереве модели» он подсвечивается зеленым цветом в рабочем поле;

– в **Дереве модели** присвоить эскизу и соответствующей операции вырезания наименование «Полярность и вариант X», где вместо «X» указать номер варианта задания;

– войти в режим редактирования переименованного эскиза;

– запустить команду **Ввод текста** (рис. 6.41) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения**;

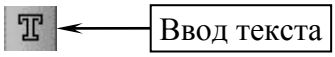


Рис. 6.41

– в **Панели свойств** на вкладке **Размещение** задать: Размещение – **По центру**; Угол – **0**;

– в рабочем поле указать ЛКМ место размещения текста в эскизе;

– в **Панели свойств** на вкладке **Формат** задать: Шрифт – **GOST type B**; высота символов – **1.4**; Курсив и Полужирный – **отключить**;

– в рабочем поле ввести номер варианта задания (при необходимости изменить высоту символов в **Панели свойств**, выделив введенный текст);

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект** и завершить команду клавишей **Esc**;

– при необходимости выделить надпись и отредактировать ее положение командой **Сдвиг** (ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование**);

– выйти из режима редактирования эскиза.

Результат показан на рис. 6.42.

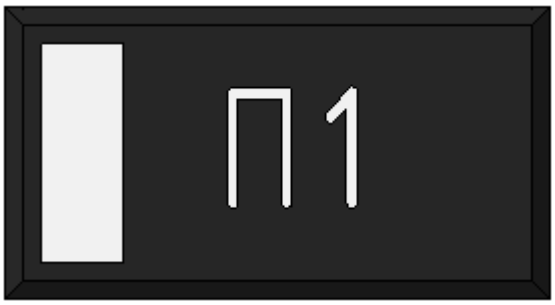


Рис. 6.42

21. Для добавления локальной системы координат, положение которой должно соответствовать положению точки привязки в посадочном месте компонента, выполнить следующее:

– запустить команду **Операции ⇒ Локальная система координат**;

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле для координаты **X** ввести значение расстояния между центром первой КП и короткой стороной корпуса конденсатора в его посадочном месте, определенное в п. 7.6 из 5.2.3.

Если начало координат в посадочном месте было установлено в центре корпуса, то вводимое значение будет равно половине размера **L** по рис. 5.13.

Примечание. Для варианта «П1» значение равно 0,5 мм (см. рис. 6.5).

– в **Панели свойств** на вкладке **Свойства** в поле **Наименование** ввести **MTG**;

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**.

22. Для автоматического расчета массы сборок, в состав которых будет входить 3D-модель конденсатора, необходимо задать ее массу. Для этого выполнить следующее:

Таблица 6.2

Масса разных типоразмеров конденсаторов серии 293D фирмы Vishay

Типоразмер	Масса, г	Типоразмер	Масса, г
A	0,032	D	0,295
B	0,065	E	0,478
C	0,150	V	0,239

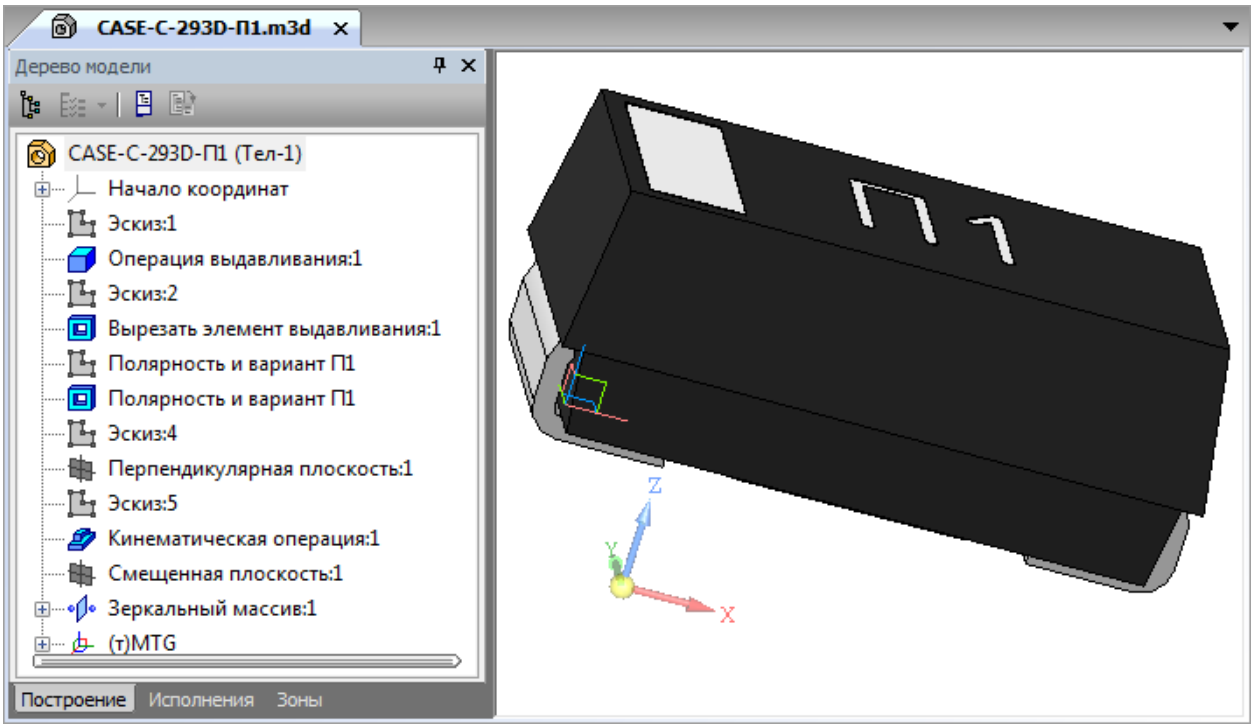


Рис. 6.43

– в **Дереве модели** на названии 3D-модели (1-я строка) запустить команду **ПКМ ⇒ Свойства модели**;

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры МЦХ** нажать пиктограмму **Расчет по массе**, в поле **Масса** ввести массу для соответствующего типоразмера корпуса из табл. 6.2 и нажать **Enter**;

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**.

23. Сохранить изменения в 3D-модели (**Ctrl+S**).

Результат проделанных операций показан на рис. 6.43.

6.6. 3D-модель в посадочном месте компонента

Для добавления 3D-модели конденсатора к посадочному месту библиотечного компонента необходимо выполнить следующее:

1. Сохранить созданную 3D-модель в формате STEP.

Для этого в КОМПАС-3D запустить команду **Файл ⇒ Сохранить как** и в появившемся окне:

– в поле **Тип файла** выбрать формат **STEP AP214 (*.stp, *.step)**;

– нажать на треугольник около кнопки **Сохранить** и выбрать команду **Сохранить с параметрами**;

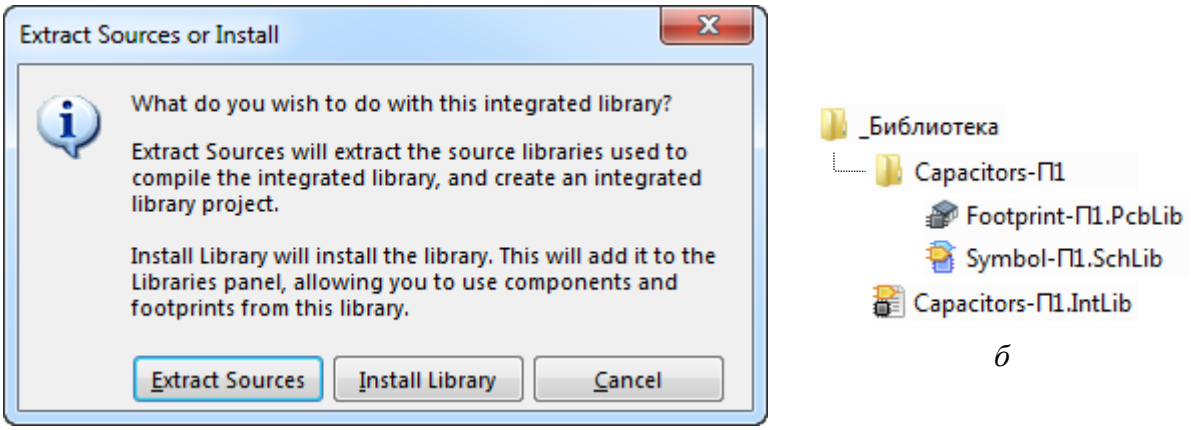
– в открывшемся окне **Параметры экспорта STEP AP214** в поле **Система координат** выбрать локальную систему координат – **MTG**, после чего закрыть окно кнопкой **OK**;

– в появившемся окне **Запись файла формата STEP AP214** оставить настройки по умолчанию и нажать кнопку **Начать запись**.

2. Последним действием после создания библиотечного компонента в п. 9 из 5.5 было удаление всех файлов из папки с библиотекой, кроме файла интегрированной библиотеки. Это понадобилось, чтобы показать последовательность действий для редактирования такого файла:

– в **Altium Designer** командой **File ⇒ Open** открыть файл интегрированной библиотеки (расположение указано в п. 2 из 5.2.1);

– в появившемся окне **Extract Sources or Install** нажать кнопку **Extract Sources** (рис. 6.44, *а*).



а *б*

Рис. 6.44

В результате на вкладке **Projects** появится проект интегрированной библиотеки с включенными в него двумя библиотеками (как на рис. 5.51), а в папке с интегрированной библиотекой будет создана папка с файлами распакованных библиотек (рис. 6.44, *б*).

Примечание. Если бы проект не был удален ранее, то для его открытия необходимо было бы воспользоваться командой File ⇒ Open Project.

3. Сохранить проект интегрированной библиотеки в папку с библиотеками УГО и посадочного места (см. п. 4 из 5.5).

4. Открыть библиотеку посадочных мест.

Для этого дважды щелкнуть ЛКМ по ней в панели **Projects** (или выполнить на ней команду **ПКМ ⇒ Open**).

5. Добавить к посадочному месту 3D-модель:

5.1. Сделать текущим слой **M5 Top 3D**.

5.2. Последовательно нажать клавиши **P ⇒ B** или запустить команду **Place ⇒ 3D Body**.

5.3. В открывшемся окне **3D Body**:

– в группе **3D Model Type** выбрать опцию **Generic 3D Model**;

– убедиться в том, что в группе **Properties** в поле Body Side выбрана опция **Top Side** (размещение на верхней стороне ПП), а в поле Layer указан слой **M5 Top 3D**;

– в группе **Generic 3D Model** выбрать опцию **Embedded** (встраивание модели в состав посадочного места), после чего кнопкой **Load from file** подключить сохраненную в п. 1 3D-модель в формате STEP.

Примечание. Как видно по рис. 6.45, в 2D-режиме просмотра 3D-модель представляет собой заштрихованную прямоугольную область, размеры которой соответствуют габаритам модели. При желании можно включить 3D-режим просмотра, нажав на соответствующую иконку.

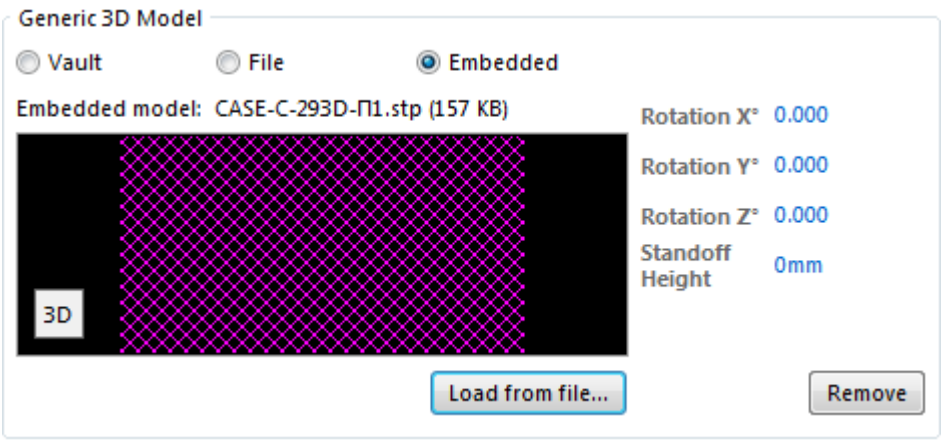


Рис. 6.45

После совершенных в окне **3D Body** действий нажать кнопку **OK**.

5.4. Разместить 3D-модель на посадочном месте.

Так как 3D-модель была создана с учетом условий из 6.5, то для правильного ее размещения достаточно совместить точку, за которую 3D-модель привязана к курсору мышки (начало локальной системы координат MTG), с началом координат в рабочем поле.

Сделать это можно одним из следующих способов:

– увеличить масштаб изображения в рабочем поле, после чего щелкнуть ЛКМ в начале координат;

– задать крупный шаг сетки (например, 1 мм), после чего щелкнуть ЛКМ в начале координат;

– сначала последовательно нажать клавиши **J ⇒ L**, затем в появившемся окне задать требуемые координаты точки, в которую будет перемещен курсор мышки (в данном случае – нулевые), после чего дважды нажать клавишу

Enter (первое нажатие применит изменения в окне с координатами, а второе нажатие зафиксирует 3D-модель в рабочем поле);

– сначала нажать комбинацию клавиш **Shift+E**, чтобы в строке состояний (или в информационном поле) появилась надпись **Hotspot Snap (All Layers)**, т. е. включить привязку курсора мышки к характерным точкам объектов на всех слоях (рис. 6.46). Затем подвести курсор мышки к центру первой КП (при срабатывании привязки появится окружность) и щелкнуть ЛКМ.

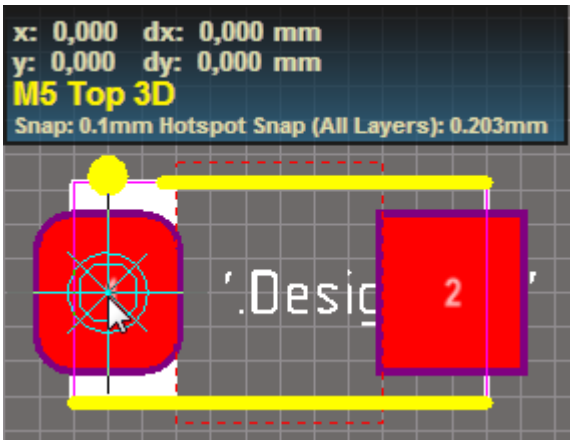


Рис. 6.46

После добавления 3D-модели автоматически откроется окно **3D Body**, которое нужно закрыть кнопкой **Cancel**, так как других 3D-моделей размещать в посадочном месте не нужно.

Примечание. Если 3D-модель была сделана без учета условий из 6.5 (например, скачана из сети Интернет), то для ее размещения на посадочном месте потребуется потратить больше времени:

– в окне 3D Body в группе Generic 3D Model (см. рис. 6.45) можно повернуть 3D-модель по любой оси на любой угол (поля Rotation), а также изменить ее положение относительно поверхности ПП (поле Standoff Height). Данное окно открывается в 3D-режиме просмотра двойным щелчком ЛКМ по 3D-модели, а в 2D-режиме просмотра – командой ПКМ ⇒ Properties;

– поворот 3D-модели в плоскости ПП как в 2D-режиме просмотра, так и в 3D-режиме после ее выбора ЛКМ возможен клавишей Space или комбинацией клавиш Shift+Space;

– в окне 3D Body в группе Snap Points (рис. 6.47) можно задать собственные характерные точки в 3D-модели (точка с нулевыми координатами находится в месте расположения системы координат 3D-модели). Кнопка Average позволяет заменить две выбранные характерные точки одной, расположенной в середине между ними. Каждая характерная точка обозначается тремя белыми отрезками;

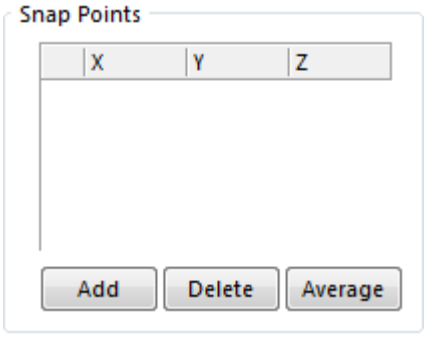


Рис. 6.47

– в 3D-режиме просмотра можно воспользоваться командами из меню Tools ⇒ 3D Body Placement (рис. 6.48). Например, команда Add Snap Points

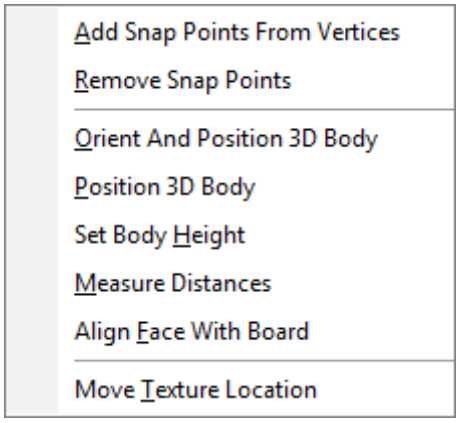


Рис. 6.48

From Vertices позволяет вручную указать характерные точки на 3D-модели, команда Position 3D Body – переместить 3D-модель за характерную точку в указанное место на плоскости ПП, команда Align Face For Board – совместить указанную поверхность 3D-модели с поверхностью ПП.

6. Сохранить в отчет изображения посадочного места:

6.1. Загрузить и применить профиль с цветовыми настройками **ИДРЭС-AltiumFootprintGray.PCBSysColors** по п. 6 из 5.2.1, после чего сохранить рисунок посадочного места при текущем слое **M5 Top 3D** (обратить внимание на указание о масштабе из п. 17.2 из 5.2.3).

Затем вернуть цветовые настройки, заданные в п. 6 из 5.2.1.

6.2. Перейти в 3D-режим просмотра, повернуть посадочное место произвольным образом (например, как на рис. 5.15, *б*) и сохранить изображение.

Примечания:

– при необходимости цвет фона можно поменять в окне View Configurations (клавиша L) на вкладке Physical Materials в группе General в поле Workspace Color;

– способы управления в 3D-режиме описаны в Г.3.

7. Сохранить изменения в посадочном месте (**Ctrl+S**).

8. Открыть библиотеку УГО по аналогии с п. 4.

9. В панели **SCH Library** в списке Components дважды щелкнуть ЛКМ по строке с УГО (или выделить ее ЛКМ и нажать кнопку **Edit**).

Затем в открывшемся окне Library Component Properties в разделе **Parameters** с помощью кнопки **Add** добавить параметр **PI_3D-model** и присвоить ему значение в соответствии с названием 3D-модели конденсатора (см. п. 2 из 6.5).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 6.49.

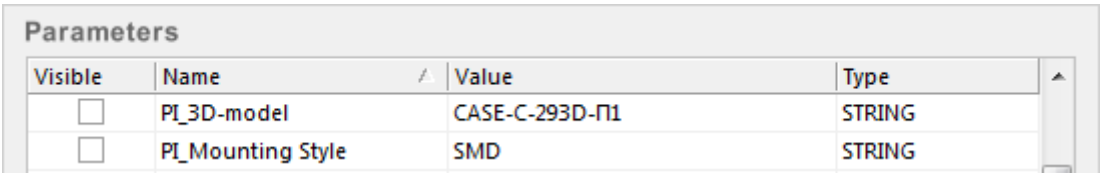


Рис. 6.49

10. Сохранить изменения в УГО (**Ctrl+S**).

Примечание. Интегрированная библиотека будет скомпилирована в п. 30 из 7.3 после создания установочного чертежа.

11. Удалить вспомогательную информацию из папки **…ИДРЭС\Усилитель_Модели элементов**:

– «**CASE-C-293D-П1.stp**» – файл 3D-модели в формате STEP, созданный в п. 1 для добавления в посадочное место;

– «**CASE-C-293D-П1.m3d.bak**» – backup-файл 3D-модели.

6.7. Содержание отчета

По 6-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Рисунок из КОМПАС-3D, на котором будут изображены:

– 3D-модель танталового конденсатора с номером варианта;

– **Дерево модели** со всеми этапами создания 3D-модели.

Примечание. Перемещение изображения в рабочем поле осуществляется в соответствии с информацией п. 7.4 из 6.5.

2. Рисунки посадочного места с подключенной 3D-моделью:

– в 2D-режиме просмотра при текущем слое **M5 Top 3D**;

– в 3D-режиме просмотра.

7. ЧЕРТЕЖ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТА

7.1. Главное окно КОМПАС-3D в режиме создания чертежа

Чтобы упростить процесс создания сборочного чертежа «усилителя», необходимо для всех используемых компонентов подготовить чертежи их установки – чертежи-заготовки, на которых показаны применяемые варианты монтажа компонентов на ПП.

Процесс создания чертежа установки компонента с 3D-моделью достаточно прост и заключается в выборе необходимых видов из его 3D-модели и простановке размеров с указанием способа монтажа (пайка, клей и пр.).

В папке **…\ИДРЭС\Монтаж элементов** (см. рис. 2.9) находятся чертежи установок всех необходимых для выполнения проектирования компонентов, кроме чертежа танталового конденсатора, для которого ранее были разработаны библиотечный компонент и 3D-модель. В данном разделе разбирается пример создания недостающего чертежа установки.

Начальное окно КОМПАС-3D и настройки описаны в 6.1 и 6.2.

Для перехода в режим создания чертежа необходимо выполнить команду **Файл ⇒ Создать ⇒ Чертеж**. Главное окно КОМПАС-3D в этом режиме показано на рис. 7.1.

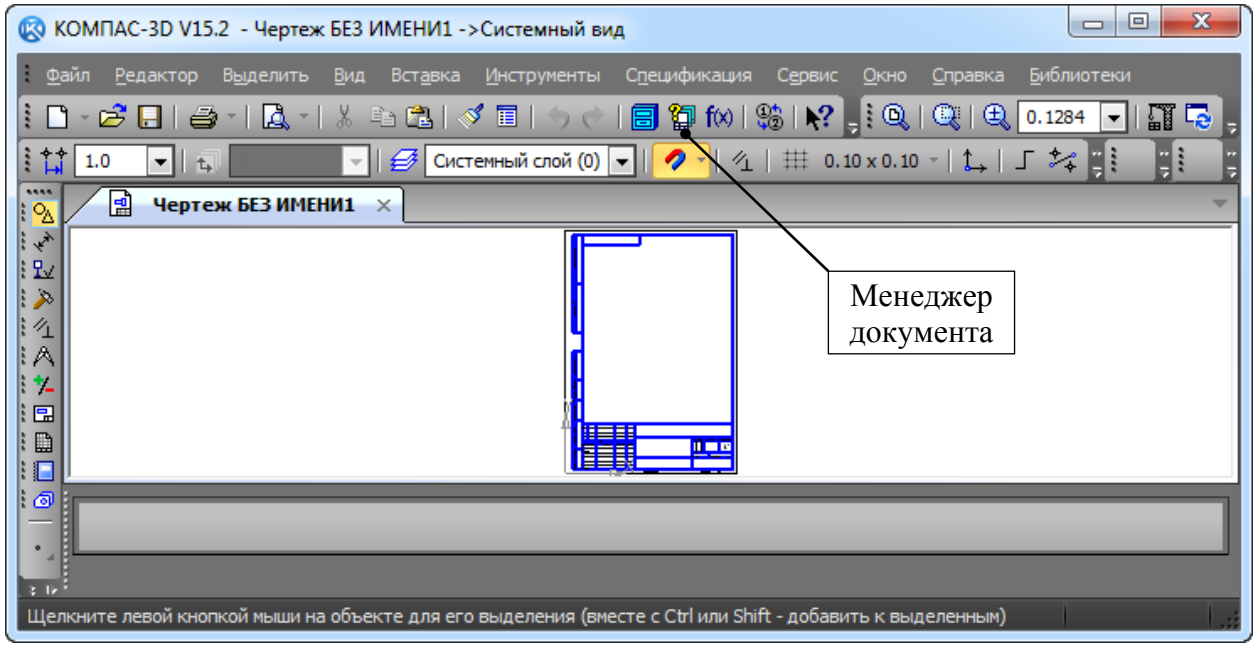


Рис. 7.1

Значительных отличий от окна режима создания детали (см. рис. 6.4) нет: на ПИ теперь присутствуют пиктограммы команд, необходимые для создания чертежа, а в рабочей области – заготовка рамки для формата А4.

На текущем этапе изменение настроек листов не потребуется, однако при создании чертежей подобные действия (в том числе и добавление новых листов) совершаются практически в каждом документе.

Для изменения настроек листов документа выполняется следующее:

– запускается команда **Сервис ⇒ Менеджер документа** или нажимается пиктограмма **Менеджер документа** на ПИ **Стандартная** (см. рис. 7.1);

– в левой части появившегося окна **Менеджер документа** (рис. 7.2) выделяется пункт **Листы**, при этом в правой части появляется список листов, задействованных в данном чертеже, с их настройками;

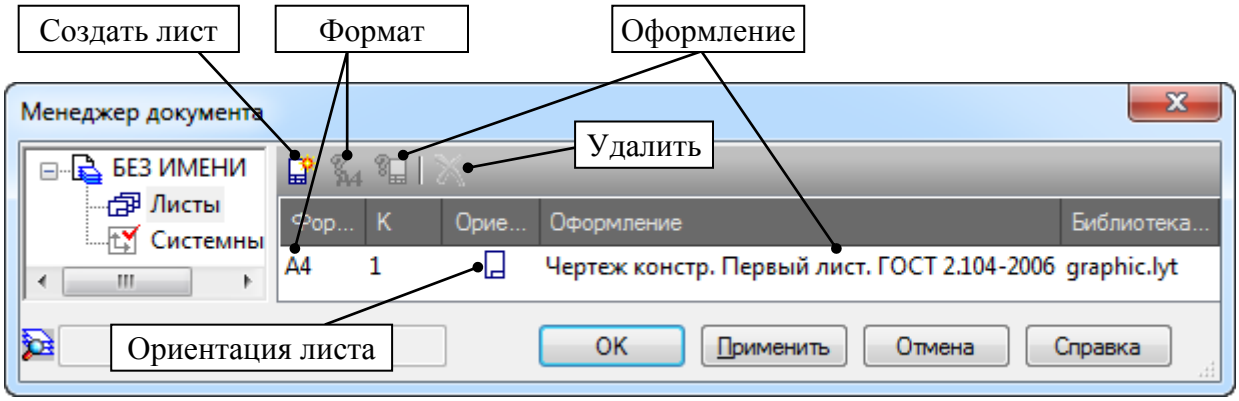


Рис. 7.2

– для добавления листа нажимается пиктограмма **Создать лист**;

– для удаления добавленного листа нажимается пиктограмма **Удалить**;

– изменение настроек конкретного листа производится после выбора соответствующей строки в списке ЛКМ и нажатия на пиктограммы **Формат** и **Оформление**. Все настройки, кроме произвольных размеров листа, можно задать непосредственно в ячейках соответствующей строки.

7.2. Виды и масштабы изображений на чертеже

Правила изображения предметов на чертежах (виды, разрезы, сечения) устанавливает ГОСТ 2.305–2008. К интересующим на данном этапе понятиям относятся:

– ***вид предмета (вид)*** – ортогональная проекция обращенной к наблюдателю видимой части поверхности предмета, расположенного между ним и плоскостью проецирования;

– ***главный вид предмета (главный вид)*** – основной вид предмета на фронтальной плоскости проекции, который дает наиболее полное представление о форме и размерах предмета, относительно которого располагают остальные основные виды;

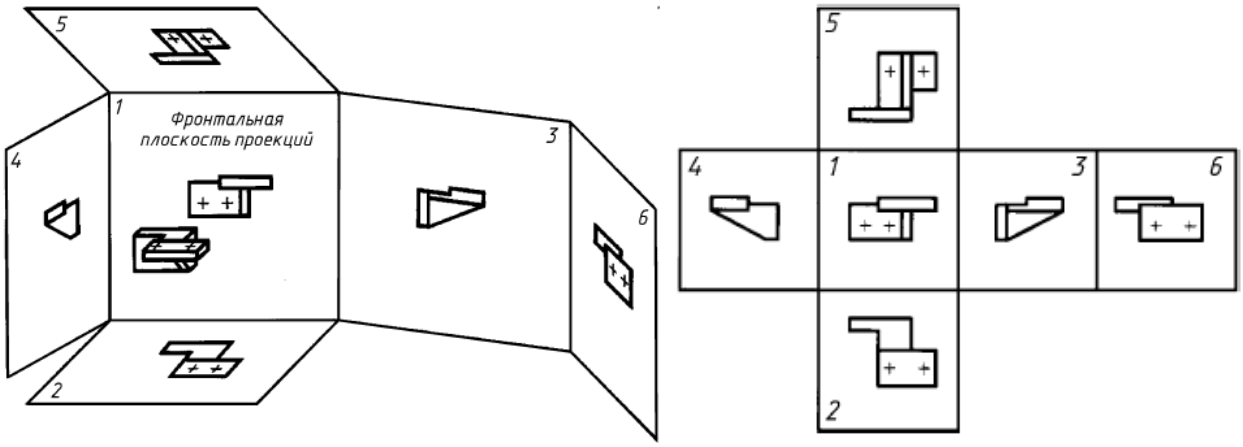
– ***дополнительный вид предмета (дополнительный вид)*** – изображение предмета на плоскости, не параллельной ни одной из основных плоскостей проекций, применяемое для неискаженного изображения поверхности, если ее нельзя получить на основном виде;

– ***местный вид предмета (местный вид)*** – изображение отдельного ограниченного участка поверхности предмета;

– ***ортогональная (прямоугольная) проекция*** – параллельная проекция предмета или его части на плоскость, перпендикулярную к направлению проецирующих лучей, представляющую совмещенную с чертежом одну из граней пустотелого куба, внутри которого мысленно помещен предмет;

– ***основной вид предмета (основной вид)*** – вид предмета, который получен путем совмещения предмета и его изображения на одной из граней пустотелого куба, внутри которого мысленно помещен предмет, с плоскостью чертежа.

Приведенные выше определения можно пояснить рисунками. Изображения предметов на чертеже следует выполнять по методу прямоугольного проецирования, при этом предмет располагается между наблюдателем и соответствующей плоскостью проекций (рис. 7.3, *а*).



а *б*

Рис. 7.3 [44]

За основные плоскости проекций принимают шесть граней куба, которые совмещают с плоскостью так, как показано на рис. 7.3, *б*. Изображение на фронтальной плоскости проекций принимается на чертеже в качестве главного вида. К основным видам (видам, получаемых на основных плоскостях проекций) по рис. 7.3 относятся: 1 – вид спереди, 2 – вид сверху, 3 – вид слева, 4 – вид справа, 5 – вид снизу, 6 – вид сзади. Вид спереди, как отмечалось выше, является главным видом.

Масштабы изображений и их обозначение на чертежах устанавливает ГОСТ 2.302–68 [47]. К основным определениям относятся:

– ***масштаб*** – отношение линейного размера отрезка на чертеже к соответствующему линейному размеру того же отрезка в натуре;

– ***масштаб натуральной величины*** – масштаб с отношением 1:1;

– ***масштаб увеличения*** – масштаб с отношением большим, чем 1:1 (2:1; 2,5:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1);

– ***масштаб уменьшения*** – масштаб с отношением меньшим, чем 1:1 (1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100 и т. д.).

Стоит отметить примечание из ГОСТ 2.004–88 [48], в котором допускается применять масштабы уменьшения 1:*x* и увеличения *x*:1, где *x* – рациональное число. Однако пользоваться этой возможностью не рекомендуется.

7.3. Создание чертежа установки конденсатора

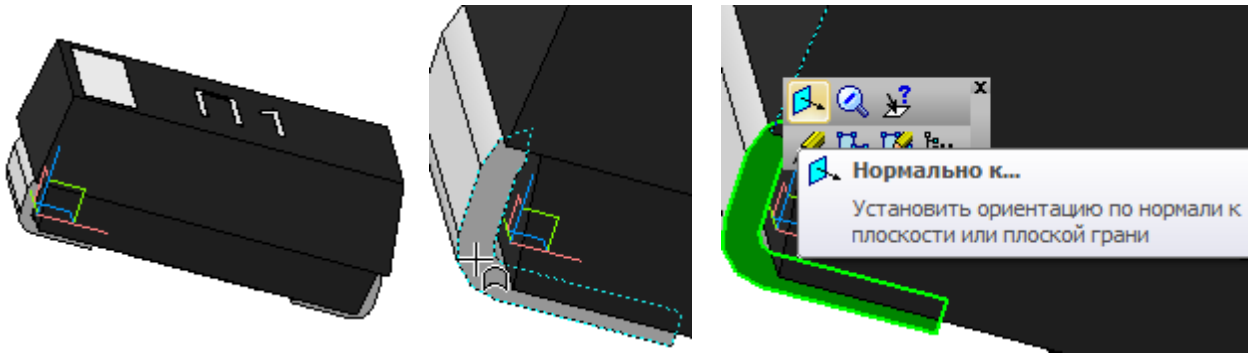
Для создания чертежа установки конденсатора выполнить следующее:

1. В КОМПАС-3D открыть 3D-модель конденсатора из разд. 6.

Для этого дважды щелкнуть ЛКМ по названию файла в проводнике **Windows** или запустить команду **Файл ⇒ Открыть** (расположение файла указано в п. 2 из 6.5).

2. Задать положение главного вида:

– СКМ повернуть 3D-модель так, как показано на рис. 7.4, *а*;



а *б* *в*

Рис. 7.4

– изменить масштаб изображения и навести курсор мышки на боковую поверхность вывода конденсатора со стороны локальной системы координат (рис. 7.4, *б*), после чего щелкнуть ЛКМ для ее выбора;

– в появившейся над курсором ПИ нажать пиктограмму **Нормально к** (рис. 7.4, *в*), в результате чего 3D-модель повернется так, что выбранная поверхность окажется параллельна плоскости экрана;

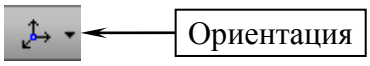


Рис. 7.5

– запустить команду **Вид ⇒ Ориентация** или нажать пиктограмму **Ориентация** на ПИ **Вид** (рис. 7.5), после чего в появившемся окне **Ориентация вида** нажать пиктограмму **Добавить**;

– добавленному виду присвоить имя (например, **Главный**), а затем последовательно нажать кнопки **Применить** и **Выход**;

– сохранить 3D-модель (**Ctrl+S**).

3. Если вкладка с рис. 7.1 (**Чертеж БЕЗ ИМЕНИ1**) не была закрыта, то перейти в нее. В противном случае перейти в режим создания чертежа, используя команду из 7.1.

4. Сохранить чертеж командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.cdw» и названием 3D-модели. Имя файла в варианте «П1» – **CASE-C-293D-П1**, а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Установочные чертежи** (см. рис. 2.8).

5. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5).

6. Запустить команду **Стандартные виды** (рис. 7.8) из ПИ **Компактная панель ⇒ Виды**.

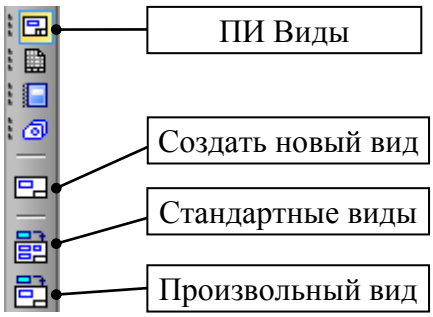


Рис. 7.6

В появившемся окне **Открытые документы** выбрать 3D-модель конденсатора и нажать **OK**. Если вкладка с 3D-моделью была закрыта, то воспользоваться кнопкой **Из файла** и указать к ней путь.

В **Панели свойств** на вкладке **Параметры** выполнить следующее:

– в поле **Ориентация главного вида** выбрать **Главный** (задан в п. 2);

– в поле **Схема видов** отключить **вид слева** (для этого нажать по соответствующей картинке), оставив только **вид спереди** и **вид сверху**, и нажать **OK** (расположение видов показано на рис. 7.3);

– нажать кнопку **Подобрать** для автоматического подбора масштаба;

– при необходимости в поле **Масштаб вида** изменить масштаб так, чтобы изображение занимало не более 1/8 рабочего поля листа формата А4.

Примечание. В варианте «П1» предложенный масштаб 10:1 уменьшен до 5:1. Масштаб можно поменять в любой момент (см. примечание к п. 8).

После произведенных настроек указать ЛКМ произвольное место на чертеже, в которое будут установлены виды.

7. Перейти в режим редактирования основной надписи чертежа, для чего дважды щелкнуть по ней ЛКМ, и выполнить следующие действия:

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** отжать пиктограмму **Синхронизация данных** (рис. 7.7);

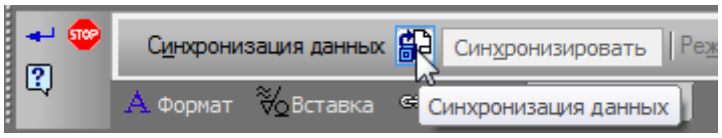


Рис. 7.7

– в основной надписи чертежа в рабочем поле удалить информацию о материале, наименовании детали и массе;

– применить изменения пиктограммой **Создать объект**.

8. Выполнить команду **Вид ⇒ Дерево чертежа**, в результате чего откроется **Дерево чертежа**, в котором на данном этапе будет три вида с указанием масштаба: **Системный вид, Главный 1** и **Проекционный вид 2** (рис. 7.8).

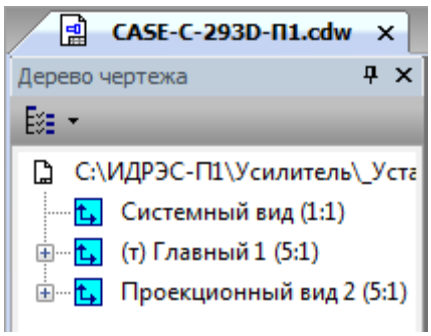
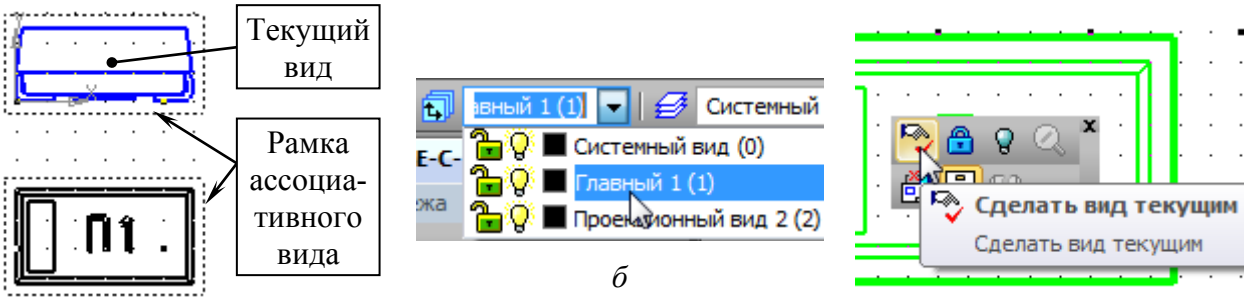


Рис. 7.8

Примечания:

– системный вид есть всегда, а два последних – добавленные виды из 3D-модели;

– как видно из рис. 7.9, а, рамки видов обозначены пунктирным контуром. Такие виды называются ассоциативными, т. е. они имеют связи с 3D-моделью (любое изменение в 3D-модели приведет к появлению запроса на их автоматическое перестроение). Объекты в ассоциативных видах нельзя удалить, но можно скрыть, переместив на погашенный (невидимый) слой;



а *б* *в*

Рис. 7.9

– буква «т» в скобках перед названием вида на рис. 7.8 означает, что это текущий вид, т. е. с ним в данный момент осуществляется работа;

– объекты текущего вида отображаются с заданными цветовыми настройками, а объекты остальных видов – черным цветом (рис. 7.9, а);

– сделать вид текущим можно несколькими способами:

а) выбором вида в списке на ПИ «Текущее состояние» (см. рис. 7.9, б);

б) выполнением на виде в «Дереве чертежа» команды ПКМ ⇒ Текущий;

в) двойным щелчком ЛКМ по рамке вида в рабочем поле или одним щелчком ЛКМ по ней с последующим выбором пиктограммы «Сделать вид текущим» в появившейся над курсором ПИ (см. рис. 7.9, в);

– после названия вида в скобках указан его масштаб (см. рис. 7.8);

– изменение масштаба вида осуществляется командой ПКМ ⇒ Масштаб, выполненной на нем в «Дереве чертежа».

9. Разрушить ассоциативные виды, т. е. превратить их в обычные (без связей с 3D-моделью).

Для этого выполнить команду **ПКМ ⇒ Разрушить вид** на требуемых видах в **Дереве чертежа**.

Примечание. Как видно из рис. 7.10, рамка обычного вида имеет сплошной контур серого цвета.

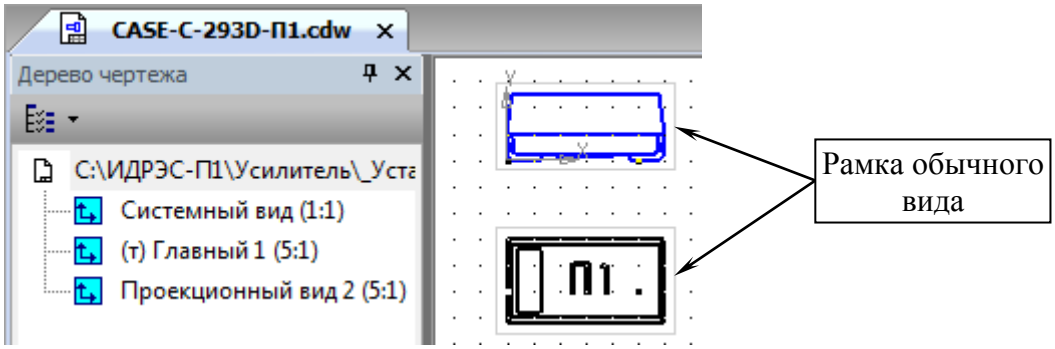


Рис. 7.10

10. Скопировать все объекты из вида **Проекционный вид 2** в вид **Главный 1** и расположить их ниже там присутствующих:

– убедиться в том, что вид **Главный 1** является текущим;

– массовым выделением мышкой выбрать все объекты из вида **Проекционный вид 2**;

– скопировать объекты (**Ctrl+C**), указав базовую точку;

– вставить объекты (**Ctrl+V**) недалеко от объектов вида **Главный 1**;

– завершить команду клавишей **Esc**.

Примечание. Объединение двух видов в один сделано для удобства размещения чертежа установки компонента на сборочном чертеже.

11. Удалить вид **Проекционный вид 2**, для чего в **Дереве чертежа** выполнить на нем команду **ПКМ ⇒ Удалить вид**.

12. Изменить название вида **Главный 1** на название файла.

Для этого в **Дереве чертежа** выполнить на виде команду **ПКМ ⇒ Параметры вида** и в **Панели свойств** в поле **Имя** ввести требуемое название.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 7.11.

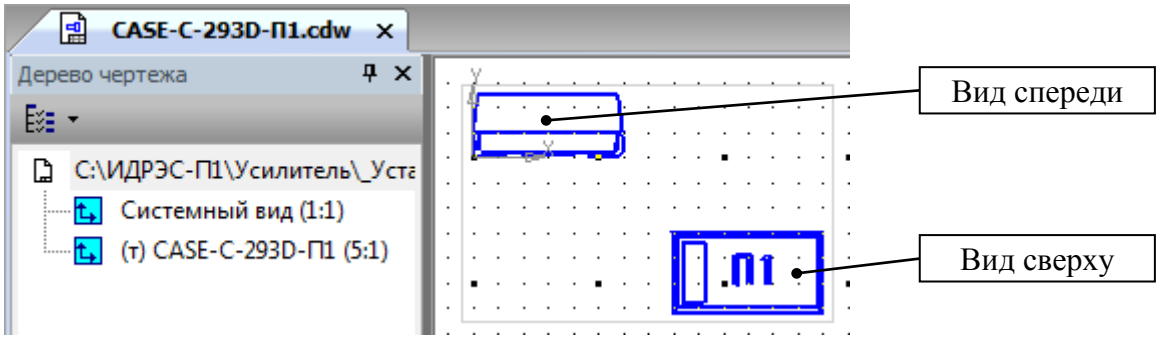


Рис. 7.11

Примечание. Так как на одном виде теперь находятся изображения с двух видов, то далее по тексту объекты из ассоциативного вида «Главный 1» будут называться «видом спереди», а объекты из ассоциативного вида «Проекционный вид 2» – «видом сверху».

13. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и проверить успешность сохранения по п. 12 из 6.5 (расположение чертежа указано в п. 4).

14. Расположить **вид сверху** строго под **видом спереди**, т. е. так, чтобы виды находились на одной вертикали.

Сделать это можно разными способами, но далее приведен наиболее автоматизированный:

– массовым выделением мышкой выделить необходимые объекты;

– запустить команду **Сдвиг** (см. рис. 6.20);

– ЛКМ указать на выделенных объектах базовую точку для сдвига.



Рис. 7.12

Примечание. В варианте «П1» выравнивание осуществляется по левой стороне, поэтому выбран левый верхний угол контура (рис. 7.12);

– для указания нового положения базовой точки в рабочем поле запустить команду **ПКМ ⇒ Геометрический калькулятор ⇒ Выровнять по двум точкам**;

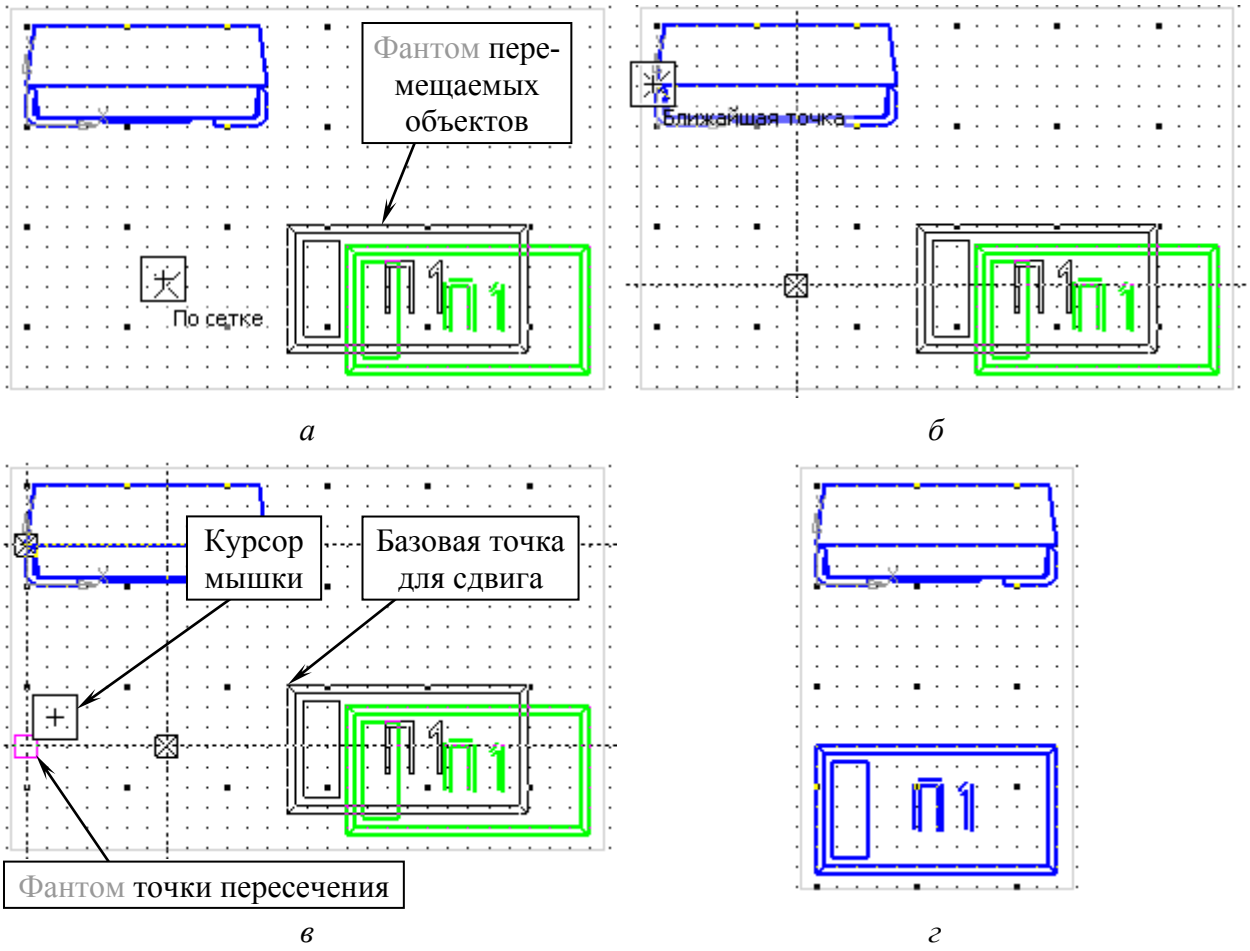
– ЛКМ последовательно указать две базовые точки на условных горизонтальной и вертикальной прямых, в месте пересечения которых окажутся сдвигаемые объекты (порядок указывания значения не имеет).

Примечание. В варианте «П1» сначала была произвольно указана базовая точка под «видом спереди» (рис. 7.13, а), после чего выполнена команда

ПКМ ⇒ Ближайшая точка (включение локальной привязки) и указана базовая точка с левого края на «виде спереди» (рис. 7.13, б);

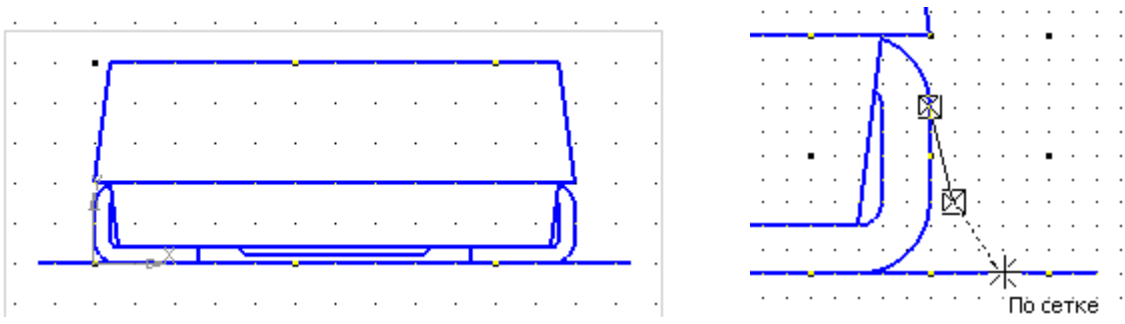
– курсором мышки в рабочем поле выбрать одну из двух точек, в которую будут перемещены объекты (фантом точки пересечения показан розовым квадратом на рис. 7.13, *в*), и принять нужный вариант щелчком ЛКМ;

– завершить команду клавишей **Esc** (рис. 7.13, *г*).



а *б* *в* *г*

Рис. 7.13



а *б*

Рис. 7.14

15. Командой **Отрезок** на **виде спереди** нарисовать горизонтальную линию (поверхность монтажа) со стилем **Основная** (рис. 7.14, *а*).

16. Командой **Сплайн по точкам** из группы «Ломаная» на ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия** (рис. 7.15) на **виде спереди** около выводов для обозначения мест пайки изобразить две кривые по трем точкам со следующими настройками в **Панели свойств**:

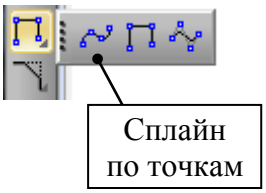


Рис. 7.15

– стиль линии – **Для линии обрыва**;

– тип кривой – **Кривая Безье**.

Кривая с одной стороны должна касаться вывода конденсатора, а с другой стороны – поверхности монтажа. В месте касания с поверхностью монтажа она должна отстоять от вывода на 0,3 мм (рис. 7.14, *б*).

Примечание. Вторую кривую можно нарисовать командой «Симметрия» (см. рис. 6.20), зеркально отразив первую относительно середины корпуса конденсатора.

17. На **виде сверху** командой **Прямоугольник** (ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия**) нарисовать с двух сторон от коротких сторон корпуса два прямоугольных контура со следующими настройками в **Панели свойств**:

– стиль линии – **Для линии обрыва**;

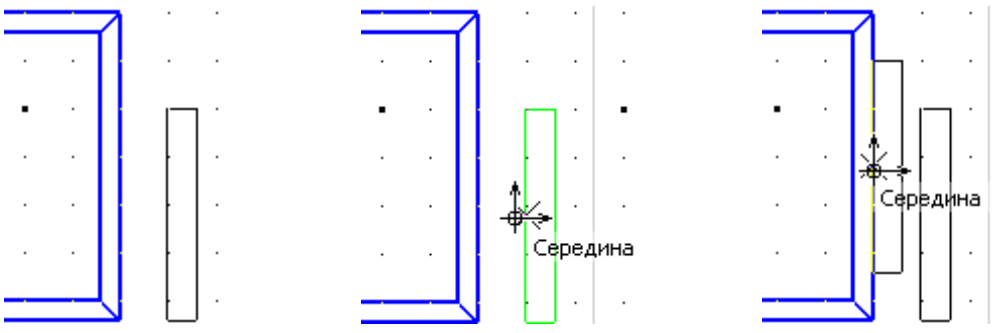
– высота – размер **Tw** по рис. 5.13 (ширина вывода).

Примечание. В варианте «П1» значение размера равно 2,2 мм;

– ширина – **0.3** мм.

Каждый прямоугольник должен быть расположен вне корпуса симметрично его длинным сторонам и иметь общую сторону с короткой стороной.

Примечание. В варианте «П1» сначала был нарисован прямоугольник с заданными размерами в стороне от корпуса (рис. 7.16, а), затем он скопирован (Ctrl+C) с указанием базовой точки на середине его левой стороны (рис. 7.16, б), после чего вставлен (Ctrl+V) с указанием базовой точки на середине правой стороны корпуса (рис. 7.16, в).



а *б* *в*

Рис. 7.16

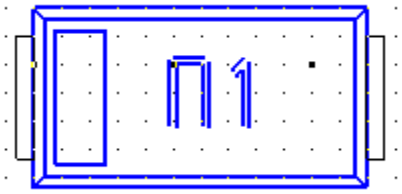


Рис. 7.17

Добавление прямоугольника с левой стороны корпуса произведено аналогично, но с использованием операции вырезания (Ctrl+X) для одновременного удаления исходного прямоугольника.

Результат показан на рис. 7.17.

18. На **виде сверху** выделить прямоугольник, обозначающий полярность, щелкнуть ПКМ и в появившейся над курсором ПИ выбрать стиль линии **Для линии обрыва** (рис. 7.18).

После этого снять выделение с объектов.

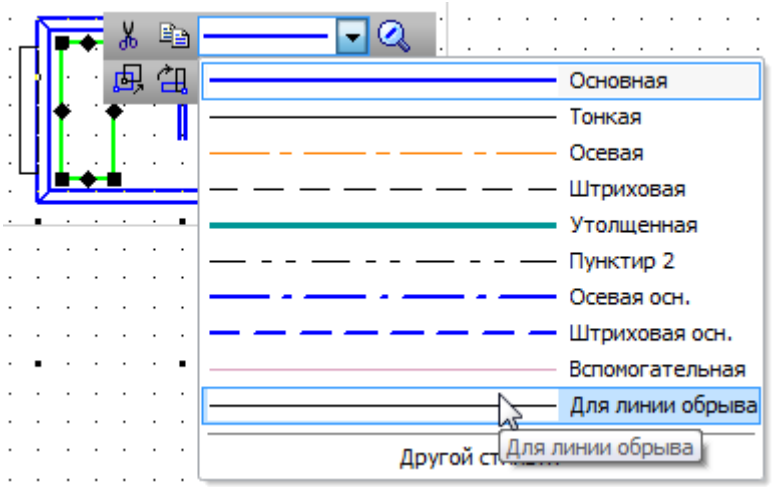


Рис. 7.18

19. Запустить команду **Заливка** из группы «Штриховка» на ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия** (рис. 7.19) и в **Панели свойств** установить:

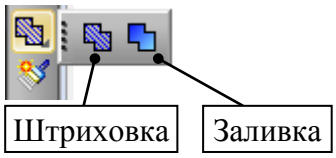


Рис. 7.19

– тип – **Одноцветная**;

– цвет – **Черный**.

Затем ЛКМ указать любую точку внутри прямоугольника, обозначающего полярность конденсатора, и нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Enter** (аналогично нажатию пиктограммы **Создать объект** на **Панели свойств**).

Таким же образом залить следующие области (после каждой заливки обязательно нажимать комбинацию клавиш **Ctrl+Enter**):

– на **виде сверху** – два прямоугольника вне контура конденсатора (рис. 7.17);

– на **виде спереди** – две замкнутые области, ограниченные сплайнами (см. рис. 7.14, *б*).

Завершить команду клавишей **Esc**.

20. Командой **Сплайн по точкам** (см. рис. 7.15) нарисовать:

– замкнутый контур вокруг **вида сверху** со следующими настройками на **Панели свойств**: тип кривой – **Кривая Безье**; режим – **Замкнутый объект**; стиль – **Для линии обрыва**;

– кривую на **виде спереди**, указывающую линию обрыва ПП, изменив режим в **Панели свойств** на **Разомкнутый объект**.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 7.20.

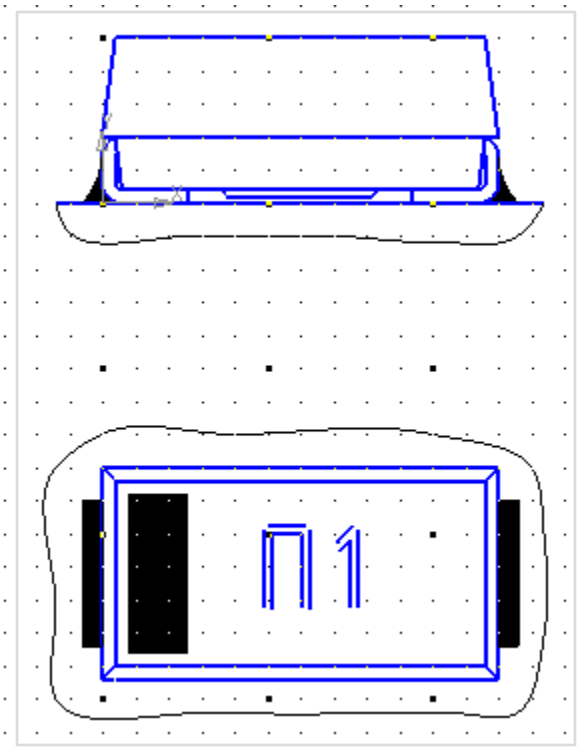


Рис. 7.20

21. Командой **Линейный размер** или **Авторазмер** из ПИ **Компактная панель ⇒ Размеры** (рис. 7.21) указать ширину, высоту и длину компонента.

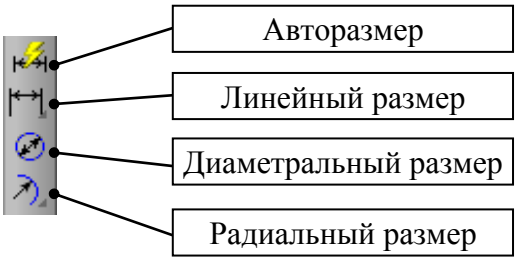


Рис. 7.21

Добавление линейного размера в общем случае состоит из указания трех точек (рис. 7.22):

– первые две определяют места, от которых будут отведены выносные линии размера;

– третья точка определяет положение размерной линии.

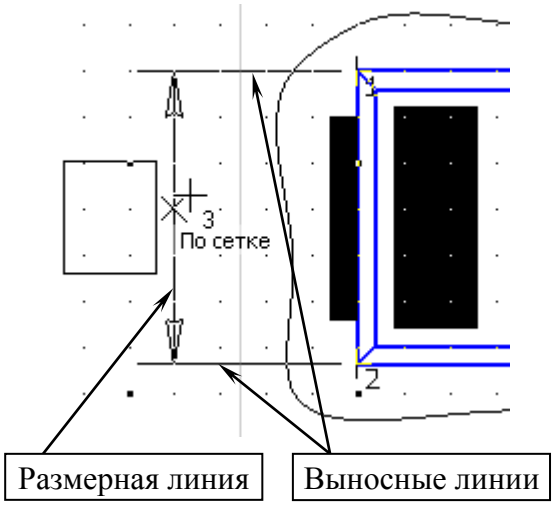


Рис. 7.22

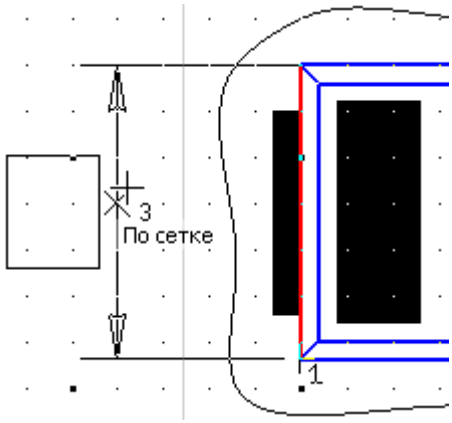
Необходимо обратить внимание на то, что минимальное расстояние между размерной линией и линией контура по ГОСТ 2.307–2011 – 10 мм. Так как чертеж установки в варианте «П1» создается на виде с масштабом **5:1**, то это расстояние составит 2 мм.

Если размерная надпись размещается на полке, то должна быть указана четвертая точка, определяющая ее положение.

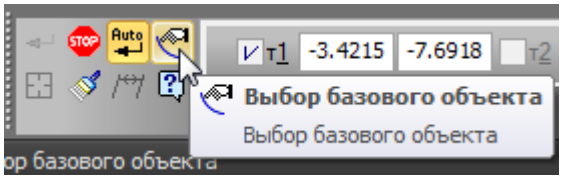
Значение размера по умолчанию отображается автоматически с учетом масштаба вида и не требует пересчета.

Кроме указания точек, от которых отводятся выносные линии, перед началом добавления линейного размера можно указать базовый объект, который подсвечивается в рабочем поле красным цветом (рис. 7.23, *а*).

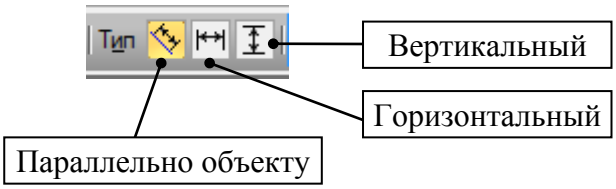
При использовании команды **Линейный размер** для указания базового объекта в **Панели свойств** предварительно необходимо нажать пиктограмму **Выбор базового объекта** (рис. 7.23, *б*). Кроме того, перед выбором третьей точки рекомендуется заранее выбрать тип ориентации размера (рис. 7.23, *в*).



а



б



в

Рис. 7.23

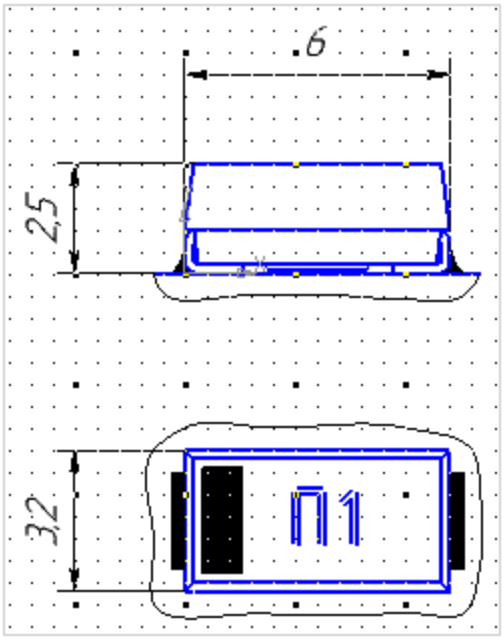


Рис. 7.24

Команда **Авторазмер** автоматически определяет тип создаваемого размера (линейный, диаметральный или радиальный), и при ее использовании тип ориентации и выбор базового объекта (при необходимости) осуществляется курсором мышки в рабочем поле без вызова дополнительных команд и задания настроек в **Панели свойств**.

Результат добавления размеров показан на рис. 7.24.

22. Выделить все размеры командой **Выделить ⇒ По типу ⇒ Линейные размеры** и войти в их свойства, запустив команду **ПКМ ⇒ Свойства** на любом размере.

В появившемся слева от рабочего поля окне **Свойства** в группе **Текст** для параметра **Текст после** поставить знак «*» (рис. 7.25) и после этого закрыть окно **Свойства**.

Примечание. На сборочном чертеже звездочкой будут указаны справочные размеры (см. п. 2 из Д.5).

23. Добавить указание о пайке, для чего запустить команду **Линия-выноска** из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (рис. 7.26).

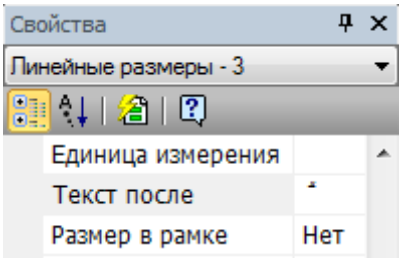


Рис. 7.25



Рис. 7.26

В **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в списке **Тип** выбрать **Для пайки**. Затем перейти на вкладку **Знак** и щелкнуть ЛКМ в поле **Текст**.

В открывшемся окне **Введите текст** выполнить следующее (рис. 7.27):

– в 1-й строке ввести **п. 2**. Это заготовка ссылки на 2-й пункт технических требований (ТТ) сборочного чертежа «усилителя», который будет создан в разд. 19;

– во 2-й строке ввести **2 места**, выделить надпись и в **Панели свойств** установить высоту символов **2.5**. Данная надпись означает, что пайку необходимо произвести в двух местах;

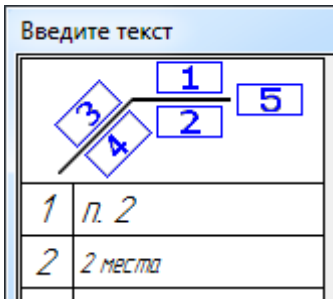


Рис. 7.27

– закрыть окно кнопкой **OK**.

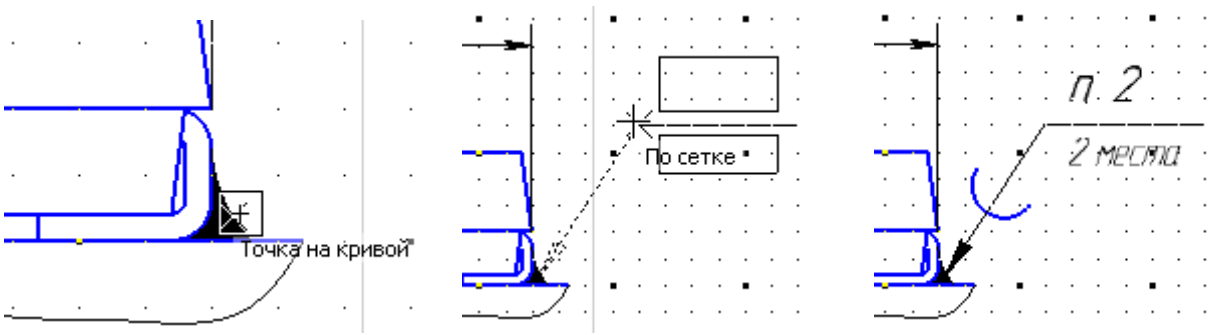
В рабочем поле на **виде спереди** разместить линию-выноску, для чего проделать следующее:

– запустить команду **ПКМ ⇒ Привязка ⇒ Точка на кривой** (включение локальной привязки);

– ЛКМ указать точку на сплайне, ограничивающем заливку около вывода конденсатора (рис. 7.28, *а*). Это точка, на которую будет указывать линия-выноска;

– ЛКМ указать точку начала полки (рис. 7.28, *б*);

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект** и завершить команду клавишей **Esc**;



а *б* *в*

Рис. 7.28

– щелкнуть ЛКМ по созданной линии-выноске для ее выделения;

– при необходимости отредактировать положение полки и значка пайки, потянув за характерные точки, отмеченные черными квадратами;

– на линии-выноске выполнить команду **ПКМ ⇒ Очистить фон**, тем самым отключив эту опцию (за линией-выноской не будет белого фона, перекрывающего попадающие под него объекты).

Результат добавления линии-выноски показан на рис. 7.28, *в*.

Примечания:

– все настройки линии-выноски при необходимости можно поменять, запустив на ней команду ПКМ ⇒ Редактировать;

– подробная информация об условном изображении пайки содержится в ГОСТ 2.313–82 [49].

24. Запустить команду **Линия-выноска** (см. рис. 7.26).

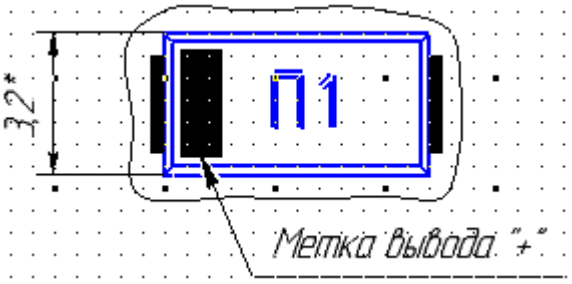


Рис. 7.29

В **Панели свойств** на вкладке **Знак** щелкнуть ЛКМ в поле **Текст** и в открывшемся окне **Введите текст** в 1-й строке ввести **Метка вывода “+”**.

После этого на **виде сверху** отвести линию-выноски от закрашенного прямоугольника, обозначающего полярность (рис. 7.29).

Если случайно было поставлено лишнее ответвление, то для его удаления выполнить следующие действия:

– войти в режим редактирования, запустив на объекте команду **ПКМ ⇒ Редактировать**;

– щелкнуть ЛКМ по точке на конце ненужного ответвления, в результате чего она изменит цвет с черного на зеленый;

– нажать клавишу **Delete**;

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**.

25. Запустить команду **Ввод текста** (см. рис. 6.41) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения**.

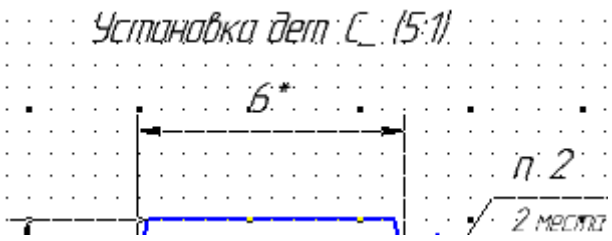


Рис. 7.30

В панели свойств в группе **Размещение** выбрать **По центру**, а затем над **видом спереди** добавить надпись **Установка дет. С_ (5:1)**, как показано на рис. 7.30.

Примечание. В надписи содержится следующая информация:

– дет. – сокращение слова «деталь» по ГОСТ Р 2.316–2023;

– С_ – буквенный код по ГОСТ 2.710–81, характеризующий вид элемента (конденсатор), и нижнее подчеркивание для указания номера элемента;

– (5:1) – масштаб чертежа установки для варианта «П1».

26. На **виде сверху** удалить номер варианта.

Затем командой **Ввод текста** (ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения**) добавить на этом месте номер варианта текстом с параметрами по п. 20 из 6.5. Размер шрифта увеличить в соответствии с масштабом изображения.

Примечание. В варианте «П1» параметры шрифта: Шрифт – GOST type B; высота символов – 7; Курсив и Полужирный – отключено.

27. Командой **Усечь кривую** (см. рис. 6.20) максимально упростить изображения, убрав малоинформативные линии, что соответствует требованиям ГОСТ Р 2.109–2023 для сборочных чертежей и необходимо для уменьшения их загруженности (см. п. 1.5 из 19.1).

28. Подвинуть при необходимости объекты с **вида сверху** к объектам **вида спереди**, используя команду **Сдвиг** (см. рис. 6.20) и зажатую клавишу **Shift** (ортогональный режим), а также выравнять по горизонтали размерные линии размеров, показывающих высоту и ширину компонента.

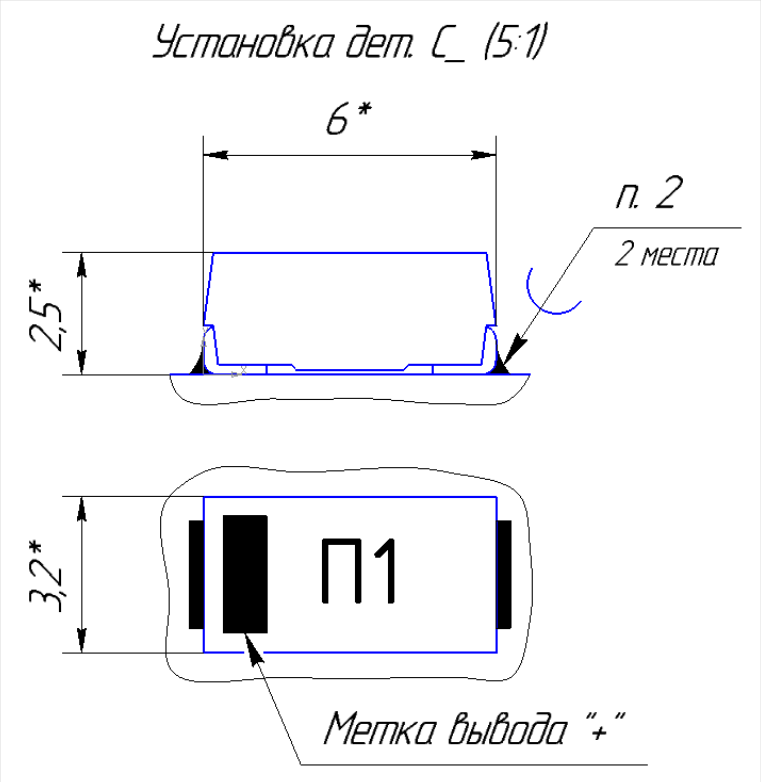


Рис. 7.31

29. Сохранить изменения в чертеже установки компонента (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» с отключенным отображением сетки (см. п. 5 из 6.5) показан на рис. 7.31.

30. В **Altium Designer** выполнить следующие действия:

30.1. Командой **File ⇒ Open Project** открыть проект интегрированной библиотеки с танталовым конденсатором, если он был закрыт.

Примечание. В варианте «П1» проект расположен в папке …\ИДРЭС-П1\Усилитель_Библиотека\Capacitors-П1.

30.2. Открыть библиотеку УГО по аналогии с п. 4 из 6.6.

30.3. В панели **SCH Library** в списке Components дважды щелкнуть ЛКМ по строке с УГО (или выделить ее ЛКМ и нажать кнопку **Edit**).

Затем в открывшемся окне Library Component Properties в разделе **Parameters** с помощью кнопки **Add** добавить параметр **PI_Drawing** и присвоить ему значение в соответствии с названием установочного чертежа конденсатора (см. п. 4).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 7.32.

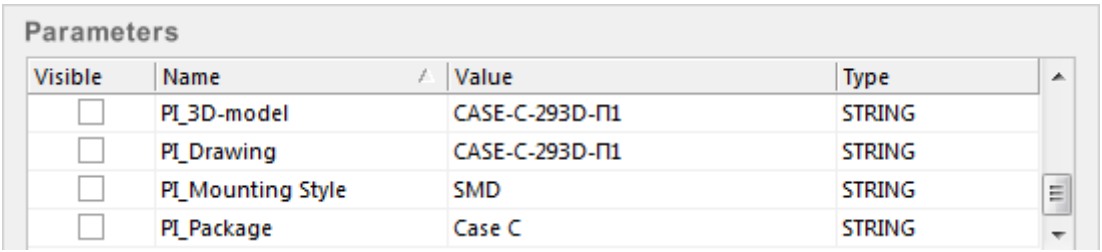


Рис. 7.32

30.4. Сохранить изменения в УГО (**Ctrl+S**).

30.5. Перекомпилировать проект интегрированной библиотеки:

– указать путь для сохранения файла интегрированной библиотеки в ту же папку, где он находится в данный момент (см. п. 3 из 5.5);

– сохранить изменения в проекте (см. п. 4 из 5.5);

– скомпилировать или перекомпилировать проект, выполнив на нем команду **ПКМ ⇒ Compile Integrated Library** или **ПКМ ⇒ Recompile Integrated Library** (команды также доступны из меню **Project**).

Примечание. Разница в этих командах заключается в скорости работы, так как при перекомпиляции обновляются только те элементы проекта, которые были изменены (при компиляции обновляются все объекты);

– закрыть проект интегрированной библиотеки.

30.6. Удалить интегрированную библиотеку из списка установленных библиотек (см. п. 7 из 5.5).

Примечание. В результате работы, проделанной в разд. 5–7, для танталового конденсатора были созданы:

– библиотечный компонент, состоящий из УГО для обозначения на схемах и посадочного места для разработки топологии ПП;

– 3D-модель для создания 3D-модели печатного узла;

– чертеж установки для создания сборочного чертежа печатного узла.

Со временем у разработчика появляется достаточно большой объем подобных материалов и возникает потребность в их систематизации, например для быстрого поиска данных на необходимые компоненты или их составные части, на основе которых можно сделать другие компоненты. Решить проблему помогает хранение такой информации в базе данных, а при использовании библиотеки в виде базы данных (см. п. 3 из 5.1) создание дополнительных файлов не требуется.

База данных от использованной при проектировании библиотеки в виде базы данных выполнена в Microsoft Access и хранится в файле ИДРЭС-ADLibrary.mdb из папки …\ИДРЭС\AD library (см. рис. 2.9).

31. Удалить вспомогательную информацию:

– из папки **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Установочные чертежи** – файл «**CASE-C-293D-П1.cdw.bak**» (backup-файл установочного чертежа);

– всю папку **…ИДРЭС-П1\Усилитель_Библиотека\Capacitors-П1**, в результате чего останется только файл интегрированной библиотеки.

7.4. Содержание отчета

По 7-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести рисунок установочного чертежа танталового конденсатора без рамки и с отключенным отображением сетки (см. п. 5 из 6.5).

Примечание. Перемещение изображения в рабочем поле осуществляется в соответствии с информацией п. 7.4 из 6.5.

8. СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ «УСИЛИТЕЛЯ»

8.1. Общие сведения

Определения терминам ***схема*** и ***схема электрическая*** были даны в 3.1.

Схема принципиальная (полная) – документ, определяющий полный состав элементов и взаимосвязи между ними и, как правило, дающий полное (детальное) представление о принципах работы изделия (установки). Код этого типа схемы – 3.

Принципиальными схемами пользуются для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, контроле и ремонте. Они служат основанием для разработки других КД, например схем соединений (монтажных) и чертежей.

Общий код для схемы электрической принципиальной – **Э3**.

К основным правилам оформления схем Э3 относятся следующие:

1. Обозначение устройств:

1.1. Схемы выполняют без соблюдения масштаба, действительное пространственное расположение составных частей изделия (установки) не учитывают или учитывают приближенно.

1.2. УГО элементов, устройств, функциональных групп и соединяющие их линии электрической связи располагают на схеме так, чтобы обеспечить наилучшее представление о структуре изделия и взаимодействии его частей.

1.3. Функциональную группу или устройство, не имеющее самостоятельной схемы Э3, выполняют на схемах в виде фигуры из контурных штрихпунктирных линий, равных по толщине линиям электрической связи.

1.4. На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы (соединители и т. п.), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

1.5. Схемы выполняют для изделий в отключенном состоянии.

1.6. Устройства, имеющие самостоятельную принципиальную схему, выполняют на схемах в виде фигуры сплошной линией, равной по толщине линиям электрической связи.

Допускается выполнять устройства в виде фигуры линией в два раза толще линии электрической связи.

2. Линии электрической связи:

2.1. Линии электрической связи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от форматов схемы и размеров УГО. Рекомендуемая толщина линий – от 0,3 до 0,4 мм.

В Altium Designer в схемном редакторе предусмотрено всего четыре толщины линий:

– smallest (очень тонкая) – 0,016 мм;

– small (тонкая) – 0,254 мм;

– medium (средняя) – 0,762 мм;

– large (толстая) – 1,27 мм.

При проектировании толщина линий электрической связи и линий в УГО выбрана равной **small** и задана в настройках из 3.2.2.

2.2. Расстояние между соседними параллельными линиями электрической связи должно быть не менее 3 мм.

Чтобы это правило автоматически выполнялось при проектировании, выводы всех УГО расположены в сетке 3 мм.

2.3. Для упрощения схемы допускается слияние нескольких электрически не связанных линий электрической связи в линию групповой связи, но при подходе к контактам (элементам) каждую линию электрической связи изображают отдельной линией. Через дробную черту на рис. 8.1 после порядковых номеров линий указано число их разветвлений в линии групповой связи.

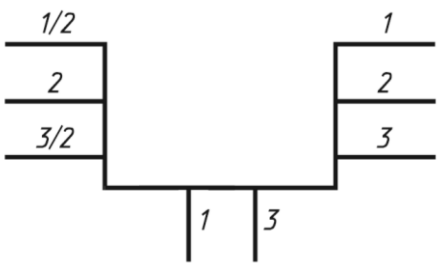


Рис. 8.1 [11]

При необходимости линии групповой связи делаются утолщенными (ГОСТ 2.721–74).

В данном учебном пособии толщина линий групповой связи выбрана равной **medium** и задана в настройках из 3.2.2. Пример ее использования приведен в п. 3.3.4 из Г.48 и показан на рис. Г.181.

2.4. На поле схемы допускается помещать указания о марках, сечениях и расцветках проводов и кабелей (многожильных проводов, электрических шнуров), которыми должны быть выполнены соединения элементов, а также указания о специфических требованиях к электрическому монтажу данного изделия.

2.5. Линии электрической связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений.

В отдельных случаях допускается применять наклонные отрезки линий электрической связи, длину которых следует по возможности ограничивать.

2.6. Линии электрической связи, переходящие с одного листа или одного документа на другой, следует обрывать за пределами изображения схемы без стрелок. Рядом с обрывом должно быть указано обозначение или наименование, присвоенное этой линии (например, номер провода, наименование сигнала или его сокращенное обозначение и т. п.), и в круглых скобках номер листа схемы (и зоны при ее наличии) при выполнении схемы на нескольких листах, например лист 5 зона А6 (5, А6), или обозначение документа при выполнении схем самостоятельными документами, на который переходит линия электрической связи.

Для таких обрывов можно использовать идентификаторы цепей **Port** (см. п. 1.3 из Г.27), но рекомендуются **Net Label** (см. п. 1.1 из Г.27 и Г.48).

2.7. Линии электрической связи должны быть показаны, как правило, полностью. Если они затрудняют чтение схемы, то в пределах одного листа их допускается обрывать, заканчивая стрелками. Около стрелок указывают места обозначений прерванных линий, например подключения, и (или) необходимые характеристики цепей (например, полярность, потенциал и т. п.).

Для таких обрывов используются идентификаторы цепей **Power Port** (см. п. 1.2 из Г.27) и (или) **Net Label** совместно с УГО стрелки из соответствующей библиотеки (см. Г.48).

3. Позиционные обозначения и номиналы:

3.1. Каждый элемент и (или) устройство, имеющее самостоятельную принципиальную схему и рассматриваемое как элемент, входящие в изделие и изображенные на схеме, должны иметь обозначение (позиционное обозначение) в соответствии с ГОСТ 2.710–81.

Например, общее обозначение устройства – **A**.

3.2. Позиционные обозначения элементам (устройствам) следует присваивать в пределах изделия (установки).

3.3. Порядковые номера элементам (устройствам) следует присваивать, начиная с единицы, в пределах группы элементов (устройств), которым на схеме присвоено одинаковое буквенное позиционное обозначение, например: *R1*, *R2*, *R3* и т. д.

3.4. Порядковые номера должны быть присвоены в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо.

3.5. Позиционные обозначения проставляют на схеме рядом с УГО элементов и (или) устройств с правой стороны или над ними (см. рис. 5.41).

3.6. На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы и устройства, входящие в состав изделия и изображенные на схеме. Данные о них должны быть записаны в перечень элементов. При этом связь перечня с УГО элементов осуществляется через позиционные обозначения.

3.7. При указании около УГО номиналов резисторов и конденсаторов допускается применять упрощенный способ обозначения единиц измерений:

а) для резисторов:

– от 0 до 999 Ом – без указания единиц измерения;

– от $1 \cdot 10^3$ до $999 \cdot 10^3$ Ом – в килоомах с обозначением единицы измерения строчной буквой **к**;

– от $1 \cdot 10^6$ до $999 \cdot 10^6$ Ом – в мегаомах с обозначением единицы измерения прописной буквой **М**;

– свыше $1 \cdot 10^9$ Ом – в гигаомах с обозначением единицы измерения прописной буквой **Г**;

б) для конденсаторов:

– от 0 до $9999 \cdot 12^{-12}$ Ф – в пикофарадах без указания единицы измерения;

– от $1 \cdot 10^{-8}$ до $9999 \cdot 10^{-6}$ Ф – в микрофарадах с обозначением единицы измерения строчными буквами **мк.**

По ГОСТ 2.004–88 допускается использовать прописные буквы:

– **К** – единица измерения сопротивления (килоом);

– **МК** – единица измерения емкости (микрофарад).

3.8. При выполнении принципиальной схемы на нескольких листах:

– при присвоении элементам позиционных обозначений соблюдают сквозную нумерацию в пределах изделия (установки);

– перечень элементов должен быть общим;

– отдельные элементы допускается повторно изображать на других листах схемы, сохраняя позиционные обозначения, присвоенные им на одном из листов схемы.

3.9. Если на схеме изделия есть функциональные группы, то вначале присваивают позиционные обозначения элементам, не входящим в функциональные группы, а затем элементам, входящим в функциональные группы.

При наличии в изделии нескольких одинаковых функциональных групп позиционные обозначения элементов, присвоенные в одной из этих групп,

следует повторять во всех последующих группах. Обозначение функциональной группы, присвоенное по ГОСТ 2.710–81, указывают около изображения функциональной группы (сверху или справа).

3.10. При изображении на схеме элемента или устройства разнесенным способом позиционное обозначение элемента или устройства проставляют около каждой составной части.

Пример изображения устройства совмещенным и разнесенным способами показан на рис. 8.2.

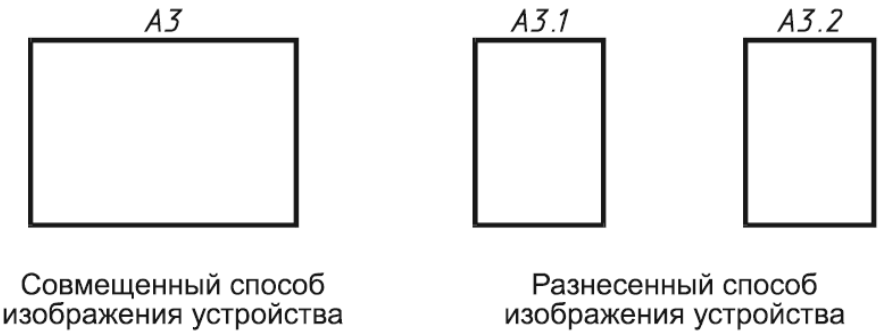


Рис. 8.2 [11]

3.11. На схеме изделия, в состав которого входят устройства, не имеющие самостоятельных принципиальных схем, допускается позиционные обозначения элементам присваивать в пределах каждого устройства. Если в состав изделия входит несколько одинаковых устройств, то позиционные обозначения элементам следует присваивать в пределах этих устройств.

3.12. При изображении на схеме элементов, параметры которых подбирают при регулировании, около позиционных обозначений этих элементов на схеме и в перечне элементов проставляют звездочки (например, *R1**), а на поле схемы помещают сноску: «* Подбирают при регулировании».

4. Надписи на схеме:

4.1. На схеме рекомендуется указывать характеристики входных и выходных цепей изделия (частоту, напряжение, силу тока, сопротивление, индуктивность и т. п.), а также параметры, подлежащие измерению на контрольных контактах, гнездах и т. п.

4.2. На схемах допускается помещать различные технические данные, характер которых определяется назначением схемы. Их указывают либо около УГО (по возможности справа или сверху), либо на свободном поле схемы.

Около УГО элементов и устройств помещают, например, номинальные значения их параметров, а на свободном поле схемы – диаграммы, таблицы, текстовые указания (диаграммы последовательности временных процессов,

циклограммы, таблицы замыкания контактов коммутирующих устройств, указания о специфических требованиях к монтажу и т. п.).

4.3. Текстовые данные приводят на схеме в тех случаях, когда содержащиеся в них сведения нецелесообразно или невозможно выразить графически или в виде УГО. Содержание текста должно быть кратким и точным. В надписях не должны применяться сокращения слов, за исключением общепринятых или установленных в стандартах.

УГО, надписи или знаки, предназначенные для нанесения на изделие, заключают в кавычки.

4.4. Над основной надписью допускается помещать необходимые технические указания, например: требования о недопустимости совместной прокладки некоторых проводов, жгутов, кабелей; минимально допустимые размеры между проводами, жгутами, жгутами и кабелями и т. п.

При выполнении схемы на нескольких листах технические указания, являющиеся общими для всей схемы, располагают на свободном поле (по возможности над основной надписью) первого листа схемы, а технические указания, относящиеся к отдельным элементам, располагают или в непосредственной близости от изображения элемента, или на свободном поле того листа, где они являются наиболее необходимыми для удобства чтения схемы.

8.2. Подготовительные действия

Так как схема Э3 «усилителя» впоследствии будет использоваться для создания ПП, то она должна находиться в составе проекта ПП (PCB Project). Поэтому подготовительные действия к созданию схемы будут следующими:

1. Создать проект ПП.

Для этого запустить команду **File ⇒ New ⇒ Project** и в открывшемся окне **New Project** (рис. 8.3, *а*):

– в группе **Project Types** выбрать **PCB Project**;

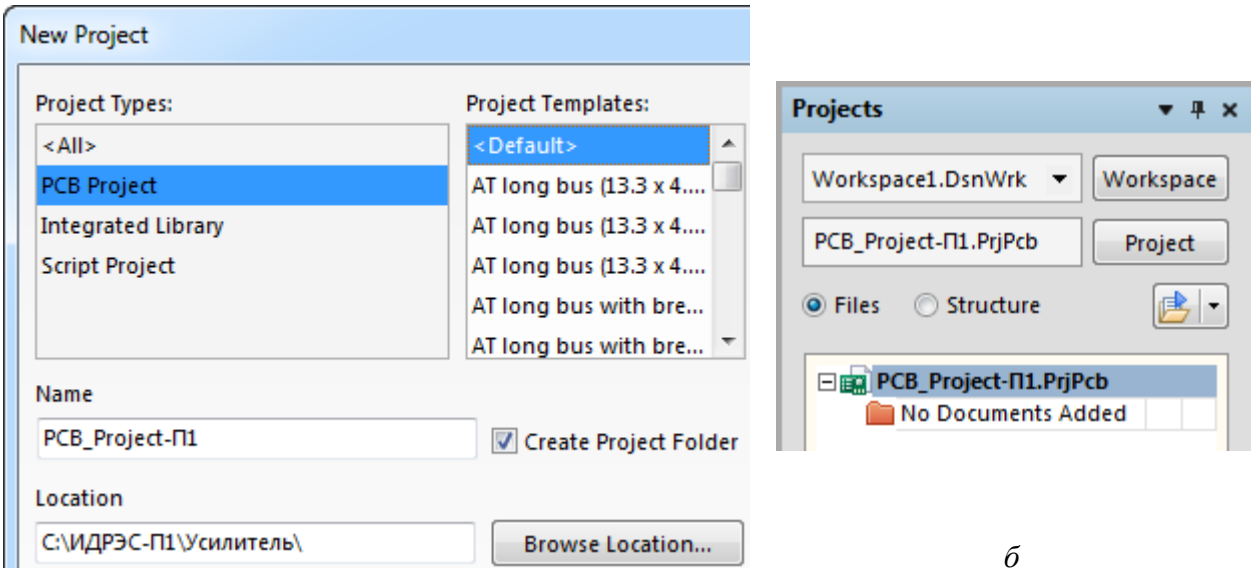
– в группе **Project Templates** выбрать **<Default>**;

– в поле **Name** присвоить имя проекту в виде **PCB_Project-XX**, где вместо XX указать номер варианта;

– включить опцию **Create Project Folder** (в этом случае для проекта ПП будет создана отдельная папка с его названием);

– в поле **Location** с помощью кнопки **Browse Location** указать путь расположения проекта. В варианте «П1» – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель**.

Затем применить изменения кнопкой **OK**.

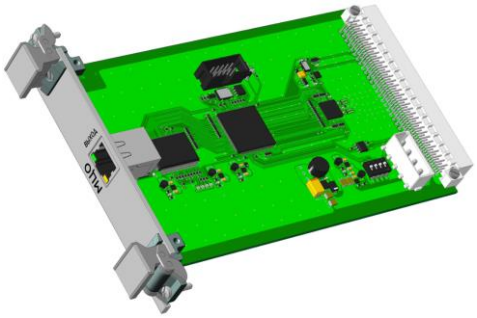


а *б*

Рис. 8.3

В результате в панели Projects появится пустая группа с названием файла проекта ПП и расширением «.PrjPcb» (рис. 8.3, *б*).

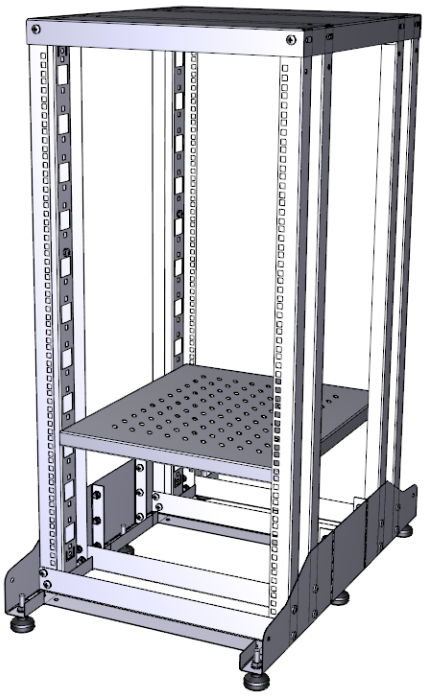
Примечание. В группе Project Templates (рис. 8.3, а) перечислены заготовки проектов для типовых конструктивов ПП, которые также можно создавать самостоятельно. Например, ПП стандарта евромеханика (eurocard), устанавливаемая в блочный каркас высотой 3U (U – величина, равная 44,45 мм или 1,75 дюйма) для телекоммуникационной стайки (рис. 8.4).



ПП с передней панелью и ручками



Каркас блочный с направляющими, высота – 3U, ширина – 19 дюймов



Стойка телекоммуникационная

Рис. 8.4

2. Схема Э3 «усилителя» будет разработана на одном листе, поэтому необходимо создать один документ схемы внутри проекта.

Для этого в панели **Projects** на названии проекта выполнить команду **ПКМ ⇒ Add New to Project ⇒ Schematic**.

Примечания:

– новый документ схемы также можно создать из панели Files, щелкнув ЛКМ по пункту Schematic Sheet в группе New;

– в Altium Designer во многолистовых проектах каждый лист схемы представляет собой отдельный документ (см. Г.48).

3. Сохранить схему с расширением «.SchDoc» в папку проекта, запустив в панели Projects на ее названии команду **ПКМ ⇒ Save As**. Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.01Э3 - Усилитель - v0.1**» (см. рис. 2.8).

Примечание. Во многолистовых проектах каждый лист схемы рекомендуется называть по функциональному назначению изображенных на нем групп компонентов (например, питание или СВЧ-тракт как в Г.48).

4. Подключить рамку листа формата А3 – **А3-1-ИДРЭС-AD.SchDot** (см. п. 3 из 3.2.3).

5. В графах 2, 7 и 8 основной надписи вместо ручного редактирования информации указать ссылки на параметры (особенно актуально для многолистовых проектов), для чего выполнить следующие действия:

5.1. Запустить команду **Tools ⇒ Annotation ⇒ Number Schematic Sheets** и в открывшемся окне нажать кнопки (рис. 8.5):

– **Auto Sheet Number** с параметрами **Display Order** (в порядке отображения) и **Increasing** (нумерация с увеличением) для автоматического присвоения порядковых номеров листам проекта в столбце SheetNumber;

– **Update Sheet Count** для подсчета общего количества листов в проекте и заполнения ячеек столбца SheetTotal каждого листа;

– **OK** для применения изменений.

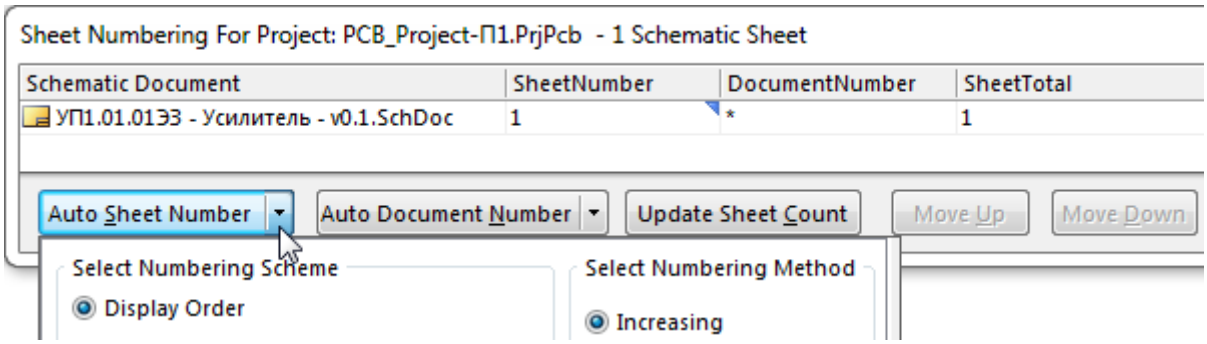


Рис. 8.5

Примечания:

– порядок листов можно менять кнопками Move Up и Move Down;

– номера листов можно записывать самостоятельно в соответствующие ячейки столбца SheetNumber;

– во многолистовых проектах номера листов используются для их автоматического указания около объектов Port в соответствии с п. 2.6 из 8.1.

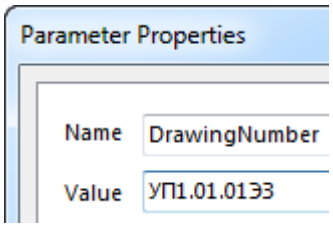


Рис. 8.6

5.2. Запустить команду **Project ⇒ Project Options** и в открывшемся окне перейти на вкладку **Parameters**. Затем нажать кнопку **Add** и в появившемся окне **Parameters Properties** записать (рис. 8.6):

– в поле **Name** – имя параметра **DrawingNumber** (можно задать произвольное);

– в поле **Value** – обозначение документа схемы (на рисунке указано **УП1.01.01Э3** для варианта «П1» по табл. 2.1).

После этого применить изменения в двух окнах кнопкой **OK**.

6. Заполнить значения параметров в основной надписи рамки и ее дополнительных графах в соответствии с табл. 8.1 (вкладка **Parameters** в окне, вызываемом командой **Design ⇒ Document Options**). Содержание остальных параметров должно соответствовать данным табл. 3.2.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1 и на рис. 3.6, *а* и *в*.

Таблица 8.1

Параметры рамки для схемы Э3 «усилителя», отличающихся от схемы Э1 «модуля усилителя»

Название параметра	Значение	Комментарий к заполнению
01.1_Наименов. изд.	Усилитель	Наименование изделия определено в табл. 2.1
01.3_Наименов. док.	Схема электрическая принципиальная	–
02_Обознач. док.	=DrawingNumber	Указана ссылка на параметр из п. 5.2
07_Номер листа	См. комментарий	Для проекта из одного листа значение отсутствует. Во многолистовом проекте для отображения текущего номера листа необходимо дать ссылку на параметр из п. 5.1 (=SheetNumber)
08_Кол. листов	=SheetTotal	Указана ссылка на параметр из п. 5.1
25_Перв. примен.	УП1.01.01	Обозначение спецификации, в которой записан КД, определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»

7. Скорректировать предварительные настройки проекта, для чего запустить команду **Project ⇒ Project Options** и в открывшемся окне выполнить следующее:

7.1. На вкладке **Class Generation** в группе **Automatically Generated Classes** (автоматическое создание классов) для листа схемы отключить опцию **Component Classes** (опция **Generate Rooms** также отключится).

Примечания:

– класс цепей (Net Class) и класс компонентов (Component Class) – группа объектов (цепей или компонентов), объединенных по заданному признаку. Классы используются для быстрого выбора входящих в них объектов, а также для задания правил проектирования как общих для всех объектов в данном классе, так и между различными классами (например, минимальные зазоры на ПП до других объектов);

– комната (Room) – область, ограничивающая на ПП расположение находящихся в ней компонентов. Для нее при необходимости можно задать отличающиеся от всего проекта правила проектирования (например, наличие переходных отверстий уменьшенных размеров).

7.2. На вкладке **Class Generation** в группе **User-Defined Classes** (пользовательские классы) включить опцию **Generate Component Classes**.

Примечание. В этом случае в схеме можно создавать классы компонентов (таким компонентам вручную присваивается параметр ClassName с указанием имени класса), которые будут передаваться в редактор ПП.

7.3. На вкладке **Options**:

– в группе **Netlist Options** включить опции **Allow Ports to Name Nets** и **Power Port Names Take Priority** (опцию **Allow Sheet Entries to Name Nets** можно отключить);

– в группе **Net Identifier Scope** выбрать опцию **Global (Netlabels and ports global)**.

После этого применить изменения в открытом окне кнопкой **OK**.

Примечание. Описание указанных опций приведено в табл. Г.11 и Г.12.

8. Подключить к проекту ПП библиотеки компонентов.

Для этого сначала убедиться в том, что в панели **Projects** выбран созданный проект, после чего открыть панель **Libraries** и в верхней ее части нажать одноименную кнопку.

Затем в открывшемся окне **Available Libraries** выполнить следующее:

– перейти на вкладку **Project**;

– кнопкой **Add Library** добавить интегрированную библиотеку для танталового конденсатора с расширением «.IntLib» (расположение указано в п. 2 из 5.2.1). Результат в варианте «П1» показан на рис. 8.7;

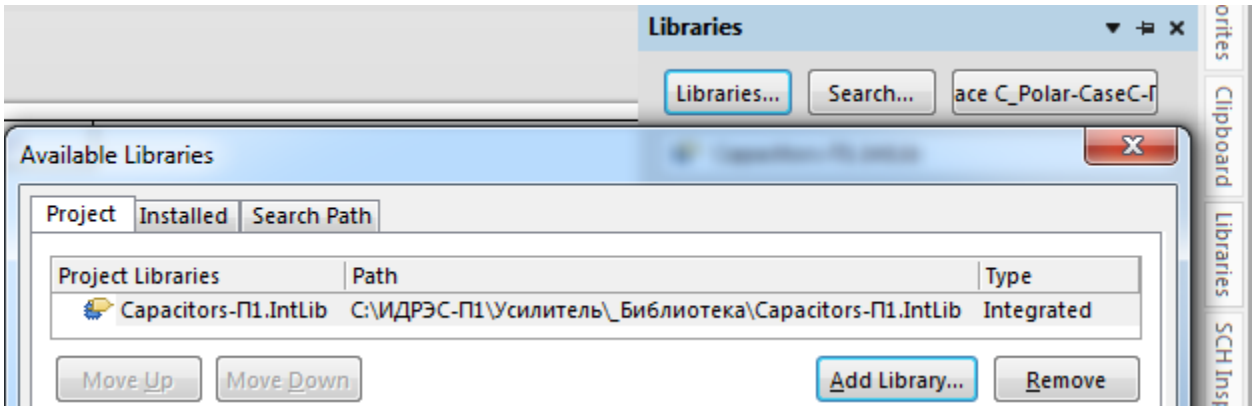


Рис. 8.7

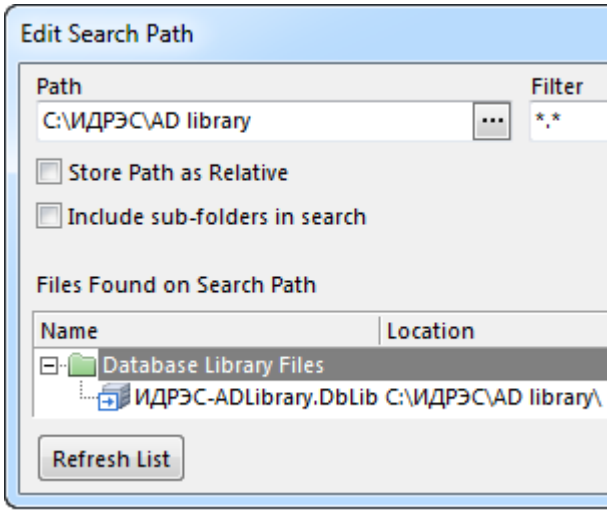


Рис. 8.8

– перейти на вкладку **Search Path** и нажать кнопку **Paths**;

– в открывшемся окне на вкладке **Search Paths** нажать кнопку **Add**;

– в появившемся окне **Edit Search Path** в поле **Path** с помощью соответствующей пиктограммы указать путь к папке с библиотекой компонентов в виде базы данных (папка **…\ИДРЭС\AD library** с рис. 2.9);

– отключить опции **Store Path as Relative** (отображение пути относительно папки проекта) и **Include sub-folders in search** (поиск во всех папках внутри указанной папки);

– нажать кнопку **Refresh List** и убедиться в том, что в списке найденных файлов появилась библиотека с расширением «.DbLib» (рис. 8.8);

– закрыть два открытых окна кнопками **OK**, а окно **Available Libraries** кнопкой **Close**.

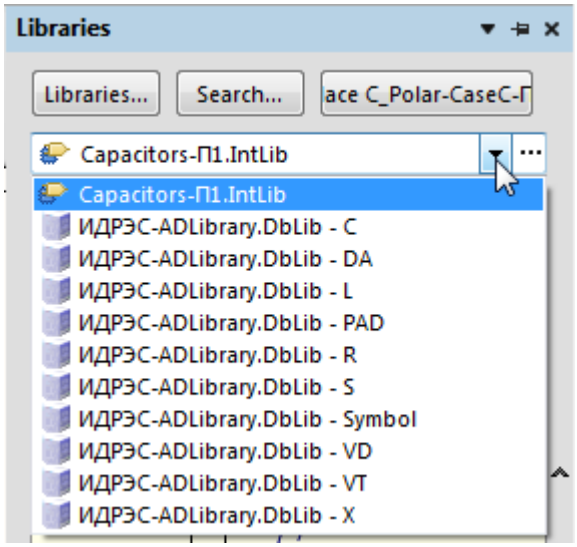


Рис. 8.9

Результат подключения библиотек компонентов в панели **Libraries** в варианте «П1» показан на рис. 8.9.

Примечания:

– библиотеки компонентов подключались не на вкладке Installed окна Available Libraries, чтобы они загружались только в конкретном проекте;

– библиотеку компонентов в виде базы данных можно было также подключить на вкладке Project окна Available Libraries;

– описание работы с панелью Libraries приведено в Г.9;

– создание библиотеки компонентов в виде базы данных описано в Г.34.

9. Запустить команду **DXP ⇒ Preferences** и в окне **Preferences**:

– для удобства размещения УГО на схеме отключить выделение пинов, для чего в подразделе **Schematic ⇒ Graphical Editing** включить опцию **Shift Click To Select** (см. табл. Г.3);

– включить отображение предупреждений в реальном времени, для чего в подразделе **Schematic ⇒ Compiler** включить опцию **Warning** (подробнее см. в табл. Г.3).

Затем закрыть окно кнопкой **OK**.

10. Сохранить изменения в схеме (**Ctrl+S**).

11. Сохранить изменения в проекте (см. п. 4 из 5.5).

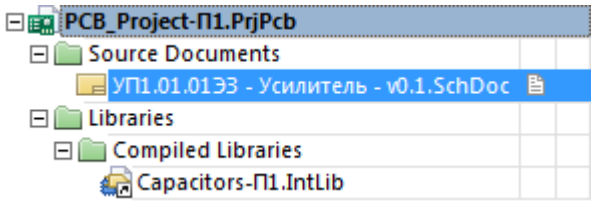


Рис. 8.10

Остальные настройки для редактора схем были загружены в 3.2.2.

Состав проекта из панели **Projects** в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 8.10. Черная стрелка в нижнем правом углу иконки документа означает, что он не находится в папке проекта.

8.3. Создание схемы Э3

Для создания схемы Э3 «усилителя» выполнить следующее:

1. Освежить в памяти назначение применяемых при проектировании компонентов по В.1–В.10.

2. Если проект был закрыт, то открыть его командой **File ⇒ Open Project** (расположение указано в п. 1 из 8.2).

3. Если схема была закрыта, то открыть ее одним из двух способов:

– сделать двойной щелчок ЛКМ по ее названию в панели **Projects**;

– выполнить команду **ПКМ ⇒ Open** на ее названии в панели **Projects**.

4. Создать участок схемы с ПФ:

4.1. Освежить в памяти внешний вид структуры ПФ из разд. 4 по рисункам его схемы и 3D-модели, сохраненным в отчете.

4.2. Перейти в сетку **3** мм.

4.3. В рабочем поле схематично изобразить структуру ПФ без подводящих линий, т. е. без элементов MLIN:

4.3.1. Добавить отрезки МПЛ (компонент **MICROSTRIP** из библиотеки «**ИДРЭС-ADLibrary.DbLib - Symbol**»):

– в вариантах задания с ШТ – с вертикальной ориентацией УГО по числу полосковых элементов из элемента M5CLIN;

– в вариантах задания с СЛ – с горизонтальной ориентацией УГО по две штуки на каждый элемент MCFIL.

Примечания:

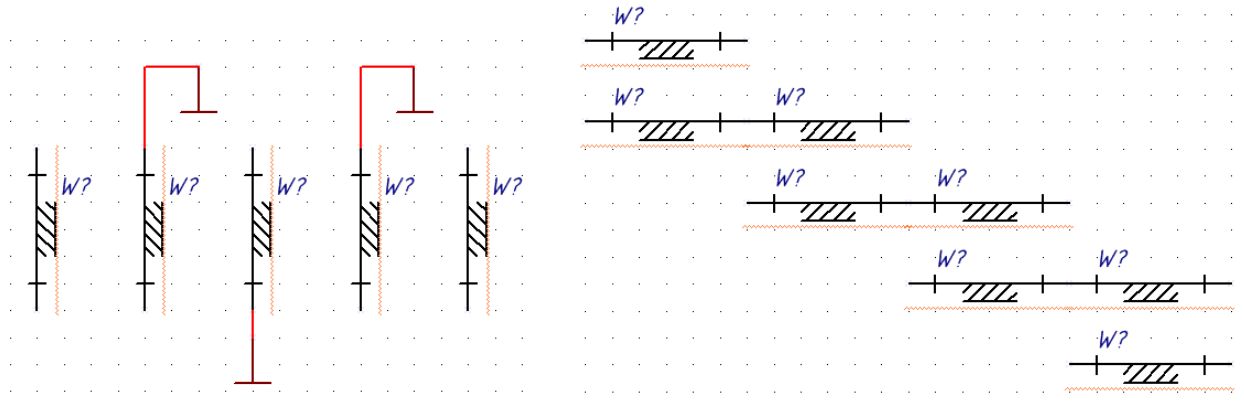
– способы добавления компонентов описаны в Г.28, действия при их перемещении – в Г.29, а возможности выравнивания – в Г.30;

– далее в тексте при добавлении компонента из библиотеки в виде базы данных будет указываться только подраздел без полного названия (например, компонент MICROSTRIP из библиотеки Symbol).

4.3.2. В вариантах задания с ШТ последовательным нажатием клавиш **P ⇒ O** добавить символы земли (идентификаторы цепи **GND Power Port**) по числу элементов MLSC.

4.3.3. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ W** (создание линии электрической связи) осуществить необходимые соединения.

Возможный результат для ШТ 5-го порядка показан на рис. 8.11, *а*, а для СЛ 3-го порядка – на рис. 8.11, *б*.



а *б*

Рис. 8.11

Оранжевая фигурная линия у МПЛ означает, что системой обнаружены нарушения при создании схемы. Их список можно посмотреть, задержав курсор мышки на компоненте (рис. 8.12). В данном случае это два нарушения:

– предупреждение с требованием назначить позиционные обозначения;

– ошибка, связанная с наличием нескольких компонентов с одинаковым позиционным обозначением (W?).

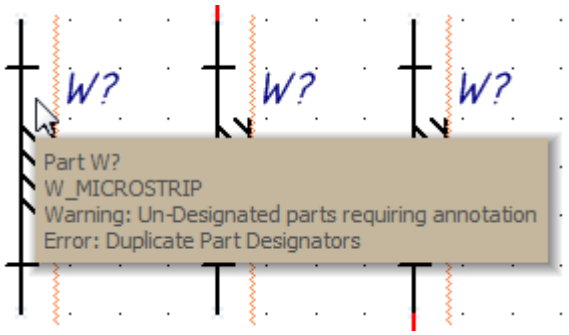


Рис. 8.12

Перенумерация компонентов будет выполнена в конце создания схемы, поэтому на данном этапе на такие нарушения не следует обращать внимания.

Примечание. Подробнее об отображении нарушений описано в подразделе Compiler из табл. Г.3.

4.4. Перейти в сетку **1** мм.

4.5. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ D ⇒ L** (создание линии) нарисовать замкнутый прямоугольный контур из штрихпунктирных линий в соответствии с п. 1.3 из 8.1 вокруг ПФ. Линии должны быть нарисованы отдельными штрихами, так как стиль линии **Dash Dotted** не соответствует указанным в ГОСТ 2.303–68 параметрам: штрихпунктирная линия должна состоять из штрихов длиной 5–30 мм, находящихся друг от друга на расстоянии 3–5 мм, в промежутке между которыми расположены короткие штрихи.

Расстояние до других объектов от нарисованного контура должно быть не менее 3 мм.

Примечание. В варианте «П1» длина длинных штрихов выбрана 10 мм, длина коротких штрихов – 1 мм, а размер зазоров – 2 мм.

4.6. В верхнем правом углу над нарисованным контуром последовательным нажатием клавиш **P ⇒ T** поместить надпись **A1** в соответствии с пп. 3.1 и 3.9 из 8.1.

В свойствах надписи изменить размер шрифта на **12**.

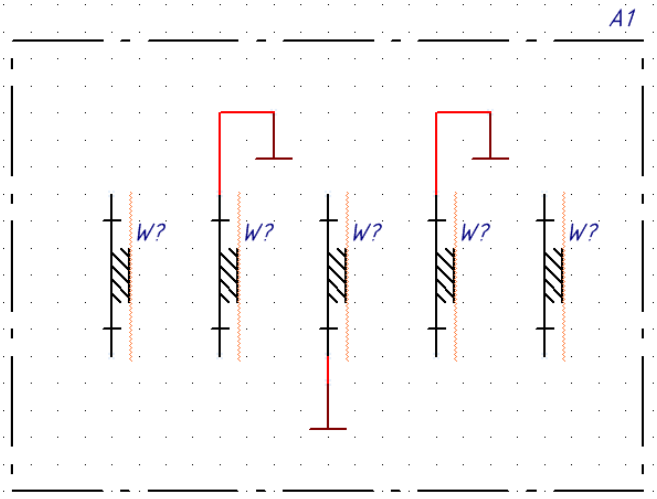


Рис. 8.13

4.7. Перейти в сетку **3** мм.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 8.13.

4.8. Сгруппировать все нарисованные объекты.

Примечания:

– переместить группу можно за любую часть штрихпунктирного контура или текстовую надпись, но если потянуть за УГО или линию электрической связи, то они будут перемещаться отдельно от группы. Для предотвращения подобного можно включить блокировку: массовым выделением мышкой выбираются УГО и линии электрической связи, а затем в панели SCH Inspector в разделе Graphical включается опция Lock (рис. 8.14);

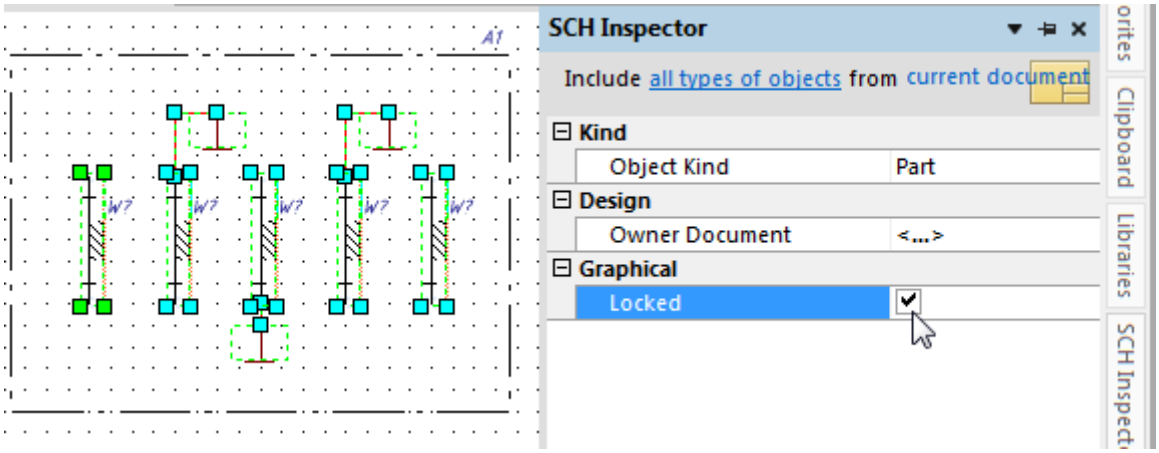


Рис. 8.14

– на выделение заблокированных объектов влияет опция Protect Locked Objects (см. табл. Г.3);

– особенности работы с панелью SCH Inspector приведены в Г.10.

4.9. Добавить и подключить входные КП:

– слева от ПФ добавить три компонента **PAD_r150_300** (планарные КП прямоугольной формы и размером 1,5 × 3,0 мм) из библиотеки **PAD**, расположив их друг под другом пинами к ПФ;

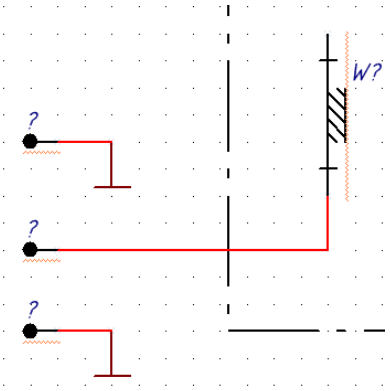


Рис. 8.15

– около верхней и нижней КП последовательным нажатием клавиш **P ⇒ O** добавить символы земли (идентификаторы цепи **GND Power Port**);

– последовательным нажатием клавиш **P ⇒ W** (создание линии электрической связи) соединить верхнюю и нижнюю КП с символами земли, а среднюю КП – с отрезком МПЛ на входе ПФ.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 8.15.

4.10. Сохранить изменения в схеме (**Ctrl+S**).

5. Создать участок схемы с усилителем:

5.1. Добавить керамический разделительный конденсатор фирмы ATC серии 600 в корпусе типоразмера 0805 (600F) или 0603 (600S) с горизонтальной ориентацией УГО. Их заготовки (компоненты **C0603-600S** и **C0805-600F** соответственно) находятся в библиотеке **C**. После этого соединить его с отрезком МПЛ на выходе ПФ.

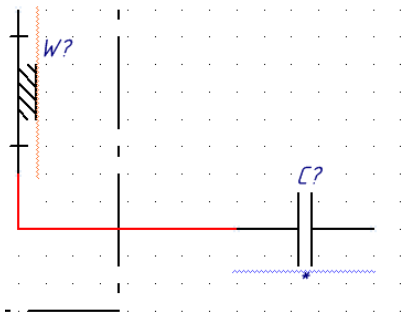


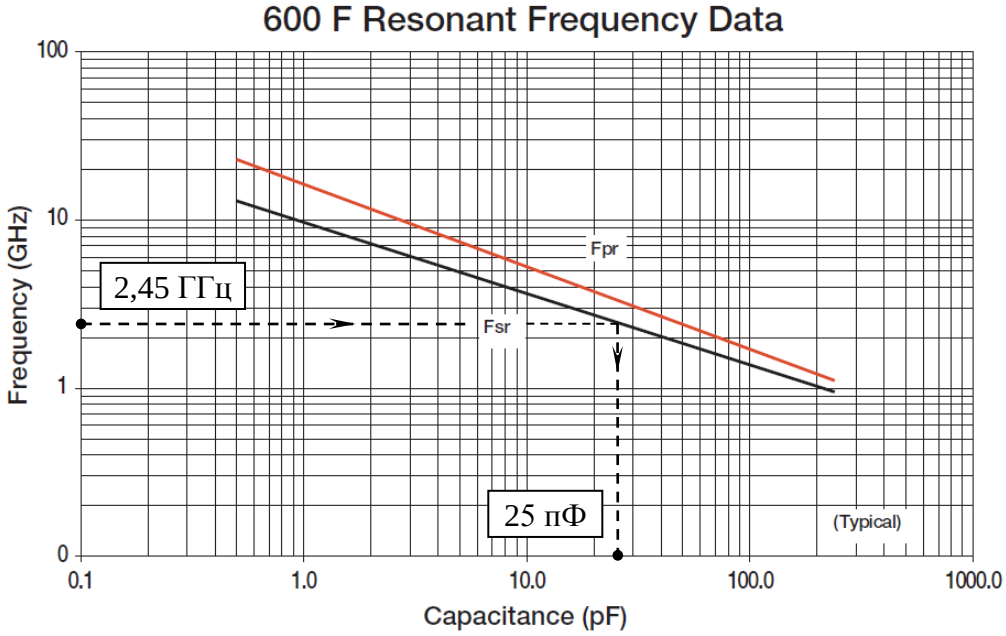
Рис. 8.16

В варианте «П1» добавлен компонент **C0805-600F** (рис. 8.16). Подчеркивание синей фигурной линией означает наличие предупреждения, связанного с требованием назначить позиционное обозначение компоненту.

5.2. Чтобы на центральной частоте, вычисленной по (3.1), модуль импеданса разделительного конденсатора был мал (см. В.2), определить его емкость по кривой **Fsr** с графика *Resonant Frequency Data* из документации.

Нахождение емкости в варианте «П1» показано на рис. 8.17, *а*.

График и соответствующие пояснения привести в отчете.



а

Capacitance Values

Value (pF)	Cap Code	Marking	Tolerances
22	220	J1	F, G, J, K, M
24	240	K1	F, G, J, K, M
27	270	L1	F, G, J, K, M

б

F	G	J	K	M
±1%	±2%	±5%	±10%	±20%

в

Рис. 8.17

5.3. Для найденного значения емкости выбрать ближайший стандартный номинал по таблице *Capacitance Values*, приведенной в документации. Ее фрагмент для значения из варианта «П1» показан на рис. 8.17, *б*.

5.4. В окне свойств разделительного конденсатора (двойной щелчок ЛКМ или запуск команды **ПКМ ⇒ Properties**) в группе **Parameters** заполнить значения параметров, содержащих символ «*».

Значения параметров в варианте «П1» приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Значения параметров разделительного конденсатора из варианта «П1»

Параметр	Значение	Особенность записи значения
CI_Value	24	Номинал указать с учетом п. 3.7 из 8.1
CI_Tolerance	±10 %	Допуск выбрать любой из ряда, указанного для выбранного номинала в таблице *Capacitance Values* из документации. Расшифровка кодов допуска содержится в таблице *Tolerance Code Table*, также приведенной в документации. Ее фрагмент для кода **K** показан на рис. 8.17, *в*
CI_BOM	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	Указать Part Number, номинал, допуск, рабочее напряжение, температурный коэффициент емкости (ТКЕ) и типоразмер корпуса. Part Number составляется по системе обозначений, приведенной в документации. Также пример Part Number конденсатора фирмы ATC разобран в В.2

Примечание. Значения параметров также можно заполнить в панели SCH Inspector в разделе Parameters (рис. 8.18).

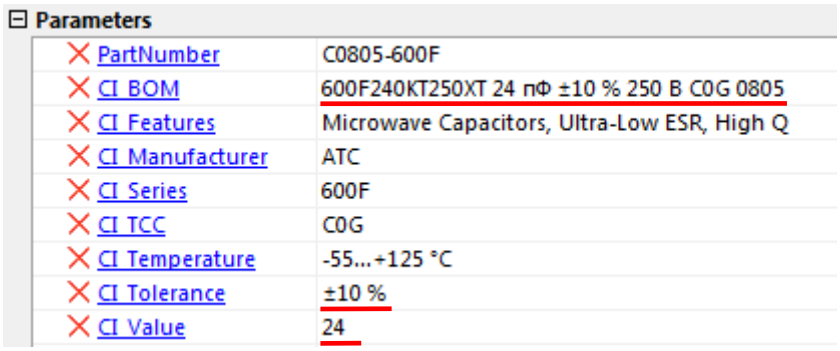
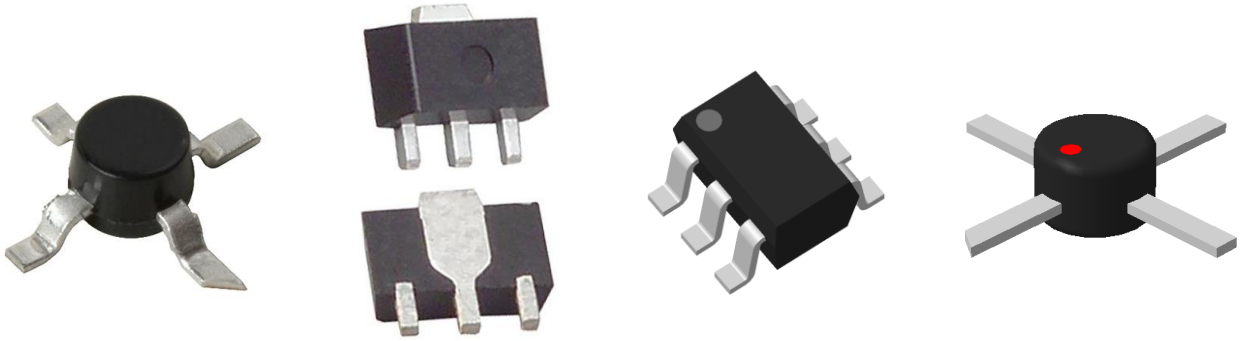


Рис. 8.18

5.5. Добавить указанную в варианте индивидуального задания микросхему усилителя из библиотеки **DA**, после чего ее вход соединить со свободным выводом разделительного конденсатора.

В варианте «П1» добавлена микросхема **GALI-3+** фирмы Mini-Circuits в корпусе SOT-89-3 (столбец 8 из табл. 1.1).

Примечание. Названия корпусов других микросхем усилителей, используемых при проектировании, указаны в значении параметра PI_Package, а их внешние виды показаны на рис. 8.19. Также вид корпуса можно посмотреть для каждого компонента в панели Libraries (см. Г.9).



SOT-86 SOT-89-3 SOT-363-6 VV105

Рис. 8.19

5.6. Все выводы **GND** микросхемы усилителя подключить к земле.

Примечание. Здесь и далее по тексту «подключение к земле» означает соединение соответствующих выводов с одним или несколькими символами земли (идентификаторы цепей GND Power Port).

5.7. Скопировать (**Ctrl+C**) разделительный конденсатор с выхода ПФ, а затем вставить его (**Ctrl+V**) справа от микросхемы усилителя и соединить с ее выходом.

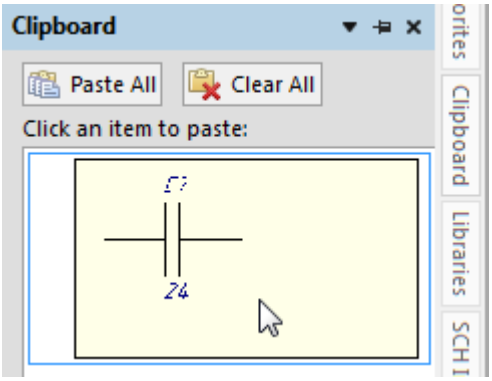


Рис. 8.20

Примечания:

– при копировании все настройки компонента также копируются;

– вставку компонента также можно производить из панели Clipboard щелчком ЛКМ по нему (рис. 8.20).

5.8. Между выходом микросхемы усилителя и разделительным конденсатором подключить отрезок МПЛ с вертикальной ориентацией УГО (компонент **MICROSTRIP** из библиотеки **Symbol**).

Затем выбрать компонент щелчком ЛКМ и в панели **SCH Inspector** в разделе **Parameters** для параметра **CI_Value** указать значение четверти длины волны, вычисленное по (4.8).

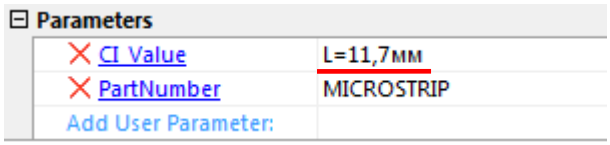


Рис. 8.21

Примечание. Пример записи значения в варианте «П1» показан на рис. 8.21.

5.9. Добавить на схему два конденсатора из панели **Clipboard**, и расположить их над отрезком МПЛ слева и справа.

Затем выполнить следующие действия:

– соединить свободный вывод отрезка МПЛ с ближайшими выводами конденсаторов;

– свободные выводы конденсаторов подключить к земле.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 8.22.

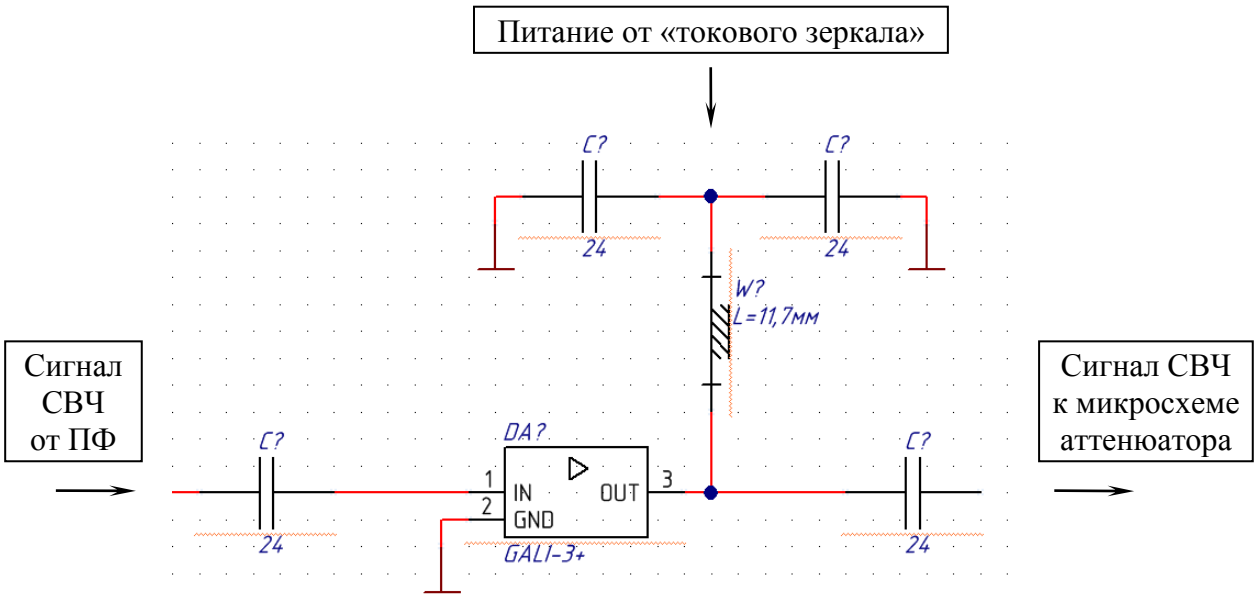


Рис. 8.22

Примечание. Отрезок МПЛ и два блокировочных конденсатора обеспечивают развязку по питанию, которое будет подаваться от схемы «токового зеркала» в точку их соединения.

По переменному току сопротивление конденсаторов мало. Отрезок МПЛ с заданной выше длиной представляет собой четвертьволновый трансформатор, и его входное сопротивление обратно пропорционально сопротивлению нагрузки. В результате для СВЧ-сигнала на центральной частоте со стороны микросхемы усилителя входное сопротивление отрезка МПЛ будет достаточно большим, поэтому он пойдет только через разделительный конденсатор на вход микросхемы аттенюатора.

По постоянному току сопротивление конденсаторов бесконечно большое, а отрезок МПЛ представляет собой обычный проводник. Поэтому питание от «токового зеркала» беспрепятственно пройдет на выход микросхемы усилителя в соответствии с требованиями ее включения по документации и не поступит на вход микросхемы аттенюатора.

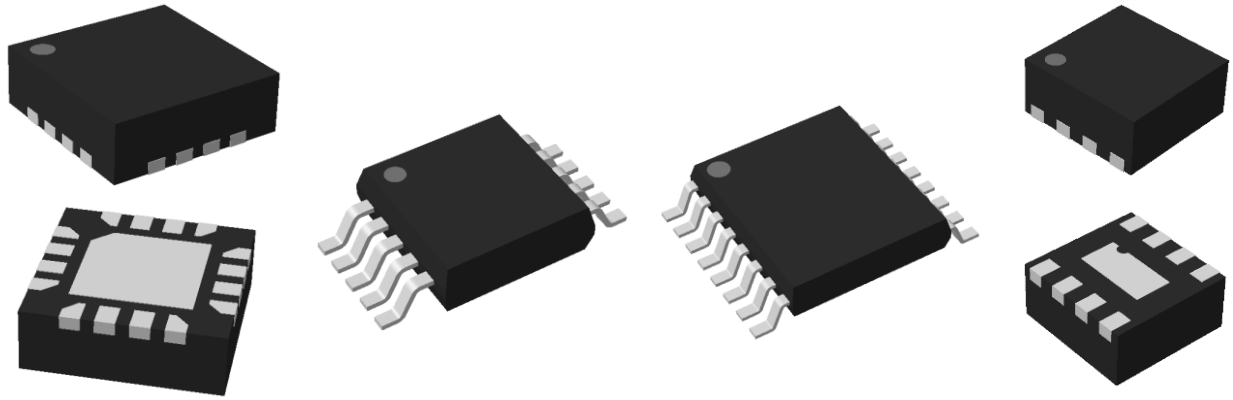
5.10. Сохранить изменения в схеме (**Ctrl+S**).

6. Создать участок схемы с аттенюатором:

6.1. Добавить указанную в варианте индивидуального задания микросхему аттенюатора из библиотеки **DA**.

В варианте «П1» добавлена микросхема **HMC467LP3** фирмы Hittite в корпусе QFN-16 с размерами 3 × 3 мм (столбец 9 из табл. 1.1).

Некоторые корпуса микросхем аттенюаторов показаны на рис. 8.23.



QFN-16 MSOP-10 TSSOP-16 PDFN-8

Рис. 8.23

6.2. Изучить по документации, которая находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Аттенюаторы** (см. рис. 2.9), назначение и особенность подключения каждого вывода добавленной микросхемы аттенюатора.

Необходимая информация содержится на функциональной схеме (*Functional Diagram*), на примере включения микросхемы (*Application Circuit*), на примере расположения микросхемы на плате (*Evaluation PCB*) и в таблице с описанием выводов (*Pin Descriptions*). Названия могут отличаться от приведенных выше в зависимости от производителя.

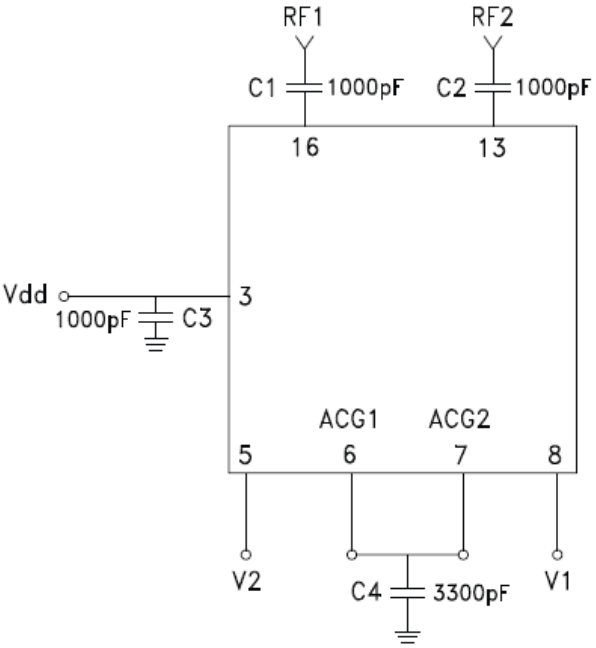


Рис. 8.24

Условное изображение корпуса микросхемы HMC467LP3 с обозначением выводов показано на рис. 3.25, *а*, а пример ее включения – на рис. 8.24. У нее есть следующие выводы:

– **N/C** (выводы 1, 2, 4, 9–12, 14, 15), которые внутри корпуса обычно никуда не подключены (no connection). Их наличие связано с тем, что в исполь-

зованном стандартном корпусе количество выводов больше, чем требуется для работы данной микросхемы. Иногда производитель рекомендует подключать их к земле;

– **VDD** (вывод 3), предназначенный для подачи питания (supply voltage). Около этого вывода требуется установка блокировочного конденсатора;

– **V1** (вывод 8) и **V2** (вывод 5), предназначенные для подачи управляющих напряжений (control voltage) и изменения вносимого ослабления в соответствии с таблицей *Truth Table*, рассмотренной в п. 9.14 из 3.3. Иногда производитель рекомендует подавать управляющие сигналы через токоограничивающие резисторы номиналом 100 Ом;

– **ACG1** (вывод 6) и **ACG2** (вывод 7), предназначенные для подключения к земле через внешние конденсаторы. На ПП располагать такие конденсаторы необходимо как можно ближе к соответствующим выводам;

– **RF1** (вывод 16) и **RF2** (вывод 13), предназначенные для подачи и снятия полезного сигнала через разделительные конденсаторы (вход и выход микросхемы). Зачастую они равнозначны;

– **Exposed Pad**, находящийся под корпусом микросхемы и предназначенный для соединения с металлическим полигоном (земля).

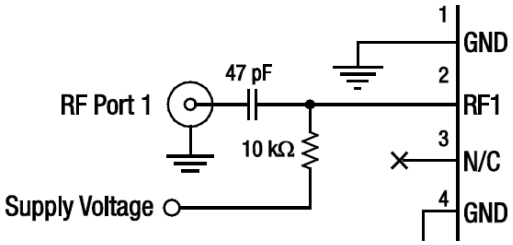


Рис. 8.25

При отсутствии отдельного вывода питания следует освежить в памяти информацию, приведенную в п. 9.12 из 3.3. Например, питание для микросхемы SKY12328-350LF подается в соответствии со схемой, фрагмент которой показан на рис. 8.25.

6.3. Подключить вход микросхемы аттенюатора к свободному выводу разделительного конденсатора, установленного на выходе микросхемы усилителя.

6.4. Добавить разделительный конденсатор из панели **Clipboard**, а затем подключить его к выходу микросхемы аттенюатора.

Если в панели **Clipboard** компонента нет (например, Altium Designer закрывался), то скопировать его (**Ctrl+C**) с выхода микросхемы усилителя.

6.5. Добавить и подключить выходные КП:

– за последним разделительным конденсатором добавить три компонента **PAD_r150_300** из библиотеки **PAD**, расположив их друг под другом пинами к микросхеме аттенюатора;

– верхнюю и нижнюю КП подключить к земле;

– среднюю КП подключить к свободному выводу разделительного конденсатора.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 8.26.

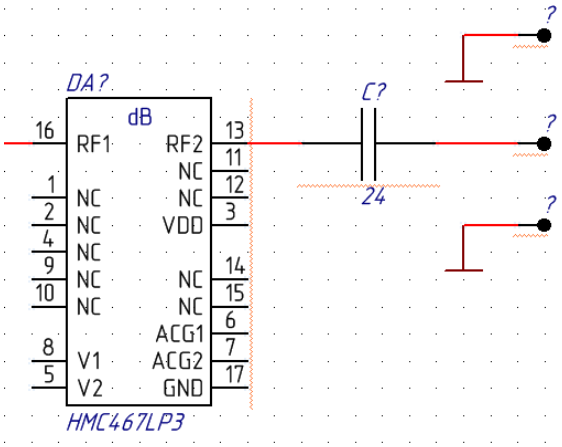


Рис. 8.26

6.6. Посчитать количество конденсаторов (кроме уже расположенных на входе и выходе), необходимых для работы микросхемы аттенюатора по данным из ее документации. После этого по табл. 8.3 определить их типоразмер и соответствующие ему первые символы из Part Number для серии GRM фирмы Murata.

Таблица 8.3

Выбор типоразмера конденсаторов для микросхемы аттенюатора

Кол.	Типоразмер	Первые символы Part Number
1	0805	GRM21
2 или 3	0603	GRM18
4 и более	0402	GRM15

В варианте «П1» по схеме с рис. 8.24 требуется установить два конденсатора (1000 и 3300 пФ), но для отличия от других вариантов задания выбран типоразмер 0805 (Part Number будет начинаться с символов GRM21).

Обратить внимание на следующее:

– у отдельного вывода питания должен быть блокировочный конденсатор (если в документации его нет, то руководствоваться рис. 8.24);

– зависимость типоразмера конденсаторов от количества обусловлена возможностью их размещения вокруг корпуса микросхемы на ПП;

– если установка конденсаторов не требуется, то перейти к п. 6.8.

6.7. Добавить на схему конденсаторы выбранного типоразмера и требуемых номиналов из библиотеки **C**.

Если в библиотеке нет нужного конденсатора фирмы Murata, то выполнить следующие действия:

– по табл. В.1 определить габаритные размеры выбранного типоразмера;

– в документации на конденсаторы по таблице *GRM Series Temperature Compensating Type* найти номер страницы с Part Number требуемого конденсатора для ТКЕ C0G, X7R или X5R. Если в указанной таблице компонента нет, то проверить таблицу *GRM Series High Dielectric Constant Type*;

– в документации перейти на страницу с найденным номером и определить Part Number конденсатора с наибольшим допуском номинала;

– добавить на схему из библиотеки **C** заготовку конденсатора с шестью первыми символами из найденного Part Number;

– в свойствах добавленного конденсатора заполнить значения параметров, содержащих символ «*».

Особенности заполнения параметров:

– для параметра **CI_BOM** указать Part Number (вместо символа «#» записать код упаковки **D**), номинал, допуск, рабочее напряжение, температурный коэффициент емкости (ТКЕ) и типоразмер корпуса. Расшифровка Part Number конденсаторов фирмы Murata кроме документации также дана в В.2;

– диапазон рабочих температур записать из столбца Operating Temperature Range таблицы Temperature Characteristics Table для выбранного ТКЕ.

Пример описанных действий для конденсатора типоразмера 0402 с номиналом 680 пФ показан на рис. 8.27.

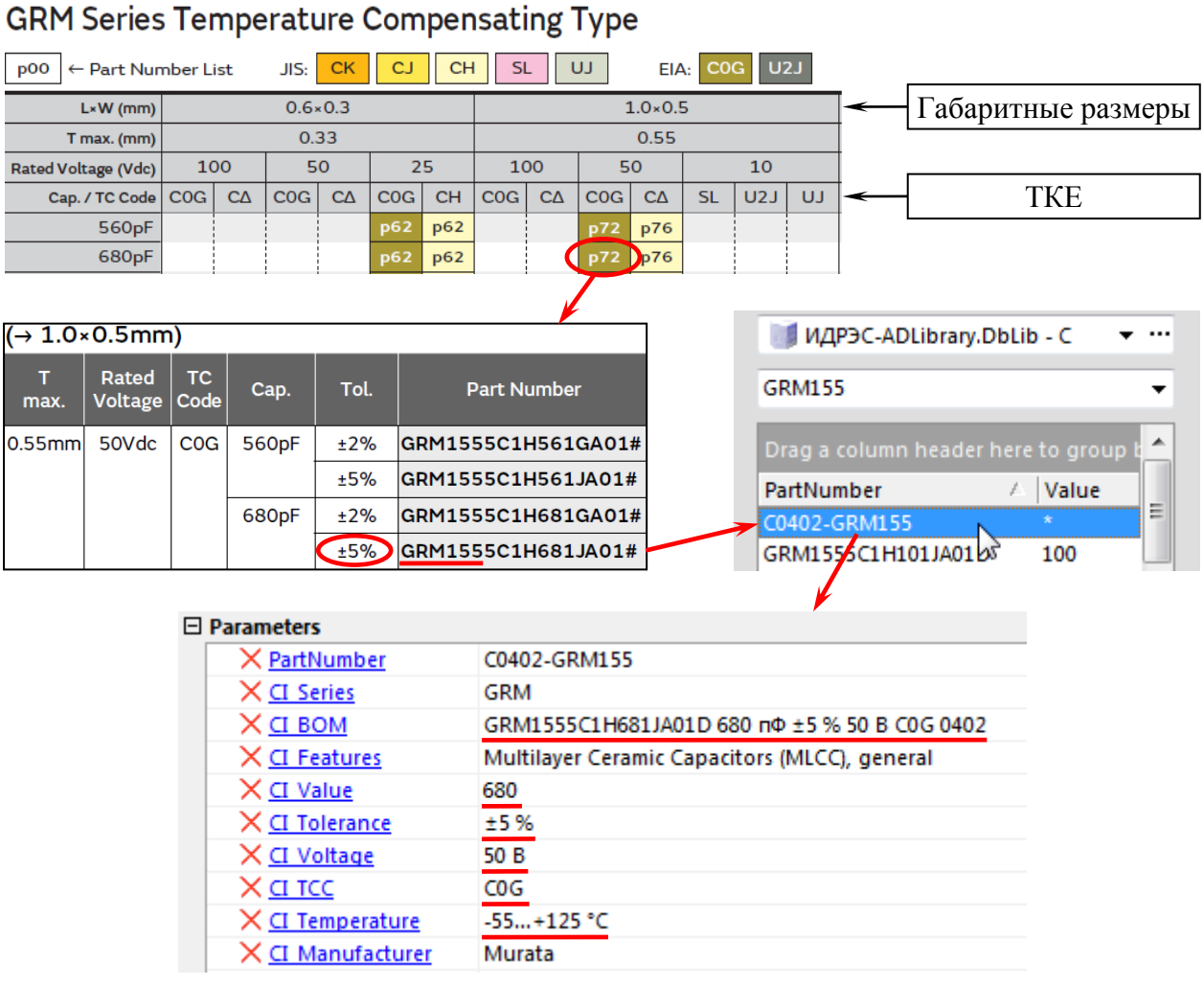


Рис. 8.27

6.8. По документации на микросхему аттенюатора определить необходимость установки резисторов (например, они могут понадобиться при подаче напряжения питания в соответствии с рис. 8.25 или для ограничения тока по выводам управления). Если указание об их размещении есть, то добавить на схему резисторы фирмы Yageo серии **RC** любого доступного типоразмера (0402, 0603 или 0805) из библиотеки **R** с требуемыми номиналами.

Если в библиотеке нет нужного резистора, то выполнить следующее:

– добавить заготовку резистора с выбранным типоразмером;

– заполнить значения параметров, содержащих символ «*». Для параметра **CI_BOM** указать Part Number, номинал, допуск, типоразмер корпуса и максимальную рассеиваемую мощность. Расшифровка Part Number резисторов фирмы Yageo содержится в В.1.

Пример описанных действий для резистора типоразмера 0402 с номиналом 4,7 кОм показан на рис. 8.28.

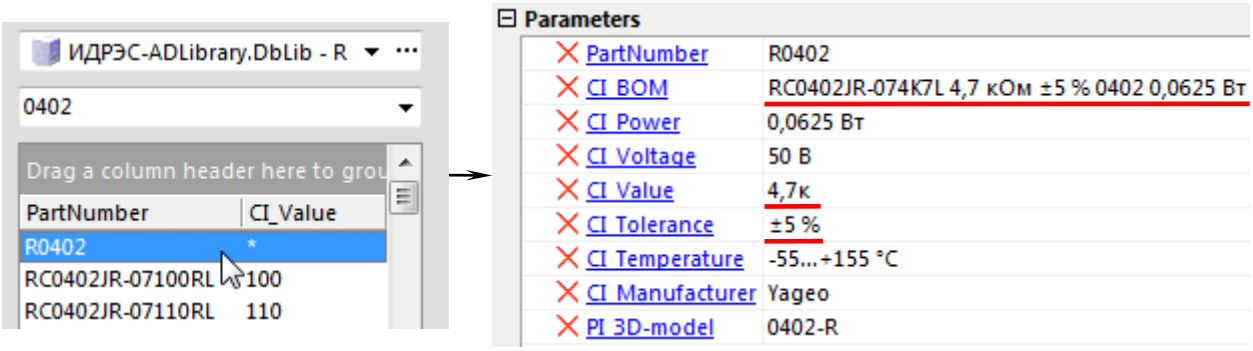
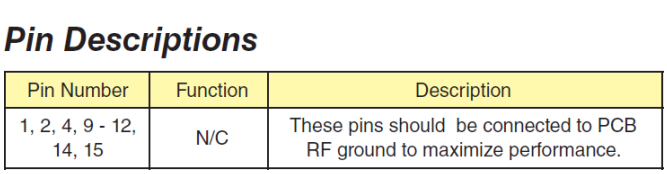


Рис. 8.28

В варианте «П1» по схеме с рис. 8.24 установка резисторов не требуется.

6.9. Все выводы **GND** микросхемы аттенюатора подключить к земле.

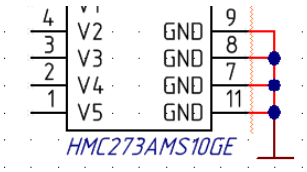
Также обратить внимание на рекомендации производителя относительно выводов **NC**. Например, у микросхемы HMC467LP3 их тоже следует подключить к земле (рис. 8.29, *а*), однако в варианте «П1» для отличия от других вариантов задания они были оставлены свободными.



Pin Descriptions

Pin Number	Function	Description
1, 2, 4, 9 - 12, 14, 15	N/C	These pins should be connected to PCB RF ground to maximize performance.

а



б

Рис. 8.29

Если к земле подключается несколько близко расположенных выводов, то следует соединить их только с одним символом земли (рис. 8.29, *б*).

6.10. Осуществить необходимые соединения добавленных компонентов (конденсаторов и резисторов) с выводами микросхемы аттенюатора и землей.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 8.30.

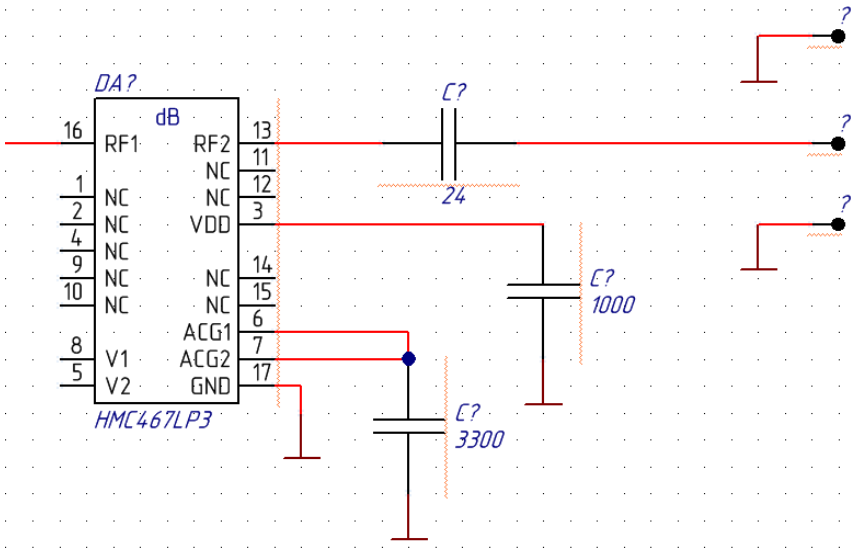


Рис. 8.30

6.11. Добавить идентификатор цепи **VCC Power Port** и подключить его к линии электрической связи, по которой будет поступать напряжение питания на микросхему аттенюатора.

Для этого выполнить следующее:

– на ПИ **Wiring** (рис. Г.77, *а*) или **Utilities** (рис. Г.77, *в*) щелкнуть ЛКМ по требуемому идентификатору;

– до размещения идентификатора в рабочем поле нажать кнопку **Tab**;

– в открывшемся окне свойств выбрать стиль **GOST Arrow**, включить опцию **Show Net Name** и в поле **Net** ввести осмысленное имя цепи в соответствии со значением напряжения питания, поступающим на микросхему аттенюатора (оно было указано на схеме Э1 по п. 9.12 из 3.3);

– применить изменения в окне свойств кнопкой **OK**;

– клавишей **Space** или комбинацией клавиш **Shift+Space** задать идентификатору цепи желаемую ориентацию;

– щелчком ЛКМ установить идентификатор цепи в рабочее поле и завершить команду клавишей **Esc** или щелчком **ПКМ**;

– осуществить необходимое соединение;

– подвести курсор мышки к линии электрической связи, подключенной к идентификатору цепи, и убедиться в правильности переименования цепи.

Следует отметить, что идентификатор цепи можно сразу установить на линию электрической связи, после чего скорректировать его положение.

В варианте «П1» на микросхему аттенюатора необходимо подать напряжение питания $U_{\text{атт}} = +5$ В, поэтому цепи присвоено имя **+5В** (рис. 8.31).

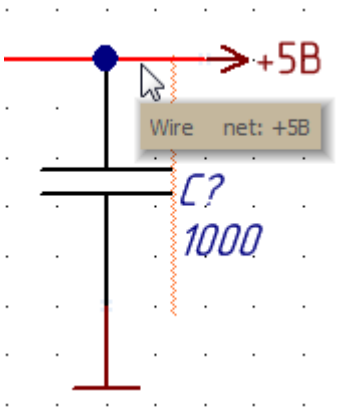


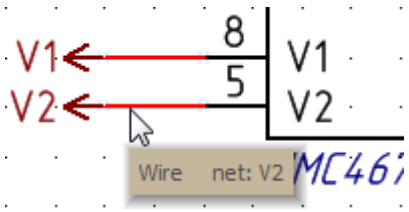
Рис. 8.31

Указанную величину необходимо сохранить.

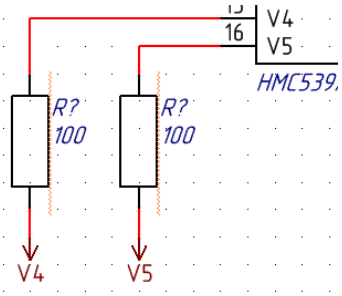
В варианте «П1» вычисления и записи по схеме Э3 «усилителя» сохранялись в Matcad в файле **Расчеты (Э3).xmcd** в папке **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Заметки** (см. рис. 2.8).

6.12. По п. 6.11 добавить и подключить идентификаторы цепей **VCC Power Port** к выводам управления микросхемы аттенюатора (или к выводам токоограничивающих резисторов при их наличии), задав им имена по названиям соответствующих выводов.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 8.32, *а*, а возможное подключение к токоограничивающим резисторам – на рис. 8.32, *б*.



а



б

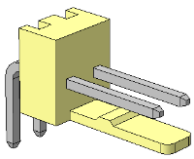
Рис. 8.32

Примечание. Для подобных цепей рекомендуется использовать варианты оформления с идентификаторами Net Label (см. пп. 3.3 и 3.4 из Г.48).

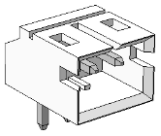
6.13. В вариантах задания с ВУ в соответствии с п. 11 из 1.2 добавить в любое удобное место схемы разъем управления из библиотеки **X**.

В варианте «П1» добавлен разъем **IDC-10MS** фирмы Connfly.

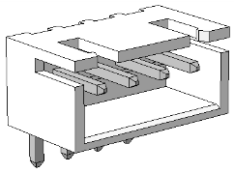
Внешние виды некоторых разъемов, используемых при проектировании для подачи управляющих сигналов и питания, показаны на рис. 8.33.



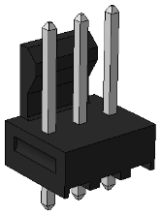
WF-2R



MW-2MR

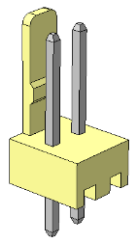


CWF-4R-B

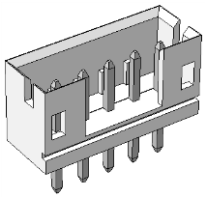


171856-0003

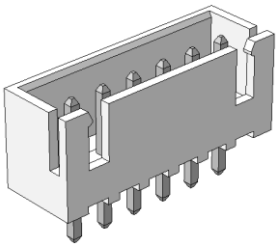
Рис. 8.33 Начало (окончание см. на с. 246)



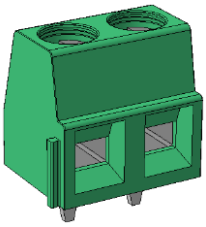
WF-2



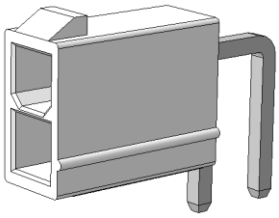
MW-5M



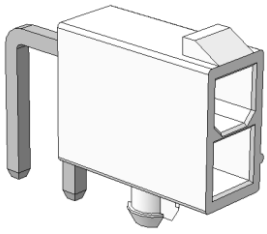
CWF-6



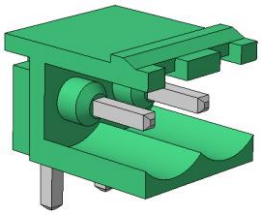
1729128



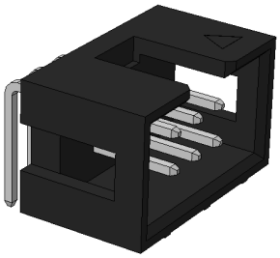
MF-2MR



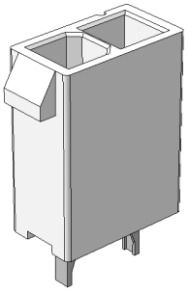
MF-2MRA



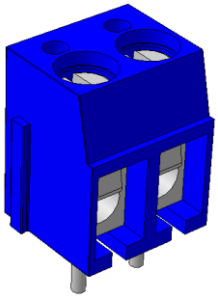
TLPH-200R-02P



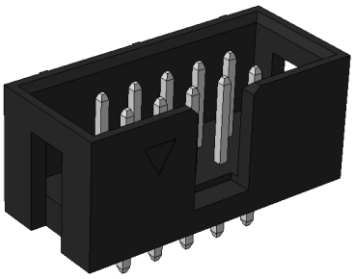
IDC-06MR



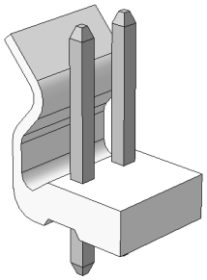
MF-2MA



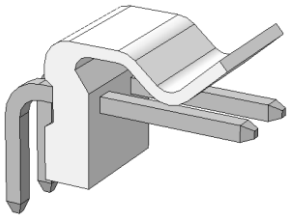
DG300-5.0-02P-12-00A(H)



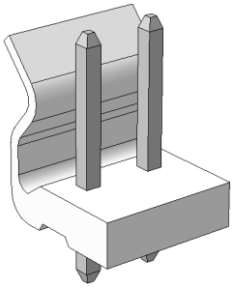
IDC-10MS



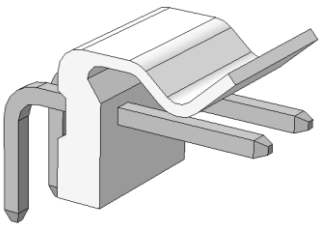
PWL-2



PWL-2R



MPW-2



MPW-2R

Рис. 8.33 Продолжение (начало см. на с. 245)

После этого выполнить следующее:

– добавить и подключить к выводам разъема идентификаторы цепей **VCC Power Port** с именами, заданными в п. 6.12 (последовательность добавления идентификаторов описана в п. 6.11);

– один из выводов разъема подключить к земле.

Примечание. В варианте «П1» подключение разъема произведено в соответствии с рис. 8.34 для отличия от других вариантов задания.

Примечание. Подключение цепей к выводам разъемов зачастую должно быть согласовано с другими устройствами, с которыми предстоит соединение. Например, как в интерфейсе USB (Universal Serial Bus – универсальная последовательная шина). В данном проекте на подключение не накладывается ограничений.

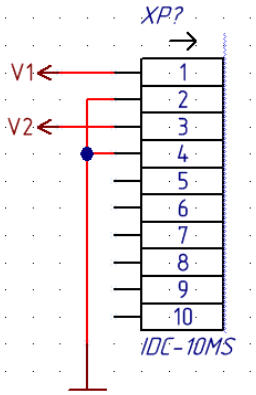


Рис. 8.34

6.14. В вариантах задания с РУ в соответствии с табл. 1.2 добавить в любое удобное место схемы требуемое количество коммутационных устройств из библиотеки **S** (некоторые из них приведены на рис. 8.35).


MPS-580D-G


DTSM-32N-V-T/R



SWD4-4

Рис. 8.35

При необходимости использования кнопок вне зависимости от их количества выбрать только один вариант из предлагаемых в таблице и указать причину решения в отчете.

После этого выполнить следующее:

– добавить и подключить ко всем выводам коммутационных устройств, расположенных на одной стороне их УГО (например, слева), идентификаторы цепей **VCC Power Port** с именами, заданными в п. 6.12 (последовательность действий описана в п. 6.11);

– если свободных выводов коммутационных устройств осталось больше одного, то объединить их линией электрической связи;

– добавить и подключить к выводам коммутационных устройств без идентификаторов цепей идентификатор **VCC Power Port** с именем цепи из п. 6.11;

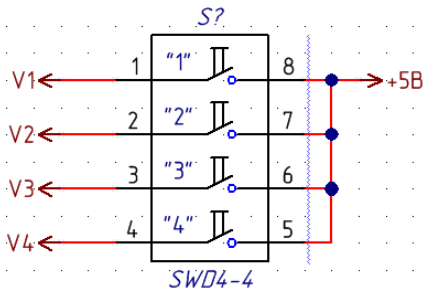


Рис. 8.36

– по документации на микросхему аттенюатора проверить, что напряжение, поступающее на выводы управления при замыкании контактов в коммутационных устройствах, находится в диапазоне значений высокого уровня управляющего напряжения (см. п. 9.14 из 3.3). Результат проверки сохранить в отчет.

Возможный результат проделанных действий показан на рис. 8.36.

6.15. Сохранить изменения в схеме (**Ctrl+S**).

6.16. Определить максимальный ток потребления микросхемы аттенюатора по питанию ($I_{ап}$) и сохранить его.

При отдельном выводе VDD значение такого тока обычно указывается в документации в таблице *Bias Voltage & Current* или *Electrical Specifications*. Если данные о токе отсутствуют (или подача питания осуществляется в соответствии с рис. 8.25), то условно принять его равным 0,4 мА.

В варианте «П1» по рис. 3.26:

$$I_{ап} = 1{,}2 \text{ мА}.$$

6.17. В вариантах задания с РУ определить максимальный ток потребления микросхемы аттенюатора по управляющим выводам ($I_{ау}$):

$$I_{ау} = I_{упр} N_{упр},$$

где $I_{упр}$ – максимальный ток потребления по одному управляющему выводу, мА; $N_{упр}$ – количество управляющих выводов, шт.

Значение тока $I_{упр}$ обычно указывается в документации в таблице *Electrical Specifications* или *TTL/CMOS Control Voltages* или в примечаниях к таблице *Truth Table*. Если данные о токе отсутствуют, то условно принять его равным 10 мкА.

7. Создать участок схемы с «токовым зеркалом»:

7.1. Добавить транзисторную сборку **BCV62A,215** фирмы Nexperia из библиотеки **VT** и подключить вывод 2 (коллектор правого транзистора) к месту соединения двух блокировочных конденсаторов и отрезка МПЛ на выходе микросхемы усилителя.

Внешний вид и УГО транзисторной сборки показаны на рис. В.24.

7.2. Добавить три заготовки резистора типоразмера 0805 с вертикальной ориентацией УГО (компонент **R0805** из библиотеки **R**) и подключить их к выводам 1, 3 и 4 транзисторной сборки.

Внешний вид таких резисторов показан на рис. В.1, *а*.

7.3. Свободный вывод резистора у коллектора левого транзистора транзисторной сборки подключить к земле.

7.4. Свободные выводы резисторов в цепях эмиттеров транзисторов транзисторной сборки соединить друг с другом с отводом линии электрической связи (например, вправо).

7.5. Около цепи коллектора правого транзистора транзисторной сборки последовательным нажатием клавиш **P ⇒ F** (создание текстового блока) по-

местить надпись со значением тока $I_{\text{Кп}}$ и напряжения $U_{\text{Кп}}$ на этом выводе (они были указаны на схеме Э1 по п. 9.7 из 3.3).

В свойствах текстового блока изменить размер шрифта на **12** и отключить опцию **Show Border**.

Примечание. Размещение подобной информации не соответствует п. 4.1 из 8.1.

7.6. Для определенности в дальнейших действиях в свойствах каждого резистора, подключенного к транзисторной сборке, вручную заменить знак вопроса в позиционном обозначении порядковым номером в соответствии с рис. 8.37.

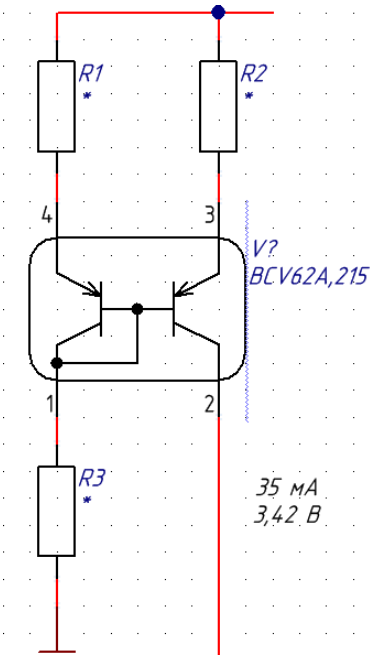


Рис. 8.37

7.7. Рассчитать сопротивления резисторов в схеме «токового зеркала», являющегося генератором тока, который управляется током.

Название «токовое зеркало» связано с тем, что ток $I_{\text{Кп}}$ пропорционален току на резисторе *R3* в цепи коллектора левого транзистора (I_{R3}) и может быть приближенно вычислен по формуле:

$$I_{\text{Кп}} \approx I_{R3} \cdot R1/R2. \qquad (8.1)$$

Последовательность расчетов следующая:

7.7.1. Задать падение напряжения на резисторе *R2* (U_{R2}) по нижней границе условия:

$$0{,}9P_{\max}/I_{\text{Кп}} \geq U_{R2} \geq d \cdot I_{\text{Кп}}, \qquad (8.2)$$

где $P_{\max}$ – максимальная рассеиваемая мощность резистора, Вт (см. В.1); d – коэффициент пропорциональности, $d = 13$ Ом.

В варианте «П1»:

$$U_{R2} = 13 \cdot 0{,}035 = 0{,}455 \text{ В}.$$

7.7.2. Обеспечить активный режим работы правого транзистора транзисторной сборки (см. В.8), для чего выбрать напряжение коллектор–эмиттер этого транзистора из условия $U_{\text{КЭп}} > U_{\text{КЭнас}}$.

По документации на транзисторную сборку **BCV62A,215** при максимальном токе коллектора 100 мА максимальное значение $U_{\text{КЭнас}}$ составляет 0,65 В. Фрагмент таблицы *Characteristics* показан на рис. 8.38.

Во всех вариантах задания принять $U_{\text{КЭп}} = 0{,}7$ В.

Characteristics

T_j = 25 °C unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	I_C = –10 mA; I_B = –0.5 mA	-	–75	–300	mV
		I_C = –100 mA; I_B = –5 mA	-	–250	–650	mV

Рис. 8.38

7.7.3. Определить минимальную величину напряжения питания, требуемую для подачи на «токовое зеркало» ($U_{тз}$), по формуле:

$$U_{тз} = U_{Кп} + U_{КЭп} + U_{R2}. \quad (8.3)$$

В варианте «П1»:

$$U_{тз} = 3{,}42 + 0{,}7 + 0{,}455 = 4{,}575 \text{ В}.$$

7.7.4. Сравнить значения напряжений $U_{тз}$ и $U_{атт}$ и выполнить действия, указанные в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Сравнение напряжений, поступающих на схему «токового зеркала» и на вывод питания микросхемы аттенюатора

Условие	Действие
$U_{тз} \le U_{атт}$	Напряжение $U_{тз}$ принять равным $U_{атт}$ и пересчитать U_{R2}, используя (8.3)
$U_{тз} > U_{атт}$	Напряжение U_{R2} выбрать из середины диапазона по (8.2), после чего пересчитать $U_{тз}$ по (8.3), округлив результат до десятых долей вольта

Так как в варианте «П1» $U_{тз} \le U_{атт}$, то $U_{тз}$ принимается равным 5 В и U_{R2} вычисляется следующим образом:

$$U_{R2} = U_{тз} - U_{Кп} - U_{КЭп} = 5 - 3{,}42 - 0{,}7 = 0{,}88 \text{ В}.$$

7.7.5. Определить сопротивление резистора *R2* и округлить его к ближайшему номиналу в большую сторону из ряда E24 по табл. В.2.

В пренебрежении током базы правого транзистора в транзисторной сборке требуемое сопротивление вычисляется по формуле:

$$R2 = U_{R2} / I_{R2} = U_{R2} / I_{Кп},$$

где I_{R2} – ток, протекающий через резистор *R2*, мА.

В варианте «П1»:

$$R2 = 0{,}88/0{,}035 = 25{,}1 \text{ Ом} \approx 27 \text{ Ом}.$$

7.7.6. Определить ток, протекающий через резистор *R3* (I_{R3}).

Для уменьшения тока потребления «токовым зеркалом» данный ток в вариантах задания выбирается в десять раз меньше, чем $I_{\text{Кп}}$:

$$I_{R3} = I_{\text{Кп}}/10. \quad (8.4)$$

В варианте «П1»:

$$I_{R3} = 0{,}035/10 = 3{,}5 \text{ мА}.$$

7.7.7. Определить сопротивление резистора *R1* и убедиться в том, что его значение соответствует номиналу из ряда E24 по табл. В.2.

Сопротивление резистора *R1* можно найти по (8.1) и (8.4):

$$R1 = I_{\text{Кп}} \cdot R2/I_{R3} = 10 \cdot R2.$$

В варианте «П1»:

$$R1 = 10 \cdot 27 = 270 \text{ Ом}.$$

7.7.8. Определить сопротивление резистора *R3* и выбрать ближайший номинал из ряда E24 по табл. В.2.

Для левого транзистора в транзисторной сборке между напряжениями коллектор–эмиттер ($U_{\text{КЭл}}$) и база–эмиттер ($U_{\text{БЭл}}$) выполняется равенство:

$$U_{\text{КЭл}} = U_{\text{БЭл}} = 0{,}7 \text{ В}.$$

В результате требуемое сопротивление вычисляется по формуле:

$$R3 = \frac{U_{R3}}{I_{R3}} = \frac{U_{\text{тз}} - R1 \cdot I_{R3} - U_{\text{КЭл}}}{I_{R3}},$$

где U_{R3} – напряжение на резисторе *R3*, В.

В варианте «П1»:

$$R3 = \frac{5 - 270 \cdot 3{,}5 \cdot 10^{-3} - 0{,}7}{3{,}5 \cdot 10^{-3}} = 958{,}6 \text{ Ом} \approx 1 \text{ кОм}.$$

7.7.9. При желании выполнить 3-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3 и прил. И).

7.8. Заменить каждую заготовку резистора, подключенную к транзисторной сборке, на резистор фирмы Yageo серии **RC** с типоразмером 0805 и требуемым номиналом из библиотеки **R**:

– открыть окно свойств заготовки резистора;

– в группе **Link to Library Component** напротив поля **Design Item ID** нажать кнопку **Choose**;

– в открывшемся окне **Browse Libraries** выбрать требуемый компонент (пример выбора резистора с номиналом 27 Ом показан на рис. 8.39);

– применить изменения в двух окнах кнопкой **OK**.

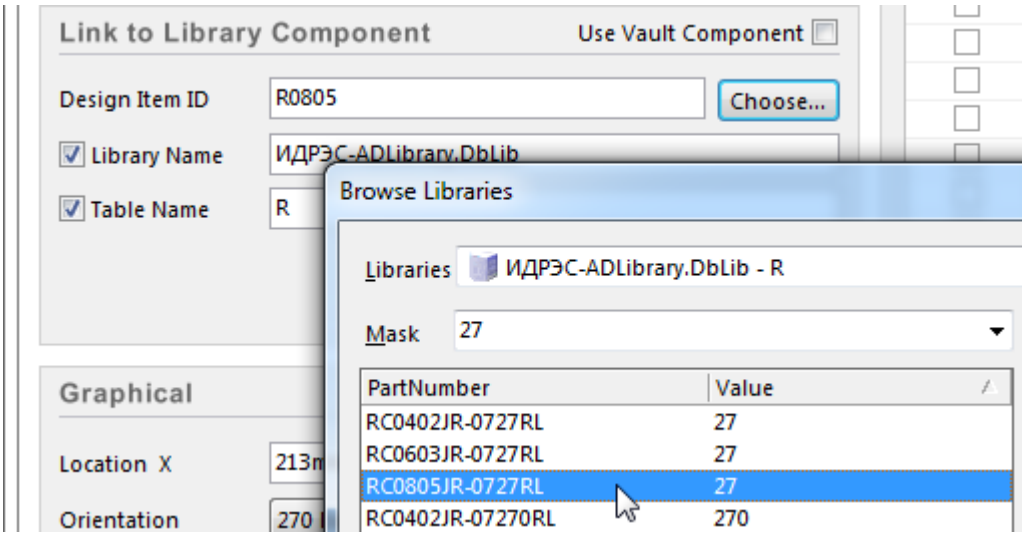


Рис. 8.39

Если в библиотеке нет нужного резистора, то в заготовке заполнить значения параметров, содержащих символ «*», по аналогии с рис. 8.28.

Расшифровка Part Number резисторов фирмы Yageo содержится в В.1.

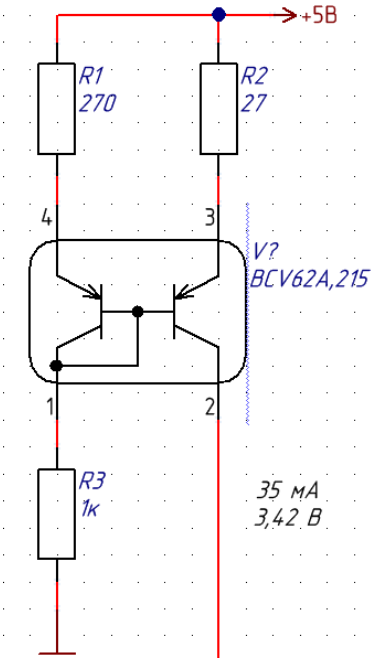


Рис. 8.40

Выбранные в варианте «П1» резисторы:

– RC0805JR-0727RL;

– RC0805JR-07270RL;

– RC0805JR-071KL.

7.9. Добавить и подключить к линии электрической связи, соединяющей верхние выводы резисторов, которые подключены к эмиттерам транзисторов транзисторной сборки, идентификатор цепи **VCC Power Port** (последовательность добавления идентификаторов описана в п. 6.11), при этом:

– если $U_{\text{тз}} = U_{\text{атт}}$, то выбрать имя цепи, заданное в п. 6.11;

– если $U_{\text{тз}} \neq U_{\text{атт}}$, то ввести осмысленное имя цепи в соответствии со значением $U_{\text{тз}}$.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 8.40.

7.10. Сохранить изменения в схеме (**Ctrl+S**).

7.11. Определить ток, потребляемый «токовым зеркалом» ($I_{\text{тз}}$).

В пренебрежении токами баз транзисторов в транзисторной сборке требуемое значение тока вычисляется следующим образом:

$$I_{\text{тз}} = I_{R1} + I_{R2} = I_{R3} + I_{\text{Кп}},$$

где I_{R1} – ток, протекающий через резистор *R1*, мА.

В варианте «П1»:

$$I_{\text{тз}} = 3{,}5 \cdot 10^{-3} + 35 \cdot 10^{-3} = 38{,}5 \text{ мА}.$$

7.12. Определить температуру кристалла транзисторной сборки без теплоотвода для комнатной температуры по (В.7), сравнить с границами рабочего диапазона температур, а результат сравнения привести в отчете.

Необходимые параметры находятся в документации на транзисторную сборку в таблицах *Limiting values* и *Thermal characteristics*.

Так как в произведенных выше расчетах $U_{\text{КЭп}} = U_{\text{КЭл}} = 0{,}7$ В, то в варианте «П1»:

$$T_j = I_{\text{тз}} \cdot U_{\text{КЭп}} \cdot R_{\theta JA} + T_A = 0{,}0385 \cdot 0{,}7 \cdot 500 + 25 = 38{,}5\,^{\circ}\text{C}.$$

8. Создать участок схемы с узлом вторичного питания:

8.1. В соответствии с табл. 8.5 определить вариант организации питания и необходимые для этого компоненты.

Таблица 8.5

Варианты организации питания

№	Условие	Организация питания
1	$U_{\text{тз}} = U_{\text{атт}}$	Напряжение $U_{\text{тз}}$ сформировать с помощью микросхемы стабилизатора напряжения **MIC5209-X.XYS** (корпус SOT-223) фирмы Microchip с фиксированным выходным напряжением, где **X.X** – его уровень
2	$U_{\text{тз}} > U_{\text{атт}}$	Напряжение $U_{\text{тз}}$ сформировать с помощью микросхемы стабилизатора напряжения **MIC5209YM** (корпус SOIC-8-150) фирмы Microchip с подстраиваемым выходным напряжением (adjustable). Напряжение $U_{\text{атт}}$ получить из $U_{\text{тз}}$ с использованием параметрического стабилизатора напряжения

Документация на указанные в таблице микросхемы находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Стабилизаторы**. Фрагмент раздела *Product Identification System* с расшифровкой обозначений показан на рис. 8.41.

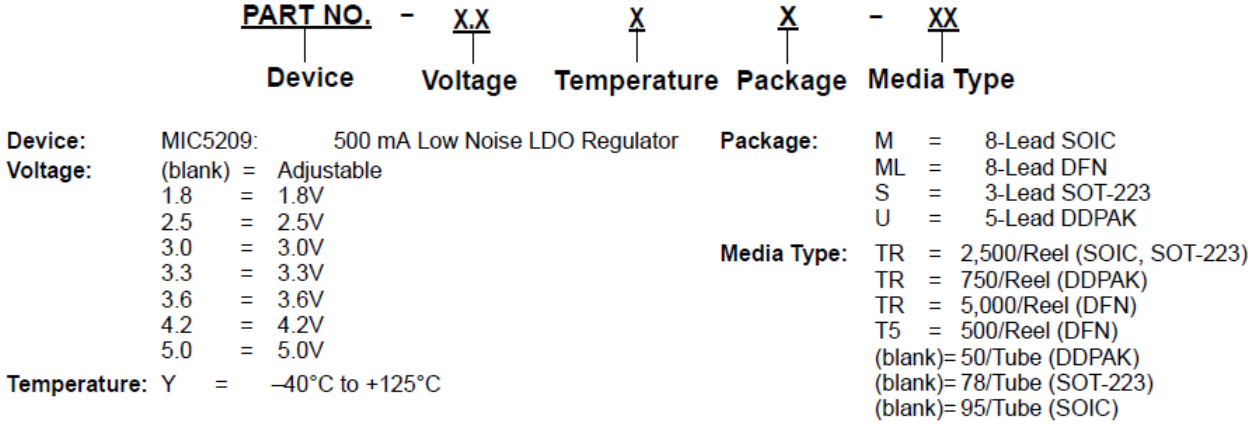


Рис. 8.41

Примечание. В варианте «П1» питание будет организовано по варианту № 1, а так как $U_{\text{тз}} = 5$ *В, то используется микросхема MIC5209-5.0YS.*

Корпуса SOT-223 и SOIC-8-150 показаны на рис. 8.42.



SOT-223 SOIC-8-150

Рис. 8.42

8.2. Добавить из библиотеки **DA** указанную в табл. 8.5 микросхему и расположить в любом удобном месте схемы с учетом того, что справа и слева от нее будут устанавливаться компоненты.

8.3. Все выводы **GND** микросхемы стабилизатора напряжения подключить к земле.

8.4. В варианте № 2 организации питания (см. табл. 8.5) добавить две заготовки резистора с вертикальной ориентацией УГО типоразмера 0603 или 0805 (компонент **R0603** или **R0805** из библиотеки **R** соответственно), после чего осуществить необходимые соединения в соответствии со схемой из документации на микросхему стабилизатора напряжения, приведенной на рис. 8.43. Также для определенности в дальнейших действиях в соответствии с рисунком в свойствах этих двух резисторов вручную заменить знаки вопроса в позиционных обозначениях порядковыми номерами 1 и 2.

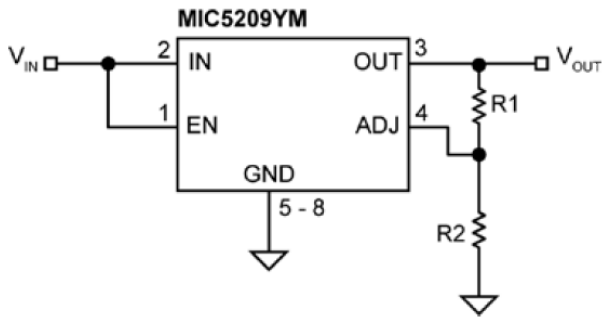


Рис. 8.43

Номиналы резисторов выбрать из ряда E24 по табл. В.2 (они должны быть не менее 10 кОм, а для резистора *R2* – еще и не более 470 кОм), обеспечив требуемое выходное напряжение, определяемое по формуле:

$$U_{out} = U_{\text{тз}} = 1{,}242 \cdot \left(1 + \frac{R2}{R1}\right). \qquad (8.5)$$

В отчете показать, что найденные номиналы резисторов обеспечивают необходимое напряжение. Для этого подставить их в (8.5).

После этого заменить обе заготовки на резисторы фирмы Yageo серии **RC** с соответствующими типоразмером и номиналом из библиотеки **R** (последовательность действий приведена в п. 7.8).

Если в библиотеке нет нужного резистора, то в заготовке заполнить значения параметров, содержащих символ «*», по аналогии с рис. 8.28.

Расшифровка Part Number резисторов фирмы Yageo содержится в В.1.

Примечание. В схеме из документации на микросхему стабилизатора кроме резисторов присутствуют блокировочные конденсаторы, но на рис. 8.43 они не показаны и будут добавлены далее.

8.5. В варианте № 2 организации питания (см. табл. 8.5) для схемы с рис. 8.43, пренебрегая током на выводе **ADJ**, определить протекающий через резистивный делитель ток ($I_Д$):

$$I_Д = U_{тз} / (R1 + R2).$$

8.6. Добавить и подключить на вход и выход микросхемы стабилизатора напряжения по одному блокировочному конденсатору (назначение см. в В.2 и В.10) фирмы Murata с параметрами:

– типоразмер – 0805;

– ТКЕ – U2J;

– номинал – 0,1 мкФ;

– рабочее напряжение – 10 В;

– код упаковки – L.

Так как в библиотеке **C** такого компонента нет, то выполнить последовательность действий по аналогии с п. 6.7. Результаты сохранить в отчет.

8.7. Параллельно каждому блокировочному конденсатору добавить и подключить по одному танталовому конденсатору фирмы Vishay серии **293D** из библиотеки, созданной в разд. 5 (в варианте «П1» – **Capacitors-П1.IntLib**), после чего выполнить следующие действия с сохранением в отчет:

RATINGS AND CASE CODES

µF	4 V	6.3 V	10 V	16 V	20 V	25 V
15	A / B / C	A / B / C	A / B / C	B / C	B / C / D	B / C / D
22	A / B / C	A / B / C	A / B / C / D	B / C / D	B / C / D	C / D / E / V
33	A / B / C	A / B / C	B / C / D	B / C / D	C / D	D / E

Рис. 8.44

– по таблице *Ratings and case codes* из документации на эти конденсаторы (ее фрагмент показан на рис. 8.44) для типоразмера из варианта индивидуального задания на проектирование и номинала 10–33 мкФ выбрать значе-

ние максимального постоянного напряжения, которое должно быть как минимум в 2 раза больше выходного напряжения стабилизатора ($U_{ТЗ}$).

Примечание. В варианте «П1» для типоразмера C номинал выбран равным 22 мкФ, а напряжение – 10 В;

– по таблице *Standard Ratings* из документации (ее фрагмент показан на рис. 8.45) для известных типоразмера, номинала и напряжения определить Part Number, задав допуск ±10 % (код **X9**) и код упаковки и выводов **2TE3**;

STANDARD RATINGS

CAPACITANCE (µF)	CASE CODE	PART NUMBER	MAX. DCL AT +25 °C (µA)	MAX. DF AT +25 °C 120 Hz (%)	MAX. ESR AT +25 °C 100 kHz (Ω)	MAX. RIPPLE 100 kHz I_{RMS} (A)
10 V_{DC} AT +85 °C; 7 V_{DC} AT +125 °C						
22	A	293D226(1)010A(2)	2.2	8	2.50	0.17
22	B	293D226(1)010B(2)	2.2	6	1.90	0.21
22	C	293D226(1)010C(2)	2.2	6	1.50	0.27
22	D	293D226(1)010D(2)	2.2	6	1.50	0.32

Note

- Part number definitions:
  (1) Tolerance: X0, X9
  (2) Terminations and packaging: 2TE3, 2WE3, 8T, 8W
  (3) Lead (Pb)-free terminations and packaging codes: 2TE3, 2WE3

Рис. 8.45

– в свойствах добавленных конденсаторов заполнить значения параметров с символом «*». Для параметра **CI_BOM** указать Part Number, номинал, допуск, рабочее напряжение и типоразмер корпуса. Расшифровка Part Number конденсаторов фирмы Vishay кроме документации также дана в В.2.

Пример заполненных параметров в варианте «П1» показан на рис. 8.46.

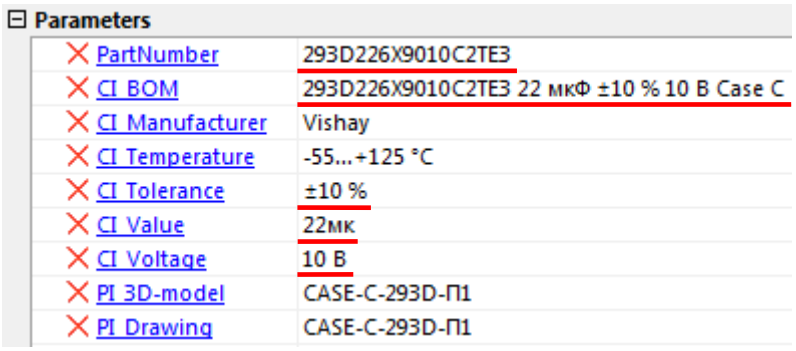


Рис. 8.46

8.8. Добавить и подключить к линии электрической связи, отходящей от выхода микросхемы стабилизатора напряжения, идентификатор цепи **VCC Power Part** с именем цепи, заданным при создании схемы «токового зеркала» в п. 7.9 (соответствует значению напряжения $U_{ТЗ}$).

Последовательность добавления идентификаторов описана в п. 6.11. Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 8.47.

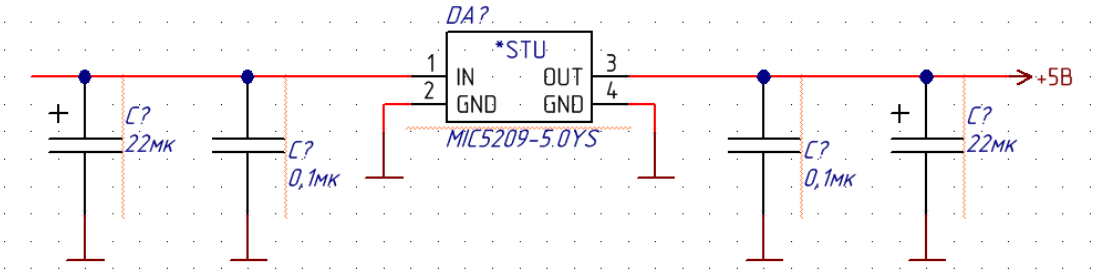


Рис. 8.47

8.9. При наличии ИПС (см. столбец 14 из индивидуального задания на проектирование) подключить к выходу микросхемы стабилизатора напряжения светодиод с токоограничивающим резистором (см. В.7):

– добавить светодиод фирмы FYLS типоразмера 0805 или 0603 с любым доступным цветом свечения из библиотеки **VD** и заготовку резистора типоразмера 0805 или 0603 из библиотеки **R**;

– в соответствии с рис. В.21 осуществить требуемые подключения.

Получение нужного вида УГО светодиода (стрелки, обозначающие излучение, должны быть направлены слева направо и снизу вверх) показано на рис. 8.48 (над УГО приведены фрагменты панели **SCH Inspector**).

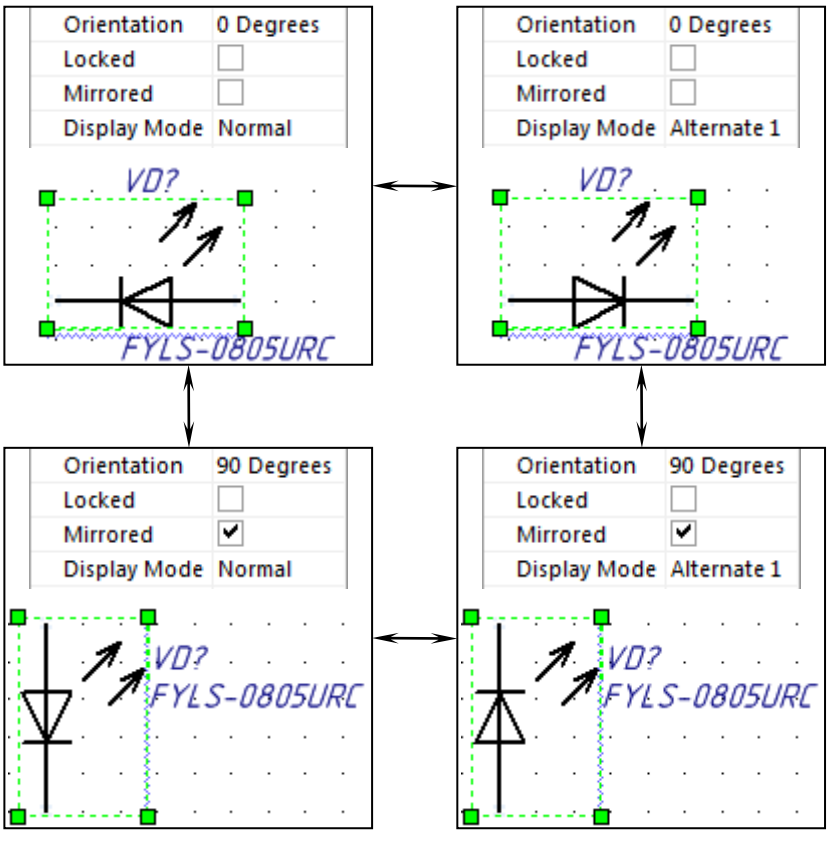


Рис. 8.48

Примечание. Подробнее об альтернативных видах УГО см. в Г.32.

Также ИПС можно подключить к микросхеме логически, т. е. с помощью идентификатора цепи **VCC Power Port** с соответствующим именем, при этом расположив сами компоненты в любом месте схемы;

– по документации на добавленный светодиод найти значения прямого напряжения ($U_{\text{св}}$) и тока ($I_{\text{св}}$) для относительной силы света, равной 0,5;

– рассчитать сопротивление резистора по (В.4);

– выбрать номинал резистора округленным в большую сторону из ряда Е24 по табл. В.2;

– заменить заготовку резистора на резистор фирмы Yageo серии **RC** с соответствующими типоразмером и номиналом из библиотеки **R** (последовательность действий приведена в п. 7.8).

Если в библиотеке нет нужного резистора, то в заготовке заполнить значения параметров, содержащих символ «*», по аналогии с рис. 8.28.

Расшифровка Part Number резисторов фирмы Yageo содержится в В.1.

8.10. В варианте № 2 организации питания (см. табл. 8.5) подключить к выходу микросхемы стабилизатора напряжения параметрический стабилизатор напряжения, выполненный на стабилитроне (см. В.6):

– в соответствии со значением $U_{\text{атт}}$ по документации на стабилитроны серии **BZX84** фирмы Nexperia выбрать номинальное напряжение стабилизации и его допуск (расшифровка Part Number приведена в В.6);

– добавить стабилитрон с выбранными параметрами из библиотеки **VD** и заготовку резистора типоразмера 0805 или 0603 из библиотеки **R**;

– в соответствии с рис. В.18 осуществить требуемые подключения.

Параметрический стабилизатор напряжения можно подключить к микросхемам стабилизатора напряжения и аттенюатора логически, т. е. с помощью идентификаторов цепей **VCC Power Port** с соответствующими именами, при этом расположив сами компоненты в любом месте схемы;

– определить потребляемый нагрузкой ток по формуле:

$$I_{\text{Н}} = I_{\text{ап}} + I_{\text{ау}}.$$

Следует отметить, что в вариантах задания с ВУ ток $I_{\text{ау}}$ отсутствует;

– задать номинальный ток стабилизации стабилитрона в соответствии с рекомендациями по расчету параметрического стабилизатора напряжения;

– рассчитать сопротивление резистора по (В.3);

– выбрать ближайший номинал резистора из ряда Е24 по табл. В.2;

– заменить заготовку резистора на резистор фирмы Yageo серии **RC** с соответствующими типоразмером и номиналом из библиотеки **R** (последовательность действий приведена в п. 7.8).

Если в библиотеке нет нужного резистора, то в заготовке заполнить значения параметров, содержащих символ «*», по аналогии с рис. 8.28.

Расшифровка Part Number резисторов фирмы Yageo содержится в В.1;

– при отдельном расположении параметрического стабилизатора напряжения убедиться в правильности имен у добавленных идентификаторов цепей. Входное напряжение должно поступать с выхода микросхемы стабилизатора напряжения, а выходное напряжение должно уходить на микросхему аттенюатора и коммутационные устройства (при наличии).

8.11. Определить суммарный ток на выходе микросхемы стабилизатора напряжения (I_{out}) по формуле:

$$I_{out} = I_{\text{тз}} + I_{\text{ап}} + I_{\text{ау}} + I_{\text{СТ}} + I_{\text{св}} + I_{\text{д}}.$$

Следует отметить, что отдельные слагаемые могут отсутствовать.

В варианте «П1»:

$$I_{out} = I_{\text{тз}} + I_{\text{ап}} = 38{,}5 \cdot 10^{-3} + 1{,}2 \cdot 10^{-3} = 39{,}7 \text{ мА}.$$

8.12. Определить по документации на микросхему стабилизатора напряжения значение тока потерь (Ground Pin Current, I_{GND}) и сохранить его.

Необходимая информация обычно приводится в таблице *Electrical Characteristics* и на графике зависимости тока потерь от выходного тока, показанном для микросхем серии MIC5209 на рис. 8.49.

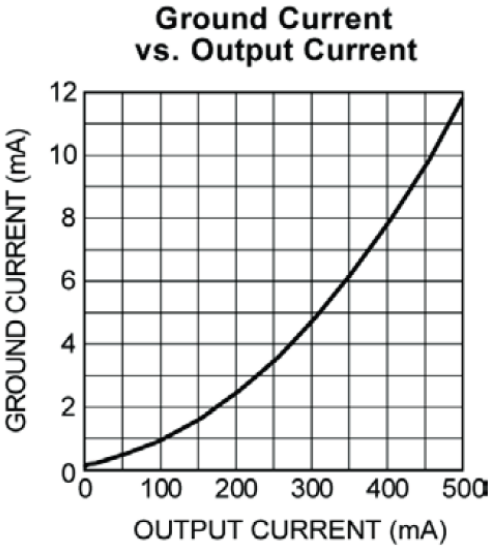


Рис. 8.49

В варианте «П1» при выходном токе микросхемы $I_{out} = 39{,}7$ мА значение тока потерь составит примерно 0,4 мА.

8.13. Определить ток на входе микросхемы стабилизатора напряжения (I_{in}) по формуле:

$$I_{in} = I_{out} + I_{GND}.$$

В варианте «П1»:

$$I_{in} = 39{,}7 \cdot 10^{-3} + 0{,}4 \cdot 10^{-3} = 40{,}1 \text{ мА}.$$

8.14. Определить диапазон значений входного напряжения (U_{in}) для подачи на вход микросхемы стабилизатора напряжения.

Стабилизаторы серии MIC5209 обладают малым падением напряжения (Low Dropout Voltage, LDO). Величина Dropout Voltage (U_{DO}) определяется как разность между входным и выходным напряжением, при котором выходное напряжение падает на 2 % ниже его номинального значения, измеренного при разности напряжений в 1 В.

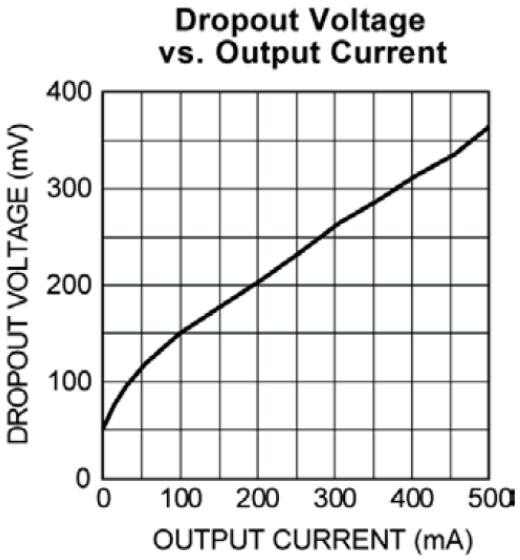


Рис. 8.50

Значения U_{DO} обычно приводятся в документации на микросхему в таблице *Electrical Characteristics* и на графике его зависимости от выходного тока, показанном для микросхем серии MIC5209 на рис. 8.50.

Для нормальной работы используемых при проектировании микросхем должно выполняться условие:

$$U_{in} > U_{out} + U_{DO}. \qquad (8.6)$$

Порядок выполнения расчета:

– по рис. 8.50 для тока I_{out} найти значение U_{DO} и сохранить его.

В варианте «П1» оно примерно равно 0,1 В;

– определить минимальное значение входного напряжения ($U_{in\,\min}$) по формуле:

$$U_{in\,\min} = U_{out} + U_{DO} + 0{,}1.$$

В варианте «П1»:

$$U_{in\,\min} = 5 + 0{,}1 + 0{,}1 = 5{,}2 \text{ В};$$

– определить максимальное значение входного напряжения ($U_{in\,\max}$) по формуле:

$$U_{in\,\max} = 1{,}5 \cdot U_{in\,\min}.$$

В варианте «П1»:

$$U_{in\,\max} = 1{,}5 \cdot 5{,}2 = 7{,}8 \text{ В}.$$

8.15. Если $U_{in\,\max}$ превышает 8 В, то заменить заготовку керамического конденсатора на входе микросхемы стабилизатора напряжения на керамический конденсатор **GRM31C5C1H104JA01L** с таким же номиналом (0,1 мкФ)

в корпусе типоразмера 1206 и номинальным напряжением 500 В (последовательность действий приведена в п. 7.8).

8.16. Определить температуру кристалла микросхемы стабилизатора напряжения без теплоотвода для комнатной температуры и для наихудшего случая падения напряжения.

Порядок выполнения расчета:

– найти минимальное значение выходного напряжения ($U_{out\,\min}$).

По таблице *Electrical Characteristics* из документации на рассматриваемые микросхемы, фрагмент которой показан на рис. 8.51, отклонение от номинального значения в общем случае составляет ±2 %.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Electrical Characteristics: $V_{IN} = V_{OUT} + 1V$; $I_L = 100\ \mu A$; $T_J = +25°C$, **bold** values indicate $-40°C \le T_J \le +125°C$ except $0°C \le T_J \le +125°C$ for $1.8V \le V_{OUT} \le 2.5V$, unless noted.

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Output Voltage Accuracy	V_{OUT}	–1	—	1	%	Variation from nominal V_{OUT}
		–2	—	**2**		

Рис. 8.51

В варианте «П1»:

$$U_{out\,\min} = U_{out} \cdot 0{,}98 = 5 \cdot 0{,}98 = 4{,}9\ \text{В};$$

– определить рассеиваемую кристаллом мощность (P_c) по формуле:

$$P_c = \left(U_{in\,\max} - U_{out\,\min}\right) \cdot I_{out} + U_{in\,\max} \cdot I_{GND}.$$

В варианте «П1»:

$$P_c = (7{,}8 - 4{,}9) \cdot 39{,}7 \cdot 10^{-3} + 7{,}8 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-3} = 0{,}118\ \text{Вт};$$

– определить температуру кристалла по (В.7).

В варианте «П1»:

$$T_j = P_c \cdot R_{\theta JA} + T_A = 0{,}118 \cdot 62 + 25 = 32{,}3\,°\text{C}.$$

Значения $R_{\theta JA}$ для используемых корпусов находятся в документации на микросхему в таблице *MIC5209 Thermal Resistance*;

– сравнить полученное значение температуры кристалла с границами рабочего диапазона температур, приведенными в документации в разделе *Temperature Specifications* (результат сравнения привести в отчете).

8.17. Добавить и подключить ко входу микросхемы стабилизатора напряжения перед блокировочными конденсаторами дроссель SDR0604-220YL фирмы Bourns из библиотеки **L**.

Назначение дросселя и расшифровка его Part Number приведены в В.3.

8.18. По В.11 ознакомиться со структурой и принципом работы схемы ЗП, указанной в столбце 14 из индивидуального задания на проектирование.

8.19. Добавить требуемый в схеме ЗП компонент и подключить его к свободному выводу дросселя.

Также выполнить следующее:

– в схемах ЗП-1, ЗП-2 и ЗП-5 определить падение напряжения ($U_{\text{зп}}$) на полупроводниковых компонентах для протекающего через них тока I_{in}. В схемах ЗП-3 и ЗП-4 оно отсутствует, а в схеме ЗП-6 пренебрежимо мало;

– в схеме ЗП-6 проверить выполнение условия:

$$U_{in\max} \le |U_{\text{ЗИ}\max}| - 2.$$

Если оно не выполняется, то $U_{in\max}$ уменьшить до верхней границы условия.

8.20. В соответствии с информацией п. 11 из 1.2 добавить разъем питания из библиотеки **X** и подключить его к схеме ЗП (клеммы «+» и «–» на рисунках из В.11).

При необходимости можно выбрать дополнительный вид УГО (**Alternate 1**). Подробнее о видах УГО и их использовании см. в Г.32.

Примечание. В варианте «П1» добавлен разъем MW-2MR фирмы Connfly. Внешние виды некоторых используемых при проектировании разъемов показаны на рис. 8.33.

8.21. Около разъема питания над линией электрической связи последовательным нажатием клавиш **P ⇒ F** (создание текстового блока) поместить надпись с указанием диапазона входного напряжения питания и током потребления «усилителя».

В свойствах текстового блока изменить размер шрифта на **12** и отключить опцию **Show Border**.

Минимальное ($U_{X\min}$) и максимальное ($U_{X\max}$) значения входного напряжения в вариантах задания рассчитываются по формулам:

$$U_{X\min} = U_{in\min} + U_{\text{зп}},$$

$$U_{X\max} = U_{in\max} + U_{\text{зп}}.$$

Следует обратить внимание на следующее:

– падением напряжения на дросселе можно пренебречь из-за малого значения сопротивления по постоянному току (0,19 Ом). Фрагмент таблицы *Electrical Specifications* из документации на дроссель показан на рис. 8.52;

– напряжение $U_{in\max}$ в схеме ЗП-6 по п. 8.19 могло быть пересчитано.

Electrical Specifications

Bourns Part No.	Inductance 1kHz		Q Ref.	Test Frequency (MHz)	SRF Min. (MHz)	RDC (Ω)	I rms Max. (A)	I sat Typ. (A)
	(μH)	Tol. %						
SDR0604- 180YL	18	± 15	30	2.52	18	0.15	1.25	1.50
SDR0604- 220YL	22	± 15	30	2.52	16	0.19	1.10	1.40
SDR0604- 270YL	27	± 15	28	2.52	14	0.22	1.00	1.30

Рис. 8.52

В варианте «П1»:

$$U_{X\,\min} = U_{in\,\min} = 5{,}2 \text{ В},$$

$$U_{X\,\max} = U_{in\,\max} = 7{,}8 \text{ В}.$$

Ток потребления во всех вариантах задания – I_{in} (в схемах ЗП-3, ЗП-4 и ЗП-5 обратными токами диодов можно пренебречь).

Участок схемы с разъемом питания, схемой ЗП-3 и дросселем в варианте «П1» показан на рис. 8.53.

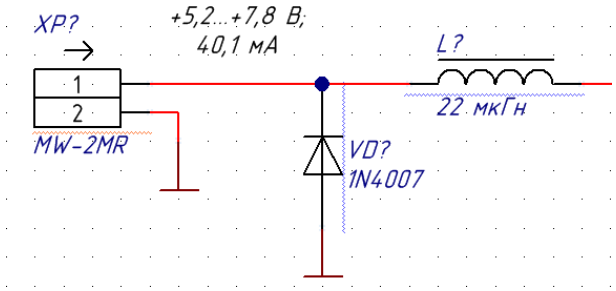


Рис. 8.53

8.22. Сохранить изменения в схеме (**Ctrl+S**).

9. Завершить оформление схемы:

9.1. Так как в УГО микросхемы аттенюатора указана функция, не установленная в ГОСТ 2.743–91 и ГОСТ 2.759–82, то на поле схемы необходимо дать соответствующее пояснение.

Для этого над основной надписью рамки на расстоянии не менее 10 мм от нее последовательным нажатием клавиш **P ⇒ T** (создание надписи) поместить текст вида: «Дополнительное обозначение функции микросхемы: dB – аттенюатор».

Примечание. Микросхем с разными нестандартными функциями в схемах может быть несколько. Чтобы ничего не пропустить, в подобных библиотечных компонентах введено два параметра с префиксом «SI_» (symbol information): SI_Function – обозначение функции, которое отображается в УГО; SI_Function Description – расшифровка функции. Получить список нестандартных функций в текущей схеме можно следующими способами:

– командой Reports ⇒ Bill of Materials (см. п. 5 из 9.2) с группировкой по параметру SI_Function Description (рис. 8.54). В этом способе информацию можно скопировать только после экспорта в файл;

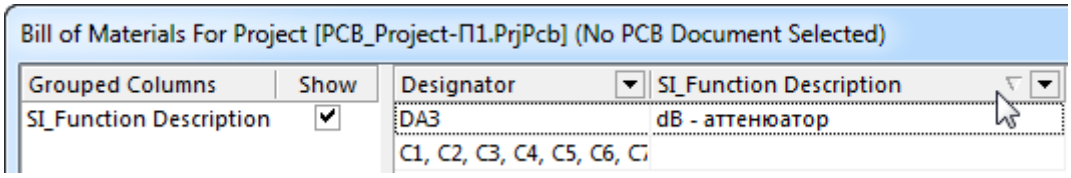


Рис. 8.54

– командой Tools ⇒ Parameter Manager с включенными опциями Parts, Objects with existing used parameters и Exclude System Parameters. В появившемся окне сосписком параметров компонентов данные сортируются по столбцу SI_Function Description (рис. 8.55). В этом способе нет группировки, но можно сразу же скопировать информацию из требуемых ячеек;

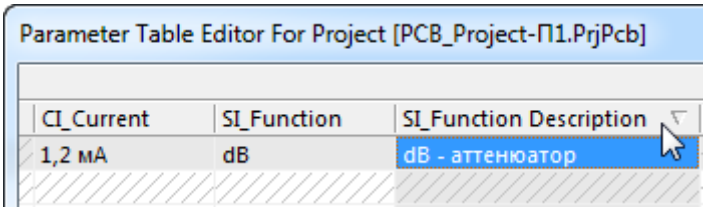


Рис. 8.55

– в панели SCH List (см. Г.11) с включенными в верхней ее части опциями Edit, all objects, open documents of the same project и Parameters. Данные сортируются по столбцу Parameter Name (рис. 8.56). В этом способе также нет группировки, но можно сразу же скопировать информацию из требуемых ячеек столбца Value.

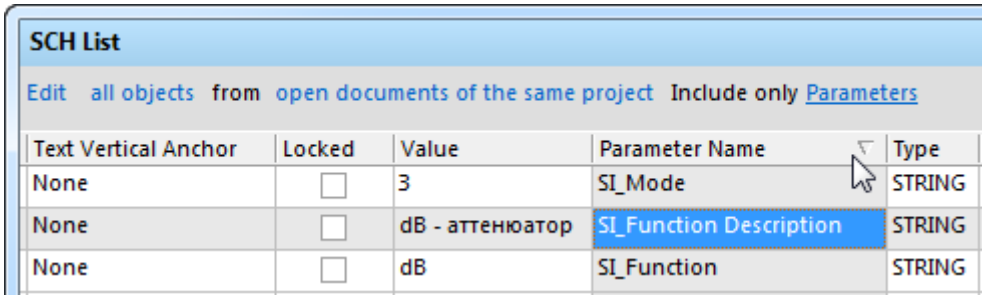


Рис. 8.56

9.2. Объединить в класс цепей с именем **Power** цепь GND и цепи питания с установленными идентификаторами цепей **VCC Power Port**.

Для этого выполнить следующее:

– запустить команду **Place ⇒ Directives ⇒ Net Class**;

– до размещения условного знака класса цепей (один из видов директив) на схеме нажать кнопку **Tab**;

– в открывшемся окне свойств в полях **Name** (текст, который будет отображатся около знака директивы на схеме) и **Value** (название класса цепей, которое будет передано на ПП) записать **Power** (рис. 8.57);

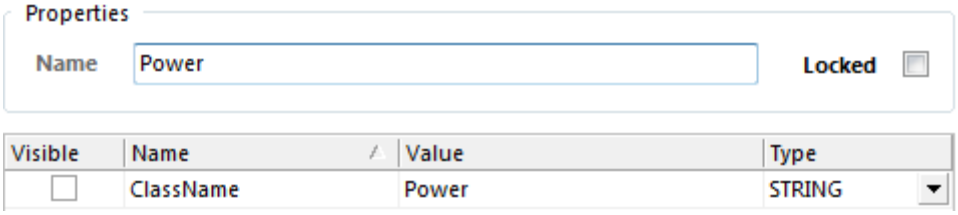


Рис. 8.57

– применить изменения в окне свойств кнопкой **OK**;

– щелчком ЛКМ установить знак директивы на линию электрической связи, отходящей от выхода микросхемы стабилизатора напряжения, предварительно повернув его клавишей **Space** нужным образом;

– не выходя из команды, установить такой же знак директивы на любой участок линии электрической связи цепи GND, а также на линию электрической связи, отходящую от катода стабилитрона в параметрическом стабилизаторе напряжения (при наличии);

– завершить команду клавишей **Esc** или ПКМ.

Результат создания класса цепей в варианте «П1» показан на рис. 8.58.

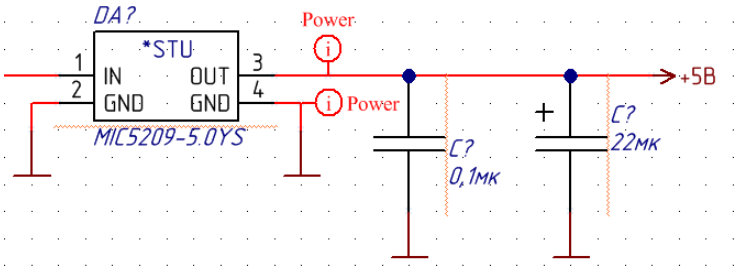


Рис. 8.58

Примечание. В свойствах директивы класса цепей с помощью кнопки Add as Rule можно задавать правила проектирования, которые также будут переданы на ПП. Однако работать с ними удобнее в редакторе ПП.

9.3. С помощью идентификаторов цепей **Net Label** (метка цепи) присвоить цепям линий электрической связи, по которым проходит СВЧ-сигнал, новые имена вида MW-X, где X – порядковый номер.

Для этого выполнить следующее:

– последовательно нажать клавиши **P ⇒ N**;

– до размещения идентификатора цепи нажать кнопку **Tab**;

– в открывшемся окне свойств в поле **Net** записать **MW-1** и применить изменения кнопкой **OK**;

– щелчками ЛКМ последовательно установить метки цепей на любые сегменты линий электрической связи в соответствии с табл. 8.6. Следует обратить внимание на то, что в имени каждой следующей метки цепи цифра будет увеличиваться автоматически;

– завершить команду клавишей **Esc** или ПКМ.

Таблица 8.6

Расположение меток цепей на линиях электрической связи из СВЧ-тракта

Имя метки цепи	Линия электрической связи
MW-1	От входной КП до первого отрезка МПЛ в ПФ
MW-2	От последнего отрезка МПЛ в ПФ до разделительного конденсатора
MW-3	От разделительного конденсатора до входа микросхемы усилителя
MW-4	От выхода микросхемы усилителя до разделительного конденсатора
MW-5	От разделительного конденсатора до входной КП
MW-6	От выхода микросхемы аттенюатора до разделительного конденсатора
MW-7	От разделительного конденсатора до выходной КП

Фрагмент схемы около микросхемы усилителя с установленными метками цепей в варианте «П1» показан на рис. 8.59.

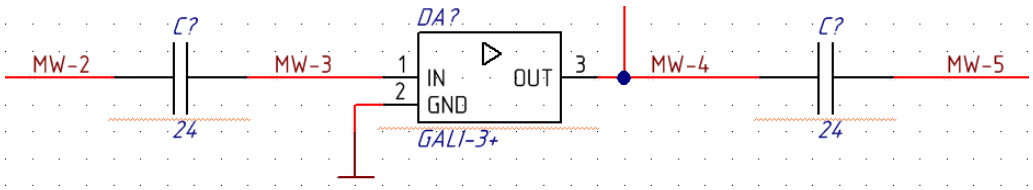


Рис. 8.59

Примечание. Класс цепей для СВЧ-тракта будет создан в редакторе ПП, чтобы не загромождать схему большим количеством директив.

9.4. Объединить в класс компонентов с именем **ТоковоеЗеркало** компоненты из «токового зеркала».

Для этого выполнить следующее:

– в панели **SCH Inspector** установить отображение свойств только объектов **Part** (см. Г.10);

– в схеме массовым выделением мышкой выбрать «токовое зеркало»;

– в панели **SCH Inspector** в группе Parameters в последней строке напротив **Add User Parameter** ввести название класса компонентов и нажать клавишу **Enter**;

– в появившемся окне ввести имя параметра **ClassName** и нажать **OK**.

Результат на данном этапе в варианте «П1» показан на рис. 8.60;

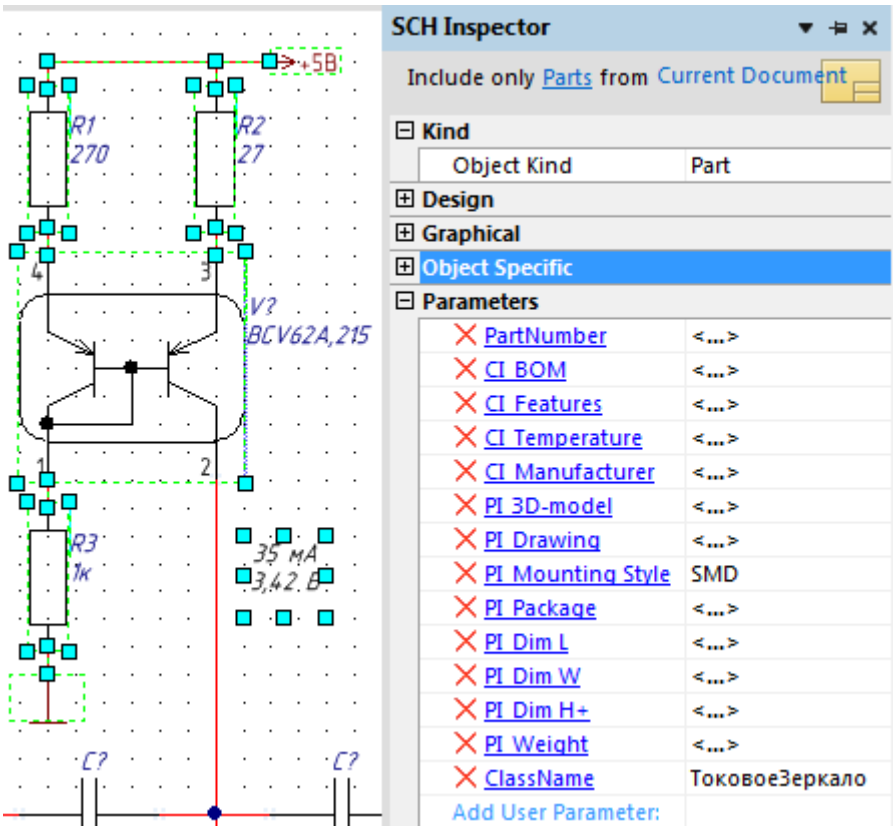


Рис. 8.60

– в панели **SCH Inspector** установить отображение свойств всех объектов (см. Г.10).

9.5. Из-за наличия знака «+» в УГО полярных конденсаторов системные параметры Designator и Comment автоматически расположились выше аналогичных параметров в УГО обычных конденсаторов (см. рис. 8.47).

Для корректировки положения параметров выполнить следующее:

– перейти в сетку **0,5** мм;

– перейти в панель **SCH Filter** и убедиться в том, что в группе **Limit search to** выбрана опция **All Objects**, а в группах **Objects passing the filter** и **Objects not passing the filter** все опции включены.

Примечание. Особенности работы с панелью SCH Filter см. в Г.12;

– в панели **SCH Filter** в поле для записи условия фильтрации записать выражение **(IsDesignator Or IsComment) and (Object_Orientation(Parent) = '0 Degrees') and (Object_DesignItemID(Parent) Like '*Polar*')**, после чего нажать кнопку **Apply**.

В результате будут выбраны параметры Designator и Comment в компонентах с УГО, повернутым на 0°, и названием, содержащим Polar;

– запустить команду **Edit ⇒ Align ⇒ Align To Grid** для выравнивания выбранных параметров по сетке;

– запустить команду **Edit ⇒ Move ⇒ Move Selection by X, Y**;

– в открывшемся окне в поле **X** ввести сдвиг **0.5mm** по горизонтали, в поле **Y** – сдвиг **1.5mm** со знаком минус по вертикали и применить изменения кнопкой **OK**;

– в панели **SCH Filter** в поле для записи условия фильтрации записать выражение **(IsDesignator Or IsComment) and (Object_Designator(Parent) like 'C*') and Not (Object_DesignItemID(Parent) Like '*Polar*') and ((Object_Orientation(Parent) = '90 Degrees') or (Object_Orientation(Parent) = '270 Degrees'))**, после чего нажать кнопку **Apply**.

В результате будут выбраны параметры Designator и Comment в компонентах с позиционным обозначением, начинающимся с **C**, и с УГО, повернутым на 90° или 270°, и названием, которое не содержит Polar;

– запустить команду **Edit ⇒ Align ⇒ Align To Grid** для выравнивания выбранных параметров по сетке;

– запустить команду **Edit ⇒ Move ⇒ Move Selection**;

– вручную зажатой ЛКМ скорректировать положение выбранных параметров в соответствии с их расположением в УГО полярных конденсаторов;

– снять маску фильтра комбинацией клавиш **Shift+C**;

– перейти в сетку **3** мм.

Результат корректировки положения параметров около микросхемы стабилизатора напряжения в варианте «П1» показан на рис. 8.61.

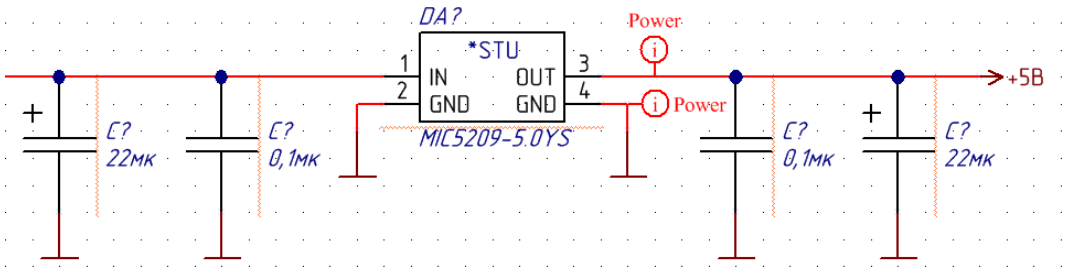


Рис. 8.61

9.6. Убедиться в том, что на схеме нет пересечений между различными объектами (за исключением директив). При обнаружении таких мест (например, параметры налезают на графику УГО) исправить их вручную.

9.7. Выполнить автоматическое присвоение порядковых номеров в позиционных обозначениях (перенумерацию):

– для соблюдения п. 3.9 из 8.1 в свойствах отрезка МПЛ, расположенного на выходе микросхемы усилителя, вручную в позиционном обозначении заменить знак вопроса числом **1** и включить опцию **Locked** (рис. 8.62);

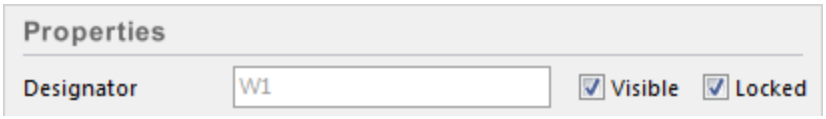


Рис. 8.62

– запустить команду **Tools ⇒ Annotation ⇒ Annotate Schematics**;

– в открывшемся окне Annotate в группе Order of Processing выбрать опцию **Down Then Across**, а в группе Process Location of – опцию **Part**;

– убедиться в том, что в группе Proposed Change List слева от позиционного обозначения W1 стоит галочка;

– нажать кнопку **Reset All** и в появившемся окне **Information** согласиться с изменениями (будут сброшены порядковые номера во всех незаблокированных позиционных обозначениях);

– нажать кнопку **Update Changes List** и в появившемся окне **Information** согласиться с изменениями;

– нажать кнопку **Accept Changes (Create ECO)**;

– в появившемся окне Engineering Change Order нажать кнопку **Execute Changes** для внесения предлагаемых изменений в схему;

– закрыть окна Engineering Change Order и Annotate кнопками **Close**.

Примечание. Подробнее о настройках окна Annotate см. в Г.31.

9.8. Скомпилировать проект ПП, выполнив на нем команду **ПКМ ⇒ Compile PCB Project** (на текущем этапе проверяется только схема).

После этого открыть окно **Messages** (если оно не открылось автоматически), выбрав его из группы **System** в дополнительном меню (см. рис. 3.1), и убедиться в том, что отсутствуют нарушения (рис. 8.63).

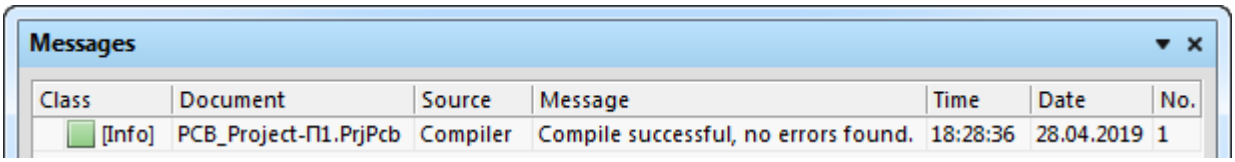


Рис. 8.63

Если в списке есть обнаруженные ошибки и предупреждения, то все их необходимо внимательно проанализировать и исправить, при этом стоит обратить внимание на следующее:

– часто встречающиеся ошибки и предупреждения, а также способы их устранения, приведены в табл. 8.7;

– если по строке с нарушением в окне Messages сделать двойной щелчок ЛКМ, то оно будет выделено в рабочем поле. Чтобы очистить выделение, необходимо нажать комбинацию клавиш **Shift+C**;

Таблица 8.7

Некоторые ошибки и предупреждения после компиляции проекта в схеме

Ошибка или предупреждение	Причина	Способ устранения
Floating N at (X,Y)	Отсутствует подключение к идентификатору цепи N, расположенному в координатах (X, Y)	Удалить идентификатор цепи (если он лишний) или подключить его к требуемому участку линии электрической связи
Net N has only one pin (Pin Z-X)	Цепь N подключена только к одному пину (пин номер X в компоненте Z)	Удалить линии электрической связи указанной цепи (если они лишние) или осуществить требуемые подключения (например, с помощью идентификатора цепи)
Unconnected line (X,Y) To (X1,Y1)	Неподключенная линия электрической связи, проходящая между точками с координатами (X, Y) и (X1, Y1)	Удалить указанную линию электрической связи
Un-Designated Part N?	В позиционном обозначении компонента с буквенным кодом N вместо порядкового номера остался знак «?»	Выполнить перенумерацию схемы (см. п. 9.7) или задать порядковый номер вручную
Duplicate Component Designators N at (X,Y) and (X1,Y1)	Обнаружено два компонента с одинаковым позиционным обозначением N в координатах (X, Y) и (X1, Y1)	
Net Wire N has multiple names (X,Y,Z,…)	На линии электрической связи размещено несколько идентификаторов цепей, которые задают цепи N разные имена (например, две метки цепей с разными именами)	Удалить лишние идентификаторы цепей. В редких случаях – изменить настройки в окне свойств проекта на вкладке Options в группах Netlist Options и Net Identifier Scope

– для обновления списка нарушений в окне Messages необходимо выполнить компиляцию проекта заново;

– иногда отдельные нарушения требуется пропустить. В этом случае в окне Messages на строке с нарушением запускается команда **ПКМ ⇒ Place Specific No ERC for this violation**, после чего на схеме в требуемом месте размещается директива в виде перекрестия;

– параметры, по которым осуществляется проверка при компиляции, можно настроить на вкладке **Error Reporting** окна свойств проекта (команда **Project ⇒ Project Options**).

9.9. Запустить команду **DXP ⇒ Preferences** и в окне Preferences в подразделе **Schematic ⇒ Compiler** отключить опцию **Warning**.

9.10. Проверить правильность соединений сегментов линий электрической связи, организованных с помощью идентификаторов цепей.

Цепи питания проверить с использованием панели **Navigator**:

– перейти в панель **Navigator** и в группе со списком цепей в столбце **Net / Bus** раскрыть подгруппу класса цепей **Power**;

– ЛКМ выбрать одну из цепей данного класса (кроме GND);

– убедиться в том, что линии графа на схеме соединяют требуемые компоненты, после чего сохранить изображение рабочего поля в отчет. Если были обнаружены ошибки, то их необходимо исправить (например, скорректировать имена в идентификаторах цепей).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 8.64;

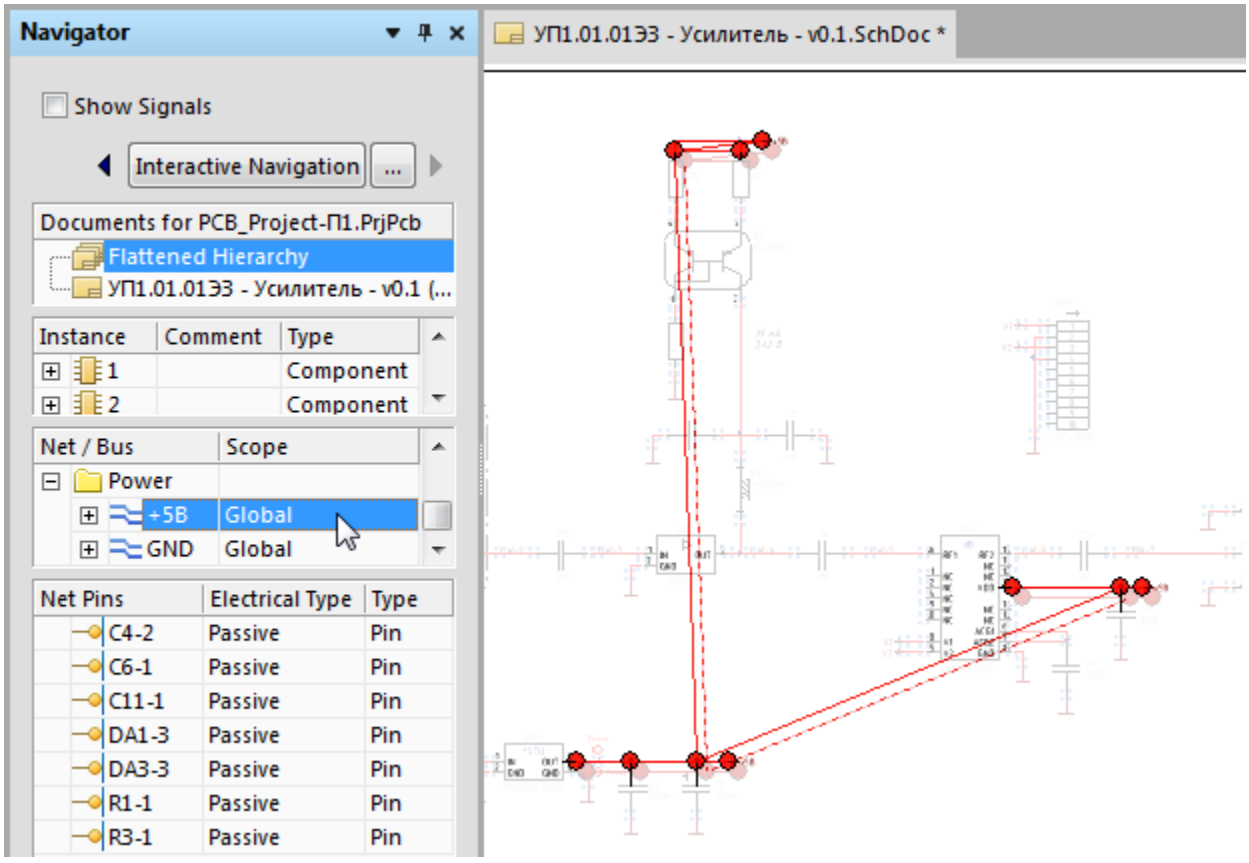


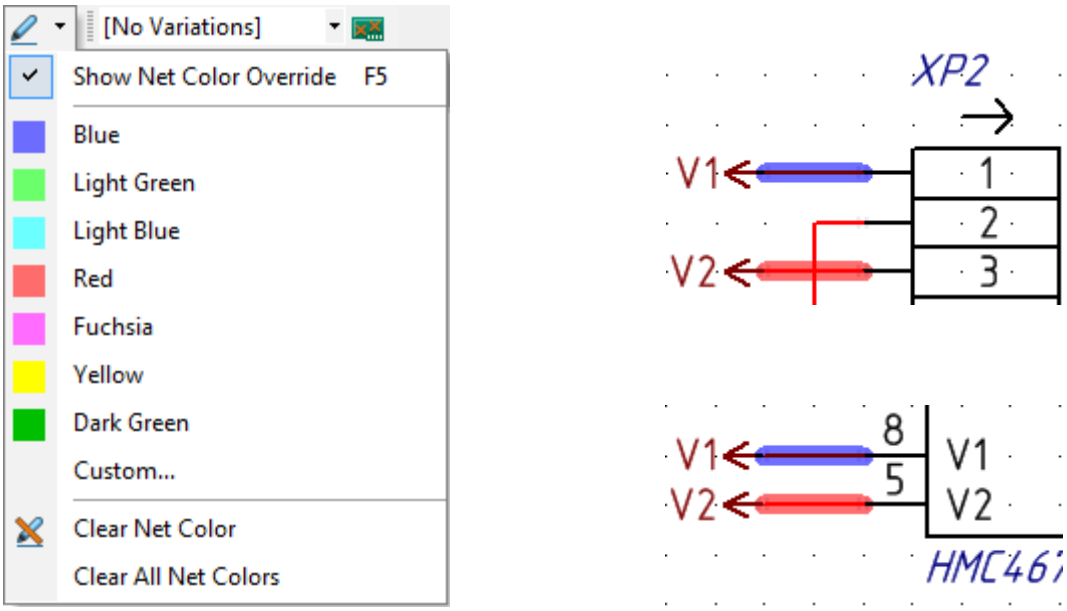
Рис. 8.64

– если в классе цепей **Power** есть еще одна цепь (за исключением GND), то выбрать ее ЛКМ, проверить правильность соединений и сохранить изображение рабочего поля в отчет. Обнаруженные ошибки также необходимо исправить;

– очистить линии графа в рабочем поле комбинацией клавиш **Shift+C**.

Примечание. Особенности работы с панелью Navigator см. в Г.13.

Цепи управления микросхемой аттенюатора проверить подсвечиванием:



а *б*

Рис. 8.65

– убедиться в том, что в группе команд **Net Colors** на ПИ **Wiring** включена опция **Show Net Color Override** (рис. 8.65, *а*). Команды по окрашиванию цепей также доступны через меню **View**;

– в группе команд **Net Colors** на ПИ **Wiring** выбрать любой цвет и щелкнуть ЛКМ по любому участку одной из цепей управления;

– завершить команду клавишей **Esc**;

– аналогичным образом другими цветами подсветить остальные цепи управления (при наличии). Обнаруженные ошибки необходимо исправить.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 8.65, *б*;

– отменить цветовую маркировку, выполнив команду **Clear All Net Colors** (рис. 8.65, *а*).

9.11. Сохранить изменения в проекте (см. п. 4 из 5.5).

9.12. Сохранить изменения в схеме Э3 (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 8.66. Пример схемы Э3 для еще одного варианта задания приведен на рис. Г.181.

10. Внести корректировки в схему Э1 из разд. 3:

– открыть схему Э1 командой **File ⇒ Open** (расположение указано в п. 2 из 3.2.3). Следует обратить внимание на то, что схема появится в панели Projects в группе Free Documents, и переносить ее оттуда никуда не нужно;

– на входе узла вторичного питания указать диапазон входного напряжения питания и ток потребления устройства. Для этого удобно использовать текстовый блок без контура (последовательное нажатие клавиш **P ⇒ F**);

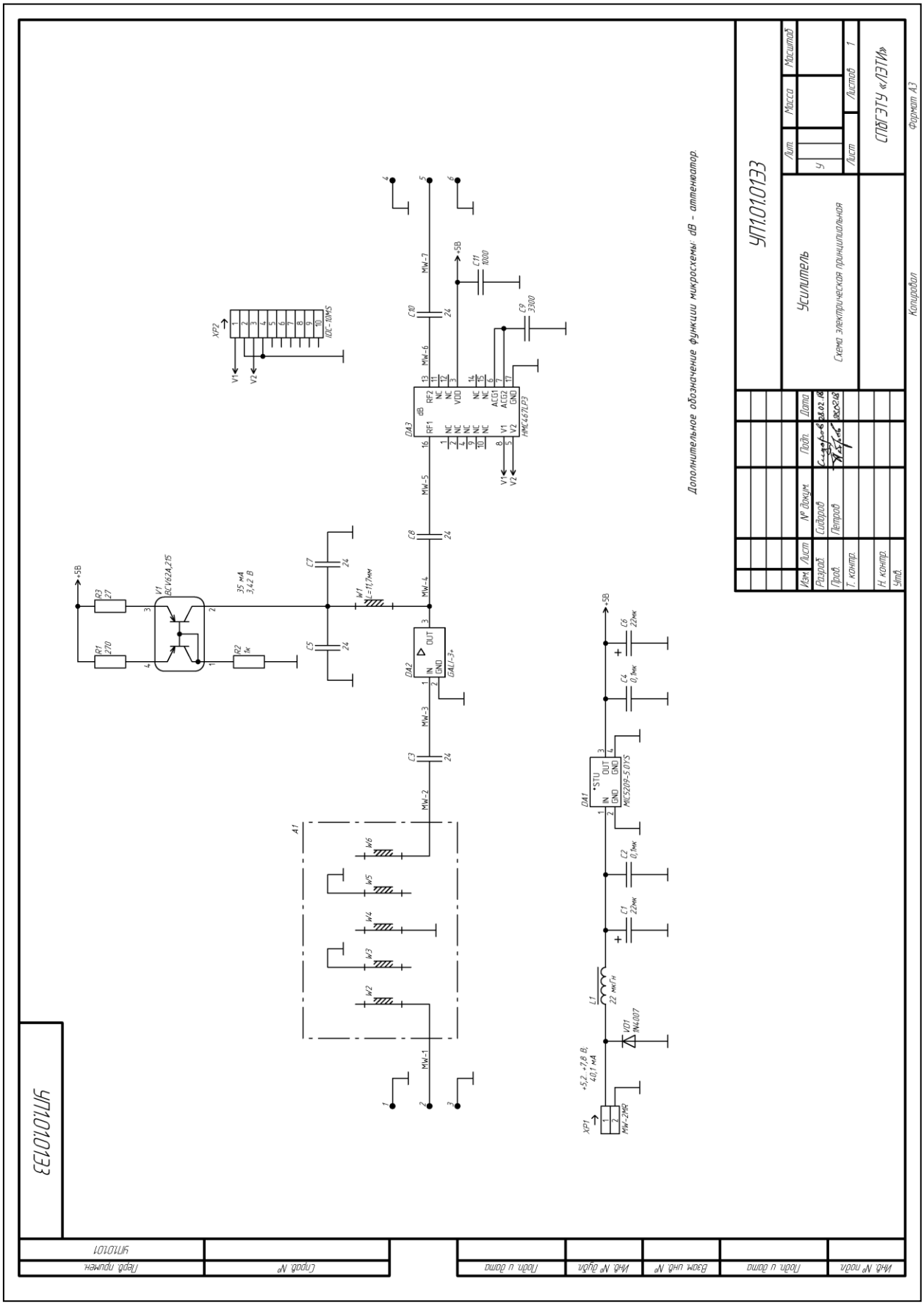

УП1.01.0133
Усилитель
Схема электрическая принципиальная
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Дополнительное обозначение функции микросхемы: dB - аттенюатор.
Копировал
Формат А3
+5В
DA1 78L05
DA2 GALI-3+
DA3 HMC467LP3
V1 BCV62A,215
XP1
XP2
L1 22 мкГн
VD1 1N4007
C1 22мк
C2 0,1мк
C3 24
C4 0,1мк
C5 24
C6 22мк
C7 24
C8 24
C9 3300
C10 24
C11 1000
R1 270
R2 1к
R3 27
W1 =11,7мм
W2
W3
W4
W5
W6
A1
MW-1
MW-2
MW-3
MW-4
MW-5
MW-6
MW-7
35 мА
3,42 В
+5,2...7,8 В,
40,1 мА

Рис. 8.66

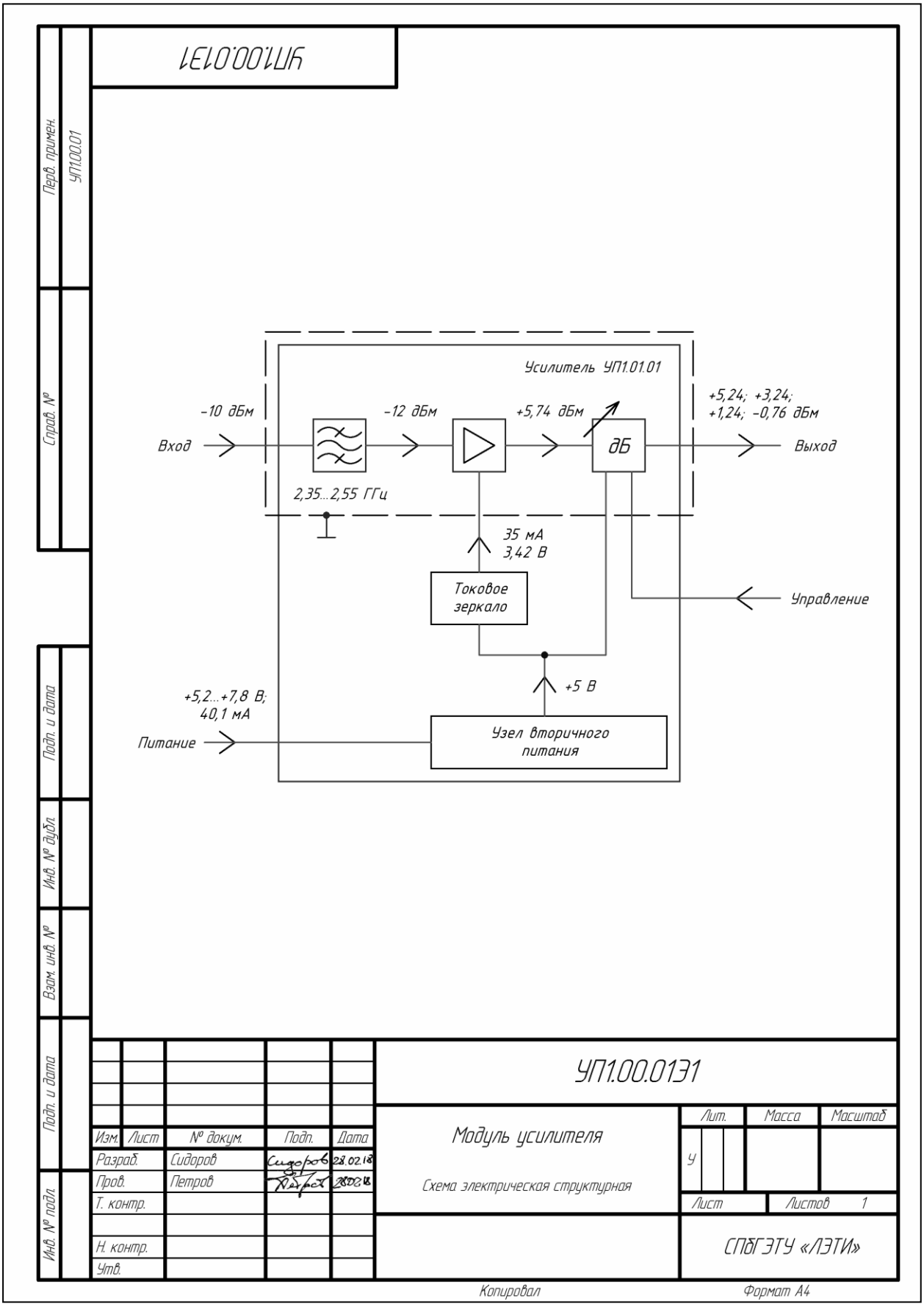

УП1.00.01ЭЧ
Перв. примен.
УП1.00.01
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.
Усилитель УП1.01.01
-10 дБм
-12 дБм
+5,74 дБм
дБ
+5,24; +3,24;
+1,24; -0,76 дБм
Вход
Выход
2,35...2,55 ГГц
35 мА
3,42 В
Токовое зеркало
Управление
+5 В
+5,2...+7,8 В;
40,1 мА
Питание
Узел вторичного питания
УП1.00.01Э1
Изм. Лист № докум. Подп. Дата
Разраб. Сидоров 28.02.18
Пров. Петров 28.02.18
Т. контр.
Н. контр.
Утв.
Модуль усилителя
Схема электрическая структурная
Лит. Масса Масштаб
У
Лист Листов 1
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Копировал
Формат А4

Рис. 8.67

Переопределение единиц измерения

Ом = Ω кОм = kΩ В = V А = А мА = mA

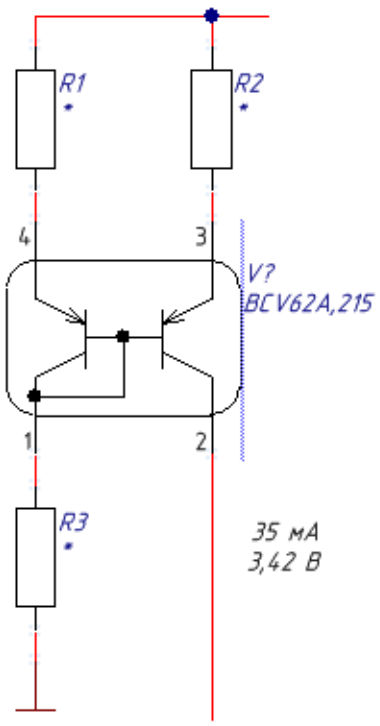
Переопределение единиц измерения

Микросхема аттенюатора

Напряжение питания микросхемы аттенюатора: $U_{атт} = 5\,В$

Ток потребления микросхемы аттенюатора по питанию: $I_{ап} = 1.2\,мА$

Токовое зеркало



Ток коллектора правого транзистора: $I_{Кп} = 35\,мА$

Напряжение на коллекторе правого транзистора: $U_{Кп} = 3.42\,В$

Коэффициент пропорциональности: $d = 13\,Ом$

Падение напряжения на резисторе R2 (начальное приближение):

$$U_{R2} = d \cdot I_{Кп} = 0.455\,В$$

Напряжение коллектор-эмиттер правого транзистора: $U_{КЭп} = 0.7\,В$

Минимальное напряжение питания "токового зеркала":

$$U_{тз} = U_{Кп} + U_{КЭп} + U_{R2} = 4.575\,В$$

Так как $U_{тз}$ меньше $U_{атт}$, то $U_{тз}$ принимается равным $U_{атт}$ и осуществляется пересчет U_{R2}:

$$U_{тз} = 5\,В$$

$$U_{R2} = U_{тз} - U_{Кп} - U_{КЭп} = 0.88\,В$$

Сопротивление резистора R2: $R2 = \frac{U_{R2}}{I_{Кп}} = 25.143\,Ом$

Выбор из ряда E24: $R2 = 27\,Ом$ (после перенумерации - R3)

Рис. 8.68

– в варианте № 1 организации питания (см. табл. 8.5) на выходе узла вторичного питания две линии электрической связи объединить в одну;

– в варианте № 2 организации питания (см. табл. 8.5) на выходе узла вторичного питания у линии электрической связи, идущей к «токовому зеркалу», указать значение напряжения $U_{тз}$;

– сохранить схему командой **File ⇒ Save As** в ту же папку и с тем же расширением, но с номером версии **v0.2** (см. рис. 2.7).

– удалить файл «**УП1.00.01Э1 - Модуль усилителя - v0.1.SchDoc**».

Результат в варианте «П1» показан на рис. 8.67.

11. Сохранить схемы Э3 и Э1 в формате PDF по 8.4.

У схемы Э3 в варианте «П1» имя файла – «**УП1.01.01Э3 - Усилитель - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_pdf** (см. рис. 2.8).

У схемы Э1 в варианте «П1» имя файла – «**УП1.00.01Э1 - Модуль усилителя - v0.2**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_pdf** (см. рис. 2.7).

12. При желании выполнить 4-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3 и прил. К).

На рис. 8.68 показан фрагмент файла «**Расчеты (Э3).xmcd**», в котором производились расчеты в варианте «П1».

Добавление греческой буквы в записи смены единиц измерения для ома производилось из ПИ **Greek** (команда **View ⇒ Toolbars ⇒ Greek**).

Рисунок сделан с помощью приложения **Ножницы** при выключенном отображении сетки (опция **Visible** на вкладке **Sheet Options** в окне, вызываемом командой **Design ⇒ Document Options**) и вставлен из буфера обмена.

8.4. Сохранение схем из Altium Designer в формате PDF

Последовательность действий по сохранению схемы в формате PDF:

1. На вкладке **Projects** на требуемом листе схемы запустить команду **ПКМ ⇒ Print Preview** для открытия окна просмотра перед печатью.

2. Для настройки параметров листа в окне просмотра перед печатью запустить команду **ПКМ ⇒ Page Setup** и в появившемся окне Schematic Print Properties выполнить следующее:

– в группе **Printer Paper** выбрать формат листа и его ориентацию (для схем на листе формата А4 – **Portrait**, для А3 – **Landscape**);

– в группе **Scaling** выбрать опцию **Scaled Print** и в поле **Scale** ввести масштабирующий коэффициент **0,9999**;

– в группе **Color Set** выбрать опцию **Mono** (вывод на печать в черно-белом цвете);

– закрыть окно кнопкой **Close**.

Пример настроек для листа формата А3 показан на рис. 8.69.

3. Для настройки выводимых на печать объектов в окне просмотра перед печатью запустить команду **ПКМ ⇒ Configuration** и в появившемся окне Schematic Print Properties выполнить следующее (рис. 8.70):

– в группе **Drawings** отключить первые опции в каждой строке (все остальные опции будут отключены автоматически). В этом случае на распечатанном листе не будет вспомогательных объектов (например, директив);

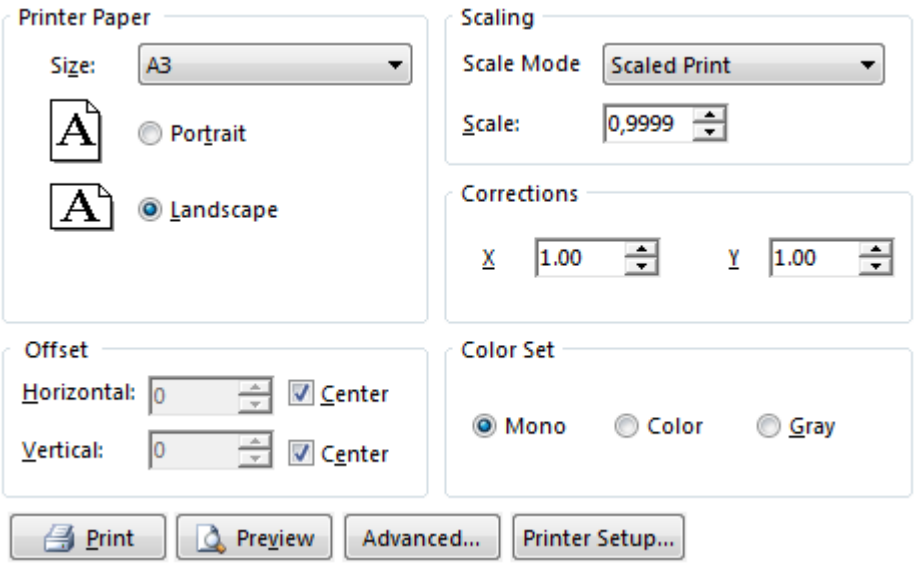


Рис. 8.69

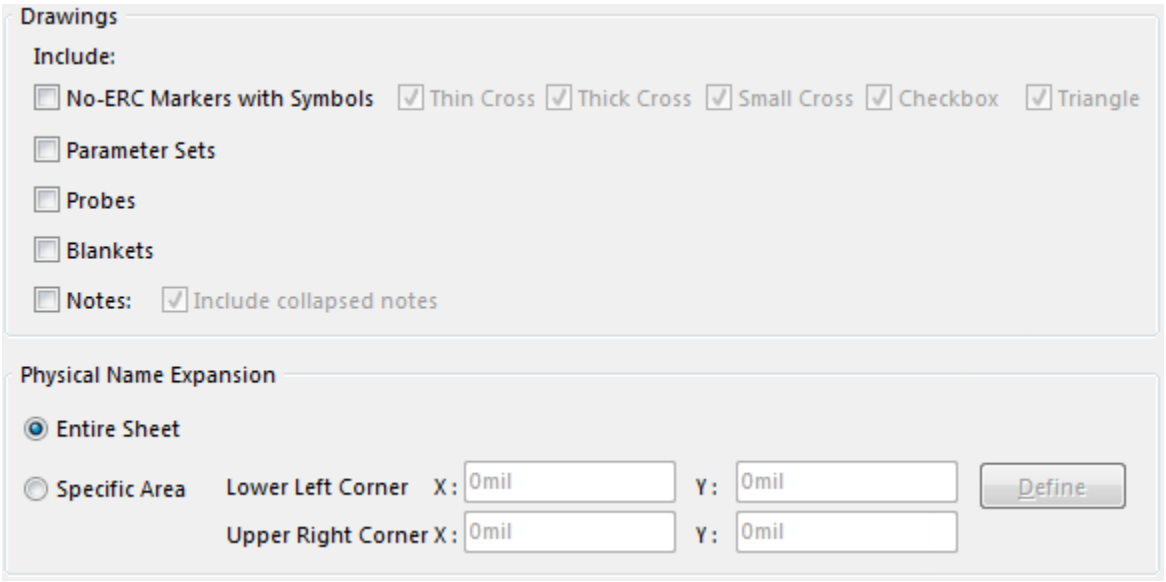


Рис. 8.70

– в группе **Physical Name Expansion** выбрать опцию **Entire Sheet** для печати информации со всего листа и закрыть окно кнопкой **OK**.

Примечание. При включении опции Specific Area можно задать область печати прямоугольной формы либо непосредственно вводом координат, либо указанием ее мышкой в рабочем поле после нажатия кнопки Define.

4. Убедиться в том, что в окне просмотра перед печатью лист схемы отображается правильно, после чего нажать кнопку **Print**.

5. В открывшемся окне Printer Configuration в поле **Name** выбрать виртуальный pdf-принтер (например, **Adobe PDF**) и нажать кнопку **OK**.

Затем задать имя файлу по названию схемы (если проект состоит из нескольких листов, то добавить номер листа) и указать путь для сохранения.

6. Чтобы объединить несколько листов схемы (каждый лист печатается отдельно), необходимо выделить требуемые файлы в папке, в которую они были сохранены, и выполнить команду **ПКМ ⇒ Combine supported files in Acrobat** (требуется **Adobe Acrobat Pro** или **Adobe Acrobat 3D**).

Примечания:

– если в полученном документе нет названий некоторых идентификаторов цепей, номеров выводов УГО или их функциональных назначений, то проблема решается отключением опции Render Text with GDI+ в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в подразделе Schematic ⇒ General;

– если полученный документ представляет собой белый лист, то следует отказаться от использования окна просмотра перед печатью. В этом случае команда из п. 2 запускается на требуемом листе схемы на вкладке Projects, а окна из пп. 3 и 5 открываются соответственно кнопками Advanced и Print в окне Schematic Print Properties (см. рис. 8.69);

– командой File ⇒ Smart PDF можно создать документ формата PDF с результатами двухмерного проектирования (листы схем, информация с ПП, перечень компонентов) и встроенными ссылками;

– для проекта ПП можно создать файл формата OUTJOB, в котором один раз задать все необходимые настройки по сохранению результатов проектирования (например, печать схем или формирование Gerber-файлов), после чего использовать его в разных проектах. Подробнее см. в [50].

8.5. Содержание отчета

По 3-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести схему Э1 «модуля усилителя» с внесенными изменениями, распечатанную на отдельном листе.

По 8-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Графические пояснения по выбору конденсатора в п. 5.2 из 8.3.

2. Обоснование выбора кнопки по п. 6.14 из 8.3 (при наличии в варианте задания).

3. Результат проверки по п. 6.14 из 8.3 (для вариантов задания с РУ).

4. Расчет номиналов резисторов в «токовом зеркале».

Если после перенумерации схемы изменились позиционные обозначения резисторов, то около результатов с их номиналами в этом и последующих пунктах должны быть даны соответствующие пояснения (см. рис. 8.68).

5. Расчет номиналов резисторов для микросхемы стабилизатора с подстраиваемым выходным напряжением (при наличии в варианте задания).

6. Графические пояснения по выбору конденсатора в п. 8.6 из 8.3.

7. Пояснения по выбору конденсатора в п. 8.7 из 8.3.

8. Расчет параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне (при наличии в варианте задания).

9. Расчет ИПС и графические пояснения по нахождению прямого напряжения и тока (при наличии в варианте задания).

10. Расчет тока потребления «усилителя» и графическое пояснение по нахождению тока потерь для микросхемы стабилизатора напряжения.

11. Расчет диапазона входных напряжений «усилителя» и графическое пояснение по нахождению величины Dropout Voltage для микросхемы стабилизатора напряжения. Во всех вариантах задания указать значение падения напряжения на компоненте в схеме ЗП с графическим пояснением.

12. Расчет температур кристаллов транзисторной сборки и микросхемы стабилизатора напряжения и сравнение их с границами рабочих диапазонов.

13. Один или два рисунка (в зависимости от варианта организации питания) с проверкой правильности соединения сегментов линий электрической связи для цепей питания.

14. Схему Э3 «усилителя», распечатанную на отдельном листе.

Следует отметить, что при выполнении 12-го основного этапа проектирования в схему Э3 «усилителя» могут быть внесены изменения.

КД на листах формата А3 для размещения в отчете необходимо сложить на формат А4. Правила складывания КД описаны в ГОСТ 2.501–2013 [51]:

– листы чертежей всех форматов следует складывать сначала вдоль линий, перпендикулярных (продольных) к основной надписи, а затем вдоль линий, параллельных (поперечных) к основной надписи;

– листы чертежей после складывания должны иметь основную надпись на лицевой стороне сложенного листа;

– листы складывают в последовательности цифр на линиях сгибов, указанных на соответствующих изображениях.

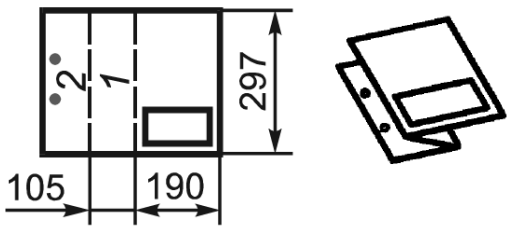


Рис. 8.71 [51]

Пример складывания листа формата А3 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа для непосредственного брошюрования показан на рис. 8.71.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ К СХЕМЕ Э3 «УСИЛИТЕЛЯ»

9.1. Правила оформления перечня элементов

Необходимой принадлежностью разрабатываемых в вариантах задания схем Э3 является ***перечень элементов***, в который записывают данные об изображенных на ней элементах и устройствах. Как отмечалось в п. 3.6 из 8.1, связь между УГО и перечнем элементов осуществляется через позиционные обозначения.

Правила оформления перечня элементов содержатся в ГОСТ 2.701–2008 и ГОСТ 2.702–2011, основными из которых являются следующие:

1. Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа.

Для электронных документов перечень элементов выполняют только в виде самостоятельного документа.

2. При выпуске перечня элементов в виде самостоятельного документа его код должен состоять из буквы «**П**» и кода схемы, к которой он относится.

Например, код перечня элементов к схеме Э3 – **ПЭ3**.

3. Перечень элементов в виде самостоятельного документа выполняют на листах формата А4 с оформлением в рамках по ГОСТ Р 2.104–2023, которое упрощенно показано на рис. 3.5, *а*.

Оформление основной надписи для текстовых документов на первом листе показано на рис. 9.1.

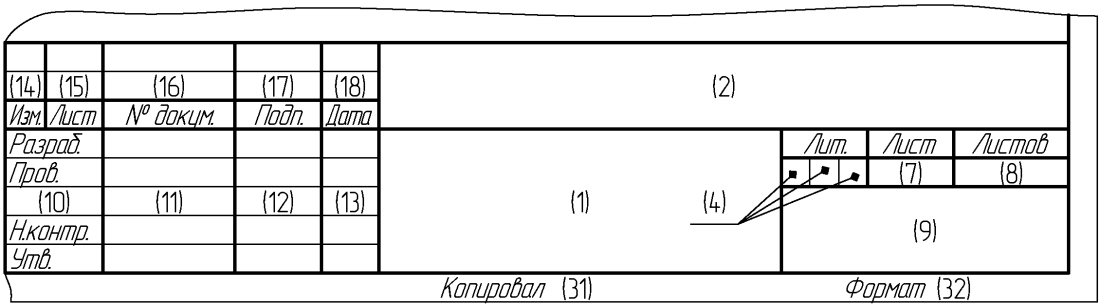


Рис. 9.1

Для текстовых документов оформление основной надписи на последующих листах (рис. 3.6, *б*) и дополнительных граф (рис. 3.6, *в*) не отличается от их оформления для схем и чертежей, за исключением отсутствия графы 26. Содержание граф указано в табл. 3.1.

4. Перечень элементов оформляют в виде таблицы (рис. 9.2), заполняемой сверху вниз, с фиксированными размерами столбцов и строк:

– в графе «**Поз. обозначение**» указывают позиционные обозначения элементов, устройств и функциональных групп;

– в графе «**Наименование**» указывают для элемента (устройства) его наименование в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, и обозначение этого документа (основной КД, межгосударственный стандарт, стандарт Российской Федерации, стандарт организации, технические условия), а для функциональной группы – наименование;

– в графе «**Примечание**» рекомендуется указывать технические данные элемента (устройства), не содержащиеся в его наименовании (фирму и пр.).

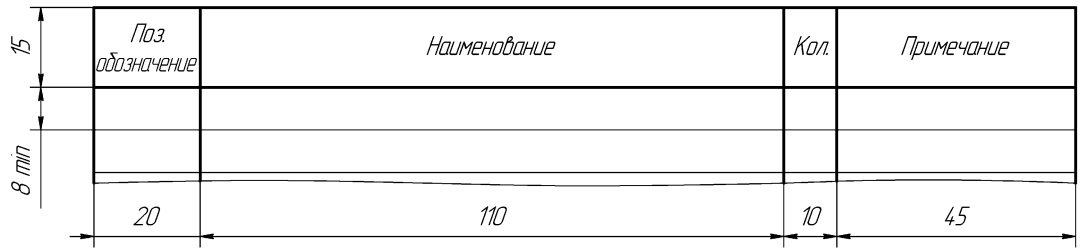


Рис. 9.2

5. Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров.

6. Для облегчения внесения изменений допускается оставлять несколько незаполненных строк между отдельными группами элементов, а при большом количестве элементов внутри групп – и между элементами.

7. Элементы одного типа с одинаковыми параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, допускается записывать в перечень в одну строку. В этом случае в графу «Поз. обозначение» вписывают только позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например: *R3, R4, C8–C12*, а в графу «Кол.» – общее количество таких элементов.

8. При записи элементов одинакового наименования, отличающихся техническими характеристиками и другими данными и имеющих одинаковое буквенное позиционное обозначение, допускается в графе «Наименование» записывать наименование этих элементов в виде общего наименования, а в общем наименовании – наименование, тип и обозначение документа (межгосударственный стандарт, технические условия или основной КД), на основании которого эти элементы применены.

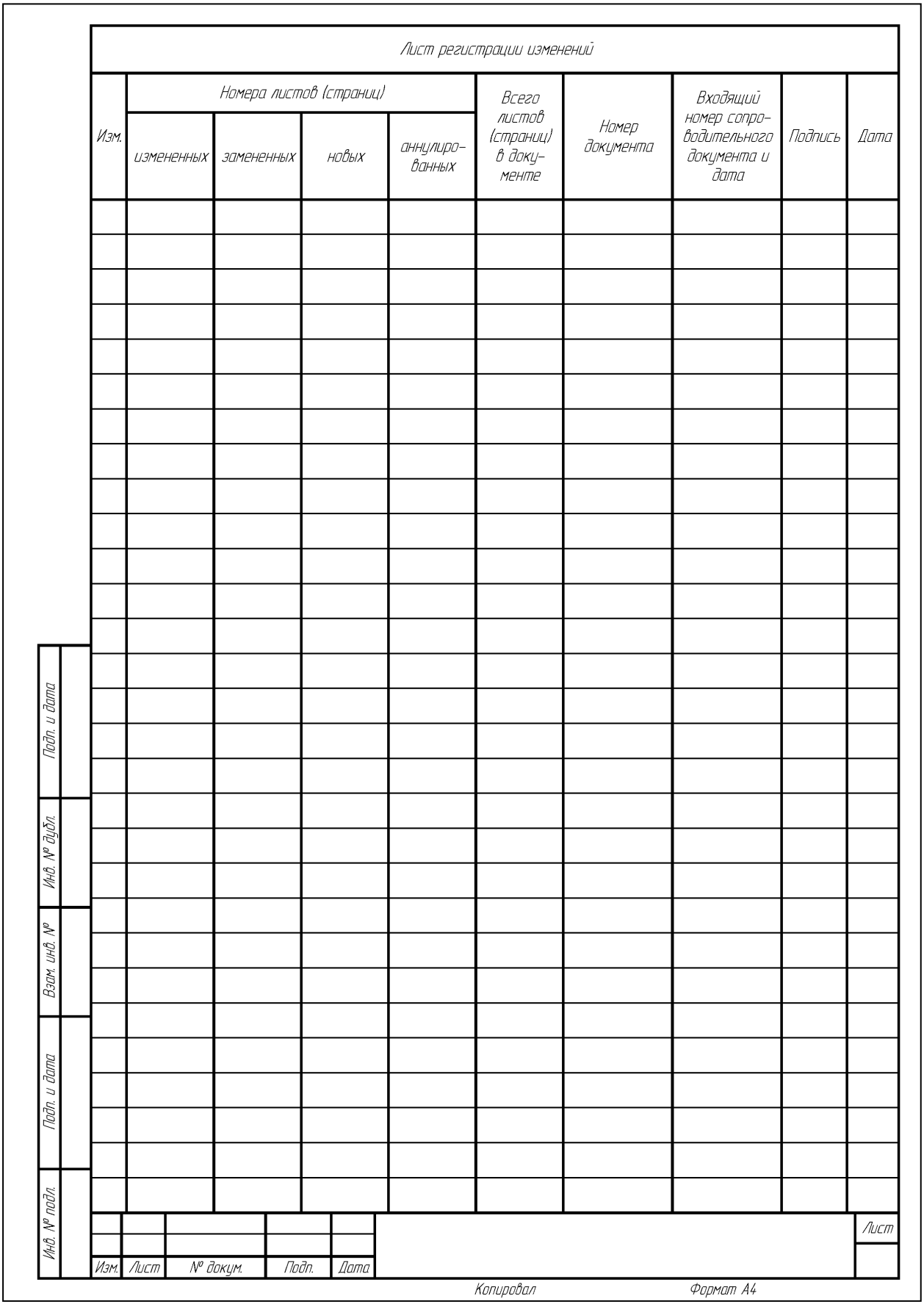

Лист регистрации изменений
Изм.
Номера листов (страниц)
измененных
замененных
новых
аннулированных
Всего листов (страниц) в документе
Номер документа
Входящий номер сопроводительного документа и дата
Подпись
Дата
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.
Изм.
Лист
№ докум.
Подп.
Дата
Лист
Копировал
Формат А4

Рис. 9.3

При выполнении перечня элементов на нескольких страницах, рекомендуется общее наименование для группы элементов повторять вверху каждой страницы. Подобное требование есть в ГОСТ 2.704–2011 [52], а также в правилах оформления спецификации в ГОСТ Р 2.106–2019 [53].

9. Если в изделии имеются элементы, не являющиеся самостоятельными конструкциями, то при записи их в перечень графу «Наименование» не заполняют, а в графе «Примечание» помещают поясняющую надпись или ссылку на поясняющую надпись на поле схемы.

10. Элементы, относящиеся к устройствам и функциональным группам, записывают в перечень элементов отдельно. При этом запись таких элементов начинают с наименования устройства или функциональной группы, которое записывают в графе «Наименование» и подчеркивают (при автоматизированном проектировании допускается не подчеркивать). Ниже наименования устройства (функциональной группы) должна быть оставлена одна свободная строка, выше – не менее одной свободной строки.

11. Если на схеме изделия имеются элементы, не входящие в устройства (функциональные группы), то при заполнении перечня элементов вначале записывают эти элементы без заголовка, а затем устройства, не имеющие самостоятельных принципиальных схем, и функциональные группы с элементами, входящими в них.

12. Если в изделии есть несколько одинаковых устройств (функциональных групп), то в перечне указывают количество элементов, входящих в одно устройство (функциональную группу). Число одинаковых устройств (функциональных групп) указывают в графе «Кол.» на одной строке с заголовком.

13. По ГОСТ Р 2.105–2019 [54] к текстовым документам выпускается лист регистрации изменений (ЛР) в соответствии с ГОСТ Р 2.503–2023 [55].

По старой редакции (ГОСТ 2.503–74 [56]) ЛР предусматривают в текстовых документах из трех и более листов, включают в общее количество листов и помещают последним листом (см. рис. 9.3).

9.2. Создание перечня элементов ПЭ3

Перечень элементов будет оформлен в **Microsoft Word** на заранее подготовленной заготовке «**Перечень элементов, вариант A.doc**» из папки **…\ИДРЭС\MSWord заготовки** (см. рис. 2.9).

Заготовка состоит из рамок (основные надписи и дополнительные графы по п. 3 из 9.1), выполненных в виде таблиц и помещенных в нижние колонти-

тулы страниц, а также из таблицы по п. 4 из 9.1, размещенной в рабочем поле листа, с автоматически повторяющимся на каждой странице заголовком.

Для создания перечня элементов ПЭ3 «усилителя» необходимо:

1. Открыть указанную выше заготовку.

2. Сохранить заготовку командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.doc». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.01ПЭ3 - Усилитель - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель** (см. рис. 2.8).

3. Войти в режим редактирования нижних колонтитулов, выполнив на основной надписи команду **ПКМ ⇒ Изменить нижний колонтитул**, и заполнить без копирования графы рамок в соответствии с табл. 9.1. Вход в режим редактирования двойным щелчком ЛКМ не допускается, так как может привести к появлению лишних пустых строк в таблице.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1, на рис. 9.1 и на рис. 3.6, *б* и *в*.

Таблица 9.1

Содержание граф рамки для перечня элементов ПЭ3 «усилителя»

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Усилитель Перечень элементов	Наименование изделия определено в табл. 2.1. Наименование документа присутствует в используемой заготовке по умолчанию
2 (на первом и втором листе)	УП1.01.01ПЭ3	Обозначение документа определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1». Обозначение со второго листа при увеличении числа листов повторяется на каждом последующем
4	У	–
7 и 8	См. комментарий	Графы заполняются автоматически
9	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	–
11 (напротив «Разраб.»)	Сидоров	Указывается фамилия студента, разработавшего КД. Если вариант задания выполняется студентами в паре, то фамилия второго студента записывается в графе 11 напротив «Пров.»
11 (напротив «Пров.»)	Петров	Указывается фамилия преподавателя. Если вариант задания выполняется студентами в паре, то фамилия преподавателя указывается в графе 11 напротив «Утв.», а в данной графе записывается фамилия второго студента
11 (напротив «Утв.»)	См. комментарий	Если вариант задания выполняется студентами в паре, то в данной графе записывается фамилия преподавателя. В противном случае графа не заполняется
25	УП1.01.01	Обозначение спецификации, в которой записан КД, определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»

4. Выйти из режима редактирования колонтитулов кнопкой **Закрыть** на ПИ **Колонтитулы** (или несколькими нажатиями клавиши **Esc)**.

5. Сформировать список компонентов из схемы Э3 «усилителя» в порядке возрастания их позиционных обозначений:

– в Altium Designer командой **File ⇒ Open Project** открыть проект ПП (расположение указано в п. 1 из 8.2);

– в проекте открыть схему Э3 «усилителя» (см. п. 3 из 8.3);

– запустить команду **Reports ⇒ Bill of Materials**;

– в открывшемся окне удалить группировку информации по всем параметрам, для чего перетащить их названия зажатой ЛКМ из столбца **Grouped Columns** в столбец **All Columns**. Пример перетаскивания параметра Footprint показан на рис. 9.4;

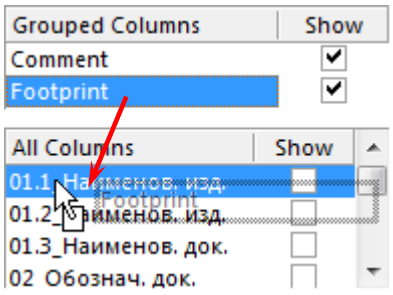


Рис. 9.4

– два раза щелкнуть ЛКМ по названию столбца **Show**, расположенному около столбца All Columns. В результате сверху окажутся параметры, отображаемые в данный момент в заголовках столбцов таблицы из правой части окна Bill of Material;

– оставить видимыми только параметры **Designator** (позиционное обозначение) и **Quantity** (количество), для чего снять галочки напротив остальных параметров в столбце **Show**;

– включить отображение параметров **CI_BOM** и **CI_Manufacturer**;

– перетаскиванием зажатой ЛКМ за заголовки столбцов в правой части окна Bill of Materials расставить их в следующем порядке слева направо: Designator, CI_BOM, Quantity, CI_Manufacturer;

– убедиться в том, что включена сортировка в порядке увеличения позиционных обозначений, и сохранить рисунок таблицы со всеми позиционными обозначениями в отчет.

Фрагмент таблицы в варианте «П1» показан на рис. 9.5;

Designator	CI_BOM	Quantity	CI_Manufacturer
C1	293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 % 10 В Case C	1	Vishay
C2	GRM21B7U1A104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 10 В U2J 0805	1	Murata
C3	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	1	ATC
C4	GRM21B7U1A104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 10 В U2J 0805	1	Murata
C5	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	1	ATC
C6	293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 % 10 В Case C	1	Vishay
C7	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	1	ATC
C8	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	1	ATC
C9	GRM2165C2A332JA01D 3300 пФ ±5 % 100 В C0G 0805	1	Murata

Рис. 9.5

– в группе **Export Options** в поле **File Format** выбрать опцию **Microsoft Excel Worksheet (*.xls)** и включить опцию **Open Exported** (открытие экспортированного файла);

– в группе **Excel Options** в поле **Template** выбрать **<none>** (экспорт в Microsoft Excel без специальной заготовки);

– нажать кнопку **Export**;

– в появившемся окне убедиться в том, что сохранение файла производится в папку Project Outputs из папки с проектом ПП, и нажать кнопку **Сохранить**. Если открылся блокнот с информацией, то закрыть его.

В результате откроется книга Microsoft Excel со списком компонентов;

– закрыть окно Bill of Materials кнопкой **OK**;

– сохранить изменения в проекте (см. п. 4 из 5.5). При этом в проекте будут сохранены настройки окна Bill of Materials.

Примечание. В списке компонентов отсутствуют КП, так как в их свойствах задан тип Standard (No BOM). Подробнее см. в Г.33.

6. Заполнить графы таблицы из рабочего поля перечня элементов, используя список компонентов из книги Microsoft Excel и правила из 9.1.

Возможная последовательность действий:

6.1. В соответствии с п. 7 из 9.1 в книге Microsoft Excel вручную объединить идущие подряд строки с одинаковыми данными в столбце CI_BOM, скорректировав значения в столбце Quantity и записи в столбце Designator.

Исключением при проектировании станут отрезки МПЛ, так как второй и все последующие образуют функциональную группу. Поэтому строка с позиционным обозначением W1 должна остаться без изменений.

6.2. Выделить ячейки с данными строки, относящейся к отрезкам МПЛ из функциональной группы, и зажатой ЛКМ переместить их в конец списка.

6.3. Удалить пустые строки (команда **ПКМ ⇒ Удалить** на их номерах).

В варианте «П1» были сгруппированы строки с конденсаторами *C7* и *C8*, а также с отрезками МПЛ от *W2* до *W6* (рис. 9.6).

	A	B	C	D
1	Designator	CI_BOM	Quantity	CI_Manufacturer
8	C7, C8	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	2	ATC
21	W1		1	
22	XP1	Вилка угловая MW-2MR	1	Connfly
23	XP2	Вилка прямая IDC-10MS	1	Connfly
24	W2-W6		5	

Рис. 9.6

6.4. Выделить все ячейки, оказавшиеся на пересечении четырех первых столбцов и строк с позиционными обозначениями (заголовки столбцов не должны быть выделены), и скопировать их в буфер обмена (**Ctrl+C**).

6.5. Перейти в Microsoft Word в перечень элементов и на первом листе в любой ячейке второй пустой строки выполнить команду **ПКМ ⇒ Параметры вставки ⇒ Объединить в таблицу** (рис. 9.7).

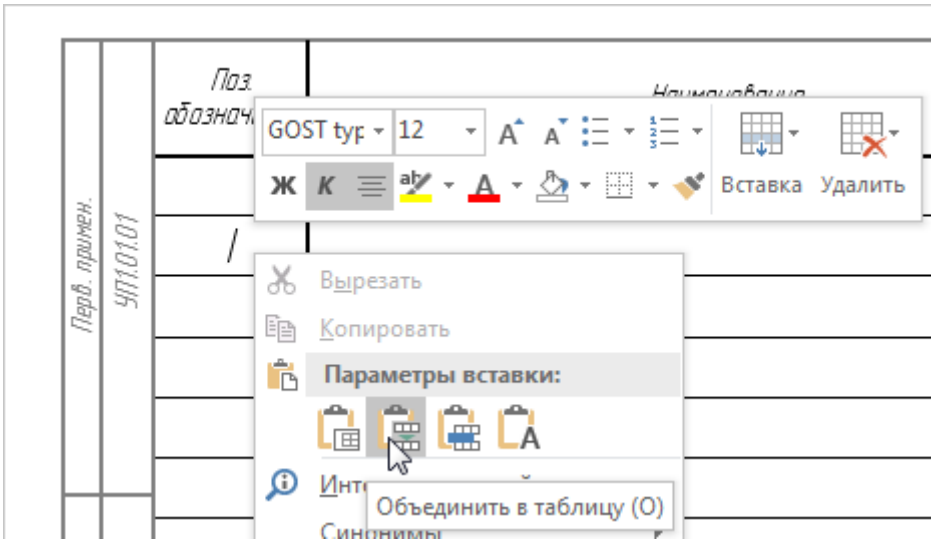


Рис. 9.7

Примечание. При отсутствии указанной команды следует проверить включение следующей настройки: Файл ⇒ Параметры ⇒ Дополнительно ⇒ Вырезание, копирование и вставка ⇒ Настройка ⇒ Использовать для: Word 2002-2010.

6.6. Удалить одну пустую строку перед конденсаторами (см. п. 8) и в оставшейся пустой строке в столбце «Наименование» в соответствии с п. 8 из 9.1 записать их общее наименование – **Конденсаторы**.

6.7. Добавить по несколько пустых строк (см. п. 7) между каждой парой компонентов с разными буквенными кодами в позиционных обозначениях (между конденсаторами и микросхемами, микросхемами и дросселем и т. д.).

Примечание. Назначение пустых строк кроме визуального разделения групп компонентов с разной функцией указано в п. 6 из 9.1.

6.8. В столбце «Наименование» над строкой с резисторами записать их общее наименование – **Резисторы**.

Если резисторы находятся на разных страницах перечня элементов, то в соответствии с п. 8 из 9.1 общее наименование записать на каждой. Если на странице оказалась только одна строка с резистором, то наименование «Резистор» записать перед его Part Number.

6.9. В соответствии с п. 10 из 9.1 добавить наименование функциональной группы, в которую входят отрезки МПЛ, – **Фильтр полосовой**.

После этого для указанной функциональной группы внести необходимые данные в графы «Поз. обозначение» и «Кол.».

6.10. Для отрезков МПЛ заполнить графу «Примечание» (см. п. 9 из 9.1).

В варианте «П1» записано **Линия СВЧ**.

6.11. При необходимости в графе «Примечание» для отдельных компонентов записать дополнительную информацию.

В варианте «П1» было указано количество контактов в разъемах.

7. При необходимости добавления в таблицу новой строки следует установить курсор мышки в любую ячейку строки, относительно которой будет производиться вставка, и выполнить команду **ПКМ ⇒ Вставить ⇒ Вставить строки сверху** (или **Вставить строки снизу**).

Команду можно повторить комбинацией клавиш **Ctrl+Y**, при этом установив курсор мышки в ячейку любой другой строки.

Если предварительно выделить ЛКМ несколько строк, то будет добавлено такое же количество новых строк.

8. При необходимости удаления из таблицы строк следует выделить ЛКМ требуемое их количество и запустить команду **ПКМ ⇒ Удалить ячейки** (или нажать клавишу **Backspace**), после чего в появившемся окне выбрать опцию **Удалить всю строку** и нажать **ОК**.

9. Если вся информация в перечне элементов поместилась на двух первых листах, то в соответствии с п. 13 из 9.1 скрыть ЛР:

– нажать пиктограмму **Отобразить все знаки** на ПИ **Главная** (или комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+8**) для отображения всех скрытых знаков;

– под таблицей в рабочем поле на листе, предшествующем ЛР, щелкнуть ЛКМ перед знаком абзаца на строке с разрывом раздела (рис. 9.8);

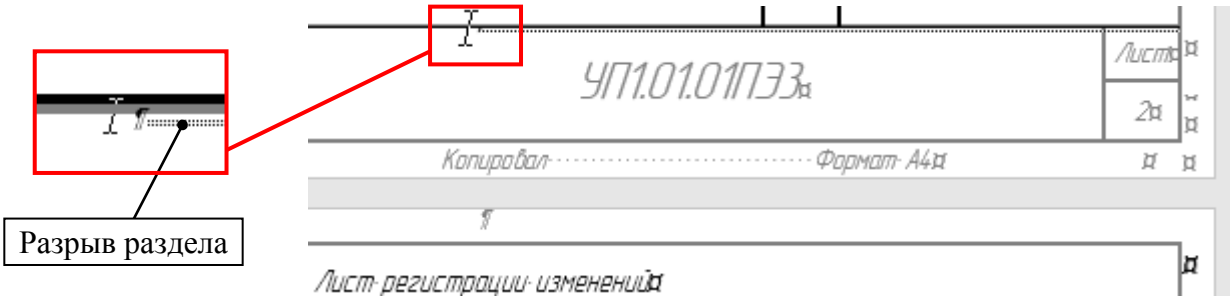


Рис. 9.8

– с зажатой клавишей **Shift** щелкнуть ЛКМ в рабочем поле под таблицей на ЛР, в результате чего выделится разрыв раздела и вся таблица на ЛР;

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	Конденсаторы		
C1	293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 % 10 В Case C	1	Vishay
C2	GRM21B7U1A104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 10 В U2J 0805	1	Murata
C3	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	1	ATC
C4	GRM21B7U1A104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 10 В U2J 0805	1	Murata
C5	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	1	ATC
C6	293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 % 10 В Case C	1	Vishay
C7, C8	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	2	ATC
C9	GRM2165C2A332JA01D 3300 пФ ±5 % 100 В C0G 0805	1	Murata
C10	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	1	ATC
C11	GRM2165C2A102JA01D 1000 пФ ±5 % 100 В C0G 0805	1	Murata
DA1	Стабилизатор напряжения MIC5209-5.0YS	1	Microchip
DA2	Усилитель GALI-3+	1	Mini-Circuits
DA3	Аттенюатор HMC467LP3	1	Hittite
L1	Дроссель SDR0604-220YL 22 мкГн ±15 % 1,1 А	1	Bourns
	Резисторы		
R1	RC0805JR-07270RL 270 Ом ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo
R2	RC0805JR-071KL 1 кОм ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo
R3	RC0805JR-0727RL 27 Ом ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo

Перв. примен. УП1.01.01

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

УП1.01.01ПЭ3

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Сидоров	Сидоров	28.02.18
Пров.		Петров	Петров	28.02.18
Н. контр.				
Утв.				

Усилитель

Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
У	1	2

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Копировал

Формат А4

Рис. 9.9 Начало (окончание см. на с. 290)

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
V1	Сборка транзисторная BCV62A,215	1	Nexperia
VD1	Диод 1N4007	1	Diodes Incorporated
W1		1	Линия СВЧ
XP1	Вилка угловая MW-2MR	1	Connfly, 2 конт.
XP2	Вилка прямая IDC-10MS	1	Connfly, 10 конт.
A1	Фильтр полосовой	1	
W2-W6		5	Линия СВЧ

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УП1.01.01ПЭЗ	Лист 2

Копировал Формат А4

Рис. 9.9 Окончание (начало см. на с. 289)

– нажать комбинацию клавиш **Ctrl+D** и в появившемся окне **Шрифт** на одноименной вкладке включить опцию **скрытый**;

– нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+8**, в результате чего ЛР скроется, а количество листов в документе станет равно двум.

10. Сохранить изменения в перечне элементов (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 9.9. Пример перечня элементов ПЭ3 для еще одного варианта задания приведен на рис. Г.184.

11. Сохранить перечень элементов в формате PDF.

Для этого выполнить следующие действия:

– запустить команду **Файл ⇒ Печать**;

– выбрать виртуальный pdf-принтер (например, **Adobe PDF**);

– нажать пиктограмму **Печать** (или кнопку **OK** в старых версиях Microsoft Word) и в появившемся окне задать имя файла и путь сохранения.

Примечание. Сохранение в формате PDF возможно также с помощью команды Файл ⇒ Сохранить как. В этом случае в поле «Тип файла» выбирается PDF (.pdf).*

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.01ПЭ3 - Усилитель - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_pdf** (см. рис. 2.8).

12. Сохранить изменения в книге Microsoft Excel (**Ctrl+S**).

9.3. Содержание отчета

По 9-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Рисунок таблицы из правой части окна Bill of Materials со всеми позиционными обозначениями.

2. Перечень элементов к схеме Э3 «усилителя», распечатанный на отдельных листах.

Стоит обратить внимание на то, что при выполнении 12-го основного этапа проектирования в данный КД могут быть внесены изменения.

10. СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ «МОДУЛЯ УСИЛИТЕЛЯ»

10.1. Создание схемы Э3

Схема Э3 «модуля усилителя» будет создана в Altium Designer на листе формата А4 в виде свободного документа, поэтому рекомендуется следующий порядок действий:

1. Сделать копию файла схемы Э1 из разд. 3 и скорректировать ее имя.

В варианте «П1» в папке **…\ИДРЭС-П1** (см. рис. 2.7) копии файла было присвоено имя «**УП1.00.01Э3 - Модуль усилителя - v0.1**».

2. Открыть в **Altium Designer** схему Э3 «модуля усилителя».

Для этого либо дважды щелкнуть ЛКМ по файлу схемы в проводнике Windows, либо запустить Altium Designer и выполнить команду **File ⇒ Open**.

3. Скорректировать значения параметров в основной надписи рамки и ее дополнительных графах в соответствии с табл. 10.1 (вкладка **Parameters** в окне, вызываемом командой **Design ⇒ Document Options**). Содержание остальных параметров должно соответствовать данным табл. 3.2.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1 и на рис. 3.6, *а* и *в*.

Таблица 10.1

Содержание полей рамки для схемы Э8 «модуля усилителя», отличающихся от схемы Э1

Название поля	Значение поля	Комментарий к заполнению
01.3_Наименов. док.	Схема электрическая принципиальная	–
02_Обознач. док.	УП1.00.01Э3	Обозначение документа определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»

4. Удалить все объекты из рабочего поля схемы внутри рамки.

5. Перейти в сетку **3** мм.

6. Добавить библиотеку компонентов в виде базы данных, сделав ее доступной для любого проекта:

– в верхней части панели **Libraries** нажать одноименную кнопку;

– в открывшемся окне **Available Libraries** на вкладке **Installed** нажать кнопку **Install** и выбрать опцию **Install from file**;

– в появившемся окне задать расширение файла **Database Libraries (*.DBLIB)** и выбрать библиотеку **ИДРЭС-ADLibrary.DbLib** из папки **…\ИДРЭС\AD library** (см. рис. 2.9);

– закрыть окно **Available Libraries** кнопкой **Close**.

7. Изобразить «усилитель», для чего выполнить следующее:

– последовательным нажатием клавиш **P ⇒ F** (создание текстового блока) создать надпись, в которой в две строки указать наименование и обозначение «усилителя».

Примечание. Размеры текстового блока в варианте «П1» – 21 × 9 мм;

– в свойствах текстового блока отключить опцию **Show Border**;

– с каждой стороны от текстового блока добавить по одной КП (компонент **PAD_r150_300** из библиотеки **PAD**), при этом их пины должны быть направлены в стороны от надписи;

– вручную назначить позиционные обозначения КП в соответствии с входной и выходной КП из схемы Э3 «усилителя»;

– последовательным нажатием клавиш **P ⇒ D ⇒ R** (создание прямоугольника) заключить надписи и две КП в прямоугольный контур.

Примечание. Размеры контура в варианте «П1» – 54 × 24 мм;

– выделить прямоугольный контур и текстовый блок, после его выполнить команды **ПКМ ⇒ Align ⇒ Align Horizontal Centers** (выравнивание по горизонтали) и **ПКМ ⇒ Align ⇒ Align Vertical Centers** (выравнивание по вертикали).

Примечание. Способы выделения объектов мышкой приведены в Г.5;

– перейти в сетку **1** мм;

– в верхнем правом углу над нарисованным контуром последовательным нажатием клавиш **P ⇒ T** (создание надписи) поместить надпись **A1**.

В свойствах надписи изменить размер шрифта на **12**.

8. Нарисовать вокруг «усилителя» контур «экрана» с параметрами, указанными в п. 11 из З.З.

9. Перейти в сетку **3** мм.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 10.1.

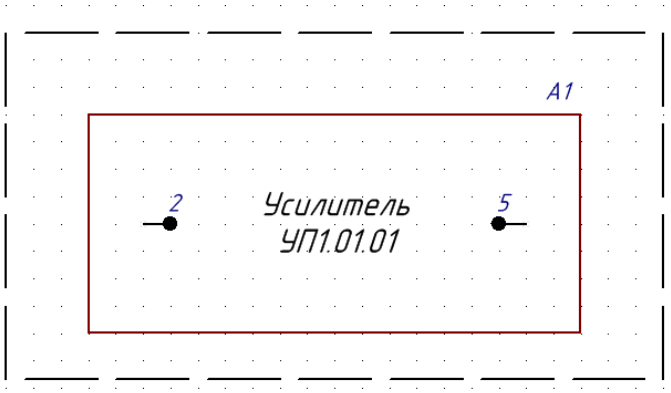


Рис. 10.1



Рис. 10.2

10. Слева и справа от созданного контура «экрана» добавить по одной приборной фланцевой розетке **SMA-KFD5A** (рис. 10.2) фирмы-поставщика ООО «Амитрон Электроникс» из библиотеки **X**, при этом левую необходимо перевернуть вдоль оси X клавишей **X** так, чтобы пин, обозначающий центральную жилу, был направлен в сторону «усилителя».

Рабочие частоты указанных разъемов – до 18 ГГц; волновое сопротивление – 50 Ом. Документация на них находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Разъемы**.

Требование об установке именно таких разъемов содержится в общем задании на проектирование.

11. Вручную присвоить левому СВЧ разъему позиционное обозначение *XW1*, а правому СВЧ-разъему – *XW2*.

12. Перейти в сетку **1** мм.

13. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ W** (создание линии электрической связи) осуществить соединения:

– центральной жилы левого СВЧ-разъема и левой КП «усилителя»;

– центральной жилы правого СВЧ-разъема и правой КП «усилителя»;

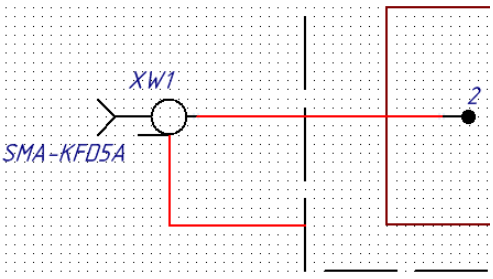


Рис. 10.3

– корпусов СВЧ-разъемов (места соединения горизонтальной линии и окружности в УГО) и контура «экрана».

Результат для левого СВЧ-разъема в варианте «П1» показан на рис. 10.3.

14. Под один из штрихов на нижней стороне контура «экрана» последовательным нажатием клавиш **P ⇒ O** добавить символ земли (идентификатор цепи **GND Power Port**).

15. В местах соединений символа земли и линий электрической связи с контуром «экрана» последовательным нажатием клавиш **P ⇒ J** добавить обозначения электрических соединений, выбрав в их свойствах размер **Small**.

16. Перейти в сетку **3** мм.

17. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ T** (создание надписи) добавить две надписи в кавычках (**«ВХОД»** и **«ВЫХОД»**) и разместить их около СВЧ-разъемов.

Назначение кавычек см. в п. 4.3 из 8.1.

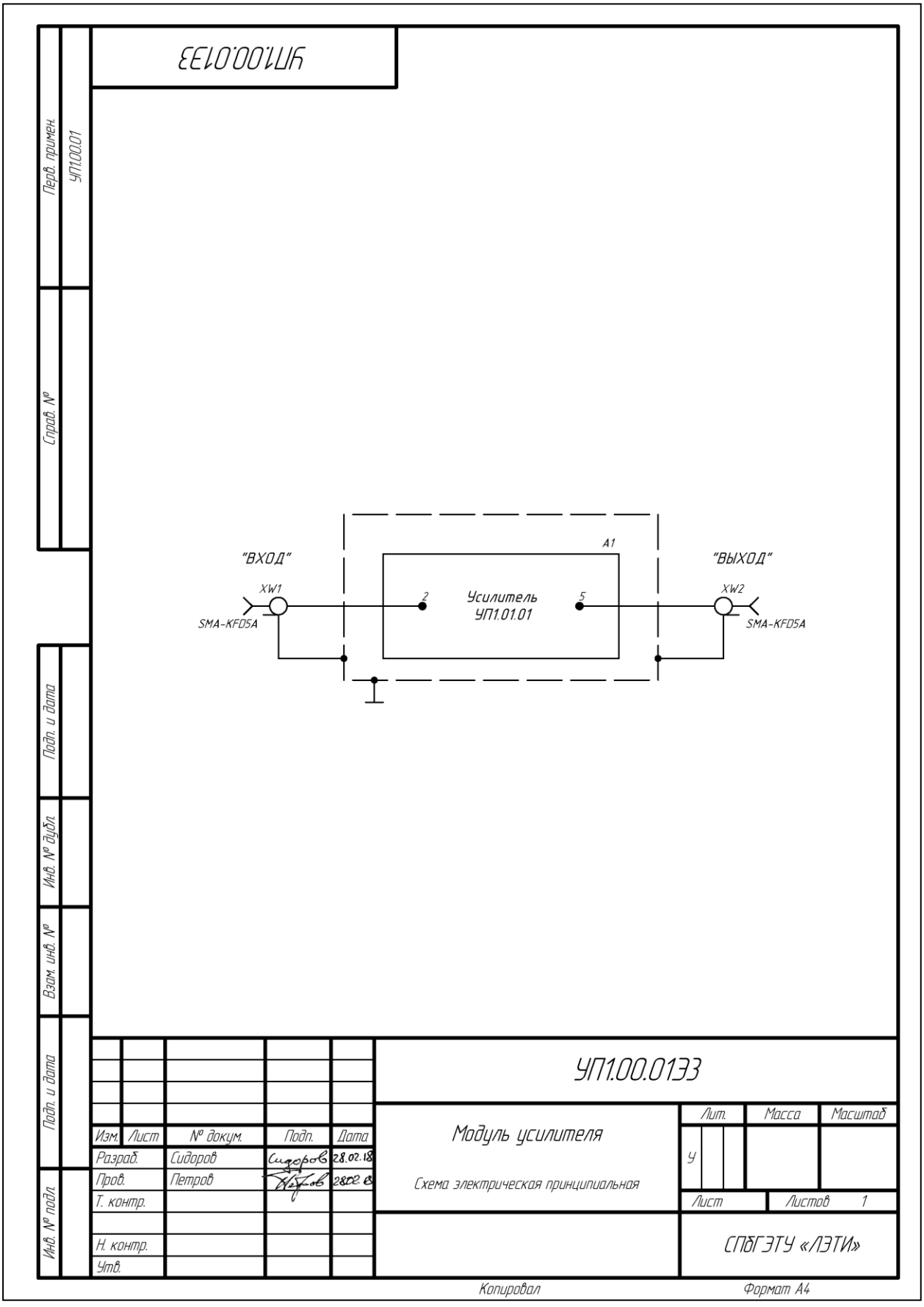

УП1.00.013Э
Перв. примен.
УП1.00.01
Справ. №
"ВХОД"
"ВЫХОД"
A1
XW1
XW2
2
5
Усилитель
УП1.01.01
SMA-KFD5A
SMA-KFD5A
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.
УП1.00.013Э
Изм. Лист № докум. Подп. Дата
Разраб. Сидоров 28.02.18
Пров. Петров 28.02.18
Т. контр.
Н. контр.
Утв.
Модуль усилителя
Схема электрическая принципиальная
Лит. Масса Масштаб
У
Лист Листов 1
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Копировал
Формат А4

Рис. 10.4

18. Сохранить изменения в схеме Э3 (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 10.4.

19. Сохранить схему в формате PDF по 8.4.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01Э3 - Модуль усилителя - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_pdf** (см. рис. 2.7).

20. Удалить библиотеку в виде базы данных из списка установленных библиотек (см. п. 7 из 5.5).

21. Удалить из папки **…\ИДРЭС-П1** папку **History** с резервными копиями файла схемы Э3.

10.2. Содержание отчета

По 10-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести схему Э3 «модуля усилителя», распечатанную на отдельном листе.

11. ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ К СХЕМЕ Э3 «МОДУЛЯ УСИЛИТЕЛЯ»

11.1. Создание перечня элементов

Правила оформления перечней элементов приведены в 9.1.

Для создания перечня элементов ПЭ3 «модуля усилителя» необходимо:

1. Открыть заготовку перечня элементов, указанную в 9.2.

2. Сохранить заготовку командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.doc». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01ПЭ3 - Модуль усилителя - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1** (см. рис. 2.7).

3. Так как на схеме Э3 «модуля усилителя» всего три изделия, то в перечне элементов необходимо исключить второй лист и ЛР:

– удалить все строки таблицы из рабочего поля 2-го листа по п. 8 из 9.2;

– скрыть ЛР по п. 9 из 9.2.

4. Войти в режим редактирования нижних колонтитулов по п. 3 из 9.2 и заполнить без копирования графы рамки в соответствии с табл. 11.1. Содержание остальных граф должно соответствовать данным табл. 9.1.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1, на рис. 9.1 и на рис. 3.6, *в*.

Таблица 11.1

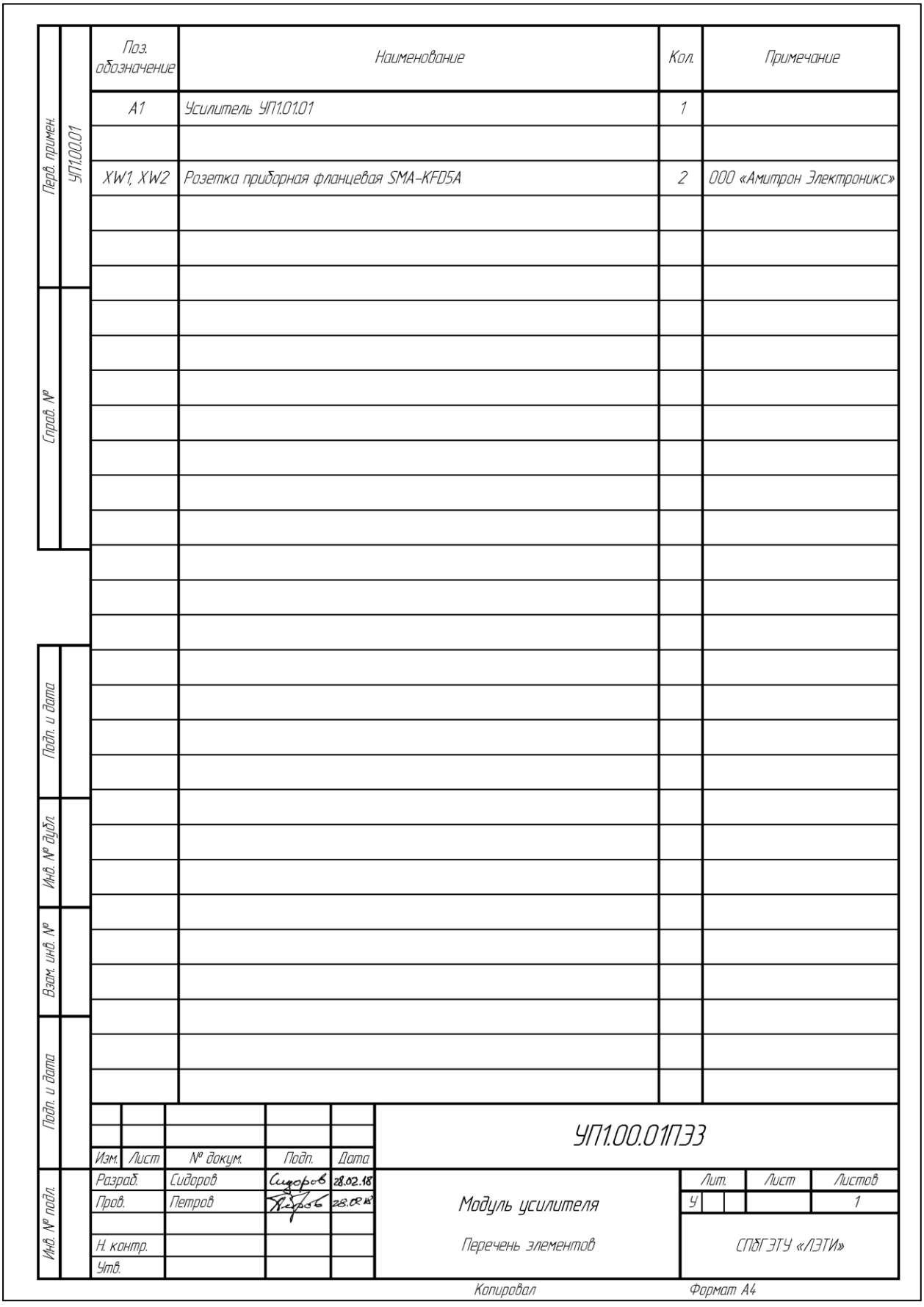
Содержание граф рамки для перечня элементов ПЭ3 «модуля усилителя», отличающихся от перечня элементов ПЭ3 «усилителя»

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Модуль усилителя Перечень элементов	Наименование изделия определено в табл. 2.1. Наименование документа присутствует в используемой заготовке по умолчанию
2	УП1.00.01ПЭ3	Обозначение документа определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»
7	См. комментарий	Так как в КД всего один лист, то номер листа скрывается путем установки белого цвета шрифта
25	УП1.00.01	Обозначение спецификации, в которой записан КД, определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»

5. Выйти из режима редактирования колонтитулов по п. 4 из 9.2.

6. Заполнить графы таблицы из рабочего поля перечня элементов, записав изделия из схемы Э3 «модуля усилителя»: «усилитель» и СВЧ-разъемы.

Для размещения названия фирмы СВЧ-разъемов в одной ячейке столбца «Примечание» на ней необходимо выполнить команду **ПКМ ⇒ Свойства таблицы ⇒ Ячейка ⇒ Параметры ⇒ Вписать текст**.



Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
A1	Усилитель УП1.01.01	1	
XW1, XW2	Розетка приборная фланцевая SMA-KFD5A	2	ООО «Амитрон Электроникс»

Перв. примен. УП1.00.01

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Сидоров		28.02.18
Пров.		Петров		28.02.18
Н. контр.				
Утв.				

УП1.00.01ПЭ3

Модуль усилителя

Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
У		1

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Копировал

Формат А4

Рис. 11.1

7. Сохранить изменения в перечне элментов (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 11.1.

8. Сохранить перечень элементов в формате PDF по п. 11 из 9.2.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01ПЭ3 - Модуль усилителя - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_pdf** (см. рис. 2.7).

11.2. Содержание отчета

По 11-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести перечень элементов к схеме Э3 «модуля усилителя», распечатанный на отдельном листе.

12. КОМПОНОВКА И ТРАССИРОВКА ПП

12.1. Подготовительные действия

Чтобы приступить к разработке ПП, необходимо выполнить ряд подготовительных действий:

1. Командой **File ⇒ Open Project** открыть проект ПП для «усилителя» (расположение указано в п. 1 из 8.2).

Примечание. Закрытые ранее проекты также можно открыть командой File ⇒ Recent Projects или через панель Files в группе Open a project.

2. Создать один документ ПП внутри проекта.

Для этого в панели **Projects** на названии проекта выполнить команду **ПКМ ⇒ Add New to Project ⇒ PCB**.

Примечание. Новый документ ПП также можно создать из панели Files, щелкнув ЛКМ по пункту PCB File в группе New.

3. Сохранить файл трассировки с расширением «.PcbDoc» в папку проекта, запустив в панели **Projects** на его названии команду **ПКМ ⇒ Save As**. Имя файлу присвоить в виде «**AMP-XX-v0.1**», где **AMP** – сокращение от англ. amplifier, а **XX** – номер варианта.

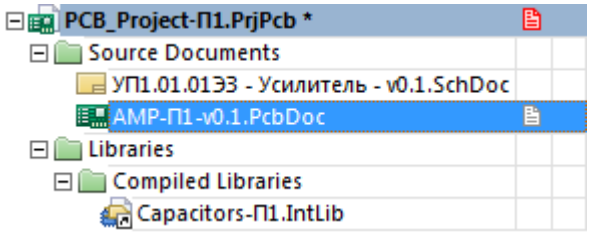


Рис. 12.1

Состав проекта из панели Projects в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.1.

4. Перейти в метрическую систему измерения (см. п. 3 из 5.2.1).

Примечание. Окно Board Options, в отличие от редактора посадочных мест, открывается последовательным нажатием клавиш D ⇒ O или командой Design ⇒ Board Options.

5. Настроить структуру ПП (стек).

Для этого последовательно нажать клавиши **D ⇒ K (**или запустить команду **Design ⇒ Layer Stack Manager**) и в появившемся окне Layer Stack Manager выполнить следующее:

– нажать кнопку **Load** с опцией **Load from File** и из папки **…ИДРЭС\Профили** (см. рис. 2.9) открыть файл **ИДРЭС-AltiumPCBStack.stackup**;

– в появившемся окне **Merge Layer Stacks** нажать кнопку **OK**;

– подтвердить удаление слоев в следующем окне;

– в соответствии с материалом из варианта индивидуального задания по табл. Б.2 в столбцах **Thickness** (базовая толщина диэлектрика), **Dielectric Ma-**

terial (название материала) и **Dielectric Constant** (относительная диэлектрическая проницаемость) ввести соответствующие данные для диэлектрика;

– в столбце **Thickness** для проводящих слоев с точностью до микрона ввести их толщину ($h_{пс}$), вычисленную по формуле:

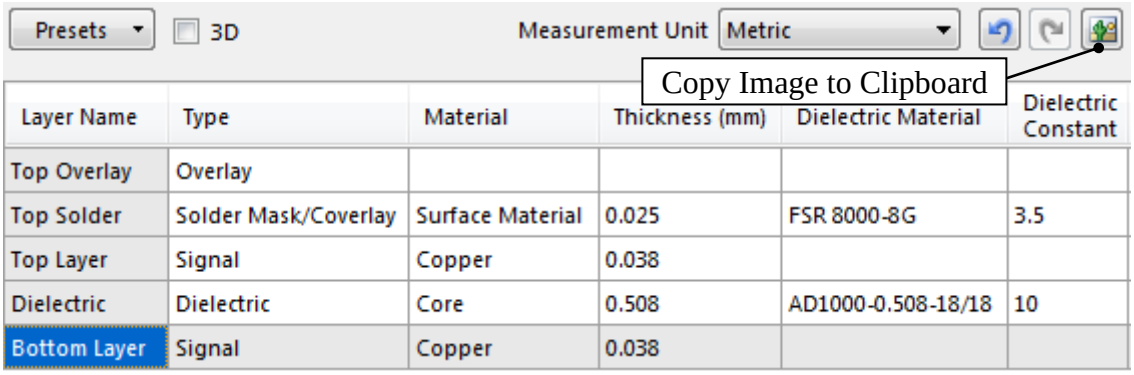
$$h_{пс} = t + h_{гм} + h_{фп}. \qquad (12.1)$$

Примечание. Используемые переменные участвовали в расчете по (4.9).

В варианте «П1» (рис. 12.2, *а*):

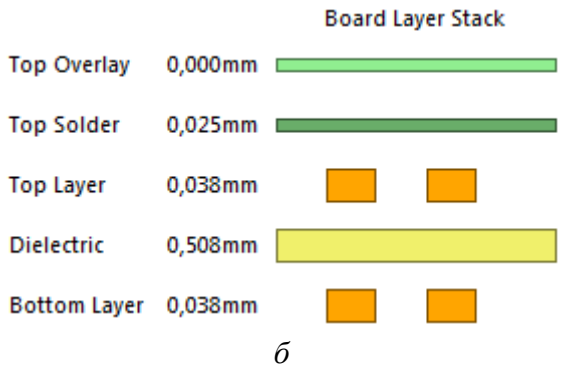
$$h_{пс} = 0{,}018 + 0{,}02 + 0{,}0004 = 0{,}0384 \text{ мм}.$$

Следует обратить внимание на то, что само полученное значение должно остаться неокругленным для использования в дальнейших расчетах;



Layer Name	Type	Material	Thickness (mm)	Dielectric Material	Dielectric Constant
Top Overlay	Overlay				
Top Solder	Solder Mask/Coverlay	Surface Material	0.025	FSR 8000-8G	3.5
Top Layer	Signal	Copper	0.038		
Dielectric	Dielectric	Core	0.508	AD1000-0.508-18/18	10
Bottom Layer	Signal	Copper	0.038		

а



б

Рис. 12.2

– нажать пиктограмму **Copy Image to Clipboard** и вставить изображение из буфера обмена в отчет (пример для варианта «П1» показан на рис. 12.2, *б*);

– применить изменения в окне **Layer Stack Manager** кнопкой **OK**.

Примечания:

– отсутствие слоев Bottom Solder и Bottom Overlay обусловлено необходимостью контакта слоя Bottom Layer с «основанием»;

– параметры шелкографии обычно не учитывают, так как графические объекты из этого слоя имеют пренебрежимо малые размеры, в отличие от защитной паяльной маски, покрывающей значительные области ПП;

– толщины сигнальных слоев заданы с учетом особенностей производства ПП (см. Б.4). При отправке ПП в изготовление должна быть указана только исходная толщина меди (величина t);

– параметры слоя Top Solder заданы в соответствии с Б.7;

– стек ПП в основном используется для управления сигнальными слоями и изменения их названий (например, в МПП), а также для хранения информации о конкретной ПП. Толщины материалов учитываются в 3D-режиме просмотра ПП и при экспорте информации в другие САПР (например, через формат IDF);

– параметры материалов могут использоваться для расчета волнового сопротивления относительно слоев типа Plane. Формулы можно посмотреть и отредактировать с помощью кнопки Impedance Calculation;

– любому слою в столбце Layer Name можно задать произвольное имя;

– дополнительные столбцы имеют следующие назначения: Pullback – для указания зазора между медью и контуром ПП в слоях типа Plane, Orientation – для указания направления встраиваемых в ПП компонентов, Coverlay Expansion – для указания величины, на которую покрывной слой гибкой части в МПП на гибко-жестком основании заходит в жесткую часть;

– кнопка Advanced позволяет открыть дополнительные настройки для формирования сложных стеков ПП (например, для МПП на гибко-жестком основании) и переименования отдельных их частей;

– кнопка Presets позволяет выбрать заготовку стека ПП (например, для четырехслойной ПП);

– слои удаляются кнопкой Delete Layer и перемещаются по стеку кнопками Move Up и Move Down;

– добавление слоя осуществляется кнопкой Add Layer. В режиме стека Custom (выпадающий список в правом верхнем углу окна) можно добавить в любое место и в любом порядке сигнальные слои (Add Layer), слои сплошной металлизации (Add Internal Plane), диэлектрические слои (Add Dielectric), слои маски и шелкографии (Add Overlays);

– режим стека Layer Pairs позволяет упростить создание структуры МПП с рис. Б.7 (метод попарного прессования);

– режим стека Internal Layer Pairs облегчает разработку структуры МПП с рис. Б.6 (метод металлизации сквозных отверстий);

– режим стека Build-Up упрощает получение структуры МПП, которая похожа на рис. Б.10 (метод послойного наращивания);

– у диэлектрического слоя в столбце Material можно выбрать его тип, например: Core – ядро, Prepreg – препрег, Surface Material – поверхностный материал (слой маски). Кроме того, эти данные будут автоматически обновлены при смене режима стека;

– в новых версиях Altium Designer функционал окна Layer Stack Manager существенно переработан и улучшен.

6. Настроить механические слои.

Для этого нажать клавишу **L** и в появившемся окне View Configurations на вкладке **Board Layers And Colors** выполнить следующее:

– к существующему 1-му механическому слою добавить слои со 2-го по 7-й включительно и включить их отображение (отключить опцию **Only show enabled mechanical Layers** и включить опции **Enable** и **Show**);

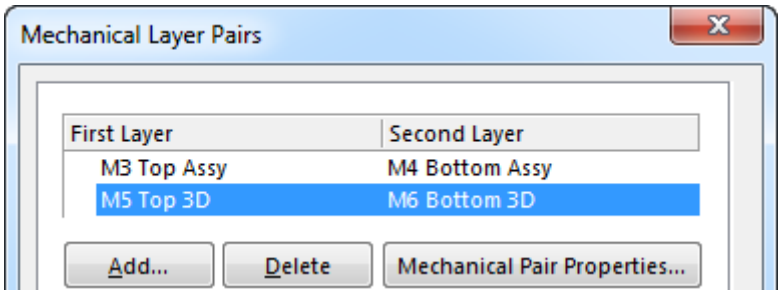
– задать названия механическим слоям в соответствии с табл. Г.15;

– нажать кнопку **Layer Pairs** и в открывшемся окне Mechanical Layer Pairs кнопкой **Add** задать парные механические слои: 3-й и 4-й, 5-й и 6-й;

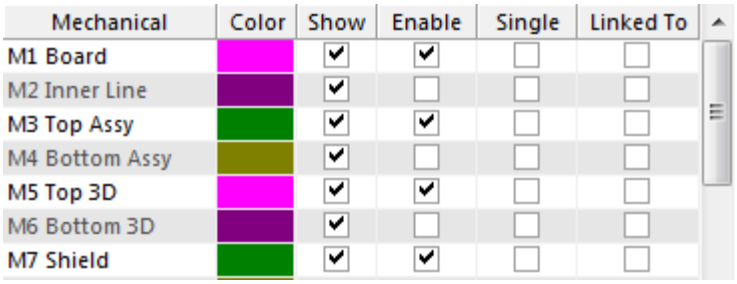
– применить изменения в окне **Mechanical Layer Pairs** (рис. 12.3, *а*);

– в окне **View Configurations** удалить 2, 4 и 6-й механические слои, отключив опцию **Enable** (рис. 12.3, *б*);

– применить изменения кнопкой **Apply**.



а



б

Рис. 12.3

Примечание. Назначение парных слоев рассмотрено в 5.2.2. В данном учебном пособии 2, 4 и 6-й механические слои и использование пар слоев может потребоваться в исключительных случаях.

7. В окне **View Configurations** (клавиша **L**, если оно было закрыто) на вкладке **View Options** в группе Display Options включить опцию **Convert Special Strings**.

После этого закрыть окно клавишей **OK**.

Примечание. Включение указанной опции приведет к тому, что в рабочем поле надписи со ссылками на параметры отобразятся в том виде, в котором они выводятся на печать. В данном случае надписи '.Designator', находящиеся в посадочных местах компонентов на слое M3 Top Assy, будут преобразованы в соответствующие позиционные обозначения.

8. Загрузить наборы слоев.

Для этого выполнить следующее:

– запустить команду **Design ⇒ Manage Layer Sets ⇒ Board Layer Sets**;

– в появившемся окне **Layer Sets Manager** нажать кнопку **Import Layer Sets From File** и из папки **…ИДРЭС\Профили** (см. рис. 2.9) открыть файл **ИДРЭС-AltiumPCBLayerSet.layerset**;

– отключить опцию **Show / Hide Default Layer Sets**;

– закрыть окно **Layer Sets Manager** кнопкой **Close**.

Примечание. Информация о наборах слоев приведена в п. 8 из Г.38.

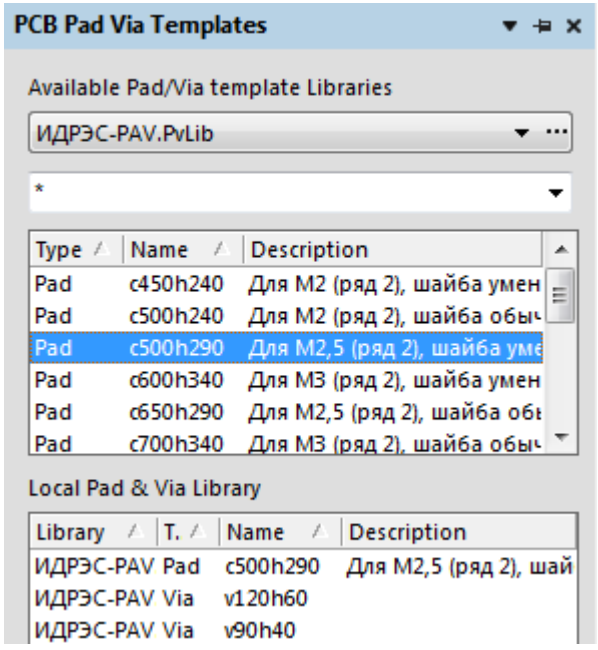


Рис. 12.4

9. Добавить к проекту шаблоны переходных отверстий и КП.

Для этого выполнить следующее:

– из группы **PCB** в дополнительном меню (см. рис. 3.1) открыть панель **PCB Pad Via Templates**;

– в верхней части панели нажать пиктограмму с тремя точками;

– в открывшемся окне **Available Libraries** на вкладке **Project** кнопкой **Add Library** добавить библиотеку **ИДРЭС-PAV.PvLib** с переходными отверстиями и КП из папки **…\ИДРЭС\AD library** (рис. 2.9);

– закрыть окно **Available Libraries** кнопкой **Close**;

– в панели **PCB Pad Via Templates** в списке библиотечных шаблонов с зажатой клавишей **Ctrl** щелкнуть ЛКМ по шаблонам КП и переходных отверстий с именами **c500h290**, **v90h40** и **v120h60**;

– на любом выделенном шаблоне выполнить команду **ПКМ ⇒ Add To Internal Library**, в результате чего выбранные переходные отверстия и КП окажутся в группе **Local Pad & Via Library** (рис. 12.4);

– закрыть панель, нажав на крестик в ее заголовке.

Примечания:

– переходное отверстие (Via) используется для соединения проводящих рисунков на разных слоях ПП и зачастую закрывается защитной паяльной маской. В готовой ПП переходное отверстие, открытое от защитной паяльной маски, и КП с отверстием для монтажа выводных компонентов с аналогичными параметрами выглядят одинаково;

– шаблон КП будет использоваться как крепежное отверстие под винт М2,5 по общему заданию на проектирование. Диаметр отверстия задан в соответствии с ГОСТ 11284–75 [57] по второму ряду, а диаметр КП – по внешнему диаметру шайбы уменьшенной ГОСТ 10450–78 [58];

– шаблоны переходных отверстий будут использоваться для соединения земляных полигонов на верхнем и нижнем слое ПП;

– особенности работы с панелью PCB Pad Via Templates см. в Г.16;

– особенности создания библиотеки шаблонов переходных отверстий и КП приведены в Г.23, а расшифровка их наименований – в Г.22.

10. Задать общие правила проектирования ПП.

Для этого выполнить следующее:

– запустить команду **Design ⇒ Rules**;

– в открывшемся окне **PCB Rules and Constraints Editor** в любом месте левой его части запустить команду **ПКМ ⇒ Import Rules**;

– в появившемся окне **Choose Design Rule Type** выделить все типы правил (щелкнуть ЛКМ на первой строке, а затем с зажатой клавишей **Shift** – на последней строке) и нажать кнопку **OK**;

– в окне **Import File** открыть файл с общими правилами проектирования ПП **ИДРЭС-AltiumPCBRules.RUL** из папки **…\ИДРЭС\Профили** (рис. 2.9);

– согласиться с предупреждением об очистке существующих правил;

– в окне **PCB Rules and Constraints Editor** щелкнуть ЛКМ по правилу **RVS** для отображения его параметров (правило находится по следующему пути – **Design Rules ⇒ Routing ⇒ Routing Via Style**);

– в правой части окна в группе **Constraints** выбрать опцию **Template Preferred** и в появившейся таблице поставить галочки в столбце **Enabled** для двух подключенных шаблонов переходных отверстий (рис. 12.5);

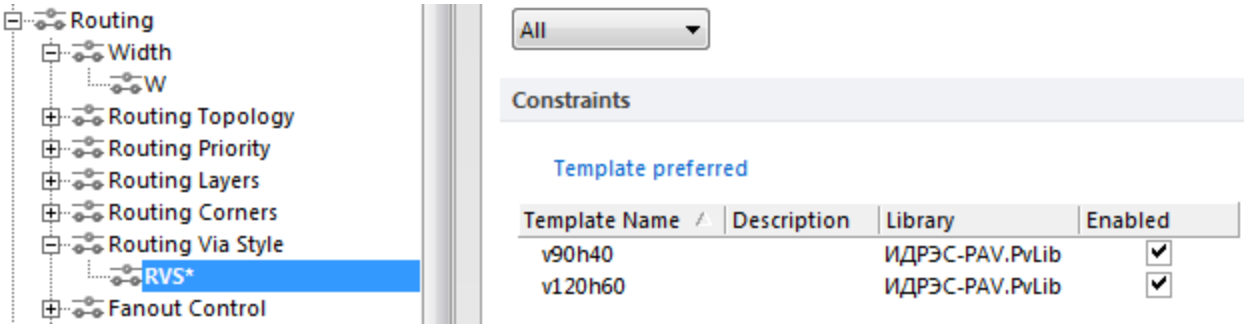


Рис. 12.5

– применить изменения, последовательно нажав в нижней части окна кнопки **Apply** и **OK**.

Примечания:

– описание загруженных из файла ИДРЭС-AltiumPCBRules.RUL общих правил проектирования ПП приведено в Г.2. Остальные правила проектирования ПП будут добавляться в процессе ее разработки;

– в правиле RVS были заданы только те переходные отверстия, которые можно использовать при разработке ПП по данному учебному пособию.

11. Обновить настройки примитивов для редактора ПП и задать переходным отверстиям, создаваемым по умолчанию, шаблон из подключенной ранее библиотеки.

Для этого выполнить следующее:

– запустить команду **DXP ⇒ Preferences**;

– в окне **Preferences** перейти в подраздел **PCB Editor ⇒ Defaults**;

– нажать кнопку **Load** и из папки **…\ИДРЭС\Профили** загрузить профиль **ИДРЭС-AltiumPCBPrimitives.dft**;

– в списке примитивов дважды щелкнуть ЛКМ по примитиву **Via**;

– в открывшемся окне свойств раскрыть список **Template** и выбрать шаблон **v120h60**. При этом в поле Library отобразится название подключенной библиотеки с шаблонами КП и переходных отверстий (рис. 12.6);

– применить изменения в окне **Via** кнопкой **OK**.



Рис. 12.6

12. Для удобства перемещения посадочных мест в рабочем поле отключить выделение КП. Для этого в окне **Preferences** в подразделе **PCB Editor ⇒ General** включить опцию **Shift Click To Select**, после чего нажать кнопку **Primitives** и в открывшемся окне включить только опцию **Pad**.

Затем закрыть окно **Shift Click To Select** кнопкой **OK**.

13. Применить профиль **ИДРЭС-AltiumPCB.PCBSysColors** из папки **…ИДРЭС\Профили** (см. п. 6 из 5.2.1).

Применить изменения в окне **Preferences** кнопкой **OK**.

Примечание. Стоит отметить, что данный профиль также меняет цвет связывающих линий (connections) на желтый. По умолчанию он совпадает с цветом сетки, что неудобно.

14. Настроить способы проверки правил проектирования ПП.

Для этого запустить команду **Tools ⇒ Design Rule Check** и в открывшемся окне в каждой категории из группы Rules To Check в соответствии с рис. 12.7 скорректировать настройки для отдельных типов правил в столбцах **Online** (проверка в режиме реального времени) и **Batch** (пакетная проверка в отчете после нажатия кнопки Run Design Rule Check).

В категориях **SMT**, **Testpoint**, **High Speed** и **Signal Integrity** все галочки должны быть сняты.

Rule	Category	Online	Batch
Un-Routed Net	Electrical		☑
Un-Connected Pin	Electrical	☐	☐
Short-Circuit	Electrical	☑	☑
Modified Polygon	Electrical	☑	☑
Clearance	Electrical	☑	☑

Rule	Category	Online	Batch
Width	Routing	☑	☑
Routing Via Style	Routing	☐	☑
Routing Layers	Routing	☐	☐
Differential Pairs Routing	Routing	☐	☐

Rule	Category	Online	Batch
Silk To Solder Mask Clearance	Manufacturing	☐	☑
Silk To Silk Clearance	Manufacturing	☐	☐
Net Antennae	Manufacturing	☐	☐
Minimum Solder Mask Sliver	Manufacturing	☐	☑
Minimum Annular Ring	Manufacturing	☐	☑
Layer Pairs	Manufacturing	☐	☐
Hole To Hole Clearance	Manufacturing	☐	☑
Hole Size	Manufacturing	☐	☑
Board Outline Clearance	Manufacturing	☐	☑
Acute Angle	Manufacturing	☐	☐

Rule	Category	Online	Batch
Room Definition	Placement	☐	☐
Permitted Layers	Placement		☑
Height	Placement	☐	☐
Component Clearance	Placement	☑	☑

Рис. 12.7

Примечания:

– отключение проверок в основном связано с тем, что многие правила не используются при разработке ПП по данному учебному пособию. Кроме того, отключение проверок в столбце Online уменьшает нагрузку на компьютер, поэтому здесь рекомендуется выбирать только самые необходимые;

– в категории Electrical находятся правила, связанные с электрическим соединением компонентов (например, зазоры в проводящем рисунке);

– в категории Routing находятся правила, используемые при трассировке (например, ширина трасс);

– в категории Manufacturing находятся правила, связанные с производством ПП (например, зазор между двумя отверстиями);

– в категории Placement находятся правила, связанные с размещением компонентов (например, расстояние между компонентами);

– в категории SMT находятся правила для планарных КП (например, разрешение подведения трасс к КП через ее углы);

– в категории Testpoint находятся правила, связанные с использованием контрольных точек (см. п. 7 из Г.17);

– в категории High Speed находятся правила, задаваемые для высокоскоростных применений (например, максимальное количество переходных отверстий для выбранной трассы или выравнивание длин трасс);

– в категории Signal Integrity находятся правила, связанные с анализом целостности сигналов (например, диапазон волнового сопротивления выбранной трассы).

15. Загрузить настройки отображения ПП в 3D-режиме просмотра в соответствии с используемыми при проектировании материалами.

Для этого выполнить следующее:

– нажать клавишу **3** для перехода в 3D-режим просмотра;

– нажать клавишу **L** и в нижней левой части открывшегося окна View Configurations нажать ссылку **Load view configuration**;

– в окне Load View Configuration File выбрать тип файла **3D Configuration (*.config_3d)** и открыть файл **ИДРЭС-AltiumPCB3DConfig.config_3d** из папки **…ИДРЭС\Профили**;

– выбрать загруженный профиль в списке **Select PCB View Configuration** и применить изменения в окне View Configurations последовательным нажатием кнопок **Apply** и **OK**;

– нажать клавишу **2** для перехода в 2D-режим просмотра.

Примечание. Для 3D-режима просмотра профиль с настройками по умолчанию находится в файле ИДРЭС-AltiumPCB3DConfigDefault.config_3d из папки ...ИДРЭС\Профили.

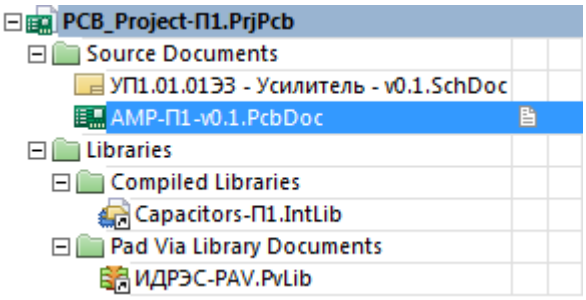


Рис. 12.8

16. Сохранить изменения в файле трассировки (**Ctrl+S**).

17. Сохранить изменения в проекте (см. п. 4 из 5.5).

Остальные настройки для редактора ПП были загружены в 3.2.2.

Состав проекта из панели **Projects** в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.8.

12.2. Пример компоновки и трассировки ПП

Для лучшего понимания последовательности действий при компоновке и трассировке ПП из вариантов задания предварительно следует ознакомиться с общими особенностями разработки ПП на примере небольшого устройства, схема Э3 которого показана на рис. 12.9.

Любая схема Э3 представляет собой совокупность УГО компонентов, пины которых соединены линиями электрической связи. Так, в схеме из приведенного примера есть следующие компоненты:

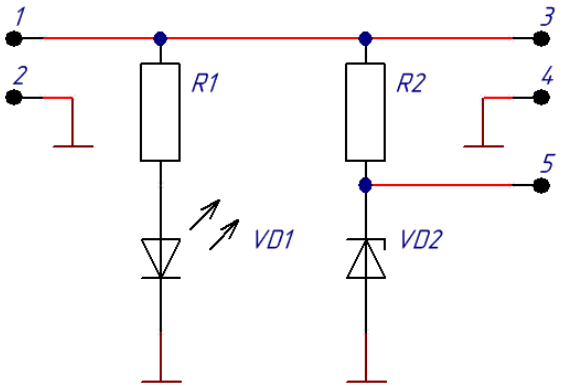


Рис. 12.9

– светодиод *VD1* с токоограничивающим резистором *R1* (см. рис. В.21) для световой индикации наличия входного напряжения питания;

– параметрический стабилизатор напряжения на стабилитроне *VD2* и резисторе *R2* (см. рис. В.18);

– КП № 1 для подачи входного напряжения;

– КП № 2 для заземления по входу;

– КП № 3 для снятия входного напряжения (КП № 1 и 3 соединены);

– КП № 4 для заземления по выходу;

– КП № 5 для снятия напряжения стабилизации со стабилитрона.

На ПП каждому УГО соответствует набор КП из посадочного места, расставленных таким образом, чтобы на них можно было установить корпус соответствующего компонента (каждый пин УГО соответствует одной или

нескольким КП), а каждой линии электрической связи – печатный проводник или другой элемент электрического соединения (например, отрезок провода).

Если в ECAD при создании схемы Э3 используются библиотечные компоненты (в них установлены точные соответствия между пинами УГО и КП посадочных мест), то процесс перехода от схемы Э3 к ПП происходит быстро и полностью автоматически. Тем самым исключается появление ошибок, которые могли бы возникнуть при ручном способе перехода в случае отказа от работы с библиотеками.

В результате процесса перехода к ПП в рабочем поле вне контура ПП (по умолчанию эта область окрашена в серый цвет) появятся посадочные места компонентов. Пространство внутри ПП имеет черный цвет и ограничено пунктирной линией (рис. 12.10).

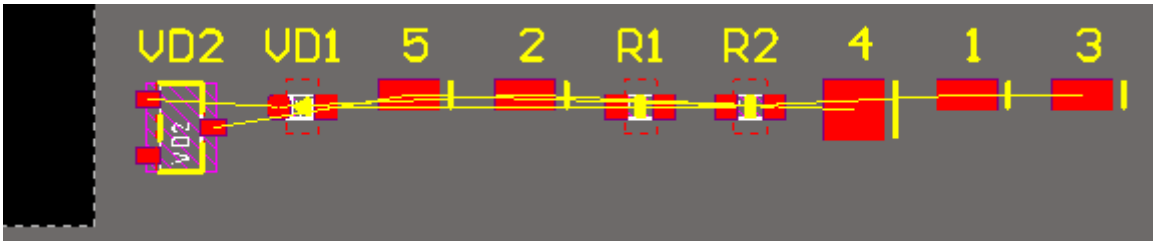


Рис. 12.10

Примечание. В рассматриваемом примере приводятся результаты, полученные в Altium Designer. Однако в целом процесс разработки ПП в других подобных САПР практически ничем не отличается.

Кроме посадочных мест в рабочем поле также будут находиться тонкие связывающие линии (**connection**) желтого цвета, расположенные между центрами КП в соответствии с осуществленными на схеме Э3 соединениями пинов УГО линиями электрической связи (**wire**). На этапе трассировки ПП они будут заменены на печатные проводники или другие элементы электрического соединения.

Форму и размеры контура ПП можно изменить на требуемые в любой момент проектирования (по умолчанию он имеет прямоугольную форму с размерами 101,6 × 152,4 мм). Зачастую параметры контура заранее определены (в вариантах задания приведены на рис. 1.1) или ограничены сторонними факторами (например, конструкцией более высокого уровня или рядом унифицированных решений, применяемым данным предприятием).

Требования к контуру ПП в данном примере – прямоугольная форма и минимальные габариты, позволяющие разместить компоненты, шелкографию и одно монтажное отверстие под винт М20.

После завершения процесса перехода от схемы Э3 к ПП начинается этап компоновки ПП.

Компоновка ПП – это группирование компонентов и примерное расположение их на поверхности ПП. Группирование компонентов определяется их функциональным назначением, а также требованиями к целостности сигналов, электромагнитной совместимости, тепловому режиму и прочим физическим характеристикам. Например, при компоновке обеспечиваются минимальные расстояния между основными и вспомогательными элементами, часто называемыми «обвязкой» [59].

Сначала компоненты расставляются по функциональным группам в соответствии со схемой Э3. В данном примере получилось четыре группы (рис. 12.11): КП № 1 и 2; *R1* и *VD1*; *R2* и *VD2*; КП № 3, 4 и 5.

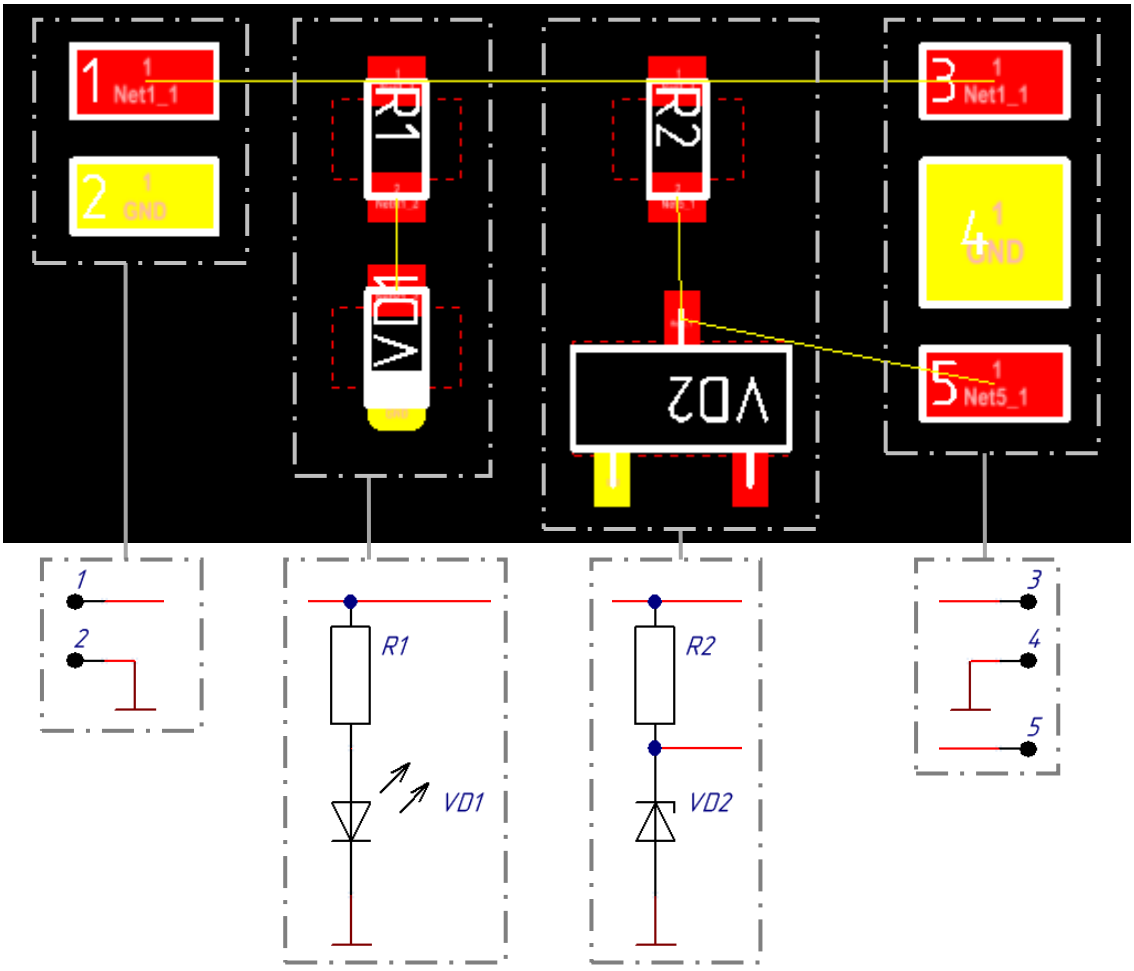


Рис. 12.11

Можно заметить, что при определенном масштабе изображения около центров КП появляются их порядковые номера в посадочных местах и имена цепей, к которым они подключены. Отображение этой информации при необходимости отключается.

Редактор ПП на этапе компоновки ПП позволяет поворачивать и выравнивать посадочные места, переносить их на другую сторону ПП, двигать отдельные объекты из их состава (например, элементы шелкографии), изменять видимость слоев и цепей, менять цветовое оформление цепей и др. Например, на рис. 12.11 для уменьшения объема отображаемой информации была отключена видимость слоев с шелкографией, защитной паяльной маской и 3D-моделями, а для цепи GND задан желтый цвет и отключено отображение связывающей линии.

Примечание. В большинстве случаев при создании рисунков видимость сетки будет отключаться для уменьшения количества информации на них.

После группировки компонентов по функциональным группам они расставляются внутри контура ПП примерно так, как будут размещаться на готовой ПП (сам контур ПП и взаимное положение компонентов в группах при этом также претерпевают необходимые изменения). Это важный процесс, так как происходит определение общей конструкции ПП, оказывающей существенное влияние на стоимость изделия и его технологичность (см. Б.9).

По общему заданию на проектирование компоненты и печатные проводники должны располагаться только на одной стороне ПП, поэтому при расстановке необходимо следить за следующим:

– связывающие линии не должны пересекаться друг с другом;

– компоненты не должны соприкасаться корпусами (контуры в слое **M3 Top Assy**) и накладываться друг на друга, а также между ними должно быть оставлено место для возможности ручного монтажа;

– для печатных проводников должно быть оставлено свободное место;

– так как на этом этапе добавляются и размещаются монтажные отверстия для крепления ПП, то диаметры их КП должны быть не меньше, чем диаметры головок крепежных винтов или шайб (при наличии).

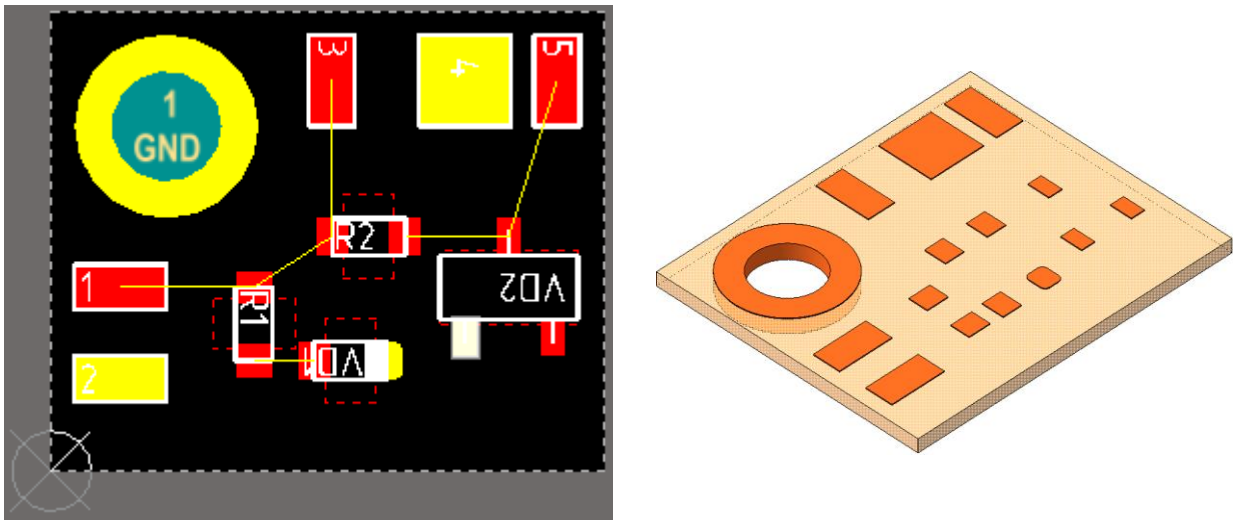
На рис. 12.12, *а* приведен возможный вариант хорошей компоновки, а на рис. 12.12, *б* – внешний вид ПП с полупрозрачным основанием без шелкографии, защитной паяльной маски и финишного покрытия.

Примечания:

– в таком виде ПП не используется, так как КП соединены печатными проводниками;

– планарные КП в данном примере расположены только с верхней стороны ПП, тогда как у монтажного отверстия металлизация есть еще и на нижней стороне ПП, а также в самом отверстии;

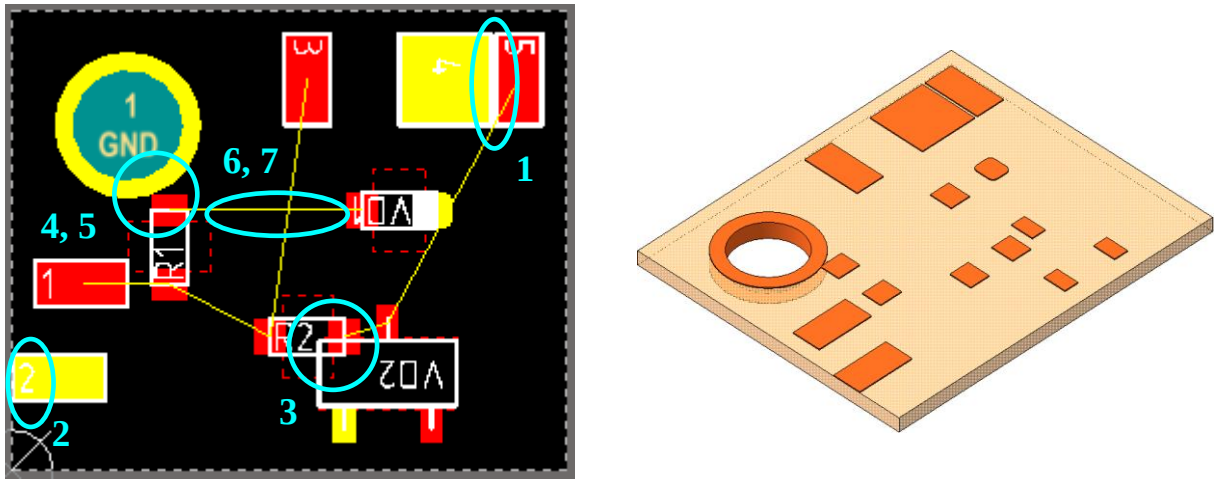
– перечеркнутая окружность в нижнем левом углу ПП является точкой начала координат (как в посадочном месте конденсатора). Ее расположение может быть изменено в любой момент.



а *б*

Рис. 12.12

На рис. 12.13, *а* показан возможный вариант плохой компоновки, а на рис. 12.13, *б* – внешний вид ПП с полупрозрачным основанием без шелкографии, защитной паяльной маски и финишного покрытия.



а *б*

Рис. 12.13

Примечание. На самом деле при заданных в п. 14 из 12.1 настройках в рабочем поле отдельные объекты будут отображаться с текстурами в виде зеленых кругов с крестиками, что означает нарушение правил проектирования, обнаруженных программой в реальном времени (рис. 12.14). В этом подразделе видимость таких нарушений отключена для уменьшения количества информации на рисунках.

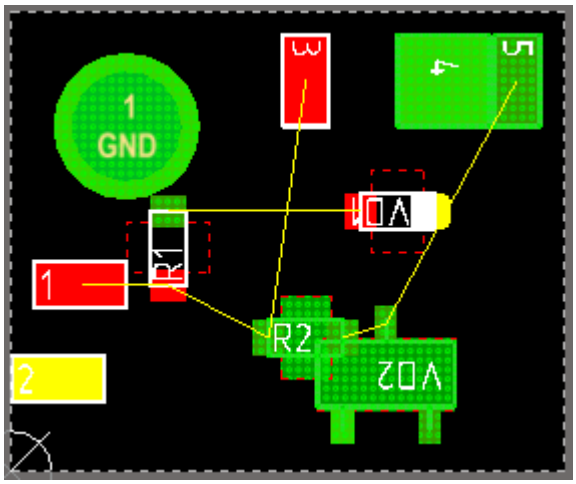


Рис. 12.14

На рис. 12.13, *а* отмечены следующие проблемные места:

– 1-я проблема – КП № 4 и 5 расположены близко друг к другу с зазором 0,1 мм. В результате по Б.8 вся ПП будет изготовлена по 5-му классу точности. При автоматической проверке будет выдано предупреждение о нарушении правила **C** из табл. Г.7;

– 2-я проблема – КП № 2 находится на границе контура ПП (см. Б.9). При автоматической проверке будет выдано предупреждение о нарушении правила **BOC** из табл. Г.7;

– 3-я проблема – резистор *R2* и светодиод *VD2* расположены рядом в соответствии со схемой, но пересекаются корпусами. Если оставить в таком виде, то монтаж SMD-компонентов будет затруднен или невозможен. При автоматической проверке будет выдано предупреждение о нарушении правила **CC** из табл. Г.7;

– 4-я проблема – 2-я КП резистора *R1* соприкасается с монтажным отверстием. Так как такие отверстия обычно подключают к цепи GND и винтами обеспечивают крепление ПП к несущей конструкции (например, к металлическому корпусу), то и нижний вывод резистора *R1* по схеме с рис. 12.9 будет подключен к цепи GND. В результате при подаче питания светодиод *VD1* работать не будет, а все входное напряжение окажется приложенным к резистору *R1*, и он может выйти из строя (максимальная рассеиваемая мощность корпуса 0603 – 0,1 Вт). При автоматической проверке будут выданы предупреждения об общей точке двух разных цепей (правило **ShortCircuit**) и о нарушении правила **C** из табл. Г.7 между двумя КП;

– 5-я проблема – у монтажного отверстия, предназначенного в данном примере для крепления ПП винтом М2 с диаметром головки 3,8 мм, диаметр КП составляет 3,2 мм. Близкое расположение КП компонента (или печатного проводника) к такому отверстию может привести к тому, что даже при наличии зазора, головка винта создаст контакт с цепью GND;

– 6-я проблема – светодиод *VD1* расположен далеко от резистора *R1*, хотя они в паре выполняют одну функцию. Расположение компонентов из одной функциональной группы на большом расстоянии друг от друга во мно-

гих случаях влияет на правильную работу устройства, а также замедляет поиск компонентов на ПП для настройки и ремонта. В данном случае эта проблема не является критичной;

– 7-я проблема – связывающие линии между резистором *R1* и светодиодом *VD1* и между резистором *R2* и КП № 3 пересекаются. Так как это разные сигналы (см. рис. 12.9), то или печатные проводники придется размещать на разных слоях ПП, или одну из связей вести проводом. Необоснованное увеличение количества слоев ПП приводит к удлинению печатных проводников, необходимости использования большого количества переходных отверстий, часто к увеличению габаритных размеров и стоимости ПП (см. Б.9). На ПП с большим числом компонентов и сложной схемой соединений пересечения связей неизбежны, но желательно их количество делать минимальным.

На рис. 12.15 показан внешний вид ПП для рассматриваемого варианта плохой компоновки с размещенными на посадочных местах компонентами и крепежным винтом (основание ПП и винт показаны полупрозрачными).

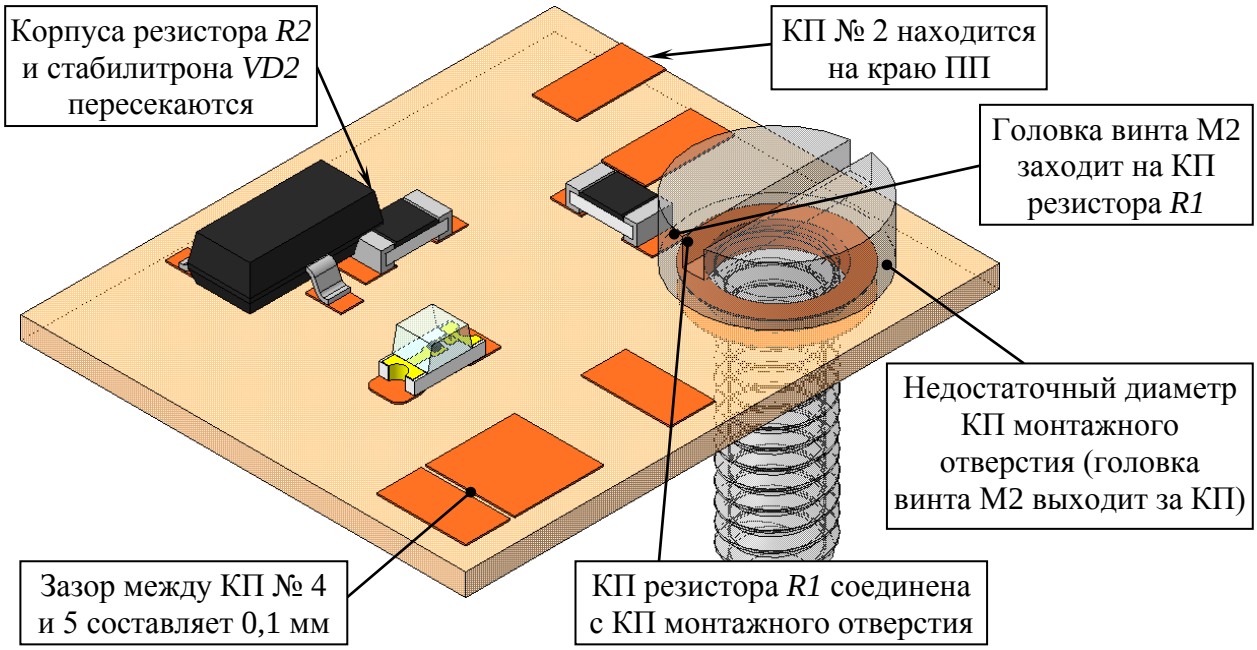


Рис. 12.15

После завершения этапа компоновки начинается этап трассировки ПП.

Трассировка ПП – разработка топологии электрических соединений между посадочными местами электронных компонентов, устанавливаемых на ПП [60]. Этап состоит в окончательной расстановке компонентов и замене связывающих линий линями заданной ширины (печатными проводниками или трассами) на сигнальных слоях ПП. На этих слоях могут быть размещены также тексты и различные полигоны.

При трассировке ПП необходимо следить за следующим:

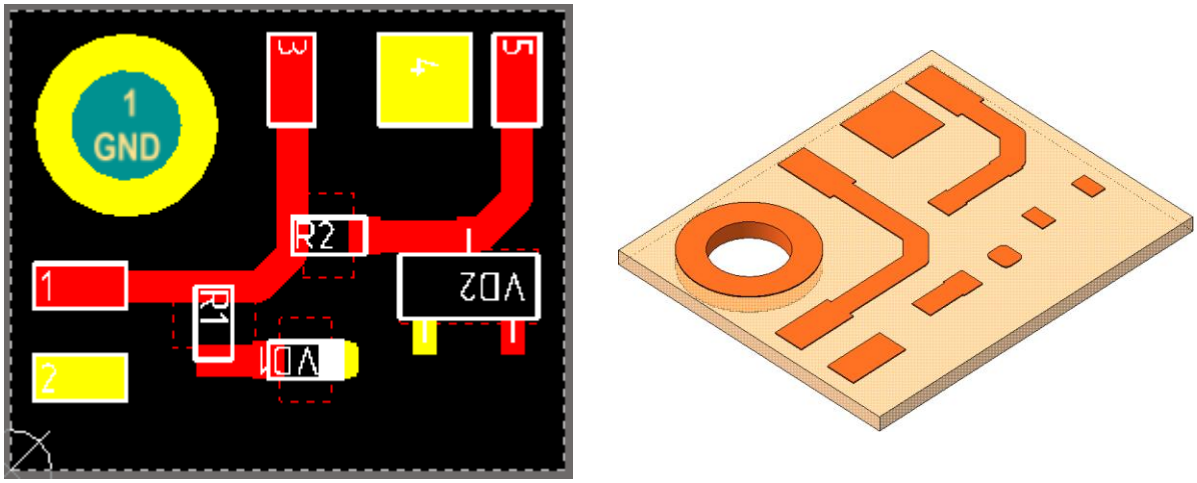
– на одном слое должны отсутствовать пересечения между печатными проводниками, относящимися к разным цепям;

– между печатными проводниками должны быть необходимые зазоры;

– все соединения должны соответствовать схеме Э3.

Сначала на этом этапе трассируются сигнальные цепи, а затем цепи питания (в МПП для питания часто выделяются отдельные слои).

Результат замены видимых связывающих линий на печатные проводники для приведенного варианта хорошей компоновки (см. рис. 12.12) показан на рис. 12.16, *а*, а внешний вид ПП с полупрозрачным основанием без шелкографии, защитной паяльной маски и финишного покрытия – на рис. 12.16, *б*.



а *б*

Рис. 12.16

Из рисунка видно, что без защитной паяльной маски отдельные КП уже не различить – они стали частью печатных проводников.

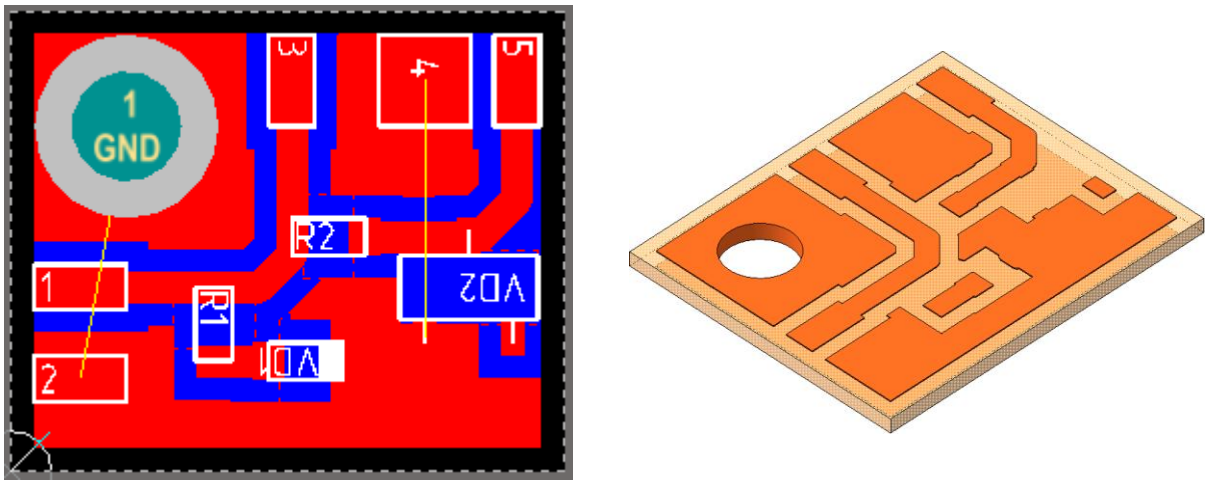
После этого осуществляется трассировка цепи GND (в основном с помощью полигона Polygon Pour).

Примечания:

– металлизацией обычно покрываются все свободные места ПП, кроме отдельных ни к чему не подключенных участков («островков»);

– под цепь GND часто выделяется отдельный слой (в вариантах задания таким слоем будет нижняя сторона ПП).

Результат добавления земляных полигонов на нижнюю и верхнюю стороны ПП показан на рис. 12.17, *а*, а внешний вид ПП с полупрозрачным основанием без шелкографии, защитной паяльной маски и финишного покрытия – на рис. 12.17, *б*.



а *б*

Рис. 12.17

Примечания:

– красный цвет – металлизация на верхнем сигнальном слое ПП;

– синий цвет – видимые участки металлизации на нижнем сигнальном слое в тех местах, где отсутствует металлизация на верхнем сигнальном слое (земляной полигон на нижнем слое имеет форму прямоугольника);

– КП с отверстием отображаются отдельным цветом, так как они расположены одновременно на разных слоях (слой Multi-Layer).

В отличие от нескольких предыдущих рисунков, здесь включено отображение связывающих линий для цепи GND и отменено цветовое оформление для нее. Видно, что земляной полигон на нижней стороне ПП соединен через монтажное отверстие с участком металлизации около него на верхней стороне ПП, но не соединен с металлизацией у КП № 4 и с металлизацией, объединяющей КП № 2 и соответствующие выводы компонентов *VD7* и *VD2*. Для их соединения используются переходные отверстия.

После установки переходных отверстий и проверки отсутствия связывающих линий выполняются завершающие действия этапа трассировки ПП:

– с помощью полигонов Solid Region с назначением Polygon cutout корректируются области металлизации, выполненные полигонами Polygon Pour;

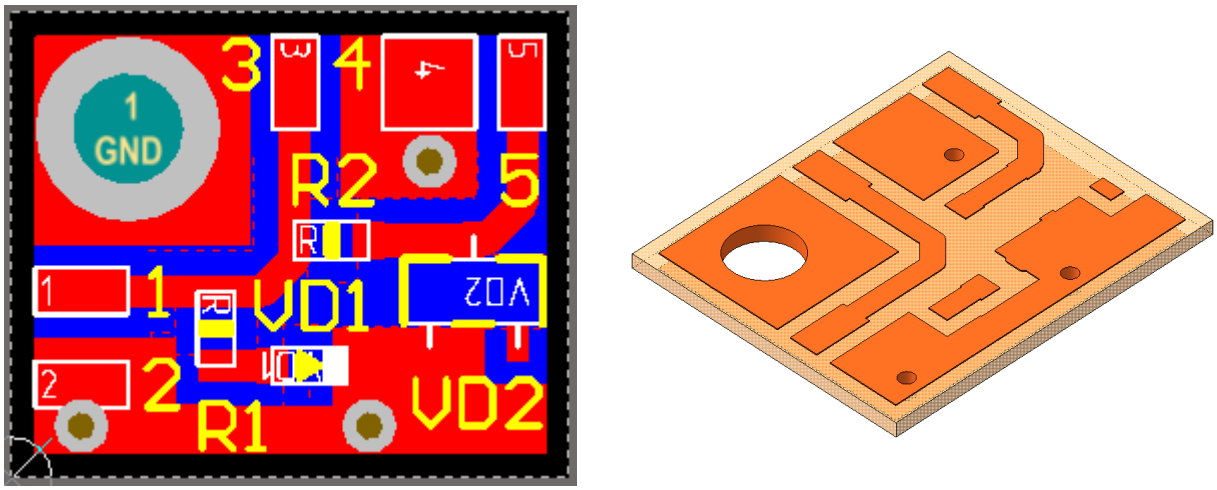
– при необходимости в слоях с защитной паяльной маской указываются области ПП, в которых она будет отсутствовать (КП по умолчанию открыты от маски);

– корректируется положение графической информации в слоях шелкографии (при ее использовании);

– осуществляется автоматическая проверка ПП, в результате которой можно обнаружить практически все ошибки.

Примечание. В вариантах задания защитной паяльной маски не должно быть с верхней стороны ПП в области расположения СВЧ-тракта и полностью с ее нижней стороны. Это необходимо для обеспечения контакта земляных полигонов с корпусом («основание» и «экран»), а также для исключения влияния ее параметров на СВЧ-тракт.

Результат этапа трассировки ПП с включенным слоем шелкографии для рассматриваемого варианта хорошей компоновки (см. рис. 12.12) показан на рис. 12.18, *а*, а внешний вид ПП с полупрозрачным основанием без шелкографии, защитной паяльной маски и финишного покрытия – на рис. 12.18, *б*.



а *б*

Рис. 12.18

На рис. 12.19 показан вид ПП с шелкографией белого цвета, защитной паяльной маской зеленого цвета и финишным покрытием ENIG в 3D-режиме просмотра для варианта хорошей компоновки. По рисунку видно, что объекты шелкографии расставлены таким образом, что не попадают на КП.

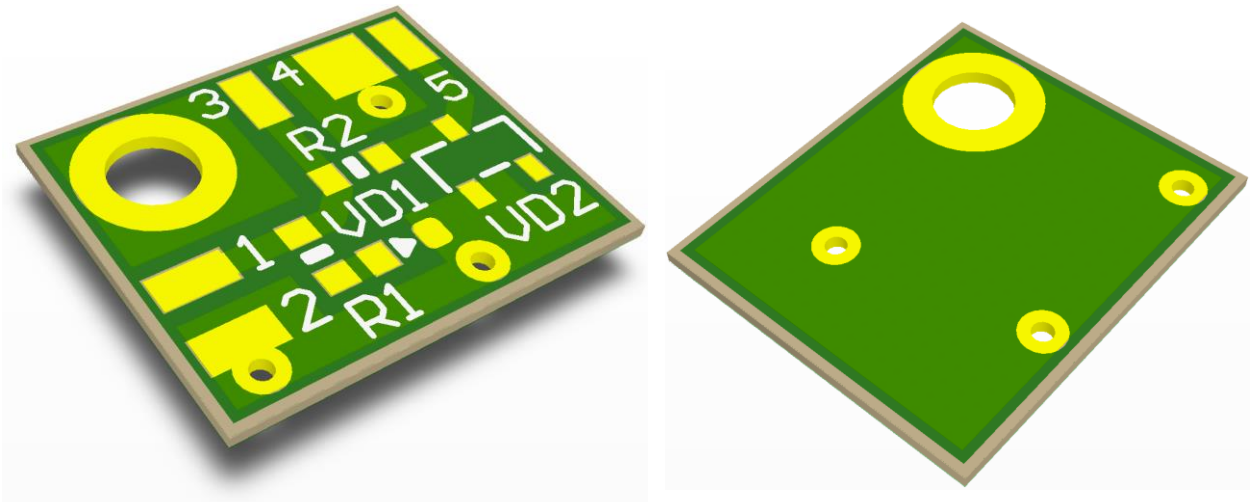


Рис. 12.19

На рис. 12.20 показана та же ПП в 3D-режиме просмотра, но с установленными компонентами и винтом M2.

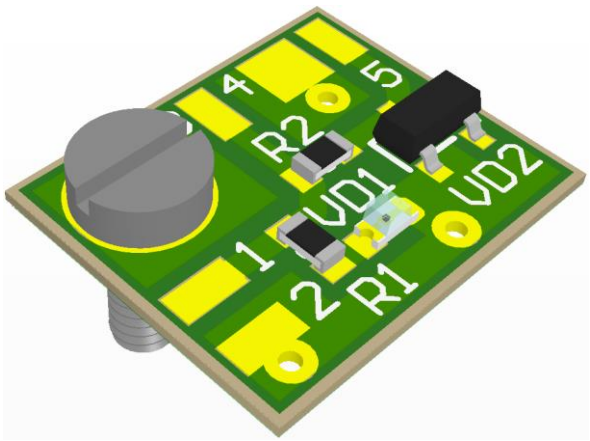
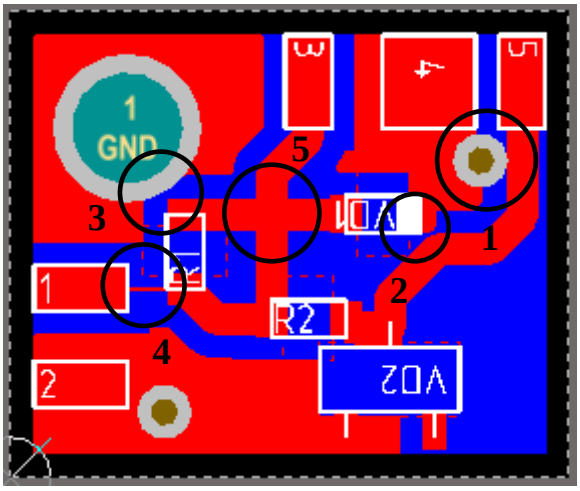


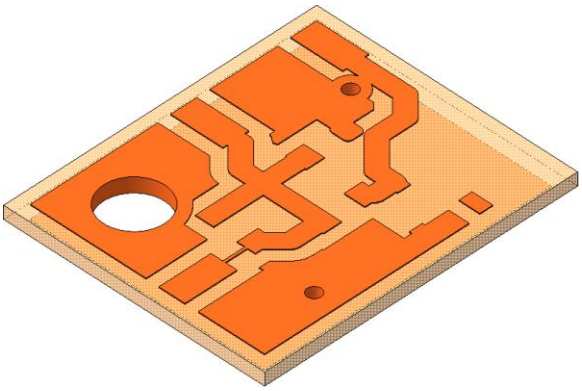
Рис. 12.20

Результат этапа трассировки ПП с ошибками для приведенного ранее варианта плохой компоновки (см. рис. 12.13) показан на рис. 12.21, *а*, а внешний вид ПП с полупрозрачным основанием без шелкографии, защитной паяльной маски и финишного покрытия – на рис. 12.21, *б*.

Примечание. В приведенном на рисунке результате этапа трассировки ПП специально были проигнорированы сообщения программы о нарушениях правил проектирования, чтобы рассмотреть их последствия.



а



б

Рис. 12.21

На рис. 12.21, *а* отмечены следующие проблемные места:

– 1-я проблема – переходное отверстие для соединения металлизации на нижней стороне ПП с участком металлизации между КП № 4 и правым выводом светодиода *VD1* задевает печатный проводник, проходящий от стабилитрона *VD2* к КП № 5. В результате при подаче питания напряжение на КП № 5 будет нулевым, а все входное напряжение окажется приложенным к резистору *R2*, и он может выйти из строя. Данная ситуация аналогична 4-й проблеме, описанной для резистора *R1* по рис. 12.13, *а*;

– 2-я проблема – зазор между правой КП светодиода *VD1*, подключенной к цепи GND, и печатным проводником, проходящим от стабилитрона

VD2 к КП № 5, составляет 0,06 мм. Ситуация аналогична 1-й проблеме по рис. 12.13, *а* с уточнением, что это 7-й класс точности (см. табл. Б.6);

– 3-я проблема – 2-я КП резистора *R4* находится близко к монтажному отверстию (зазор – 0,125 мм), диаметр КП которого меньше диаметра головки винта М2. Ситуация аналогична 1-й и 5-й проблемам по рис. 12.13, *а*;

– 4-я проблема – КП № 1 соединена с первой КП резистора *R1* узким печатным проводником шириной 0,1 мм, что может повлечь к следующему:

а) необоснованное увеличение класса точности ПП (см. Б.8);

б) увеличение влияния бокового подтрава (см. рис. Б.24);

в) разрушение печатного проводника из-за невозможности пропустить через себя требуемый ток (см. п. 7 из 12.4 и табл. 12.2);

– 5-я проблема – печатные проводники между резистором *R1* и светодиодом *VD1* и между резистором *R2* и КП № 3 пересекаются на одном слое. Это соответствует подключению светодиода без токоограничивающего резистора (см. рис. 12.9), что при подаче питания приведет к выходу первого из строя.

12.3. Компоновка ПП

Этап компоновки ПП следует выполнить в приведенной ниже последовательности:

1. Если проект был закрыт, то открыть его по п. 1 из 12.1.

2. Если файл трассировки был закрыт, то открыть его по п. 3 из 8.3.

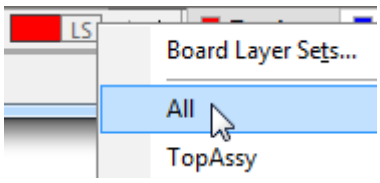


Рис. 12.22

3. Перейти в сетку **1** мм.

4. Включить набор слоев **All**.

Для этого нажать на пиктограмму **LS** внизу рабочего поля и выбрать набор из списка (рис. 12.22).

5. Отредактировать форму ПП по данным из столбцов 12 и 13 варианта индивидуального задания на проектирование:

5.1. Перейти в режим работы с формой ПП, для чего нажать клавишу **1** или выполнить команду **View ⇒ Board Planning Mode**.

5.2. Запустить команду **Design ⇒ Edit Board Shape**.

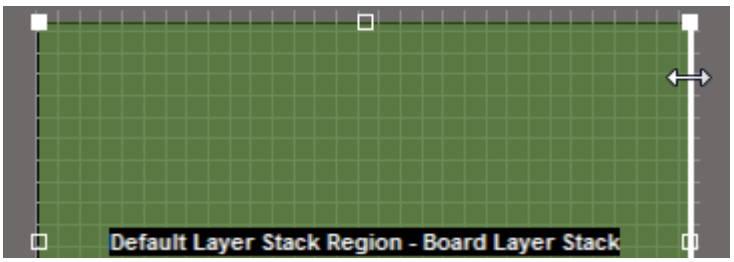


Рис. 12.23

5.3. Изменить габаритные размеры ПП (суммарные размеры по горизонтали и вертикали) перемещением ее границ зажатой ЛКМ (см. рис. 12.23).

Если на рис. 1.1 один или оба габаритных размера отсутствуют, то для определенности задать их следующими:

– по горизонтали – 80 мм (16 серых квадратов сетки);

– по вертикали – 50 мм (10 серых квадратов сетки).

Необходимо обратить внимание на то, что перемещения требуют все четыре границы ПП до совпадения с серыми линиями сетки, так как изначально они были расположены в дюймовой сетке.

Примечание. Так как в варианте «П1» на рис. 1.1, б задана только ширина «экрана», а габаритные размеры ПП являются произвольными, то размеры ПП составили 80 × 50 мм.

5.4. Если в варианте задания ПП имеет угловую форму (например, ПП на рис. 1.1, *а*), то запустить команду **Design ⇒ Modify Board Shape** и нарисовать контур выреза внутри ПП:

– на требуемой границе ПП щелчком ЛКМ указать точку начала контура выреза;

– комбинацией клавиш **Shift+Space** включить режим рисования линии под углом 90 (режим **Line 90/90**);

– клавишей **Space** выбрать желаемый путь прохождения контура выреза;

– на требуемой стороне контура ПП щелчком ЛКМ указать точку конца контура выреза (рис. 12.24);

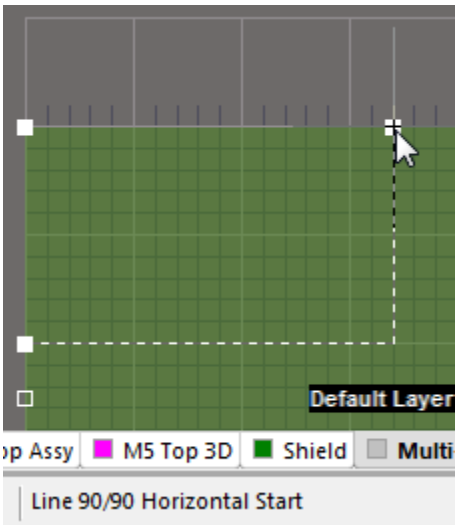


Рис. 12.24

– при необходимости отредактировать положение контура выреза с помощью команды **Design ⇒ Edit Board Shape**.

5.5. Нажать клавишу **2** для перехода в 2D-режим просмотра.

5.6. Поместить начало координат точно в угол ПП, отмеченный точкой на подходящем для варианта задания схематичном изображении с рис. 12.25.

Для этого последовательно нажать клавиши **E ⇒ O ⇒ S** (или запустить команду **Edit ⇒ Origin ⇒ Set**) и щелкнуть ЛКМ в требуемой точке.

5.7. Сделать текущим слой **M3 Top Assy**.

5.8. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ D ⇒ L** или командой **Place ⇒ Dimension ⇒ Linear** добавить линейные размеры ПП по подходящему для варианта задания схематичному изображению с рис. 12.25.

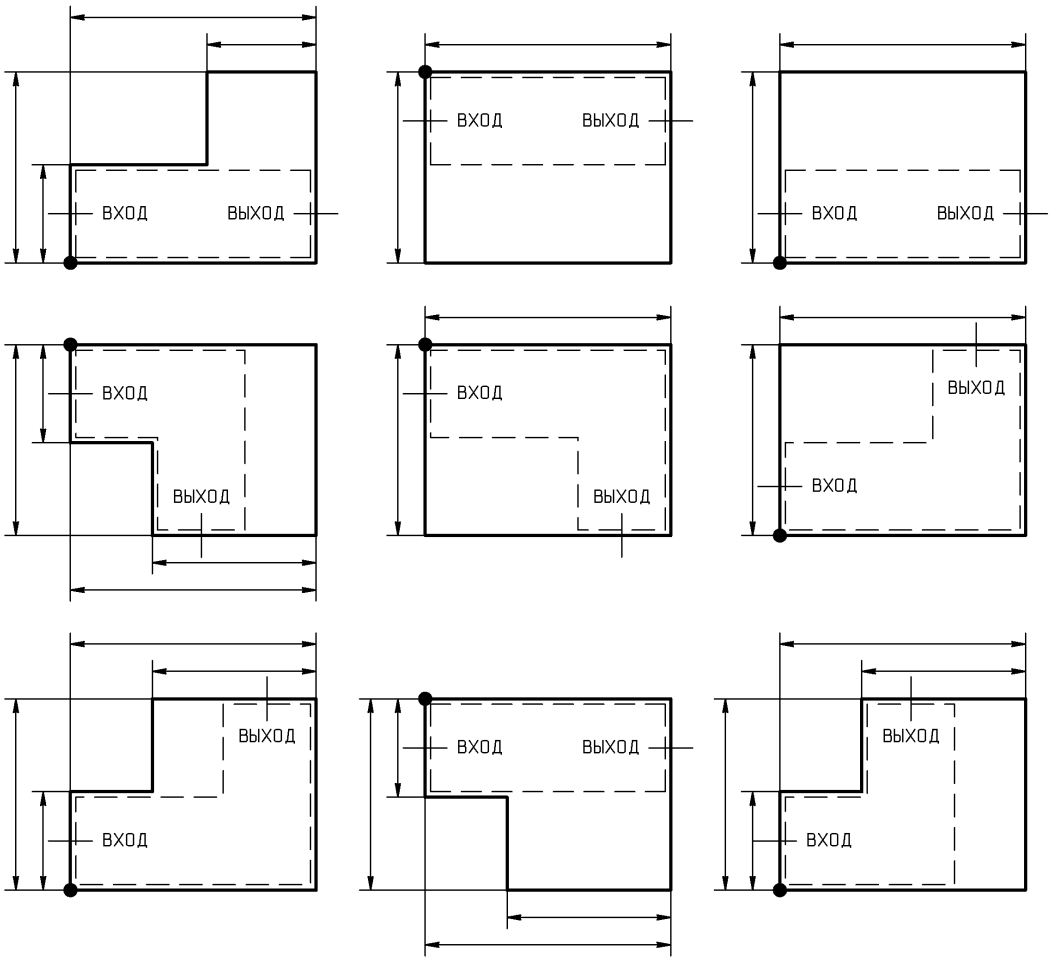


Рис. 12.25

Примечания:

– первым щелчком ЛКМ указывается положение первой выносной линии размера, вторым щелчком ЛКМ – положение второй выносной линии размера, третьим щелчком ЛКМ задается положение размерной линии. Перед последним щелчком можно поменять ориентацию размера клавишей Space;

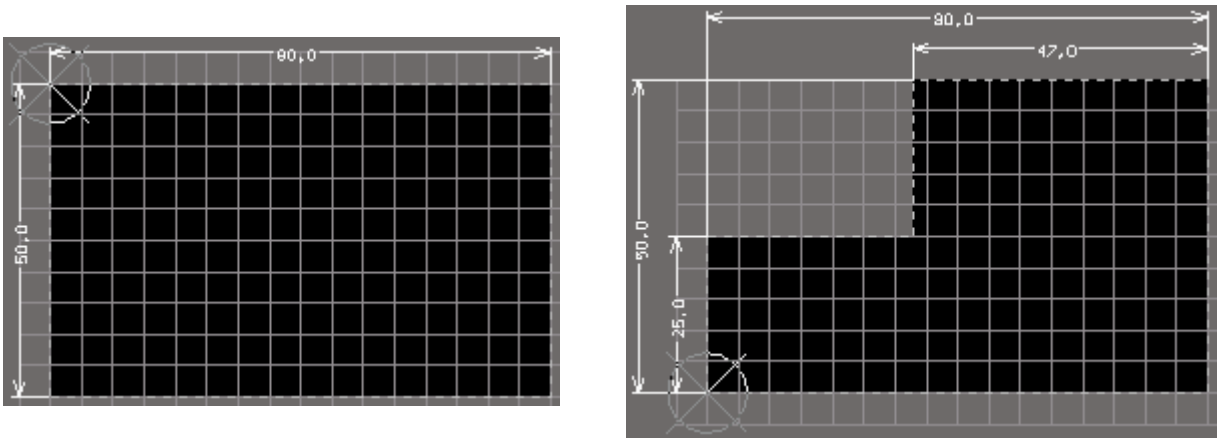
– для привязки размера к ПП выносные линии указываются на ее границах или вершинах. Если в этих местах есть и другие объекты, то сперва включается привязка к объектам на всех слоях (комбинация клавиш Shift+E до появления надписи Hotspot Snap (All Layers) в информационном поле), а затем осуществляется размещение (или корректировка) требуемой выносной линии с последующим выбором объекта привязки в появляющемся окне;

– размеры ПП в процессе проектирования будут корректироваться;

– контур ПП на слое M1 Board будет получен после этапа трассировки;

– способы создания контура ПП описаны в Г.39.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.26, *а*, а возможный вариант для ПП с вырезом – на рис. 12.26, *б*.



а *б*

Рис. 12.26

6. Добавить посадочные места компонентов и связи из схемы Э3:

6.1. Открыть схему (см. п. 3 из 8.3).

6.2. Запустить команду **Design ⇒ Update PCB Document**.

Примечание. Если в проекте есть несколько файлов трассировки, то необходимо обратить внимание на название файла в этой команде.

6.3. В появившемся окне **Engineering Change Order** нажать кнопку **Validate Changes** для проверки возможности внесения изменений.

Если в столбце **Check** отображаются зеленые галочки, то последовательно нажать кнопки **Execute Changes** (применение изменений) и **Close**.

Примечания:

– фрагменты окна Engineering Change Order из варианта «П1» показаны на рис. 12.27;

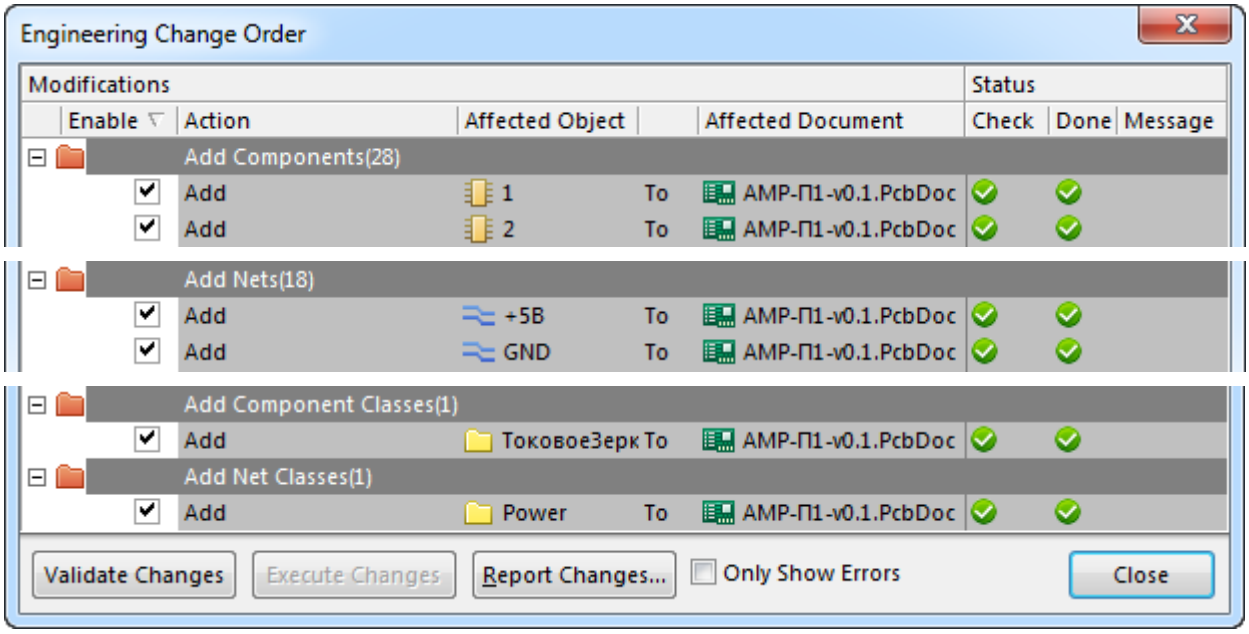


Рис. 12.27

– все изменения в окне автоматически разбиваются по группам (например, на рис. 12.27 их четыре: добавление 28 компонентов, 18 цепей, одного класса компонентов и одного класса цепей);

– каждое изменение может быть разрешено или отменено в столбце Enable;

– в столбце Action указывается тип изменения (Add – добавление, Remove – удаление, Modify – изменение), в столбце Affected Object – объект изменения, а в столбце Affected Document – документ, в котором производится изменение;

– доступны различные команды из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любом месте данного окна;

– виды различий между схемой и файлом трассировки, по которым выполняется проверка перед формированием списка изменений в окне Engineering Change Order, настраиваются на вкладке Comparator окна свойств проекта (команда Project ⇒ Project Options), а сами действия по обнаруженным различиям, вносимым в этот список, – на вкладке ECO Generation;

– если изменение не проходит проверку, то напротив него в столбце Check появится красный крест, а в столбце Message – описание причины. Например, на рис. 12.28 показана ситуация, возникшая из-за отсутствия у компонента посадочного места (специально была отключена библиотека компонентов). Подобные сообщения требуют исправлений;

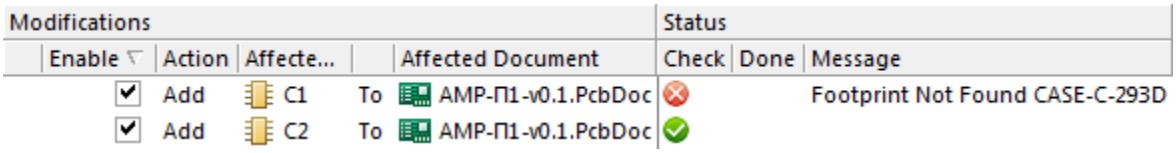


Рис. 12.28

– не всегда наличие красного креста в столбце Check напротив изменения свидетельствует о наличии ошибок. В отдельных случаях это может означать, что изменение не может быть применено, так как пока в файле трассировки нет каких-то объектов, которые будут добавлены изменениями, располагающимися в списке раньше. После нажатия кнопки Execute Changes такие проблемные места пропадут;

– в данном учебном пособии используются компоненты (отрезки МПЛ), в свойствах которых выбран тип Mechanical (см. Г.33). При последующем запуске команды Design ⇒ Update PCB Document (например, для переноса каких-либо корректировок, сделанных в схеме) в группе изменений Add Pins To Nets (подключение выводов компонентов к цепям) изменения, связанные с

отрезками МПЛ, не будут проходить проверку (рис. 12.29), так как посадочных мест для таких компонентов в файле трассировки нет и подключить цепи не к чему. Подобные сообщения можно пропустить.

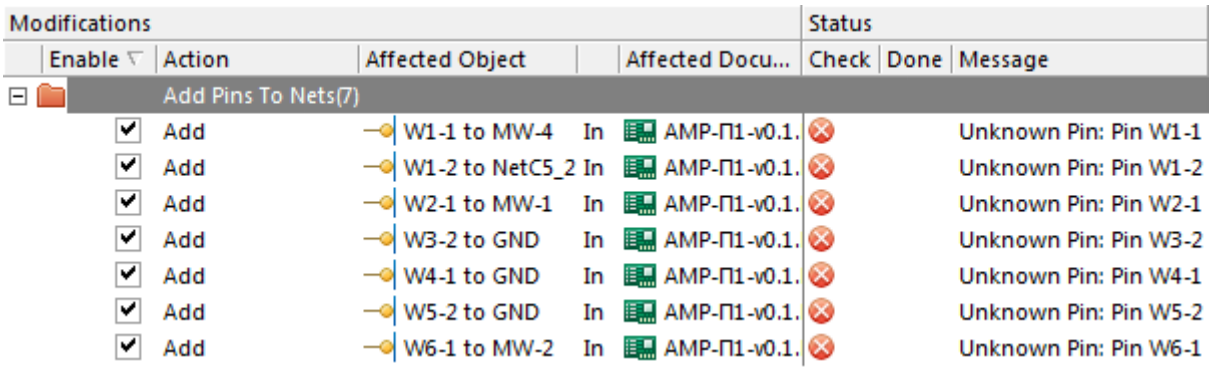


Рис. 12.29

Стоит отметить, что аналогичная ситуация возникнет и при переносе изменений из файла трассировки в схему. В этом случае будут появляться сообщения о невозможности отсоединить цепи от пинов УГО. На них также обращать внимание не нужно, так как Altium Designer в редакторе схем не может автоматически подключать и отключать цепи, а также удалять и добавлять компоненты.

В результате внесения изменений справа от контура ПП появятся посадочные места компонентов со связями между ними.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.30.

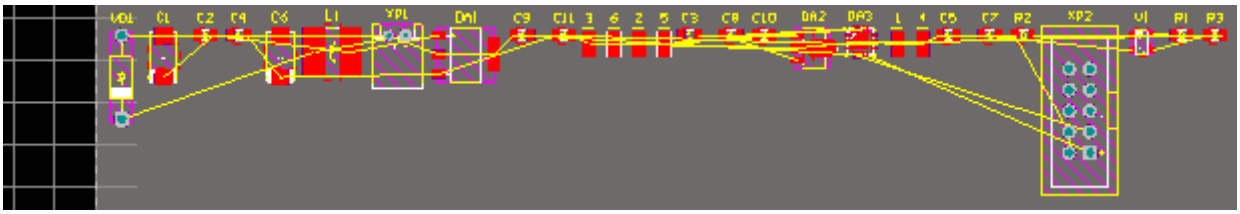


Рис. 12.30

7. Задать желтый цвет всем объектам, которые подключены к цепи GND, и отключить видимость связывающих линий этой цепи.

Это удобно сделать с использованием панели PCB:

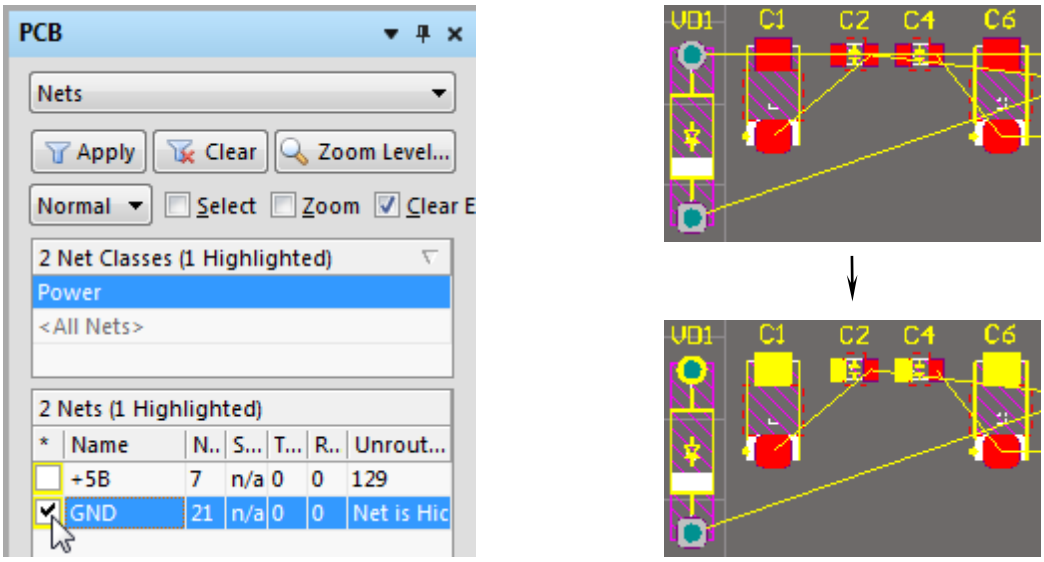
– перейти в панель **PCB** и в верхней части выбрать режим работы с цепями (**Nets**);

– в группе с классами цепей выбрать класс **Power**;

– в группе с цепями слева от **GND** поставить галочку (рис. 12.31, *а*);

– на этой же строке выполнить команду **ПКМ ⇒ Connections ⇒ Hide**.

Изменения, произошедшие в результате выполненных действий в области нескольких компонентов, в варианте «П1» показаны на рис. 12.31, *б*.



а *б*

Рис. 12.31

Примечания:

– аналогичные действия обычно выполняют и с цепями питания;

– произвольный цвет цепи можно задать в окне ее свойств (команда ПКМ ⇒ Properties) в поле Connection Color. Также можно воспользоваться командой ПКМ ⇒ Change Net Color;

– отключить видимость связывающих линий также можно в окне свойств цепи с помощью опции Hide Connections или командой View ⇒ Connections ⇒ Hide Net с последующим указанием цепи в рабочем поле;

– особенности работы с панелью PCB приведены в Г.14.

8. Импортировать и настроить топологию ПФ:

8.1. Запустить команду **File ⇒ Import ⇒ DXF/DWG** и открыть файл топологии ПФ, сохраненный в формате DXF в п. 13 из 4.4.

8.2. В открывшемся окне Import from AutoCAD выполнить следующее:

– в группе **Blocks** выбрать опцию **Import as primitives**;

– в группе **Drawing Space** выбрать опцию **Model**;

– в группе **Default Line Width** задать толщину линий **0.1mm**;

– в группе **Scale** выбрать опцию **mm**;

– в группе **Locate AutoCAD (0,0) at** нажать кнопку **Select**, после чего в рабочем поле щелкнуть ЛКМ в точке начала координат;

– в столбце **PCB Layer** для слоя, заканчивающегося на **_COND** (полосковые элементы), выбрать слой проекта **Top Layer**;

– в вариантах задания с ШТ в столбце **PCB Layer** для слоя, заканчивающегося на **_VIA** (переходные отверстия), выбрать слой проекта **M7 Shield**;

– если в столбце **Source Layer Name** присутствуют другие слои, то в столбце **PCB Layer** выбрать для них **Not Imported**;

– применить изменения кнопкой **OK**.

Примечание. Настройки окна Import from AutoCAD для варианта «П1» показаны на рис. 12.32.

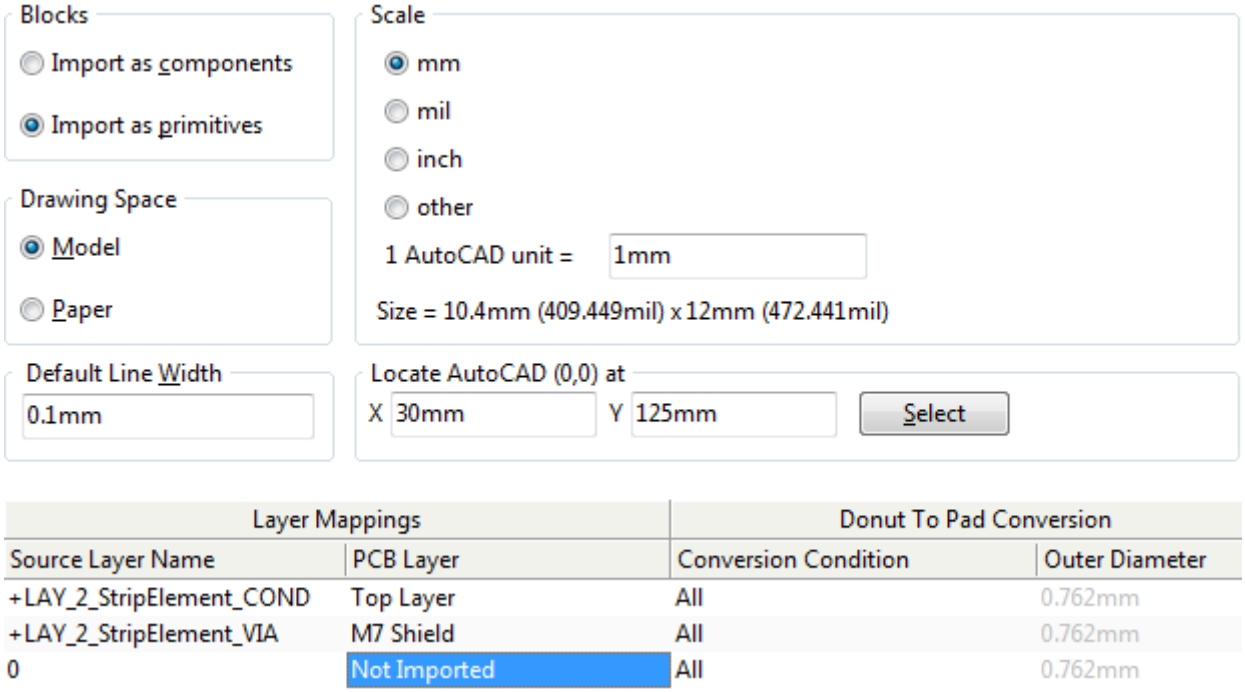


Рис. 12.32

8.3. В появившемся окне с информацией о завершении импорта нажать кнопку **OK**, в результате чего справа от начала координат появится топология ПФ в виде контуров из линий в масштабе 1:1.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.33.

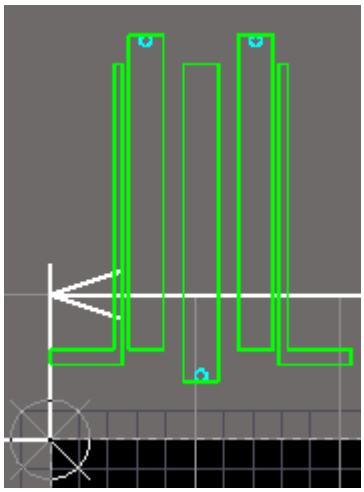


Рис. 12.33

Примечание. Линии в слое Top Layer будут подсвечены как нарушающие правило проектирования. На это не стоит обращать внимания.

8.4. Сделать текущим слой **Top Layer**.

После этого преобразовать замкнутые контуры из топологии ПФ, находящиеся на слое Top Layer, в полигоны Solid Region, выполнив для каждого такого контура следующие действия:

– щелчком ЛКМ выбрать любой примитив из требуемого контура;

– нажать клавишу **Tab** для выделения всех примитивов, которые соприкасаются или пересекаются с выбранным примитивом;

– выполнить команду **Tools ⇒ Convert ⇒ Create Region from Selected Primitives**;

– нажать клавишу **Delete** для удаления выделенных линий.

Примечание. Если какие-то линии контура не были удалены, то их можно выделить и удалить описанным выше способом (полигоны при этом выделены не будут).

8.5. В вариантах задания с ШТ выполнить следующее:

– подключить все полигоны в топологии ПФ, за исключением крайних, к цепи **GND**, для чего в их свойствах в списке Net выбрать требуемую цепь.

Примечание. Подключение можно выполнить сразу для нескольких выделенных полигонов в панели PCB Inspector;

– сделать текущим слой **M7 Shield**;

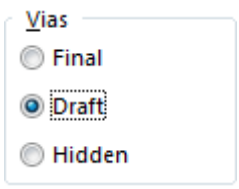


Рис. 12.34

– нажать комбинацию клавиш **Ctrl+D** и на открывшейся вкладке **Show / Hide** окна View Configurations в группе **Vias** выбрать опцию **Draft** (рис. 12.34), в результате чего переходные отверстия будут представлены внешними очертаниями;

– применить изменения кнопкой **OK**;

– перейти в сетку **0.1** мм;

– последовательно нажать клавиши **P ⇒ V**;

– нажать клавишу **Tab** для открытия окна свойств, в котором в списке **Template** выбрать шаблон **v90h40**, а в списке **Net** – цепь **GND**;

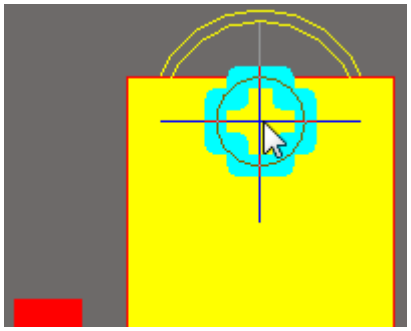


Рис. 12.35

– в рабочем поле поместить по одному переходному отверстию в центр каждого крестообразного контура из слоя **M7 Shield** (рис. 12.35).

Примечание. При необходимости отключить привязку к характерным точкам можно комбинацией клавиш Shift+E до исчезновения надписи Hotspot Snap в информационном поле (или в строке состояний);

– включить режим одного слоя комбинацией клавиш **Shift+S**;

– выделить и удалить крестообразные контуры из слоя M7 Shield;

– выйти из режима одного слоя комбинацией клавиш **Shift+S**;

– нажать комбинацию клавиш **Ctrl+D** и в группе **Vias** выбрать опцию **Final**, т. е. нормальное отображение переходных отверстий;

– сделать текущим слой **Top Layer**;

– перейти в сетку **1** мм.

8.6. С помощью полигона Solid Region нарисовать область, в которой будет отсутствовать металлизация, создаваемая полигоном Polygon Pour.

Для этого выполнить следующее:

– последовательно нажать клавиши **P ⇒ R**;

– нажать клавишу **Tab** для открытия окна свойств;

– на вкладке **Graphical** окна свойств в списке **Kind** выбрать опцию **Polygon cutout**;

– на вкладке **Outline Vertices** кнопкой **Add** создать четыре вершины с координатами: (0; 0), (X_Dim; 0), (X_Dim; Y_Dim), (0; Y_Dim).

Graphical | Outline Vertices

Index	X (mm)	Y (mm)
0	0	0
1	10.4	0
2	10.4	16
3	0	16

Рис. 12.36

Примечание. Величины X_Dim и Y_Dim были сохранены в отчете в п. 2.3 из 4.4. Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.36;

– применить изменения в окне свойств и щелкнуть ЛКМ в точке начала координат для размещения прямоугольного контура полигона;

– дважды нажать клавишу **Esc** для завершения создания текущего полигона и выхода из команды.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.37, *а*, а возможный результат в вариантах задания с СЛ – на рис. 12.37, *б*.



а *б*

Рис. 12.37

Примечание. Изображения с рис. 12.37 получены в режиме одного слоя.

8.7. В вариантах задания с СЛ выполнить следующее:

– в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в подразделе **PCB Editor ⇒ General** в поле **Rotation Step** задать шаг угла поворота **1** градус, а в списке **Cursor Type** выбрать опцию **Large 90**;

– комбинацией клавиш **Shift+E** включить привязку к ближайшим объектам до появления надписи **Hotspot Snap** или **Hotspot Snap (All Layers)** в информационном поле (или в строке состояний);

– выделить все полигоны из топологии ПФ, кроме пунктирного контура из п. 8.6, и подвести курсор мышки к любой характерной точке на левой стороне крайнего левого полигона;

– зажать ЛКМ и клавишей **Space** или комбинацией клавиш **Shift+Space** повернуть выделенные объекты так, чтобы середины левой стороны крайнего левого полигона и правой стороны крайнего правого полигона находились примерно на одной линии (рис. 12.38), после чего отпустить ЛКМ;

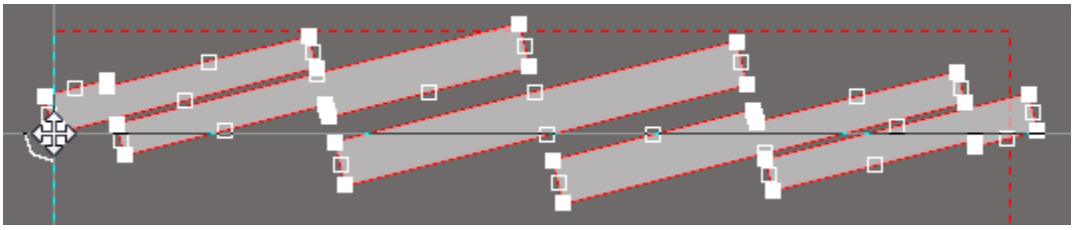


Рис. 12.38

– если топология ПФ находилась за пределами ПП, то выделить все ее объекты (полигоны и пунктирный контур из п. 8.6) и переместить их за точку начала координат внутрь контура ПП в любое удобное место;

– перейти в сетку **0.1** мм;

– отредактировать положение верхней и нижней границ пунктирного контура из п. 8.6 так, чтобы расстояние до полигонов стало около 2 мм, а также правой его границы, сдвинув ее вправо до первой встретившейся вершины правой стороны крайнего правого полигона (рис. 12.39).

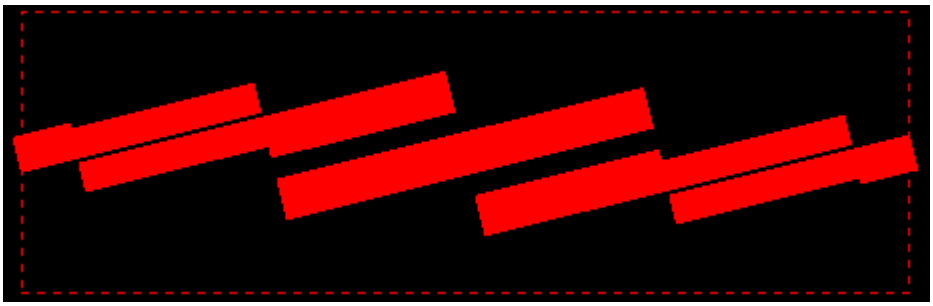


Рис. 12.39

Примечание. Способы редактирования сторон полигона Solid Region описаны в пп. 2.4 и 2.7 из Г.26;

– в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в подразделе **PCB Editor ⇒ General** в поле **Rotation Step** задать шаг угла поворота **90** градусов, а в списке **Cursor Type** выбрать опцию **Small 90**.

8.8. Подключить крайний левый полигон в топологии ПФ (на который поступает СВЧ-сигнал) к цепи **MW-1**, а крайний правый (с которого выходит СВЧ-сигнал) – к цепи **MW-2**.

Для этого в свойствах полигонов в списке Net выбрать требуемые цепи.

8.9. Сгруппировать все объекты топологии ПФ (полигоны, переходные отверстия в вариантах с ШТ и пунктирный контур из п. 8.6), для чего выделить их, выполнить на них команду **ПКМ ⇒ Unions ⇒ Create Union from selected objects** и в появившемся окне сообщений нажать **OK**.

Примечание. В редакторе ПП в группу также можно добавлять и другие объекты (например, посадочные места компонентов и трассы), при этом при перемещении любого объекта группы будет перемещаться вся группа целиком, в отличие от редактора схем.

8.10. Изменить имя объединенных объектов топологии ПФ:

– в верхней части панели **PCB** выбрать режим работы с группами объектов (**Unions**);

– выбрать любую строку с типами групп;

– в списке групп на единственной строке выполнить команду **ПКМ ⇒ Rename**;

– в появившемся окне ввести имя **BPF** и нажать **OK**.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.40.

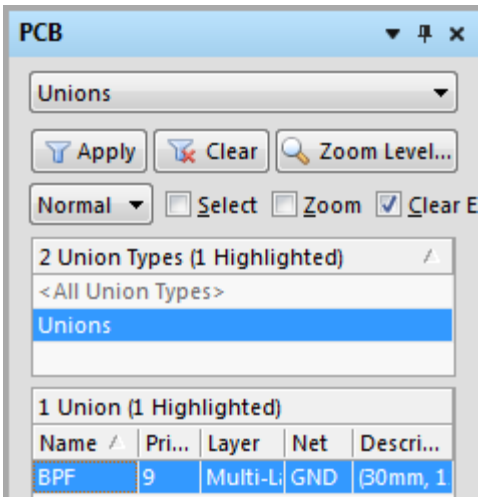


Рис. 12.40

9. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

10. Выполнить подготовительные действия перед расстановкой посадочных мест компонентов:

10.1. Перейти в сетку **0.1** мм.

10.2. Включить набор слоев **Shield**.

10.3. Сделать текущим слой **M3 Top Assy**.

10.4. Зажатой ЛКМ переместить вкладку с файлом трассировки так, чтобы она находилась правее вкладки со схемой, после чего выполнить команду **Window ⇒ Tile Horizontally** для одновременного отображения двух вкладок.

Примечания:

– открыть схему, если она была закрыта, можно по п. 3 из 8.3;

– крайняя правая вкладка после выполнения указанной команды оказывается в верхней части рабочего поля;

– для возврата в режим отображения только одного документа необходимо либо вручную перетащить зажатой ЛКМ одну вкладку к другой, либо на любой вкладке выполнить команду ПКМ ⇒ Merge All.

10.5. Убедиться в том, что включен режим **Cross Select Mode** (см. Г.35).

10.6. При активной вкладке с файлом трасировки в верхней части панели **PCB** выбрать режим работы с компонентами (**Components**), а в группе с классами компонентов – **<All Components>** (все компоненты).

11. Разместить посадочные места компонентов и топологию ПФ в любом удобном месте за пределами контура ПП в соответствии с их расположением на схеме Э3 «усилителя» одним из способов, описанных в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Основные способы расстановки посадочных мест

№	Описание	Примечание
1	Посадочные места по одному перетаскиваются из списка компонентов в панели **PCB**. При перетаскивании нескольких посадочных мест они будут появляться под курсором мышки по очереди. Схема используется только для просмотра подключений компонентов	Для выделения выбираемых компонентов в схеме (режим Cross Select Mode) требуется включение опции Select в панели PCB
2	Сначала в схеме выделяются требуемые компоненты. Затем в редакторе ПП запускается команда **Tools ⇒ Component Placement ⇒ Arrange Within Rectangle** и в рабочем поле курсором мышки рисуется прямоугольный контур, в который автоматически будут перемещены выбранные посадочные места. Далее посадочные места расставляются вручную	Способ подходит для быстрого формирования областей с функциональными группами компонентов
3	Сначала в схеме выделяются требуемые компоненты. Затем в редакторе ПП запускается команда **Tools ⇒ Component Placement ⇒ Reposition Selected Components**, в результате чего в рабочем поле под курсором мышки выбранные посадочные места будут появляться по очереди	Если в схеме выделять компоненты в определенном порядке, то их посадочные места появятся под курсором мышки в таком же порядке
4	С включенной опцией **Reposition selected component in PCB (Hotkey: Ctrl+Shift+Y)** в окне Preferences (см. Г.35) после выделения компонента в схеме его посадочное место автоматически привяжется к курсору мышки для размещения	При массовом выделении нескольких компонентов их посадочные места будут появляться под курсором мышки по очереди

Примечания:

– рекомендуется опробовать все способы;

– в способах № 2 и 3 через панель PCB можно выделить все компоненты из заранее созданного в п. 9.4 из 8.3 класса «ТоковоеЗеркало»;

– в процессе размещения посадочные места можно поворачивать клавишей Space или комбинацией клавиш Shift+Space;

– перенос посадочного места на другую сторону ПП осуществляется клавишей L (возможность может быть использована только в обоснованных случаях, так как противоречит общему заданию на проектирование);

– спрятать связывающие линии от перемещаемого в данный момент посадочного места позволяет клавиша N;

– при перемещении посадочных мест доступно три режима разрешения конфликтов, циклически изменяющихся при нажатии клавиши R: Ignore (рекомендуемый режим) – игнорировать, т. е. посадочные места можно разместить как угодно, при этом зазоры проверяются по 3D-моделям или по границам примитивов (при отсутствии 3D-моделей); Avoid – избегать, т. е. посадочные места нельзя приблизить друг к другу на расстояние, нарушающее заданное правило проектирования (зазоры проверяются по границам примитивов); Push – расталкивать, т. е. при приближении к другому посадочному месту на расстояние, нарушающее заданное правило проектирования, последнее будет автоматически изменять свое положение даже при нахождении в составе группы других объектов (зазоры проверяются по границам примитивов). Текущий режим также можно изменить в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в списке Component pushing из подраздела PCB Editor ⇒ Interactive Routing;

– снятие выделения осуществляется комбинацией клавиш Shift+C или кнопкой Clear из нижнего правого угла рабочего поля (см. рис. 5.9).

Результат размещения посадочных мест компонентов узла вторичного питания в варианте «П1» показан на рис. 12.41.

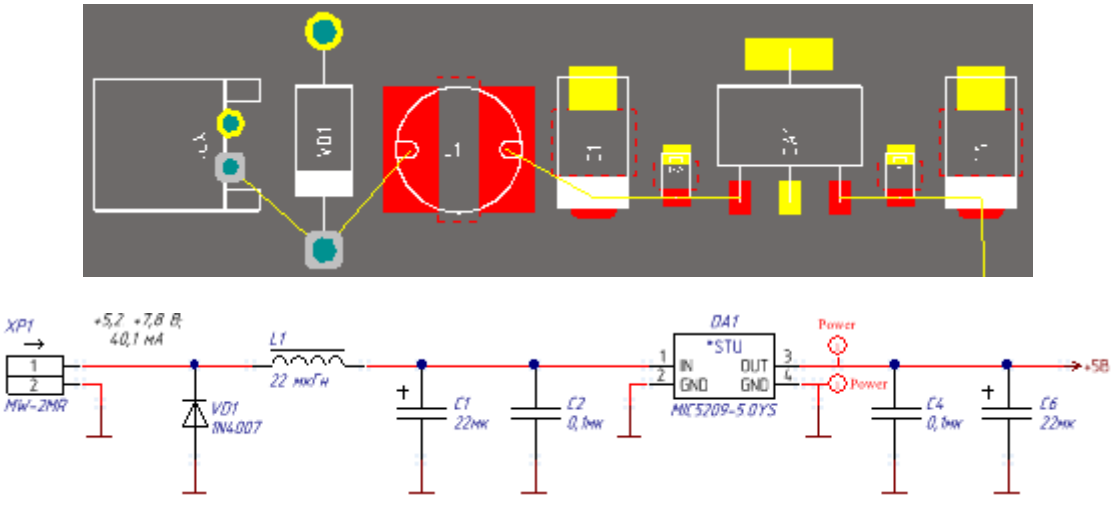


Рис. 12.41

Результат размещения посадочных мест компонентов СВЧ-тракта (расположены на одной линии от входных до выходных КП), «токового зеркала» и узла управления (разъем) в варианте «П1» показан на рис. 12.42.

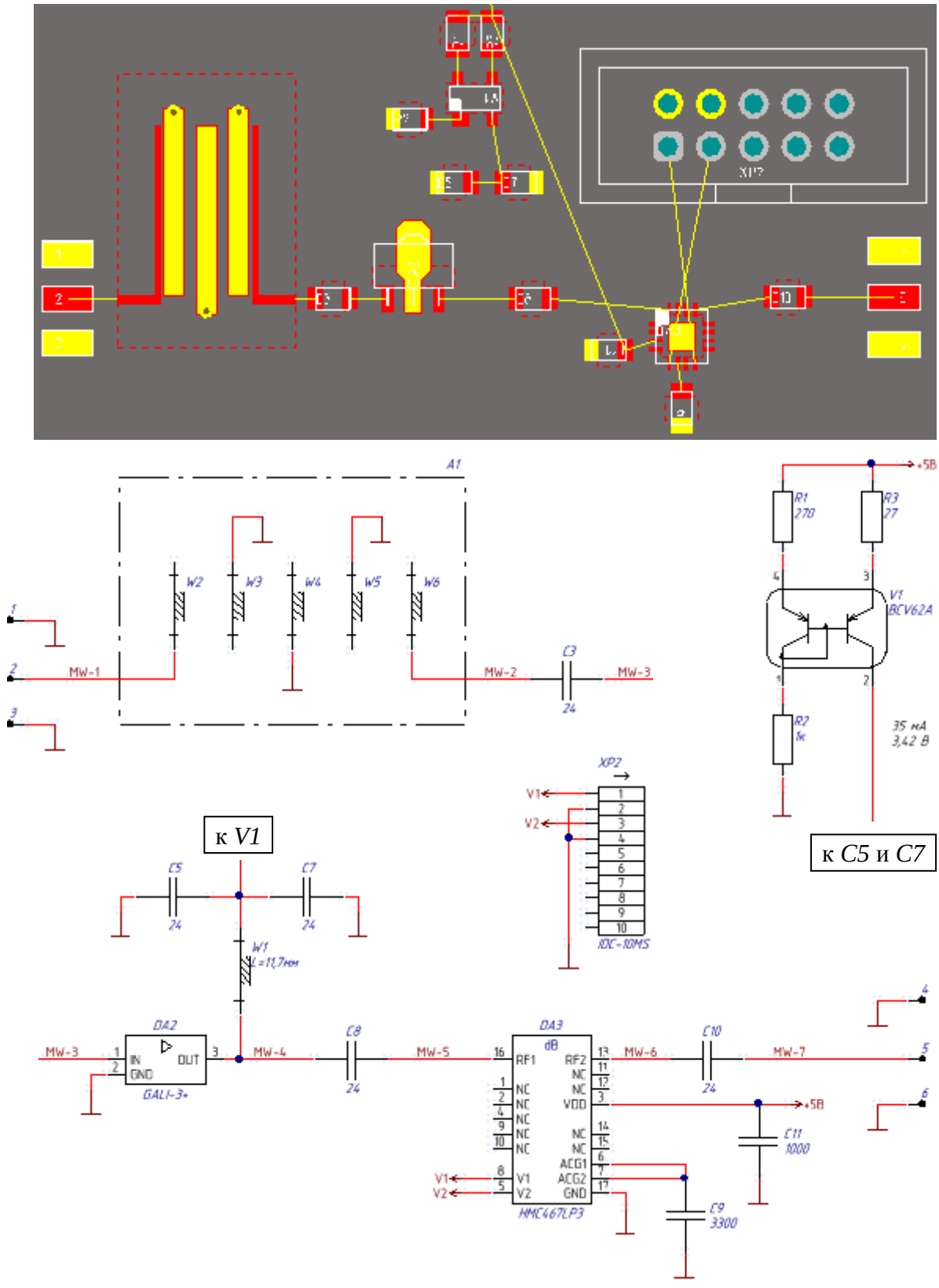


Рис. 12.42

Примечания:

– размещение посадочных мест компонентов можно контролировать и производить в 3D-режиме просмотра (клавиша 3). Например, 3D-вид расставленных посадочных мест с рис. 12.41 показан на рис. 12.43;

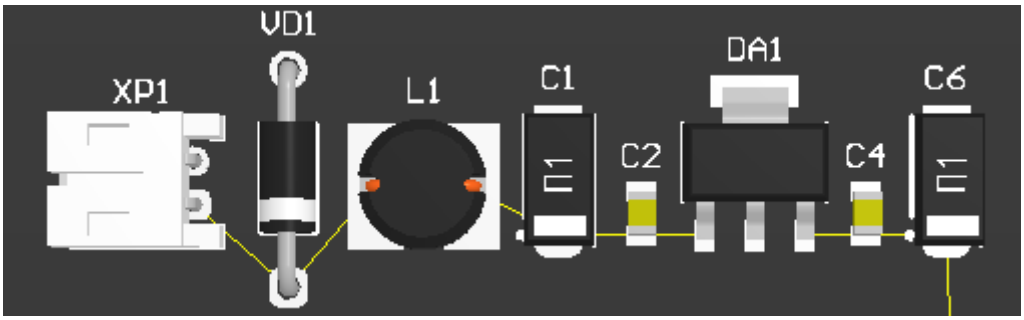


Рис. 12.43

– так как посадочного места для компонента W1 нет, то и пара блокировочных конденсаторов оказалась не связана с выходом микросхемы усилителя (см. рис. 12.42). Соединение будет создано на этапе трассировки.

12. После использования 4-го способа расстановки посадочных мест из табл. 12.1 отключить указанную в нем опцию.

13. Перейти в режим работы только с файлом трассировки (см. п. 10.4).

14. Обозначить контуры «экрана»:

14.1. Ознакомиться с формой «экрана» по рис. 1.1 в соответствии с индивидуальным заданием на проектирование и его внешним видом на одном из примеров, показанных на рис. 12.44.

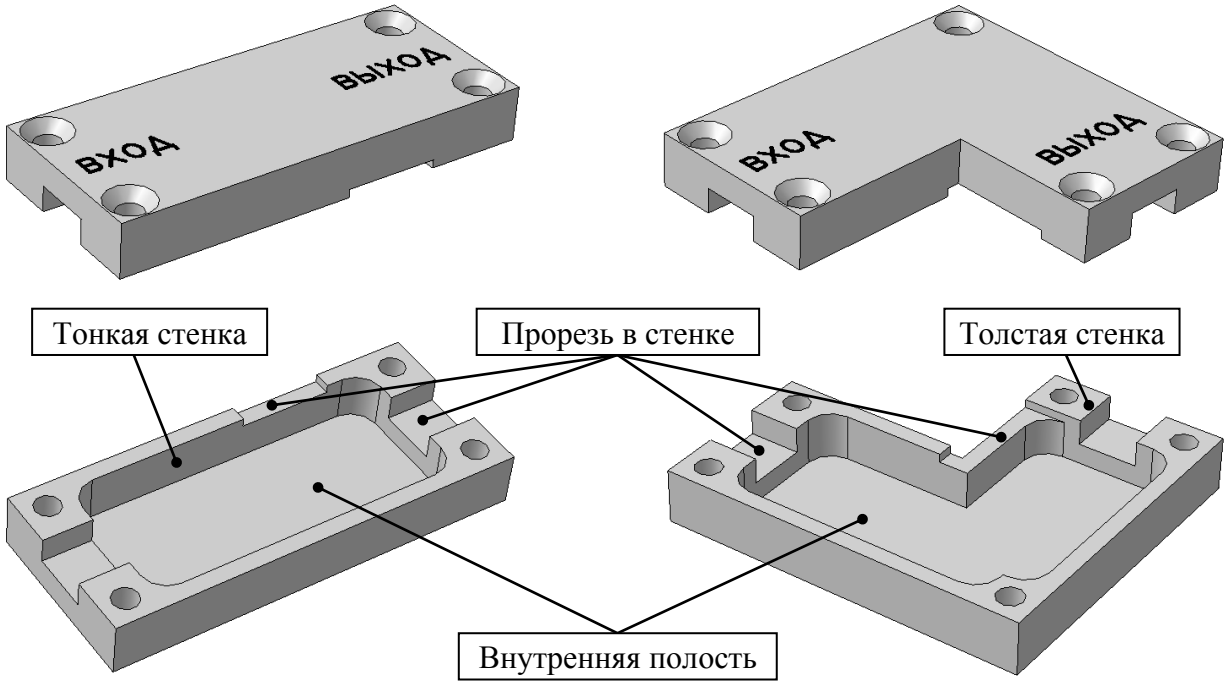


Рис. 12.44

В собранном изделии «экран» располагается на верхней стороне ПП и закрывает СВЧ-тракт (ПФ, усилитель и аттенюатор), оказывающийся в его внутренней полости.

Прорези в толстых стенках «экрана» нужны для подсоединения центральных жил СВЧ-разъемов к входной и выходной КП, а в тонких стенках – для подведения питания и управляющих сигналов к соответствующим функциональным узлам «усилителя», так как все печатные проводники по требованию общего задания на проектирование находятся на верхней стороне ПП.

14.2. Временно записать размеры следующих элементов «экрана», которые будут одинаковы для всех вариантов задания:

– толщина толстых стенок – 6 мм;

– толщина тонких стенок – 2 мм;

– радиусы скруглений внутренней полости – 3 мм.

14.3. Выбрать и временно записать значение ширины «экрана» в области расположения надписей «ВХОД» и «ВЫХОД» на рис. 1.1.

Примечание. На данном этапе в вариантах задания с угловым «экраном» значения ширины около каждой надписи считаются одинаковыми, но в процессе компоновки ПП они могут изменяться независимо друг от друга.

Минимальное значение ограничено большим из двух размеров:

– длиной фланца СВЧ-разъема SMA-KFD5A, равной 16 мм. При меньшей ширине для принятой на рис. 2.4 конструкции СВЧ-разъем нельзя будет закрепить (вариант его установки показан на рис. 12.45);

– наибольшим размером компонента или функциональной группы из СВЧ-трактата с учетом двух толщин тонких стенок.

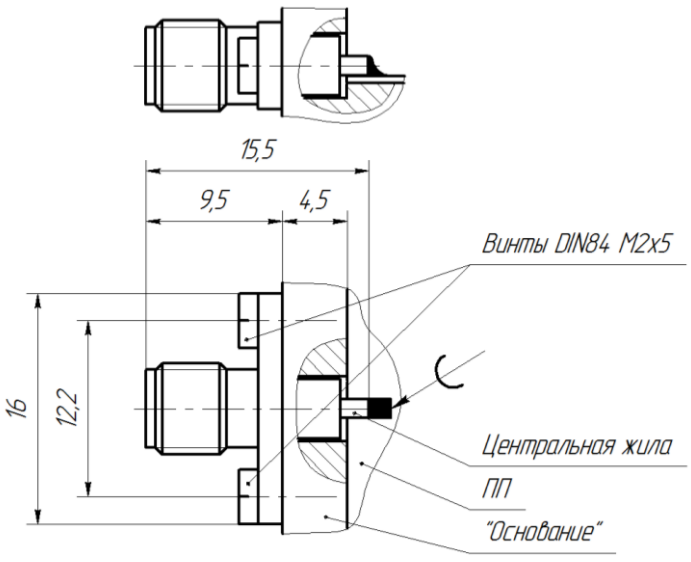


Рис. 12.45

Максимальное значение ограничено размером *A* на рис. 1.1.

Примечание. В варианте «П1» минимальное значение составило 20 мм (размер Y_Dim из топологии ПФ, равный 16 мм, и две толщины тонких стенок по 2 мм каждая), а максимальное значение – 25 мм. В результате из диапазона 20–25 мм ширина «экрана» выбрана равной 21 мм.

14.4. Перейти в сетку **0.5** мм.

14.5. Сделать текущим слой **M7 Shield**.

14.6. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ L** (создание линии) нарисовать внешний контур «экрана» с шириной линии 0,2 мм, проходящий по контуру ПП в тех местах, где на рис. 1.1 имеет с ним общие стороны.

Примечания:

– окно свойств линии во время рисования открывается клавишей Tab;

– для создания контура потребуется размер, определенный в п. 14.3;

– данный контур удобно рисовать в режимах Line 90 Start и Line 90 End с отключенным режимом Toggle Lookahead Mode.

14.7. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ L** нарисовать контур внутренней полости «экрана» с шириной линии 0,2 мм.

В вариантах задания с угловым «экраном» угол контура внутренней полости, рядом с которым будет размещено отверстие для крепежа по рис. 12.44, оформить в соответствии с рис. 12.46.

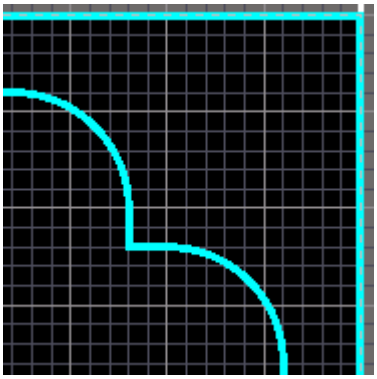


Рис. 12.46

Примечания:

– для создания контура потребуются размеры из п. 14.2;

– данный контур удобно рисовать в режимах Line 90 Start with Arc и Line 90 End With Arc с включенным режимом Toggle Lookahead Mode. Радиус скруглений можно отредактировать после выхода из команды рисования линии, при этом прямолинейные отрезки подстроятся автоматически.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.47.

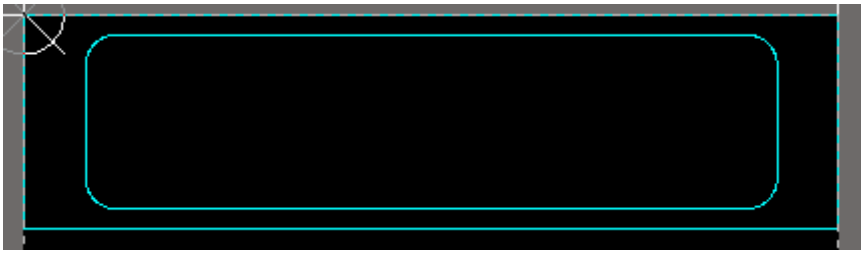


Рис. 12.47

15. Добавить КП, которые будут использоваться для крепления ПП.

Для этого выполнить следующие действия:

– последовательно нажать клавиши **P ⇒ P** (создание КП);

– открыть окно свойств клавишей **Tab**;

– в окне свойств в списке **Template** выбрать шаблон **c500h290** (шаблон был добавлен к проекту в п. 9 из 12.1), а в списке **Net** – цепь **GND**;

– после применения изменений в окне свойств добавить необходимое количество КП в соответствии с подходящим для варианта задания схематичным изображением с рис. 12.48, при этом расстояние от края каждой КП до ближайших границ ПП и контуров «экрана» должно быть 0,5 мм.

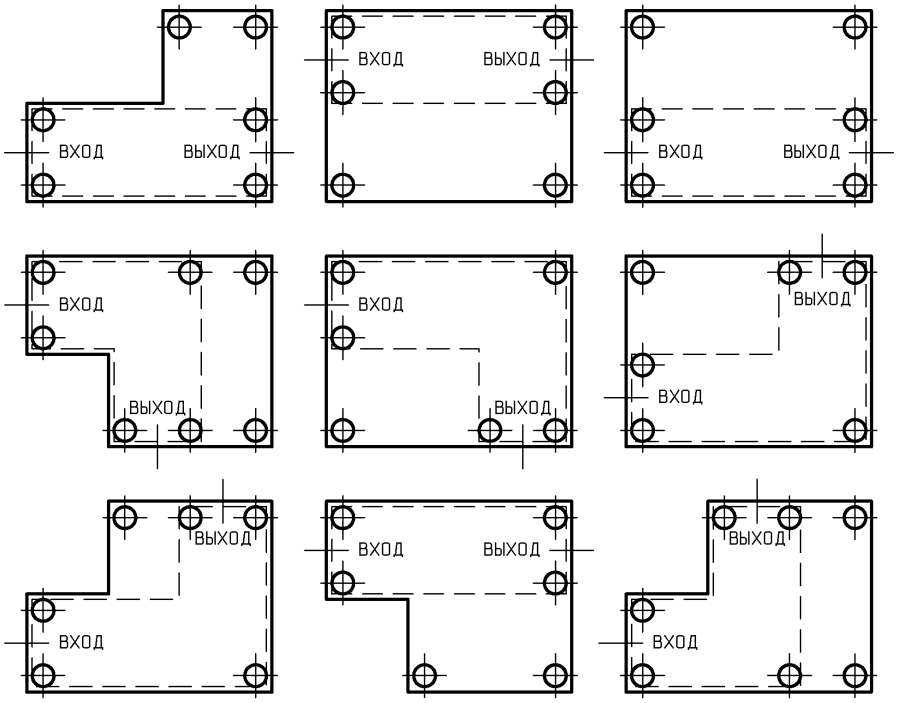


Рис. 12.48

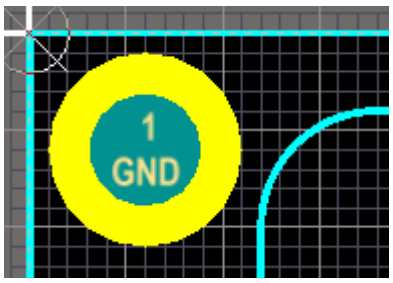


Рис. 12.49

Результат добавления КП в варианте «П1» в левый верхний угол ПП показан на рис. 12.49.

Примечание. Так как в п. 12 из 12.1 была включена опция Shift Click To Select, то выделение КП щелчком ЛКМ (см. Г.5) осуществляется с зажатой клавишей Shift.

16. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

17. Переместить расставленные за пределами контура ПП посадочные места компонентов и топологию ПФ внутрь ПП:

17.1. Заблокировать размеры, контуры «экрана» и КП для крепления ПП, чтобы их нельзя было случайно сдвинуть.

Для этого массовым выделением мышкой выделить их все и в панели **PCB Inspector** в группе **Graphical** включить опцию **Locked**.

Примечания:

– за возможность выделения мышкой заблокированных объектов отвечает опция Protect Locked Objects (см. подраздел General из табл. Г.4);



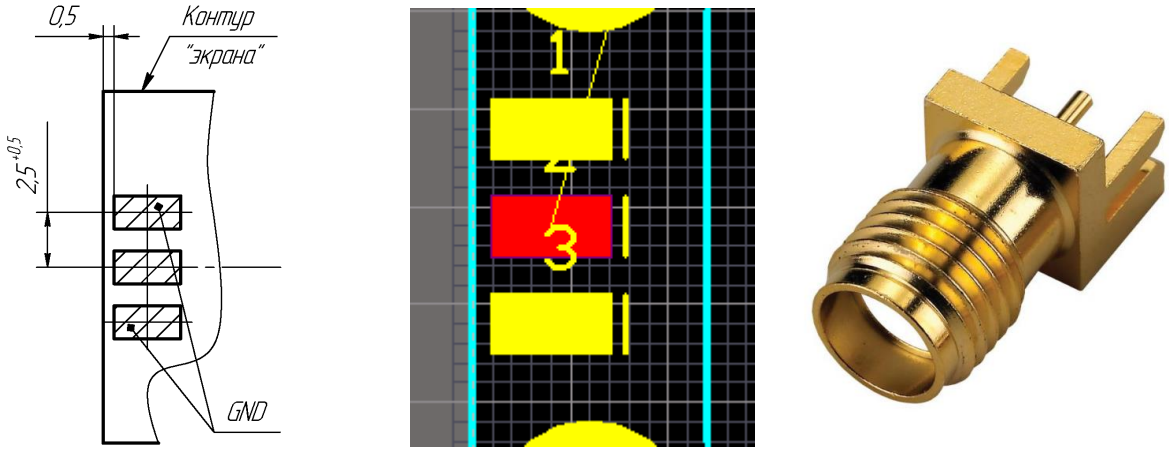
Рис. 12.50

– у заблокированных объектов можно включить отображение текстуры в виде ключей (рис. 12.50). Настраивается это в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в группе Show Locked Texture on Objects из подраздела PCB Editor ⇒ Board Insight Display. По умолчанию включена опция Only When Live Highlighting, т. е. текстура появляется только у объектов, подключенных к какой-нибудь цепи, при действии подсветки в реальном времени (см. п. 8.1 из Г.42).

17.2. Скомпоновать три входные КП, для чего выполнить следующее:

– включить набор слоев **All**;

– расположить КП в области надписи «ВХОД» с рис. 1.1 симметрично тонким стенкам «экрана» в соответствии с рис. 12.51, *а*;



а *б* *в*

Рис. 12.51

– повернуть КП таким образом, чтобы линии из слоя шелкографии располагались со стороны контура внутренней прорези «экрана» (рис. 12.51, *б*);

– объединить КП в группу с именем **InputPads** (см. пп. 8.9 и 8.10).

Примечания:

– в соответствии с загруженными в 3.2.2 настройками (примитив Component из табл. Г.6) позиционные обозначения из слоя шелкографии автоматически располагаются над посадочными местами. Их корректировка будет произведена в конце этапа трассировки ПП;

– заданное расположение КП связано с требованием общего задания на проектирование по установке СВЧ-разъемов EMPCB.SMAFSTJ.B.HT фирмы Taoglas, внешний вид которых показан на рис. 12.51, в;

– при попытке переместить группу будет появляться запрос на подтверждение действия. Связано это с тем, что в посадочных местах компонентов из использованных библиотек есть заблокированные текстовые надписи с позиционными обозначениями компонентов в слое M3 Top Assy (см. п. 15.6 из 5.2.3). Блокировка обусловлена облегчением расстановки посадочных мест (надписи не выделяются при перемещении).

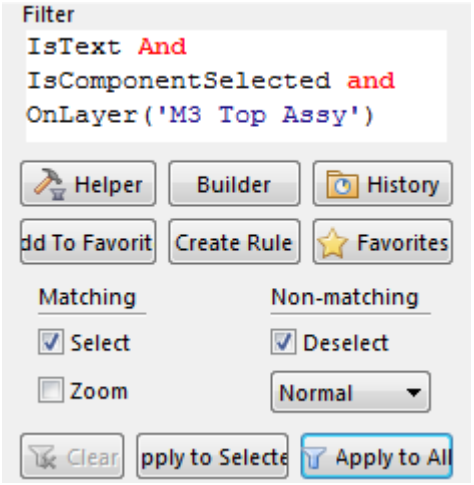


Рис. 12.52

При необходимости отмены блокировки у таких надписей требуемые компоненты сначала выделяются, затем в панели PCB Filter в поле Filter формируется соответствующий запрос, устанавливаются указанные на рис. 12.52 опции и нажимается кнопка Apply to All. После этого в панели PCB Inspector в группе Graphical отключается опция Locked и в рабочем поле снимается выделение.

17.3. По аналогии с п. 17.2 расположить три выходные КП в области надписи «ВЫХОД» с рис. 1.1 и объединить их в группу **OutputPads**.

17.4. Включить набор слоев **Shield**.

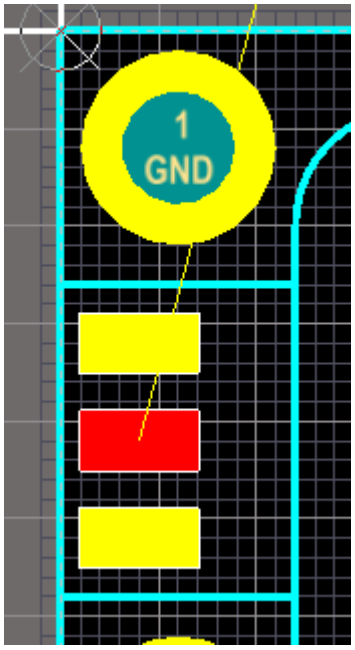


Рис. 12.53

17.5. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ L** обозначить прорези в толстых стенках «экрана» с шириной линии 0,2 мм (см. рис. 12.44), после чего заблокировать их.

Прорези должны быть расположены симметрично тонким стенкам «экрана», а их линии допускается проводить по входным и выходным КП, подключенным к цепи GND.

Результат в варианте «П1» в области входных КП показан на рис. 12.53.

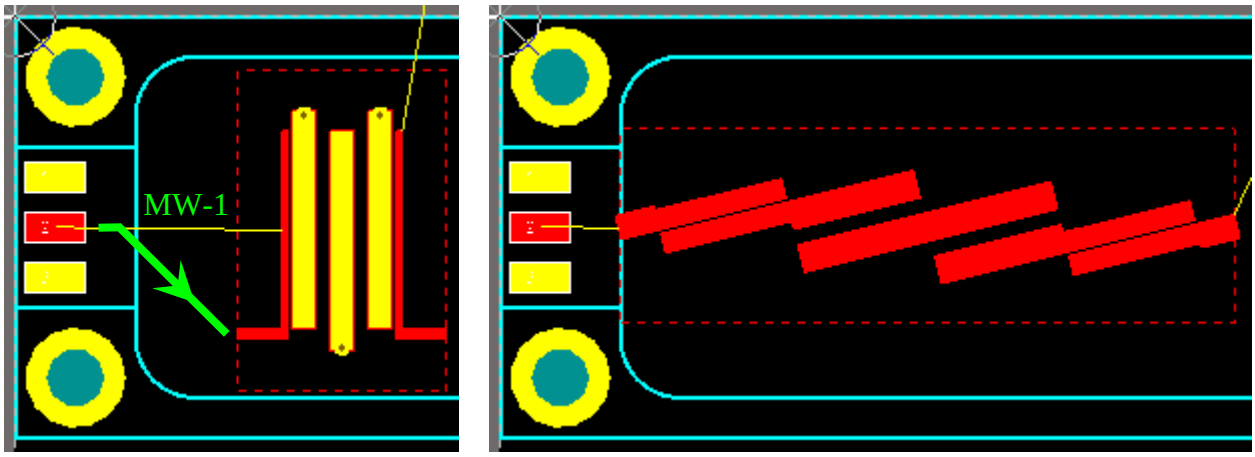
17.6. Сделать текущим слой **M3 Top Assy**.

17.7. Перейти в сетку **0.1** мм.

17.8. Расположить топологию ПФ полностью внутри контура внутренней полости «экрана» недале-

ко от входных КП на расстоянии, достаточном для проведения трассы от центральной КП этой группы.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.54, *а* (зеленым цветом условно обозначен путь, по которому на этапе трассировки ПП планируется провести трассу цепи **MW-1**), а возможный результат в вариантах задания с СЛ – на рис. 12.54, *б*.



а *б*

Рис. 12.54

17.9. Расставить оставшиеся компоненты СВЧ-тракта (разделительные конденсаторы, микросхему усилителя, микросхему аттенюатора с расположенными около него резисторами и конденсаторами) внутри внутреннего контура «экрана», при этом обратить внимание на следующее:

– разделительный конденсатор перед выходной КП может располагаться под прорезью толстой стенки «экрана»;

– блокировочный конденсатор у микросхемы аттенюатора (при наличии) необходимо расположить как можно ближе к соответствующему выводу, при этом питание должно сначала попасть на него, а уже затем на вывод;

– расположение компонентов должно обеспечивать беспрепятственное проведение трассы от входа устройства к его выходу;

– к выводам управления и питания в микросхеме аттенюатора должен быть обеспечен доступ со стороны не закрытой «экраном» области ПП.

Если возникает конфликт в последних двух требованиях, то необходимо выполнить связанное с микросхемой аттенюатора, после чего временно отметить этот момент и перейти к выполнению следующего пункта.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.55.

Примечание. На данном этапе на избыточные размеры ПП не стоит обращать внимание. Они будут скорректированы позднее.

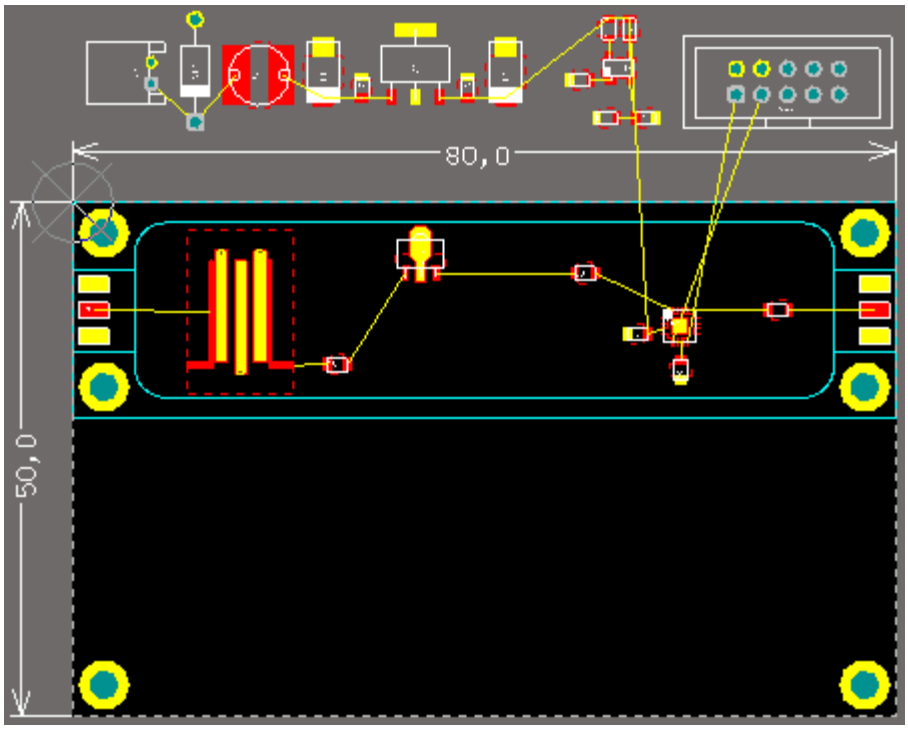


Рис. 12.55

17.10. Расставить компоненты, обеспечивающие подачу питания на микросхему усилителя («токовое зеркало» и два блокировочных конденсатора), при этом обратить внимание на следующее:

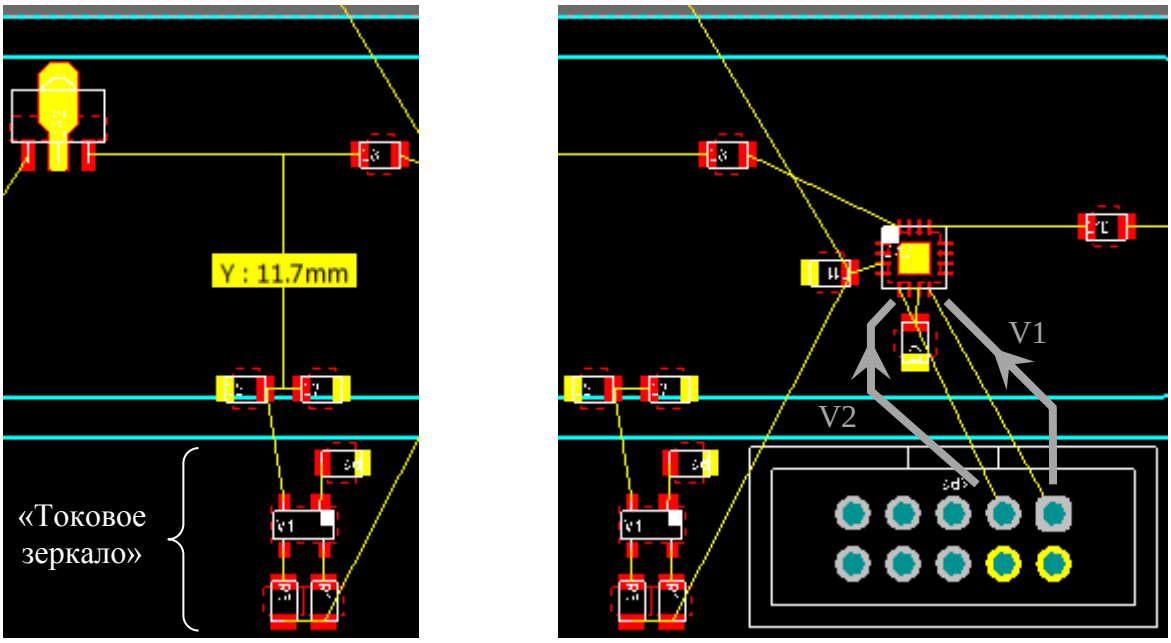
– расстояние от выхода микросхемы усилителя до двух блокировочных конденсаторов фиксировано, определено по (4.8) и указано на схеме ЭЗ «усилителя» в свойствах отрезка МПЛ.

Примечание. Измерить расстояние можно командой Reports ⇒ Measure Distance (или комбинацией клавиш Ctrl+M). После запуска команды щелчками ЛКМ последовательно указываются точки, между которыми требуется выполнить измерение (вторую точку можно не нажимать, а контролировать результат по информационному полю, нажав потом для отмены клавишу Esc). При указании двух точек результат измерения появится в информационном окне, а также останется в рабочем поле до перемещения какого-либо посадочного места или до очистки фильтра (Shift+C);

– блокировочные конденсаторы с учетом длины отрезка МПЛ должны быть расположены в пределах внешнего контура «экрана» (допускается размещение прямо в тонкой стенке «экрана») с доступом к ним от «токового зеркала» со стороны незакрытой «экраном» области ПП;

– компоненты «токового зеркала» должны быть расположены вне контура «экрана» и рядом друг с другом таким образом, чтобы к КП соответствующих резисторов можно было подвести питание одной трассой.

Результат в варианте «П1» с выполненным измерением и условным обозначением «токового зеркала» показан на рис. 12.56, *а*.



а *б*

Рис. 12.56

17.11. Вне «экрана» со стороны микросхемы аттенюатора расположить в зависимости от варианта задания разъем управления или узел управления (коммутационные устройства), при этом обратить внимание на следующее:

– размещение углового разъема управления должно обеспечивать возможность подключения к нему ответной части;

– у связывающих линий между выводами управления микросхемы аттенюатора и выводами разъема (или коммутационных устройств) не должно быть взаимных пересечений. Если это выполнить невозможно, то временно отметить данный момент и перейти к выполнению следующего пункта.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.56, *б*. На рисунке серым цветом условно обозначены пути, по которым планируется на этапе трассировки ПП провести трассы цепей управления **V1** и **V2**.

Примечание. Некоторые разъемы показаны на рис. 8.33, а особенности их размещения приведены в установочных чертежах из папки …\ИДРЭС\ Монтаж элементов (см. рис. 2.9). Также их удобно смотреть в 3D-режиме просмотра (клавиша 3), при этом для отображения связывающих линий следует ПП сделать прозрачной или включить режим одного слоя (Shift+S).

17.12. Вне «экрана» расположить посадочные места компонентов узла вторичного питания:

– разъем питания;

– ЗП;

– микросхема стабилизатора напряжения с конденсаторами по входу и выходу, катушкой индуктивности и резистивным делителем (при наличии);

– ИПС (при наличии);

– параметрический стабилизатор напряжения (при наличии).

При размещении необходимо учесть следующее:

– размещение углового разъема питания должно обеспечивать возможность подключения к нему ответной части (см. примечание к п. 17.11);

– блокировочные конденсаторы по входу и выходу микросхемы стабилизатора должны находиться около ее выводов, при этом керамические конденсаторы – как можно ближе;

– компоненты внутри функциональных групп должны располагаться рядом друг с другом;

– расположение компонентов должно обеспечивать беспрепятственное проведение трасс питания как до микросхемы стабилизатора, так и от нее до потребителей.

После выполнения данного пункта все посадочные места компонентов должны оказаться на ПП.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.57. На рисунке также обозначены пути, по которым на этапе трассировки ПП планируется провести трассы для СВЧ-сигнала (зеленый цвет) и питаний (оранжевый и красный цвета).

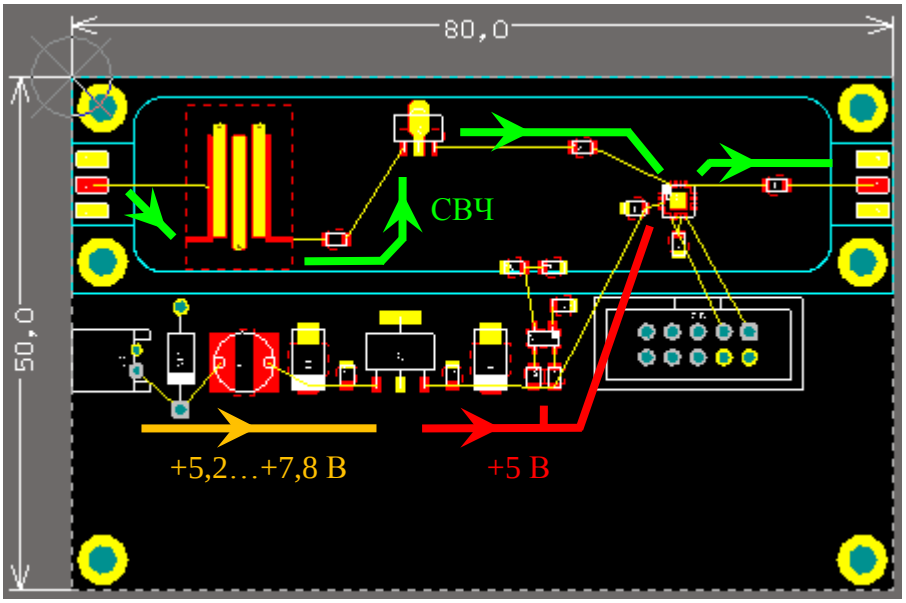


Рис. 12.57

18. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

19. Чтобы при возможных дальнейших переносах изменений из схемы на ПП (и обратно) не сбились цвета цепей, запустить команду **Project ⇒ Project Options** и в появившемся окне на вкладке **Comparator** в группе Differences Associated with Nets (различия, связанные с цепями) отключить опцию **Changed Net Colors** (рис. 12.58).

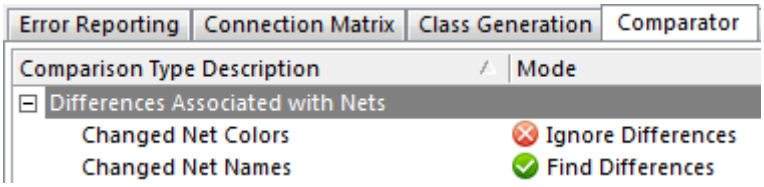


Рис. 12.58

20. Сохранить изменения в проекте (см. п. 4 из 5.5).

21. Если в пп. 17.9 и 17.11 были отмечены нарушения приведенных в них требований или в процессе размещения компонентов были обнаружены ошибки в схеме Э3 «усилителя», то осуществить необходимые корректировки и исправления в проекте по аналогии с разобранным в Г.46 примером.

При осуществлении эквивалентной замены выводов следует обратить внимание на следующее:

– предварительно необходимо выполнить п. 2 из Г.45, т. е. поставить необходимые галочки у компонентов в окне, открываемом командой **Tools ⇒ Pin/Part Swapping ⇒ Configure**;

– рекомендуется использовать интерактивную замену выводов, а не автоматическую (см. пп. 3.1 и 3.2 из Г.45).

22. Если в п. 21 были произведены корректировки, то сохранить схему Э3 «усилителя» с новым номером версии в основном формате (см. п. 3 из 8.2) и в формате PDF (см. 8.4).

При изменении позиционных обозначений компонентов или их данных скорректировать потребуется и перечень элементов ПЭ3 «усилителя». В этом случае его также необходимо сохранить с новым номером версии в основном формате и в формате PDF (см. пп. 2 и 11 из 9.2 соответственно).

23. Как уже отмечалось ранее, в варианте «П1» изначально выбранные размеры ПП оказались избыточными, так как после размещения всех посадочных мест компонентов осталось много свободного места (см. рис. 12.57), а по общему заданию на проектирование ПП должна получиться в минимальных габаритах.

Уплотнение выполнить в следующей последовательности:

23.1. Снять блокировку с КП, используемых для крепления ПП.

Для этого в панели **PCB Filter** в поле **Filter** сформировать соответствующий запрос, установить опции с рис. 12.59 и нажать кнопку **Apply to All**. После этого в панели **PCB Inspector** в группе **Graphical** отключить опцию **Locked** и в рабочем поле снять выделение.

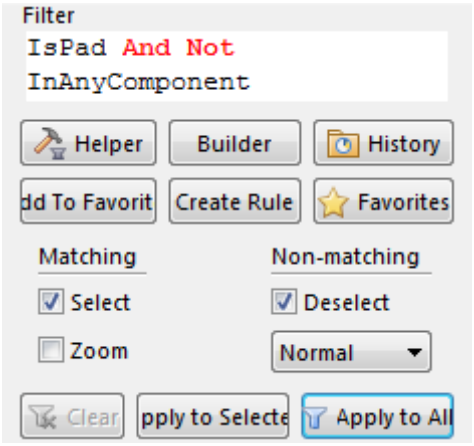


Рис. 12.59

Примечание. Для быстрого ввода указанного запроса в группе Select objects to highlight следует поставить галочку на пересечении строки Pad и столбца Comp, после чего в поле Filter добавить оператор отрицания Not.

23.2. Снять блокировку с примитивов, которыми нарисован «экран».

Для этого выполнить следующие действия:

– сделать текущим слой **M7 Shield**;

– в окне **Preferences** (команда DXP ⇒ Pleferences) в подразделе **PCB Editor ⇒ General** отключить опцию **Protect Locked Objects**;

– в рабочем поле последовательным нажатием клавиш **S ⇒ Y** выделить все объекты на текущем слое (см. Г.5);

– в панели **PCB Inspector** в группе **Graphical** отключить опцию **Locked**;

– в рабочем поле снять выделение.

Примечание. Снять блокировку также можно было с помощью запроса, сделанного в панели PCB Filter (см. Г.12).

23.3. Сделать текущим слой **Top Layer**.

23.4. В окне **Preferences** (команда DXP ⇒ Preferences) в подразделе **PCB Editor ⇒ Board Insight Display** отключить режим **Hide Other Layers** и включить режим **Gray Scale Other Layers** (см. п. 9 из Г.38).

23.5. Перейти в режим одного слоя (**Shift+S**).

23.6. Продумать стратегию дальнейших действий по уплотнению.

В варианте «П1» первый возможный вариант заключается в том, чтобы подвинуть нижнюю границу ПП вплотную к посадочным местам компонентов, уменьшив вертикальный размер с 50 до 34 мм (рис. 12.60). Однако он не является оптимальным, так как остается много свободного места под «экраном» и по горизонтали ПП уже практически не уменьшить.

Поэтому в варианте «П1» сначала будут произведены действия по уменьшению горизонтального размера, а затем вертикального.

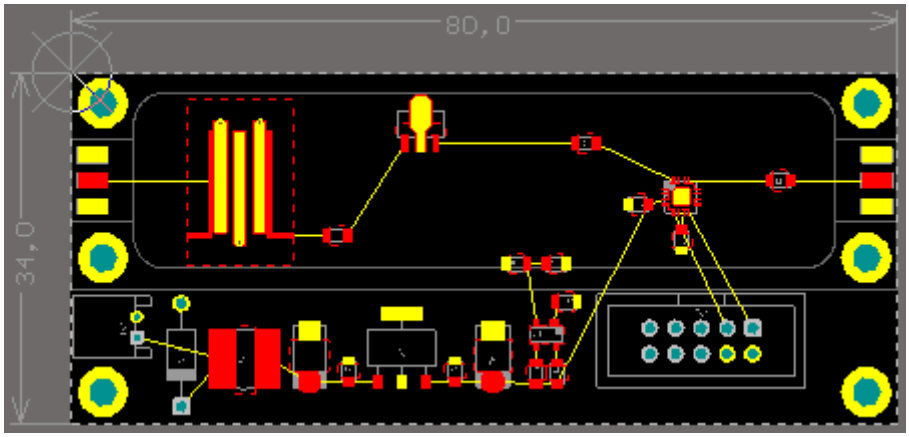


Рис. 12.60

Примечание. В других вариантах задания последовательность дальнейших действий может отличаться от приведенной, а сам процесс уплотнения может быть итерационным с постепенным изменением габаритов ПП и положения посадочных мест компонентов в сформированных группах.

23.7. Уплотнить посадочные места компонентов, находящихся во внутренней полости «экрана».

Следует обратить внимание на то, что по периметру топологии ПФ должно остаться небольшое пространство, достаточное для осуществления заземления с помощью переходных отверстий (минимум 0,9 мм).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.61.

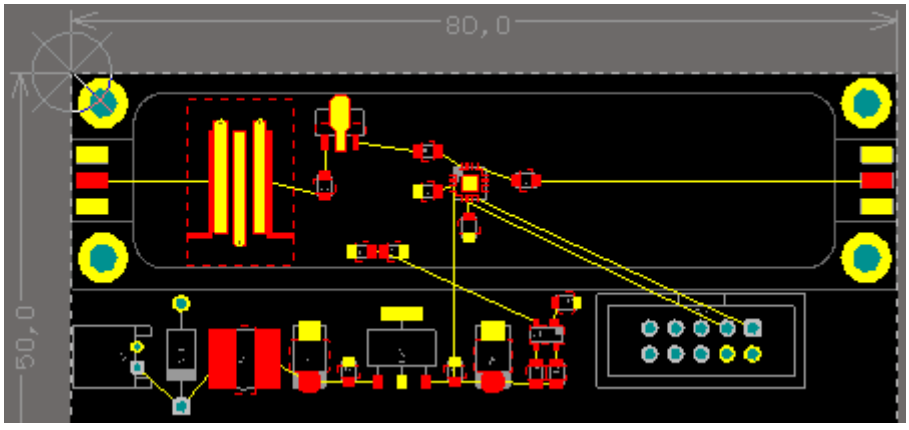


Рис. 12.61

23.8. Перейти в сетку **0.5** мм.

23.9. Изменить положение КП для крепления ПП и выходных КП.

Следует обратить внимание на то, что изменение положения КП для крепления ПП, входных и выходных КП, изменение размеров ПП и корректировка примитивов «экрана» должны производиться только в сетке 0,5 мм.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.62.

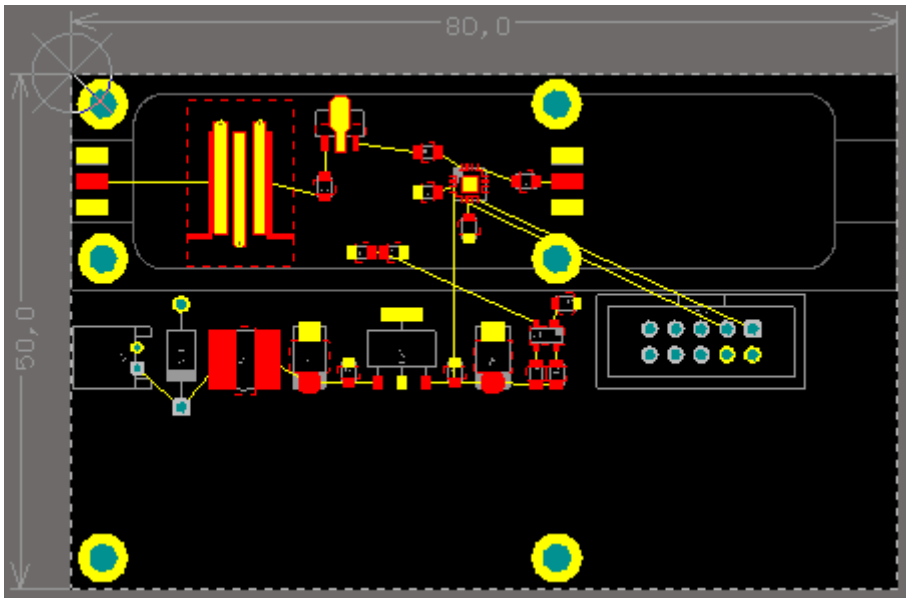


Рис. 12.62

23.10. Изменить положение границы ПП:

– перейти в режим работы с формой ПП (клавиша **1**);

– запустить команду **Design ⇒ Edit Board Shape** и передвинуть требуемую границу;

– перейти в 2D-режим просмотра (клавиша **2**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.63.

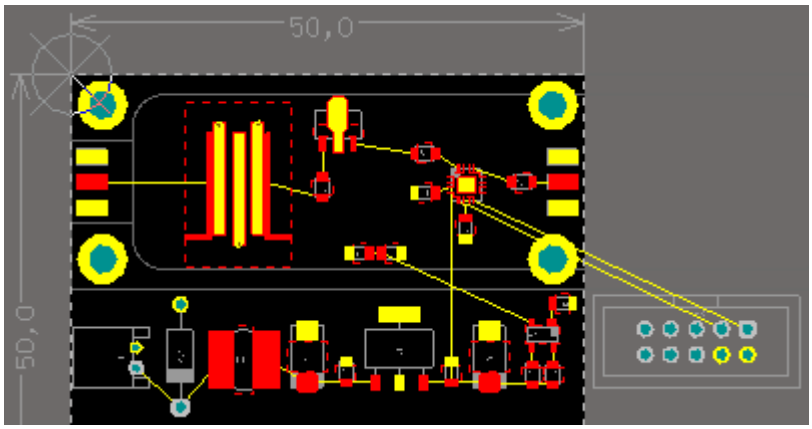


Рис. 12.63

Примечание. Так как размеры были привязаны к границам ПП, то они скорректируются автоматически.

23.11. Сделать текущим слой **M7 Shield**, после чего отредактировать контуры «экрана» и положение прорези в толстой стенке.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.64.

Примечание. При перемещении любой стороны внешнего контура связанные с ним стороны будут автоматически изменяться, тогда как контур внутренней полости со скруглениями придется корректировать вручную.

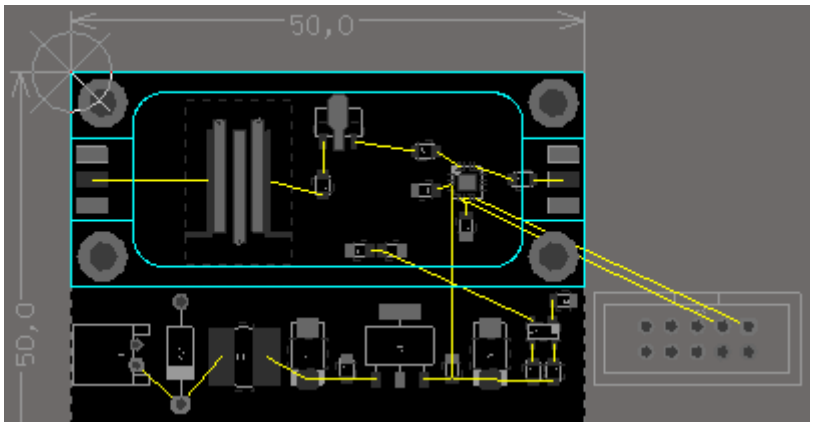


Рис. 12.64

23.12. Сделать текущим слой **Top Layer**.

23.13. Перейти в сетку **0.1** мм.

23.14. Скорректировать положение посадочных мест компонентов из следующих функциональных групп:

– «токовое зеркало»;

– узел управления микросхемой аттенюатора;

– параметрический стабилизатор напряжения (при наличии).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.65. На рисунке красным цветом условно обозначен путь, по которому планируется провести трассу цепи питания **+5В** на этапе трассировки ПП.

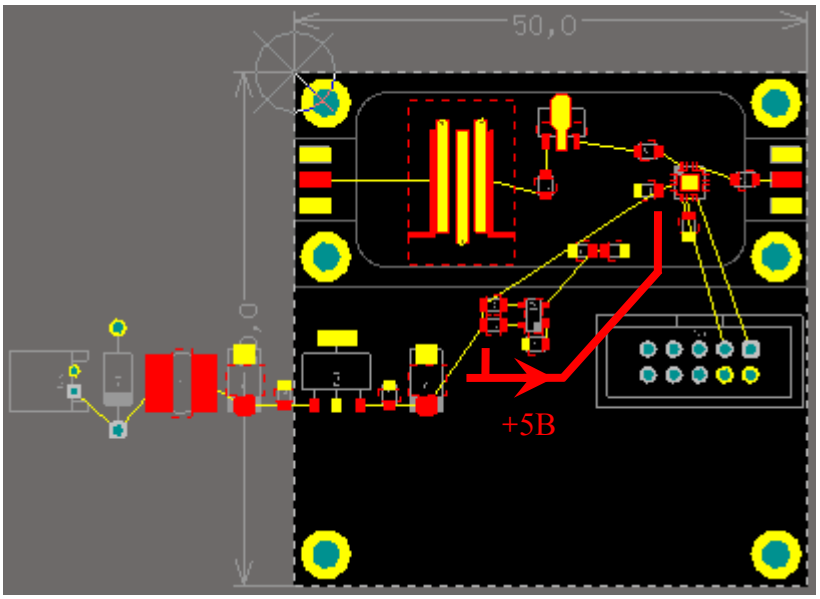


Рис. 12.65

Примечание. Остальные посадочные места компонентов могут быть временно перемещены за пределы контура ПП.

23.15. Скорректировать положение остальных посадочных мест компонентов, кроме ИПС (при наличии).

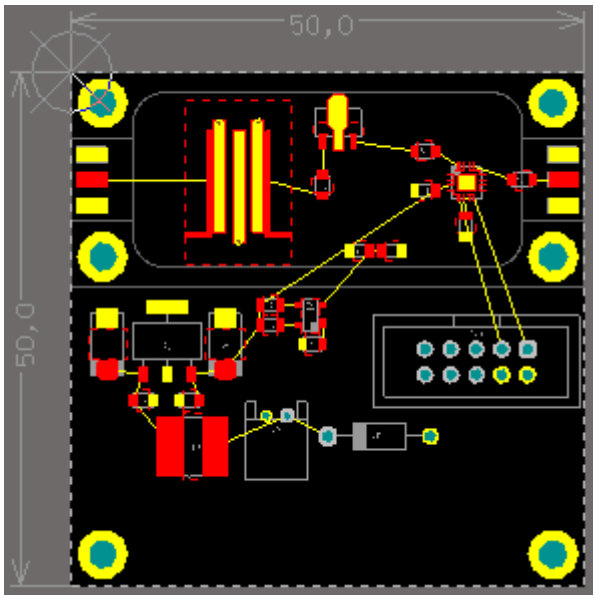
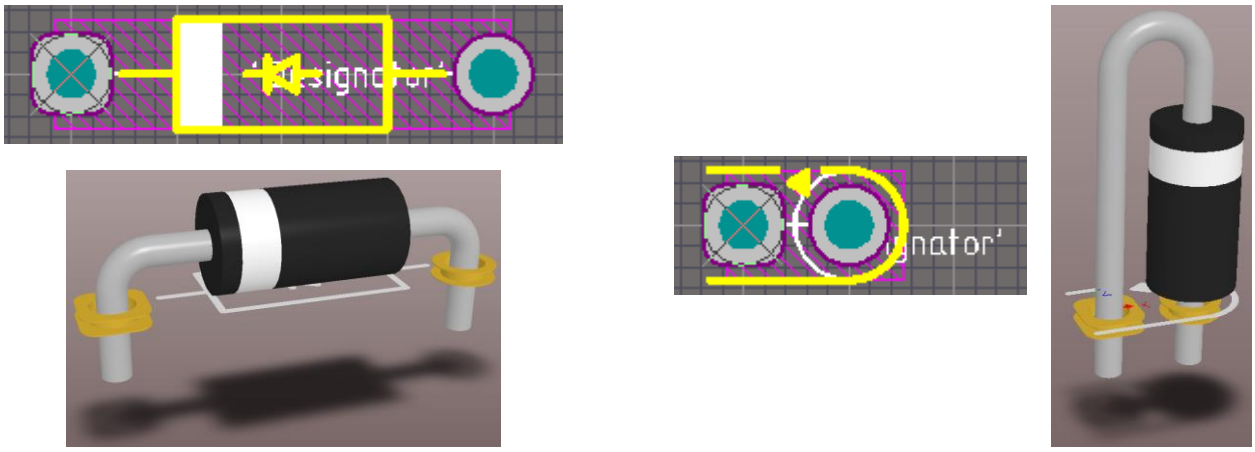


Рис. 12.66

При размещении должны быть выполнены требования п. 17.12. Кроме того, необходимо обратить внимание на то, что внешнее питание должно сначала пройти через КП посадочных мест входных блокировочных конденсаторов микросхемы стабилизатора напряжения, и только после этого попасть на ее вход.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.66.

23.16. Если размеры посадочного места для горизонтального варианта установки диода 1N4007 (рис. 12.67, *а*), использованного в отдельных вариантах задания, являются определяющими в габаритах ПП, то можно осуществить его замену на вертикальный вариант установки (рис. 12.67, *б*).



а *б*

Рис. 12.67

Для этого выполнить следующие действия:

– открыть схему Э3 «усилителя», если она была закрыта (см. п. 3 из 8.3);

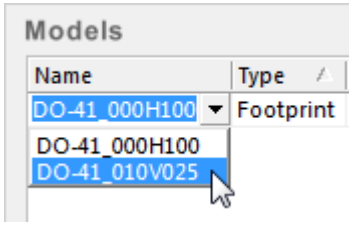


Рис. 12.68

– в окне свойств диода 1N4007 в группе **Models** в столбце **Name** выбрать посадочное место **DO-41_010V025** – корпус DO-41 с вертикальным вариантом установки, высотой над платой 1 мм и расстоянием между выводами 2,5 мм (рис. 12.68);

– сохранить изменения в схеме Э3 (**Ctrl+S**);

– запустить команду **Design ⇒ Update PCB Document**;

– в появившемся окне **Engineering Change Order** убедиться в наличии требуемого изменения (рис. 12.69), после чего последовательно нажать кнопки **Execute Changes** и **Close**.

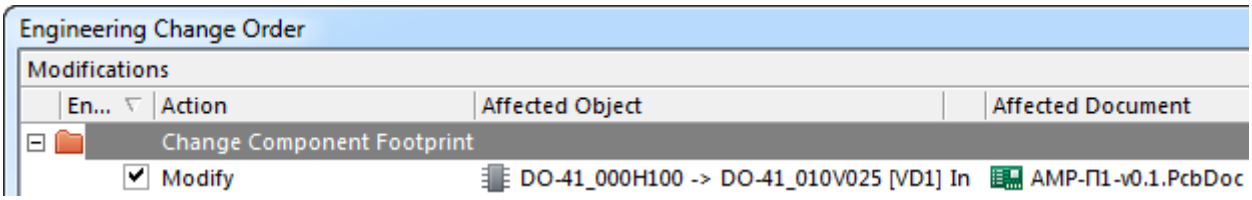


Рис. 12.69

Примечания:

– комментарии к окну Engineering Change Order даны в п. 6.3;

– заменить посадочное место можно и в файле трассировки, выбрав его в свойствах компонента в поле Name группы Footprint, но для этого требуется подключить библиотеку посадочных мест.

23.17. Разместить посадочные места компонентов ИПС (при наличии).

23.18. Перейти в сетку **0.5** мм.

23.19. Изменить положение границы ПП по п. 23.10.

23.20. Изменить положение КП для крепления ПП.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.70.

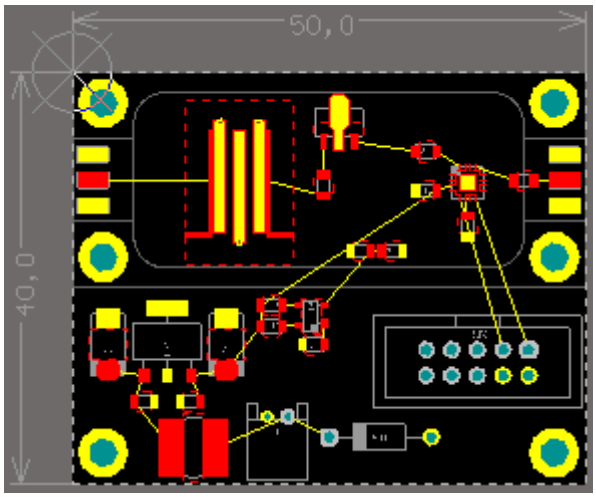


Рис. 12.70

24. Добавить обозначение ПП на слой Top Layer:

– перейти в сетку **0.1** мм;

– последовательно нажать клавиши **P ⇒ S** или запустить команду **Place ⇒ String** (создание надписи);

– нажать клавишу **Tab** для открытия окна свойств;

– в поле **Properties** ввести обозначение ПП по табл. 2.1;

– в группе **Font** выбрать опцию **TrueType**;

– в списке **Font Name** выбрать **GOST type B**;

– в поле **Height** ввести **2mm**;

– применить изменения в окне свойств и разместить надпись в любом свободном месте ПП за пределами внешнего контура «экрана».

Примечания:

– в варианте «П1» для отличия от других вариантов задания использован шрифт Times New Roman (рис. 12.71);



Рис. 12.71

– высота заглавных букв при заданных настройках составит около 1,2 мм (значение в поле Height из окна свойств совпадает со значением в рабочем поле только для шрифтов типа Stroke);

– при недостатке места для размещения надписи текст в поле Properties можно ввести в две строки (переход на новую строку осуществляется комбинацией клавиш Shift+Enter).

25. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

26. Проверить выполнение следующих требований:

– компоненты должны располагаться функциональными группами в соответствии со схемой Э3 (для этого необходимо внимательно просмотреть все размещенные компоненты с открытой схемой);

– должна быть обеспечена возможность беспрепятственного проведения трасс только на слое **Top Layer** (для этого необходимо мысленно пройтись по путям прохождения трасс сигналов по аналогии с рис. 12.57);

– размещение угловых разъемов (при наличии) должно быть таким, чтобы можно было подключить ответные части (этому не должны мешать другие компоненты, «экран» и головки винтов, которыми будет крепиться ПП);

– блокировочные конденсаторы по входам питания микросхем должны располагаться перед ними и как можно ближе к ним;

– между корпусами компонентов должны быть оставлены зазоры (также необходимо проверить наличие зазоров между КП разных цепей);

– ПП должна получиться в минимальных габаритах;

– размещение КП № 1–6 должно соответствовать рис. 12.51, *б*.

Если что-то из указанного не выполняется, то это необходимо исправить, вплоть до выполнения компоновки и (или) ее уплотнения сначала (см. пп. 11, 17, 21–23). Промежуточные варианты в этом случае рекомендуется сохранять в виде отдельных файлов, что удобно делать в проводнике Windows в папке проекта, копируя и переименовывая текущий файл трассировки.

Корректировку в контурах ПП, примитивах «экрана» и в расположении КП для крепления ПП необходимо производить только в сетке 0,5 мм.

Примечания:

– ранее сохраненный файл трассировки можно добавить в проект командой ПКМ ⇒ Add Existing to Project, выполненной на названии проекта в панели Projects, или просто перетянуть открытый документ в проект;

– для удаления ненужного файла из проекта на нем выполняется команда ПКМ ⇒ Remove from Project;

– не нужно бояться искать лучшие варианты размещения компонентов (в пределах разумного), так как продуманная компоновка значительно облегчает как этап трассировки ПП, так и работу с изготовленной ПП;

– выбранный в п. 23.6 путь уплотнения в варианте «П1» привел к хорошему результату: площадь ПП (см. рис. 12.70) удалось увеличить в 2 раза по сравнению с исходными размерами (см. рис. 12.57), и на четверть по сравнению с вариантом, предложенным на рис. 12.60.

27. Выполнить завершающие действия этапа компоновки ПП:

27.1. Перейти в сетку **0.5** мм.

27.2. Проверить размещение КП для крепления ПП:

– их центры должны быть расположены в сетке 0,5 мм и по возможности на одних осевых линиях;

– от края каждой КП до ближайших границ ПП и контуров «экрана» должно быть 0,5 мм.

Примечание. Для проверки расположения КП на осевых линиях можно временно изменить вид курсора на Large 90 (см. п. 8.7) или воспользоваться режимом измерений (Ctrl+M) с включенными привязками (Shift+E).

27.3. Заблокировать КП для крепления ПП.

Для этого выполнить п. 23.1 с включением опции **Locked**.

27.4. В окне **Preferences** (команда DXP ⇒ Preferences) в подразделе **PCB Editor ⇒ General** включить опцию **Protect Locked Objects**.

27.5. Сделать текущим слой **M7 Shield**.

27.6. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ L** с шириной линии 0,2 мм обозначить прорезь в тонкой стенке «экрана» в месте прохождения будущих трасс и находящихся в ней компонентов (при наличии).

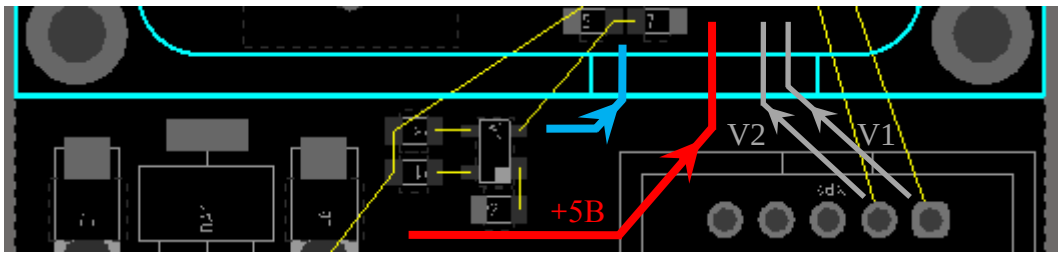


Рис. 12.72

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.72. На рисунке также обозначены пути, по которым на этапе трассировки ПП планируется провести трассы цепи питания **+5B** (красный цвет), цепей управления **V1** и **V2** (серый

цвет) и цепи, соединяющей транзисторную сборку с парой блокировочных конденсаторов (синий цвет).

27.7. Выйти из режима одного слоя (**Shift+S**).

27.8. Сделать текущим слой **M3 Top Assy**.

27.9. Сохранить в отчет результат этапа компоновки ПП в 2D-режиме просмотра, для чего выполнить следующее:

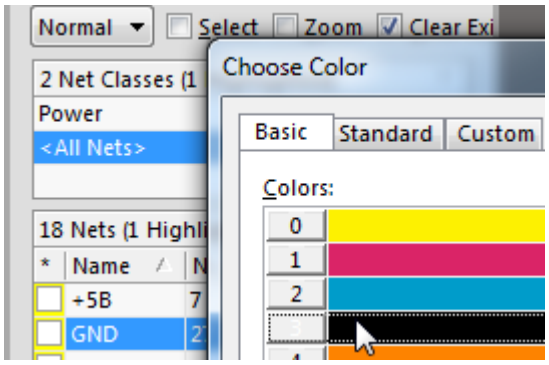
– применить профиль **ИДРЭС-AltiumPCBGray.PCBSysColors** из папки **…ИДРЭС\Профили** (см. п. 6 из 5.2.1);

– в верхней части панели **PCB** выбрать режим работы с цепями (**Nets**) и отключить опцию **Select**;

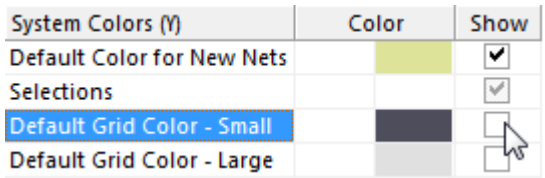
– в панели **PCB** в группе с классами цепей щелкнуть ЛКМ по классу **<All Nets>**, а затем выполнить на нем команду **ПКМ ⇒ Connections ⇒ Show**;

– в панели **PCB** в группе с цепями слева от **GND** убрать галочку, а затем выполнить для этой цепи команду **ПКМ ⇒ Connections ⇒ Hide**;

– в панели **PCB** на классе цепей **<All Nets>** выполнить команду **ПКМ ⇒ Change Net Color**;



а



б

Рис. 12.73

– в появившемся окне **Choose Color** (рис. 12.73, *а*) на вкладке **Basic** выбрать цвет № **3** (черный) и нажать кнопку **OK**;

– развернуть окно Altium Designer на весь экран и выполнить команду **View ⇒ Fit Document**;

– нажать клавишу **L** и в открывшемся окне View Configurations на вкладке **Board Layers And Colors** в группе **System Colors** убрать галочки в столбце **Show** для сеток **Default Grid Color** (рис. 12.73, *б*);

– в окне **View Configurations** на вкладке **View Options** отключить опции **Show Pad Nets** и **Show Pad Numbers** (отображение на КП названий цепей и их номеров соответственно), после чего закрыть окно кнопкой **OK**;

– отключить информационное поле комбинацией клавиш **Shift+H**;

– клавишей **Prt Sc** с последующей обрезкой лишней информации или с помощью приложения **Ножницы** сохранить рисунок рабочего поля в отчет;

– нажать клавишу **L** и в открывшемся окне View Configurations на вкладке **Board Layers And Colors** в группе **System Colors** включить опции

Show для сеток **Default Grid Color**, на вкладке **View Options** включить опции **Show Pad Nets** и **Show Pad Numbers**, а затем закрыть окно кнопкой **OK**;

– в панели **PCB** в группе с классами цепей выбрать класс **<All Nets>**, после чего выполнить на нем команду **ПКМ ⇒ Change Net Color**;

– в появившемся окне **Choose Color** на вкладке **Basic** выбрать цвет с номером **230** (желтый) и нажать кнопку **OK**;

– в панели **PCB** в группе с цепями слева от **GND** поставить галочку;

– если требуется, то отключить видимость и задать цветовое оформление цепям, для которых это было сделано ранее (например, для цепей питания);

– вернуть цветовые настройки, заданные в п. 6 из 5.2.1.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.74.

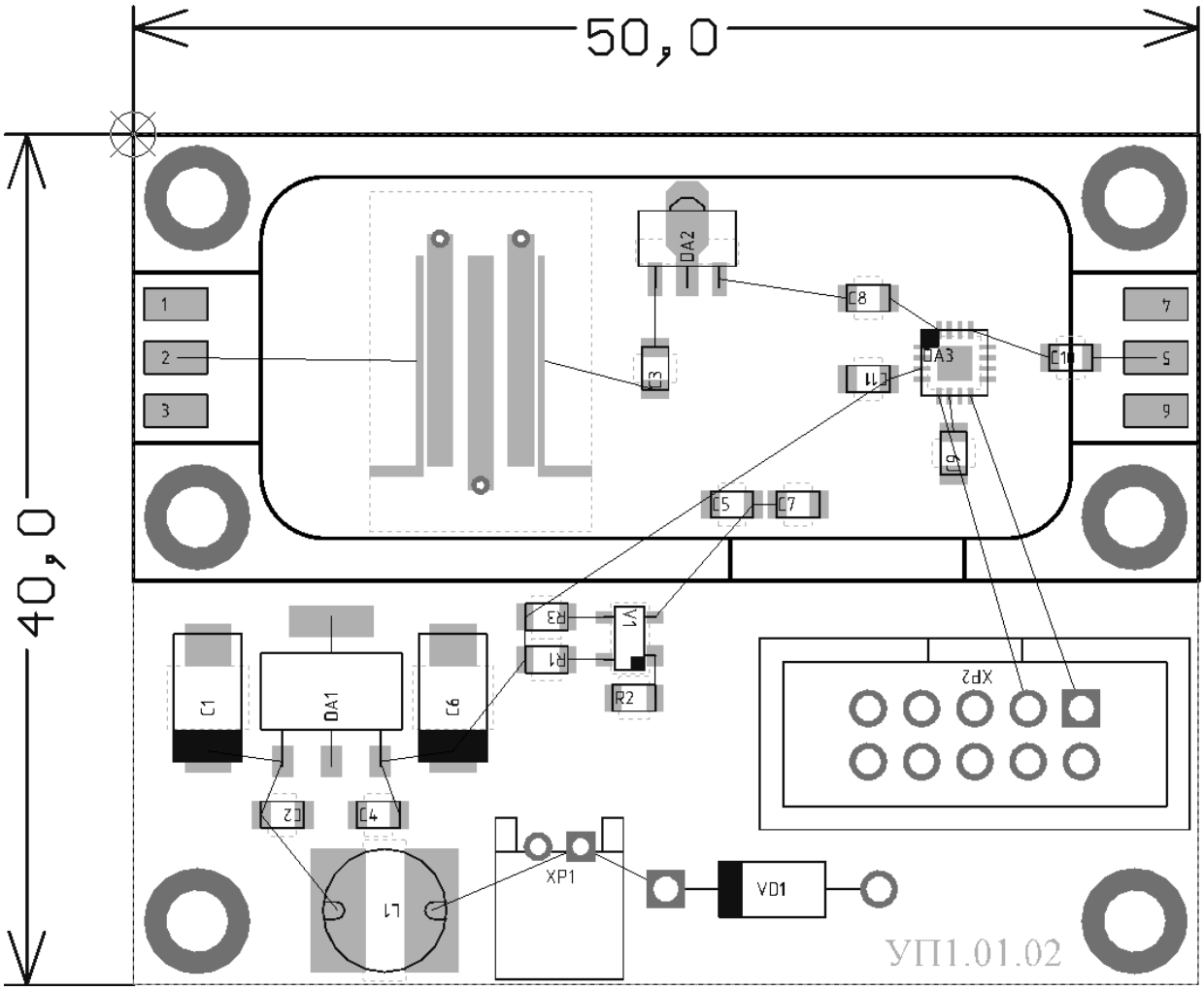


Рис. 12.74

Примечание. В варианте «П1» для отличия от других вариантов задания в панели PCB в режиме Pad & Via Templates с включенной опцией Select были выбраны прямоугольные КП со скруглениями, после чего в панели PCB

Inspector уменьшен их радиус до 1 % (параметр Pad Corner Radius (%) (All Layers) из группы Object Specific).

27.10. Сохранить в отчет результат этапа компоновки ПП в 3D-режиме просмотра, для чего выполнить следующее:

– перейти в 3D-режим просмотра (клавиша **3**);

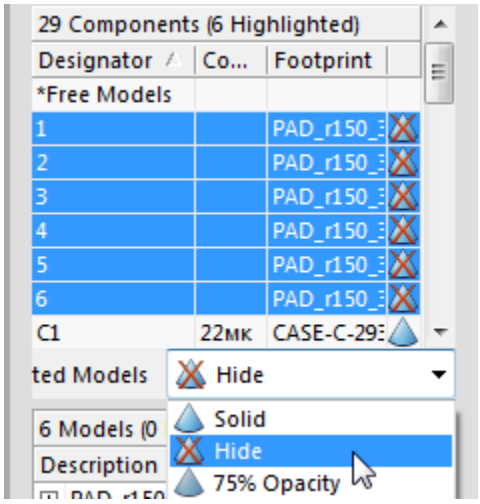


Рис. 12.75

– в верхней части панели **PCB** выбрать режим работы с 3D-моделями (**3D Models**) и отключить опцию **Select**;

– в панели **PCB** в группе с классами компонентов выбрать класс **<All Components>**;

– в панели **PCB** в группе с компонентами отсортировать данные по столбцу **Designator**, выделить строки с КП № 1–6 и скрыть 3D-модели КП, выбрав из выпадающего списка под этой группой опцию **Hide** (рис. 12.75);

– нажать клавишу **L** и в открывшемся окне View Configurations на вкладке **Physical Materials** в группе **General** задать белый цвет рабочего поля, нажав на цветную ячейку напротив параметра **Workspace Color**;

– в появившемся окне **Choose Color** на вкладке **Basic** выбрать цвет **№ 233** (также можно выбрать белый шестиугольник на вкладке Standard) и нажать кнопку **OK**;

– в окне **View Configurations** на вкладке **Physical Materials** в группе **Colors and Visibility** отключить отображение слоев шелкографии и защитной паяльной маски, после чего закрыть окно кнопкой **OK**;

– повернуть 3D-модель в рабочем поле произвольным образом (см. Г.3), но при этом все посадочные места должны остаться видны;

– клавишей **Prt Sc** с последующей обрезкой лишней информации или с помощью приложения **Ножницы** сохранить рисунок рабочего поля в отчет;

– включить информационное поле (**Shift+H**);

– нажать клавишу **L** и в открывшемся окне в списке **Select PCB View Configuration** выбрать профиль **ИДРЭС-AltiumPCB3DConfig.config_3d** (загружен в п. 15 из 12.1), после чего закрыть окно кнопкой **OK**;

– нажать клавишу **0** для возврата исходной ориентации 3D-модели;

– перейти в 2D-режим просмотра (клавиша **2**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.76.

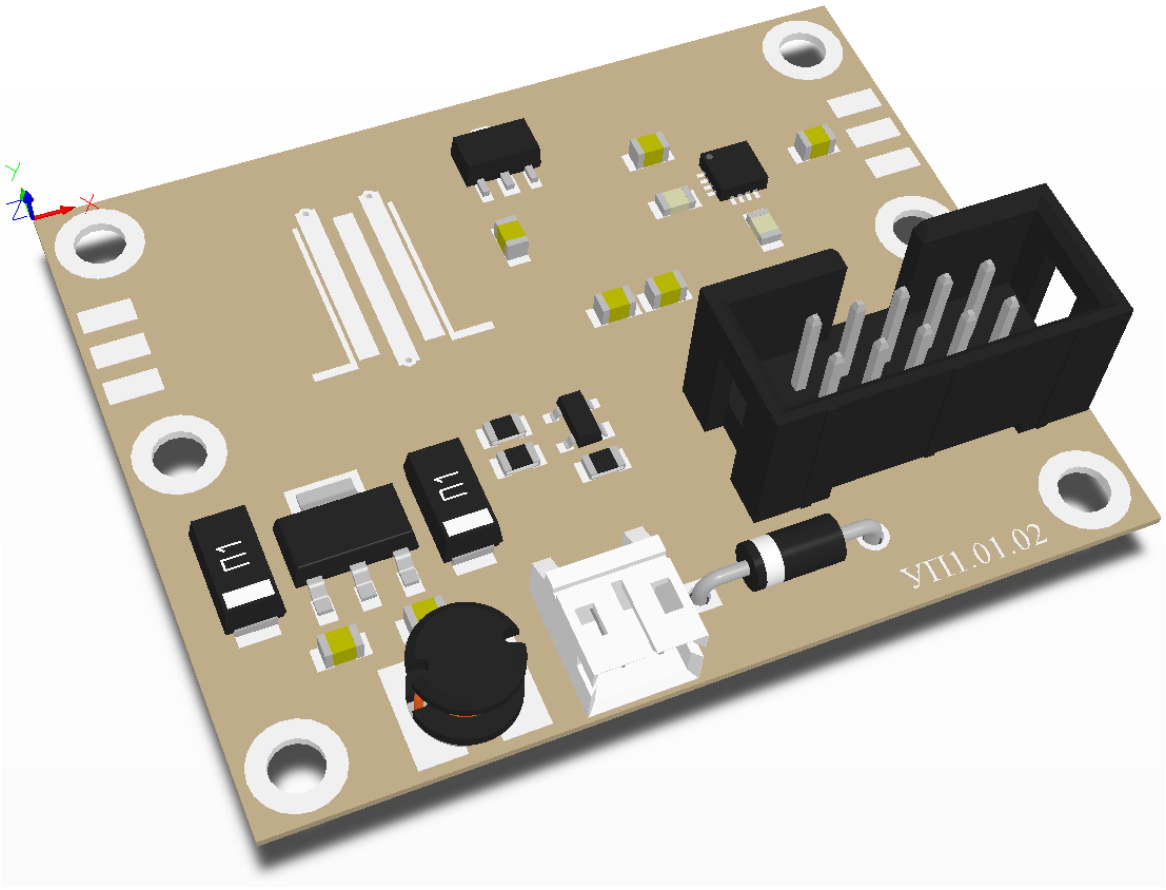


Рис. 12.76

Примечания:

– 3D-модели в КП № 1–6 используются для корректного определения их габаритов при автоматической проверке правил проектирования;

– управление отображением начала координат осуществляется с помощью опции Show Origin Marker в группе General окна View Configurations;

– для управления отображением 3D-модели служат опции из группы Display Options в подразделе PCB Editor ⇒ Display окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences). Например, опция Draw Shadows in 3D включает или отключает тень под 3D-моделью при виде на нее со стороны слоя Top Layer.

28. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

12.4. Особенности трассировки ПП

Кроме технологических особенностей, связанных с изготовлением ПП и описанных в Б.9, следует выделить некоторые особенности выполнения трассировки ПП [61]–[63]:

1. Определение лучшего пути сигнала. Перед трассировкой ПП необходимо продумать пути прохождения высокочастотных сигналов, что предполагает следующее:

– минимизацию длины высокочастотных трасс;

– уменьшение взаимовлияния сигналов, кроме особых случаев;

– разнесение входных и выходных трасс усилителей и фильтров.

2. Тепловое рассеяние и распределение. В любых типах дизайна ПП необходимо помнить о равномерном (по возможности) тепловом распределении и стараться не располагать рядом тепловыделяющие компоненты во избежание проблем, связанных с перегревом.

3. Разделение трасс. Параллельные трассы высокочастотных сигналов не должны проходить близко друг к другу (исключая случаи, например, трассировки дифференциальных линий) и пересекаться на соседних слоях, так как между ними образуется емкостная и индуктивная связь. Зазор между проводниками должен быть минимум в три раза больше ширины проводников.

Если же пересечение трасс происходит, то необходимо осуществлять его под прямым углом для минимизации связи между ними. В идеальном случае пересечение должно быть разделено слоем с земляным полигоном.

Полигон земли, к сожалению, не всегда имеет нулевой потенциал во всех точках, так как он тоже обладает индуктивностью и емкостью, что может быть причиной снижения качественных характеристик точных схем. Высокочастотные трассы на каждом слое должны быть в достаточной мере окружены земляными шинами, которые, в свою очередь, должны иметь хорошее соединение с земляным полигоном (для этого увеличивают количество переходных отверстий). Краевые и угловые эффекты этих земляных шин и самих высокочастотных трасс должны быть минимизированы.

4. Контроль импеданса. При трассировке для получения приемлемых результатов необходимо следить за обеспечением требуемой ширины проводников на внешних и внутренних слоях.

Не рекомендуется использование прямых углов, так как в этих местах могут возникнуть отражения сигнала. В вершине угла ширина трассы увеличивается в 1,414 раза (нарушение однородности импеданса), что приводит к изменению характеристик линии передачи, особенно распределенной емкости и собственной индуктивности трассы.

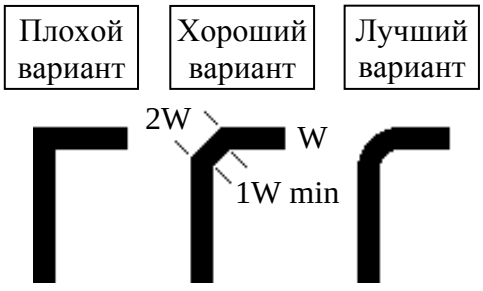


Рис. 12.77

На рис. 12.77 показаны два шага улучшения формы угла. Только последний пример поддерживает постоянной ширину трассы и минимизирует отражения.

В МПП необходимо минимизировать количество межслойных переходов для каждого высокочастотного сигнала, так как переходные отверстия добавляют паразитную индуктивность к уже и без того имеющейся. Кроме того, они могут передавать высокочастотную энергию на противоположную сторону с возможными пагубными последствиями.

Наилучшая аналоговая трассировка – все сигнальные проводники располагаются на одном слое ПП.

5. Разделение выходных и входных трасс. Усилители могут начать работать нестабильно или даже стать генераторами неконтролируемых колебаний при возникновении положительной обратной связи с выхода на вход. В большей мере это касается усилителей с большим коэффициентом усиления. Фильтры также могут ухудшать свои частотные характеристики при влиянии выходного сигнала на входные элементы.

6. Подключение питания. При подключении трасс питания к выводам микросхем необходимо следить за выполнением следующих требований:

– блокировочные конденсаторы должны располагаться как можно ближе к выводу питания микросхемы, при этом сначала питание должно попасть на конденсаторы и только после этого на микросхему;

– при использовании нескольких блокировочных конденсаторов (например, керамических и танталовых) высококачественные керамические конденсаторы должны располагаться ближе к выводам питания микросхем;

– выводы конденсаторов, подключенные к цепи GND, должны непосредственно и кратчайшим путем соединяться с земляным полигоном.

7. Трассировка цепей питания. Если позволяют условия, то наилучшим вариантом является такой, в котором все потребители подсоединяются к источнику питания независимыми проводниками, имеющими только одну общую точку около разъема питания (соединение «звездой»).

Допустимую токовую нагрузку на элементы проводящего рисунка ПП в зависимости от допустимого превышения температуры проводника относительно температуры окружающей среды можно выбрать, основываясь на рекомендациях ГОСТ Р 53429–2009:

– от 60 до 100 А/мм^2 – для гальванической меди;

– от 100 до 250 А/мм^2 – для фольги (рекомендованные ширины для случая с превышением температуры на 200 ºС приведены в табл. 12.2).

8. Аналоговые, цифровые и высокочастотные сигналы. Большое внимание должно быть уделено разделению аналоговых, цифровых и высокоча-

стотных сигналов. Особенно важно хорошо разнести цифровые сигналы от чувствительных высокочастотных компонентов и низкоуровневые аналоговые сигналы от высокочастотных сигналов любых уровней. Кроме того, важно обеспечить разделение путей возвратных токов этих сигналов. О взаимовлиянии возвратных токов часто забывается, что приводит к серьезным перекрестным помехам.

Таблица 12.2

Рекомендованная ширина печатного проводника в зависимости от допустимого тока при повышении температуры на 20 ºС

Допустимый ток, А	Ширина печатного проводника, мм, при толщине печатного проводника, мкм		
	18	35	70
1	0,38	0,18	0,1
2	0,91	0,46	0,23
4	2,54	1,27	0,64
6	4,06	2,03	1,02
8	6,35	3,18	1,65
10	9,14	4,57	2,29

9. Заливка свободных областей. Области на всех слоях, свободные от компонентов и проводников, должны быть залиты полигоном из металлизации, подключенным через множество переходных отверстий к единому полигону земляного слоя. Земляные полигоны, расположенные на нескольких слоях, должны соединяться переходными отверстиями по краям ПП, вокруг всех вырезов и крепежных (неметаллизированных) отверстий. Это благоприятно влияет на увеличение эффективной площади полигона земли и приводит к уменьшению излучения и наводок.

Необходимо внимательно следить за возможностью появления любых неподсоединенных областей металлизации или протяженных узких областей земляных полигонов. Их необходимо либо удалять, либо соединять дополнительными переходными отверстиями с полигоном слоя земли. В противном случае они могут выступить в качестве антенн высокочастотного излучения.

10. Разделение аналоговой и цифровой земли. В системах со смешанными сигналами рекомендуется физически отделять чувствительные аналоговые компоненты от шумных цифровых и использовать для них отдельные неперекрывающиеся земляные полигоны. Однако к разделению земель стоит относиться очень аккуратно, так как при их неудачной разводке можно получить петлевые или щелевые антенны, что может привести к значительному ухудшению результатов при сравнении с неразделенной землей.

Во многих случаях оптимально использование одной земли и с таким размещением компонентов, при котором пути протекания возвратных цифровых токов не будут пересекаться с аналоговыми. Кроме того, разделенная земля может ухудшить температурный режим работы устройства.

12.5. Трассировка ПП

Этап трассировки ПП следует выполнить в приведенной ниже последовательности:

1. Освежить в памяти общую последовательность действий при трассировке ПП и примеры возможных ошибок (см. 12.2).

2. Сохранить файл трассировки с новым номером версии в основном формате (см. п. 3 из 12.1) и сохранить изменения в проекте (см. п. 4 из 5.5).

Примечания:

– при каждом сохранении документа или проекта в папке History, располагающейся в папке проекта, автоматически создается архив с его копией, к которой можно быстро вернуться с помощью панели Storage Manager (см. Г.50). Кроме того, при трассировке ПП рекомендуется сохранять промежуточные результаты в виде отдельных файлов;

– добавить файлы в проект (или удалить их) можно в соответствии с информацией, приведенной в примечаниях к п. 26 из 12.3.

3. Перед началом процесса трассировки ПП выполнить подготовительные действия:

3.1. Настроить привязки, для чего из меню **Snap** в нижнем правом углу рабочего поля выполнить команду **Advanced Snap Options** для открытия окна Board Options.

В группе **Snap Options** включить только опции **Snap To Grids**, **Snap To Object Axis** и **Snap To Object Hotspots**.

В группе **Advanced Options - Snap to Object Axis** выполнить следующие действия:

– в поле **Near Range** ввести расстояние **10mm**;

– под опцией **Near Objects** включить только **Pads** и **Regions**;

– отключить опцию **Far Objects**.

Примечание. Соответствующие пояснения даны в п. 2 из Г.36.

3.2. Задать правило проектирования, в котором указать для всех цепей возможные варианты подведения трассы к планарной КП:

– запустить команду **Design ⇒ Rules**;

– в открывшемся окне PCB Rules and Constraints Editor на подразделе **Design Rules ⇒ SMT ⇒ SMD Entry** выполнить команду **ПКМ ⇒ New Rule**;

– в указанном подразделе выбрать ЛКМ созданное правило **SMDEntry**;

– в правой части окна отключить все опции (рис. 12.78);

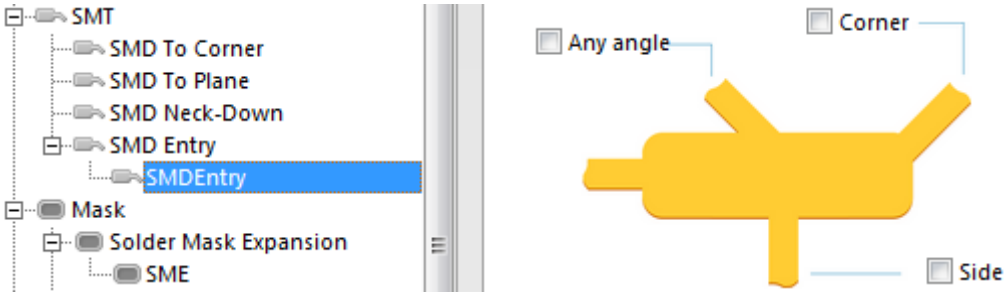


Рис. 12.78

– в поле **Name** изменить имя правила на **SMDE_ShortSide**;

– в нижней части окна нажать кнопку **Apply**.

Примечания:

– опция Any Angle позволяет подводить трассы под любым углом;

– опция Corner позволяет подводить трассы через углы КП;

– опция Side позволяет подводить трассы в длинную сторону КП. Отключенная опция начинает работать в том случае, если длинная сторона КП будет строго в два раза больше короткой;

– после отключения всех опций подведение трасс возможно только в короткую сторону КП (с оговоркой для опции Side);

– данное правило не будет проверяться в режиме реального времени и при формировании отчета об обнаруженных нарушениях, так как соответствующие галочки в п. 14 из 12.1 были сняты, но будет работать в процессе интерактивной трассировки. Созданные же трассы в этом случае можно отредактировать так, чтобы они подводились к КП как угодно.

3.3. Задать правило проектирования, в котором указать для всех цепей автоматическое уменьшение ширины трассы в месте подключения к планарной КП до минимального размера последней:

– в окне PCB Rules and Constraints Editor в подразделе **Design Rules ⇒ SMT ⇒ SMD Neck-Down** создать новое правило (**SMDNeckDown**), после чего выбрать его ЛКМ;

– в правой части окна для параметра **Neck-Down** указать значение **100%** (рис. 12.79);

– в поле **Name** изменить имя правила на **SMDND_100%**;

– в нижней части окна последовательно нажать кнопки **Apply** и **OK**.



Рис. 12.79

Примечание. Данное правило также не будет проверяться в режиме реального времени и при формировании отчета об обнаруженных нарушениях, но будет работать в процессе интерактивной трассировки. Особенность использования правила см. в п. 4.3.

3.4. Перейти в сетку **0.1** мм.

3.5. Включить набор слоев **Shield**.

3.6. Сделать текущим слой **Top Layer**.

3.7. Включить режим одного слоя (**Shift+S**).

Примечание. Желательно, чтобы данный режим был включен с опцией Gray Scale Other Layers, а не Hide Other Layers (см. п. 9 из Г.38).

3.8. Рекомендуется ознакомиться с возможностями интерактивной трассировки одиночных цепей по Г.42 и потренироваться в создании трасс между парой любых КП одной цепи. После тренировки созданные трассы и (или) переходные отверстия необходимо аккуратно удалить.

Примечание. Выделение созданных трасс можно осуществить из меню Edit ⇒ Select командами Select Next, Physical Connection и Component Connections (см. п. 3.3 из Г.5).

4. С помощью интерактивной трассировки одиночных цепей создать трассу для прохождения СВЧ-сигнала (цепи от **MW-1** до **MW-7** включительно) со значением ширины, полученным по (4.4).

Примечание. Если поиск объектов цепи затруднен, то можно использовать возможности панели PCB. Для этого в верхней части выбираются режим работы с цепями (Nets) и опция Dim или Mask, а также включается опция Zoom. Затем осуществляется щелчок ЛКМ по названию требуемой цепи в предварительно выбранном классе цепей.

Также можно воспользоваться режимом Cross Select Mode с соответствующими настройками (см. Г.35) или панелью Navigator (см. Г.13), но для этого нужна открытая вкладка со схемой.

Примеры создания трасс в варианте «П1» и особенности интерактивной трассировки в других вариантах задания:

4.1. Действия по созданию трассы для цепи **MW-1** в варианте «П1»:

– запущена команда интерактивной трассировки одиночных цепей (**ПКМ ⇒ Interactive Routing**);

– щелчком ЛКМ в группе из трех входных КП указана центральная.

Примечание. При отводе трассы от КП (или подводе к ней) необязательно указывать ее центр, чтобы сработала привязка курсора мышки. Достаточно щелкнуть ЛКМ в любом месте внутри нее;

– нажата комбинация клавиш **Shift+W** и в окне **Choose Width** выбрано значение ширины трассы (рис. 12.80);

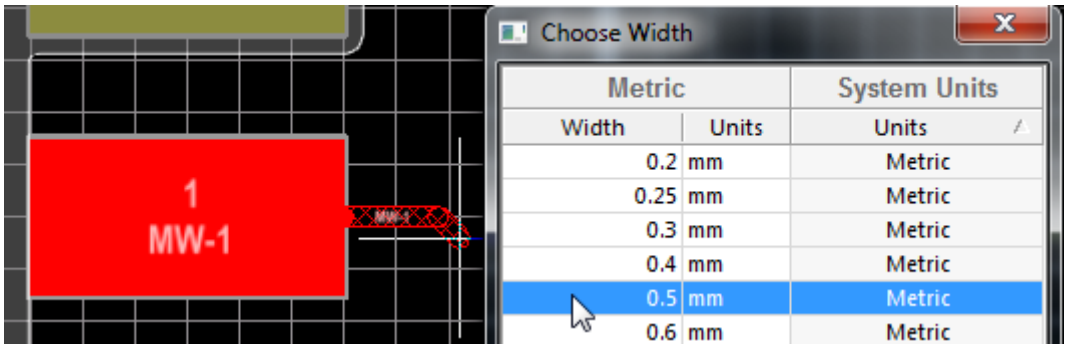


Рис. 12.80

– включен режим **Look Ahead Mode** (клавиша **1**);

– комбинацией клавиш **Shift+Space** и клавишей **Space** выбран режим рисования под углом 45° у курсора мышки (см. рис. Г.56);

– курсор мышки перемещен к месту около топологии ПФ, в которое планируется подвести трассу на следующем шаге (рис. 12.81, *а*), после чего осуществлен щелчок ЛКМ для размещения заштрихованного участка трассы, выходящего из КП;

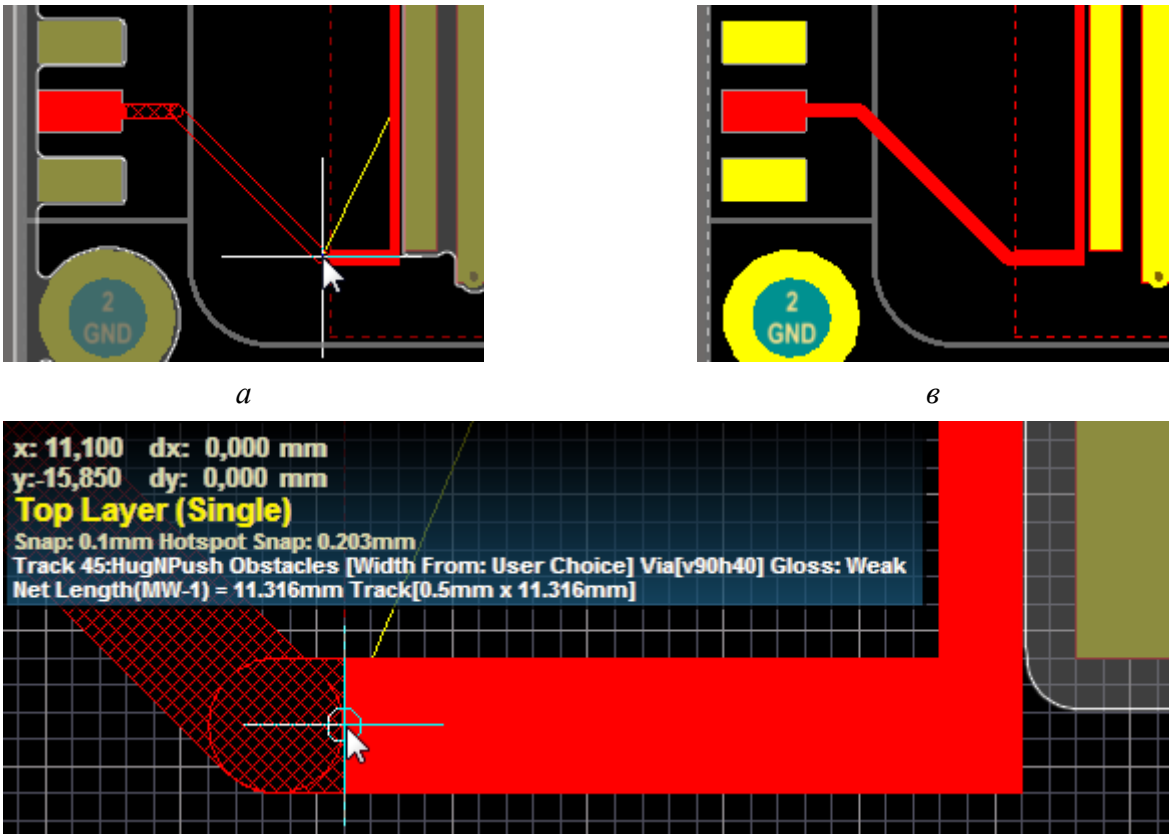
– отключен режим **Look Ahead Mode** (клавиша **1**);

– курсор мышки перемещен к середине левой стороны крайнего левого полигона в топологии ПФ и после срабатывания привязки (рис. 12.81, *б*) щелчком ЛКМ размещены наклонный и горизонтальный сегменты;

– щелчком ПКМ осуществлен выход из команды.

Примечания:

– на рис. 12.81, б в информационном поле во второй строке снизу указаны текущие настройки интерактивной трассировки: режим создания угла между двумя точками (Track 45), режим по разрешению конфликтов (HugNPush Obstacles), источник значения для ширины трассы (Width From: User Choice), шаблон переходного отверстия по умолчанию (Via[v90h40]) и степень сглаживания (Gloss: Weak);



а *в*

б

Рис. 12.81

– на рис. 12.81, б в информационном поле в нижней строке указана информация о текущей цепи: название (MW-1), общая длина трассы с учетом размещенных и неразмещенных сегментов (11.316mm), текущее значение ширины трассы (0.5mm) и длина неразмещенных и размещенных сегментов от момента запуска команды интерактивной трассировки (11.316mm), которая в данном случае равна общей длине трассы;

– на рис. 12.81, б можно заметить, что включенные привязки позволяют подвести трассу к точке, которая не находится в узле текущей сетки (по оси Y указаны сотые доли миллиметра);

– если все объекты цепи соединены друг с другом трассами, то видимых связывающих линий у нее уже не будет (рис. 12.87, в). Исключением является случай, когда для цепи специально скрыто ее отображение (например, как для цепи GND в п. 7 из 12.3);

– в варианте «П1» при трассировке все остальные режимы и опции здесь и далее при создании трасс каждой новой цепи, если не указано особо, соответствуют приведенным на рис. Г.123, Г.124, Г.126 и Г.131.

4.2. Действия по созданию трассы для цепи **MW-2** в варианте «П1»:

– запущена команда интерактивной трассировки одиночных цепей;

– курсор мышки подведен к середине правой стороны крайнего правого полигона в топологии ПФ, и после срабатывания привязки щелчком ЛКМ запущен процесс создания трассы;

– курсор мышки подведен к центру нижней КП разделительного конденсатора и щелчком ЛКМ завершено создание трассы;

– щелчком ПКМ осуществлен выход из команды;

– зажатой ЛКМ отредактировано положение диагонального сегмента.

Последовательность действий показана на рис. 12.82.

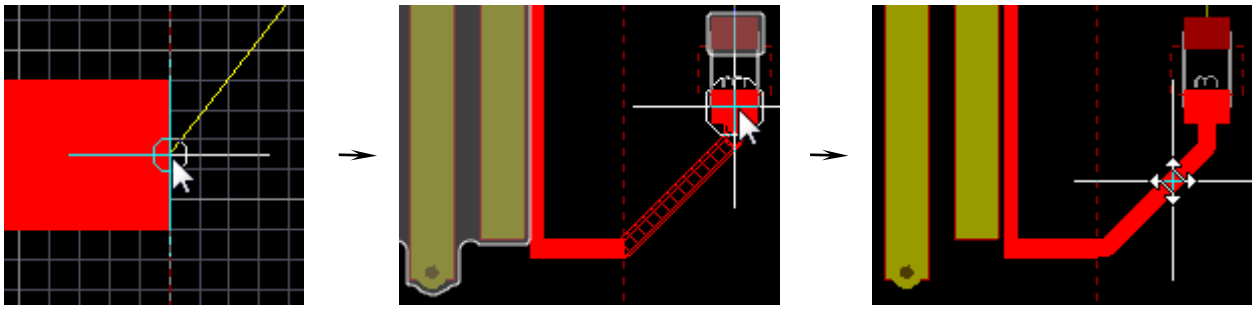


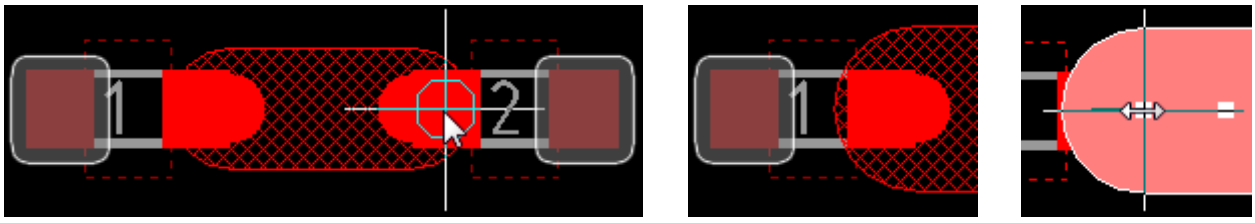
Рис. 12.82

Примечания:

– в отдельных случаях при отведении от границы полигона трасса может не подключиться к цепи, поэтому ее потребуется отвести из глубины полигона (привязка – выравнивание по характерным точкам полигона);

– заданные ранее режимы интерактивной трассировки и значение ширины трассы сохраняются и не требуют повторной настройки.

4.3. Если в процессе интерактивной трассировки ширина трассы в месте подключения к планарной КП окажется больше ее минимального размера, то в соответствии с заданным в п. 3.3 правилом проектирования она будет автоматически уменьшена до этого размера. Само же изменение будет происходить прямо на границе КП (рис. 12.83, *а*).



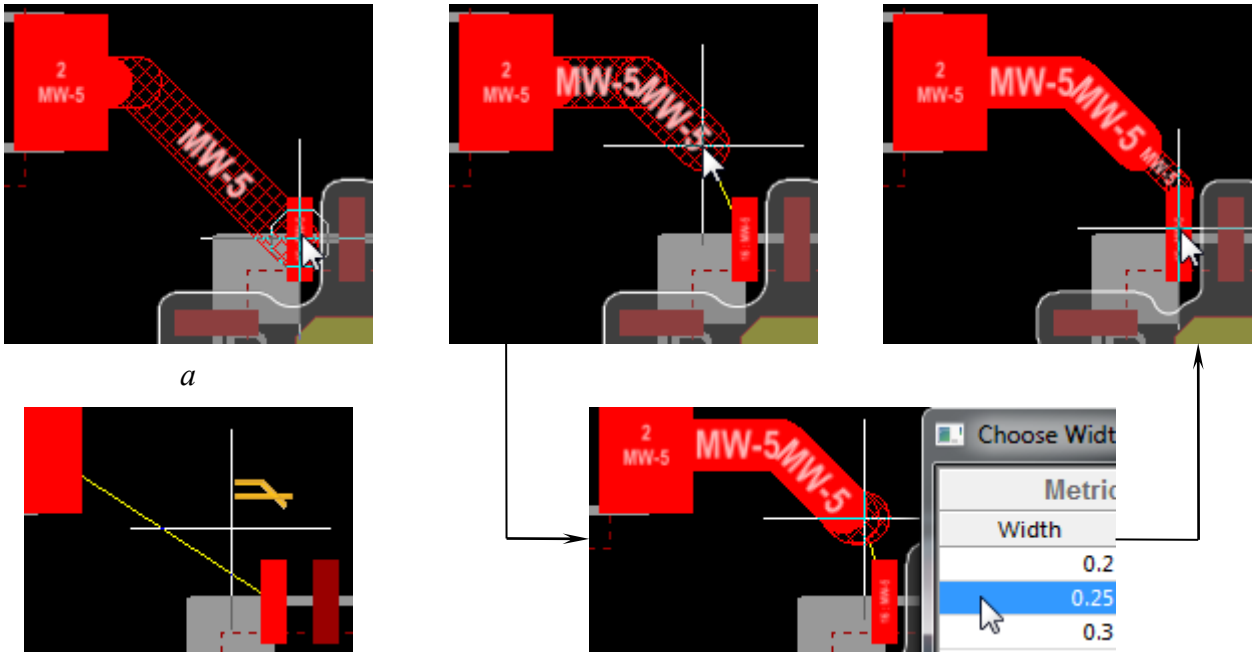
а *б* *в*

Рис. 12.83

Примечание. Положение места автоматической смены ширины можно изменить правилом из подраздела Design Rules ⇒ SMT ⇒ SMD To Corner (определяет длину прямолинейного участка до первой вершины трассы).

Если ширина трассы окажется значительной, то она все же может выйти за пределы КП (рис. 12.83, *б*). В этом случае после ее создания потребуется вручную скорректировать положение вершины (рис. 12.83, *в*).

Автоматическая смена ширины трассы не будет происходить, если это сопровождается нарушением правил проектирования. На рис. 12.84, *а* показана такая ситуация в варианте «П1» для цепи **MW-5** при подведении трассы шириной 0,5 мм от КП разделительного конденсатора к КП микросхемы аттенюатора. При попытке же отвести такую трассу непосредственно от КП микросхемы у курсора мышки появляется символ нарушения правил проектирования (рис. 12.84, *б*).



а *б* *в*

Рис. 12.84

В варианте «П1» при создании трассы для цепи **MW-5** сначала были размещены сегменты с шириной 0,5 мм в непосредственной близости от КП микросхемы, затем вручную значение ширины уменьшено до 0,25 мм, и после этого трасса подведена к КП (рис. 12.84, *в*).

4.4. В местах изменения ширины трассы следует создавать плавные переходы одним из двух способов:

– автоматически с помощью команды Tools ⇒ Teardrops для предварительно выделенных двух соседних сегментов трассы (см. Г.44);

– вручную с помощью полигона Solid Region (см. п. 2 из Г.26).

Пример добавления полигона в варианте «П1» по второму способу около входной КП микросхемы аттенюатора показан на рис. 12.85. По аналогии

был добавлен полигон и у выходной КП микросхемы, при этом в двух случаях понадобилось временно изменить шаг сетки на 0,05 мм.

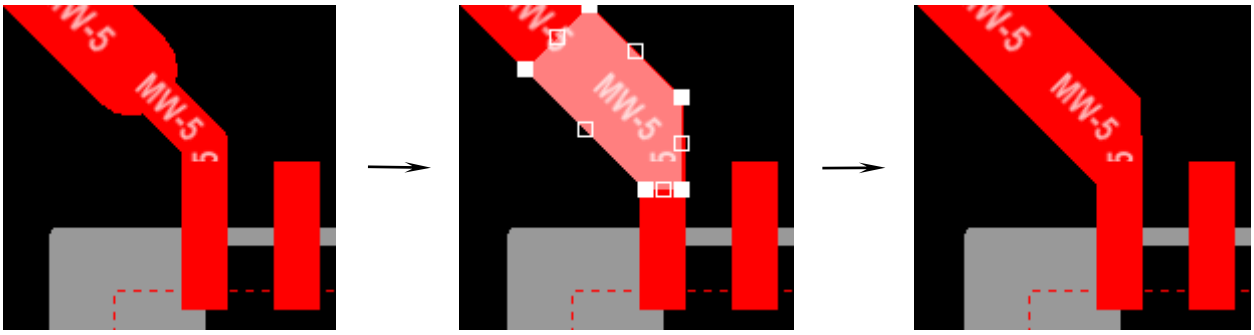


Рис. 12.85

Примечания:

– полигоны в обоих способах автоматически подключаются к цепи объектов, на которых они создаются;

– ручной способ по времени уступает автоматическому, но позволяет нарисовать и расположить полигон так, как задумал разработчик;

– при ручном способе также может понадобиться временно отключить привязки к характерным точкам (комбинация клавиш Shift+E до исчезновения надписи Hotspot Snap в информационном поле).

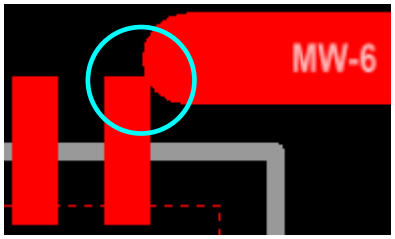


Рис. 12.86

4.5. Не обязательно делать так, чтобы трасса соединилась с центром КП (по умолчанию достаточно только касания). Однако в этом случае можно пропустить такие места, как на рис. 12.86.

Примечание. Настроить проверку подключения трасс к центрам КП позволяет правило из подраздела Design Rules ⇒ Electrical ⇒ Un-Routed Net.

4.6. Если возникает необходимость переместить посадочное место, то при обычном перетаскивании зажатой ЛКМ подключенные к нему трассы останутся на своих местах, т. е. оторвутся от КП.

Для перемещения посадочного места без отрывов трасс необходимо предварительно включить режим **Drag** для компонентов (команда **Edit ⇒ Move ⇒ Component** или последовательное нажатие клавиш **M ⇒ C**), после чего указать посадочное место и переместить его.

Примечания:

– режимом Drag для компонентов пользоваться не рекомендуется, так как после этого трассы оказываются проведены под произвольными углами и их сложно редактировать;

– основной прием работы – переместить посадочное место с отрывом трасс, после чего проложить их заново. Для автоматического удаления ненужных сегментов после повторного прокладывания трасс требуется включение опции Remove Net Antennas (см. п. 2.2 из Г.42);

– в новых версиях Altium Designer функционал улучшен добавлением опции Component re-route, позволяющей автоматически прокладывать трассы заново до мест отрывов от КП.

Результат создания трассы для прохождения СВЧ-сигнала в варианте «П1» показан на рис. 12.87.

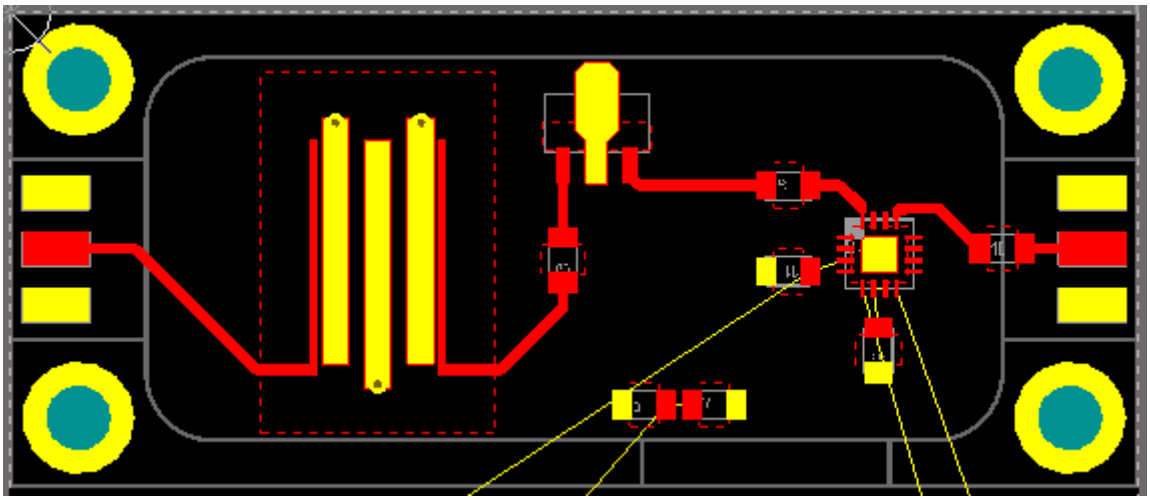


Рис. 12.87

5. Добавить трассу, представляющую собой отрезок МПЛ с позиционным обозначением *W1* и проходящую от выходного вывода микросхемы усилителя к двум блокировочным конденсаторам.

Для этого выполнить следующее:

5.1. Создать новую цепь:

– запустить команду **Design ⇒ Netlist ⇒ Edit Nets**;

– в появившемся окне Netlist Manager нажать кнопку **Add**;

– в открывшемся окне Edit Net в поле **Net Name** записать наименование цепи **Net_W1** (рис. 12.88) и применить изменения кнопкой **OK**;

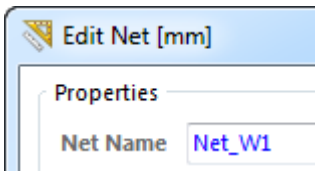


Рис. 12.88

– закрыть окно **Netlist Manager** кнопкой **Close**.

5.2. Задать правило проектирования, в котором указать минимальную и максимальную длину трассы для цепи Net_W1:

– запустить команду **Design ⇒ Rules** и в открывшемся окне PCB Rules and Constraints Editor на подразделе **Design Rules ⇒ High Speed ⇒ Length** выполнить команду **ПКМ ⇒ New Rule**;

– в указанном подразделе выбрать ЛКМ созданное правило **Length**;

– в правой части окна в группе **Where The Object Matches** (объекты, на которые распространяется правило) в единственном списке выбрать опцию **Net**, после чего в появившемся списке рядом – цепь **Net_W1**;

– в группе **Constraints** в полях **Minimum** и **Maximum** указать допустимый диапазон изменения длины отрезка МПЛ W1 со схемы Э3 «усилителя» с учетом допуска ±0,1 мм;

– в поле **Name** изменить имя правила на **L_Net_W1** (рис. 12.89);

– в нижней части окна нажать кнопку **Apply**.

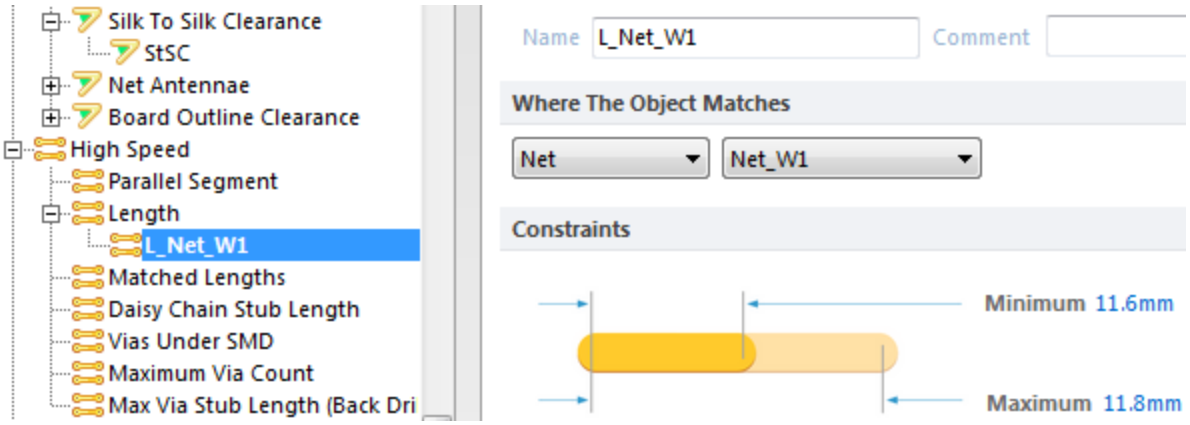


Рис. 12.89

Примечание. Рекомендуется проверить записанное на схеме значение длины отрезка МПЛ по результату расчета по (4.8) из отчета.

5.3. Временно отключить правила проектирования, отвечающие за зазоры в проводящем рисунке и наличие общих точек разных цепей.

Для этого в окне **PCB Rules and Constraints Editor** щелкнуть ЛКМ по подразделу **Design Rules ⇒ Electrical** и в правой части окна в столбце **Enabled** убрать галочки для правила **C** и **ShortCircuit** (рис. 12.90).

Затем в нижней части окна последовательно нажать кнопки **Apply** и **OK**.

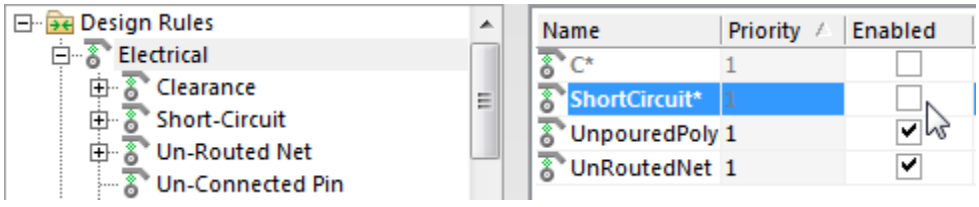


Рис. 12.90

5.4. Назначить цепи **Net_W1** уникальный цвет, для чего в панели **PCB** выполнить следующие действия:

– выбрать режим работы с цепями (**Nets**) и отключить опцию **Select**;

– выбрать класс **<All Nets>**;

– в группе с цепями слева от **Net_W1** поставить галочку;

– на цепи **Net_W1** выполнить команду **ПКМ ⇒ Change Net Color**;

– в появившемся окне **Choose Color** на вкладке **Basic** выбрать цвет **№ 224** (оливковый) и нажать кнопку **OK**;

– в группе с цепями командой **ПКМ ⇒ Columns** отключить отображение столбцов **Node Count** и **Total Pin/Package Length**, после чего расширить столбец **Routed Length** (рис. 12.91).

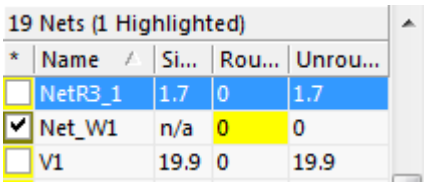


Рис. 12.91

Примечание. Назначение столбцов приведено в описании панели PCB в п. 4.1.2 из Г.14.

5.5. Перейти в сетку **0.1** мм.

5.6. Убедиться в том, что включена привязка к характерным точкам на текущем слое (Hotspot Snap).

Примечание. Привязка к характерным точкам циклически переключается комбинацией клавиш Shift+E (см. п. 2 из Г.36).

5.7. Добавить в рабочее поле две планарные КП:

– последовательно нажать клавиши **P ⇒ P** (см. Г.17);

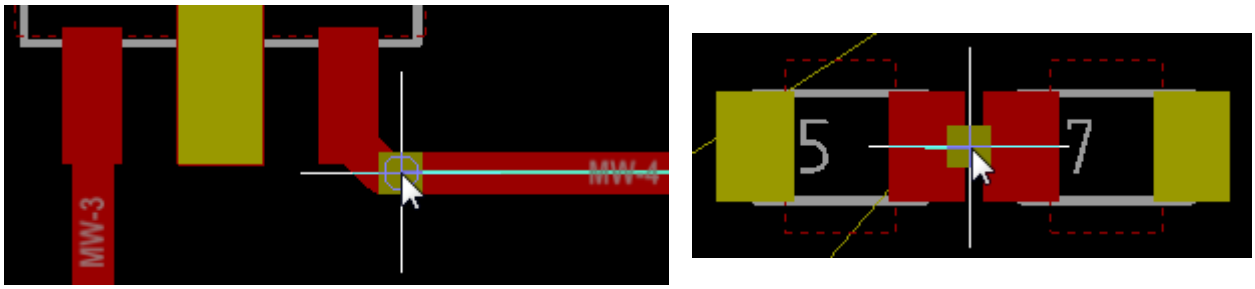
– нажать клавишу **Tab** для открытия окна свойств;

– в группе **Size and Shape** в полях **X-Size** и **Y-Size** записать **0.5mm** и в списке **Shape** выбрать форму **Rectangular**;

– в группе **Properties** в списке **Layer** выбрать слой **Top Layer**, а в списке **Net** – цепь **Net_W1**;

– закрыть окно свойств и добавить две КП в любое свободное место рабочего поля недалеко от микросхемы усилителя.

5.8. Первую КП переместить в любое место, которое расположено на оси любого сегмента трассы цепи **MW-4** и не занято другими КП (рис. 12.92, *а*), а вторую КП – в середину пространства между КП двух блокировочных конденсаторов (рис. 12.92, *б*).



а *б*

Рис. 12.92

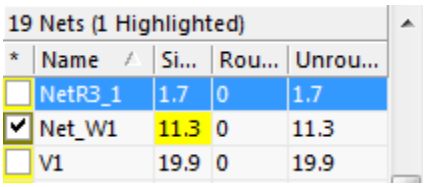


Рис. 12.93

Примечание. Значения в столбцах Signal Length и Unrouted (Manhattan) на данном этапе для цепи Net_W1 равны (рис. 12.93) и показывают манхэттенское расстояние между двумя КП (сумма модулей разностей их координат).

В варианте «П1» оно меньше номинального значения, которое равно 11,7 мм. Это также видно по цветовой маркировке: желтый цвет означает, что текущая длина трассы меньше минимального значения из заданного правила проектирования; красный цвет показывает превышение максимального значения. Цветовая маркировка отображается в столбце Signal Length, если значение в нем может быть определено (цепь содержит только две КП), и в столбце Routed Length, если в столбце Signal Length значение не может быть определено (указано n/a). Кроме того, цвета будут отображаться в столбцах Min и Max, если их включить.

Меньшее значение на данном этапе означает, что трассу далее можно провести либо с изломами (что и будет сделано), либо попытаться ее выровнять, но при этом отодвинув пару блокировочных конденсаторов.

5.9. Соединить добавленные КП трассой:

– желательно в панели PCB выделить строку с соседней цепью, чтобы видеть цветовую маркировку в столбце Signal Length;

– запустить команду интерактивной трассировки одиночных цепей;

– щелкнуть ЛКМ по КП, размещенной на цепи MW-4;

– задать ширину трассы 0,5 мм (**Shift+W**) при ширине трасс СВЧ-тракта от 0,5 мм. В иных случаях задать значение, равное ширине трасс СВЧ-тракта;

– нажать клавишу **Tab** и в открывшемся окне в списке **Current Mode** выбрать текущий режим разрешения конфликтов **Ignore Obstacles**;

– отключить отображение индикатора длины комбинацией клавиш **Shift+G** (все необходимые данные отображаются в панели PCB);

– провести трассу до второй КП у блокировочных конденсаторов;

– завершить команду щелчком ПКМ;

– при необходимости отредактировать трассу перемещением ее сегментов зажатой ЛКМ, контролируя длину по столбцу **Routed Length**.

Последовательность действий в варианте «П1» показана на рис. 12.94.

5.10. Удалить КП, подключенные к цепи Net_W1, следующим способом:

– в панели **PCB** выбрать цепь **Net_W1** (при этом в нижней области панели отобразятся примитивы, подключенные к ней);

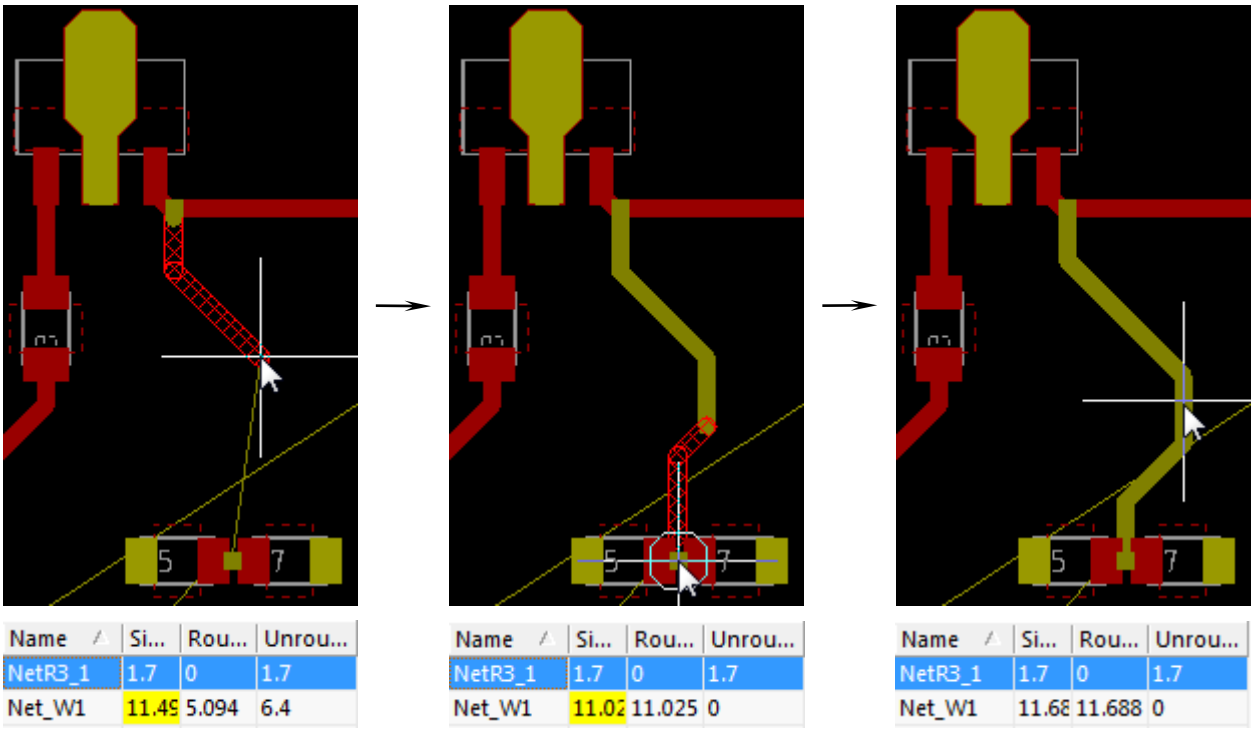


Рис. 12.94

– в верхней части панели **PCB** включить опцию **Select**;

– в нижней области панели с зажатой клавишей **Ctrl** выбрать две КП;

– один раз щелкнуть ЛКМ в любом месте рабочего поля;

– нажать клавишу **Delete**.

Примечание. Выделить КП можно курсором мышки в рабочем поле, командой Find Similar Object, запросом в панели PCB Filter и в панели PCB в режиме работы с КП и переходными отверстиями (Pad & Via Templates).

5.11. Объединить созданные сегменты трассы для цепи Net_W1:

– в панели **PCB** с включенной опцией **Select** выбрать цепь **Net_W1**;

– один раз щелкнуть ЛКМ в любом месте рабочего поля;

– объединить выделенные сегменты в группу с именем **W1** (см. пп. 8.9 и 8.10 из 12.3).

Примечание. Объединение сегментов трассы в группу защитит их от дальнейших случайных корректировок.

5.12. Изменить цепь для сегментов трассы группы **W1**:

– в панели **PCB** выбрать группу **W1**;

– открыть панель **PCB Inspector** и в группе **Object Specific** для параметра **Net** выбрать цепь **MW-4**;

– в панели **PCB** отключить опцию **Select**;

– в рабочем поле снять выделение с объектов щелчком ЛКМ, выполненным в любом свободном месте.

5.13. Удалить цепь **Net_W1**:

– запустить команду **Design ⇒ Netlist ⇒ Edit Nets**;

– в появившемся окне Netlist Manager в списке **Nets In Board** выбрать требуемую цепь и нажать кнопку **Delete**;

– подтвердить операцию и закрыть окно **Netlist Manager** кнопкой **Close**.

5.14. Командой **Design ⇒ Rules** открыть окно PCB Rules and Constraints Editor и включить отключенные в п. 5.3 правила проектирования, поставив соответствующие галочки в столбце **Enabled**, после чего применить изменения последовательным нажатием кнопок **Apply** и **OK**.

В результате включения правил проектирования в рабочем поле в месте расположения двух блокировочных конденсаторов появятся обозначения обнаруженных нарушений (рис. 12.95): на объектах, вызвавших их, будет нанесена текстура в виде зеленых кругов с крестиками, а сами нарушения будут отмечены белыми окружностями с краткой информацией, которая станет видна при увеличении масштаба данной области.

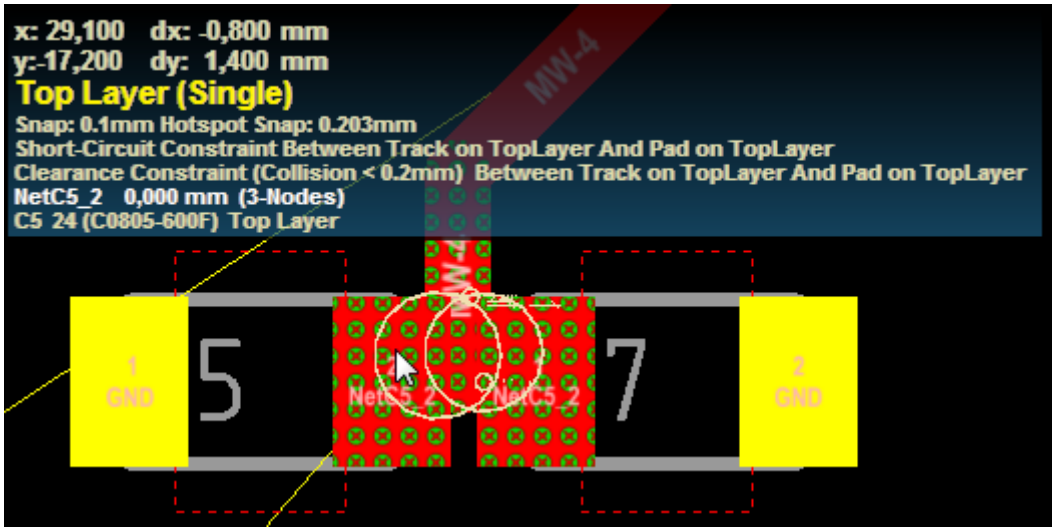


Рис. 12.95

Подробности нарушений приводятся в информационном поле при наведении курсора мышки на место их обнаружения. В данном случае их причина – наличие общей точки у линии и КП со слоя Top Layer, которые принадлежат двум разным цепям (Short-Circuit). Следствием этого нарушения являются найденные ошибки по зазорам (Clearance).

Примечания:

– вид обозначения нарушений правил проектирования задается в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в подразделе PCB Editor ⇒ DRC Violations Display;

– для просмотра нарушений можно воспользоваться специально предназначенной для этого панелью PCB Rules And Violations со списком обнаруженных нарушений во всем файле трассировки или командой ПКМ ⇒ Violations со списком обнаруженных нарушений под курсором мышки. В обоих случаях каждое нарушение можно просмотреть в окне Violation Details, в котором также можно пометить его как просмотренное с комментарием или перейти в соответствующее правило, вызвавшее его (см. п. 26.4).

5.15. Задать правило проектирования, в котором указать возможность наличия общих точек у объектов цепи **MW-4** и цепи, объединяющей соседние выводы пары блокировочных конденсаторов:

– запомнить имя цепи, указанное в информационном поле при наведении курсора мышки на соответствующую КП блокировочного конденсатора в месте обнаружения нарушения (см. рис. 12.95);

– запустить команду **Design ⇒ Rules** и в открывшемся окне PCB Rules and Constraints Editor на подразделе **Design Rules ⇒ Electrical ⇒ Short-Circuits** выполнить команду **ПКМ ⇒ New Rule**.

Примечание. Также можно выполнить команду ПКМ ⇒ Duplicate Rule на правиле, которое уже существует в этом подразделе;

– в указанном подразделе выбрать ЛКМ правило **ShortCircuit_1**;

– в правой части окна в группе **Where The First Object Matches** (первая группа объектов, на которую распространяется правило) в списках последовательно выбрать **Net** и цепь **MW-4**;

– в группе **Where The Second Object Matches** (вторая группа объектов, на которую распространяется правило) в списках последовательно выбрать **Net** и цепь блокировочных конденсаторов;

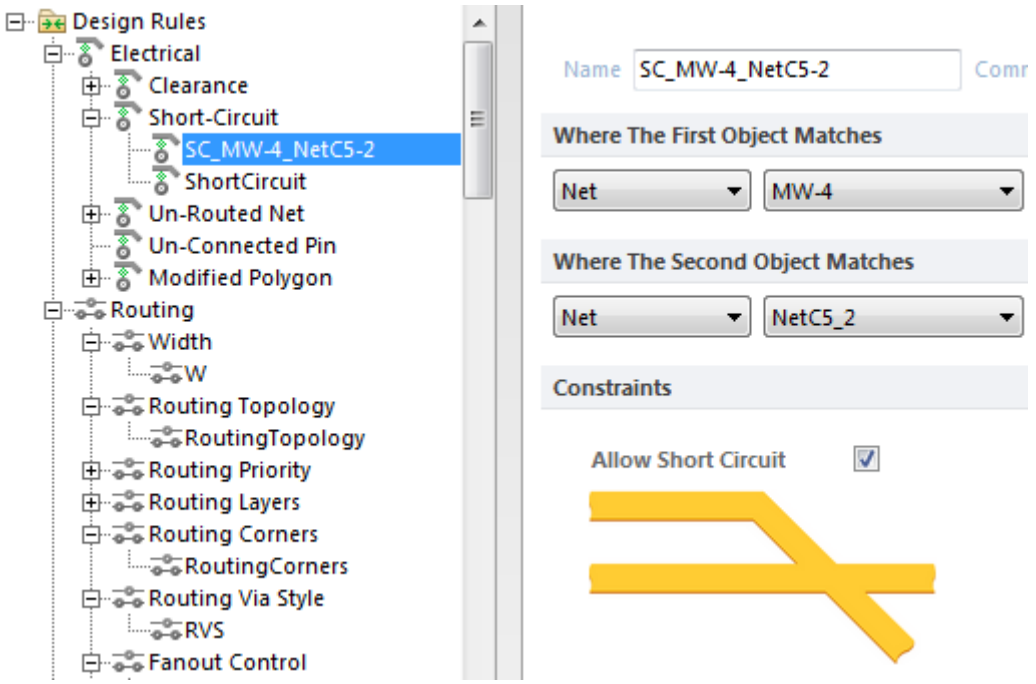
– в группе **Constraints** включить опцию **Allow Short Circuit**;

– в поле **Name** изменить имя правила на **SC** с указанием имен цепей (рис. 12.96, *а*);

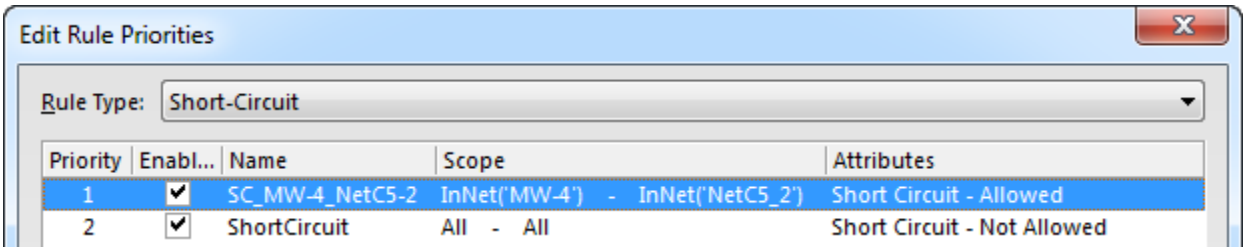
– в нижней части окна последовательно нажать кнопки **Apply** и **OK**;

– убедиться в том, что в рабочем поле исчезли нарушения.

Примечание. При наличии в одном подразделе нескольких правил каждому из них присваивается приоритет (чем выше правило в списке, тем выше и его приоритет). Правило с более высоким приоритетом просматривается программой в первую очередь. Если проверяемые объекты попали под его условие, то правила с более низкими приоритетами для них будут пропущены.



а



б

Рис. 12.96

Приоритеты правил можно менять в окне Edit Rule Priorities, открываемом кнопкой Priorities из нижней части окна PCB Rules and Constraints Editor. Создаваемым вновь правилам автоматически присваивается высший приоритет (рис. 12.96, б).

6. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

7. Провести трассу от транзисторной сборки до двух блокировочных конденсаторов:

– запустить команду интерактивной трассировки одиночных цепей;

– щелкнуть ЛКМ по соответствующей КП транзисторной сборки;

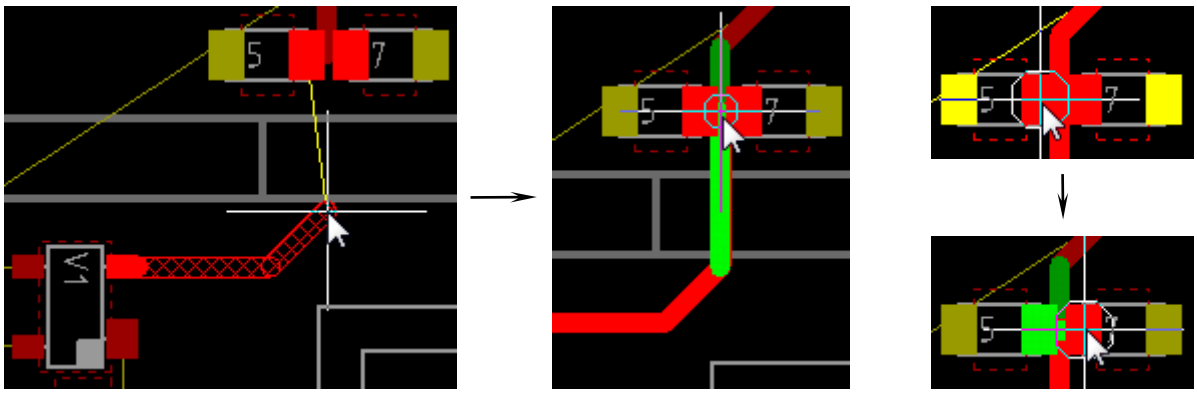
– выбрать ширину трассы 0,5 мм (**Shift+W**);

– убедиться в том, что установлен режим разрешения конфликтов **Ignore Obstacles** (комбинация клавиш **Shift+R**);

– довести трассу до характерной точки, которая располагается в вершине сегмента трассы **W1** между двумя блокировочными конденсаторами (рис. 12.97, *а*);

– завершить команду щелчком ПКМ;

– запустить команду интерактивной трассировки одиночных цепей и соединить трассой центры соседних КП двух блокировочных конденсаторов (рис. 12.97, *б*).



а *б*

Рис. 12.97

Примечание. Появляющиеся в процессе создания трасс обозначения нарушений, связанные с наличием общих точек у примитивов разных цепей, пропадут после выхода из команды интерактивной трассировки.

8. Соединить трассами соответствующие КП компонентов в «токовом зеркале», при этом обратив внимание на следующее:

– после запуска интерактивной трассировки одиночных цепей комбинацией клавиш **Shift+R** выбрать любой удобный режим разрешения конфликтов, кроме Ignore Obstacles (в варианте «П1» выбран HugN-Push Obstacles);

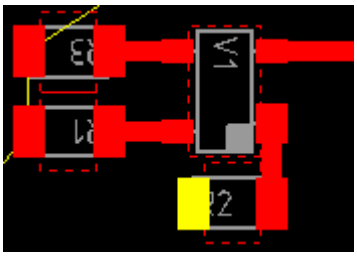


Рис. 12.98

– оптимальная ширина трасс – 0,5 мм.

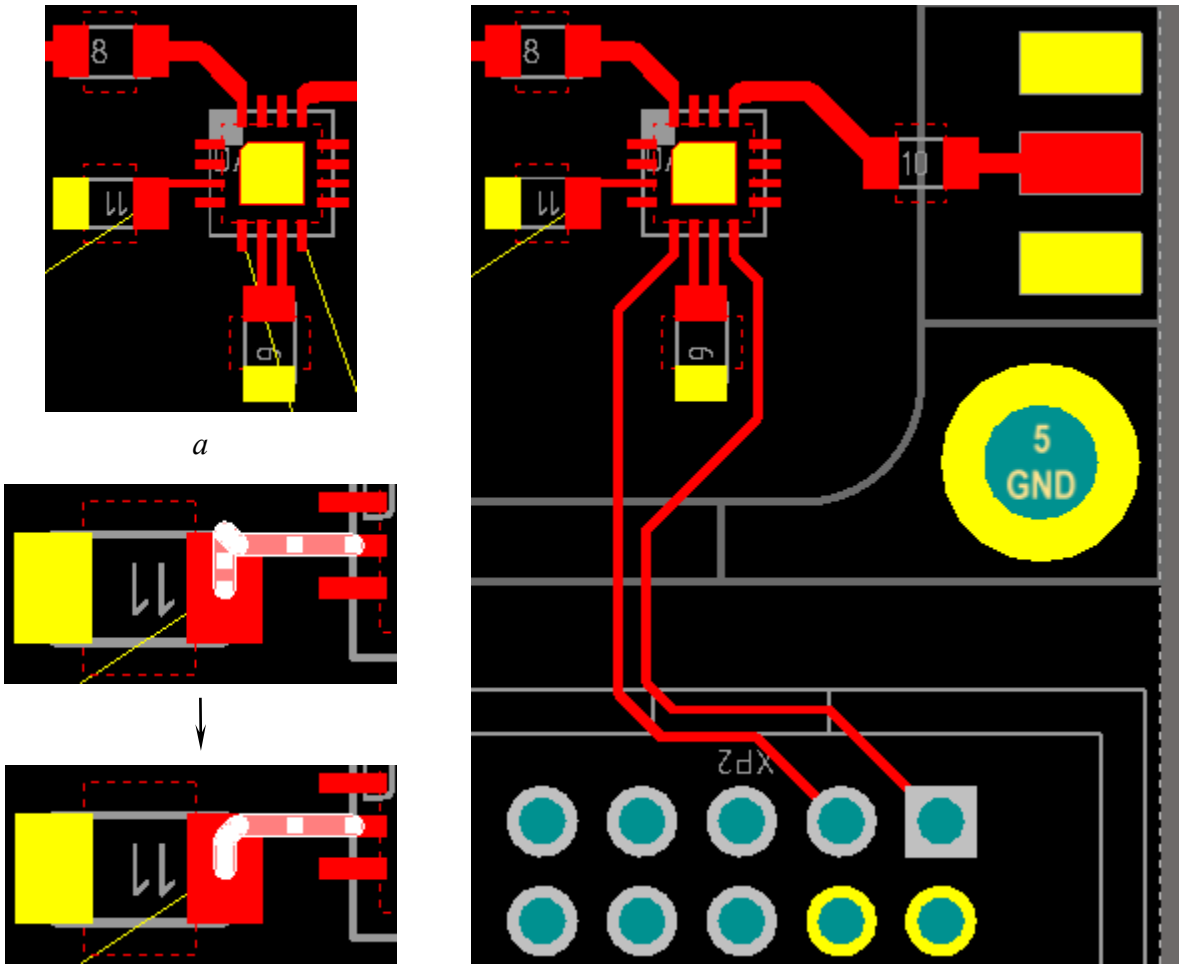
Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.98.

9. Соединить трассами соответствующие КП микросхемы аттенюатора и близкорасположенных конденсаторов (при наличии), при этом комбинацией клавиш **Shift+W** выбрать их ширину равной ширине КП микросхемы аттенюатора (в варианте «П1» – 0,25 мм).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.99, *а*.

Примечание. Трассы при подведении к КП могут оказаться выполнены с изломами, которые следует вручную скорректировать уже после выхода из команды интерактивной трассировки. Кроме того, отдельные трассы можно попытаться сгладить автоматически. Для этого выделяется сегмент трассы, затем нажимается клавиша Tab, а после этого – комбинация

клавиш Ctrl+Alt+G (команда Gloss Selected в п. 10 из Г.42). Результат работы команды в варианте «П1» показан на рис. 12.99, б.



а *б* *в*

Рис. 12.99

10. Создать трассы цепей управления микросхемой аттенюатора, оставив значение их ширины из предыдущего пункта.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.99, *в*.

Примечание. Зачастую удобно пользоваться автоматическим завершением трассы (щелчок ЛКМ при зажатой клавише Ctrl) с последующей корректировкой получившейся трассы (при необходимости).

11. Осуществить все необходимые соединения для прохождения питания от разъема питания до входа микросхемы стабилизатора напряжения, при этом обратив внимание на следующее:

– соединения можно выполнить трассами шириной около 1 мм (или больше) и (или) полигонами Solid Region (см. п. 2 из Г.26);

– полигоны необходимо рисовать поверх КП (они автоматически подключаются к их цепям);

– питание должно сначала пройти через КП посадочных мест блокировочных конденсаторов, и только после этого попасть на вход микросхемы стабилизатора напряжения;

– обеспечить зазоры до объектов других цепей не менее 0,4 мм.

В варианте «П1» соединения выполнены двумя полигонами, один из которых на рис. 12.100 выделен с подсвеченными КП (курсор мышки на КП с зажатой клавишей **Shift**).

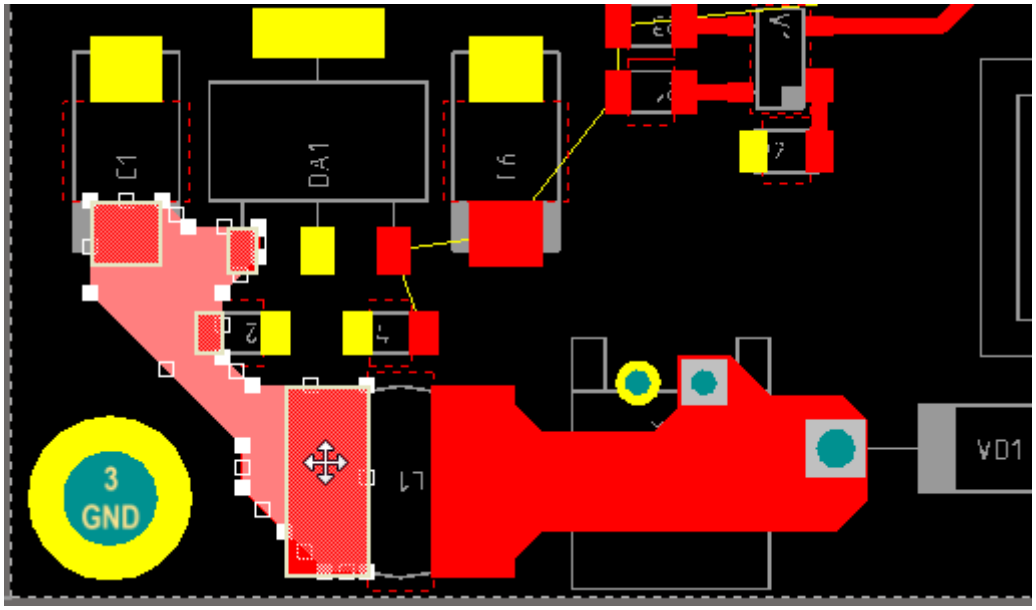


Рис. 12.100

12. Осуществить все необходимые соединения для прохождения питания от выхода микросхемы стабилизатора напряжения до потребителей, а также соединения внутри ИПС и параметрического стабилизатора напряжения (при их наличии).

Обратить внимание на следующее:

– соединения выполнить трассами шириной 0,5–1 мм;

– если блокировочные конденсаторы не расположены в ряд, то их соединение с выходом микросхемы стабилизатора напряжения осуществить полигоном Solid Region (см. п. 2 из Г.26);

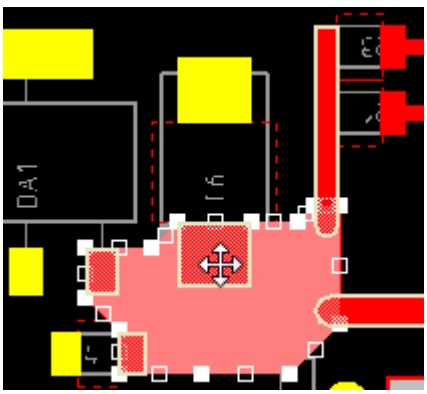


Рис. 12.101

– обеспечить зазоры до объектов других цепей не менее 0,4 мм.

В варианте «П1» (рис. 12.101) сначала был добавлен полигон на выходе микросхемы стабилизатора напряжения, а после этого созданы две отходящие от него трассы: одна – к резисторам

«токового зеркала» шириной 0,8 мм, а вторая – к блокировочному конденсатору около вывода питания микросхемы аттенюатора с шириной 1 и 0,8 мм.

Примечание. Если при отведении от границы полигона трасса не подключается к цепи, то ее необходимо либо отвести из глубины полигона, либо подвести со стороны КП компонентов.

13. При необходимости изменить положение и размеры прорези в тонкой стенке «экрана», для чего выполнить следующее:

– перейти в сетку **0.5** мм;

– сделать текущим слой **M7 Shield**;

– произвести коррекцию;

– сделать текущим слой **Top Layer**;

– перейти в сетку **0.1** мм.

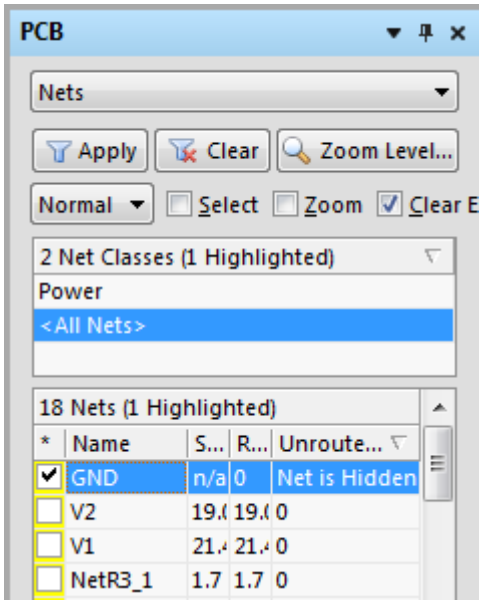


Рис. 12.102

14. Убедиться в том, что в файле трассировки на данном этапе не осталось участков цепей, которые бы не были заменены трассами (кроме цепи GND).

Для этого в панели **PCB** отсортировать все цепи из класса цепей **<All Nets>** по столбцу **Unrouted (Manhattan)**. Если для каких-то цепей значение будет отлично от нуля, то с помощью опций из верхней части панели (см. Г.14) найти такие цепи в рабочем поле, внимательно их просмотреть и создать недостающие сегменты трасс.

Результат сортировки цепей в варианте «П1» показан на рис. 12.102. На рисунке для цепи GND указано, что в данный момент ее связывающие линии скрыты, а в рабочем поле нет ни одной трассы (в столбце Routed Length записан ноль).

15. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.103.

16. Осуществить трассировку цепи **GND**:

16.1. Внутри контура ПП расставить переходные отверстия, подключенные к цепи GND, для чего выполнить следующие действия:

– последовательно нажать клавиши **P ⇒ V** (см. Г.21);

– клавишей **Tab** открыть окно свойств, в котором в списке **Template** выбрать шаблон **v120h60**, в списке **Net** – цепь **GND** и применить изменения;

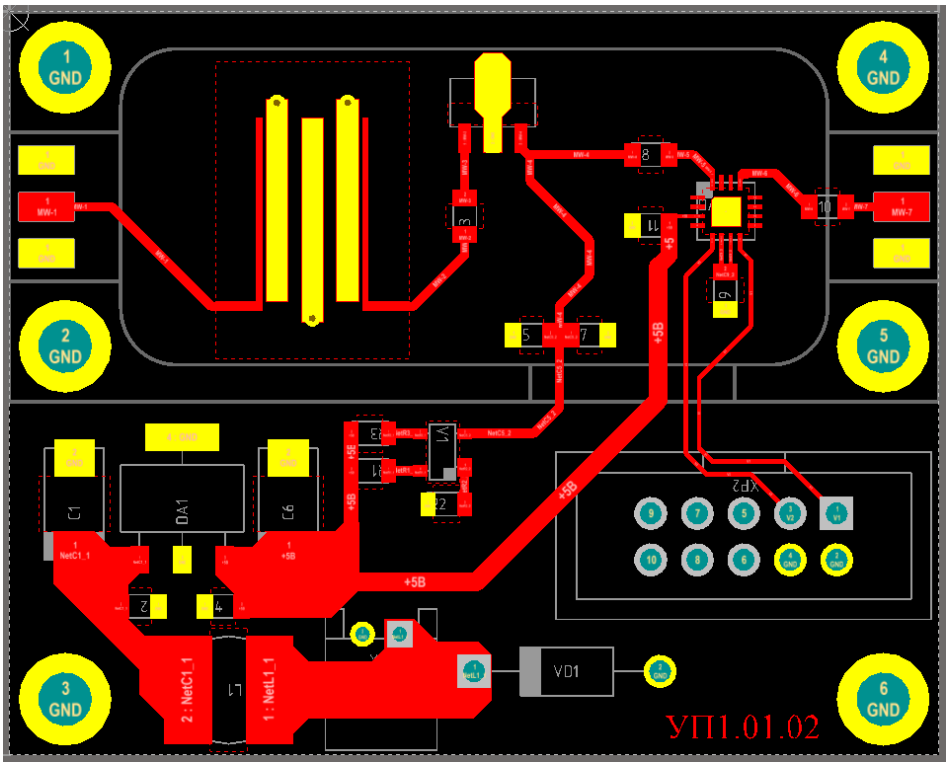


Рис. 12.103

– добавить переходные отверстия около каждой планарной КП, подключенной к цепи **GND**. Если КП имеет большие размеры (например, средняя КП в посадочном месте микросхемы усилителя на рис. 12.103), то переходных отверстий около нее должно быть несколько;

– добавить переходные отверстия под стенками «экрана», вдоль тракта СВЧ и вокруг топологии ПФ с примерным шагом 1,5–2 мм. Внутри пунктирного контура топологии переходных отверстий, кроме установленных ранее для ШТ, быть не должно;

– добавить переходные отверстия в остальных не указанных выше свободных областях под «экраном» с примерным шагом 2–3 мм;

– добавить переходные отверстия вне контура «экрана» с примерным шагом 4–8 мм.

Необходимо обратить внимание на следующее:

– при расстановке можно использовать сетку с шагом более 0,1 мм;

– расстояние от края любого переходного отверстия до контура ПП должно быть не менее 0,5 мм;

– если требуется вставить скопированную группу переходных отверстий вместе с подключением к цепи, то необходимо запустить команду **Edit ⇒ Paste Special**, в появившемся окне включить опцию **Keep net name** и нажать кнопку **Paste** (команда однократная);

– если были добавлены переходные отверстия без подключения к цепи, то сначала они выделяются через панель **PCB Filter** (нужный запрос формируется в группе Select objects to highlight при установке галочки на пересечении строки Via и столбца Free) или с помощью команды **Find Similar Objects** (см. Г.6), после чего подключаются в панели **PCB Inspector**.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.104.

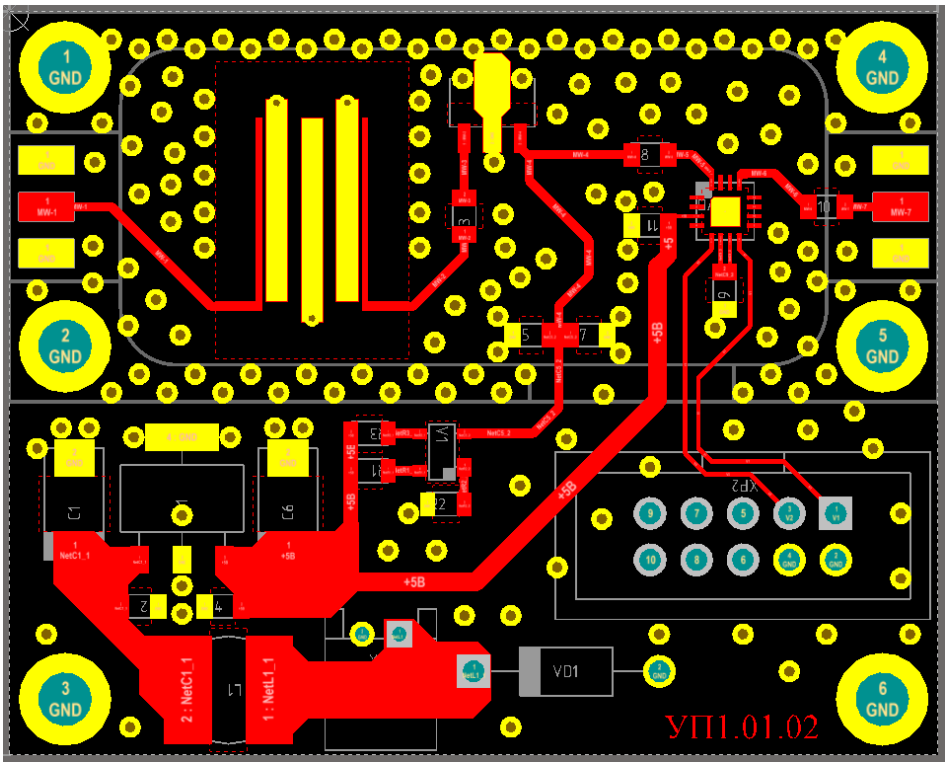


Рис. 12.104

Примечание. Команда Edit ⇒ Paste Special также позволяет вставить скопированные из другого слоя объекты в текущий слой при включении опции Paste on current layer и вставить массив объектов, параметры которого настраиваются в следующем окне при нажатии кнопки Paste Array.

16.2. Если в центре посадочного места микросхемы аттенюатора есть желтая КП (соединение с цепью GND), то прямо на нее последовательным нажатием клавиш **P ⇒ V** добавить несколько переходных отверстий **v90h40** с цепью **GND**.

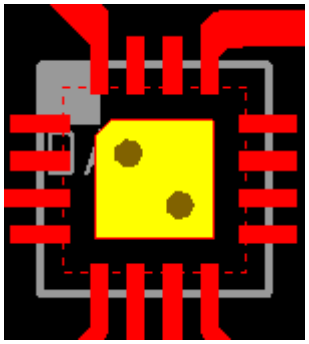


Рис. 12.105

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.105.

Примечание. Если КП имеет небольшие размеры, то можно разместить одно переходное отверстие v90h40 или v120h60.

16.3. Включить видимость связывающих линий цепи **GND** и убрать отображение их желтым цветом.

Для этого в панели **PCB** в режиме работы с цепями (**Nets**) выбрать класс цепей **Power**, после чего в группе с цепями слева от **GND** убрать галочку и на этой же строке выполнить **ПКМ ⇒ Connections ⇒ Show**.

Примечание. Включить отображение связывающих линий всех цепей можно командой View ⇒ Connections ⇒ Show All.

16.4. Перейти в сетку **0.5** мм.

16.5. Добавить на слой Top Layer полигон Polygon Pour (см. п. 3 из Г.26), подключенный к цепи GND:

– последовательно нажать клавиши **P ⇒ G**;

– в появившемся окне свойств на вкладке **Graphical** в списке **Connect to Net** выбрать цепь **GND**, а в поле **Name** записать имя полигона **TopGND**;

– остальные настройки оставить по умолчанию (см. рис. Г.72) и применить изменения;

– в рабочем поле нарисовать контур полигона, последовательно указав все вершины контура ПП;

– завершить команду щелчком ПКМ.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.106.

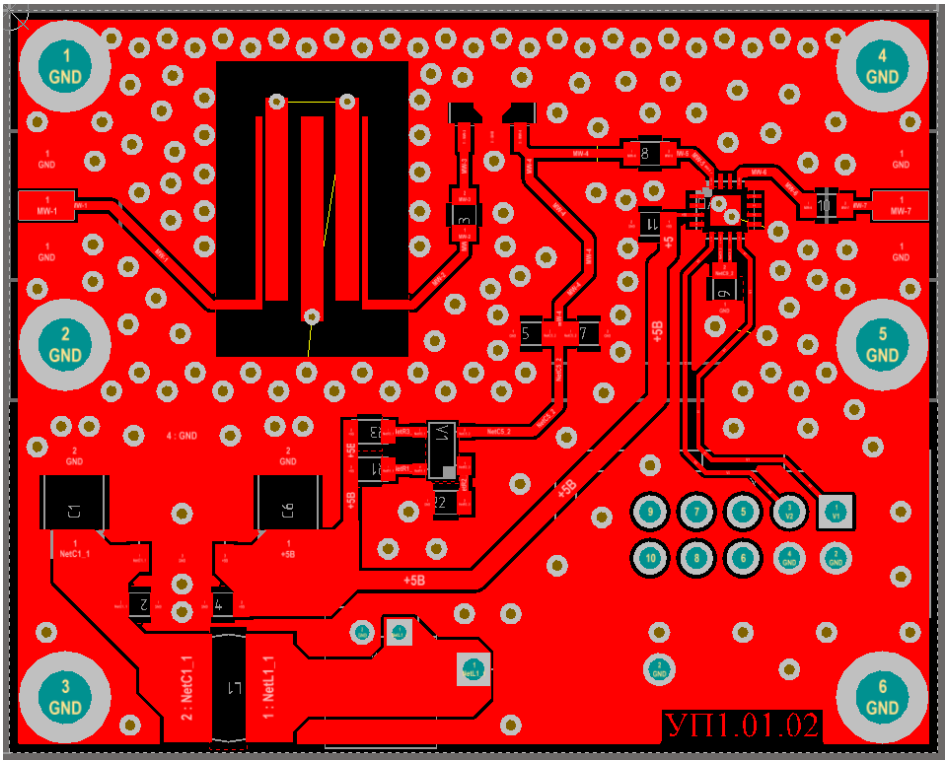


Рис. 12.106

Примечание. Автоматически созданные зазоры от полигона до объектов других цепей определяются правилом проектирования C, а зазоры до контура ПП – правилом проектирования BOC (см. табл. Г.7).

16.6. Добавить на слой Bottom Layer полигон Polygon Pour, подключенный к цепи GND.

Это можно сделать по аналогии с полигоном на слое Top Layer, но для этого полигона рекомендуется воспользоваться альтернативным способом:

– запустить команду **Tools ⇒ Polygon Pours ⇒ Polygon Manager**;

– в открывшемся окне Polygon Pour Manager в группе **View/Edit** выбрать строку с полигоном **TopGND**, после чего нажать кнопку **Create New Polygon from** с опцией **Selected Polygon**;

– в появившемся окне Polygon Pour в поле **Name** записать имя полигона **BottomGND**, в списке **Layer** выбрать слой **Bottom Layer** и убедиться в том, что в списке **Connect to Net** выбрана цепь **GND**. Остальные настройки оставить по умолчанию (см. рис. Г.72) и применить изменения;

– в окне **Polygon Pour Manager** нажать кнопку **Apply** и в открывшемся окне подтвердить изменения;

– убедиться в успешности создания полигона, выбрав его в группе **Pour Order** (рис. 12.107), и закрыть окно **Polygon Pour Manager** кнопкой **OK.**

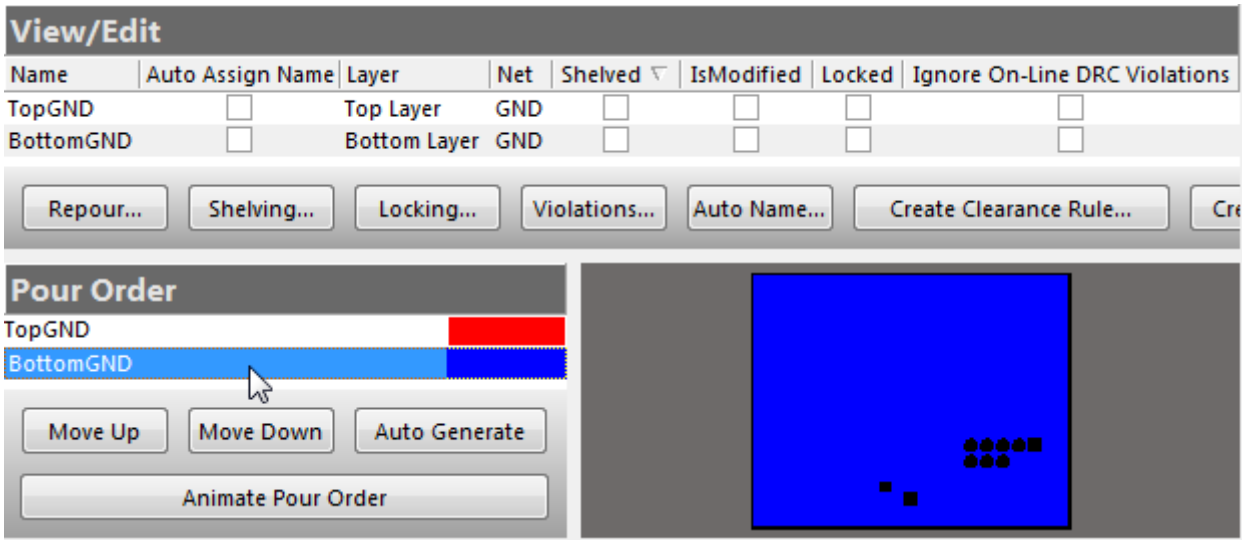


Рис. 12.107

Примечание. Назначение элементов окна Polygon Pour Manager приведено в п. 3.5 из Г.26.

16.7. Увеличить зазоры от заполнений полигонов **TopGND** и **BottomGND** (цепь GND) до объектов других цепей с 0,2 до 0,5 мм, для чего создать новое правило:

– запустить команду **Design ⇒ Rules** и в открывшемся окне PCB Rules and Constraints Editor на подразделе **Design Rules ⇒ Electrical ⇒ Clearance** выполнить команду **ПКМ ⇒ New Rule**;

– в указанном подразделе выбрать ЛКМ правило **Clearance**;

– в правой части окна в группе **Where The First Object Matches** в единственном списке выбрать опцию **Custom Query**, после чего нажать появившуюся кнопку **Query Builder**;

– в появившемся окне построить запрос, в котором описать два созданных полигона **Polygon Pour** (рис. 12.108), после чего нажать кнопку **OK**.

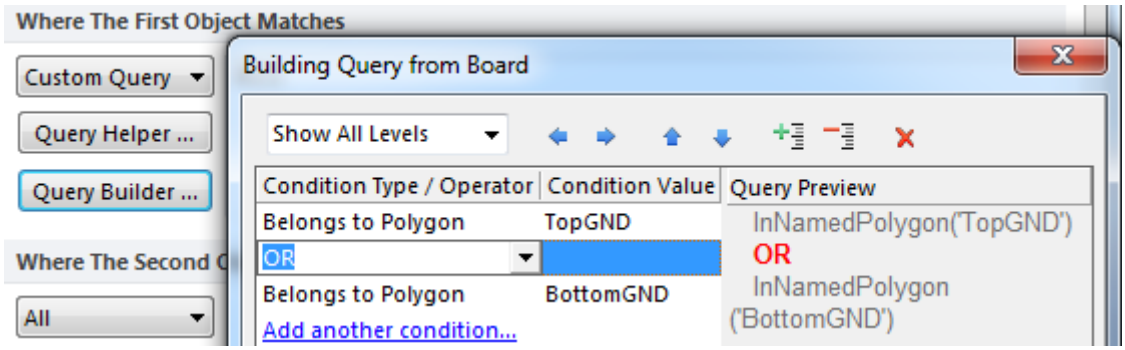


Рис. 12.108

Примечания:

– для построения указанного запроса сначала в столбце Condition Type / Operator выбирается опция Belongs to Polygon (объект принадлежит полигону), после чего в столбце Condition Value – имя полигона. Для добавления нового условия нажимается ссылка Remove another condition. После указания двух полигонов в первом столбце выбирается оператор OR;

– также можно было построить запрос, показанный на рис. 12.109. В этом случае правило будет распространяться на любые полигоны Polygon Pour, подключенные к цепи GND;

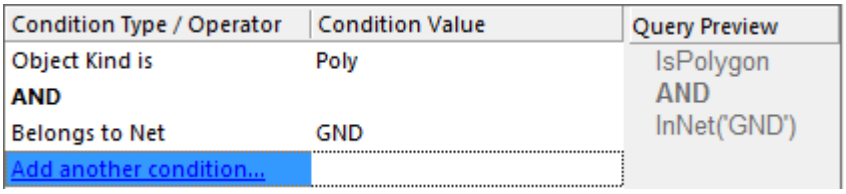


Рис. 12.109

– в группе **Constraints** в поле **Minimum Clearance** записать **0.5mm**;

– в поле **Name** изменить имя правила на **C_PolyGND_0.5mm**;

– в нижней части окна нажать кнопку **Apply**;

– убедиться в том, что у созданного правила установлен более высокий приоритет, чем у правила **C** (рис. 12.110), т. е. оно находится в списке правил данного подраздела выше;

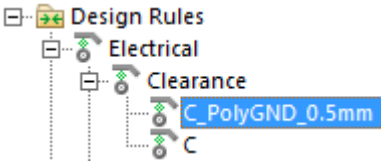


Рис. 12.110

– в нижней части окна нажать кнопку **OK**.

В результате в рабочем поле практически на всех объектах ПП появится текстура, обозначающая обнаруженные нарушения, которые связаны с тем, что полигоны не были автоматически перестроены. Полигоны будут обновлены далее.

Примечание. Информация о приоритетах правил приведена в п. 5.15.

16.8. Для обеспечения волнового сопротивления 50 Ом полосковых элементов в СВЧ-тракте необходимо обеспечить между краем трассы и ближайшей металлизацией зазор величиной в 2–3 раза большей базовой толщины диэлектрика (параметр *h*).

Для этого выполнить следующие действия:

– запустить команду **Design ⇒ Classes**;

– в появившемся окне Object Class Explorer на подразделе **Object Classes ⇒ Net Classes** выполнить команду **ПКМ ⇒ Add Class**;

– созданному классу задать имя **MWPath**.

Примечание. Изменить имя классу цепей также можно клавишей F2 или командой ПКМ ⇒ Rename Class;

– выбрать созданный класс цепей и в правой части окна Object Class Explorer в поле под заголовком **Non-Members** (объекты вне класса) записать маску **MW**, в результате чего в списке окажутся только цепи СВЧ-тракта;

– в любом месте области с цепями, которые не входят в данный класс, выполнить команду **ПКМ ⇒ Add All**, в результате чего они окажутся в списке Members (объекты в классе);

– применить изменения в окне Object Class Explorer (рис. 12.111).

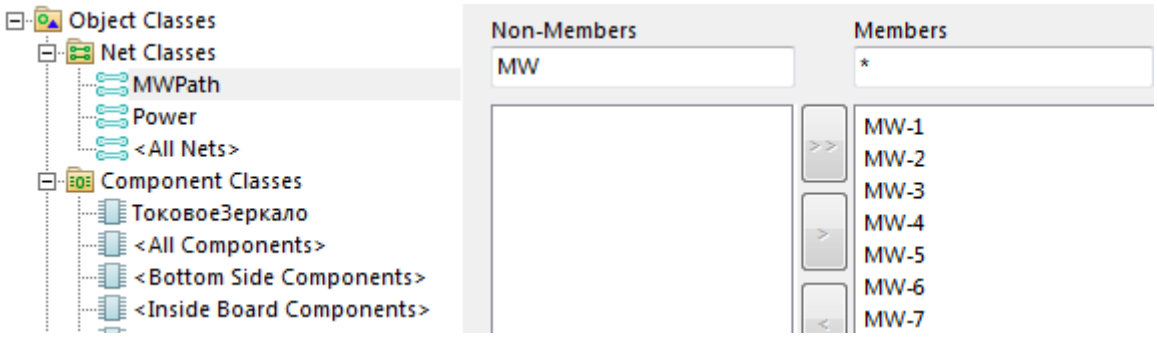


Рис. 12.111

Примечания:

– перемещать объекты также можно с помощью пиктограмм, расположенных между списками Non-Members и Members;

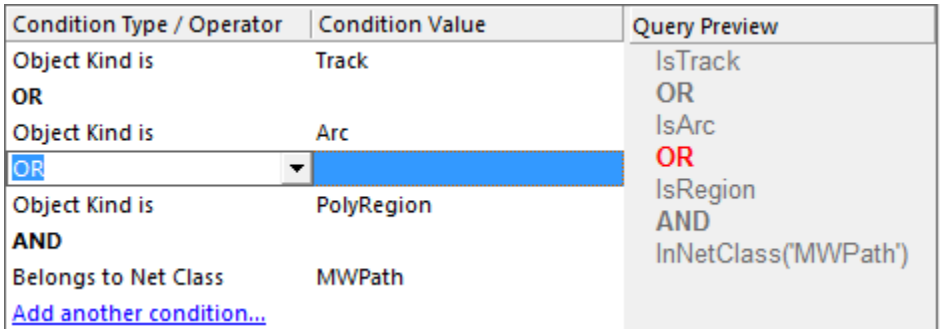
– класс цепей MW_Path необходим, чтобы в дальнейшем при создании правила не перечислять каждую входящую в него цепь по отдельности;

– запустить команду **Design ⇒ Rules** и в открывшемся окне PCB Rules and Constraints Editor на подразделе **Design Rules ⇒ Electrical ⇒ Clearance** выполнить команду **ПКМ ⇒ New Rule**;

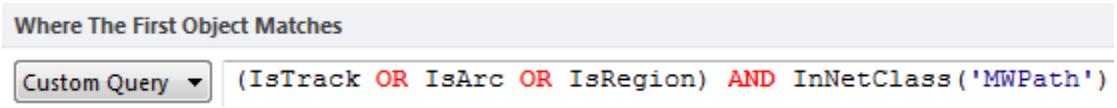
– в указанном подразделе выбрать ЛКМ правило **Clearance**;

– в правой части окна в группе **Where The First Object Matches** в единственном списке выбрать опцию **Custom Query**, после чего нажать появившуюся кнопку **Query Builder**;

– в появившемся окне построить запрос, в котором описать линии, скругления и полигоны Solid Region, принадлежащие любым цепям из класса цепей **MWPath** (рис. 12.112, *а*), после чего нажать кнопку **OK**;



а



б

Рис. 12.112

– в группе **Where The First Object Matches** для автоматического созданного запроса скорректировать положение скобок (рис. 12.112, *б*);

– в группе **Where The Second Object Matches** после выбора опции **Custom Query** создать (или скопировать) запрос с рис. 12.108 или 12.109;

– определить величину зазора, указанного в начале данного пункта, после чего записать ее в группе **Constraints** в поле **Minimum Clearance**.

Примечание. В варианте «П1» зазор составил 1,2 мм;

– в поле **Name** изменить имя правила на **C_MWPath-PolyGND** с указанием величины зазора;

– применить изменения кнопкой **Apply**;

– убедиться в том, что у созданного правила установлен более высокий приоритет, чем у двух других правил (рис. 12.113);

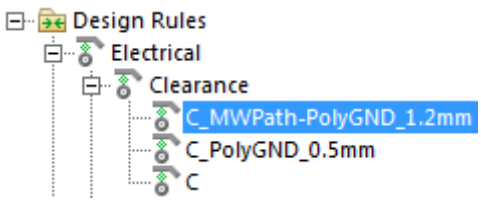
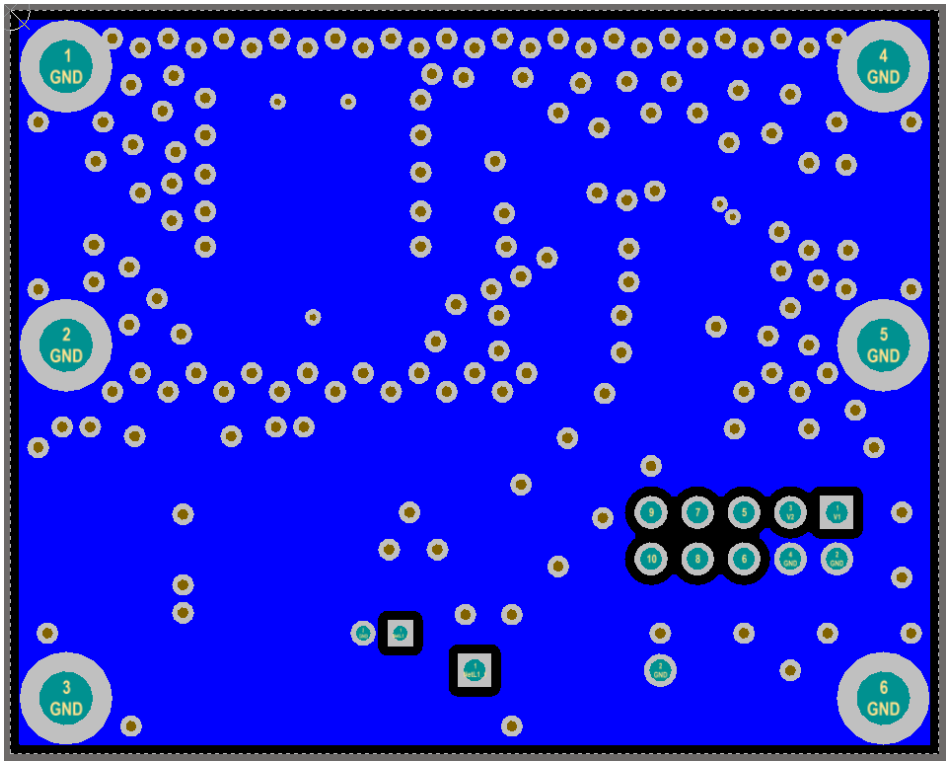


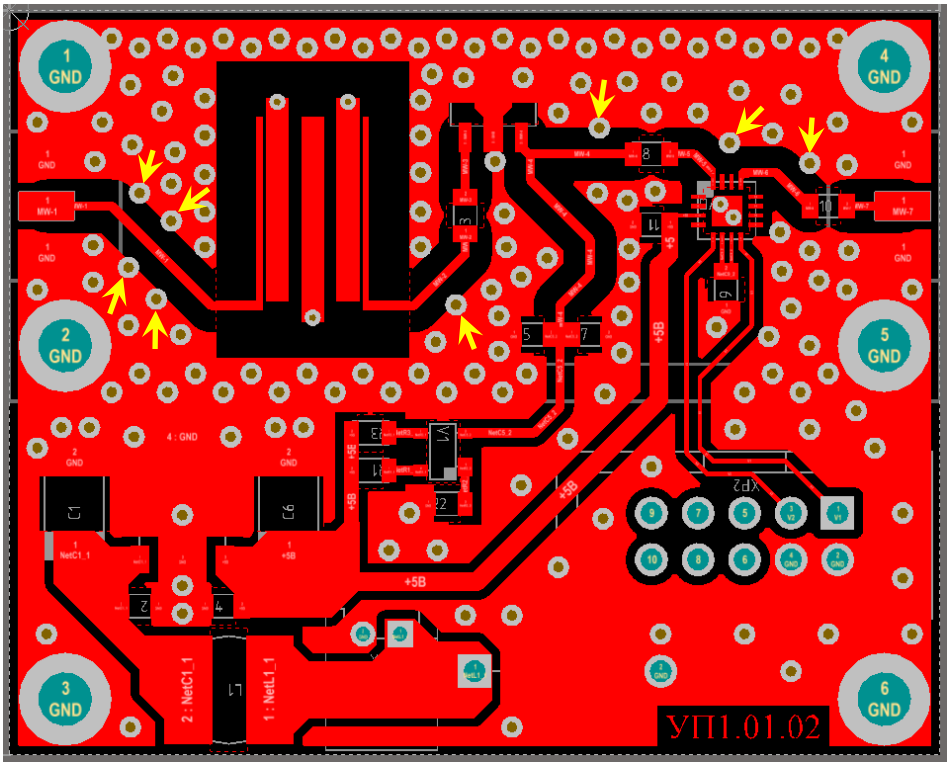
Рис. 12.113

– в нижней части окна нажать кнопку **OK**.

16.9. Перестроить полигоны Polygon Pour с нарушениями правил проектирования, для чего запустить команду **Tools ⇒ Polygon Pours ⇒ Repour Violating Polygons**.



а



б

Рис. 12.114

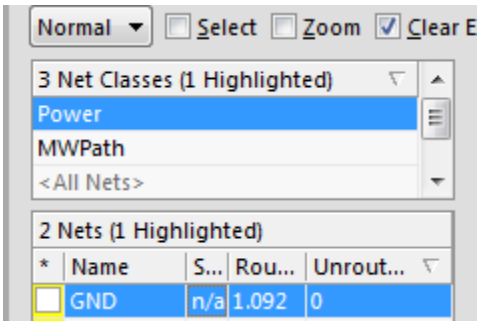
Результат в варианте «П1» на данном этапе для слоя Bottom Layer показан на рис. 12.114, *а*, а для слоя Top Layer – на рис. 12.114, *б*.

Примечание. Переход на слой Bottom Layer осуществлен сменой набора слоев на Bottom.

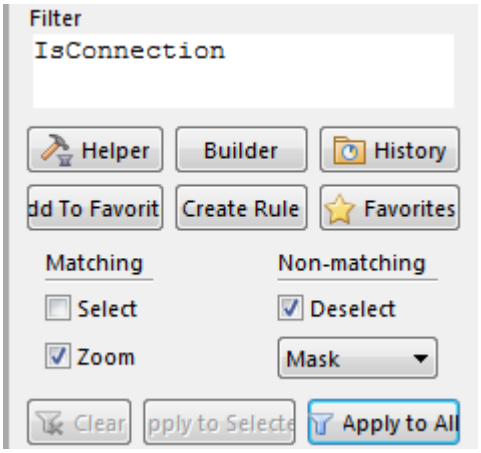
16.10. Убедиться в том, что включен набор слоев **Shield** и сделан текущим слой **Top Layer**.

16.11. Убедиться в том, что в файле трассировки на данном этапе не осталось участков цепи GND, которые не соединены друг с другом металлизацией.

Для этого в панели **PCB** посмотреть значение в столбце **Unrouted (Manhattan)** для данной цепи (рис. 12.115, *а*).



а



б

Рис. 12.115

Если указанное значение отлично от нуля, то выполнить следующие действия:

– перейти в сетку **0.1** мм;

– найти связывающие линии, для чего в панели **PCB Filter** в поле **Filter** написать запрос **IsConnection**, установить опции как на рис. 12.115, *б* и нажать кнопку **Apply to All**;

– соединить требуемые КП с ближайшими полигонами, подключенными к цепи GND, с помощью трасс. Также для соединения можно использовать полигоны Solid Region с уменьшением сетки и временным отключением привязки к характерным точкам (комбинация клавиш **Shift+E** до исчезновения надписи Hotspot Snap в информационном поле);

– повторить действия по поиску связывающих линий и соединению обнаруженных мест до получения нуля в столбце **Unrouted (Manhattan)** в панели **PCB** (рис. 12.115, *а*);

– снять фильтрацию комбинацией клавиш **Shift+C** или кнопкой **Clear** из нижнего правого угла рабочего поля (см. рис. 5.9) или из панели PCB Filter.

16.12. Перейти в сетку **0.1** мм.

16.13. Отредактировать положение переходных отверстий так, чтобы они полностью находились внутри областей заполнения полигона **TopGND** (неудачно расположенные переходные отверстия в варианте «П1» показаны

на рис. 12.114, *б* желтыми стрелками). Также можно удалить лишние переходные отверстия или добавить новые, подключенные к цепи **GND**.

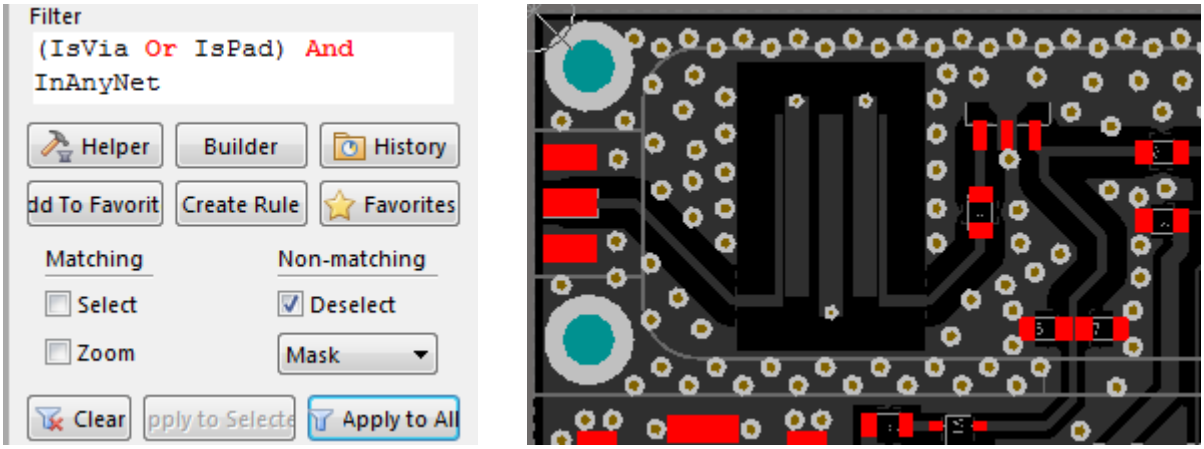
Чтобы при корректировке не выделялись другие объекты со слоя Top Layer и были видны планарные КП, необходимо выполнить следующие подготовительные действия:

– в панели **PCB Filter** сформировать запрос, установив в группе Select objects to highlight галочки на пересечении строк **Via** и **Pad** со столбцом **Net**, включить опции как на рис. 12.116, *а* и нажать кнопку **Apply to All**;

– отключить режим одного слоя (**Shift+S**);

– сделать текущим слой **M7 Shield**.

Фрагмент рабочего поля в варианте «П1» с примененной фильтрацией до корректировок показан на рис. 12.116, *б*.



а *б*

Рис. 12.116

16.14. Выполнить следующие действия:

– снять фильтрацию (**Shift+C**);

– сделать текущим слой **Top Layer**;

– включить режим одного слоя (**Shift+S**).

16.15. Заблокировать полигон **TopGND**.

Для этого запустить команду **Tools ⇒ Polygon Pours ⇒ Polygon Manager** и в открывшемся окне в группе **View/Edit** поставить галочку в столбце **Locked**. Затем нажать кнопку **Apply**, в открывшемся окне подтвердить изменения, после чего закрыть окно кнопкой **OK**.

Примечание. Заблокированный полигон не будет попадать под выделение. Также это можно сделать в его свойствах или в панели PCB Inspector.

16.16. Отредактировать заполнение полигона **TopGND**, удалив все его протяженные участки и большие неровности.

Необходимо обратить внимание на следующее:

– создавать вырезы удобно командой **Place ⇒ Polygon Pour Cutout**. Для завершения текущего выреза нажимается ПКМ, но это не приводит к выходу из команды, т. е. можно продолжать работу без повторного его запуска;

– можно корректировать контуры вырезов из состава посадочного места компонента. Для этого предварительно у выделенного компонента в панели PCB Inspector или в его свойствах отключается опция **Lock Primitives**;

– в отдельных случаях можно использовать сетку менее 0,1 мм;

– можно временно отключать привязку к характерным точкам (комбинация клавиш **Shift+E** до исчезновения надписи Hotspot Snap в информационном поле);

– для просмотра только одного полигона полезно в панели **PCB Filter** создать запрос **InPoly** (в группе Select objects to highlight можно поставить галочку на пересечении строки Polygon и столбца Free) и включить опции как на рис. 12.116, *а*. Для просмотра нажимается кнопка **Apply to All**, а для снятия выделения – кнопка **Clear** (или комбинация клавиш **Shift+C**);

– примеры редактирования в варианте «П1» показаны на рис. 12.117.

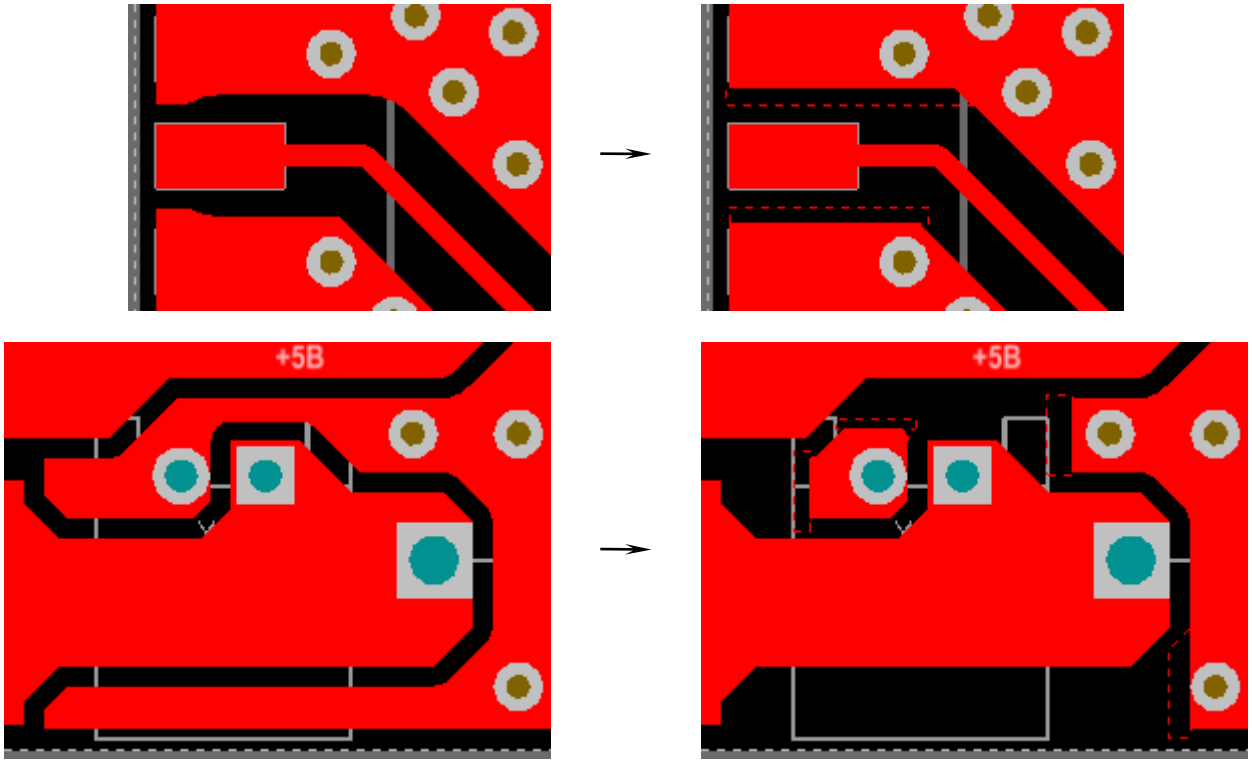


Рис. 12.117

16.17. При необходимости отредактировать места подключения полигона **TopGND** к переходным отверстиям и КП с помощью трасс.

Пример корректировки в варианте «П1» показан на рис. 12.118.

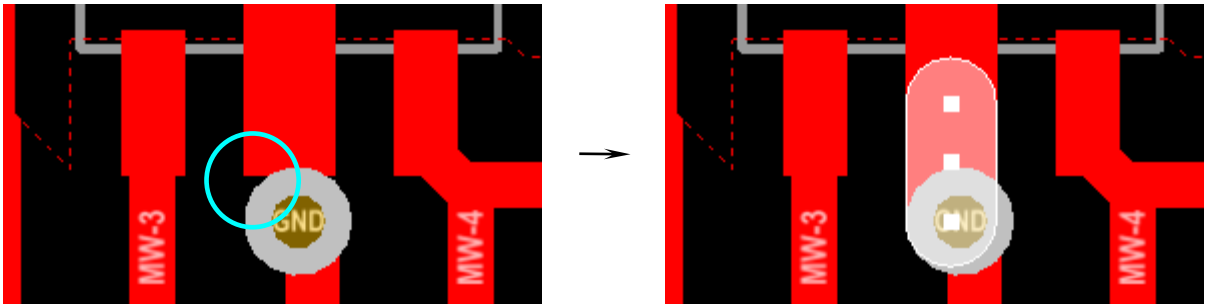


Рис. 12.118

17. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 12.119.

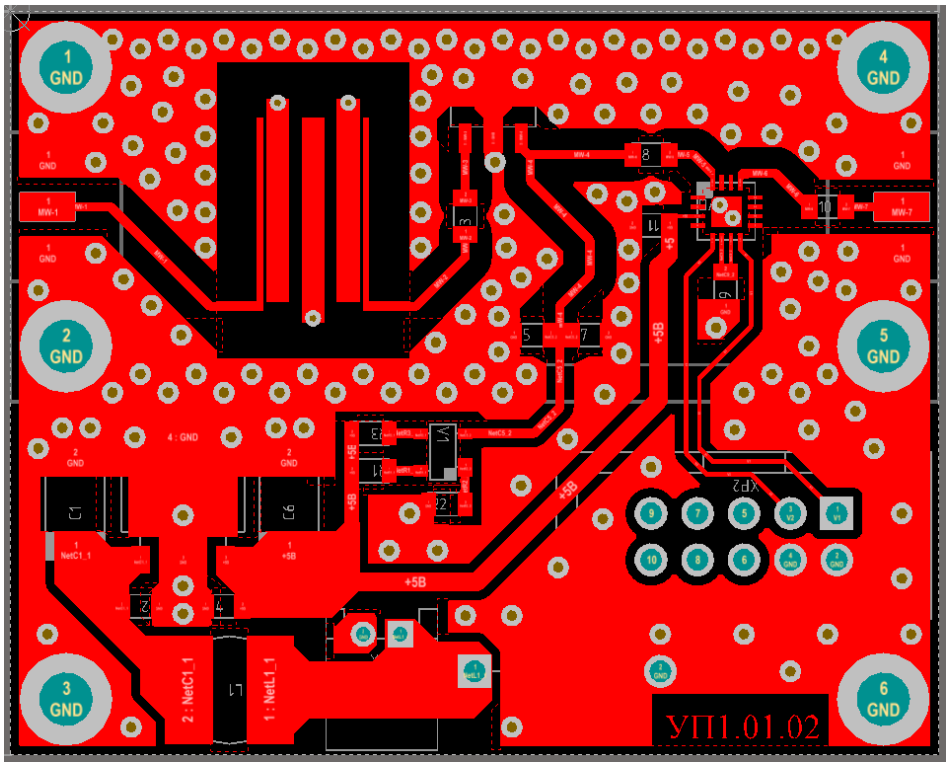


Рис. 12.119

18. Удалить защитную паяльную маску под «экраном» для обеспечения контакта с ним и исключения влияния ее на параметры СВЧ-тракта:

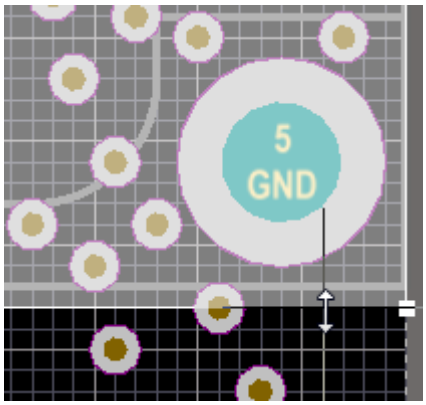


Рис. 12.120

– перейти в сетку **0.5** мм;

– включить набор слоев **TopSolder**;

– для отображения границ «экрана» на вкладках со слоями выполнить команду **ПКМ ⇒ Show Layers ⇒ M7 Shield**;

– с помощью полигона Solid Region (см. п. 2 из Г.26) нарисовать область по контуру «экрана», после чего расширить ее на 0,5 мм в направлении ПП (рис. 12.120).

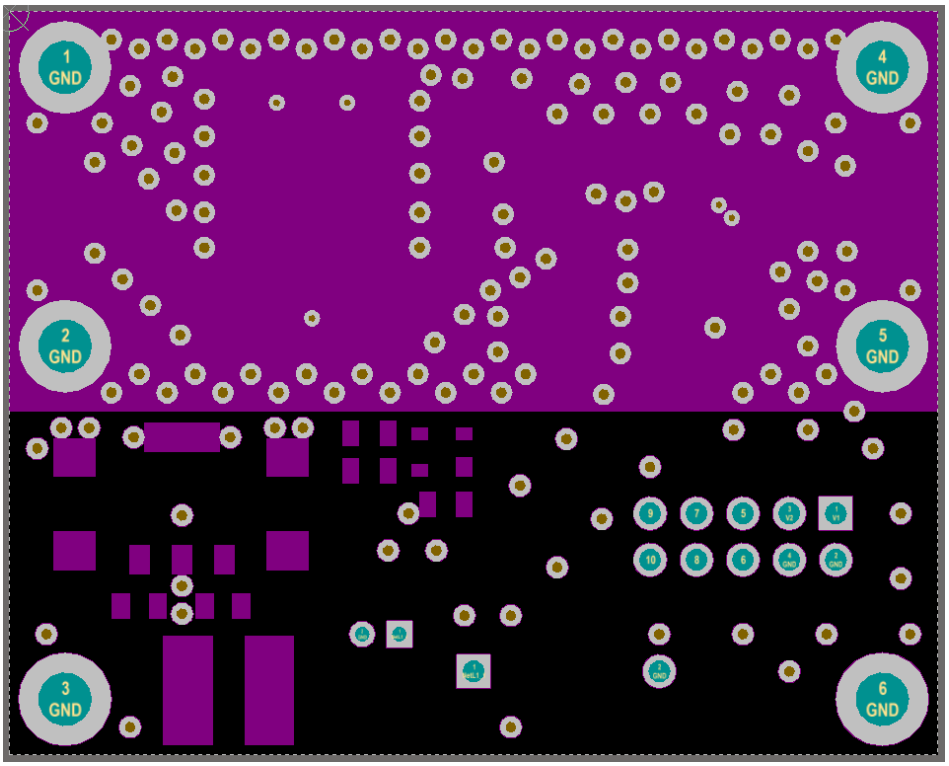


Рис. 12.121

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.121.

Примечания:

– изображения КП и переходных отверстий в слое Top Solder больше их габаритов со слоя Top Layer со всех сторон на величину, которая определена в правиле SME (см. табл. Г.7);

– при необходимости закрытия переходных отверстий защитной паяльной маской в их свойствах используются опции из раздела Solder Mask Expansions, которые аналогичны КП (см. п. 6 из Г.17).

19. Задать вскрытие защитной паяльной маски по контуру ПП со значением 0,25 мм, для чего выполнить следующее:

– перейти в сетку **0.25** мм;

– с помощью полигонов Fill (см. п. 1 из Г.26) нарисовать три узкие прямоугольные области шириной в один шаг сетки по контуру ПП в тех местах, которые в данный момент отображаются черным цветом.

Размещенные полигоны в варианте «П1» показаны на рис. 12.122 и отмечены стрелками.

Примечания:

– полигоны могут накладываться на другие объекты этого слоя;

– места вскрытия маски по контуру ПП, как и отступы металла от него, требуются при фрезеровке.

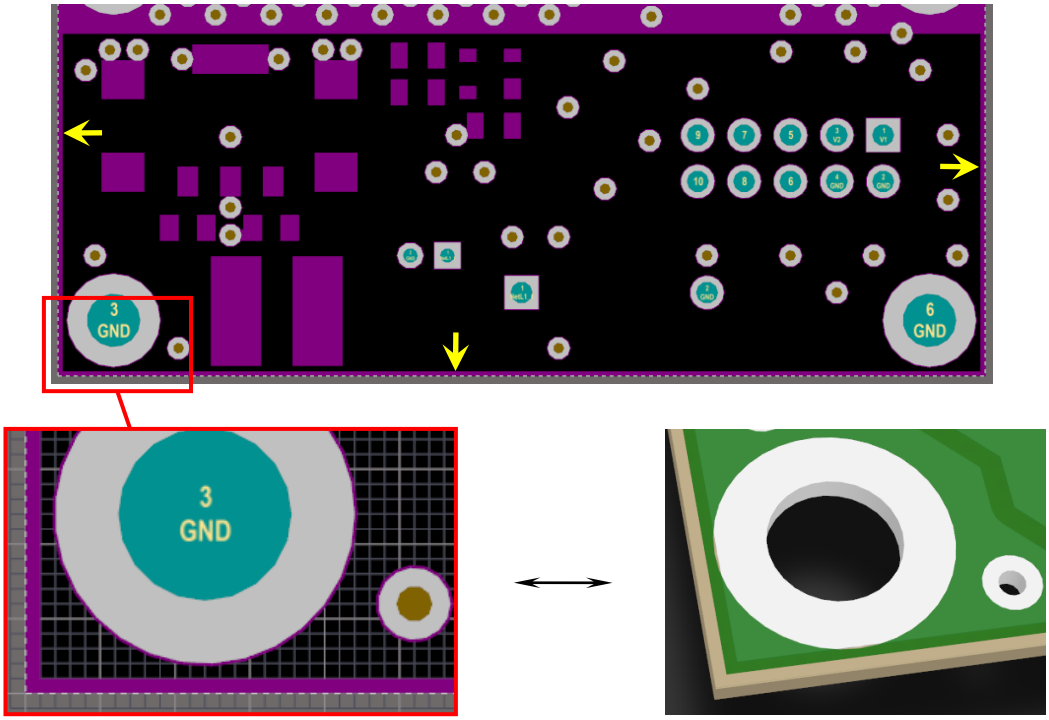


Рис. 12.122

20. Добавить таблицу со списком отверстий проекта, для чего выполнить следующие действия:

– включить набор слоев **All**;

– отключить режим одного слоя (**Shift+S**);

– запустить команду **Place ⇒ Drill Table** и ЛКМ указать положение таблицы в любом свободном месте рабочего поля за пределами контура ПП;

– открыть окно свойств таблицы (команда **ПКМ ⇒ Properties**);

– в открывшемся окне Drill Table в таблице оставить только столбцы **Symbol** (условное обозначение отверстия), **Count** (количество), **Hole Size** (диаметр отверстия), **Plated** (наличие металлизации в отверстии), **Hole Type** (форма отверстия), **Via/Pad** (отношение отверстия к переходному отверстию или КП), **Pad Shape** (форма металлизации на сигнальных слоях), **Template** (наименование шаблона). Остальные столбцы удалить по отдельности: сначала щелкнуть ЛКМ в любой ячейке удаляемого столбца, после чего нажать кнопку **Remove Column**;

– зажать ЛКМ на заголовке столбца **Hole Size** и переместить его на границу между столбцами **Symbol** и **Count**;

– сделать сортировку данных в порядке увеличения диаметра отверстия, для чего осуществить необходимое количество щелчков ЛКМ по заголовку столбца **Hole Size**;

– в группе **Font Kind** выбрать тип шрифта **TrueType**;

– в группе **Units** отключить опцию **Add secondary units** (данные будут представлены только в одной системе измерения) и в списке **Precision** напротив опции **Metric** выбрать точность отображения данных – **1**;

– нажать кнопку **Configure Drill Symbols**, после чего в открывшемся окне Drill Symbols нажать кнопку **Grouping** и в выпадающем списке выбрать опцию **Template** (присвоение условных обозначений с учетом разных названий шаблонов). Также в группе Draw Symbols включить опцию **Show Drill Symbols** (отображать условные обозначения отверстий на слое Drill Drawing в рабочем поле), после чего применить изменения кнопкой **OK**;

– применить изменения в окне **Drill Table** кнопкой **OK**;

– при необходимости скорректировать положение таблицы и ее размеры.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.123 (рисунок сделан в режиме одного слоя, так как красные буквы на сером фоне плохо различимы).

Symbol	Hole Size	Count	Plated	Hole Type	Via/Pad	Pad Shape	Template
	0,4mm	5	PTH	Round	Via	Rounded	v90h40
	0,6mm	151	PTH	Round	Via	Rounded	v120h60
	0,8mm	1	PTH	Round	Pad	Rounded	c140h80
	0,8mm	1	PTH	Round	Pad	Rounded Rectangle	s140h80r1
	1,2mm	2	PTH	Round	Pad	Rounded Rectangle	s180h120r1
	1,2mm	10	PTH	Round	Pad	Rounded	c180h120
	2,9mm	6	PTH	Round	Pad	Rounded	c500h290
		176 Total					

Рис. 12.123

Примечания:

– таблица создается на слое Drill Drawing, а данные в ней обновляются автоматически без запуска каких-либо дополнительных команд;

– в окне Drill Table кнопкой Change header можно изменять названия заголовков столбцов. Кнопка Add Column служит для добавления столбцов;

– в столбце Plated металлизированные отверстия обозначаются PTH, а неметаллизированные – NPTH;

– в панели PCB Inspector можно поменять положение таблицы, указав координаты ее нижнего или верхнего левого угла (зависит от значения в списке Alignment в окне Drill Table), и ее размеры, изменив высоту шрифта;

– окно Drill Symbols также можно открыть командой ПКМ ⇒ Configure Drill Symbols, выполненной на вкладках со слоями.

21. Добавить таблицу со структурой ПП, для чего выполнить следующие действия:

– запустить команду **Place ⇒ Layer Stack Table**;

– нажать клавишу **Tab** для открытия окна свойств таблицы;

– в открывшемся окне Layer Stack Table в группе **Options** в списке **Layer** выбрать слой **M3 Top Assy**;

– в группе **Units** выбрать опцию **Metric**;

– в группе **Board Map Options** отключить опцию **Draw Board Map**;

– в группе **Font Kind** выбрать тип шрифта **TrueType**;

– применить изменения кнопкой **OK** и ЛКМ указать положение таблицы в любом свободном месте рабочего поля за пределами контура ПП.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.124.

Layer	Name	Material	Thickness	Constant	Board Layer Stack
1	Top Overlay				
2	Top Solder	FSR 8000-8G	0.025mm	3.5	
3	Top Layer	Copper	0.038mm		
4	Dielectric	AD1000-0.508-18/18	0.508mm	10	
5	Bottom Layer	Copper	0.038mm		

Рис. 12.124

Примечания:

– данные в таблице обновляются автоматически в соответствии с информацией из окна Layer Stack Manager (см. п. 5 из 12.1);

– название последнего столбца на рис. 12.124 соответствует названию стека из окна Layer Stack Manager (кнопка Advanced). Количество подобных столбцов определяется количеством стеков в файле трассировки.

Наличие штриховки для слоя в столбце стека означает, что он входит в его состав. Расположение стеков обозначается соответствующей им штриховкой на эскизе ПП, который автоматически формируется под таблицей при включении опции Draw Board Map в окне ее свойств (опцией Scale можно настроить масштаб эскиза).

Так как в вариантах задания используется только один стек, то необходимости в добавлении эскиза ПП нет.

22. Скорректировать шелкографию:

22.1. Удалить шелкографию под «экраном» (в этой области также отсутствует защитная паяльная маска).

Для этого выполнить следующие действия:

– включить набор слоев **Shield**;

– убедиться в том, что включена привязка к характерным точкам на текущем слое (Hotspot Snap) и отключен режим одного слоя (**Shift+S**);

– последовательно нажать клавиши **S ⇒ U** (или запустить команду **Edit ⇒ Select ⇒ Touching Rectangle**) и в рабочем поле по двум точкам нарисовать прямоугольный контур, совпадающий с внешним контуром «экрана».

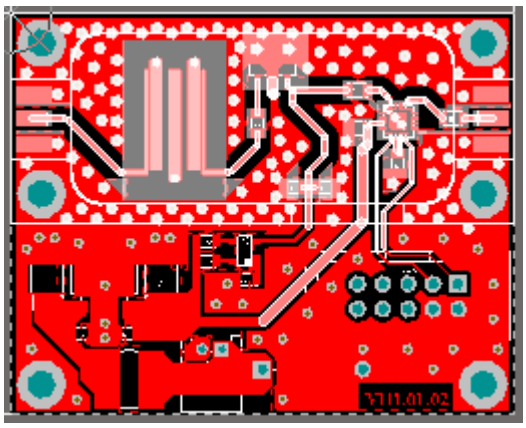


Рис. 12.125

В результате выделенными окажутся все объекты из видимых слоев, полностью и частично попавших в контур «экрана» (рис. 12.125).

В вариантах задания с угловым «экраном» выделить объекты за два раза, мысленно разбив «экран» на прямоугольники, при этом непосредственно перед указанием второй точки второго прямоугольного контура необходимо зажать клавишу **Shift**;

– запустить команду **Design ⇒ Classes**;

– в появившемся окне Object Class Explorer на подразделе **Object Classes ⇒ Component Classes** выполнить команду **ПКМ ⇒ Add Class** и присвоить созданному классу имя **CompShield**;

– выбрать созданный класс компонентов и в правой части окна Object Class Explorer между двумя столбцами нажать единственную активную пиктограмму для добавления в класс выделенных в рабочем поле компонентов;

– применить изменения в окне Object Class Explorer;

– включить набор слоев **All**;

– в панели **PCB** перейти в режим работы с компонентами (**Components**), включить опцию **Select** и выбрать класс **CompShield**, в результате чего в рабочем поле выделятся только компоненты из указанного класса;

– в панели **PCB Inspector** в группе **Graphical** для опции **Lock Primitives** выставить значение **False** (может потребоваться несколько щелчков ЛКМ);

– в панели **PCB Filter** создать запрос для выбора линий и дуг со слоя Top Overlay из состава посадочных мест компонентов класса CompShield.

Для этого в группе Select objects to highlight поставить галочки на пересечении строк **Track** и **Arc** со столбцом **Comp**, в группе Layer поставить га-

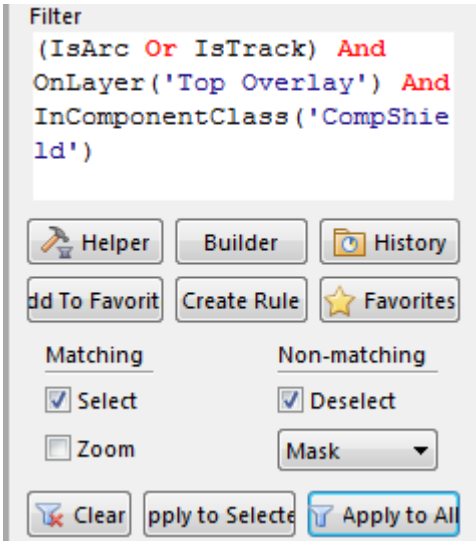


Рис. 12.126

лочку для слоя **Top Overlay** и в поле Filter в конце дописать выражение **And InComponentClass('CompShield')**;

– включить опции как на рис. 12.126 и нажать кнопку **Apply to All**.

Примечание. Показанный на рисунке запрос отличается от сформированного автоматически тем, что из него удалено два условия. Тем не менее по своему действию он идентичен исходному;

– убедиться в том, что выделены нужные объекты, и нажать клавишу **Delete**;

– в панели **PCB** с включенной опцией **Select** выбрать класс **CompShield**;

– в панели **PCB Inspector** в группе **Graphical** для опции **Show Name** выставить значение **False**, а для опции **Lock Primitives** – значение **True** (может потребоваться несколько щелчков ЛКМ);

– снять выделение с объектов в рабочем поле щелчком ЛКМ в любом пустом месте или нажатием комбинации клавиш **Shift+C**.

22.2. Выполнить подготовительные действия для корректировки положения позиционных обозначений:

– перейти в 3D-режим просмотра (клавиша **3**);

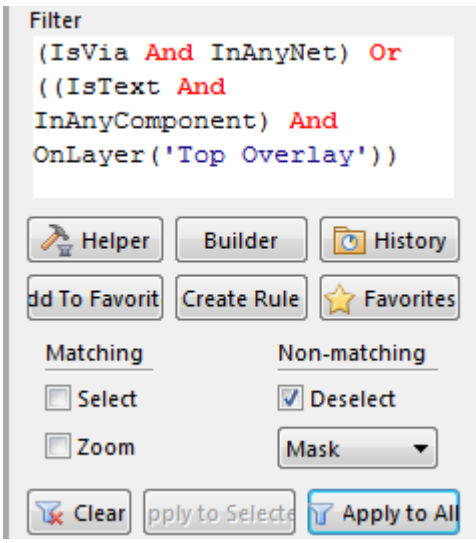


Рис. 12.127

– перейти в сетку **0.1** мм;

– включить набор слоев **TopOverlay**;

– открыть окно **View Configurations** (клавиша **L**) и в группе **General** в списке **Projection** выбрать опцию **Orthographic**, после чего применить изменения кнопкой **OK**;

– в панели **PCB Filter** создать запрос для выбора переходных отверстий и надписей со слоя Top Overlay из состава посадочных мест.

Для этого в группе **Select objects to highlight** поставить галочки на пересечении строки **Text** со столбцом **Comp** и на пересечении строки **Via** со столбцом **Net**, в группе Layer поставить галочку для слоя **Top Overlay** и в поле **Filter** скорректировать скобки;

– включить опции как на рис. 12.127 и нажать кнопку **Apply to All**.

22.3. Скорректировать положения позиционных обозначений так, чтобы они располагались следующим образом:

– за пределами 3D-моделей компонентов;

– целиком на защитной паяльной маске с минимальным зазором до мест ее отсутствия в 0,15 мм (можно ориентироваться по ширине линий в надписи, которая тоже составляет 0,15 мм);

– с минимальным зазором до края ПП в 0,5 мм (можно ориентироваться по отступу полигона TopGND от края ПП).

Некоторые особенности корректировки:

– при перемещении позионного обозначения подсвечивается тот компонент, к которому оно принадлежит (рис. 12.128);

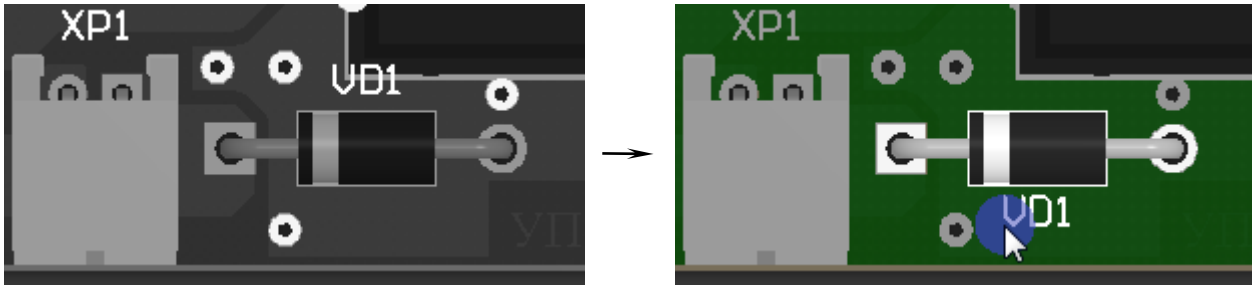


Рис. 12.128

– желательно ориентировать позиционное обозначение так же, как и корпус компонента (например, *C1* и *C6* на рис. 12.129).

Примечание. Поворот позиционных обозначений (клавиша Space или комбинация клавиш Shift+Space) рекомендуется делать на угол 0° для горизонтальной ориентации и на угол 90° для вертикальной ориентации. Совместное использование с углами поворота 180° и 270° нежелательно;

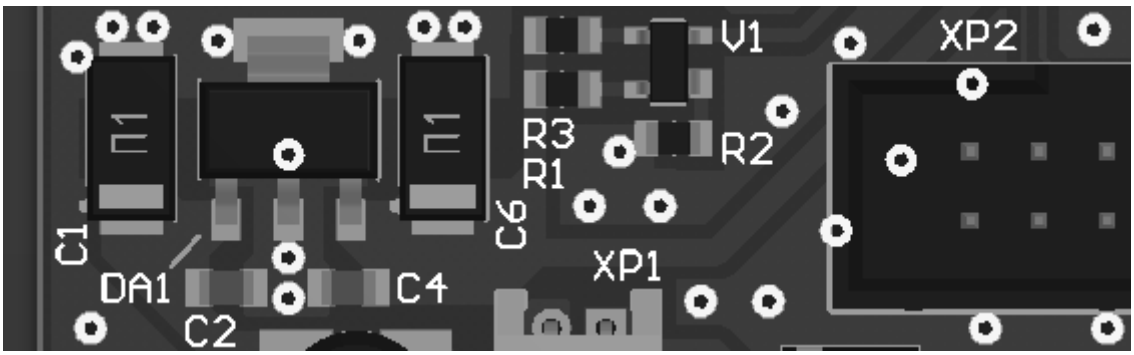


Рис. 12.129

– если для позиционного обозначения не хватает места, то его можно разместить на расстоянии от компонента, сопроводив поясняющей графикой (например, линия у *DA1* на рис. 12.129). Графика создается в 2D-режиме просмотра (клавиша **2**) с включенным набором слоев **TopOverlay**. После этого

необходимо вернуться в 3D-режим просмотра (клавиша **3**), снова включить набор слоев **TopOverlay** и убедиться в том, что соблюдены необходимые зазоры до областей отсутствия защитной паяльной маски.

Примечание. Подобным образом можно оформить группу плотно расположенных компонентов. Для этого они обводятся общим контуром, который соединяется линией с таким же контуром на свободном месте ПП. Внутри последнего расставляются позиционные обозначения с ориентацией и положением, соответствующим ориентации и положению компонентов;

– для группы компонентов, расположенных в ряд, позиционные обозначения можно ставить рядом в такой же последовательности без пояснительной графики (например, *R3* и *R1* на рис. 12.129);

– для освобождения места при необходимости можно корректировать положение переходных отверстий или удалять лишние.

22.4. Выполнить подготовительные действия для корректировки шелкографии из состава посадочных мест компонентов:

– в 3D-режиме просмотра открыть окно **View Configurations** (клавиша **L**) и в группе **General** в списке **Projection** выбрать опцию **Perspective**, после чего применить изменения кнопкой **OK**;

– снять фильтрацию (например, кнопкой **Clear** в панели **PCB Filter**);

– перейти в 2D-режим просмотра (клавиша **2**);

– включить набор слоев **TopOverlay**;

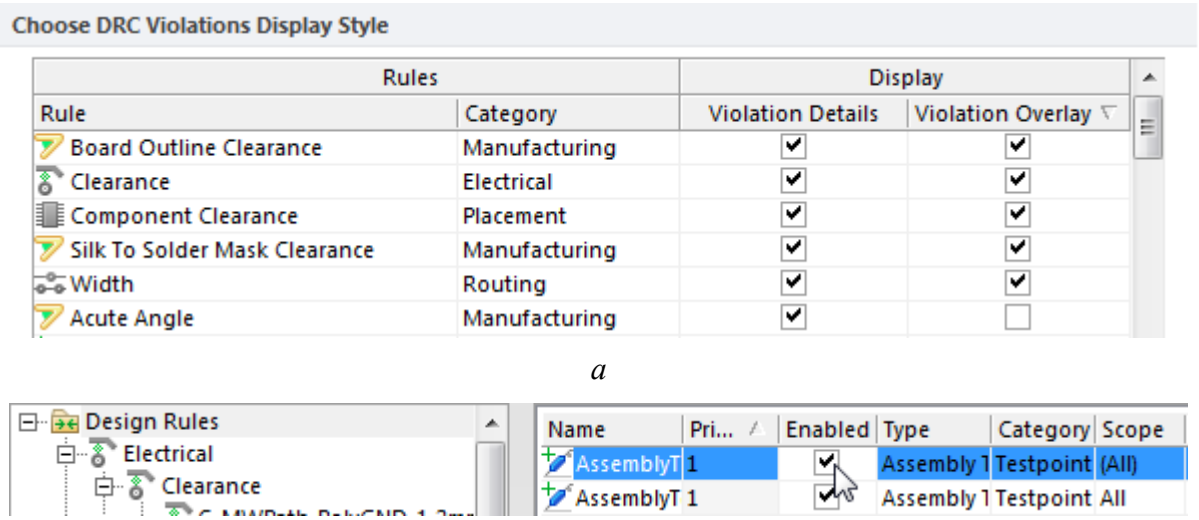
– включить режим одного слоя (**Shift+S**);

– запустить команду **Tools ⇒ Design Rule Check** и в открывшемся окне в категории правил **Rules To Check ⇒ Manufacturing** для правил **Silk To Solder Mask Clearance** и **Board Outline Clearance** поставить галочки в столбце **Online** (рис. 12.130), после чего применить изменения кнопкой **OK**;

Rule	Category	Online	Batch
Board Outline Clearance	Manufacturing	☑	☑
Silk To Solder Mask Clearance	Manufacturing	☑	☑
Acute Angle	Manufacturing	☐	☐

Рис. 12.130

– в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в подразделе **PCB Editor ⇒ DRC Violations Display** в группе Choose DRC Violations Display Style для правил **Silk To Solder Mask Clearance** и **Board Outline Clearance** поставить галочки в столбце **Violation Overlay** для отображения объектов, вызвавших нарушение, с текстурой в виде зеленых кругов с крестиками (рис. 12.131, *а*), после чего применить изменения кнопкой **OK**;



а

б

Рис. 12.131

– чтобы нарушения отобразились в рабочем поле, необходимо внести изменения в какое-нибудь правило. Для этого запустить команду **Design ⇒ Rules** и в окне PCB Rules and Constraints Editor щелкнуть ЛКМ по самой верхней строке в списке правил (**Design Rules**). Затем в правой части окна для любого правила в столбце **Enabled** убрать галочку и нажать кнопку **Apply**. После этого вернуть галочку (рис. 12.131, *б*) и нажать кнопку **OK**.

22.5. Исправить каждое обнаруженное нарушение, связанное с шелкографией, следующими способами:

– редактированием шелкографии. Для этого необходимо отключить режим одного слоя, выбрать требуемые компоненты с зажатой клавишей **Shift**, в панели **PCB Inspector** в группе **Graphical** для опции **Lock Primitives** выставить значение **False**, после чего включить режим одного слоя и осуществить необходимые корректировки;

– перемещением переходных отверстий (или удалением, если они лишние). Для корректировок необходимо отключить режим одного слоя.

Результаты исправлений в варианте «П1» показаны на рис. 12.132.

Примечания:

– команда создания разрывов в линиях описана в Г.41;

– в отдельных случаях перемещение объектов возможно только командами из меню Edit ⇒ Move (например, Edit ⇒ Move ⇒ Move);

– в данном пункте отображаются нарушения, возникшие при проверке правил StSMC и BOC (см. табл. Г.7). Они также были бы отмечены при пакетной проверке правил проектирования, которая будет осуществлена далее, но лучше их просматривать и исправлять заранее.

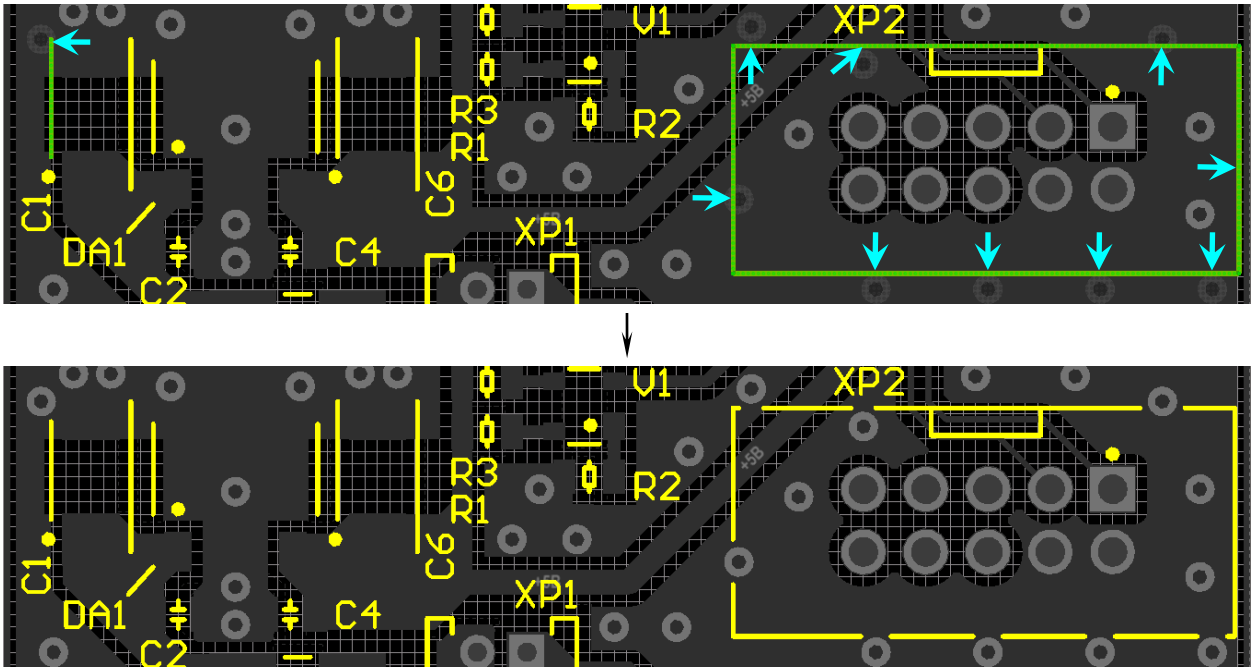


Рис. 12.132

22.6. Если были обнаружены нарушения расположения объектов с сигнальных слоев относительно контура ПП (например, переходных отверстий), то скорректировать положения таких объектов.

22.7. Восстановить исходные настройки:

– включить набор слоев **All**;

– отключить режим одного слоя (**Shift+S**);

– запустить команду **Tools ⇒ Design Rule Check** и в открывшемся окне в категории правил **Rules To Check ⇒ Manufacturing** для правил **Silk To Solder Mask Clearance** и **Board Outline Clearance** снять галочки в столбце **Online**, после чего применить изменения кнопкой **OK**;

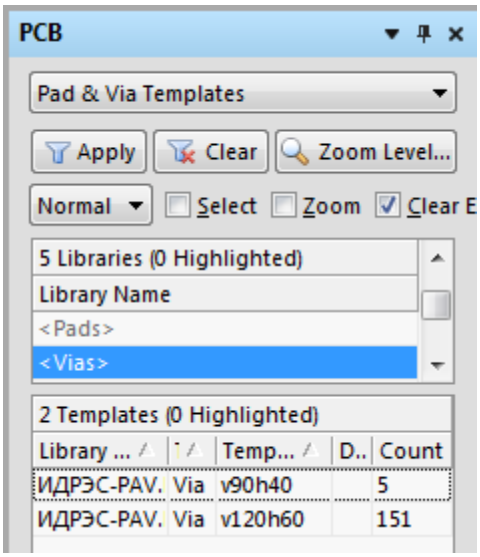


Рис. 12.133

– в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в подразделе **PCB Editor ⇒ DRC Violations Display** для правил **Silk To Solder Mask Clearance** и **Board Outline Clearance** снять галочки в столбце **Violation Overlay**, после чего нажать кнопку **OK**.

23. Проверить, что все переходные отверстия в файле трассировки библиотечные.

Для этого в панели **PCB** перейти в режим работы с шаблонами КП и переходных отверстий (**Pad & Via Templates**) и в группе с библиотеками выбрать **<Vias>** (рис. 12.133).

Если в группе с шаблонами в столбце **Library Name** есть значения **<Local>**, то выполнить следующие действия:

– открыть панель **PCB Pad Via Templates** (см. Г.16);

– в таблице **Local Pad & Via Library** отсортировать данные по столбцу **Name** и найти шаблон требуемого переходного отверстия со значением **<Local>** в столбце **Library**;

– в верхней таблице найти такой же шаблон переходного отверстия и перетащить его на найденный в таблице **Local Pad & Via Library**;

– согласиться с перезаписью шаблона и нажать кнопку **OK** в окне с сообщением о том, что в файл трассировки не потребовалось вносить изменения (так как параметры шаблонов идентичные);

– закрыть панель **PCB Pad Via Templates** крестиком в ее заголовке.

Примечание. Шаблоны переходных отверстий не из библиотеки появляются в том числе и при отмене произведенных с ними действий.

24. Создать контур ПП в слое **M1 Board**.

Для этого запустить команду **Design ⇒ Board Shape ⇒ Create Primitives From Board Shape**, в появившемся окне задать настройки как на рис. Г.118 и применить изменения.

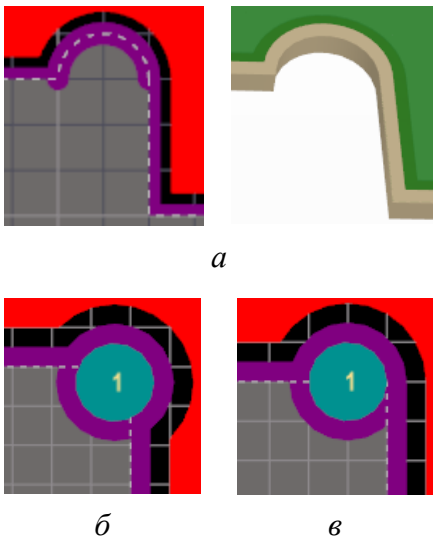
Примечание. Внутренние углы в прорезях и во внешнем контуре ПП будут изготовлены со скруглениями, радиусы которых определяются диаметром использованной фрезы (см. рис. Д.28, г).

Способы устранения скруглений:

– ручная доработка ПП;

– создание в контуре паза для захода фрезы на половину ее диаметра (рис. 12.134, а). На рисунке вскрытие маски сделано дугой с шириной линии 0,5 мм, расположенной на контуре ПП;

– добавление неметаллизированного отверстия диаметром 1–2 мм (см. Г.19), что технологичнее других способов (рис. 12.134, б и в). На рисунках в свойствах отверстий задано значение вскрытия маски 0,25 мм.



а *б* *в*

Рис. 12.134

В вариантах задания с угловой формой ПП никаких действий предпринимать не нужно.

25. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

26. Осуществить пакетную проверку правил проектирования:

26.1. Запустить команду **Tools ⇒ Design Rule Check** и в открывшемся окне нажать кнопку **Run Design Rule Check**.

В результате в новой вкладке откроется отчет о проведенной проверке (**Design Rule Verification Report**) и окно **Messages** со списком обнаруженных нарушений, которое следует закрыть.

Примечание. Создание отчета определяется опцией Create Report File окна Design Rule Checker.

26.2. В общих чертах проанализировать данные отчета.

Количество обнаруженных нарушений указывается в его верхней части. Так, в варианте «П1» было обнаружено одно нарушение (рис. 12.135, *а*).



а

б

в

Рис. 12.135

Перечень правил, по которым проведена проверка, с их описанием и количеством обнаруженных по ним нарушений содержится в таблице Rule Violations. Как видно из ее фрагмента, показанного для варианта «П1» на рис. 12.135, *б*, строки оформлены в виде гиперссылок, при нажатии на которые осуществляется переход к части отчета с детальной информацией по каждому нарушению этого правила.

В варианте «П1» обнаруженное нарушение связано с нарушением минимальной ширины масочного мостика между переходным отверстием, расположенным между слоями Top Layer и Bottom Layer, и КП со слоя Top Layer по указанным координатам. Текущая ширина составляет 0,05 мм при минимально допустимом значении 0,15 мм (рис. 12.135, *в*).

26.3. Перейти на вкладку с файлом трассировки.

26.4. Из группы **PCB** в дополнительном меню (см. рис. 3.1) открыть панель **PCB Rules And Violations**, которая для варианта «П1» показана на рис. 12.136.

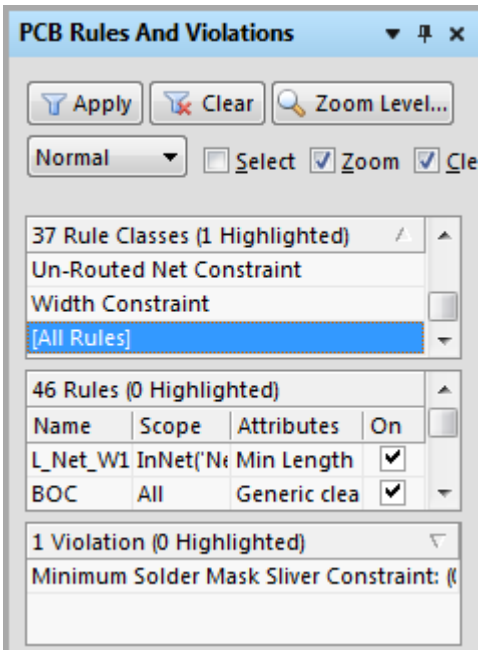


Рис. 12.136

Примечание. Опции в ее верхней части совпадают с опциями панели PCB (см. Г.14).

Далее расположены три области со следующей информацией:

– в первой – группы правил, для которых в проекте заданы какие-либо правила (даже если они не участвуют в проверке);

– во второй – перечень всех правил выбранной выше группы правил;

– в третьей – обнаруженные нарушения для выбранной выше группы правил или какого-то конкретного правила.

Для каждой выбранной группы или отдельного правила можно принудительно запустить процесс проверки правил проектирования соответственно командами ПКМ ⇒ Run DRC Rule Class и ПКМ ⇒ Run DRC Rule.

Для выбранного правила двойной щелчок ЛКМ или команда ПКМ ⇒ Properties открывает окно его свойств для просмотра и редактирования.

Для выбранного нарушения двойной щелчок ЛКМ или команда ПКМ ⇒ Properties открывает окно Violation Details с подробной информацией о нем (для нарушения из варианта «П1» фрагмент окна показан на рис. 12.137). Основные особенности данного окна:

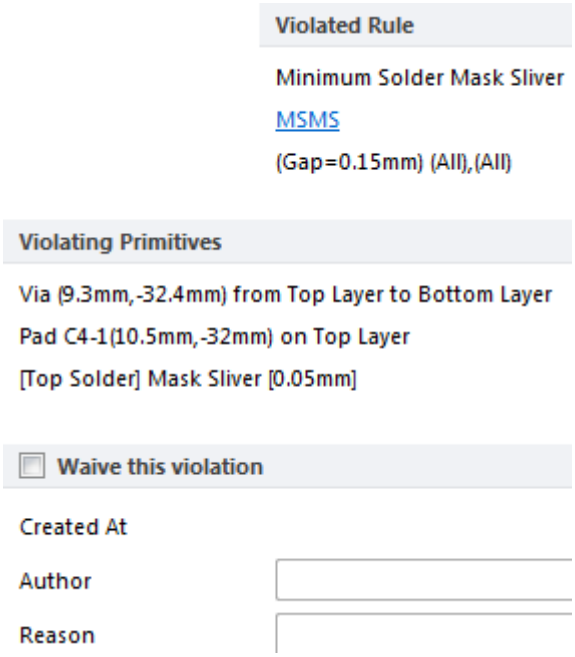


Рис. 12.137

– в группе Violated Rule приводится описание правила, которое нарушается (по ссылке можно перейти к окну его свойств);

– в группе Violating Primitives указываются примитивы, между которыми обнаружено данное нарушение;

– опция Waive this violation позволяет пометить нарушение как просмотренное с указанием автора и причины. Такое нарушение при следующем запуске пакетной проверки правил проектирования окажется в отчете в списке Waived Violations, но будет отображаться в панели PCB Rules And Violations и в рабочем поле. За цвет просмотренных нарушений отвечает параметр Waived Violation Markers;

– кнопка Highlight позволяет кратковременно подсветить примитивы, между которыми обнаружено данное нарушение.

26.5. Исправить все обнаруженные нарушения.

Действия по устранению нарушения из варианта «П1»:

– в панели **PCB Rules And Violations** включена опция **Zoom** и с помощью кнопки **Zoom Level** уровень масштабирования установлен в значение **Close** (очень близко);

– в панели **PCB Rules And Violations** выбрано нарушение, в результате чего автоматически осуществлен переход на слой Top Solder с масштабированием объектов, между которыми оно возникло, и появлением пояснения.

Примечание. Если пояснение не появляется, то требуется либо увеличить масштаб в рабочем поле, либо сдвинуть влево ползунок в группе Show Violation Detail подраздела PCB Editor ⇒ DRC Violations Display из окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences);

– включен режим одного слоя;

– добавлен прямоугольный полигон **Fill** (см. п. 1 из Г.26), чтобы убрать из этого места узкий перешеек защитной паяльной маски (рис. 12.138);

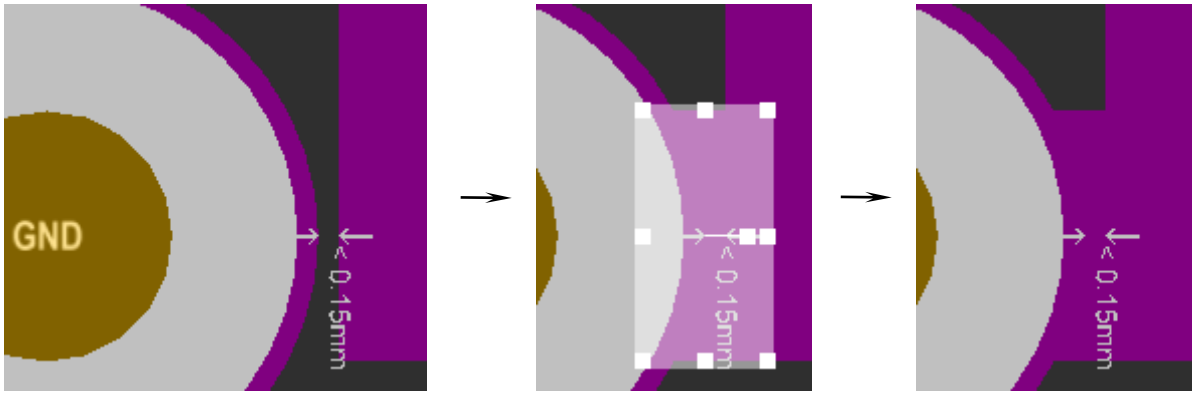


Рис. 12.138

– в панели **PCB Rules And Violations** на группе правил **Minimum Solder Mask Sliver Constraint** запущена команда **ПКМ ⇒ Run DRC Rule Class**, в результате чего отметка о нарушении пропала и в данной группе не было обнаружено других нарушений.

Результат произведенных действий в 3D-режиме просмотра показан на рис. 12.139.

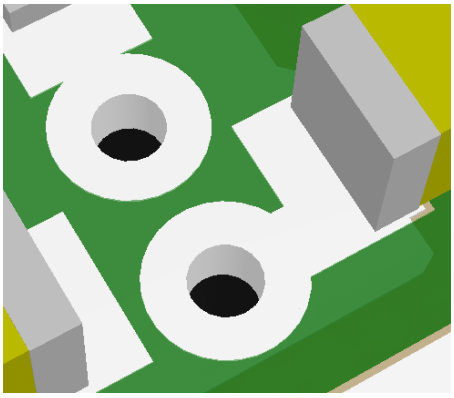


Рис. 12.139

26.6. Запустить пакетную проверку правил проектирования (см. п. 26.1) и убедиться в том, что в верхней части отчета в строке Rule Violations нет ошибок, а иначе – вернуться к п. 26.2.

27. Сохранить изменения в проекте (см. п. 4 из 5.5).

Они связаны с тем, что в структуру проекта в раздел Generated добавился отчет о проверке правил проектирования.

28. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

Результат трассировки ПП в варианте «П1» с набором слоев **All** и текущим слоем **Top Layer** в 2D-режиме просмотра показан на рис. 12.140, а результаты в 3D-режиме просмотра – на рис. 12.141. Пример трассировки ПП для еще одного варианта задания приведен на рис. Г.185–Г.188.

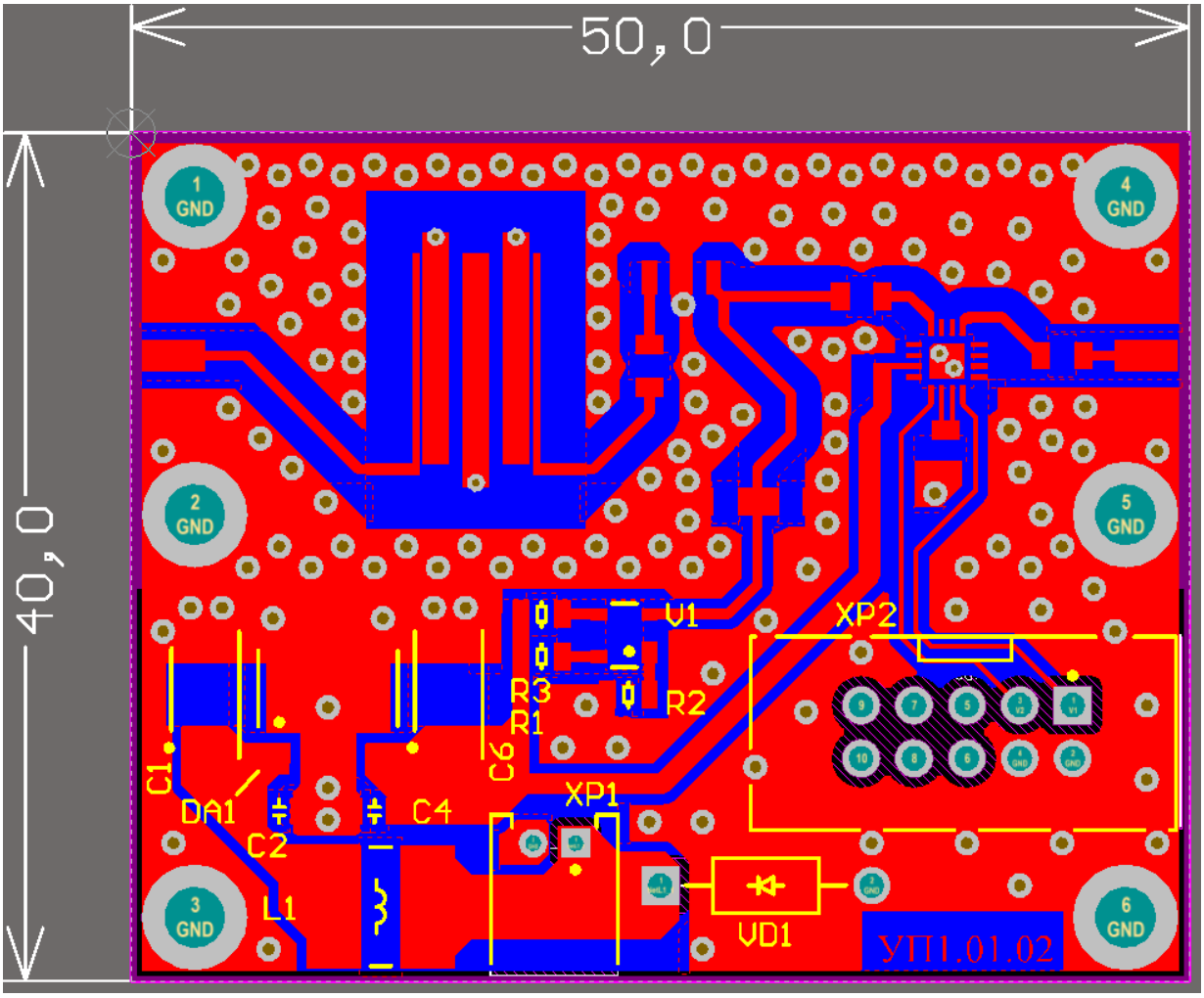


Рис. 12.140

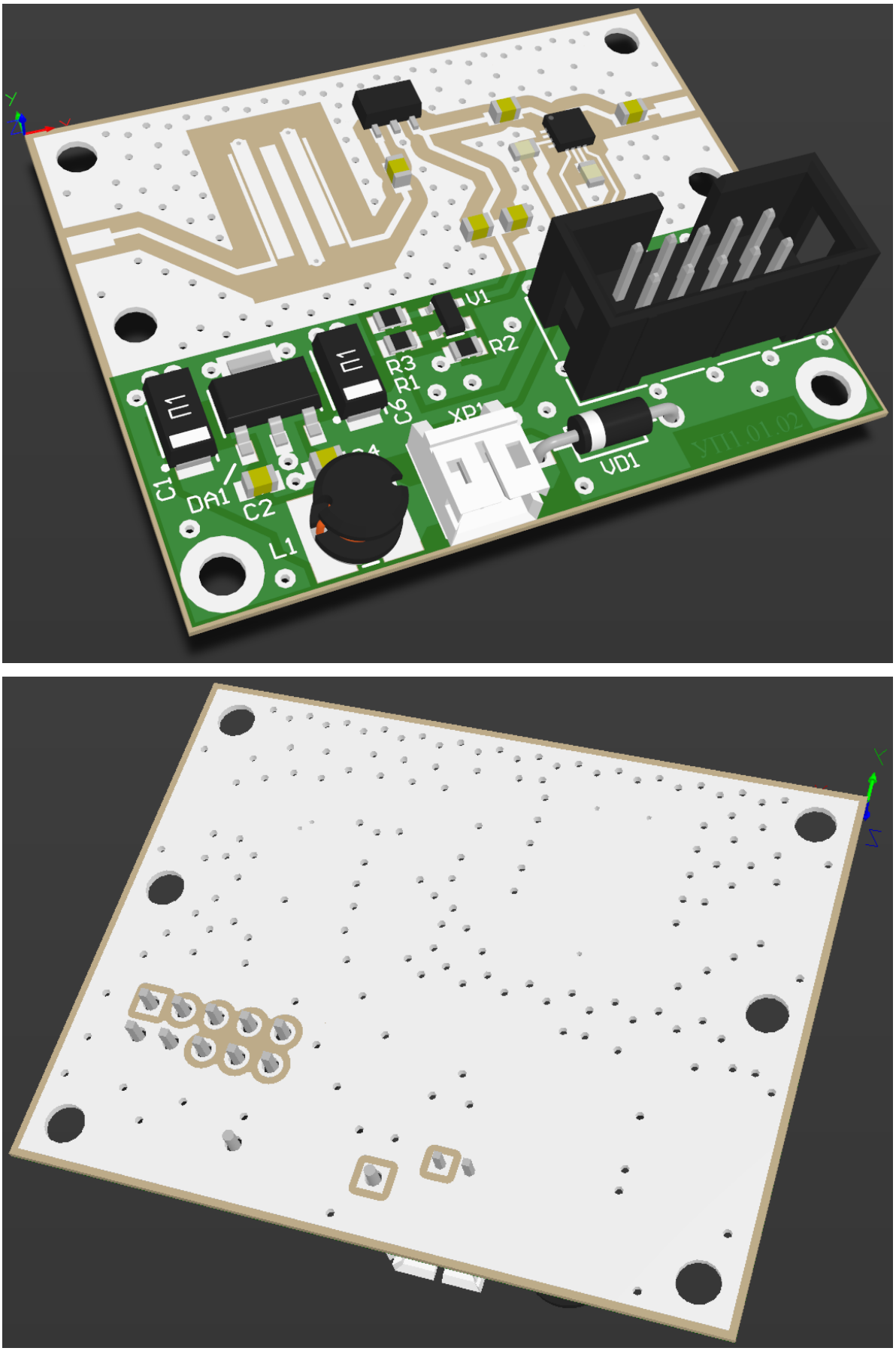


Рис. 12.141

29. Сохранить в отчет результаты этапа трассировки ПП в 2D-режиме просмотра, для чего выполнить следующее:

– применить профиль **ИДРЭС-AltiumPCBGray.PCBSysColors** из папки **…ИДРЭС\Профили** (см. п. 6 из 5.2.1);

– нажать клавишу **L** и в открывшемся окне View Configurations на вкладке **Board Layers And Colors** для механического слоя **M1 Board** поставить галочку в столбце **Single** и в группе **System Colors** убрать галочки в столбце **Show** для сеток **Default Grid Color** (см. рис. 12.73, *б*);

– в окне View Configurations на вкладке **View Options** в группе **Show** отключить опции **Show Pad Nets**, **Show Pad Numbers** и **Show Via Nets**, в группе Other Options в списке **Net Names on Tracks Display** (отображение имен цепей на трассах) выбрать опцию **Do Not Display**, а в группе Single Layer Mode выбрать режим **Hide Other Layers**. Затем закрыть окно кнопкой **OK**;

– развернуть окно Altium Designer на полный экран;

– выполнить команду **View ⇒ Fit Board**, после чего зажать клавишу **Ctrl** и уменьшить масштаб на один шаг при повороте колесика мышки;

– отключить информационное поле (**Shift+H**);

– клавишей **Prt Sc** с последующей обрезкой лишней информации или с помощью приложения **Ножницы** сохранить в отчет рисунки рабочего поля для текущих слоев **Top Layer**, **Bottom Layer**, **M3 Top Assy** (без размеров и таблицы со слоями), **Top Overlay** и **Top Solder**. Затем сохранить таблицы со слоев **M3 Top Assy** и **Drill Drawing**;

– включить набор слоев **Shield**, отключить слой **M3 Top Assy** (на вкладке с названием слоя выполнить команду **ПКМ ⇒ Hide**), отключить режим одного слоя (**Shift+S**), убедиться в том, что слой **M7 Shield** текущий, и сохранить изображение;

– нажать клавишу **L** и в открывшемся окне View Configurations на вкладке **Board Layers And Colors** для механического слоя **M1 Board** снять галочку в столбце **Single**, а в группе **System Colors** поставить галочки в столбце **Show** для сеток **Default Grid Color**;

– в окне View Configurations на вкладке **View Options** в группе Show включить опции **Show Pad Nets**, **Show Pad Numbers** и **Show Via Nets**, в группе Other Options в списке **Net Names on Tracks Display** выбрать опцию **Single and Centered**, а в группе Single Layer Mode выбрать режим **Not In Single Layer Mode**, после чего закрыть окно кнопкой **OK**;

– вернуть цветовые настройки, заданные в п. 6 из 5.2.1.

30. Сохранить в отчет результаты этапа трассировки ПП в 3D-режиме просмотра, для чего выполнить следующее:

– перейти в 3D-режим просмотра (клавиша **3**);

– при необходимости в окне View Configurations (клавиша **L**) на вкладке **Physical Materials** изменить цвет рабочего поля (параметр **Workspace Color**) и отключить начало координат (опция **Show Origin Marker**);

– сохранить 2 рисунка рабочего поля при произвольном угле поворота 3D-модели (см. Г.3) с видами на верхнюю и нижнюю стороны ПП;

– включить информационное поле (**Shift+H**);

– если производились изменения в окне View Configurations, то в списке **Select PCB View Configuration** выбрать профиль **ИДРЭС-AltiumPCB3D Config.config_3d** (был загружен в п. 15 из 12.1) и закрыть окно кнопкой **OK**;

– нажать клавишу **0** для возврата исходной ориентации 3D-модели;

– перейти в 2D-режим просмотра (клавиша **2**).

31. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

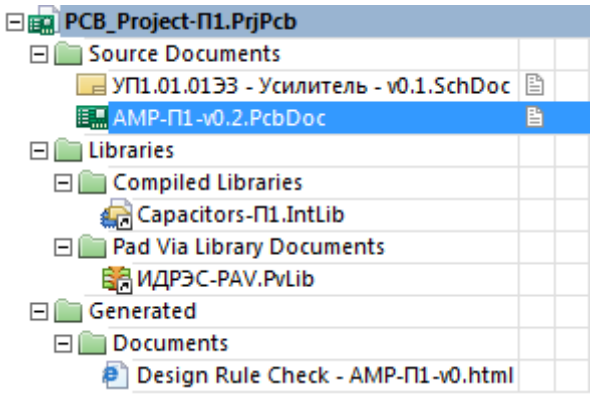


Рис. 12.142

Состав проекта из панели Projects в варианте «П1» показан на рис. 12.142.

32. Удалить вспомогательную информацию из папки с проектом ПП:

– папку **History** с резервными копиями файлов проекта, создаваемых при каждом их сохранении;

– папку **Project Logs** с файлами, содержащими информацию о передаче изменений из схемы в файл трассировки (и наоборот);

– все промежуточные сохраненные версии файла трассировки. В вариантах задания в папке должна остаться только последняя версия (в варианте «П1» – «**AMP-П1-v0.2.PcbDoc**»).

33. При желании выполнить 5-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3 и прил. Л).

12.6. Удостоверяющий лист

12.6.1. Данные проектирования

По РД 107.460640.020–88 [64] комплект КД на ПП допускается выпускать в виде одного документа «Данные проектирования», обеспечивающего получение на предприятии-изготовителе полного комплекта КД или его ча-

сти. Ему присваивается обозначение ПП с кодом **Д33**, и он включается в спецификацию изделия с ПП. Так как отраслевой руководящий документ достаточно старый, то в нем предусмотрено только два вида носителя данных для этого документа: магнитная лента (МЛ) и магнитный диск (МД). При записи в спецификацию используется код МД.

В варианте «П1» документ «Данные проектирования» состоит из файла трассировки «**AMP-П1-v0.2.PcbDoc**», а самому документу присвоено обозначение **УП1.01.02Д33**, где **УП1.01.02** – обозначение чертежа ПП, которое было определено в табл. 2.1.

Примечание. При наличии подготовленных файлов форматов Gerber и Excellon (см. прил. Л) вместо файла трассировки записывается архив, состав которого описан в примечании к п. 8 из Л.4, но в вариантах задания в случае выполнения дополнительного этапа проектирования из указанного приложения такую замену можно не осуществлять.

12.6.2. Правила оформления удостоверяющего листа

Порядок выполнения и обращения с документами на магнитных носителях данных устанавливает ГОСТ 28388–89 [65], согласно которому удостоверяющий лист служит для простановки подлинных подписей лиц, ответственных за разработку, изготовление, согласование и утверждение таких документов. Также указанные подписи допускается проставлять в листе утверждения.

Удостоверяющему листу на один документ на магнитном носителе присваивают обозначение этого документа с добавлением через дефис кода **УД** (например, в варианте «П1»: **УП1.01.02Д33-УД**).

Удостоверяющий лист выполняют по форме с рис. 12.143, при этом основную надпись и поля выполняют в соответствии с той системой документации, в рамках которой его выпускают. Размеры граф допускается изменять в зависимости от способа его выполнения.

В графах удостоверяющего листа указывают:

– в графе «**Обозначение**» – обозначение документов (документа), на которые распространяется удостоверяющий лист;

– в графе «**Разработал**» – фамилии и подписи лиц (лица), разработавших документ (группу документов), указанный в графе «Обозначение», и несущих ответственность за правильность технического решения в этих документах (исходных данных), и дату подписания;

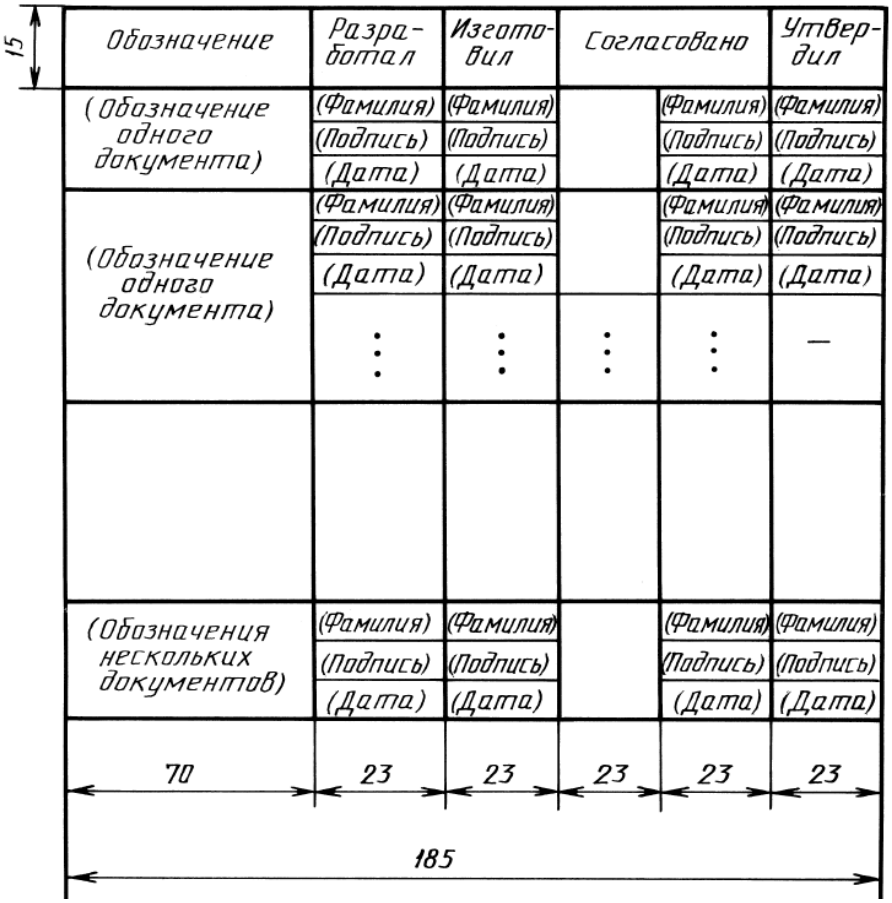


Рис. 12.143 [65]

– в графе «**Изготовил**» – фамилию и подпись лица, изготовившего (получение и контроль) оригинал документа (группу документов) на носителе данных для передачи в СТД, и дату подписания;

– в графе «**Согласовано**» – предприятие или подразделение, согласующее документ (группу документов), указанный в графе «Обозначение», фамилию и подпись лица, согласовавшего документ (группу документов), дату подписания;

– в графе «**Утвердил**» – фамилию и подпись лица, утвердившего документ (группу документов), и дату подписания.

Если один документ на магнитронном носителе разработан и (или) согласован несколькими лицами, то их фамилии, подписи и даты подписания проставляют в соответствующих графах «Разработал» и «Согласовано», а обозначение документа указывают в графе «Обозначение» один раз.

Если несколько документов на магнитном носителе разработаны, изготовлены, согласованы и утверждены одними и теми же лицами, то фамилии и подписи этих лиц и даты подписания проставляют один раз на группу документов. Группы документов должны быть отделены разделительной чертой.

12.6.3. Создание удостоверяющего листа

Удостоверяющий лист будет оформлен в **Microsoft Word** на заранее подготовленной заготовке «**Удостоверяющий лист, один док.doc**» из папки **…\ИДРЭС\MSWord заготовки** (см. рис. 2.9).

Отличие данной заготовки от заготовки для перечня элементов (см. 9.2) только в форме заполняемой таблицы в рабочем поле листа.

Для создания удостоверяющего листа необходимо:

1. Открыть указанную выше заготовку.

2. Сохранить заготовку командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.doc». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.02Д33-УД - Плата печатная - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель** (см. рис. 2.8).

3. Войти в режим редактирования нижних колонтитулов по п. 3 из 9.2 и заполнить без копирования графы рамки в соответствии с табл. 12.3. Содержание остальных граф должно соответствовать данным табл. 9.1.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1, на рис. 9.1 и на рис. 3.6, *в*.

Таблица 12.3

Содержание граф рамки для удостоверяющего листа, отличающихся от перечня элементов ПЭ3 «усилителя»

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Плата печатная Данные проектирования Удостоверяющий лист	Наименование изделия определено в табл. 2.1. Наименование документа присутствует в используемой заготовке по умолчанию
2	УП1.01.02Д33-УД	Обозначение документа определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»
7	См. комментарий	Так как в КД по умолчанию всего один лист, то номер листа уже скрыт

Таблица 12.4

Содержание граф таблицы из рабочего поля удостоверяющего листа

Графа	Содержание	Комментарий к заполнению
«Обозначение»	УП1.01.02Д33 АМР-П1-v0.2.PcbDoc	Указывается обозначение документа «Данные проектирования» (определено в табл. 2.1) и название файла трассировки. Содержание графы указано для варианта «П1»
«Разработал» и «Изготовил»	Сидоров	Указывается фамилия студента. Если вариант задания выполняется студентами в паре, то фамилия первого записывается в графе «Разработал», а второго – в графе «Изготовил»
«Утвердил»	Петров	Указывается фамилия преподавателя

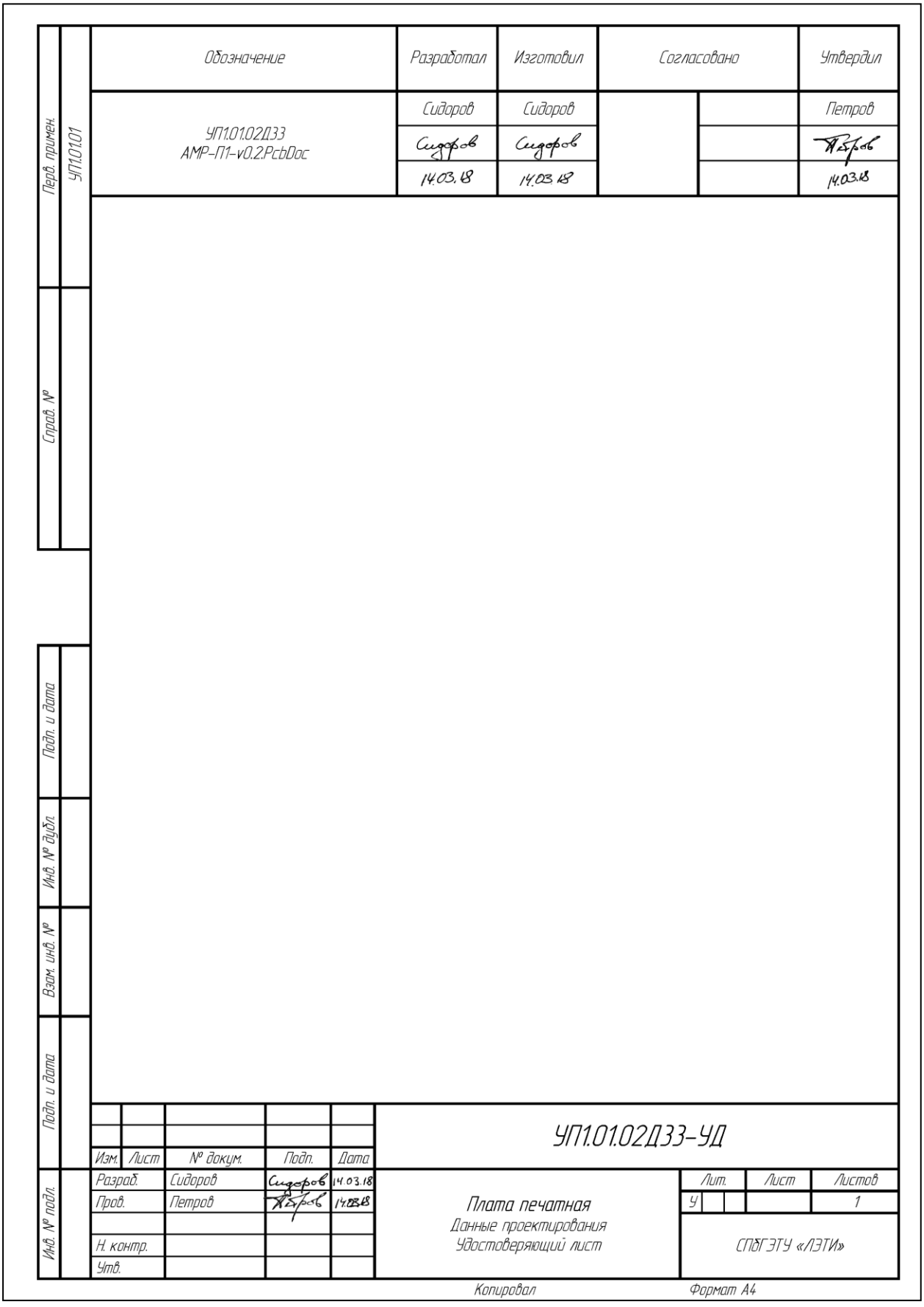

Перв. примен.
УП1.01.01
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.
Обозначение
Разработал
Изготовил
Согласовано
Утвердил
УП1.01.02ДЗЗ
AMP-П1-v0.2.PcbDoc
Сидоров
Сидоров
Петров
14.03.18
14.03.18
14.03.18
УП1.01.02ДЗЗ-УД
Изм.
Лист
№ докум.
Подп.
Дата
Разраб.
Сидоров
14.03.18
Пров.
Петров
14.03.18
Н. контр.
Утв.
Плата печатная
Данные проектирования
Удостоверяющий лист
Лит.
Лист
Листов
У
1
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Копировал
Формат А4

Рис. 12.144

4. Выйти из режима редактирования колонтитулов по п. 4 из 9.2.

5. В графах таблицы из рабочего поля удостоверяющего листа ввести данные в соответствии с табл. 12.4.

6. Сохранить изменения в удостоверяющем листе (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 12.144.

7. Сохранить удостоверяющий лист в формате PDF по п. 11 из 9.2.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.02Д33-УД - Плата печатная - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_pdf** (см. рис. 2.8).

12.7. Содержание отчета

По 12-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Рисунок структуры ПП, полученный в п. 5 из 12.1.

2. Расчет толщины слоя меди из стека ПП (см. п. 5 из 12.1).

3. Результаты этапа компоновки ПП в виде двух рисунков:

– в 2D-режиме просмотра;

– в 3D-режиме просмотра (вид на сторону ПП с компонентами).

4. Результаты этапа трассировки ПП в виде следующих рисунков:

– в 2D-режиме просмотра отдельно для слоев **Top Layer**, **Bottom Layer**, **M3 Top Assy** (без размеров и таблицы со слоями), **Top Overlay** и **Top Solder**;

– в 2D-режиме просмотра одновременно для слоев **Top Layer** и **M7 Shield** (слой с «экраном» должен быть текущим);

– две таблицы со слоев **M3 Top Assy** и **Drill Drawing**;

– в 3D-режиме просмотра с видами на верхнюю и нижнюю стороны ПП.

5. Удостоверяющий лист на данные проектирования, распечатанный на отдельном листе.

6. Схему Э3 «усилителя» и перечень элементов к ней, распечатанные на отдельных листах взамен уже существующих, если в процессе выполнения данного этапа проектирования в них были внесены корректировки.

13. 3D-МОДЕЛЬ «УСИЛИТЕЛЯ»

13.1. Создание 3D-модели «усилителя»

3D-модели «модуля усилителя» и его составных частей («усилитель», «основание» и «экран») будут создаваться в КОМПАС-3D. Начальное окно данной САПР было рассмотрено в 6.1, особенности настройки – в 6.2, а основные понятия, используемые при создании деталей и сборок, – в 6.3.

«Усилитель» представляет собой сборочную единицу – печатный узел (ПП с размещенными на ней компонентами). В разд. 12 в Altium Designer был разработан файл трассировки, в котором кроме необходимой для производства информации содержатся данные о расположении посадочных мест компонентов. А так как у каждого компонента есть своя 3D-модель, для которой выполняются условия из 6.5, то 3D-модель «усилителя» будет получена в автоматическом режиме.

Для создания 3D-модели «усилителя» выполнить следующие действия:

1. Рассчитать толщину ПП под «экраном» ($h_{\text{ППЭ}}$), округлив результат до ближайших десятых долей миллиметра ($h_{\text{ППЭО}}$), по формуле:

$$h_{\text{ППЭ}} = h + 2h_{\text{ПС}}. \qquad (13.1)$$

Примечание. Величина $h_{\text{ПС}}$ была вычислена по (12.1).

В варианте «П1»:

$$h_{\text{ППЭ}} = 0{,}508 + 2 \cdot 0{,}0384 = 0{,}5848 \text{ мм}; \; h_{\text{ППЭО}} = 0{,}6 \text{ мм}.$$

Следует обратить внимание на то, что сохранить необходимо оба полученных значения (неокругленное и округленное).

В варианте «П1» вычисления и записи для данной 3D-модели сохранялись в Mathcad в файле **Расчеты (3D-модель).xmcd** в папке **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Заметки** (см. рис. 2.8).

2. В **Altium Designer** создать файлы формата IDF:

2.1. Если проект ПП был закрыт, то открыть его по п. 1 из 12.1.

2.2. Если файл трассировки был закрыт, то открыть его по п. 3 из 8.3.

2.3. Запустить команду **File ⇒ Export ⇒ IDF Board** и в появившемся окне Export File задать имя и путь для сохранения файлов формата IDF. Имя файла в варианте «П1» – «**АМР-П1-v0.2**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели** (см. рис. 2.8).

Примечание. В данной папке впоследствии будут автоматически созданы 3D-модели «усилителя» и ПП.

После нажатия кнопки **Сохранить** окно Export File закроется, и появится окно **File Export IDF**, в котором необходимо задать настройки, показанные на рис. 13.1.

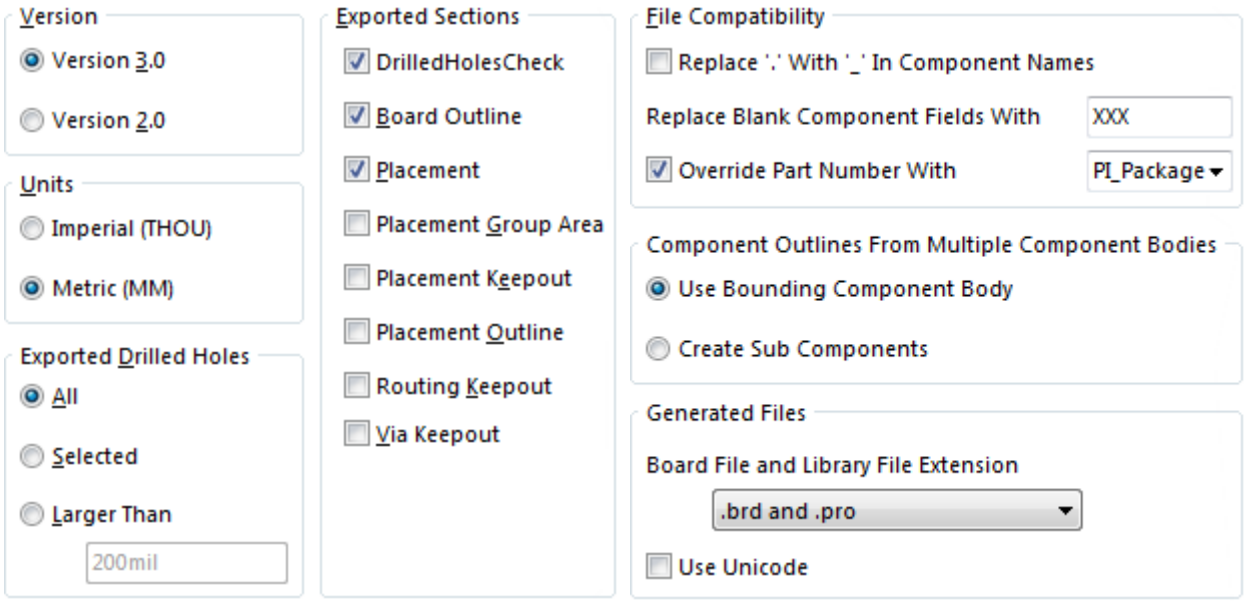


Рис. 13.1

Примечания:

– в группе Exported Sections производится настройка экспортируемой информации (DrilledHolesCheck – отверстия в ПП, Board Outline – контур ПП, Placement – компоненты на ПП);

– символы XXX (или любые другие) из поля Replace Blank Component Fields With необходимы для заполнения значений пустых параметров компонентов для корректного экспорта и последующего импорта (например, у использованных входных и выходных КП пустой параметр – Comment);

– опция Override Part Number With позволяет задать параметр, значение которого будет записано при экспорте вместо параметра Comment. На рисунке в качестве замены указан параметр PI_Package (корпус).

Использование параметра Comment не рекомендуется, так так компоненты в одинаковых корпусах и разной информацией в нем будут считаться разными. Для каждого из них в дальнейшем придется задавать связь с одной и той же 3D-моделью (проблема для резисторов и конденсаторов, которых на ПП может быть очень много). Кроме того, если значение параметра одного компонента является началом значения параметра другого компонента, то при импорте его нельзя будет загрузить в виде 3D-модели. Например, в варианте «П1» так будет с резистором R3, имеющим в параметре Comment значение 27 (у резистора R1 значение – 270).

После нажатия кнопки **OK** запустится процесс экспорта, который должен завершиться сообщением о его успешном выполнении в информационном окне. В результате в указанной папке будет создано два файла:

– с расширением «.brd», в котором содержится информация о толщине и контуре ПП, отверстиях и положении компонентов;

– с расширением «.pro», в котором содержится информация о контурах компонентов и их высоте.

2.4. Открыть в блокноте файл «.brd» и в секции BOARD_OUTLINE изменить значение толщины на $h_{\text{ППЭО}}$, проверить, что координаты вершин контура ПП правильные (при необходимости обнулить соответствующие знаки после запятой), и закрыть файл с сохранением изменений.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 13.2.

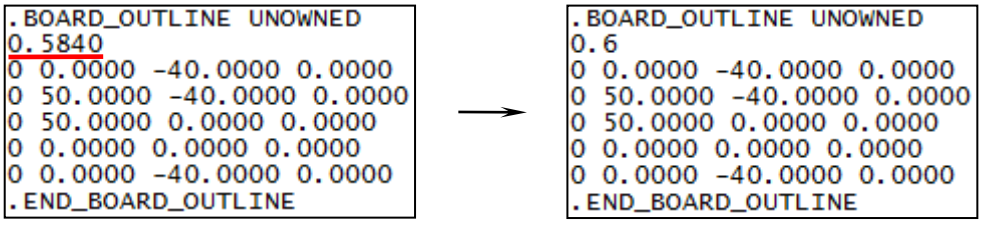


Рис. 13.2

3. Импортировать файлы формата IDF в **КОМПАС-3D**:

3.1. Запустить конвертер:

– запустить команду **Сервис ⇒ Менеджер библиотек**;

– в появившемся внизу экрана окне **Менеджер библиотек** открыть папку **Электрика и электроника** и выбрать **Конвертер eCAD-КОМПАС**;

– на открывшейся вкладке раскрыть папку **Конвертер eCAD-КОМПАС (3D)** и запустить **3D-конвертер Altium Designer-КОМПАС** (рис. 13.3).

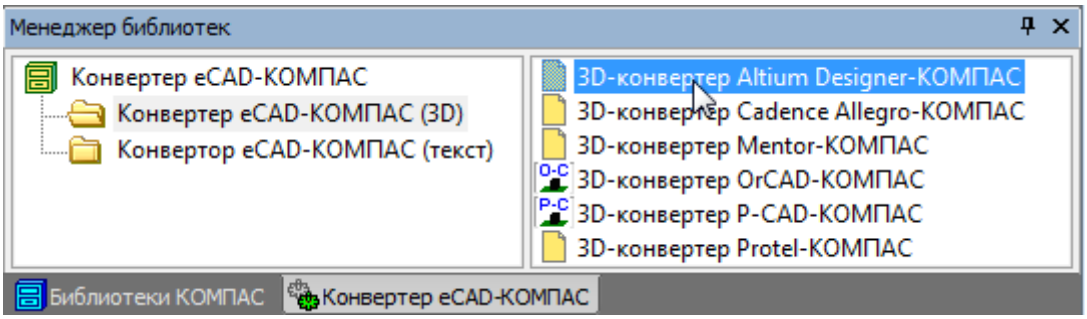


Рис. 13.3

3.2. В открывшемся окне **Конвертер eCAD-КОМПАС (3D)** выполнить следующие действия (рис. 13.4):

– кнопкой **Файл** около поля **Исходные данные** выбрать ранее созданный файл с расширением «.brd»;

– появившийся путь в поле **Модель платы** оставить по умолчанию;

– отключить опцию **Только монтажные отверстия** (в 3D-модели ПП будут отображены все отверстия из файла трассировки);

– выбрать опцию **Реалистичная модель платы** (для компонентов ПП можно будет использовать созданные 3D-модели) и нажать кнопку **Создать**.

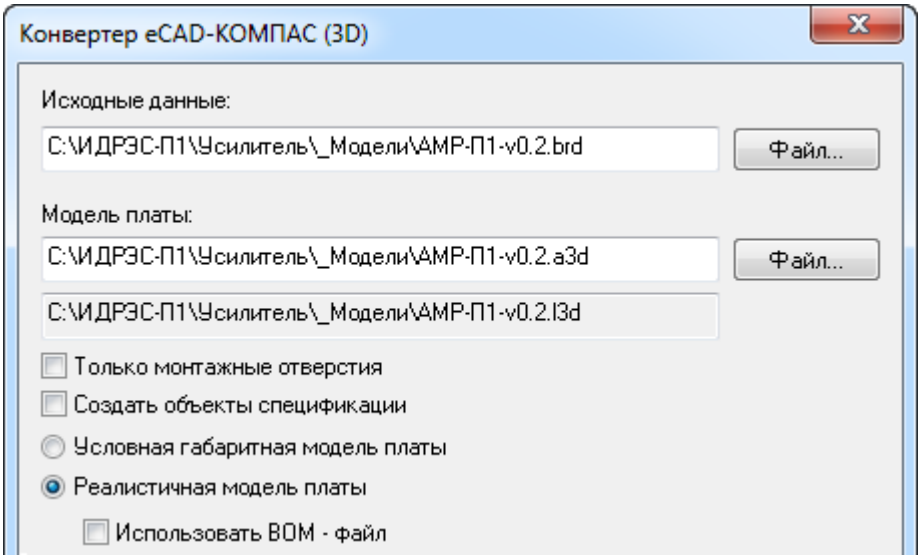


Рис. 13.4

Примечание. Если для компонента не задана 3D-модель и в поле Height не ноль (см. рис. 5.19, а), то автоматически создается модель в виде параллелепипеда с контуром сечения, охватывающим все объекты в его посадочном месте на ПП, и высотой из этого поля. Если в поле Height ноль, то будет предложено пропустить компонент или задать высоту вручную.

3.3. В открывшемся окне **Соответствие компонентов** для каждого посадочного места установить связь с 3D-моделью компонента:

– выбрать строчку с посадочным местом;

– нажать кнопку **Выбрать модель для связи**;

– в открывшемся окне указать путь к 3D-модели компонента из папки **…\ИДРЭС\Модели элементов** (см. рис. 2.9) или из **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели элементов** (для конденсатора из разд. 6).

Таблица связей в варианте «П1» показана на рис. 13.5.

Примечания:

– в столбце «Компонент ECAD-системы» указано название посадочного места компонента (Footprint) и через пробел – значение параметра PI_Package. В каждой строке находится группа компонентов из проекта ПП, для которых эти данные являются одинаковыми;

– 3D-модель КП необходима для позиционирования СВЧ-разъемов.

Компонент ECAD-системы	Модель КОМПАС-3D
PAD_r150_300 XXX	C:\ИДРЭС\Модели элементов\PAD_r150_300.m3d
CASE-C-293D Case_C	C:\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели элементов\CASE-C-293D-П1.m3d
0805-C-125 0805	C:\ИДРЭС\Модели элементов\0805-C-125.m3d
0805-C-060 0805	C:\ИДРЭС\Модели элементов\0805-C-060.m3d
SOT-223 SOT-223	C:\ИДРЭС\Модели элементов\SOT-223.m3d
SOT-89-3 SOT-89-3	C:\ИДРЭС\Модели элементов\SOT-89-3.m3d
QFN-3X3-16-LP3 QFN-3X3-16	C:\ИДРЭС\Модели элементов\QFN-3X3-16-LP3.m3d
SDR0604 D5,8mm	C:\ИДРЭС\Модели элементов\SDR0604.m3d
0805-R 0805	C:\ИДРЭС\Модели элементов\0805-R.m3d
SOT-143B SOT-143B	C:\ИДРЭС\Модели элементов\SOT-143B.m3d
DO-41_000H100 DO-41	C:\ИДРЭС\Модели элементов\DO-41_000H100.m3d
MW-2MR MW-2MR	C:\ИДРЭС\Модели элементов\MW-2MR.m3d
IDC-10MS IDC-10MS	C:\ИДРЭС\Модели элементов\IDC-10MS.m3d

Рис. 13.5

Затем сохранить таблицу связей кнопкой **Сохранить таблицу связей** с расширением «.ini». Имя файла в варианте «П1» – «**AMP-П1-v0.2**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели** (см. рис. 2.8).

3.4. Запустить процесс конвертации, нажав в окне **Соответствие компонентов** кнопку **OK**.

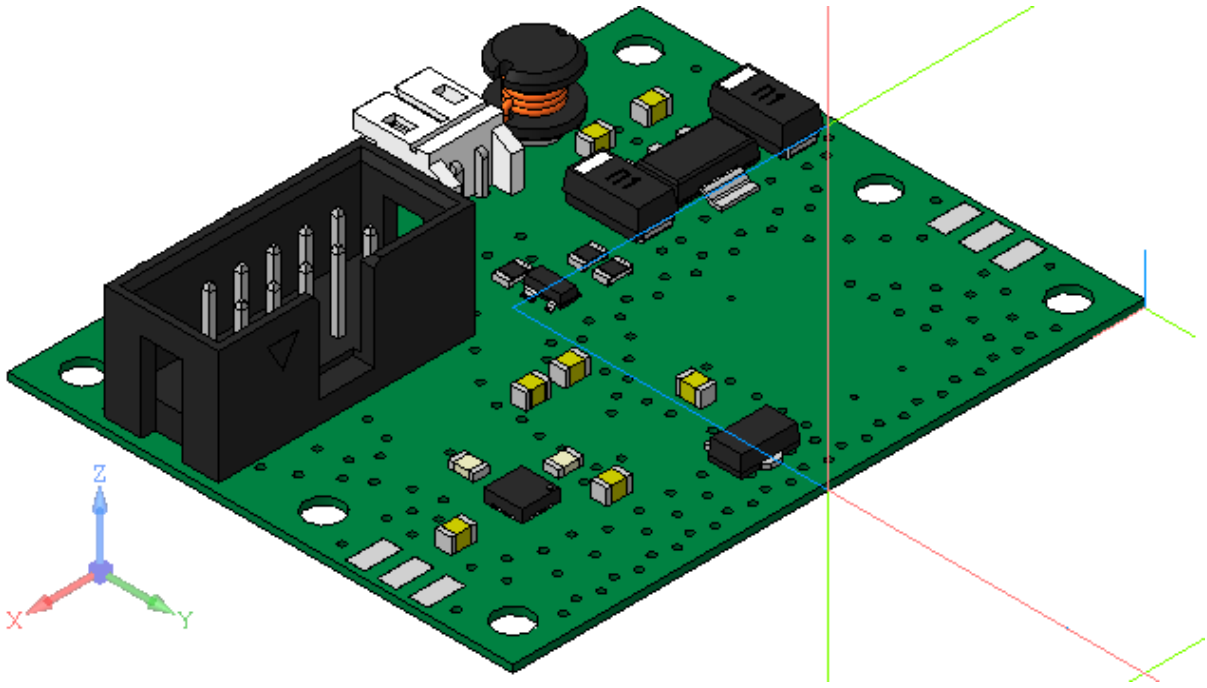


Рис. 13.6

В результате в рабочем поле появится 3D-модель «усилителя», расположенная и сориентированная в пространстве в соответствии с данными файла трассировки (рис. 13.6).

3.5. Закрыть окно **Менеджер библиотек**.

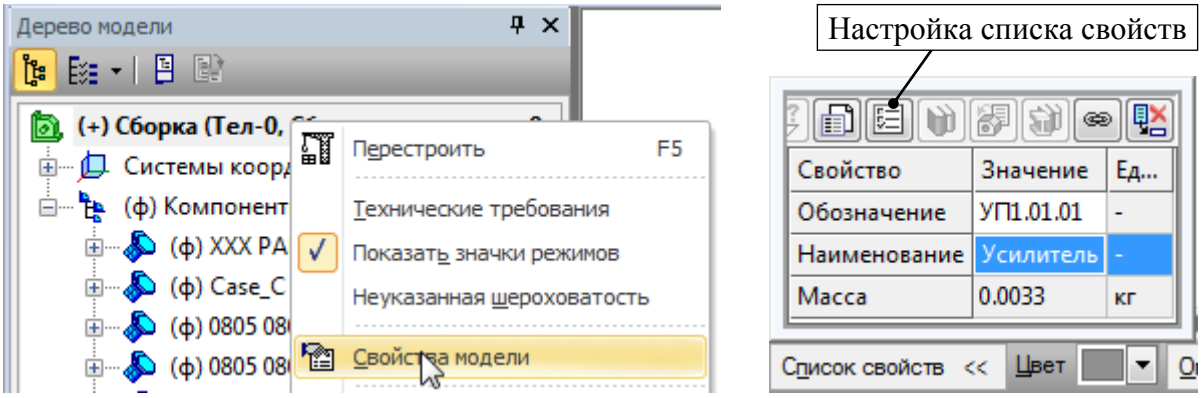
4. В **Дереве модели** выполнить следующее:

– зафиксировать группу **Компоненты (ПКМ ⇒ Включить фиксацию)**;

– скрыть **Начало координат**;

– раскрыть группу **Компоненты** и удалить **Панель (ПКМ ⇒ Удалить)**.

5. В **Дереве модели** на названии сборочной единицы (**Сборка**) запустить команду **ПКМ ⇒ Свойства модели** (рис. 13.7, *а*).



а *б*

Рис. 13.7

Затем в **Панели свойств** на вкладке **Свойства** в окне **Список свойств** заполнить поля **Обозначение** и **Наименование** согласно информации из табл. 2.1, после чего нажать пиктограмму **Создать объект**.

Примечания:

– в варианте «П1» записано «УП1.01.01» и «Усилитель» (рис. 13.7, б);

– для 3D-модели можно задать и другие свойства, которые будут вставлены при оформлении КД в соответствующие графы рамки (например, фамилия разработчика). Изменение списка свойств осуществляется командой Сервис ⇒ Параметры ⇒ Текущая сборка ⇒ Настройка списка свойств (или пиктограммой «Настройка списка свойств» на рис. 13.7, б).

6. В проводнике Windows открыть папку **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели** (см. рис. 2.8) и изменить имя автоматически созданного файла 3D-модели ПП, заканчивающегося на **_board**, на имя с наименованием и обозначением ПП согласно информации из табл. 2.1.

Примечание. В варианте «П1» записано «УП1.01.02 - Плата печатная».

7. В КОМПАС-3D открыть 3D-модель ПП и задать ей по п. 5 обозначение и наименование по названию ее файла, указанному на вкладке.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 13.8.

8. Используя данные табл. Б.2, рассчитать массу ПП по формуле:

$$m_{\text{пп}} = (\rho_{\text{пп}} h + 2\rho_{\text{м}}(t + h_{\text{гм}}))S_{\text{пп}}, \qquad (13.2)$$

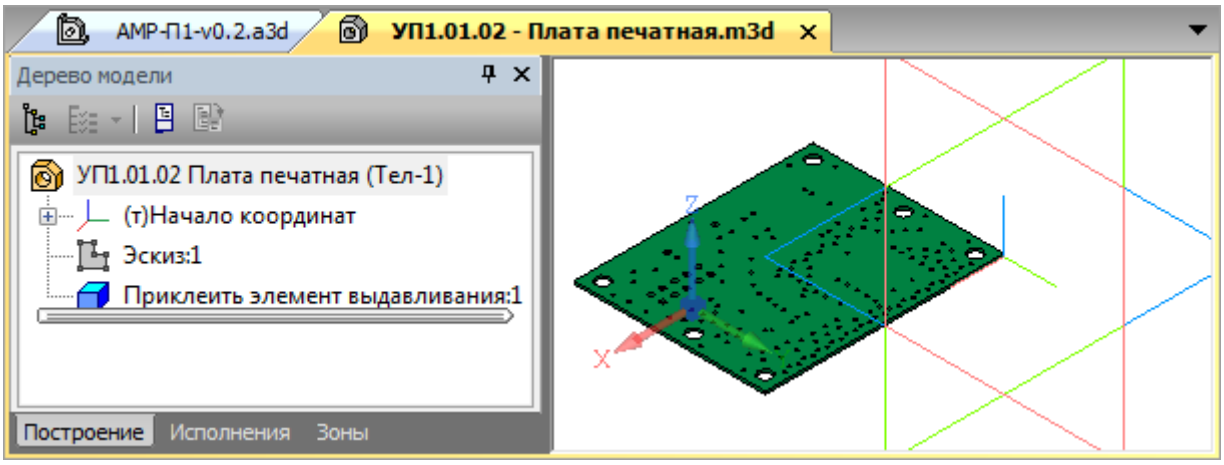


Рис. 13.8

где $\rho_{\text{пп}}$ – плотность материала основания ПП, г/мм^3; $\rho_{\text{м}}$ – плотность меди, $\rho_{\text{м}} = 8{,}93 \cdot 10^{-3}$ г/мм^3; $S_{\text{пп}}$ – площадь любого сигнального слоя ПП (в варианте «П1» – произведение ширины ПП на ее длину), мм^2.

В варианте «П1»:

$$m_{\text{пп}} = \left(3{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}508 + 2 \cdot 8{,}93 \cdot 10^{-3}(0{,}018 + 0{,}02)\right) \cdot 50 \cdot 40 \approx 4{,}6 \text{ г.}$$

9. На вкладке с ПП выполнить следующее:

– задать ПП полученное значение массы (см. п. 22 из 6.5);

– скрыть **Начало координат**;

– сохранить изменения (**Ctrl+S**).

10. Добавить 3D-модель ПП в «усилитель», для чего на вкладке с «усилителем» выполнить следующие действия:

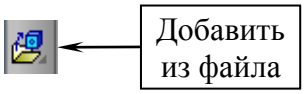


Рис. 13.9

– запустить команду **Добавить из файла** (рис. 13.9) на ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование сборки**;

– в открывшемся окне **Открытые документы** выбрать 3D-модель ПП и нажать **OK**;

– на **Панели свойств** в поле **Опорная точка** задать нулевые координаты и нажать клавишу **Enter** (или поставить крестик около указанного поля);

– нажать пиктограмму **Создать объект**;

– в **Дереве модели** зафиксировать ПП;

– сохранить изменения (**Ctrl+S**) и закрыть обе вкладки.

11. Открыть папку **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели** (см. рис. 2.8) и переименовать файл сборки по имени сборки.

Примечание. В варианте «П1» записано «УП1.01.01 - Усилитель».

12. Создать на поверхности ПП топологию ПФ, для чего выполнить следующие действия:

12.1. В **Altium Designer** в файле трассировки задать видимость слоев:

– включить набор слоев **Shield**;

– скрыть слои **M3 Top Assy** и **M7 Shield**, выполнив на вкладках с их названиями команды **ПКМ ⇒ Hide**;

– показать слой **M1 Board**, выполнив на строке с вкладками слоев команду **ПКМ ⇒ Show Layers ⇒ M1 Board**.

12.2. Запустить команду **File ⇒ Export ⇒ DXF/DWG** и в появившемся окне Export File задать имя и путь для сохранения файлов формата DXF. Имя файла в варианте «П1» – «**BPF**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели**.

После нажатия кнопки **Сохранить** окно Export File закроется, и появится окно **Export to AutoCAD**, в котором необходимо задать настройки, показанные на рис. 13.10.

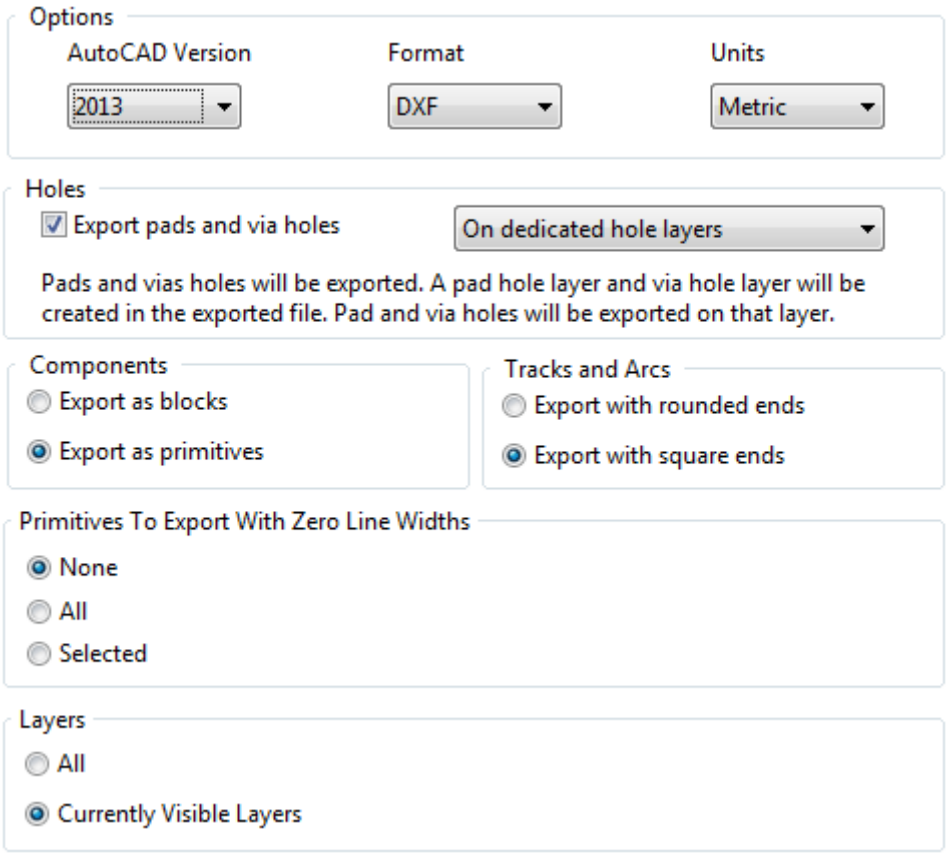


Рис. 13.10

Примечания:

– в группе Holes включена опция экспорта отверстий (Export pads and via holes) с размещением их на отдельных слоях (On dedicated hole layers), т. е. в результате отверстия для Via окажутся на слое ViaHoleLayer, а отверстия для Pad – на слое PadHoleLayer;

– в группе Components включена опция Export as primitives, в результате чего компоненты будут разрушены и представлены в виде примитивов (на данном этапе можно выбрать любую опцию из этой группы);

– в группе Tracks and Arcs с опцией Export with rounded ends на концах линий (с дугами опция не работает), нарисованных в редакторе ПП, будут созданы окружности с диаметром, равным половине их ширины. Чтобы их не было, выбрана опция Export with square ends;

– в группе Layers выбрана опция Currently Visible Layers, чтобы экспортировалась информация только с видимых в данный момент слоев.

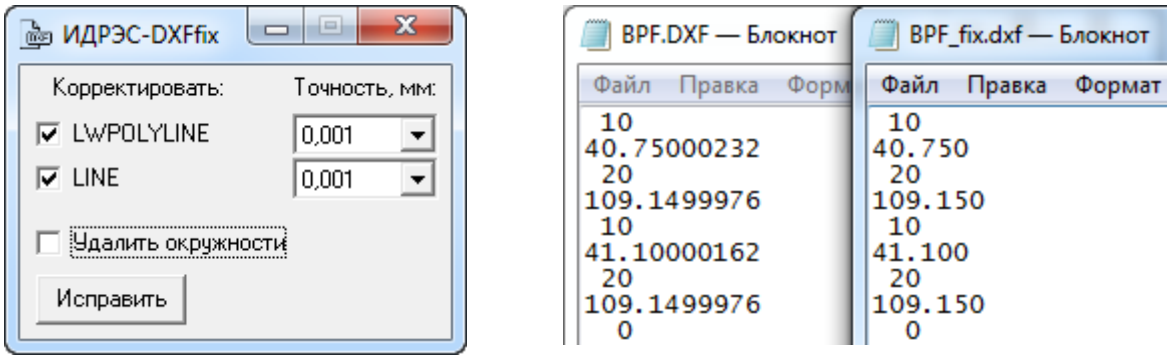
Запустить процесс экспорта кнопкой **OK** и дождаться появления сообщения о его успешном выполнении в информационном окне.

После этого закрыть файл трассировки без сохранения изменений.

12.3. К сожалению, в полученном файле DXF координаты практически всех объектов будут иметь большое количество знаков в дробной части. Вероятно, это связано с тем, что Altium Designer хранит все в дюймовой системе измерения, а при экспорте объектов, нарисованных в метрической системе, должного округления не осуществляется.

Полигоны переносятся в DXF объектами LINE (линия), при этом даже без округления координаты общей вершины двух соседних линий совпадают. Для остальной графики, которая переносится объектами LWPOLYLINE (полилиния, дуга), это может оказаться неверным, что приведет к невозможности построения 3D-моделей.

Для автоматического округления координат вершин служит программа **ИДРЭС-DXFfix** из папки **…\ИДРЭС\Программы**. После ее запуска необходимо выполнить следующее (рис. 13.11, *а*):



а *б*

Рис. 13.11

– включить корректировку объектов LWPOLYLINE и LINE с точностью 0,001 мм;

– отключить удаление окружностей;

– нажать кнопку **Исправить**;

– в появившемся окне выбрать требуемый файл DXF и нажать кнопку **Открыть**.

В результате успешного исправления в окне программы появится соответствующая надпись, а в папке с выбранным файлом DXF – скорректированный файл с добавкой в названии «_fix» (в варианте «П1» – **BPF_fix.dxf**).

Примечание. Пример обработки координат двух вершин полилинии (10 – X, 20 – Y) показан на рис. 13.11, б.

12.4. В **КОМПАС-3D** открыть файл **BPF_fix.dxf**:

– запустить команду **Файл ⇒ Открыть**;

– в окне **Выберите файлы для открытия** в поле **Тип файлов** выбрать **Все файлы (*.*)**, указать путь к требуемому файлу и нажать **Открыть**;

– в появившемся окне **Чтение файла в формате DXF** оставить настройки по умолчанию и нажать кнопку **Начать чтение**.

В результате в новой вкладке рабочего поля появится фрагмент (BPF_fix.frw), в котором будет представлена информация со слоев Top Layer, M1 Board и двух слоев с отверстиями (рис. 13.12).

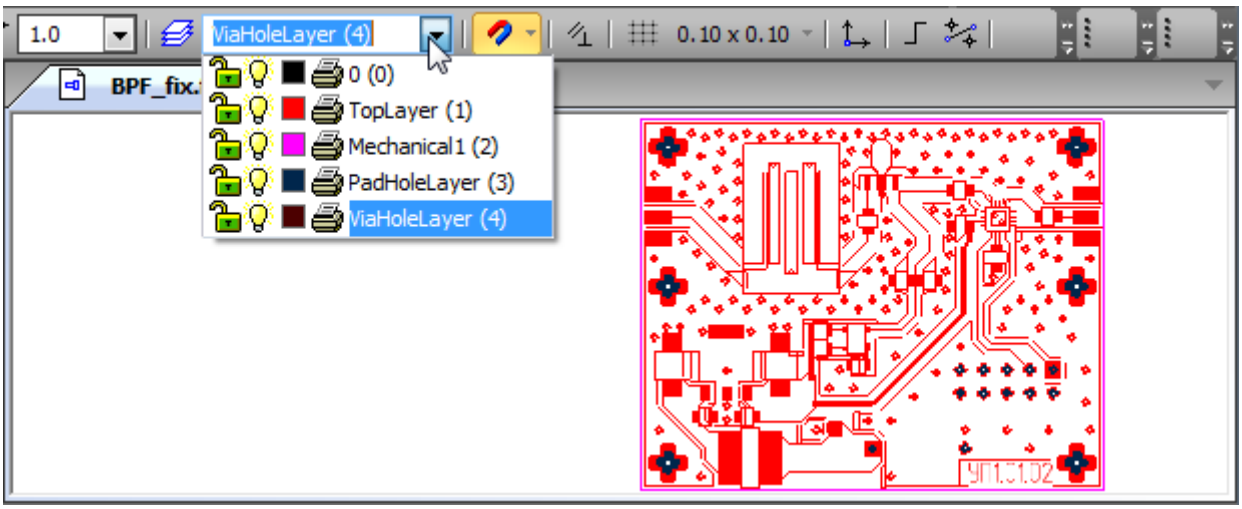


Рис. 13.12

Примечания:

– фрагмент (файл с расширением «.frw») представляет собой документ для хранения 2D-графики. Отличается от чертежа отсутствием объектов оформления и наличием всего одного вида в масштабе 1:1;

– управление слоями осуществляется в выпадающем списке ПИ «Текущее состояние», показанном на рисунке, или в окне «Менеджер документа», в которое можно перейти, нажав пиктограмму слева от указанного списка;

– каждый вид (при использовании чертежей) может содержать произвольное количество слоев;

– иконка замка позволяет сделать слой фоновым (все его объекты отображаются пунктирными линиями и не доступны для выделения), иконка лампочки – скрыть слой; иконка с цветом – задать цвет объектов слоя; иконка принтера – запретить вывод на печать объектов слоя.

12.5. Удалить все объекты, кроме контура ПП, очертаний полигонов и переходных отверстий (для вариантов с ШТ) из топологии ПФ.

Для этого выполнить следующие действия:

– выделить все объекты (**Ctrl**+**A**);

– запустить команду **Выделить ⇒ Исключить ⇒ Слой ⇒ Выбором** и в появившемся окне выбрать слой **Mechanical1**, после чего нажать кнопку **OK**;

– запустить команду **Выделить ⇒ Исключить ⇒ Рамкой** и в рабочем поле нарисовать прямоугольный контур по границе прямоугольника, ограничивающего топологию ПФ, после чего нажать клавишу **Esc** (рис. 13.13);

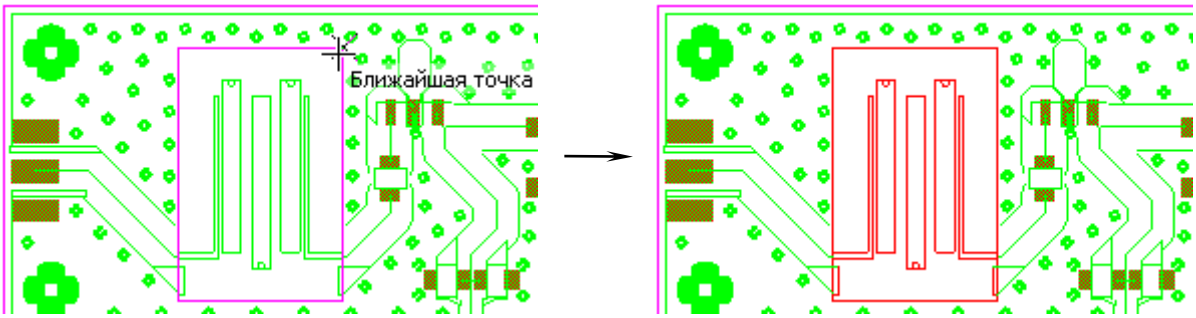


Рис. 13.13

– нажать клавишу **Delete**;

– удалить прямоугольный контур, ограничивающий топологию ПФ, и оставшиеся объекты, не относящиеся к ней (рис. 13.14).

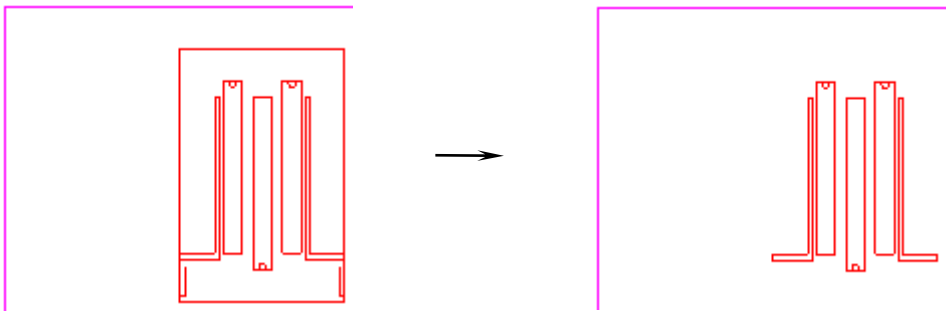


Рис. 13.14

12.6. Выделить все объекты (**Ctrl+A**), щелкнуть ПКМ в рабочем поле и в появившейся над курсором ПИ выбрать стиль линии **Основная** (рис. 13.15), после чего снять выделение.

12.7. В вариантах задания с ШТ выполнить следующие действия:

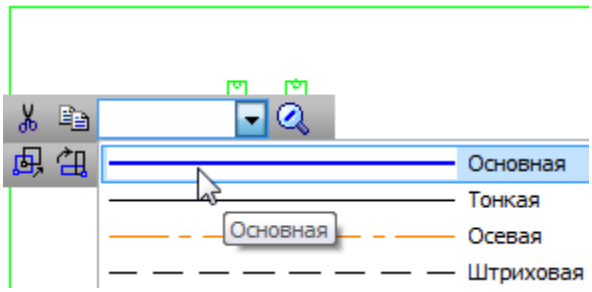


Рис. 13.15

– выделить все объекты (**Ctrl**+**A**);

– на выделенных объектах выполнить команду **ПКМ ⇒ Разрушить** (или команду **Редактор ⇒ Разрушить**), в результате чего импортированные объекты в виде окружностей превратятся в дуги, которые можно редактировать;

– запустить команду **Выделить ⇒ По свойствам**;

– в появившемся окне в группе **Геометрия** выбрать **Дуги**, задать слой **ViaHoleLayer** (рис. 13.16) и нажать **OK**;

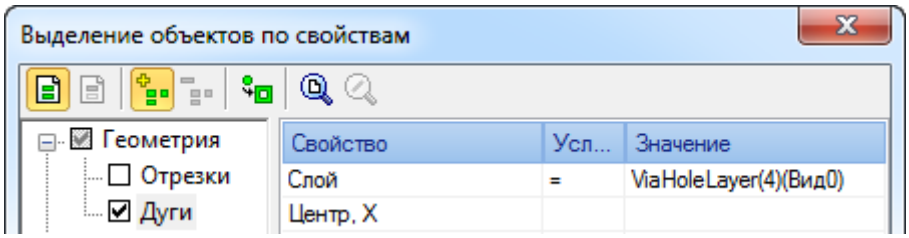


Рис. 13.16

– выполнить команду **ПКМ ⇒ Свойства**;

– в появившемся окне **Свойства** в поле **Диаметр** задать значение диаметра отверстия **0.4** (рис. 13.17), так как были использованы переходные отверстия с шаблоном v90h40;

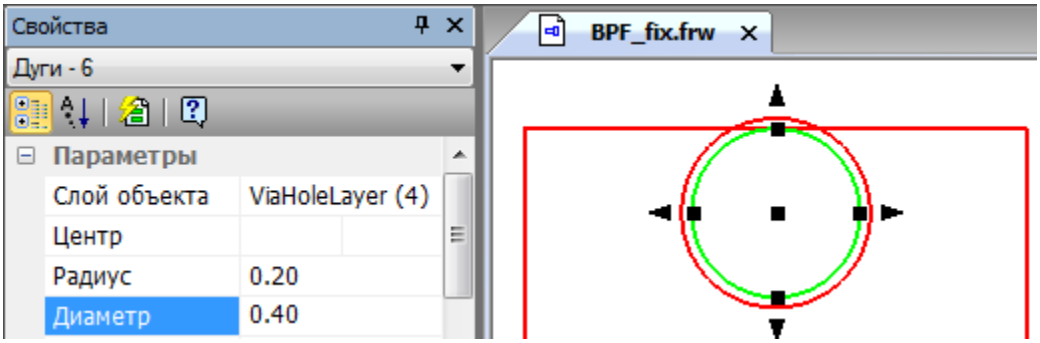


Рис. 13.17

– снять выделение с объектов в рабочем поле;

– запустить команду **Выделить ⇒ По свойствам** и в появившемся окне в группе **Геометрия** выбрать **Дуги**, задать слой **TopLayer** и нажать **OK**;

– в окне **Свойства** в поле **Диаметр** задать значение диаметра металлизации на переходном отверстии **0.9** (рис. 13.18), так как были использованы переходные отверстия с шаблоном v90h40;

– закрыть окно **Свойства**;

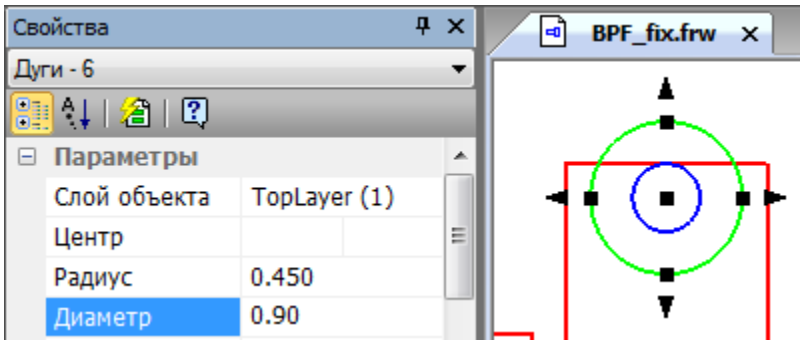


Рис. 13.18

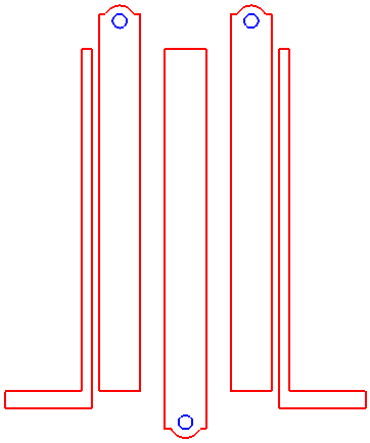


Рис. 13.19

– командой **Усечь кривую** (см. рис. 6.20) из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование детали** удалить линии и дуги так, чтобы для каждого резонатора получился замкнутый контур (рис. 13.19).

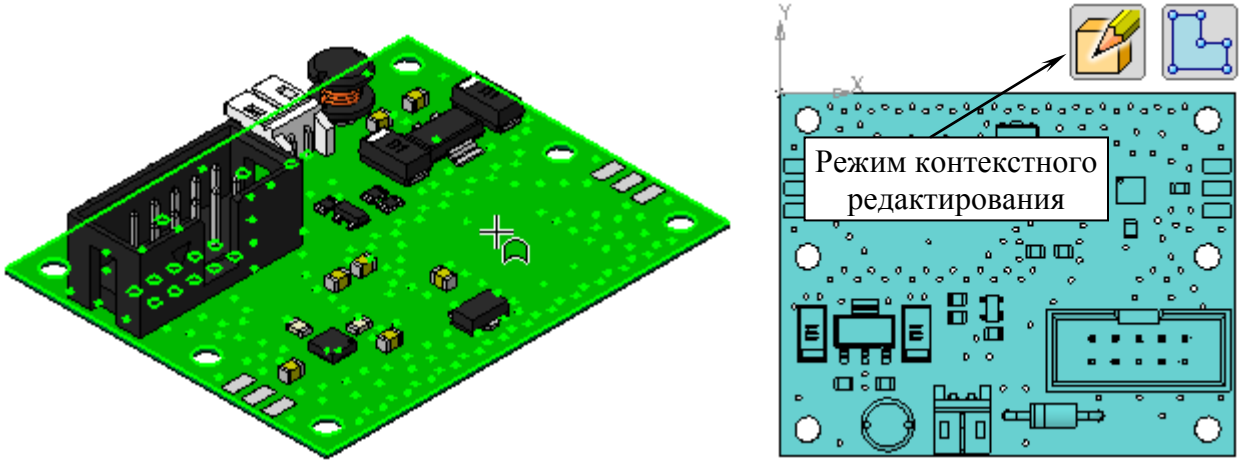
12.8. Проверить отсутствие наложения элементов и замкнутость контуров по пп. 8.1 и 8.2 из 6.5.

При возникновении ошибок устранить их командами **Усечь кривую** или **Удлинить до ближайшего объекта** (см. рис. 6.20) из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование**.

12.9. Открыть 3D-модель «усилителя».

12.10. В рабочем поле выбрать поверхность ПП со стороны установки компонентов для последующего создания на ней 3D-модели ПФ.

Для этого подвести курсор мышки на поверхность, обратив внимание на его вид, и щелкнуть по ней ЛКМ (рис. 13.20, *а*).



а *б*

Рис. 13.20

12.11. Запустить команду **Создать деталь** (рис. 13.21) на ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование сборки**.

В открывшемся окне указать путь и имя создаваемого файла детали, а также выбрать расширение «.m3d». Имя файла в варианте «П1» – «**Полосовой фильтр**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели** (см. рис. 2.8).

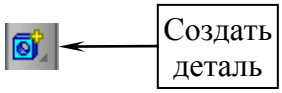


Рис. 13.21

Примечание. Построение любой детали начинается с создания ее основания, поэтому после сохранения файла 3D-модели будет запущен режим создания эскиза ее основания (рис. 13.20, б), который расположится на указанной ранее плоскости на ПП.

Режим создания и редактирования 3D-модели в составе сборки называется контекстным редактированием, при этом визуально происходят следующие изменения:

– вся сборка в рабочем поле окрашивается в голубой цвет;

– в правом верхнем углу рабочего поля появляется соответствующая иконка (рис. 13.20, б);

– в «Дереве модели» редактируемая 3D-модель окрашивается в коричневый цвет (рис. 13.22).

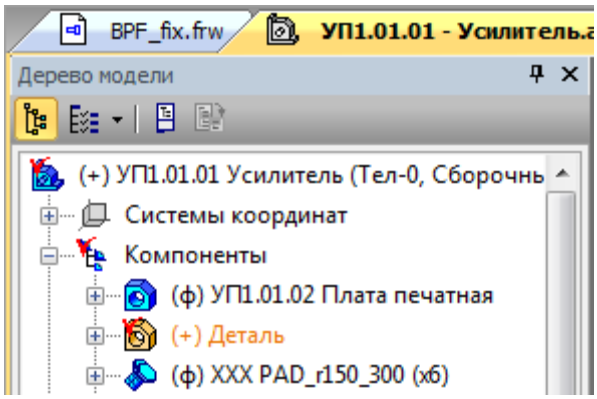


Рис. 13.22

12.12. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5).

12.13. Если эскиз оказался не в плоскости рабочего окна, то выполнить команду **ПКМ ⇒ Нормально к**.

12.14. Перенести контуры топологии ПФ в текущий эскиз:

– перейти на вкладку с **BPF_fix.frw**;

– выделить только элементы топологии ПФ без контура ПП;

– скопировать (**Ctrl+C**) выделенные элементы, указав в качестве базовой точки угол контура ПП, в котором в файле трассировки располагалась точка начала координат (см. рис. 12.25);

– перейти на вкладку с «усилителем»;

– вставить (**Ctrl+V**) скопированные объекты, указав базовую точку в точке начала координат и завершить команду клавишей **Esc**;

– закрыть вкладку с **BPF_fix.frw** с сохранением изменений;

– выйти из режима редактирования эскиза.

Примечание. Если был осуществлен выход из режима контекстного редактирования, то вернуться в него можно по п. 18.12 из разд. 15.

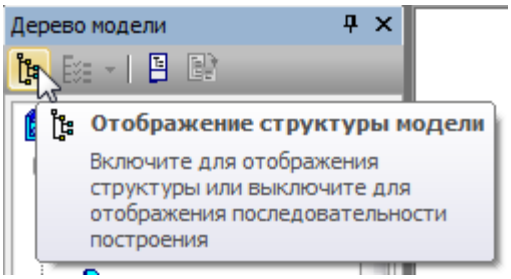


Рис. 13.23

12.15. Отключить группировку составных частей сборки и основных элементов деталей по общему признаку, для чего в **Дереве модели** отжать пиктограмму **Отображение структуры модели** (рис. 13.23).

12.16. В **Дереве модели** раскрыть подгруппу **Деталь**, выбрать ЛКМ созданный эскиз (**Эскиз:1**) и запустить команду **Операция выдавливания** из группы «Кинематическая операция» (см. рис. 6.23 и 6.36).

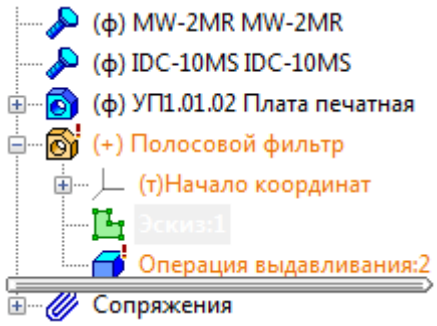


Рис. 13.24

На **Панели свойств** задать направление выдавливания от ПП с расстоянием **0.02** мм и дважды нажать пиктограму **Создать объект**.

12.17. В **Дереве модели** по п. 5 изменить наименование 3D-модели ПФ на имя файла – **Полосовой фильтр**.

Фрагмент **Дерева модели** с ПФ на данном этапе показан на рис. 13.24.

12.18. Выйти из режима контекстного редактирования одним из следующих способов:

– отжать пиктограмму **Редактировать на месте** на ПИ **Текущее состояние** (рис. 13.25);

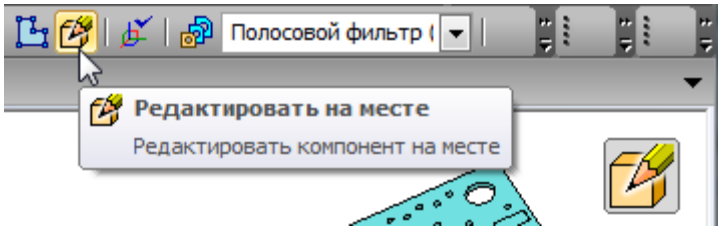


Рис. 13.25

– нажать на иконку режима контекстного редактирования в правом верхнем углу рабочего поля (рис. 13.20, *б* и 13.25);

– в **Дереве модели** на редактируемой 3D-модели выполнить команду **ПКМ ⇒ Редактировать на месте**.

12.19. В **Дереве модели** нажать пиктограмму **Отображение структуры модели** (см. рис. 13.23).

12.20. Зафиксировать ПФ.

13. Сохранить изменения в 3D-модели «усилителя» (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 13.26.

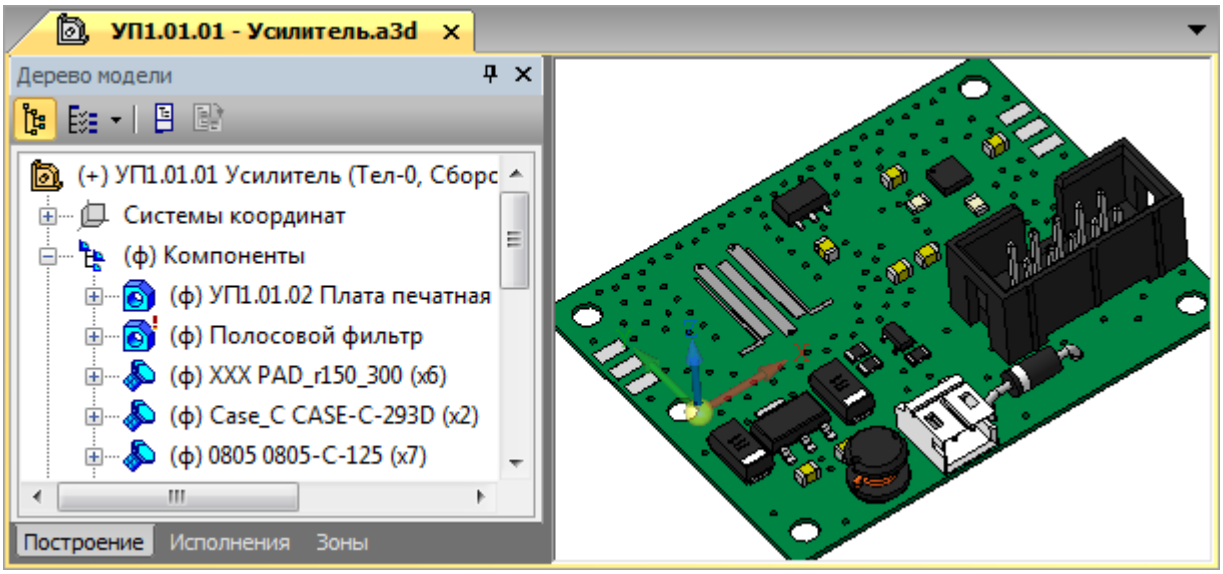


Рис. 13.26

Примечание. При использовании файлов в промежуточных форматах PARASOLID или STEP 3D, экспортированных из Altium Designer, в MCAD сразу же после их импорта будет сформирована полная 3D-модель печатного узла (ПП и компоненты). Однако при этом способе невозможно вручную изменить толщину ПП, 3D-модели компонентов и ПП будут представлены в виде цельных тел и для отдельных компонентов может быть потеряна информация об их цвете (актуально для формата STEP 3D).

На рис. 13.27 показан фрагмент файла «**Расчеты (3D-модель).xmcd**», в котором производились расчеты в варианте «П1».

Переопределение единиц измерения

мм = mm мкм = μm г = gm

Переопределение единиц измерения

Толщина ПП под "экраном"

Базовая толщина диэлектрика: $h = 0.508\,мм$

Толщина меди (с каждой стороны): $t = 18\,мкм$

Толщина гальванической меди: $h_{гм} = 0.02\,мм$

Толщина финишного защитного покрытия ImmAg: $h_{фп} = 0.4\,мкм$

Толщина ПП под "экраном": $h_{ппэ} = h + 2\left(t + h_{гм} + h_{фп}\right) = 0.5848\,мм$

Округление: $h_{ппэо} = 0.6\,мм$

Масса ПП

Плотность материала основания ПП: $\rho_{пп} = 3.2 \cdot 10^{-3}\,\frac{г}{мм^3}$

Рис. 13.27

Для изменения формата вывода результатов вычисления служит команда **Format ⇒ Result**. Окно Result Format показано на рис. 13.28.

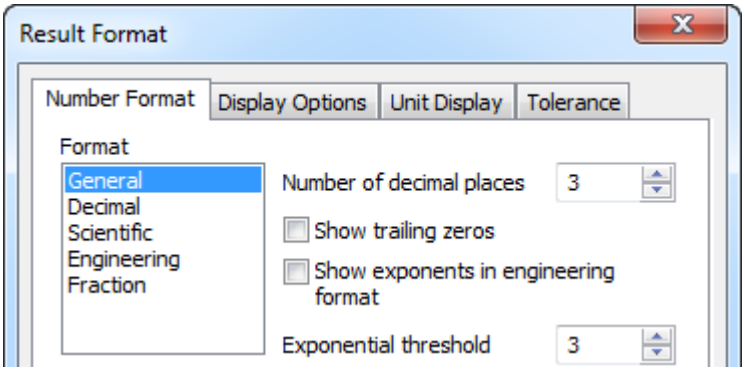


Рис. 13.28

В Mathcad доступны пять форматов:

а) **General** – десятичная дробь со следующими настройками:

– **Number of decimal places** – количество знаков после запятой;

– **Show trailing zeroes** – дробь дополняется нулями до указанного количества знаков после запятой;

– **Show exponents in engineering format** – в экспоненциальной форме используются порядки, кратные трем;

– **Exponential threshold** – граница перехода к экспоненциальной форме.

б) **Decimal** – десятичная дробь без экспоненты;

в) **Scientific** – экспоненциальная форма;

г) **Engineering** – экспоненциальная форма с порядками, кратными трем;

д) **Fraction** – простая дробь.

Для изменения формата вывода только выбранного результата необходимо по нему дважды щелкнуть ЛКМ или один раз щелкнуть ЛКМ и запустить указанную выше команду.

13.2. Содержание отчета

По 13-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Расчет толщины ПП под «экраном».
2. Расчет массы ПП.
3. Рисунок 3D-модели «усилителя» с размещенной топологией фильтра.

14. 3D-МОДЕЛЬ «ЭКРАНА»

«Экран» представляет собой деталь. Его 3D-модель будет разрабатываться в составе «модуля усилителя» на уже созданной 3D-модели «усилителя» с использованием информации со слоя **Shield** из файла трассировки.

Для создания 3D-модели «экрана» выполнить следующие действия:

1. В **КОМПАС-3D** командой **Файл ⇒ Создать ⇒ Новые документы ⇒ Сборка ⇒ OK** создать новую сборку, которая станет в дальнейшем 3D-моделью «модуля усилителя».

2. В **Дереве модели** созданной сборке задать обозначение и наименование «модуля усилителя» согласно информации из табл. 2.1 (см. п. 5 из 13.1).

Примечание. В варианте «П1» записано «УП1.00.01» и «Модуль усилителя».

3. Сохранить 3D-модель командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.a3d» и именем, состоящим из указанных ранее наименования и обозначения. Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01 - Модуль усилителя**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_Модели** (см. рис. 2.7).

4. Запустить команду **Добавить из файла** (см. рис. 13.9) из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование сборки** и выполнить следующее:

– в открывшемся окне выбрать 3D-модель «усилителя» и нажать **OK** (если вкладка с «усилителем» была закрыта, то указать путь к 3D-модели и нажать кнопку **Открыть**);

– на **Панели свойств** в поле **Опорная точка** задать нулевые координаты и нажать клавишу **Enter** (или поставить крестик около указанного поля);

– нажать пиктограмму **Создать объект**.

5. Скрыть **Начало координат** и отжать пиктограмму **Отображение структуры модели** (см. рис. 13.23).

6. Сохранить сборку (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

7. В составе сборки создать деталь, которая станет в дальнейшем 3D-моделью «экрана». Для этого выполнить следующее:

– в рабочем поле выбрать поверхность ПП «усилителя» со стороны установки компонентов, щелкнув по ней ЛКМ (см. рис. 13.20, *а*);

– запустить команду **Создать деталь** (см. рис. 13.21) на ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование сборки**;

– в открывшемся окне указать путь и имя создаваемого файла с обозначением и наименованием согласно информации из табл. 2.1, а также выбрать

расширение «.m3d». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.03 - Экран**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_Модели** (см. рис. 2.7).

8. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее бражение (см. пп. 4 и 5 из 6.5). Также проверить, что на ПИ **Режимы** отключена пиктограмма **Перспектива** (рис. 14.1).



Рис. 14.1

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 14.2.

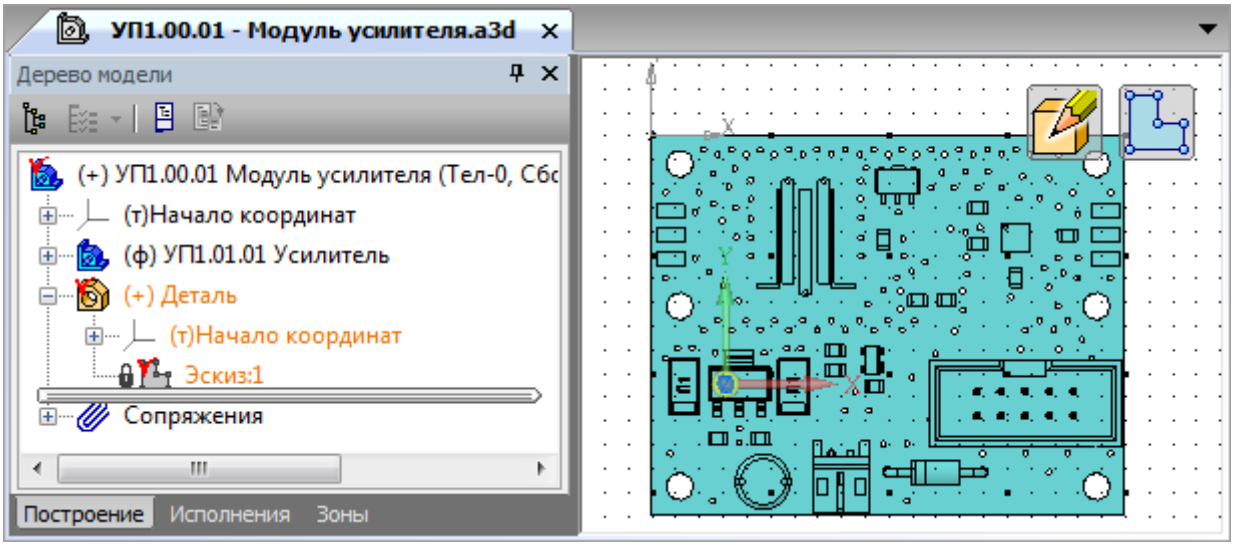


Рис. 14.2

9. Экспортировать из **Altium Designer** информацию об «экране», для чего выполнить следующие действия:

– если проект ПП был закрыт, то открыть его по п. 1 из 12.1;

– если файл трассировки был закрыт, то открыть его по п. 3 из 8.3;

– включить набор слоев **Shield**;

– скрыть слои **M3 Top Assy** и **Top Layer**, выполнив на вкладках с их названиями команды **ПКМ ⇒ Hide**;

– запустить команду **File ⇒ Export ⇒ DXF/DWG**;

– в открывшемся окне Export File задать путь и имя для сохранения файла с контурами «экрана» в формате DXF. Имя файла в варианте «П1» – «**Shield**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_Модели**. Затем нажать кнопку **Сохранить**;

– в появившемся окне Export to AutoCAD задать настройки с рис. 13.10, но с отключенной опцией **Export pads and via holes**, после чего запустить процесс экспорта кнопкой **OK**;

– после появления сообщения об успешном завершении процесса закрыть файл трассировки без сохранения изменений;

– запустить программу **ИДРЭС-DXFfix** из папки **…\ИДРЭС\Программы** и нажать кнопку **Исправить**.

Примечание. Выставленные при запуске программы настройки (включены опции корректировки объектов LWPOLYLINE с точностью 0,01 мм и удаление окружностей) не требуют изменений. С опцией «Удалить окружности» будут удалены окружности, расположенные на концах скруглений в контуре внутренней полости «экрана» (рис. 14.3);

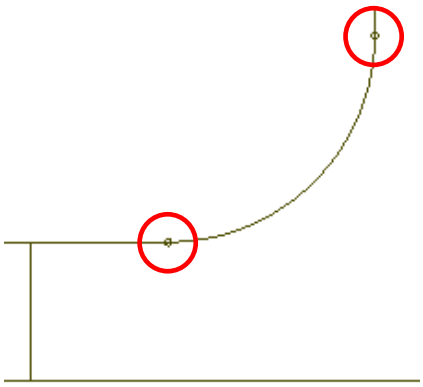


Рис. 14.3

– в появившемся окне выбрать требуемый файл DXF с контурами «экрана» и нажать кнопку **Открыть**.

10. В **КОМПАС-3D** открыть файл **Shield_fix.dxf** (см. п. 12.4 из 13.1).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 14.4.

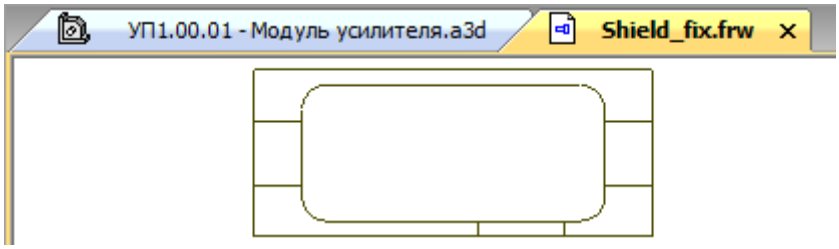


Рис. 14.4

11. На вкладке с контуром «экрана» выполнить следующие действия:

– выделить все объекты (**Ctrl+A**);

– на выделенных объектах выполнить команду **ПКМ ⇒ Разрушить** (или команду **Редактор ⇒ Разрушить**);

– назначить всем объектам стиль линии **Основная** (см. п. 12.6 из 13.1);

– выделить и скопировать все объекты (**Ctrl+C**), указав в качестве базовой точки угол контура ПП, в котором в файле трассировки располагалась точка начала координат (см. рис. 12.25).

12. Перейти на вкладку с «модулем усилителя» и вставить скопированные объекты (**Ctrl+V**), указав базовую точку в точке начала координат.

13. Оставить в эскизе только внешний контур «экрана».

Для этого выделить все остальные объекты и вырезать их (**Ctrl+X**), указав базовую точку в точке начала координат (рис. 14.5).

Примечания:

– при массовом выделении мышкой слева направо выделенными окажутся только полностью попавшие в контур выделения объекты;

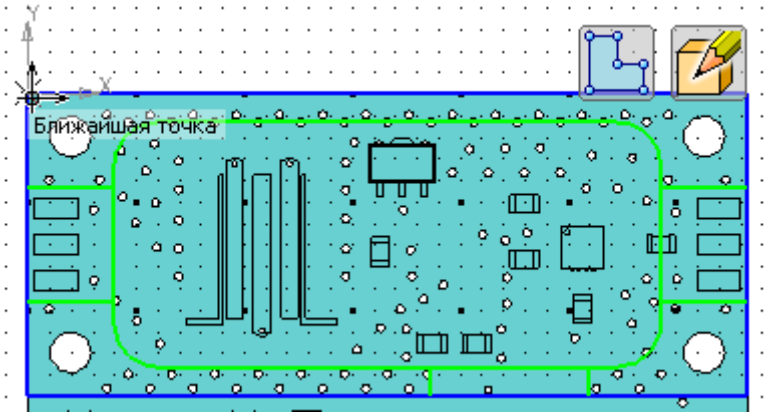


Рис. 14.5

– при массовом выделении мышкой справа налево выделенными окажутся полностью и частично попавшие в контур выделения объекты;

– добавление объектов к уже выделенным осуществляется с зажатой клавишей Ctrl.

14. Выйти из режима редактирования эскиза.

Примечание. Если был осуществлен выход из режима контекстного редактирования, то вернуться в нее можно по п. 18.12 из разд. 15.

15. Определить толщину «экрана» по формуле:

$$h_э = h_{муэ} - h_{осн} - h_{ппэо}. \qquad (14.1)$$

Расшифровка $h_{муэ}$ и $h_{осн}$ дана в описании к (4.9).

В варианте «П1»:

$$h_э = 10 - 3 - 0{,}6 = 6{,}4 \text{ мм}.$$

В варианте «П1» вычисления и записи для 3D-модели «экрана» и чертежей «экрана» и «основания» сохранялись в Mathcad в файле **Расчеты (детали).xmcd** в папке **…\ИДРЭС-П1_Заметки** (см. рис. 2.7).

16. В **Дереве модели** выбрать ЛКМ созданный эскиз (**Эскиз:1**) и запустить команду **Операция выдавливания** (см. рис. 6.23).

На **Панели свойств** задать направление выдавливания в сторону от поверхности ПП на расстояние, полученное по (14.1), и нажать пиктограмму **Создать объект**.

При появлении ошибки проверить эскиз по пп. 8.1 и 8.2 из 6.5.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 14.6.

17. На поверхности ПП «усилителя» со стороны установки компонентов (рис. 14.7), не выходя из режима контекстного редактирования детали, создать новый эскиз (**Эскиз:2**) и вставить из буфера обмена (**Ctrl+V**) вырезанные ранее объекты, указав базовую точку в точке начала координат.

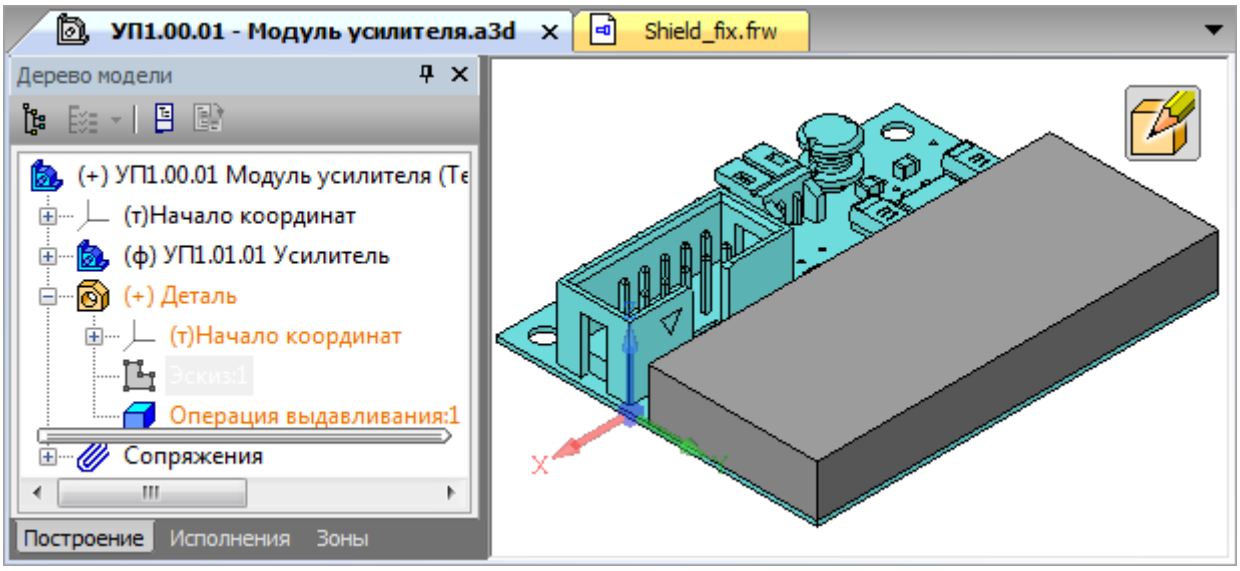


Рис. 14.6

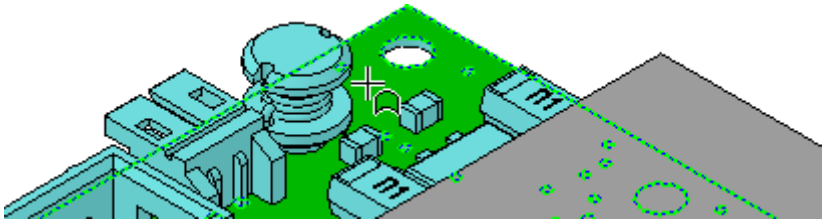


Рис. 14.7

18. Вырезать все объекты (**Ctrl+X**), относящиеся к прорезям в стенках «экрана», относительно точки начала координат.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 14.8.

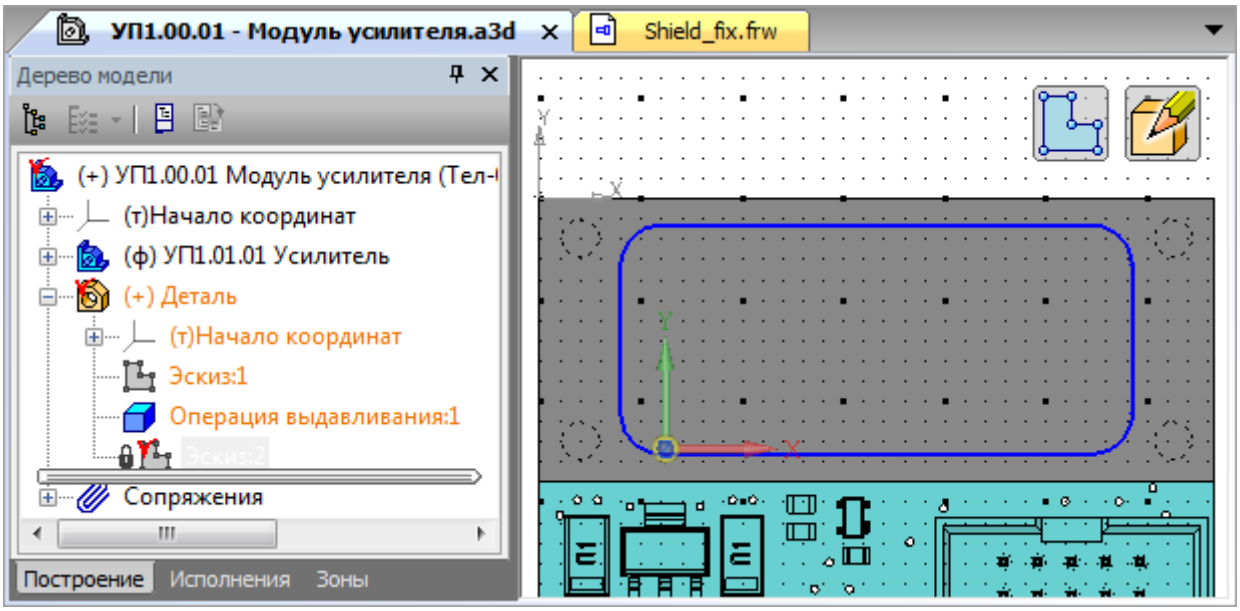


Рис. 14.8

19. Определить высоту внутренней полости «экрана» по формуле:

$$h_{\text{эп}} = h_{\text{э}} - h_{\text{кэ}}. \qquad (14.2)$$

Расшифровка $h_{кэ}$ дана в описании к (4.9).

В варианте «П1»:

$$h_{эп} = 6{,}4 - 1 = 5{,}4 \text{ мм}.$$

20. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:2**).

21. Сохранить изменения в 3D-модели (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

22. В **Дереве модели** выбрать ЛКМ эскиз (**Эскиз:2**) и запустить команду **Вырезать выдавливанием** (см. рис. 6.29) из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование детали**.

На **Панели свойств** задать направление вырезания внутрь «экрана» на расстояние, полученное по (14.2), и нажать пиктограмму **Создать объект**.

При появлении ошибки проверить эскиз по пп. 8.1 и 8.2 из 6.5.

23. На поверхности ПП «усилителя» со стороны установки компонентов (см. рис. 14.7), не выходя из режима контекстного редактирования детали, создать новый эскиз (**Эскиз:3**) и вставить из буфера обмена (**Ctrl+V**) вырезанные ранее объекты, указав базовую точку в точке начала координат.

24. Относительно точки начала координат вырезать все линии (**Ctrl+X**), относящиеся к прорези в тонкой стенке «экрана».

25. Командой **Отрезок** (см. рис. 6.11) нарисовать четыре линии для создания замкнутых контуров прорезей в толстых стенках «экрана».

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 14.9.

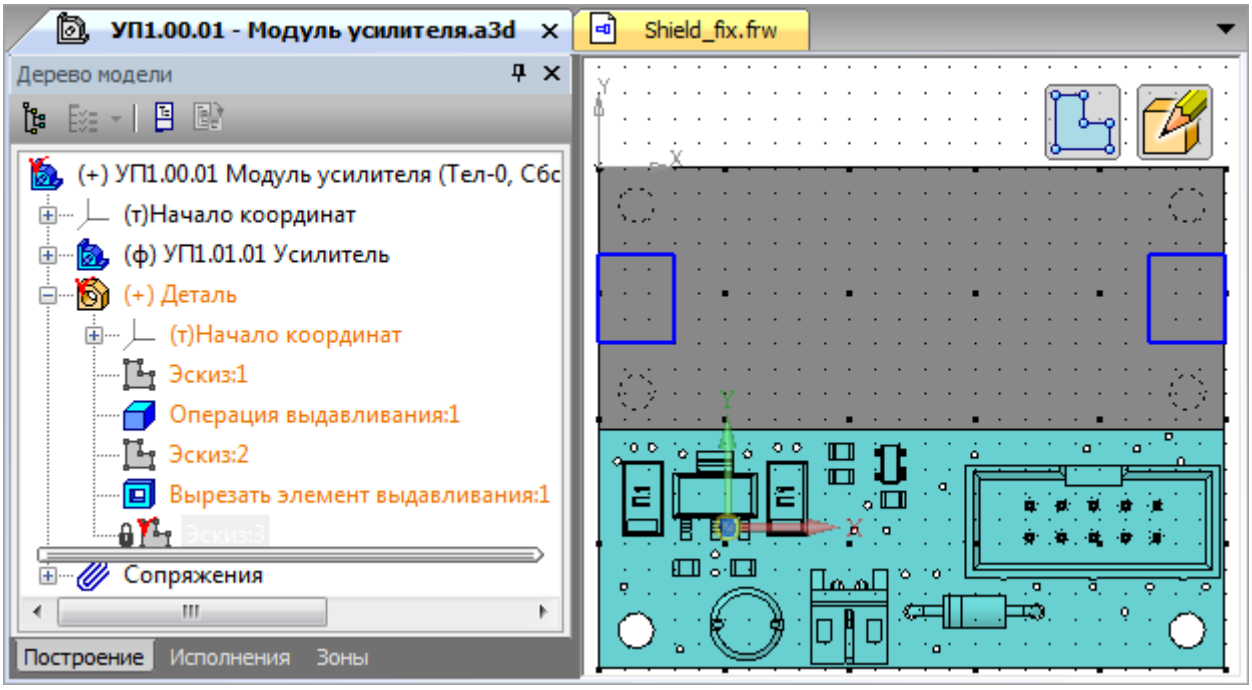


Рис. 14.9

26. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:3**).

27. В **Дереве модели** выбрать ЛКМ эскиз (**Эскиз:3**) и запустить команду **Вырезать выдавливанием**.

На **Панели свойств** задать направление вырезания внутрь «экрана» на расстояние 1 мм и нажать пиктограмму **Создать объект**.

28. На поверхности ПП «усилителя» со стороны установки компонентов (см. рис. 14.7), не выходя из режима контекстного редактирования детали, создать новый эскиз (**Эскиз:4**) и вставить из буфера обмена (**Ctrl+V**) вырезанные ранее объекты, указав базовую точку в точке начала координат.

29. Нарисовать линии для создания замкнутого контура прорези в тонкой стенке «экрана» с временным включением режима **Ортогональное черчение** зажатой клавишей **Shift**.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 14.10.

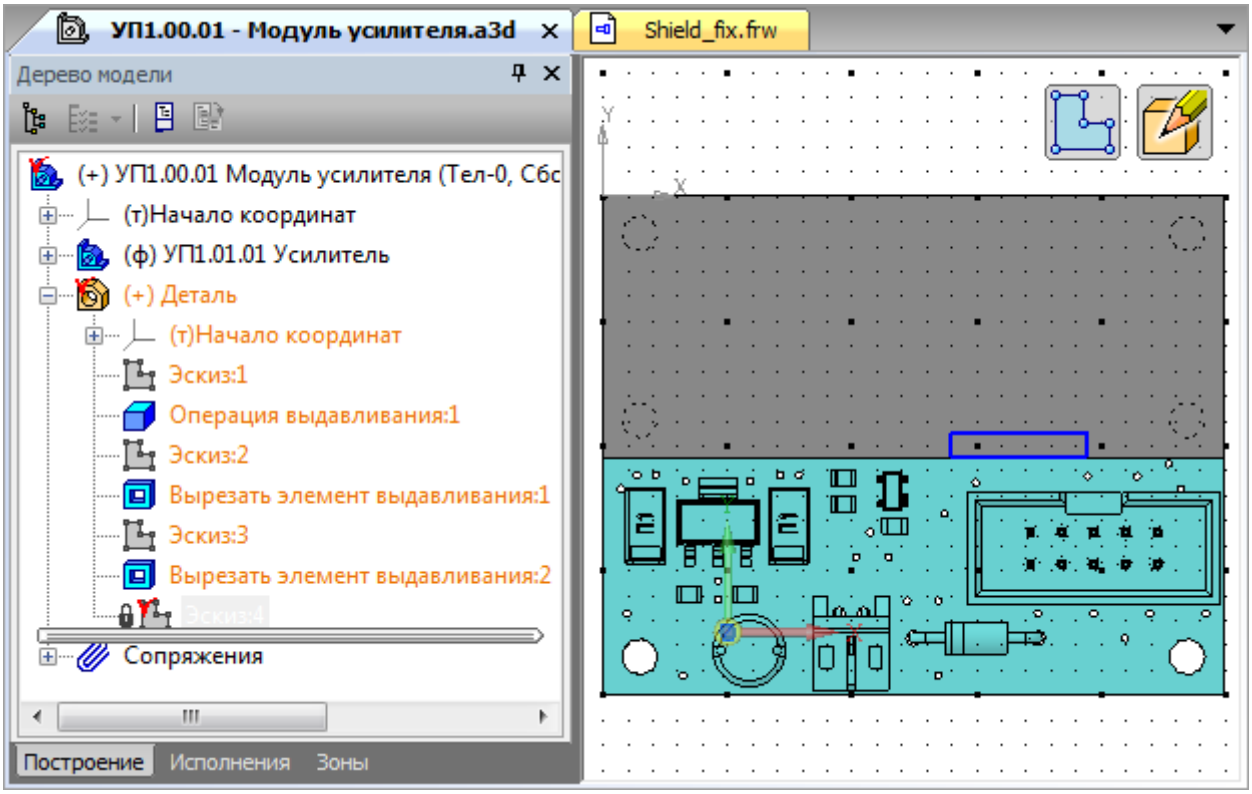


Рис. 14.10

30. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:4**).

31. В **Дереве модели** выбрать ЛКМ эскиз (**Эскиз:4**) и запустить команду **Вырезать выдавливанием**.

На **Панели свойств** задать направление вырезания внутрь «экрана» на расстояние 1 мм и нажать пиктограмму **Создать объект**.

При появлении ошибки проверить эскиз по пп. 8.1 и 8.2 из 6.5.

32. Создать опорные поверхности под установку винтов М2,5 с потайной головкой (метрическая резьба с диаметром 2,5 мм) согласно требованиям ГОСТ 12876–67 [66] со следующими размерами (рис. 14.11):

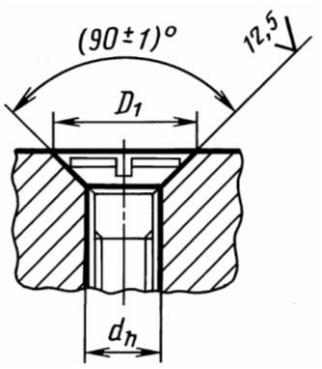


Рис. 14.11 [66]

$$D_1 = 5{,}7\text{H13}^{(+0{,}18)} \text{ мм};$$

$$d_h = 3{,}1\text{H13}^{(+0{,}14)} \text{ мм},$$

где H13 – поле допуска для 13-го квалитета (см. Д.6).

Для получения опорных поверхностей выполнить следующие действия:

32.1. На поверхности ПП «усилителя» со стороны установки компонентов (см. рис. 14.7), не выходя из режима контекстного редактирования детали, создать новый эскиз (**Эскиз:5**).

32.2. Выполнить команду **Вид ⇒ Отображение ⇒ Каркас** или нажать соответствующую пиктограмму на ПИ **Вид** (рис. 14.12).

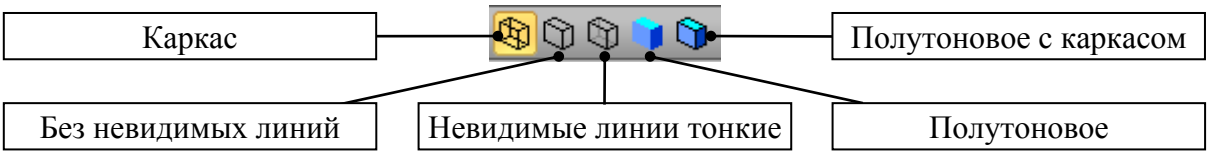


Рис. 14.12

32.3. Запустить команду **Окружность** (ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия**). Затем на **Панели свойств** в поле **Диаметр** задать значение **3.1** мм и нажать пиктограмму **Запомнить состояние** (рис. 14.13).

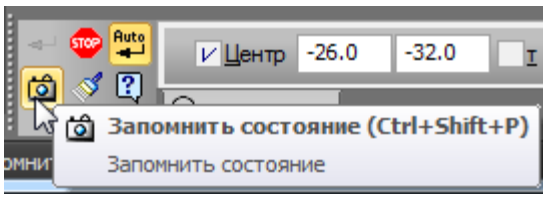


Рис. 14.13

32.4. На ПИ **Глобальные привязки** в группе **Локальные привязки** выбрать **Центр** (или в рабочем поле выполнить команду **ПКМ ⇒ Привязка ⇒ Центр**).

Затем подвести курсор мышки к контуру одного из крепежных отверстий на ПП под «экраном» (рис. 14.14) и нажать ЛКМ для добавления окружности.

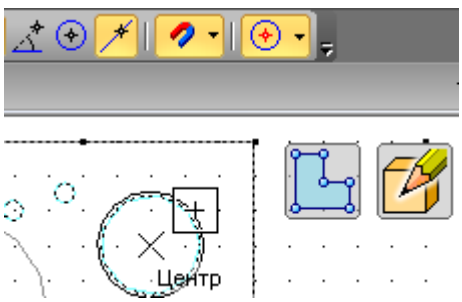


Рис. 14.14

Добавить остальные крепежные отверстия под «экраном», после чего выйти из команды создания окружностей.

32.5. Выполнить команду **Вид ⇒ Отображение ⇒ Полутоновое с каркасом** или нажать соответствующую пиктограмму на ПИ **Вид** (см. рис. 14.12).

32.6. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:5**).

32.7. В **Дереве модели** выбрать ЛКМ эскиз (**Эскиз:5**) и запустить команду **Вырезать выдавливанием**.

На **Панели свойств** задать направление вырезания внутрь «экрана» в режиме **До ближайшей поверхности** (рис. 14.15) и нажать пиктограмму **Создать объект**.

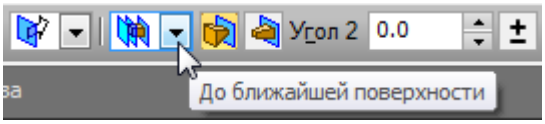


Рис. 14.15

32.8. Запустить команду **Фаска** из группы «Скругление» на ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование детали** (рис. 14.16), после чего в **Панели свойств** в поле **Длина 1** записать **1.3**, а в поле **Угол – 45**.

Затем в рабочем поле на верхней стороне «экрана» последовательно щелкнуть ЛКМ на все ребра отверстий, после чего в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**.

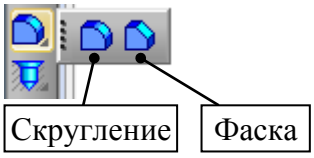


Рис. 14.16

33. Для 3D-модели «экрана» указать его обозначение и наименование, а также в соответствии с общим заданием на проектирование задать материал Д16 ГОСТ 4784–97:

– в **Дереве модели** на «экране» запустить команду **ПКМ ⇒ Свойства компонента**;

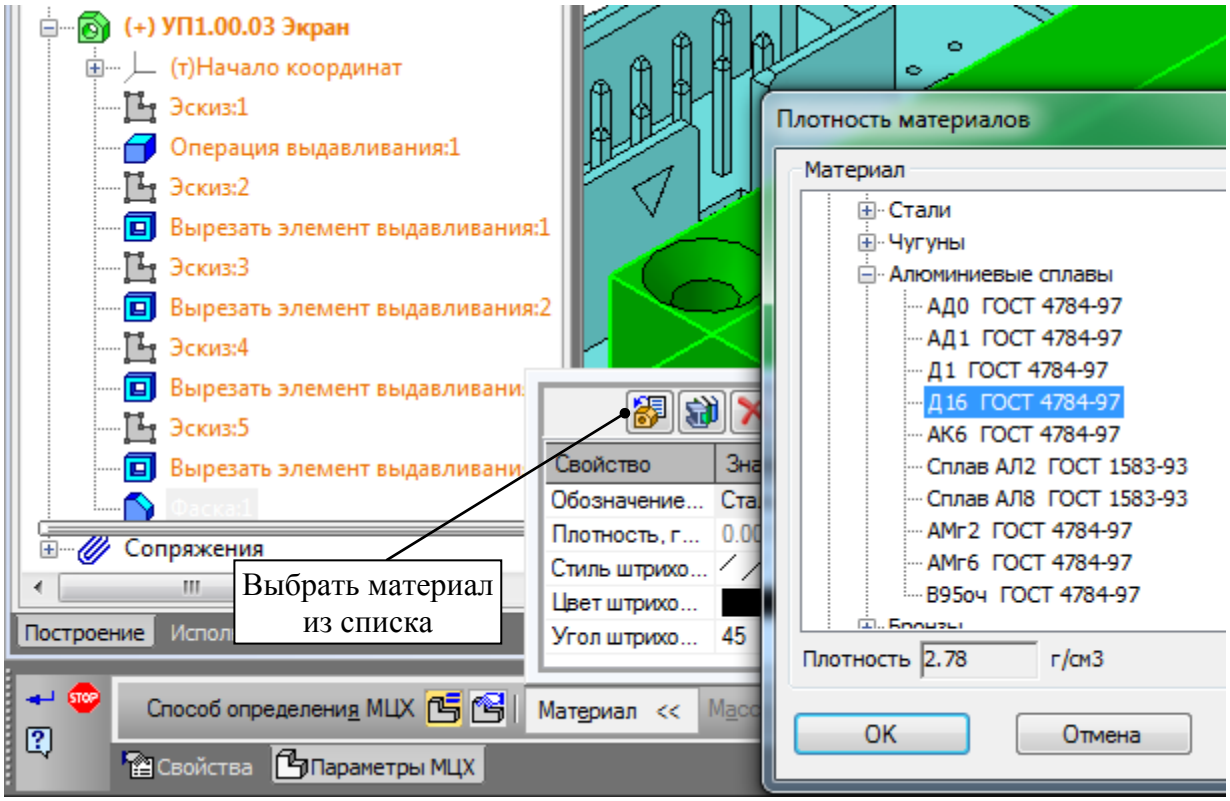


Рис. 14.17

– на вкладке **Свойства** в окне **Список свойств** заполнить поля **Обозначение** и **Наименование** согласно информации из табл. 2.1.

Примечание. В варианте «П1» записано «УП1.00.03» и «Экран»;

– на вкладке **Параметры МЦХ** в окне **Материал** нажать пиктограмму **Выбрать материал из списка;**

– в появившемся окне **Плотность материалов** в группе **Алюминиевые сплавы** выбрать **Д16 ГОСТ 4784-97** (см. рис. 14.17) и нажать **ОК**;

– применить изменения пиктограммой **Создать объект.**

34. Выйти из режима контекстного редактирования «экрана».

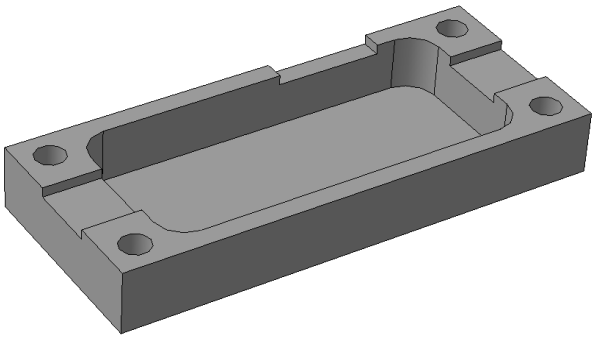


Рис. 14.18

35. Закрыть вкладку с фрагментом «экрана» (**Shield_fix.frw**) с сохранением изменений.

36. В **Дереве модели** зафиксировать «экран».

37. Сохранить изменения в 3D-модели (**Ctrl+S**).

Результат создания 3D-модели «экрана» в варианте «П1» со скрытым «усилителем» показан на рис. 14.18.

3D-модель «экрана» будет доработана в разд. 16.

Требования к содержанию отчета по данному этапу приведены в 16.2.

Примечание. Создание эскиза «экрана» в файле трассировки позволяет корректно расположить его контуры относительно проводящего рисунка ПП. Однако это не означает, что при создании модели ничего менять нельзя. Так, в варианте «П1» на рис. 14.9 размеры прорезей в толстых стенках были уменьшены с 8 до 7 мм.

15. 3D-МОДЕЛЬ «ОСНОВАНИЯ»

«Основание», как и «экран», представляет собой деталь. Его 3D-модель будет разрабатываться в составе «модуля усилителя» с использованием результатов, полученных в разд. 13 и 14, а также с использованием 3D-модели СВЧ-разъема.

«Основание» во всех вариантах задания будет двухуровневым:

– первый уровень толщиной 3 мм ($h_{\text{осн}}$) с резьбовыми отверстиями под винты М2,5 и контуром, который в сечении соответствует контуру ПП «усилителя»;

– второй уровень толщиной 10 мм ($h_{\text{муэ}}$) для крепления СВЧ-разъемов и контуром, который в сечении представляет собой два одинаковых прямоугольника за пределами контура первого уровня около входа и выхода изделия с длиной, равной ширине «экрана».

Такая двухуровневая структура позволяет снимать «экран» для настройки «усилителя» без извлечения СВЧ-разъемов, при этом ПП «усилителя» остается прикрепленной к «основанию».

На рис. 15.11 показаны некоторые возможные формы «основания» из вариантов задания.

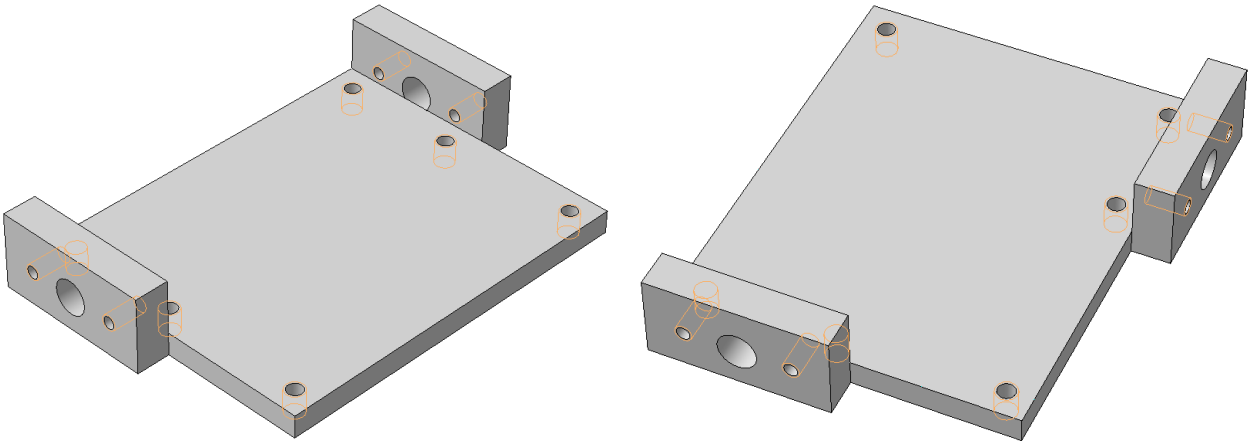


Рис. 15.1

Для создания 3D-модели «основания» выполнить следующие действия:

1. В **КОМПАС-3D** командой **Файл ⇒ Открыть** открыть 3D-модель «модуля усилителя», если она была закрыта.

2. Убедиться в том, что в **Дереве модели** отжата пиктограмма **Отображение структуры модели** (см. рис. 13.23).

3. Если какая-нибудь 3D-модель была скрыта, то в **Дереве модели** выполнить на ней команду **ПКМ ⇒ Показать**.

4. В составе сборки создать деталь, которая станет в дальнейшем 3D-моделью «основания», для чего выполнить следующее:

– СКМ повернуть «модуль усилителя» в рабочем поле так, чтобы была видна поверхность ПП «усилителя» без компонентов, после чего выбрать ее, щелкнув ЛКМ (рис. 15.2);

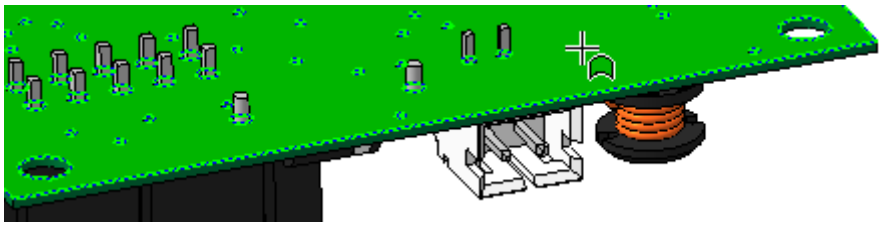


Рис. 15.2

– запустить команду **Создать деталь** (см. рис. 13.21) на ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование сборки**;

– в открывшемся окне указать путь и имя создаваемого файла с обозначением и наименованием согласно информации из табл. 2.1, а также выбрать расширение «.m3d». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.02 - Основание**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_Модели** (см. рис. 2.7).

5. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5). Также проверить, что на ПИ **Режимы** отключена пиктограмма **Перспектива** (см. рис. 14.1).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 15.3.

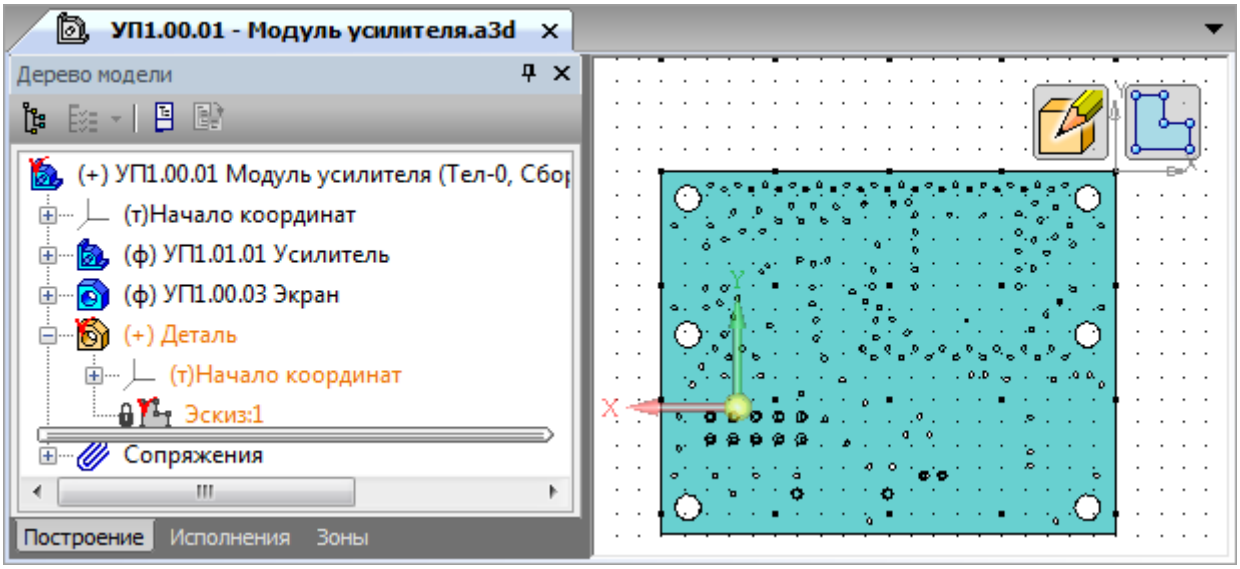
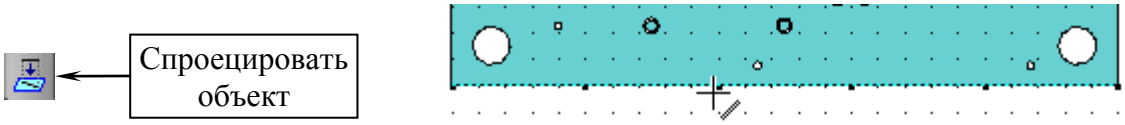


Рис. 15.3

6. Запустить команду **Спроецировать объект** из ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия** (рис. 15.4, *а*), после чего по одному разу щелкнуть ЛКМ по каждому ребру ПП (рис. 15.4, *б*).



а *б*

Рис. 15.4

Результат в варианте «П1» на данном этапе с включенным отображением ограничений (голубые перечеркнутые точки) показан на рис. 15.5.

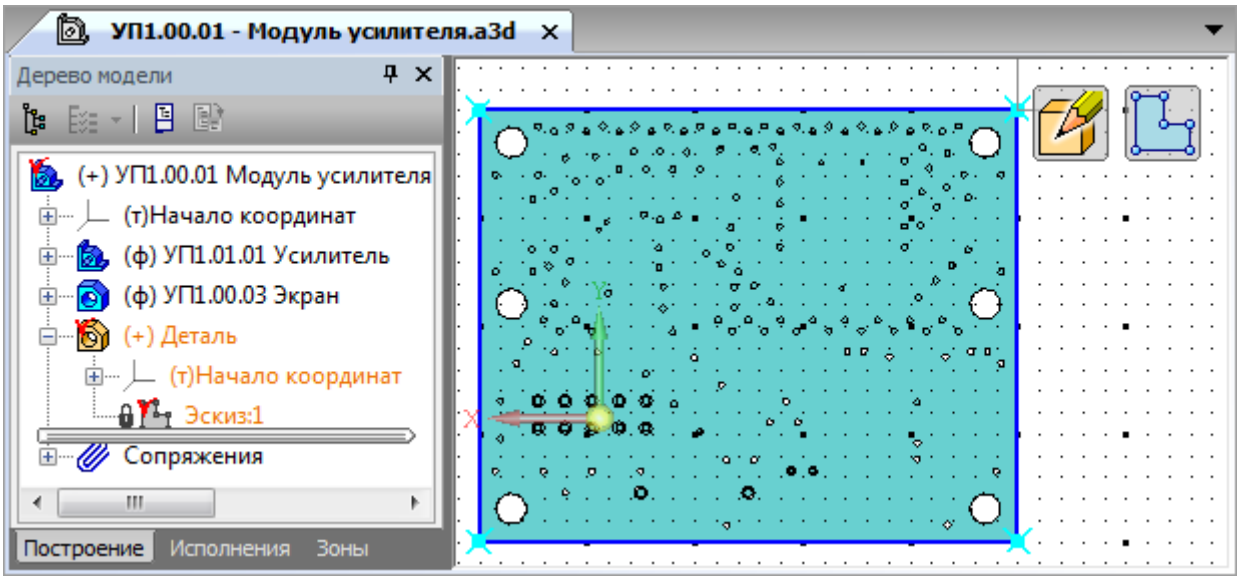


Рис. 15.5

Примечание. При выполнении указанной команды на созданные в эскизе проекции автоматически накладывается параметрическая связь – проекционная связь. Это означает, что созданные в эскизе проекции ассоциативно связаны со своими исходными объектами, т. е. в данном случае при изменении контура ПП в ее 3D-модели произойдет автоматическое перестроение данного эскиза.

Также стоит отметить следующее:

– в настройках профиля, загруженного в 6.2, параметрический режим по умолчанию отключен, но он будет использоваться в чертежах при простановке размеров и различных объектов на ассоциативных видах;

– отобразить и скрыть наложенные ограничения позволяет команда «Отображать ограничения» (рис. 15.6) из ПИ Компактная панель ⇒ Параметризация;

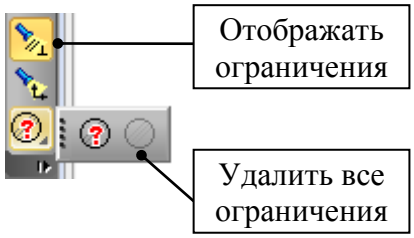


Рис. 15.6

– удалить наложенные ограничения для выделенных объектов позволяет пиктограмма «Удалить все ограничения» из этой же ПИ (рис. 15.6).

7. По пп. 32.3 и 32.4 из разд. 14 добавить окружности диаметром **2.05** мм в центры всех крепежных отверстий на ПП.

Примечание. Указанное значение выбрано согласно ГОСТ 19257–73 [67] для отверстий под резьбу М2,5.

8. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:1**), после чего в **Дереве модели** на нем запустить команду **Операция выдавливания**.

На **Панели свойств** задать направление выдавливания в сторону от ПП на расстояние 3 мм и нажать пиктограмму **Создать объект**.

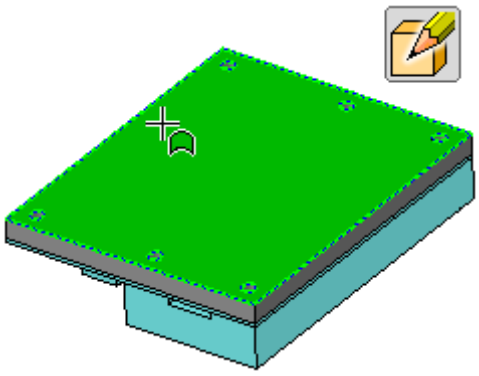


Рис. 15.7

9. Сохранить изменения (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

10. На нижней поверхности «основания» (рис. 15.7), не выходя из режима контекстного редактирования детали, создать новый эскиз (**Эскиз:2**).

11. Выполнить команду **Вид ⇒ Отображение ⇒ Каркас** или нажать соответствующую пиктограмму на ПИ **Вид** (см. рис. 14.12).

12. В **Дереве модели** щелкнуть ЛКМ на «экране», в результате чего его внешний контур подсветится зеленым цветом.

13. Командой **Прямоугольник** (ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия**) нарисовать контур сечения второго уровня «основания», состоящий из двух одинаковых прямоугольников, с учетом следующих требований:

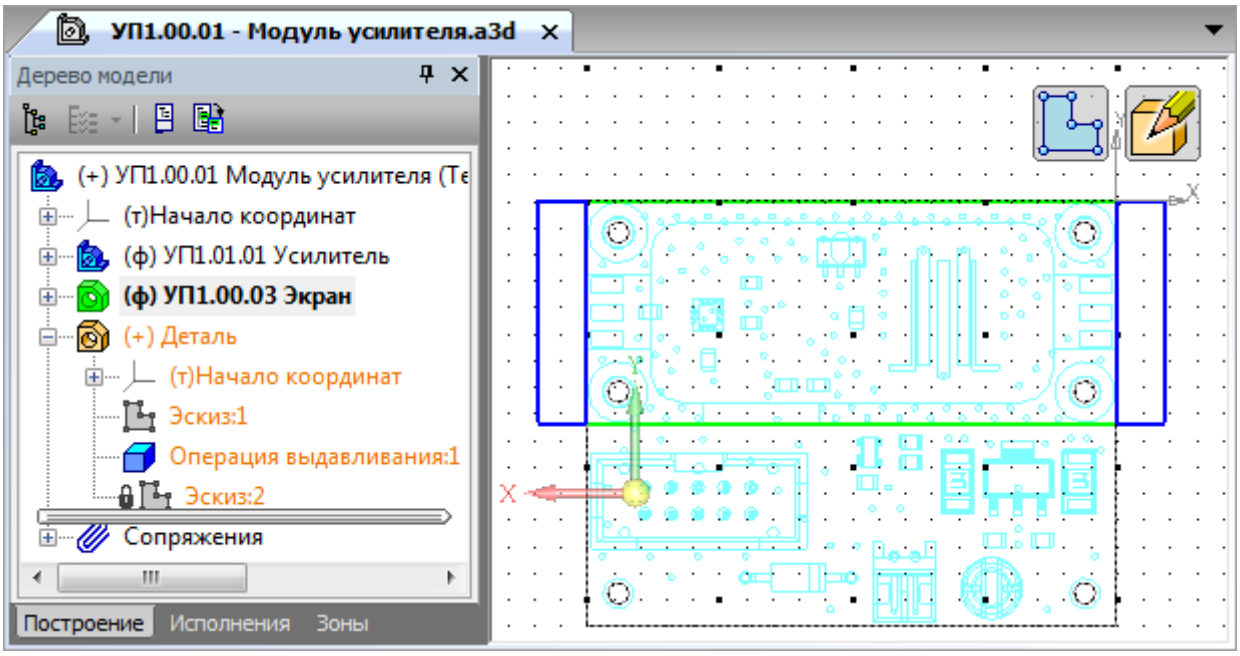


Рис. 15.8

– они должны размещаться снаружи контура ПП «усилителя»;

– длинной стороной они должны касаться контура ПП «усилителя» и по положению совпадать с «экраном» со стороны входа или выхода устройства;

– их длина должна равняться ширине «экрана», а ширина – 4,5 мм.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 15.8.

14. Выполнить команду **Вид ⇒ Отображение ⇒ Полутоновое с каркасом** или нажать соответствующую пиктограмму на ПИ **Вид** (см. рис. 14.12).

15. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:2**), после чего в **Дереве модели** на нем запустить команду **Операция выдавливания**.

На **Панели свойств** задать направление выдавливания в сторону к ПП на расстояние 10 мм и нажать пиктограмму **Создать объект**.

16. Запустить команду **Условное изображение резьбы** из ПИ **Компактная панель ⇒ Элементы оформления** (рис. 15.9).

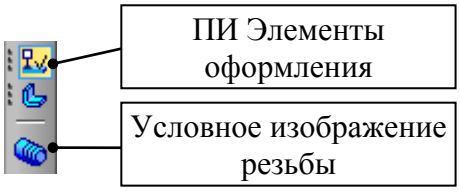


Рис. 15.9

В **Панели свойств** на вкладке **Параметры** выполнить следующее:

– убедиться в том, что в поле **Выберите стандарт резьбы** выбрана опция **Метрическая резьба с крупным шагом ГОСТ 8724-2002**;

– включить опцию **До конечной границы**;

– отключить опцию **Подгонка**.

Затем отдельно для каждого отверстия в «основании» ЛКМ указать его внутреннюю поверхность и нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Enter**.

Завершить команду клавишей **Esc**.

Примечание. При добавлении каждого условного изображения резьбы в «Панели свойств» будут отображаться номинальный диаметр резьбы 2.5 и шаг резьбы 0.45.

17. В **Дереве модели** по п. 33 из разд. 14 указать обозначение и наименование 3D-модели «основания» согласно информации из табл. 2.1, а также в соответствии с общим заданием на проектирование задать материал Д16 ГОСТ 4784–97.

Примечание. В варианте «П1» записано «УП1.00.02» и «Основание».

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 15.10.

18. В боковых выступах «основания» добавить отверстия для установки СВЧ-разъемов, для чего проделать следующее:

18.1. Выйти из режима контекстного редактирования «основания» и сохранить изменения (**Ctrl+S**).

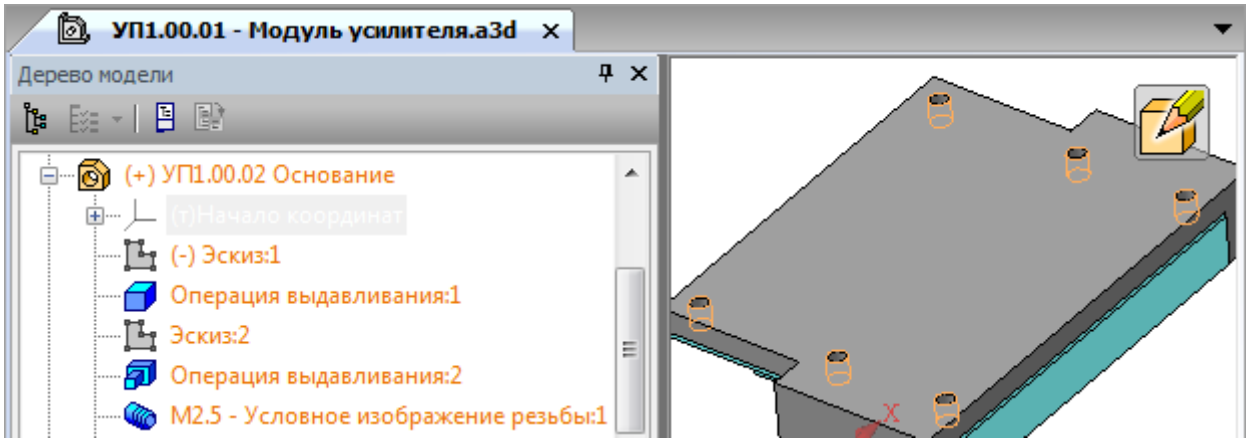


Рис. 15.10

18.2. Скрыть «экран».

18.3. Зафиксировать «основание».

18.4. Скрыть условное изображение резьбы командой **Вид ⇒ Скрыть в компонентах ⇒ Условные изображения резьбы**.

18.5. Запустить команду **Добавить из файла** (см. рис. 13.9) на ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование сборки** и выбрать 3D-модель **SMA-KFD5A.m3d** из папки **…\ИДРЭС\Модели элементов**.

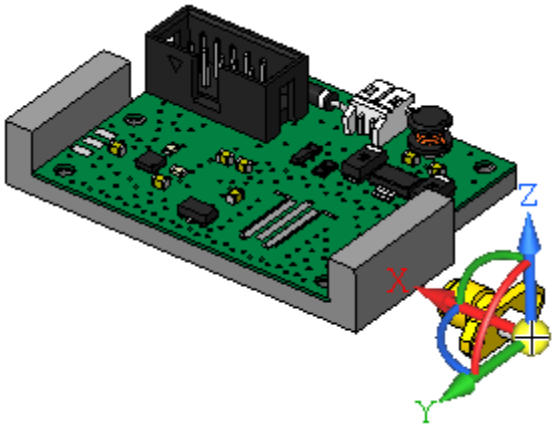


Рис. 15.11

Затем проделать следующее:

– около любого бокового выступа «основания» мышкой обозначить положение СВЧ-разъема (рис. 15.11), при необходимости повернув «модуль усилителя» зажатой СКМ;

– щелкнуть ЛКМ для добавления СВЧ-разъема;

– завершить команду пиктограммой **Создать объект** на **Панели свойств**.

18.6. Скорректировать положение и ориентацию СВЧ-разъема в рабочем поле так, чтобы он находился в непосредственной близости от боковой стенки того выступа «основания», на которую будет установлен, а его центральная жила была направлена в сторону ПП «усилителя».

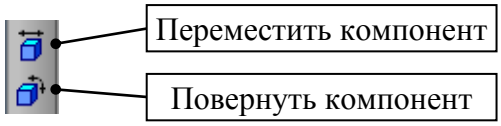


Рис. 15.12

Перемещение и поворот 3D-модели в рабочем поле осуществляется соответственно командами **Переместить компонент** и **Повернуть компонент** с ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование сборки** (рис. 15.12).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 15.13.

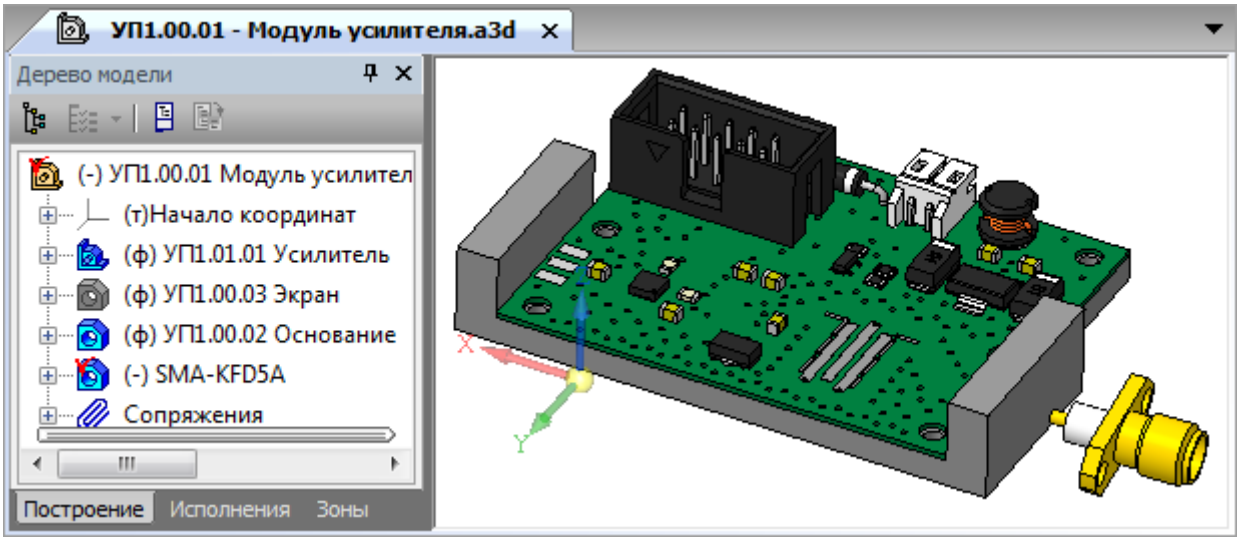


Рис. 15.13

Примечания:

– перемещение и поворот 3D-модели возможны, если она не зафиксирована, или этому не препятствуют наложенные сопряжения;

– указанные выше команды не следует путать с командами Вид ⇒ Сдвинуть и Вид ⇒ Повернуть (см. пп. 7.4 и 18.2 из 6.5), с помощью которых перемещается и поворачивается система координат со всеми объектами.

18.7. Основными командами при создании сборок являются команды из ПИ **Компактная панель ⇒ Сопряжения** (рис. 15.14).

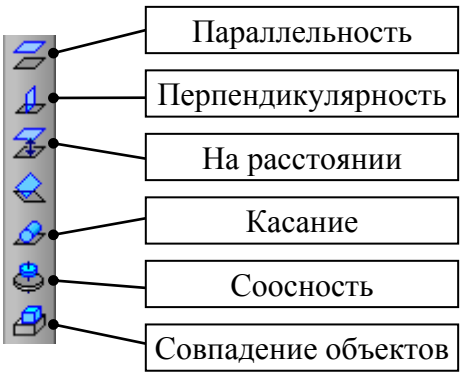


Рис. 15.14

Сопряжение – это параметрическая связь между гранями, ребрами или вершинами разных незафиксированных компонентов сборки (например, параллельность граней, совпадение вершин и т. д.).

Запустить команду **Параллельность** и в рабочем поле щелчками ЛКМ последовательно указать две грани: на боковой части фланца СВЧ-разъема и на верхней стороне выступа «основания» (рис. 15.15).

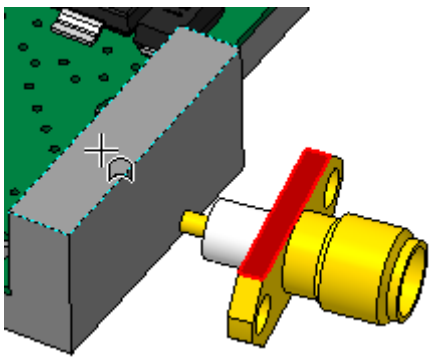
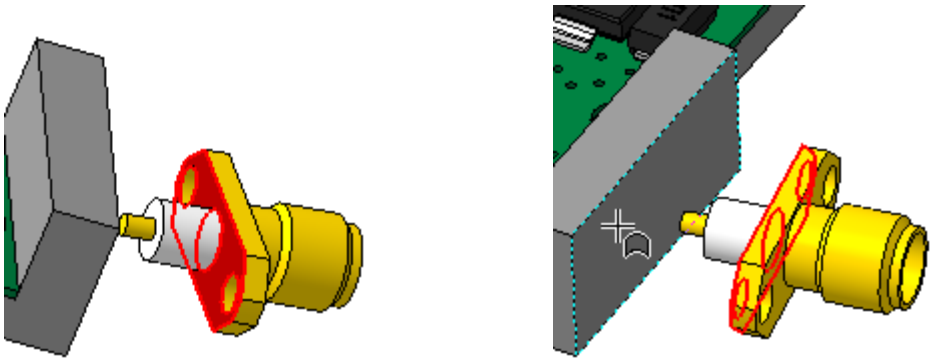


Рис. 15.15

18.8. Запустить команду **Совпадение объектов** (рис. 15.14) и в рабочем поле щелчками ЛКМ последовательно указать две грани: на фланце СВЧ-разъема со стороны центральной

жилы (рис. 15.16, *а*) и на боковой поверхности выступа «основания», на которую будет установлен фланец (рис. 15.16, *б*).



а *б*

Рис. 15.16

18.9. Скорректировать положение СВЧ-разъема командой **Переместить компонент** (см. рис. 15.12) так, чтобы его центральная жила расположилась над средней КП на входе или выходе ПП «усилителя» (в зависимости от выступа «основания», на который устанавливается СВЧ-разъем).

Расположение СВЧ-разъема на данном этапе показано на рис. 15.17.

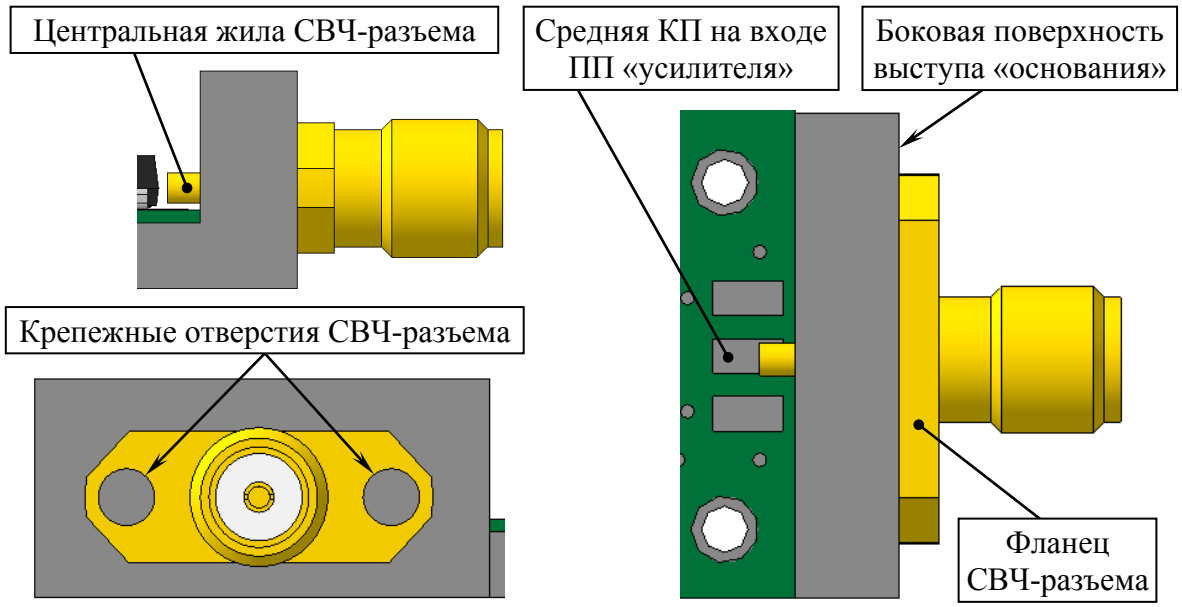
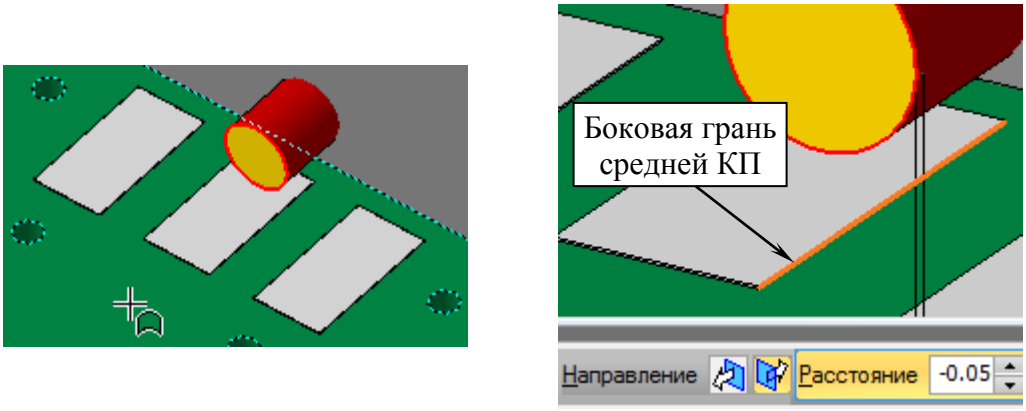


Рис. 15.17

18.10. Запустить команду **Касание** (см. рис. 15.14) и в рабочем поле щелчками ЛКМ указать два объекта: цилиндрическую поверхность центральной жилы СВЧ-разъема и верхнюю поверхность ПП (рис. 15.18, *а*).

18.11. Запустить команду **На расстоянии** (см. рис. 15.14) и в рабочем поле щелчками ЛКМ указать два объекта: цилиндрическую поверхность центральной жилы СВЧ-разъема и боковую грань средней КП.



а *б*

Рис. 15.18

Затем в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле **Расстояние** ввести **0.05** и выбрать такое направление действия команды, чтобы жила сместилась в середину средней КП (рис. 15.18, *б*).

Завершить команду последовательным нажатием пиктограмм **Создать объект** и **Прервать команду**.

Примечания:

– было задано расстояние 0,05 мм, так как ширина КП составляет 1,5 мм, а диаметр центральной жилы – 1,4 мм;

– в результате СВЧ-разъем отцентрирован относительно средней КП, располагается фланцем на боковой поверхности выступа «основания», центральной жилой касается поверхности ПП, а центры крепежных отверстий на его фланце находятся на одной горизонтальной прямой;

– центральная жила СВЧ-разъема касается поверхности ПП, а не поверхности КП, так как КП является участком металлизации, который уже учтен в толщине ПП при расчете по (13.1). Сами же 3D-модели КП после позиционирования СВЧ-разъемов будут исключены из расчета.

18.12. Войти в режим контекстного редактирования «основания».

Для этого в **Дереве модели** на требуемой 3D-модели выполнить команду **ПКМ ⇒ Редактировать на месте**.

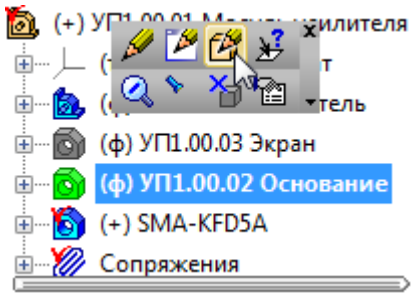


Рис. 15.19

Примечание. Команду также можно запустить или из меню, которое появляется над курсором мышки в «Дереве модели» (рис. 15.19), или из ПИ «Текущее состояние» (см. рис. 13.25).

18.13. На боковой поверхности выступа «основания», на которую был установлен СВЧ-разъем, создать новый эскиз (**Эскиз:3**).

18.14. В созданном эскизе с использованием локальной привязки **Центр** (см. п. 32.4 из разд. 14) добавить следующие окружности:

– две окружности диаметром **1.6** мм в центрах крепежных отверстий на фланце разъема;

– одну окружность диаметром **4.5** мм в центре СВЧ-разъема.

Примечание. Значение 1,6 мм выбрано по ГОСТ 19257–73 для диаметра отверстия под резьбу М2.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 15.20.

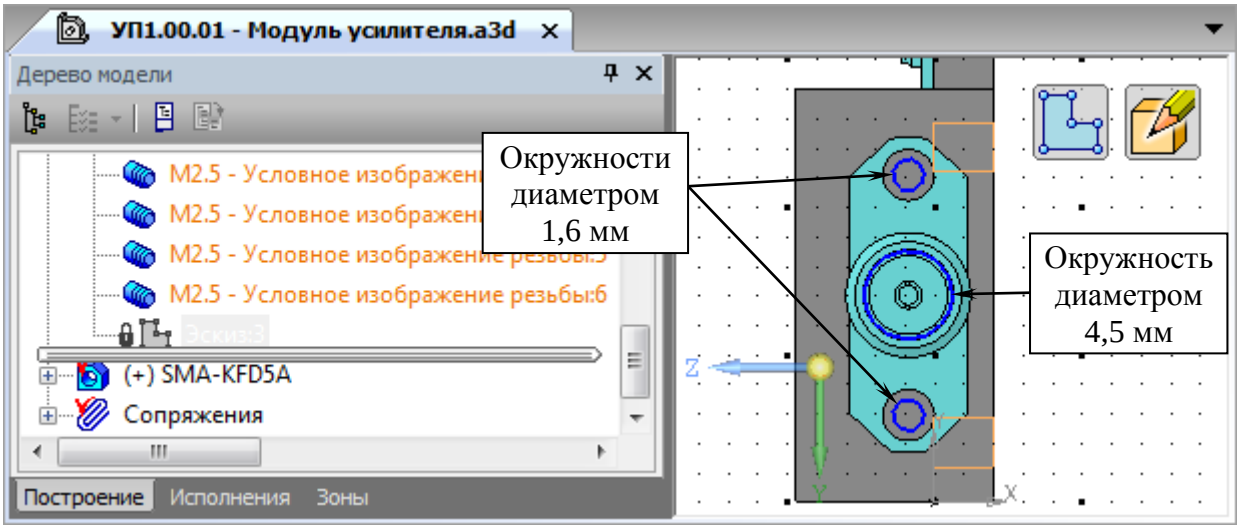


Рис. 15.20

18.15. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:3**), после чего в **Дереве модели** на нем запустить команду **Вырезать выдавливанием**.

На **Панели свойств** задать направление вырезания внутрь «основания» в режиме **На расстояние** на величину **4,5** мм и нажать пиктограмму **Создать объект**.

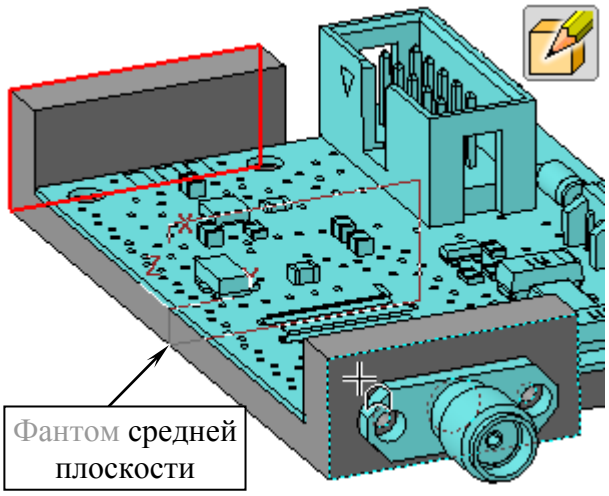


Рис. 15.21

18.16. В вариантах задания с параллельными боковыми выступами «основания» отверстия на втором боковом выступе получить следующим образом:

– запустить команду **Средняя плоскость** (см. рис. 6.34, *а*) из группы «Смещенная плоскость» из ПИ **Компактная панель ⇒ Вспомогательная геометрия** и в рабочем поле щелчками ЛКМ указать боковые поверхности выступов «основания» (рис. 15.21);

– завершить команду клавишей **Esc**;

– запустить команду **Зеркальный массив** (см. рис. 6.39) из ПИ **Компактная панель ⇒ Массивы**;

– в **Панели свойств** на вкладке **Выбор объектов** выбрать в группе **Тип объектов** опцию **Операции**;

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ последний элемент вырезания, в результате чего он добавится в **Список объектов** на **Панели свойств,** а в рабочем поле окрасится в красный цвет;

– в **Панели свойств** включить пиктограмму **Плоскость симметрии**;

– в **Дереве модели** выбрать ЛКМ последнюю созданную плоскость;

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**.

18.17. В вариантах задания с перпендикулярными боковыми выступами «основания» проделать следующие действия:

– выйти из режима контекстного редактирования «основания»;

– выполнить пп. 18.5–18.15 на втором боковом выступе «основания».

18.18. Показать условное изображение резьбы командой **Вид ⇒ Скрыть в компонентах ⇒ Условные изображения резьбы**.

18.19. Для отверстий диаметром 1,6 мм, расположенных на боковых выступах «основания», по п. 16 добавить условное изображение резьбы.

Примечание. В «Панели свойств» при этом будут отображаться номинальный диаметр резьбы 2 и шаг резьбы 0.4.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 15.22.

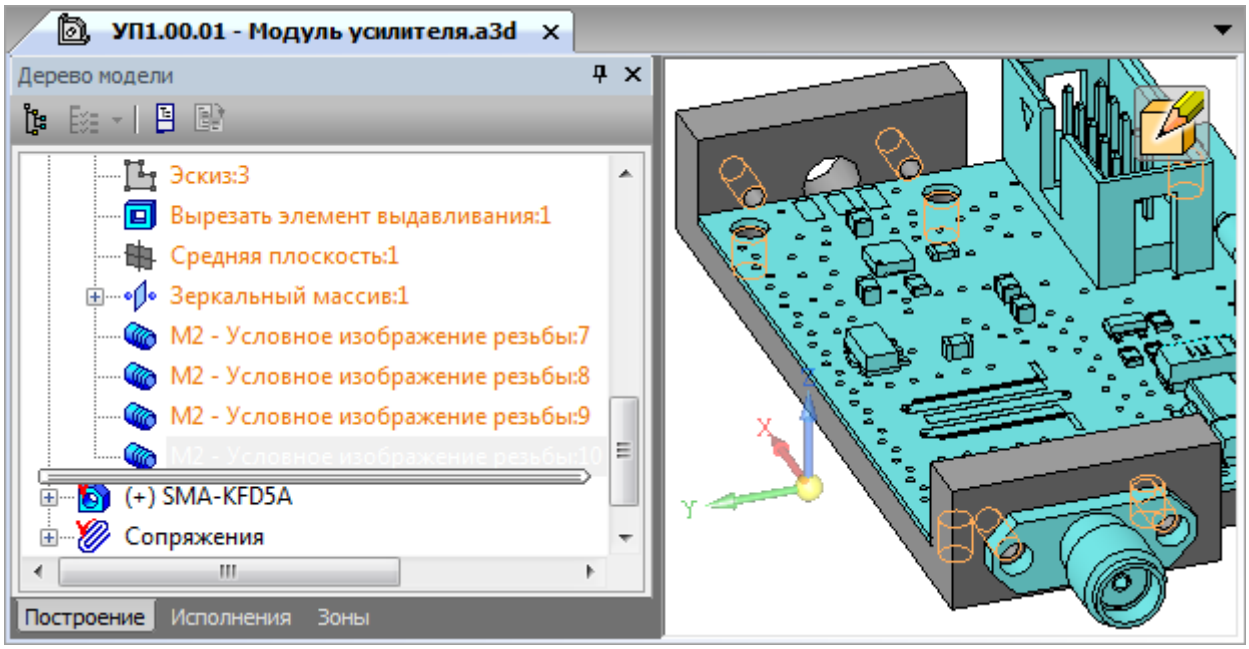


Рис. 15.22

19. Выйти из режима контекстного редактирования «основания» и сохранить изменения (**Ctrl+S**).

20. В вариантах задания с параллельными боковыми выступами «основания» выполнить следующие действия:

– добавить 3D-модель СВЧ-разъема у второго бокового выступа «основания» по пп. 18.5 и 18.6;

– установить сопряжения **Параллельность** и **Совпадение объектов** по пп. 18.7 и 18.8;

– запустить команду **Соосность** (см. рис. 15.14) и в рабочем поле щелчками ЛКМ последовательно указать две цилиндрические поверхности: в крепежном отверстии на фланце СВЧ-разъема и в соответствующем крепежном отверстии на боковой стенке «основания» (рис. 15.23);

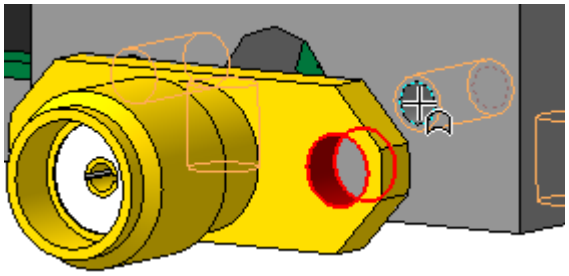


Рис. 15.23

– завершить команду клавишей **Esc**.

21. В **Дереве модели** нажать пиктограмму **Отображение структуры модели** (см. рис. 13.23) и зафиксировать СВЧ-разъемы.

22. В **Дереве модели** в «усилителе» раскрыть группу **Компоненты**, найти группу КП (**PAD_r150_300**) и исключить их из расчета.

Для этого выполнить на ней команду **ПКМ ⇒ Исключить из расчета**.

23. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

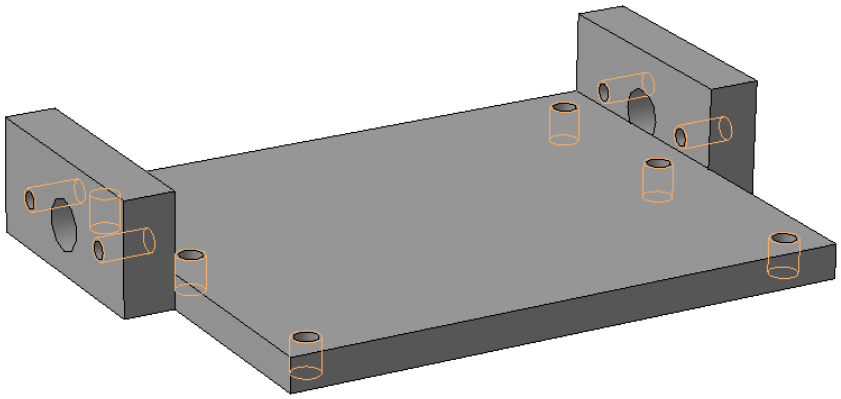


Рис. 15.24

Результат создания 3D-модели «основания» в варианте «П1» со скрытыми «усилителем», «экраном» и СВЧ-разъемами показан на рис. 15.24.

3D-модель «основания» будет доработана в разд. 16.

Требования к содержанию отчета по данному этапу приведены в 16.2.

16. 3D-МОДЕЛЬ «МОДУЛЯ УСИЛИТЕЛЯ»

16.1. Создание 3D-модели «модуля усилителя»

Фактически разработка 3D-модели «модуля усилителя» выполняется с этапа создания 3D-модели «экрана» (см. разд. 14). На данном этапе будут произведены завершающие действия, такие как корректировка 3D-моделей «экрана» и «основания», проверка пересечений 3D-моделей, добавление крепежных деталей и размещение на поверхностях ПП рисунков с информацией слоев из файла трассировки.

Последовательность действий:

1. В **КОМПАС-3D** командой **Файл ⇒ Открыть** открыть 3D-модель «модуля усилителя», если она была закрыта.

2. Убедиться в том, что в **Дереве модели** отжата пиктограмма **Отображение структуры модели** (см. рис. 13.23).

3. В **Дереве модели** изменить видимость составных частей:

– включить видимость «усилителя», «экрана» и СВЧ-разъемов;

– скрыть «основание» и ПП из состава «усилителя».

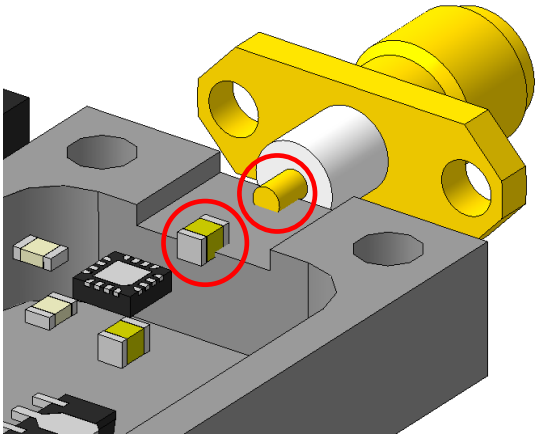


Рис. 16.1

По рис. 16.1 видно, что центральная жила СВЧ-разъема и корпус конденсатора находятся в «экране», поэтому необходимо увеличить размер прорезей в его толстых стенках.

4. Войти в режим контекстного редактирования «экрана».

5. В **Дереве модели** найти операцию, отвечающую за создание прорезей в толстых стенках «экрана» (рис. 16.2).

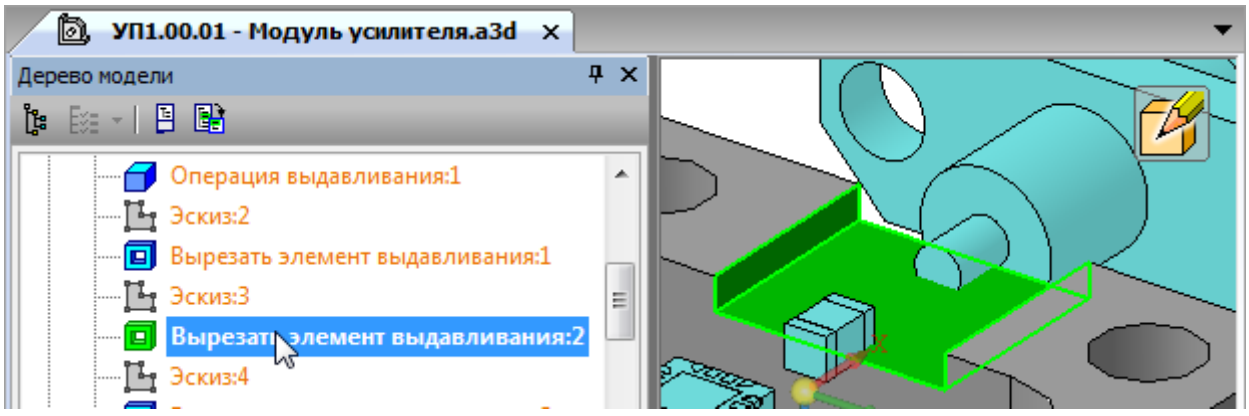


Рис. 16.2

После этого войти в режим редактирования операции и задать глубину вырезания **3** мм.

6. На верхней поверхности «экрана», не выходя из режима контекстного редактирования детали, создать новый эскиз (**Эскиз:6**).

7. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5). Также проверить, что на ПИ **Режимы** отключена пиктограмма **Перспектива** (см. рис. 14.1).

8. Командой **Ввод текста** (см. рис. 6.41) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** добавить три надписи:

– **ВХОД** – около входного разъема;

– **ВЫХОД** – около выходного разъема;

– номер варианта (в варианте «П1» – **П1**) – в центре «экрана».

После этого завершить команду клавишей **Esc**.

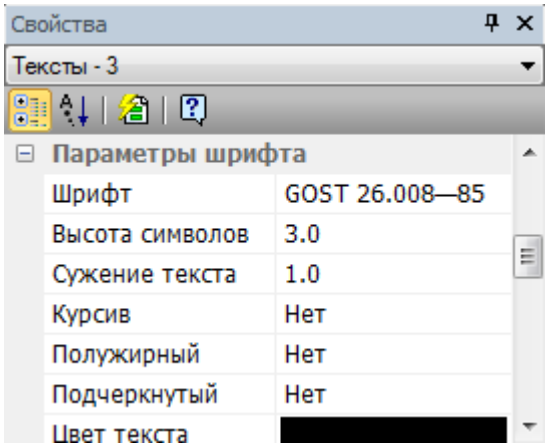


Рис. 16.3

9. Выделить добавленные надписи и запустить команду **ПКМ ⇒ Свойства**. В появившемся окне **Свойства** задать следующие настройки (рис. 16.3):

– в поле **Шрифт** – **GOST 26.008–85**;

– в поле **Высота символов** – **3**;

– в полях **Курсив**, **Полужирный**, **Подчеркнутый** – **Нет**.

При отсутствии указанного шрифта в системе необходимо установить файл шрифта **GOST_PR3.ttf** из папки **…\ИДРЭС\Шрифты** (см. рис. 2.9), для чего выполнить на нем команду **ПКМ ⇒ Установить**.

10. Снять выделение с надписей, щелкнув ЛКМ в любом свободном месте рабочего поля, и отдельно для каждой надписи в окне **Свойства** в поле **Размещение текста** установить следующие опции:

– для надписи **ВХОД** – **Справа**;

– для номера варианта – **По центру**;

– для надписи **ВЫХОД** – **Слева** или **По центру** (в зависимости от формы «экрана»).

После этого закрыть окно **Свойства**.

11. В рабочем поле передвинуть надписи за характерные точки, отмеченные черными квадратами, так, чтобы они оказались в сетке.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 16.4.

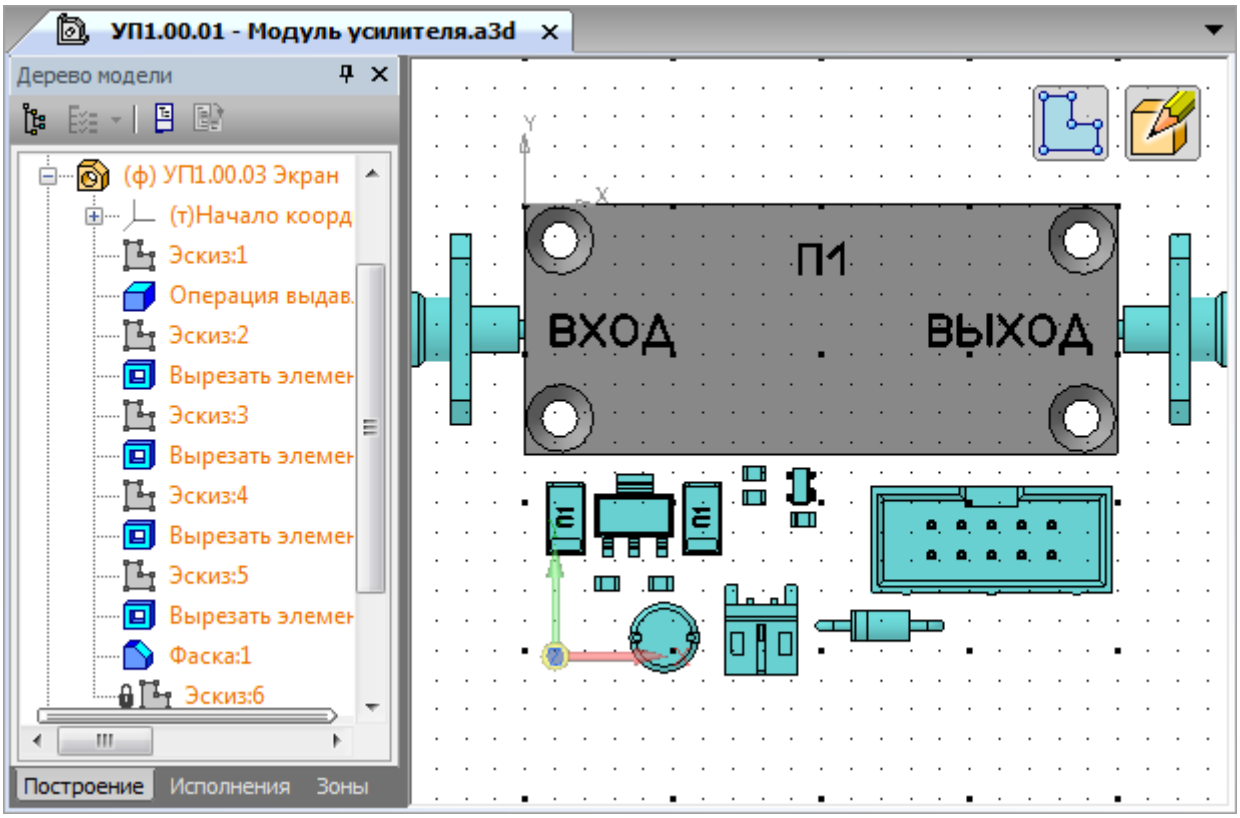


Рис. 16.4

12. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:6**), после чего в **Дереве модели** на нем запустить команду **Вырезать выдавливанием**.

На **Панели свойств** задать направление вырезания внутрь «экрана» на расстояние **0.2** мм и нажать пиктограмму **Создать объект**.

Примечание. Впоследствии в ТТ чертежа «экрана» будет дано указание выполнить эти надписи методом гравирования с заполнением черной краской. Заданные параметры шрифта соответствуют требованиям ГОСТ 26.008–85 [68] для шрифта приборной гарнитуры начертания Пр3 (прямого нормального полужирного) по ГОСТ 26.020–80 [69].

13. Выйти из режима контекстного редактирования «экрана» и сохранить изменения (**Ctrl+S**).

14. В **Дереве модели** включить видимость «основания» и ПП из состава «усилителя».

15. Войти в режим редактирования «экрана» в отдельном окне.

Для этого в **Дереве модели** на требуемой 3D-модели выполнить команду **ПКМ ⇒ Редактировать в окне**.

16. В появившейся вкладке с «экраном» в **Дереве модели** выполнить следующие действия:

– скрыть **Начало координат**;

– в свойствах «экрана» установить цвет **Серый 25%** (рис. 16.5);

– в свойствах последней операции, предназначенной для вырезания надписей, установить цвет **Серый 80%**.

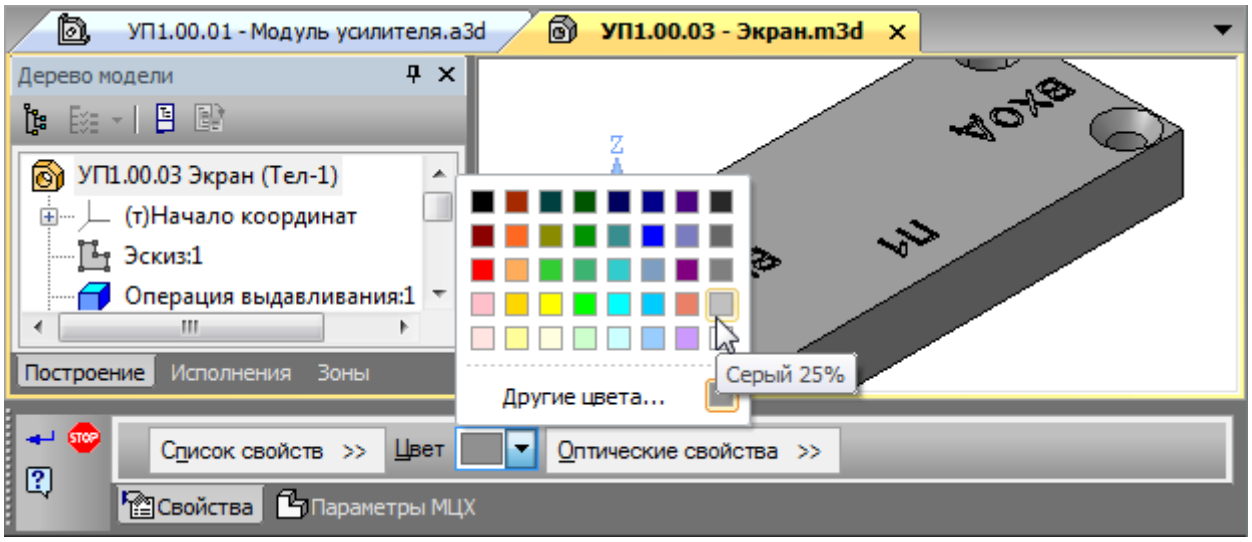


Рис. 16.5

Отредактированная 3D-модель «экрана» в варианте «П1» показана на рис. 16.6.

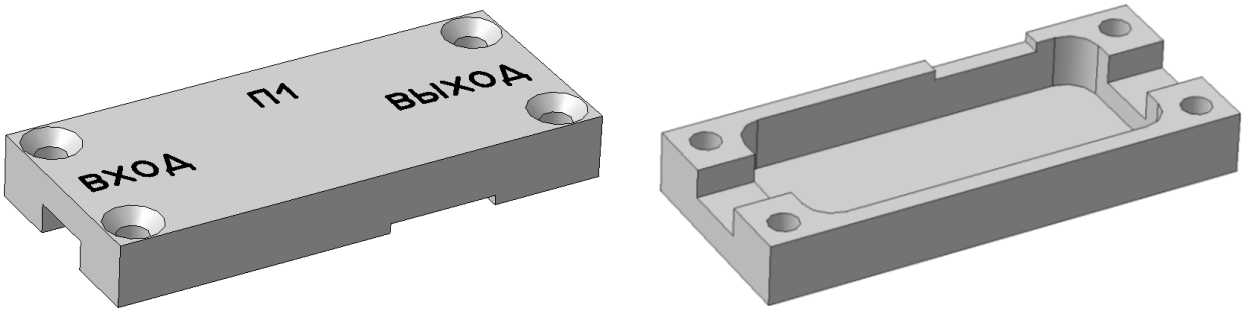


Рис. 16.6

17. Закрыть вкладку с «экраном» с сохранением изменений.

18. Запустить команду **Сервис ⇒ Проверка пересечений** и проверить отсутствие пересечений между компонентами:

18.1. На **Панели свойств** в окно **Список объектов** добавить все компоненты сборки, для чего в **Дереве модели** выполнить следующее:

– раскрыть группу «усилителя», выбрать ЛКМ первый его компонент, сместить ползунок вниз, зажать клавишу **Shift** и выбрать ЛКМ последний его компонент;

– зажать клавишу **Ctrl** и поочередно ЛКМ выбрать «экран», «основание» и два СВЧ-разъема.

Примечание. Выбранные объекты подсвечиваются в рабочем поле и «Дереве модели» красным цветом.

18.2. На **Панели свойств** отключить опцию **Считать касания пересечениями** и нажать пиктограмму **Проверить пересечения**.

18.3. В результате выполнения команды обнаруженные пересечения появятся в соответствующем окне на **Панели свойств**, а в рабочем поле выделятся голубым цветом.

Например, в варианте «П1» компоненты со штыревыми выводами (разъем питания, защитный диод и разъем управления) пересекаются с «основанием» (рис. 16.7).

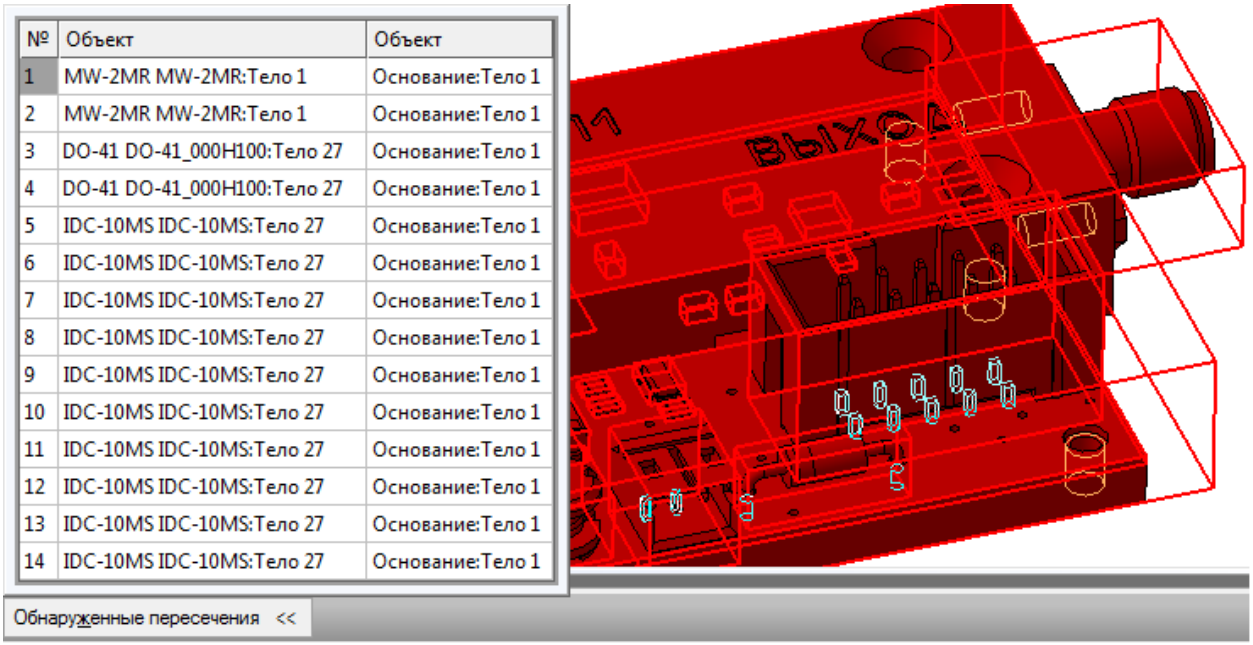


Рис. 16.7

После этого завершить команду клавишей **Esc**.

19. Устранить обнаруженные пересечения, отредактировав 2D-модели «основания» и (или) «экрана».

В варианте «П1» для этого потребовалось сделать следующее:

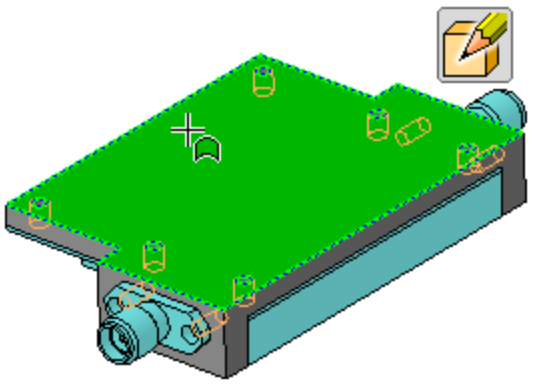


Рис. 16.8

19.1. Войти в режим контекстного редактирования «основания» и создать новый эскиз (**Эскиз:4**) на его нижней поверхности (рис. 16.8).

19.2. Выполнить команду **Вид ⇒ Отображение ⇒ Каркас** или нажать соответствующую пиктограмму на ПИ **Вид** (см. рис. 14.12).

19.3. Нарисовать контуры прорезей для компонентов со штыревыми выводами, при этом прорези должны удовлетворять следующим требованиям:

– радиусы скруглений должны быть не меньше 1,5 мм;

– в прорези должны свободно входить соответствующие выводы;

– должен быть оставлен зазор (0,5–1 мм) от контура прорези до границ КП из файла трассировки, которые предназначены для монтажа этих выводов и не соединены с цепью **GND** (см. рис. 12.141).

Так, в варианте «П1» использованы следующие шаблоны КП:

– в разъеме управления и диоде – c180h120 и s180h120r1;

– в разъеме питания – c140h80 и s140h80r1.

Содержание эскиза в варианте «П1» с видимым шагом сетки 0,5 мм показано на рис. 16.9.

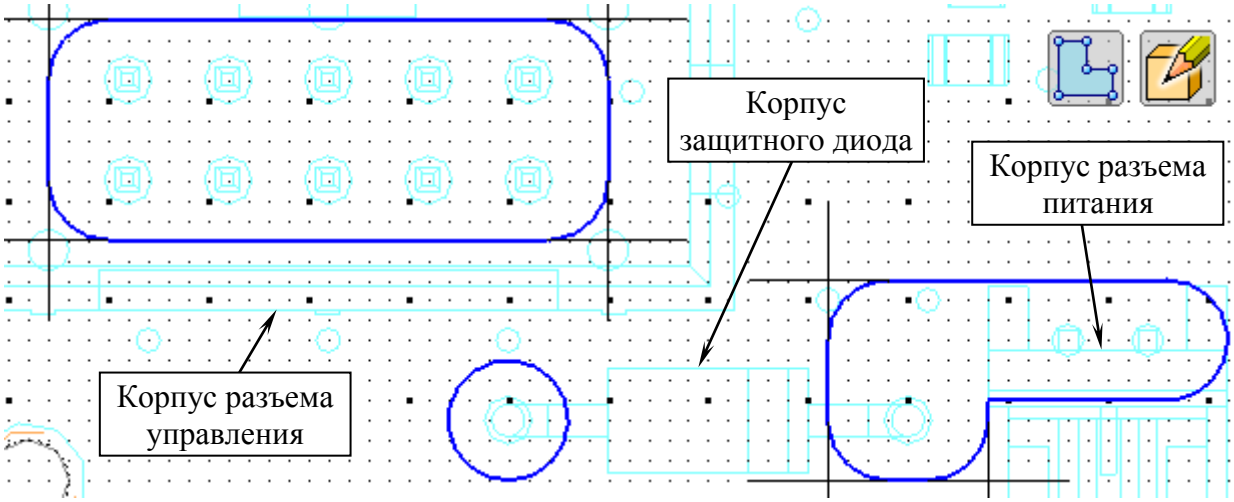


Рис. 16.9

Примечания:

– КП в файле трассировки выбираются с зажатой клавишей Shift;

– расшифровка обозначений КП приведена на рис. Г.48;

– на рис. 16.9 прорези сложной формы были нарисованы командой «Отрезок» с временным включением режима «Ортогональное черчение» зажатой клавишей Shift с последующим скруглением углов командой «Скругление» с радиусом 1,5 мм. Третий контур нарисован командой «Окружность».

19.4. Выполнить команду **Вид ⇒ Отображение ⇒ Полутоновое с каркасом** или нажать соответствующую пиктограмму на ПИ **Вид**.

19.5. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:4**), после чего в **Дереве модели** на нем запустить команду **Вырезать выдавливанием**.

На **Панели свойств** задать направление вырезания внутрь «основания» на расстояние **3** мм и нажать пиктограмму **Создать объект**.

При появлении ошибки проверить эскиз по пп. 8.1 и 8.2 из 6.5.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 16.10.

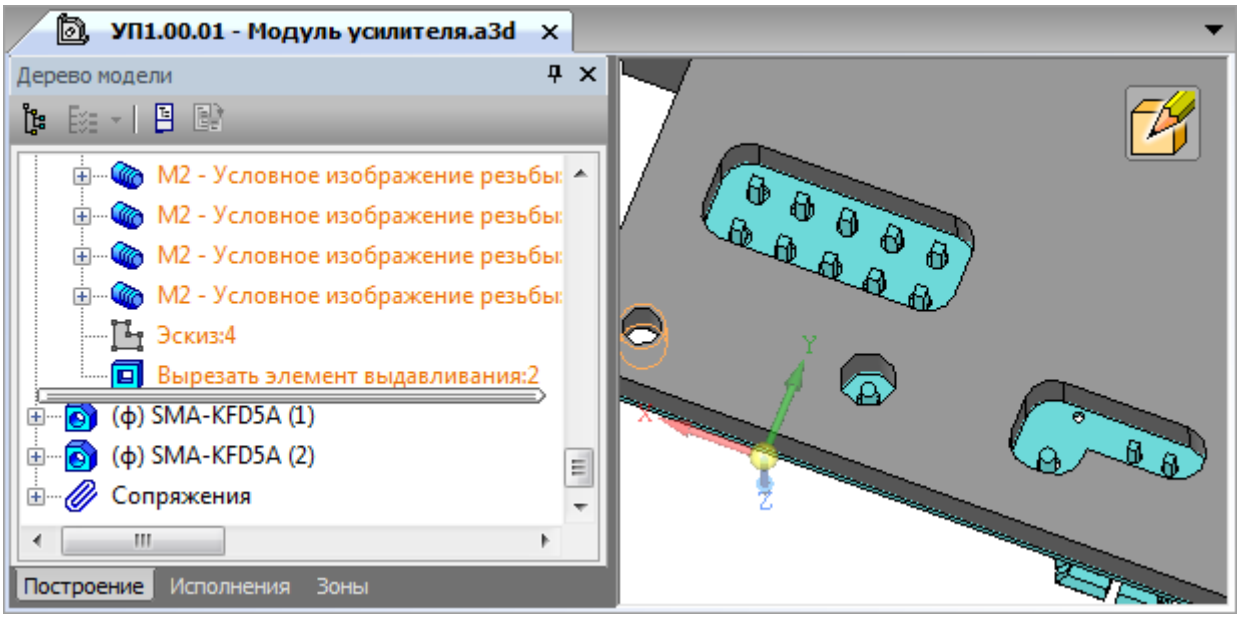


Рис. 16.10

19.6. Выйти из режима контекстного редактирования «основания» и сохранить изменения (**Ctrl+S**).

20. Выполнить еще раз проверку пересечений по п. 18 и при их обнаружении произвести соответствующие корректировки.

21. Войти в режим редактирования «основания» в отдельном окне.

22. В появившейся вкладке с «основанием» в **Дереве модели** выполнить следующие действия:

– скрыть **Начало координат** и видимые вспомогательные плоскости;

– в свойствах «основания» установить цвет **Серый 25%**.

Отредактированная 3D-модель «основания» в варианте «П1» показана на рис. 16.11.

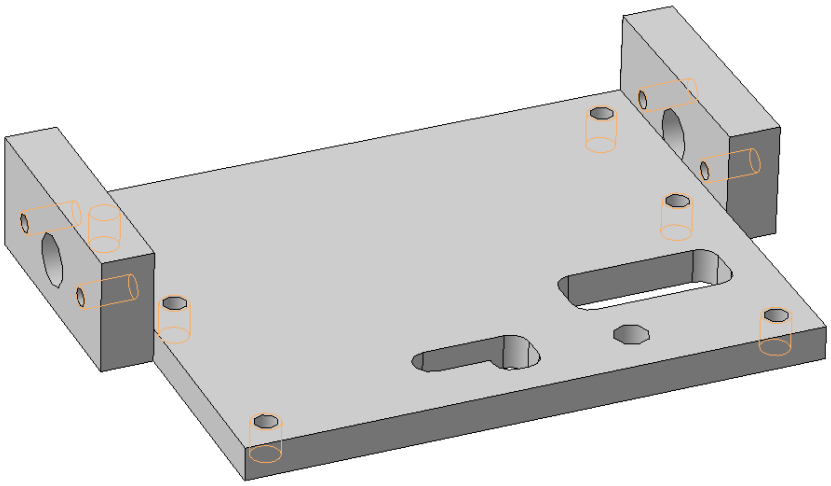


Рис. 16.11

23. Закрыть вкладку с «основанием» с сохранением изменений.

24. Добавить крепежные изделия.

Так как добавление крепежа однотипно, то в качестве примера далее приведены действия по установке только винта **ГОСТ 17475-80** с потайной головкой и прямым шлицем класса точности А длиной 9 мм и резьбой М2,5 для крепления «экрана»:

24.1. Запустить команду **Библиотеки ⇒ Стандартные изделия ⇒ Вставить элемент**, в открывшемся окне **Библиотека Стандартные Изделия** выполнить команду **Сервис ⇒ Найти** и задать следующие настройки:

– в группе **Тип поиска** выбрать опцию **По названию**;

– в поле **Область поиска** выбрать **Все папки**;

– в поле **Строка поиска** вести **17475-80** и нажать кнопку **Начать поиск**.

Результаты поиска показаны на рис. 16.12. Представление их в виде таблицы включается командой **Вид ⇒ Вид отображения ⇒ Таблица**.

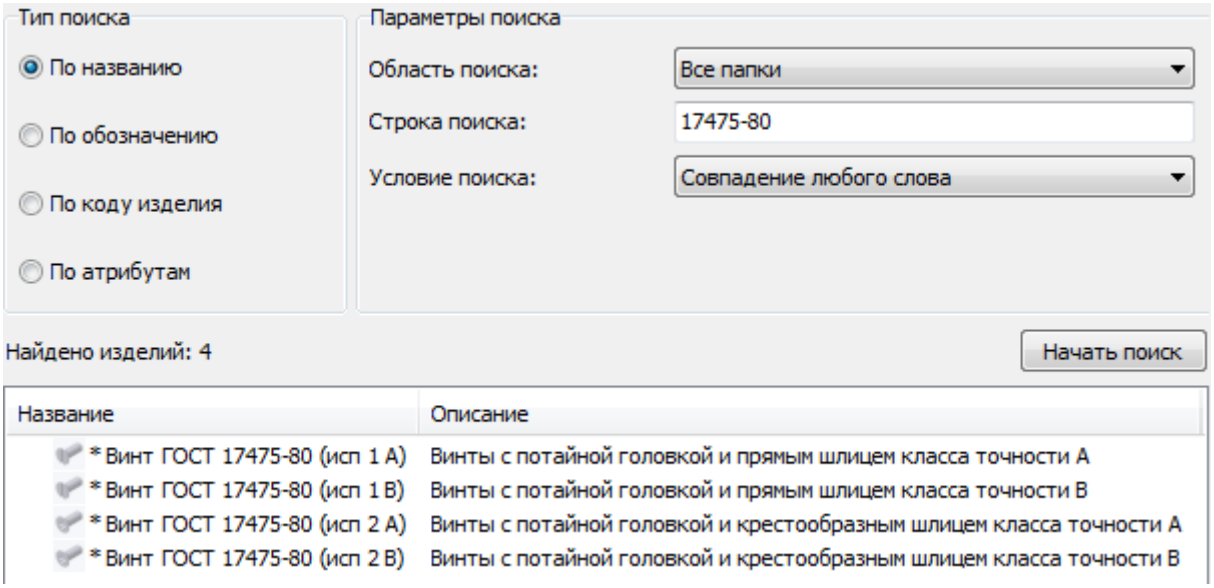


Рис. 16.12

24.2. В найденных изделиях дважды щелкнуть ЛКМ по варианту **Винт ГОСТ 17475-80 (исп 1 А)**.

24.3. На вкладке **Все размеры** выполнить следующее (рис. 16.13):

– дважды щелкнуть ЛКМ по любой строке в группе **Конструкция и размеры**;

– в открывшемся окне **Выбор типоразмеров и параметров** в столбце **Диаметр резьбы** выбрать **2,5**, а в столбце **Длина винта – 9** (доступный шаг резьбы при этом установится автоматически);

– закрыть окно **Выбор типоразмеров и параметров** кнопкой **OK**;

– дважды щелкнуть ЛКМ по любой строке в группе **Покрытия**;

– в открывшемся окне **Выбор типоразмеров и параметров** в столбце **Толщина покрытия** выбрать – **6**, а в столбце **Вид покрытия** – **цинковое, хроматированное**;

– закрыть окно **Выбор типоразмеров и параметров** кнопкой **OK**.

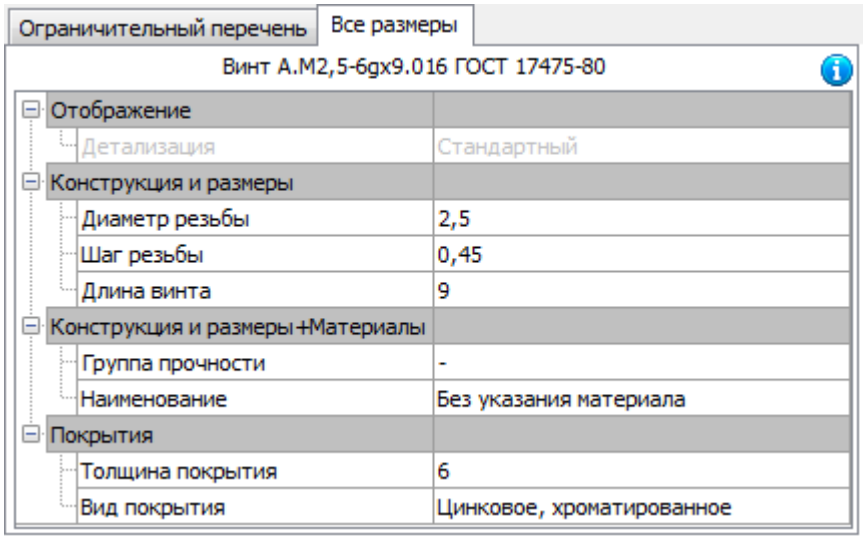


Рис. 16.13

Примечание. Покрытие необходимо для предотвращения контактной коррозии между металлами по ГОСТ 9.005–72 [70]: сталь (материал винта) и дюраль (материал «основания» и «экрана»). Толщина покрытия в микронах выбрана по ГОСТ 9.303–84 [71] для климатического исполнения УХЛ (с умеренным и холодным климатом) по ГОСТ 15150–69 [72].

24.4. В окне **Библиотека Стандартные Изделия** нажать **Применить** и в появившемся окне нажать **Да**.

24.5. На **Панели свойств** включить опцию **Задать совпадение по конусу** (рис. 16.14) и отключить опцию **Создавать объект спецификации**.

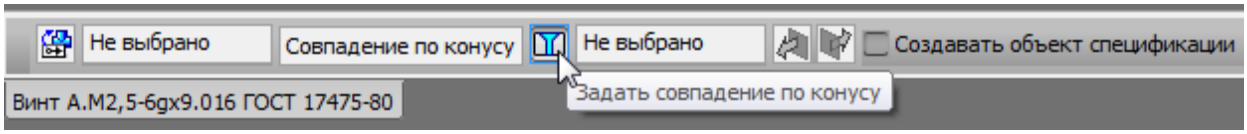


Рис. 16.14

24.6. В рабочем поле ЛКМ указать коническую поверхность, которой является фаска в отверстиях «экрана» (рис. 16.15).

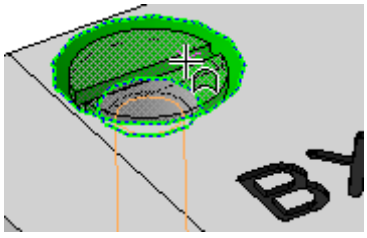


Рис. 16.15

Если положение фантома винта показано неправильно, то на **Панели свойств** выбрать направление установки: **прямое** или **обратное**.

Для установки винта нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Enter**.

25. После установки крепежного изделия система переходит в режим добавления следующей аналогичной детали.

Установить оставшиеся винты ГОСТ 17475-80 (исп 1 А) с резьбой М2,5 и длиной 9 мм для крепления «экрана» (аналоги – DIN 963, ISO 2009).

Для завершения установки винтов нажать клавишу **Esc**.

Примечание. Аналоги – стандарты DIN (Deutsches Institut für Normung – Немецкий институт по стандартизации) и ISO (International Organization for Standardization – Международная организация по стандартизации).

26. В соответствии с п. 24 добавить шайбы диаметром 2,5 мм по **ГОСТ 10450-78 (класс С)** для установки на ПП в области, где нет «экрана» (аналоги – DIN 433, ISO 7092).

На вкладке **Все размеры** в группе **Материалы** в поле **Наименование** выбрать **Без указания материала**, а в группе **Покрытия** в поле **Вид покрытия – Без покрытия**.

При установке в рабочем поле сначала указать ЛКМ поверхность, на которой будет лежать шайба (рис. 16.16, *а*), а затем цилиндрическую поверхность отверстия, с которой она будет соосна (рис. 16.16, *б*). Фантом установленной шайбы показан на рис. 16.16, *в*.



а *б* *в*

Рис. 16.16

Примечание. Основные назначения плоских шайб:

– создание большей площади опорной поверхности;

– предохранение поверхности скрепляемых деталей (в данном случае – ПП) от повреждений при закручивании крепежных изделий.

27. В соответствии с п. 24 добавить:

– винты М2,5 длиной 3 мм **ГОСТ 1491-80 (класс А)** для крепления ПП «усилителя» (аналоги – DIN 84, ISO 1207);

– винты М2 длиной 4 мм **ГОСТ 1491-80 (класс А)** для крепления СВЧ-разъемов (аналоги – DIN 84, ISO 1207).

Настройки в группах **Конструкция и размеры** +**Материалы** и **Покрытия** аналогичны показанным на рис. 16.13.

Последовательность установки винтов аналогична установке шайб.

После завершения установки всех необходимых крепежных изделий закрыть окно **Библиотека Стандартные Изделия** кнопкой **Отмена**.

28. Скрыть условное изображение резьбы командой **Вид ⇒ Скрыть в компонентах ⇒ Условные изображения резьбы**.

29. В **Дереве модели** нажать пиктограмму **Отображение структуры модели** (см. рис. 13.23) и зафиксировать все крепежные изделия.

Сохранить изменения в 3D-модели «модуля усилителя» (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 16.17.

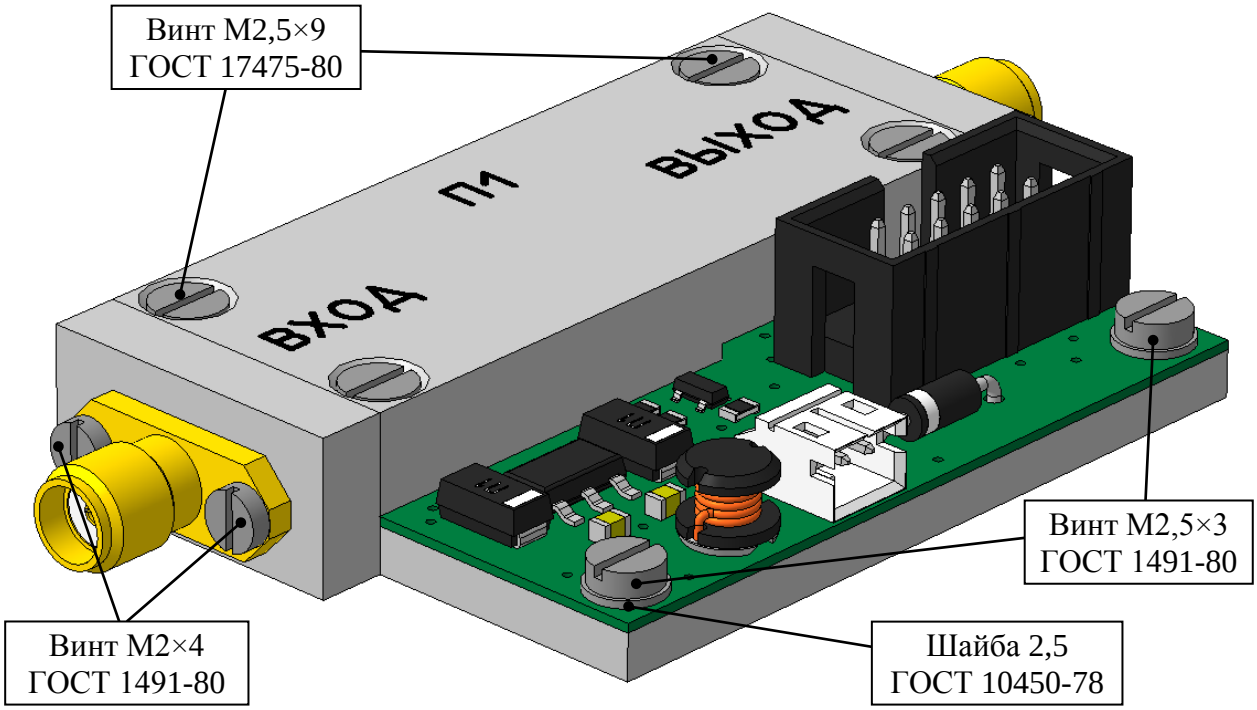


Рис. 16.17

30. Для придания 3D-модели реалистичности создать рисунки (текстуры) с видом на верхнюю и нижнюю стороны ПП:

30.1. В **Altium Designer** получить изображение верхней стороны ПП:

– если проект ПП был закрыт, то открыть его по п. 1 из 12.1;

– если файл трассировки был закрыт, то открыть его по п. 3 из 8.3;

– перейти в 3D-режим просмотра (клавиша **3**);

– нажать клавишу **0** для установки исходной орентации 3D-модели;

– нажать клавишу **L** и в открывшемся окне View Configurations на вкладке **Physical Materials** в группе **General** отключить опцию **Show Origin Marker** (отображение начала координат) и в списке **Projection** выбрать опцию **Orthographic**;

– в окне View Configurations в группе **3D Bodies** в списке **Show Generic Models** выбрать опцию **No**, после чего применить изменения кнопкой **OK**;

– отключить информационное поле комбинацией клавиш **Shift+H**;

– развернуть окно Altium Designer на полный экран;

– выполнить команду **View ⇒ Fit Board**, после чего зажать клавишу **Ctrl** и уменьшить масштаб на один шаг при повороте колесика мышки;

– переместить курсор мышки в любое место рабочего поля, находящееся за пределами ПП;

– нажать комбинацию клавиш **Ctrl+C**;

– в появившемся окне 3D Snapshot Resolution выбрать опцию **300 DPI** и запустить процесс копирования кнопкой **OK**.

Примечание. DPI (Dots Per Inch) – разрешающая способность, определяемая количеством точек на дюйм.

30.2. Открыть редактор изображений **Paint.NET** и получить рисунок верхней стороны ПП:

– выполнить команду **Правка ⇒ Вставить как новое изображение** (или нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Alt+V**);

– визуально проверить изображение. При наличии дефектов у объектов из слоя шелкографии перезапустить Altium Designer и выполнить п. 30.1 заново. Если проблема не решается, то получить изображение из Altium Designer клавишей **Prt Sc** или с помощью приложения **Ножницы**;

– в группе команд **Инструмент** выбрать команду **Выбор прямоугольной области** (рис. 16.18) или нажать клавишу **S**;

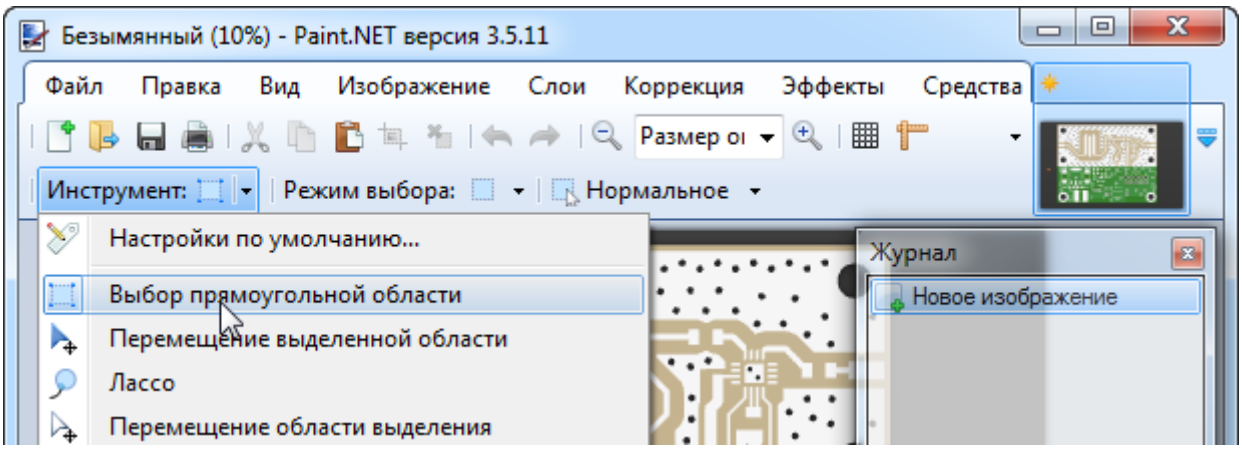


Рис. 16.18

– в рабочем поле нарисовать прямоугольную область, примерно охватывающую контур ПП;

– в группе команд **Инструмент** выбрать команду **Перемещение области выделения** (рис. 16.18) или дважды нажать клавишу **M** до появления соответствующей пиктограммы команды в этой группе;

– в рабочем поле скорректировать положение углов и (или) сторон прямоугольной области так, чтобы она проходила точно по контуру ПП.

Примечания:

– в вариантах задания с угловой формой ПП внутри прямоугольной области также попадет участок, в котором ПП нет;

– редактирование области осуществляется за характерные точки, при этом вид курсора мышки меняется со стрелки на руку;

– выполнить команду **Изображение ⇒ Обрезать по выделению** (или нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Shift+X**);

– сохранить рисунок командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.png» и именем **Top**. Путь сохранения в варианте «П1» – **…\ИДРЭС-П1_Модели**;

– после нажатия кнопки **Сохранить** в появившемся окне **Параметры сохранения** оставить настройки по умолчанию (**Автоопределение**).

30.3. В **Altium Designer** получить изображение нижней стороны ПП:

– если изменялись размеры окна, то развернуть его на полный экран;

– нажать клавишу **0** для установки исходной ориентации 3D-модели;

– последовательно нажать клавиши **V ⇒ B** (или выполнить команду **View ⇒ Flip Board**);

– зажатой ПКМ переместить изображение ПП в центр экрана;

– если изменялись размеры изображения, то выполнить команду **View ⇒ Fit Board**, после чего зажать клавишу **Ctrl** и уменьшить масштаб на один шаг при повороте колесика мышки;

– переместить курсор мышки в любое место рабочего поля, находящееся за пределами ПП;

– нажать комбинацию клавиш **Ctrl+C** и запустить процесс копирования изображения в буфер обмена с опцией **300 DPI**.

30.4. В **Paint.NET** выполнить п. 30.2 и сохранить рисунок нижней стороны ПП с именем **Bottom**.

Затем выполнить команду **Изображение ⇒ Перевернуть горизонтально** и сохранить полученное изображение с расширением «.png» и именем **BottomMirror** в ту же папку (оно понадобится в разд. 24).

30.5. Закрыть редактор **Paint.NET**.

30.6. В **Altium Designer** включить информационное поле (**Shift+H**) и закрыть файл трассировки без сохранения изменений.

Текстуры **Top** и **Bottom** из варианта «П1» показаны на рис. 16.19.

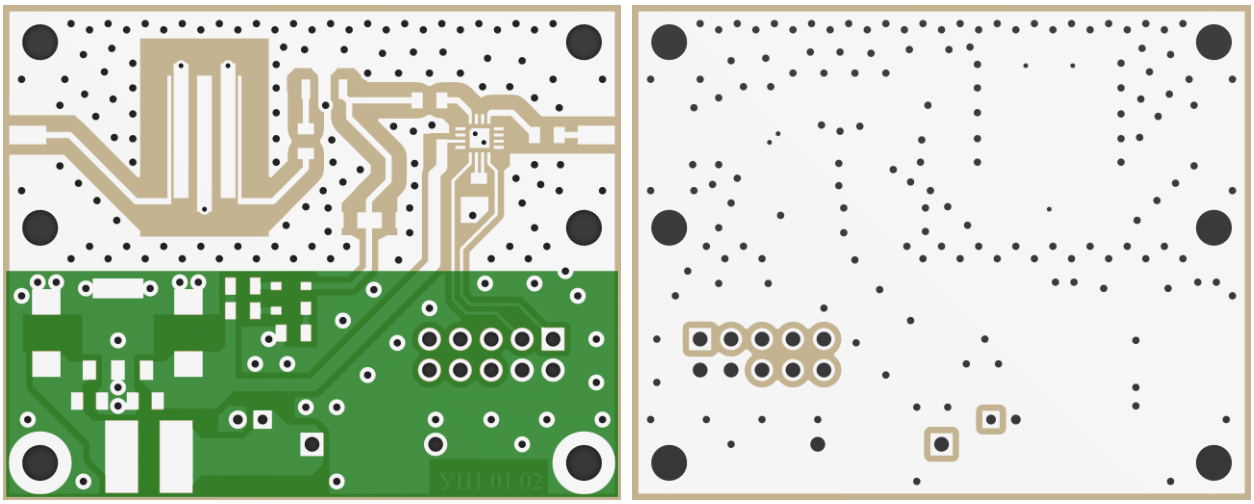


Рис. 16.19

Примечание. В отличие от других вариантов задания в варианте «П1» для уменьшения стоимости изготовления опытного образца шелкография не использовалась (см. прил. А). Поэтому перед созданием изображения верхней стороны ПП в окне View Configurations в группе Colors and Visibility была отключена видимость слоя Top Silkscreen.

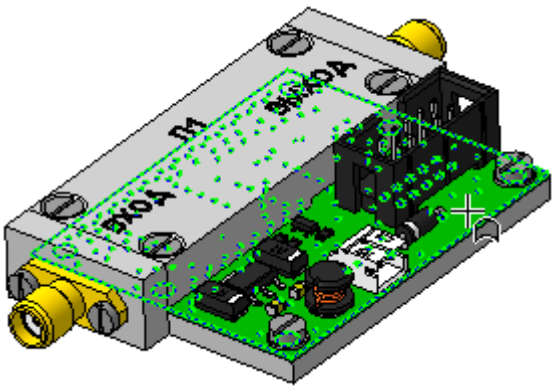


Рис. 16.20

31. В **КОМПАС-3D** в 3D-модели «модуля усилителя» на поверхности ПП «усилителя» со стороны установки компонентов (рис. 16.20) создать новый эскиз (**Эскиз:1**).

32. Выполнить команду **Вид ⇒ Отображение ⇒ Каркас** или нажать соответствующую пиктограмму на ПИ **Вид**.

33. Добавить текстуру **Top**:

– запустить команду **Вставка ⇒ Рисунок** и открыть текстуру **Top**;

– в **Панели свойств** в поле **Способ вставки** выбрать опцию **Взять в документ** (рисунок будет храниться внутри документа), вставить текстуру в любое место рабочего поля и завершить команду клавишей **Esc**;

– щелкнуть ЛКМ по текстуре и запустить команду **Сдвиг** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование** (см. рис. 6.20);

– указать в качестве базовой точки угол контура ПП, в котором в файле трассировки располагалась точка начала координат (см. рис. 12.25), переместить текстуру в точку начала координат и завершить команду клавишей **Esc**;

– изменить размер текстуры до размеров ПП. Для этого необходимо потянуть за характерную точку, находящуюся на второй по счету стороне при

обходе контура изображения против часовой стрелки от точки начала координат.

Примечания:

– если начало координат находится в левом нижнем углу, то тянуть надо за точку, расположенную на середине правой стороны текстуры;

– если начало координат находится в левом верхнем углу, то тянуть надо за точку, расположенную на середине нижней стороны текстуры.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 16.21.

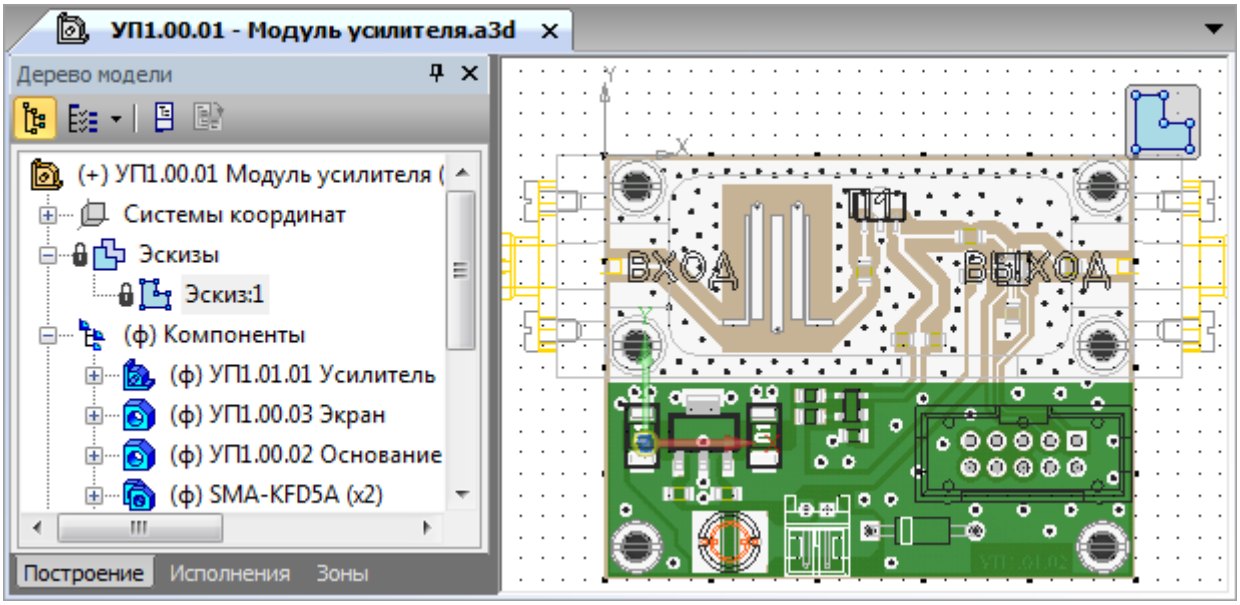


Рис. 16.21

34. В вариантах задания с угловой формой ПП обрезать текстуру, для чего выполнить следующие действия:

– на ПИ **Глобальные привязки** оставить включенной только привязку **Ближайшая точка** (см. рис. 6.10);

– в рабочем поле выбрать текстуру и запустить на ней команду **ПКМ ⇒ Обрезать**;

– на **Панели свойств** нажать пиктограмму **Ручное рисование границ** (рис. 16.22);

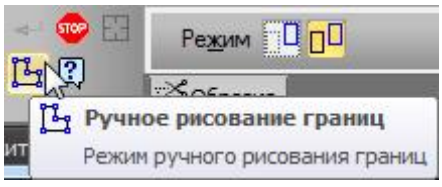


Рис. 16.22

– последовательно указать ЛКМ шесть углов контура ПП, при этом будет срабатывать привязка **Ближайшая точка**;

– если на **Панели свойств** в окне **Координаты вершин** значения не кратны 0,5 мм, то исправить их в этом же окне;

– дважды нажать пиктограмму **Создать объект** и завершить команду клавишей **Esc**;

– на ПИ **Глобальные привязки** включить все привязки с рис. 6.10.

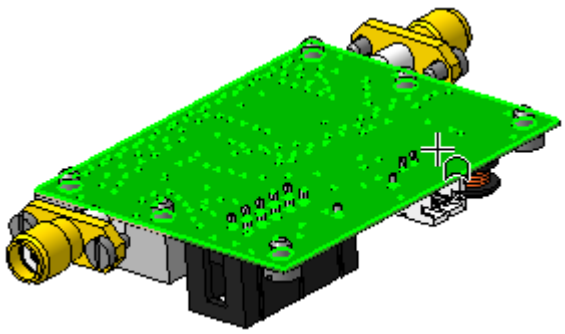


Рис. 16.23

35. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:1**).

36. Выполнить команду **Вид ⇒ Отображение ⇒ Полутоновое с каркасом** или нажать соответствующую пиктограмму на ПИ **Вид**.

37. Скрыть «основание».

38. На поверхности ПП «усилителя» без компонентов (рис. 16.23) создать новый эскиз (**Эскиз:2**).

39. Добавить текстуру **Bottom** по пп. 33 и 34.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 16.24.

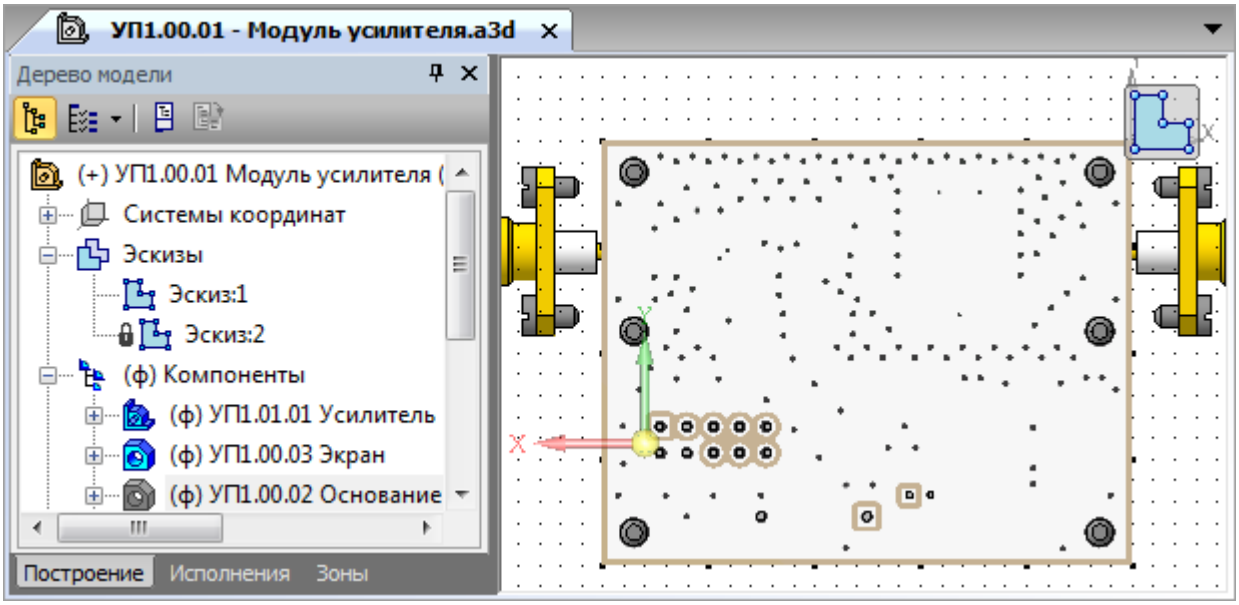


Рис. 16.24

40. Выйти из режима редактирования эскиза (**Эскиз:2**).

41. В **Дереве модели** включить видимость «основания».

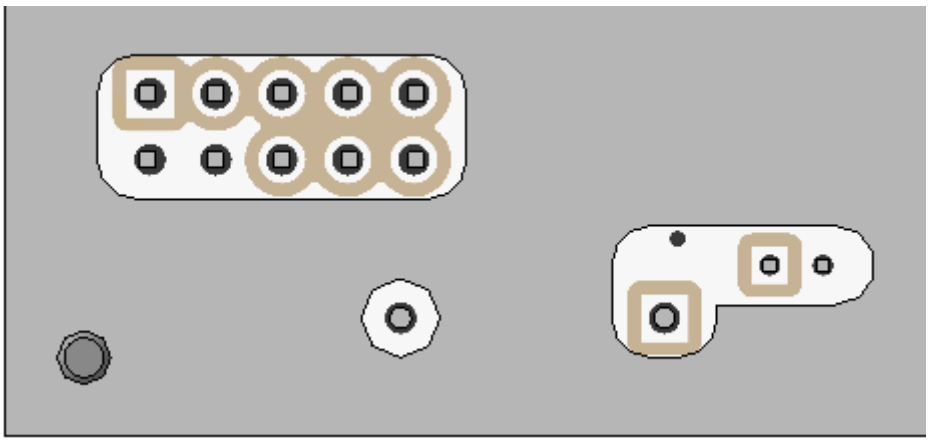


Рис. 16.25

42. Визуально проконтролировать отсутствие следующих пересечений:

– между «экраном» и печатными проводниками на слое **Top Layer**;

– между «основанием» и КП на слое **Bottom Layer** (см. рис. 16.25).

Устранить все обнаруженные ошибки редактированием соответствующих деталей («экран» и «основание»).

43. Изменить цвет ПП «усилителя», для чего выполнить следующее:

– войти в режим редактирования «усилителя» в отдельном окне;

– в появившейся вкладке с «усилителем» в **Дереве модели** в свойствах ПП установить цвет хаки (195, 177, 141);

– закрыть вкладку с «усилителем» с сохранением изменений.

Примечание. В скобках указана кодировка цвета в формате RGB, которая устанавливается в окне «Цвет», открываемом после нажатия команды «Другие цвета» при выборе цвета в «Панели свойств» (рис. 16.5).

44. Сохранить изменения в 3D-модели «модуля усилителя» (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 16.26.

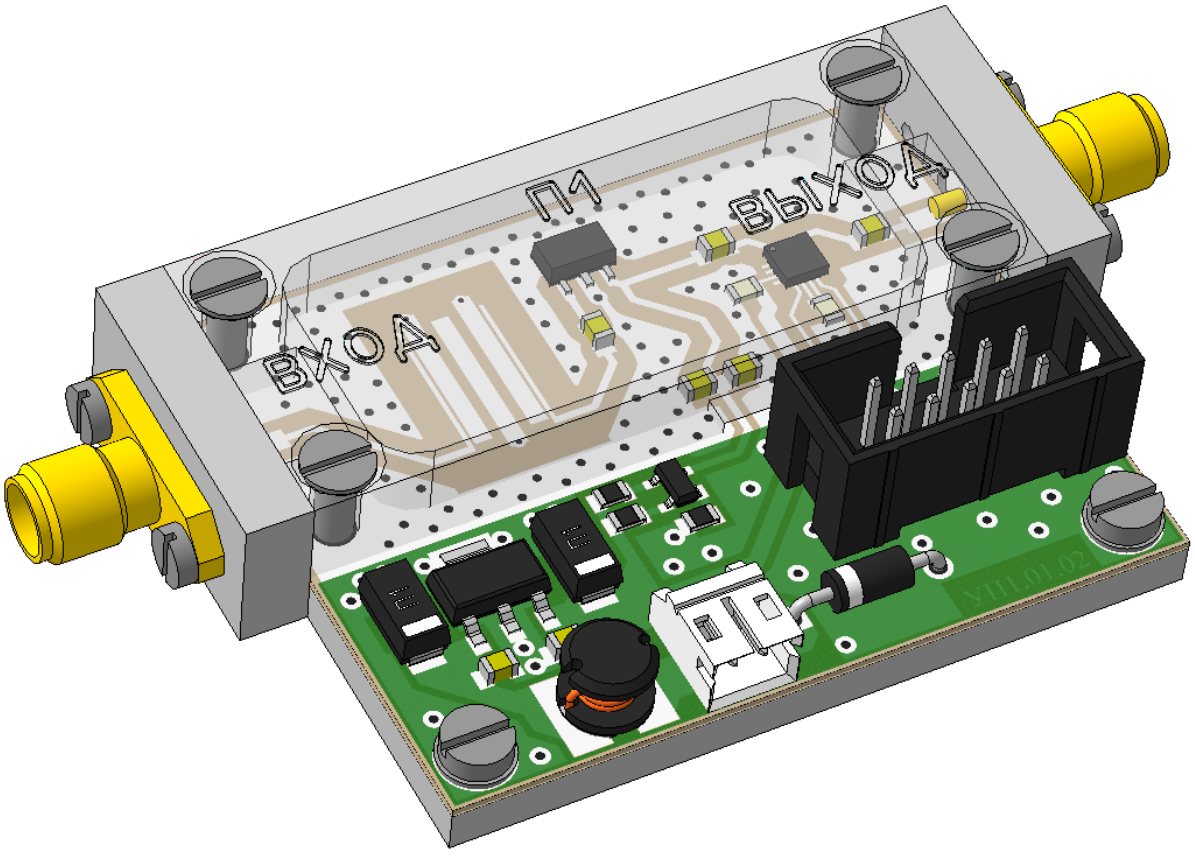


Рис. 16.26

Примечание. При создании рисунка в свойствах «экрана» на «Панели свойств» была задана прозрачность 80 %, а после этого она была убрана включением опции «По источнику» в группе «Назначить цвет».

45. Удалить вспомогательную информацию:

– из папки **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели** – файлы **BPF.dxf**, **BPF_fix.dxf** и **BPF_fix.frw** (файлы с информацией о топологии ПФ);

– из папки **…\ИДРЭС-П1_Модели** – файлы **Shield.dxf**, **Shield_fix.dxf** и **Shield_fix.frw** (файлы с информацией о контуре «экрана»);

– все backup-файлы из указанных папок.

46. При желании выполнить 1-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3 и прил. Е) вторым способом, т. е. с использованием 3D-модели «модуля усилителя», при условии, что указанный этап не был выполнен вручную ранее.

16.2. Содержание отчета

По 14-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Расчет толщины «экрана» и высоты его внутренней полости.

2. Рисунки 3D-модели «экрана» с надписями на верхней стороне и отредактированными размерами прорезей в боковых стенках (также должны быть видны все контуры внутренней полости).

По 15-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести рисунок 3D-модели «основания» с прорезями под штыревые выводы компонентов и с условными изображениями резьбы.

По 16-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Рисунок 3D-модели «модуля усилителя» с размещенными на поверхностях ПП рисунками слоев и прозрачным «экраном».

2. Рисунок 3D-модели «модуля усилителя» снизу, на котором будет виден нижний слой ПП через прорези «основания» под штыревые выводы компонентов. Для этого следует выбрать ЛКМ нижнюю сторону «основания» и выполнить команду **ПКМ ⇒ Нормально к**.

17. ЧЕРТЕЖ ПП

17.1. Правила выполнения чертежей ПП

К основным правилам выполнения чертежей ПП и ГПК относятся следующие:

1. Чертежи ПП должны быть выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 2.417–91 [73] и стандартов ЕСКД.

2. Чертежи односторонних ПП (ОПП), ДПП и МПП должны иметь наименование «Плата печатная».

3. На МПП выпускается сборочный чертеж.

ОПП и ДПП считаются деталями, поэтому на них должен быть выпущен чертеж детали.

4. Материалы МПП следует записывать в спецификацию в раздел «Материалы» с указанием их размеров и количества слоев или в раздел «Детали» как детали без чертежа.

Материалы ОПП и ДПП записывают в основную надпись чертежа в графу 3 (см. рис. 3.6, *а* и табл. 3.1).

5. На чертеже ПП размеры указываются одним из следующих способов:

– в соответствии с требованиями ГОСТ 2.307–2011 (см. Д.5);

– нанесением координатной сетки в прямоугольной системе координат;

– нанесением координатной сетки в полярной системе координат;

– комбинированным способом с помощью размерных и выносных линий и координатной сетки в прямоугольной или полярной системе координат;

– в виде таблицы координат элементов проводящего рисунка (проводников и т. п.).

По ГОСТ Р 51040–97 [74] ***координатная сетка*** – ортогональная сетка из двух равноудаленных линий, определяющих места расположения соединений на ПП. ***Шаг координатной сетки*** – расстояние между двумя соседними параллельными линиями координатной сетки.

Основным шагом координатной сетки является шаг 0,5 мм (допускаются шаги 0,05 мм и 0,625 мм). Также существуют предпочтительные и допустимые шаги координатной сетки.

6. При автоматизированном и полуавтоматизированном методах конструирования допускается чертежи ПП выпускать без изображения проводящего рисунка, включая в комплект КД документы на носителях данных, определяющих конструкцию и способ изготовления ПП.

В качестве второго и последующих листов чертежа допускается использовать изображения слоев ПП на фотопленке, фотобумаге или других материалах.

Документы на носителях данных записывают в спецификацию сборочной единицы.

7. Маркировку ПП располагают на любом свободном месте.

При маркировке способом, которым выполняется проводящий рисунок, допускается применять любой шрифт. В этом случае в ТТ чертежа способ маркировки не указывают.

8. Диаметры отверстий, диаметры КП, наличие металлизации в отверстиях и количество отверстий следует объединять в таблицу.

9. При необходимости изображения проводящего рисунка ПП следует пользоваться рекомендациями ГОСТ 2.417–91 и ОСТ4 ГО.010.011 [75].

Общие правила выполнения чертежей деталей из-за их большого объема приведены в прил. Д.

17.2. Создание чертежа ПП

Спроектированная ДПП считается деталью, поэтому на нее необходимо разработать чертеж. КД будет создаваться с использованием данных файла трассировки из разд. 12 и 3D-модели ПП из 13.1.

Последовательность действий для создания чертежа ПП:

1. В **КОМПАС-3D** командой **Файл ⇒ Открыть** открыть 3D-модель ПП (расположение указано в п. 6 из 13.1).

2. СКМ повернуть ПП в рабочем поле так, чтобы спереди оказалась поверхность, соответствующая слою **Top Layer** в файле трассировки (см. рис. 12.141), после чего щелкнуть по ней ЛКМ и в появившейся над курсором ПИ нажать пиктограмму **Нормально к** (рис. 17.1).

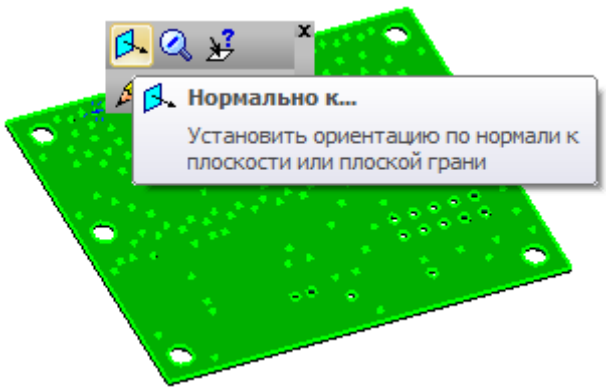


Рис. 17.1

Сохранить ориентацию 3D-модели, добавив новый вид с помощью команды **Вид ⇒ Ориентация** и присвоив ему имя (например, **Главный**).

Сохранить изменения (**Ctrl+S**) и закрыть вкладку с 3D-моделью.

3. По информации из 7.1 создать новый чертеж и задать следующие настройки листа:

– формат – **А3**;

– ориентация – **горизонтальная**;

– оформление – **Чертеж констр. Первый лист. ГОСТ 2.104-2006**.

4. Сохранить чертеж командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.cdw». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.02 - Плата печатная - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель** (см. рис. 2.8).

5. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5).

6. Запустить команду **Стандартные виды** (рис. 7.6) из ПИ **Компактная панель ⇒ Виды** и указать путь к 3D-модели ПП.

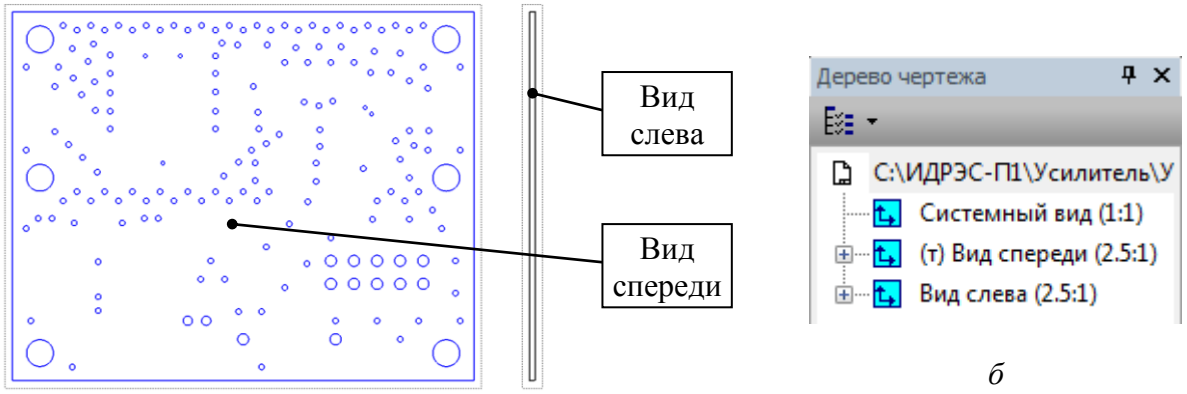
В **Панели свойств** на вкладке **Параметры** выполнить следующее:

– в поле **Ориентация главного вида** выбрать **Главный** (задан в п. 2);

– в поле **Схема видов** указать только **вид спереди** и **вид слева** (расположение видов см. на рис. 7.3);

– в поле **Масштаб вида** выбрать масштаб **2,5:1**.

Результат в варианте «П1» с обозначением видов показан на рис. 17.2, *а*.



а *б*

Рис. 17.2

7. Выполнить команду **Вид ⇒ Дерево чертежа**.

В открывшемся **Дереве чертежа** для определенности в дальнейших действиях выбрать ЛКМ вид **Главный 1**, нажать клавишу **F2** и изменить его название на **Вид спереди**.

Аналогичным образом изменить название вида **Проекционный вид 2** на **Вид слева** (рис. 17.2, *б*).

8. Заполнить графы рамки в соответствии с табл. 17.1, при этом обратив внимание на следующее:

– графы рамки заполняются отдельно для основной надписи и дополнительных граф;

– для перехода в режим редактирования граф рамки необходимо дважды щелкнуть по ним ЛКМ (или выполнить команду **ПКМ ⇒ Заполнить основную надпись**);

– для сохранения введенных данных на **Панели свойств** нажимается пиктограмма **Создать объект**;

– если производится копирование информации из указанной таблицы, то необходимо выбрать шрифт **COST type A** с начертанием **Курсив**.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1 и на рис. 3.6.

Таблица 17.1

Содержание граф рамки для чертежа ПП

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Плата печатная	Наименование изделия определено в табл. 2.1 и записывается автоматически, так как было задано в свойствах 3D-модели. Параметры шрифта в **Панели свойств** на вкладке **Формат**: высота символов – **7**, шаг строк – **11**
2	УП1.01.02	Обозначение документа определено в табл. 2.1, указано для варианта «П1» и записывается автоматически, так как было задано в свойствах 3D-модели. Данные этой графы повторяются на каждом новом листе
3	Диэлектрик фольгированный AD1000-0,508-18/18 «Arlon»	Обозначение материала указано для варианта «П1». Текст записывается вручную вместо автоматически добавленного материала по данным варианта индивидуального задания на проектирование и табл. Б.2. Параметры шрифта в **Панели свойств** на вкладке **Формат**: высота символов – **3.5**, шаг строк – **5.5**
4	У	–
5	4,6 г	Заполняется автоматически при выборе в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле **Единицы измерения массы** опции **граммы**, а в поле **Точность представления** значения **1** (**0** – при отсутствии десятых долей)
6	2,5:1	Заполняется автоматически в соответствии с масштабом главного вида
7 и 8	См. комментарий	Заполняются автоматически
9	СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	Параметры шрифта в **Панели свойств** на вкладке **Формат**: высота символов – **5**, шаг строк – **8**
11 (напротив «Разраб.»)	Сидоров	Указывается фамилия студента, разработавшего КД. Если вариант задания выполняется студентами в паре, то фамилия второго студента записывается в графе 11 напротив «Пров.»

Окончание таблицы 17.1

Номер графы	Содержание графы	Комментарий к заполнению
11 (напротив «Пров.»)	Петров	Указывается фамилия преподавателя. Если вариант задания выполняется студентами в паре, то фамилия преподавателя указывается в графе 11 напротив «Утв.», а в данной графе записывается фамилия второго студента
11 (напротив «Утв.»)	См. комментарий	Если вариант задания выполняется студентами в паре, то в данной графе записывается фамилия преподавателя. В противном случае графа не заполняется
25	УП1.01.01	Обозначение спецификации, в которой записан КД, определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»
26	УП1.01.02	Заполняется автоматически и полностью соответствует содержанию графы 2. Данные этой графы повторяются на каждом новом листе

Результат заполнения граф основной надписи в варианте «П1» показан на рис. 17.3.

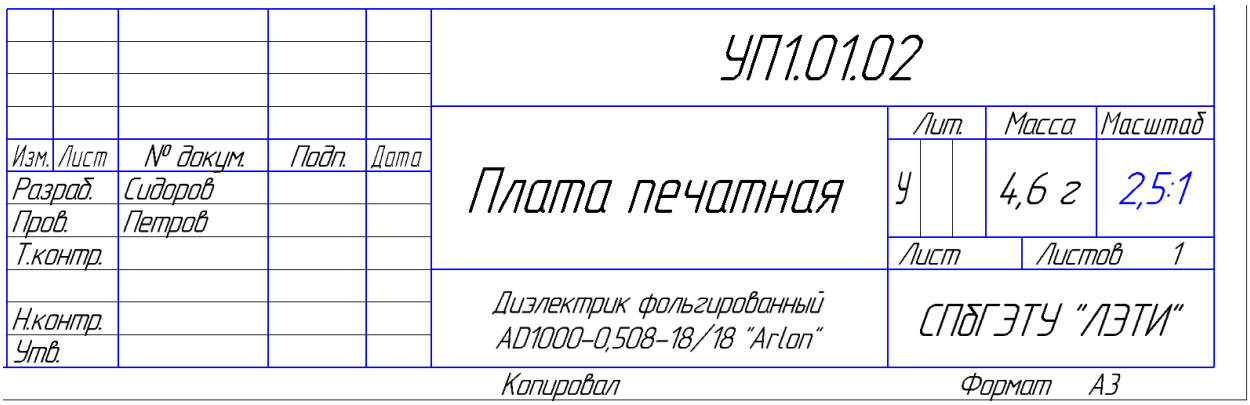


Рис. 17.3

9. Запустить режим редактирования основной надписи и в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** отжать пиктограмму **Синхронизация данных** (рис. 7.7), тем самым отключив передачу данных между 3D-моделью и основной надписью чертежа.

10. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

11. Убрать с **Вида спереди** все отверстия, кроме крепежных.

Так как данный вид является ассоциативным, то графические объекты с него удалить нельзя, не разрушив вид. Чтобы не разрушать вид, интересующие объекты можно скрыть, переместив на вспомогательный невидимый слой, для чего выполнить следующее:

– сделать текущим **Вид спереди**;

– запустить команду **Вставка ⇒ Слой** или нажать пиктограмму **Управление слоями** (см. рис. 6.8) на ПИ **Текущее состояние**;

– в открывшемся окне **Менеджер документа** убедиться в том, что выделен **Вид спереди**, после чего нажать пиктограмму **Создать слой** и в столбце **Видимость** для созданного слоя выбрать **Погашенный** (рис. 17.4);

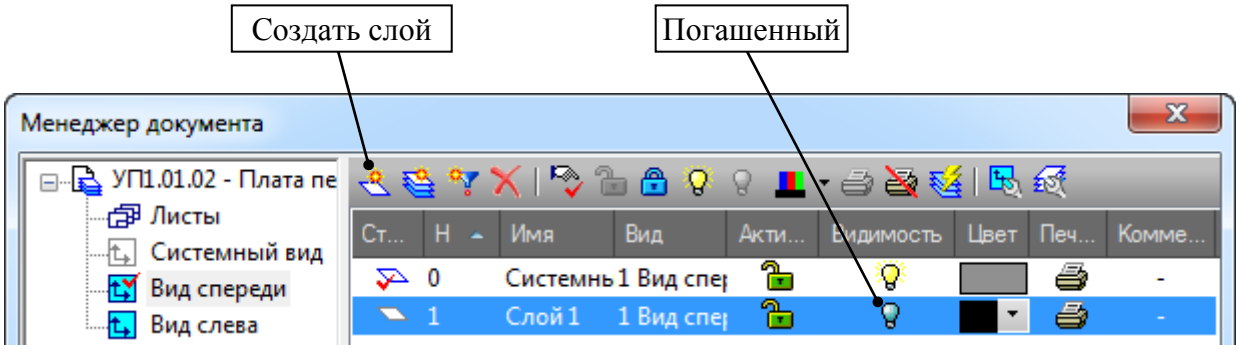


Рис. 17.4

– закрыть **Менеджер документа** клавишей **OK**;

– на **Виде спереди** выделить необходимые отверстия (добавление объектов к уже выделенным осуществляется с зажатой клавишей **Ctrl**) и на них запустить команду **ПКМ ⇒ Изменить слой**;

– в открывшемся окне **Выберите слой** выбрать только что созданный погашенный вспомогательный слой и нажать **OK**.

12. Включить режим **Ортогональное черчение** клавишей **F8**.

13. Нажать пиктограмму **Параметрический режим** (см. рис. 6.8) на ПИ **Текущее состояние**.

Примечание. Как отмечалось ранее, параметрический режим будет использоваться в чертежах при простановке размеров и различных объектов на ассоциативных видах. Так как в этом режиме добавленные размеры и объекты оказываются привязанными к элементам ассоциативных видов, то при обновлении 3D-модели произойдет и их изменение тоже.



Рис. 17.5

14. Командой **Обозначение центра** (рис. 17.5) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** обозначить центры всех крепежных отверстий.

Завершить команду клавишей **Esc**.

15. Командой **Осевая линия по двум точкам** (рис. 17.5) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** соединить центры крайних крепежных отверстий, находящихся на одной оси.

Завершить команду клавишей **Esc**.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 17.6.

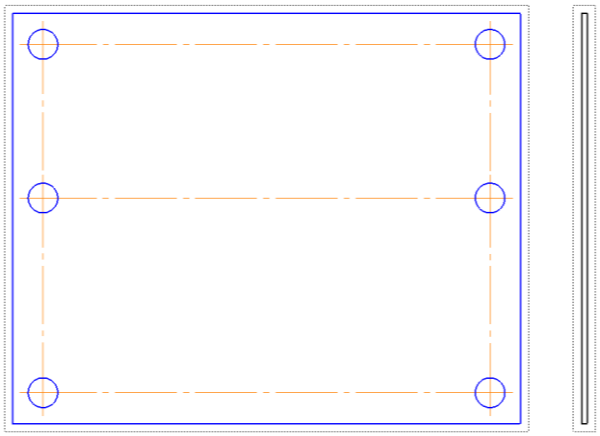


Рис. 17.6

16. Ознакомиться с правилами нанесения размеров по Д.5.

17. Командой **Линейный размер** или **Авторазмер** (см. рис. 7.21) из ПИ **Компактная панель ⇒ Размеры** проставить следующие размеры на **Виде спереди**:

– размеры контура ПП в соответствии с подходящим для варианта задания схематичным изображением, приведенным на рис. 12.25;

– размеры положения осей крепежных отверстий цепочкой от угла ПП, отмеченного на рис. 12.25 точкой, при этом размерные линии можно разместить со сторон ПП, оставшихся на данный момент свободными от размеров.

Обратить внимание на следующее:

– общая последовательность действий простановки размеров описана в п. 21 из 7.3;

– для выполнения п. 15 из Д.5 указанные в нем расстояния необходимо уменьшить на величину масштаба вида (например, для масштаба 2,5:1 величина 10 мм соответствует 4 мм, а 7 мм – 2,8 мм);

– для перемещения вида следует потянуть зажатой ЛКМ за его рамку (виды с проекционными связями будут перемещены автоматически);

– для выравнивания положения размерных линий необходимо выделить требуемые размеры, запустить команду **Инструменты ⇒ Выровнять размерные линии** (или нажать в рабочем поле ПКМ и в появившейся над курсором ПИ нажать аналогичную пиктограмму) и в рабочем поле ЛКМ указать ту размерную линию, по которой будет осуществлено выравнивание;

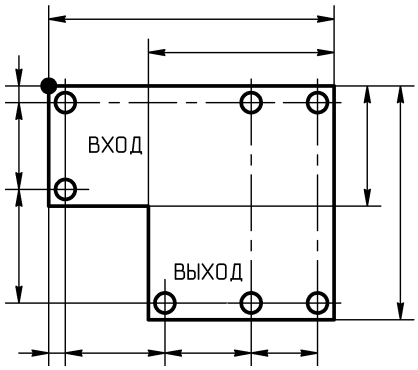


Рис. 17.7

– вариант простановки размеров для ПП с угловой формой показан на рис. 17.7.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 17.8.

Примечание. В КОМПАС-3D размеры, устанавливаемые в параметрическом режиме (ассоциативные размеры), могут быть двух типов:

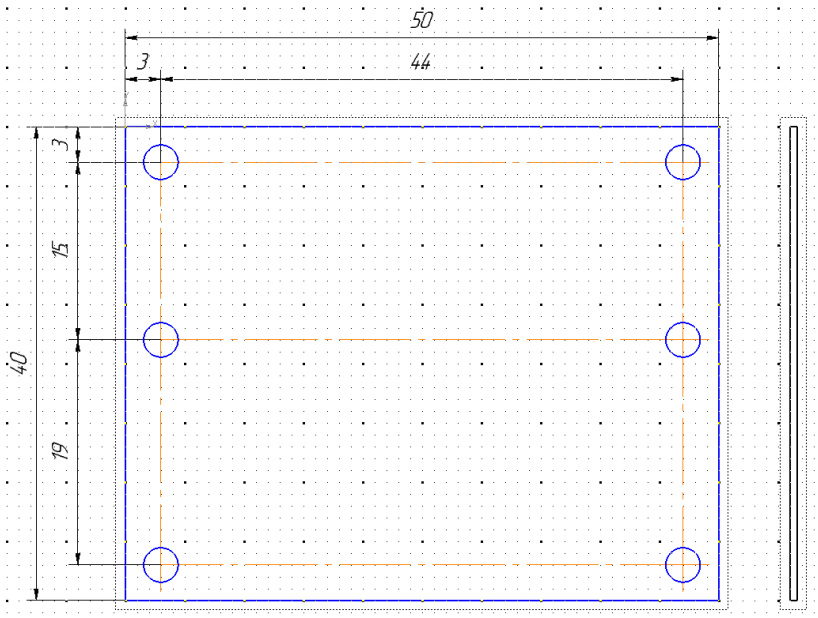


Рис. 17.8

– управляющие (размеры, которые управляют геометрическим объектом). У таких размеров после изменения пользователем размерного числа объект, к которому проставлен размер, будет автоматически перестроен;

– информационные (размеры, которые управляются геометрическим объектом). В этом случае после изменения пользователем габаритов объекта, к которому проставлен размер, происходит автоматическое перестроение размера и пересчет его размерного числа.

В соответствии с настройками профиля, загруженного в 6.2, все ассоциативные размеры по умолчанию являются информационными.

18. Ознакомиться с предельными отклонениями размеров по Д.6.

19. Для размеров контура ПП установить предельные отклонения с полем допуска h12 и отобразить их числовые значения.

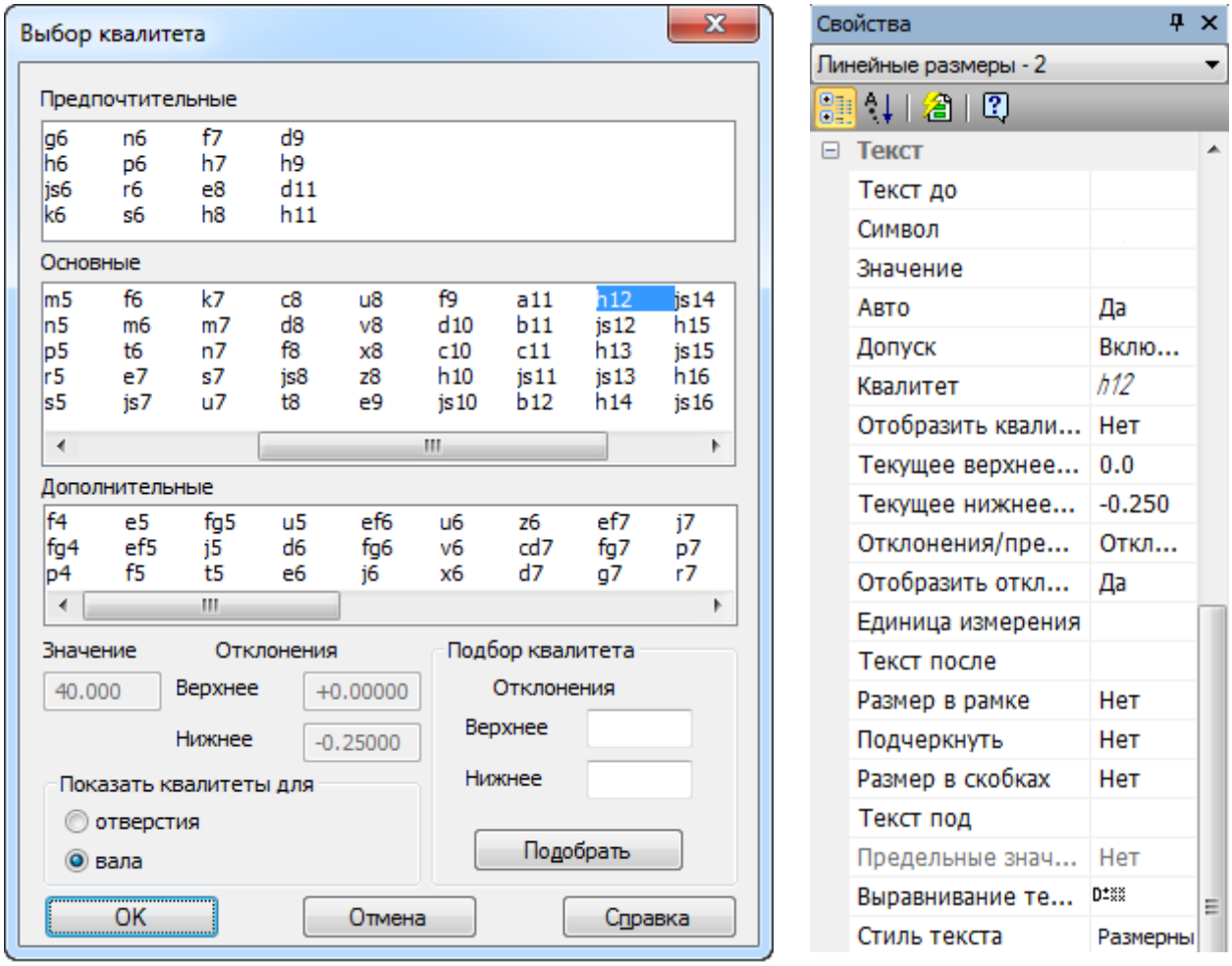
Для этого выполнить следующее:

– выделить размеры контура ПП и войти в их свойства, запустив команду **ПКМ ⇒ Свойства** на любом из них;

– в появившемся слева от рабочего поля окне **Свойства** щелкнуть ЛКМ напротив параметра **Квалитет**;

– в открывшемся окне **Выбор квалитета** (рис. 17.9, *а*) в группе **Показать квалитеты для** выбрать требуемую опцию, после чего указать поле допуска и закрыть окно кнопкой **OK**.

Примечание. В поле «Значение» отображается значение одного из выбранных размеров, а в полях «Верхнее» и «Нижнее» – отклонения для него согласно выбранному полю допуска;



а *б*

Рис. 17.9

– в окне **Свойства** для параметра **Отобразить отклонения/пределы** выбрать опцию **Да** (рис. 17.9, *б*) и закрыть окно **Свойства**.

Примечание. Параметры из группы «Текст» окна «Свойства» также можно настроить отдельно для каждого размера в окне «Задание размерной надписи» (для размера 40 мм окно показано на рис. 17.10), что в некоторых случаях более наглядно.

Для открытия этого окна выполняются следующие действия:

– в рабочем поле ЛКМ выбирается требуемый размер;

– выполняется команда ПКМ ⇒ Редактировать (или производится двойной щелчок ЛКМ по размерной или выносной линии размера);

– в «Панели свойств» на вкладке «Размер» осуществляется щелчок ЛКМ в поле «Текст».

20. Командой **Авторазмер** или **Диаметральный размер** из ПИ **Компактная панель ⇒ Размеры** (рис. 7.21) указать количество крепежных отверстий и их диаметр, для чего после ее запуска выполнить следующее:

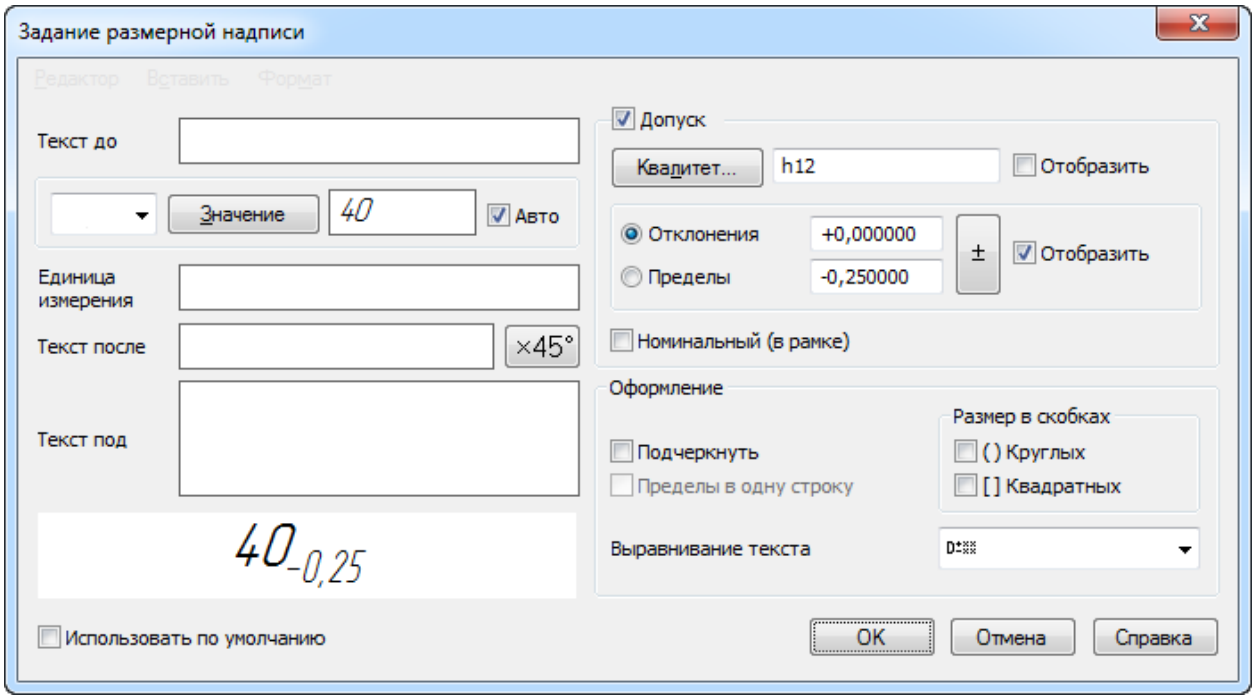


Рис. 17.10

– в рабочем поле ЛКМ указать на окружность, для которой будет добавлен размер;

– в **Панели свойств** на вкладке **Размер** в поле **Размещение размерной надписи** выбрать опцию **На полке, влево** или **На полке, вправо**;

– в **Панели свойств** нажать ЛКМ на поле **Текст**;

– в открывшемся окне **Задание размерной надписи** дважды щелкнуть ЛКМ в поле **Текст до** и в появившемся списке выбрать **2 отв.**, после чего скорректировать количество отверстий и закрыть окно кнопкой **OK**;

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** выбрать опцию **Стрелки снаружи**;

– в рабочем поле ЛКМ указать точку начала выносной линии для полки и выйти из команды клавишей **Esc**.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 17.11.

Примечание. Отверстия в ПП по ГОСТ 53386–2009 [76] относятся к элементам ее конструкции. Предельные отклонения для диаметров и размеров положения осей будут указаны в ТТ в виде соответствующего класса точности ПП.

Предельные отклонения диаметров отверстий для 4-го класса точности ПП по ГОСТ Р 53429–2009 приведены в табл. Г.10.

Позиционный допуск расположения осей отверстий в диаметральном выражении для ПП с размером большей стороны до 180 мм включительно

для 4-го класса точности ПП по ГОСТ Р 53429–2009 составляет 0,05 мм (см. табл. Б.1). Предельные отклонения расстояний между осями двух любых отверстий по горизонтали и вертикали (Д.4) составят ±0,018 мм.

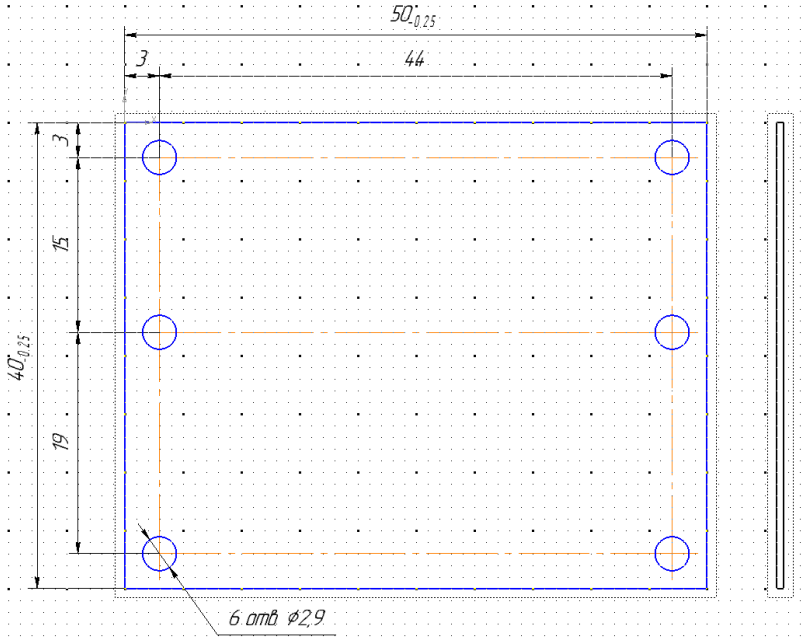


Рис. 17.11

21. Отжать пиктограмму **Параметрический режим** (см. рис. 6.8) на ПИ **Текущее состояние**.

22. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

23. Создать выносной элемент (см. п. 7.1 из Д.3), на котором показать структуру ПП.

Для этого проделать следующее:

23.1. Сделать текущим **Вид слева**.

23.2. Запустить команду **Выносной элемент** из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (см. рис. 17.5) и выполнить следующее:

– в рабочем поле ЛКМ указать центр области, которая станет выносным элементом;

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле **Форма** выбрать форму области **Окружность**;

– в **Панели свойств** на вкладке **Знак** включить опцию **Автосортировка** (ее параметры при необходимости устанавливаются командой **Сервис ⇒ Параметры ⇒ Текущий чертеж ⇒ Обозначение для машиностроения ⇒ Автосортировка**);

– в рабочем поле ЛКМ указать точку на контуре области, тем самым зафиксировав ее на чертеже;

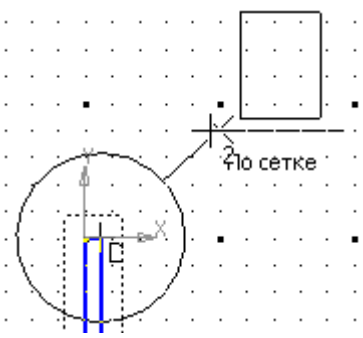


Рис. 17.12

– в рабочем поле ЛКМ указать точку начала полки (рис. 17.12);

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** задать масштаб **50:1**;

– в **Панели свойств** на вкладке **Надпись вида** включить опцию **Масштаб** (остальные опции оставить по умолчанию);

– в рабочем поле ЛКМ указать произвольное место для размещения вида.

23.3. Разрушить вид с выносным элементом.

23.4. Удалить в выносном элементе все линии и кривые.

23.5. Убедиться в том, что вид с выносным элементом текущий.

23.6. Задать шаг сетки по осям X и Y – **0.01** мм (см. п. 5 из 6.5).

23.7. Командой **Отрезок** со стилем линии **Основная** нарисовать структуру ПП, состоящую из следующих составных частей:

– в центре – диэлектрическое основание толщиной h;

– слева и справа от диэлектрического основания – металлизация толщиной $h_{пс}$;

– над металлизацией со стороны верхнего слоя – защитная паяльная маска (см. Б.7).

Примечание. Значения следует взять с рисунка или таблицы структуры ПП (см. рис. 12.2, б и 12.124), сохраненных в отчете.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 17.13.

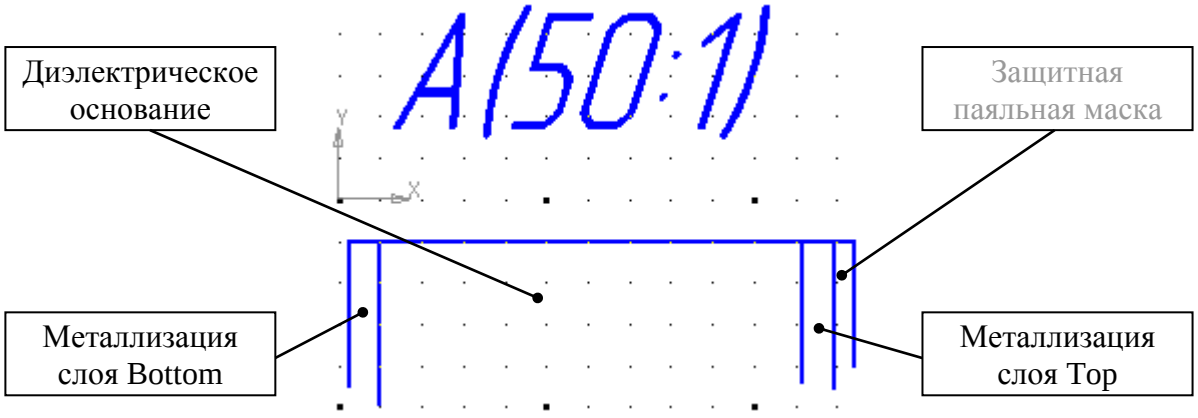


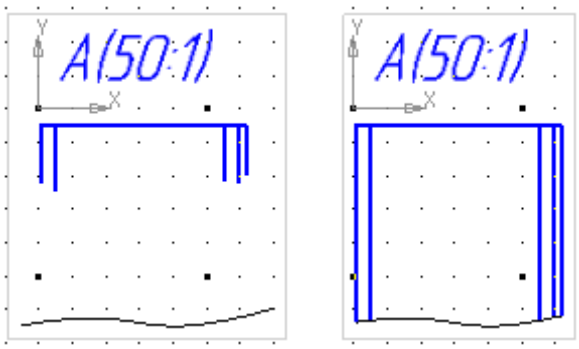
Рис. 17.13

23.8. Отключить режим **Ортогональное черчение** клавишей **F8**.

23.9. Командой **Сплайн по точкам** из ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия** (см. рис. 7.15) ограничить нарисованные отрезки с нижней стороны,

при этом в **Панели свойств** выбрать в поле **Тип кривой** – **Кривая Безье**, а в поле **Стиль** – **Для линии обрыва** (рис. 17.14, *а*).

23.10. Командами **Удлинить до ближайшего объекта** и **Усечь кривую** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование** (см. рис. 6.20) продлить отрезки до пересечения со сплайном и отрезать лишние участки сплайна соответственно (рис. 17.14, *б*).



а *б*

Рис. 17.14

23.11. Командой **Штрихофка** из группы «Заливка» на ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия** (см. рис. 7.19) заштриховать области структуры ПП, при этом для диэлектрического основания и защитной паяльной маски выбрать стиль **Неметалл**, для металлизации – **Металл**. В свойствах штриховок также задать необходимые шаг и угол.

23.12. Командой **Авторазмер** или **Линейный размер** указать толщину ПП, отдалив размерную линию от линии контура на 0,2 мм.

Затем в режиме редактирования размера задать симметричные отклонения по данным из Б.5, т. е. ±10 % от получившейся толщины ПП. Для этого в окне **Задание размерной надписи** выполнить следующее:

– включить опцию **Допуск**;

– выбрать опцию **Отклонения** и в верхнем поле этой группы ввести требуемое значение;

– нажать кнопку «±»;

– включить опцию **Отобразить** и нажать **OK**.

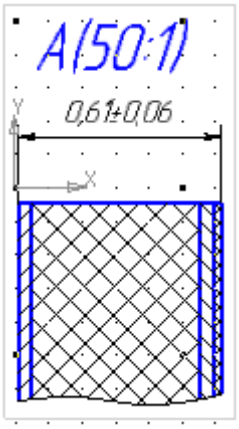


Рис. 17.15

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 17.15.

23.13. Запустить команду **Линия-выноска** (см. рис. 7.26) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения**.

В **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле **Стрелка** выбрать **Вспомогательная точка**, после чего в рабочем поле, следуя подсказкам в строке сообщений, обозначить слои ПП и защитную паяльную маску. Лишние ответвления линий-выносок (при наличии) удалить по п. 24 из 7.3.

23.14. Задать шаг сетки по осям X и Y – **0.1** мм (см. п. 5 из 6.5).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 17.16.

Примечание. Названия слоев ПП взяты из файла трассировки.

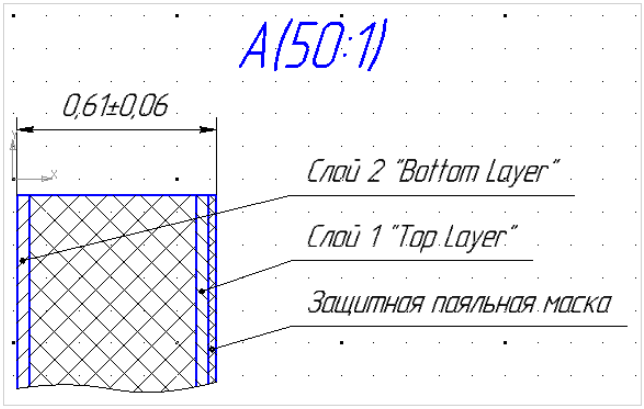


Рис. 17.16

24. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

25. Добавить ТТ, для чего выполнить следующие действия:

25.1. Запустить команду **Вставка ⇒ Технические требования ⇒ Ввод**, в результате чего откроется новая вкладка для ввода ТТ.

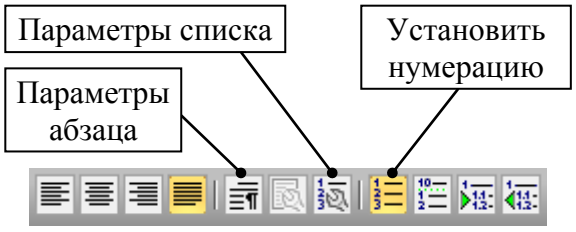


Рис. 17.17

25.2. В **Панели свойств** на вкладке **Формат**:

– нажать пиктограмму **Параметры абзаца** (рис. 17.17) и в открывшемся окне в поле **Красная строка** ввести **15**;

– нажать пиктограмму **Параметры списка** (рис. 17.17) и в открывшемся окне убедиться, что в поле **Текст после** ничего нет (согласно ГОСТ Р 2.105–2019 после номера пункта никаких знаков быть не должно).

25.3. Ввести текст следующего вида:

1 Плату изготовить комбинированным позитивным методом.

2 Плата должна соответствовать требованиям ГОСТ 23752-79, группа жесткости 1.

3 Данные для изготовления фотошаблонов, шелкографии и программы сверления содержатся в УП1.01.02Д33 (АМР-П1-v0.2.PcbDoc). Формат файла проектирования - Altium Designer. Назначение задействованных слоев приведено в таблице 1.

4 Параметры элементов конструкции печатной платы приведены в таблицах 2 и 3.

5 Параметры элементов конструкции печатной платы должны отвечать 4-му классу точности по ГОСТ Р 53429-2009.

6 Печатные проводники, переходные отверстия и контактные площадки не показаны.

7 Нанести на верхний слой печатной платы (Слой 1 «Top Layer») защитную паяльную маску зеленого цвета марки Fotochem FSR 8000-8G89 (или аналог), кроме мест, указанных на слое Top Solder из АМР-П1-v0.2.PcbDoc. Переходные отверстия должны быть открыты от маски.

8 Припуск паяльной маски (Solder Mask Swell) - 0,05 мм. Допускаемое значение смещения рисунка защитной паяльной маски относительно основного рисунка печатной платы - не более 0,05 мм.

9 Шелкографию выполнить краской белого цвета Fotochem FSR 8000-10W (или аналог). Минимальная ширина линии - 0,15 мм, минимальная высота шрифта - 1 мм.

10 Покрытие мест, не закрытых защитной паяльной маской, - иммерсионное серебрение (ImmAg).

11 Шероховатость обрабатываемых поверхностей - $\sqrt{Ra3,2}$.

12 Маркировать краской ТНПФ-01 черной ТУ 29-02-889-79 (или аналог). Шрифт 2,5 - Пр3 ГОСТ 26.008-85.

13 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.014.

Для добавления знака шероховатости, указанного в п. 11 ТТ, в **Панели свойств** на вкладке **Вставка** нажать пиктограмму **Спецзнак**, после чего в открывшемся окне в группе **Шероховатость** выбрать элемент **Верхний. Изм. №3 ГОСТ 2.309-73**.

Примечание. Если текст ТТ был скопирован и вставлен, то потребуется выполнить следующее:

– выделяется весь текст (Ctrl+A);

– в «Панели свойств» на вкладке «Формат» в поле «Стиль текста» выбирается опция «Техтребования», настраивается значение красной строки (см. выше) и включается опция «Установить нумерацию» (см. рис. 17.17);

– снимается выделение;

– удаляются скопированные номера пунктов и знаки переносов;

– заменяются номера вариантов и названия файла трассировки;

– добавляется обозначение шероховатости.

25.4. Нажать пиктограмму **Сохранить** на ПИ **Стандартная** (или комбинацию клавиш **Ctrl+S**).

Затем выйти из режима редактирования ТТ, закрыв соответствующую вкладку или нажав иконку в правом верхнем углу рабочего поля (рис. 17.18).

25.5. Убедиться в том, что расстояние между нижней строкой ТТ и рамкой основной надписи не менее 10 мм.

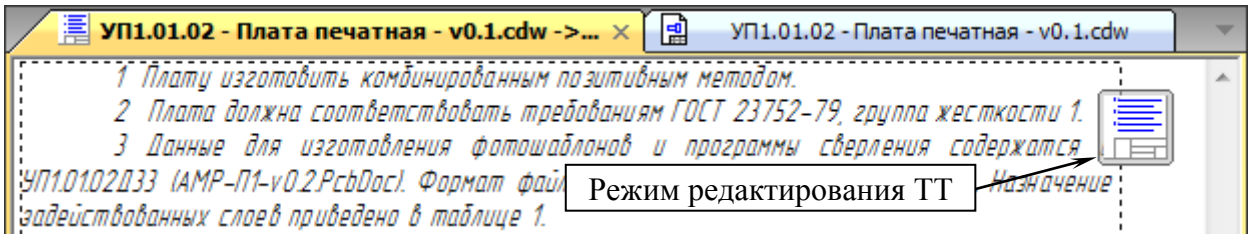


Рис. 17.18

Если это не так, то изменить положение ТТ, выполнив в рабочем поле на них команду **ПКМ ⇒ Ручное размещение технических требований** и потянув за характерные точки, отмеченные черными квадратами.

Для сброса настроек размещения ТТ служит команда **ПКМ ⇒ Авторазмещение технических требований**.

Если добавленные виды занимают много места, в результате чего ТТ не помещаются в одну колонку над основной надписью, то есть несколько способов решения проблемы:

– пересмотреть компоновку видов (например, вместо вида с непосредственной проекционной связью сделать вид по стрелке и перенести его в другое место – см. п. 23 из 20.1) и их масштабы;

– разместить ТТ в две колонки (см. пп. 8 и 9 из Д.8 и рис. 17.19);

– использовать разрывы (см. п. 5 из Д.4).

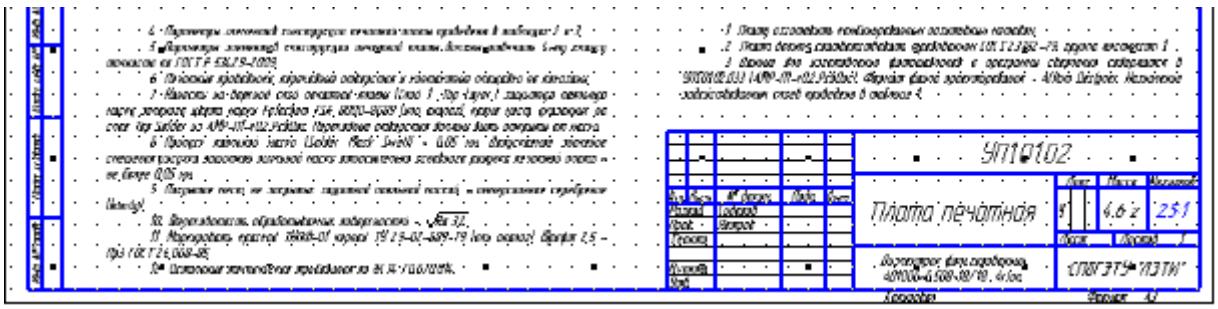


Рис. 17.19

Для создания разрыва выполняется следующее:

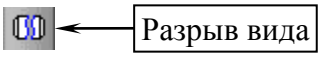


Рис. 17.20

– делается текущим требуемый вид;

– запускается команда **Разрыв вида** из ПИ **Компактная панель ⇒ Виды** (рис. 17.20);

– в рабочем поле указывается положение двух появившихся вертикальных прямых, между которыми будет разрыв;

– в **Панели свойств** задаются требуемые параметры оформления: угол наклона прямых; зазор разрыва; тип разрыва (любой, кроме типа **Прямая**); амплитуда для типов **С изломом** и **Волнистая**. Затем включается опция **Показать разрывы** и нажимается пиктограмма **Создать объект**.

Возможный результат показан на рис. 17.21.

Примечания:

– на одном виде можно создать несколько разрывов, а также удалить уже существующие. Для этого служат соответствующие пиктограммы в «Панели свойств» в окне «Разрывы»;

– отключение и включение разрывов осуществляется опцией «Показать разрывы» в «Панели свойств» или выполнением на выделенном виде команды ПКМ ⇒ Показать разрывы.

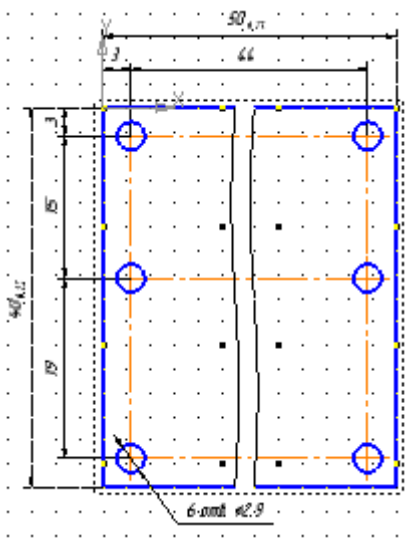


Рис. 17.21

25.6. Комментарии к отдельным пунктам ТТ из п. 25.3:

– методы изготовления ПП рассмотрены в Б.3 и Б.4;

– в зависимости от условий эксплуатации по ГОСТ 23752–79 [77] определяют группу жесткости (табл. 17.2), предъявляющую соответствующие требования к конструкции ПП, к используемому материалу основания и необходимости применения дополнительной защиты от климатических, механических и других воздействий.

Таблица 17.2

Климатические факторы групп жесткости

Наименование воздействующего фактора		Допускаемые значения воздействующего фактора по группам жесткости			
		1	2	3	4
Температура окружающей среды, °С	Верхнее значение	55	85	100	120
	Нижнее значение	–25	–40	–60	
Относительная влажность воздуха, %		75–98 при температуре до 35 °С		98 при температуре до 40 °С	
Смена температур, °С		От –25 до +55	От –40 до +85	От –60 до +100	От –60 до +120
Атмосферное давление, Па (мм рт. ст.)		Нормальное	53600 (400)		666 (5)

Так как никаких особых требований к ПП не предъявляется, то записана 1-я группа;

– классы точности ПП рассмотрены в Б.8. С учетом значений для 4-го класса точности производилось моделирование ПФ, а также трассировка ПП (правила проектирования были загружены в п. 10 из 12.1);

– защитная паяльная маска рассмотрена в Б.7 (также см. п. 13 из Б.4);

– пояснение к допускаемому смещению рисунка защитной паяльной маски дано в Б.9;

– способы нанесения шелкографии приведены в п. 16 из Б.4;

– виды покрытий рассмотрены в Б.6;

– шероховатость поверхности рассмотрена в Д.9;

– маркировочная краска ТНПФ-01 выбрана по ОСТ1 90210–85 [79]. Она обладает механической прочностью; хорошей адгезией к маркируемой поверхности; стойкостью во всеклиматических условиях эксплуатации; выдерживает циклическое воздействие температур от минус 60 до плюс 180 °С; устойчива к периодическому обливу топливом, бензином, минеральным маслом; кислото-, водо- и спирто-стойка;

– параметры шрифта для маркировки описаны в п. 12 из 16.1;

– информация по ОСТ4 ГО.070.014 [78] содержится в Д.6.

26. Показать место маркировки.

Примечание. В соответствии с ГОСТ 2.314–68 [80] место нанесения маркировки отмечают точкой и соединяют ее линией-выноской со знаком маркирования, который представляет собой окружность диаметром 10–15 мм, выполненную сплошной основной линией. Внутри окружности помещают номер соответствующего пункта ТТ, в котором приведены указания о маркировании. С целью сокращения объема надписей на чертеже допускается указания о содержании (например, для заводского номера – Н) и способе нанесения (например, краской – к) маркировки приводить буквенными обозначениями. Эти буквы помещаются на линии-выноске.

Для добавления знака маркировки выполнить следующее:

26.1. Сделать текущим **Вид спереди**.

26.2. Запустить команду **Знак маркировки** из группы «Линия-выноска» на ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (рис. 17.22).

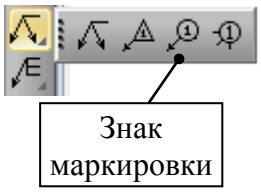


Рис. 17.22

В **Панели свойств** задать следующие настройки:

– на вкладке **Параметры** в поле **Стрелка** выбрать опцию **Вспомогательная точка**;

– на вкладке **Знак** около поля **Текст** нажать пиктограмму **Вставить ссылку**;

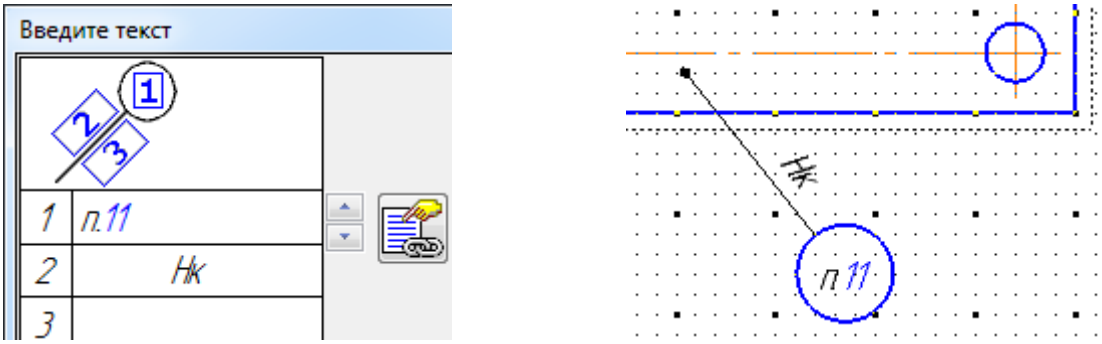
– в открывшемся окне **Ссылка** в поле **Список источников** выбрать строку с указанием о маркировке из ТТ и нажать **OK**;

– на вкладке **Знак** щелкнуть ЛКМ по полю **Текст**;

– в открывшемся окне **Введите текст** дважды щелкнуть ЛКМ в поле напротив второй строки;

– в открывшемся окне **Обозначение маркировки** в поле **Содержание** выбрать **Заводской номер**, а в поле **Способ нанесения** – **Краской**. После этого нажать **OK**;

– в окне **Введите текст** перед добавленным обозначением **Нк** вставить несколько пробелов (для его сдвига) и нажать **OK** (рис. 17.23, *а*).



а *б*

Рис. 17.23

Примечание. Как отмечалось в п. 30.5 из 16.1, в варианте «П1» не будет шелкографии, поэтому в ТТ нет п. 9, а пункт с маркировкой имеет номер 11.

26.3. В рабочем поле ЛКМ внутри контура ПП указать место, в котором будет размещаться маркировка.

Затем ЛКМ указать точку размещения знака за пределами контура ПП и в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**.

Примечание. В варианте «П1» было выбрано свободное место на слое Top Layer около диода VD1 (см. рис. 12.141).

26.4. В рабочем поле на знаке маркировки выполнить команду **ПКМ ⇒ Очистить фон**, тем самым отключив эту опцию. При необходимости скорректировать положение обозначения **Нк** на линии-выноске пробелами.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 17.23, *б*.

27. Добавить над записанными ТТ таблицу из их 3-го пункта (см. п. 25.3) с информацией о слоях из файла трассировки.

Для этого выполнить следующее:

27.1. Запустить команду **Создать новый вид** из ПИ **Компактная панель ⇒ Виды** (см. рис. 7.6) и щелкнуть ЛКМ в рабочем поле над ТТ.

27.2. Запустить команду **Ввод таблицы** из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (рис. 17.24) и указать ЛКМ положение левого верхнего угла таблицы над ТТ.



Рис. 17.24

В появившемся окне **Создать таблицу** задать следующие настройки:

– число столбцов – **2**;

– число строк – **6**;

– высота строки – **8**.

Затем закрыть окно кнопкой **OK**.

27.3. Заполнить таблицу по образцу табл. 17.3.

Таблица 17.3

Назначение задействованных слоев ПП

Название слоя	Назначение
Top Overlay	Шелкография на верхней стороне платы
Top Solder	Маска на верхней стороне платы
Top Layer	Проводящий рисунок на верхней стороне платы
Bottom Layer	Проводящий рисунок на нижней стороне платы
M1 Board	Контур платы

При необходимости отредактировать ширину столбцов, потянув ЛКМ за их вертикальные границы влево или вправо.

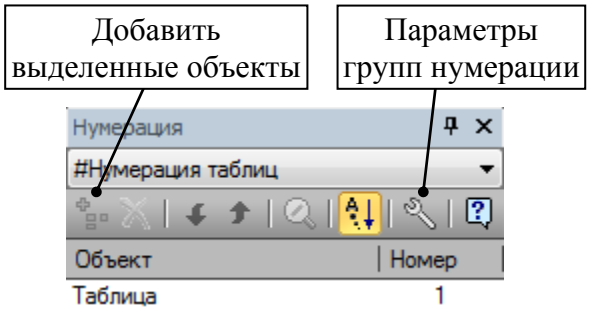
Для сохранения введенных данных в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**, после чего завершить команду клавишей **Esc**.

Примечание. В варианте «П1» слоя Top Overlay в таблице нет.

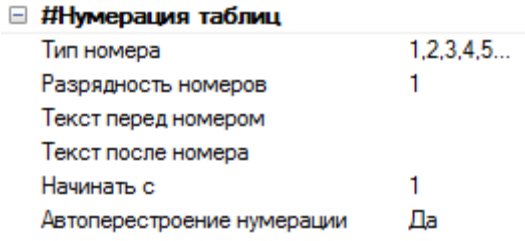
27.4. Задать автоматическую нумерацию таблицы, для чего запустить команду **Вид ⇒ Нумерация** (или нажать пиктограмму **Нумерация** на ПИ **Стандартная**) и проделать следующее:

– в верхней части появившегося окна **Нумерация** в раскрывающемся списке выбрать опцию **#Нумерация таблиц**;

– нажать пиктограмму **Параметры групп нумерации** (рис. 17.25, *а*) и в открывшемся окне в группе **#Нумерация таблиц** удалить текст из поля **Текст перед номером** (рис. 17.25, *б*), после чего нажать **OK**;



а



б

Рис. 17.25

– в рабочем поле щелкнуть ЛКМ по таблице;

– в окне **Нумерация** нажать пиктограмму **Добавить выделенные объекты**, в результате чего будет добавлена в список (рис. 17.25, *а*);

– в рабочем поле щелкнуть ЛКМ по таблице и запустить команду **ПКМ ⇒ Название**;

– в появившемся окне в поле перед автоматически добавленным номером ввести слово **Таблица** и поставить пробел (рис. 17.26);

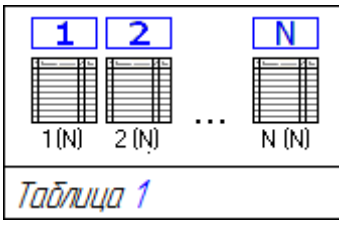


Рис. 17.26

– закрыть окно кнопкой **OK** и снять выделение с таблицы.

28. Добавить в чертеж по 7.1 второй лист (рис. 17.27) со следующими настройками:

– формат – **А4**;

– ориентация – **вертикальная**;

– оформление – **Чертеж констр. Посл. листы. ГОСТ 2.104-2006**.

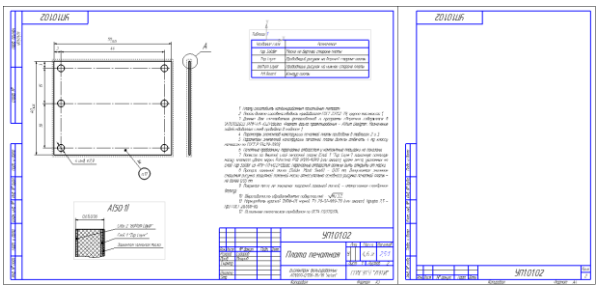


Рис. 17.27

29. Добавить на второй лист таблицу из 4-го пункта ТТ (см. п. 25.3) с информацией об отверстиях на ПП.

Для этого выполнить следующее:

29.1. По пп. 27.1 и 27.2 создать новый вид на втором листе чертежа и добавить таблицу с шестью столбцами и восьмью строками.

29.2. Заполнить таблицу по образцу табл. 17.4 с использованием таблицы со списком отверстий (см. рис. 12.123), сохраненной в отчете.

Таблица 17.4

Перечень отверстий ПП

Диаметр отв., мм	Форма контактной площадки	Размер контактной площадки, мм	Наличие металлизации	Кол.	Примечание
0,4	круг	Ø0,9	есть	5	Переходные отв.
0,6	круг	Ø1,2	есть	151	
0,8	круг	Ø1,4	есть	1	Отв. для установки компонентов
0,8	квадрат	1,4×1,4	есть	1	
1,2	круг	Ø1,8	есть	10	
1,2	квадрат	1,8×1,8	есть	2	
2,9	круг	Ø5,0	есть	6	Крепежные отв.

Для добавления в таблицу знаков диаметра и умножения в **Панели свойств** на вкладке **Вставка** необходимо нажать пиктограмму **Спецзнак**, после чего в открывшемся окне раскрыть группу **Простановка размеров**, выбрать необходимый знак и нажать **OK**.

Для редактирования строк, столбцов и ячеек используются пиктограммы на вкладке **Таблица** в **Панели свойств** (рис. 17.28) со следующими особенностями:

– перед объединением ячеек необходимо их выделить;

– перед добавлением строки (столбца) необходимо установить курсор мышки внутри ячейки строки (столбца), относительно которой будет производиться вставка;

– для изменения стиля границ ячеек необходимо их выделить (или установить внутрь курсор мышки), выбрать стиль линии в списке **Стиль** и в списке **Границы** отметить нужные.



Рис. 17.28

Примечания:

– расшифровка обозначений КП и переходных отверстий содержится в Г.22;

– посмотреть перечень КП и переходных отверстий также можно в файле трассировки с использованием панели PCB, находящейся в режиме Pad & Via Templates. С включенной опцией Select свойства выбранных шаблонов доступны для просмотра в панели PCB Inspector;

– так как в варианте «П1» у прямоугольных КП со скруглениями их радиус уменьшен до 1 %, то в табл. 17.4 в столбце с формой КП было записано не «скругленный квадрат», а просто «квадрат».

29.3. По п. 27.4 добавить созданную таблицу в список с автоматической нумерацией и присвоить ей название **Таблица** с автоматически добавленным порядковым номером **2**.

30. Добавить на второй лист таблицу из 4-го пункта ТТ (см. п. 25.3) с информацией о минимальных значениях параметров конструкции ПП.

Для этого выполнить следующее:

30.1. По пп. 27.1 и 27.2 создать новый вид на втором листе чертежа и добавить таблицу с двумя столбцами и семью строками.

30.2. Заполнить таблицу по образцу табл. 17.5 с использованием файла трассировки, обратив внимание на положение числовых значений показателей в графах (см. п. 4 из 18.1).

Таблица 17.5

Минимальные значения параметров конструкции ПП

Параметр конструкции печатной платы	Минимальное значение
Ширина печатного проводника, мм	0,25
Зазор между печатными проводниками, мм	0,20
Зазор между контактными площадками разных электрических цепей, мм	0,25
Зазор между печатным проводником и полигоном, мм	0,50
Отступ проводящего рисунка от контура платы, мм	0,50
Отношение диаметра минимального металлизированного отв. к толщине платы	0,65

Перед заполнением таблицы в **Altium Designer** выполнить следующие предварительные действия:

– если проект ПП был закрыт, то открыть его по п. 1 из 12.1;

– если файл трассировки был закрыт, то открыть его по п. 3 из 8.3;

– перейти в сетку **0.025** мм;

– включить набор слоев **Shield**;

– сделать текущим слой **Top Layer**;

– включить режим одного слоя (**Shift+S**).

Используя при необходимости команду **Reports ⇒ Measure Distance** (или комбинацию клавиш **Ctrl+M**) из п. 17.10 из 12.3, осуществить поиск и измерение указанных в таблице параметров (примеры мест их расположения в файле трассировки показаны цифрами на рис. 17.29):

– печатный проводник с минимальной шириной будет либо в цепи управления аттенюатором (0,25 мм), либо в топологии ПФ (места № 1 и 2).

Примечание. Узнать ширину печатного проводника можно в его свойствах (команда ПКМ ⇒ Properties), в панели PCB Inspector или в панели PCB List, в которой можно отсортировать по ширине все дуги и линии;

– минимальный зазор между печатными проводниками в проекте, скорее всего, будет либо между цепями управления аттенюатора, либо между резонаторами в ПФ (места № 3 и 4);

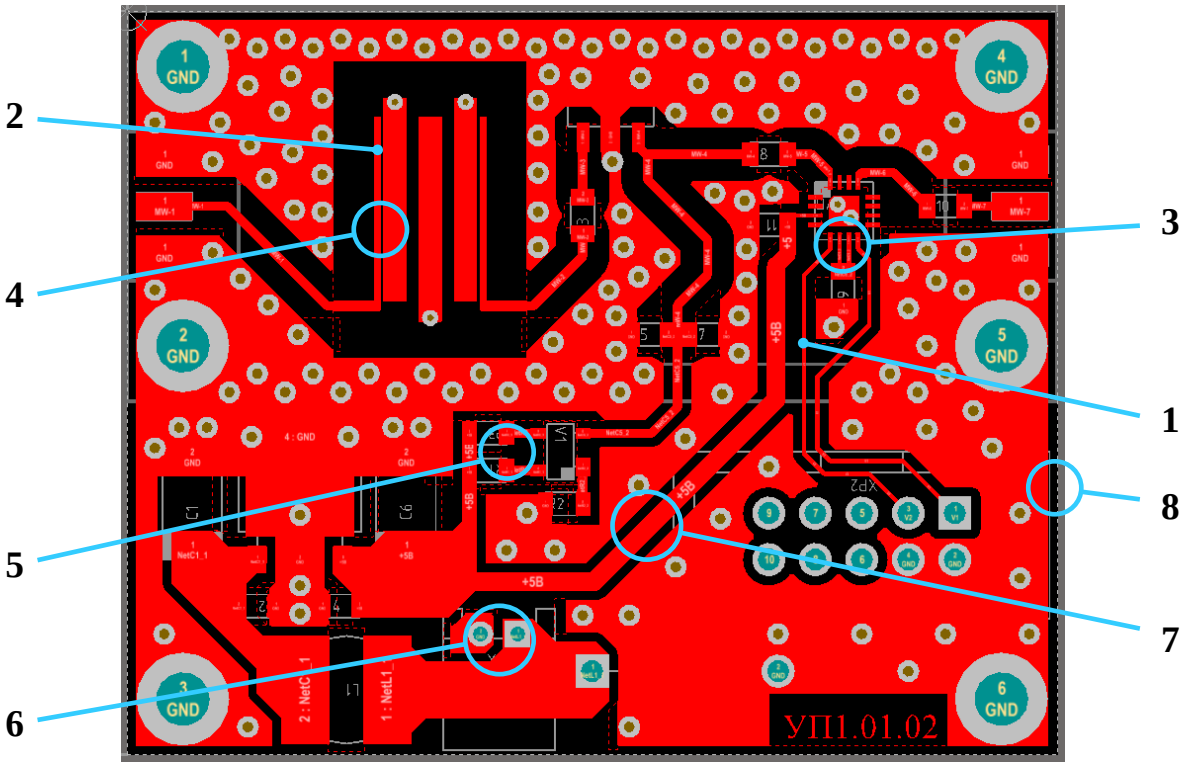


Рис. 17.29

– минимальный зазор между КП разных цепей, скорее всего, будет в посадочном месте под микросхему аттенюатора (место № 3). Также следует обратить внимание на зазоры между КП у близко расположенных компонентов и между КП в разъемах (места № 5 и 6);

– минимальный зазор между печатным проводником и полигоном для всех вариантов задания будет 0,5 мм (место № 7), так как такое правило проектирования было задано при трассировке ПП в п. 16.7 из 12.5;

– минимальный отступ проводящего рисунка от контура ПП для всех вариантов задания будет 0,5 мм (место № 8), так как было загружено правило BOC (см. табл. Г.7);

– отношение диаметра минимального металлизированного отверстия к толщине ПП необходимо рассчитать, воспользовавшись данными табл. 17.4 и размером на выносном элементе (см. рис. 17.16). Полученное значение округлить до сотых долей в меньшую сторону.

Примечание. В табл. 17.5 указаны не все параметры конструкции ПП, так как для их определения потребовались бы более сложные действия.

30.3. По п. 27.4 добавить созданную таблицу в список с автоматической нумерацией и присвоить ей название **Таблица** с автоматически добавленным порядковым номером **3**.

30.4. Закрыть файл трассировки без сохранения изменений.

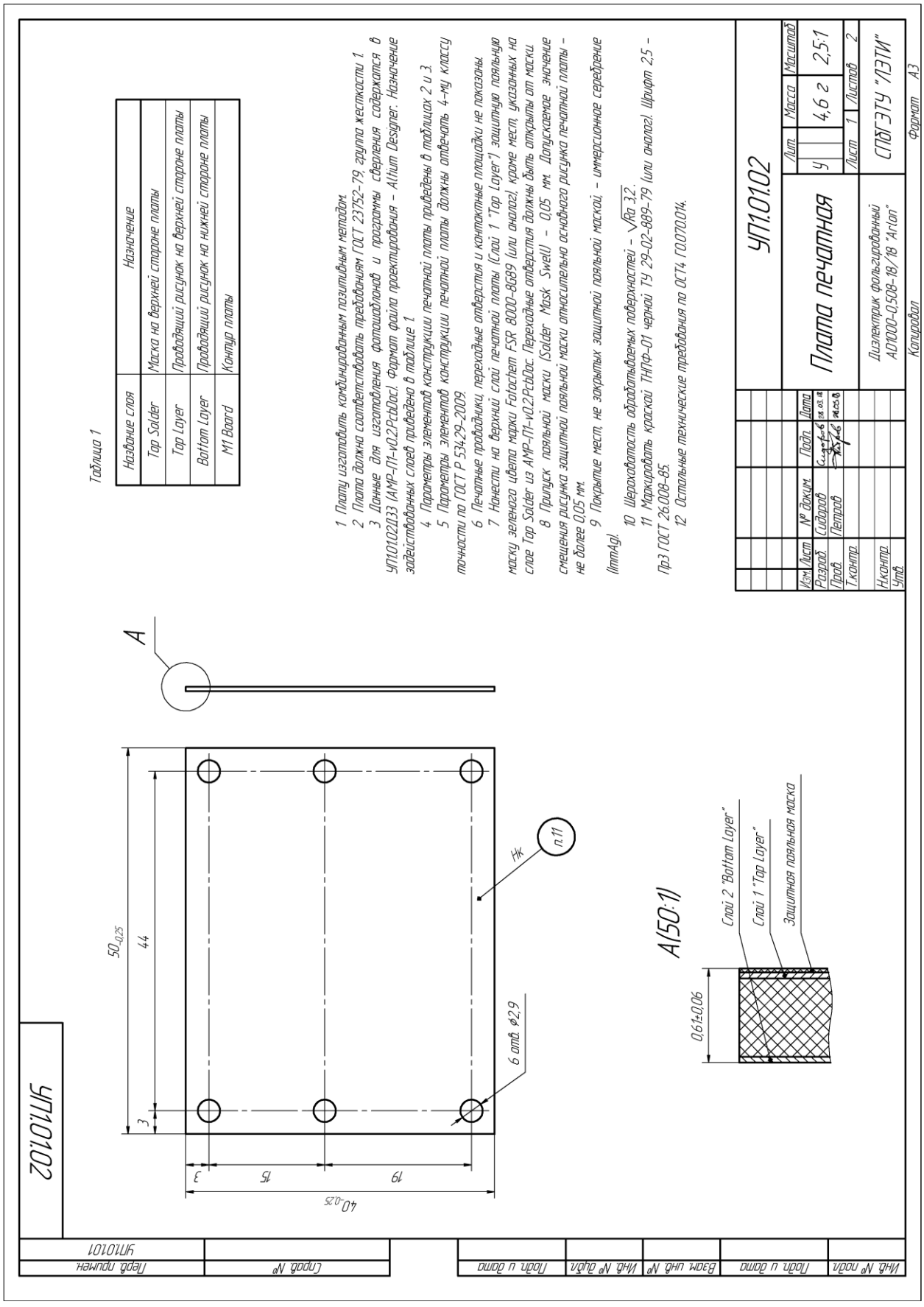


Рис. 17.30 Начало (окончание см. на с. 498)

ГОЛОВКА

Таблица 2

Диаметр отв., мм	Форма контактной площадки	Размер контактной площадки, мм	Наличие металлизации	Кол.	Примечание
0,4	круг	⌀0,9	есть	5	Переходные отв.
0,6	круг	⌀1,2	есть	151	
0,8	круг	⌀1,4	есть	1	Отв. для установки компонентов
0,8	квадрат	1,4×1,4	есть	1	
1,2	круг	⌀1,8	есть	10	
1,2	квадрат	1,8×1,8	есть	2	
2,9	круг	⌀5,0	есть	6	Крепежные отв.

Таблица 3

Параметр конструкции печатной платы	Минимальное значение
Ширина печатного проводника, мм	0,25
Зазор между печатными проводниками, мм	0,20
Зазор между контактными площадками разных электрических цепей, мм	0,25
Зазор между печатным проводником и полигоном, мм	0,50
Отступ проводящего рисунка от контура платы, мм	0,50
Отношение диаметра минимального металлизированного отв. к толщине платы	0,65

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УП1.01.02	Лист 2

Копировал Формат А4

Рис. 17.30 Окончание (начало см. на с. 497)

31. В **КОМПАС-3D** в ТТ добавить ссылки на номера таблиц (при изменениях в рабочем поле номера автоматически обновятся в ТТ).

Для этого выполнить следующее:

31.1. Войти в режим редактирования (ввода) ТТ командой из п. 25.1 (или командой **ПКМ ⇒ Редактировать технические требования**, выполненной на ТТ в рабочем поле).

31.2. В пп. 3 и 4 из ТТ удалить номера таблиц, после чего отдельно для каждого места, где стоял номер, запустить команду **ПКМ ⇒ Вставить ссылку** и в появившемся окне **Ссылка** выбрать следующее:

– в поле **Тип источника** – **Группа нумерации**;

– в поле **Ссылка на** – **#Нумерация таблиц**;

– в поле **Список источников** – требуемый номер таблицы.

31.3. Выйти из режима редактирования ТТ.

32. Сохранить изменения в чертеже (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 17.30.

33. Сохранить чертеж в формате PDF по 17.3.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.02 - Плата печатная - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_pdf** (см. рис. 2.8).

17.3. Сохранение чертежа КОМПАС-3D в формате PDF

Первый способ сохранения чертежа в формате PDF осуществляется запуском команды **Файл ⇒ Сохранить как** и выбором в открывшемся окне в поле **Тип файла** опции **Portable Document Format (*.pdf)**. Кроме того, кнопкой **Параметры** в этом окне можно задать некоторые дополнительные опции сохранения:

– номера выводимых листов;

– вывод всех листов в один файл или каждый лист в отдельный файл;

– фильтры вывода на печать объектов чертежа и др.

Второй способ сохранения чертежа в формате PDF позволяет более детально произвести настройки и осуществляется запуском команды **Файл ⇒ Предварительный просмотр**, в результате чего рабочее поле принимает вид, показанный на рис. 17.31.

Выбранный в рабочем поле лист (вокруг него появляется контур зеленого цвета) можно переместить на страницах для печати (зажатая ЛКМ), повернуть (клавиши **Z** и **X**), разместить в узлах страниц (клавиша **H**), изменить масштаб вывода на печать (клавиша **F**) и удалить из печати (клавиша **Delete**).

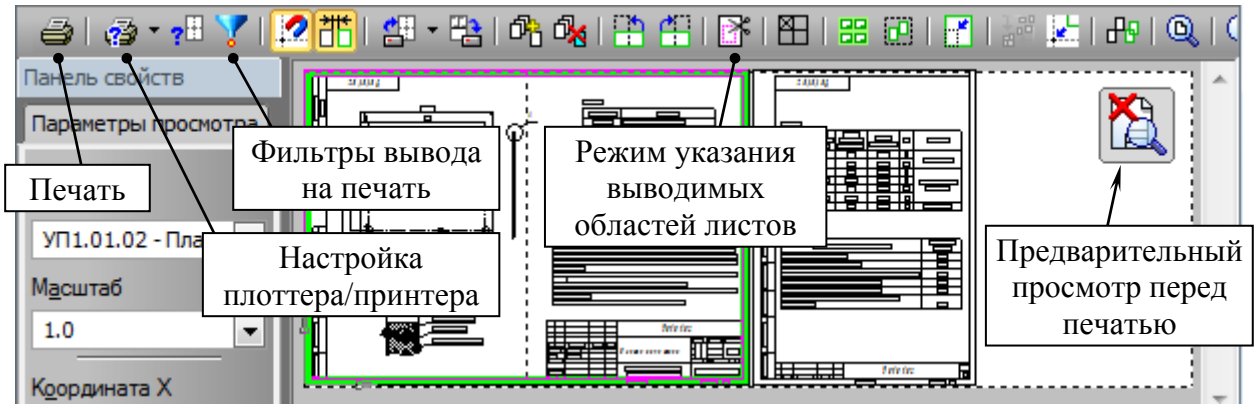


Рис. 17.31

К печати можно добавлять листы других чертежей, задавать настройки параметров вывода на печать (например, порядок вывода страниц или цвет вывода) и фильтры вывода на печать объектов чертежа.

Кроме того, клавишей **E** можно войти в режим указания только определенной области изображения рабочего поля для вывода на печать.

Настройка печати (например, форматы листов и принтер) осуществляется пиктограммой **Настройка плоттера/принтера**, а начало печати – пиктограммой **Печать**.

17.4. Содержание отчета

По 17-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести чертеж «платы печатной», распечатанный на отдельных листах.

Схема складывания листа формата А3 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа для непосредственного брошюрования показана на рис. 8.71.

18. СПЕЦИФИКАЦИЯ НА «УСИЛИТЕЛЬ»

18.1. Правила выполнения спецификаций

Спецификация по ГОСТ Р 2.102–2023 – текстовый КД, определяющий состав сборочной единицы, комплекса или комплекта.

Правила оформления спецификации можно разделить на основные, приведенные в ГОСТ Р 2.106–2019, и дополнительные:

1. Основные правила оформления спецификации.

1.1. Спецификацию составляют на каждую сборочную единицу, комплекс и комплект на отдельных листах формата А4 с оформлением в рамках по ГОСТ Р 2.104–2023, которое упрощенно показано на рис. 3.5, *а*.

Оформление основной надписи и дополнительных граф для текстовых документов описано в п. 3 из 9.1.

Спецификацию оформляют в виде таблицы (рис. 18.1), заполняемой сверху вниз, с фиксированными размерами столбцов и строк.

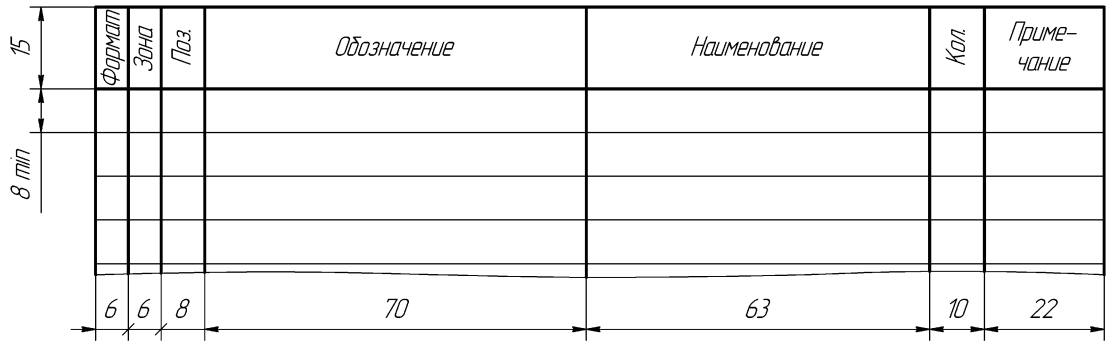


Рис. 18.1

1.2. В спецификацию вносят составные части, входящие в специфицируемое изделие, а также КД, относящиеся к этому изделию и к его неспецифицируемым составным частям.

1.3. Спецификация в общем случае состоит из разделов, которые располагают в следующей последовательности:

– документация;

– комплексы;

– сборочные единицы;

– детали;

– стандартные изделия;

– прочие изделия;

– материалы;

– комплекты.

Наличие тех или иных разделов определяется составом специфицируемого изделия. Наименование каждого раздела указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают.

1.4. В раздел «**Документация**» вносят следующие документы:

– документы, составляющие основной комплект КД специфицируемого изделия, кроме его спецификации;

– ведомости эксплуатационных документов;

– ведомости документов для ремонта;

– документы основного комплекта записываемых в спецификацию неспецифицируемых составных частей (деталей), кроме их рабочих чертежей.

КД внутри раздела записывают в следующей последовательности:

– документы на специфицируемое изделие;

– документы на неспецифицируемые составные части.

В каждой части раздела документы записывают в порядке, изложенном в п. 1.5, а в пределах обозначения изделия – в последовательности, в которой они перечислены в ГОСТ Р 2.102–2023. Например:

– сборочный чертеж (СБ);

– схемы по ГОСТ 2.701–2008 (Э1, Э2, Э3, …, Э9, Э0, Г1, Г2 и т. д.). Перечень элементов записывают после схемы, к которой он выпущен;

– ведомость покупных изделий (ВП).

1.5. В разделы «**Комплексы**», «**Сборочные единицы**» и «**Детали**» вносят комплексы, сборочные единицы и детали, непосредственно входящие в специфицируемое изделие. Запись указанных изделий производится в алфавитном порядке сочетания букв кодов организаций-разработчиков. В пределах этих кодов – в порядке возрастания классификационной характеристики. При одинаковой классификационной характеристике – по возрастанию порядкового регистрационного номера.

1.6. В разделе «**Стандартные изделия**» записывают изделия, примененные по международным, межгосударственным и национальным стандартам, стандартам организаций (например, для вспомогательного производства) и отраслевым стандартам (для ранее разработанных изделий).

В пределах каждой категории стандартов запись рекомендуется производить по группам изделий, объединенных по их функциональному назначению (например, подшипники, крепежные изделия, электротехнические изделия и т. п.); в пределах каждой группы – в алфавитном порядке наименований изделий; в пределах каждого наименования – в порядке возрастания обо-

значений стандартов; в пределах каждого обозначения стандарта – в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

1.7. В раздел «**Прочие изделия**» вносят изделия, примененные по техническим условиям, выбираемые по каталогам, применяемые без технических условий (с указанием в графе «Примечание» возможного изготовителя), и импортные покупные изделия, примененные по сопроводительной технической документации (каталогам) зарубежных изготовителей (поставщиков). Запись изделий рекомендуется производить по группам, объединенным по их функциональному назначению, в пределах каждой группы – в алфавитном порядке наименований изделий, а в пределах каждого наименования – в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

Импортные покупные изделия вносят с обозначениями и наименованиями, содержащимися в сопроводительной технической документации (каталогах) зарубежных изготовителей (поставщиков). Рекомендуется одновременно указывать аутентичные обозначения и наименования на русском языке.

1.8. В раздел «**Материалы**» вносят все материалы, непосредственно входящие в специфицируемое изделие (например, металлы, кабели, провода, шнуры, пластмассы, резиновые материалы и т. п.). В этот раздел не записывают материалы, необходимое количество которых не может быть определено конструктором по размерам элементов изделия и вследствие этого устанавливается технологом (например, лаки, краски, клей, смазки). Указание о применении таких материалов дают в ТТ на поле чертежа.

1.9. В раздел «**Комплекты**» вносят ведомость эксплуатационных документов, ведомость документов для ремонта и применяемые по КД комплекты, которые непосредственно входят в специфицируемое изделие и поставляются вместе с ним, а также упаковку, предназначенную для изделия.

1.10. После каждого раздела спецификации допускается оставлять несколько свободных строк для дополнительных записей (в зависимости от стадии разработки, объема записей и т. п.).

Допускается резервировать и номера позиций, которые проставляют в спецификации при заполнении резервных строк.

1.11. В графе «**Формат**» указывают форматы документов, обозначения которых записывают в графе «Обозначение». Если документ выполнен на нескольких листах различных форматов, то в графе «Формат» проставляют знак звездочки со скобкой, а в графе «Примечание» перечисляют все форматы в порядке их увеличения (также см. п. 1.18).

Для документов из разделов «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы» графу не заполняют.

Для деталей, на которые не выпущены чертежи, в графе указывают **БЧ**.

Для документов, изданных на форматах, предусмотренных соответствующими государственными стандартами для типографских изданий, в графе ставят прочерк.

1.12. В графе «**Зона**» указывают обозначение зоны, в которой находится номер позиции записываемой составной части (если поле чертежа разбито на зоны).

1.13. В графе «**Поз.**» указывают порядковые номера составных частей, непосредственно входящих в специфицируемое изделие, в порядке записи их в спецификации.

Для разделов «Документация», «Комплекты» эту графу не заполняют.

1.14. В графе «**Обозначение**» указывают:

– в разделе «Документация» – обозначение записываемых документов;

– в разделах «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали», «Комплекты» – обозначение основных КД на записываемые в эти разделы изделия. Для деталей, на которые не выпущены чертежи, – присвоенное им обозначение;

– в разделах «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы» графу «Обозначение» не заполняют. Если для изготовления стандартного изделия выпущен КД, в графе «Обозначение» указывают обозначение выпущенного основного КД.

1.15. В графе «**Наименование**» указывают:

– в разделе «Документация» для документов, входящих в основной комплект документов специфицируемого изделия и составляемых на данное изделие, – наименование документа (например, «Сборочный чертеж»). Для документов на неспецифицированные части – наименование изделия и наименование документа;

– в разделах «Комплексы», «Сборочные единицы», «Детали», «Комплекты» – наименования изделий в соответствии с основной надписью на основных КД этих изделий. Для деталей, на которые не выпущены чертежи, указывают наименование, материал и другие данные, необходимые для изготовления;

– в разделе «Стандартные изделия» – наименования и обозначения изделий в соответствии со стандартами на эти изделия;

– в разделе «Прочие изделия» – наименования и условные обозначения изделий в соответствии с документами на их поставку с указанием обозначений этих документов;

– в разделе «Материалы» – обозначения материалов, установленные в стандартах или технических условиях на эти материалы.

1.16. Для записи ряда изделий и материалов, отличающихся размерами и другими данными и примененных по одному и тому же документу (и записываемых в спецификацию за обозначением этого же документа), допускается общую часть наименования этих изделий или материалов с обозначением указанного документа записывать на каждом листе спецификации один раз в виде общего наименования (заголовка).

Под общим наименованием записывают для каждого из указанных изделий и материалов только их параметры и размеры.

Если основные параметры или размеры изделия обозначают только одним числом или буквой, то запись производят следующим образом:

Шайбы ГОСТ 18123

Шайба 3

Шайба 4

Шайба 6.

1.17. В графе «**Кол.**» указывают:

– для составных частей изделия, записываемых в спецификацию, количество их на одно специфицируемое изделие;

– в разделе «Документация» графу не заполняют;

– в разделе «Материалы» – общее количество материалов с указанием единиц измерения на одно специфицируемое изделие. Допускается единицы измерения записывать в графе «Примечание» в непосредственной близости от графы «Кол.».

1.18. В графе «**Примечание**» указывают дополнительные сведения для планирования и организации производства, а также другие сведения, относящиеся к записанным в спецификацию изделиям, материалам и документам, например для деталей, на которые не выпущены чертежи, – массу.

Для документов, выпущенных на двух и более листах различных форматов, указывают обозначение форматов, перед перечислением которых проставляют знак звездочки со скобкой, например: ***) А4, А3**.

2. К дополнительным правилам оформления спецификации можно отнести правила из ГОСТ 2.413–72 [81] для изделий с электромонтажом.

2.1. При записи в спецификацию составной части, являющейся элементом схемы Э3 изделия, в графе «Примечание» указывают позиционное обозначение, присвоенное этому элементу в схеме.

2.2. Если в специфицируемое изделие входят составные части, являющиеся различными элементами схемы (например, резистор МЛТ-0,5 – 100 Ом ±5 % ТУ 11-85 ОЖО.467.180 является сопротивлениями *R2, R3, R4, R9* и *R12*), то в графе «Примечание» их позиционные обозначения перечисляют в возрастающем порядке, например: **R2–R4, R9, R12** (позиционные обозначения с последовательными порядковыми номерами указывают через тире).

2.3. Составные части, являющиеся элементами схемы Э3 и примененные по стандартам или техническим условиям, записывают в спецификацию по ГОСТ Р 2.106–2019 со следующими дополнениями и изменениями:

– их записывают в начале соответствующего раздела группами в порядке расположения буквенных позиционных обозначений, приведенных в приложении 1 в ГОСТ 2.710–81;

– внутри группы составные части записывают в порядке возрастания основных параметров.

2.4. Если при регулировании изделия с электромонтажом должен быть осуществлен подбор какой-либо составной части, являющейся элементом схемы Э3, то все изделия, участвующие в подборе, вносят в спецификацию изделия, на которое выпущена данная схема, после изделий того же функционального назначения (например, резисторы после резисторов) и перечисляют в порядке возрастания основных параметров.

В графе «Примечание» при этом указывают позиционные обозначения элементов, для подбора которых применяется данное изделие. Графу «Поз.» не заполняют, а графу «Кол.» заполняют по указаниям отраслевой организации по стандартизации.

3. Также дополнительные правила оформления спецификации можно найти в ГОСТ Р 2.109–2023. Например, для изделий, изготовляемых в различных производственно-технологических вариантах.

4. Некоторые требования оформления по ГОСТ Р 2.105–2019 (как КД, содержащий текст, разбитый на графы) и ОСТ4.000.030–85 [82]:

– ниже каждого заголовка должна быть оставлена одна свободная строка, выше – не менее одной свободной строки;

– если в графе документа записан текст в несколько строк, то в последующих графах записи начинают на уровне первой строки;

– если в последующих графах запись размещается на одной строке, то при машинописном способе выполнения ее допускается помещать на уровне последней строки;

– в случае записи текста в графе «Наименование» в несколько строк допускается графу «Кол.» заполнять на уровне последней строки, а в графе «Примечание» текст в несколько строк записывать на уровне первой строки;

– в текстовых КД в бумажной форме, имеющих строки, все записи проводят на каждой строке в один ряд;

– ЛР (см. рис. 9.3) рекомендуется предусматривать в спецификациях, состоящих из пяти и более листов.

18.2. Создание спецификации на «усилитель»

Спецификация будет оформлена в **Microsoft Word** на заранее подготовленной заготовке «**Спецификация, вариант А.doc**» из папки **…\ИДРЭС\ MSWord заготовки** (см. рис. 2.9).

Отличие данной заготовки от заготовки для перечня элементов (см. 9.2) только в форме заполняемой таблицы в рабочем поле листа.

Для создания спецификации на «усилитель» необходимо:

1. Открыть указанную выше заготовку.

2. Сохранить заготовку командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.doc». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.01 - Усилитель - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель** (см. рис. 2.8).

3. Войти в режим редактирования нижних колонтитулов по п. 3 из 9.2 и заполнить без копирования графы рамки в соответствии с табл. 18.1. Содержание остальных граф должно соответствовать данным табл. 9.1.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1, на рис. 9.1 и на рис. 3.6, *б* и *в*.

Таблица 18.1

Содержание граф рамки для спецификации на «усилитель», отличающихся от перечня элементов ПЭ3 «усилителя»

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Усилитель	Наименование изделия определено в табл. 2.1
2 (на первом и втором листе)	УП1.01.01	Обозначение документа определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1». Обозначение со второго листа при увеличении числа листов повторяется на каждом последующем
25	УП1.00.01	Обозначение спецификации, в которой записан КД, определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»

4. Выйти из режима редактирования колонтитулов по п. 4 из 9.2.

5. В соответствии с информацией из 18.1, заполнить графы таблицы из рабочего поля спецификации:

5.1. Начиная со второй строки, заполнить раздел «Документация».

Здесь будет пять документов, расположенных согласно п. 1.4 из 18.1 в следующем порядке:

– сборочный чертеж «усилителя» (см. рис. 19.40);

– схема Э3 «усилителя» (см. рис. 8.66);

– перечень элементов ПЭ3 «усилителя» (см. рис. 9.9);

– данные проектирования на ПП (см. 12.6.1);

– удостоверяющий лист к данным проектирования (см. рис. 12.144).

Первые три КД – документы на специфицируемое изделие (их обозначения отличаются от спецификации только кодами документа – СБ, Э3, ПЭ3), а оставшиеся – документы на неспецифицируемую составную часть.

Примечание. Если бы ПП была многослойной, то на нее следовало бы выпустить свою спецификацию, в которую и вошли бы последние два документа вместе со сборочным чертежом ПП. Но так как разработанная ПП является деталью (см. п. 3 из 17.1), то они записываются в спецификацию того изделия, в которое входит ПП.

Так как на данном этапе сборочного чертежа «усилителя» еще нет, то для него в графе «Формат» временно записать формат **А3**. Если потребуется, он будет скорректирован в разд. 19.

Под данными проектирования в графе «Обозначение» записать название файла проектирования (в варианте «П1» – «**AMP-П1-v0.2.PcbDoc**»).

Удостоверяющий лист по ГОСТ 28388–89 записывается после документа, к которому он выполнен, а в графе «Примечание» указывается «Размножать по особому указанию».

5.2. Раздела «Сборочные единицы» в этой спецификации нет, так как «усилитель» состоит из ДПП и покупных изделий (компоненты на ПП).

5.3. В разделе «Детали» будет одна позиция – **Плата печатная**. Основной КД для нее показан на рис. 17.30.

Следует обратить внимание на запись формата листа, так как в варианте «П1» чертеж выполнен на форматах А4 и А3 (см. пп. 1.11 и 1.18 из 18.1).

5.4. В разделе «Прочие изделия» будут перечислены установленные на ПП компоненты.

Для заполнения этого раздела выполнить следующее:

5.4.1. Сделать копию файла перечня элементов ПЭ3 «усилителя» (расположение указано в п. 2 из 9.2) и открыть ее.

5.4.2. Отсортировать компоненты из перечня элементов по возрастанию их наименований для каждой функциональной группы:

– выделить все строчки с компонентами одного функционального назначения, в которых есть позиционные обозначения и наименования;

– в разделе **Работа с таблицами** на вкладке **Макет** в группе **Данные** нажать пиктограмму **Сортировка** (рис. 18.2);

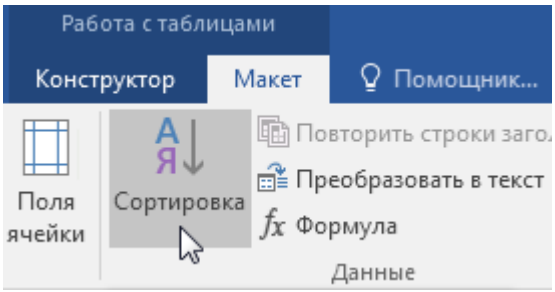


Рис. 18.2

– в открывшемся окне **Сортировка** (рис. 18.3) в группе **Список** выбрать опцию **без строки заголовка** (в этом случае сортировка будет производиться вместе с первой выделенной строкой), в группе **Сначала по** – опцию по **столбцам 2** (столбцы с наименованием компонентов). После этого выбрать опцию **по возрастанию** и нажать **OK**.

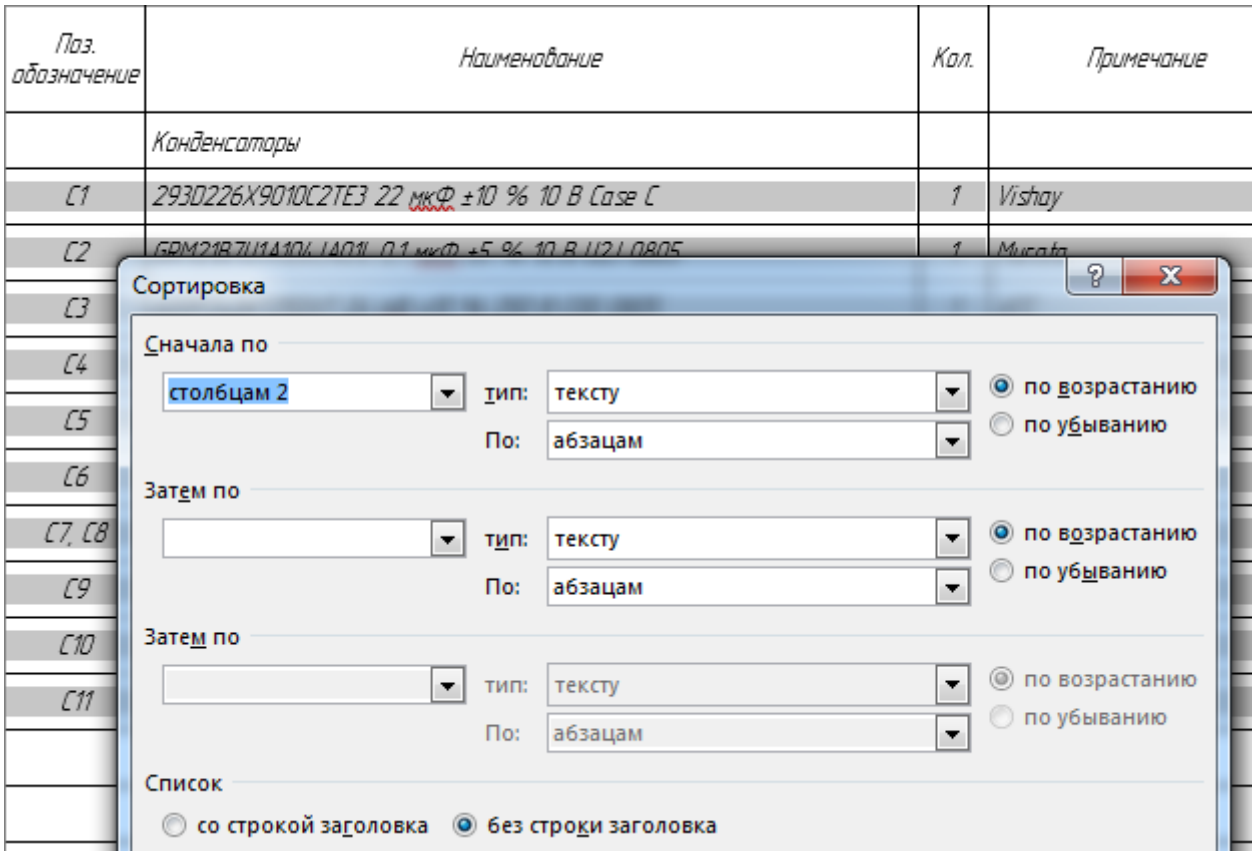


Рис. 18.3

5.4.3. Резисторы дополнительно вручную отсортировать по возрастанию номиналов в пределах типоразмеров их корпусов.

5.4.4. В соответствии с информацией из 18.1 записать компоненты из перечня элементов ПЭ3 «усилителя» в спецификацию, при этом необходимо обратить внимание на следующее:

– наименование компонента в перечне элементов и спецификации должно быть одинаковым;

– в графе «Примечание» для каждой позиции должны быть указаны позиционные обозначения компонентов (см. пп. 2.1 и 2.2 из 18.1) и данные из графы «Примечание» перечня элементов (при наличии);

– если слово не помещается в ячейку, то необходимо либо перенести его часть в ячейку ниже, либо вписать в ячейку по п. 6 из 11.1 (размещать текст в одной ячейке в две строки нельзя);

– добавление новых строк осуществляется по п. 7 из 9.2;

– удаление лишних строк осуществляется по п. 8 из 9.2.

5.4.5. Удалить копию файла перечня элементов, созданного в п. 5.4.1.

5.4.6. Проверить правильность заполнения графы «Кол.» и записи позиционных обозначений, для чего в **Altium Designer** выполнить следующее:

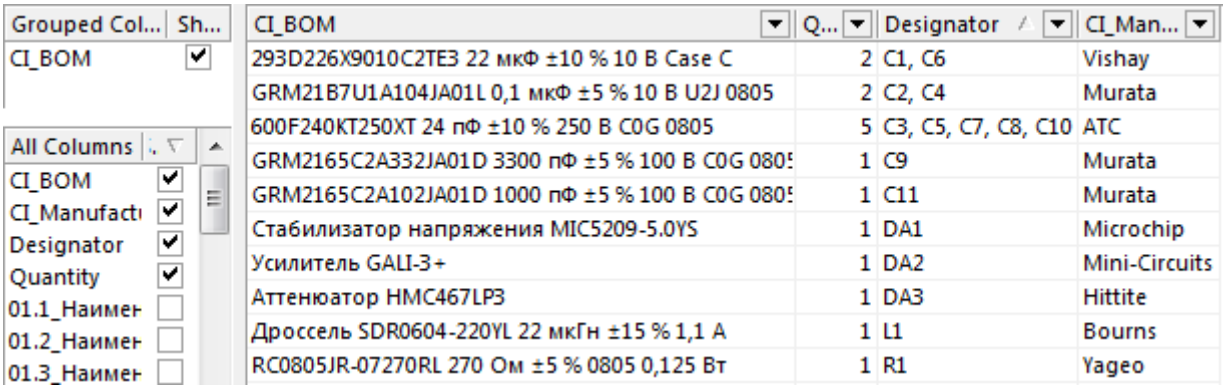
– если проект ПП был закрыт, то открыть его по п. 1 из 12.1;

– открыть схему Э3 «усилителя» (см. п. 3 из 8.3);

– запустить команду **Reports ⇒ Bill of Materials**;

– в открывшемся окне осуществить группировку информации по параметру **CI_BOM**, для чего перетащить его название зажатой ЛКМ из столбца **All Columns** в столбец **Grouped Columns**;

– в правой части окна **Bill of Materials** перетащить зажатой ЛКМ столбец **Designator** за столбец **Quantity** (рис. 18.4);



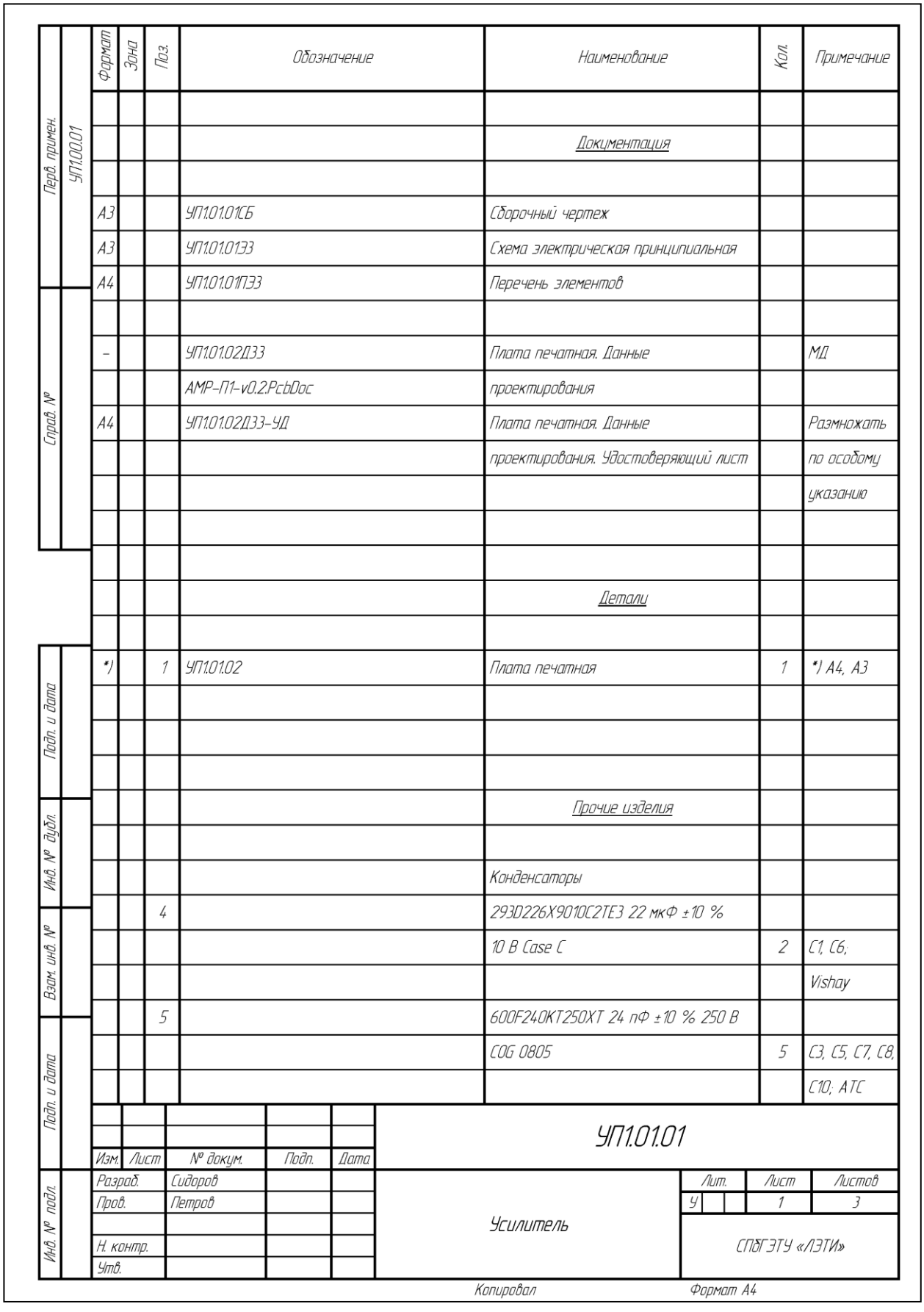
CI_BOM	Q...	Designator	CI_Man...
293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 % 10 В Case C	2	C1, C6	Vishay
GRM21B7U1A104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 10 В U2J 0805	2	C2, C4	Murata
600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	5	C3, C5, C7, C8, C10	ATC
GRM2165C2A332JA01D 3300 пФ ±5 % 100 В C0G 080	1	C9	Murata
GRM2165C2A102JA01D 1000 пФ ±5 % 100 В C0G 080	1	C11	Murata
Стабилизатор напряжения MIC5209-5.0YS	1	DA1	Microchip
Усилитель GALI-3+	1	DA2	Mini-Circuits
Аттенюатор HMC467LP3	1	DA3	Hittite
Дроссель SDR0604-220YL 22 мкГн ±15 % 1,1 А	1	L1	Bourns
RC0805JR-07270RL 270 Ом ±5 % 0805 0,125 Вт	1	R1	Yageo

Рис. 18.4

– после проверки закрыть окно **Bill of Materials** кнопкой **Cancel**;

– закрыть проект ПП без сохранения изменений.

6. Проставить номера позиций.



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
А3			УП1.01.01СБ	Сборочный чертеж		
А3			УП1.01.01Э3	Схема электрическая принципиальная		
А4			УП1.01.01ПЭ3	Перечень элементов		
–			УП1.01.02Д33	Плата печатная. Данные		МД
			AMP-П1-v0.2.PcbDoc	проектирования		
А4			УП1.01.02Д33-УД	Плата печатная. Данные		Размножать
				проектирования. Удостоверяющий лист		по особому
						указанию
				Детали		
*)		1	УП1.01.02	Плата печатная	1	*) А4, А3
				Прочие изделия		
				Конденсаторы		
		4		293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 %		
				10 В Case C	2	C1, C6;
						Vishay
		5		600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В		
				C0G 0805	5	C3, C5, C7, C8,
						C10; ATC

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УП1.01.01		
Разраб.		Сидоров			Усилитель	Лит.	Лист 1 / Листов 3
Пров.		Петров				У	
Н. контр.						СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	
Утв.							

Перв. примен. УП1.00.01

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

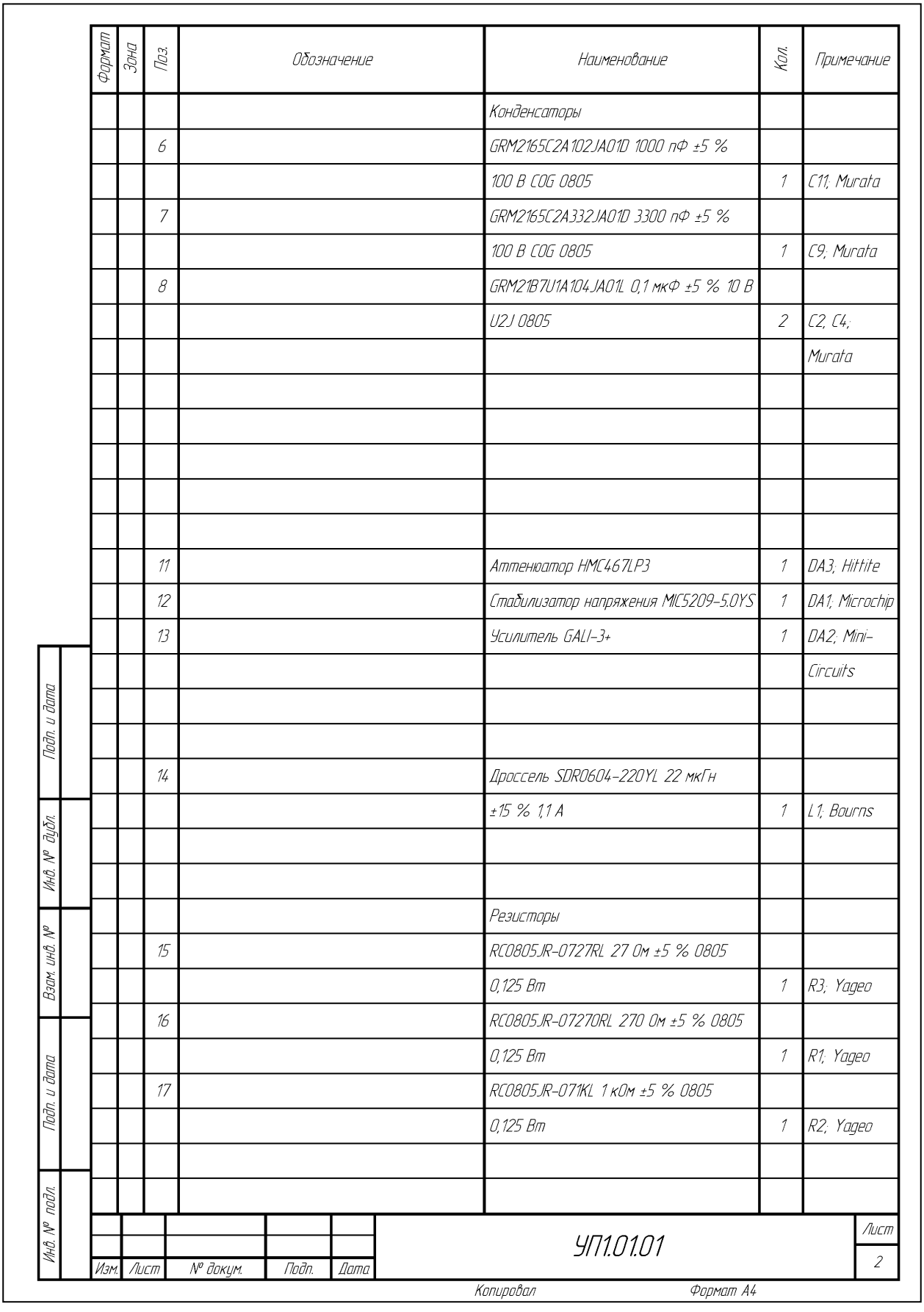
Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Копировал Формат А4

Рис. 18.5 Начало (продолжение и окончание см. на с. 512 и 513)



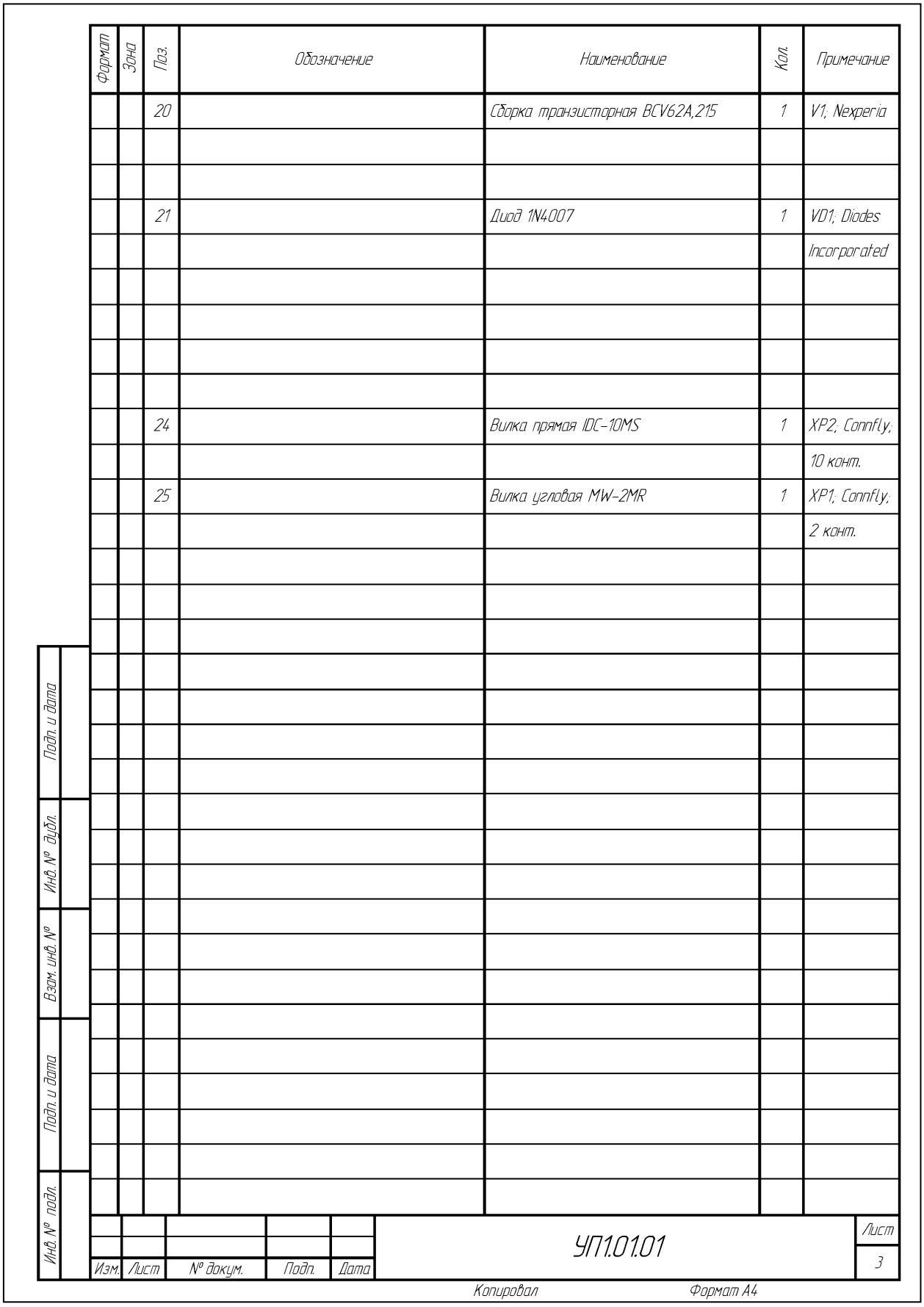
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Конденсаторы		
		6		GRM2165C2A102JA01D 1000 пФ ±5 %		
				100 В C0G 0805	1	C11, Murata
		7		GRM2165C2A332JA01D 3300 пФ ±5 %		
				100 В C0G 0805	1	C9, Murata
		8		GRM21B7U1A104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 10 В		
				U2J 0805	2	C2, C4,
						Murata
		11		Аттенюатор HMC467LP3	1	DA3, Hittite
		12		Стабилизатор напряжения MIC5209-5.0YS	1	DA1, Microchip
		13		Усилитель GALI-3+	1	DA2, Mini-
						Circuits
		14		Дроссель SDR0604-220YL 22 мкГн		
				±15 % 1,1 А	1	L1, Bourns
				Резисторы		
		15		RC0805JR-0727RL 27 Ом ±5 % 0805		
				0,125 Вт	1	R3, Yageo
		16		RC0805JR-07270RL 270 Ом ±5 % 0805		
				0,125 Вт	1	R1, Yageo
		17		RC0805JR-071KL 1 кОм ±5 % 0805		
				0,125 Вт	1	R2, Yageo

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УП1.01.01	Лист 2

Копировал Формат А4

Рис. 18.5 Продолжение (начало см. на с. 511, окончание – на с. 513)



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		20		Сборка транзисторная BCV62A,215	1	V1; Nexperia
		21		Диод 1N4007	1	VD1; Diodes Incorporated
		24		Вилка прямая IDC-10MS	1	XP2; Connfly; 10 конт.
		25		Вилка угловая MW-2MR	1	XP1; Connfly; 2 конт.

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УП1.01.01	Лист 3

Копировал Формат А4

Рис. 18.5 Окончание (начало см. на с. 511 и 512)

7. Если вся информация в спецификации поместилась на четырех листах и менее, то в соответствии с п. 4 из 18.1 необходимо скрыть ЛР.

Для этого выполнить п. 9 из 9.2.

8. Сохранить изменения в спецификации (**Ctrl+S**).

9. При желании выполнить 6-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3 и прил. М).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 18.5.

Примечание. По п. 4 из 18.1 допускается несколько возможных вариантов записи позиций (примеры показаны на рис. 18.6), однако в документе следует придерживаться единообразия и использовать только один из них.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		4		Конденсатор 293D226X9010C2TE3	2	C1, C6;
				22 мкФ ±10% 10 В Case C		Vishay
		4		Конденсатор 293D226X9010C2TE3		
				22 мкФ ±10% 10 В Case C	2	C1, C6;
						Vishay
		4		Конденсатор 293D226X9010C2TE3		C1, C6;
				22 мкФ ±10% 10 В Case C	2	Vishay

Рис. 18.6

Сохранение в формате PDF будет произведено после уточнения форматов листов сборочного чертежа «усилителя» в разд. 19.

Требования к содержанию отчета по данному этапу приведены в 19.4.

19. СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ «УСИЛИТЕЛЯ»

19.1. Правила выполнения сборочных чертежей

Сборочный чертеж по ГОСТ Р 2.102–2023 – графический КД, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее сборки (изготовления) и контроля. Код сборочного чертежа – СБ.

Правила оформления сборочных чертежей можно разделить на две группы:

1. Общие требования к сборочным чертежам по ГОСТ Р 2.109–2023.

1.1. Количество сборочных чертежей должно быть минимальным, но достаточным для рациональной организации производства (сборки и контроля) изделий. При необходимости на сборочных чертежах приводят данные о работе изделия и о взаимодействии его составных частей.

1.2. Сборочный чертеж должен содержать:

– изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность осуществления сборки и контроля сборочной единицы. Допускается помещать дополнительные схематические изображения соединения и расположения составных частей изделия;

– размеры, предельные отклонения и другие парамерты и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному сборочному чертежу. Допускается указывать в качестве справочных размеры деталей, определяющие характер сопряжения;

– указания о характере сопряжения и методах его осуществления (если точность сопряжения обеспечивается не заданными предельными отклонениями размеров, а подбором, пригонкой и т. п.), а также указания о выполнении неразъемных соединений (сварных, паяных и др.);

– номера позиций составных частей, входящих в изделие;

– габаритные размеры изделия;

– установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;

– техническую характеристику изделия (при необходимости);

– координаты центра масс (при необходимости).

1.3. Если при сборке изделия для его регулировки, настройки, компенсации составные части подбирают, то на сборочном чертеже их изображают в одном из возможных вариантов применения.

1.4. На поле сборочного чертежа допускается помещать отдельные изображения нескольких деталей, на которые допускается не выпускать рабочие чертежи, при условии сохранения ясности чертежа.

Над изображением детали наносят надпись, содержащую номер позиции и масштаб изображения, если он отличается от масштаба, указанного в основной надписи чертежа.

1.5. Сборочные чертежи следует выполнять, как правило, с упрощениями по требованиям стандартов ЕСКД. Допускается не показывать:

– фаски, скругления, проточки, углубления, выступы и другие мелкие элементы;

– зазоры между стержнем и отверстием;

– крышки, перегородки и т. п., если необходимо показать закрытые ими составные части изделия (при этом над изображением делают соответствующую надпись, например: «Крышка поз. 3 не показана»);

– видимые составные части изделий и их элементы, частично закрытые впереди расположенными составными частями;

– надписи на табличках, шкалах и т. п., изображая только их контур.

Примеры упрощений показаны на рис. 19.1.

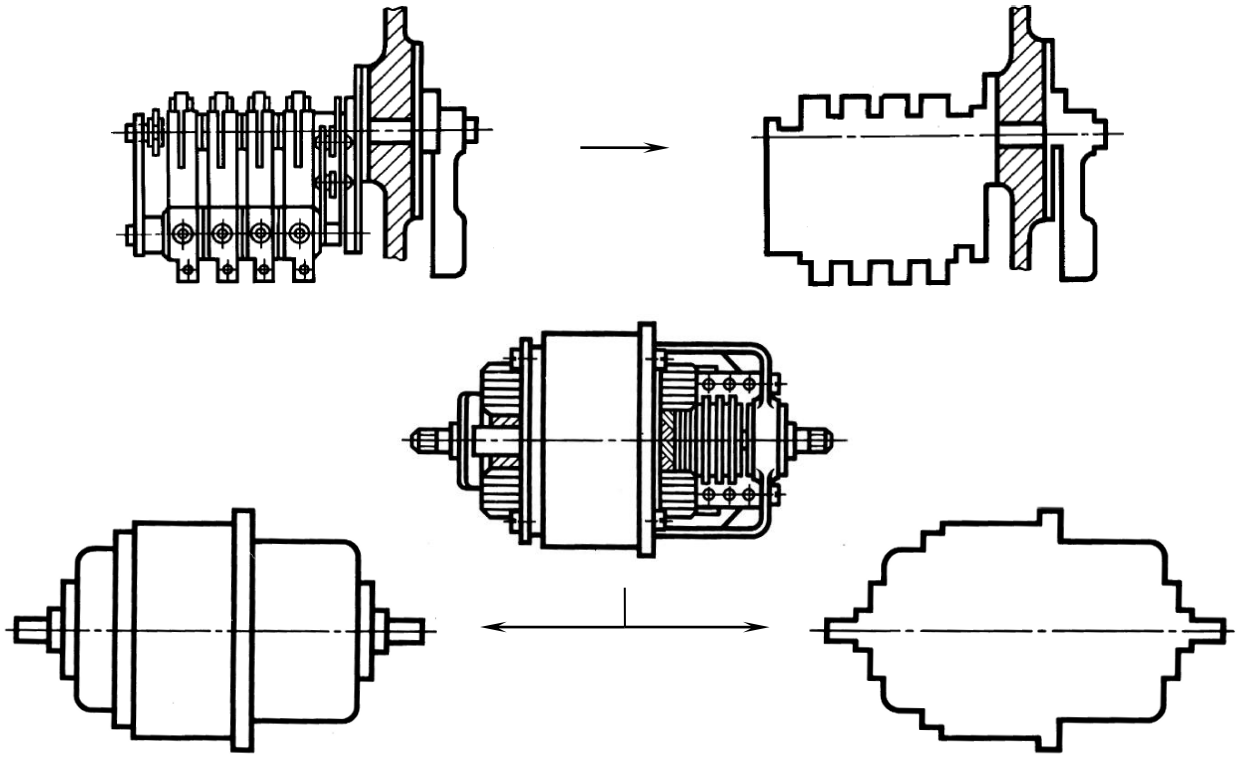


Рис. 19.1 [15]

1.6. На сборочном чертеже все составные части сборочной единицы нумеруют в соответствии с номерами позиций, указанными в спецификации

этой сборочной единицы. Номера позиций наносят на полках линий-выносок, проводимых от изображений составных частей (рис. 19.2).

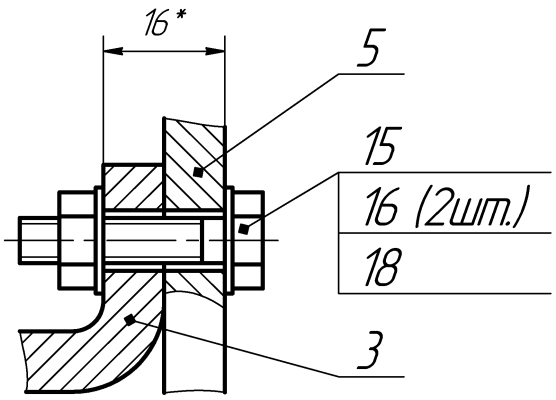


Рис. 19.2

1.7. Номера позиций указывают на тех изображениях, на которых соответствующие составные части проецируются как видимые, как правило, на основных видах и заменяющих их разрезах.

1.8. Номера позиций располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группируют в колонку или строчку, по возможности на одной линии.

1.9. Номер позиции наносят на чертеже, как правило, один раз. Допускается повторно указывать номера позиций одинаковых составных частей.

1.10. Размер шрифта номеров позиций должен быть на 1–2 номера больше, чем размер шрифта размерных чисел на том же чертеже.

1.11. Допускается делать общую линию-выноску с вертикальным расположением номеров позиций (в порядке возрастания сверху вниз):

– для группы крепежных деталей, относящихся к одному и тому же месту крепления. Если крепежных деталей две и более и при этом разные составные части крепятся одинаковыми крепежными деталями, то количество их допускается проставлять в скобках после номера соответствующей позиции и указывать только для одной единицы закрепляемой составной части, независимо от количества этих составных частей в изделии;

– для группы деталей с отчетливо выраженной взаимосвязью, исключающей различное понимание, при невозможности подвести линию-выноску к каждой составной части. В этих случаях линию-выноску отводят от закрепляемой составной части;

– для отдельных составных частей изделия, если графически изобразить их затруднительно. В этом случае допускается на чертеже эти составные части не показывать, а местонахождение их определять при помощи линии-выноски от видимой составной части и на поле чертежа, в ТТ помещать соответствующее указание, например: «Жгуты поз. 12 под скобками обернуть прессшпаном поз. 22».

2. Правила выполнения сборочных чертежей изделий, изготовляемых с применением электрического монтажа, по ГОСТ 2.413–72.

2.1. КД изделия с электромонтажом выполняют в одном из четырех вариантов:

– **А** – для изготовления изделия, механическую сборку и электромонтаж которого целесообразно производить по одному и тому же чертежу, выпускают сборочный чертеж по ГОСТ Р 2.109–2023 и ГОСТ 2.413–72 и спецификацию в соответствии с ГОСТ Р 2.106–2019 и ГОСТ 2.413–72. Такой вариант обычно используется для ПП с элементами;

– **Б** – для изготовления изделия, механическую сборку и электромонтаж которого производить по одному и тому же чертежу нецелесообразно, выпускают: на изделие механической сборки – сборочный чертеж в соответствии с ГОСТ Р 2.109–2023 и спецификацию по ГОСТ Р 2.106–2019; на изделие с электромонтажом – сборочный чертеж в соответствии с ГОСТ 2.413–72 и спецификацию по ГОСТ Р 2.106–2019;

– **В** – для изготовления изделия, механическую сборку и электромонтаж которого производить по одному и тому же чертежу нецелесообразно и чертеж для электромонтажа выполнять как сборочный нерационально, выпускают: для механической сборки – сборочный чертеж в соответствии с ГОСТ Р 2.109–2023 и спецификацию по ГОСТ Р 2.106–2019; для электромонтажа – электромонтажный чертеж в соответствии с ГОСТ 2.413–72 с присвоением обозначения монтируемого изделия. Составные части, устанавливаемые по электромонтажному чертежу, вносят в спецификацию монтируемого изделия в дополнительных разделах;

– **Г** – для изготовления изделия, механическую сборку и электромонтаж которого производить по одному и тому же чертежу нецелесообразно и выпуск чертежа для электромонтажа затруднителен или нерационален, выпускают для механической сборки сборочный чертеж по ГОСТ Р 2.109–2023 и спецификацию по ГОСТ Р 2.106–2019, а в ТТ чертежа приводят ссылку на документ, которым следует руководствоваться при электромонтаже – либо на схему соединений (код – Э4) или принципиальную (для изделия индивидуального производства или опытного образца), либо на таблицу соединений (для изделия серийного производства, в котором при электромонтаже устанавливают только соединительные проводники, прокладка и крепление которых определены конструкцией изделия).

2.2. Если составная часть является элементом схемы Э3 изделия, то на ее изображении или около него (предпочтительно над ним или справа) наносят позиционное обозначение, присвоенное этому элементу в схеме.

2.3. Элементам, не указанным в схеме принципиальной или соединений, но участвующим в электрических соединениях (например, переходным стойкам, лепесткам заземления и т. п.), для указания адресов присоединения проводников присваивают очередные позиционные обозначения после элементов того же функционального назначения, изображенных на схеме.

2.4. Если составная часть, являющаяся элементом схемы Э3 изделия, должна быть подобрана при его регулировании, то на чертеже позиционное обозначение этого элемента наносят со знаком звездочки (например, R16*), а в ТТ чертежа помещают указание: «* Подбирают при регулировании».

2.5. Проводник (провод, кабель, жгут, шину) изображают в соответствии с требованиями ГОСТ 2.414–75 [83].

2.6. Допускается не наносить на чертеже номера позиций, под которыми записаны в спецификации:

– устанавливаемые при электромонтаже составные части, являющиеся элементами схемы Э3 изделия и внесенные в его спецификацию в разделах «Стандартные изделия» и «Прочие изделия»;

– провода и кабели, внесенные в спецификацию в разделе «Материалы».

19.2. Особенности монтажа компонентов

После изготовления ПП наступает очередь сборки печатного узла, т. е. процесс установки компонентов на их посадочные места [84]–[88].

Печатный узел (printed board assembly) по ГОСТ Р 53386–2009 – ПП с подсоединенными к ней в соответствии с чертежом электрическими и механическими элементами и (или) другими ПП.

Соединение деталей легкоплавким сплавом называют ***пайкой***, при этом их расплавления, в отличие от сварки, не происходит. Процесс пайки больше похож на склеивание, где в качестве клея выступает разогретый ***припой*** – сплав с достаточно низкой температурой плавления. Пайка – основной способ создания неразъемного соединения компонентов с проводниками ПП.

Припои обладают различными свойствами в зависимости от комбинации олова, свинца, висмута, меди, цинка, кадмия, серебра и других компонентов. Выпускаются они в виде литых чушек, прутков, проволоки или тонкой трубки, содержащей для облегчения пайки наполнитель аналогичный флюсу (рис. 19.3). В расплавленном состоянии припой должен обеспечивать хорошее смачивание соединяемых поверхностей, тягучесть и достаточно прочное механическое соединение деталей после остывания.

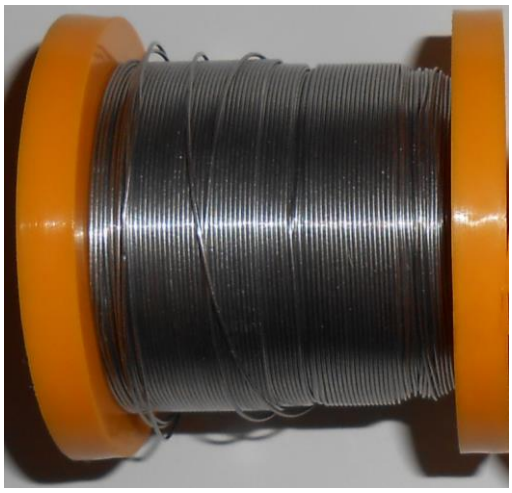


Рис. 19.3

Припои делятся на две группы:

– традиционные (оловянно-свинцовые сплавы или близкие к ним по составу);

– бессвинцовые (не содержащие свинца сплавы).

Из традиционных припоев для монтажа компонентов на ПП можно выделить следующие марки по ГОСТ 21930–76 [89]:

– **ПОС 61** (содержание олова – 61 %, свинца – 39 %; температура полного расплавления – 190 °С). Применяется для лужения и пайки электро- и радиоаппаратуры, печатных схем, точных приборов с высокогерметичными швами, где недопустим перегрев;

– **ПОСК 50-18** (содержание олова – 50 %, кадмия – 18 %, свинца – 32 %; температура полного расплавления – 145 °С). Применяется для пайки деталей, чувствительных к перегреву, металлизированной керамики и для ступенчатой пайки конденсаторов.

Пример бессвинцового сплава – **Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7** (температура полного расплавления – 217 °С). Главные недостатки бессвинцовых припоев по сравнению с традиционными – матовость паяных соединений, высокая цена, зачастую меньшая смачиваемость и высокая температура плавления.

Поверхности деталей для хорошего соединения пайкой обрабатываются ***флюсом*** – неметаллическим материалом, применяемым для химической очистки соединяемых поверхностей и обеспечивающим прочность связи в области пайки. Во время пайки флюс растворяет оксиды и сульфиды на соединяемых поверхностях, образуя защитную пленку от воздействия кислорода.



Рис. 19.4

Остатки флюса не должны изменять электрические характеристики материалов и вызывать коррозию, при этом они должны легко удаляться после монтажа.

Для монтажа радиоэлементов на ПП применяются бескислотные флюсы, созданные на основе легколетучих компонентов. Примером может служить флюс **ЛТИ-120** (рис. 19.4), выполненный на основе канифоли и этилового спирта.

Технологии сборки ПП зависят от устанавливаемых электронных компонентов и бывают следующих типов:

– выводной монтаж (монтаж компонентов, выводы которых устанавливаются в КП с отверстиями);

– поверхностный монтаж (монтаж SMD-компонентов, контакты которых устанавливаются на планарные КП);

– смешанный монтаж (выводной и поверхностный монтаж).

Несмотря на повсеместное использование SMD-компонентов, позволяющих достичь высокой плотности монтажа, снизить объем, вес и размеры изделия, остаются категории электронных приборов, где выводной монтаж доминирует над другими технологиями – силовая электроника, источники питания, высоковольтные модули и другие. Также существуют компоненты, в большинстве своем не имеющие аналогов в планарном исполнении – разъемы (см. рис. 8.33 и 19.5), реле, трансформаторы.

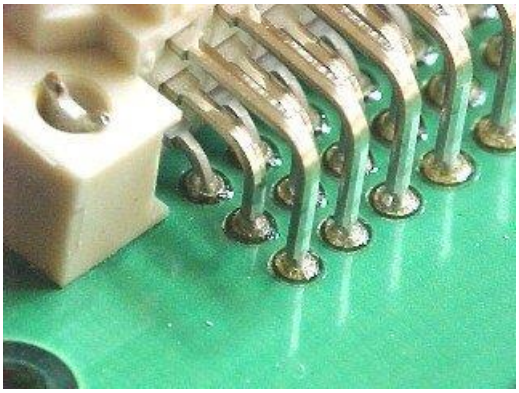


Рис. 19.5 [84]

Зачастую перед монтажом выводного компонента производится формовка выводов (рис. 19.6), обеспечивающая требуемый вариант его установки (заданные расстояния между концами выводов и между ПП и компонентом, положение компонента относительно поверхности ПП). При этом существует ряд ограничений:

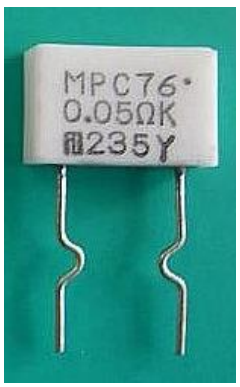


Рис. 19.6 [84]

– формовка не должна повреждать выводы и нарушать нанесенные на них покрытия;

– не допускается изгиб вывода в точке его соединения с корпусом (изгиб должен производиться только на расстоянии не менее допустимого);

– должен быть исключен поворот вывода относительно корпуса компонента;

– длина вывода от корпуса компонента до области пайки должна превышать 2,5 мм;

– запрещается формовать выводы компонентов в корпусах, имеющих множество выводов, например микросхем в DIP корпусе, и др.

Формовку выводов проводят с использованием ручных приспособлений и полуавтоматических установок (рис. 19.7).

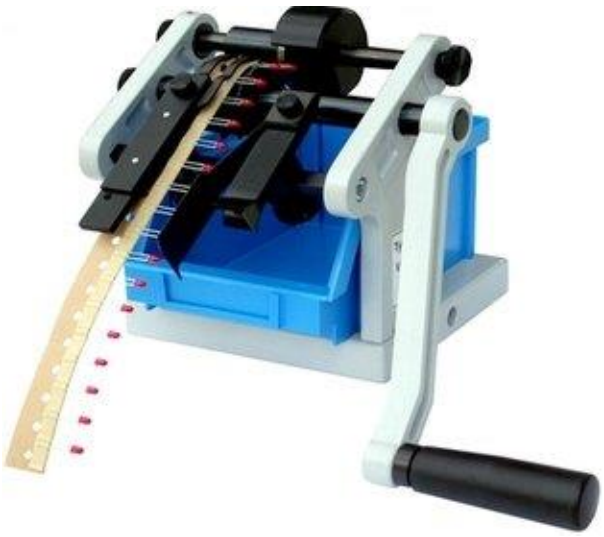


Рис. 19.7 [84]



Рис. 19.8 [84]



Рис. 19.9 [84]

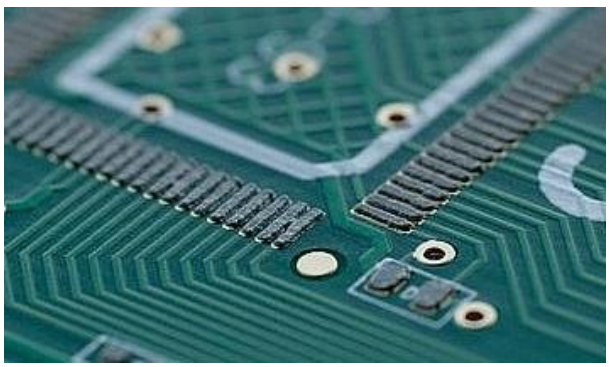


Рис. 19.10 [84]

Поверхностный монтаж на производстве состоит из следующих этапов:

– перенос паяльной пасты;

– установка компонентов;

– расплавление пасты;

– контроль.

Паяльная паста – густая смесь из размельченного припоя и жидкого флюса. Ее нанесение на КП может выполняться дозатором (для макетного образца ПП при автоматическом монтаже) или через трафарет.

Трафарет (рис. 19.8) применяется обычно при серийном производстве из-за относительно высокой стоимости изготовления и представляет собой металлическую пластину толщиной от 0,075 до 0,2 км с прорезями прямоугольной, трапециевидной или круглой формы. Для обеспечения постоянства объема наносимой пасты и ее легкого выхода на ПП прорези выполняют с закругленными углами.

Паяльная паста продавливается через прорези в трафарете с помощью ракеля (рис. 19.9), изготовленного из резины, пластика или металла.

Установка планарных компонентов на ПП с нанесенной паяльной пастой (рис. 19.10) может выполняться вручную или с помощью средств автоматизации.

Расплавление паяльной пасты может осуществляться с помощью горячего воздуха, инфракрасного излучения, кварцевого нагрева и их комбинацией, а также лазерным лучом.

Монтаж компонентов на ПП можно разделить на три вида:

– ручной монтаж (сборка осуществляется вручную);

– автоматический монтаж (установкой и запайкой всех компонентов занимается непосредственно станок);

– полуавтоматический монтаж (часть работы выполняется в автоматическом режиме, а часть – в ручном).

Ручной монтаж используется в следующих случаях:

– если применение автоматического оборудования невыгодно из-за малого объема заказа или из-за сборки нескольких макетных образцов;

– если ПП не подходят для автоматического монтажа;

– при установке компонентов после автоматического монтажа.

При ручном монтаже монтажник проверяет внешний вид каждого компонента перед установкой, при необходимости выполняя очистку выводов от окислов и их лужение.

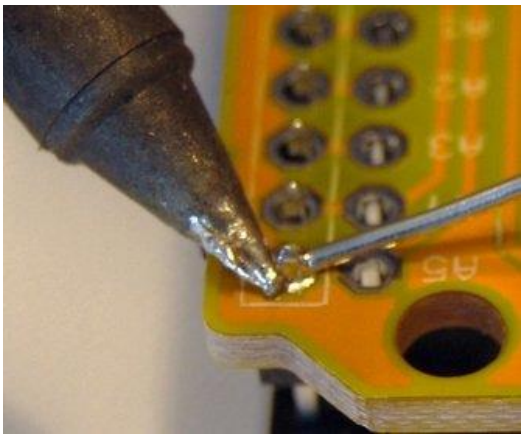


Рис. 19.11 [84]

Лужение – процесс покрытия поверхностей металлических изделий тонким слоем припоя (металл, наносимый на поверхность изделия, называется ***полудой***).

Для установки компонентов при ручном виде монтажа используются:

– паяльник (рис. 19.11), включенный через регулятор мощности. Без такого устройства температура на жале большинства обычных паяльников может достигать 350–400 ºС, что зачастую оказывается неприемлемо;

– паяльная станция со стабилизированной температурой;

– паяльный фен – термовоздушная паяльная станция (рис. 19.12).



Рис. 19.12

Пайка феном, как следует из названия прибора, осуществляется потоком горячего воздуха (рис. 19.13), скорость и температуру которого можно регулировать. Такой способ незаменим для монтажа микросхем в корпусах типа QFN (Quad flat no-leads) и подобных (см. рис. 8.23).

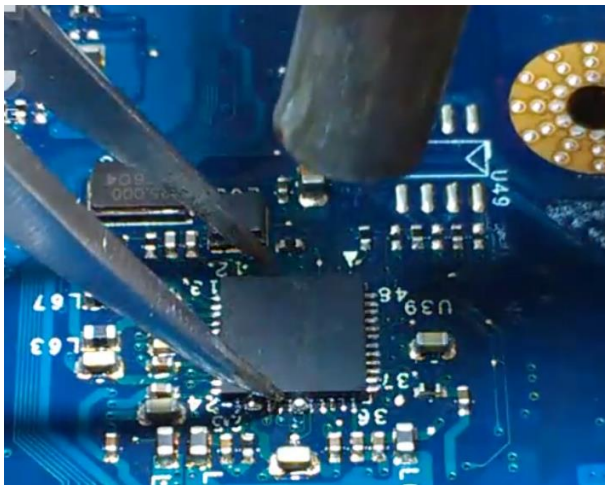


Рис. 19.13

Компоненты при пайке обычно удерживают пинцетом.

К дефектам, возникающим при ручном монтаже, можно отнести следующие:

– образование перемычек между выводами компонентов (рис. 19.14). Для их удаления используют оплетку из экранированного провода, на которую собирают весь лишний припой (рис. 19.15);

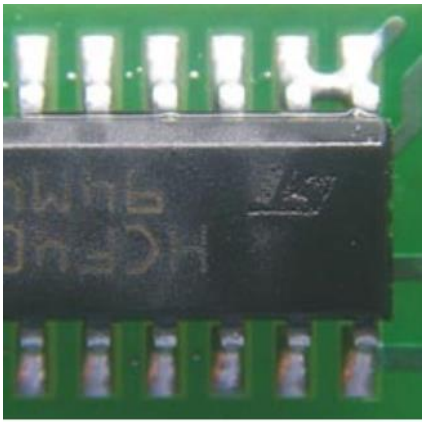


Рис. 19.14 [88]

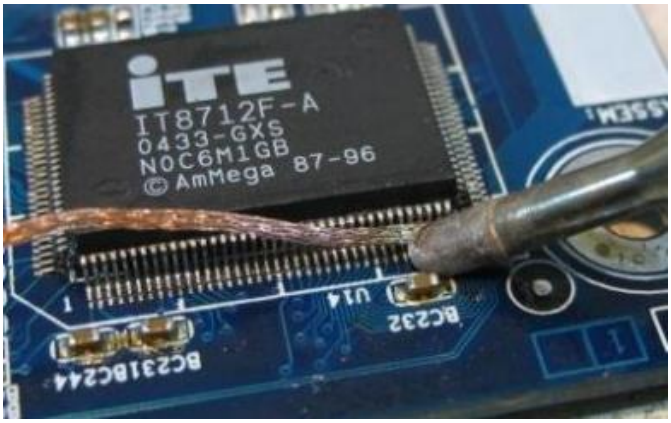


Рис. 19.15



Рис. 19.16 [84]

– «холодная» пайка (см. рис. Б.21 и 19.16), возникающая при недостаточном прогреве (например, при пайке выводов к большим полигонам металлизации), при плохой обработке поверхностей (некачественный или неподходящий флюс) и плохой их фиксации в процессе остывания;

– образование бугров и оголение КП (рис. 19.17), возникающее из-за плохой смачиваемости поверхностей (плохие свойства флюса, неправильный выбор температуры пайки, загрязнение поверхностей или выделение паров растворителя флюса).

Автоматический монтаж незаменим при серийном производстве и обладает следующими достоинствами – надежность, снижение себестоимости, высокая точность, скорость, монтаж миниатюрных элементов и автоматический контроль.

Выполняется такой монтаж с помощью специального оборудования – установщиков компонентов и автоматов для пайки.



Рис. 19.17 [84]

Паспортная производительность современного монтажного оборудования достигает 20000–40000 компонентов в час (при монтаже компонентов сложной формы – меньше). Монтажные автоматы оснащаются различными загрузочными устройствами (питателями):

– ленточные питатели (для подачи компонентов, вклеенных в ленту);

– питатели из трубчатых кассет (для микросхем в DIP-корпусе и компонентов сложной формы) и др.

Выбор технологии пайки осуществляется в зависимости от количества монтируемых элементов, их местоположения, объема сборки и сложности.

Автоматический монтаж выводных компонентов выполняется с помощью пайки волной припоя или на линии селективного монтажа.

Пайка волной припоя применяется как для пайки навесных, так и SMD-компонентов. Для фиксации компонентов используется специальный клей, который наносится на их нижние поверхности, иногда содержащие вспомогательные выступы (Glue Pad на рис. 5.13).

ПП, установленные на транспортере, подвергаются нанесению флюса (способом пенного флюсования или распыления) и предварительному нагреву (в среднем 100 °С), исключающему тепловой удар на этапе пайки. Затем ПП проходят над волной припоя. Сама волна, ее форма и динамические характеристики являются наиболее важными параметрами оборудования для пайки. Направление и скорость движения потока припоя, достигающего ПП, а также угол наклона транспортера для ПП могут варьироваться.

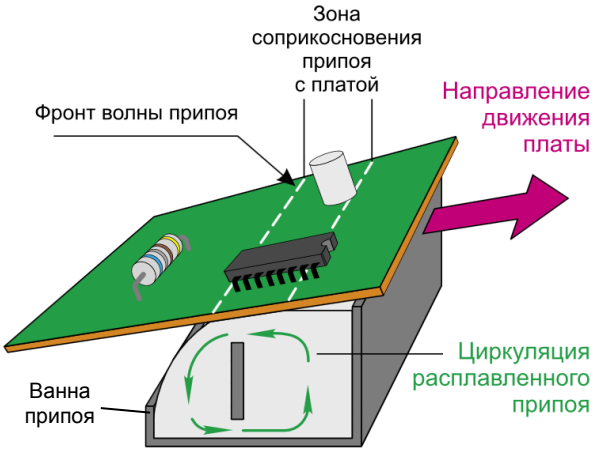


Рис. 19.18 [87]

Упрощенная схема процесса групповой пайки волной показана на рис. 19.18.

Часто установки для пайки оборудуются дешунтирующим «***воздушным ножом***», представляющим собой узкий поток нагретого воздуха, разрушаю-

щий перемычки из припоя и способствующий удалению его остатков. Нож располагается сразу же за участком прохождения волны припоя.

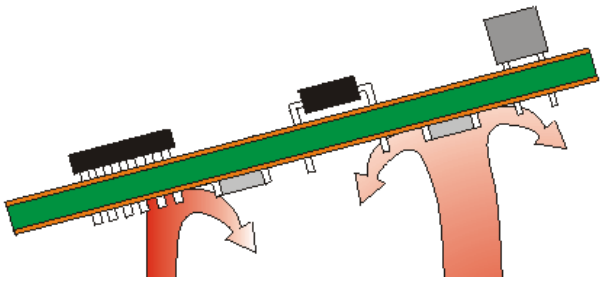


Рис. 19.19 [87]

В ряде случаев используется двойная волна (рис. 19.19). Первая волна делается турбулентной и узкой. Она исходит из сопла под большим давлением, что исключает формирование полостей с газообразными продуктами разложения флюса. Однако турбулентная волна все же образует перемычки припоя, которые разрушаются второй, более пологой ламинарной волной с малой скоростью истечения. Температура пайки находится в диапазоне 235–260 °С.

Для качественной и эффективной пайки волной SMD-компонентов требуется правильно выбирать номенклатуру элементной базы, осуществлять грамотную компоновку печатного узла, задавая при этом правильную геометрию КП для компонентов на нижней стороне ПП, например:

– нельзя располагать на нижней стороне SMD-компоненты с малым шагом выводов (менее 0,8 мм) из-за высокой вероятности возникновения коротких замыканий между ними (рис. 19.14). Это же справедливо и для расстояний между КП соседних компонентов;

– нельзя располагать на нижней стороне компоненты, которые могут разрушиться или частично потерять свои свойства при погружении в расплавленный припой (например, SMD-светодиоды крайне чувствительны к перегреву);

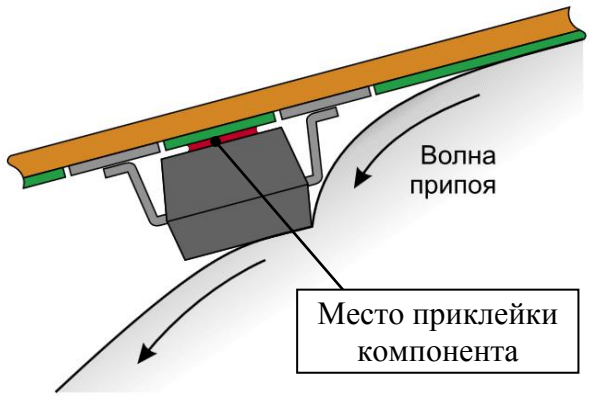


Рис. 19.20 [88]

– нельзя располагать на нижней стороне SMD-компоненты с высотой корпуса более 3,5 мм из-за высокой вероятности зацепления за элементы конструкции ванны припоя, а также из-за низкой эффективности пайки вследствие **эффекта «затенения»**, который проявляется в том, что припой из-за сил отталкивания от поверхности ПП и корпуса компонента не достает до КП (рис. 19.20). В результате пайки не происходит (рис. 19.21). Это же справедливо и для случая, когда КП очень маленькие, либо расположены в труднодоступных областях ПП.

В отличие от пайки волной, при которой происходит групповая пайка компонентов (вся ПП проходит через волну припоя), система селективной пайки осуществляет пайку соединений выборочно, в соответствии с заданной программой. Производительность такого способа гораздо ниже, однако он менее требователен к дизайну ПП. Нанесение флюса в этом случае происходит точечно и дозировано. В процессе пайки он выгорает, и отмывка его остатков не требуется.

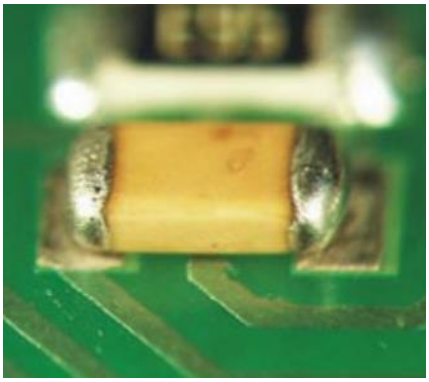


Рис. 19.21 [88]

После завершения монтажа компонентов на ПП проводят завершающие этапы:

– отмывка печатного узла, применяющаяся для ликвидации твердых и жидких остатков флюса, так как он может сказаться на параметрах электронного модуля. Часто ее проводят вручную спирто-бензиновой смесью, но существуют и более эффективные средства – специальные промывочные жидкости. Отмывка обеспечивает не только достойный внешний вид модулей, но и хороший контакт ПП с влагозащитным покрытием;

– проверка изделия на работоспособность;

– при необходимости покрытие печатного узла несколькими слоями водостойкого лака, каждый из которых сушат горячим воздухом. Лак предотвращает воздействие влаги, улучшает тепловой режим компонентов печатного узла и повышает вибрационную прочность.

19.3. Создание сборочного чертежа «усилителя»

Сборочный чертеж «усилителя» будет создаваться с использованием данных файла трассировки из разд. 12, 3D-модели «усилителя» из разд. 13 и чертежей установки компонентов, один из которых был сделан для танталового конденсатора в разд. 7.

Последовательность действий для сборочного чертежа «усилителя»:

1. В **КОМПАС-3D** открыть 3D-модель «усилителя» (расположение указано в п. 2.3 из 13.1).

2. СКМ повернуть «усилитель» в рабочем поле так, чтобы спереди оказались компоненты, установленные на ПП, после чего щелкнуть ЛКМ по верхней поверхности ПП (рис. 19.22) и в появившейся над курсором ПИ нажать пиктограмму **Нормально к**.

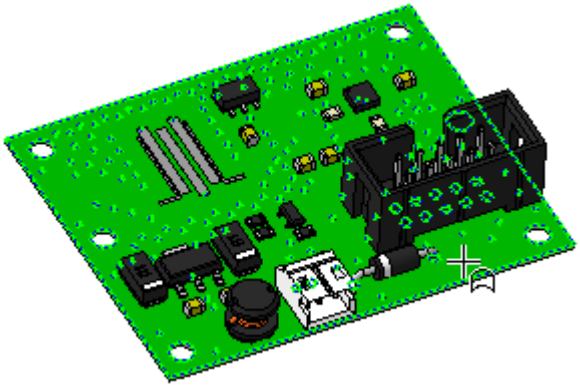


Рис. 19.22

Сохранить ориентацию 3D-модели, добавив новый вид с помощью команды **Вид ⇒ Ориентация** и присвоив ему имя (например, **Главный**).

Сохранить изменения (**Ctrl+S**) и закрыть вкладку с 3D-моделью.

3. По информации из 7.1 создать новый чертеж и задать следующие настройки листа:

– формат – **А3**;

– ориентация – **горизонтальная**;

– оформление – **Чертеж констр. Первый лист. ГОСТ 2.104-2006**.

4. Сохранить чертеж командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.cdw». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.01СБ - Усилитель - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель** (см. рис. 2.8).

5. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5).

6. Запустить команду **Стандартные виды** (см. рис. 7.6) и указать путь к 3D-модели «усилителя».

В **Панели свойств** на вкладке **Параметры** выполнить следующее:

– в поле **Ориентация главного вида** выбрать **Главный** (задан в п. 2);

– в поле **Схема видов** указать только **вид спереди** и **вид слева** (расположение видов см. на рис. 7.3);

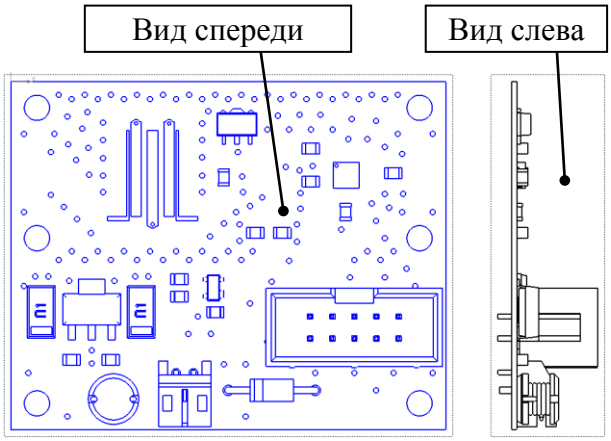


Рис. 19.23

– в поле **Масштаб вида** выбрать масштаб **2,5:1**.

На рис. 19.23 показан результат в варианте «П1» с обозначением видов.

7. В **Дереве чертежа** изменить название видов: **Главный 1** на **Вид спереди**, **Проекционный вид 2** на **Вид слева** (см. п. 7 из 17.2).

8. Заполнить графы рамки в соответствии с табл. 19.1. Содержание остальных граф должно соответствовать данным табл. 17.1.

Пояснения к заполнению приведены в п. 8 из 17.2.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1 и на рис. 3.6.

Таблица 19.1

Содержание граф рамки для сборочного чертежа «усилителя», отличающихся от чертежа ПП

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Усилитель Сборочный чертеж	Наименование изделия определено в табл. 2.1 и записывается автоматически, так как было задано в свойствах 3D-модели. Наименование документа указывается командой **ПКМ ⇒ Вставить код и наименование**. В открывшемся окне выбирается строчка с кодом **СБ**, внизу окна отключается опция **Код через пробел** и нажимается **OK**. Параметры шрифта в **Панели свойств** на вкладке **Формат**: – для наименования изделия: высота символов – **7**, шаг строк – **11**; – для наименования документа: высота символов – **5**, шаг строк – **8**
2	УП1.01.01СБ	Обозначение документа определено в табл. 2.1, указано для варианта «П1» и записывается автоматически, так как было задано в свойствах 3D-модели, а код документа – при заполнении графы 1. Данные этой графы повторяются на каждом новом листе
3	См. комментарий	Графа должна остаться пустой
5	7,9 г	Заполняется автоматически при выборе в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле **Единицы измерения массы** опции **граммы**, а в поле **Точность представления** значения **1** (**0** – при отсутствии десятых долей)
26	УП1.01.01СП	Заполняется автоматически и полностью соответствует содержанию графы 2. Данные этой графы повторяются на каждом новом листе

Результат заполнения граф основной надписи в варианте «П1» показан на рис. 19.24.

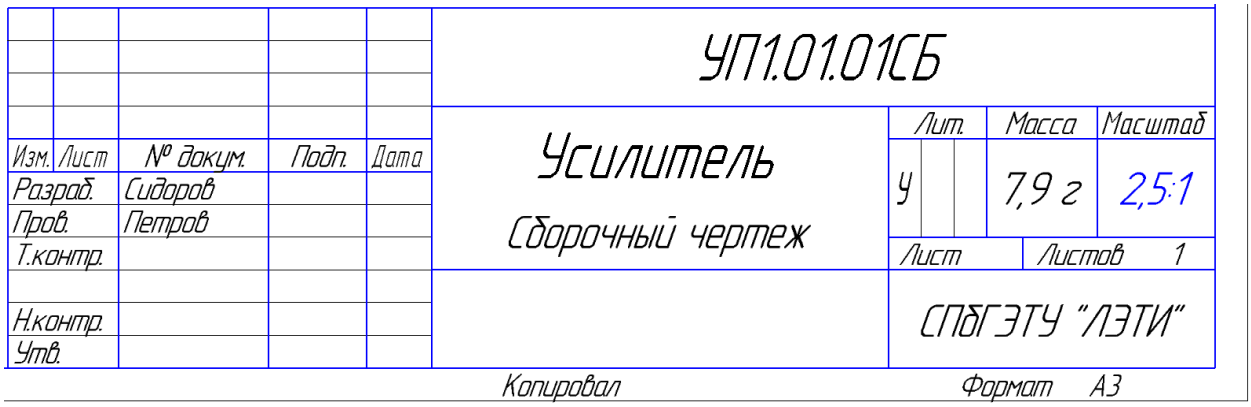


Рис. 19.24

9. Запустить режим редактирования основной надписи и в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** отжать пиктограмму **Синхронизация данных** (см. рис. 7.7), тем самым отключив передачу данных между 3D-моделью и основной надписью чертежа.

10. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

11. Разрушить оба добавленных вида.

12. На **Виде спереди** удалить все графические элементы, кроме контура ПП и крепежных отверстий.

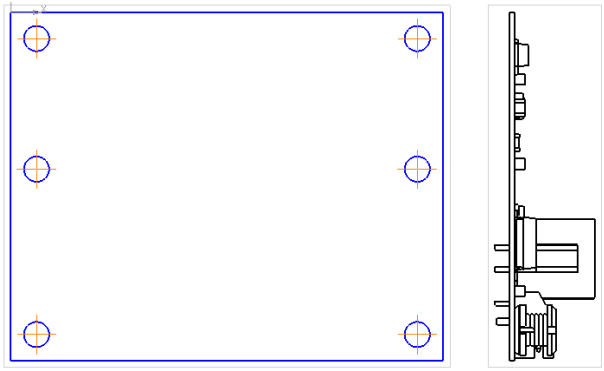


Рис. 19.25

13. Командой **Обозначение центра** (см. рис. 17.5) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** с зажатой клавишей **Shift** (временное включение режима **Ортогональное черчение**) обозначить центры крепежных отверстий.

Результат на данном этапе в варианте «П1» показан на рис. 19.25.

14. Добавить на **Вид спереди** информацию о контурах компонентов и их позиционных обозначениях:

14.1. В **Altium Designer** выполнить следующие действия:

– открыть проект ПП (см. п. 1 из 12.1);

– открыть файл трассировки по п. 3 из 8.3;

– включить набор слоев **Shield**;

– скрыть слои **Top Layer** и **M7 Shield**, выполнив на вкладках с их названиями команды **ПКМ ⇒ Hide**;

– показать слой **M1 Board**, выполнив на строке с вкладками слоев команду **ПКМ ⇒ Show Layers ⇒ M1 Board**;

– запустить команду **File ⇒ Export ⇒ DXF/DWG**;

– в открывшемся окне Export File задать путь и имя для сохранения файла в формате DXF. Имя файла в варианте «П1» – «**TopAssy**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели**. Затем нажать кнопку **Сохранить**;

– в появившемся окне Export to AutoCAD задать настройки с рис. 13.10, но с отключенной опцией **Export pads and via holes**, после чего запустить процесс экспорта кнопкой **OK**;

– закрыть сообщение об успешном завершении процесса.

14.2. В **КОМПАС-3D** открыть файл **TopAssy.DXF** (см. п. 12.4 из 13.1).

14.3. Удалить размерные линии, таблицу с отверстиями, входные и выходные КП.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 19.26.

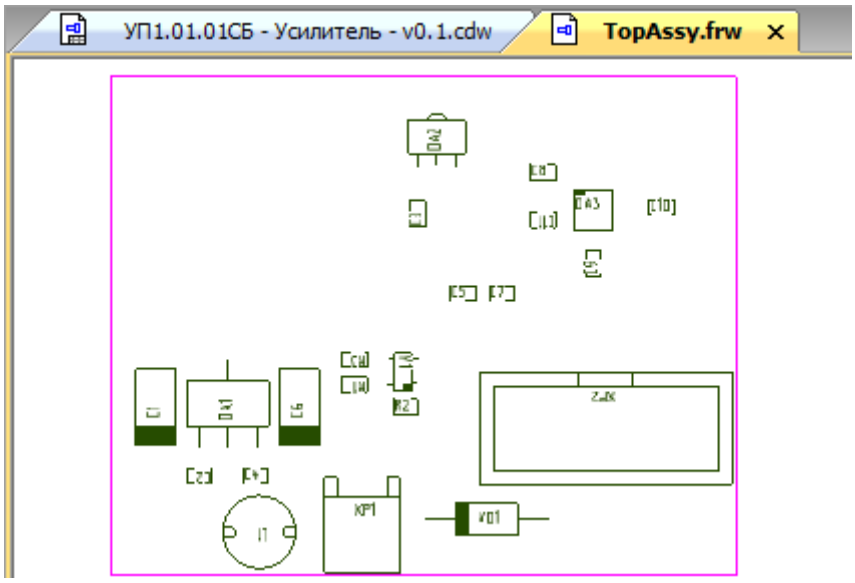


Рис. 19.26

14.4. Выделить все объекты (**Ctrl+A**) и назначить линиям и дугам стиль линии **Основная** (см. п. 12.6 из 13.1).

14.5. Скопировать выделенные объекты (**Ctrl+C**), указав базовую точку в любом угле контура ПП.

14.6. На вкладке со сборочным чертежом «усилителя» убедиться в том, что **Вид спереди** является текущим, после чего вставить (**Ctrl+V**) скопированные объекты в любое свободное место (рис. 19.27).

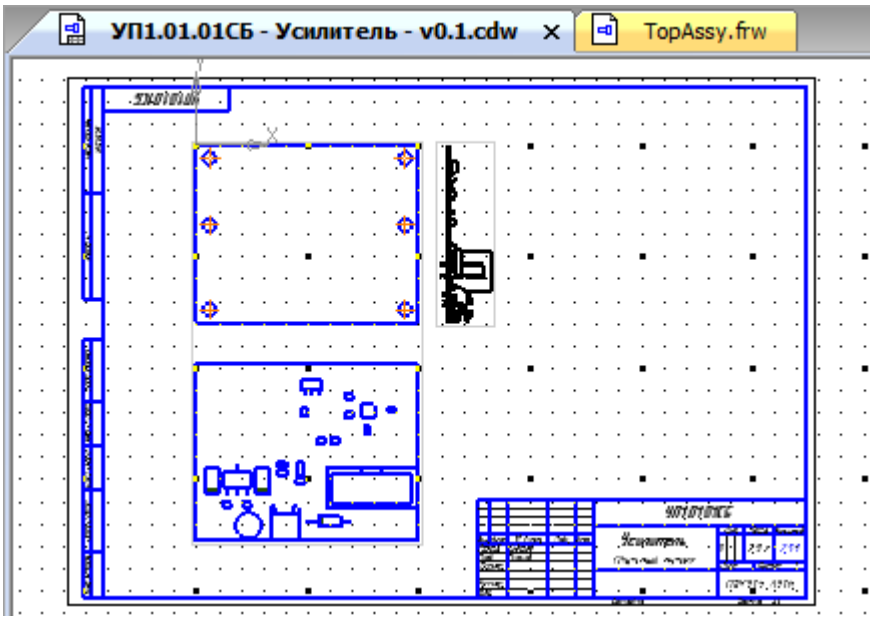


Рис. 19.27

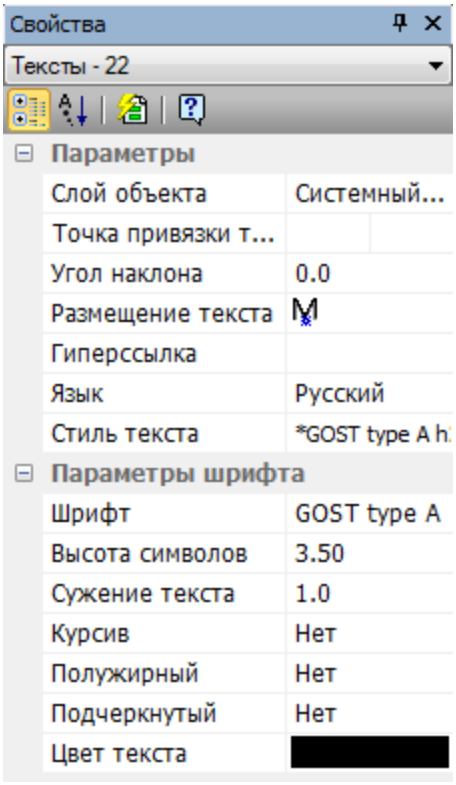


Рис. 19.28

14.7. Закрыть вкладку с **TopAssy.dxf** с сохранением изменений.

14.8. Выполнить команду **Выделить ⇒ По типу ⇒ Тексты** для выделения всех позиционных обозначений, после чего запустить команду **Редактор ⇒ Свойства** (или нажать соответствующую пиктограмму на ПИ **Стандартная**) и в появившемся окне **Свойства** задать следующие настройки (рис. 19.28):

– в поле **Угол наклона** – **0**;

– в поле **Размещение текста** – **По центру**;

– в поле **Высота символов** – **3.5**;

– в поле **Цвет текста** – **черный**.

После этого снять выделение с надписей, щелкнув ЛКМ в любом свободном месте рабочего поля.

14.9. На данном этапе каждая надпись находится на белом фоне, который закрывает собой линии. Чтобы его убрать, необходимо воспользоваться одним из двух способов:

– отдельно для каждой надписи отключить опцию **Очистить фон** (команда **ПКМ ⇒ Очистить фон**);

– отключить опцию **Прерывать штриховки и линии** в меню **Сервис ⇒ Параметры ⇒ Текущий чертеж ⇒ Перекрывающиеся объекты**.

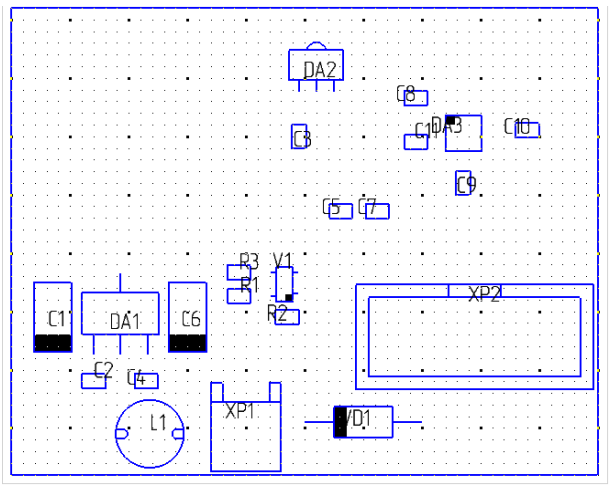


Рис. 19.29

Второй способ на текущем шаге рациональнее.

14.10. Выполнить команду **Выделить ⇒ По типу ⇒ Заливки** для выделения всех заливок, обозначающих положение первых выводов компонентов, полярных выводов и выводов катодов.

Затем в окне **Свойства** в поле **Цвет 1** выбрать **черный** цвет.

После этого снять выделение с заливок и закрыть окно **Свойства**.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 19.29.

14.11. Выделить всю ПП с компонентами, после чего запустить команду **Выделить ⇒ Исключить ⇒ Объект** и последовательными щелчками ЛКМ исключить из выделения контур ПП.

14.12. Запустить команду **Сдвиг** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование** (см. рис. 6.20), указать в качестве базовой точки любой угол ограничивающего выделенные объекты контура и переместить их внутрь контура ПП на **Виде спереди** (рис. 19.30).

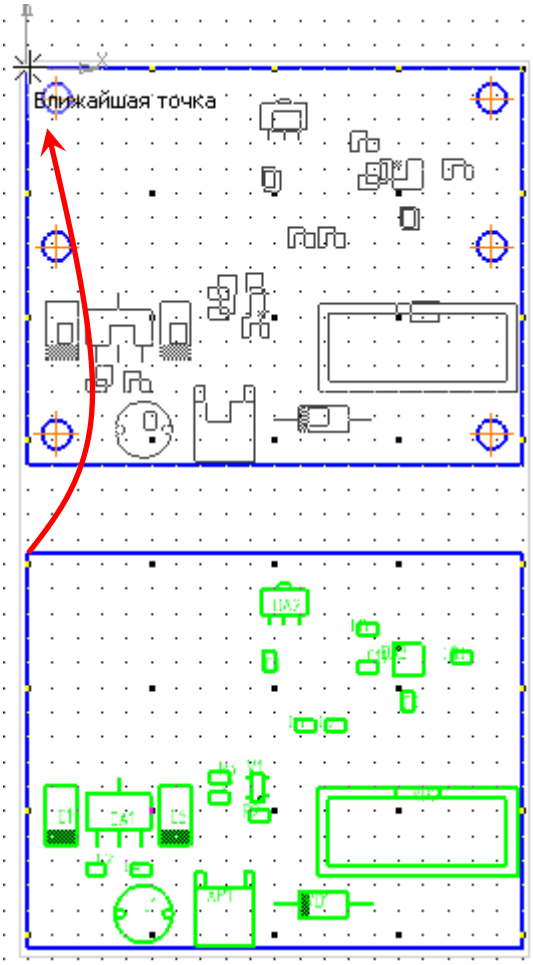


Рис. 19.30

14.13. Удалить контур, из которого производилось перемещение объектов.

Примечание. Очертания компонентов были взяты из файла трассировки взамен очертаний из 3D-модели «усилителя», так как они не содержат мелких деталей (см. п. 1.5 из 19.1) и в них есть необходимые обозначения выводов.

14.14. Расставить позиционные обозначения компонентов ПП в соответствии с п. 2.2 из 19.1.

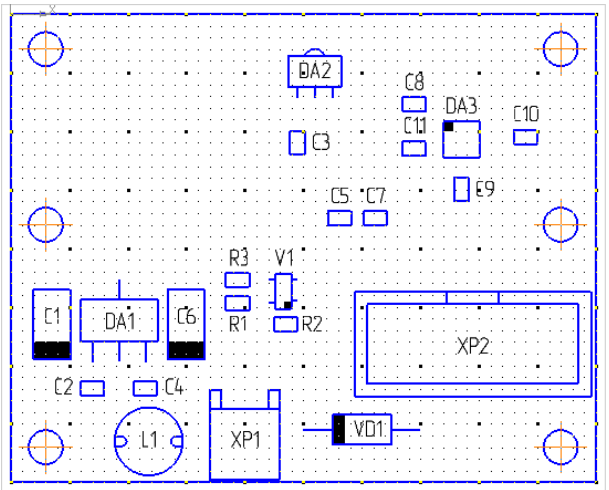


Рис. 19.31

Примечание. Перемещение каждого позиционного обозначения осуществляется зажатой ЛКМ за среднюю характерную точку, появляющуюся после его выбора.

14.15. Рекомендуется визуально проверить по файлу трассировки, что позиционные обозначения на сборочном чертеже расположены около соответствующих им компонентов.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 19.31.

14.16. Закрыть файл трассировки без сохранения изменений.

15. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

16. Включить режим **Ортогональное черчение** клавишей **F8**.

17. На каждом из двух видов командой **Линейный размер** или **Авторазмер** (см. рис. 7.21) проставить габаритные размеры, при этом обратив внимание на следующее:

– вид, на котором проставляются размеры, должен быть текущим;

– добавленные размеры должны удовлетворять требованиям из Д.5;

– все указанные размеры будут справочными (см. п. 2 из Д.5), поэтому по п. 22 из 7.3 после размерных чисел поставить знак «*»;

– для выравнивания размеров служит команда, указанная в п. 17 из 17.2;

– при необходимости сдвинуть **Вид слева** вправо от **Вида спереди**.

18. Отключить режим **Ортогональное черчение** клавишей **F8**.

19. Командой **Сдвиг** (см. рис. 6.20) сдвинуть оба вида в верхний левый угол чертежа, при этом виды должны остаться на одной горизонтали.

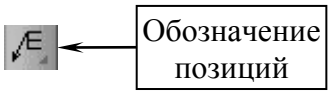


Рис. 19.32

20. Сделать текущим **Вид спереди**, запустить команду **Обозначение позиций** из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (рис. 19.32) и указать номер позиции ПП по спецификации «усилителя» (в варианте «П1» по рис. 18.5 – **1**).

Примечания:

– правила простановки номеров позиций указаны в пп. 1.6–1.11 из 19.1;

– номера позиций остальных компонентов по п. 2.6 из 19.1 не ставятся;

– лишние ответвления (при наличии) можно удалить по п. 24 из 7.3.

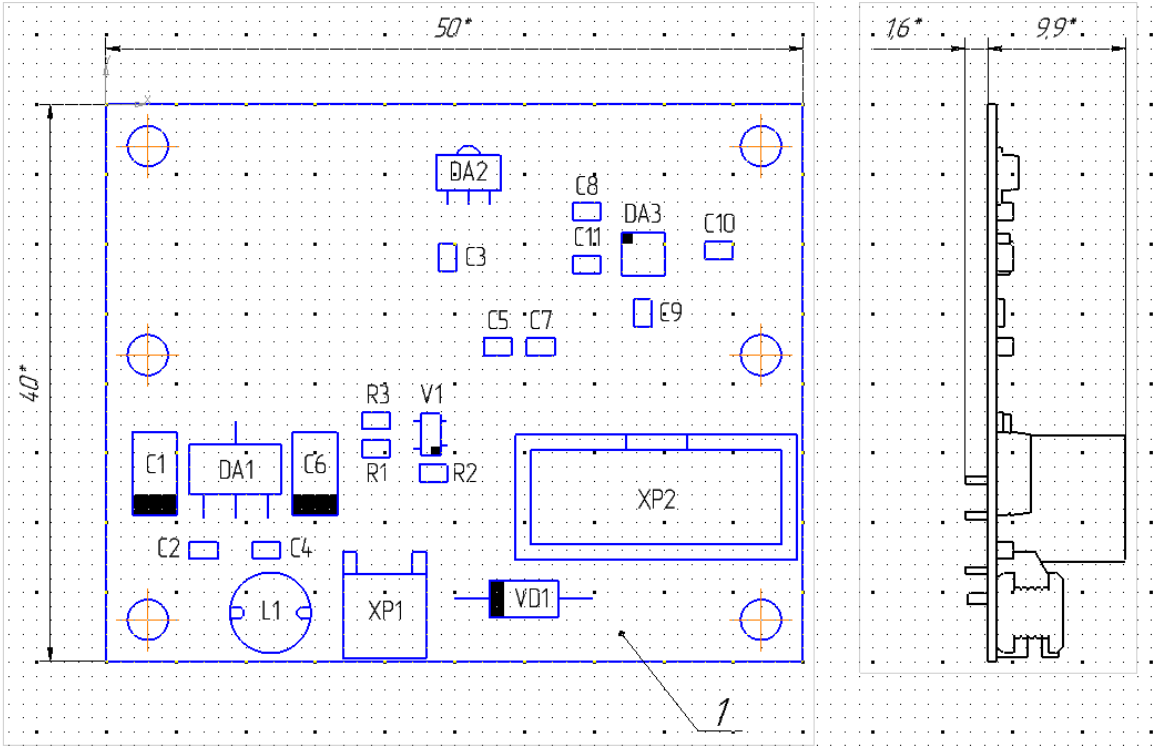


Рис. 19.33

21. Сделать текущим **Вид слева** и командой **Усечь кривую** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование** (см. рис. 6.20) оставить только внешние очертания компонентов (см. п. 1.5 из 19.1).

При необходимости воспользоваться командой **Удлинить до ближайшего объекта** из той же ПИ.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 19.33.

22. В **Altium Designer** выполнить подготовительные действия для размещения установочных чертежей компонентов:

– открыть схему Э3 «усилителя» (см. п. 3 из 8.3);

– запустить команду **Reports ⇒ Bill of Materials**;

– два раза щелкнуть ЛКМ по названию столбца **Show**, расположенному около столбца All Columns, и отключить отображение столбцов **CI_BOM**, **CI_Manufacturer** и **Quantity**;

– включить отображение параметров **PI_Drawing** и **Footprint**;

– осуществить группировку информации по параметру **PI_Drawing**, для чего перетащить его название зажатой ЛКМ из столбца **All Columns** в столбец **Grouped Columns**;

– в правой части окна **Bill of Materials** перетащить зажатой ЛКМ столбец **PI_Drawing** в крайнее левое положение;

– убедиться в том, что сортировка данных осуществляется по столбцу **Designator** в порядке следования позиционных обозначений (рис. 19.34).

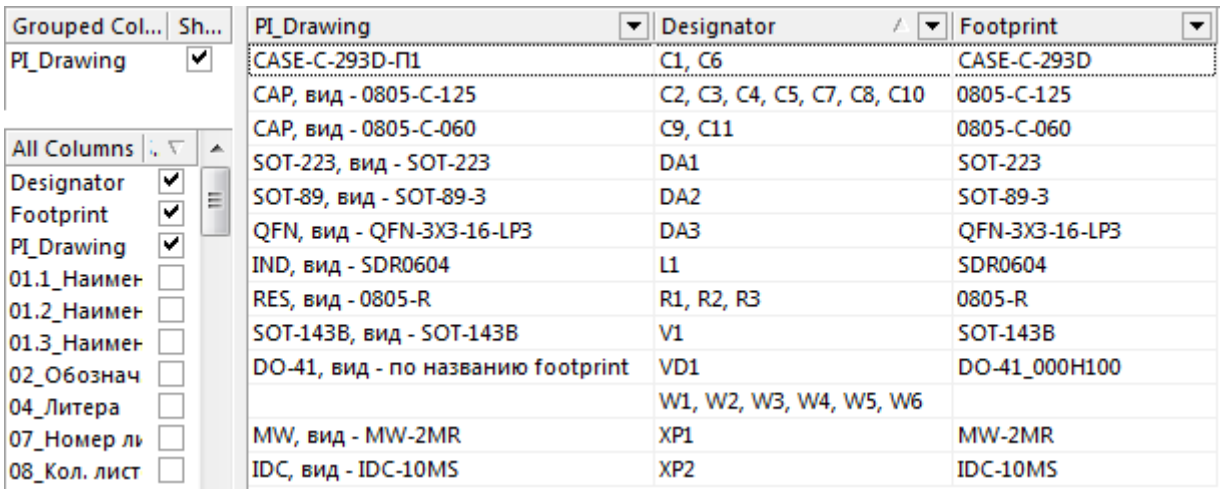


Рис. 19.34

Примечания:

– установочные чертежи компонентов для удобства их поиска на сборочном чертеже рекомендуется размещать в порядке следования позиционных обозначений. Этим и обусловлена сортировка по столбцу Designator;

– в столбце PI_Drawing записаны названия файлов установочных чертежей компонентов и видов с соответствующими изображениями (например, в варианте «П1» из файла CAP понадобится два чертежа);

– в столбце Footprint записаны названия посадочных мест, заданные для компонентов в проекте. Эта информация требуется для компонентов с несколькими вариантами установки посадочных мест (например, диод VD1) и для контроля.

23. Добавить установочные чертежи компонентов, используя полученную информацию из Altium Designer.

Так как добавление установочных чертежей однотипно, то далее приведены действия только для танталового конденсатора в корпусе типоразмера **C**, записанного в варианте «П1» с позиционными обозначениями *C1* и *C6* (см. рис. 18.5 и 19.34):

23.1. Открыть чертеж установки компонента (расположение указано в п. 4 из 7.3).

Примечание. Установочные чертежи остальных компонентов находятся в папке …\ИДРЭС\Монтаж элементов (см. рис. 2.9).

23.2. На вкладке с установочным чертежом открыть **Дерево чертежа** и ЛКМ выбрать требуемый вид (в варианте «П1» – **CASE-C-293D-П1**), в результате чего в рабочем поле он выделится зеленым цветом.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 19.35.

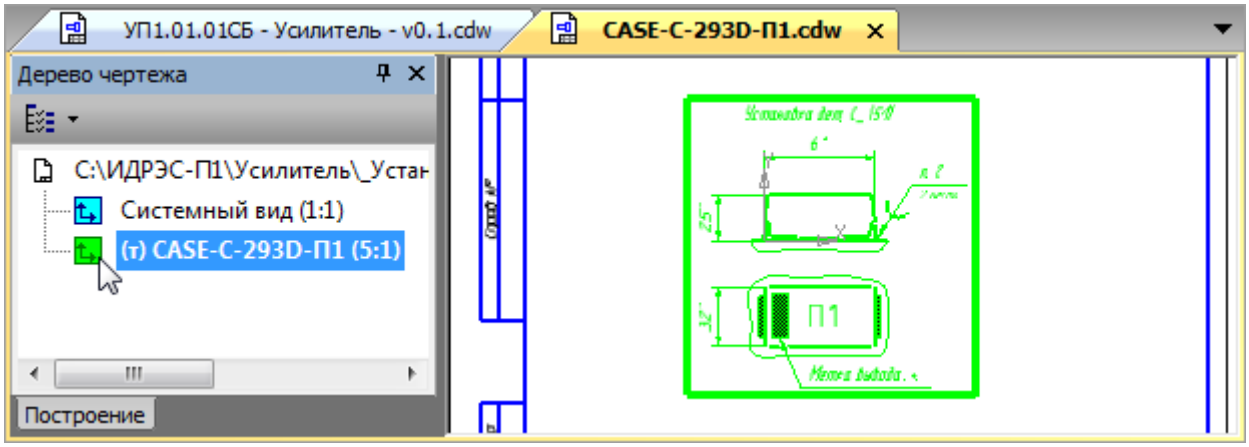


Рис. 19.35

23.3. Скопировать вид (**Ctrl+C**).

23.4. Перейти на вкладку со сборочным чертежом «усилителя» и вставить (**Ctrl+V**) скопированный вид.

23.5. В **Дереве чертежа** выделить вставленный вид и в рабочем поле передвинуть его на свободное место сборочного чертежа.

23.6. Отредактировать надпись в добавленном виде (рис. 19.36):

– указать все позиционные обозначения компонентов для данного варианта установки корпуса;

– удалить обозначение масштаба вида, если он совпадает с масштабом, указанным в основной надписи.

23.7. Закрыть вкладку с чертежом установки.

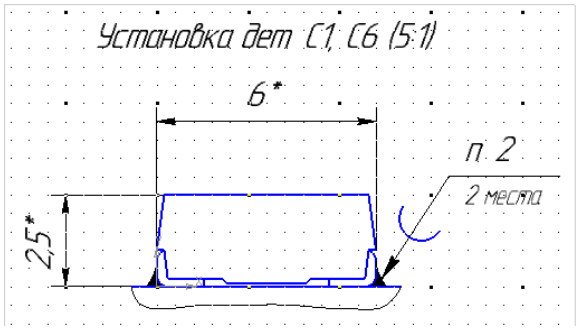


Рис. 19.36

Примечание. В надписи установочного чертежа указываются не номера позиций компонентов по спецификации, а их позиционные обозначения по схеме, так как под одной позицией могут быть записаны компоненты, устанавливаемые на ПП разными способами.

Например, резистор с двумя осевыми выводами по ГОСТ 29137–91 [90] можно установить одним из следующих вариантов:

– вариант 010 (рис. 19.37, а);

– вариант 140 (рис. 19.37, б);

– вариант 070 (рис. 19.37, в);

– вариант 220 (рис. 19.37, г).

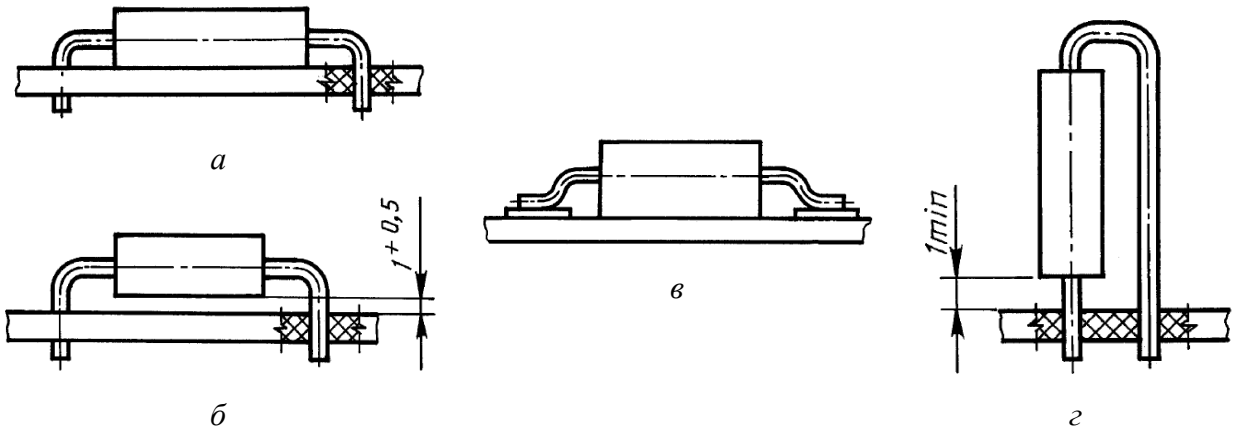


Рис. 19.37 [90]

24. Выполнить пп. 23.1–23.7 для всех компонентов из спецификации «усилителя», при этом учесть следующее:

– необходимо оставить свободное место над основной надписью сборочного чертежа для добавления ТТ;

– при необходимости по 7.1 добавить второй лист (**горизонтальный А3** или **вертикальный А4**) с оформлением **Чертеж констр. Посл. листы. ГОСТ 2.104-2006**.

25. После размещения всех необходимых установочных чертежей выполнить следующие действия в **Altium Designer**:

– закрыть окно **Bill of Materials** кнопкой **Cancel**;

– закрыть проект ПП без сохранения изменений.

26. В **КОМПАС-3D** сохранить сборочный чертеж (**Ctrl+S**).

27. Добавить ТТ, для чего выполнить следующие действия:

27.1. Войти в режим редактирования ТТ.

27.2. По п. 25.2 из 17.2 задать необходимые настройки.

27.3. Ввести текст следующего вида:

*1 * Размеры для справок.*

2 Паять ПОС 61 ГОСТ 21930-76.

3 Позиционные обозначения элементов показаны условно.

4 Элементы устанавливать симметрично контактным площадкам согласно приведенным вариантам установки.

5 При ручном монтаже перед установкой микросхемы DA3 лудить все контактные площадки (снизу и с каждой боковой стороны) на ее корпусе (см. п. 2).

6 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.015.

При копировании необходимо обратить внимание на примечание к п. 25.3 из 17.2.

27.4. Сохранить ТТ (**Ctrl+S**) и выйти из режима их редактирования.

27.5. Убедиться в том, что расстояние между нижней строкой ТТ и рамкой основной надписи не менее 10 мм.

При необходимости изменить положение ТТ по п. 25.5 из 17.2.

27.6. Комментарии к отдельным пунктам ТТ из п. 27.3:

– справочные размеры рассмотрены в п. 2 из Д.5;

– термины ***припой*** и ***лужение*** даны в 19.2;

– в п. 3 из ТТ указано, что позиционные обозначения на чертеже не подлежат маркировке и не нанесены на поверхности ПП и компонентов;

– п. 5 из ТТ должен присутствовать, если в варианте задания есть микросхемы в корпусах **QFN** и **PDFN** (см. рис. 8.23). Подобное указание необходимо дать и для корпуса **MSOP** с одной КП снизу (exposed pad);

– в п. 6 из ТТ дана ссылка на отраслевой стандарт ОСТ4 ГО.070.015 [92], устанавливающий общие ТТ (не допускается нанесение механических повреждений на применяемые детали и сборочные единицы, недопустимо попадание в сборочные единицы посторонних предметов и частиц и др.), пра-

вила приемки, методы испытаний, маркировку, упаковку, транспортирование и хранение для сборочных единиц радиоэлектронной аппаратуры.

28. Во всех добавленных видах с чертежами установок компонентов добавить ссылку на п. 2 из ТТ:

28.1. Запустить команду **Выделить ⇒ По свойствам**, после чего в появившемся окне в группе **Обозначения** выбрать опцию **Линии-выноски**, выбрать вид значка **Для пайки** и нажать **ОК** (рис. 19.38).

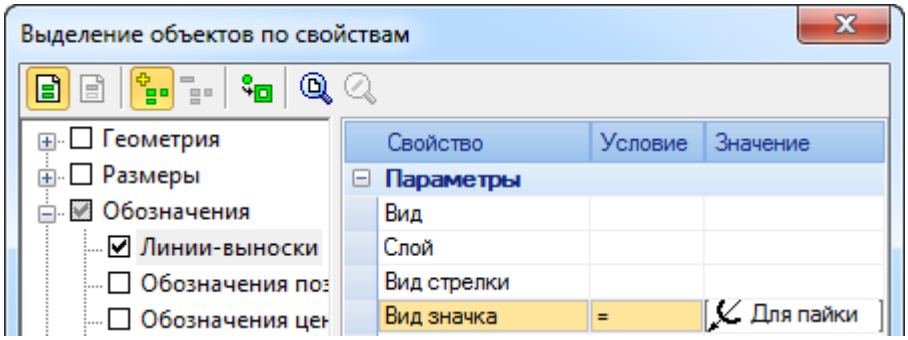


Рис. 19.38

28.2. Запустить команду **Редактор ⇒ Свойства** и в появившемся окне **Свойства** щелкнуть ЛКМ напротив поля **Текст над полкой**.

28.3. В открывшемся окне **Введите текст** ввести текст «**п.**», затем поставить пробел и после этого запустить команду **ПКМ ⇒ Вставить ссылку**.

28.4. В открывшемся окне **Ссылка** выбрать в поле **Тип источника** – **Технические требования**, в поле **Ссылка на** – **Номер пункта**.

Затем ЛКМ выбрать вторую строку и нажать **ОК**.

28.5. Закрыть оно **Введите текст** (рис. 19.39) кнопкой **ОК**.

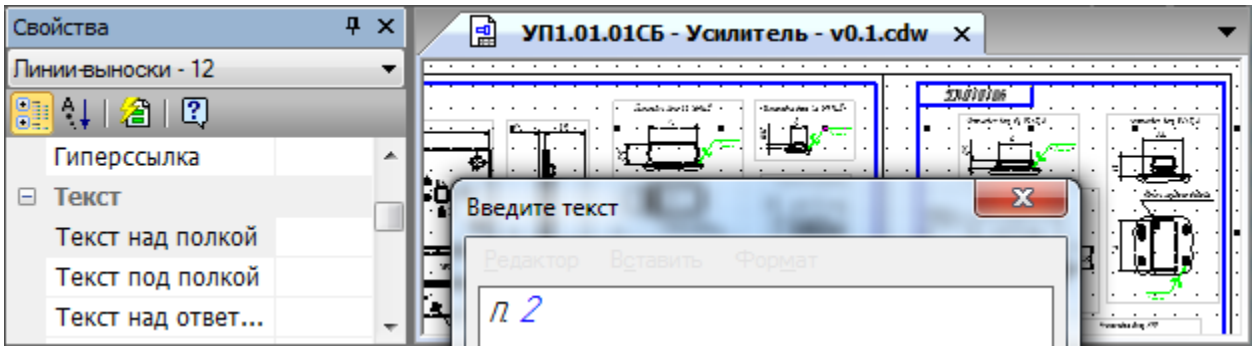


Рис. 19.39

29. Войти в режим редактирования ТТ и в пункте № 5 из ТТ заменить номер пункта, указанного в скобках, ссылкой с параметрами по п. 28.4.

Затем выйти из режима редактирования ТТ.

30. Сохранить изменения в сборочном чертеже «усилителя» (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 19.40.

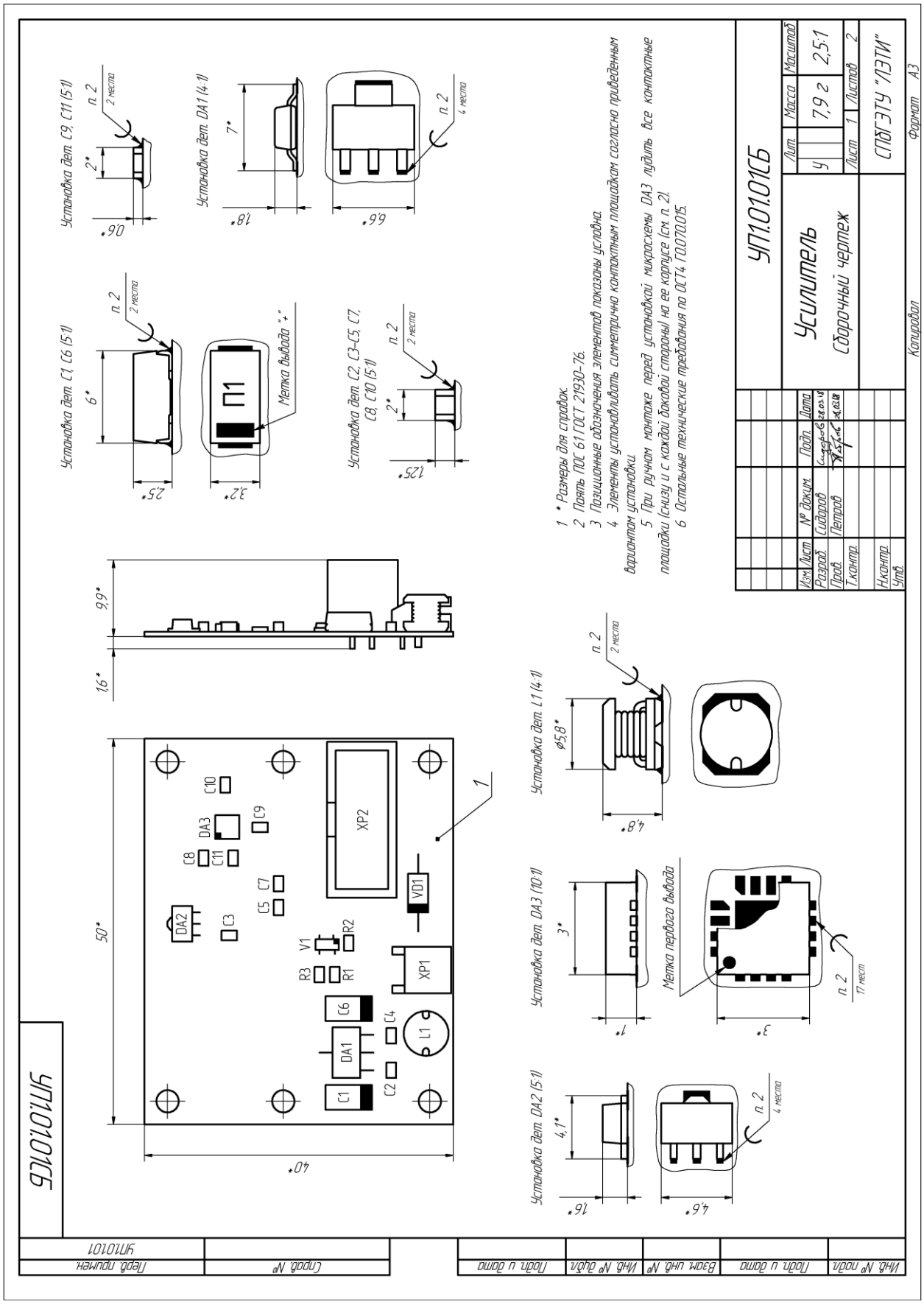


Рис. 19.40 Начало (окончание см. на с. 541)

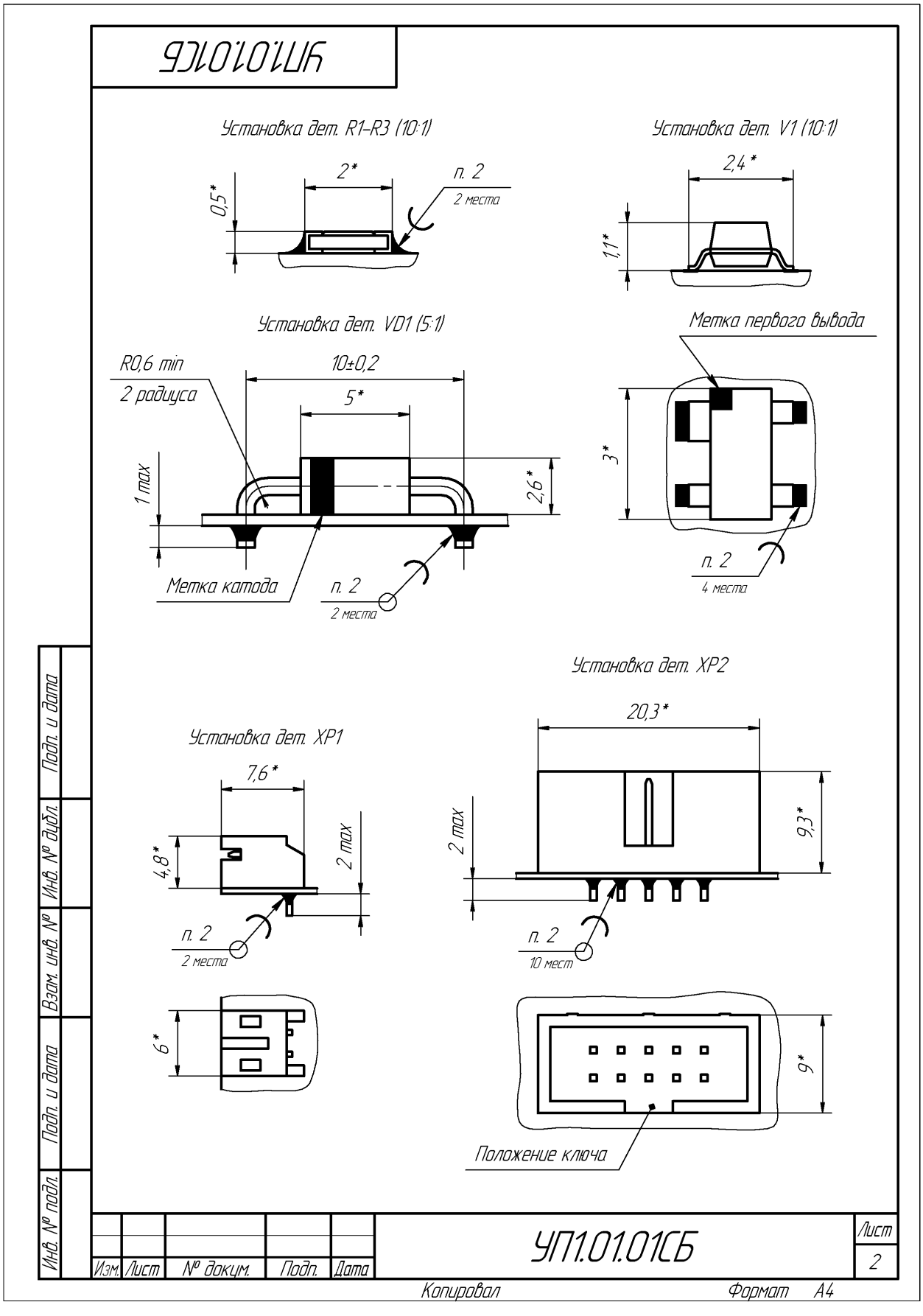
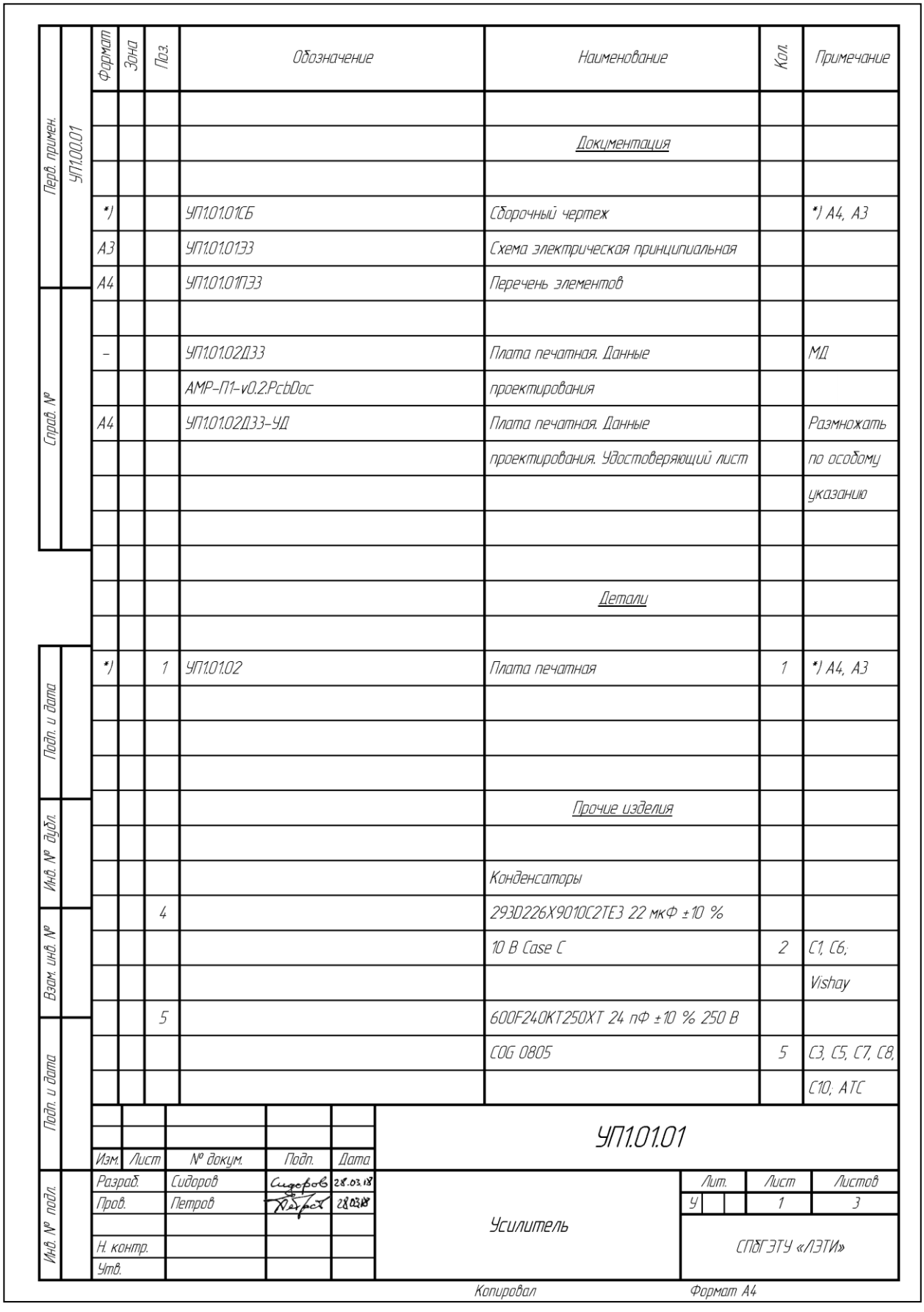


Рис. 19.40 Окончание (начало см. на с. 540)



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
*)			УП1.01.01СБ	Сборочный чертеж		*) А4, А3
А3			УП1.01.01Э3	Схема электрическая принципиальная		
А4			УП1.01.01ПЭ3	Перечень элементов		
–			УП1.01.02Д33	Плата печатная. Данные		МД
			AMP-П1-v0.2.PcbDoc	проектирования		
А4			УП1.01.02Д33-УД	Плата печатная. Данные		Размножать
				проектирования. Удостоверяющий лист		по особому
						указанию
				Детали		
*)		1	УП1.01.02	Плата печатная	1	*) А4, А3
				Прочие изделия		
				Конденсаторы		
		4		293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 %		
				10 В Case C	2	C1, C6;
						Vishay
		5		600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В		
				C0G 0805	5	C3, C5, C7, C8,
						C10; ATC

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УП1.01.01		
Разраб.		Сидоров	Сидоров	28.03.18	Усилитель	Лит.	Лист 1 / Листов 3
Пров.		Петров	Петров	28.03.18			
Н. контр.						СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	
Утв.							

Перв. примен. УП1.00.01 | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Копировал Формат А4

Рис. 19.41

Примечание. На печатный узел обычно наносится маркировка краской (например, обозначение основного КД и заводской номер), но в данном учебном пособии она не предусмотрена.

31. Сохранить сборочный чертеж в формате PDF по 17.3.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.01СБ - Усилитель - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_pdf** (см. рис. 2.8).

32. При необходимости в спецификации на «усилитель» скорректировать формат сборочного чертежа согласно пп. 1.11 и 1.18 из 18.1.

После внесения изменений сохранить спецификацию командой **Файл ⇒ Сохранить как** в ту же папку и с тем же расширением, но с версией **v0.2**.

Результат корректировки в варианте «П1» показан на рис. 19.41.

33. Сохранить спецификацию в формате PDF по п. 11 из 9.2.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.01 - Усилитель - v0.2**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_pdf** (см. рис. 2.8).

34. Удалить вспомогательную информацию:

– из папки **…\ИДРЭС-П1\Усилитель** – файл «**УП1.01.01 - Усилитель - v0.1.doc**» (предыдущая версия спецификации на «усилитель»);

– из папки **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_Модели** – файлы **TopAssy.dxf** и **TopAssy.frw** (файлы с информацией о контурах компонентов, их позиционных обозначениях и контуре ПП);

– все backup-файлы из папки **…\ИДРЭС-П1\Усилитель** и ее подпапок.

35. При желании выполнить 7-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3 и прил. Н).

19.4. Содержание отчета

По 18-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести спецификацию на «усилитель», распечатанную на отдельных листах.

По 19-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести сборочный чертеж «усилителя», распечатанный на отдельных листах.

Схема складывания листа формата А3 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа для непосредственного брошюрования показана на рис. 8.71.

20. ЧЕРТЕЖ «ЭКРАНА»

20.1. Создание чертежа «экрана»

Чертеж «экрана» будет создаваться на основе его 3D-модели, и в нем будут только ассоциативные виды.

При отставании от плана (см. рис. 2.5) можно пропустить разделы с созданием чертежей «экрана» и «основания» и перейти к разработке спецификации на «модуль усилителя» по разд. 22.

Последовательность действий для создания чертежа «экрана»:

1. В **КОМПАС-3D** открыть 3D-модель «экрана» (расположение указано в п. 7 из разд. 14).

2. СКМ повернуть «экран» в рабочем поле так, чтобы спереди оказалась поверхность с надписями, после чего щелкнуть ЛКМ по ней (рис. 20.1) и в появившейся над курсором ПИ нажать пиктограмму **Нормально к**.

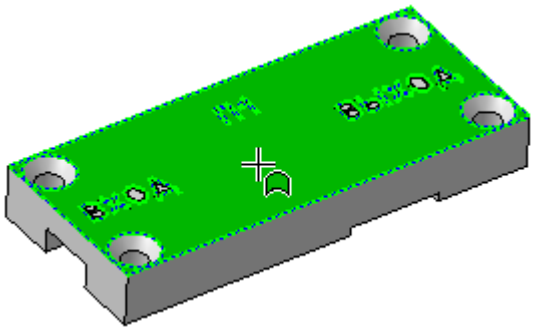


Рис. 20.1

Сохранить полученную ориентацию 3D-модели, добавив новый вид с помощью команды **Вид ⇒ Ориентация** и присвоив ему имя (например, **Главный**).

После этого сохранить изменения в 3D-модели (**Ctrl+S**).

3. По информации из 7.1 создать новый чертеж и задать следующие настройки листа:

– формат – **А3**;

– ориентация – **горизонтальная**;

– оформление – **Чертеж констр. Первый лист. ГОСТ 2.104-2006**.

4. Сохранить чертеж командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.cdw». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.03 - Экран - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1** (см. рис. 2.7).

5. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5).

6. Запустить команду **Стандартные виды** (см. рис. 7.6) и выбрать 3D-модель «экрана».

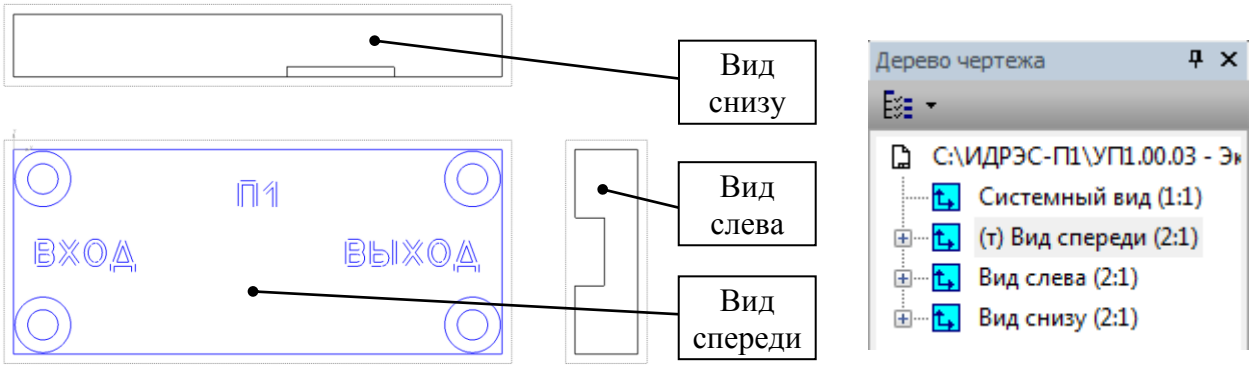
В **Панели свойств** на вкладке **Параметры** выполнить следующее:

– в поле **Ориентация главного вида** выбрать **Главный** (задан в п. 2);

– в поле **Масштаб вида** выбрать масштаб **2:1**;

– в поле **Схема видов** указать **вид снизу**, **вид спереди** и **вид слева** (расположение видов см. на рис. 7.3). Следует отметить, что для «экранов» с угловой формой и расположением выхода изделия в верхней части ПП необходимо вместо вида снизу указать **вид сверху**.

Результат в варианте «П1» с обозначением видов показан на рис. 20.2, *а*.



а *б*

Рис. 20.2

7. В **Дереве чертежа** изменить названия видов в соответствии с обозначениями на рис. 20.2, *а* и уточнением из п. 6 (см. п. 7 из 17.2).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.2, *б*.

8. Заполнить графы рамки в соответствии с табл. 20.1. Содержание остальных граф должно соответствовать данным табл. 17.1.

Пояснения к заполнению приведены в п. 8 из 17.2.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1 и на рис. 3.6.

Таблица 20.1

Содержание граф рамки для чертежа «экрана», отличающихся от чертежа ПП

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Экран	Наименование изделия определено в табл. 2.1 и записывается автоматически, так как было задано в свойствах 3D-модели. Параметры шрифта в **Панели свойств** на вкладке **Формат**: высота символов – **7**, шаг строк – **11**
2	УП1.00.03	Обозначение документа определено в табл. 2.1, указано для варианта «П1» и записывается автоматически, так как было задано в свойствах 3D-модели. Данные этой графы повторяются на каждом новом листе
3	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	Автоматически добавленное название материала (было задано в свойствах 3D-модели) корректируется вручную. Параметры шрифта в **Панели свойств** на вкладке **Формат**: высота символов – **5**, шаг строк – **8**

Окончание таблицы 20.1

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
5	7,7 г	Заполняется автоматически при выборе в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле **Единицы измерения массы** опции **граммы**, а в поле **Точность представления** значения **1** (**0** – при отсутствии десятых долей)
6	2:1	Заполняется автоматически в соответствии с масштабом главного вида
25	УП1.00.01	Обозначение спецификации, в которой записан КД, определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»
26	УП1.00.03	Заполняется автоматически и полностью соответствует содержанию графы 2. Данные этой графы повторяются на каждом новом листе

9. Запустить режим редактирования основной надписи и в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** отжать пиктограмму **Синхронизация данных** (см. рис. 7.7), тем самым отключив передачу данных между 3D-моделью и основной надписью чертежа.

10. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

11. Сделать текущим **Вид спереди** и выполнить следующие действия по замене контуров надписей текстом:

– скрыть объекты, относящиеся к надписям, путем перемещения их на погашенный слой (см. п. 11 из 17.2);

– перейти на вкладку с 3D-моделью «экрана» (или открыть 3D-модель, если вкладка была закрыта), в **Дереве модели** найти эскиз, на котором располагаются надписи и войти в режим его редактирования (рис. 20.3);

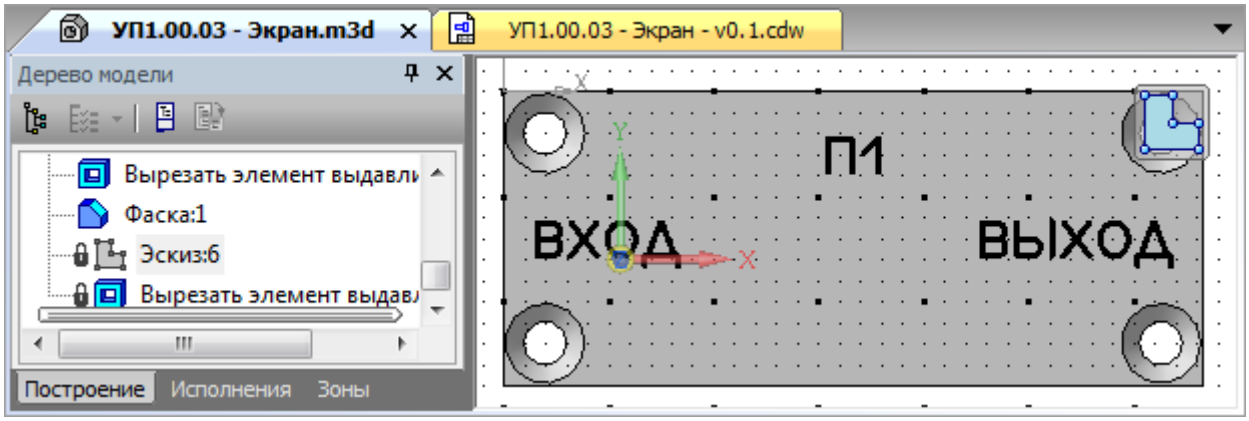


Рис. 20.3

– скопировать (**Ctrl+C**) все надписи, указав базовую точку в точке начала координат, и выйти из режима редактирования эскиза;

– закрыть вкладку с 3D-моделью «экрана» без сохранения изменений;

– вставить (**Ctrl+V**) надписи, указав базовую точку в точке начала координат;

– выделить вставленные надписи и изменить высоту их символов на **6** (корректировка с учетом масштаба вида);

– у каждой добавленной надписи командой **ПКМ ⇒ Очистить фон** отключить одноименную опцию.

12. Включить режим **Ортогональное черчение** клавишей **F8**.

13. Трех основных видов, размещенных на чертеже, не хватит для изготовления детали, так как нет информации о глубине и форме внутренней полости «экрана» и недостаточно информации о прорезях в боковых стенках. Поэтому необходимо добавить вид сзади и вертикальный разрез:

13.1. Вид сзади не будет находиться в непосредственной проекционной связи с главным видом (**Вид спереди**), поэтому направление проецирования должно быть указано стрелкой (см. п. 4.2 из Д.З).

Для создания вида сзади необходимо сначала сделать текущим тот вид, с которого задняя сторона детали будет видна. В вариантах задания для этого подходят **Вид снизу** (**Вид сверху**) и **Вид слева**.

В варианте «П1» текущим сделан **Вид слева**.

Затем запустить команду **Стрелка взгляда** (рис. 20.4) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** и выполнить следующие действия:

– в **Панели свойств** на вкладке **Знак** включить опцию **Автосортировка**;

– в рабочем поле ЛКМ указать начальную и конечную точки стрелки взгляда;



Рис. 20.4

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** отключить опцию **Проекционная связь** (следует отметить, что управление этой опцией также возможно после размещения вида в рабочем поле, для чего вид выбирается ЛКМ и запускается команда **ПКМ ⇒ Проекционная связь**);

– ЛКМ указать произвольное место на чертеже для размещения вида.

Результат выполнения команды в варианте «П1» показан на рис. 20.5.

13.2. В **Дереве чертежа** изменить название вида на **Вид сзади**.

13.3. При необходимости передвинуть виды в рабочем поле.

13.4. Для создания вертикального разреза сделать текущим **Вид спереди**, запустить команду **Линия разреза** (см. рис. 20.4) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** и выполнить следующие действия:

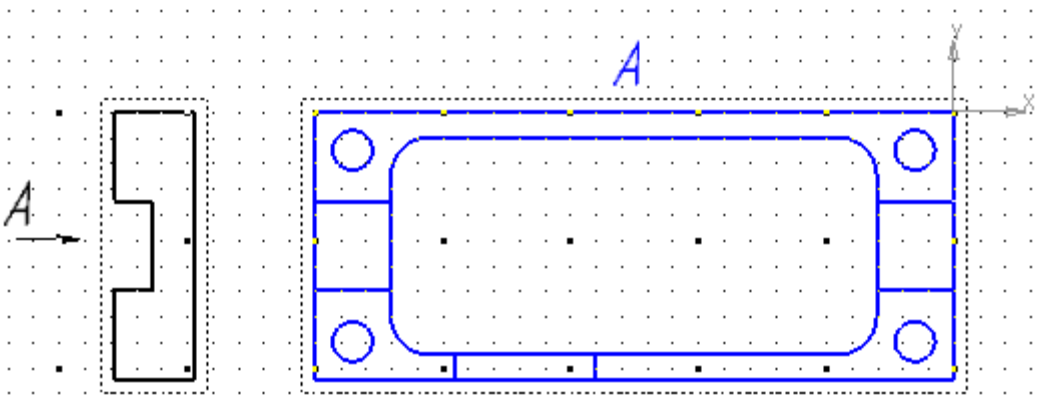


Рис. 20.5

– в **Панели свойств** на вкладке **Знак** включить опцию **Автосортировка**;

– указать начальную и конечную точки разреза, а затем выбрать направление взгляда, тем самым зафиксировав линию разреза.

Для создания сложного разреза (см. п. 5.2 из Д.3) после указания его начальной точки на **Панели свойств** нажать пиктограмму **Сложный разрез** и указать в рабочем поле ЛКМ точки изгиба линии разреза, после чего отключить указанную пиктограмму и указать направление взгляда;

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** отключить опцию **Проекционная связь**;

– ЛКМ указать произвольное место на чертеже для размещения вида.

Результат выполнения команды в варианте «П1» показан на рис. 20.6.

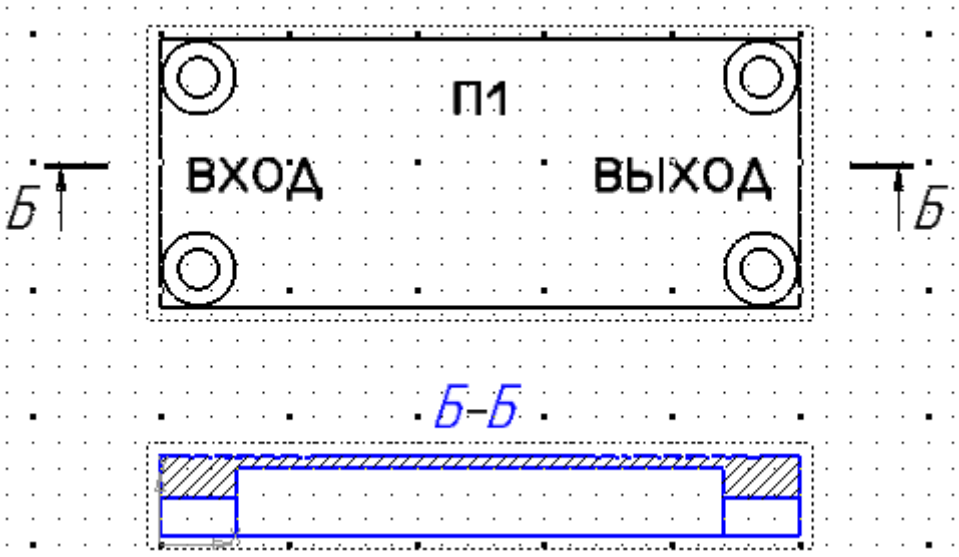


Рис. 20.6

13.5. Если изображения не помещаются на одном листе, то по 7.1 добавить второй лист (**горизонтальный А3** или **вертикальный А4**) с оформлением **Чертеж констр. Посл. листы. ГОСТ 2.104-2006**.

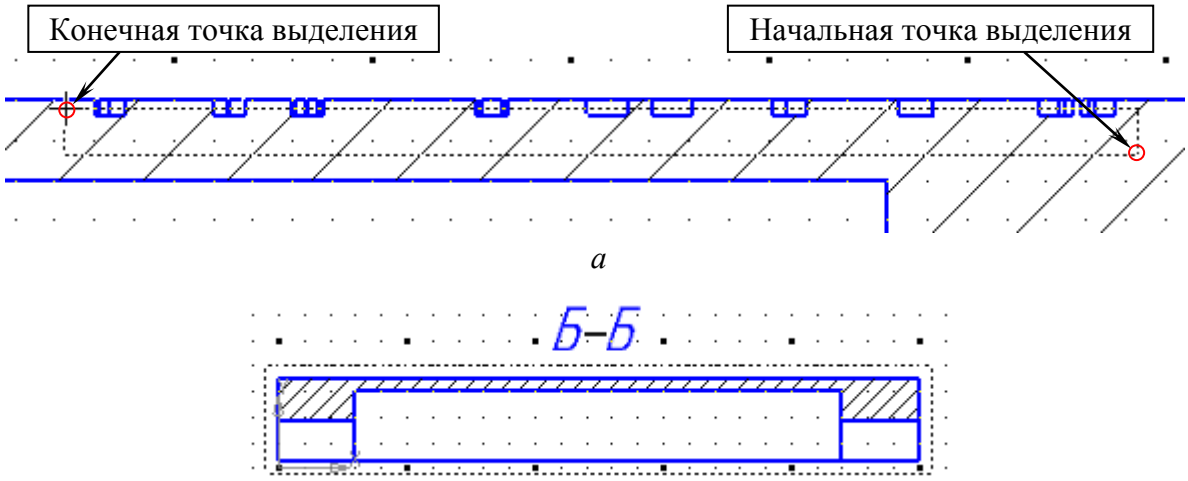
13.6. При необходимости передвинуть виды в рабочем поле.

13.7. На разрезе скрыть объекты, относящиеся к выдавленным в 3D-модели надписям. Для этого выполнить следующее:

– сделать текущим разрез;

– добавить вспомогательный погашенный слой (см. п. 11 из 17.2);

– массовым выделением мышкой с нижнего правого угла в верхний левый угол выделить штриховку и все объекты, относящиеся к выдавленным в 3D-модели надписям (пример выделения показан на рис. 20.7, *а*);



а

б

Рис. 20.7

– перенести выделенные объекты на погашенный вспомогательный слой (см. п. 11 из 17.2).

13.8. Командой **Штриховка** (см. рис. 7.19) из группы «Заливка» на ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия** добавить на место скрытой штриховки новую со стилем **Металл** и шагом **2**.

Результат создания разреза в варианте «П1» показан на рис. 20.7, *б*.

Примечание. Стиль штриховки на ассоциативных разрезах можно поменять командой ПКМ ⇒ Изменить стиль.

14. Нажать пиктограмму **Параметрический режим** (см. рис. 6.8) на ПИ **Текущее состояние**.

15. Сделать текущим **Вид спереди** и командой **Обозначение центра** (см. рис. 17.5) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** обозначить центры всех отверстий.

Затем сделать текущим **Вид сзади** и проделать аналогичные действия.

16. Отключить режим **Ортогональное черчение** клавишей **F8**.

Затем сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и выполнить проверку по п. 12 из 6.5.

17. В соответствии с информацией из прил. Д нанести размеры и предельные отклонения, указать допуски формы и расположения поверхностей, а также их шероховатость:

17.1. Сделать текущим **Вид спереди** и командой **Линейный размер** или **Авторазмер** (см. рис. 7.21) показать положение надписей с предельными отклонениями по 16–17-му квалитету.

При простановке размеров здесь и далее обратить внимание на следующее:

– добавленные размеры должны удовлетворять требованиям из Д.5;

– для выравнивания размеров служит команда, указанная в п. 17 из 17.2;

– способы указания предельных отклонений описаны в п. 19 из 17.2;

– иногда информацию о положении надписей указывают в ТТ чертежа, например: «Надпись X расположить симметрично ближайшим стенкам»;

– виды в рабочем поле при необходимости можно перемещать;

– если требуется сдвинуть штрих линии разреза, то после начала его перемещения зажать клавишу **Shift**. После этого потребуется перестроить чертеж командой **Вид ⇒ Перестроить** (или клавишей **F5**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.8.

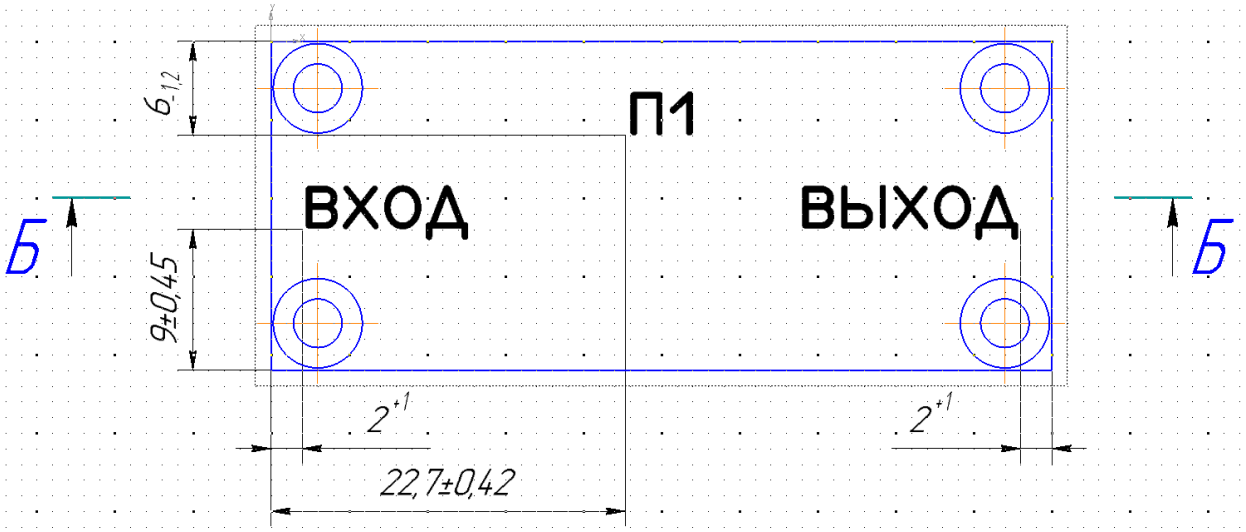
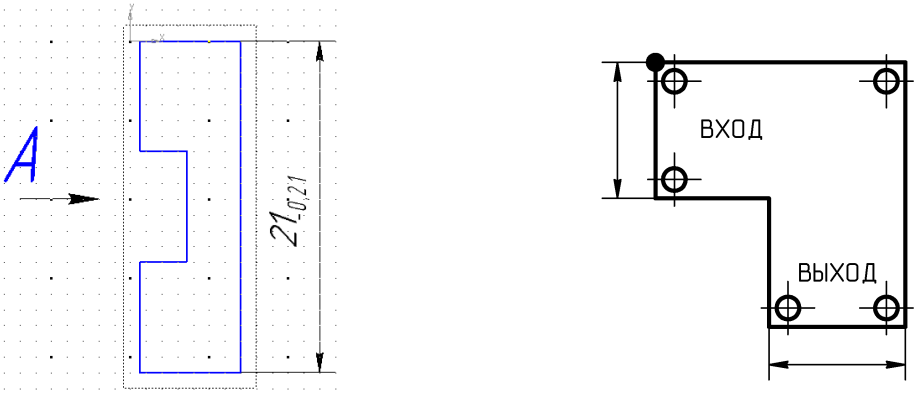


Рис. 20.8

17.2. Показать ширину «экрана» и задать предельные отклонения по 12-му квалитету для вала (поле допуска – h12).

В вариантах задания с прямым «экраном» показать размер на **Виде слева**, предварительно сделав его текущим (рис. 20.9, *а*).

В вариантах задания с угловым «экраном» добавить два размера в соответствии с рис. 20.9, *б*, предварительно сделав текущим **Вид спереди**.



а *б*

Рис. 20.9

17.3. Показать толщину «экрана» на любом пригодном для этого виде, предварительно сделав его текущим (в варианте «П1» выбран **Вид слева**).

Задать предельные отклонения размеру, для чего выполнить следующее:

17.3.1. С учетом того что допуск по толщине ПП составляет ±10 % (см. Б.5), определить максимальную толщину ПП под «экраном» ($h_{\text{ППЭ max}}$) для неокругленного значения $h_{\text{ППЭ}}$, вычисленного по (13.1), и округлить полученный результат до ближайших сотых долей миллиметра.

В варианте «П1»:

$$h_{\text{ППЭ max}} = h_{\text{ППЭ}} \cdot 1{,}1 = 0{,}5848 \cdot 1{,}1 \approx 0{,}64 \text{ мм}.$$

В варианте «П1» расчеты и записи для чертежей «экрана» и «основания» сохранялись в созданном при разработке 3D-модели «экрана» файле **Расчеты (детали).xmcd** из папки **…\ИДРЭС-П1_Заметки** (см. рис. 2.7).

17.3.2. Определить разницу между толщиной «модуля усилителя» в области размещения «экрана», заданной по общему заданию на проектирование, и его толщиной при максимальной толщине ПП по формуле:

$$\Delta h = h_{\text{муэ}} - h_{\text{осн}} - h_{\text{э}} - h_{\text{ППЭ max}}.$$

В варианте «П1»:

$$\Delta h = 10 - 3 - 6{,}4 - 0{,}64 = -0{,}04 \text{ мм}.$$

Получается, что для гарантированного выполнения требования общего задания на проектирование верхнее предельное отклонение толщины «экрана» должно быть основным отклонением для вала, т. е. находиться ниже нулевой линии как минимум на модуль вычисленного значения (см. рис. Д.19).

17.3.3. По рис. Д.20 для 11-го квалитета выбрать подходящее поле допуска и указать его в размере (в варианте «П1» выбрано поле допуска d11).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.10.

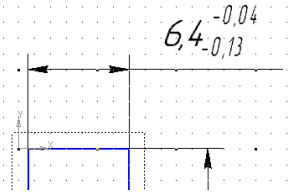
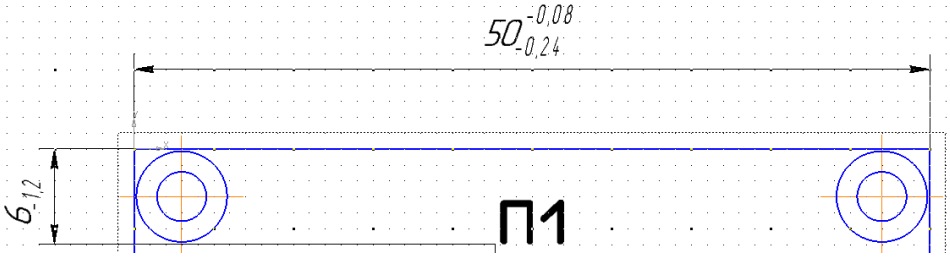


Рис. 20.10

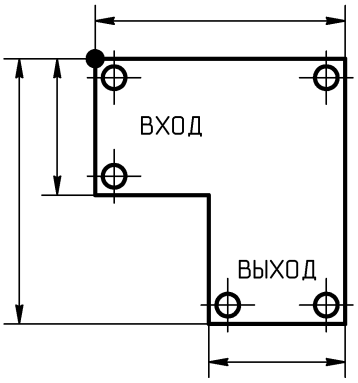
17.4. Показать длину «экрана» с полем допуска d11 на **Виде спереди**, предварительно сделав его текущим.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.11, *а*.

В вариантах задания с угловым «экраном» добавить два размера в соответствии с рис. 20.11, *б*.



а



б

Рис. 20.11

Примечание. В варианте «П1» поле допуска d11 обеспечивает рекомендуемую по старой редакции ГОСТ 25347 [91] посадку с зазором в системе отверстия H11/d11. Здесь в числителе – поле допуска для отверстия (в варианте «П1» – расстояние между боковыми стенками в «основании»), а в знаменателе – поле допуска для вала (в варианте «П1» – длина «экрана»).

Любая операция сборки деталей заключается в том, чтобы их соединить (или «посадить» одну деталь на другую). Поэтому под посадкой понимается степень подвижности собранных деталей.

Различают следующие виды посадок:

– посадки с зазором. При такой посадке одна деталь свободно входит в другую. Зазором называется разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала;

– посадки с натягом. При такой посадке для соединения деталей необходимо применить усилие. Натягом называется разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия;

– переходные посадки. При такой посадке до сборки вала и отверстия нельзя точно сказать, что будет в соединении – зазор или натяг (диаметр отверстия может быть меньше, больше или равен диаметру вала).

Указанная посадка H11/d11 относится к посадке низкой точности, которая предназначена для подвижных соединений, не требующих точности перемещения, и для неподвижных грубоцентрированных соединений. В грубых квалитетах (11 и 12) – это предпочтительная посадка с минимальным гарантированным зазором, необходимым для компенсации отклонений расположения сопрягаемых поверхностей, защитных покрытий, наносимых на поверхности, или обеспечения подвижности соединения в условиях запыления и загрязнения и т. п.

Для размера 50 мм: $50\text{H11}^{(+0,16)} / \text{d11}_{(-0,24)}^{(-0,08)}$.

17.5. Показать размеры и положения внутренней полости «экрана» и всех прорезей в его стенках, обратив внимание на следующее:

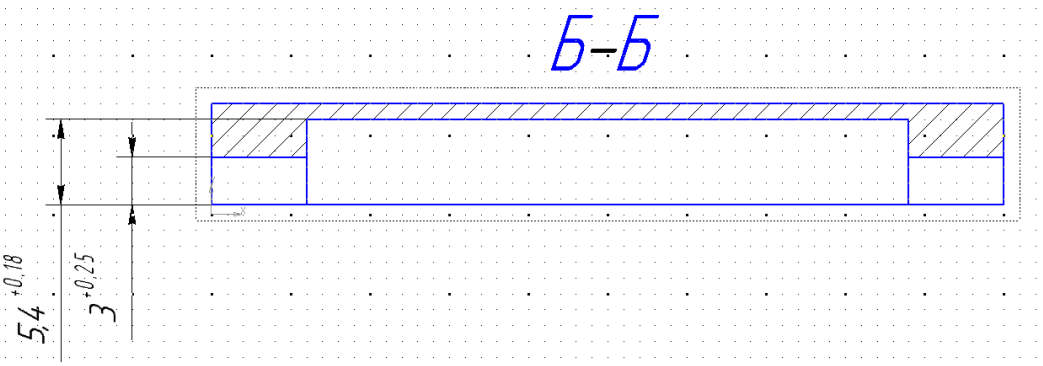
– вид, на котором проставляются размеры, должен быть текущим;

– при наличии протяженных участков «экрана» на **разрезе** и **Виде сзади** можно использовать разрывы (см. п. 25.5 из 17.2 и п. 5 из Д.4);

– предельные отклонения должны быть заданы по 13–14-му квалитету так, чтобы указанные размеры были не меньше, чем в 3D-модели;

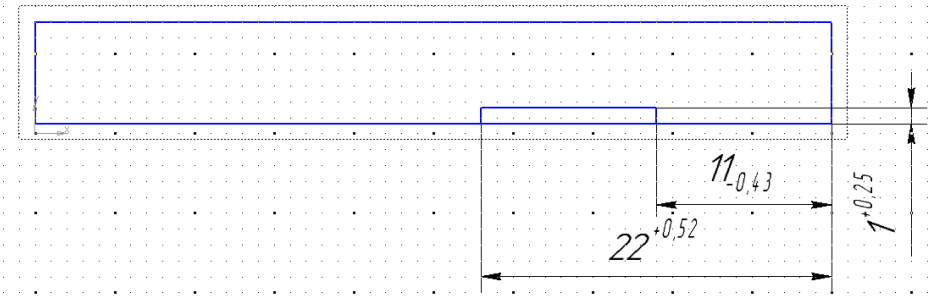
– в варианте «П1» размеры добавлены на **разрезе** (рис. 20.12, *а*), на **Виде снизу** (рис. 20.12, *б*) и на **Виде сзади** (рис. 20.12, *в*). Дополнительно были указаны габариты внутренней полости в виде справочных размеров, т. к. вместе с шириной и длиной «экрана», проставленными ранее, они образуют замкнутую размерную цепь (см. п. 2 из Д.5);

– для вариантов задания с угловым «экраном» общая схема простановки размеров показана на рис. 20.12, *г*.

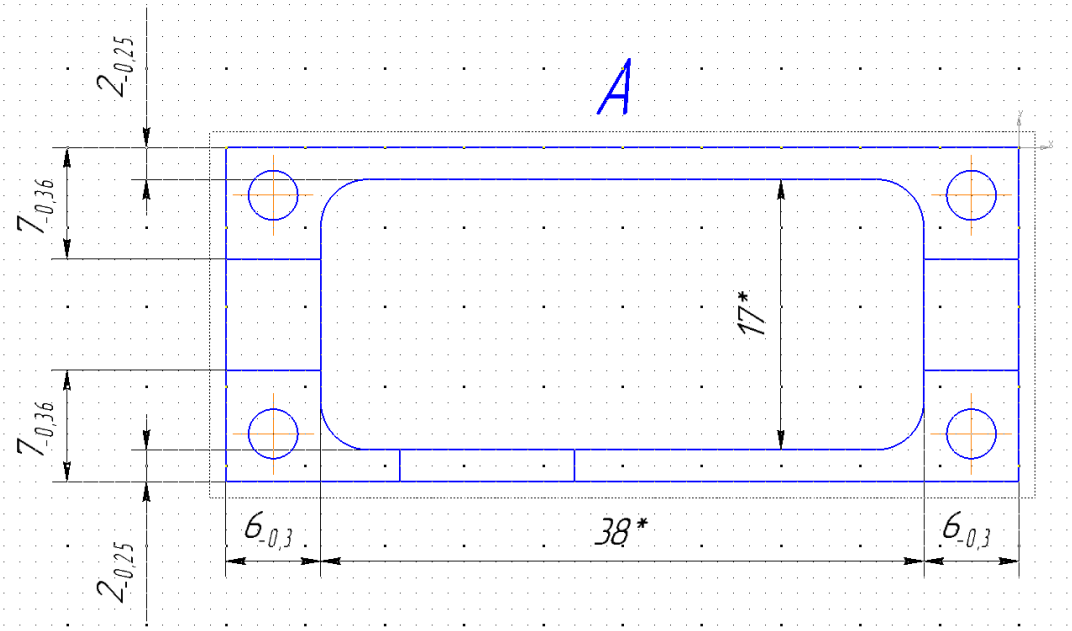


а

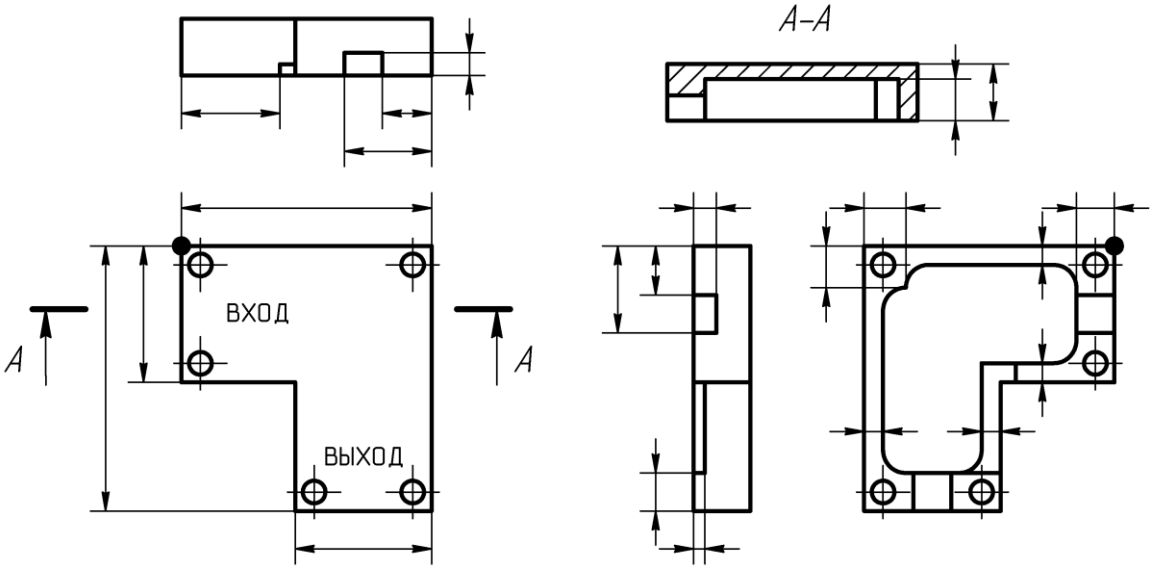
Рис. 20.12 Начало (окончание см. на с. 554)



б



в



г

Рис. 20.12 Окончание (начало см. на с. 553)

17.6. Сделать текущим **Вид сзади**, после чего командой **Авторазмер** или **Радиальный размер** из ПИ **Компактная панель ⇒ Размеры** (см. рис. 7.21) в соответствии с п. 22 из Д.5 обозначить радиусы скруглений внутренней по-

лости с предельным отклонением по 17-му квалитету. Количество радиусов ввести в поле **Текст под** в окне **Задание размерной надписи** (см. рис. 17.10).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.13.

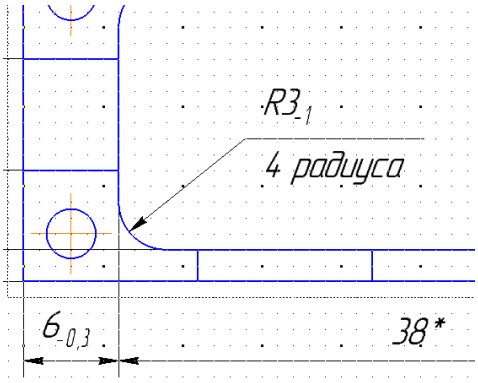


Рис. 20.13

17.7. Отверстия в «экране» имеют сложную форму. Для их обозначения можно добавить дополнительный местный разрез, на котором показать все размеры (см. рис. 14.11), а можно воспользоваться правилами упрощенного нанесения размеров отверстий по ГОСТ 2.318–81 [93], что и будет сделано далее.

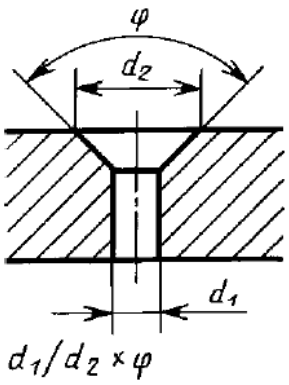


Рис. 20.14 [93]

Для созданного в п. 32 из разд. 14 отверстия структура упрощенного обозначения приведена на рис. 20.14, где d_1 – диаметр основного отверстия; d_2 – диаметр зенковки; φ – центральный угол зенковки.

Упрощенное обозначение отверстий указать с использованием линии-выноски:

– сделать текущим **Вид спереди**;

– запустить команду **Линия-выноска** из группы «Знак маркировки» на ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (см. рис. 7.26 и 17.22);

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле **Стрелка** выбрать опцию **Без стрелки**;

– указать ЛКМ на чертеже точку в центре любого удобного для размещения линии-выноски отверстия (сработает привязка **Ближайшая точка**), а затем точку, где будет находиться полка добавляемой линии-выноски (предупреждение о том, что ассоциирование не произведено, проигнорировать);

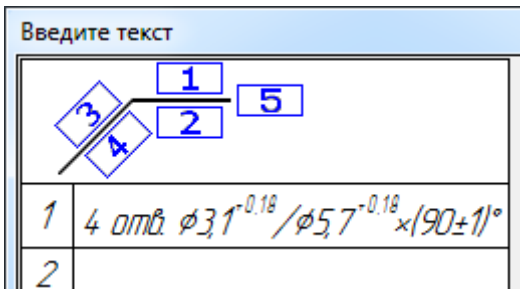


Рис. 20.15

– в **Панели свойств** на вкладке **Знак** щелкнуть ЛКМ в поле **Текст** и в открывшемся окне в первой строке ввести упрощенное обозначение отверстий с указанием их количества (рис. 20.15).

Знаки диаметр, умножить, плюс-минус и градус добавляются в соответствии с указанием п. 29.2 из 17.2.

Поле допуска диаметров – H13 (числовые значения см. в табл. Д.1). Для добавления надстрочных символов в **Панели свойств** на вкладке **Вставка** нажать пиктограмму **Вставить индекс (средней высоты)**.

После этого закрыть окно кнопкой **OK**;

– нажать пиктограмму **Создать объект**, а следом – **Прервать команду**;

– при необходимости отредактировать положение линии-выноски, размеров и видов;

– при случайном добавлении лишних ответвлений удалить их в соответствии с информацией п. 24 из 7.3.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.16.

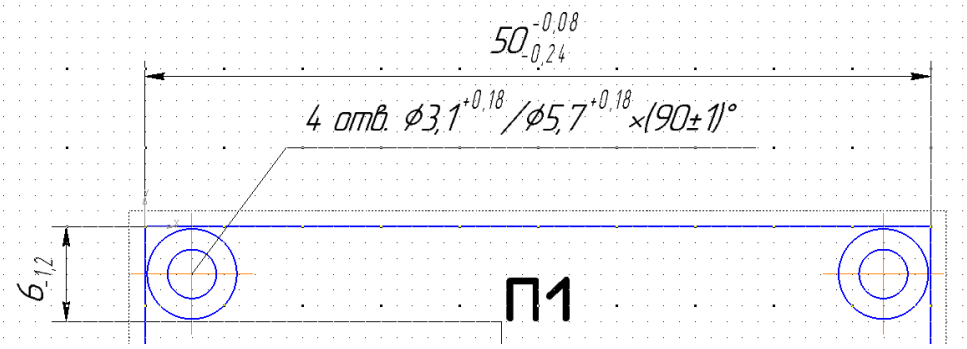


Рис. 20.16

17.8. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

17.9. По материалам Д.7 рассчитать позиционные допуски расположения осей отверстий для крепежных изделий.

На рис. 20.17 схематично показан разрез в области расположения отверстия для соединения ПП, «экрана» и «основания» винтом М2,5.

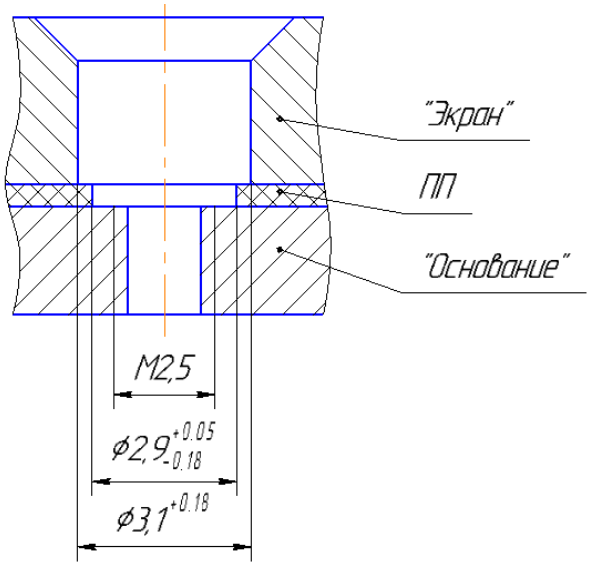


Рис. 20.17

Сначала необходимо произвести расчет позиционного допуска для соединяемых деталей с меньшими диаметрами отверстий, т. е. для ПП и «основания». Данное соединение – соединение типа В (см. рис. Д.38, *б*).

Если на чертеже нет особых указаний, то по ОСТ4 ГО.070.014 резьба выполняется с полем допуска 6g (для наружной резьбы) и 6H (для внутренней резьбы). Для резьбы М2,5 числовые значения указанных полей допусков следующие:

– для 6g – от минус 0,002 до минус 0,008 мм;

– для 6H – от 0 до 0,006 мм.

Позиционный допуск отверстий в ПП для 4-го класса точности составляет $T_{\text{пп}} = 0{,}05$ мм (см. табл. Б.1), поэтому позиционный допуск оси отверстия в «основании» ($T_{\text{осн}}$) по (Д.2) и (Д.3):

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 2{,}8 - 2{,}498 \approx 0{,}3 \text{ мм}; \qquad (20.1)$$

$$T_{\text{осн}} = K \cdot S_{\min} - T_{\text{пп}} = 1 \cdot 0{,}3 - 0{,}05 = 0{,}25 \text{ мм}.$$

Для увеличения позиционного допуска значение $D_{\min}$ в (20.1) выбрано 2,8 мм (а не 2,72 мм по табл. Г.10) из-за следующих предположений:

– вероятность получения отверстия диаметром 2,72 мм мала, так как на производстве обычно корректируют диаметр сверла под металлизированные отверстия;

– можно закрепить винт с небольшим натягом в отверстии ПП.

На рис. 20.18 показана наихудшая ситуация расположения отверстий в ПП и «основании» при минимальном диаметре отверстий и максимальном удалении их осей друг от друга для $T_{\text{пп}} = 0{,}05$ мм и $T_{\text{осн}} = 0{,}25$ мм. Как видно, соединение осуществимо.

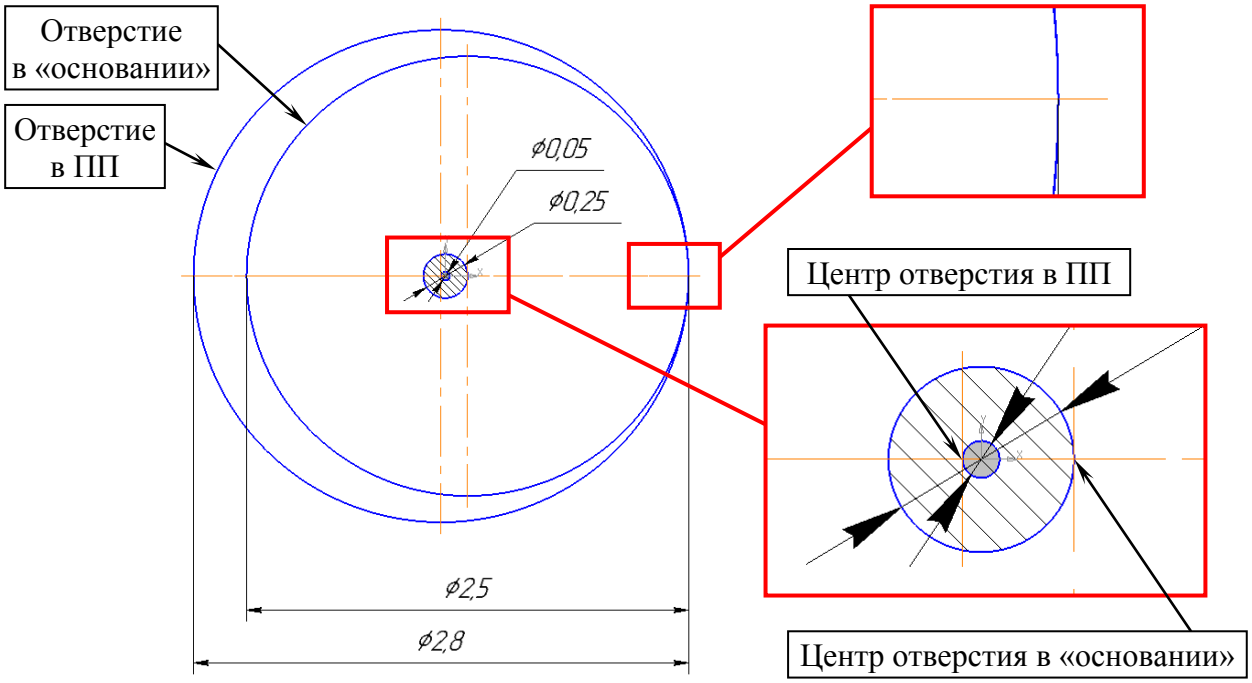


Рис. 20.18

Позиционный допуск $T_{\text{осн}}$ учитывает значение $T_{\text{пп}}$, поэтому для расчета позиционного допуска оси отверстия в «экране» ($T_{\text{экр}}$) также необходимо воспользоваться (Д.2) и (Д.3) для соединения типа B:

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 3{,}1 - 2{,}5 = 0{,}6 \text{ мм;} \quad (20.2)$$

$$T_{\text{экр}} = K \cdot S_{\min} - T_{\text{осн}} = 1 \cdot 0{,}6 - 0{,}25 = 0{,}35 \text{ мм.} \quad (20.3)$$

В (20.2) и (20.3) отверстием является отверстие в «экране», а крепежной деталью – винт М2,5 с позиционным допуском $T_{\text{осн}}$.

На рис. 20.19 показана наихудшая ситуация расположения отверстий в «экране» и «основании» при минимальных диаметрах отверстий и максимальном удалении их осей друг от друга для $T_{\text{экр}} = 0{,}35$ мм и $T_{\text{осн}} = 0{,}25$ мм. Как видно, соединение осуществимо.

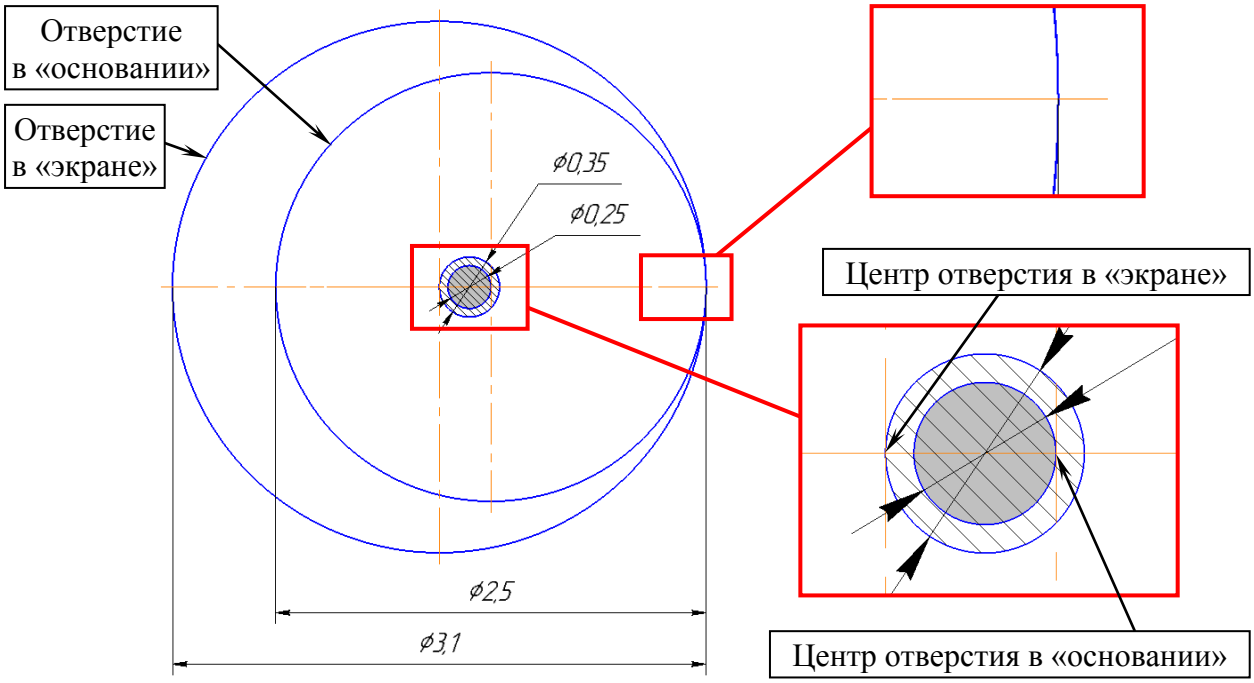


Рис. 20.19

Получившиеся значения позиционных допусков должны соответствовать ряду, приведенному в Д.7. Если это не так, то необходимо скорректировать их, выбрав ближайшее меньшее значение.

Таким образом, в варианте «П1»: $T_{\text{экр}} = 0{,}3$ мм, $T_{\text{осн}} = 0{,}25$ мм.

17.10. По примеру рис. Д.37 нанести размеры, определяющие номинальное расположение осей отверстий, ограниченное рассчитанным позиционным допуском. Допуск указать зависимым.

Для этого выполнить следующие действия:

17.10.1. Продумать на каких видах будут расположены следующие базовые поверхности (см. Д.7):

– установочной базой будет та поверхность, которой «экран» контактирует с ПП «усилителя»;

– направляющая и опорная базы – боковые поверхности, имеющие общую линию пересечения в том угле контура ПП, в котором в файле трассировки располагалась точка начала координат (см. рис. 12.25). При этом направляющая база – более протяженная из них.

17.10.2. Сделать текущим вид, на котором будет установлена база и запустить команду **База** из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (рис. 20.20).

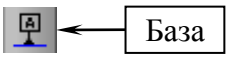


Рис. 20.20

В **Панели свойств** на вкладке **Знак** в поле **Тип** выбрать **Перпендикулярно к опорному элементу** и включить опцию **Автосортировка**.

Затем на чертеже указать поверхность (линия контура «экрана»), задать положение знака и указать конечную точку выноски.

В варианте «П1» установочная база (**В**) показана на **Виде снизу**, а направляющая (**Г**) и опорная (**Д**) базы – на **Виде спереди** (рис. 20.21).

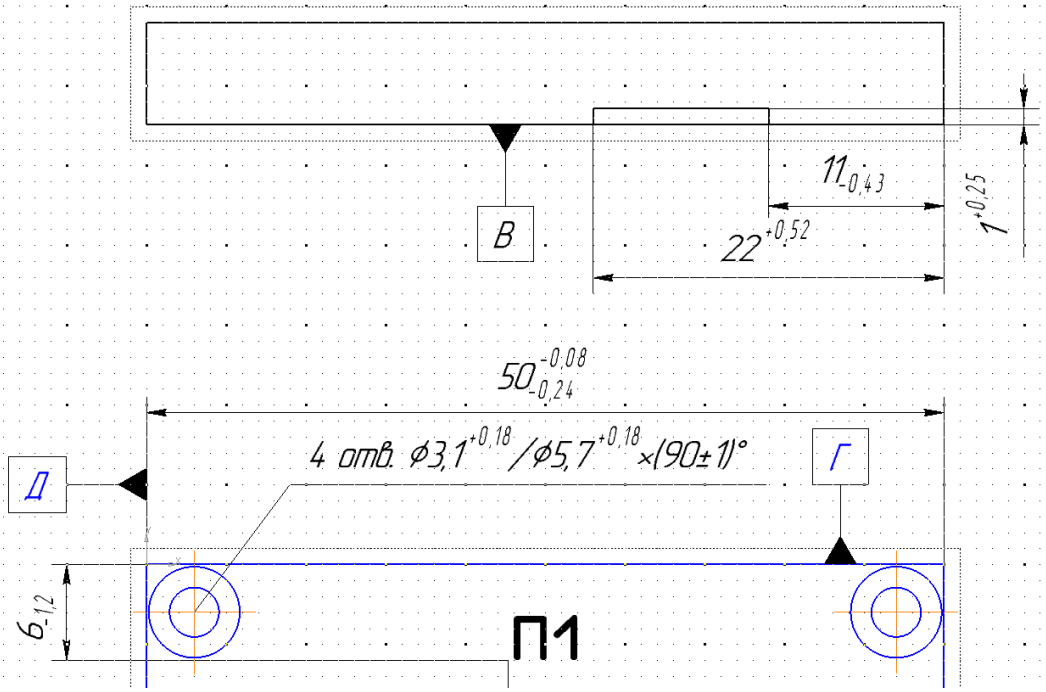


Рис. 20.21

17.10.3. Сделать текущим **Вид сзади** и цепочкой нанести размеры относительно угла, образованного направляющей и опорной базами.

Размерные числа поместить в рамку с помощью опции **Номинальный (в рамке)** в окне **Задание размерной надписи** (см. рис. 17.10) или с помощью опции **Размер в рамке** в свойствах размеров (см. рис. 17.9, *б*).

На этом же изображении командой **Осевая линия по двум точкам** (см. рис. 17.5) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** соединить центры крайних отверстий, находящихся на одной оси.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.22.

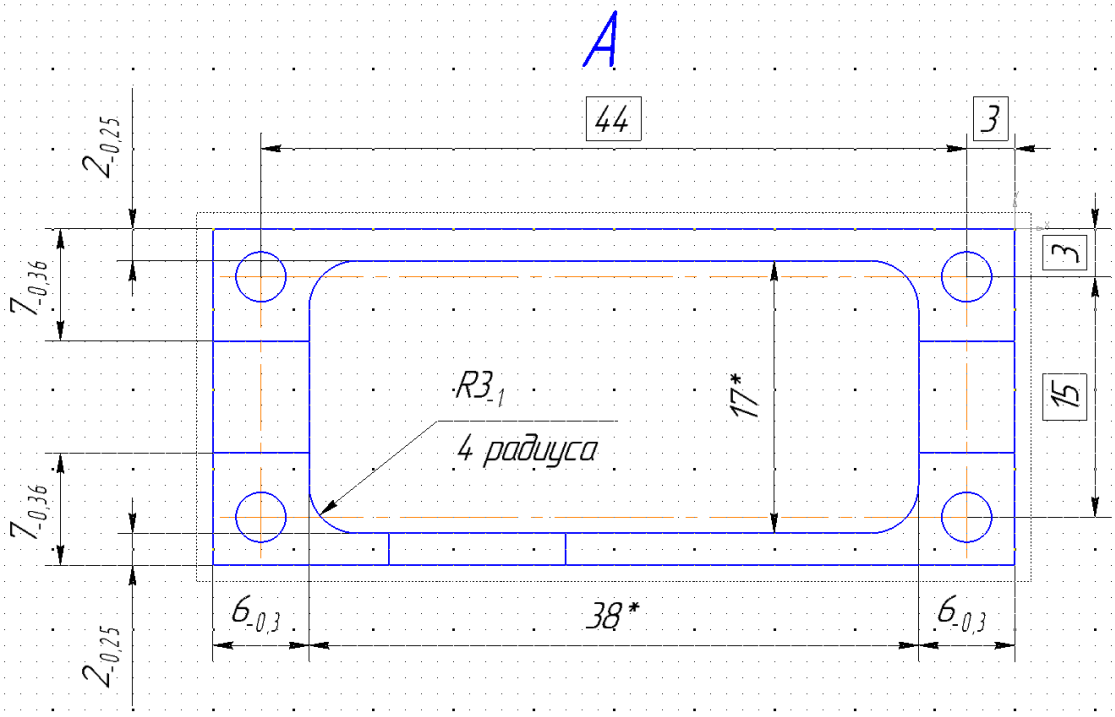


Рис. 20.22

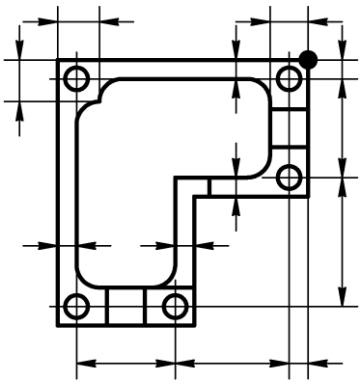


Рис. 20.23

В вариантах задания с угловым «экраном» схема простановки размеров показана на рис. 20.23.

17.10.4. Сделать текущим **Вид спереди**.

Добавить рамку с позиционным допуском, для чего запустить команду **Допуск формы** из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (рис. 20.24) и выполнить следующее:



Рис. 20.24

– в **Панели свойств** в поле **Базовая точка** указать точку привязки рамки **Слева вверху** и нажать ЛКМ в поле **Текст**;

– в появившемся окне **Введите текст** будет только одна ячейка. Добавить четыре ячейки справа от нее пиктограммой **Вставить столбец справа** в **Панели свойств** на вкладке **Таблица**;

– дважды щелкнуть ЛКМ в первой ячейке и в появившемся списке выбрать **Позиционный допуск**;

– дважды щелкнуть ЛКМ во второй ячейке и в появившемся списке выбрать вычисленное значение позиционного допуска $T_{экр}$. Перед ним вставить знак диаметра в соответствии с указанием п. 29.2 из 17.2, а после него таким

же образом – знак зависимого допуска (группа **Допуски формы и расположения поверхностей**);

– в каждой из последующих трех ячеек добавить ссылку на соответствующую базу в следующем порядке: установочная, направляющая и опорная. Для добавления ссылки выполнить команду **ПКМ ⇒ Вставить ссылку** и в появившемся окне **Ссылка** в поле **Тип источника** выбрать **Обозначение базы**, в поле **Ссылка на – Текст**, а в **Списке источников** – требуемую базу (при выделении базы в **Списке источников** она подсвечивается в рабочем поле чертежа);

– закрыть окно **Введите текст** (рис. 20.25) кнопкой **ОК**;

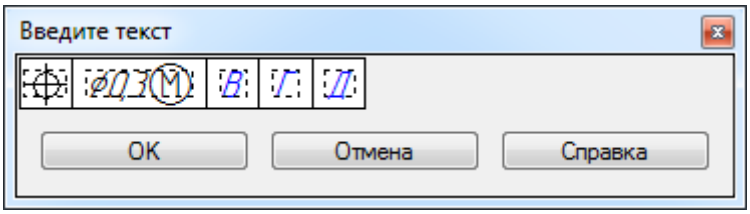


Рис. 20.25

– в рабочем поле щелкнуть ЛКМ на изгибе линии-выноски с обозначением отверстий сложной формы;

– нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Enter**, а следом – клавишу **Esc**;

– у добавленной рамки командой **ПКМ ⇒ Очистить фон** отключить одноименную опцию;

– при необходимости отредактировать положение рамки, линии-выноски, размеров и видов.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.26.

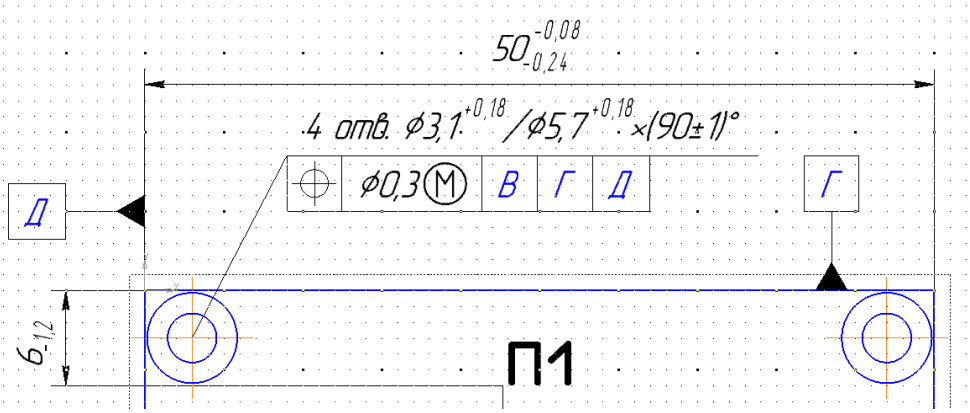


Рис. 20.26

17.11. Для поверхности «экрана», отмеченной как установочная база, задать более точный допуск плоскостности (см. Д.7), нежели тот, который может получиться по допуску размера из п. 17.3.

Для этого сделать текущим соответствующий вид, запустить команду **Допуск формы** (см. рис. 20.24) и выполнить следующее:

– в **Панели свойств** в поле **Базовая точка** указать точку привязки рамки (например, **Слева вверху**) и в поле **Таблица** нажать пиктограмму **Создание таблицы в полуавтоматическом режиме**;

– в открывшемся окне **Обозначение допуска** в группе **Знак** выбрать знак **допуска плоскостности** (см. рис. Д.27), а в группе **Числовое значение** ввести значение для 10-й степени точности по табл. Д.2 (или выбрать из предлагаемого списка, дважды щелкнув ЛКМ в этом поле);

– закрыть окно **Обозначение допуска** (рис. 20.27) кнопкой **OK**;

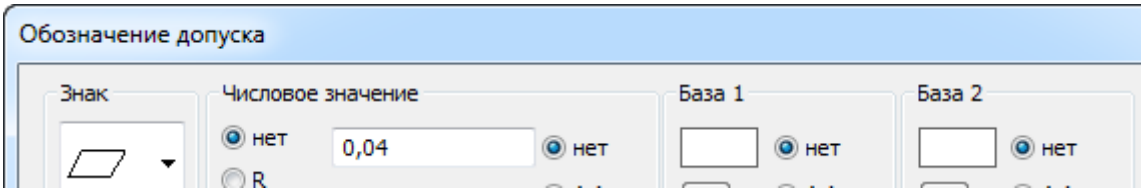


Рис. 20.27

– щелкнуть ЛКМ в рабочем поле для установки рамки;

– по рис. Д.22 выбрать один из вариантов ответвления от рамки;

– в **Панели свойств** нажать пиктограмму **Ответвление со стрелкой**;

– на чертеже указать ЛКМ точку начала стрелки на рамке, а затем с зажатой клавишей **Shift** – на нужной поверхности;

– нажать комбинацию клавиш **Ctrl+Enter**, а следом – клавишу **Esc**;

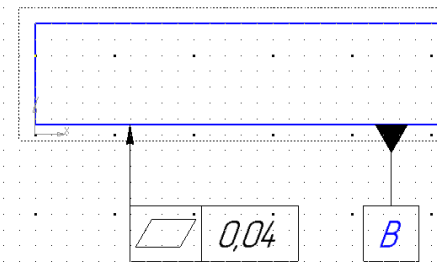


Рис. 20.28

– при случайном добавлении лишних ответвлений удалить их в соответствии с информацией п. 24 из 7.3.

Примечание. Для допуска формы база не указывается.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.28.

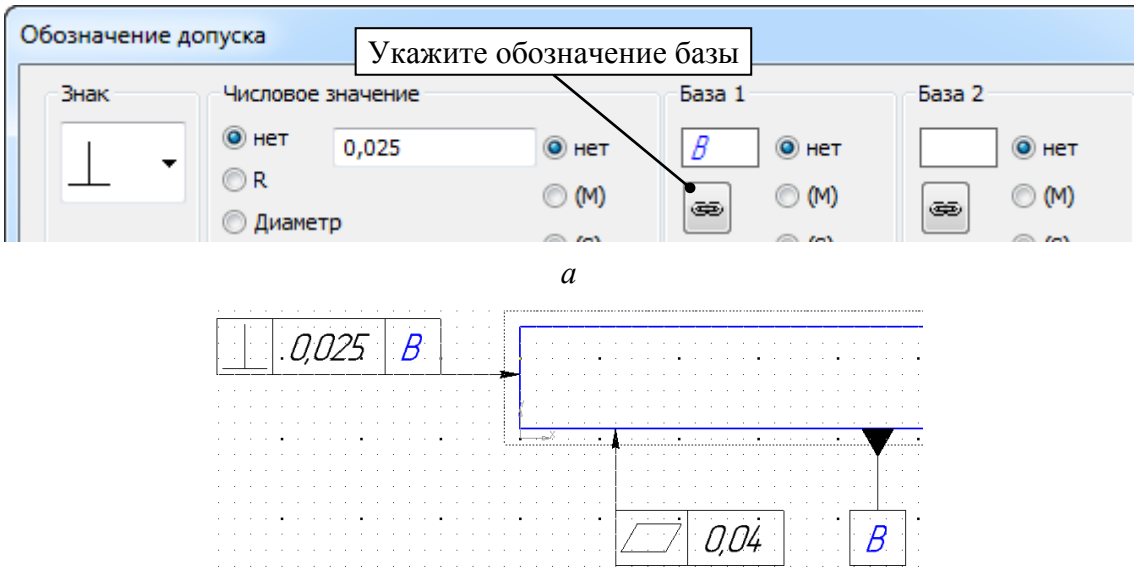
17.12. Для боковых поверхностей «экрана» со стороны входа и выхода изделия задать допуск перпендикулярности (см. Д.7) для 10-й степени точности по табл. Д.3 относительно установочной базы.

Допуск перпендикулярности добавить по п. 17.11 со следующими изменениями в окне **Обозначение допуска** (рис. 20.29, *а*):

– в группе **Знак** выбрать знак **допуска перпендикулярности**;

– в группе **База 1** нажать пиктограмму **Укажите обозначение базы** и в открывшемся окне **Ссылка** выбрать обозначение требуемой базы.

Результат установки допуска перпендикулярности для одной из поверхностей в варианте «П1» показан на рис. 20.29, *б*.



а

б

Рис. 20.29

17.13. Для поверхности «экрана», отмеченной как установочная база, добавить указание о шероховатости (см. Д.9).

Для этого сделать текущим соответствующий вид, запустить команду **Шероховатость** из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (рис. 20.30) и выполнить следующее:

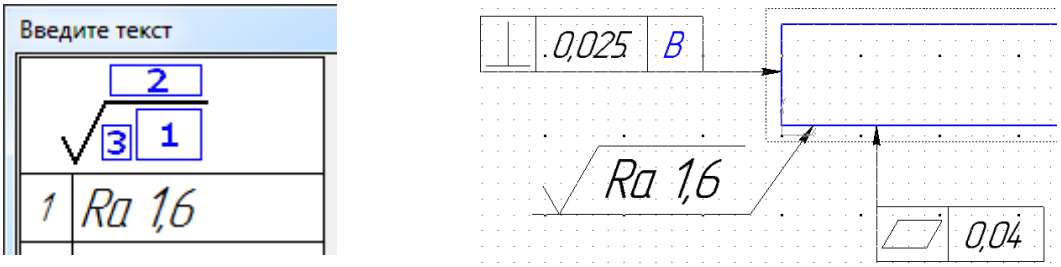


Рис. 20.30

– в **Панели свойств** на вкладке **Знак** в поле **Тип** нажать пиктограмму **Без указания вида обработки** (рис. Д.48, *а*), а затем щелкнуть ЛКМ по полю **Текст**;

– в появившемся окне **Введите текст** в первой строке ввести **Ra 1,6** (или выбрать из предлагаемого списка, дважды щелкнув ЛКМ в этом поле);

– закрыть окно **Введите текст** (рис. 20.31, *а*) кнопкой **OK**;



а *б*

Рис. 20.31

– в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле **Полка** выбрать опцию **Влево**;

– на чертеже указать нужную поверхность и отредактировать положение добавленного знака;

– нажать пиктограмму **Прервать команду**.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.31, *б*.

17.14. Указать общую шероховатость (см. пп. 8 и 9 из Д.9).

Для этого запустить команду **Вставка ⇒ Неуказанная шероховатость ⇒ Ввод** и в открывшемся окне выполнить следующее:

– в группе **Тип знака** выбрать левый вариант (рис. Д.48, *а*);

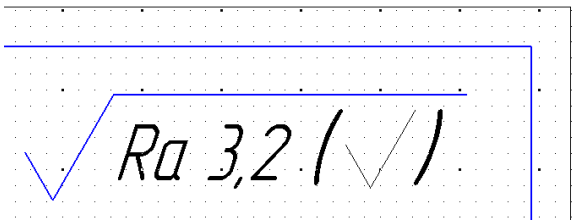


Рис. 20.32

– включить опцию **Добавить знак в скобках**;

– в поле **Текст** ввести **Ra 3,2** (или выбрать из предлагаемого списка, дважды щелкнув ЛКМ в этом поле).

Результат показан на рис. 20.32.

18. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**).

19. Добавить ТТ, для чего выполнить следующие действия:

19.1. Войти в режим редактирования ТТ.

19.2. По п. 25.2 из 17.2 задать необходимые настройки.

19.3. Ввести текст следующего вида:

*1 * Размеры для справок.*

2 Надписи гравировать. Покрытие гравировки - эмаль ПФ-115 черная ГОСТ 6465-76 (или аналог). Шрифт: 3 - Пр3 ГОСТ 26.008-85.

Допускается гравировка лазером.

3 Царапины и следы разметки на поверхности Х не допускаются.

4 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.014.

При копировании обратить внимание на примечание к п. 25.3 из 17.2.

19.4. Сохранить ТТ (**Ctrl+S**) и выйти из режима их редактирования.

19.5. Убедиться в том, что расстояние между нижней строкой ТТ и рамкой основной надписи не менее 10 мм.

При необходимости изменить положение ТТ по п. 25.5 из 17.2.

19.6. Комментарии к отдельным пунктам ТТ из п. 19.3:

– эмаль ПФ-115 выбрана по ОСТ1 90210–85. Она обладает механической прочностью, хорошей адгезией к маркируемой поверхности, стойкостью во всеклиматических условиях эксплуатации, выдерживает циклическое воздействие температур от минус 60 до +150 °С (черного цвета). Предназначена для заполнения гравировки и нанесения пером или рейсфедером;

– параметры шрифта для гравировки были описаны в пп. 9 и 12 из 16.1;

– царапины и следы разметки могут остаться в результате позиционирования надписей при ручной гравировке.

20. Показать на чертеже поверхность, условно обозначенную в ТТ буквой **X**, и изменить ее обозначение.

Для этого выполнить следующее:

20.1. Сделать текущим требуемый вид.

20.2. Запустить команду **Линия-выноска** (см. рис. 7.26) и в **Панели свойств** проделать следующее:

– на вкладке **Знак** включить опцию **Автосортировка**;

– на вкладке **Знак** щелкнуть ЛКМ в поле **Текст** и в открывшемся окне **Введите текст** для буквы в первой строке установить высоту **7**;

– на вкладке **Параметры** в поле **Стрелка** выбрать опцию **Стрелка** или **Вспомогательная точка** (см. п. 5 из Д.8).

20.3. Добавить линию-выноску в рабочее поле (рис. 20.33).

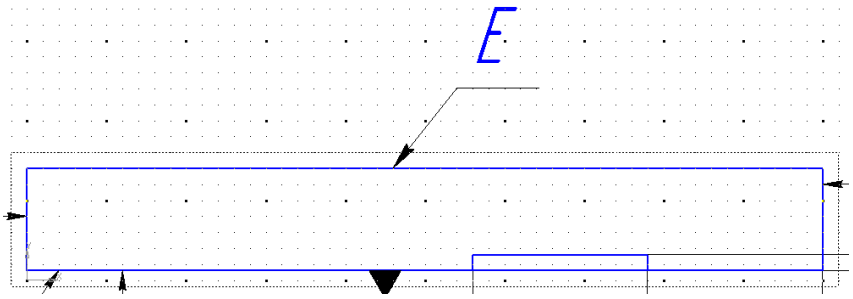


Рис. 20.33

При случайном добавлении лишних ответвлений удалить их в соответствии с информацией п. 24 из 7.3.

20.4. Войти в режим редактирования ТТ.

20.5. В пункте № 3 из ТТ удалить букву **X** и на ее место командой **ПКМ ⇒ Вставить ссылку** добавить букву, автоматически записанную на линии-выноске.

20.6. Сохранить ТТ (**Ctrl+S**) и выйти из режима их редактирования.

21. Отжать пиктограмму **Параметрический режим** (см. рис. 6.8) на ПИ **Текущее состояние**.

22. Если в чертеже есть второй лист, то в соответствии с п. 16 из Д.8 отредактировать надписи перенесенных на него изображений, а также соответствующие надписи на изображениях, с которых они были получены.

Для этого запустить на надписи команду **ПКМ ⇒ Редактировать** и в **Панели свойств** включить опцию **Лист** (вкладка **Надпись вида** или **Знак**).

Возможный результат при расположении **Вида сзади** на втором листе показан на рис. 20.34.

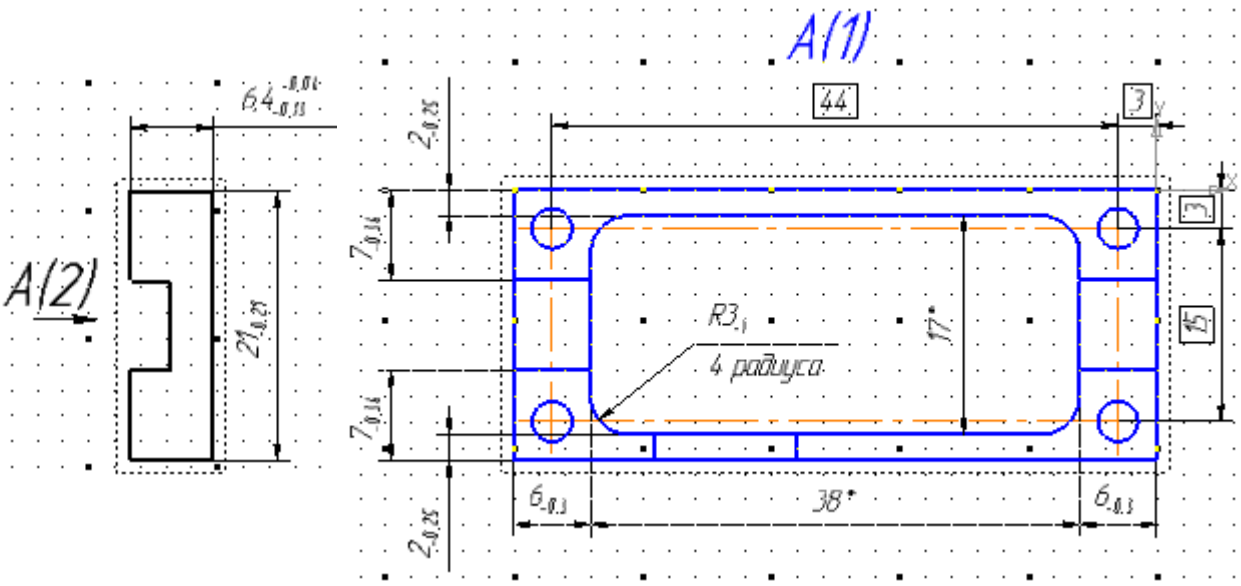


Рис. 20.34

23. Если вид с непосредственной проекционной связью не позволяет произвести желаемую компоновку изображений (есть потребность в его перемещении), то этот вид можно преобразовать в вид по стрелке.

На примере **Вида слева** выполняется следующее:

– делается текущим **Вид спереди**;

– запускается команда **Стрелка взгляда** (рис. 20.4) и в **Панели свойств** на вкладке **Знак** включается опция **Автосортировка**. Затем в рабочем поле ЛКМ указывается такое положение стрелки взгляда, при котором будет получен **Вид слева**, после чего команда завершается клавишей **Esc** без добавления нового вида;

– делается текущим **Вид слева**;

– отключается опция **Проекционная связь**;

– командой **Ввод текста** (см. рис. 6.41) над изображением вида добавляется ссылка (команда **ПКМ ⇒ Вставить ссылку**) на букву, автоматически записанную на стрелке взгляда на **Виде спереди**, со следующими параметрами текста: Шрифт – **GOST type A**; Высота символов – **7**; Курсив – **включен**.

Добавление номера листа в соответствии с п. 16 из Д.8 в этом случае осуществляется с помощью команды **ПКМ ⇒ Вставить ссылку**.

Создание гиперссылок для перехода внутри чертежа между стрелкой взгляда и буквой на **Виде слева** осуществляется командой **ПКМ ⇒ Гиперссылка**, выполненной по отдельности на соответствующих объектах.

Возможный результат преобразования **Вида слева** показан на рис. 20.35.

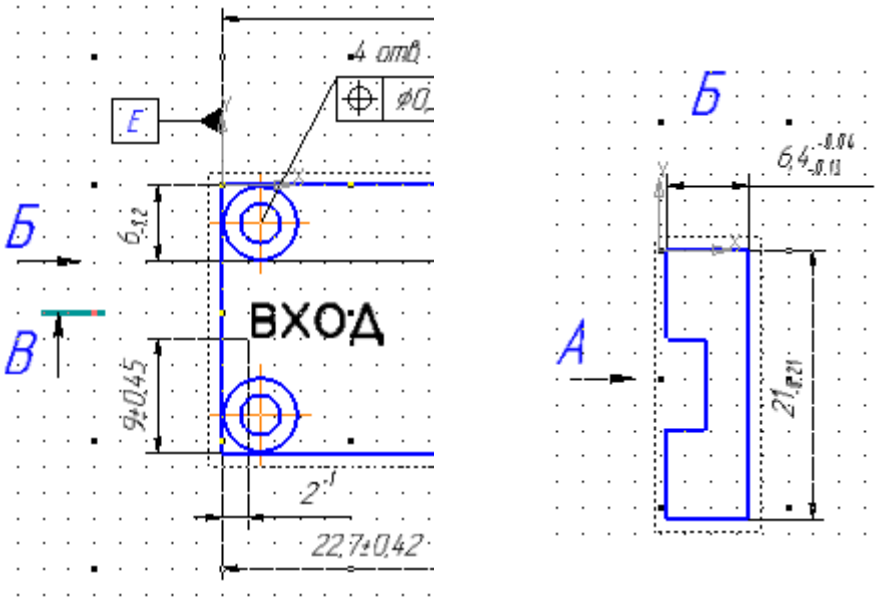


Рис. 20.35

24. При необходимости поменять последовательность присвоения букв на чертеже (например, для обозначения баз или стрелок взгляда) следует запустить команду **Вид ⇒ Нумерация** или нажать пиктограмму **Нумерация** на ПИ **Стандартная** и в верхней части появившегося окна **Нумерация** в раскрывающемся списке выбрать опцию **#Автосортировка**.

Изменение порядка объектов производится внутри группы пиктограммами **Передвинуть вверх** и **Передвинуть вниз** (рис. 20.36).

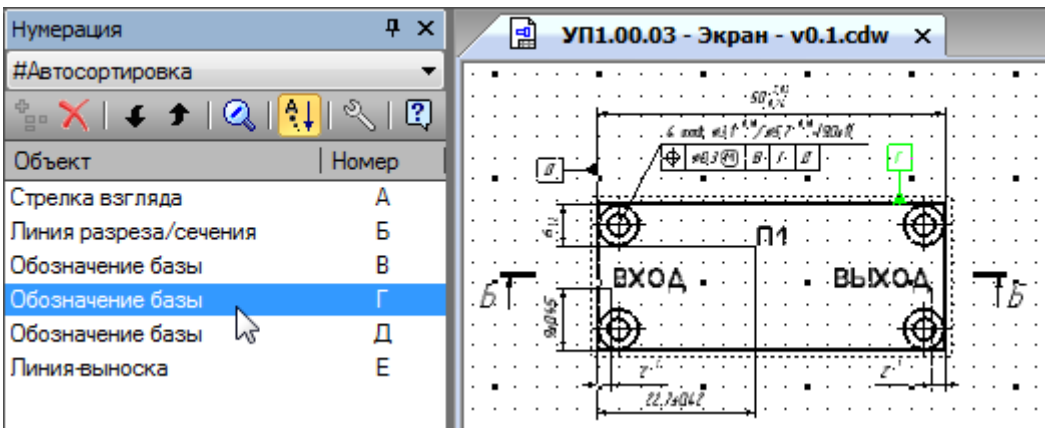


Рис. 20.36

25. Проверить полноту простановки размеров, для чего мысленно разделить деталь на элементы (прорези, полости, отверстия и пр.), представить необходимые для них размеры и сверить их с нанесенными на чертеже. Обязательно обратить внимание на предельные отклонения.

Например, для разработанного в варианте «П1» чертежа «экрана»:

25.1. Из листа сплава Д16 по ГОСТ 4784–97 (например, из листа нормальной точности толщиной $7_{-0,3}$ мм по ГОСТ 21631–2023 [94]) необходимо вырезать параллелепипед с заданной шириной, толщиной и длиной.

Размеры были заданы в пп. 17.2–17.4 и показаны на **Виде спереди** и **Виде слева** (см. рис. 20.9–20.11), а материал указан в основной надписи чертежа в п. 8.

25.2. Внутренняя полость в сечении представляет собой скругленный прямоугольник, поэтому необходимо знать ее ширину, длину и радиусы скруглений, а также положение относительно сторон «экрана» и глубину.

Указанные размеры показаны на **Виде А** и на **разрезе Б–Б** (см. рис. 20.12, *а* и 20.22).

25.3. Для прорези в тонкой стенке «экрана» необходимо знать ее длину и положение относительно короткой стороны, а также глубину.

Эти размеры показаны на **Виде снизу** (см. рис. 20.12, *б*). Ширина прорези равна толщине тонкой стенки (см. **Вид А** на рис. 20.12, *в*).

25.4. Для прорезей в толстой стенке «экрана» необходимо знать их длину и положение относительно длинной стороны, а также глубину. Так как прорези расположены симметрично, то по п. 27 из Д.5 размеры даны только для одной из них на **Виде А** и на **разрезе Б–Б** (см. рис. 20.12, *а* и *в*).

25.5. Количество отверстий и их параметры по рис. 20.14 (диаметр для прохода винта и параметры зенковки) в виде упрощенного обозначения показаны на **Виде спереди** (см. рис. 20.26), а положение отверстий относительно комплекта баз «экрана» – на **Виде А** (см. рис. 20.22).

25.6. Положение каждой надписи относительно сторон «экрана» показано на **Виде спереди** (см. рис. 20.8), а параметры текста, способ нанесения и тип краски – в ТТ из п. 19.3.

25.7. Для нижней поверхности «экрана», которая будет соприкасаться с ПП, заданы допуск плоскостности и шероховатость, а для боковых стенок по входу и выходу устройства – допуск перпендикулярности.

Все эти параметры показаны на **Виде снизу** (см. рис. 20.29, *б* и 20.31, *б*). Общая шероховатость показана в правом верхнем углу чертежа.

26. Сохранить изменения в чертеже (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 20.37.

27. Сохранить чертеж в формате PDF по 17.3.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.03 - Экран - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_pdf** (см. рис. 2.7).

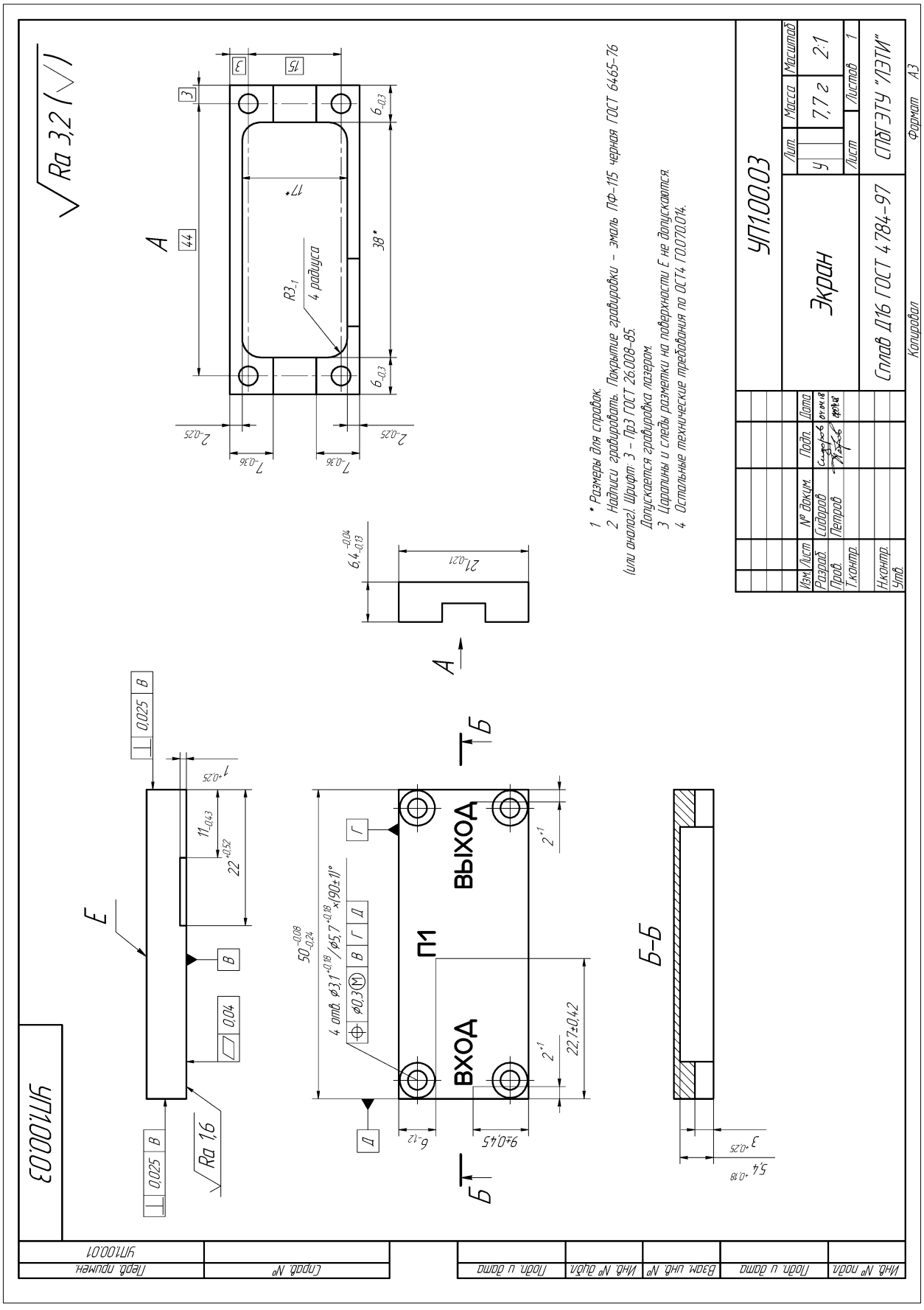

УП1.00.03
Экран
Сплав Д16 ГОСТ 4784-97
СПбГЭТУ "ЛЭТИ"
Копировал
Формат А3
1 * Размеры для справок.
2 Надписи гравировать. Покрытие гравировки - эмаль ПФ-115 черная ГОСТ 6465-76 (или аналог). Шрифт 3 - ПрЗ ГОСТ 26.008-85.
Допускается гравировка лазером.
3 Царапины и следы разметки на поверхности Е не допускаются.
4 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070014.
ВЫХОД
ВХОД
П1
Б-Б
А
Б
Е

Рис. 20.37

28. Как отмечалось ранее, если внести изменения в 3D-модель, то это приведет к появлению запроса на перестроение ассоциативных видов чертежа. Кроме обновления изображений также будут автоматически изменены и все информационные размеры.

После перестроения видов необходимо визуально проверить правильность проведенной операции, например:

– если в ассоциативном виде вручную был изменен стиль линии, то он может быть сброшен на стиль по умолчанию;

– если в ассоциативном виде элементы, полученные в 3D-модели вырезанием или выдавливанием текста, были перенесены на скрытый слой, то с большой вероятностью часть их контуров станет снова видна.

Так, если понадобится внести изменения в 3D-модель «экрана», то после этого потребуется:

– на **Виде спереди** скрыть объекты, относящиеся к надписям (см. п. 11);

– на **разрезе** выполнить пп. 13.7 и 13.8.

20.2. Содержание отчета

По 20-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Расчет позиционных допусков крепежных отверстий в «основании» и «экране» с пояснениями.

2. Выбор поля допуска для толщины «экрана» с пояснениями.

3. Чертеж «экрана», распечатанный на отдельном листе (листах).

Схема складывания листа формата А3 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа для непосредственного брошюрования показана на рис. 8.71.

21. ЧЕРТЕЖ «ОСНОВАНИЯ»

21.1. Создание чертежа «основания»

Чертеж «основания», как и «экрана», будет создаваться на основе его 3D-модели, и в нем будут в основном ассоциативные виды.

При отставании от плана (см. рис. 2.5) можно пропустить данный раздел и перейти к разработке спецификации на «модуль усилителя» по разд. 22.

Последовательность действий для создания чертежа «основания»:

1. В **КОМПАС-3D** открыть 3D-модель «основания» (расположение указано в п. 4 из разд. 15).

2. СКМ повернуть «основание» в рабочем поле так, чтобы спереди оказалась поверхность, контактирующая с ПП «усилителя», после чего щелкнуть ЛКМ по ней (рис. 21.1) и в появившейся над курсором ПИ нажать пиктограмму **Нормально к**.

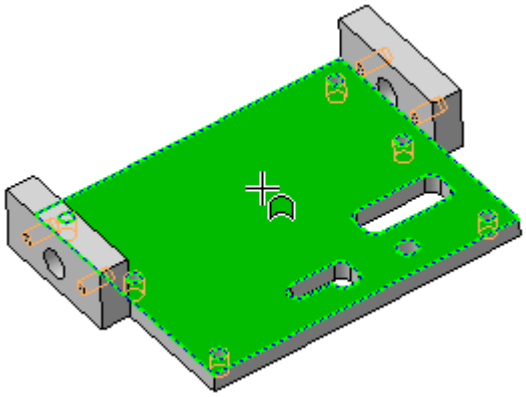


Рис. 21.1

Сохранить полученную ориентацию 3D-модели, добавив новый вид с помощью команды **Вид ⇒ Ориентация** и присвоив ему имя (например, **Главный**).

Сохранить изменения (**Ctrl+S**) и закрыть вкладку с 3D-моделью.

3. По информации из 7.1 создать новый чертеж и задать следующие настройки листа:

– формат – **А3**;

– ориентация – **горизонтальная**;

– оформление – **Чертеж констр. Первый лист. ГОСТ 2.104-2006**.

4. Сохранить чертеж командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.cdw». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.02 - Основание - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1** (см. рис. 2.7).

5. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5).

6. Запустить команду **Стандартные виды** (см. рис. 7.6) и выбрать 3D-модель «основания».

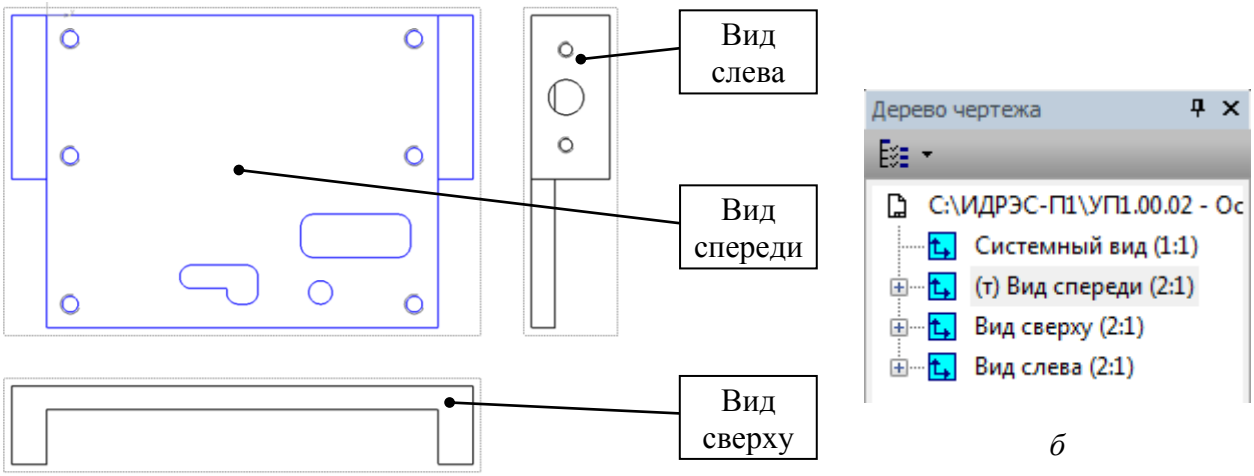
В **Панели свойств** на вкладке **Параметры** выполнить следующее:

– в поле **Ориентация главного вида** выбрать **Главный** (задан в п. 2);

– в поле **Масштаб вида** выбрать масштаб **2:1**;

– в поле **Схема видов** указать **вид сверху**, **вид спереди** и **вид слева** (расположение видов см. на рис. 7.3).

Результат в варианте «П1» с обозначением видов показан на рис. 21.2, *а*.



а *б*

Рис. 21.2

7. В **Дереве чертежа** изменить названия видов в соответствии с обозначениями на рис. 21.2, *а* (см. п. 7 из 17.2).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 21.2, *б*.

8. Заполнить графы рамки в соответствии с табл. 21.1. Содержание остальных граф должно соответствовать данным табл. 17.1.

Пояснения к заполнению приведены в п. 8 из 17.2.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1 и на рис. 3.6.

Таблица 21.1

Содержание граф рамки для чертежа «основания», отличающихся от чертежа ПП

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Основание	Наименование изделия определено в табл. 2.1 и записывается автоматически, так как было задано в свойствах 3D-модели. Параметры шрифта в **Панели свойств** на вкладке **Формат**: высота символов – **7**, шаг строк – **11**
2	УП1.00.02	Обозначение документа определено в табл. 2.1, указано для варианта «П1» и записывается автоматически, так как было задано в свойствах 3D-модели. Данные этой графы повторяются на каждом новом листе
3	Сплав Д16 ГОСТ 4784-97	Автоматически добавленное название материала (было задано в свойствах 3D-модели) корректируется вручную. Параметры шрифта в **Панели свойств** на вкладке **Формат**: высота символов – **5**, шаг строк – **8**

Окончание таблицы 21.1

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
5	20,3 г	Заполняется автоматически при выборе в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле **Единицы измерения массы** опции **граммы**, а в поле **Точность представления** значения **1** (**0** – при отсутствии десятых долей)
6	2:1	Заполняется автоматически в соответствии с масштабом главного вида
25	УП1.00.01	Обозначение спецификации, в которой записан КД, определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»
26	УП1.00.02	Заполняется автоматически и полностью соответствует содержанию графы 2. Данные этой графы повторяются на каждом новом листе

9. Запустить режим редактирования основной надписи и в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** отжать пиктограмму **Синхронизация данных** (см. рис. 7.7), тем самым отключив передачу данных между 3D-моделью и основной надписью чертежа.

10. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и выполнить проверку по п. 12 из 6.5.

11. Включить режим **Ортогональное черчение** клавишей **F8**.

12. Трех добавленных основных видов во многих вариантах задания не хватит для изготовления детали, так как отсутствует информации об отверстиях во второй боковой стенке, да и при простановке размеров эти изображения будут сильно перегружены. Этот момент необходимо обдумать и при необходимости создать дополнительный вид и (или) выносные элементы:

12.1. Сделать текущим **Вид спереди** и командой **Стрелка взгляда** (см. рис. 20.4 и п. 13.1 из 20.1) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** добавить вид справа с отключенной проекционной связью.

В варианте «П1» вид был повернут для удобства расположения на чертеже (рис. 21.3). Для этого во время его добавления в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** после отключения опции **Проекционная связь** в поле **Угол** задано значение **90**, а на вкладке **Надпись вида** включены опции **Повернуто** и **Угол**.

Примечание. Повернуть вид можно и после добавления на чертеж, для чего его необходимо выбрать ЛКМ, запустить команду ПКМ ⇒ Параметры вида и задать требуемые настройки.

12.2. В **Дереве чертежа** изменить название вида на **Вид справа**.

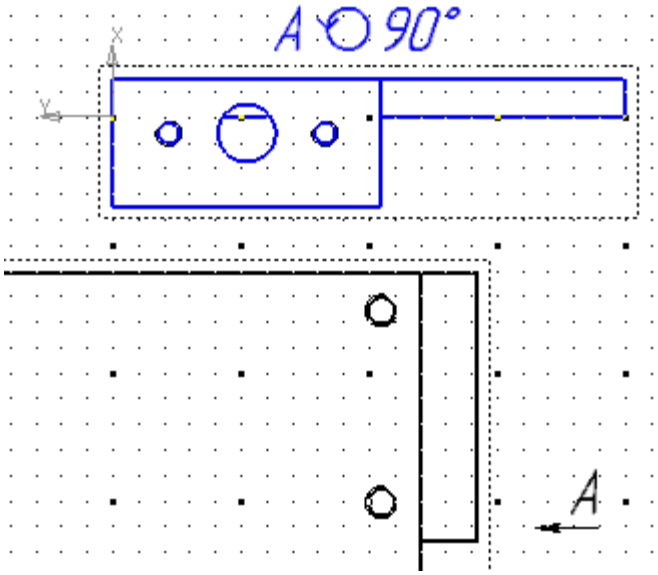


Рис. 21.3

12.3. Сделать текущим **Вид спереди** и командой **Выносной элемент** (см. рис. 17.5 и п. 23.2 из 17.2) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** добавить выносные элементы в увеличенном масштабе для области с расположением прорезей под выводы компонентов ПП.

В варианте «П1» добавлено два выносных элемента в масштабе 4:1 (рис. 21.4). Небольшие изображения позволят разместиться на одном листе.

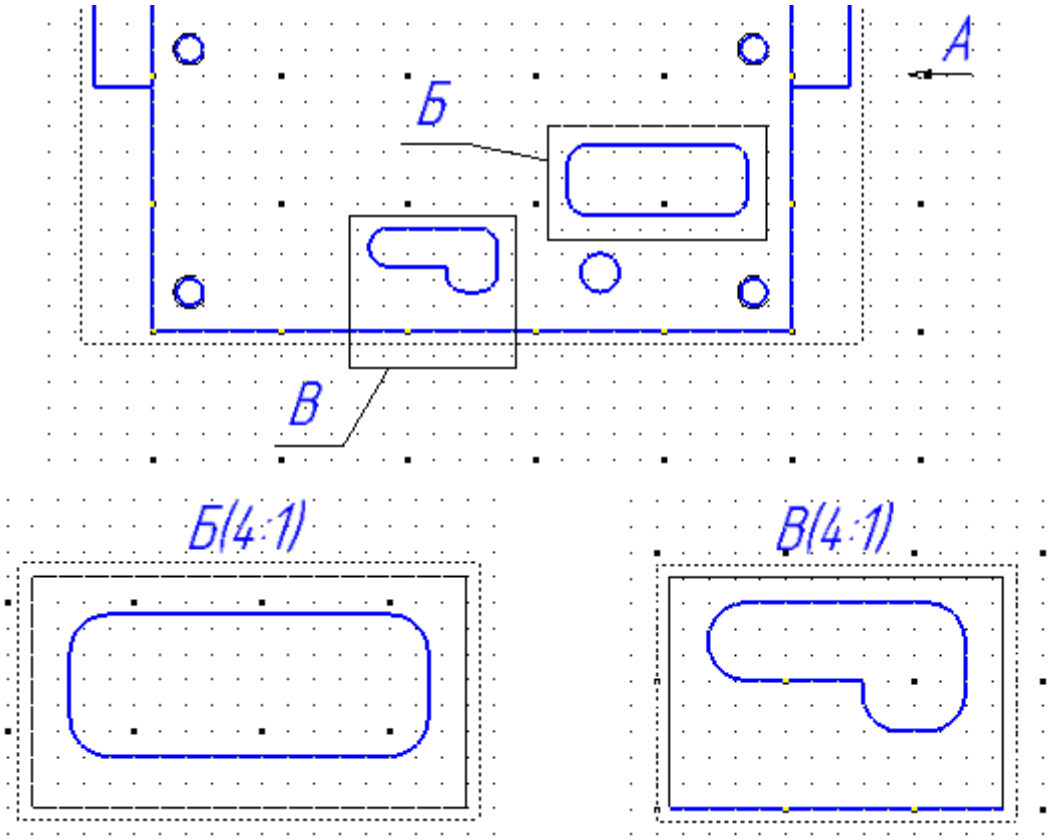


Рис. 21.4

12.4. Если положения или размеры рамок выносных элементов на **Виде спереди** были изменены, то перестроить изображения командой **Вид ⇒ Перестроить** (или клавишей **F5**).

12.5. Если изображения не помещаются на одном листе, то по 7.1 добавить второй лист (**горизонтальный А3** или **вертикальный А4**) с оформлением **Чертеж констр. Посл. листы. ГОСТ 2.104-2006**.

12.6. При необходимости передвинуть виды в рабочем поле.

13. Нажать пиктограмму **Параметрический режим** (см. рис. 6.8) на ПИ **Текущее состояние**.

14. Сделать текущим **Вид спереди** и командой **Обозначение центра** (см. рис. 17.5) обозначить центры всех отверстий. Стоит отметить, что для резьбовых отверстий в качестве кривой для обозначения центра необходимо указывать дугу, нарисованную тонкой линией.

Затем аналогичным образом обозначить центры отверстий на остальных видах, предварительно делая их текущими.

15. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и выполнить проверку по п. 12 из 6.5.

16. Отключить режим **Ортогональное черчение** клавишей **F8**.

17. В соответствии с информацией из прил. Д и материалами п. 17 из 20.1 нанести размеры и предельные отклонения, указать допуски формы и расположения поверхностей, а также их шероховатость:

17.1. На **Виде спереди** и выносных элементах (при наличии), предварительно делая их текущими, командами с рис. 7.21 проставить размеры прорезей с предельными отклонениями по 14-му квалитету.

Стоит отметить следующее:

– предельные отклонения размеров можно не показывать, если они соответствуют указанию из ОСТ4 ГО.070.014 (см. Д.6), ссылка на который будет дана в ТТ;

– размеры радиусов можно указать в ТТ (см. п. 22 из Д.5).

17.2. На выносном элементе **Б** (см. рис. 21.4) в варианте «П1» показано только два размера, поэтому для уменьшения занимаемого им места на чертеже его масштаб был изменен с 4:1 до 2:1:

– на выбранном виде выполнена команда **ПКМ ⇒ Масштаб ⇒ 2:1**;

– в появившемся окне с вопросом о масштабировании выносных линий нажата кнопка **Нет**;

– отредактировано положение надписи вида и проверено выполнение требований п. 15 из Д.5;

– так как масштаб вида соответствует масштабу, указанному в основной надписи, то на надписи вида запущена команда **ПКМ ⇒ Редактировать** и в **Панели свойств** на вкладке **Надпись вида** отключена опция **Масштаб**.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 21.5.

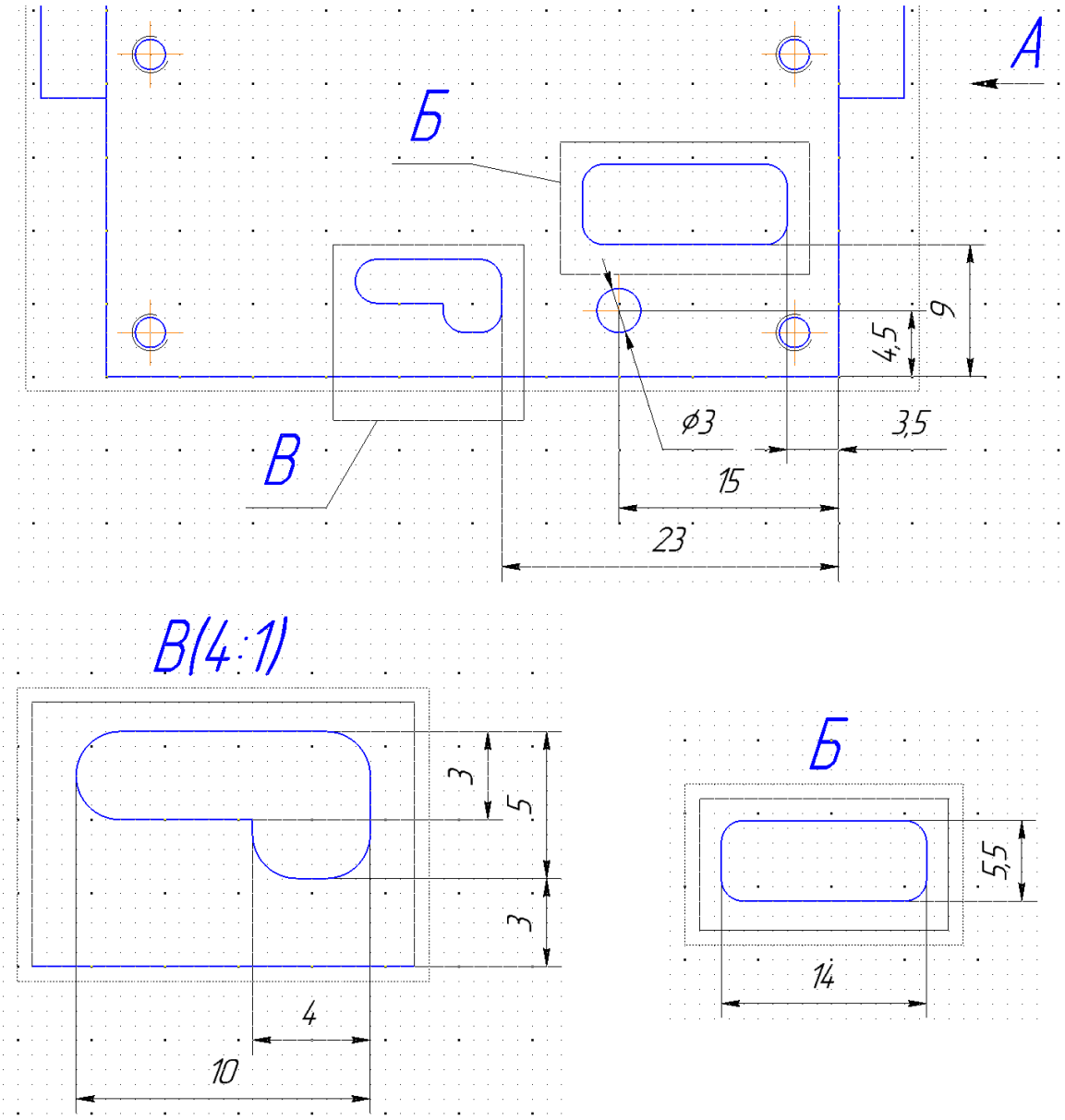


Рис. 21.5

17.3. При необходимости передвинуть виды в рабочем поле.

17.4. По примеру рис. Д.37 нанести размеры, определяющие номинальное расположение осей резьбовых отверстий, ограниченное рассчитанным в п. 17.9 из 20.1 позиционным допуском. Допуск указать независимым.

Для этого выполнить следующие действия:

17.4.1. Продумать на каких видах будут расположены следующие базовые поверхности (см. Д.7):

– установочной базой будет та поверхность, которой «основание» контактирует с нижней поверхностью ПП «усилителя»;

– направляющая и опорная базы – поверхности, имеющие общую линию пересечения в том угле контура ПП, в котором в файле трассировки располагалась точка начала координат (см. рис. 12.25). При этом эти базы должны совпасть с указанными на «экране».

17.4.2. Предварительно делая текущим требуемый вид, командой **База** (см. рис. 20.20 и п. 17.10.2 из 20.1) добавить соответствующие базы.

В варианте «П1» установочная база (**Г**) показана на **Виде сверху**, а направляющая (**Д**) и опорная (**Е**) базы – на **Виде спереди** (рис. 21.6).

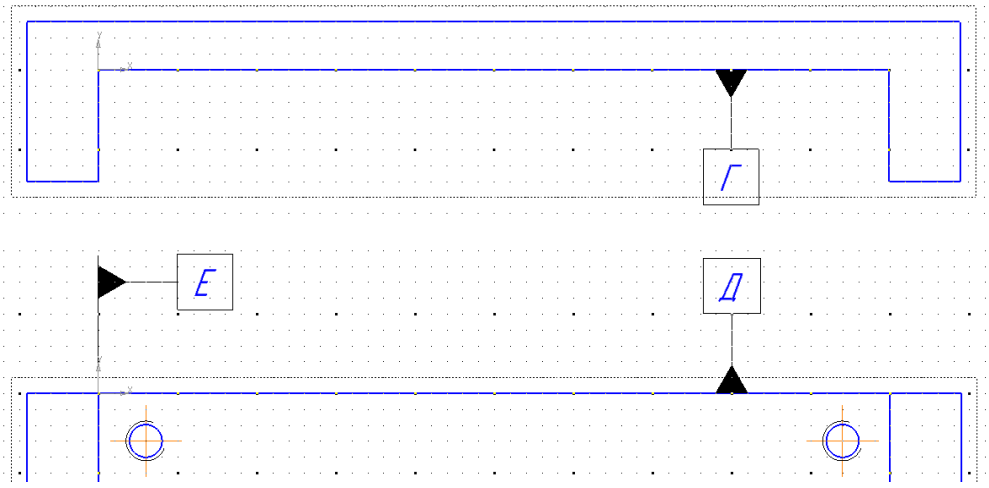


Рис. 21.6

17.4.3. Сделать текущим **Вид спереди** и цепочкой нанести размеры относительно угла, образованного направляющей и опорной базами.

Размерные числа поместить в рамку (см. п. 17.10.3 из 20.1).

На этом же изображении командой **Осевая линия по двум точкам** (см. рис. 17.5) соединить центры крайних отверстий, находящихся на одной оси.

17.4.4. Убедиться в том, что текущим является **Вид спереди**, и выполнить следующее:

– командой **Диаметральный размер** показать количество резьбовых отверстий и размер резьбы (см. п. 20 из 17.2), при этом в окне **Задание размерной надписи** в списке перед кнопкой **Значение** (см. рис. 17.10) вместо знака диаметра выбрать букву **М** (метрическая резьба);

– в соответствии с п. 17.10.4 из 20.1 указать позиционный допуск со значением $T_{\text{осн}}$ без знака зависимого допуска;

– у добавленной рамки отключить опцию **Очистить фон**;

– скорректировать положение добавленных объектов (рис. 21.7).

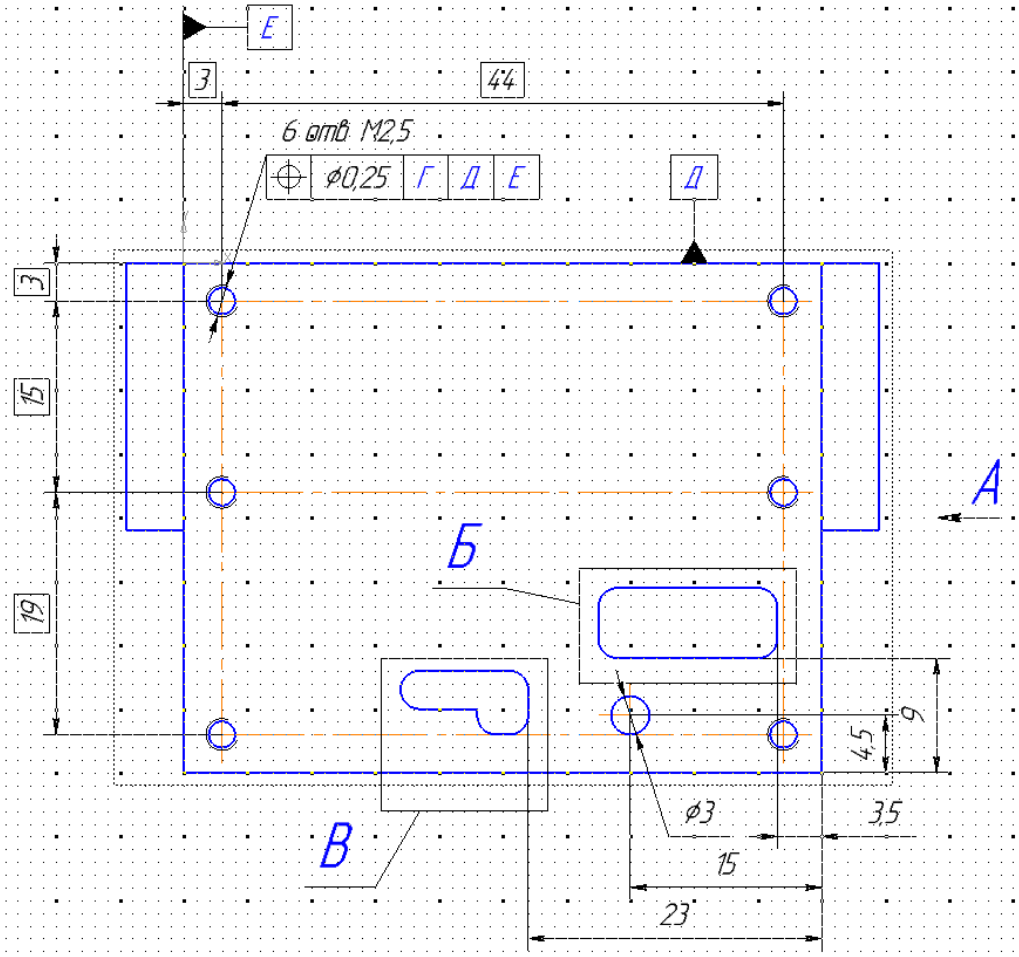


Рис. 21.7

17.5. Перестроить изображения клавишей **F5**.

17.6. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**).

17.7. Отдельно для каждого выносного элемента, предварительно делая его текущим, переместить появившиеся осевые линии на вспомогательный погашенный слой (см. п. 11 из 17.2).

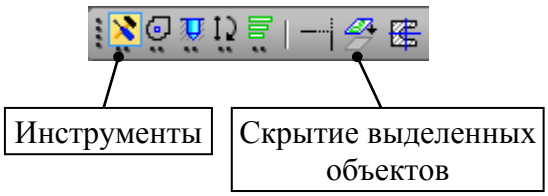


Рис. 21.8

Примечание. Скрыть выделенные объекты также можно с помощью пиктограммы «Скрытие выделенных объектов» из ПИ Сервисные инструменты ⇒ Инструменты (рис. 21.8). Способ запуска ПИ «Сервисные инструменты» указан в п. 8.2 из 6.5.

Если на изображении появился лишний контур из тонкой линии, выходящий за пределы границ «основания», то его необходимо удалить.

17.8. Показать размеры контура «основания» и назначить им предельные отклонения по 11-му или 12-му квалитету и основному отклонению H или h.

К таким размерам относятся следующие:

– толщины первого и второго уровней (см. разд. 15) с основным отклонением для вала, так как в общем задании на проектирование задано ограничение по высоте изделия. Толщину второго уровня показать на том изображении, на котором видны оба боковых выступа;

– размеры по горизонтали и вертикали в соответствии с подходящим для варианта задания схематичным изображением с рис. 21.9.

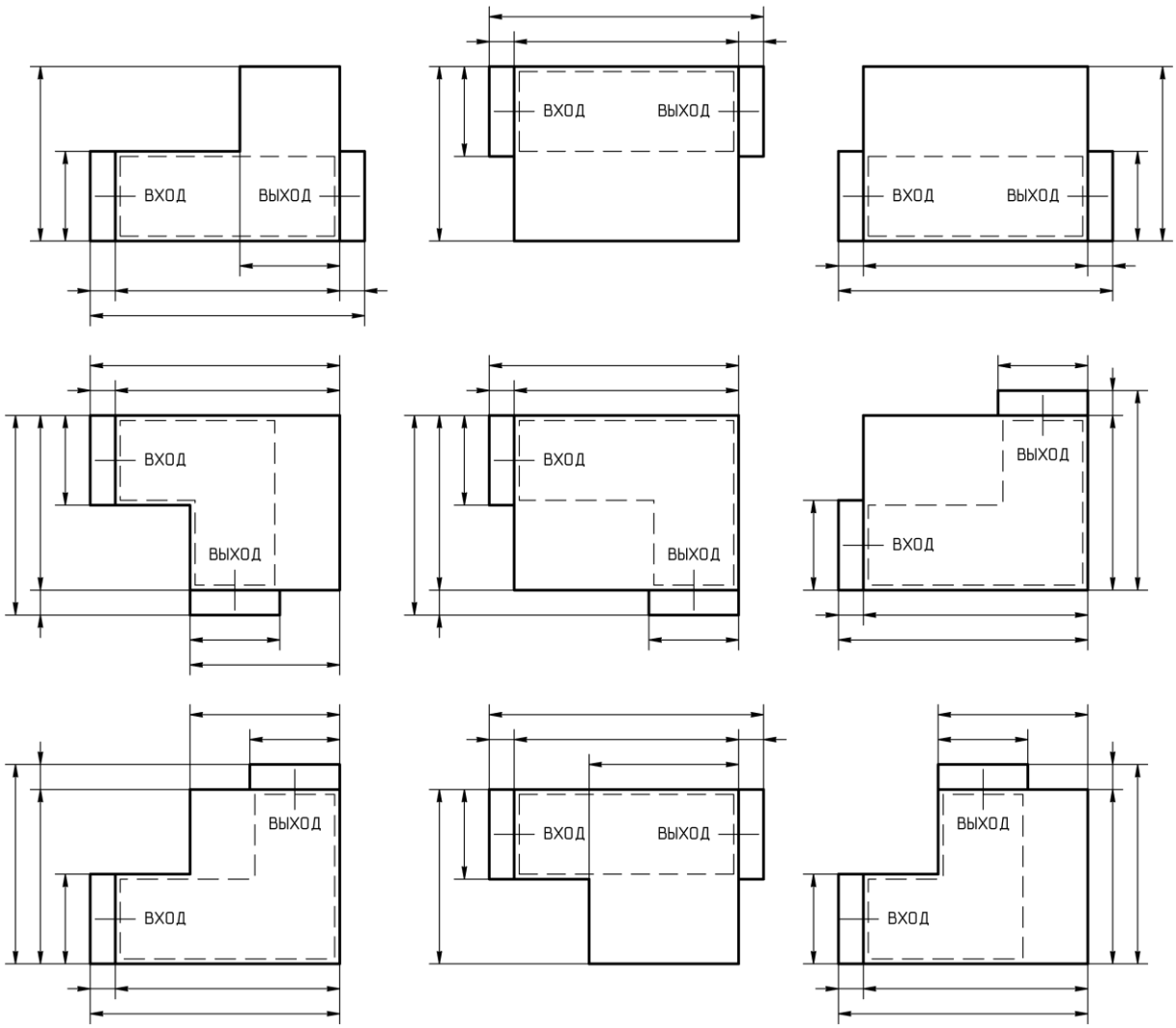


Рис. 21.9

Необходимо учесть следующее:

– размеры должны удовлетворять требованиям из Д.5;

– на каждом изображении есть один или два справочных размера;

– размеры не обязательно должны быть расположены только в приведенном положении и только на одном виде;

– вид, на котором проставляются размеры, обязательно должен быть текущим;

– для выравнивания размеров служит команда, указанная в п. 17 из 17.2;

– размерам, показывающим ширину боковых выступов, назначить основное отклонение для вала;

– размерам, показывающим контур первого уровня (контур ПП), назначить поле допуска H11;

– размерам, показывающим длины боковых выступов и не совпадающим с размерами контура первого уровня, назначить поле допуска h12.

При необходимости осуществить корректировки положения объектов.

Размеры в варианте «П1» проставлены на **Виде спереди** и **Виде сверху** (рис. 21.10).

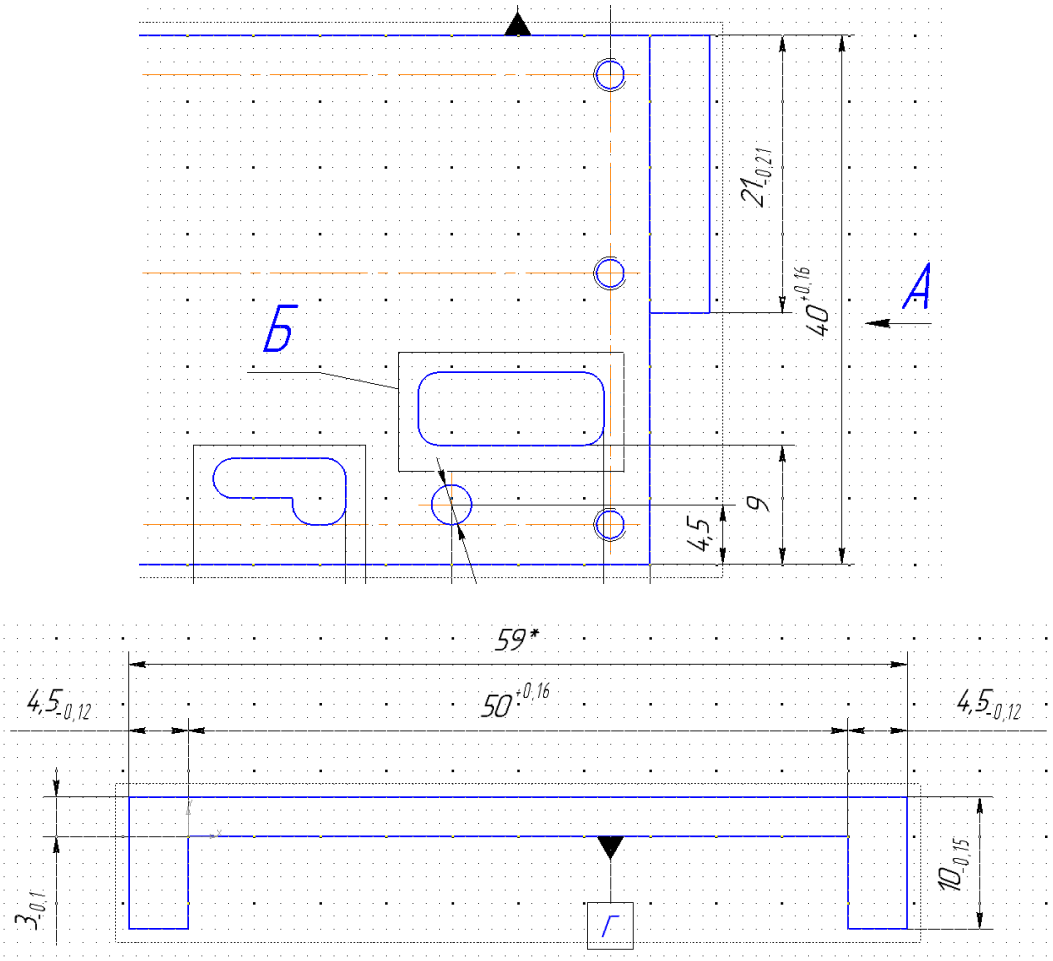


Рис. 21.10

17.9. Нанести размеры отверстий для установки СВЧ-разъемов на каждом боковом выступе, а также их положение, указав предельные отклонения по 12–14-му квалитету и основному отклонению H или h.

Для этого выполнить следующие действия:

17.9.1. На любом подходящем виде (видах), предварительно сделав его текущим, командой **База** добавить на боковые поверхности выступов, контактирующие с фланцами СВЧ-разъемов (см. рис. 15.16, *б*), обозначения баз.

В варианте «П1» базы добавлены на **Виде сверху** (рис. 21.11).

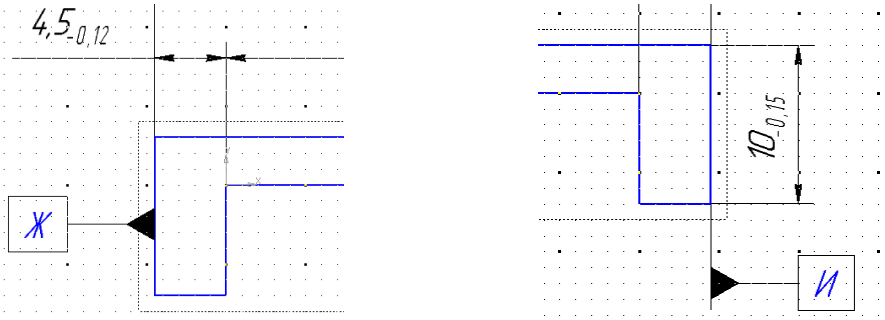
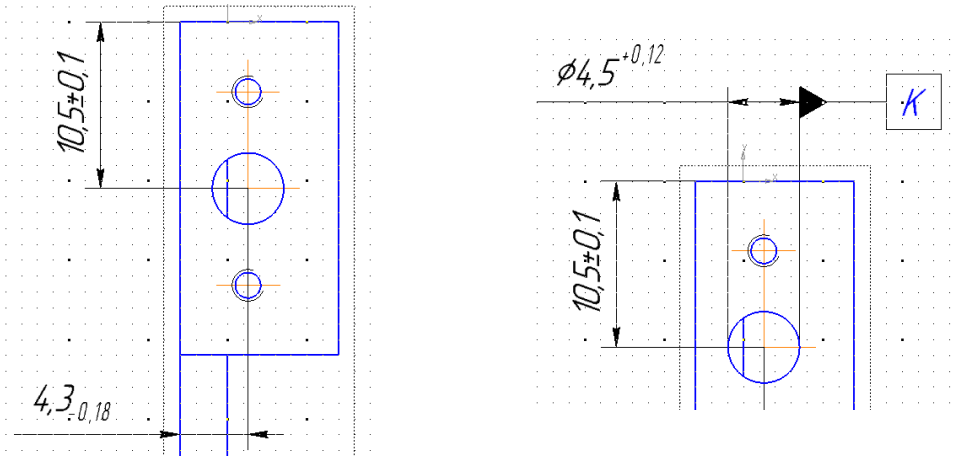


Рис. 21.11

17.9.2. Сделать текущим **Вид слева** и проделать следующее:

– командой **Осевая линия по двум точкам** (см. рис. 17.5) соединить центры двух резьбовых отверстий;

– командой **Авторазмер** или **Линейный размер** указать положение центрального отверстия в соответствии с рис. 21.12, *а*. Симметричное предельное отклонение (±0,1) для большего размера указать по п. 23.12 из 17.2. Для меньшего размера задать поле допуска h12 или h13;



а *б*

Рис. 21.12

– командой **Авторазмер** или **Линейный размер** указать диаметр центрального отверстия с полем допуска H12, отведя выносные линии от противоположных точек пересечения окружности и осевых линий. Знак диаметра поставить также, как и знак метрической резьбы в п. 17.4.4;

– командой **База** обозначить в качестве базы ось центрального отверстия (рис. 21.12, *б*). Обратить внимание на то, что в этом случае по ГОСТ Р 2.308–2023 треугольник базы должен быть расположен на конце размерной линии;

– показать размер между резьбовыми отверстиями. Размерное число поместить в рамку (см. п. 17.10.3 из 20.1);

– командой **Диаметральный размер** показать количество резьбовых отверстий и размер резьбы (см. п. 20 из 17.2), при этом в окне **Задание размерной надписи** вместо знака диаметра выбрать букву **М** (метрическая резьба);

– запустить команду **Допуск формы** (см. рис. 20.24), в **Панели свойств** в поле **Базовая точка** указать точку привязки рамки **Слева вверху**, в поле **Таблица** нажать пиктограмму **Создание таблицы в полуавтоматическом режиме** и в открывшемся окне задать настройки в соответствие с рис. 21.13.

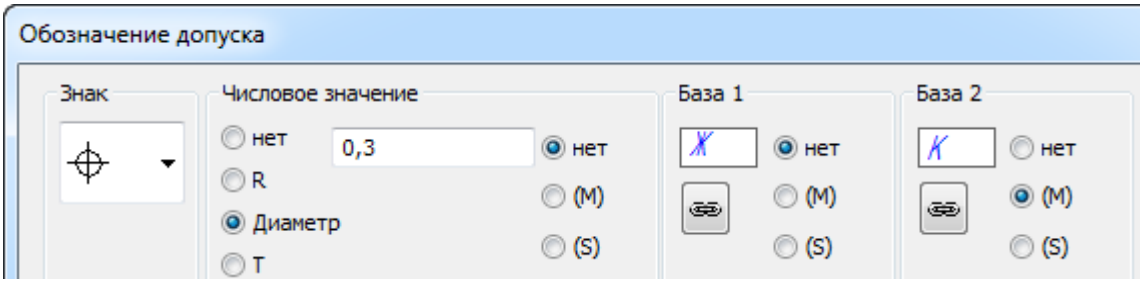


Рис. 21.13

Необходимо отметить, что в группе **База 1** должна быть указана установочная база, расположенная на соответствующей боковой поверхности выступа, контактирующей с фланцем СВЧ-разъема, а в группе **База 2** – база на оси центрального отверстия с указанием зависимого допуска.

Примечание. В результате задан позиционный допуск осей двух резьбовых отверстий по отношению друг к другу и относительно базового отверстия, позиционный допуск которого относительно центральной оси симметрии резьбовых отверстий в зависимости от его диаметра может изменяться от 0 мм (при диаметре 4,5 мм) до 0,12 мм (при диаметре 4,72 мм). При этом этот зависимый допуск не увеличивает позиционные допуски резьбовых отверстий относительно друг друга, т. е. независимо от диаметра центрального отверстия позиционный допуск каждого резьбового отверстия составит 0,3 мм относительно его номинального положения;

– добавить созданную рамку с позиционным допуском в точку начала полки диаметрального размера резьбовых отверстий;

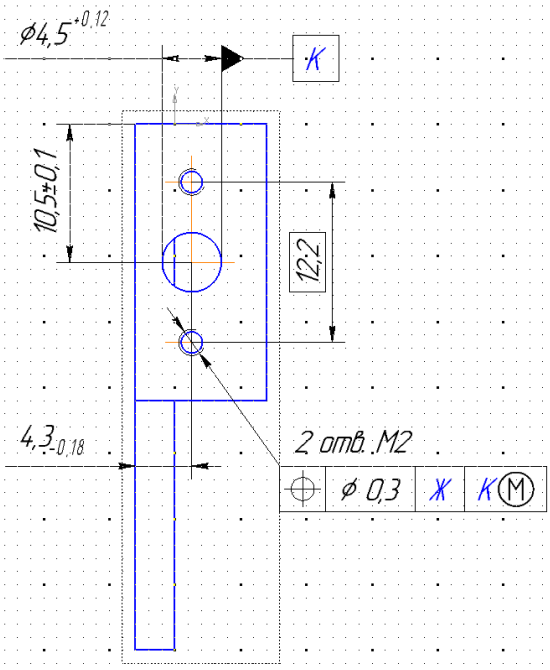
– у добавленной рамки отключить опцию **Очистить фон**;

– скорректировать положение объектов на чертеже.

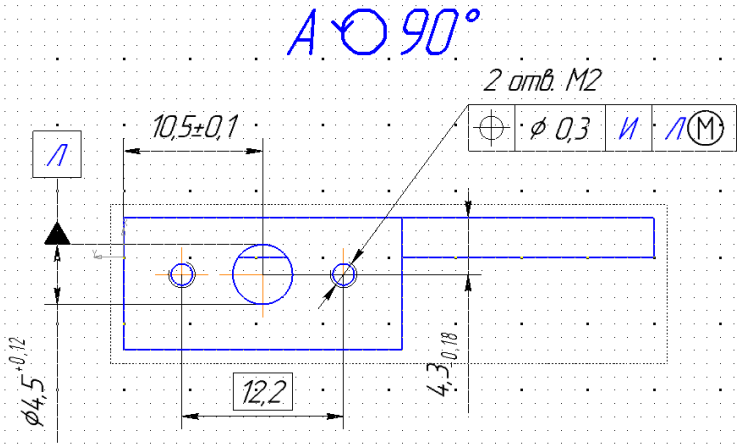
Результат в варианте «П1» показан на рис. 21.14, *а*.

17.9.3. Сделать текущим один из видов, на котором полностью показаны отверстия для крепления второго СВЧ-разъема, и проделать точно такие же действия, как в п. 17.9.2.

В варианте «П1» для этого был использован **Вид справа** (рис. 21.14, *б*).



а



б

Рис. 21.14

17.10. На любом подходящем виде (видах), предварительно сделав его текущим, для внутренних поверхностей боковых выступов добавить указания о допуске перпендикулярности по п. 17.12 из 20.1.

В варианте «П1» для этого был использован **Вид сверху** (рис. 21.15).

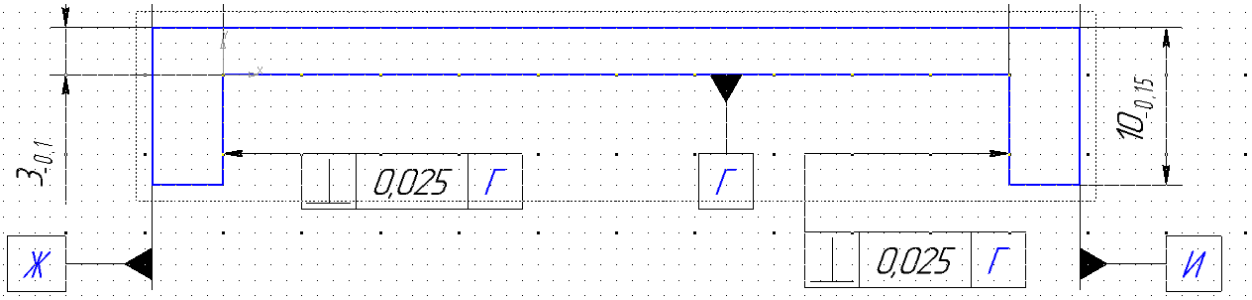


Рис. 21.15

17.11. На любом подходящем виде (видах), предварительно сделав его текущим, для поверхности, контактирующей с нижней поверхностью ПП «усилителя», добавить следующие указания:

– допуск плоскостности по п. 17.11 из 20.1;

– обозначение шероховатости по п. 17.13 из 20.1.

В варианте «П1» это сделано на **Виде сверху** и **Виде справа** (рис. 21.16).

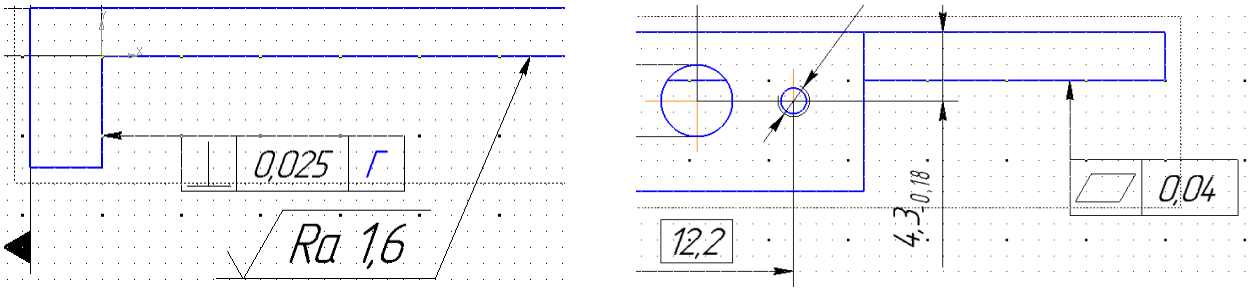


Рис. 21.16

17.12. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**).

17.13. В соответствии с ГОСТ 2.311–68 сплошную тонкую линию при изображении резьбы наносят на расстоянии не менее 0,8 мм от основной линии [95]. Как и в УГО на схемах, это необходимо для различения линий после печати.

Для корректировки изображений резьбы отдельно для каждого вида, на котором есть отверстия с резьбой, выполнить следующее:

– сделать текущим требуемый вид;

– выделить окружности со стилем линии **Основная** в изображениях резьбовых отверстий;

– выполнить команду **Скрытие выделенных объектов** на ПИ **Сервисные инструменты ⇒ Инструменты** (см. рис. 21.8);

– запустить команду **Окружность** из ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия**;

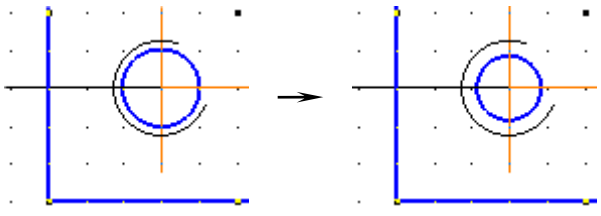


Рис. 21.17

– на **Панели свойств** в поле **Диаметр** задать требуемое значение с учетом масштаба вида (например, в масштабе 2:1 для отверстий М2,5 – 1,7 мм, для отверстий М2 – 1,3 мм), нажать пиктограмму **Запомнить состояние** (см. рис. 14.13) и добавить окружности на места ранее скрытых.

В варианте «П1» изменения произведены на **Виде спереди**, **Виде слева** и **Виде справа**. Результат для одного из отверстий показан на рис. 21.17.

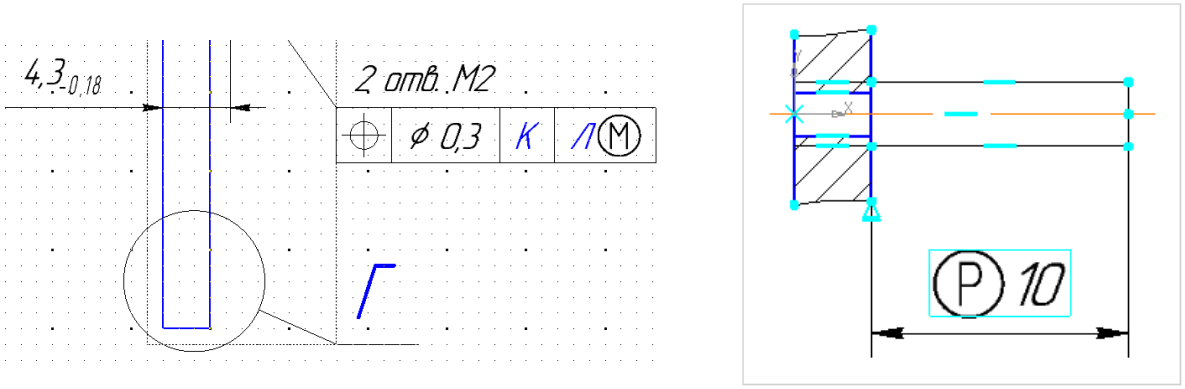
17.14. Перестроить изображения клавишей **F5**.

Если на выносных элементах появились лишние контуры из тонкой линии, выходящие за пределы границ «основания», то их необходимо удалить.

17.15. Для собираемости изделия требуется, чтобы поля позиционных допусков соответствующих отверстий в «экране», ПП и «основании» находились в одном и том же месте (см. Д.7). При проектировании таким местом выбрана область расположения «экрана» и ПП, поэтому для отверстий М2,5 в «основании» необходимо указать выступающее поле допуска:

– сделать текущим **Вид слева**;

– в области расположения отверстия М2,5 и отсутствия боковых выступов (рис. 21.18, *а*) командой **Выносной элемент** (см. рис. 17.5 и п. 23.2 из 17.2) создать выносной элемент в основном масштабе чертежа;



а *б*

Рис. 21.18

– разрушить вид с выносным элементом;

– удалить в выносном элементе все линии и кривые;

– открыть файл **Р(М2,5).cdw** из папки **…\ИДРЭС\Монтаж элементов**, содержание которого при включенной команде **Отображать ограничения** (см. рис. 15.6) показано на рис. 21.18, *б*.

Примечание. Изображение нарисовано в параметрическом режиме, поэтому на все объекты наложены параметрические связи. Приведенный размер является управляющим, о чем свидетельствует голубая рамка вокруг размерного числа. Символ выступающего поля допуска указан в поле «Текст до» окна «Задание размерной надписи»;

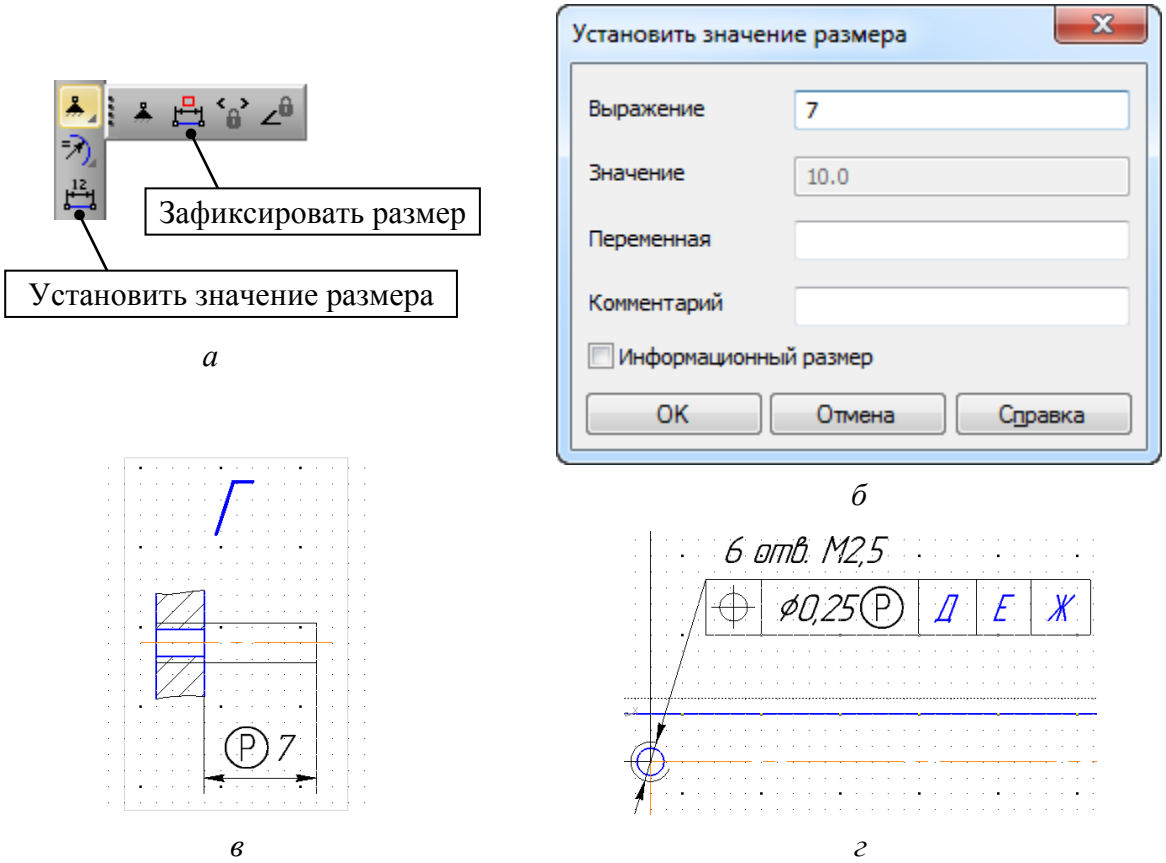
– скопировать все объекты (**Ctrl+C**) без выделения вида;

– перейти на вкладку с чертежом «основания»;

– убедиться в том, что вид с выносным элементом текущий, и вставить (**Ctrl+V**) скопированные объекты;

– закрыть вкладку с файлом **P(M2,5).cdw**;

– запустить команду **Установить значение размера** на ПИ **Компактная панель ⇒ Параметризация** (рис. 21.19, *а*) и указать размер на вставленном изображении (или дважды щелкнуть ЛКМ по размерному числу), после чего в появившемся окне (рис. 21.19, *б*) в поле **Выражение** ввести число 7 (разность двух уровней «основания», описанных в разд. 15) и нажать **ОК**. Результат показан на рис. 21.19, *в*;



а *б* *в* *г*

Рис. 21.19

– войти в режим редактирования рамки с позиционным допуском для резьбовых отверстий М2,5 и в **Панели свойств** нажать ЛКМ в поле **Текст**;

– в открывшемся окне во второй ячейке после значения позиционного допуска в соответствии с п. 29.2 из 17.2 вставить знак выступающего поля допуска (группа **Допуски формы и расположения поверхностей**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 21.19, *г*.

Примечания:

– так как включена автосортировка буквенных обозначений, о чем свидетельствует их синий цвет, то после добавления выносного элемента на чертеже произойдет автоматическая сортировка в соответствии с заданным в настройках порядком;

– показать выступающее поле допуска можно и на самом виде без выносного элемента, и с автоматически созданным местным разрезом, но из-за разнообразия форм «оснований» в вариантах задания использован один подходящий для всех способ;

– управляющий размер при необходимости можно сделать информационным, включив соответствующую опцию в окне «Установить значение размера» (см. рис. 21.19, б);

– сделать информационный размер управляющим, если это возможно (например, размер не на ассоциативном виде), можно указанной опцией или командой «Зафиксировать размер» из группы «Зафиксировать точку» на ПИ Компактная панель ⇒ Параметризация (см. рис. 21.19, а).

17.16. В вариантах задания рассчитать позиционный допуск резьбового отверстия для крепления СВЧ-разъема по (Д.2) и (Д.3), полагая, что в СВЧ-разъеме позиционный допуск отверстий составляет 0,1 мм, а их наименьший предельный диаметр – 2,6 мм.

Примечание. Для этих отверстий показывать выступающее поле допуска не нужно, так как значение их позиционного допуска было уменьшено.

17.17. Указать общую шероховатость по п. 17.14 из 20.1.

18. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**).

19. Добавить ТТ, для чего выполнить следующие действия:

19.1. Войти в режим редактирования ТТ.

19.2. По п. 25.2 из 17.2 задать необходимые настройки.

19.3. Ввести текст следующего вида:

*1 * Размер для справок.*

2 Радиусы скруглений - 1,5 мм max.

3 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.014.

При копировании обратить внимание на примечание к п. 25.3 из 17.2.

19.4. Сохранить ТТ (**Ctrl+S**) и выйти из режима их редактирования.

19.5. Убедиться в том, что расстояние между нижней строкой ТТ и рамкой основной надписи не менее 10 мм.

При необходимости изменить положение ТТ по п. 25.5 из 17.2.

20. Отжать пиктограмму **Параметрический режим** (см. рис. 6.8) на ПИ **Текущее состояние**.

21. Если в чертеже есть второй лист, то отредактировать надписи перенесенных на него изображений, а также соответствующие надписи на изображениях, с которых они были получены (см. п. 22 из 20.1).

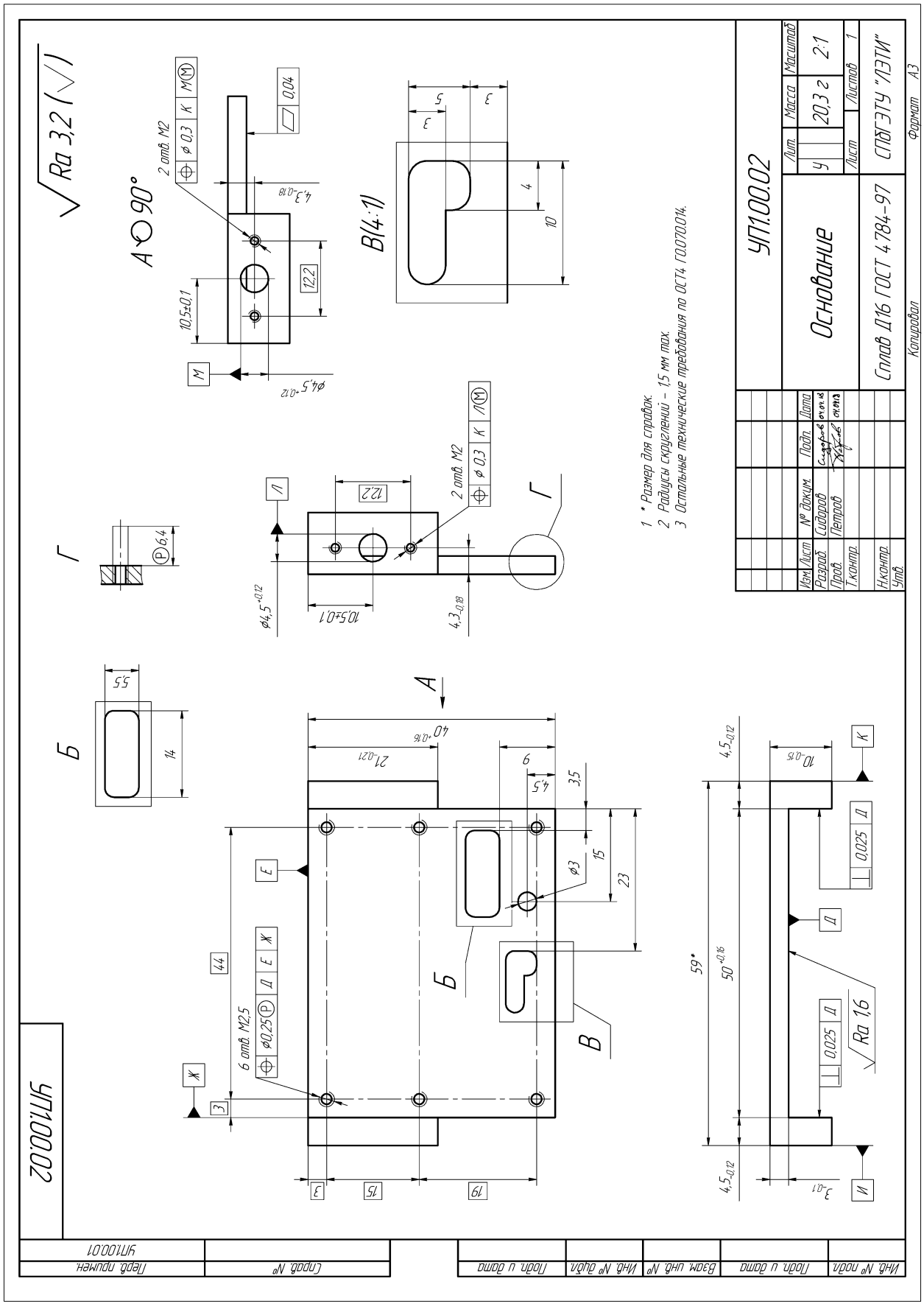

УП1.00.02
Основание
Сплав Д16 ГОСТ 4.784-97
СПбГЭТУ "ЛЭТИ"
Масштаб 2:1
Масса 20,3 г
Лит. У
Лист 1
Листов 1
Формат А3
Копировал
Разраб. Сидоров
Пров. Петров
Т.контр.
Н.контр.
Утв.
№ докум.
Подп.
Дата
Изм. Лист
1 * Размер для справок.
2 Радиусы скруглений - 1,5 мм max.
3 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО070014.
А
Б
В
Г
Д
Е
Ж
И
К
2 отв. М2
6 отв. М2,5
Ra 3,2
Ra 1,6
УП1.00.02
Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Инв. № подл.

Рис. 21.20

22. Если вид с непосредственной проекционной связью не позволяет произвести желаемую компоновку изображений, то преобразовать его в вид по стрелке (см. п. 23 из 20.1).

23. При необходимости поменять последовательность присвоения букв на чертеже (см. п. 24 из 20.1).

24. Проверить полноту простановки размеров (см. п. 25 из 20.1).

25. Сохранить изменения в схеме (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 21.20.

26. Сохранить чертеж в формате PDF по 17.3.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.02 - Основание - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_pdf** (см. рис. 2.7).

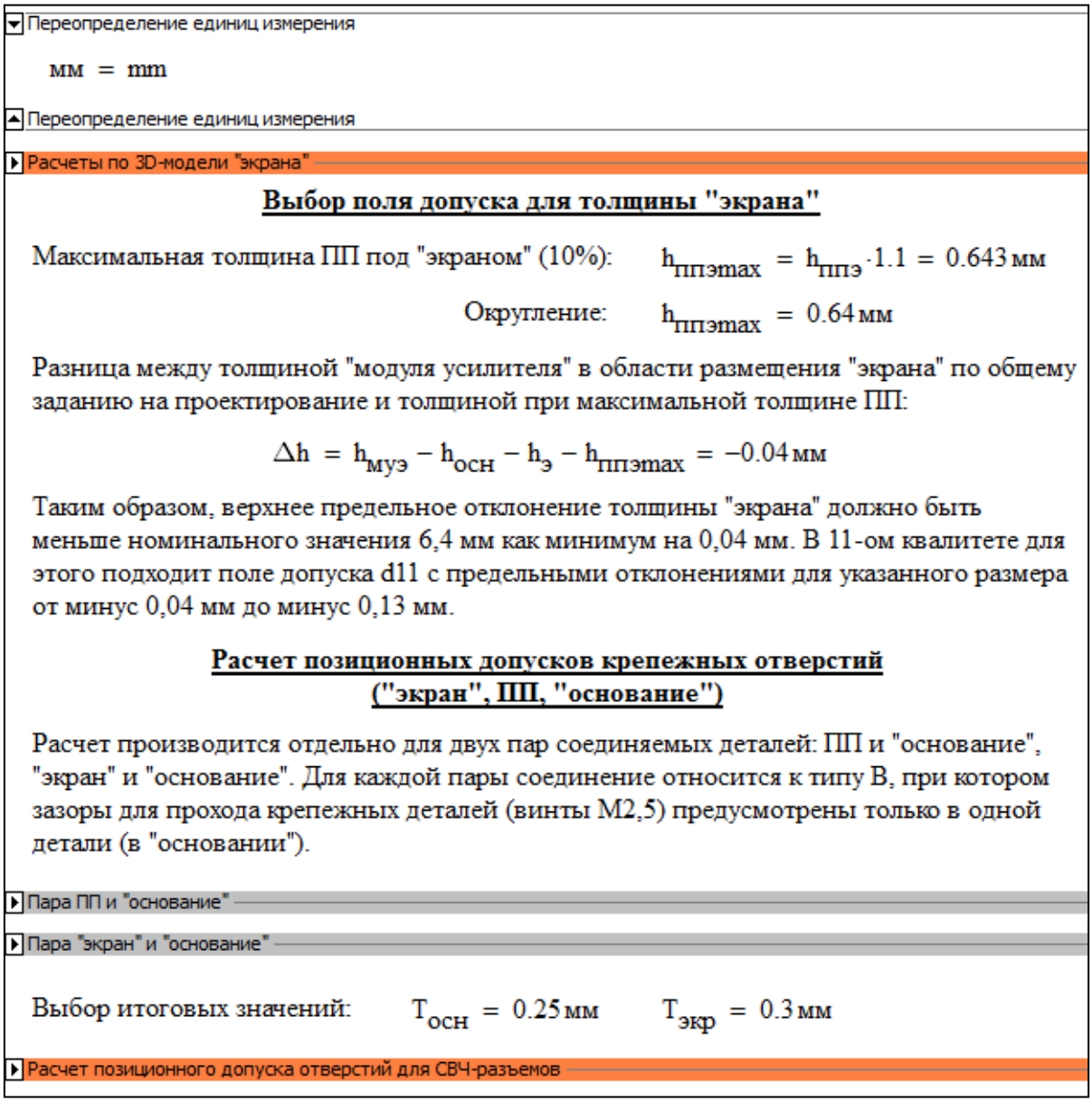


Рис. 21.21

На рис. 21.21 показано содержание файла «**Расчеты (детали).xmcd**», в котором производились расчеты в варианте «П1».

Стоит отметить, что в Mathcad внутри текстовой надписи, находясь в режиме ее редактирования, командой **Insert ⇒ Math Region** можно добавлять полноценные математические выражения, которые будут участвовать в вычислениях.

21.2. Содержание отчета

По 21-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести:

1. Расчет позиционного допуска резьбовых отверстий в выступах «основания» для крепления СВЧ-разъемов с пояснениями.

2. Чертеж «основания», распечатанный на отдельном листе (листах).

Схема складывания листа формата А3 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа для непосредственного брошюрования показана на рис. 8.71.

22. СПЕЦИФИКАЦИЯ НА «МОДУЛЬ УСИЛИТЕЛЯ»

Правила оформления спецификации были приведены в 18.1.

Последовательность действий для создания спецификации на «модуль усилителя»:

1. Открыть заготовку спецификации, указанную в 18.2.

2. Сохранить заготовку командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.doc». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01 - Модуль усилителя - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1** (см. рис. 2.7).

3. Войти в режим редактирования нижних колонтитулов по п. 3 из 9.2 и заполнить без копирования графы рамки в соответствии с табл. 22.1. Содержание остальных граф должно соответствовать данным табл. 9.1.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1, на рис. 9.1 и на рис. 3.6, *б* и *в*.

Таблица 22.1

Содержание граф рамки для спецификации на «модуль усилителя», отличающихся от перечня элементов ПЭ3 «усилителя»

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Модуль усилителя	Наименование изделия определено в табл. 2.1
2 (на первом и втором листе)	УП1.00.01	Обозначение документа определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1». Обозначение со второго листа при увеличении числа листов повторяется на каждом последующем
25	Символ «–»	Ставится прочерк, так как спецификация создается на изделие, которое не входит в другие изделия

4. Выйти из режима редактирования колонтитулов по п. 4 из 9.2.

5. В **КОМПАС-3D** командой **Файл ⇒ Открыть** открыть 3D-модель «модуля усилителя» (расположение указано в п. 3 из разд. 14).

В **Дереве модели** нажать пиктограмму **Отображение структуры модели** (см. рис. 13.23), а затем на треугольник около пиктограммы **Состав Дерева модели** и в выпадающем списке выбрать опцию **Группировать компоненты**. В результате составные части сборки отсортируются по трем группам (**Сборочные единицы**, **Детали** и **Библиотечные компоненты**), внутри которых изделия будут собраны по общему признаку с указанием количества в скобках.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 22.1.

6. В соответствии с информацией из 18.1 и данными **Дерева модели** заполнить графы таблицы из рабочего поля спецификации:

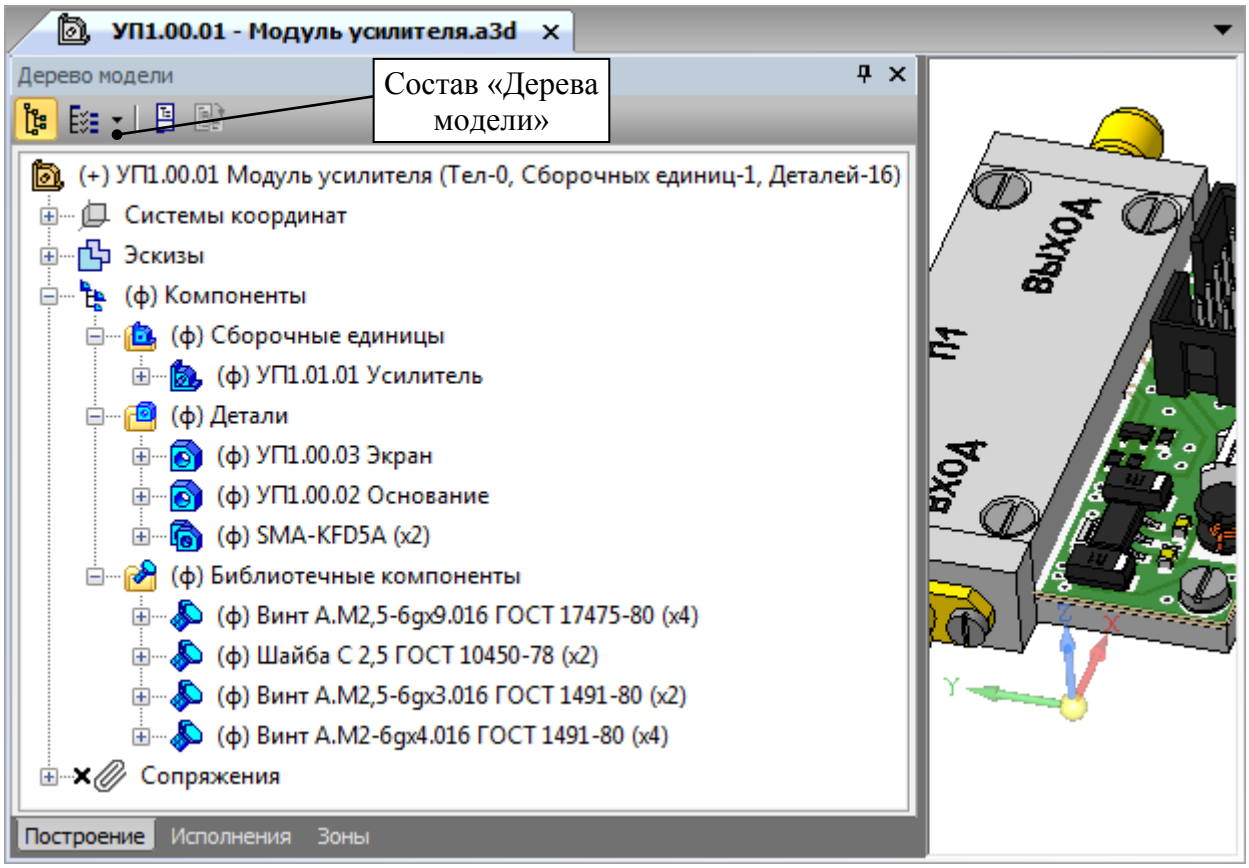


Рис. 22.1

6.1. Начиная со второй строки, заполнить раздел «Документация».

Здесь будет четыре документа, расположенных согласно п. 1.4 из 18.1 в следующем порядке:

– сборочный чертеж «модуля усилителя» (рис. 23.14);

– схема Э1 «модуля усилителя» (см. рис. 8.67);

– схема Э3 «модуля усилителя» (см. рис. 10.4);

– перечень элементов ПЭ3 «модуля усилителя» (см. рис. 11.1).

Данные КД – документы на специфицируемое изделие (их обозначения отличаются от спецификации только кодами документа – СБ, Э1, Э3, ПЭ3).

Так как на данном этапе сборочного чертежа «модуля усилителя» еще нет, то для него в графе «Формат» временно записать формат **А3**. Если потребуется, он будет скорректирован в разд. 23.

6.2. В разделе «Сборочные единицы» будет одна позиция – **Усилитель.** Основной КД для него показан на рис. 18.5 и 19.41. В графе «Примечание» указать его позиционное обозначение со схемы Э3 «модуля усилителя».

6.3. В раздел «Детали» записать только те позиции для которых были выполнены основные этапы проектирования из разд. 20 и 21.

Обратить внимание на порядок записи деталей (см. п. 1.5 из 18.1).

В варианте «П1» записаны **Экран** и **Основание**. Основные КД на них показаны на рис. 20.37 и 21.20.

Если указанные этапы проектирования не выполнялись, то раздела «Детали» в спецификации не будет.

6.4. В раздел «Стандартные изделия» записать крепежные изделия по ГОСТ, обратив внимание на порядок записи (см. п. 1.6 из 18.1) и на то, что по ГОСТ Р 2.106–2019 допускается объединять разделы «Стандартные изделия» и «Прочие изделия» в раздел «Прочие изделия».

6.5. В разделе «Прочие изделия» будут следующие позиции:

– СВЧ-разъем;

– «экран» и (или) «основание», если для них не разработаны чертежи;

– крепежные изделия по зарубежным стандартам (DIN или ISO по пп. 24–27 из 16.1), если они были использованы в «модуле усилителя»;

– крепежные изделия по ГОСТ, если раздел «Стандартные изделия» решено объединить с разделом «Прочие изделия».

При записи необходимо обратить внимание на следующее:

– в графе «Примечание» для СВЧ-разъемов должны быть указаны их позиционные обозначения со схемы Э3 «модуля усилителя»;

– крепежные изделия должны быть записаны в конце раздела;

– для «экрана» и (или) «основания» (при наличии в этом разделе) в графе «Наименование» записать наименование и обозначение основного КД по основной структуре системы обозначения из прил. Р, заменив код организации-разработчика на условный **АБВГ** и добавив в конце номер варианта через дефис без пробела (см. пример обозначения исполнения изделия в 2.3 и Н.1). В графе «Примечание» записать название фирмы-поставщика – **ООО «Рога и Копыта»**. Пример для «экрана» показан на рис. 22.2;

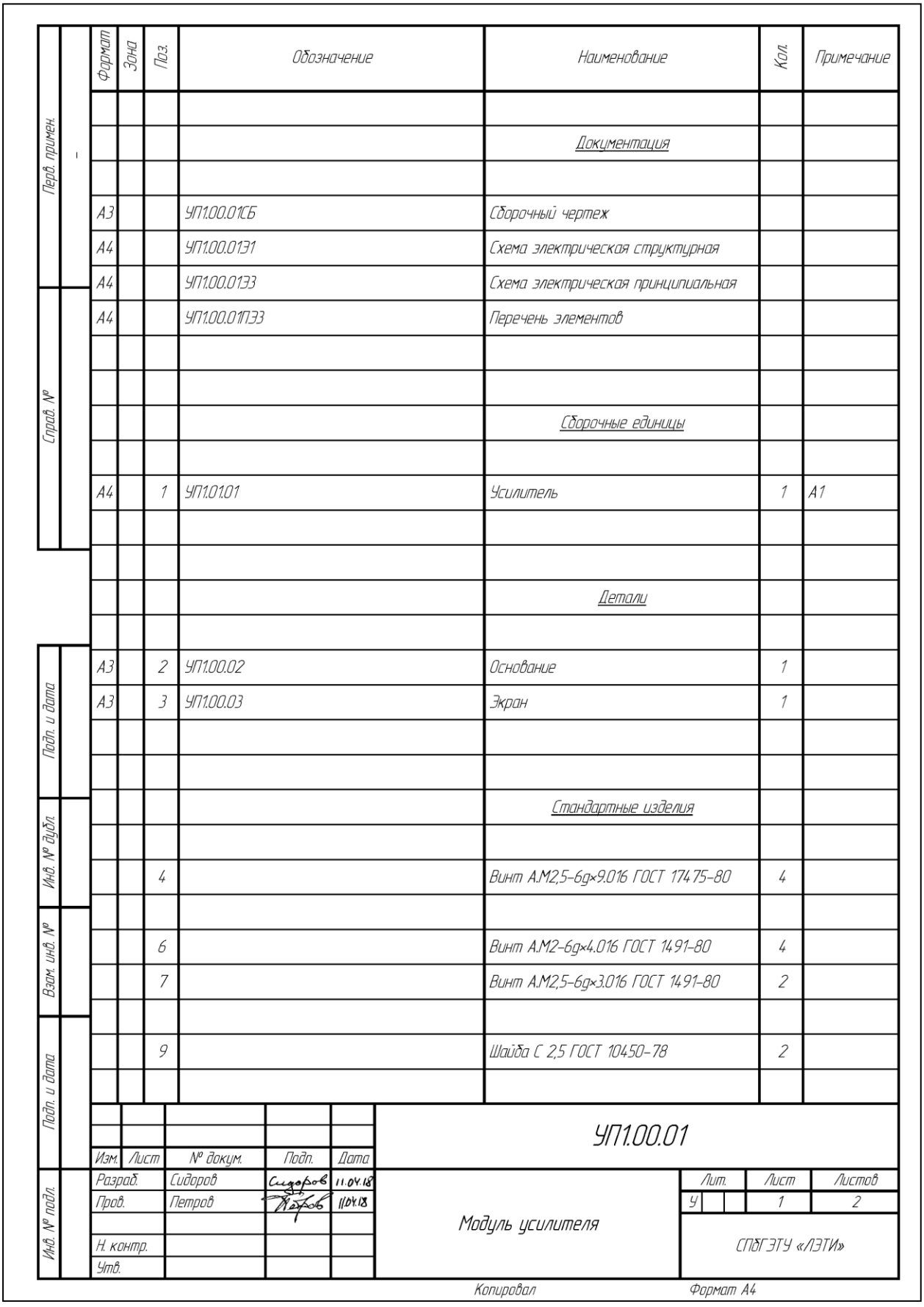
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		10		Экран АБВГ.735214.087–21	1	ООО «Рога и
						Копыта»

Рис. 22.2

– если слово не помещается в ячейку, то необходимо либо перенести его часть в ячейку ниже, либо вписать в ячейку по п. 6 из 11.1;

– добавление новых строк осуществляется по п. 7 из 9.2;

– удаление лишних строк осуществляется по п. 8 из 9.2.



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
А3			УП1.00.01СБ	Сборочный чертеж		
А4			УП1.00.01Э1	Схема электрическая структурная		
А4			УП1.00.01Э3	Схема электрическая принципиальная		
А4			УП1.00.01ПЭ3	Перечень элементов		
				Сборочные единицы		
А4		1	УП1.01.01	Усилитель	1	А1
				Детали		
А3		2	УП1.00.02	Основание	1	
А3		3	УП1.00.03	Экран	1	
				Стандартные изделия		
		4		Винт А.М2,5–6g×9.016 ГОСТ 17475–80	4	
		6		Винт А.М2–6g×4.016 ГОСТ 1491–80	4	
		7		Винт А.М2,5–6g×3.016 ГОСТ 1491–80	2	
		9		Шайба С 2,5 ГОСТ 10450–78	2	

Перв. примен. -

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Сидоров	Сидоров	11.04.18
Пров.		Петров	Петров	11.04.18
Н. контр.				
Утв.				

УП1.00.01

Модуль усилителя

Лит.	Лист	Листов
У	1	2

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Копировал Формат А4

Рис. 22.3 Начало (окончание см. на с. 595)

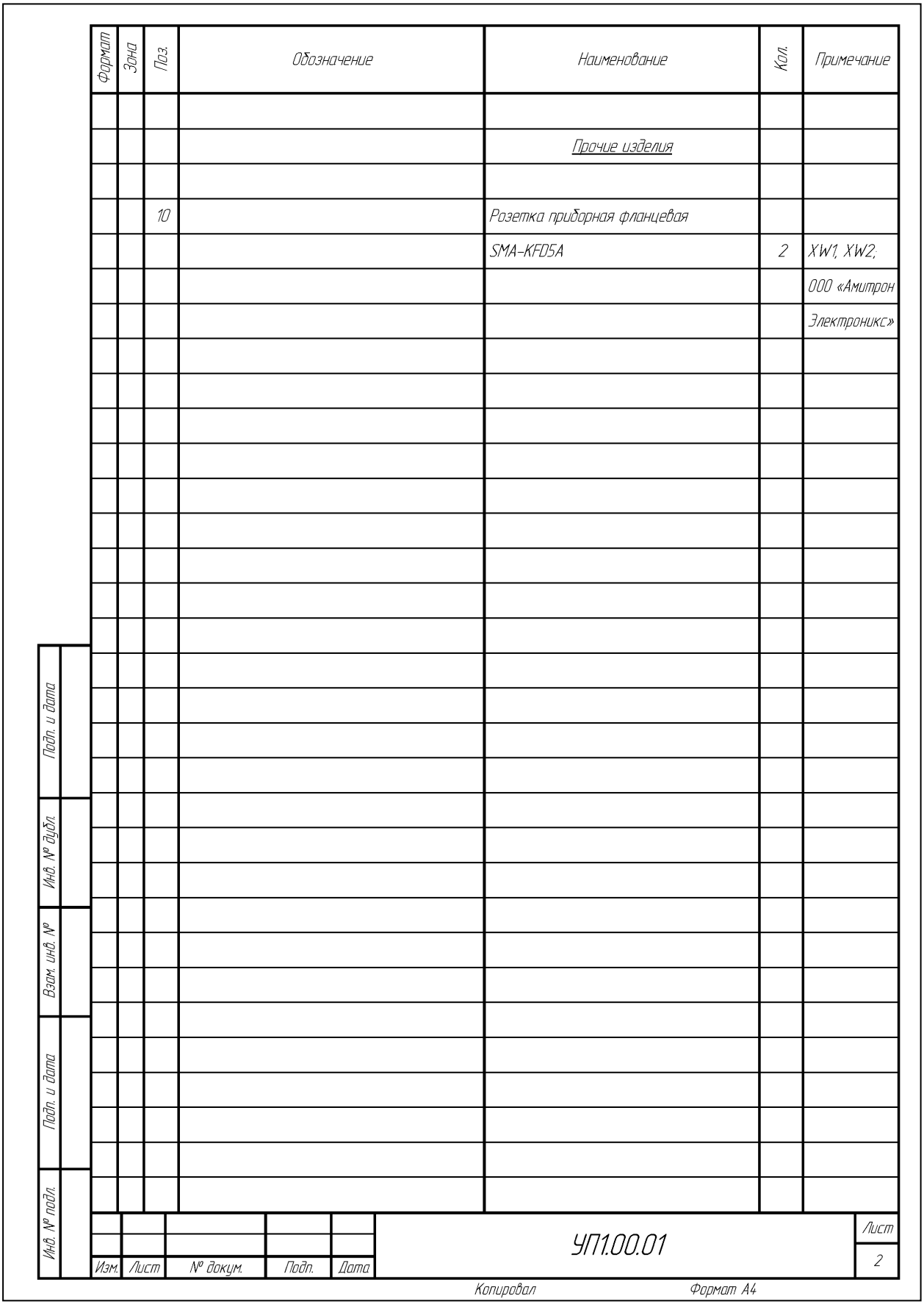


Рис. 22.3 Окончание (начало см. на с. 594)

7. Проставить номера позиций.

8. Если спецификация поместилась на одну страницу, то номер листа в графе 7 основной надписи необходимо скрыть.

Для этого выделить его и назначить белый цвет шрифту.

9. Так как вся информация в спецификации поместится на четырех листах и менее, то в соответствии с п. 4 из 18.1 необходимо скрыть ЛР.

Для этого выполнить п. 9 из 9.2.

10. Закрыть 3D-модель «модуля усилителя» без сохранения изменений.

11. Сохранить изменения в спецификации (**Ctrl+S**).

12. При желании выполнить 8-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3 и прил. П).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 22.3.

Сохранение в формате PDF будет произведено после уточнения форматов листов сборочного чертежа «модуля усилителя» из разд. 23.

Требования к содержанию отчета по данному этапу приведены в 23.2.

23. СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ «МОДУЛЯ УСИЛИТЕЛЯ»

23.1. Создание сборочного чертежа «модуля усилителя»

Правила оформления сборочных чертежей были приведены в 19.1.

Последовательность действий для создания сборочного чертежа «модуля усилителя»:

1. В **КОМПАС-3D** открыть 3D-модель «модуля усилителя» (расположение указано в п. 3 из разд. 14).

2. СКМ повернуть «модуль усилителя» в рабочем поле так, чтобы спереди оказался «экран», после чего щелкнуть ЛКМ по верхней поверхности «экрана» с надписями (рис. 23.1) и в появившейся над курсором ПИ нажать пиктограмму **Нормально к**.

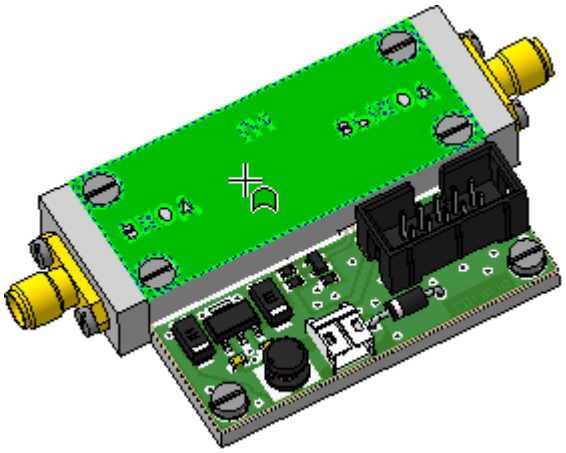


Рис. 23.1

Сохранить ориентацию 3D-модели, добавив новый вид с помощью команды **Вид ⇒ Ориентация** и присвоив ему имя (например, **Главный**).

Сохранить изменения (**Ctrl+S**) и закрыть вкладку с 3D-моделью.

3. По информации из 7.1 создать новый чертеж и задать следующие настройки листа:

– формат – **А3**;

– ориентация – **горизонтальная**;

– оформление – **Чертеж констр. Первый лист. ГОСТ 2.104-2006**.

4. Сохранить чертеж командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.cdw». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01СБ - Модуль усилителя - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1** (см. рис. 2.7).

5. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5).

6. Запустить команду **Стандартные виды** (см. рис. 7.6) и указать путь к 3D-модели «модуля усилителя».

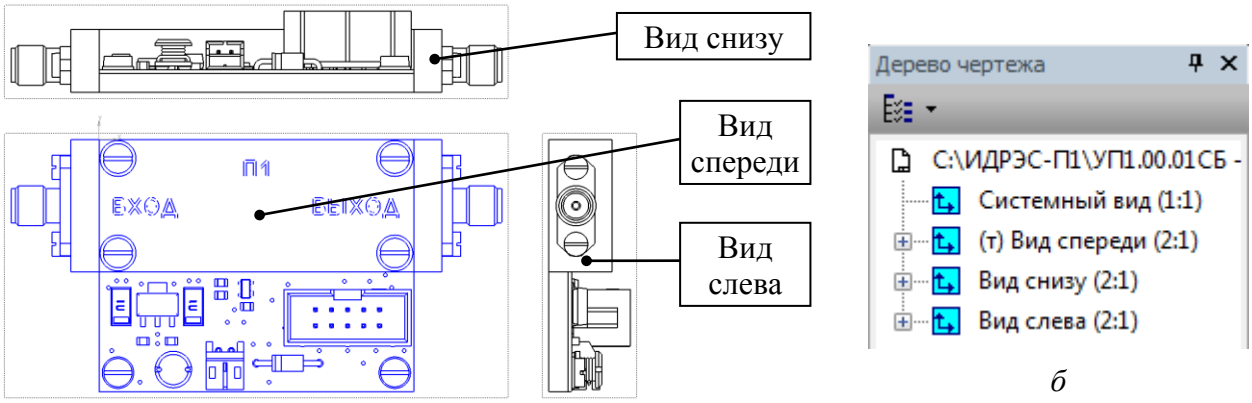
В **Панели свойств** на вкладке **Параметры** выполнить следующее:

– в поле **Ориентация главного вида** выбрать **Главный** (задан в п. 2);

– в поле **Схема видов** указать **вид спереди**, **вид снизу** и **вид слева** (расположение видов см. на рис. 7.3);

– в поле **Масштаб вида** выбрать масштаб **2:1**.

Реультат в варианте «П1» с обозначением видов показан на рис. 23.2, *а*.



а *б*

Рис. 23.2

7. В **Дереве чертежа** изменить названия видов в соответствии с обозначениями на рис. 23.2, *а* (см. п. 7 из 17.2).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 23.2, *б*.

8. Заполнить графы рамки в соответствии с табл. 23.1. Содержание остальных граф должно соответствовать данным табл. 17.1.

Пояснения к заполнению приведены в п. 8 из 17.2.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1 и на рис. 3.6, *а* и *в*.

Таблица 23.1

Содержание граф рамки для сборочного чертежа «модуля усилителя», отличающихся от чертежа ПП

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Модуль усилителя Сборочный чертеж	Наименование изделия определено в табл. 2.1 и записывается автоматически, так как было задано в свойствах 3D-модели. Наименование документа указывается командой **ПКМ ⇒ Вставить код и наименование**. В открывшемся окне выбирается строчка с кодом **СБ**, внизу окна отключается опция **Код через пробел** и нажимается **ОК**. Параметры шрифта в **Панели свойств** на вкладке **Формат**: – для наименования изделия: высота символов – **7**, шаг строк – **11**; – для наименования документа: высота символов – **5**, шаг строк – **8**
2	УП1.00.01СБ	Обозначение документа определено в табл. 2.1, указано для варианта «П1» и записывается автоматически, так как было задано в свойствах 3D-модели, а код документа – при заполнении графы 1. Данные этой графы повторяются на каждом новом листе

Окончание таблицы 23.1

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
3	См. комментарий	Графа должна остаться пустой
5	43 г	Заполняется автоматически при выборе в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** в поле **Единицы измерения массы** опции **граммы**, а в поле **Точность представления** значения **0**
6	2:1	Заполняется автоматически в соответствии с масштабом главного вида
25	УП1.00.01	Обозначение спецификации, в которой записан КД, определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»
26	УП1.00.01СБ	Заполняется автоматически и полностью соответствует содержанию графы 2. Данные этой графы повторяются на каждом новом листе

9. Запустить режим редактирования основной надписи и в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** отжать пиктограмму **Синхронизация данных** (см. рис. 7.7), тем самым отключив передачу данных между 3D-моделью и основной надписью чертежа.

10. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

11. На **Виде спереди** создать местный разрез, показав расположение прорези в боковой стенке «экрана».

Для этого выполнить следующее:

11.1. Сделать текущим **Вид спереди**.

11.2. Запустить команду **Сплайн по точкам** (см. рис. 7.15) из ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия** и в **Панели свойств** в поле **Тип кривой** выбрать пункт **Кривая Безье**, а в поле **Режим** – **Замкнутый объект**.

Стиль линии не имеет значения.

Затем в рабочем поле в том месте вида, где планируется создать местный разрез, нарисовать замкнутый контур.

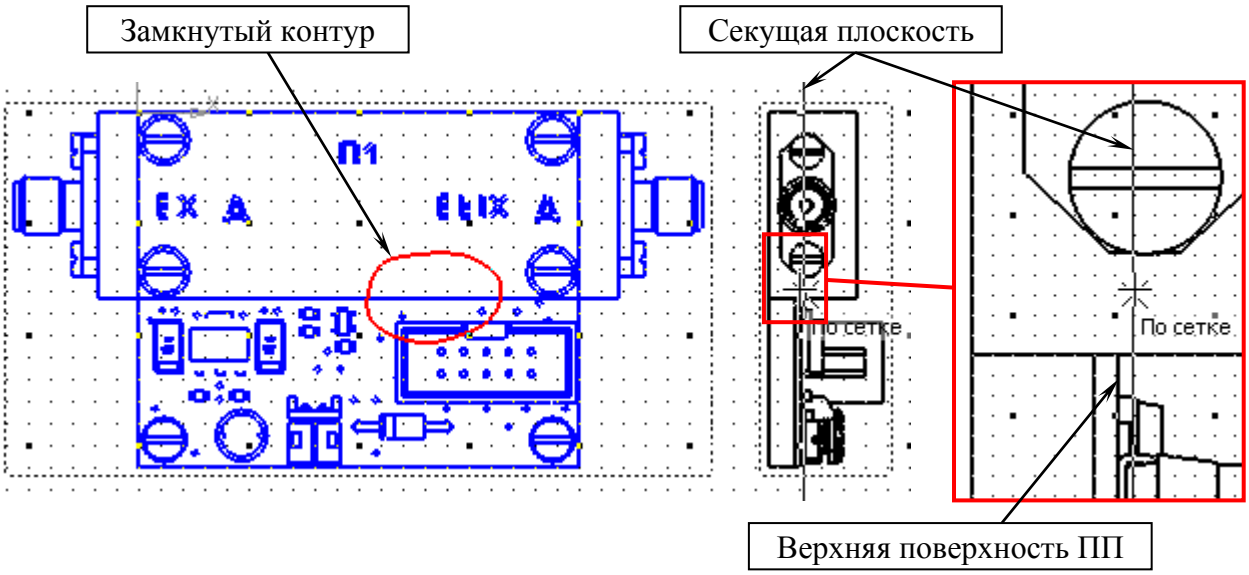
11.3. Запустить команду **Местный разрез** из ПИ **Компактная панель ⇒ Виды** (рис. 23.3).



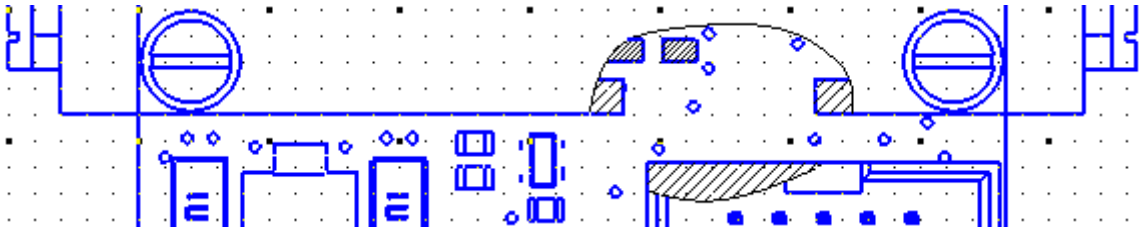
Рис. 23.3

В рабочем поле сначала ЛКМ указать замкнутый контур, в результате чего он изменит цвет на красный, а затем положение секущей плоскости на любом виде, плоскость расположения которого перпендикулярна плоскости **Вида спереди**, при этом расстояние от секущей плоскости до верхней поверхности ПП должно быть менее 1 мм.

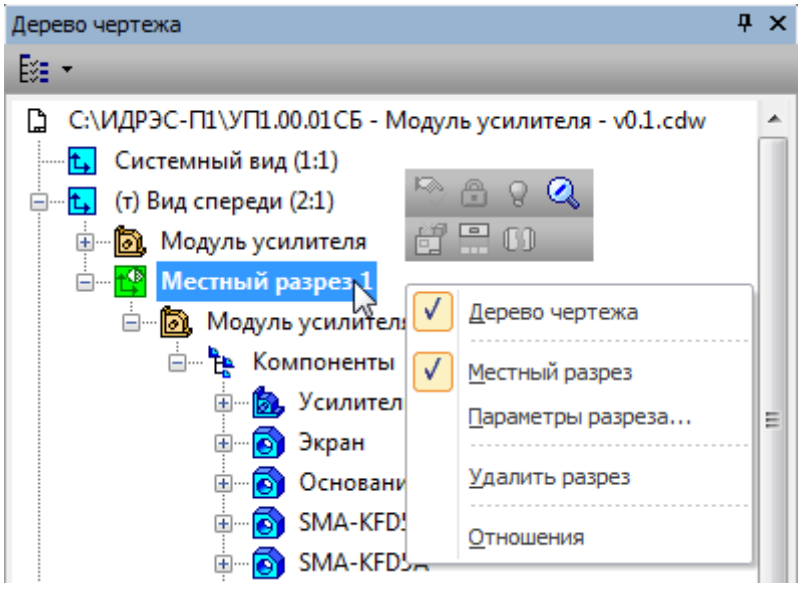
В варианте «П1» секущая плоскость указана на **Виде слева** (рис. 23.4, *а*).



а



б



в

Рис. 23.4

Результат создания местного разреза показан на рис. 23.4, *б*.

11.4. Если разрез оказался в неправильном месте, то отредактировать форму его контура и расположение секущей плоскости, для чего в **Дереве чертежа** раскрыть группу **Вида спереди** и выполнить одну из следующих команд (рис. 23.4, *в*):

– **ПКМ ⇒ Удалить разрез** – для удаления местного разреза;

– **ПКМ ⇒ Местный разрез** – для включения и отключения местного разреза (например, после его отключения можно поменять контур);

– **ПКМ ⇒ Параметры разреза** – для задания параметров местного разреза (например, для изменения положения секущей плоскости в **Панели свойств** необходимо нажать кнопку **Секущая плоскость**).

Кроме того, в этой же группе можно выбрать части 3D-модели, которые подлежат или не подлежат разрезу.

После редактирования местного разреза перестроить чертеж командой **Вид ⇒ Перестроить** (или клавишей **F5**).

12. Убедиться в том, что местный разрез редактировать больше не нужно, после чего разрушить все виды.

13. Сохранить чертеж (**Ctrl+S**) и осуществить проверку по п. 12 из 6.5.

14. Командой **Усечь кривую** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование** (см. рис. 6.20) максимально упростить все виды, кроме **Вида спереди** (см. п. 1.5 из 19.1).

При необходимости воспользоваться командой **Удлинить до ближайшего объекта** из той же ПИ.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 23.5.

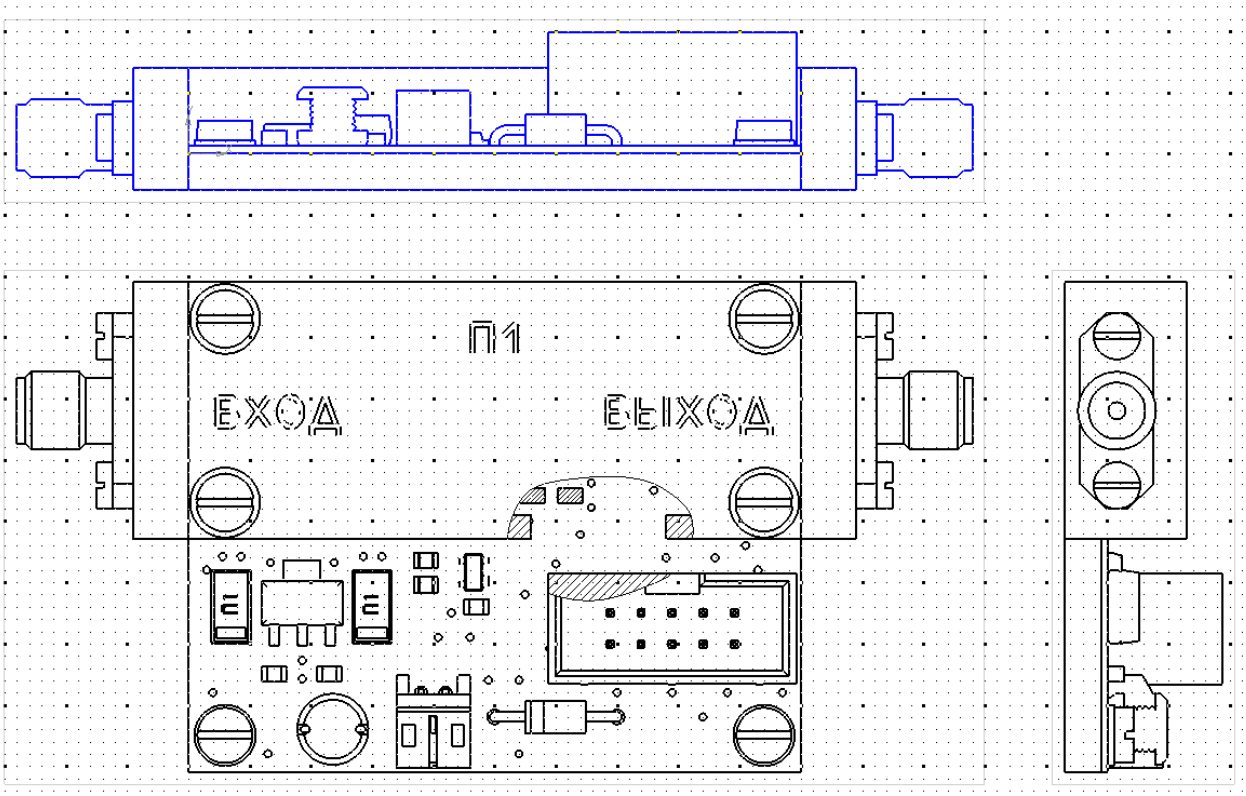


Рис. 23.5

15. Отредактировать **Вид спереди**:

15.1. Сделать вид текущим и удалить контуры надписей с «экрана», а также компоненты и переходные отверстия с ПП «усилителя» (рис. 23.6).

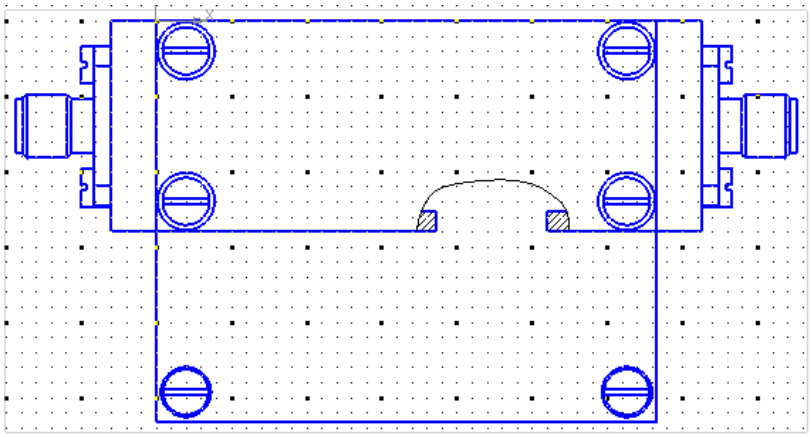


Рис. 23.6

15.2. При необходимости изменить шаг штриховки местного разреза.

15.3. На место удаленных объектов с «экрана» добавить текстовые надписи из чертежа «экрана» (расположение указано в п. 4 из 20.1).

Если чертеж «экрана» не разрабатывался, то надписи скопировать из его 3D-модели по п. 11 из 20.1.

15.4. На место удаленных с ПП «усилителя» компонентов добавить соответствующую графику из сборочного чертежа «усилителя» (расположение указано в п. 4 из 19.3).

Затем удалить позиционные обозначения компонентов и информацию о положении первых выводов.

15.5. Упростить изображения СВЧ-разъемов.

15.6. Удалить фаски отверстий в «экране» и окружности шайб на ПП.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 23.7.

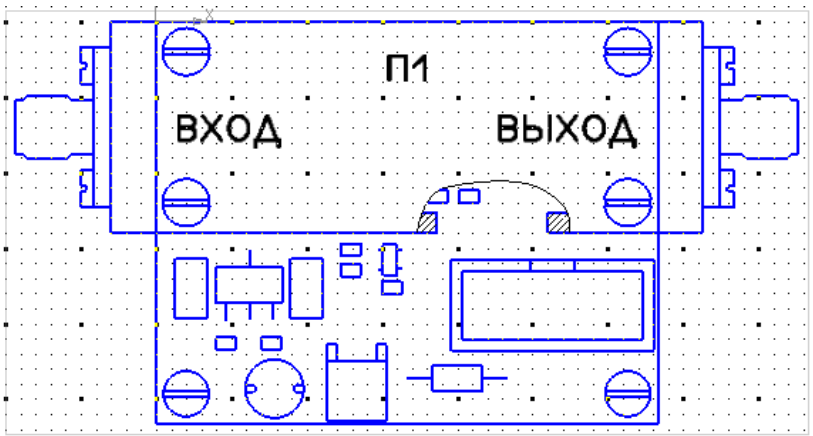


Рис. 23.7

16. Отдельно для каждого вида, предварительно делая его текущим, отредактировать изображения винтов:

16.1. Изменить изображения головок винтов в соответствии с требованием ГОСТ 2.315–68: шлицы на головках следует изображать при виде сверху одной сплошной линией под углом 45º к рамке чертежа, а при виде сбоку – по оси крепежной детали (рис. 23.8).

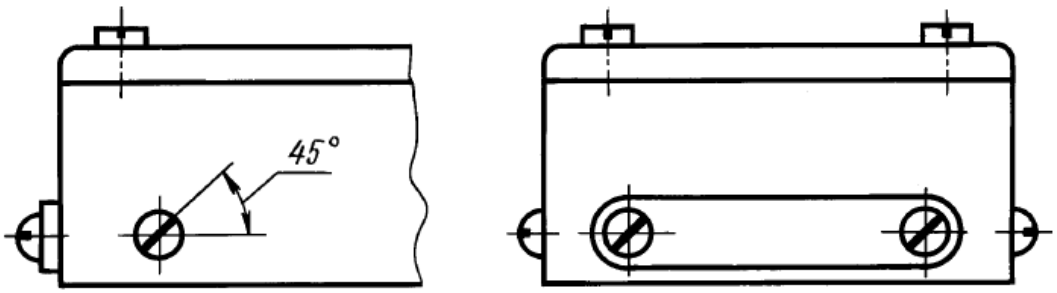


Рис. 23.8 [9]

16.2. Включить режим **Ортогональное черчение** клавишей **F8**.

16.3. В соответствии с рис. 23.8 командами **Обозначение центра** и **Осевая линия по двум точкам** из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (см. рис. 17.5) обозначить центры винтов и их оси.

17. Командой **Линейный размер** или **Авторазмер** (см. рис. 7.21) проставить габаритные размеры изделия и размер, показывающий выполнение требования общего задания на проектирование по толщине изделия в области расположения «экрана».

Необходимо обратить внимание на следующее:

– вид, на котором проставляются размеры, должен быть текущим;

– добавленные размеры должны удовлетворять требованиям из Д.5;

– так как все размеры справочные, и об этом будет дано указание в ТТ, то по п. 2 из Д.5 знак «*» после размерных чисел ставить не нужно;

– в вариантах задания с параллельным расположением боковых выступов «основания» показать обозначение посадки (см. примечание к п. 17.4 из 20.1), для чего в режиме редактирования размера в окне **Задание размерной надписи** в поле **Текст после** дважды щелкнуть ЛКМ и в выпадающем меню выбрать **Посадки в системе отверстия ⇒ Посадки с зазором ⇒ H11/d11**;

– так как виды были разрушены, а проекционные связи между ними удалились, то при необходимости перемещения видов друг относительно друга проследить за тем, чтобы они находились на одной горизонтали и вертикали относительно **Вида спереди**.

Вид спереди в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 23.9.

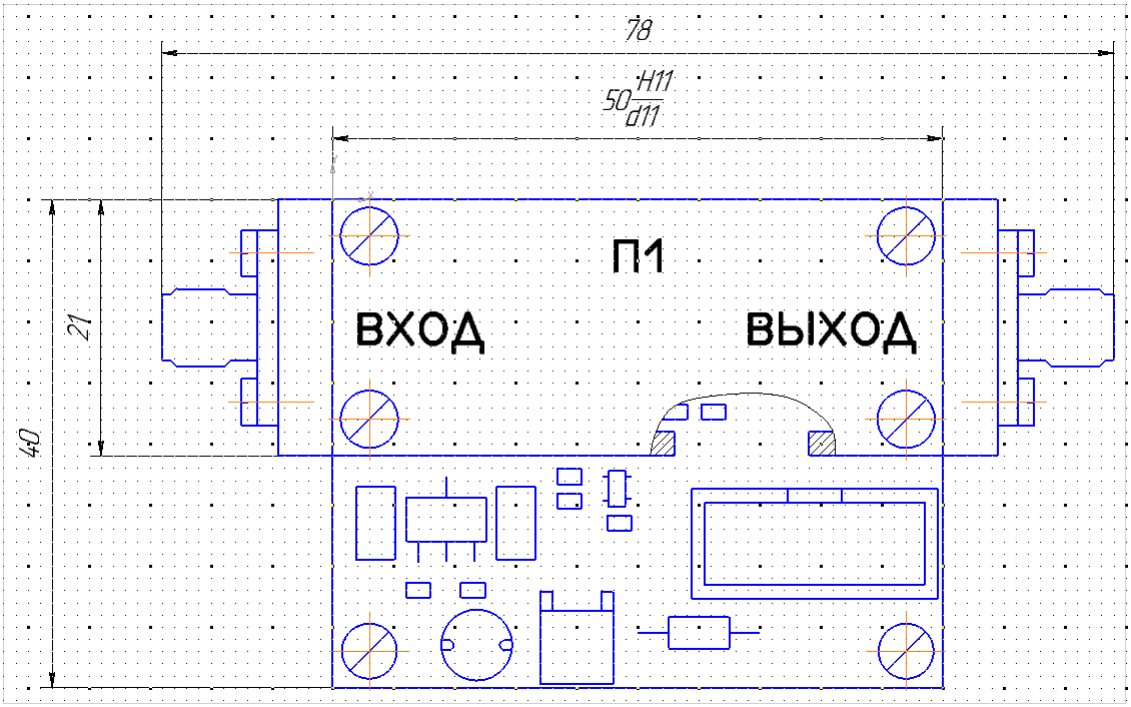


Рис. 23.9

18. Отключить режим **Ортогональное черчение** клавишей **F8**.

19. Командой **Обозначение позиций** (см. рис. 19.32) из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** нанести номера позиций всех составных частей «модуля усилителя» из его спецификации (расположение указано в п. 2 из разд. 22).

Необходимо обратить внимание на следующее:

– вид, на котором проставляются позиции, должен быть текущим;

– если требуется сдвинуть вид, то после начала его перемещения зажать клавишу **Shift**, чтобы он находился на одной горизонтали (вертикали) относительно **Вида спереди**;

– правила простановки номеров позиций указаны в пп. 1.6–1.11 из 19.1;

– при случайном добавлении лишних ответвлений удалить их в соответствии с информацией п. 24 из 7.3.

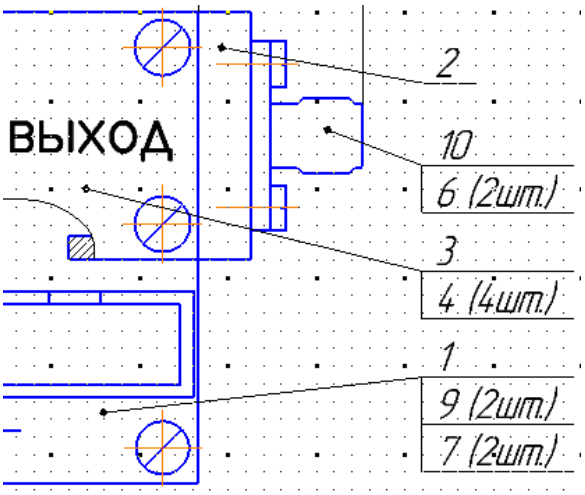
Результат в варианте «П1» показан на рис. 23.10.

20. Выровнять обозначения позиций по вертикали или горизонтали, для чего выполнить следующее:

– выделить требуемые обозначения позиций;

– запустить команду **Инструменты ⇒ Выровнять позиции по вертикали** или **Выровнять позиции по горизонтали** (или выбрать соответствующую пиктограмму в появившейся над курсором ПИ);

– указать базовую точку, по которой будет происходить выравнивание.



Краткая расшифровка номеров позиций из спецификации на «модуль усилителя» УП1.00.01 (см. рис. 22.3):
– 1 – Усилитель УП1.01.01 (1 шт.);
– 2 – Основание УП1.00.02 (1 шт.);
– 3 – Экран УП1.00.03 (1 шт.);
– 4 – Винт М2,5×9 ГОСТ 17475–80 (4 шт.);
– 6 – Винт М2×4 ГОСТ 1491–80 (4 шт.);
– 7 – Винт М2,5×3 ГОСТ 1491–80 (2 шт.);
– 9 – Шайба 2,5 ГОСТ 10450–78 (2 шт.);
– 10 – Розетка SMA-KFD5A (2 шт.)

Рис. 23.10

21. По пп. 23.1–23.7 из 19.3 добавить установочный чертеж СВЧ-разъема SMA-KFD5A из папки **…\ИДРЭС\Монтаж элементов**.

Следует отметить, что позиционные обозначения СВЧ-разъемов необходимо взять со схемы Э3 «модуля усилителя» (расположение указано в п. 1 из 10.1).

Затем в добавленном чертеже установки выполнить следующее:

– расположить изображения СВЧ-разъема по горизонтали, для чего воспользоваться командой **Поворот** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование** (см. рис. 6.20) при зажатой клавише **Shift**;

– удалить знаки «*» в размерах, так как все размеры будут справочными;

– удалить знаки «**» в обозначениях позиций и ввести номера позиций согласно спецификации на «модуль усилителя»;

– отредактировать положения обозначений позиций и линии-выноски;

– удалить поясняющую текстовую надпись под изображением.

Результат в варианте «П1» показан на рис. 23.11.

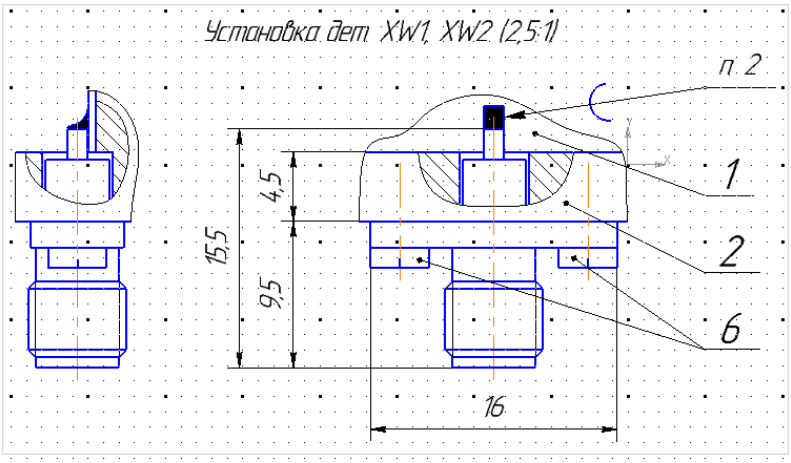


Рис. 23.11

22. Сделать текущим **Вид спереди** и командой **Ввод текста** из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (см. рис. 6.41) добавить у СВЧ-разъемов и «усилителя» их позиционные обозначения со схемы Э3 «модуля усилителя».

В **Панели свойств** на вкладке **Формат** выбрать следующие настройки: Шрифт – **GOST type A**; Высота символов – **3.5**; опции Курсив, Полужирный, Подчеркнутый – отключено.

23. Сохранить сборочный чертеж (**Ctrl+S**).

24. Добавить ТТ, для чего выполнить следующие действия:

24.1. Войти в режим редактирования ТТ.

24.2. По п. 25.2 из 17.2 задать необходимые настройки.

24.3. Ввести текст следующего вида:

1 Размеры для справок.

2 Паять ПОС 61 ГОСТ 21930-76.

3 Позиционные обозначения элементов показаны условно.

4 Электромонтаж вести по УП1.00.01Э3.

5 Установку разъемов поз. Х осуществить по приведенному варианту установки. Центральные жилы лудить (см. п. 2).

6 Винты поз. Y стопорить по ОСТ 107.460091.014-2004, вид 25Г.

7 Остальные технические требования по ОСТ4 ГО.070.015.

При копировании обратить внимание на примечание к п. 25.3 из 17.2.

24.4. Сохранить ТТ (**Ctrl+S**) и выйти из режима их редактирования.

24.5. Убедиться в том, что расстояние между нижней строкой ТТ и рамкой основной надписи не менее 10 мм.

При необходимости изменить положение ТТ по п. 25.5 из 17.2.

24.6. Комментарий к 6-му пункту ТТ из п. 24.3.

В этом пункте дана ссылка на отраслевой стандарт ОСТ 107.460091.014–2004 [96], в котором устанавливаются способы и виды предохранения (стопорения) резьбовых соединений от самоотвинчивания и даются ТТ к ним.

Среди способов стопорения различают две группы:

– стопорение с применением механических средств (стопорные шайбы, обвязочная проволока, боковое кернение, пружинные шайбы, самоконтрящиеся гайки и др.);

– стопорение с применением анаэробных герметиков и стопорение с применением красок, эмалей и грунтовки.

В зависимости от применяемых средств стопорения каждый способ предохранения резьбовых соединений от самоотвинчивания подразделяют на

виды. Виды стопорения выбирает конструктор в зависимости от имеющихся возможностей при сборке и с учетом особенностей конструкции, условий эксплуатации и ремонта изделия.

Например, указанный в ТТ вид 25Г – стопорение краской для резьбовых соединений, показанных на рис. 23.12. При таком виде стопорения краску наносят на боковую поверхность головки болта (винта) по всему периметру с переходом на поверхность закрепляемой детали. Контроль проводят визуально.

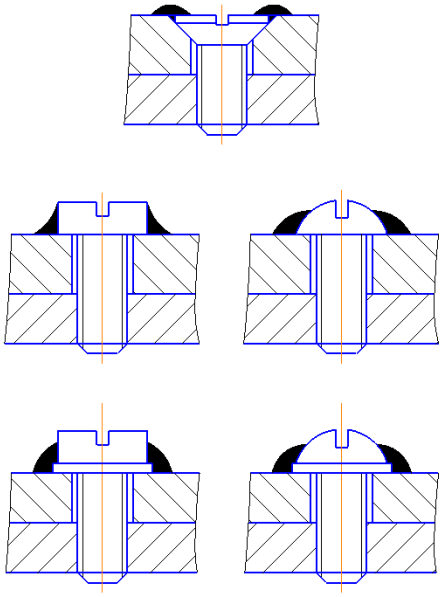


Рис. 23.12

Буква «Г» – условное обозначение эмали ЭП-51 ГОСТ 9640-85. Демонтаж застопоренных соединений при ее использовании производится стандартным инструментом без затруднений.

Стопорение красками целесообразно применять для резьбовых соединений диаметром М1–М12 и крепления узлов конструкций, расположенных внутри блоков и подвергающихся в процессе сборки и настройки частым регулировкам.

25. Войти в режим редактирования ТТ и выполнить следующее:

25.1. Подвести курсор мышки к названию вкладки с ТТ, зажать ЛКМ и переместить курсор мышки в любое место рабочего поля. В результате оно разделится на две части (рис. 23.13).

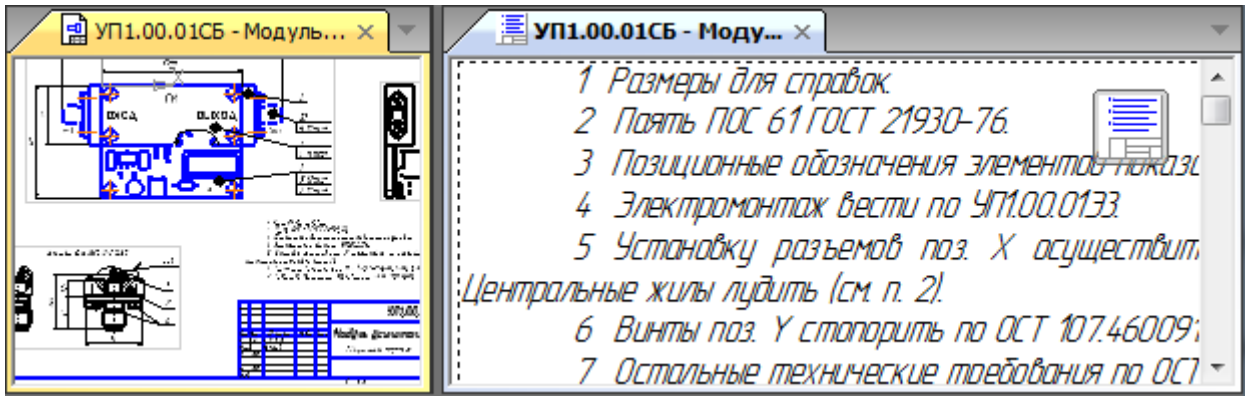


Рис. 23.13

25.2. Заменить в тексте ТТ буквы **X** и **Y** ссылками (команда **ПКМ ⇒ Вставить ссылку**) на номера позиций.

Настройки окна **Ссылка**:

– в поле **Тип источника – Обозначение позиции**;

– в поле **Ссылка на – Только номер позиции**.

Проконтролировать правильность замены по вкладке со сборочным чертежом «модуля усилителя» (выбранная позиция будет подсвечена) и по спецификации.

25.3. Заменить в пятом пункте ТТ номер пункта, указанного в скобках, ссылкой с настройками окна **Ссылка** по п. 28.4 из 19.3.

25.4. Сохранить ТТ (**Ctrl+S**) и выйти из режима их редактирования.

26. На виде с чертежом установки СВЧ-разъемов заменить номер пункта на линии-выноске с обозначением пайки ссылкой на 2-й пункт ТТ. Настройки окна **Ссылка** задать по п. 28.4 из 19.3.

27. Убедиться в том, что **Вид слева** и **Вид снизу** находятся соответственно на одной горизонтали и вертикали с **Видом спереди**.

Если это не так, то выполнить следующее:

– выбрать ЛКМ требуемый вид;

– запустить команду **Сдвиг** (см. рис. 6.20);

– указать базовую точку для сдвига на выделенном виде;

– осуществить выравнивание с помощью команды **ПКМ ⇒ Геометрический калькулятор ⇒ Выровнять по двум точкам** (необходимые пояснения даны в п. 14 из 7.3).

28. Сохранить изменения в сборочном чертеже (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. 23.14.

Примечание. На готовое изделие обычно наносится маркировка различными способами (например, обозначение основного КД и наименование изделия краской). В данном учебном пособии предполагается, что такой маркировкой является номер варианта, нанесенный способом гравирования на «экране».

29. Сохранить сборочный чертеж в формате PDF по 17.3.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01СБ - Модуль усилителя - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_pdf** (см. рис. 2.7).

30. При необходимости скорректировать формат сборочного чертежа в спецификации «модуля усилителя» согласно пп. 1.11 и 1.18 из 18.1.

После внесения изменений сохранить спецификацию командой **Файл ⇒ Сохранить как** в ту же папку и с тем же расширением, но с версией **v0.2**. Предыдущую версию спецификации удалить.

Так как в варианте «П1» сборочный чертеж получился на листе формата А3, то корректировка не потребовалась.

31. Сохранить спецификацию в формате PDF по п. 11 из 9.2.

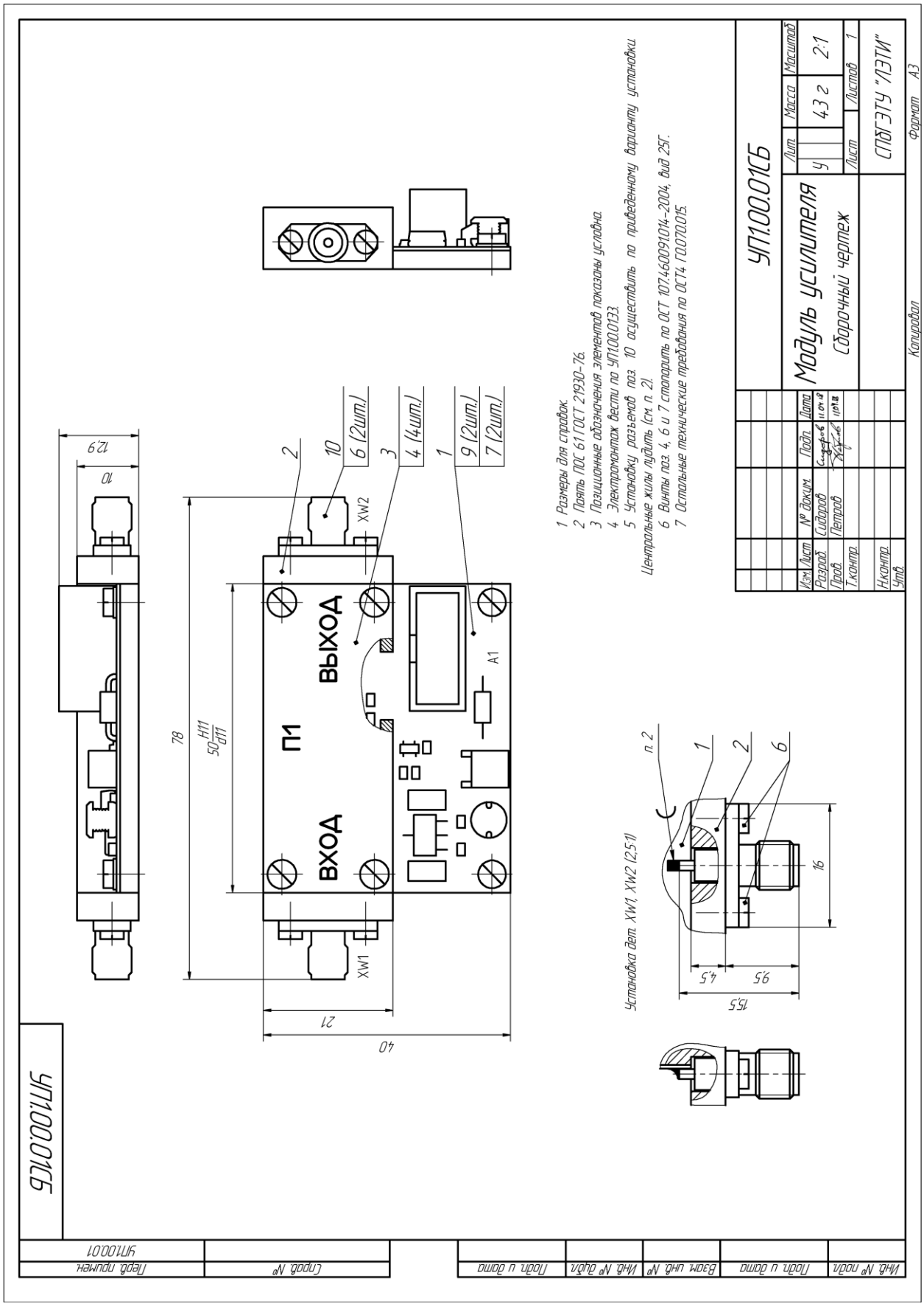

УП1.00.01Б
Модуль усилителя
Сборочный чертеж
Лит.
Масса
Масштаб
43 г
2:1
Лист
Листов 1
СПбГЭТУ "ЛЭТИ"
Копировал
Формат А3
Разраб. Сидоров
Пров. Петров
Т.контр.
Н.контр.
Утв.
1. Размеры для справок.
2. Платы ПЛ 611ОСТ 21930-76.
3. Позиционные обозначения элементов показаны условно.
4. Электромонтаж вести по УП1.00.0133.
5. Установку разъемов поз. 10 осуществить по приведенному варианту установки.
Центральные жилы лудить (см. п. 2).
6. Винты поз. 4, 6 и 7 стопорить по ОСТ 107460091014-2004, вид 25Г.
7. Остальные технические требования по ОСТ4 Г0.070015.
П1
ВЫХОД
ВХОД
XW1
XW2
A1
10
6 (2шт.)
4 (4шт.)
9 (2шт.)
7 (2шт.)
78
50
21
40
12,9
10
Установка дет. XW1, XW2 (2:1)
п. 2
15,5
9,5
4,5
16
УП1.00.01Б
Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Рис. 23.14

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01 - Модуль усилителя - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_pdf** (см. рис. 2.7).

32. При желании выполнить 9-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3 и прил. Р).

23.2. Содержание отчета

По 22-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести спецификацию на «модуль усилителя», распечатанную на отдельном листе (листах).

По 23-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести сборочный чертеж «модуля усилителя», распечатанный на отдельном листе (листах).

Схема складывания листа формата А3 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа для непосредственного брошюрования показана на рис. 8.71.

24. 3D-МОДЕЛИ В PDF

24.1. Общие сведения

Все КД из прошлых разделов были сохранены как в основном формате для того программного продукта, в котором они создавались (например, чертежи КОМПАС-3D в формате CDW), так и в формате PDF.

Представление КД в формате PDF имеет ряд достоинств:

– один общий формат файлов для всех созданных КД, вне зависимости от программного продукта, в котором они были разработаны, что идеально подходит для демонстрации проделанной работы;

– легкодоступные, малого размера, бесплатные и многочисленные варианты программ, позволяющих прочитать формат PDF (**Adobe Reader**, **Foxit PDF Reader** и др.) с возможностью не только просматривать, но добавлять комментарии и пр.;

– возможность открыть формат PDF на любом устройстве (компьютер, ноутбук, планшет, смартфон и др.);

– обычно меньший размер файла в сравнении с исходными форматами.

Кроме того, в формате PDF можно просматривать трехмерную информацию, при этом остаются следующие возможности:

– поворот и масштабирование 3D-модели;

– скрытие или отображение отдельных частей 3D-модели;

– нанесение размеров;

– создание разрезов и др.

Примерами программных продуктов, которые позволяют просматривать 3D-модели с указанными возможностями, являются:

– в Windows – **Adobe Reader**, **Adobe Acrobat** (**3D** и **Pro**) фирмы Adobe;

– в Android и iOS – **3D PDF Reader** фирмы Tech Soft 3D.

В профессиональных САПР обычно есть встроенный конвертер 3D-pdf, однако в каждой из них он имеет свои особенности, например:

– в КОМПАС-3D на выходе получается весьма посредственный результат (плохое качество поверхностей, потеря цвета, отсутствие текстур);

– в SolidWorks, в отличие от КОМПАС-3D, есть возможность работы с текстурами, но в 3D-pdf модели все же переносятся плохо;

– в Altium Designer получается хороший результат (переносятся слои и металлизация каждой цепи как отдельные модели), но 3D-модели компонентов не являются цельными телами.

24.2. Создание 3D-pdf

Для получения коектного 3D-pdf с текстурами (или без них) необходимо выполнить следующие действия:

1. В **КОМПАС-3D** подготовить 3D-модель «модуля усилителя» и сохранить ее в одном из промежуточных файлов:

1.1. Открыть 3D-модель «модуля усилителя» (расположение указано в п. 3 из разд. 14).

1.2. Для реалистичности включить отображение резьбы в 3D-моделях СВЧ-разъемов с помощью переменной:

– нажать пиктограмму **Переменные** на ПИ **Стандартная** (или запустить команду **Вид ⇒ Панели инструментов ⇒ Переменные**);

– в открывшемся окне **Переменные** в группе «модуля усилителя» раскрыть две группы для СВЧ-разъемов (**SMA-KFD5A**);

– в столбце **Выражение** напротив переменных **Thread** поставить цифру **1** и нажать клавишу **Enter**;

– нажать клавишу **F5** (или выполнить команду **Вид ⇒ Перестроить**).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 24.1.

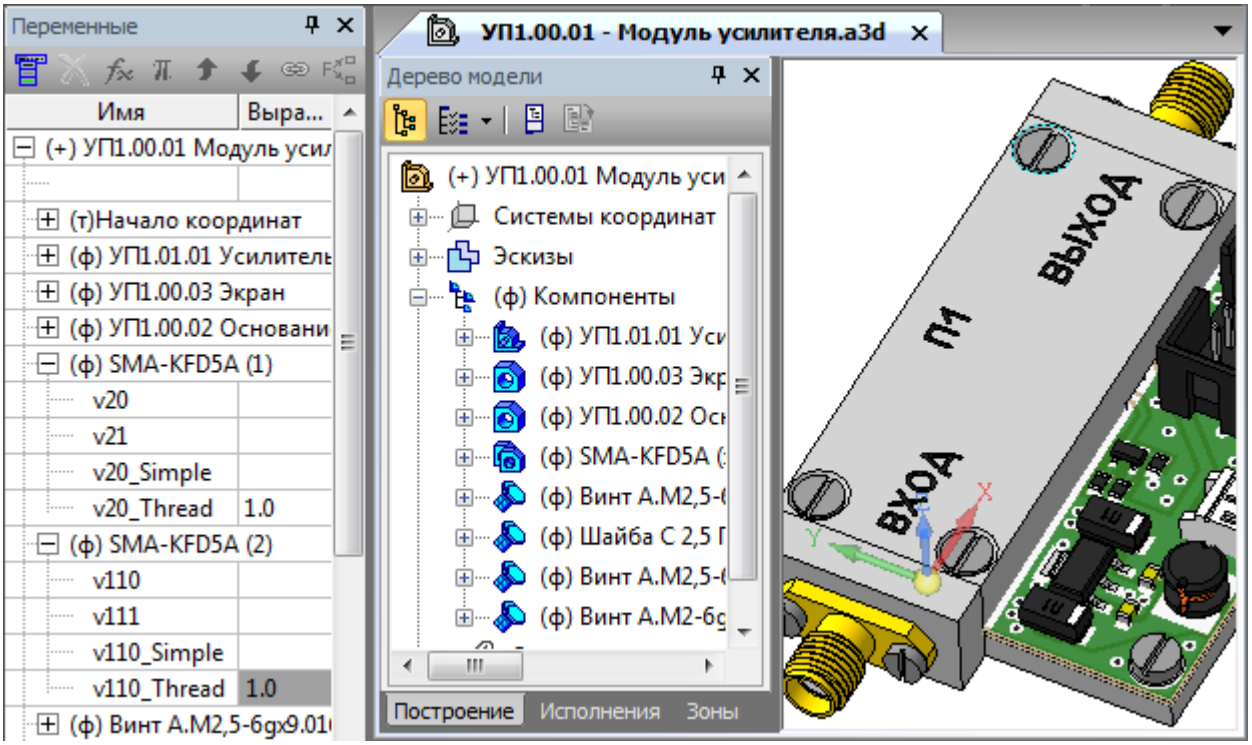


Рис. 24.1

1.3. Запустить команду **Файл ⇒ Сохранить как**.

В открывшемся окне выбрать тип промежуточного файла **Parasolid Binary (*.x_b)**, задать имя и путь сохранения файла, после чего нажать кнопку

Сохранить. Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01 - Модуль усилителя**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_Модели**.

В появившемся окне **Запись файла формата XT** оставить настройки по умолчанию и нажать кнопку **Начать запись**.

Примечание. Кроме выбранного типа файла 3D-модель также можно сохранить в промежуточном файле с расширением «.stl», «.stp», «.step», «.sat», «.igs», «.iges» или «.x_t». Однако лучший результат обычно обеспечивает именно двоичный формат Parasolid («.x_b»).

2. В полученном промежуточном файле с расширением «.x_b» добавить на поверхности ПП текстуры слоев, после чего сконвертировать его в файл с расширением «.u3d» (Universal 3D File):

2.1. Если п. 30 из 16.1 не был выполнен или создается 3D-pdf без текстур, то перейти к п. 3.

2.2. Открыть программу **Adobe Acrobat 3D Toolkit** из комплекта Adobe Acrobat 3D, предназначенную для просмотра и конвертации файлов разнообразных форматов – двухмерных, трехмерных, анимации, видео и аудио.

Примечание. Заменой данной программы является Deep Exploration CAD Edition фирмы Right Hemisphere, которая обладает идентичным интерфейсом и расширенными возможностями.

2.3. В проводнике (**Folders**), находящемся слева от рабочего поля, выбрать папку, указанную в п. 1.3.

2.4. На вкладке **Local**, находящейся под рабочим полем, выбрать файл с расширением «.x_b», щелкнув по нему ЛКМ.

Примечание. При использовании Deep Exploration CAD Edition в появляющемся при импорте окне для параметра Tessellation Level следует выбрать опцию High. При необходимости данное окно можно открыть командой ПКМ ⇒ Import Options, выполненной на файле модели.

В результате в рабочем поле появится 3D-модель и 2 панели (рис. 24.2):

– **Information Bar** с информацией об открытом файле;

– **Scene Components**, содержащая пять панелей: Scene Tree, Materials, Parts, Animation и Layers. По умолчанию будет открыта панель Scene Tree с составными частями 3D-модели и материалами, использованными для их оформления.

2.5. Убедиться в том, что в списке панелей (команда **View ⇒ Controls and Toolbars**) подключены следующие ПИ: **3D Editor**, **Navigation**, **UV Mapping**, **Surfaces**.

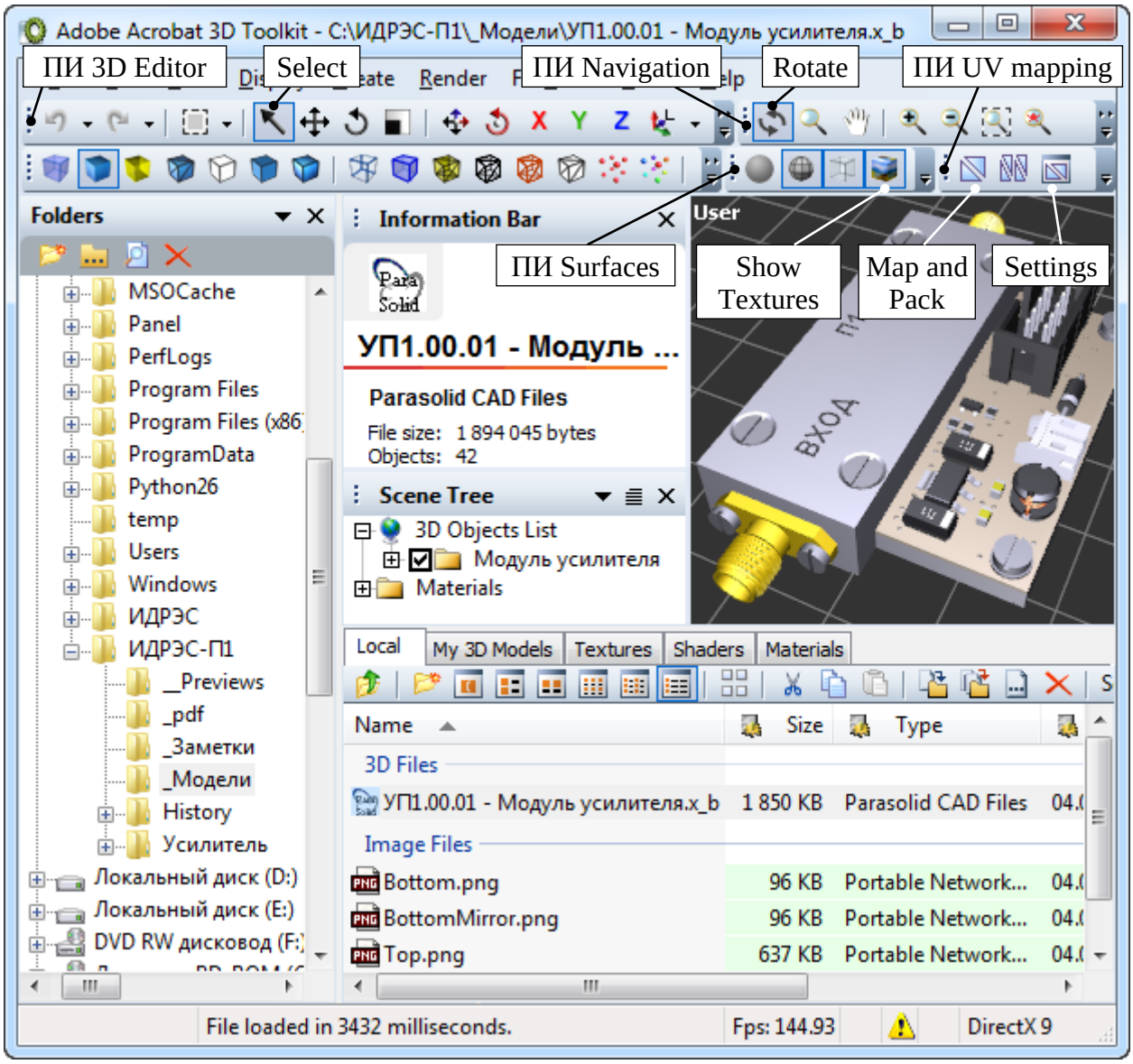


Рис. 24.2

Примечание. При использовании Deep Exploration CAD Edition понадобятся только две ПИ – 3D Editor Toolbar, Navigation Toolbar. Они присутствуют во всех наборах ПИ, но рекомендуется в меню Tab Options выбрать опцию Default и перейти на вкладку View (рис. 24.3).

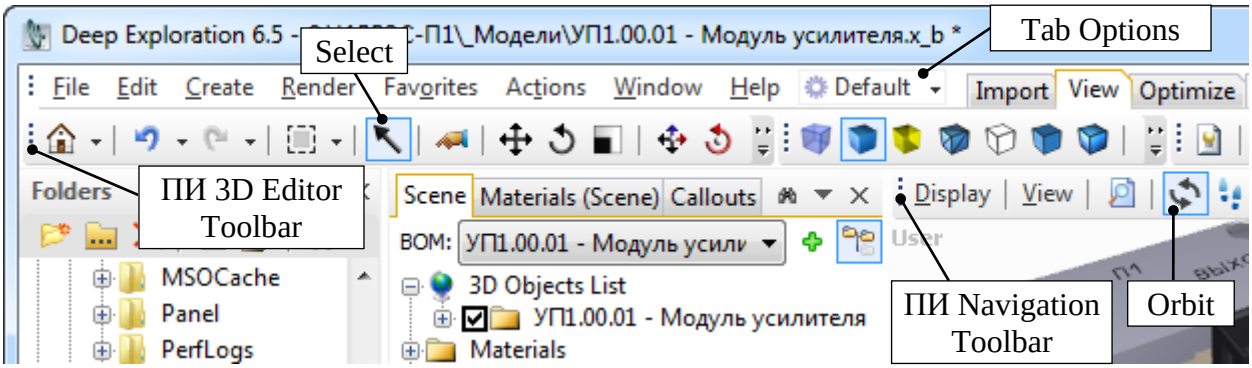


Рис. 24.3

2.6. Убедиться в том, что включены следующие опции (см. рис. 24.2):

– на ПИ **3D Editor** – **Select** (режим выбора объектов);

– на ПИ **Navigation** – **Rotate** (режим поворота 3D-модели);

– на ПИ **Surfaces** – **Show Textures** (отображение текстур);

– в нижнем правом углу окна – драйвер **DirectX** любой версии.

Примечание. В Deep Exploration CAD Edition на ПИ Navigation Toolbar соответствующая опция называется Orbit (см. рис. 24.3). На ПИ Surfaces Toolbar все опции по умолчанию будут соответствовать показанным на рис. 24.2 (при необходимости ПИ включаются из меню Window ⇒ Toolbars).

2.7. Выполнить команду **Tools ⇒ 3D Tools ⇒ Remove Duplicate Materials** для удаления повторяющихся материалов.

Примечание. При использовании Deep Exploration CAD Edition запуск команды не требуется. Если она все же понадобится, то ее можно найти в меню Actions ⇒ 3D Actions.

2.8. Создать новый материал с текстурой слоя Top Layer ПП:

– в панели **Scene Tree** раскрыть группу **Materials** и на названии группы выполнить команду **ПКМ ⇒ Create Material**;

– командой **ПКМ ⇒ Material Properties** (или двойным щелчком ЛКМ) открыть окно свойств созданного материала (последний в списке);

– в открывшемся окне на вкладке **Basic** в поле **Name** записать имя материала – **Top**;

– на вкладке **Basic** в поле **Specular level** задать низкий уровень зеркальности материала (например, **20**);

– на вкладке **Maps** для объекта **Diffuse** нажать кнопку **Browse** и выбрать файл с текстурой **Top.png** (рис. 24.4);

– применить изменения и закрыть окно **Material Properties**.

2.9. Создать новый материал с текстурой слоя Bottom Layer ПП:

– в панели **Scene Tree** в группе **Materials** на материале **Top** выполнить команду **ПКМ ⇒ Duplicate** (дублировать материал);

– зайти в окно свойств созданного материала и заменить его имя с Top Copy на **Bottom**;

– на вкладке **Maps** выбрать файл с текстурой **BottomMirror.png**;

– применить изменения и закрыть окно **Material Properties**.

2.10. Создать материал для обозначения металлизированных отверстий:

– в панели **Scene Tree** на названии группы **Materials** запустить команду **ПКМ ⇒ Create Material**;

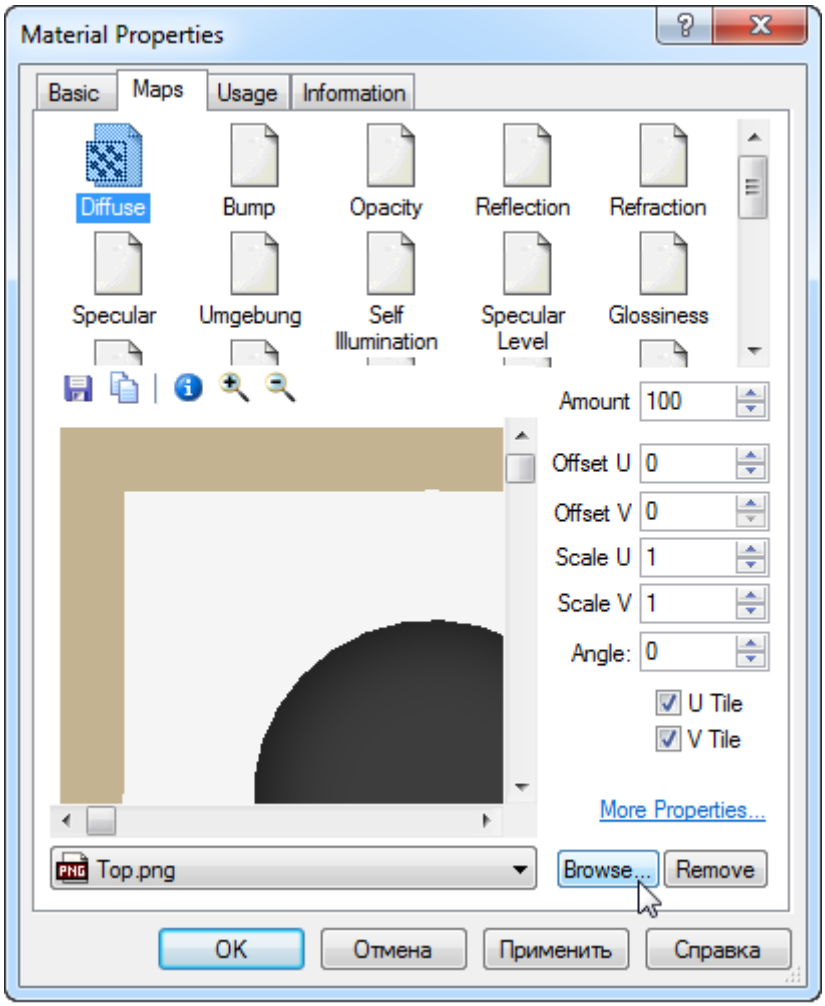


Рис. 24.4

– в окне свойств созданного материала задать имя **Plated Hole**;

– на вкладке **Basic** для параметра **Diffuse** (рис. 24.5) задать дымчато-белый цвет, для чего после открытия окна с выбором цвета нажать кнопку **Определить цвет** и записать его данные в формате RGB – (245, 245, 245);



Рис. 24.5

– на вкладке **Basic** в поле **Specular level** задать низкий уровень зеркальности (например, **20**);

– применить изменения и закрыть окно **Material Properties**.

Панель **Scene Tree** в варианте «П1» на данном этапе показана на рис. 24.6.

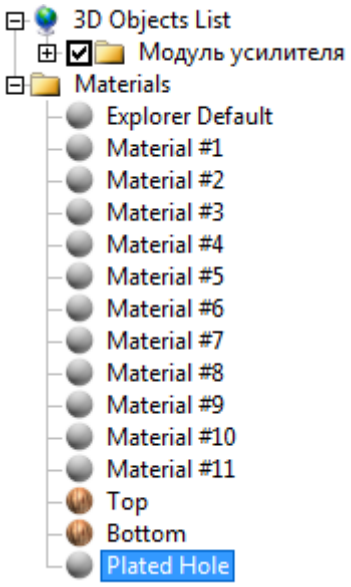


Рис. 24.6

2.11. В панели **Scene Tree** скрыть «модуль усилителя», убрав галочку рядом с его названием.

Примечание. В Deep Exploration CAD Edition русские буквы в названиях составных частей после импорта 3D-модели будут отображаться неправильно, поэтому такие названия следует переименовать (команда ПКМ ⇒ Rename или клавиша F2).

2.12. В панели **Scene Tree** в списке составных частей «модуль усилителя» найти ПП и выполнить следующее:

– включить ее видимость, поставив галочку около названия;

– на названии ПП выполнить команду **ПКМ ⇒ Object Properties**;

– в появившемся окне **Properties of Object 3D** перейти на вкладку **Materials**, выбрать строку с материалом ПП и нажать на ссылку **Material Properties** (рис. 24.7);

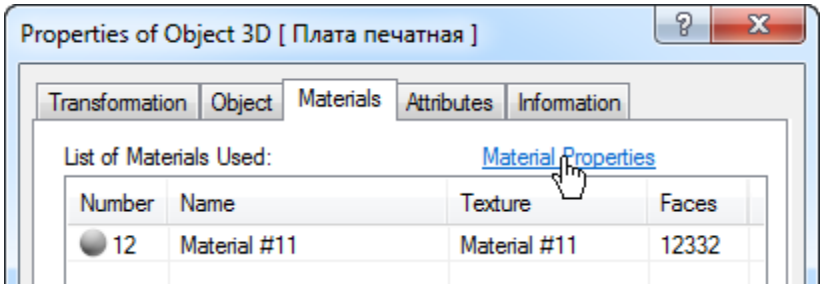


Рис. 24.7

– в появившемся окне **Material Properties** на вкладке **Basic** записать имя материала **PCB** и в поле **Specular level** задать низкий уровень зеркальности (например, **20**);

– применить изменения и закрыть окно **Material Properties**;

– закрыть окно **Properties of Object 3D** кнопкой **OK**;

– на названии ПП выполнить команду **ПКМ ⇒ Tools ⇒ Separate Meshes**, в результате чего ПП будет представлена набором поверхностей.

2.13. Применить материал **Plated Hole** ко всем металлизированным отверстиям ПП:

– в панели **Scene Tree** на группе с поверхностями ПП выполнить команду **ПКМ ⇒ Select Sub-Objects**, после чего щелкнуть ЛКМ с зажатой клавишей **Ctrl** по самой группе, исключив ее из выделения. В результате окажутся выделенными все поверхности ПП (рис. 24.8);

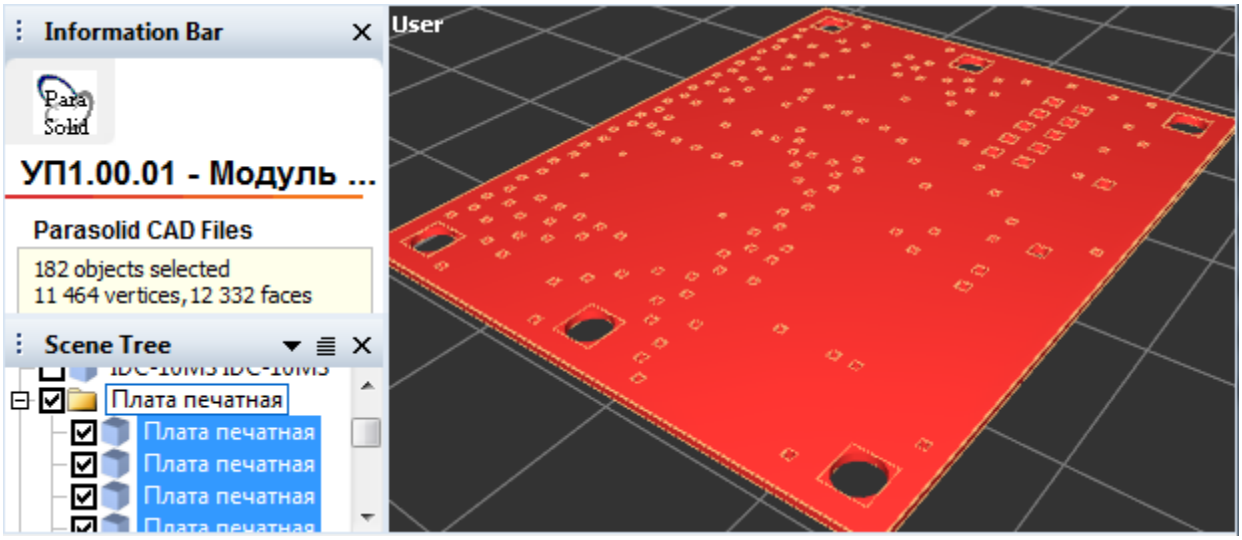


Рис. 24.8

– обратить внимание на то, что перемещение 3D-модели в рабочем поле осуществляется СКМ (или одновременно зажатыми ЛКМ и ПКМ), поворот – зажатой ЛКМ, изменение масштаба – колесиком мышки (или зажатой ПКМ);

– в рабочем поле по отдельности с зажатой клавишей **Ctrl** щелкнуть ЛКМ по всем граням ПП и цилиндрическим поверхностям неметаллизированных отверстий (если такие присутствуют на ПП), исключив тем самым их из выделенных объектов;

– в рабочем поле выполнить команду **ПКМ ⇒ Tools ⇒ Collapse Hierarchy**, в результате чего все выделенные поверхности станут одним объектом;

– на панели **Scene Tree** выбрать ЛКМ созданный объект, при этом в рабочем поле подсветятся поверхности этого объекта (рис. 24.9);

– перетащить ЛКМ материал **Plated Hole** из панели **Scene Tree** в любое место рабочего поля, в результате чего все отверстия в ПП поменяют цвет в соответствии с настройками материала;

– снять выделение, щелкнув ЛКМ в любом месте рабочего поля за пределами 3D-модели.

2.14. Выполнить UV-преобразование для верхней поверхности ПП (при использовании Deep Exploration CAD Edition эту процедуру осуществлять не требуется):

– в рабочем поле ЛКМ выбрать требуемую поверхность ПП;

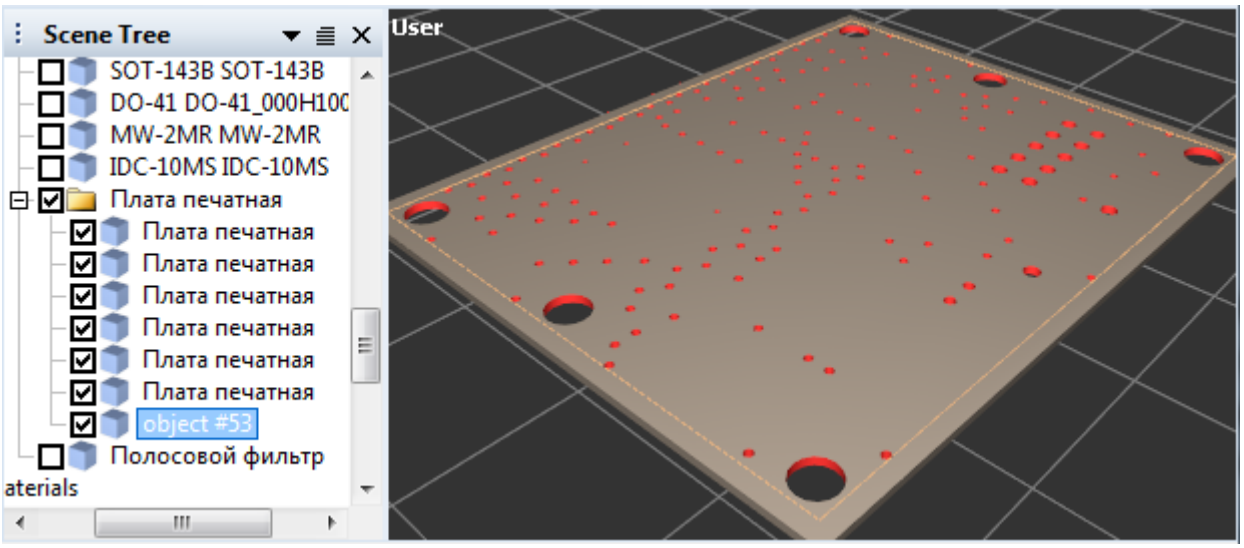


Рис. 24.9

– на ПИ **UV Mapping** нажать пиктограмму **Settings** (см. рис. 24.2) и в открывшемся окне **UV Mapping Settings** выбрать опции **Cube** и **Rectangular**, а также включить опции **Fill space** и **Pack per material** (рис. 24.10). Остальные настройки оставить по умолчанию и нажать **OK**;

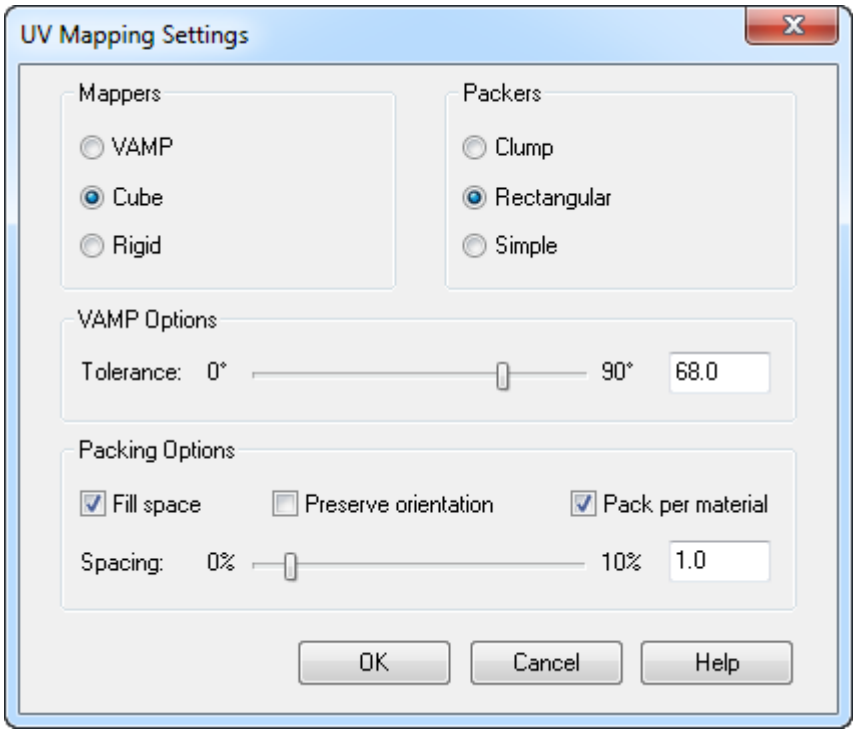


Рис. 24.10

– на ПИ **UV Mapping** нажать пиктограмму **Map and Pack** (см. рис. 24.2).

Примечание. UV-преобразование задает соответствие между координатами на поверхности 3D-объекта (X, Y, Z) и координатами в текстуре (U, V). Координаты U и V соответствуют координатам X и Y и названы так, чтобы исключить путаницу с осями X и Y в 3D-модели.

2.15. Выполнить UV-преобразование для нижней поверхности ПП (при использовании Deep Exploration CAD Edition эту процедуру осуществлять не требуется).

2.16. Применить материал **Top** к верхней поверхности ПП:

– в рабочем поле ЛКМ выбрать требуемую поверхность;

– перетащить соответствующий материал из панели **Scene Tree** в любое место рабочего поля и снять выделение.

Примечание. В варианте «П1» по расположению отверстий (рис. 24.11) видно, что текстура добавилась с небольшим увеличением масштаба. При использовании Deep Exploration CAD Edition текстура добавится без изменения масштаба, и дальнейшая корректировка не потребуется.

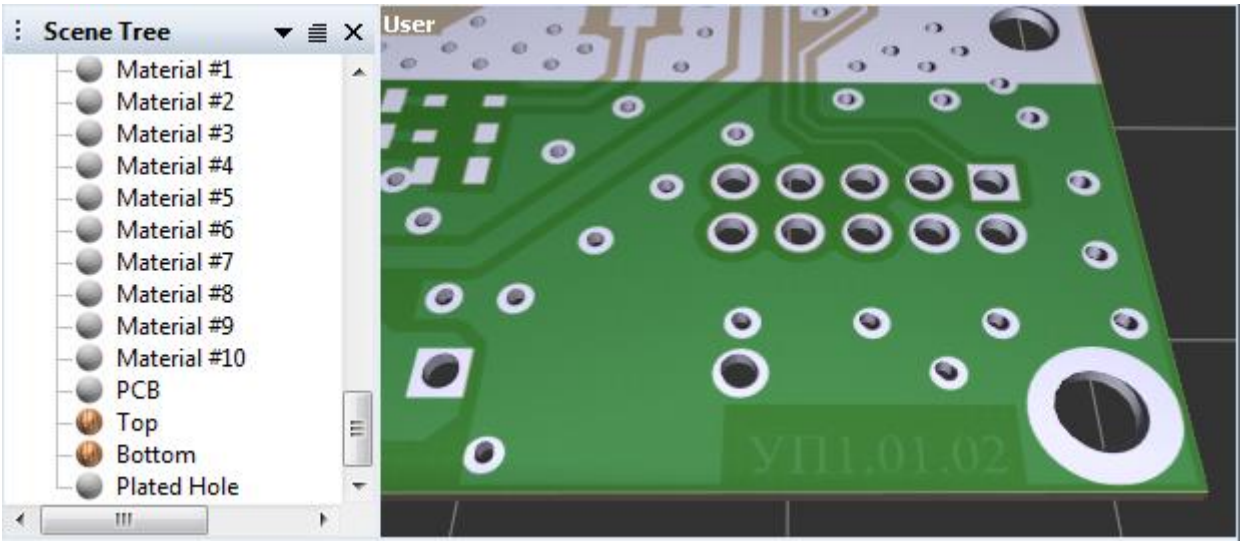


Рис. 24.11

2.17. Если требуется скорректировать размеры текстуры, то выполнить следующие действия:

– в левом верхнем углу рабочего поля на надписи **User** выполнить команду **ПКМ ⇒ Top**;

– развернуть окно программы на полный экран;

– максимально увеличить размер рабочего поля и увеличить масштаб 3D-модели так, чтобы она полностью в него поместилась;

– на панели **Scene Tree** зайти в свойства материала **Top** и перейти на вкладку **Maps**;

– отключить опции **U Tile** и **V Tile** (бесконечное повторение текстуры по координатам U и V соответственно);

– подобрать сдвиг (**Offset**) и масштаб (**Scale**) текстуры по горизонтали (координата U), нажимая кнопку **Применить** для отображения изменений;

– продублировать найденные выше значения сдвига и масштаба в соответствующие поля для координаты V (если текстура была изначально обрезана неаккуратно, то для данной координаты могут потребоваться корректировки введенных чисел);

– включить опции **U Tile** и **V Tile** и закрыть окно свойств.

Примечания:

– корректировка в значениях будет осуществляться во втором и третьем знаках после запятой;

– при уменьшении значений Offset U и Offset V текстура перемещается вправо и вверх соответственно;

– при увеличении значений Scale U и Scale V текстура сжимается относительно ее левого нижнего угла;

– результат в варианте «П1» на данном этапе с отключенной видимостью сетки (Display ⇒ Grid ⇒ No Grid) показан на рис. 24.12.

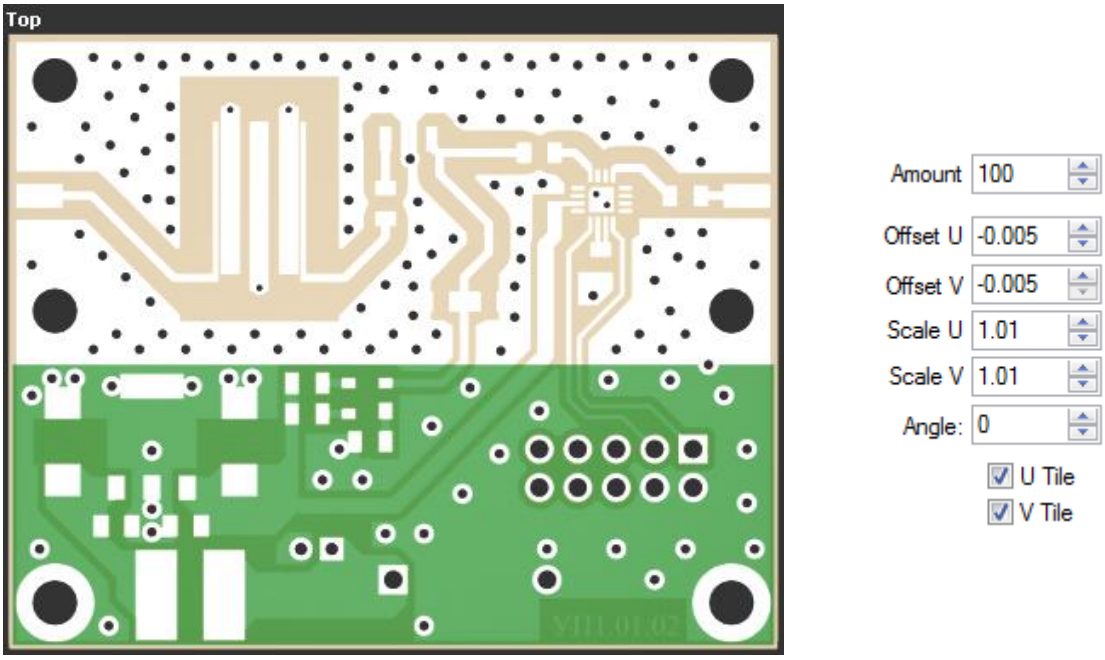


Рис. 24.12

2.18. Применить материал **Bottom** к нижней поверхности ПП в соответствии с п. 2.16, после чего в свойствах материала для координат U и V записать найденные в п. 2.17 значения сдвига и масштаба.

Если текстура была изначально обрезана неаккуратно и (или) ее размеры не совпадают с текстурой Top, то могут потребоваться корректировки записанных значений отдельно по каждой координате.

Примечание. Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. 24.13.

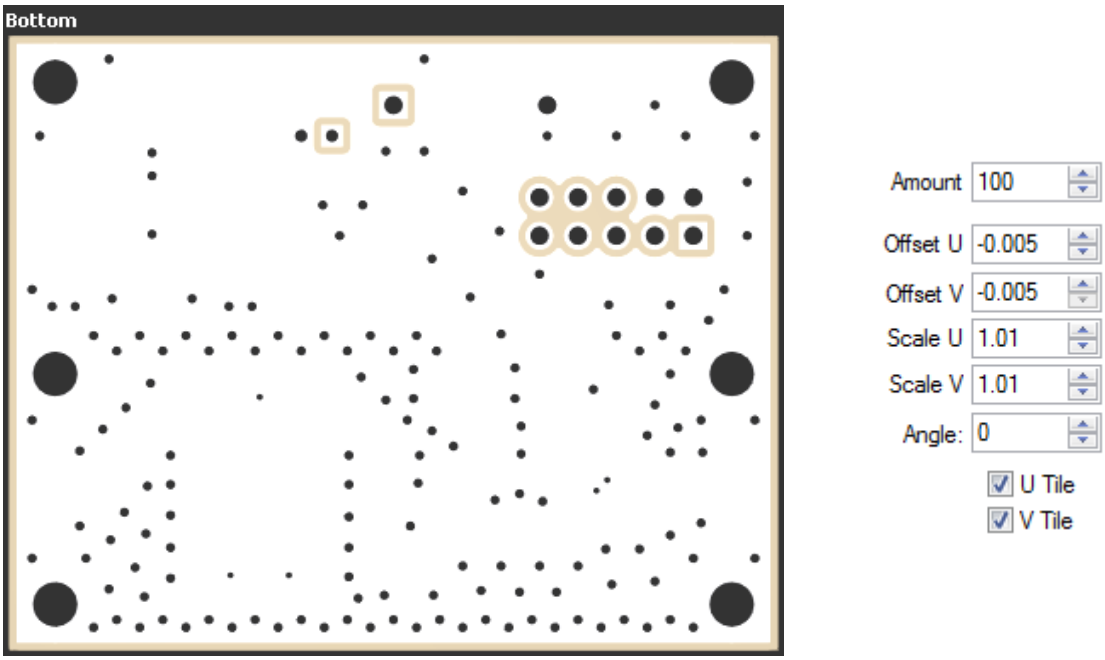


Рис. 24.13

2.19. В панели **Scene Tree** на заголовке группы ПП выполнить команду **ПКМ ⇒ Tools ⇒ Collapse Hierarchy**, в результате чего ПП снова станет одним объектом.

2.20. В левом верхнем углу рабочего поля на надписи выполнить команду **ПКМ ⇒ Perspective** (либо нажать клавишу **P**).

2.21. В панели **Scene Tree** включить видимость всех составных частей «модуля усилителя».

2.22. Визуально проконтролировать правильность отображения цветов составных частей «модуля усилителя» (например, при открытии 3D-модели некоторые цвета могут не загрузиться).

Для исправления следует выполнить следующее:

– создать новый материал;

– составную часть представить в виде набора поверхностей;

– необходимым поверхностям назначить созданный материал;

– собрать поверхности в один объект.

2.23. В панели **Scene Tree** проконтролировать правильность присвоения названий составных частей (например, они могут загрузиться неправильно или частично).

Изменить названия можно командой **ПКМ ⇒ Rename** или клавишей **F2**.

Примечание. В варианте «П1» в названия разработанных при проектировании составных частей были добавлены обозначения основных КД из табл. 2.1. Результат на данном этапе показан на рис. 24.14.

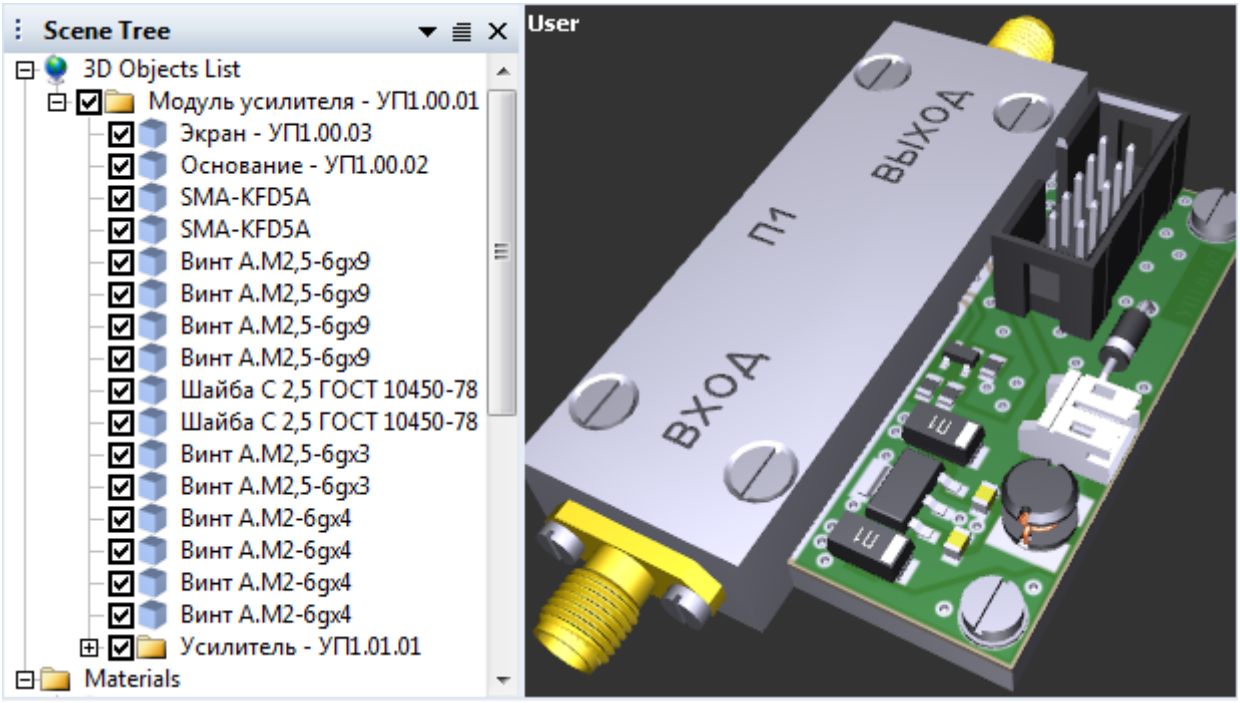


Рис. 24.14

2.24. Запустить команду **File ⇒ Save As** и в открывшемся окне выполнить следующее:

– в поле **Тип файла** выбрать **Universal 3D export (*.u3d)**;

– нажать кнопку **Settings** и в появившемся окне на вкладке **General** отключить опцию **JPEG** (рис. 24.15) и применить изменения кнопкой **OK** (текстуры будут сохранены в 3D-модели без сжатия);



Рис. 24.15

– задать имя файла и путь сохранения по п. 1.3 и нажать **Сохранить**.

Примечание. При использовании Deep Exploration CAD Edition для отключения сжатия текстур при сохранении для параметра Texture compression type следует выбрать опцию PNG.

2.25. Закрыть программу **Adobe Acrobat 3D Toolkit** (или **Deep Exploration CAD Edition** при ее использовании).

3. Создать 3D-pdf из промежуточного файла:

3.1. Открыть программу **Adobe Acrobat 3D** и запустить команду **File ⇒ Create PDF ⇒ From File** (**Файл ⇒ Создать ⇒ PDF из файла**).

В открывшемся окне **Открыть** в поле **Тип файлов** выбрать **All Supported Formats** (**Все поддерживаемые форматы**) и указать путь к сохраненному файлу из п. 1.3 (3D-pdf будет без текстур) или из п. 2.24 (3D-pdf будет с текстурами).

Примечания:

– Adobe Acrobat 3D поддерживает множество различных 3D-форматов, поэтому в ней можно создать 3D-pdf как из файла с расширением «.x_b», так и с расширением «.u3d»;

– в Adobe Acrobat Pro создать 3D-pdf можно только из файла с расширением «.u3d», поэтому даже если текстуры не создавались, потребуется предварительно выполнить пп. 2.2–2.4, 2.24 и 2.25.

– в последних версиях Adobe Acrobat Pro для включения возможности конвертирования файлов 3D-графики в PDF следует запустить программу «Выполнить» (Windows+R), в поле «Открыть» ввести regedit и нажать ОК. Затем по пути HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\(Wow6432Node)\Adobe\Adobe Acrobat\DC создать раздел FeatureState, в который добавить ключ типа DWORD с названием Block3DConversion и нулевым значением.

3.2. При использовании **Adobe Acrobat 3D** в открывшемся окне **Acrobat 3D Conversion** установить следующие настройки:

3.2.1. На вкладке **General** (рис. 24.16):

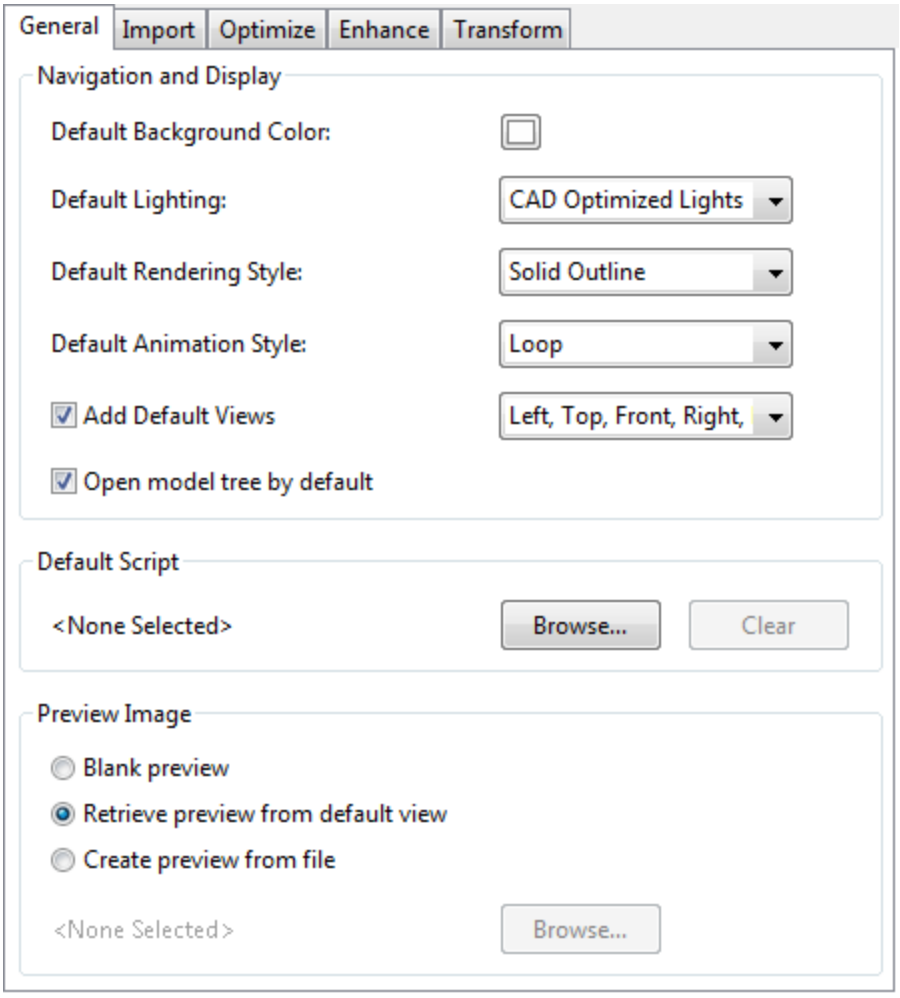


Рис. 24.16

– в поле **Default Background Color** (цвет фона) – **белый**;

– в поле **Default Lighting** (параметры освещения) – **CAD Optimized Lights**;

– в поле **Default Rendering Style** (параметры отображения модели) – **Solid Outline**. В этом случае контуры всех составных частей 3D-модели будут обведены черными линиями;

– включить опцию **Add Default Views** и выбрать создание всех видов;

– включить опцию **Open model tree by default** (отображение **Дерева модели** при открытии 3D-pdf);

– выбрать опцию **Retrieve preview from default view** (отображение рисунка из вида, установленного по умолчанию, при открытии 3D-pdf).

3.2.2. На вкладке **Import**:

– при загрузке файла с расширением «.x_b» в поле **3D Format in PDF** выбрать опцию **PRC B-rep + Tessellation**;

– при загрузке файла с расширением «.u3d» отключить опцию **Pass U3D file through unchanged**.

При использовании **Adobe Acrobat Pro** в открывшемся окне **Вставить 3D** включить опцию **Показать дополнительные параметры** и на вкладке **3D** задать опции, аналогичные указанным в п. 3.2.1 (рис. 24.17).

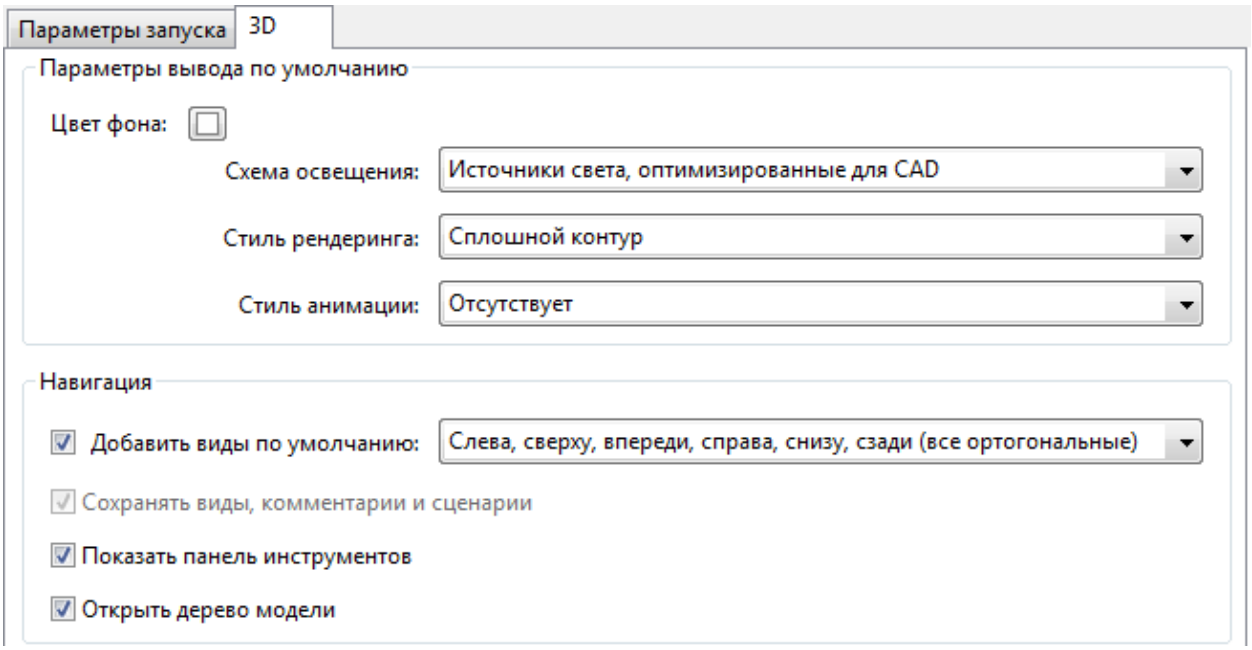


Рис. 24.17

3.3. Применить изменения кнопкой **OK**.

В появляющихся диалоговых окнах с уведомлениями (например, о затратах времени на создание 3D-модели) нажать **OK**.

3.4. Сохранить файл в формате PDF и закрыть **Adobe Acrobat 3D** (или **Adobe Acrobat Pro**).

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01 - Модуль усилителя - 3D**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_Модели** (см. рис. 2.7).

Примечания:

– поменять вид по умолчанию, создать новые виды, изменить параметры отображения 3D-модели при открытии и прочие действия можно в Adobe Acrobat 3D пиктограммами на ПИ Advanced Editing, которая подключается командой View ⇒ Toolbars. В Adobe Acrobat Pro аналогичные возможности доступны при включении на вкладке «Инструменты» в разделе «Создание и редактирование» режима Rich Media;

– команда ПКМ ⇒ Edit in 3D Toolkit, выполненная в рабочем поле в Adobe Acrobat 3D, позволяет запустить Adobe Acrobat 3D Toolkit и отредактировать 3D-модель;

– 3D-pdf также можно получить из Altium Designer командой File ⇒ Export ⇒ PDF3D.

В этом случае составные части «модуля усилителя», которых не было в файле трассировки («экран», «основание», СВЧ-разъемы и крепеж), из КОМПАС-3D должны быть предварительно сохранены в промежуточный формат «.stp», «.step», «.x_t» или «.x_b». Желательно сохранять каждую составную часть или группы составных частей (например, крепеж) в отдельные промежуточные файлы. Это можно делать прямо из сборки, выполняя в «Дереве модели» на ненужных в данный момент частях команду ПКМ ⇒ Исключить из расчета. В случае разработки 3D-моделей в SolidWorks сохранение в промежуточные форматы не требуется, так как Altium Designer может открывать файлы с расширением «.sldprt».

Загрузка 3D-моделей в проект выполняется в соответствии с п. 5 из 6.6 и желательно на отдельный механический слой (или слои). В группе Generic 3D Model окна 3D Body можно загрузить их в виде ссылок (опция File на рис. 6.45) с указанием директории или директорий с файлами. При таком способе их не нужно будет загружать заново после возможных корректировок.

В окне PDF3D (рис. 24.18), появляющемся после запуска указанной выше команды, в группе Geometry задаются настройки, влияющие на передаваемую в 3D-pdf информацию: Core – диэлектрические слои, Solder – слои защитной паяльной маски, Silk – слои шелкографии, Copper – слои с металли-

зацией (опция Hide internal позволяет не передавать внутренние слои с металлизацией), Text – надписи, 3D Body – 3D-модели, Merge meshes – группирование КП из состава каждого посадочного места в отдельные объекты.

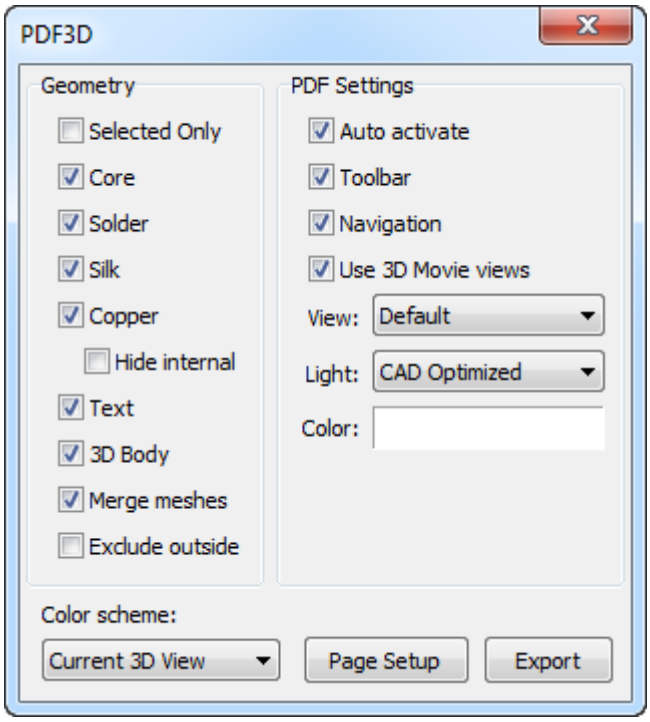


Рис. 24.18

В группе PDF Settings задаются опции по настройке документа 3D-pdf: Auto activate – автоматическая активация 3D-режима просмотра без предварительного щелчка ЛКМ, Toolbar и Navigation – автоматическое включение панели с командами и «Дерева модели» соответственно, View – исходный вид 3D-модели (по умолчанию включена перспектива), Light – параметры освещения, Color – цвет фона.

Внизу окна можно выбрать профиль с цветовыми настройками и настроить параметры листа.

Нажатие кнопки Export запускает процесс конвертации.

24.3. Возможности Adobe Reader по просмотру 3D-pdf

Открыть созданный 3D-pdf в **Adobe Reader** и для активации 3D-режима щелкнуть ЛКМ в любом месте рабочего поля (при появлении предупреждения об отключенном 3D-содержимом выбрать опцию **Доверять этому документу только сейчас** и снова щелкнуть ЛКМ в рабочем поле).

В режиме 3D-просмотра (рис. 24.19) слева от рабочего поля располагается **Дерево моделей** со списком составных частей и видов 3D-модели (вид слева, вид справа и др.), а сверху – ПИ со следующими командами:

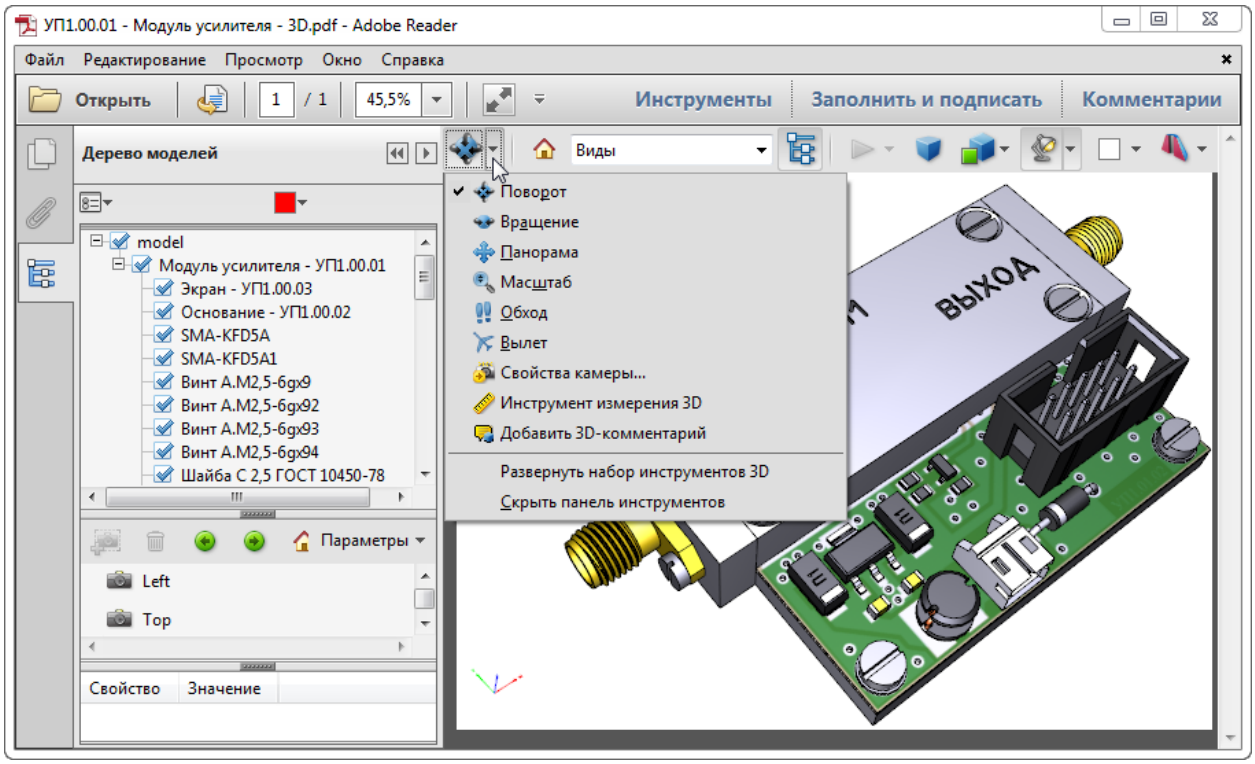


Рис. 24.19

1. Первая многофункциональная кнопка:

– **Поворот**, **вращение**, **панорама**, **масштаб**, **обход**, **вылет**, **свойства камеры** – режимы для просмотра модели.

Примечание. Некоторые функции также можно использовать с помощью клавиатуры и мышки:

– поворот 3D-модели – зажатая ЛКМ;

– перемещение 3D-модели – зажатые или ЛКМ и клавиша Ctrl, или ЛКМ и ПКМ, или ЛКМ и клавиша Alt;

– масштаб 3D-модели – колесико мышки (или зажатые ЛКМ и клавиша Shift, или зажатая ПКМ);

– **Инструмент измерения 3D** – запуск ПИ для нанесения размеров;

– **Добавить 3D-комментарий** – добавление комментария на линии-выноске;

– **Развернуть набор инструментов 3D** – функции из текущего списка будут доступны из ПИ напрямую.

2. **Вид по умолчанию** – возвращает отображение 3D-модели в вид, установленный по умолчанию.

3. **Виды** – поле для выбора одного из основных (или созданных) видов.

4. **Переключить дерево моделей** – отображение **Дерева моделей.**

5. **Воспроизвести анимацию** – воспроизводит анимацию (при наличии).

6. **Использовать ортогональную проекцию** – переключение между ортогональной и перспективной проекциями.

7. **Режим рендеринга модели** – выбор способа отображения 3D-модели.

8. **Включить дополнительное освещение** – выбор вида освещения.

9. **Фоновый цвет** – выбор цвета заднего фона.

10. **Переключить перекрестный раздел** – набор опций для создания разрезов плоскостью, положение которой можно задавать.

Примечание. 3D-модели в 3D-pdf образованы поверхностями, поэтому по умолчанию при разрезе внутри они будут полыми. Для придания им твердотельного вида в свойствах поперечного сечения следует включить опцию «Добавить крышки поперечного сечения». Опция «Показать прозрачные объекты» позволяет показать отсеченную часть прозрачной.

Объект выбирается щелчком ЛКМ или в рабочем поле, или в **Дереве моделей** (установленная галочка напротив него означает, что он отображается). Выбранный объект окрашивается в рабочем поле в цвет, заданный в заголовке **Дерева моделей** (например, на рис. 24.19 – красный).

При первом щелчке ЛКМ в рабочем поле по объекту выделяется деталь, при втором щелчке ЛКМ по этому же объекту – сборка, в которую входит эта деталь; далее – сборка, в которую входит выделенная сборка, и т. д. Сброс выделения – щелчок ЛКМ по свободному пространству.

Если по выделенному объекту в рабочем поле щелкнуть ПКМ, то откроется меню с дополнительными командами. Например, в разделе **Параметры частей** есть следующие команды:

– **Показать все части** – отображение всех частей модели;

– **По содержимому** – автомасштаб модели по объектам, для которых в данный момент включена видимость. При этом точка привязки, за которую осуществляется вращение модели, сбрасывается в центр этих объектов;

– **Скрыть** – выделенные элементы становятся невидимыми;

– **Изолировать** – остаются только выделенные элементы;

– **Изолировать часть** – остается только та сборочная единица, в состав которой входит выбранный объект;

– **Увеличить масштаб** – автомасштаб на выделенном объекте, при этом точка привязки, за которую осуществляется вращение модели, сбрасывается в центр этого объекта;

– **Сделать прозрачным** – выделенные элементы станут прозрачными;

– **Режим рендеринга части** – выбор способа отображения части модели.

24.4. Результаты выполнения этапа проектирования

В вариантах задания в **Adobe Reader** клавишей **Prt Sc** с последующей обрезкой лишней информации (или с помощью приложения **Ножницы**) сделать два рисунка из 3D-pdf «модуля усилителя»:

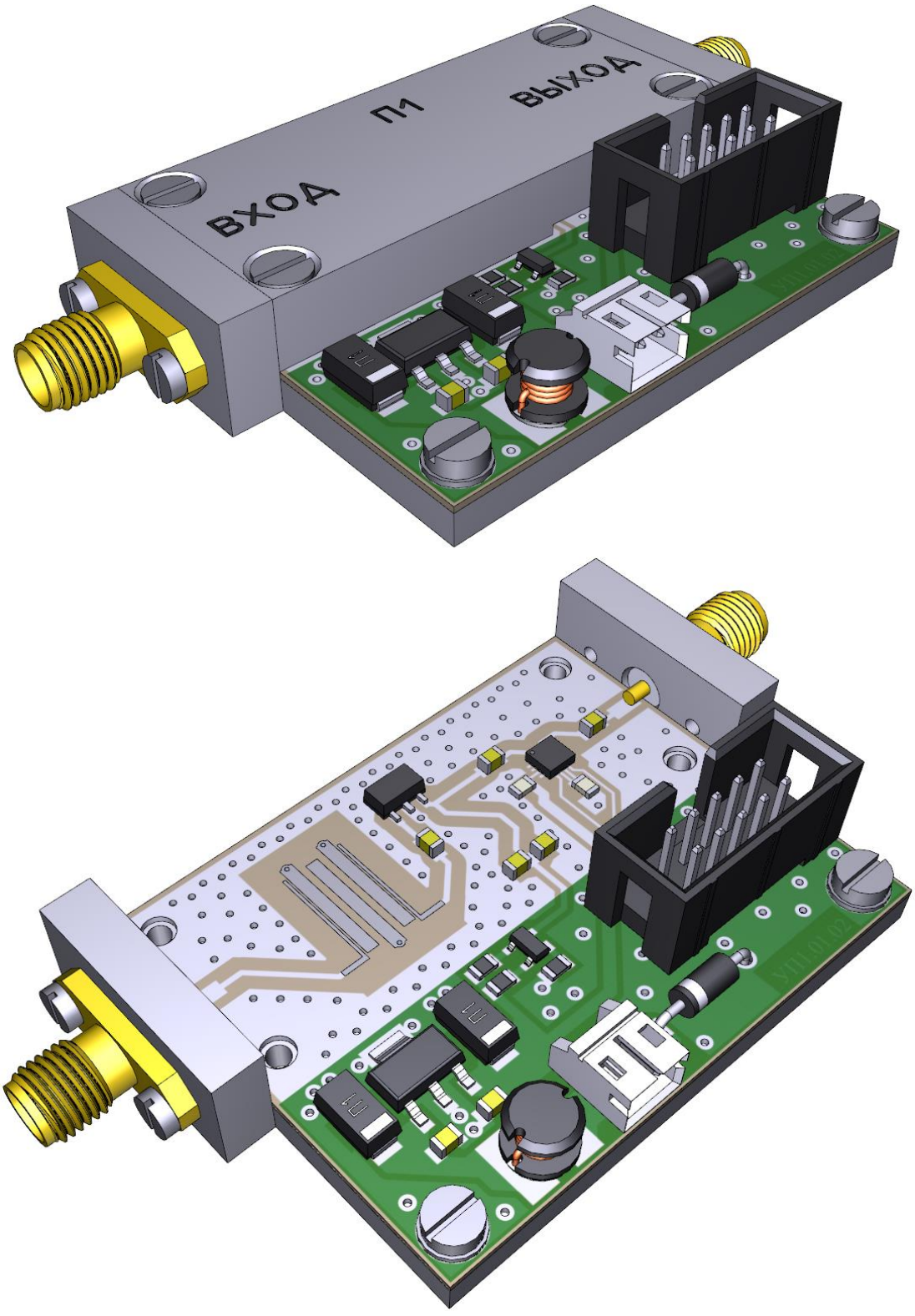


Рис. 24.20

– со всеми составными частями;

– без «экрана» и винтов, которыми он крепится (допускается изображение с прозрачным «экраном»).

Результаты в варианте «П1» приведены на рис. 24.20.

После получения 3D-pdf «модуля усилителя» удалить вспомогательную информацию:

– из папки **…\ИДРЭС-П1_Модели** – файлы «**УП1.00.01 - Модуль усилителя.x_b**», «**УП1.00.01 - Модуль усилителя.u3d**», «**Top.png**», «**Bottom.png**» и «**BottomMirror.png**» (промежуточные файлы с информацией о 3D-модели и текстуры слоев);

– из папки **…\ИДРЭС-П1** – папку **History** с резервными копиями схем Э1 и Э3 «модуля усилителя», создаваемых при каждом их сохранении;

– все backup-файлы из папки **…\ИДРЭС-П1** и ее подпапок.

24.5. Содержание отчета

По 24-му основному этапу проектирования (см. рис. 2.5 и табл. 2.2) в отчете необходимо привести рисунки 3D-модели «модуля усилителя», полученные в режиме просмотра в **Adobe Reader**.

ПРИЛОЖЕНИЯ

А. Опытный образец

А.1. Внешний вид

В данном подразделе приведены фотографии опытного образца «модуля усилителя» и его составных частей, изготовленных по КД для варианта «П1».

Так как в результате проектирования ПП получилась с небольшими размерами, а для макетирования было заказано четыре штуки, то производитель изготовил их на одной общей заготовке. Для облегчения последующего отделения ПП в такой заготовке делается один из двух вариантов обработки:

– скрайбирование (см. Б.9);

– фрезерование несквозных канавок с узкими перемычками и рядом отверстий с небольшим шагом (пример создания см. в Г.47).

Внешний вид общей заготовки со вторым вариантом обработки показан на рис. А.1, где одна из ПП уже отделена (для сравнения см. рис. Г.179).

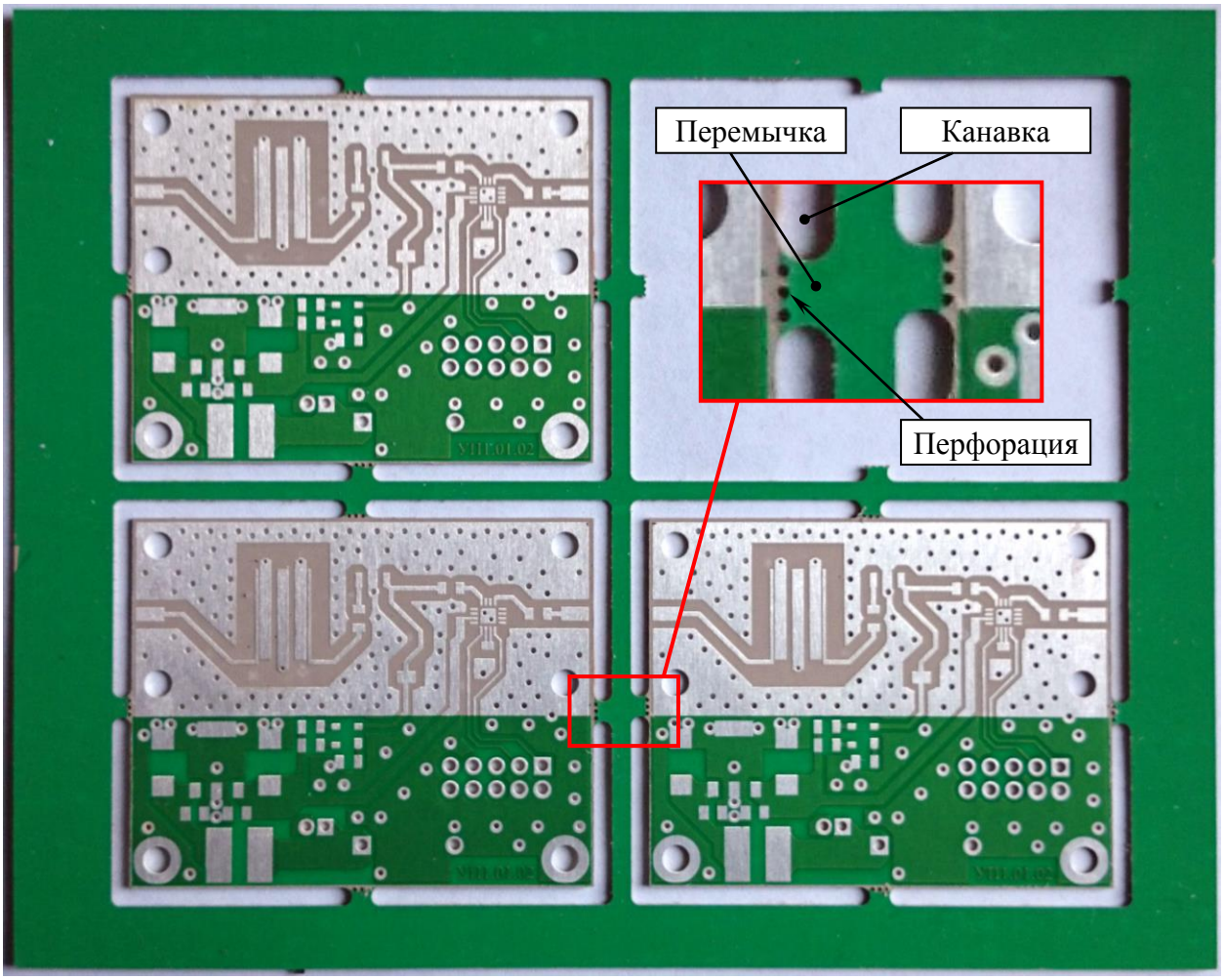
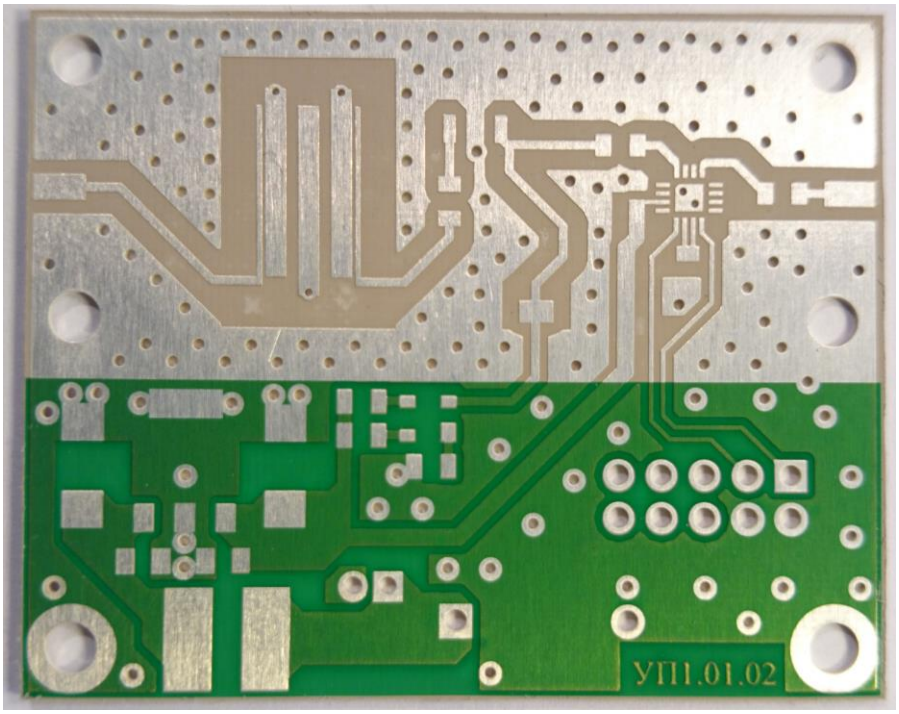


Рис. А.1

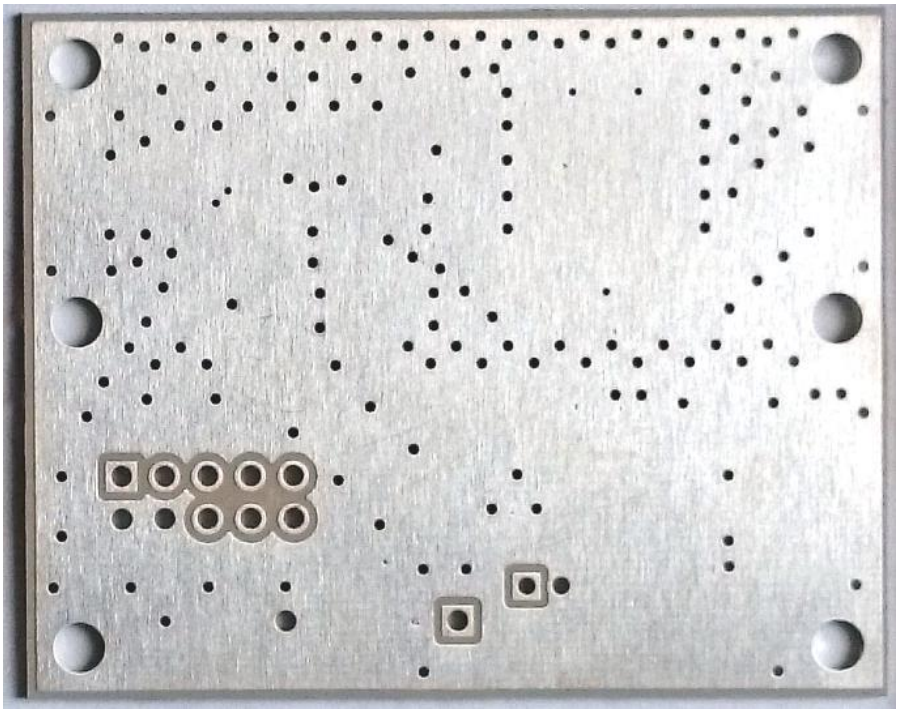
На рис. А.2, *а* показан вид на верхний слой ПП (слой **Top Layer**), а на рис. А.2, *б* – вид на нижний слой (слой **Bottom Layer**). Для сравнения:

– файл трассировки в Altium Designer (см. рис. 12.140 и 12.141);

– рисунки слоев с соответствующими цветовыми настройками, размещенные на поверхностях 3D-модели ПП (см. рис. 24.12 и 24.13).



а



б

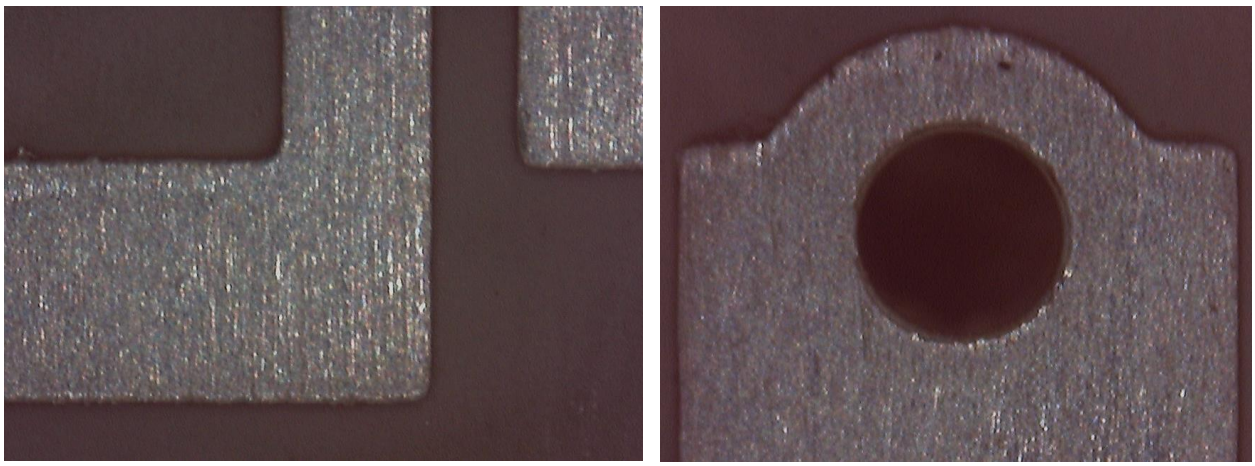
Рис. А.2

Фольгированный диэлектрик AD1000, на котором была изготовлена ПП в варианте «П1», для увеличения механической прочности армирован стеклотканью, волокна которой хорошо заметны на торце, показанном в масштабе 60:1 на рис. А.3.



Рис. А.3

На рис. А.4, *а* в масштабе 60:1 показано место соединения печатного проводника с волновым сопротивлением 50 Ом (ширина в варианте «П1» – 0,5 мм) и 1-го резонатора ПФ, а на рис. А.4, *б* в том же масштабе – заземленный конец 2-го резонатора ПФ. Достаточно хорошо просматриваются шероховатость поверхности и скругления прямых углов в металлизации.



а *б*

Рис. А.4

На рис. А.5 в масштабе 90:1 показан участок ПП с границей нанесения защитной паяльной маски в области расположения печатных проводников, по которым проходят сигналы управления на микросхему аттенюатора. Ширина их составляет 0,25 мм.

На рис. А.6 в масштабе 25:1 показан участок ПП в области левой верхней части посадочного места разъема для управления микросхемой аттенюатора (разъем *XP2* на рис. 12.140). Здесь видны следующие элементы:

– два монтажных отверстия c180h120 (КП с отверстиями);

– два переходных отверстия v120h60;

– в правом верхнем углу – два печатных проводника, по которым проходят сигналы управления на микросхему аттенюатора;

– в левом верхнем углу – часть печатного проводника, по которому поступает питание на микросхему аттенюатора.

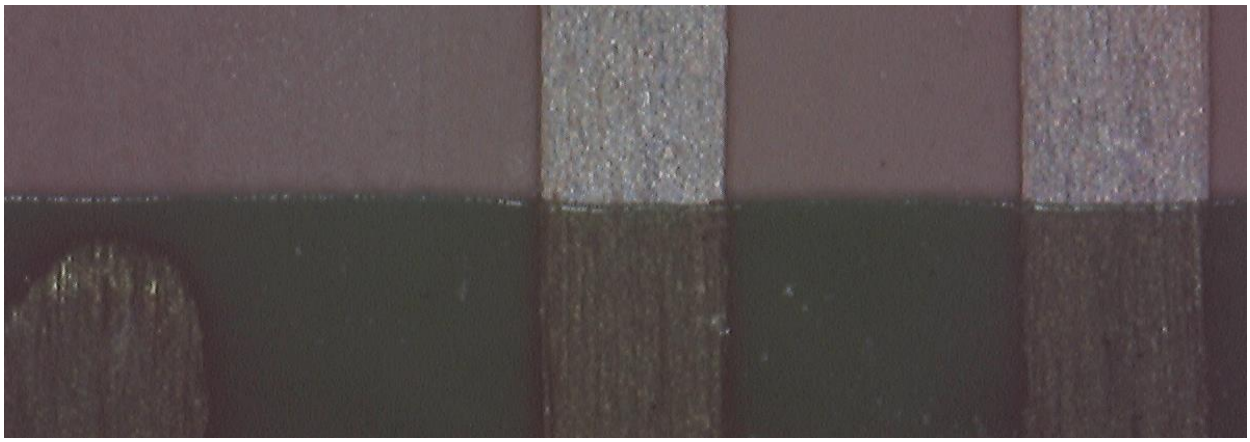


Рис. А.5

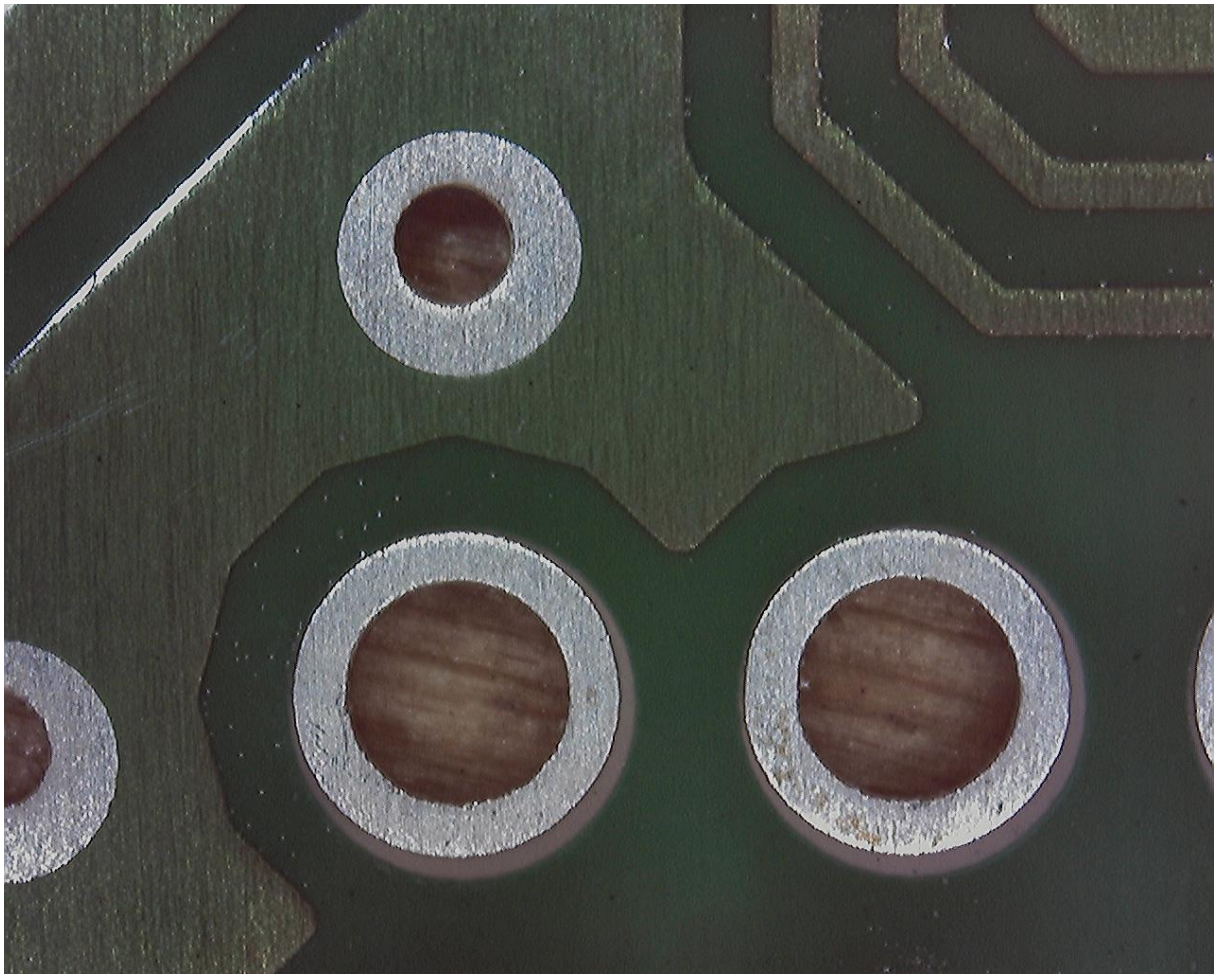


Рис. А.6

Хорошо различимы два дефекта:

– ошибка в совмещении защитной паяльной маски с КП (см. Б.9). Как видно по рисунку, смещение почти равно значению параметра **Solder Mask Expansion** (0,05 мм) из правила **SME** (см. табл. Г.7) и для всех четырех ПП не превышает его, что соответствует указанию из 8-го пункта ТТ чертежа ПП (см. п. 25.3 из 17.2);

– точечные участки с недотравливанием материала ПП, обнаруженные на одной из четырех ПП в ее левом нижнем углу под защитной паяльной маской. Наличие подобного дефекта в области ПФ могло бы повлиять на его АЧХ. В данном случае на работе устройства это не скажется.

На рис. А.7 в масштабе 25:1 показан участок ПП с посадочным местом под микросхему аттенюатора.

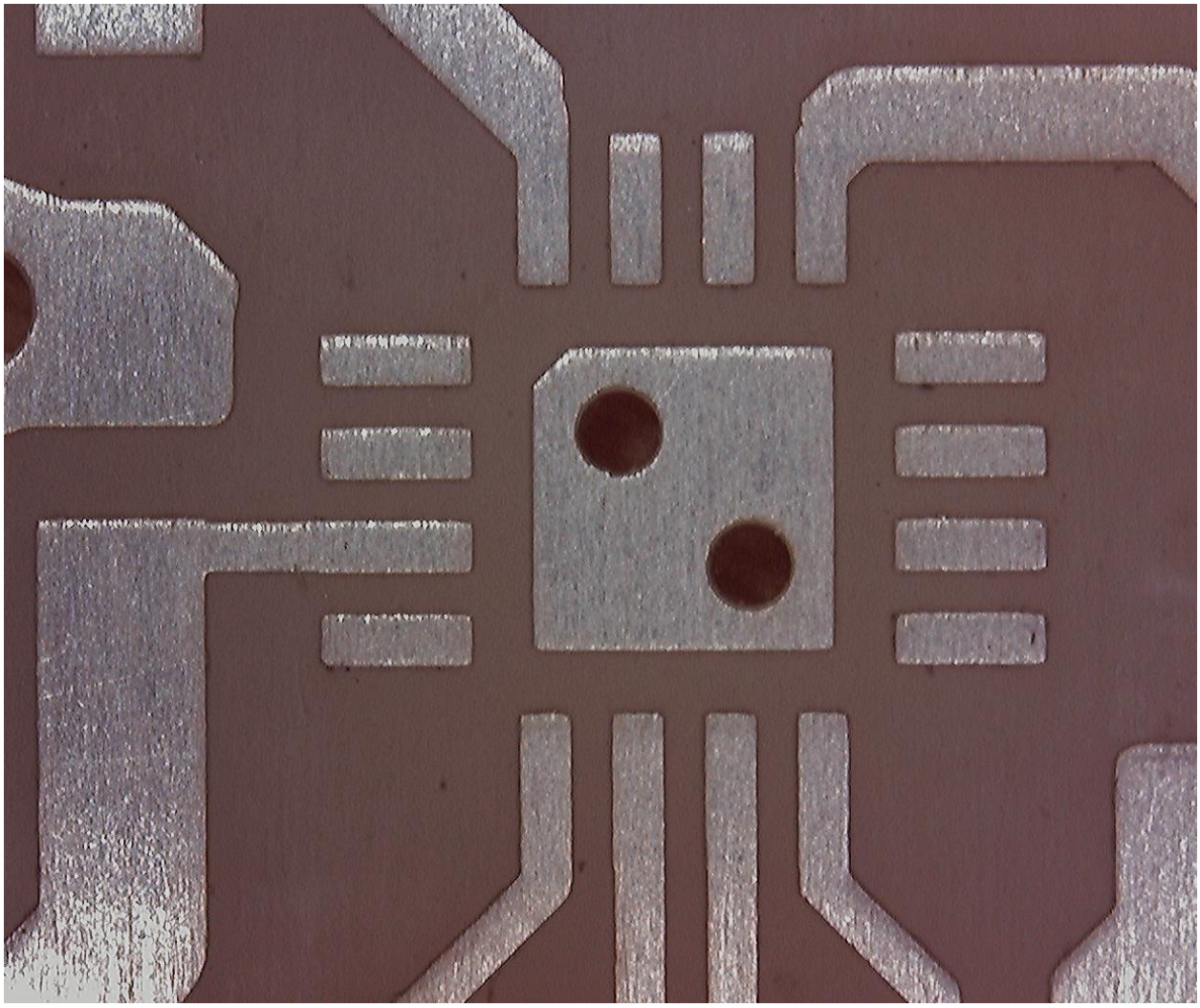
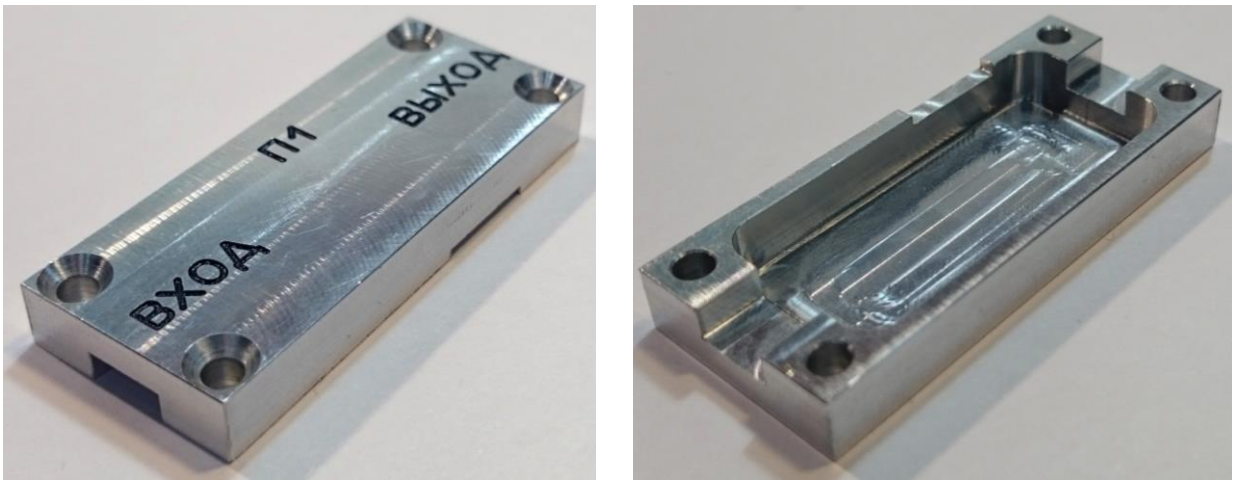
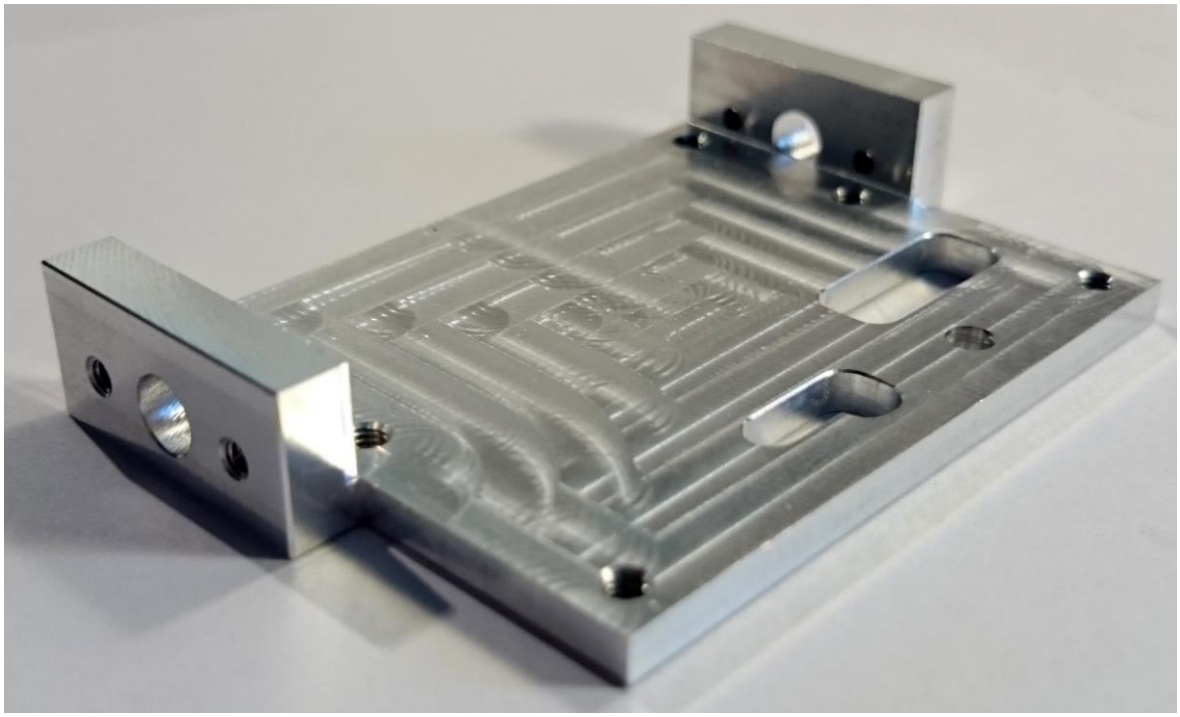


Рис. А.7

На рис. А.8, *а* показан внешний вид «экрана», а на рис. А.8, *б* – внешний вид «основания». Для сравнения см. рис. 16.6 и 16.11.



а



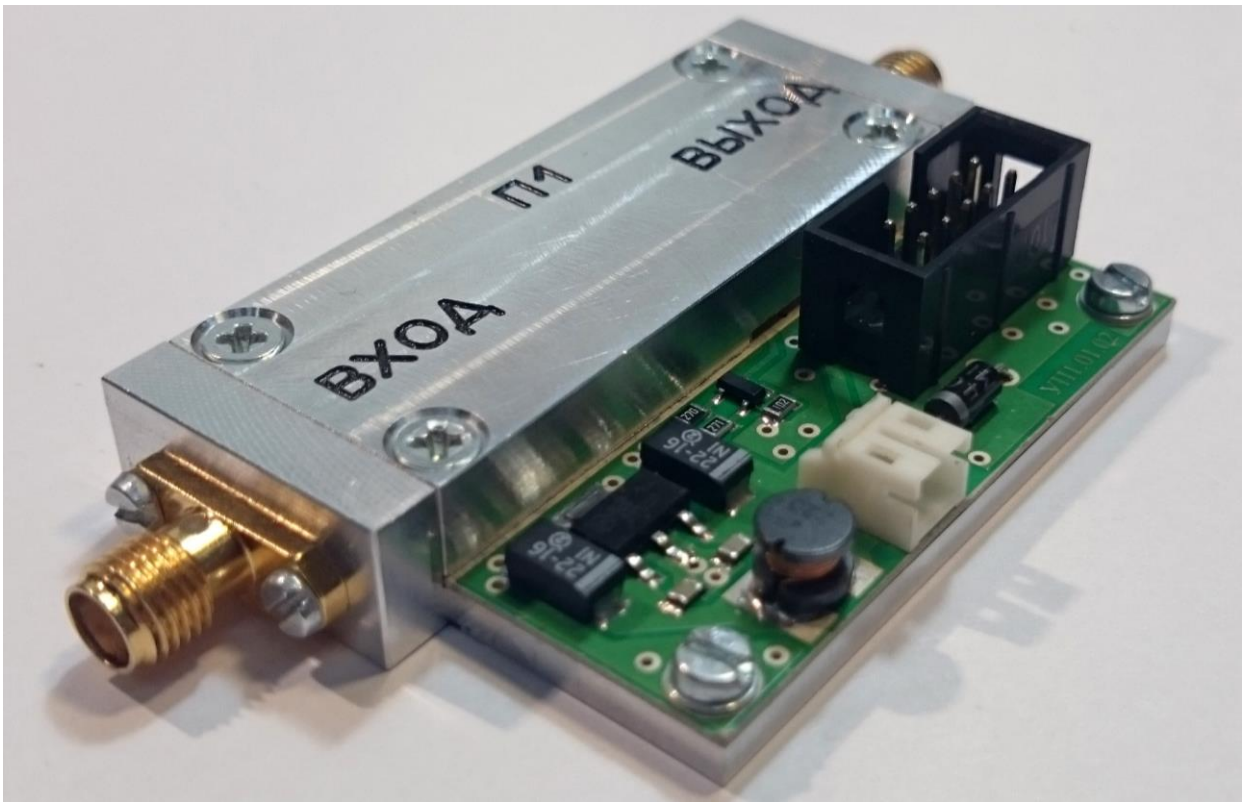
б

Рис. А.8

Как на «экране», так и на «основании» хорошо заметны следы фрезерных работ, однако поверхности удовлетворяют требованиям, заданным в чертежах (см. рис. 20.37 и 21.20), – они плоские и гладкие. Притупленные кромки соответствуют п. 5 из Д.2.

Что касается дефектов, то здесь он только один и носит косметический характер: на «экране» надпись «ВЫХОД» расположена с краю без указанного в чертеже зазора.

На рис. А.9 показан внешний вид «модуля усилителя». Для сравнения см. рис. 16.26 и 24.20.



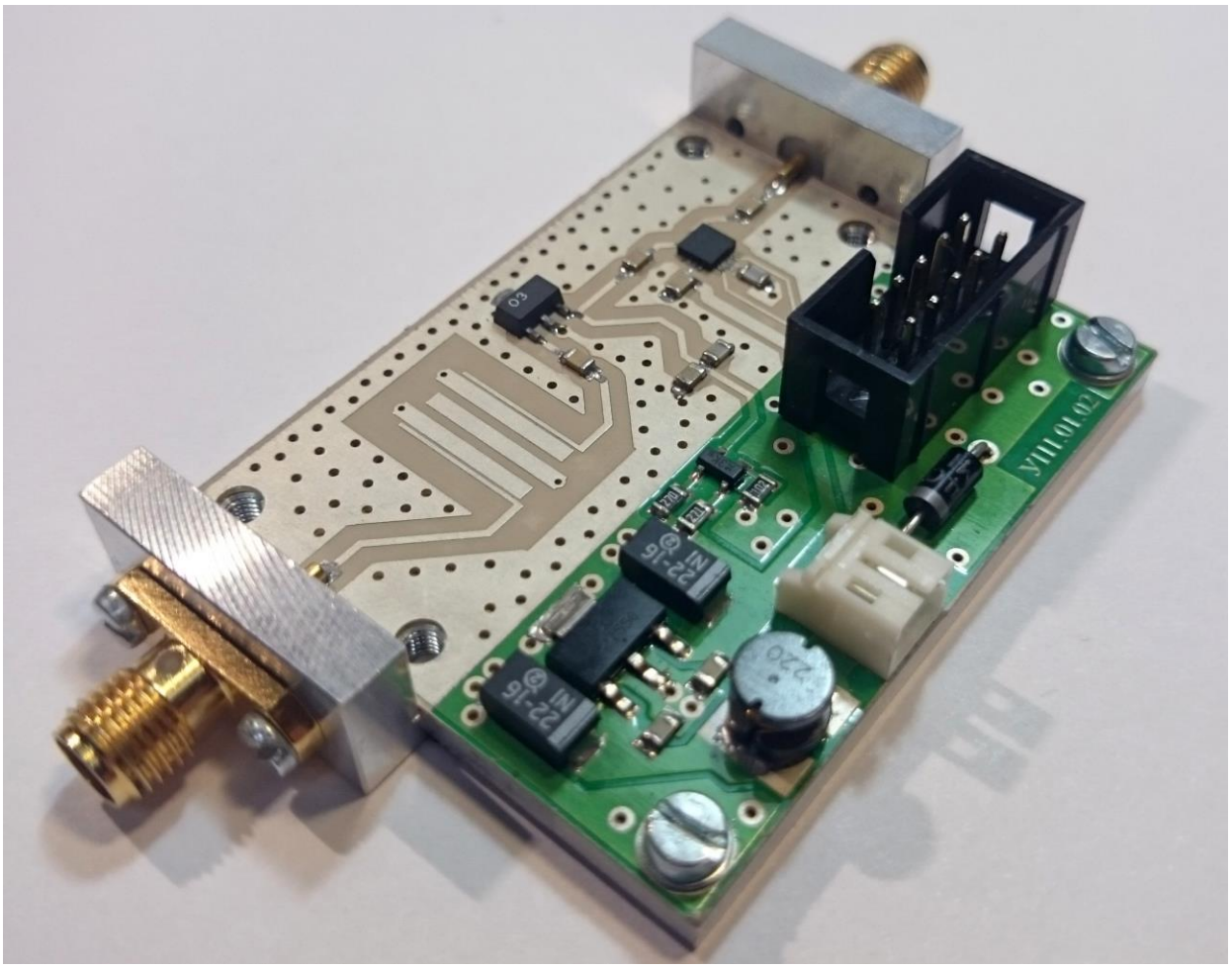


Рис. А.9

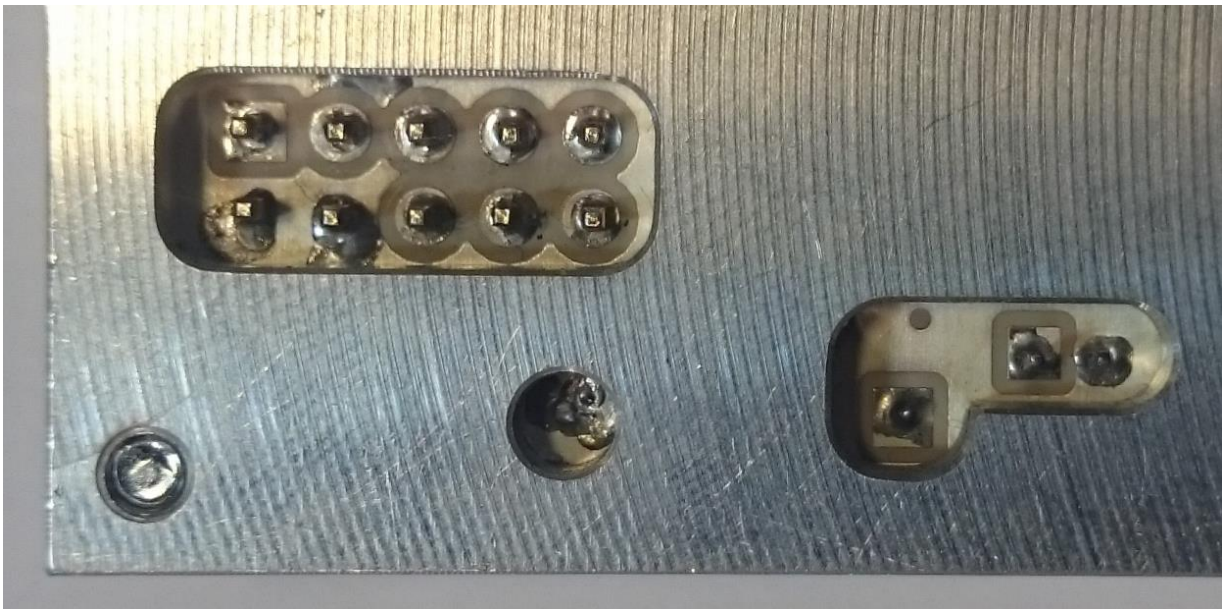


Рис. А.10

На рис. А.10 показан «модуль усилителя» снизу, при этом через прорези в «основании» виден проводящий рисунок ПП на нижнем ее слое и штыревые выводы компонентов. Для сравнения см. рис. 16.25.

А.2. Обмер изделий

Обмер изделий производился с использованием двух измерительных инструментов:

– микрометр гладкий МК25 для измерения наружных размеров от 0 до 25 мм с точностью ±0,005 мм (рис. А.11, *а*);

– цифровой штангенциркуль для измерения наружных и внутренних размеров от 0 до 200 мм с точностью ±0,03 мм (рис. А.11, *б*).



а *б*

Рис. А.11

Необходимо отметить следующее:

– часть указанных далее размеров получена не только напрямую по показаниям инструментов, но и с помощью арифметических вычислений;

– использование штангенциркуля вместо микрометра для измерения некоторых наружных размеров величиной менее 25 мм обусловлено особенностями конструкции последнего.

Результаты обмера «экрана» показаны на рис. А.12.

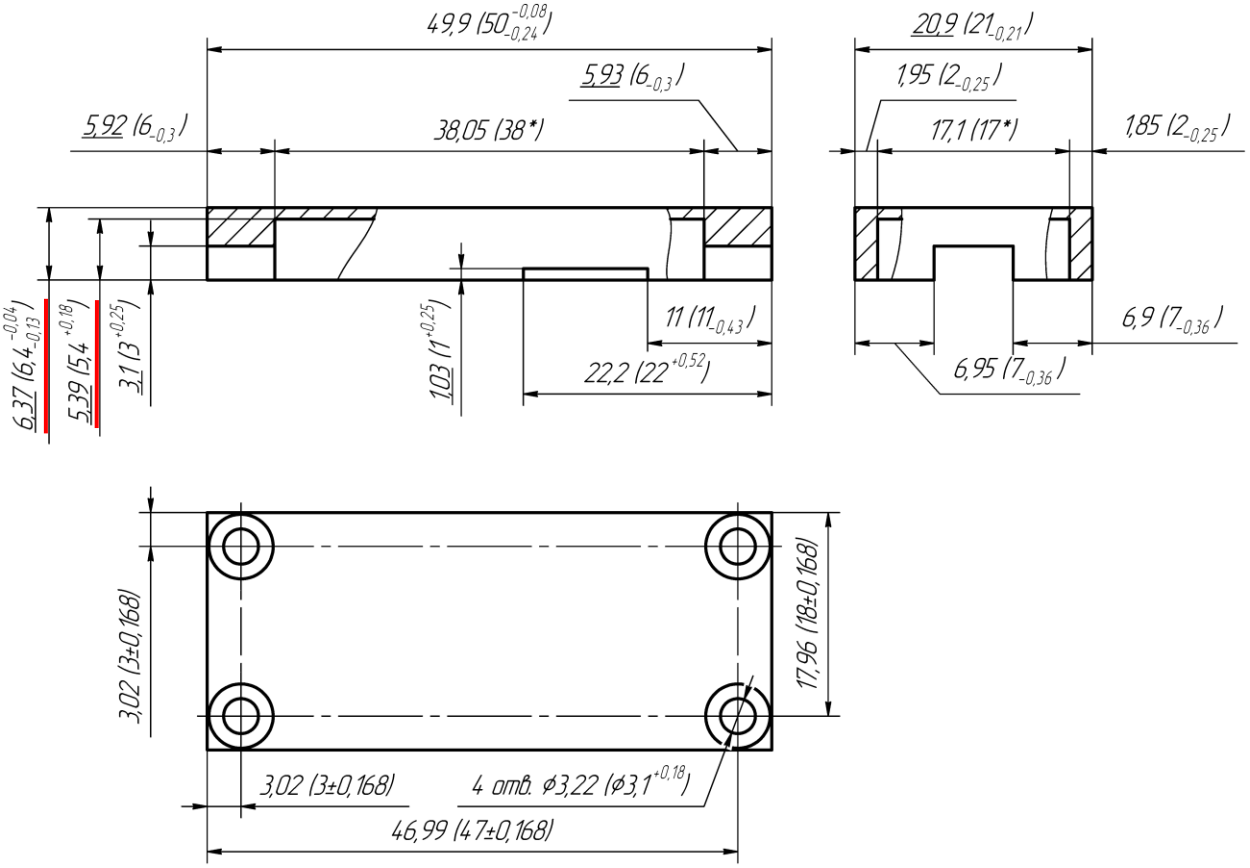


Рис. А.12

Здесь и далее приняты следующие обозначения:

– в скобках указаны размеры и допуски, заданные на чертежах;

– измеренное значение указано перед размером в скобках;

– подчеркнутые значения получены путем измерения микрометром, а остальные – штангенциркулем.

На рис. А.12 предельные отклонения размеров расположения осей отверстий получены в результате пересчета по (Д.4) из указанного на чертеже позиционного допуска (0,3 мм), увеличенного на 0,18 мм за счет измеренных диаметров отверстий. Данное действие справедливо, так как позиционный допуск был указан как зависимый (см. рис. 20.37).

В целом все измеренные значения попадают в указанные для них поля допусков, за исключением толщины «экрана» и глубины его внутренней полости (отклонение составляет 0,01 мм). Эти различия можно отнести к погрешностям измерений.

Результаты обмера «основания» показаны на рис. А.13.

Единственным ошибочным размером является длина первого уровня «основания» (49,7 мм) со стороны расположения прорезей под штыревые выводы компонентов.

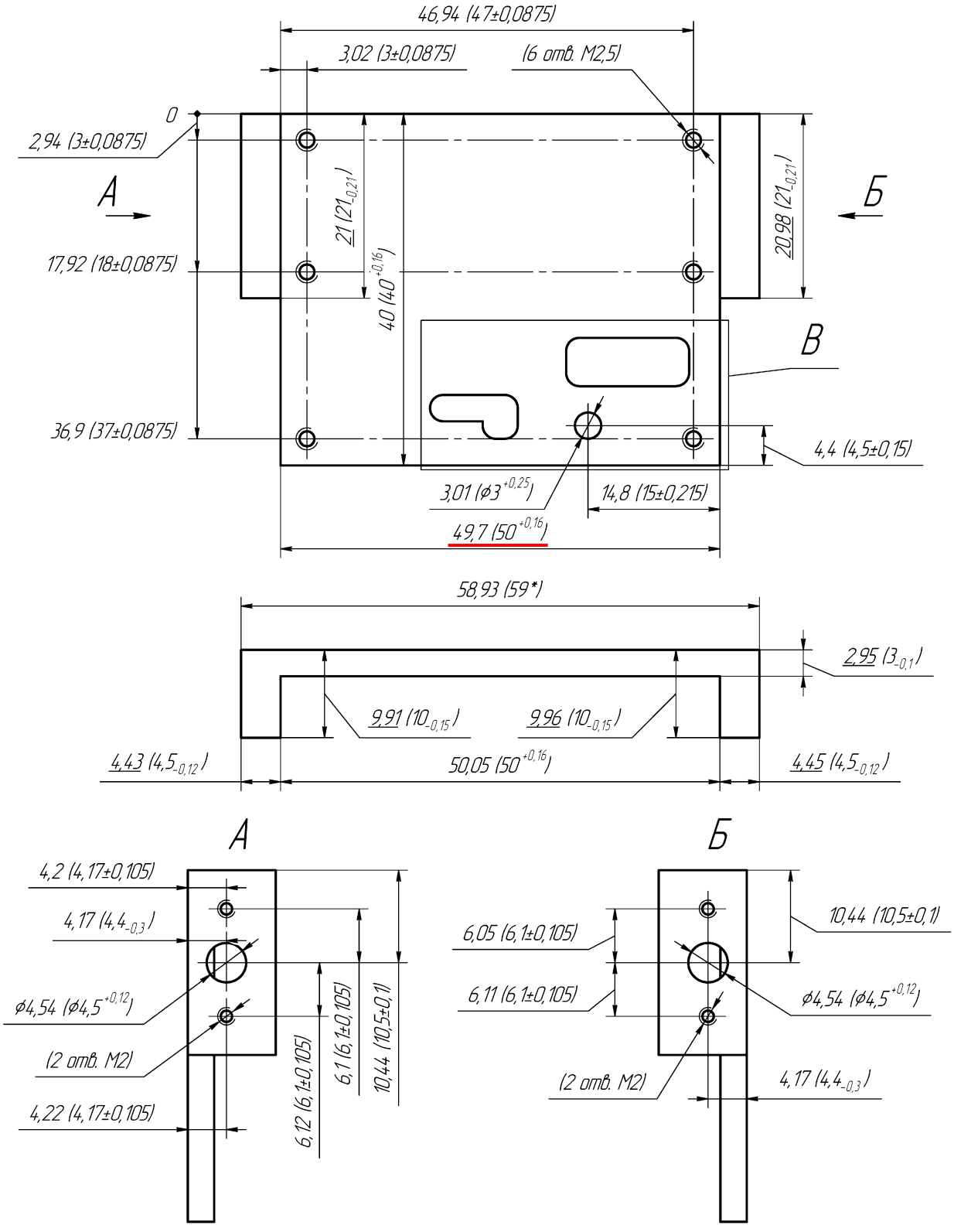


Рис. А.13 Начало (окончание см. на с. 642)

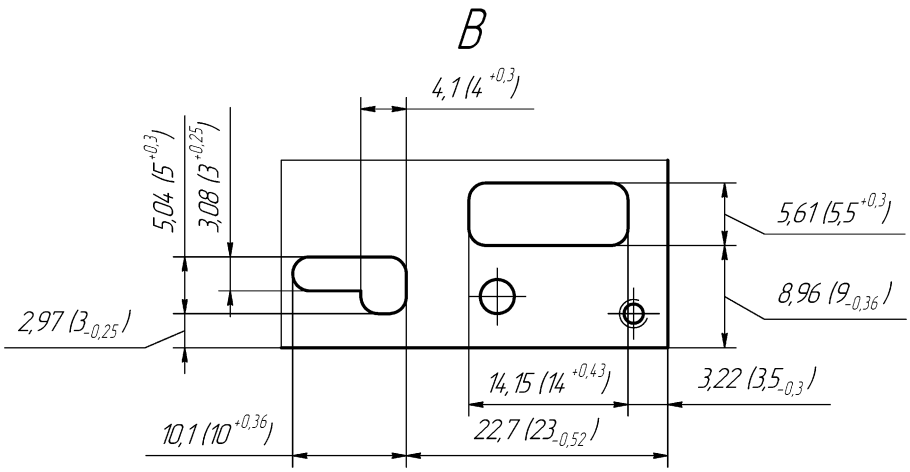


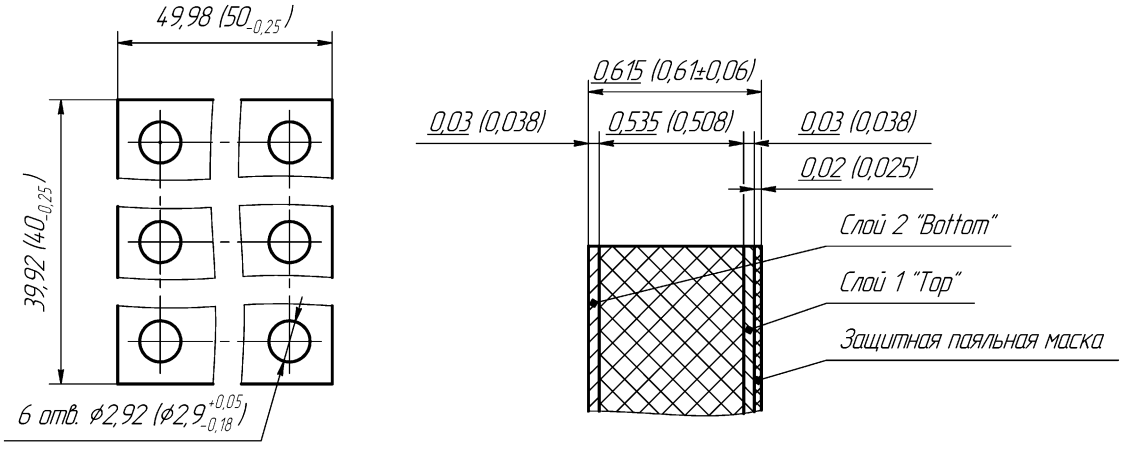
Рис. А.13 Окончание (начало см. на с. 641)

Предельные отклонения расположения осей резьбовых отверстий М2,5 и М2 получены в результате пересчета по (Д.4) из указанных на чертеже позиционных допусков (0,25 мм и 0,3 мм соответственно).

Несмотря на то что размер 36,9 мм для двух резьбовых отверстий М2,5 выходит за получившееся предельные отклонения, он все же попадает в поле позиционного допуска: центр каждого отверстия находится в нижней части между квадратным и круглым полями, показанными на рис. Д.32.

Расположение осей резьбовых отверстий М2 указано на боковых выступах с учетом реальных расположений и диаметров базовых отверстий.

Результаты обмера ПП показаны на рис. А.14, *а* и *б*.



а *б*

Рис. А.14

Приведенные на рис. А.14, *б* значения рассчитаны на основе измерений в следующих местах:

– на краю заготовки (см. рис. А.1), где присутствуют диэлектрик и слой защитной паяльной маски;

– в области ПФ, где находятся диэлектрик и два слоя металлизации;

– между выводами защитного диода, где расположены диэлектрик, два слоя металлизации и слой защитной паяльной маски.

Допуски расположения осей отверстий на ПП находятся в рамках позиционного допуска для 4-го класса точности (табл. Б.1).

При обмере проводящего рисунка ПП установлено, что размеры проводников, полигонов и КП увеличены с каждой стороны на 0,015 мм. В соответствии с этим все зазоры оказались уменьшены на 0,03 мм. Таким образом производитель пытался скомпенсировать боковой подтрав (рис. Б.24).

Особенно хорошо данный факт заметен на рис. А.7: размеры КП в посадочном месте микросхемы аттенюатора составляют 0,28 × 0,83 мм вместо 0,25 × 0,8 мм, заложенных в файле трассировки; а зазоры между указанными КП – 0,22 мм вместо 0,25 мм.

Тем не менее получившиеся предельные отклонения размеров проводящего рисунка составляют ±0,03 мм, что соответствует 5-му классу точности по ГОСТ Р 53429–2009 (табл. Б.6).

Результаты обмера «модуля усилителя» показаны на рис. А.15.

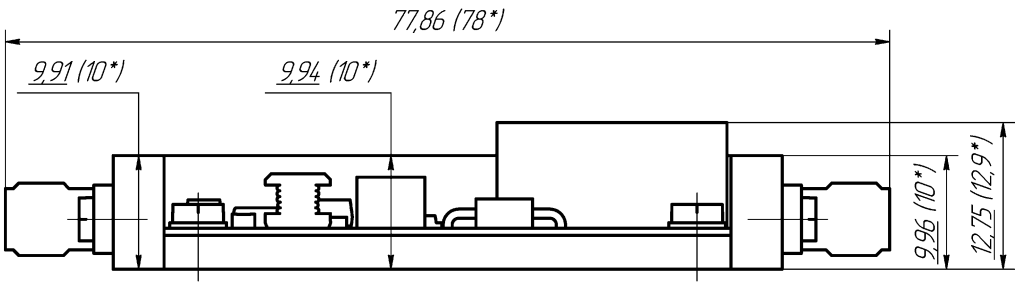


Рис. А.15

Толщина устройства в области СВЧ-тракта была измерена в трех местах: на боковых выступах «основания» и в месте расположения «экрана». Видно, что требование общего задания на проектирование выполняется.

А.3. Результаты измерения АЧХ ПФ

Измерение АЧХ ПФ производилось на отдельной ПП с помощью векторного анализатора цепей **8720B** фирмы Hewlett Packard с диапазоном частот от 130 МГц до 20 ГГц, внешний вид которого показан на рис. А.16.

Ко входу и выходу ПФ для подключения к прибору были подпаяны отрезки полужестких коаксиальных кабелей RG-405 с волновым сопротивлением 50 Ом и установленными SMA-разъемами (рис. А.17).

На рис. А.18 показано сравнение результатов эксперимента (HP_554) и электромагнитного моделирования в EMSight-симуляторе (BPFem) из разд. 4.



Рис. А.16

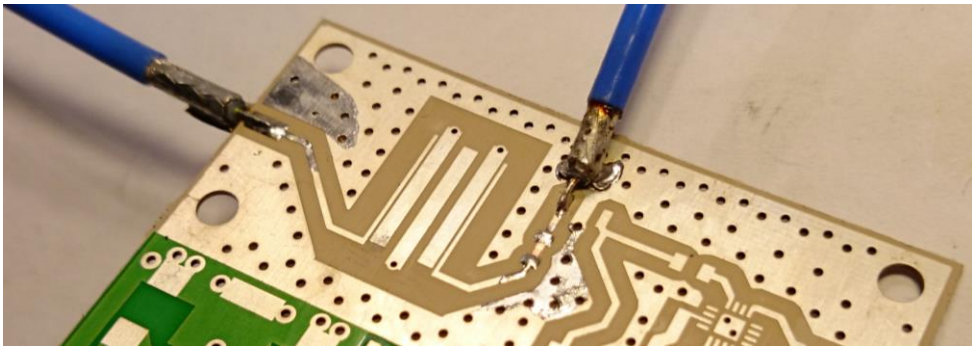


Рис. А.17

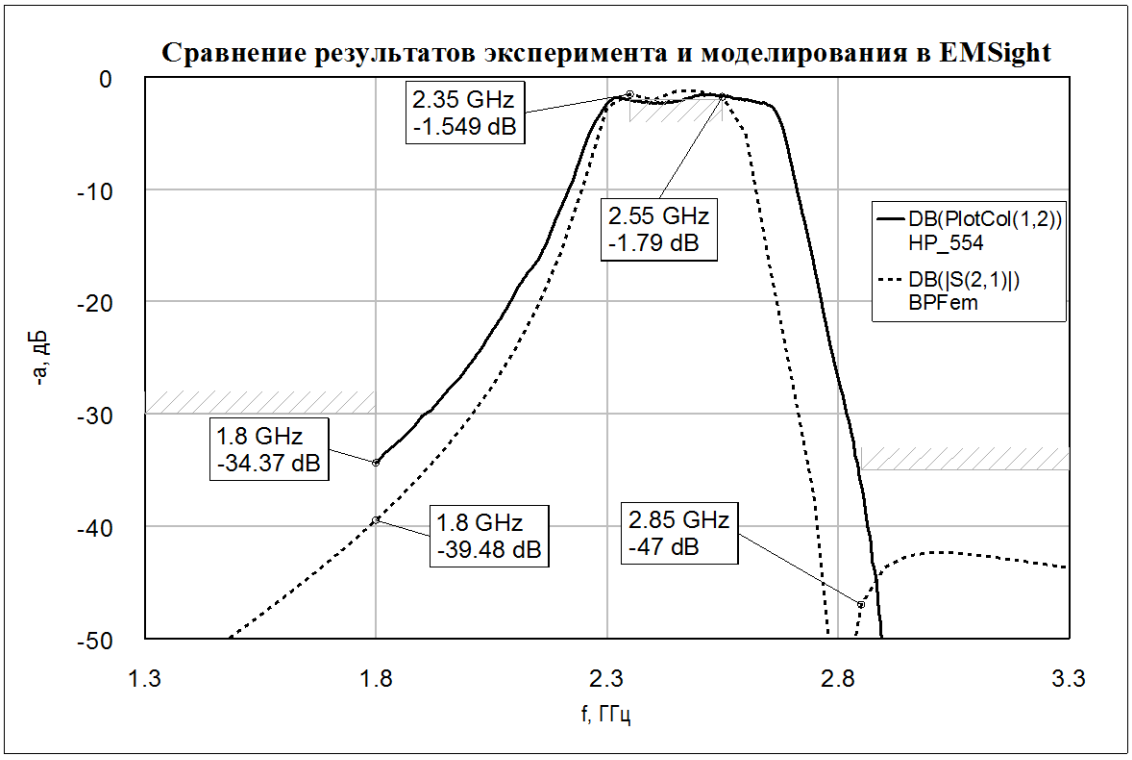
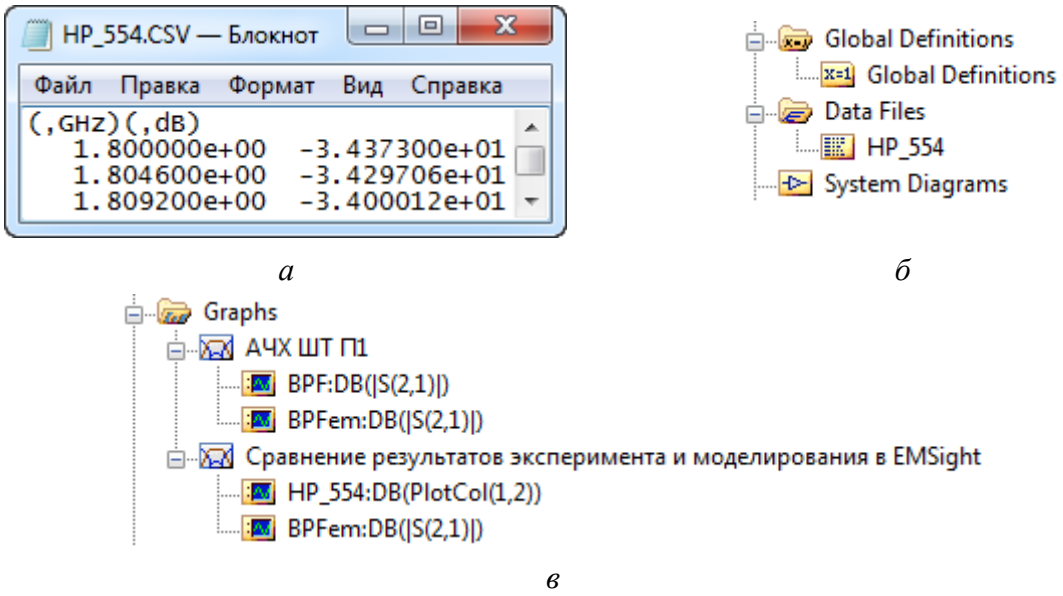


Рис. А.18

Примечание. Данные с анализатора получены в формате CSV. Для корректного отображения на графике в Microwave Office в первой строке был записан заголовок с указанием размерности данных в соответствующих столбцах (рис. А.19, а). В заголовке перед запятой в скобках может быть указан тип переменной (RE, IM и др.) Разделителем между данными в каждой строке может быть запятая. Пробелы могут отсутствовать.



а *б*

в

Рис. А.19

Загрузка данных в Microwave Office производится командой ПКМ ⇒ Import Data File, выполненной на элементе Data Files из вкладки Project. Участок вкладки с загруженными данными показан на рис. А.19, б.

График с рис. А.18 был получен копированием уже существующего (команда ПКМ ⇒ Duplicate Graph) и заменой кривой, полученной для линейного моделирования (рис. А.19, в), загруженными данными со следующими настройками окна Modify Measurement (команда ПКМ ⇒ Properties):

– в списке Measurement Type выбрана опция Data;

– в списке Measurement выбрана опция PlotCol (график по столбцам);

– в списке Data File Name выбрано название загруженного файла;

– в поле Column for X Axis выбрано 1 (частоты);

– в поле Column for Y Axis выбрано 2 (коэффициенты передачи);

– в группе Complex Modifier включена опция dB (децибелы).

Границы оптимизации добавлены заново путем копирования (команда ПКМ ⇒ Duplicate) с указанием одной из измеряемых на графике величин, после чего отключены командой ПКМ ⇒ Toggle Enable.

Переименование графика выполнено командой ПКМ ⇒ Rename Graph.

Из рис. А.18 видно, что полоса пропускания оказалась шире на 100 МГц. Это в основном обусловлено двумя причинами:

– при моделировании в EMSight не учитывалась толщина проводников;

– в опытном образце геометрические параметры фольгированного диэлектрика отличаются от заданных при моделировании (см. А.2).

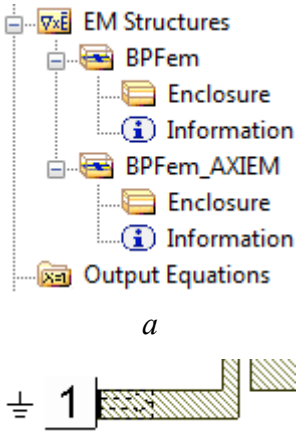
Для демонстрации влияния указанных параметров проведено моделирование в AXIEM-симуляторе.

Примечание. Соответствующая модель получена следующим путем:

– сделана копия уже существующей электромагнитной модели (команда ПКМ ⇒ Duplicate EM Structure) и изменено ее имя (рис. А.20, а);

– у созданной копии командой ПКМ ⇒ Set Simulator изменен тип симулятора на AWR AXIEM - Async;

– в рабочем поле в свойствах каждого порта в группе Explicit Ground Reference выбрана опция Connect to lower (установка явной ссылки на землю, которой является нижняя поверхность ПП). В результате у портов появляются соответствующие значки (рис. А.20, б).



а

б

Рис. А.20

На рис. А.21 показано сравнение результатов моделирования в симуляторах AXIEM со стандартными настройками и EMSight.

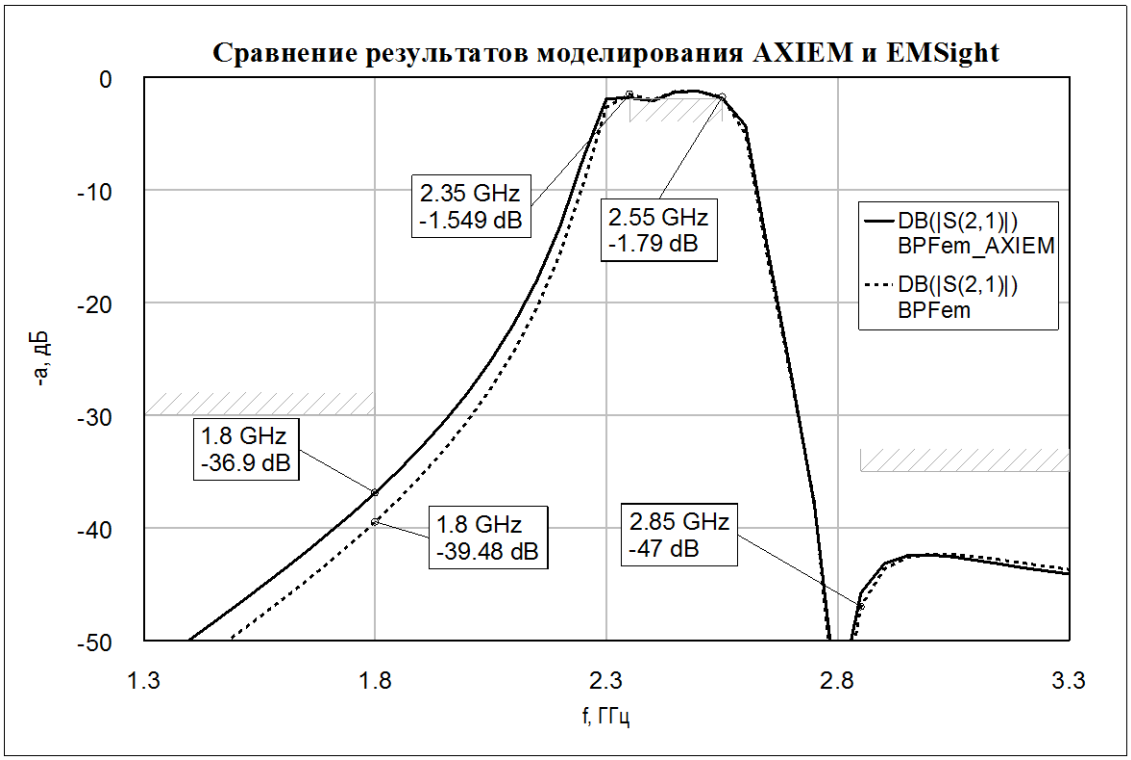


Рис. А.21

Расхождение на рисунке связано с отсутствием в AXIEM-симуляторе боковых стенок из идеального проводника (верхняя и нижняя стенки присутствуют). Однако в реальном устройстве в непосредственной близости от топологии ПФ над поверхностью ПП боковых металлизированных стенок нет. Есть металлизация на поверхности ПП и внутри материала основания в виде переходных отверстий, но из-за выбранных достаточно больших расстояний до нее создание каких-либо металлизированных стенок и земляных полигонов в AXIEM-симуляторе не требуется (оказываемое влияние пренебрежимо мало).

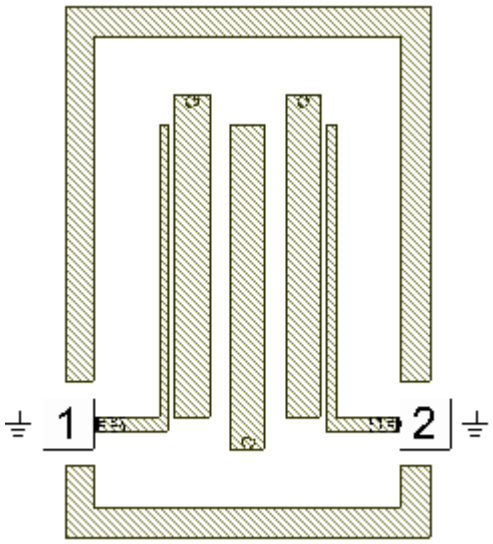


Рис. А.22

Примечания:

– боковые стенки можно промоделировать, нарисовав окружающие топологию ПФ полигоны (рис. А.22) и выбрав в их свойствах опцию Via через все слои (по аналогии с металлизированными отверстиями в вариантах задания с ШТ). В этом случае результаты двух симуляторов на рис. А.21 будут практически идентичными;

– для корректной работы AXIEM-симулятора может потребоваться исключение русских букв из названий файла и папок. В этом случае достаточно сохранить этот же файл с новым именем в подходящую папку и заново запустить процесс моделирования.

На рис. А.23 пунктирными кривыми показаны результаты моделирования в AXIEM-симуляторе при отдельном изменении толщины основания ПП, толщины проводников и габаритных размеров проводящего рисунка ПП на полученные при обмере данные (см. А.2). Сплошной кривой показан исходный результат моделирования в AXIEM-симуляторе с рис. А.21. Шаг сетки по оси X при этом составляет 0,05 ГГц, а по оси Y – 1 дБ.

Примечание. Значение толщин основания ПП и проводников задавалось в соответствии с пп. 2.2, 2.7 и 2.8 из 4.4.

Для включения учета толщины проводников при моделировании на названии соответствующей электромагнитной модели в группе EM Structures из вкладки Project была выполнена команда ПКМ ⇒ Options и в открывшемся окне на вкладке Mesh (сетка) снята галочка с опции Model as Zero Thickness. Стоит отметить, что на вкладках Mesh и AXIEM этого окна задаются основные настройки, влияющие на точность моделирования.

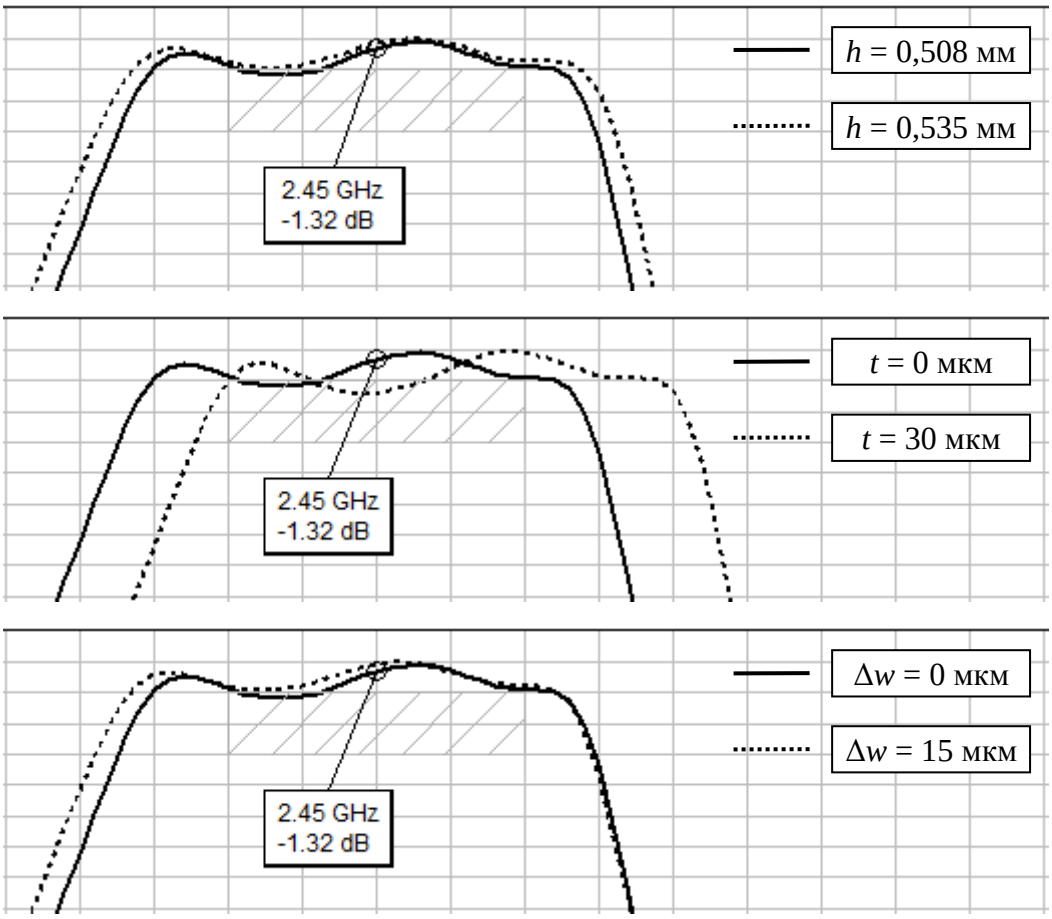


Рис. А.23

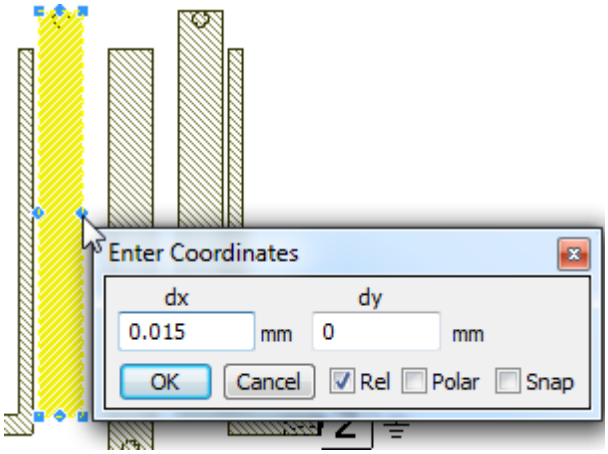
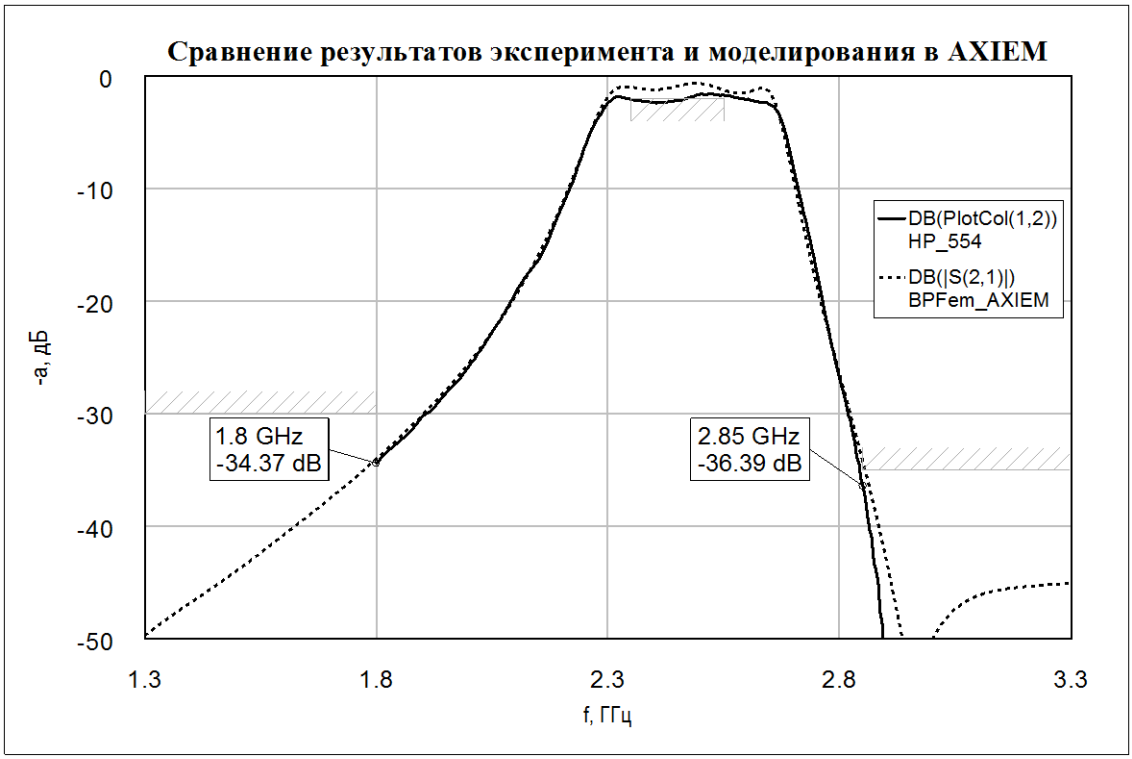


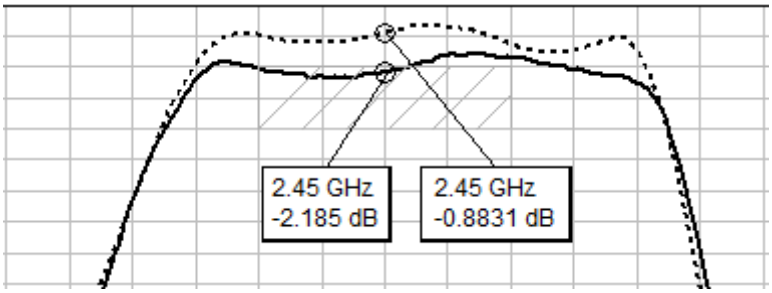
Рис. А.24

Изменение габаритных размеров проводящего рисунка ПП (по осям X и Y) производилось без изменения шага сетки. Для этого сначала осуществлялся двойной щелчок ЛКМ по требуемому полигону для появления характерных точек, затем на необходимой точке зажималась ЛКМ, после чего нажималась клавиша Tab и в появившемся окне вводилось значение сдвига (на рис. А.24 показана запись сдвига на 0,015 мм по оси X).

На рис. А.25, *а* показано сравнение результатов эксперимента и электромагнитного моделирования в AXIEM-симуляторе со скорректированными в соответствии с рис. А.23 значениями толщины основания ПП, толщины проводников и габаритных размеров проводящего рисунка ПП при уменьшении шага сетки с 0,1 мм на 0,01 мм, а на рис. А.25, *б* – увеличенный участок графика в области полосы пропускания.



а



б

Рис. А.25

Примечание. При изменении шага сетки с 0,1 на 0,01 мм время моделирования увеличилось с 1,3 до 17,5 мин при расчете в 12 частотных точках из 201 (шаг по частоте задан 0,01 ГГц). Связано это с тем, что в AXIEM-симуляторе моделирование по умолчанию производилось в режиме AFS (Advanced Frequency Sweep), при котором вычисления осуществляются совместно с операцией интерполяции. Данный режим можно включить и отключить в обоих симуляторах в окне Options для каждой электромагнитной модели.

Оставшиеся различия на рис. А.25 связаны со следующими причинами:

– погрешности обмера ПП;

– погрешности измерений (потери в местах перехода от печатных проводников к центральным жилам кабелей и в разъемных соединениях, погрешность векторного анализатора цепей);

– неизвестные истинные значения потерь и относительной диэлектрической проницаемости материала основания ПП и его анизотропия [97];

– неточности моделирования (размер сетки, настройки и др.).

А.4. Результаты работы «токового зеркала»

Результаты измерения сопротивлений, напряжений и токов на выводах компонентов из «токового зеркала» показаны на рис. А.26 (в скобках приведены значения, полученные при расчете в п. 7 из 8.3).

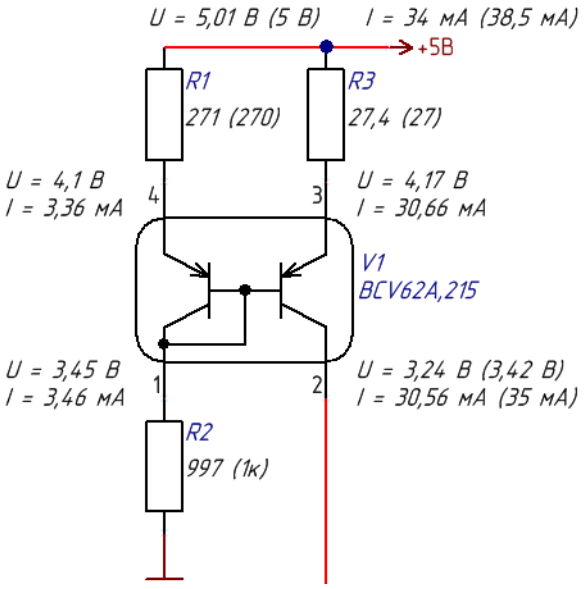


Рис. А.26

Измерение сопротивлений резисторов производилось SMD-тестером **MS8910** фирмы Mastech, выполненным в виде пинцета (рис. А.27, *а*), перед установкой их на ПП. Отклонение значений от номинальных составляет не более 2 % при допустимых 5 %.

Измерение уровней напряжений осуществлялось цифровым мультиметром **MAS830L** той же фирмы (рис. А.27, *б*) после сборки «модуля усилителя» и подаче внешнего напряжения питания.



а



б

Рис. А.27

Из рис. А.26 видно, что ток $I_{\text{Кп}}$ получился на 13 % меньше расчетного, что связано с использованием в вычислениях приближенной формулы (8.1), а также с отличием параметров реальной транзисторной сборки от номиналь-

ных из документации. В работе микросхемы усилителя это приведет к снижению коэффициента усиления. Например, для GALI-3+ в соответствии с рис. А.28 на частоте 2,45 ГГц уменьшение составит примерно 0,15 дБ.

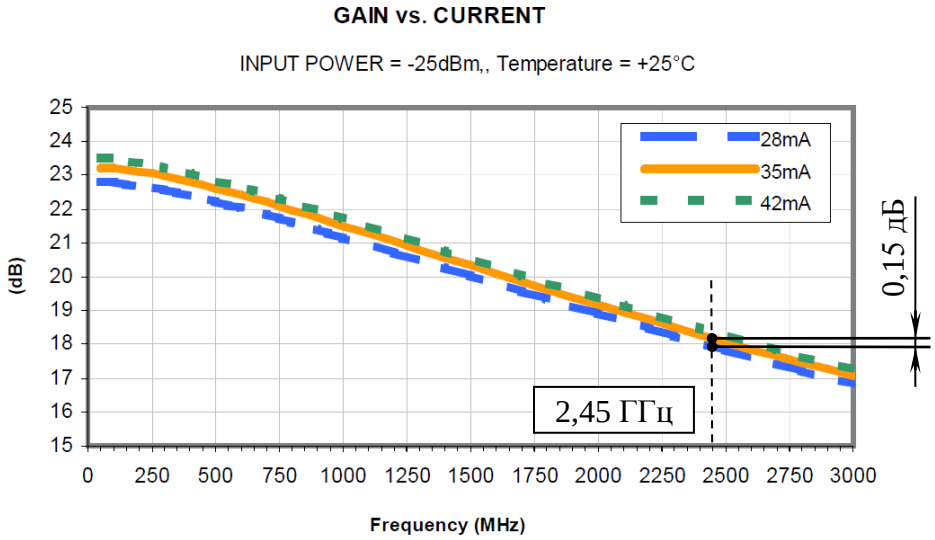


Рис. А.28

Результат моделирования «токового зеркала» в Microwave Office показан на рис. А.29.

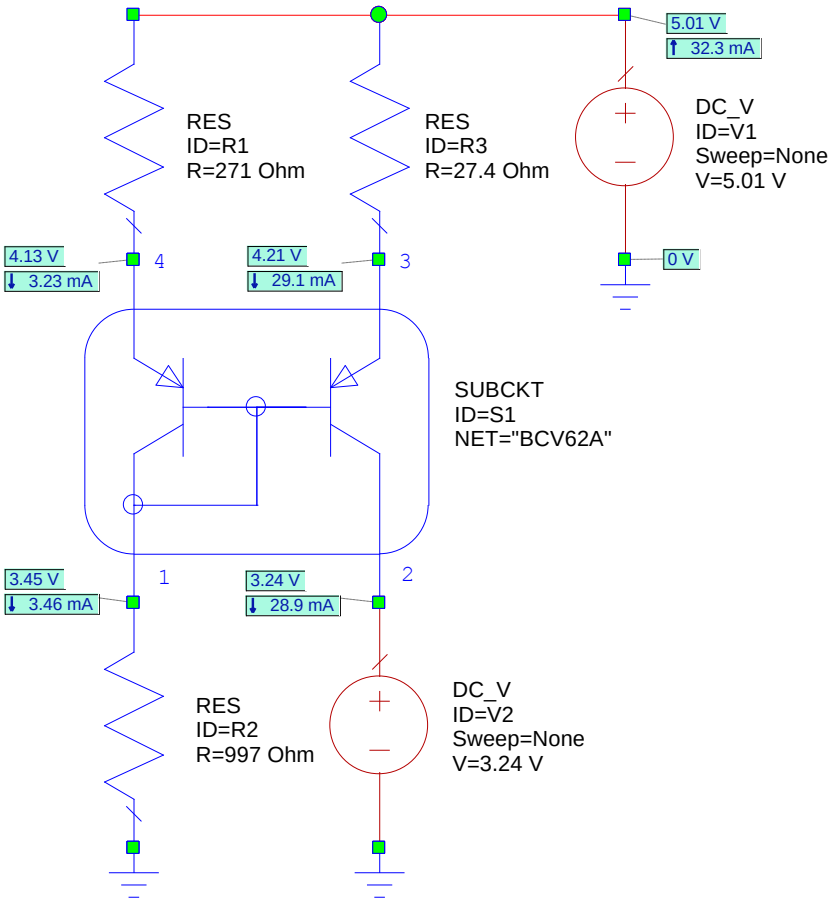


Рис. А.29

Примечание. Исходными данными на рис. А.29 являются сопротивления резисторов и напряжения, сформированные источниками V1 и V2.

Значения токов и напряжений отображаются после запуска команды ПКМ ⇒ Add Annotation на названии схемы во вкладке Project и выбора следующих параметров в группе Measurement:

– DCIA с маской DC_V (отображение токов на всех источниках напряжения);*

– DCIA с маской RES (отображение токов на всех резисторах);*

– DCVA_N (отображение напряжений на всех узлах).

Транзисторная сборка представлена файлом SPICE-модели в формате PRM, который был загружен следующим образом:

– во вкладке Project на группе Circuit Schematics запущена команда ПКМ ⇒ Import Netlist и указано расположение файла SPICE-модели;

– в появившемся окне выбрана опция PSpice Netlist Files (.cir) и нажата кнопка OK;*

– на вкладке Elements из группы Subcircuits выбран загруженный компонент и размещен в рабочем поле.

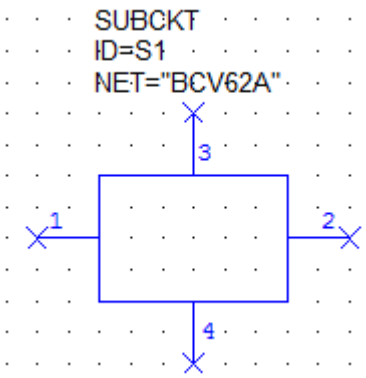


Рис. А.30

После добавления на поле схемы транзисторная сборка отображается прямоугольником с четырьмя выводами (рис. А.30).

Для создания УГО, показанного на рис. А.29, было выполнено следующее:

– создана новая схема с названием Double PNP, в которую добавлены два УГО p-n-p-транзисторов;

– после ориентации их нужным образом и создания необходимых соединений запущена подпрограмма AWR Symbol Generator Wizard из группы Wizards во вкладке Project;

– в открывшемся окне выбрана схема с двумя p-n-p-транзисторами со стилем Picture и отсутствием границ (опция None в поле Border). После чего нажата кнопка OK;

– запущена команда Project ⇒ Circuit Symbols ⇒ Edit Symbol;

– в появившемся окне Project symbols выбрано созданное изображение и нажата кнопка Edit;

– в открывшемся окне с названием УГО в рабочем поле с помощью команды Draw ⇒ Add Node добавлены четыре вывода, после чего отредактировано УГО (добавлены и скорректированы требуемые линии и дуги);

– окно с УГО закрыто с сохранением изменений;

– запущена команда Project ⇒ Circuit Symbols ⇒ Export Symbols и произведено создание новой библиотеки УГО с расширением «.syf»;

– в окне Symbol List выбрано созданное УГО и нажата кнопка Export;

– в рабочем поле в окне с «токовым зеркалом» на транзисторной сборке выполнена команда ПКМ ⇒ Properties и в появившемся окне на вкладке Symbol в группе Project выбрано созданное УГО.

По результатам выполнения 3-го дополнительного этапа проектирования в варианте «П1» для получения $I_{\text{Кп}} = 35$ мА сопротивление резистора на эмиттере правого транзистора транзисторной сборки необходимо было бы уменьшить с 27 Ом до 22,1 Ом.

А.5. Потребление «модуля усилителя» и результаты работы микросхемы стабилизатора напряжения

В варианте «П1» микросхема стабилизатора **MIC5209-5.0YS** была заменена на аналог **MC33275ST-5.0T3G** фирмы ON Semiconductor.

Указанная микросхема по сравнению с MIC5209-5.0YS не содержит в своем составе ЗП, рассчитана на меньший выходной ток (300 мА против 500 мА) и обладает большим током потерь (порядка 1 мА против 0,4 мА). Но так как в «модуле усилителя» есть собственная ЗП, ток потребления составляет менее 50 мА и на него не накладывается ограничений, то указанные недостатки несущественны.

Данный аналог стоит почти в два раза дешевле, чем MIC5209-5.0YS, выполнен в таком же корпусе и с таким же назначением выводов. Кроме этого, он обладает меньшим значением U_{DO} (рис. А.31 против рис. 8.50).

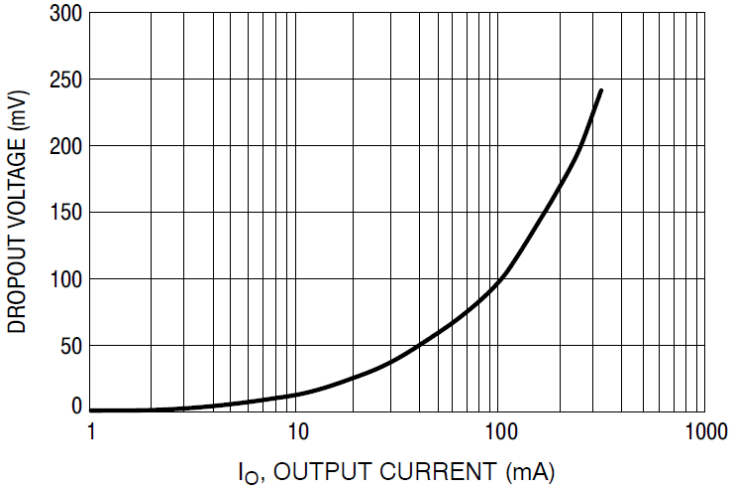


Рис. А.31

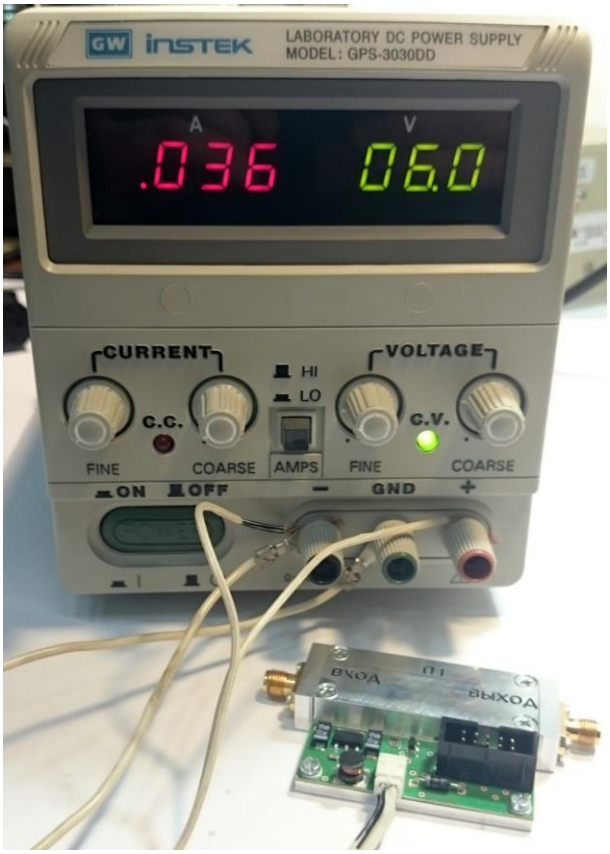
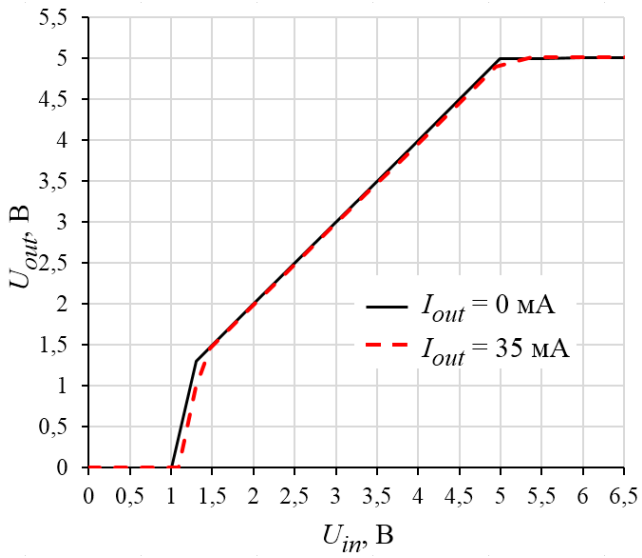


Рис. А.32

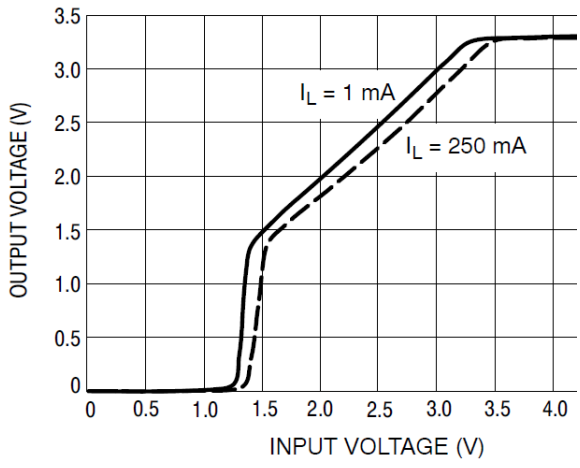
Для подачи внешнего питания использовался лабораторный источник питания постоянного тока **GPS-3030DD** фирмы GW Instek с защитой от перегрузки. Потребление «модуля усилителя» при напряжении 6 В составило 36 мА (рис. А.32).

Отличие от расчетного значения, определенного в п. 8.13 из 8.3, связано с меньшим током потребления «токовым зеркалом» (см. А.4) и большим током потерь в установленном аналоге микросхемы стабилизатора. Ток потребления микросхемы аттенюатора составляет порядка 1 мА.

На рис. А.33, *а* приведены результаты работы микросхемы стабилизатора без нагрузки (только с установленными компонентами из узла вторичного питания) и с нагрузкой (со всеми установленными компонентами), а на рис. А.33, *б* – аналогичные зависимости из документации на микросхему MC33275ST-3.3T3G.



а



б

Рис. А.33

Выходное напряжение микросхемы MC33275ST-5.0T3G в рабочем режиме, т. е. при выполнении условия (8.6), составляет 5,01 В и находится

внутри указанного в документации диапазона (от 4,9 до 5,1 В). Значение U_{DO} при токе нагрузки 35 мА получилось примерно 50 мВ, что соответствует зависимости, приведенной на рис. А.31.

А.6. Результаты работы СВЧ-тракта

Исследование работы СВЧ-тракта осуществлялось с помощью двух цифровых анализаторов спектра:

– **GSP-7830** (рис. А.34, *а*) фирмы GW Instek с диапазоном частот от 9 кГц до 3 ГГц, чувствительностью минус 110 дБм, погрешностью измерения амплитуды ±1,5 дБ и опциональным трекинг-генератором с диапазоном выходных уровней от минус 50 до 0 дБм;

– **N9020A** (рис. А.34, *б*) фирмы Keysight Technologies Inc. (ex Agilent Technologies) с диапазоном частот от 10 Гц до 26,5 ГГц, чувствительностью минус 154 дБм и погрешностью измерения амплитуды ±0,3 дБ.



а

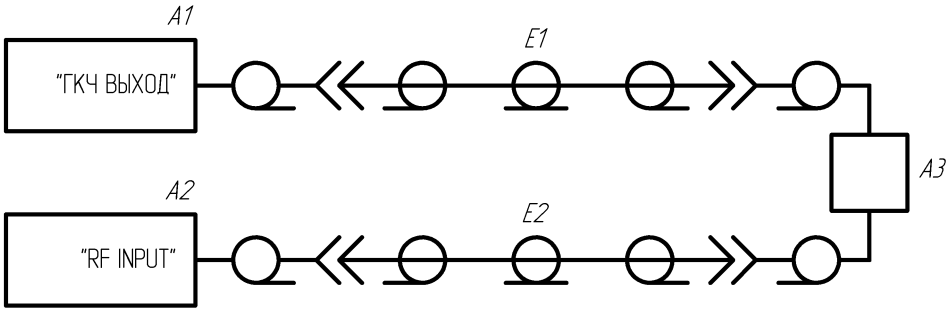


б

Рис. А.34

Измерения производились в три этапа:

1. В соответствии со схемой соединений, показанной на рис. А.35, *а*, получена АЧХ трекинг-генератора из состава анализатора спектра **GSP-7830** в диапазоне частот от 1,8 до 3 ГГц при заданном в варианте индивидуального задания на проектирование уровне минус 10 дБм.



A1 – цифровой анализатор спектра GSP-7830 фирмы GW Instek;
A2 – цифровой анализатор спектра N9020A фирмы Agilent Technologies;
A3 – переход коаксиальный SMA-KK1 фирмы-поставщика ООО "Амитрон Электроникс";
E1, E2 – кабель жесткий CBL-0.5M-SMNM+ фирмы Mini-Circuits.

а



б



в

Рис. А.35

Внешний вид кабеля CBL-0.5M-SMNM+ (вилки типов SMA и N, длина 0,5 м, волновое сопротивление 50 Ом, диапазон частот от 0 до 18 ГГц, вносимые потери в диапазоне частот до 3 ГГц – 0,4 дБ) показан на рис. А.35, *б*, а внешний вид коаксиального перехода SMA-KK1 (розетки типа SMA, волновое сопротивление 50 Ом, диапазон частот от 0 до 18 ГГц) – на рис. А.35, *в*.

2. Вместо коаксиального перехода подключен «модуль усилителя» и получены его АЧХ для четырех уровней ослабления, создаваемых комбинацией напряжений на управляющих выводах микросхемы аттенюатора.

Сигналы управления и напряжение питания подавались по соответствующим кабелям от двух источников питания GPS-3030DD.

Внешний вид «модуля усилителя» со снятым «экраном» и осуществленными подключениями показан на рис. А.36.

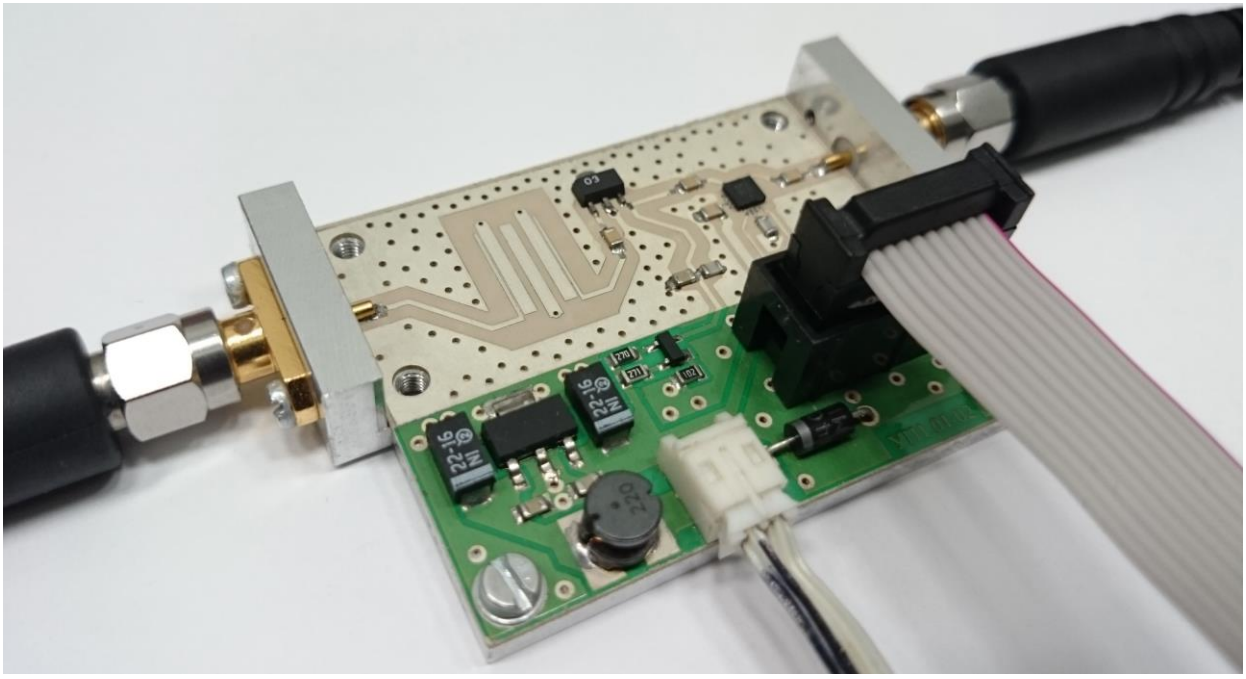


Рис. А.36

3. Полученные АЧХ «модуля усилителя» скорректированы с учетом неравномерности АЧХ трекинг-генератора.

Результаты показаны на рис. А.37.

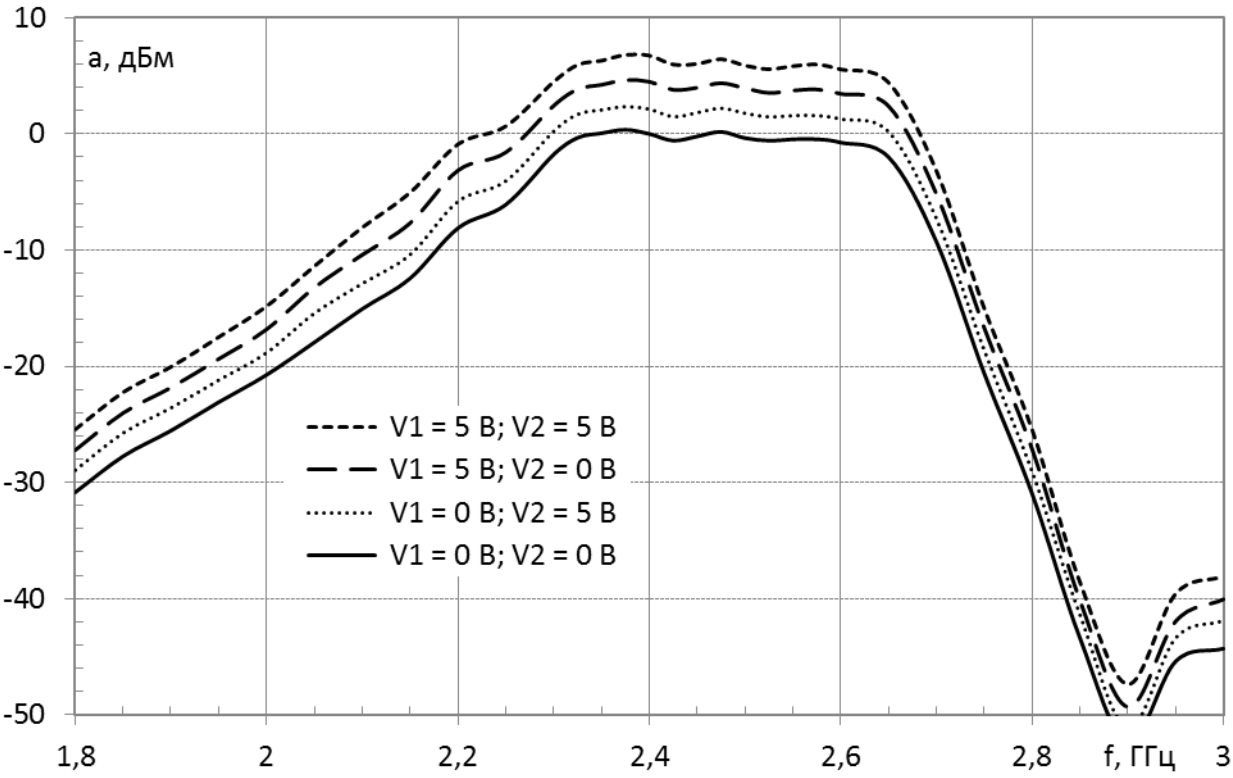


Рис. А.37

Сравнение уровней сигнала на центральной частоте 2,45 ГГц по результатам измерений с рис. А.37 и расчета с рис. 3.33 приведено в табл. А.1.

Таблица А.1

Уровни сигнала на выходе «модуля усилителя» на частоте 2,45 ГГц

Уровень управляющего напряжения, В		Уровень сигнала, дБм	
V1 (вывод № 8)	V2 (вывод № 5)	Измерение	Расчет
+5	+5	+6,00	+5,24
+5	0	+3,95	+3,24
0	+5	+1,80	+1,24
0	0	–0,25	–0,76

Различия связаны в первую очередь с тем, что коэффициент усиления микросхемы «усилителя» в расчетах должен быть больше на 0,35 дБ по двум причинам:

– режим работы микросхемы в варианте «П1» выбран для температуры +85 °С (см. пп. 9.7 и 9.9 из 3.3);

– расчет номиналов резисторов в «токовом зеркале» производился по приближенной формуле (см. А.4).

Также из табл. А.1 следует, что уровни ослабления установленной микросхемы аттенюатора относительно ее опорных вносимых потерь составляют 2,05, 4,2 и 6,25 дБ вместо использованных при расчетах 2, 4 и 6 дБ. Полученные значения соответствуют приведенным на рис. 3.30.

Оставшиеся различия порядка 0,5 дБ между измеренными и расчетными значениями связаны со следующими причинами:

– погрешности измерений;

– потери в использованном материале ПП и в разделительных конденсаторах, которые в опытном образце для его удешевления были выбраны из серии GRM фирмы Murata;

– различия в коэффициенте передачи ПФ (см. А.3);

– неизвестные истинные значения коэффициента усиления микросхемы усилителя и опорных вносимых потерь микросхемы аттенюатора.

Б. Общие сведения о ПП

Б.1. Термины и определения

Термины и определения понятий в области ПП устанавливает ГОСТ Р 53386–2009.

К основным понятиям можно отнести следующие:

– ***печатная плата*** (ПП, printed board, printed circuit board, PCB) – изделие, состоящее из одного или двух проводящих рисунков, расположенных на поверхности основания, или из системы проводящих рисунков, расположенных в объеме и на поверхности основания, соединенных между собой в соответствии с электрической схемой печатного узла, предназначенное для электрического соединения и механического крепления устанавливаемых на нем изделий электронной техники, квантовой электроники и электротехнических изделий;

– ***основание ПП*** (substrate) – элемент конструкции ПП, на поверхности или на поверхности и в объеме которого расположен проводящий рисунок или система проводящих рисунков ПП;

– ***рисунок ПП*** (pattern) – конфигурация, образованная проводниковым и (или) диэлектрическим материалом на ПП;

– ***проводящий рисунок ПП*** (conductive pattern) – рисунок ПП, образованный проводниковым материалом на основании или в объеме. Проводящий рисунок состоит из печатных проводников, КП, экранов, металлизированных отверстий, теплоотводящих и других печатных компонентов;

– ***непроводящий рисунок ПП*** (non-conductive pattern) – рисунок ПП, образованный диэлектрическим материалом основания ПП.

К часто встречающимся понятиям из области элементов конструкции ПП можно отнести следующие:

– ***печатный проводник*** (conductor) – одна полоска в проводящем рисунке ПП;

– ***ширина печатного проводника ПП*** (conductor width) – поперечный размер печатного проводника ПП;

– ***толщина печатного проводника ПП*** (conductor thickness) – высота печатного проводника в поперечном сечении;

– ***расстояние между печатными проводниками ПП*** (conductor spacing) – ширина участка непроводящего рисунка ПП между краями соседних печатных проводников одного проводящего слоя ПП;

– ***проводящий слой ПП*** (conductor layer) – проводящий рисунок ПП, расположенный в одной плоскости;

– ***внутренний слой ПП*** (inner layer) – проводящий рисунок ПП, расположенный внутри МПП;

– ***внешний слой ПП*** (exteriority connection) – проводящий рисунок ПП, расположенный на наружной стороне ПП;

– ***расстояние между проводящими слоями ПП*** (layer-to-layer spacing) – толщина диэлектрического материала между соседними проводящими слоями ПП;

– ***сторона монтажа ПП*** (component side) – сторона ПП, предназначенная для установки на ней изделий (монтаж бывает одно- и двусторонним);

– ***металлизированное отверстие ПП*** (plated hole) – отверстие в ПП с проводниковым материалом на его стенке;

– ***неметаллизированное отверстие ПП*** (non-plated through hole) – отверстие в ПП без проводникового материала на его стенке;

– ***монтажное отверстие ПП*** (component hole) – отверстие, предназначенное для электрического подсоединения к проводящему рисунку ПП выводов изделий;

– ***переходное отверстие ПП*** (crossing hole) – металлизированное отверстие ПП, предназначенное для электрического соединения проводящих рисунков ПП, находящихся на разных проводящих слоях ПП (часто встречается как via);

– ***крепежное отверстие ПП*** (mounting hole) – неметаллизированное отверстие ПП, предназначенное для механического крепления ПП к базовой несущей конструкции или для механического крепления изделий на ПП;

– ***КП ПП*** (land) – часть проводящего рисунка ПП, используемая для электрического подсоединения устанавливаемых изделий (часто встречается как pad);

– ***гарантийный поясок КП ПП*** (guarantee bell) – минимально допустимая ширина КП ПП вокруг отверстия ПП (часто встречается как annular ring).

Б.2. Типы конструкции ПП

В зависимости от жесткости материала, использованного для основания, ПП делятся на три группы:

– ***жесткая ПП*** (rigid printed board) – ПП, выполненная на жестком основании;

– ***гибкая ПП*** (flexible printed board) – ПП, выполненная на гибком основании;

– ***гибко-жесткая ПП*** (flex-rigid printed board) – ПП, выполненная на гибком и жестком основаниях, объединенных проводящим рисунком ПП.

В соответствии РД 50–708–91 [98] по конструктивному исполнению ПП разделяют на следующие типы:

1. ***Односторонняя печатная плата*** (ОПП, single-sided printed board) – ПП, на одной стороне основания которой выполнен проводящий рисунок.

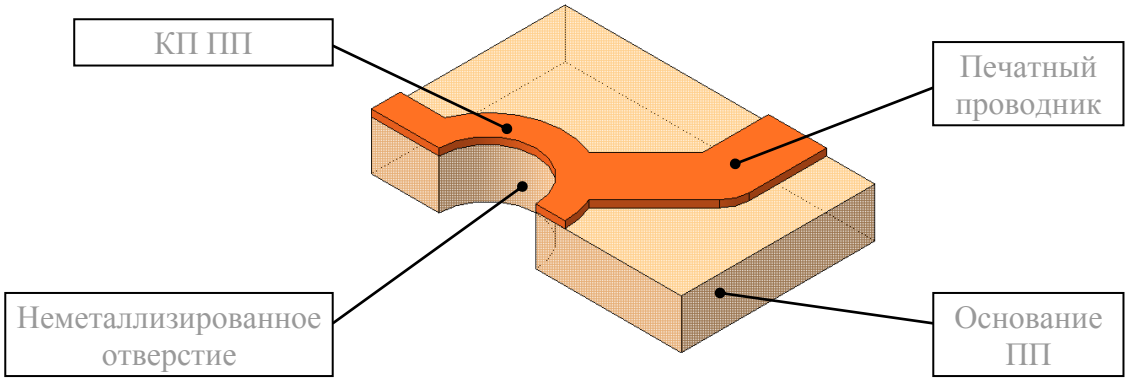


Рис. Б.1

ОПП (рис. Б.1) характеризуется:

– возможностью обеспечения повышенных требований к точности выполнения проводящего рисунка;

– отсутствием металлизированных отверстий;

– возможностью установки изделий электронной техники на поверхность ПП в основном со стороны, противоположной стороне расположения печатных проводников, без дополнительного изоляционного покрытия;

– самой низкой стоимостью.

2. ***Двусторонняя печатная плата*** (ДПП, double-sided printed board) – ПП, на обеих сторонах основания которой выполнены проводящие рисунки.

ДПП делятся на две группы:

2.1. ДПП без металлизации монтажных и переходных отверстий (рис. Б.2, *а*), которые характеризуются:

– возможностью обеспечения высоких требований к точности выполнения проводящего рисунка;

– возможностью использования объемных металлических элементов конструкции (штырей, отрезков проволоки и т. д.) для соединения элементов проводящего рисунка, расположенных на противоположных сторонах ПП;

– низкой стоимостью.

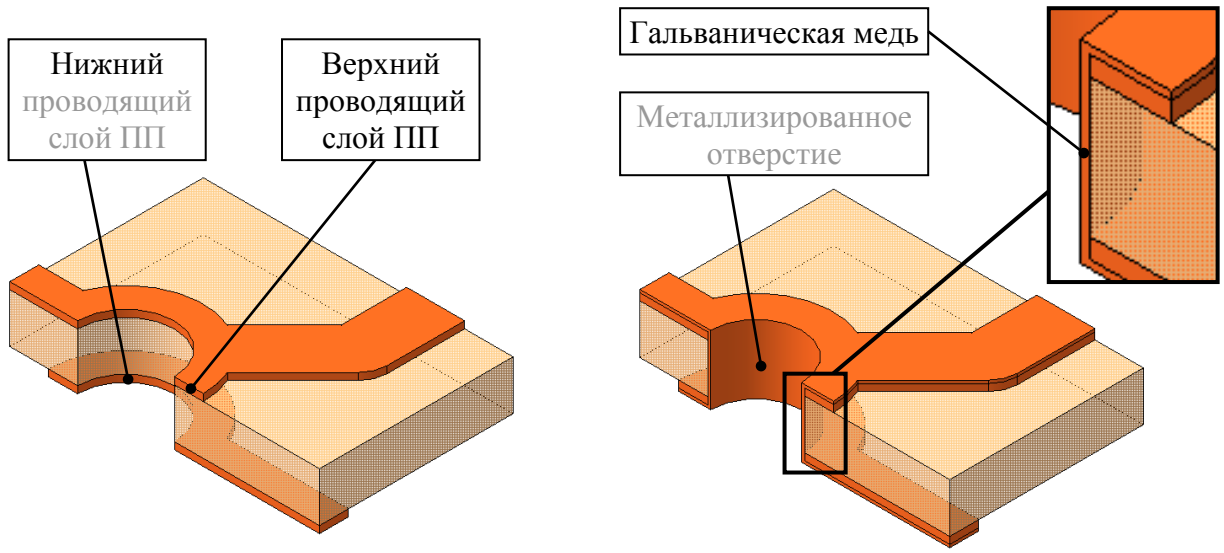


Рис. Б.2

2.2. ДПП с металлизированными монтажными и переходными отверстиями (рис. Б.2, *б*), которые характеризуются:

– высокими коммутационными возможностями;

– повышенной прочностью сцепления выводов навесного элемента с проводящим рисунком ПП;

– повышенной стоимостью по сравнению с ПП без гальванического соединения слоев.

3. ***Многослойная печатная плата*** (МПП, multilayer printed board) – ПП, состоящая из чередующихся проводящих и непроводящих рисунков, соединенных в соответствии с электрической схемой печатного узла.

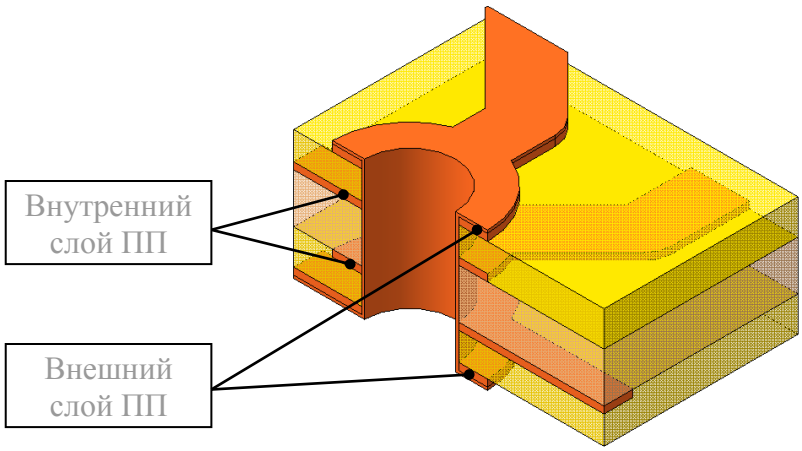


Рис. Б.3

МПП (рис. Б.3) характеризуются:

– предпочтительным использованием двустороннего фольгированного диэлектрика для наружных и внутренних слоев;

– межслойными соединениями, осуществляемыми с помощью сквозных металлизированных отверстий (в особых случаях также используются переходные отверстия, соединяющие только внутренние слои);

– обязательным наличием КП на любом проводящем слое, имеющем электрическое соединение с переходными отверстиями;

– высокими коммутационными свойствами;

– высокой помехозащищенностью электрических цепей;

– низкой ремонтопригодностью;

– относительно высокой стоимостью конструкции.

МПП на гибко-жестком основании (рис. Б.4) характеризуется дополнительно к описанным особенностям МПП возможностью перемещения одной жесткой части МПП относительно другой без нарушения электрических связей, что позволяет:

– разместить ПП в корпусе изделия сложной формы;

– упростить обслуживание при эксплуатации;

– уменьшить количество соединительных разъемов или вовсе отказаться от них.

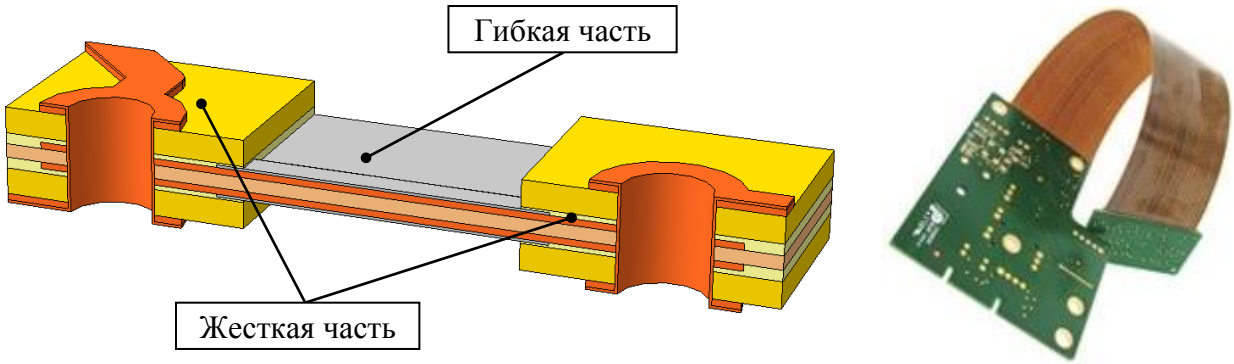


Рис. Б.4

4. ***Гибкий печатный кабель*** (ГПК, flexible printed wiring) – гибкая ПП, проводящий рисунок которой состоит из печатных проводников, предназначенная для электрического соединения печатных узлов.

ГПК (рис. Б.5) характеризуется:

– высокой гибкостью;

– малыми толщинами;

– возможностью подключения к ПП без использования соединителей;

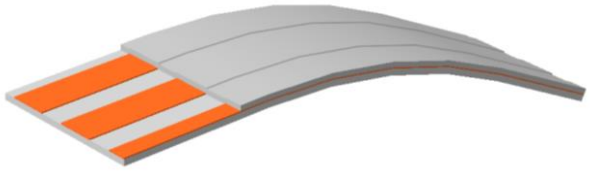


Рис. Б.5

– возможностью использования одно- и двусторонних тонких фольгированных диэлектриков с металлизированными отверстиями и отверстиями без металлизации.

Б.3. Методы изготовления ПП

По ОСТ4 ГО.010.011 при создании новых изделий радиоэлектронной аппаратуры рекомендуются следующие методы изготовления ПП:

– комбинированный (позитивный и негативный) для ОПП и ДПП;

– химический для ОПП;

– металлизация сквозных отверстий для МПП.

В технически и экономически обоснованных случаях допускается для изготовления МПП помимо метода металлизации сквозных отверстий применение других конструктивно-технологических вариантов, например: попарного прессования, открытых КП, выступающих выводов, послойного наращивания [75], [99]–[102].

Сущность ***химического метода*** заключается в изготовлении ПП путем травления фольгированного диэлектрика без последующей металлизации. Сначала на поверхность медной фольги наносится стойкий к воздействию травильных растворов защитный слой с рисунком, повторяющим проводящий рисунок ПП. Затем следует операция травления, в результате которой полностью удаляется медь в местах, не защищенных указанным слоем.

Кроме химического метода существует ***электрохимический метод,*** в котором проводящий рисунок создается в результате электрохимического осаждения металла на поверхность нефольгированного диэлектрика. В этом случае наносимый на поверхность ПП защитный слой обладает рисунком, повторяющим непроводящий рисунок ПП. Метод предусматривает получение металлизированных отверстий одновременно с проводниками и КП.

Сущность ***комбинированного метода*** заключается в травлении фольгированного диэлектрика с металлизацией отверстий. Исходным материалом служит фольгированный с двух сторон диэлектрик, поэтому проводящий рисунок получают вытравливанием меди, а металлизация отверстий осуществляется посредством химического меднения с последующим электрохимическим наращиванием слоя меди. В зависимости от метода защиты проводящего рисунка при вытравливании меди комбинированный метод подразделяется на негативный и позитивный:

– в ***комбинированном негативном методе*** сначала химическим методом получают проводящий рисунок ПП, затем ПП покрывают лаком и сверлят отверстия. После этого осуществляется осаждение меди для получения металлизированных отверстий, последующее удаление лака и проведение мероприятий по соединению проводников и металла в отверстиях. Метод

возник и использовался, когда в производстве отсутствовали сверлильные станки с программным управлением, и ПП сверлили вручную по проводящему рисунку ПП (по КП);

– в ***комбинированном позитивном методе*** сначала сверлятся отверстия, затем на поверхность ПП наносится защитный слой с рисунком, повторяющим непроводящий рисунок ПП, и осуществляется осаждение меди. После этого проводятся мероприятия по травлению, в результате которых остается проводящий рисунок ПП (подробнее см. в Б.4).

В ***методе металлизации сквозных отверстий*** сначала химическим методом на двустороннем фольгированном диэлектрике, который называют ***ядро***, изготавливаются внутренние слои (только проводящие рисунки без отверстий). Затем на ядро добавляют внешние слои из медной фольги (рис. Б.6) путем прессования при высокой температуре с использованием связующего смолистого материала (прокладочной стеклоткани, prepreg). После этого в созданной монолитной заготовке комбинированным методом получают требуемые проводящие рисунки ПП на внешних слоях и изготавливают и металлизируют отверстия.

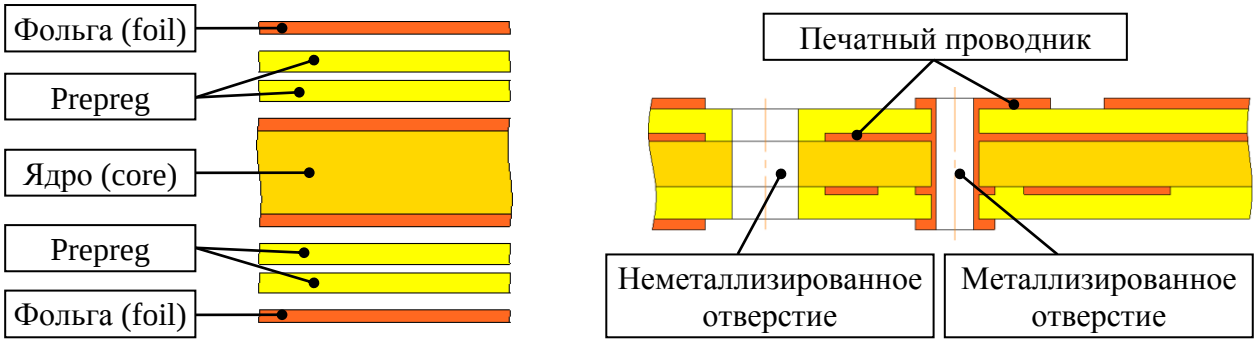


Рис. Б.6

При данном методе изготовления в ПП могут быть только сквозные металлизированные и неметаллизированные отверстия.

Следует обратить внимание на то, что толщина металлизации на внешних слоях за счет гальванического осаждения меди при наличии металлизированных отверстий (см. п. 8 из Б.4) будет больше номинального значения. Например, для фольги толщиной 18 мкм – около 40 мкм.

В ***методе попарного прессования*** сначала комбинированным методом получают две платы-заготовки (два ядра) с переходными металлизированными отверстиями и проводящими рисунками только с тех их сторон, которые в дальнейшем будут внутренними слоями МПП. Затем ядра прессуются с использованием prepreg (рис. Б.7). После этого в созданной монолитной заго-

товке комбинированным методом получают проводящие рисунки ПП на внешних слоях и изготавливают и металлизируют сквозные отверстия.

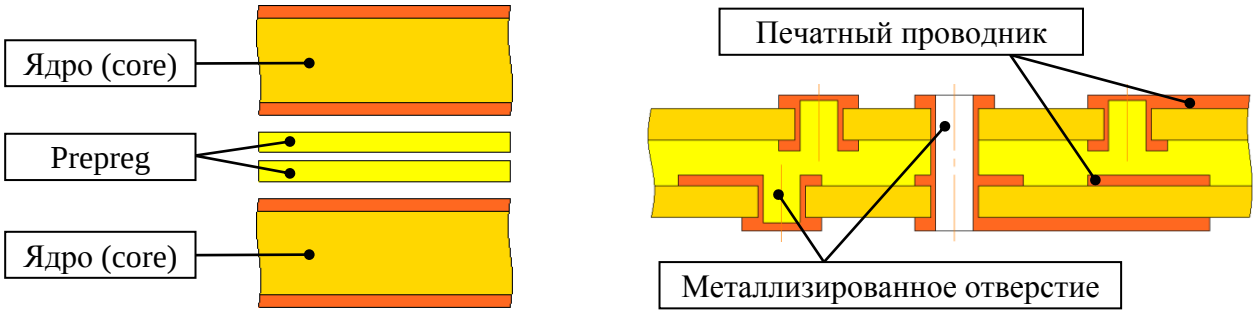


Рис. Б.7

При данном методе изготовления в ПП могут быть как сквозные металлизированные и неметаллизированные отверстия, так и переходные отверстия, соединяющие только некоторые слои.

Следует обратить внимание на то, что толщина металлизации на внешних и внутренних слоях за счет гальванического осаждения меди (см. п. 8 из Б.4) будет больше номинального значения. Например, для фольги толщиной 18 мкм – около 40 мкм на внутренних слоях и около 60 мкм на внешних.

В ***методе открытых КП*** сначала путем травления фольгированного диэлектрика создаются отдельные слои с необходимыми перфорированными окнами, через которые в готовой ПП будет осуществляться доступ к КП нижележащих слоев. Затем выполняется одновременная сборка подготовленных слоев (рис. Б.8). Основные особенности таких плат:

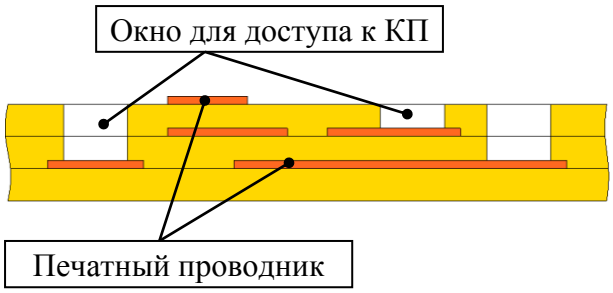


Рис. Б.8

– верхние слои должны иметь прорези, обеспечивающие доступ ко всем требуемым КП нижних слоев;

– в самой ПП нет межслойных соединений. Они образуются только при пайке компонентов или перемычек к различным слоям ПП через окна;

– КП должны быть сделаны под все выводы микросхем независимо от того, задействованы или нет эти выводы электрически;

– проводники одной цепи в общем случае должны лежать в одном слое и выходить в окна в местах, которые не заняты КП других слоев;

– большое число слоев (более 5–7) может сделать пайку выводов компонентов ненадежной из-за большой глубины прорезей.

В ***методе выступающих выводов*** происходит одновременное прессование заготовок с нанесенным проводящим рисунком и перфорированными

окнами, в которых располагаются полоски медной фольги (продолжения печатных проводников). Выступающие в окна полоски (выводы) отгибаются на наружный слой ПП, где закрепляются изоляционными накладками (колодками) или подпаиваются к КП (рис. Б.9). Основные особенности таких плат:

– в самой ПП нет межслойных соединений;

– нет ограничения по максимальному количеству слоев;

– проводники одной цепи в общем случае должны лежать в одном слое и выходить в окна или на края ПП в местах, которые не заняты выводами других слоев;

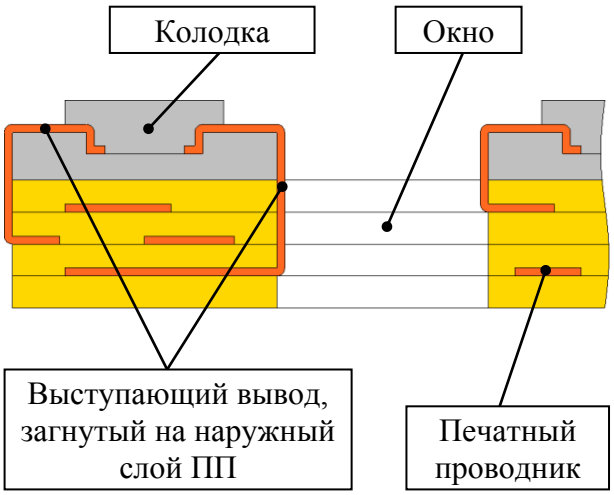


Рис. Б.9

– сосредоточение проводников в окнах может создавать большие перекрестные помехи;

– трудности в формовке и закреплении выступающих выводов в пределах периметра окна.

В ***методе послойного наращивания*** на заготовку из фольги напрессовывается слой тонкого диэлектрика, перфорированного в местах будущих межслойных соединений. В перфорированные отверстия на поверхность фольги гальванически осаждается медь, заполняющая их на толщину диэлектрика. На диэлектрик осаждается слой меди, на котором выполняется проводящий рисунок. Напрессовывание диэлектрика, выполнение межслойных соединений и проводящего рисунка повторяются по количеству слоев МПП. На последний слой проводящего рисунка напрессовывается защитный сплошной слой диэлектрика. На обратной стороне ПП, покрытой фольгой, выполняется проводящий рисунок наружного слоя МПП (рис. Б.10). Основные особенности таких плат:

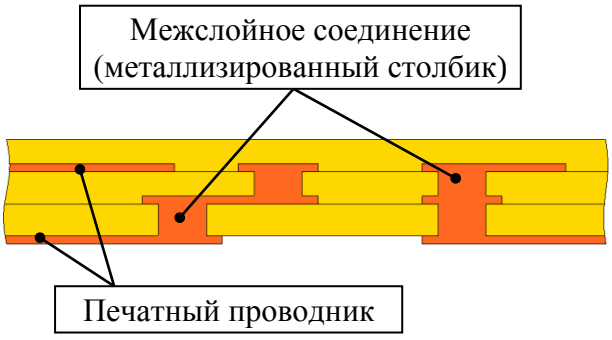


Рис. Б.10

– высокая надежность электрических соединений;

– исключительно высокая плотность монтажа, так как межслойные переходы можно выполнять в любой точке ПП;

– большая трудоемкость производства из-за невозможности распараллеливания работы и других факторов (например, необходима постоянная тщательная очистка электролитов из-за длительного контакта с диэлектриками);

– на ПП устанавливаются только SMD-компоненты;

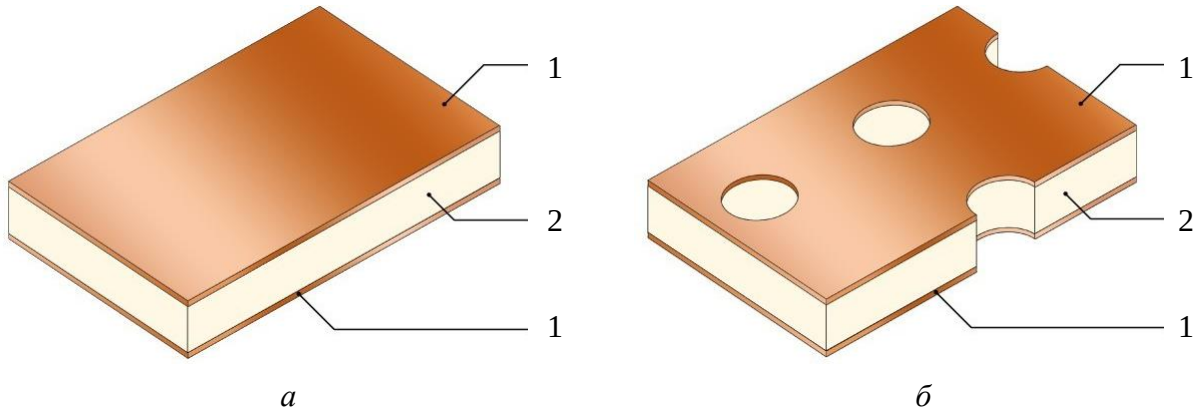
– количество слоев обычно не более пяти, так как изготовление каждого последующего слоя связано с многократными термическими (при прессовании) и химическими воздействиями на уже изготовленные слои.

Кроме приведенных выше методов изготовления ПП существуют и другие, а также их комбинации.

Б.4. Процесс производства ДПП СВЧ-диапазона

В [103] достаточно подробно описаны последовательности операций при производстве различных видов ПП. Так как по общему заданию на проектирование требуется разработать ДПП СВЧ-диапазона, то в данном разделе рассмотрен процесс ее производства комбинированным позитивным методом, состоящим из следующих этапов:

1. Выбирается исходный материал – диэлектрическое основание, ламинированное с двух сторон медной фольгой (рис. Б.11, *а*).



а *б*

1 – медная фольга; *2* – диэлектрическое основание

Рис. Б.11 [103]

2. На специализированных станках с числовым программным управлением с помощью твердосплавных сверл в заготовке сверлятся отверстия (рис. Б.11, *б*). Для достижения высокой производительности при сверлении скорость вращения шпинделя достигает 180 тыс. об/мин.

Это первая операция, влияющая на класс точности ПП (см. Б.8). Точность сверления зависит от применяемого оборудования и инструментов.

Значения позиционных допусков осей отверстий в диаметральном выражении (см. Д.7) по ГОСТ Р 53429–2009 представлены в табл. Б.1.

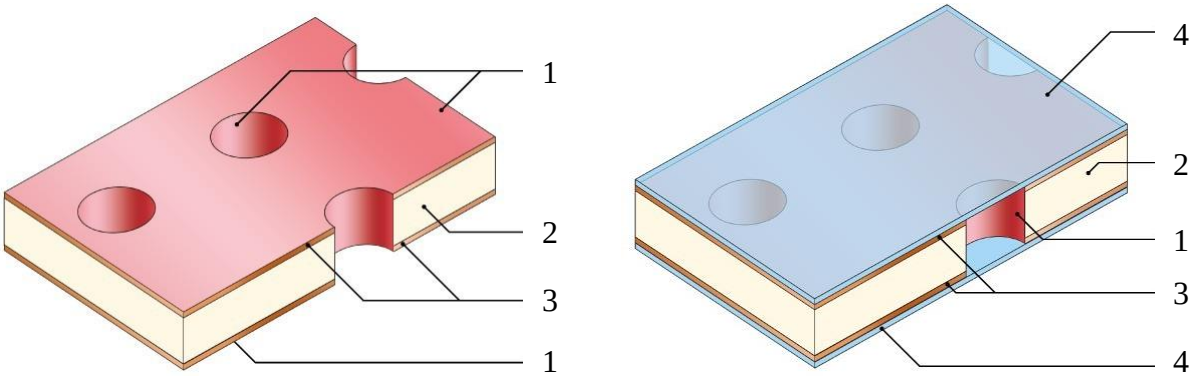
Таблица Б.1

Значения позиционных допусков расположения осей отверстий в диаметральном выражении

Размер большей стороны ПП	Позиционный допуск на расположение осей отверстий для класса точности, мм						
	1	2	3	4	5	6	7
До 180 включ.	0,20	0,15	0,08	0,05	0,05	0,03	0,03
Св. 180 до 360 включ.	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08	0,05	0,05
Св. 360	0,30	0,25	0,15	0,10	0,10	0,08	0,08

3. Производится химическое и предварительное гальваническое осаждение меди (рис. Б.12, *а*), которое необходимо для придания стенкам отверстий проводимости для последующей гальванической металлизации.

Рыхлый слой химически осажденной меди быстро разрушается, поэтому его усиливают тонким слоем гальванической меди (до 5 мкм).



а *б*

1 – гальваническая затяжка (медь); *2* – диэлектрическое основание; *3* – медная фольга; *4* – фоторезист

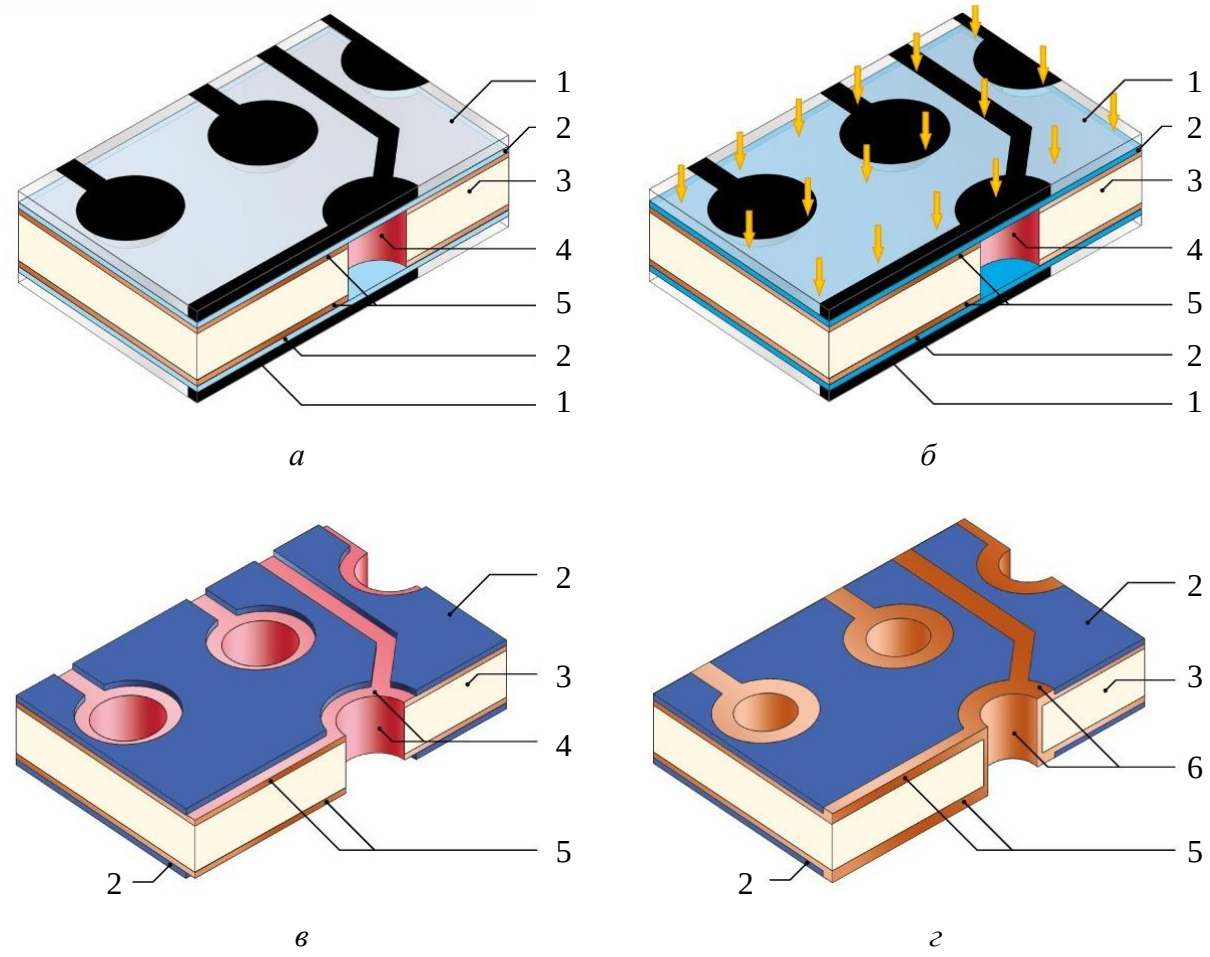
Рис. Б.12 [103]

4. Нанесение на заготовку фоточувствительного материала – фоторезиста (рис. Б.12, *б*). Этот этап проходит в чистой комнате с неактивным (желтым) освещением, так как фоторезист светочувствителен к ультрафиолетовому спектру. Фоторезист бывает пленочным (наносится на заготовку ламинированием) и жидким (наносится валиками).

5. С заготовкой совмещается фотошаблон (рис. Б.13, *а*), который предварительно изготавливается на фотоплоттере из специализированной фототехнической пленки толщиной 100–175 мкм. Черно-белое изображение на фотошаблоне – позитивное по отношению к будущей схеме.

6. Экспонирование фоторезиста – участки поверхности, прозрачные на фотошаблоне, засвечиваются на установке с ультрафиолетовыми лампами

высокой мощности, фотополимеризуются и теряют способность к растворению в проявителе. Фотошаблоны затем удаляются (рис. Б.13, *б*).



1 – фотошаблон; *2* – фоторезист; *3* – диэлектрическое основание; *4* – гальваническая затяжка (медь); *5* – медная фольга; *6* – осажденная медь

Рис. Б.13 [103]

7. Изображение на фоторезисте проявляется (в слабощелочном растворе при температуре 30–32 °С в горизонтальной конвейерной линии с помощью форсунок под давлением): незасвеченные участки растворяются, засвеченные – остаются на плате (рис. Б.13, *в*). В результате фоторезист остается только в тех областях, где проводников на плате не будет.

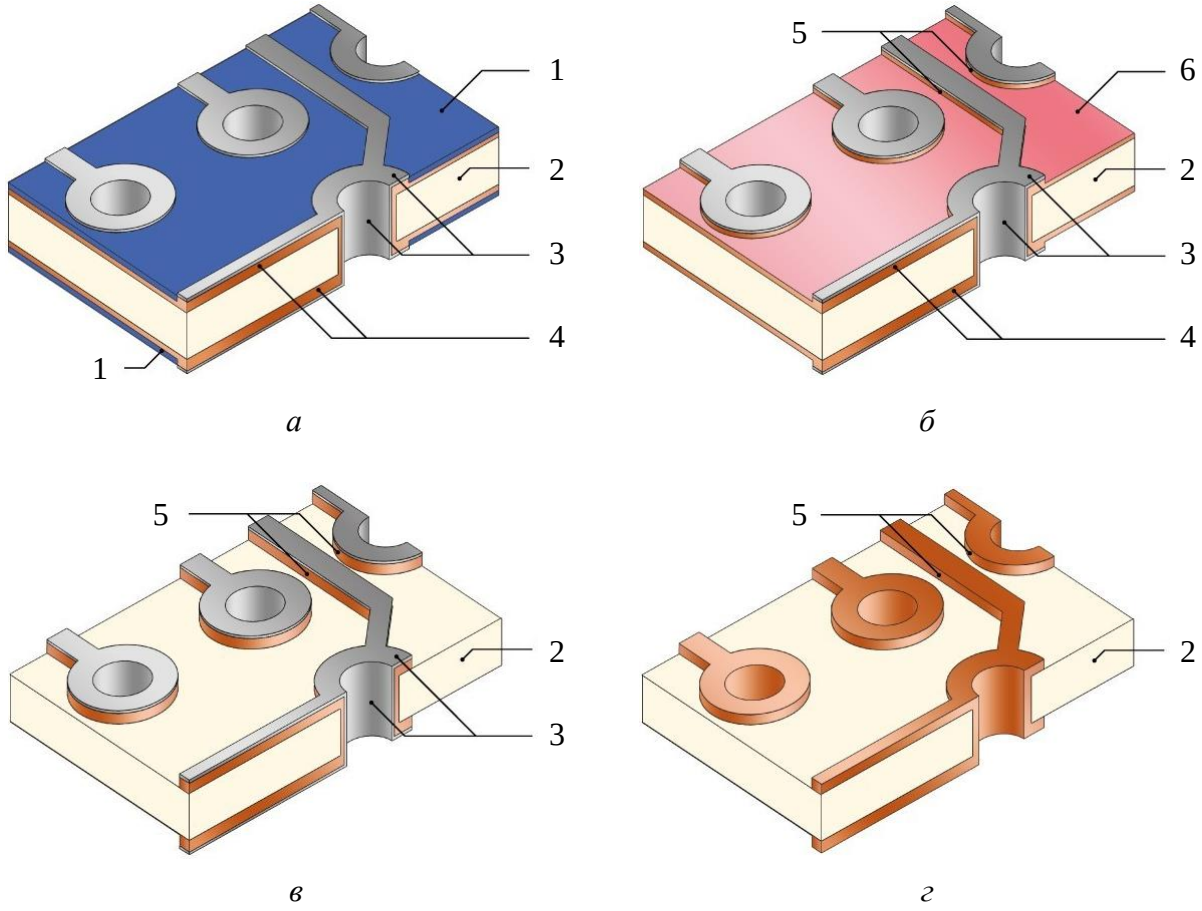
Назначение оставшегося фоторезиста – обеспечить избирательное гальваническое осаждение меди и в последующем металлорезиста.

8. Медь осаждается на поверхность стенок отверстий и всех проводников (рис. Б.13, *г*). По ГОСТ 23752–79 средняя толщина слоя меди в отверстии должна быть не менее 25 мкм для МПП и 20 мкм для ДПП.

Медная металлизация производится в специальных гальванических ваннах с медным электролитом. Для достижения высокой плотности осадка

плотность тока не превышает 2,5 А/дм^2. В результате скорость осаждения меди составляет в среднем 25–30 мкм в час.

9. Металлорезист осаждается на открытые от фоторезиста участки – на проводники и в отверстия (рис. Б.14, *а*). В качестве него могут выступать различные металлы и соединения, имеющие меньшую скорость травления по сравнению с медью (например, олово). Обычно гальваническое осаждение металлорезиста происходит на одной линии с гальваническим осаждением меди. Толщина осаждаемого слоя олова составляет 4–6 мкм.



1 – фоторезист; *2* – диэлектрическое основание; *3* – металлорезист; *4* – медная фольга; *5* – осажденная медь; *6* – гальваническая затяжка (медь)

Рис. Б.14 [103]

10. Фоторезист удаляется, обнажая базовую медную фольгу в пробельных местах (рис. Б.14, *б*). Удаление происходит в погружных или контейнерных линиях с щелочным раствором при температуре 40–45 °С.

11. Происходит травление меди (рис. Б.14, *в*). Незащищенная медь растворяется в травящем растворе, оставляя проводящий рисунок ПП. Травление происходит в специальной конвейерной установке со множеством форсунок для равномерности по всей поверхности заготовки.

12. Металлорезист удаляется с поверхности меди в специальном растворе, малоактивном по отношению к меди (см. рис. Б.14, *г*).

13. Нанесение защитной паяльной маски (см. Б.7).

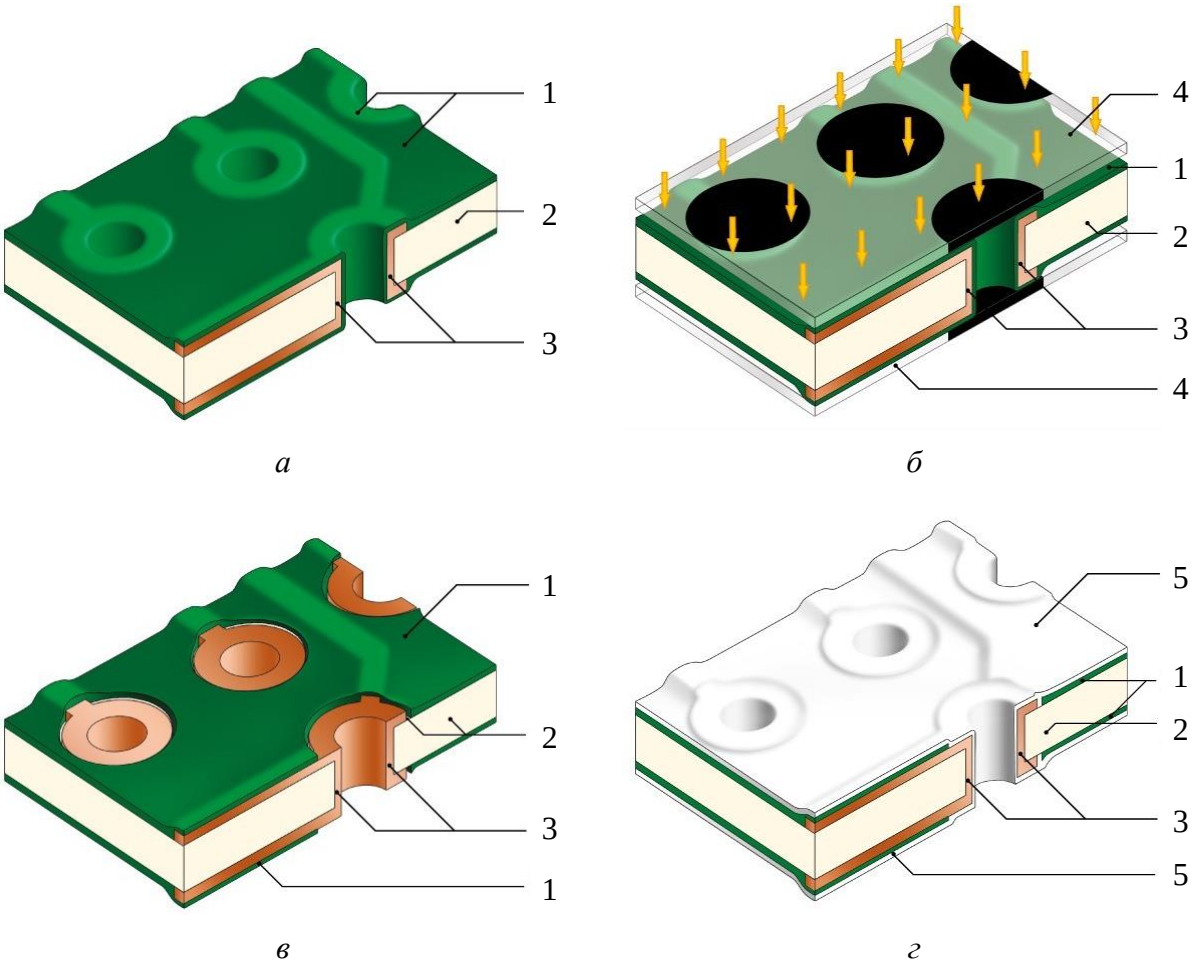
Сухая пленочная паяльная маска наносится методом ламинирования, но используется редко, так как не подходит для ПП выше 3-го класса точности.

Жидкая паяльная маска наносится через сетчатый трафарет с размером ячейки 150 мкм с помощью полиуретанового ракеля. После ее нанесения на каждую сторону ПП происходит предварительная сушка при 75 °С.

Существует два варианта нанесения жидкой паяльной маски:

– через трафарет с подготовленными окнами вскрытия (маска наносится только на защищаемые участки ПП). Такой вариант имеет невысокое разрешение и применяется, как правило, на ОПП ниже 3-го класса точности;

– сплошным нанесением (рис. Б.15, *а*) с использованием фотошаблонов и последующим проявлением.



а *б* *в* *г*

1 – защитная паяльная маска; *2* – диэлектрическое основание; *3* – медь; *4* – фотошаблон; *5* – маркировочная краска

Рис. Б.15 [103]

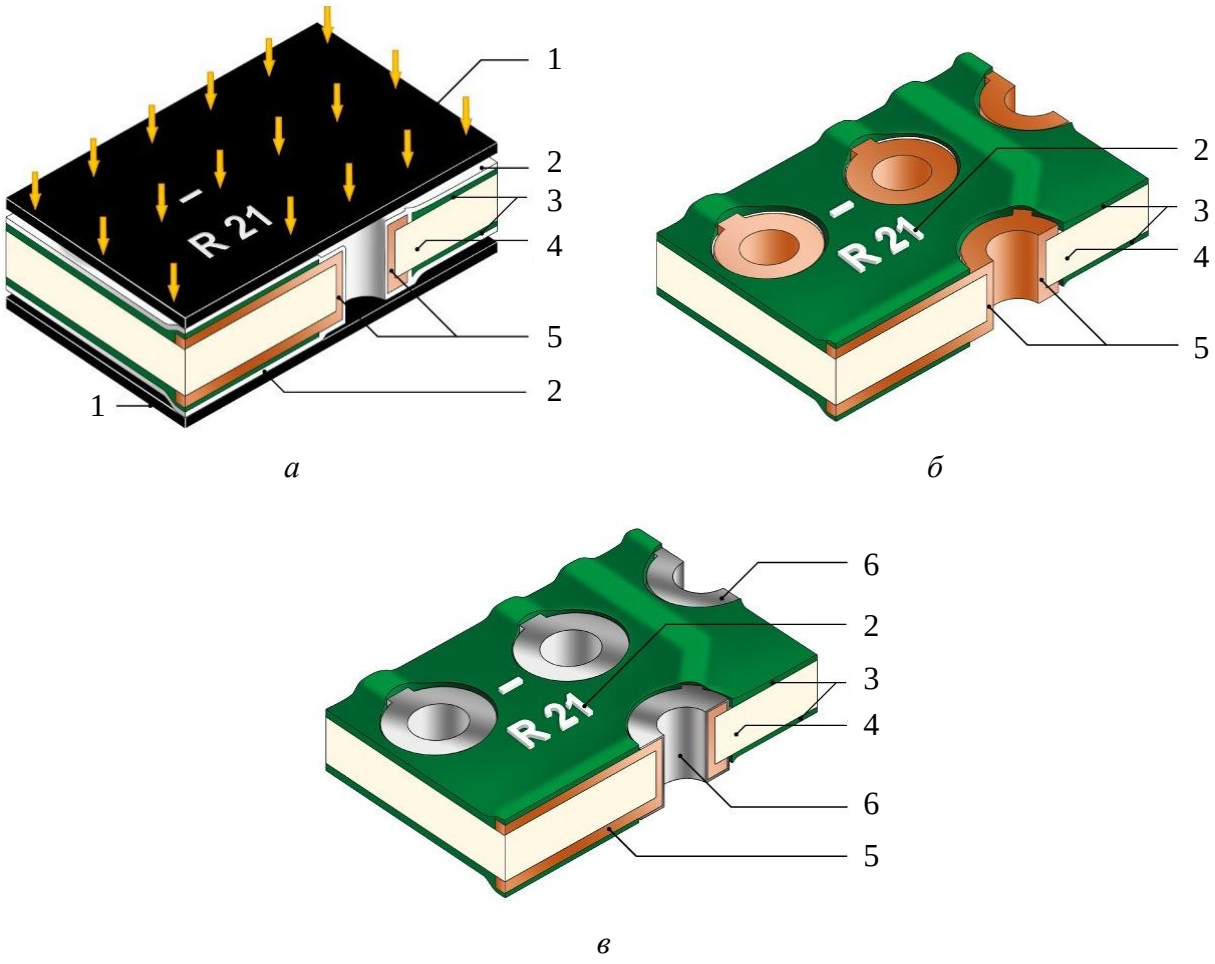
14. Заготовки с подсушенной паяльной маской поступают на участок фотолитографии, где происходит совмещение заготовки с фотошаблоном маски и последующее экспонирование ультрафиолетовыми лампами высокой мощности (см. рис. Б.15, *б*).

15. После экспонирования заготовки проявляются в слабощелочном растворе при температуре 32–34 °С в горизонтальной конвейерной линии с помощью форсунок под давлением (см. рис. Б.15, *в*).

16. Происходит нанесение маркировки (контуров, позиционных обозначений компонентов, логотипов и др.) – шелкографии.

Маркировка наносится одним из трех методов:

– маркировочной краской через сетчатый трафарет. Метод применим при массовом производстве, так как изготовление трафарета (натяжение сетки на рамку, нанесение, проявление и задубливание жидкого фоторезиста) занимает много времени;



а *б* *в*

1 – фотошаблон; *2* – маркировочная краска; *3* – защитная паяльная маска; *4* – диэлектрическое основание; *5* – медь; *6* – ImmAg

Рис. Б.16 [103]

– маркировочной краской специальным принтером. Очень гибкий метод, но требует наличие дорогостоящего оборудования и материалов;

– паяльной маской, контрастной к основному цвету (см. рис. Б.15, *г*). Метод неприменим при массовой серии из-за большого расхода материала, но для прототипного производства и мелкой серии – лучший выбор.

Размер ячейки сетчатого трафарета, при использовании такого варианта, составляет 80 мкм, что позволяет создать более тонкий слой по сравнению со слоем маски. После этого производится предварительная сушка при 75 °С.

17. Совмещение фотошаблона и экспонирование маркировочной краски (см. рис. Б.16, *а*).

18. Проявление маркировочной краски (см. рис. Б.16, *б*).

19. На открытые от маски участки меди различными методами наносится финишное покрытие (см. рис. Б.16, *в* и Б.6).

Б.5. Материалы основания ПП

Основными требованиями, предъявляемыми к материалам основания ПП, являются следующие:

– способность сохранять форму и линейные размеры в различных климатических условиях и в процессе эксплуатации;

– чистота обработки поверхностей;

– допуск на размеры по толщине;

– состав (однородность);

– теплопроводность;

– электропроводность;

– относительная диэлектрическая проницаемость (ε_r);

– тангенс угла диэлектрических потерь ($\tan\delta$).

Типовые конструкции ПП основаны на применении стандартного стеклотекстолита типа FR4 с рабочей температурой, как правило, от минус 50 до плюс 110 °С, температурой стеклования около 135 °С и относительной диэлектрической проницаемостью от 3,8 до 4,5 (в зависимости от поставщика и вида материала).

При повышенных требованиях к термостойкости или при монтаже ПП в печи по бессвинцовой технологии (до 260 °С) применяется высокотемпературный FR4 High Tg или FR5.

При требованиях к постоянной работе на высоких температурах или при резких перепадах температур применяется полиимид. Кроме того, полиимид

используют для изготовления ПП повышенной надежности, а также в случаях, когда требуется повышенная электрическая прочность.

Для основания ПП СВЧ-диапазона диэлектрические материалы классифицируются по химической основе на две группы:

– органические – неполярные полимеры (фторопласт, полиэтилен, полипропилен) и полярные полимеры (полистирол);

– неорганические – различные виды керамики (например, поликор).

Органические диэлектрики подвергаются армированию (обычно стеклотканью), наполнению (обычно тонкодисперсными или керамическими порошками) и другим видам модифицирования для направленного изменения отдельных физико-технических параметров. Кроме того, они могут быть фольгированными и нефольгированными [22].

В табл. Б.2–Б.4 приведены параметры некоторых материалов, применяемых в производстве ПП.

Таблица Б.2

Параметры СВЧ-материалов

Материал	Базовая толщина (h), мм	Толщина меди (t), мкм	ε_r (f = 10 ГГц)	$\tan\delta$*	Плотность, г/см^3
Лист ФАФ-4Д ГОСТ 21000–81					
ФАФ-4Д–0,035–1,0	1,000	35	2,50 ±0,10	0,0007	3,00
ФАФ-4Д–0,035–1,5	1,500	35	2,50 ±0,10	0,0007	2,90
Фирма Arlon					
25FR-0,254-18/18	0,254	18	3,58 ±0,10	0,0035	1,80
25FR-0,305-18/18	0,305	18	3,58 ±0,10	0,0035	1,80
25FR-0,508-35/35	0,508	35	3,58 ±0,10	0,0035	1,80
25N-0,457-35/35	0,457	35	3,38 ±0,05	0,0026	1,70
AD450-0,508-35/35	0,508	35	4,50 ±0,15	0,0028	2,45
AD600-0,381-35/35	0,381	35	6,00 ±0,20	0,0037	2,45
AD600-0,508-18/18	0,508	18	6,15 ±0,20	0,0037	2,45
AD1000-0,508-18/18	0,508	18	10,0 ±0,35	0,0023	3,20
AD1000-0,635-18/18	0,635	18	10,20 ±0,35	0,0022	3,20
AD1000-0,762-18/18	0,762	18	10,35 ±0,35	0,0022	3,20
AR1000-0,508-18/18	0,508	18	9,60 ±0,35	0,0027	2,84
AR1000-0,610-18/18	0,610	18	9,70 ±0,35	0,0027	2,84
CLTE-0,254-18/18	0,254	18	2,94 ±0,06	0,0019	2,38
CuClad6700-0,076	0,076	–	2,35 ±0,10	0,0025	2,10

Окончание таблицы Б.2

Материал	Базовая толщина (h), мм	Толщина меди (t), мкм	ε_r (f = 10 ГГц)	$\tan\delta$*	Плотность, г/см^3
DICLAD 527-0,381-35/35	0,381	35	2,50 ±0,04	0,0016	2,31
Фирма Isola					
IS680-280-0,508-18/18	0,508	18	2,80 ±0,05	0,003	2,5**
IS680-300-0,508-35/35	0,508	35	3,00 ±0,05	0,003	2,5**
IS680-320-0,508-35/35	0,508	35	3,20 ±0,05	0,0035	2,5**
IS680-338-0,508-18/18	0,508	18	3,38 ±0,05	0,0035	2,5**
Фирма Rogers					
RO3003-0,508-35/35	0,508	35	3,00 ±0,04	0,0011	2,10
RO3006-0,635-18/18	0,635	18	6,15 ±0,15	0,0019	2,60
RO3010-0,635-35/35	0,635	35	10,20 ±0,30	0,0021	2,80
RO3035-0,508-35/35	0,508	35	3,50 ±0,05	0,0015	2,10
RO4003C-0,305-18/18	0,305	18	3,38 ±0,05	0,0024	1,80
RO4003C-0,406-18/18	0,406	18	3,38 ±0,05	0,0024	1,80
RO4350B-0,422-35/35	0,422	35	3,48 ±0,05	0,0034	1,90
RO4350B-0,508-18/18	0,508	18	3,48 ±0,05	0,0034	1,90
RO4450B-0,102	0,102	–	3,54 ±0,05	0,0040	1,86
TMM4-0,508-18/18	0,508	18	4,50 ±0,045	0,0018	2,07
TMM6-0,635-18/18	0,635	18	6,00 ±0,08	0,0021	2,37
TMM10-0,635-18/18	0,635	18	9,20 ±0,23	0,0020	2,77
TMM10I-0,381-18/18	0,381	18	9,80 ±0,245	0,0018	2,77
Фирма Taconic					
Cer-10-0,635-35/35	0,635	35	9,50 ±0,50	0,0025	3,05
Cer-10-0,762-18/18	0,762	18	9,70 ±0,50	0,0025	3,05
RF-35-0,254-18/18	0,254	18	3,50 ±0,10	0,0021	2,30
RF-35-0,508-35/35	0,508	35	3,50 ±0,10	0,0021	2,30
RF-41-0,508-35/35	0,508	35	4,10 ±0,15	0,0032	2,33
RF-43-0,635-35/35	0,635	35	4,30 ±0,15	0,0032	2,33
RF-45-0,635-35/35	0,635	35	4,50 ±0,15	0,0032	2,33
RF-60A-0,635-35/35	0,635	35	6,15 ±0,25	0,0032	2,79
TLX-8-0,254-35/35	0,254	35	2,55 ±0,04	0,0014	2,25
TSM-30-0,254-18/18	0,254	18	3,00 ±0,05	0,0016	2,30

* Указано среднее значение в диапазоне рабочих частот отдельно для каждого СВЧ-материала.

** Значения ориентировочные.

Таблица Б.3

Параметры некоторых применяемых материалов FR-4 (Kingboard Laminates)

Тип материала	T_g, °C	ε_r		$\tan\delta$	
		f = 1 МГц	f = 1 ГГц	f = 1 МГц	f = 1 ГГц
KB6160F	135	4,58	4,47	0,013	0,014
KB6165F	150	4,8	4,6	0,015	0,016
KB6167F	170	4,8	4,6	0,015	0,016

Таблица Б.4

Некоторые типы prepreg (KB6065F) из группы KB6165F

Prepreg	Вес, г/м^2	Толщина, мм	ε_r (f = 1 ГГц)	$\tan\delta$ (f = 1 ГГц)
1080	49	0,079	4,2	0,017
2116	108	0,127	4,5	0,016
7628	200	0,196	4,6	0,015

Примечания:

– температура стеклования (T_g) – температура, при превышении которой диэлектрик базового материала скачкообразно переходит из твердого состояния в пластичное, что приводит к увеличению коэффициента теплового расширения [104];

– препреги могут использоваться в комбинациях друг с другом, например: 2116 и 7628 (толщина – 0,32 мм), 1080 и 1080 (толщина – 0,15 мм).

Примерный вес ПП на FR-4 для некоторых толщин приведен в табл. Б.5.

Таблица Б.5

Ориентировочный вес ПП, изготовленных на FR-4

Тип ПП	Толщина, мм	Вес, г/мм^2	Тип ПП	Толщина, мм	Вес, г/мм^2
ДПП	0,5	0,0012	ДПП	1,5	0,0032
ДПП	0,8	0,0017	ДПП	2,0	0,0040
ДПП	1,0	0,0022	МПП (4 слоя)	1,6	0,0042

Допуск на толщину материала обычно составляет до ±10 %.

Примерный вес фольги для 18 мкм – 160 г/м^2, для 35 мкм – 312 г/м^2.

Примечание. Зачастую толщина медной фольги записывается в пересчете к ее весу в унциях авердюпуа (1 oz – 28,35 г) на квадратный фут (1 ft – 304,8 мм): 18 мкм – 0,5 oz, 35 мкм – 1 oz, 70 мкм – 2 oz.

В составе конструкций МПП СВЧ-диапазона возможно применение различных типов диэлектрика и их комбинаций. Например, четырехслойная ПП с СВЧ-диэлектриком между первым и вторым слоями (Rogers RO4450B) и стандартным FR-4 между остальными слоями.

Б.6. Финишные покрытия

Для сохранения паяемости ПП, обеспечения плоскостности покрытия и для надежного монтажа электронных компонентов и паяных соединений необходимо защищать медную поверхность КП ПП финишным покрытием (final finish) [105], [106]. Если этого не сделать, то медь со временем окислится и потеряет свои свойства.

Паяемость ПП (soldering) по ГОСТ Р 53386–2009 – свойство поверхности проводящего рисунка ПП смачиваться расплавленным припоем.

На элементы проводящего рисунка ПП с различным назначением могут наноситься разные покрытия или одинаковое покрытие с «компромиссными» свойствами для упрощения процесса изготовления.

Среди основных финишных покрытий различают:

1. ***HASL*** (Hot Air Solder Levelling) или ***Гор. ПОС-63*** (горячее лужение).

Толщина покрытия: 10–35 мкм (допускаются наплывы до 0,2 мм).

Внешний вид HASL: КП и переходные отверстия ПП, не закрытые защитной паяльной маской, покрыты припоем (рис. Б.17 и Г.188).

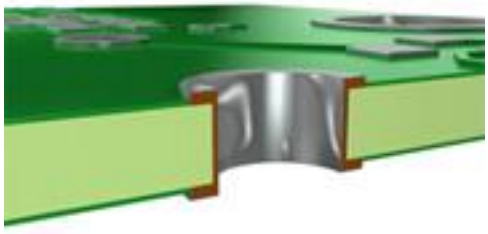


Рис. Б.17 [105]

Покрытие HASL является преобладающим в промышленности финишным покрытием КП и состоит в погружении ПП на ограниченное время в ванну с расплавленным припоем с последующим выравниванием расплава струями горячего воздуха, сдувающими его излишки. Однако из-за сил поверхностного натяжения, действующих в расплавленном припое, он по-разному сдувается с КП, что особенно заметно на КП с малым шагом.

Достоинства HASL:

– длительный срок хранения (около 12 мес.);

– отличная паяемость;

– широкий температурный диапазон при монтаже;

– возможность неоднократной повторной пайки;

– широко известное и наиболее часто применяемое покрытие;

– невысокая стоимость покрытия.

Недостатки HASL:

– неровная поверхность, наплывы;

– плохо подходит для SMD-компонентов с шагом выводов менее 0,5 мм и BGA (Ball Grid Array – тип корпуса SMD-компонента, выводы которого

представляют собой массив шариков из припоя, нанесенных на КП с нижней стороны микросхемы), так как облуживание может приводить к образованию перемычек и проблемам с толщиной покрытия;

– содержит свинец – вредный фактор для экологии и персонала, не соответствует директиве RoHS;

– в процессе нанесения покрытия ПП получает жесткий термоудар (235–245 ºС), что может приводить к избыточному короблению (деформации);

Различают два вида деформации ПП по ГОСТ Р 53386–2009:

– ***изгиб ПП*** (bow) – деформация ПП, характеризующаяся цилиндрическим или сферическим искривлением двух противоположных кромок основания ПП (при прямоугольной форме ПП четыре угла лежат в одной плоскости, а поверхность ПП является выпуклой или вогнутой);

– ***скручивание ПП*** (twist) – деформация ПП, характеризующаяся спиральным искривлением двух противоположных кромок основания ПП (при прямоугольной форме ПП один ее угол находится не в плоскости, в которой лежат остальные три угла).

2. ***Иммерсионное золочение*** (ENIG, Electroless Nickel/Immersion Gold).

Толщина покрытия: подслой Ni – 3–5 мкм, слой Au – 0,05–0,1 мкм.

Внешний вид ENIG: золотое финишное покрытие на КП и переходных отверстиях, не покрытых защитной паяльной маской (рис. Б.18).



Рис. Б.18 [105]

Покрытие ENIG формируется путем электролизного осаждения никеля на каталитизированную медную поверхность с последующим осаждением из раствора на поверхность никеля тонкого слоя золота. Процесс получения покрытия ENIG требует чистой медной поверхности, свободной от остатков защитной паяльной маски и металлорезиста. Функция золота – обеспечивать хорошую паяемость и защищать никель от окисления, а сам никель служит барьером между медью и золотом, предотвращая их взаимную диффузию и последующее окисление меди, ведущее к образованию несмачиваемой припоем поверхности.

Применение ENIG: данное покрытие целесообразно применять для ПП, нуждающихся в отладке (в опытных образцах), и ПП, для эксплуатации которых предъявляются особые требования. Благодаря высокой живучести ENIG платы с этим покрытием могут монтироваться через достаточно продолжительные промежутки времени после изготовления. ENIG идеально

подходит практически для любых технологий монтажа изделий, как бессвинцовых, так и содержащих свинец.

Достоинства ENIG:

– высокая планарность поверхности, равномерность толщины покрытия;

– хорошо подходит для SMD-компонентов с шагом менее 0,5 мм и BGA;

– хорошая паяемость;

– длительный срок хранения (около 12 мес.);

– золото хорошо растворяется в припое, не подвержено быстрому потускнению и окислению;

– не содержит свинец;

– ПП обрабатываются при низких температурах (менее 90 °С) и не подвергаются излишнему термоудару.

Недостатки ENIG:

– требуется применение специальных паст и флюсов при пайке;

– покрытие содержит никель, считающийся потенциальным канцерогеном, а в процессе осаждения применяется цианид и другие нежелательные химические вещества;

– возможен эффект «***черной площадки***» (Black Pad) – вид коррозии никеля, ослабляющего паяемость ПП. Дефект образуется из-за оголения никеля и выпотевания фосфора при использовании тонкого слоя золота, а также при передержке процесса пайки и при неправильном выборе флюса, т. е. когда тонкий слой золота растворяется в припое раньше, чем припой смочит никель (рис. Б.19);

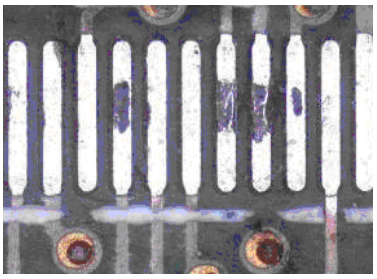


Рис. Б.19 [106]

– плохо подходит для применений на СВЧ;

– требуются специальные условия хранения ПП.

3. ***Иммерсионное серебрение*** (Immersion Ag, ImmAg).

Толщина покрытия: 0,1–0,4 мкм.

Внешний вид ImmAg: белое серебряное покрытие на КП и переходных отверстиях, не покрытых защитной паяльной маской (см. рис. А.2).

ImmAg – покрытие, при котором на медную поверхность КП из раствора осаждается тонкий слой серебра. Серебро наносится совместно с органическим соединением, которое не только предотвращает миграцию серебра по ПП, но и предохраняет его от окисления, являясь консервирующим антиокислительным покрытием. В процессе пайки серебряный слой растворяется

в паяном соединении, образуя сплав олово–свинец–серебро на меди, что обеспечивает очень надежные паяные соединения компонентов BGA.

Применение ImmAg: данное покрытие одинаково пригодно как для бессвинцового, так и для обычного техпроцесса. Оно хорошо подходит для монтажа серийных партий и опытных образцов. При правильном хранении ПП срок жизни покрытия достигает одного года, что позволяет выполнять отложенный монтаж.

Использование серебрения поверхности медных проводников часто обусловлено поверхностным эффектом – ***скин-эффектом***, при котором ток распределяется не равномерно по сечению проводника, а преимущественно в поверхностном слое. На высоких частотах глубина поверхностного слоя проводимости имеет толщину, соизмеримую с толщиной финишных покрытий (например, на частоте 10 ГГц – менее одного микрона), поэтому электрическая проводимость материалов финишных покрытий является важным параметром. При частоте выше 2 ГГц конструкторы считают, что использование покрытия никелем разрушает целостность сигнала. Медь – ненамного худший проводник, чем серебро. Однако она имеет склонность к окислению, и ее окислы обладают повышенным сопротивлением, поэтому на высоких частотах они вызывают мощное затухание сигналов.

Достоинства ImmAg:

– высокая планарность поверхности;

– хорошо подходит для SMD-компонентов с шагом менее 0,5 мм и BGA;

– отлично подходит для применений на СВЧ (не содержит подслой Ni);

– хорошая паяемость;

– не содержит свинец;

– ПП обрабатываются при низких температурах (менее 55 °C) и не подвергаются излишнему термоудару;

– самая близкая замена горячему лужению (HASL);

– средняя стоимость покрытия.

Недостатки ImmAg:

– требует осторожного обращения, возможно потускнение металла;

– чувствительность покрытия к серосодержащей среде (устранено или сильно уменьшено в современных процессах);

– серебро склонно к электромиграции и образованию дендритов;

– ПП должны храниться в вакуумной упаковке до монтажа;

– ограниченный срок хранения;

– высокий коэффициент трения (не оптимально для монтажа запрессовкой);

– иногда для ImmAg проявляется дефект образования микропустот, сходный по результатам своего воздействия – нарушению механической прочности паяных соединений – с эффектом «черной площадки».

4. ***Иммерсионное олово*** (Immersion Sn, ImmSn).

Толщина покрытия: 0,8–1,2 мкм.

Внешний вид ImmSn: белое оловянное покрытие на КП и переходных отверстиях, не покрытых защитной паяльной маской (рис. Б.20).

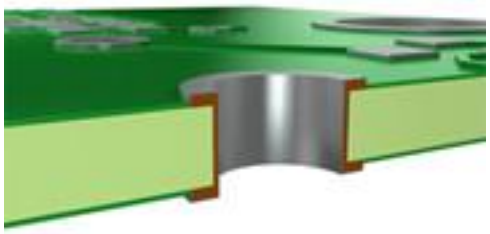


Рис. Б.20 [105]

Процесс нанесения иммерсионного олова является еще одной альтернативой HASL и включает в себя одинаковые с ImmAg этапы, за исключением более длительной выдержки в ванне для оловянирования (10–15 мин.), что удлиняет конвейерную линию и удорожает процесс.

Применение ImmSn: из-за ограниченного срока жизни данное покрытие не следует применять для ПП, монтаж которых может быть отложен на более чем 2–3 месяца. ImmSn также не следует применять для монтажа с содержащими свинец припоями, поскольку рабочей температуры такого монтажа не хватит для активации покрытия и полного его расплавления. На рис. Б.21 показан дефект «***холодная пайка***», возникший при монтаже на бессвинцовое покрытие свинцового BGA-компонента.

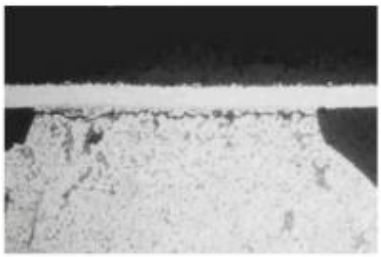


Рис. Б.21 [106]

Достоинства ImmSn:

– высокая планарность поверхности;

– отличная паяемость, совместимость с режимами пайки HASL;

– хорошо подходит для компонентов с малым шагом выводов;

– хорошо подходит для применений на СВЧ (не содержит подслой Ni);

– не содержит свинец;

– ПП обрабатываются при низких температурах (менее 80 °С) и не подвергаются излишнему термоудару.

Недостатки ImmSn:

– требует осторожного обращения;

– ПП должны храниться в вакуумной упаковке до монтажа;

– не пригодно для производства клавиатур и сенсорных панелей;

– не выдерживает многократный монтаж-демонтаж элементов;

– ограниченный срок хранения;

– образование «***усов олова***» – длинных (до 150 мкм) тонких кристаллических нитей разнообразной формы, которые могут расти вертикально, изгибаясь, спиралевидно, в виде крюкообразных или вилкообразных кристаллов олова (рис. Б.22). Характерно также для цинка и кадмия. «Усы олова» могут вызвать короткие замыкания проводящего рисунка ПП как из-за своего роста, так и при обламывании с последующим падением на поверхность ПП в процессе изготовления и (или) эксплуатации изделия. Точно предсказать образование усов олова невозможно. Они могут появиться как на новых изделиях, так и спустя годы после начала эксплуатации, как на элементах, так и под ними, а могут не появиться вообще. Известно, что «усы олова» обычно растут на покрытиях толщиной свыше 0,5 мкм.

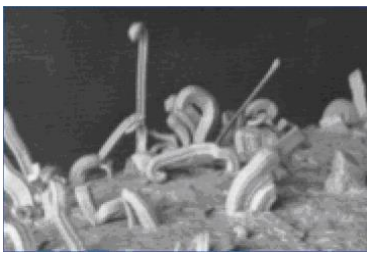


Рис. Б.22 [106]

– возможно образование ***дендритов***, вызывающих короткое замыкание проводников. Они представляют собой металлические нити или кристаллы, которые растут на поверхности металла (в плоскости X0Y), а не перпендикулярно ей (в отличие от «усов олова»), в виде древовидных структур. Механизм образования дендритов носит электролитический характер, т. е. для их роста необходимо иметь электролит и напряжение. Следовательно, дендриты могут приводить к отказам только в случае наличия условий для образования электролита (например, влажность плюс остатки флюса или органических кислот), а также только при эксплуатации изделия;

– в техпроцессе используется тиомочевина – потенциальный канцероген.

5. ***Гальваническое золочение ножевых разъемов*** (Gold Fingers).

Толщина покрытия: подслой Ni – 5–6 мкм, слой Au – 1,5–3 мкм.

Гальваническое золочение контактов разъема по подслою никеля наносится электрохимическим осаждением (гальваника) и может совместно использоваться с другими покрытиями.

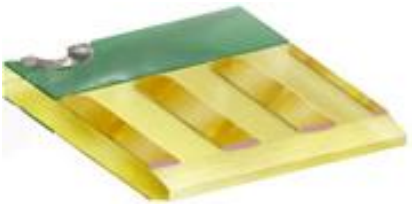


Рис. Б.23 [105]

Применение Gold Fingers: данное покрытие используется в основном для нанесения на концевые контакты и ламели, так же пригодно для производства клавиатур и сенсорных панелей (рис. Б.23).

Достоинства Gold Fingers:

– имеет высокую механическую прочность, стойкость к истиранию и неблагоприятному воздействию окружающей среды;

– обеспечивает надежный и долговечный электрический контакт;

– возможность увеличить толщину в несколько раз.

Недостатки Gold Fingers:

– для покрытия обязателен гальванический контакт;

– ограничения по размеру ПП;

– высокая стоимость.

6. ***Органическое защитное покрытие*** (OSP).

Толщина покрытия: 0,2–0,6 мкм.

Внешний вид OSP (Organic Solder Preservative): на КП нет припоя. ПП выглядит так, как будто КП ничем не покрыты.

Покрытие OSP предназначено для формирования тонкого равномерного защитного слоя на медной поверхности ПП. Это покрытие защищает проводящий рисунок ПП от окисления при ее хранении и в процессе выполнения сборочных операций.

Применение OSP: данное покрытие целесообразно использовать только при монтаже крупных партий изделий, когда дизайн платы отработан, устройство отлажено и не нуждается в дополнительных настройках и перепайках. При таком подходе себестоимость плат с OSP в качестве финишного покрытия получается минимальной.

Достоинства OSP:

– высокая планарность поверхности;

– подходит для компонентов с малым шагом выводов;

– экологически чистый техпроцесс;

– ПП обрабатываются при низких температурах (менее 45 °С) и не подвергаются излишнему термоудару;

– самое недорогое покрытие.

Недостатки OSP:

– требует осторожного обращения (щупы оснастки могут повредить ПП; чувствительность к выбору флюсов; содержащие кислоты отпечатки пальцев приводят к ухудшению свойств);

– ограниченное число термических циклов;

– сложный контроль качества покрытия и электроконтроль;

– ограниченный срок хранения.

Б.7. Паяльная защитная маска

Паяльная защитная маска ПП (solder mask) по ГОСТ Р 53386–2009 – это термостойкое покрытие, наносимое избирательно для защиты отдельных участков ПП в процессе пайки. Паяльную маску также используют для защиты от попадания флюсов, влаги и т. д.

Для гибких ПП или для гибких частей гибко-жестких ПП защитное покрытие вместо паяльной маски называется ***покрывным слоем***. Это связано с тем, что пайка компонентов на гибкие платы осуществляется редко и такого вида ПП, как правило, полностью покрыты специальным защитным слоем, который чаще всего состоит из того же материала, что и основание гибкой платы [107].

Защитная паяльная маска бывает двух видов: ***жидкая*** и ***сухая пленочная***. Полимерный материал маски может наноситься различными методами и иметь различную толщину. Для жидкой маски финишная толщина обычно лежит в пределах от 0,020 до 0,025 мм, а сухой пленочный фоторезист поставляется, как правило, толщиной 0,04, 0,08 и 0,1 мм.

Примером жидкой фоточувствительной термоотверждаемой паяльной маски является Fotochem FSR 8000-8G фирмы Fotochem Electronics Co., Ltd. Она обладает насыщенным зеленым цветом, высокими адгезионными свойствами, слабым запахом, технологична, устойчива к процессам электролитической металлизации (никелирование, золочение) и горячего лужения. Параметры маски:

– устойчивость к припою – 30 с при 260 °С;

– изоляционное сопротивление – не менее 10 ТОм;

– $\tan\delta$ = 0,03 (при f = 1 МГц);

– ε_r = 3,5 (при f = 1 МГц);

– плотность – 1,3 г/см^3.

Б.8. Классы точности ПП

Класс точности ПП (accuracy) по ГОСТ Р 53386–2009 – условное цифровое обозначение, характеризующее наименьшие номинальные значения размеров элементов рисунка ПП и определяющее значения допусков на размеры этих элементов.

При определении класса точности ПП учитывают значения ширины печатного проводника, гарантийного пояска КП, расстояния между печатными проводниками и пр.

Таблица Б.6

Наименьшие номинальные размеры элементов проводящего рисунка ПП в зависимости от класса точности

Наименование параметра	Наименьшие номинальные значения размеров для класса точности, мм						
	1	2	3	4	5	6	7
Ширина проводника	0,75	0,45	0,25	0,15	0,100	0,075	0,050
Расстояние между проводниками	0,75	0,45	0,25	0,15	0,100	0,075	0,050
Гарантийный поясок КП	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025	0,020	0,015

Таблица Б.7

Предельные отклонения размеров проводящего рисунка для узкого места

Наличие металлического покрытия	Предельное отклонение размеров проводящего рисунка для класса точности, мм						
	1	2	3	4	5	6	7
Без покрытия	±0,15	±0,10	±0,05	±0,03	+0 –0,03	+0 –0,02	+0 –0,015
С покрытием	+0,25 –0,15	+0,15 –0,10	±0,10	±0,05	±0,03	±0,02	±0,015

В табл. Б.6 и Б.7 приведены наименьшие номинальные размеры элементов проводящего рисунка для ПП и предельные отклонения их размеров по ГОСТ Р 53429–2009 для разных классов точности.

Класс точности конкретной ПП определяется наличием хотя бы одного элемента конструкции, соответствующего значениям класса.

Б.9. Особенности проектирования ПП, связанные с производством

Технологические возможности изготовления ПП у производителей обычно делятся на «стандартные» и «продвинутые». Кроме того, для разных категорий ПП (ПП СВЧ-диапазона, гибкие ПП) могут быть разные предельные технологические параметры.

Отличие параметров ПП от стандартных для данного производителя влечет за собой ощутимое увеличение цены и затрат по времени либо из-за нестандартной последовательности операций изготовления (например, метод попарного прессования для МПП вместо метода металлизации сквозных отверстий или нестандартная структура слоев МПП), либо из-за повышенной точности.

Несмотря на то что технологические возможности как российских, так и зарубежных поставщиков ПП растут с каждым годом, разработчику следует с

осторожностью использовать предлагаемые ими «предельные параметры» в своих разработках [108]. Дело в том, что эти параметры могут быть применимы только для определенных условий, не все из которых реализуемы для конкретной ПП в рамках определенного срока и объема выполнения заказа. В производстве ПП – крайне непростом процессе – многие параметры взаимосвязаны. Неслучайно в последнее время все активнее продвигается лозунг «проектирование для производства». Разработчик ПП должен не просто слепо придерживаться тех параметров, которые даны в справочных таблицах поставщиков, но и представлять себе, как именно будет изготавливаться ПП, какие процессы и этапы она проходит при изготовлении, и как они влияют друг на друга. Только в этом случае можно:

– оптимизировать стоимость изготовления ПП за счет выбора наименее дорогостоящей комбинации параметров;

– уменьшить сроки поставки заказа путем выбора оптимальной структуры и материалов;

– повысить надежность изделия путем повышения технологичности ПП.

Ширина проводника и зазор. При создании проекта ПП необходимо обращать внимание на число проводников с шириной 0,1 мм и менее. Наличие нескольких узких проводников на ПП не означает, что все остальные стоит делать такой же ширины, так как класс точности ПП все равно будет определяться самым критичным местом.

Необоснованное увеличение числа узких проводников приведет к увеличению вероятности получить дефектную ПП из-за бокового подтрава в процессе производства ПП (рис. Б.24). Глубина бокового подтрава может достигать 50 % от толщины меди, а из-за влияния различных факторов (неоднородности материала, дефектов фотошаблона, металлорезиста и пр.) высока вероятность появления локальных подтравов большего размера.

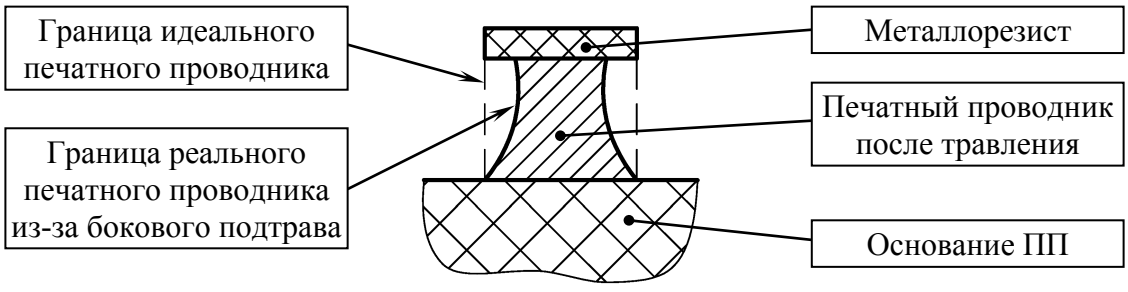


Рис. Б.24

Количество слоев. Если планируются серийные заказы и требуется снижение стоимости, целесообразно ограничить число слоев, иначе в даль-

нейшем могут возникнуть проблемы с выбором поставщика. Дело в том, что для завода среднего уровня (а именно на таких заводах возможно снижение цен при выходе на серийность) ограничением на максимальное количество слоев является, как правило, 6 или 8.

Причины возможных проблем:

– отсутствие оснастки для серийной сборки более чем восьми слоев;

– неточность совмещения слоев при прессовании (возрастает с увеличением числа слоев);

– продольная и диагональная деформация слоев;

– неточность центровки сверления;

– отклонение сверла в многослойном пакете;

– неточность травления и боковой подтрав;

– проблемы металлизации отверстий и поверхности ПП;

– повышенное давление при прессовании более восьми слоев.

Гарантийный поясок КП. Несмотря на значения гарантийного пояска КП, указанных для различных классов точности в табл. Б.6 и приводимых в перечне технологических возможностей предприятий-изготовителей ПП, рекомендуется без крайней необходимости не занижать этот параметр и пользоваться данными табл. Б.8.

Таблица Б.8

Рекомендуемые минимальные значения гарантийного пояска КП для различных диаметров отверстий

Диаметр отверстия КП, мм	Минимальный гарантийный поясок КП, мм
0,2	0,2
0,4–0,7	0,25
0,8–1,6	0,3
более 1,6	0,4

Сдвиг отверстия относительно центра КП (рис. Б.25) может быть обусловлен следующими факторами:

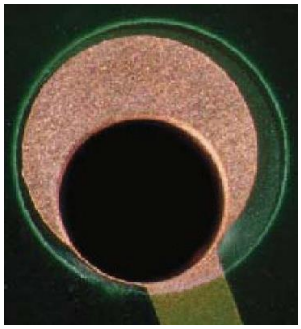


Рис. Б.25 [109]

– неточностью фиксации ПП на сверлильном станке;

– отклонением сверла на волокнах материала;

– неточностью совмещения слоев МПП.

При задании слишком маленьких значений гарантийного пояска отверстие может выйти за пределы КП.

Отношение толщины ПП и диаметра переходного отверстия. Типовым соотношением толщины ПП и диа-

метра переходного отверстия (aspect ratio) для многих российских заводов является 5:1 (например, диаметр готового отверстия не менее 0,3 мм при толщине ПП 1,5 мм), а для наиболее современных – от 7:1 до 10:1. Только на очень высокотехнологичных производствах за счет применения специальных технологий можно достичь уровня 12:1 и выше.

В случае превышения этого соотношения велик риск получить на ПП некоторые отверстия либо со слишком малой толщиной медной стенки (от 5 до 15 мкм вместо положенных 25 мкм), либо вовсе без металлизации. Причем первый вариант гораздо опаснее, так как электроконтроль не обнаружит эти дефекты, а с течением времени или при повышенных нагрузках эти отверстия, скорее всего, будут разрушены и произойдет отказ устройства.

Причины таких ограничений заключаются в том, что для металлизации отверстий требуется «прокачивание» раствора через отверстия. При большой же толщине ПП и малом диаметре отверстий крайне сложно обеспечить равномерное и интенсивное его протекание.

Толщина и размеры ПП. Минимальный размер ПП может быть ограничен возможностями производства. Если нужны ПП меньших габаритов, то их объединяют на групповой панели с фрезеровкой и перемычками, заранее предусмотрев места размещения (см. рис. А.1).

Максимальная толщина ПП может быть ограничена не только соотношением толщины ПП и диаметра переходного отверстия, но и возможностями конкретного завода-изготовителя по формированию пакета ПП.

Минимальная толщина ПП может быть ограничена минимальной толщиной материалов и структурой МПП, а также минимальной толщиной ПП, которую завод может обрабатывать на всех этапах производства.

Расстояние от металла до края ПП. Размещать полигоны вплотную к краю ПП не рекомендуется, так как при фрезеровке отрывается медь, а медные заусенцы могут попасть на ПП (рис. Б.26). Поэтому отступ металла от края ПП обычно задают не менее 0,5 мм.



Рис. Б.26 [109]

Также важно оставлять зазор между внутренними полигонами питания и краями крепежных отверстий, чтобы не спровоцировать замыкание между слоями через металлические крепежные элементы.

Расстояние от края отверстия до края ПП. Минимальное расстояние от отверстия до края ПП ограничено опасностью механического разрушения

слишком узкой полоски стеклотекстолита на краю ПП и опасностью повреждения отверстия либо при «разламывании» панели с перемычками или скрайбированием, либо при механических нагрузках на ПП (при установке, креплении винтами и т. д.).

Скрайбирование – нанесение линейных непрерывающихся надрезов (рис. Б.27) заданной глубины на поверхности технологической заготовки с обеих сторон на специальном станке алмазными фрезами треугольной формы для упрощения производства и облегчения последующего разделения (в частности, после проведения монтажа на автоматах). Такие ПП остаются соединенными тонким перешейком (Web), толщиной около 0,3 мм. Размеры готовой ПП после разделения будут чуть больше, чем расстояние между надрезами, из-за частичного разлохмачивания отламываемого края. Для скрайбирования пригодны только прямоугольные и квадратные ПП [110].

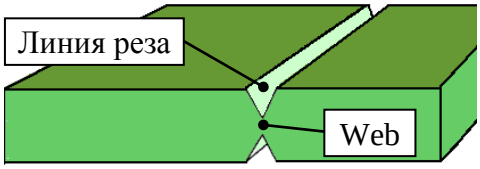


Рис. Б.27 [110]

Зазор между КП и защитной паяльной маской. Зазор между КП и защитной паяльной маской (solder mask swell или solder mask expansion) необходим по технологическим соображениям, связанным с нанесением паяльной маски. Если его не обеспечить, смещение при нанесении паяльной маски усложнит монтаж компонентов или даже сделает его невозможным (например, она может оказаться на КП).

Обычно минимальное значение данного зазора у производителей составляет 0,05 мм.

Возможные дефекты показаны на рис. Б.28.

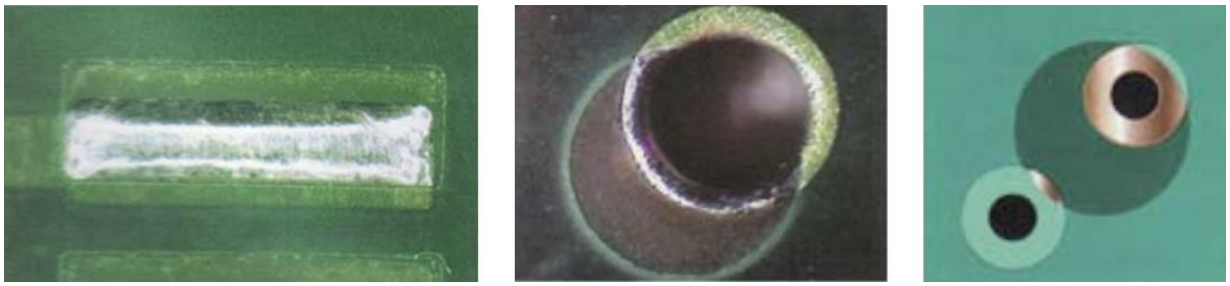


Рис. Б.28 [107]

Масочный мостик между КП. При проектировании ПП необходимо отслеживать узкие перемычки (обычно 0,15 мм и менее) защитной паяльной маски (например, между КП микросхем с малым шагом выводов), так как они обладают недостаточной адгезией. В результате при монтаже они могут оторваться и воспрепятствовать пайке отдельных выводов.

Б.10. Линии передачи на ПП

ПП кроме выполнения функции несущей конструкции для закрепления и соединения в соответствии с электрической схемой размещаемых на ней компонентов является также основой для линий передачи сигналов.

Термины и определения понятий в области линий передачи СВЧ устанавливает ГОСТ 18238–72 [111], к основным из которых можно отнести следующие:

– ***линия передачи СВЧ*** (линия передачи) – устройство, ограничивающее область распространения электромагнитных колебаний и направляющее поток электромагнитной СВЧ-энергии в заданном направлении;

– ***тракт СВЧ*** (тракт, СВЧ-тракт) – совокупность СВЧ-устройств, сочлененных определенным образом. К СВЧ-устройствам относятся линии передачи, преобразователи СВЧ-энергии, ответвители, фильтры и т. д.

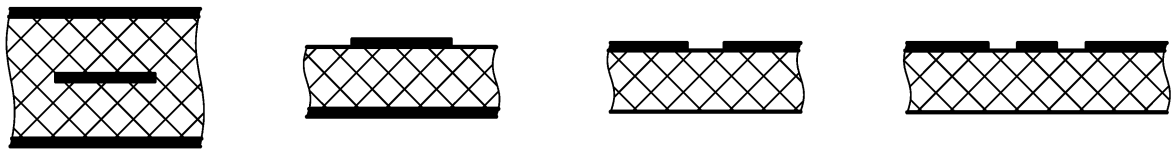
Основными линиями передачи на ПП СВЧ-диапазона являются полосковые линии.

Термины и определения понятий полосковых линий устанавливает ГОСТ 21702–76 [112]:

– ***полосковая линия передачи*** (полосковая линия, strip transmission line) – одно-, двух- или трехпроводная линия передачи с поперечным сечением в виде отрезков прямых, лежащих на одной прямой, или параллельных прямых (отрезки прямых – идеализация, так как реальные проводящие слои имеют конечную толщину).

Полосковые линии по конструктивно-технологическому выполнению подразделяются на воздушно-полосковые, МПЛ и др.;

– ***симметричная полосковая линия передачи*** (symmetric strip transmission line) – трехпроводная полосковая линия, имеющая две плоскости симметрии, линия пересечения которых параллельна направлению распространения энергии (рис. Б.29, *а*);



а *б* *в* *г*

Рис. Б.29

– ***несимметричная полосковая линия передачи*** (microstrip transmission line) – двухпроводная полосковая линия в виде параллельных прямых, име-

ющая одну плоскость симметрии, параллельную направлению распространения электромагнитной энергии (см. рис. Б.29, *б*);

– ***щелевая линия передачи*** (slot transmission line) – двухпроводная полосковая линия, в которой электромагнитная волна распространяется вдоль щели между проводящими поверхностями, находящимися в одной плоскости (см. рис. Б.29, *в*);

– ***копланарная линия передачи*** (coplanar transmission line) – трехпроводная полосковая линия, в которой электромагнитная волна распространяется вдоль щелей между проводящими поверхностями, находящимися в одной плоскости (см. рис. Б.29, *г*).

Полосковые линии на ПП удобны тем, что используют трассы (дорожки, печатные проводники), изготавливаемые в том же технологическом процессе, что и трассы другого назначения (цепи питания, цифровые цепи и др.).

К часто встречающимся понятиям из области устройств и элементов полосковой линии можно отнести следующие:

– ***полосковый узел*** (strip line junction) – устройство на полосковых линиях, выполняющее одну или несколько радиотехнических функций (передача электромагнитной энергии, различные преобразования СВЧ-сигнала, генерирование электромагнитной энергии) и имеющее законченное конструктивное и схемное выполнение;

– ***полосковый элемент*** (strip element) – конструктивно неделимая часть полоскового узла, являющаяся элементом с распределенными параметрами схемы Э3 полоскового узла;

– ***полосковая плата*** (strip plate) – основание с нанесенными на его поверхности и (или) сформированными в его объеме проводящими и непроводящими слоями, реализующими схему с полосковыми линиями;

– ***основание полосковой платы*** (substrate strip plate) – элемент конструкции полосковой платы, представляющий собой слой непроводящего материала, на поверхности и (или) в объеме которого формируется рисунок полосковой платы;

– ***рисунок полосковой платы*** (pattern of the strip plate) – конфигурация проводящего и (или) непроводящего слоев, наносимых на основание полосковой платы;

– ***экран полосковой линии передачи*** (screen of the strip line) – проводящий слой двух- или трехпроводной полосковой линии, ширина которого значительно превышает ширину других проводящих слоев.

Симметричные и несимметричные полосковые линии. Симметричные полосковые линии обладают следующими особенностями:

– хорошая экранировка полоскового элемента, так как он заключен между двумя экранами;

– сложности в изготовлении и расчете, так как в конструкции практически неизбежно присутствует невоспроизводимый воздушный справа и слева от полоскового элемента (искажения будут тем сильнее, чем больше диэлектрическая проницаемость материала). Кроме того, требуется соблюдение механической симметрии для обеспечения малых потерь на излучение;

– неудобства в настройке, так как полосковый элемент недоступен для регулирования.

Несимметричные полосковые линии просты в настройке, изготовлении и эксплуатации, однако у них отсутствует экранировка и присутствуют повышенные потери по сравнению с симметричными полосковыми линиями. Однако если диэлектрическая проницаемость основания высока, то электрическое поле концентрируется в основном в области между полосковым элементом и экраном, а потому потери на излучение невелики. Такие несимметричные полосковые линии называют ***микрополосковыми линиями передачи*** (МПЛ). На практике для экранирования структуры на МПЛ размещают в герметизирующих корпусах, изолирующих их от внешних электромагнитных полей и климатических воздействий [21].

Так как при проектировании разрабатывается ДПП СВЧ-диапазона с высокими значениями относительной диэлектрической проницаемости, то далее будут рассматриваться только МПЛ.

Основной тип волны в МПЛ. На рис. Б.30, *а* показано поперечное сечение МПЛ со следующими обозначениями:

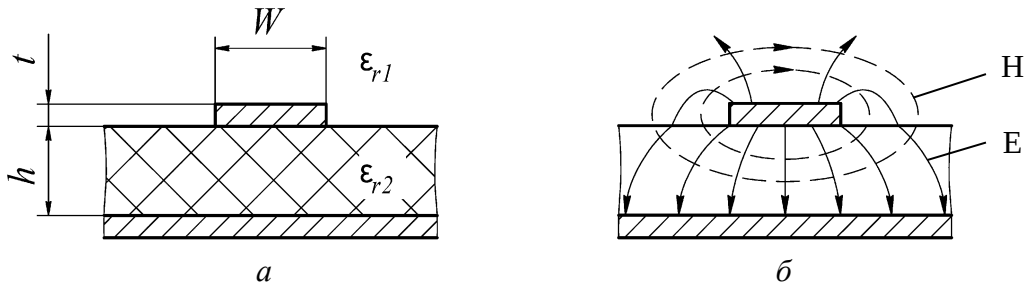


Рис. Б.30

– W – ширина полоскового элемента, мм;

– t – толщина полоскового элемента, мм;

– h – высота основания полосковой платы, мм;

– ε_{r1} – относительная диэлектрическая проницаемость среды над рисунком полосковой платы;

– ε_{r2} – относительная диэлектрическая проницаемость основания полосковой платы.

При передаче энергии по МПЛ электромагнитное поле существует не только в основании, но и в воздухе. При этом появляются продольные составляющие векторов поля, т. е. по МПЛ в общем случае энергия переносится гибридными волнами. Однако при достаточно малых по сравнению с длиной волны размерах поперечного сечения МПЛ для основной волны величина продольных составляющих векторов поля оказывается на порядок меньше величины поперечных составляющих, и ими можно пренебречь. Поэтому приближенно можно считать, что структура основной волны в МПЛ (см. рис. Б.30, *б*), получившей название квази-ТЕМ, совпадает со структурой ТЕМ-волны. Волна квази-ТЕМ, как и ТЕМ-волна, может распространяться на любых частотах.

Одномодовый режим работы МПЛ обеспечивается выбором поперечных размеров линии из условий:

$$W < \Lambda/2 \text{ и } h < \Lambda/2, \qquad \text{(Б.1)}$$

где Λ – длина волны квази-ТЕМ в МПЛ, мм.

Так как волна квази-ТЕМ переносит часть энергии в основании, а часть в воздухе, то ее фазовая скорость удовлетворяет неравенству:

$$1/\sqrt{\varepsilon_2\mu_0} < \upsilon_{эф} < 1/\sqrt{\varepsilon_1\mu_0},$$

где ε_2 – диэлектрическая проницаемость среды между экраном и полосковым элементом; μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; ε_1 – диэлектрическая проницаемость среды над полосковым элементом.

Чем больше энергии переносится в основании, тем ближе фазовая скорость к скорости света в основании, и наоборот. При определении основных характеристик волн в линиях с поперечно неоднородным диэлектрическим заполнением вводят эффективную диэлектрическую проницаемость линии $\varepsilon_{эф} = \varepsilon_0 \varepsilon_{r\,эф}$ (здесь ε_0 – электрическая постоянная, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м), связанную с фазовой скоростью волны следующим соотношением:

$$\upsilon_{эф} = 1/\sqrt{\varepsilon_{эф}\mu_0},$$

причем $\varepsilon_{r2} > \varepsilon_{r\,эф} > \varepsilon_{r1}$ [26].

При $\varepsilon_{r2} = \varepsilon_r$, $\varepsilon_{r1} = 1$ и $t = 0$ мм эффективная диэлектрическая проницаемость для волны квази-ТЕМ в МПЛ определяется по формуле [22]:

$$\varepsilon_{r\,эф} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left(1 + \frac{10h}{W}\right)^{-1/2}. \qquad (Б.2)$$

Из (Б.2) следует, что фазовая скорость волны квази-ТЕМ в МПЛ зависит не только от параметров заполняющего диэлектрика, но и от геометрических размеров линии: при увеличении W и ε_r или уменьшении h она уменьшается, так как увеличивается количество энергии, переносимой волной в основании полосковой платы.

Потери в МПЛ. Ослабление сигнала в линии передач происходит в основном из-за потерь в проводниках и диэлектрике, из-за излучений и дисперсии (зависимости параметров волны квази-ТЕМ от частоты).

В проводниках потери в СВЧ-диапазоне в основном определяются характеристиками их поверхностного слоя из-за скин-эффекта.

Потери в диэлектрике возникают из-за тангенциальных потерь, обусловленных неспособностью зарядов мгновенно отслеживать изменения электрического поля.

Кроме излучения из-за особенности распространения волны квази-ТЕМ в МПЛ присутствуют и паразитные излучения вдоль длины линии и на неоднородностях (изгибы печатного проводника, разрывы, установленные навесные компоненты и т. п.).

Диэлектрические потери и потери на излучение в МПЛ могут быть снижены за счет уменьшения толщины диэлектрического слоя, применения высококачественных диэлектриков и правильного проектирования ПП.

Длина волны квази-ТЕМ в МПЛ. Длина волны квази-ТЕМ (в миллиметрах) в МПЛ рассчитывается по формуле для ТЕМ-волны путем замены ε_r на $\varepsilon_{r\,эф}$ и на частоте f (в герцах) определяется выражением:

$$\Lambda = 1 \cdot 10^3 \cdot \upsilon_{эф} \,/\, f = 3 \cdot 10^{11} / \left(f\sqrt{\varepsilon_{r\,эф}}\right). \qquad (Б.3)$$

Ширина полоскового элемента МПЛ. Определение ширины полоскового элемента МПЛ ($t = 0$ мм) начинается с расчета следующего параметра:

$$A = \frac{Z_0}{60}\left(\frac{\varepsilon_r + 1}{2}\right)^{1/2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 1}\left(0{,}23 + \frac{0{,}11}{\varepsilon_r}\right), \qquad (Б.4)$$

где Z_0 – волновое сопротивление, Ом.

В зависимости от полученного значения производится расчет ширины полоскового элемента (в миллиметрах):

1. Если параметр $A > 1{,}52$, то используется следующая формула:

$$W = \frac{8h \cdot \exp(A)}{\exp(2A) - 2}. \qquad (Б.5)$$

2. Если параметр $A \le 1{,}52$, то используется следующая формула:

$$W = \frac{2h}{\pi}\left(B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\varepsilon_r - 1}{2\varepsilon_r}\left(\ln(B - 1) + 0{,}39 - \frac{0{,}61}{\varepsilon_r} \right) \right), \qquad (Б.6)$$

где параметр B определяется выражением:

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\varepsilon_r}}. \qquad (Б.7)$$

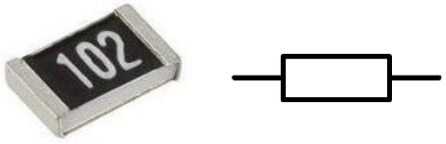
В. Используемые при проектировании компоненты и некоторые схемные решения

В.1. Постоянный SMD-резистор

Резистор по ГОСТ Р 52002–2003 [113] – элемент электрической цепи, предназначенный для использования его электрического сопротивления.

Буквенный код обозначения резистора по ГОСТ 2.710–81 – **R**. Основная характеристика – сопротивление. Единица измерения – ом.

На рис. В.1, *а* показан внешний вид SMD-резистора, а на рис. В.1, *б* – УГО резистора по ГОСТ 2.728–74.



а *б*

Рис. В.1

Назначение резистора состоит в оказании сопротивления протекающему через него электрическому току, преобразовывая его часть в тепло. Аналогия с водой: если проводник с током представить в виде трубы, по которой течет вода, то резистор можно сравнить с сужением трубы, ток – со скоростью движения воды, а напряжение – с разностью давлений в разных точках трубы.

Некоторые применения постоянного резистора в схемах:

1. Токоограничивающий резистор (примеры приведены в В.6 и В.7).

2. Элемент фильтра (например, RC-фильтры верхних и нижних частот).

3. Задание коэффициента усиления операционного усилителя.

4. Подтягивание к земле (pull-down) или к питанию (pull-up). Такие резисторы используют в цифровых схемах для исключения состояния неопределенности на выводах микросхем.

5. Резистивный делитель напряжения (рис. В.2). В этой схеме из двух резисторов (*R1* и *R2*) выходное напряжение ($U_{\text{вых}}$), получаемое из входного ($U_{\text{вх}}$), определяется по формуле:

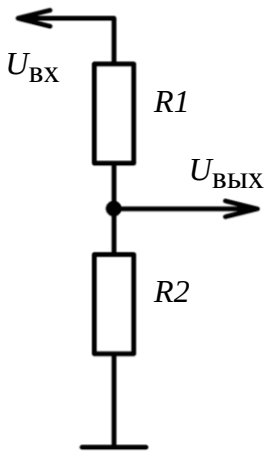


Рис. В.2

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \frac{R2}{R1+R2}.$$

Схема обладает следующими особенностями [114]:

– для корректной работы схемы номиналы резисторов должны быть много меньше (на несколько порядков), чем сопротивление подключаемой нагрузки. В противном случае из-за параллельного включения с резистором *R2* нагрузка уменьшит величину выходного напряжения;

– чем меньше номиналы резисторов в резистивном делителе, тем больше энергии расходуется впустую, так как через них протекают большие токи. При этом резисторы необходимо выбирать такими, чтобы они могли рассеять необходимую мощность;

– неравномерность тока нагрузки во времени приводит к неравномерности выходного напряжения (чем больший ток уходит в нагрузку, тем меньший ток протекает через резистор *R2,* и тем меньшее напряжение с него снимается).

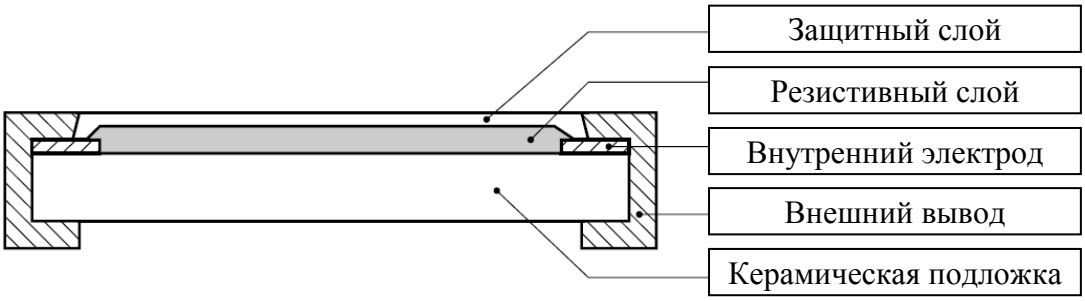


Рис. В.3

Упрощенный вид конструкции SMD-резистора показан на рис. В.3.

Основным несущим элементом SMD-резистора является подложка, изготовленная из окиси алюминия. Этот материал обладает хорошими диэлектрическими свойствами и высокой теплопроводностью, что необходимо для отвода тепла, выделяющегося в резистивном слое.

Основные электрические характеристики SMD-резистора определяются резистивным слоем, в качестве которого чаще всего используется пленка металла или окисла, например чистого хрома или двуокиси рутения, нанесенная на подложку. Состав, технология нанесения и характер обработки этой пленки являются важнейшими элементами, определяющими характеристики резистора, и чаще всего представляют производственный секрет фирмы производителя.

Для соединения резистивного слоя с проводниками на ПП служат несколько слоев контактных элементов. Такая сложная контактная конструкция предназначена для обеспечения надежной адгезии слоев. От качества выполнения контактных элементов SMD-резистора зависят такие его характеристики, как надежность и токовые шумы.

Последним элементом конструкции SMD-резистора является защитный слой, обеспечивающий предохранение от воздействия факторов окружающей среды (например, влаги). Этот слой выполняется из стекла или полимерных материалов.

Кроме сопротивления резистивного слоя, SMD-резистор обладает рядом паразитных параметров:

– емкости выводов относительно общего провода;

– емкость между выводами;

– сопротивление контактов;

– сопротивление защитного слоя;

– индуктивность выводов и резистивного слоя.

Наиболее вредным параметром является паразитная индуктивность. Немного меньшее значение играет паразитная емкость. Оба этих параметра ограничивают максимальную частоту применения SMD-резистора [115].

При проектировании используются резисторы серии **RC** типоразмеров 0805 (RC0805), 0603 (RC0603) и 0402 (RC0402) фирмы Yageo с максимальной рассеиваемой мощностью 0,125, 0,1 и 0,0625 Вт соответственно.

Документация на резисторы находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Резисторы Yageo**.

В табл. В.1 приведены размеры (длина и ширина) некоторых стандартных типоразмеров.

Таблица В.1

Габаритные размеры некоторых типоразмеров

Обозначение типоразмера	Размеры, дюйм	Размеры, мм
0402	0,04 × 0,02	1,0 × 0,50
0603	0,06 × 0,03	1,6 × 0,80
0805	0,08 × 0,05	2,0 × 1,25
1206	0,12 × 0,06	3,2 × 1,60
1210	0,12 × 0,10	3,2 × 2,60

Производителем каждому компоненту для идентификации присваивается уникальный номер (Part Number, Part No), в котором содержится характерная для этого компонента информация. Например, **RC0805JR-07270RL**:

– **RC** – серия толстопленочных SMD-резисторов фирмы Yageo;

– **0805** – типоразмер;

– **J** – допуск номинала (±5 %);

– **R** – резисторы в бумажной ленте;

– «-» – ТКС. ***Температурный коэффициент сопротивления*** (ТКС) – величина, равная относительному изменению электрического сопротивления при изменении температуры на единицу (градус Цельсия или Кельвина);

– **07** – диаметр ленточной катушки (7 дюймов);

– **270R** – номинал резистора (270 Ом). При записи номинала в омах используется символ **R**, в килоомах – символ **K**, в мегаомах – символ **M**. Они же используются и для дробных номиналов (например, **5R6** – 5,6 Ом; **56R** – 56 Ом; **560R** – 560 Ом; **5K6** – 5,6 кОм; **56K** – 56 кОм; **22M** – 22 МОм);

– **L** – без свинца.

Фрагмент ленты с SMD-резисторами показан на рис. В.4.

Международной электротехнической комиссией (МЭК) установлено семь предпочтительных рядов для номиналов большинства выпускаемых радиоэлектронной промышленностью элементов (как отечественной, так и зарубежной): E3; E6; E12; E24; E48; E96; E192. Цифра после буквы **E** – число номиналов в каждом десятичном интервале (декаде).



Рис. В.4

Каждый ряд имеет свой допуск номиналов, например:

– ряд E6 – ±20 %;

– ряд E12 – ±10 %;

– ряд E24 – ±5 %;

– ряд E48 – ±2 %;

– ряд E96 – ±1 %.

В производстве чаще используются ряды E24 и E96.

Значения рядов содержатся в ГОСТ 28884–90 [116] и для E3, E6, E12 и E24 приведены в табл. В.2, а для E48 и E96 – в табл. И.1.

Таблица В.2

Значения номинальных рядов E3, E6, E12 и E24

E3	E6	E12	E24	E3	E6	E12	E24	E3	E6	E12	E24	E3	E6	E12	E24
1,0	1,0	1,0	1,0	–	–	1,8	1,8	–	3,3	3,3	3,3	–	–	5,6	5,6
–	–	–	1,1	–	–	–	2,0	–	–	–	3,6	–	–	–	6,2
–	–	1,2	1,2	2,2	2,2	2,2	2,2	–	–	3,9	3,9	–	6,8	6,8	6,8
–	–	–	1,3	–	–	–	2,4	–	–	–	4,3	–	–	–	7,8
–	1,5	1,5	1,5	–	–	2,7	2,7	4,7	4,7	4,7	4,7	–	–	8,2	8,2
–	–	–	1,6	–	–	–	3,0	–	–	–	5,1	–	–	–	9,1

Существующие номиналы компонентов получаются путем умножения или деления указанных в рядах значений на 10^i, где i – целое число. Например, для значения **1,0** есть следующие номиналы резисторов: 0,1 Ом; 1 Ом; 10 Ом; 100 Ом; 1 кОм; 10 кОм и т. д.

Номинал резистора часто указывается в виде маркировки на его корпусе. К примерам вариантов маркировки можно отнести следующие:

– без маркировки. Не маркируются резисторы в корпусах типоразмеров 0402 и меньше, но не только. Например, фирма Yageo с целью повышения экологичности выпускаемой продукции (снижение использования химических веществ на производстве) с середины 2013 г. убрала маркировку с SMD-резисторов серий RC и AC типоразмеров 0603, 0805 и 1206;

– три цифры, где первые две – значащие, а последняя – количество нулей после первых двух (например, маркировка **102** на рис. В.1, *а* означает 1000 Ом, т. е. 1 кОм). Таким образом обычно маркируются резисторы с допуском ±2 % и больше. В качестве разделителя в дробном значении сопротивления менее 10 Ом используется символ **R** (например, **2R2** – 2,2 Ом);

– четыре цифры, где первые три – значащие, а последняя – количество нулей после первых трех (например, **1002** – 10 кОм). Таким образом обычно маркируются резисторы с допуском ±1 % типоразмеров 0805 и больше. Символ **R** также может использоваться;

– две цифры и буква, где цифры указывают на код номинала по стандарту EIA-96, а буква определяет множитель. Например, **12C** – 13 кОм (**12** – 12-й номинал в ряде E96, **C** – множитель, равный 100). Таким образом обычно маркируются резисторы с допуском ±1 % типоразмера 0603.

Также возможны и другие варианты маркировки, которые определяются конкретным производителем и указываются им в документации на изделие.

В.2. Постоянный SMD-конденсатор

Конденсатор по ГОСТ Р 52002–2003 – элемент электрической цепи, предназначенный для использования его электрической емкости.

Буквенный код обозначения конденсатора по ГОСТ 2.710–81 – **С**. Основная характеристика – емкость. Единица измерения – фарад.

Конденсаторы – это радиоэлементы, способные накапливать электрический заряд. К тому же они способны пропускать переменный ток, одновременно не пропуская постоянный. В цепи постоянного тока конденсатор не проводит ток, так как его обкладки разделены диэлектриком; а в цепи переменного тока он проводит колебания переменного тока посредством циклической перезарядки [117]. Аналогия с водой: конденсатор можно представить полостью в трубе, которая перегорожена гибкой мембраной.

Простейший плоский конденсатор представляет собой параллельные металлические пластины (обкладки), разделенные диэлектриком, емкость которого определяется по формуле:

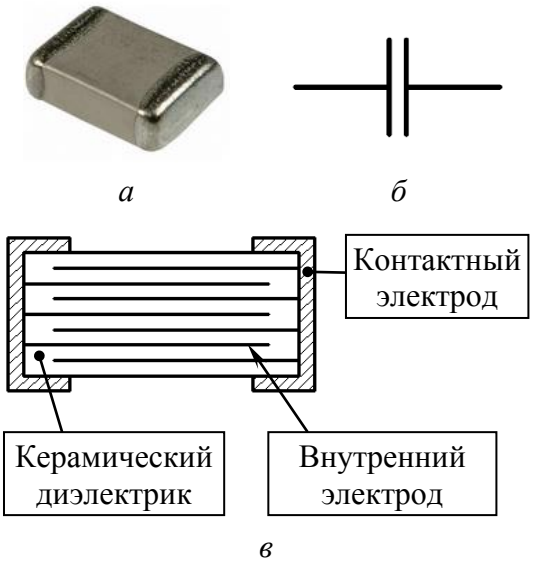
$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r S / d ,$$

где S – площадь пластины, м^2, d – расстояние между пластинами, м.

Например, до моделирования различных структур на МПЛ при наличии фольгированного диэлектрика, на котором они будут изготавливаться, по указанной формуле можно уточнить значение относительной диэлектрической проницаемости материала, тем самым значительно уменьшив влияние разброса данного параметра на их характеристики в готовом изделии.

Самые распространенные типы SMD-конденсаторов: керамический и электролитический.

На рис. В.5, *а* показан внешний вид керамического SMD-конденсатора, а на рис. В.5, *б* – УГО для такого конденсатора по ГОСТ 2.728–74.



а *б* *в*

Рис. В.5

Керамические конденсаторы меньше электролитических по размеру и обычно имеют емкость до единиц микрофарад. Конструктивно они представляют собой параллельное соединение плоских конденсаторов, нанесенных на керамическую подложку (рис. В.5, *в*), что позволяет увеличивать емкость, не увеличивая при этом площадь, занимаемую на ПП.

Увеличение емкости в заданных размерах корпуса (по габаритам, кроме высоты, они совпадают с типоразмерами резисторов, приведенными в табл. В.1) в виде параллельного соединения конденсаторов приводит к технологическому пределу уменьшения толщины диэлектрика и увеличения площади обкладок. Дальнейшее увеличение емкости (до величины порядка нескольких тысяч пикофарад) возможно только увеличением диэлектрической проницаемости диэлектрика [118].

Электролитические SMD-конденсаторы имеют емкости от 100 пФ. По размерам они больше керамических и к тому же работают только при соблюдении полярности подаваемого напряжения. Обусловлено это химическими особенностями взаимодействия электролита с диэлектриком. При обратной полярности напряжения происходит химическое разрушение диэлектрика, увеличение тока, вскипание электролита и вероятный разрыв корпуса [117]. В основном электролитические SMD-конденсаторы реализуются как танта-

ловые конденсаторы, немного реже – как полимерные. Внешний вид танталового SMD-конденсатора показан на рис. 5.12, а УГО такого конденсатора – на рис. 5.34, *а* и *б*.

Твердотельные танталовые конденсаторы состоят из четырех основных частей: анода, диэлектрика, электролита (жидкого или твердого) и катода (рис. В.6). В качестве диэлектрика выступает пленка, сформированная на поверхности анода при помощи электрохимического окисления. Только при использовании тантала (или алюминия) в качестве анода удается технологически контролировать ее толщину (как правило, от нескольких сотен до нескольких тысяч ангстрем) [119].

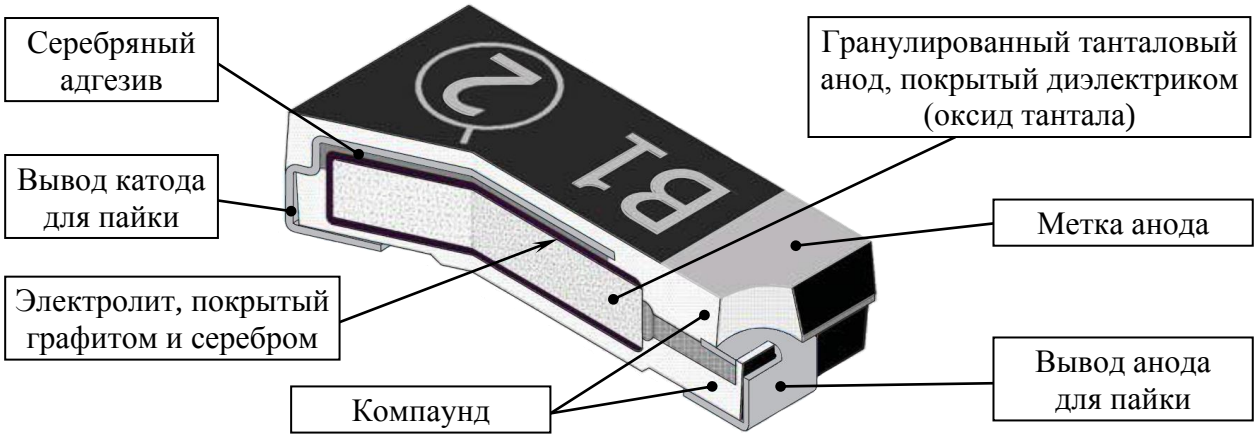


Рис. В.6

Некоторые применения конденсаторов в схемах:

1. Элемент фильтра.

2. Блокировочный конденсатор (bypass cap). Такой конденсатор сглаживает пульсации питания, а также кратковременно выполняет функцию резервного источника питания в те моменты времени, когда напряжение на линии падает. Устанавливается как можно ближе к выводам микросхем между цепью питания и землей. Для сглаживания высокочастотных помех обычно используются керамические конденсаторы номиналом 0,01 или 0,1 мкФ, а для низкочастотных (до десятков килогерц) – танталовые конденсаторы большой емкости (во внутренних цепях питания – около 10–100 мкФ, для входного питания – из расчета 1000 мкФ на 1 А) [120].

3. Разделительный конденсатор. Предназначен для отделения переменной составляющих сигнала от постоянной. Устанавливается в разрыв линии.

Подробнее стоит остановиться на паразитных параметрах конденсатора и их влиянии на его рабочие характеристики [121]. Упрощенная эквивалентная схема реального конденсатора показана на рис. В.7.

На рисунке отмечены следующие элементы:

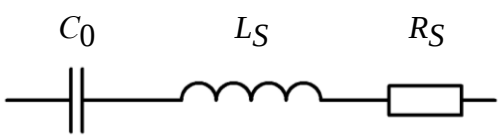


Рис. В.7

– C_0 – идеальный конденсатор без потерь, потребляющий от сети только реактивную мощность;

– R_S – эквивалентное последовательное сопротивление (Equivalent Serial Resistor, ESR) реального конденсатора, потребляющего из сети активную мощность. Обусловлено потерями в диэлектрике и сопротивлением выводов. На частотах до нескольких сотен килогерц преобладает первый фактор, а на частотах свыше 1 МГц – второй. Эта величина также зависит от типоразмера и емкости и обычно лежит в диапазоне от 0,02 Ом на низких частотах до 0,5 Ом на высоких;

– L_S – эквивалентная последовательная индуктивность (Equivalent Serial Inductance, ESI) реального конденсатора. В основном определяется индуктивностью его выводов и зависит от типоразмера. Например, для типоразмера 0603 эта величина обычно принимает значения от 0,54 до 1,95 нГн, для типоразмера 0805 – от 0,7 до 1,94 нГн.

В результате величина полного сопротивления реального конденсатора (модуль импеданса) определяется из соотношения:

$$Z_C(f) = \sqrt{{R_S}^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{{R_S}^2 + (2\pi f L_S - 1/2\pi f C_0)^2},$$

где X_L – реактивное индуктивное сопротивление, Ом; X_C – реактивное емкостное сопротивление, Ом; f – частота, Гц.

При равенстве X_L и X_C наступает последовательный резонанс. Частота F_{SR}, при которой это происходит, вычисляется по формуле:

$$F_{SR} = 1/2\pi\sqrt{L_S C_0}\,. \qquad \text{(В.1)}$$

График зависимости модуля импеданса реального конденсатора от частоты в логарифмическом масштабе по двум осям показан на рис. В.8.

Отличия реального конденсатора от идеального накладывают определенные ограничения на его применение. В особенности это касается фильтров и LC-контуров на высоких частотах, где необходимо учитывать влияние паразитных параметров (например, на частотах, превышающих резонансную частоту F_{SR}, конденсатор ведет себя как индуктивность).

В разделительных цепях главной задачей является минимизация модуля импеданса конденсатора в полосе рабочих частот. Если исходить из свойств идеального конденсатора, модуль импеданса которого определяется выраже-

нием $1/2\pi f C_0$, то для его уменьшения необходимо использовать конденсатор с большой емкостью. Однако при увеличении емкости в соответствии с (В.1) уменьшается резонансная частота, и если она окажется меньше рабочей частоты, то это приведет к увеличению модуля импеданса конденсатора и ухудшению частотных характеристик устройства.

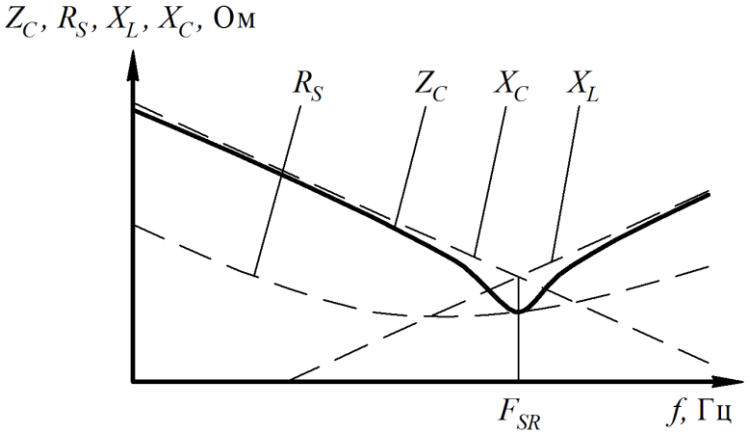


Рис. В.8

При параллельном включении нескольких конденсаторов одинаковой емкости ширина области минимального значения модуля импеданса увеличится в область низких частот с незначительным уменьшением резонансной частоты, так как в таком случае из-за способа включения конденсаторов эквивалентная емкость увеличивается, а паразитные сопротивления и индуктивности уменьшаются, но в меньшее количество раз (конденсаторы не находятся в одной точке на ПП, и поэтому паразитные индуктивности за счет разных длин печатных проводников оказываются разными).

Применение параллельного включения разделительных конденсаторов в линиях на ПП не совсем удобно, поэтому обычно стараются выбрать конденсатор с такой емкостью, чтобы на рабочих частотах величина его модуля импеданса была не слишком большой (до единиц ом).

При параллельном включении нескольких конденсаторов с емкостями, отличающимися на порядки (такое решение обычно применяется при подключении блокировочных конденсаторах по питанию), происходит расширение области минимального значения модуля импеданса, но с появлением в ней локальных мест с относительно высокими его значениями, что связано с возникновением параллельных резонансов между резонансными частотами отдельных конденсаторов [122].

При проектировании используются керамические конденсаторы фирм Murata и ATC и танталовые фирмы Vishay.

Документация на конденсаторы находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Конденсаторы**.

В качестве примера керамического конденсатора фирмы Murata можно рассмотреть **GRM2165C2A102JA01D**:

– **GRM** – компонент общего назначения;

– **21** – типоразмер 0805 (см. табл. В.1);

– **6** – высота корпуса компонента (0,6 мм);

– **5C** – группа ТКЕ (C0G). ***Температурный коэффициент емкости*** (ТКЕ) – величина, равная относительному изменению емкости при изменении температуры окружающей среды на один градус Цельсия. **C0G** – самая высокая температурная стабильность, практически полное отсутствие зависимости емкости от частоты и приложенного напряжения;

– **2A** – номинальное напряжение (100 В);

– **102** – емкость в пикофарадах (1000 пФ). Первые две цифры – значащие, а третья – количество нулей после первых двух. В качестве символа разделителя в дробном значении используется символ **R**. Например: **R50** – 0,5 пФ, **1R0** – 1 пФ, **100** – 10 пФ, **103** – 10000 пФ;

– **J** – допуск номинала (±5 %);

– **A01** – дополнительные данные;

– **D** – тип упаковки (бумажная лента диаметром 180 мм);

В качестве примера керамического конденсатора фирмы ATC можно рассмотреть **600F240KT250XT**:

– **600F** – серия конденсаторов фирмы ATC;

– **F** – типоразмер 0805 (см. табл. В.1);

– **240** – емкость в пикофарадах (24 пФ). Расшифровка кода производится так же, как и для рассмотренного выше керамического конденсатора;

– **K** – допуск номинала (±10 %);

– **T** – покрытие контактов (стандартное);

– **250** – номинальное напряжение (250 В);

– **X** – указание о маркировке;

– **T** – упаковка (стандартная).

В качестве примера танталового конденсатора фирмы Vishay можно рассмотреть **293D226X9010C2TE3**:

– **293D** – серия конденсатора;

– **226** – емкость в пикофарадах (22 мкФ). Расшифровка кода производится так же, как и для керамических конденсаторов;

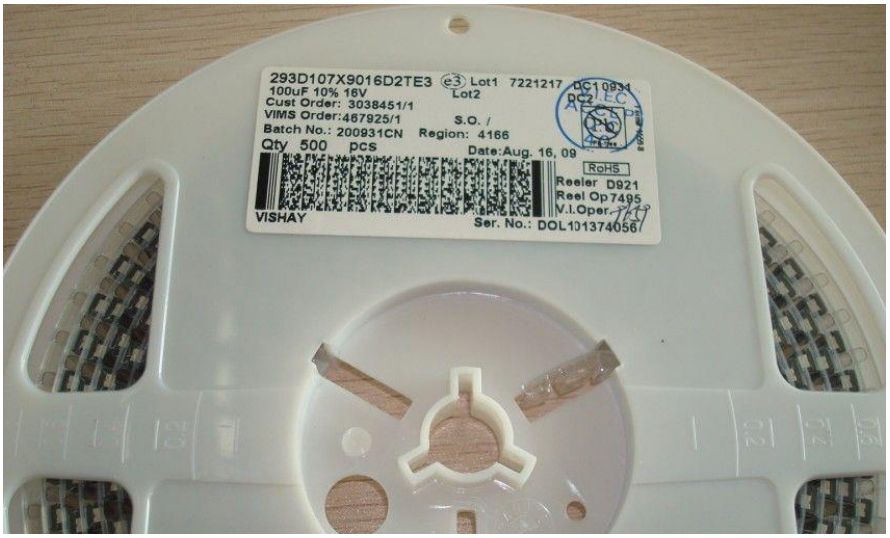


Рис. В.9

– **X9** – допуск номинала (±10 %);

– **010** – величина постоянного напряжения в вольтах (+10 В). Для записи дробных значений используется символ **R** (например, **6R3** – 6,3 В);

– **C** – типоразмер (размеры корпусов см. на рис. 5.13);

– **2TE3** – код упаковки (катушка диаметром 7 дюймов) и выводов (матовое олово). Внешний вид упаковки показан на рис. В.9.

В.3. SMD-катушки индуктивности

Индуктивная катушка по ГОСТ Р 52002–2003 – элемент электрической цепи, предназначенный для использования его собственной индуктивности и/или его магнитного поля.

Буквенный код обозначения катушки индуктивности по ГОСТ 2.710–81 – **L**. Основная характеристика – индуктивность. Единица измерения – генри.

Катушки индуктивности – это радиоэлементы, способные формировать магнитное поле. К тому же они способны пропускать постоянный ток, одновременно не пропуская переменный. В цепи постоянного тока катушка индуктивности проводит ток, так как является проводом, намотанным на каркас; а в цепи переменного тока она не пропускает колебания переменного тока из-за явления самоиндукции, так как ЭДС (электродвижущая сила) самоиндукции компенсирует внешнее переменное магнитное поле, которое ее вызывает. Гидромоделью катушки индуктивности может служить турбина с инерцией, расположенная в трубе с водой.

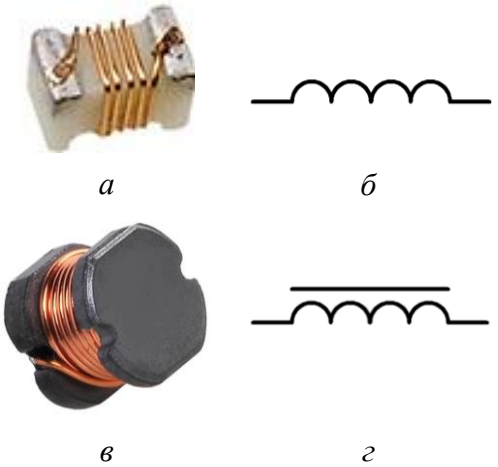
Некоторые применения катушек индуктивности в схемах:

1. Элемент фильтра.

2. Элемент колебательного контура.

3. Фильтрация помех напряжения питания.

Простейшая индуктивность представляет собой несколько витков изолированного провода, расположенных в непосредственной близости друг от друга. На рис. В.10, *а* показан внешний вид такой катушки индуктивности, а на рис. В.10, *б* – ее УГО по ГОСТ 2.723–68.



а *б* *в* *г*

Рис. В.10

Для многократного увеличения индуктивности внутрь катушки индуктивности помещают сердечник из ферромагнитного материала (трансформаторная сталь, пермаллой и др.). На рис. В.10, *в* показан внешний вид такой катушки индуктивности, а на рис. В.10, *г* – ее УГО по ГОСТ 2.723–68.

Катушка индуктивности, обладающая высоким сопротивлением переменному току и малым сопротивлением постоянному, называется ***дросселем*** и используется для 3-го применения, указанного выше.

Упрощенная эквивалентная схема реальной катушки индуктивности состоит из двух ветвей, в одной из которых находится паразитная емкость, обусловленная межвитковой емкостной связью, а в другой – последовательное соединение индуктивности идеальной катушки и сопротивления потерь в проводе [123].

При равенстве реактивных индуктивного и емкостного сопротивлений наступает параллельный резонанс, и наблюдается максимальная величина модуля импеданса. Как только рабочая частота превысит резонансную по (В.1), катушка индуктивности начнет проявлять свойства конденсатора.

При проектировании используется дроссель **SDR0604-220YL** фирмы Bourns, документация на который находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Индуктивности**.

Содержание указанного Part Number следующее:

– **SDR0604** – серия силовых SMD-индуктивностей (дросселей, рассчитанных на большие токи) с диаметром корпуса 5,8 мм и высотой 4,8 мм;

– **220** – индуктивность в микрогенри (22 мкГн). Расшифровка кода производится так же, как и для керамических конденсаторов;

– **Y** – допуск номинала (±15 %);

– **L** – материал выводов не содержит свинца (Lead-free terminations). Такое требование связано с директивой Европейского союза по экологической безопасности RoHS (Restriction of Hazardous Substance), ограничивающей использование опасных веществ.

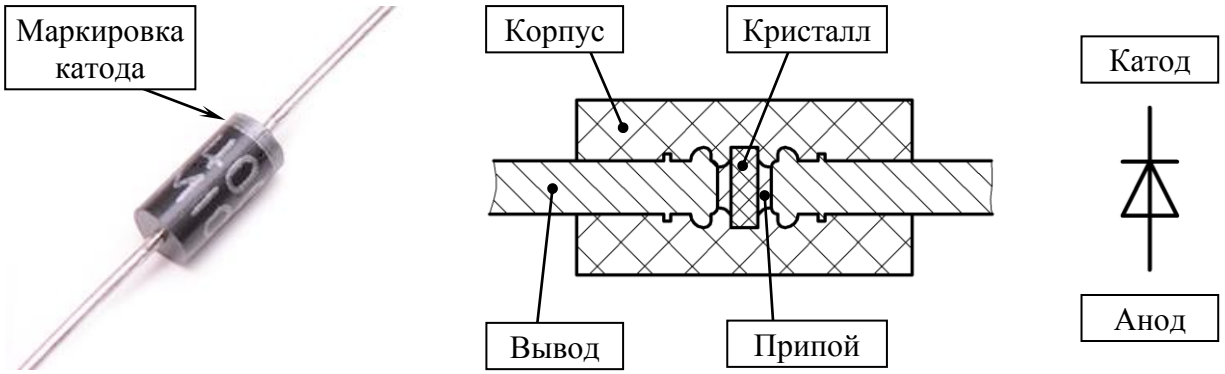
B.4. Полупроводниковый диод

Полупроводниковый диод (диод, semiconductor diode) по ГОСТ Р 57436–2017 [124] – полупроводниковый прибор (устройство, основные электрические характеристики которого обусловлены потоком носителей зарядов внутри одного или более полупроводниковых материалов) с двумя выводами, имеющий несимметричную вольт-амперную характеристику (ВАХ).

Буквенный код обозначения диода по ГОСТ 2.710–81 – **VD**.

Гидромоделью диода служит обратный клапан.

На рис. B.11, *а* показан внешний вид выводного диода в корпусе DO-41 (также диод может быть выполнен и в SMD-варианте), на рис. B.11, *б* – упрощенный вид конструкции диода в таком корпусе, а на рис. B.11, *в* – его УГО по ГОСТ 2.730–73 с обозначением названий выводов.



а *б* *в*

Рис. B.11

В отличие от металлов появление носителей заряда в полупроводниках определяется многими факторами, но наиболее важные – чистота и температура. Типичными полупроводниками являются германий и кремний.

Полупроводники делятся на химически чистые (собственные) и примесные (легированные).

В собственных полупроводниках при температурах выше абсолютного нуля из-за теплового возбуждения есть свободные электроны (носители отрицательного заряда) и дырки (носители положительного заряда) в одинаковом количестве, т. е. кристалл остается электрически нейтральным. С повышением температуры собственная проводимость увеличивается.

Проводимость собственного полупроводника можно значительно увеличить, введя в него примеси, которые бывают донорные и акцепторные.

Донорная примесь – это примесь, у которой валентность больше, чем у исходного кристалла. Например, при добавлении мышьяка (валентность – 5) в кремний (валентность – 4) от каждого атома примеси образуется дополнительный подвижный электрон и неподвижный положительный заряд (ионизированный атом). То есть донорная примесь создает подвижные электроны без дырок. Такой полупроводник называется ***полупроводником n-типа***.

Акцепторная примесь – это примесь, у которой валентность меньше, чем у исходного кристалла. Например, при добавлении индия (валентность – 3) в кремний от каждого атома примеси образуется дополнительная подвижная дырка и неподвижный отрицательный заряд. Такой полупроводник называется ***полупроводником p-типа***.

Число подвижных носителей тока, создаваемых примесями даже при малых концентрациях, значительно превосходит число собственных носителей. Преобладающий тип носителей называют ***основным***, а другой – ***неосновным***. Примесные полупроводники также электрически нейтральны.

При контакте полупроводников p- и n-типа образуется p-n-переход. В результате диффузионного тока основных носителей заряда (переход дырок из p-области в n-область, а электронов – из n-области в p-область), вызванного разностью их концентраций, электроны и дырки рекомбинируют на границе полупроводников, образуя обедненный основными носителями запирающий электрический слой с нескомпенсированными зарядами ионов примесей: плюс – в n-области, минус – в p-области. Между разноименно заряженными областями запирающего слоя возникает контактная разность потенциалов и электрическое поле, вызывающее появление дрейфового тока неосновных носителей заряда в направлении, противоположном диффузионному току. В результате величина потока основных носителей заряда уменьшается до величины потока неосновных носителей и устанавливается состояние динамического равновесия p-n-перехода, схематично показанное на рис. В.12 [125], [126].

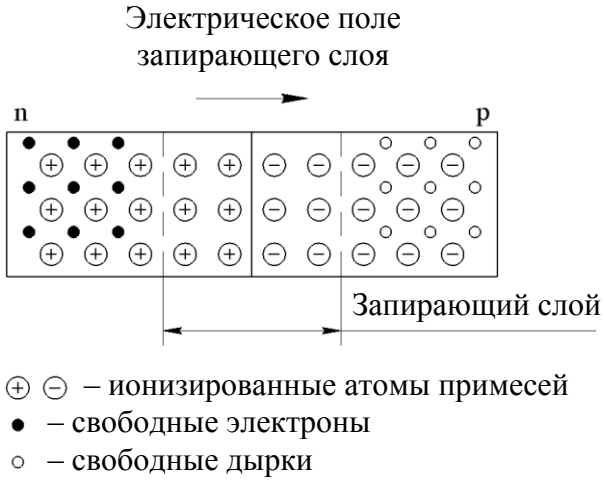


Рис. В.12

В диоде используется один p-n-переход, к противоположным областям которого привариваются или припаиваются металлические выводы, и вся система заключается в металлический, металлокерамический, стеклянный или пластмассовый корпус [127]. Вывод диода, соединенный с p-областью, называется ***анодом***, а вывод, соединенный с n-областью, – ***катодом***. Обычно катод маркируется на корпусе белой полосой, хотя бывают и исключения.

Если к диоду приложено прямое напряжение (на аноде потенциал больше, чем на катоде), то внешнее электрическое поле оказывается направлено противоположно электрическому полю запирающего слоя p-n-перехода, что приводит к уменьшению его толщины и сопротивления. В результате число основных носителей, способных преодолеть p-n-переход увеличивается. Когда напряжение смещения превысит контактную разность потенциалов (для кремниевого диода – 0,6–0,7 В), запирающий слой исчезнет (его сопротивление станет равным нулю), приложенная разность потенциалов окажется распределенной по всей длине кристалла, а так как его сопротивление мало, то суммарный ток, протекающий через диод и обусловленный в основном диффузионным током, начнет резко возрастать.

Если к диоду приложено обратное напряжение, то внешнее электрическое поле оказывается сонаправлено с электрическим полем запирающего слоя p-n-перехода, что приводит к увеличению его толщины и сопротивления (основные носители заряда отходят от границы полупроводников). При этом через p-n-переход будет протекать обратный ток, который с незначительных значений обратного напряжения обуславливается только неосновными носителями заряда (дрейфовый ток). Он достаточно мал, почти не зависит от приложенного обратного напряжения (до некоторого предела), определяется в основном условиями перехода неосновных носителей из объема полупроводника к границе раздела и процессом их тепловой генерации и называется ***обратным током насыщения*** [126].

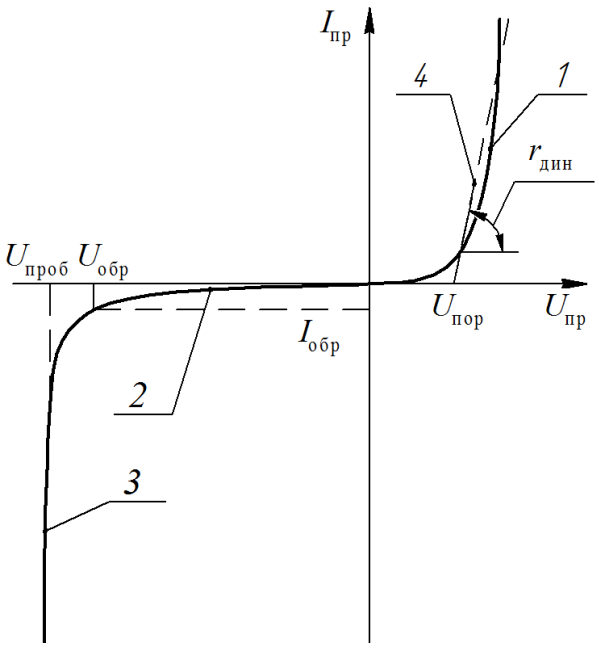


Рис. В.13

На рис. В.13 показана ВАХ диода со следующими обозначениями:

– *1* – прямая ветвь ВАХ;

– *2* – обратная ветвь ВАХ;

– *3* – область пробоя;

– *4* – прямолинейная аппроксимация прямой ветви ВАХ;

– $I_{\text{пр}}$ и $I_{\text{обр}}$ – постоянный прямой и обратный ток диода;

– $U_{\text{пр}}$ и $U_{\text{обр}}$ – постоянное прямое и обратное напряжение диода;

– $U_{\text{пор}}$ – пороговое напряжение (прямое напряжения в точке пересечения с осью напряжений линии, аппроксимирующей прямую ветвь ВАХ в области больших токов);

– $r_{\text{дин}}$ – динамическое сопротивление (сопротивление, определяемое наклоном прямой, аппроксимирующей прямую ветвь ВАХ диода);

– $U_{\text{проб}}$ – пробивное напряжение (обратное напряжение, вызывающее пробой перехода диода, при котором обратный ток достигает заданного значения) [128].

Математическая модель p-n-перехода описывается уравнением:

$$I = I_S\left(\exp\left(\frac{U - I \cdot r_S}{m \cdot U_{\text{т}}}\right) - 1\right), \qquad \text{(В.2)}$$

где I – суммарный ток, протекающий через p-n-переход, А; I_S – обратный ток насыщенного p-n-перехода, А; U – напряжение, приложенное к p-n-переходу, В; r_S – последовательное сопротивление потерь диода (суммарное объемное сопротивление p- и n-области, сопротивление контактных соединений и выводов p-n-перехода), Ом; m – коэффициент неидеальности ВАХ; $U_{\text{т}}$ – температурный потенциал при температуре 25 °С, $U_{\text{т}} \approx 0{,}026$ В [129].

Параметры математической модели диода (m, r_S, I_S) могут быть найдены по экспериментальной ВАХ [130].

Пример диода и необходимые при проектировании схемные решения приведены в В.11.

В.5. Диод Шоттки

Диод Шоттки (Schottky barrier diode) по ГОСТ Р 57436–2017 – полупроводниковый диод, выпрямительные свойства которого обоснованы созданием выпрямляющего слоя (барьера) на границе металла и полупроводника.

На рис. В.14, *а* показан внешний вид диода Шоттки в корпусе SMB (DO-214AA), а на рис. В.14, *б* – его УГО по ГОСТ 2.730–73.

Потенциальный барьер, возникающий между металлом и полупроводником p- или n-типа называется барьером Шоттки в честь немецкого физика Вальтера Шоттки.



а *б*

Рис. В.14

Процессы, протекающие на границе раздела данных материалов, схожи с описанными для p-n-перехода в В.4. Например, при контакте металла и полупроводника p-типа со стороны полупроводника окажется область с отрицательно заряженными ионами акцепторной примеси (они будут нескомпенсированы зарядами дырок, которые рекомбинировали с электронами, пришедшими из металла), а со стороны металла – тонкий слой, заряженный положительно (из-за ухода из него электронов) [131].

Достоинства диодов Шоттки:

– низкое падение напряжения при прямом включении (0,2–0,4 В против 0,7 В у кремниевых диодов). Однако такие значения достигаются у диодов Шоттки с максимальным обратным напряжением порядка десятка вольт. При больших обратных напряжениях прямое падение напряжения становится сравнимым с аналогичным параметром кремниевых диодов, что ограничивает применение диодов Шоттки низковольтными цепями;

– барьер Шоттки имеет меньшую электрическую емкость перехода, что позволяет заметно повысить рабочую частоту. Это свойство используется в интегральных микросхемах, где диодами Шоттки шунтируются переходы транзисторов, которые применяются в качестве логических элементов;

– низкий уровень помех, поэтому они предпочтительны в аналоговых вторичных источниках питания.

Недостатки диодов Шоттки:

– при кратковременном превышении максимального обратного напряжения диод Шоттки необратимо выходит из строя, в отличие от кремниевых диодов, переходящих в режим обратимого пробоя (при условии, что рассеиваемая кристаллом диода мощность не превышает допустимых значений);

– повышенные (относительно кремниевых диодов) обратные токи, возрастающие с ростом температуры кристалла. Неудовлетворительные условия теплоотвода при работе диода Шоттки с высокими токами приводят к его тепловому пробою [132].

Пример диода Шоттки и необходимые при проектировании схемные решения приведены в В.11.

B.6. Стабилитрон

Полупроводниковый стабилитрон (стабилитрон, voltage reference diode) по ГОСТ Р 57436–2017 – полупроводниковый диод, напряжение на котором сохраняется с определенной точностью при протекании через него тока в заданном диапазоне, и предназначенный для стабилизации напряжения.

Стабилитрон работает на обратной ветви ВАХ в режиме электрического пробоя, поэтому к нему должно быть приложено обратное напряжение.

Пробой бывает электрический (лавинный и туннельный) и тепловой. Электрический пробой не приводит к разрушению p-n-перехода и, если за ним не последует теплового пробоя, свойства p-n-перехода после снятия обратного напряжения восстанавливаются.

Лавинный пробой обычно наблюдается при обратных напряжениях смещения порядка десятков или сотен вольт и связан с тем, что неосновные носители, ускоряясь в поле p-n-перехода, приобретают энергию, достаточную для ионизации нейтральных атомов полупроводника в p-n-переходе.

Туннельный пробой наблюдается в тонких p-n-переходах (могут быть созданы только на границе раздела высоколегированных областей) при обратных напряжениях всего в несколько вольт и связан с тем, что под действием сильного электрического поля на атомы кристаллической решетки полупроводника в p-n-переходе происходит образование электронно-дырочных пар. Нарастание тока при туннельном пробое происходит быстрее, чем при лавинном пробое.

Тепловой пробой возникает в случае, когда количество тепла, выделяющееся в p-n-переходе, превышает количество тепла, отводимого от него. Разогрев p-n-перехода приводит к росту процесса генерации носителей и, следовательно, к увеличению силы тока, что в свою очередь ведет к дальнейшему повышению температуры и так далее. В результате наступает разрушение материала полупроводника [126].

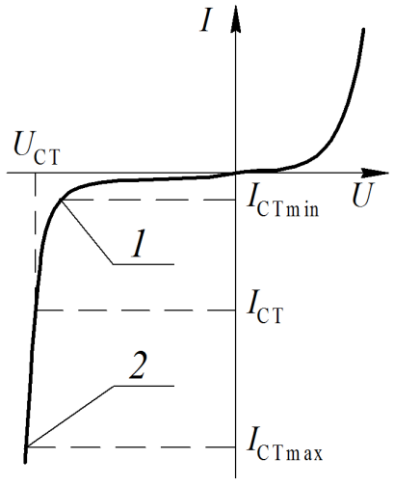


Рис. B.15

Участок на ВАХ (рис. B.15) от точки 1 до точки 2 является рабочим участком стабилизации, при этом напряжение на стабилитроне, называемое ***напряжением стабилизации*** (U_{CT}), можно считать постоянным (его изменения незначительны).

Минимальный ток стабилизации (I_{CTmin}) – наименьший ток через стабилитрон, при котором начинается устойчивая работа в режиме пробоя.

Максимальный ток стабилизации (I_{CTmax}) – наибольший ток через стабилитрон, при котором температура его p-n-перехода не превышает допустимой. Превышение этого значения ведет к тепловому пробою и выходу стабилитрона из строя [133].

Для стабилитронов одного и того же типа напряжение стабилизации различается, поэтому в документации обычно приводится или минимальная и максимальная границы этого напряжения, или указывается номинальное напряжение стабилизации и его допустимый разброс.

При проектировании используются стабилитроны серии **BZX84** фирмы Nexperia. Документация на них находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Диоды**.

В качестве примера можно рассмотреть **BZX84-C4V7**:

– **BZX84** – серия стабилитрона;

– **C** – допуск по напряжению (±5 %);

– **4V7** – номинальное напряжение стабилизации (4,7 В). Символ V используется в качестве разделителя для дробных значений.

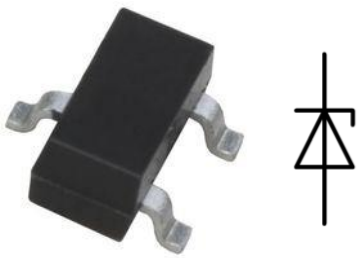
Фрагмент таблицы с его параметрами приведен на рис. В.16.

Characteristics per type; BZX84-A2V4 to BZX84-C24

T_j = 25 °C unless otherwise specified.

BZX84-xxx	Sel	Working voltage V_Z (V)		Differential resistance r_{dif} (Ω)				Reverse current I_R (μA)		Temperature coefficient S_Z (mV/K)			Diode capacitance C_d (pF)[1]	Non-repetitive peak reverse current I_{ZSM} (A)[2]
		I_Z = 5 mA		I_Z = 1 mA		I_Z = 5 mA				I_Z = 5 mA				
		Min	Max	Typ	Max	Typ	Max	Max	V_R (V)	Min	Typ	Max	Max	Max
4V7	A	4.65	4.75	425	500	50	80	3	2	–3.5	–1.4	0.2	300	6.0
	B	4.61	4.79											
	C	4.4	5.0											

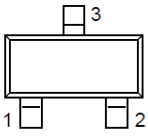
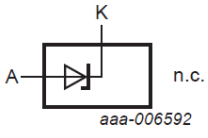
Рис. В.16



а

б

Pinning

Pin	Symbol	Description	Simplified outline	Graphic symbol
1	A	anode		
2	n.c.	not connected		
3	K	cathode		

в

Рис. В.17

На рис. В.17, *а* показан внешний вид указанного стабилитрона в корпусе SOT-23-3, а на рис. В.17, *б* – его УГО по ГОСТ 2.730–73. Видно, что вывод 2 корпуса не используется (см. рис. В.17, *в*).

Стабилитрон при проектировании будет использоваться в качестве составной части ***параметрического стабилизатора напряжения*** – устройства, в котором стабилизация выходного напряжения достигается за счет сильной нелинейности ВАХ использованного компонента. Из-за низкого КПД такой стабилизатор применяется в основном в слаботочных схемах (до нескольких десятков миллиампер) [134].

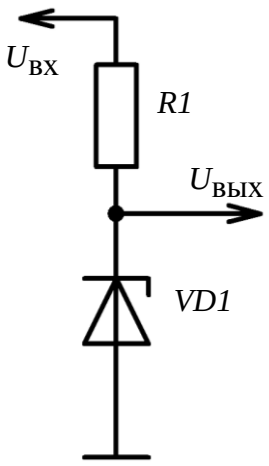


Рис. В.18

Схема параметрического стабилизатора напряжения показана на рис. В.18. Она свободна от ряда недостатков резистивного делителя напряжения (см. рис. В.2).

Резистор *R1* называется ***гасящим*** (или ***балластным***), так как все изменения входного напряжения в процессе работы при неизменном напряжении на стабилитроне *VD1* будут гаситься на нем. Кроме того, резистор *R1* является токоограничивающим для стабилитрона.

Расчет параметрического стабилизатора напряжения выполняется в следующей последовательности:

– задается номинальное напряжение стабилизации стабилитрона $U_{СТ}$, т. е. снимаемое со стабилизатора напряжение (на рис. В.18 – это $U_{вых}$, а на рис. В.16 – V_Z). Индекс Z указывает на фамилию американского физика Кларенса Зенера – первооткрывателя туннельного пробоя;

– определяется потребляемый нагрузкой ток ($I_Н$);

– для выбранного стабилитрона задается номинальный ток стабилизации ($I_{СТ}$ по рис. В.15). Обычно это значение лежит в диапазоне от 1 до 20 мА и при проектировании в вариантах задания принимается равным 5–7 мА;

– рассчитывается номинал резистора *R1* по формуле:

$$R1 = \frac{U_{вх} - U_{вых}}{I_{СТ} + I_Н}. \qquad (В.3)$$

Следует отметить, что при выборе номинального тока стабилизации руководствуются следующими соображениями:

– если нагрузка перестанет потреблять ток ($I_Н = 0$), то он пойдет в дополнение к $I_{СТ}$ через стабилитрон. Следовательно, если $I_{СТ}$ был выбран большим, то стабилитрон может выйти из строя;

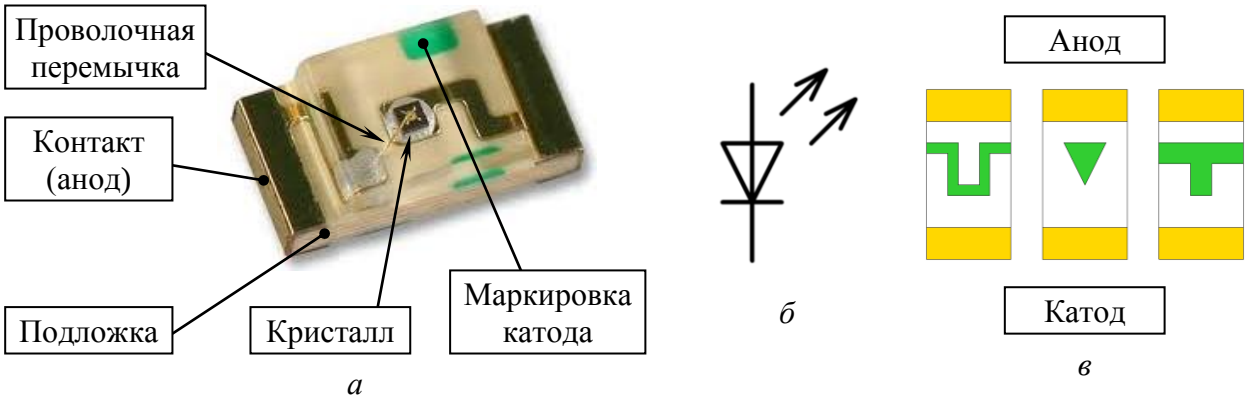
– если $I_{Н}$ увеличится, то через стабилитрон потечет меньший ток. Следовательно, если $I_{СТ}$ был выбран небольшим, то будет падать напряжение стабилизации.

B.7. Светодиод

Светоизлучающий диод (СИД, light-emitted diode, LED) по ГОСТ Р 57436–2017 – полупроводниковый диод, излучающий энергию в видимой области спектра в результате электрической стимуляции и рекомбинации электронов и дырок.

Светодиод выполняет свою функцию при приложенном прямом напряжении. В отличие от обычного диода он имеет большую площадь соприкосновения в месте контакта двух полупроводников, из-за чего площадь рекомбинации больше, и, следовательно, интенсивнее свечение. Однако не каждый p-n-переход может высвобождать энергию фотонов видимого спектра света. Это зависит от ширины запрещенной зоны, энергия преодоления которой должна быть соизмерима с энергией кванта видимого спектра света [135].

На рис. B.19, *а* показан внешний вид SMD-светодиода, а на рис. B.19, *б* – его УГО по ГОСТ 2.730–73.



а *б* *в*

Рис. B.19

Конструктивно SMD-светодиод представляет подложку с контактами для монтажа на ПП, на поверхности которой располагается полупроводниковый кристалл, покрытый сверху прозрачным термостойким полимером. Анод кристалла соединяется с соответствующим контактом на подложке проволочной перемычкой. Катод обычно обозначается зеленым цветом на верхней стороне подложки, однако может присутствовать маркировка в виде значков и на нижней ее стороне (рис. B.19, *в*).

При проектировании используются SMD-светодиоды серии FYLS типоразмеров 0805 (FYLS-0805) и 0603 (FYLS-0603) фирмы Foryard Optoelectron-

ics, документация на которые находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Диоды\Светодиоды**.

В качестве примера светодиода можно рассмотреть **FYLS-0805UGC**:

– **FYLS** – серия SMD-светодиодов;

– **0805** – типоразмер 0805 (см. табл. В.1);

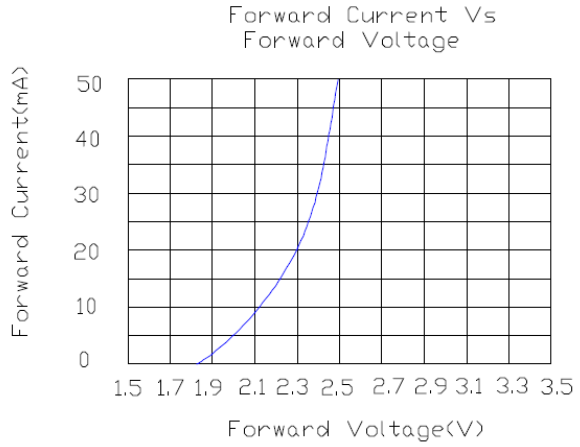
– **UGC** – желто-зеленый цвет свечения (длина волны – 570 нм). Расшифровка других кодов приведена в табл. В.3.

Таблица В.3

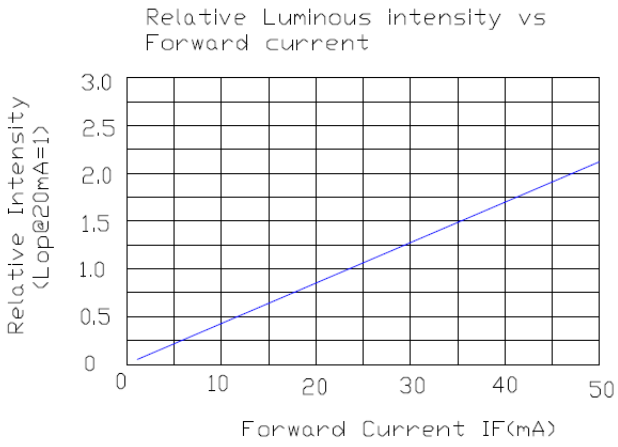
Расшифровка кодов цветности SMD-светодиодов серии FYLS

Код	Значение
SRC	Ярко-красный (длина волны – 643 нм)
URC	Красный (длина волны – 631 нм)
UYC	Желтый (длина волны – 592 нм)
PGC	Зеленый чистый (длина волны – 525 нм)
UBC	Синий (длина волны – 468 нм)
UWC	Белый холодный (цветовая температура – 7000 К)

На рис. В.20, *а* приведена прямая ветвь ВАХ указанного светодиода, а на рис. В.20, *б* – зависимость относительной силы света от прямого тока.



а



б

Items	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max	Unit
Forward Voltage	VF	IF = 20mA		2.00	2.60	V
Reverse Current	IR	VR = 5V			10	uA
Dominant Wavelength	λD	IF = 20mA		570		nm
Luminous Intensity	IV	IF = 20mA		40		mcd
50% Power Angle	2θ½	IF = 20mA	---	130	---	Deg

в

Рис. В.20

Из приведенных графиков видно, что номинальная сила света, значение которой по рис. В.20, *в* для указанного светодиода составляет 40 мкд (милликандела), достигается при номинальном прямом токе порядка 20 мА (относительная сила света на рис. В.20, *б* в этой точке равна единице). На практике для повышения срока службы компонента и для уменьшения суммарного тока потребления устройства светодиод включают в облегченном режиме, т. е. при меньшем прямом токе.

Следует отметить, что зависимости, приведенные на рис. В.20, для разных светодиодов разные.

Типичная схема включения светодиода показана на рис. В.21. Резистор *R1* ограничивает ток, протекающий через светодиод *VD1*. Сопротивление этого резистора рассчитывается по следующей формуле:

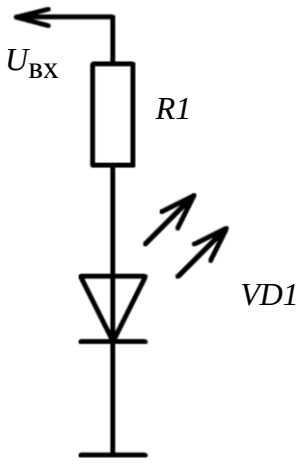


Рис. В.21

$$R1 = \frac{U_{вх} - U_F}{I_F}, \qquad \text{(В.4)}$$

где $U_{вх}$ – входное напряжение, В; U_F – номинальное значение прямого напряжения светодиода, В; I_F – номинальное значение прямого тока светодиода, А.

В.8. Биполярный транзистор

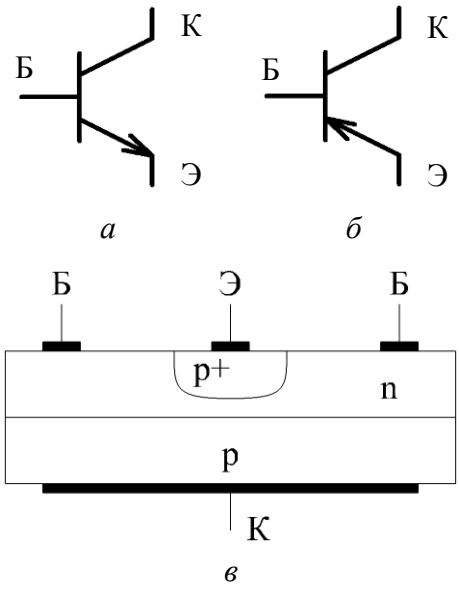
Биполярный транзистор (bipolar junction transistor) по ГОСТ Р 57436–2017 – полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими переходами и тремя или более выводами, усилительные свойства которого обусловлены явлениями инжекции и экстракции неосновных носителей заряда. Работа биполярного транзистора зависит от носителей обеих полярностей.

Буквенный код обозначения транзистора по ГОСТ 2.710–81 – **VT**.

Гидромоделью транзистора может служить водопроводный кран, в котором поворотом ручки регулируется поток воды.

Биполярный транзистор состоит из трех слоев полупроводника. В зависимости от типа их проводимости различают p-n-p- и n-p-n-транзисторы. Принцип действия у них одинаковый, но на практике из-за большей подвижности электронов чаще используют n-p-n-транзисторы.

УГО n-p-n-транзистора по ГОСТ 2.730–73 показано на рис. В.22, *а*, а p-n-p-транзистора – на рис. В.22, *б*. На рисунках также дополнительно отмечены названия выводов (в схемах они не указываются): Б – база, К – коллектор, Э – эмиттер.



а *б* *в*

Рис. В.22

Стрелка на УГО находится со стороны эмиттера и указывает направление протекания тока, т. е. от р-области к n-области (как стрелка компаса).

На рис. В.22, *в* приведена схематичная структура p-n-p-транзистора с обозначением выводов от слоев. Переход между базой и эмиттером называется эмиттерным, а между базой и коллектором – коллекторным.

Выделяют следующие особенности структуры транзистора:

– толщина базы мала и не превышает нескольких микрон;

– база выполняется из слаболегированного полупроводника (концентрация основных носителей заряда мала);

– площадь коллекторного перехода значительно больше эмиттерного;

– концентрация основных носителей заряда в эмиттере больше, чем в коллекторе (на рис. В.22, *в* это различие отмечено знаком «+»).

Каждый из переходов транзистора может быть смещен либо в прямом направлении, либо в обратном. В зависимости от этого различают четыре режима работы. На примере p-n-p-транзистора:

1. Если эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный – в обратном, то это ***активный режим работы*** транзистора.

За счет прямого смещения эмиттерного перехода происходит инжекция носителей заряда из эмиттера в базу, что создает ток эмиттера ($I_Э$). Так как область эмиттера легирована сильнее области базы, то поток дырок преобладает над потоком электронов. Инжектированные в базу дырки являются там неосновными носителями заряда.

Из-за малой толщины базы почти все дырки, пройдя ее в процессе диффузии, достигают коллекторного перехода. Лишь малая их часть успевает прорекомбинировать с электронами, вызывая приток электронов из внешней цепи источника питания и создавая ток базы ($I_Б$).

Коллекторный переход смещен в обратном направлении, поэтому достигшие его дырки подхватываются электрическим полем и втягиваются в область коллектора (процесс экстракции). Здесь они являются основными носителями заряда, поэтому легко доходят до коллекторного вывода, где ре-

комбинируют со свободными электронами, что приводит к возникновению тока коллектора ($I_К$) во внешней цепи.

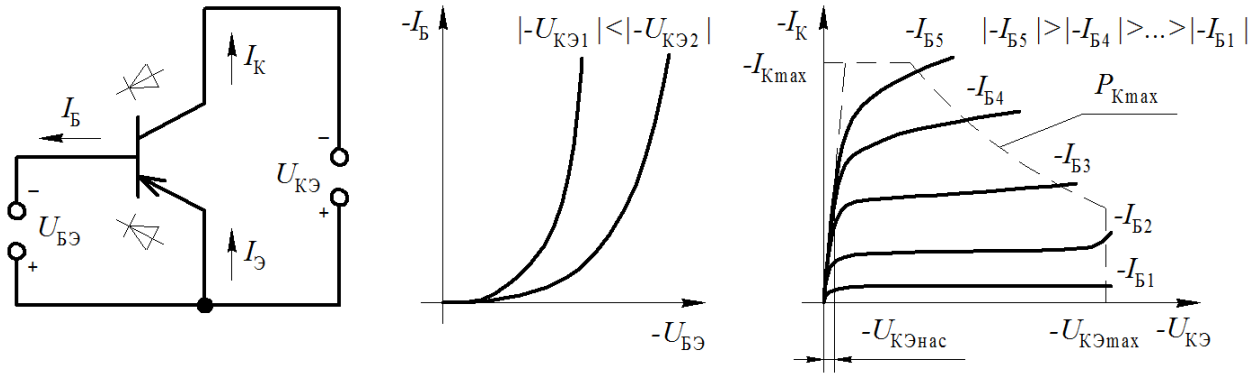
Токи биполярного транзистора, работающего в активном режиме, связаны следующими соотношениями:

$$I_Э = I_К + I_Б, \qquad (В.5)$$

$$I_К = \beta I_Б, \qquad (В.6)$$

где β – коэффициент усиления транзистора по току в схеме с общим эмиттером (в литературе также можно встретить обозначения $h_{21Э}$ и h_{FE}).

Включение p-n-p-транзистора по схеме с общим эмиттером показано на рис. В.23, *а*. Здесь входной источник питания подключается между базой и эмиттером ($U_{БЭ}$), а выходной – между коллектором и эмиттером ($U_{КЭ}$).



а *б* *в*

Рис. В.23

Эмиттерный и коллекторный переходы биполярного транзистора на рис. В.23, *а* дополнительно показаны в виде УГО диодов.

На рис. В.23, *б* показаны входные статические ВАХ (семейство зависимостей $I_Б$ от $U_{БЭ}$ при различных постоянных $U_{КЭ}$) транзистора, включенного по схеме с рис. В.23, *а*.

На рис. В.23, *в* показаны выходные статические ВАХ (семейство зависимостей $I_К$ от $U_{КЭ}$ при различных постоянных $I_Б$) транзистора, включенного по схеме с рис. В.23, *а*. Пунктирными линиями на рисунке показаны следующие предельные параметры:

– $I_{К\,max}$ – максимально допустимый ток коллектора;

– $U_{КЭ\,max}$ – максимально допустимое напряжение коллектор–эмиттер;

– $P_{К\,max}$ – максимально допустимая мощность рассеяния (в основном на коллекторном переходе, так как только он смещен в обратном направлении).

Так как коллекторный переход расположен близко к эмиттерному, то он оказывает влияние на него. Так, при увеличении обратного напряжения на коллекторном переходе увеличивается ширина его обедненного слоя и толщина базы становится меньше (эффект Эрли, модуляции толщины базы, base thickness modulation), что приводит к более быстрому прохождению дырок через нее и уменьшению вероятности рекомбинации. Этим объясняется соответствующий сдвиг зависимостей на входных ВАХ и увеличение $I_{\text{К}}$ при увеличении $U_{\text{КЭ}}$ и постоянном значении $I_{\text{Б}}$ на выходных ВАХ.

Активный режим является основным, если биполярный транзистор используется для усиления сигналов.

2. Если оба перехода смещены в обратном направлении, то это ***режим отсечки***. Токи, за исключением небольших обратных токов, через транзистор не протекают. В этот режим транзистор начинает переходить при таких напряжениях на эмиттерном переходе, при которых существует запирающий слой и заметной инжекции носителей в базу не наблюдается.

3. Если оба перехода смещены в прямом направлении, то это ***режим насыщения***. В этом режим транзистор переходит тогда, когда $I_{\text{Б}}$ становится настолько большим, что $I_{\text{К}}$ перестает зависеть от него и определяется в основном сопротивлением внешней цепи, т. е. выражение (В.6) не выполняется.

В документации напряжение коллектор–эмиттер для некоторых значений $I_{\text{Б}}$ и $I_{\text{К}}$, ниже которого транзистор будет находиться в режиме насыщения, обозначается как $U_{\text{КЭнас}}$ (см. рис. В.23, *в*) или V_{CEsat} (collector-emitter saturation voltage). Пример показан на рис. 8.38.

Режимы насыщения и отсечки являются основными, когда биполярные транзисторы работают в ключевых и логических схемах.

4. Если коллекторный переход смещен в прямом направлении, а эмиттерный – в обратном, то это ***инверсный режим работы***. Такой режим используют редко, так как из-за несимметричной структуры транзистора коэффициент усиления в нем меньше, чем в активном режиме [136]–[138].

При проектировании для создания схемы «токового зеркала» биполярный транзистор используется в составе транзисторной сборки **BCV62A,215** фирмы Nexperia со следующими максимальными параметрами:

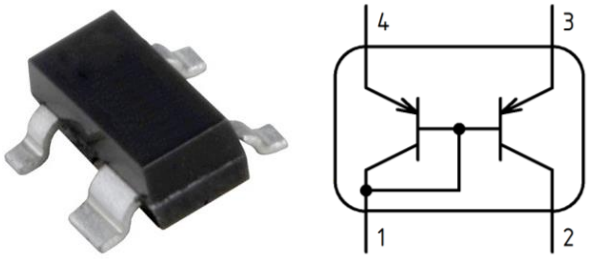
– $I_{\text{К max}} = -100$ мА;

– $U_{\text{КЭ max}} = -30$ В;

– $P_{\text{К max}} = 0{,}25$ Вт.

Документация на транзисторную сборку находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Транзисторы**.

Внешний вид корпуса SOT-143B, в котором она выполнена, показан на рис. В.24, *а*; а ее УГО, изображенное по ГОСТ 2.730–73, – на рис. В.24, *б*.



а *б*

Рис. В.24

Указанная транзисторная сборка представляет собой два одинаковых p-n-p-транзистора с объединенной базой, подключенной к коллектору одного из них. По ГОСТ Р 57436–2017 ее можно отнести к понятию ***полупроводниковый блок*** (semiconductor assembly) – совокупность полупроводниковых приборов, соединенных по определенной электрической схеме и собранных в единую конструкцию, имеющую более двух выводов.

Буквенный код обозначения полупроводникового блока по ГОСТ 2.710–81 – **V**.

В.9. Полевой транзистор

Полевой транзистор (field-effect transistor) по ГОСТ Р 57436–2017 – полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены переносом основных носителей заряда, протекающим через канал и управляемый электрическим полем. Действие полевого транзистора обусловлено носителями заряда одной полярности.

У полевого транзистора в общем случае есть три вывода:

– исток (И) или source (S). От этого вывода в канале движутся основные носители заряда;

– сток (С) или drain (D). К этому выводу в канале движутся основные носители заряда;

– затвор (З) или gate (G). На этот вывод подается управляющий сигнал.

Полевые транзисторы делятся на две группы:

– с управляющим p-n-переходом (JFET, Junction FET). В этих транзисторах управление потоком основных носителей происходит с помощью выпрямляющего электрического перехода (например, p-n-перехода), смещенного в обратном направлении;

– с изолированным затвором. В этих транзисторах затвор электрически изолирован от канала с помощью диэлектрика. Примером являются транзи-

сторы типа металл-окисел-полупроводник (МОП-транзисторы), также называемые MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor FET).

Полевые транзисторы с изолированным затвором в свою очередь также делятся на две группы:

– со встроенным каналом;

– с индуцированным каналом.

Полевой транзистор из каждой приведенной выше группы может быть как с n-каналом, так и с p-каналом.

При проектировании используется MOSFET с индуцированным p-каналом, схематичная структура которого показана на рис. В.25.

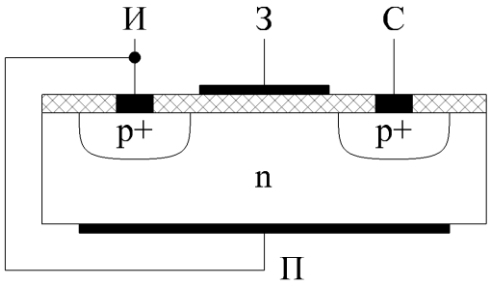
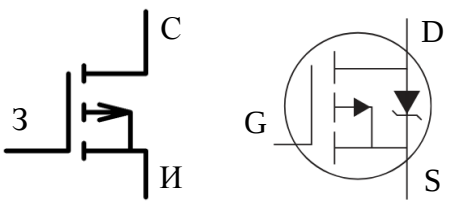


Рис. В.25

На рисунке изображен кристалл полупроводника n-типа с относительно высоким удельным сопротивлением, называемый подложкой (П), в котором созданы две сильнолегированные p-области (расстояние между ними может составлять несколько микрометров). От них отходят выводы истока и стока. Поверхность подложки между истоком и стоком покрыта тонким (порядка 0,1 мкм) слоем диэлектрика (диоксид кремния), на который нанесен металлический вывод – затвор.

В рассмотренной структуре есть паразитные элементы, негативно влияющие на характеристики транзистора. Один из них – биполярный транзистор, для устранения влияния которого подложку и исток обычно соединяют технологической перемычкой, т. е. замыкают его базу и эмиттер. Оставшийся коллекторный переход (между подложкой и стоком) образует диод (body diode), не оказывающий существенного влияния на работу полевого транзистора и иногда используемый в некоторых схемных решениях [138].

На рис. В.26, *а* показано УГО MOSFET с индуцированным p-каналом и с внутренним соединением подложки и истока по ГОСТ 2.730–73, а на рис. В.26, *б* – УГО такого же транзистора с обозначением внутреннего диода, обычно приводимого в зарубежной документации. На рисунках также отмечены названия выводов (в схемах они не указываются).



а *б*

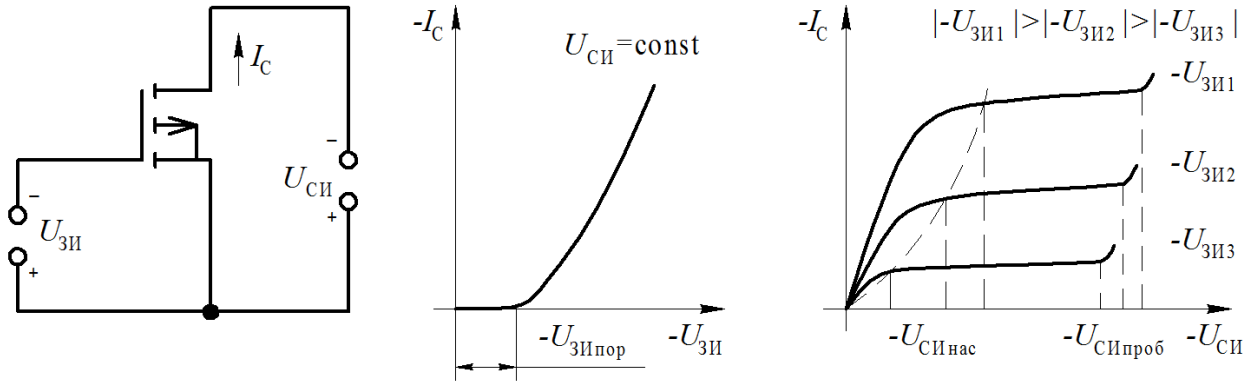
Рис. В.26

Принцип работы p-канального MOSFET состоит в следующем. При нулевом напряжении затвор–исток ($U_{ЗИ}$) и ненулевом напря-

жении сток–исток ($U_{СИ}$) один из p-n-переходов оказывается смещен в обратном направлении, поэтому ток стока ($I_С$) пренебрежимо мал.

При подаче на затвор отрицательного напряжения $U_{ЗИ}$ основные носители заряда (электроны) от поверхности подложки под затвором начинают двигаться внутрь полупроводника. В обратном направлении движутся дырки из подложки и из областей стока и истока. В результате под затвором возникает тонкий инверсный слой с дырочной проводимостью, который и является проводящим каналом между истоком и стоком. С изменением $U_{ЗИ}$ изменяется концентрация носителей заряда в проводящем канале, а также его толщина, т. е. происходит модуляция его сопротивления. При изменении сопротивления канала изменяется величина $I_С$ при приложенном $U_{СИ}$.

На рис. В.27, *а* показано включение полевого транзистора по схеме с общим истоком. Здесь входной источник питания подключается между затвором и истоком, а выходной – между стоком и истоком.



а *б* *в*

Рис. В.27

Напряжение $U_{ЗИ}$, при котором индуцируется канал, называется пороговым и обозначается $U_{ЗИпор}$ или $V_{GS(th)}$ (gate threshold voltage). Так как канал возникает постепенно, то для исключения неоднозначности в его определении обычно задается определенное значение $I_С$, при превышении которого считается, что потенциал затвора достиг порогового значения.

На рис. В.27, *б* приведена передаточная (стоко-затворная) характеристика (зависимость $I_С$ от $U_{ЗИ}$ при постоянном $U_{СИ}$). По этой характеристике определяется количественная оценка управляющего действия затвора.

На рис. В.27, *в* приведены выходные статические ВАХ (семейство зависимостей $I_С$ от $U_{СИ}$ при различных постоянных $U_{ЗИ}$) транзистора, вклю-

ченного по схеме с рис. В.27, *а*. При увеличении $U_{\text{СИ}}$ ширина канала около стока уменьшается. При напряжении насыщения $U_{\text{СИнас}}$ происходит перекрытие канала и при дальнейшем увеличении $U_{\text{СИ}}$ увеличивается длина перекрытой его части и, следовательно, растет сопротивление. В итоге $I_{\text{С}}$ почти не изменяется. При превышении некоторого значения $U_{\text{СИ}}$, которое называется пробивным напряжением и обозначается как $U_{\text{СИпроб}}$ или $V_{(BR)DSS}$ (drain-to-source breakdown voltage), наступает лавинный пробой перехода около стока [131].

Входные статические ВАХ для полевых транзисторов обычно не рассматриваются из-за пренебрежимо малого тока затвора.

К некоторым неуказанным выше параметрам также относятся:

– $R_{\text{СИотк}}$ или $R_{DS(on)}$ (static drain-to-source on-resistance) – сопротивление открытого канала между стоком и истоком при заданных $I_{\text{С}}$ и $U_{\text{ЗИ}}$;

– $I_{\text{С max}}$ – максимально допустимый ток стока;

– $U_{\text{ЗИ max}}$ – максимально допустимое напряжение затвор–исток, после которого происходит повреждение изолирующего оксидного слоя под затвором (например, от статического электричества);

– P_{max} – максимально допустимая мощность рассеяния.

Пример MOSFET с индуцированным р-каналом и используемое при проектировании схемное решение приведены в В.11.

В.10. Микросхемы

Некоторые определения по ГОСТ Р 57435–2017 [140]:

– ***интегральная микросхема*** (микросхема, integrated circuit) – микроэлектронное изделие, состоящее из совокупности элементов (компонентов), электрически соединенных или не соединенных между собой в объеме и (или) на поверхности подложки (кристалла), и предназначенное для выполнения заданной функции;

– ***аналоговая микросхема*** (linear integrated circuit) – микросхема, предназначенная для преобразования и (или) обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной или прерывистой функции.

– ***цифровая микросхема*** (digital integrated circuit) – микросхема, предназначенная для преобразования и (или) обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции.

При проектировании будут использоваться только аналоговые микросхемы, буквенный код обозначения которых по ГОСТ 2.710–81 – **DA**.

УГО аналоговых микросхем выполняются по ГОСТ 2.759–82. В каждом УГО указывается функция микросхемы. В случае использования обозначения функции, не установленного в стандарте, его необходимо пояснять на поле схемы. При проектировании таким обозначением будет **dB** из УГО микросхем аттенюаторов.

Каждая микросхема представляет собой законченное устройство, выполняющее одну или несколько функций (например, усиление сигнала, стабилизация напряжения питания, и др.), но практически всегда требующее подключения внешних компонентов:

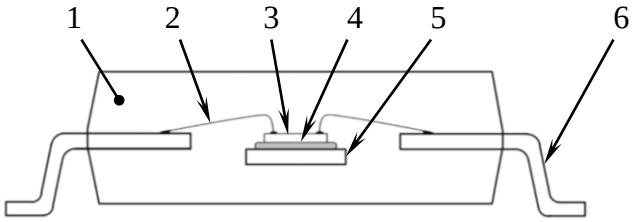
– около выводов питания необходимы блокировочные конденсаторы;

– в микросхемах стабилизаторов напряжения блокировочные конденсаторы по выходу ко всему прочему предотвращают самовозбуждение;

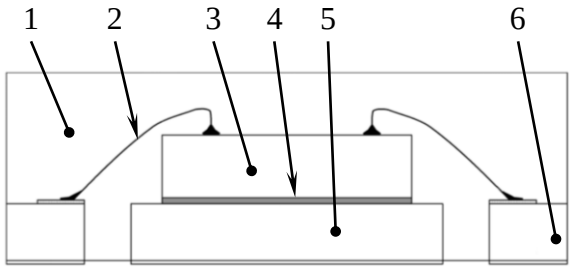
– в микросхемах стабилизаторов напряжения с регулируемым выходом необходим резистивный делитель напряжения;

– для работы микросхем усилителей, применяемых при проектировании, необходимо обеспечить заданный уровень тока и др.

Обычно рекомендации по внешним подключениям микросхем приводятся производителями в документации.



а



б

1 – корпус (формовочная смола); *2* – разварочный (соединительный) провод; *3* – кристалл интегральной микросхемы; *4* – посадочный материал; *5* – посадочная площадка (основание); *6* – рамка выводов

Рис. В.28 [141]

Корпус интегральной микросхемы является несущей конструкцией, предназначенной для защиты кристалла от воздействий внешней среды и для соединения с внешними цепями с помощью выводов.

По конструктивным решениям проблемы отвода тепла все корпуса для полупроводниковых приборов и микросхем делятся на три группы [142]:

– корпуса, не предусматривающие посадку прибора на теплоотвод (радиатор). Такие решения обычно применяются для маломощных приборов, не требующих специальных мер охлаждения. Это пластмассовые корпуса типа DIP, SO (SOIC), TO-92, MSOP (см. рис. В.28, *а*, 8.23 и 8.42), металлокерамические корпуса с планарным расположением выводов и др.;

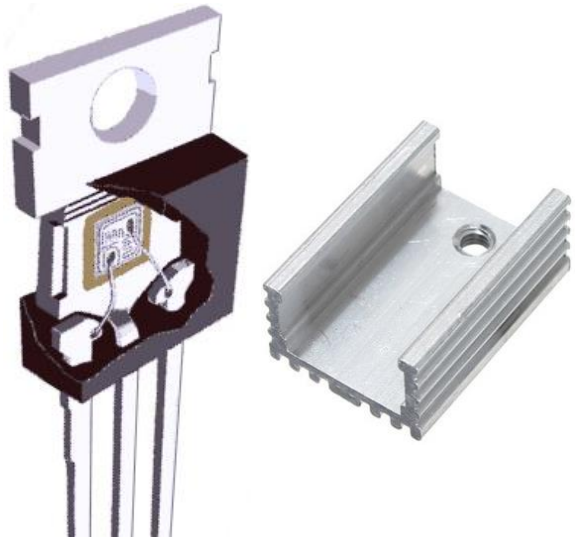


Рис. В.29

– корпуса, использующие в качестве радиатора металлизацию на ПП. К этой группе относятся SOT-223, QFN (см. рис. В.28, *б*, 8.23 и 8.42), SO (с «открытым» кристаллодержателем) и др.;

– корпуса, предусматривающие посадку прибора на теплоотвод (радиатор). Применяются для мощных силовых приборов, для которых необходимы специальные меры охлаждения. Обычно это пластмассовые корпуса типа TO-218, TO-220, TO-3, TO-258, SIL-9 и др.

На рис. В.29 показано внутреннее устройство корпуса TO-220-3 и один из возможных радиаторов для него. Крепление осуществляется с помощью винтового соединения напрямую или через изоляционную прокладку.

В.11. Схемы защиты от переполюсовки

Подача напряжения питания обратной полярности на изделие может привести к необратимому выходу из строя его составных компонентов: электролитических конденсаторов, полупроводниковых приборов, микросхем. Для предотвращения этого зачастую предусматривают специальную защиту.

В столбце 14 индивидуального задания на проектирование указана одна из следующих схем ЗП:

1. **ЗП-1**. Данная схема, показанная на рис. В.30, представляет собой диод *VD1*, включенный последовательно с нагрузкой $R_{\text{Н}}$ (под нагрузкой понимается защищаемая схемой часть устройства). При неправильной полярности

входного напряжения питания p-n-переход диода оказывается смещен в обратном направлении, т. е. обладает большим сопротивлением, и ток, протекающий через него, пренебрежимо мал.

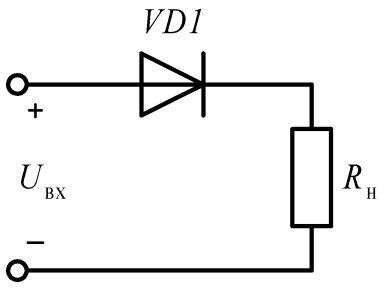


Рис. В.30

При проектировании используется диод **1N4007** (см. рис. В.11, *а*) фирмы Diodes Incorporated с наибольшим мгновенным значением обратного напряжения 1000 В и действующим обратным напряжением 700 В. Прямая ветвь ВАХ этого диода приведена на рис. В.31.

Указанный диод находится в библиотеке **VD**, а документация на него – в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Диоды**.

Недостатки схемы ЗП-1:

– потеря части входного напряжения, что при низковольтном ограниченном питании может оказаться неприемлемым. Так, по рис. В.31 при токе потребления устройства 150 мА и температуре кристалла 25 °С (параметр T_j) падение напряжения на диоде составит 0,8 В;

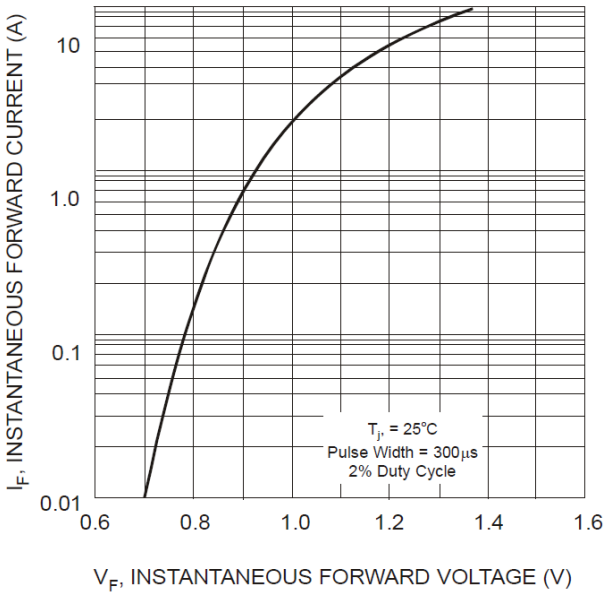


Рис. В.31

– при больших токах, потребляемых устройством, на диоде будет рассеиваться большая мощность, т. е. он будет сильно греться. Температура кристалла без теплоотвода (радиатора) рассчитывается по формуле:

$$T_j = P \cdot R_{\theta JA} + T_A, \qquad \text{(В.7)}$$

где P – мощность, рассеиваемая кристаллом, Вт; $R_{\theta JA}$ – тепловое сопротивление между кристаллом и окружающей средой, приводимое в документации, °С/Вт; T_A – температура окружающей среды, °С [143].

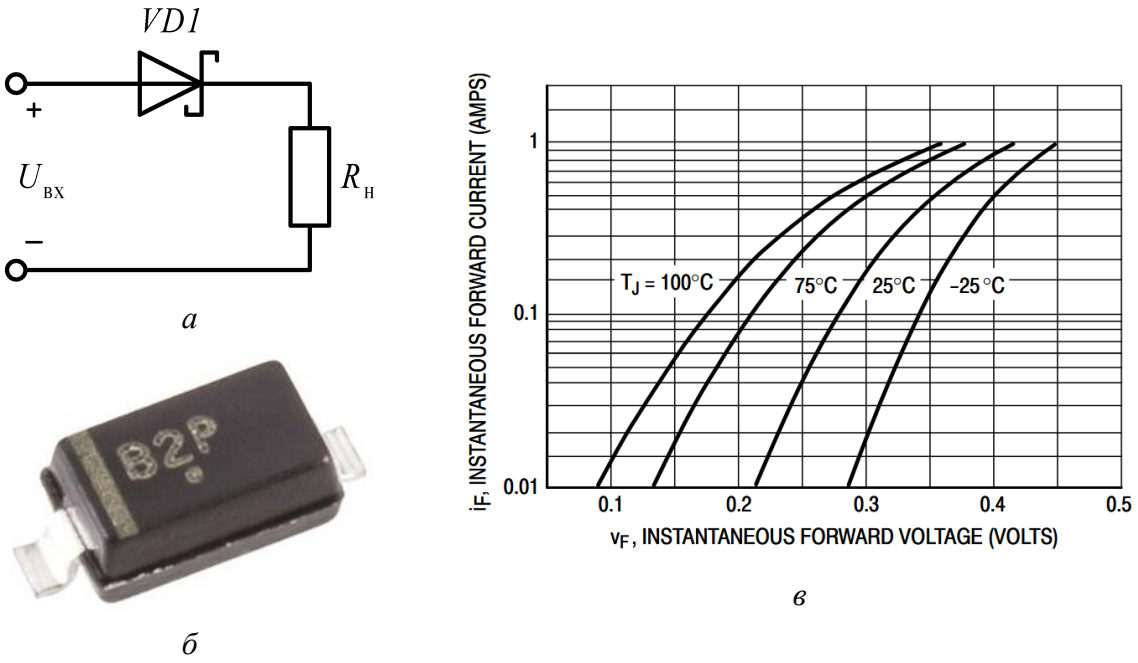
Например, по рис. В.31 при токе потребления устройства 1 А (максимальный средневыпрямленный прямой ток) и падении напряжения на диоде 0,92 В для комнатной температуры (25 °С) температура кристалла составит:

$$T_j = 1 \cdot 0{,}92 \cdot 100 + 25 = 117\ °\text{C}.$$

Полученный результат находится близко к верхней границе рабочего диапазона температур кристалла, составляющего по документации от минус

65 до плюс 150 °С. Продолжительная работа в таком режиме может плохо сказаться на сроке службы диода.

2. **ЗП-2**. В данной схеме, показанной на рис. В.32, *а*, вместо включенного последовательно с нагрузкой диода, как было в схеме ЗП-1, устанавливается диод Шоттки.



а

б

в

Рис. В.32

При проектировании используется диод Шоттки **MBR0520LT1G** фирмы ON Semiconductor в корпусе SOD-123 (рис. В.32, *б*) с наибольшим значением обратного напряжения 20 В, максимальным средневыпрямленным прямым током 0,5 А и максимальным рабочим диапазоном температур кристалла от минус 65 до плюс 125 °С. Прямая ветвь ВАХ этого диода Шоттки приведена на рис. В.32, *в*.

Указанный диод Шоттки находится в библиотеке **VD**, а документация на него – в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Диоды**.

Достоинства схемы ЗП-2 в сравнении со схемой ЗП-1:

– меньшие потери входного напряжения питания. Так, по рис. В.32, *в* при токе потребления нагрузки 150 мА и температуре кристалла 25 °С падение напряжения на диоде Шоттки составит 0,29 В. Однако в некоторых случаях и оно может оказаться неприемлемым;

– меньшая рассеиваемая мощность.

Недостаток схемы ЗП-2 – малое максимальное обратное напряжение.

3. **ЗП-3**. В данной схеме, показанной на рис. В.33, используется диод из схемы ЗП-1, но установленный параллельно нагрузке. Предполагается, что

при использовании схем ЗП-3 и ЗП-4 со стороны источника питания последовательно с нагрузкой установлен плавкий предохранитель.

Принцип работы схемы следующий. При правильной полярности входного напряжения питания диод *VD1* не оказывает влияния на работу нагрузки, за исключением пренебрежимо малого обратного тока, протекающего через него. При неправильной полярности входного напряжения питания p-n-переход диода *VD1* оказывается смещен в прямом направлении и через него начнет протекать большой прямой ток, который выведет из строя плавкий предохранитель.

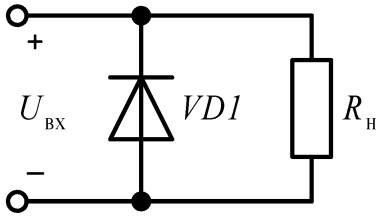


Рис. В.33

Для правильной работы схемы должны выполняться следующие условия:

– номинальный ток плавкого предохранителя должен быть больше потребляемого нагрузкой тока. В этом случае в рабочем режиме он не выйдет из строя;

– предельный импульсный ток плавкого предохранителя и время такого импульса должны быть меньше, чем аналогичные параметры у диода *VD1*. В этом случае плавкий предохранитель выйдет из строя раньше диода.

Достоинство схемы ЗП-3 – отсутствие влияния диода на нагрузку при правильной полярности входного напряжения.

Недостатки схемы ЗП-3 проявляются при подаче неправильной полярности входного напряжения питания:

– требуется замена плавкого предохранителя, а после каждой замены – проверка работоспособности диода;

– к нагрузке будет приложено небольшое напряжение обратной полярности, равное падению напряжения на диоде при прямом смещении (см. рис. В.31). В некоторых случаях это может оказаться неприемлемым.

4. **ЗП-4**. Данная схема, показанная на рис. В.34, отличается от схемы ЗП-3 установкой параллельно нагрузке диода Шоттки из схемы ЗП-2.

Достоинство схемы ЗП-4 в сравнении со схемой ЗП-3 – меньшее напряжение обратной полярности, приложенное к нагрузке при подаче неправильной полярности входного напряжения питания, из-за меньшего падения напряжения на диоде Шоттки при его прямом смещении (см. рис. В.32, *в*).

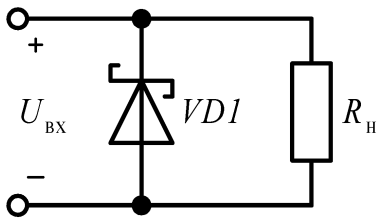


Рис. В.34

Недостаток схемы ЗП-4 по сравнению со схемой ЗП-3 – меньшее допустимое значение входного напряжения питания, обусловленное меньшим максимальным обратным напряжением диода Шоттки.

5. **ЗП-5**. Данная схема, показанная на рис. В.35, представляет собой однофазную мостовую выпрямительную схему *V1* (диодный мост).

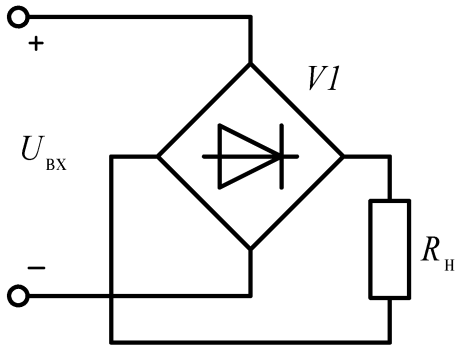
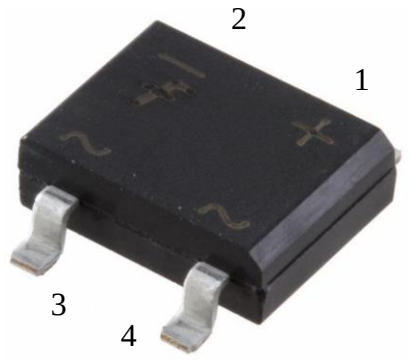
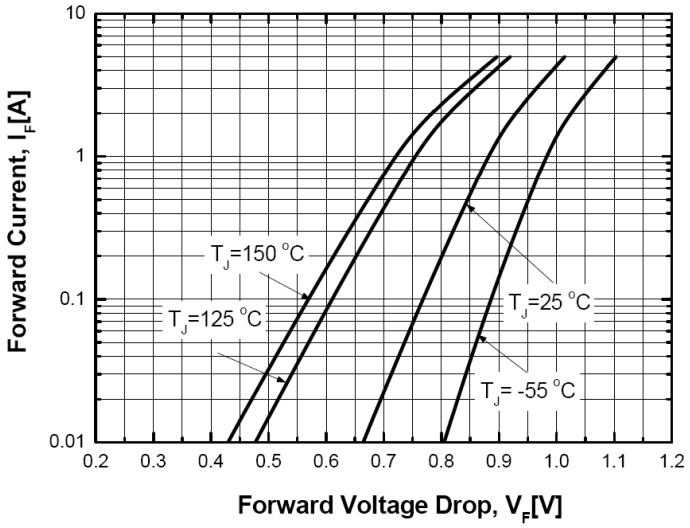


Рис. В.35

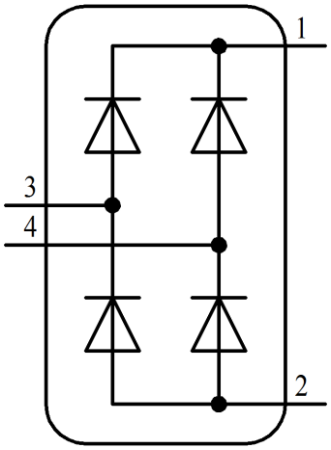
При проектировании используется диодный мост **DF06S** фирмы ON Semiconductor в корпусе SDIP-4 (внешний вид с обозначением номеров выводов показан на рис. В.36, *а*) с максимальным постоянным обратным напряжением 600 В, максимальным средневыпрямленным прямым током 1 А и максимальным рабочим диапазоном температур кристалла от минус 55 до плюс 150 °С. Прямая ветвь ВАХ каждого диода из этого диодного моста приведена на рис. В.36, *б*.



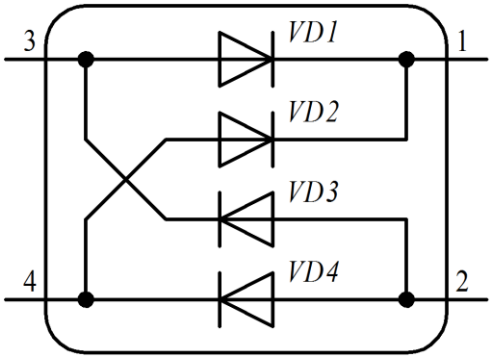
а



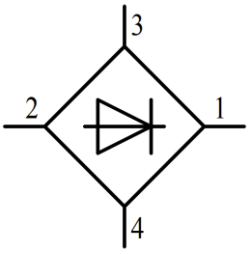
б



в



г



д

Рис. В.36

Указанный диодный мост находится в библиотеке **VD**, а документация на него – в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Диоды**.

Возможные варианты УГО диодного моста по ГОСТ 2.730-73 показаны на рис. В.36, *в*, *г*, *д*. На рис. В.36, *г* диодам внутри диодного моста условно присвоены позиционные обозначения для пояснения принципа работы.

Достоинство схемы ЗП-5 – при любой полярности входного напряжения питания, поданного на выводы 3 и 4, на нагрузку поступит напряжение правильной полярности, т. е. на выводе 1 всегда будет «плюс», а на выводе 2 – «минус» (ток по рис. В.36, *г* потечет либо через диоды *VD1* и *VD4*, либо через диоды *VD2* и *VD3*).

Недостатки схемы ЗП-5:

– потеря большой части входного напряжения питания, так как последовательно оказываются включены два диода. В случае низковольтного ограниченного питания это, скорее всего, окажется неприемлемым. Например, по рис. В.36, *б* при токе потребления устройства 150 мА и температуре кристалла 25 °С падение напряжения составит порядка 1,6 В;

– большая рассеиваемая мощность при больших токах.

6. **ЗП-6**. Данная схема, показанная на рис. В.37, представляет собой MOSFET с индуцированным р-каналом и с внутренним соединением подложки и истока. Входное напряжение питания подается между стоком и затвором, а нагрузка подключается между истоком и затвором.

На рис. В.37 у транзистора *VT1* условно отмечено расположение внутреннего диода между стоком и истоком.

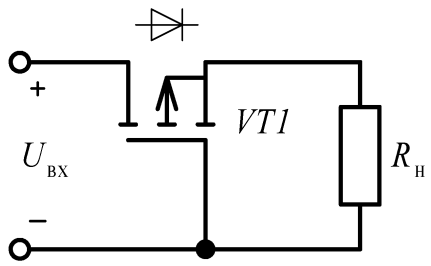


Рис. В.37

При проектировании используется полевой транзистор **IRLML2244TRPbF** фирмы International Rectifier в корпусе SOT-23-3 (см. рис. В.17, *а*). Он находится в библиотеке **VT**, а документация на него – в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Транзисторы**.

Принцип работы схемы следующий. При правильной полярности входного напряжения питания внутренний диод транзистора *VT1* оказывается под прямым смещением (по документации при токе 200 мА падение напряжения на нем составит около 0,6 В). Остальная часть входного напряжения окажется приложенной между истоком и затвором транзистора, причем потенциал на затворе будет меньше, чем на истоке. Если это напряжение окажется больше $U_{ЗИпор}$ (для заданного транзистора максимальное значение – 1,1 В),

то между стоком и истоком индуцируется канал, сопротивление которого резко падает с увеличением этого напряжения (зависимость для заданного транзистора приведена на рис. В.38) и шунтирует внутренний диод.

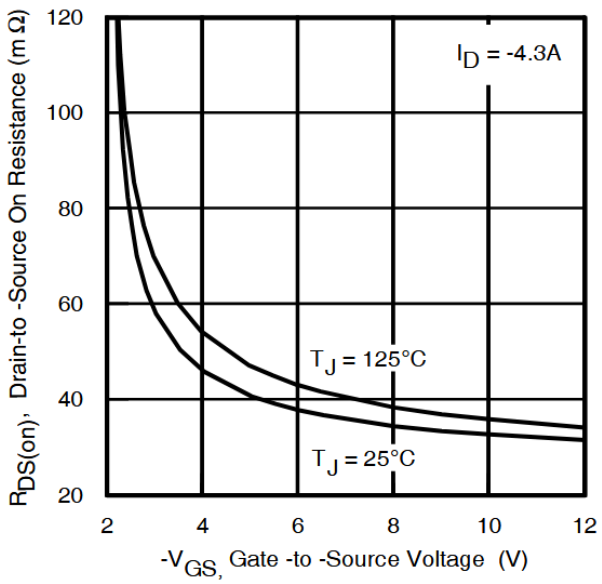


Рис. В.38

При неправильной полярности входного напряжения питания внутренний диод транзистора *VT1* находится под обратным смещением, и все напряжение приложено к нему. В результате ток в нагрузку не поступает.

Достоинства схемы ЗП-6:

– практически отсутствуют потери входного напряжения питания при его правильной полярности. Так, по рис. В.38 при токе стока 150 мА (кривые на рисунке при токах менее 4,3 А почти не меняются) и напряжении между затвором и истоком 3 В для температуры кристалла +25 °С сопротивление канала составит 60 мОм, а напряжение сток–исток – 9 мВ;

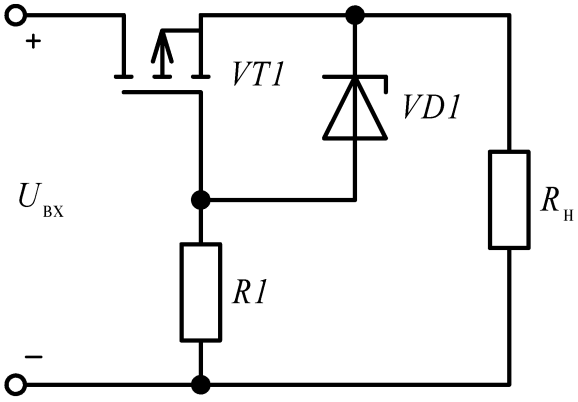


Рис. В.39

– небольшая рассеиваемая мощность (например, для приведенных выше данных – 1,3 мВт).

Недостатки схемы ЗП-6:

– небольшое максимальное обратное напряжение сток–исток (для указанного транзистора – минус 20 В);

– небольшое максимальное значение напряжения затвор–исток (для указанного транзистора – ±12 В).

Последний недостаток устраняется добавлением стабилитрона *VD1* с напряжением стабилизации, меньшим $U_{ЗИ\,max}$, и токоограничивающего резистора *R1* (рис. В.39).

Г. Справочная информация по Altium Designer

Г.1. Настройки окна Preferences

В табл. Г.1–Г.4 приведено описание изменений в настройках из окна **Preferences** (команда DXP ⇒ Preferences), происходящих в результате загрузки профиля **ИДРЭС-AltiumPreferences.DXPPrf** из 3.2.2. Кроме того, даны комментарии и для некоторых неизмененных настроек.

Таблица Г.1

Настройки раздела System

Подраздел	Настройка	Примечание
General	Опция **Reopen Last Workspace** отключена	При запуске САПР последние группы проектов не будут автоматически открываться
	Опция **Open Home Page if no documents open** отключена	При запуске САПР не открывается домашняя страница
View	Опция **Autosave desktop** включена (по умолчанию)	Автоматическое сохранение расположения панелей (см. подраздел Desktop Layouts)
	Опция **Restore open documents** отключена	При запуске САПР не будут восстанавливаться документы, оставшиеся открытыми при последнем завершении работы
	Опция **Use animation** отключена	Отключение анимации сворачивания плавающих вспомогательных панелей
Navigation	В группе **Highlight Methods** включена опция **Connective Graph** и ползунок масштабирования установлен в среднее положение	См. п. 6 из Г.13
	В группе **Cross Select Mode** опции **Cross Selection** и **Masking** включены, а опция **Nets** отключена	См. Г.35
File Types	Отключено использование файлов с расширениями «.lib», «.pcb» и «.sch»	Отключены файлы САПР P-CAD, которые в Altium Designer можно открыть только командой **File ⇒ Import Wizard**
New Document Defaults	–	Задаются шаблоны документов и (или) проектов, используемых по умолчанию при создании новых документов и (или) проектов. Например, можно создать пустой лист схемы с рамкой и указать его в качестве заготовки для всех новых схем (Schematic) из проектов ПП (PCB Project) и вне проектов (Free Documents)

Окончание таблицы Г.1

Подраздел	Настройка	Примечание
Desktop Layouts	–	Настраивается расположение панелей: – **Apply the default layout** – сброс расположения панелей на установленные в САПР по умолчанию; – **Apply the startup layout** – сброс расположения панелей к виду, который был при загрузке САПР; – **Load a saved layout** – загрузить сохраненное расположение панелей (например, при проектировании расположение панелей сохранено в файле «**ИДРЭС-AltiumDesktopLayouts.TLT**» из папки **…\ИДРЭС\Профили**); – **Save the current layout** – сохранить текущее расположение панелей в файл.

Настройки подразделов General и View (см. табл. Г.1 и 3.2.2) связаны с возможной работой на одном компьютере нескольких студентов, в результате чего при открытии Altium Designer не потребуется закрывать чужие документы, а сам запуск станет быстрее.

Кроме того, в дополнение к стандартным панелям в каждом редакторе будет запускаться панель **Inspector** справа от рабочего поля (см. Г.10).

Таблица Г.2

Настройки раздела Data Management

Подраздел	Настройка	Примечание
Backup	–	См. п. 3 из 2.7
Local History	–	
Templates	–	Указывается путь к папке с шаблонами рамок. Рамки из этой папки отображаются в списках **Design ⇒ Templates ⇒ General Templates** и **Design ⇒ Document Options ⇒ Template**
Installed Libraries	Из списка удалены библиотеки **Miscellaneous Connectors.IntLib** и **Miscellaneous Devices.IntLib**	УГО компонентов в указанных библиотеках не соответствуют требованиям ЕСКД. Описание настроек приведено в примечании к п. 2 из Г.9

Таблица Г.3

Настройки раздела Schematic

Подраздел	Настройка	Примечание
Default Units	Опция **Use Metric Unit System** включена	Включение метрической системы единиц измерения (миллиметры)

Продолжение таблицы Г.3

Подраздел	Настройка	Примечание
General	Опция **Break Wires At Autojunctions** включена (по умолчанию)	Автоматическое создание вершины линии электрической связи в месте добавления ответвления
	Опция **Components Cut Wires** включена (по умолчанию)	Если при добавлении компонента оба его пина попадают на один сегмент линии электрической связи, то кроме автоматического подключения пинов к цепи будет удален участок линии между пинами
	Опция **Convert Cross-Junctions** отключена (по умолчанию)	С включенной опцией место с двумя ответвлениями из одной точки будет автоматически преобразовано в два с углами 45° (см. п. 6 из табл. 6в в ГОСТ 2.721-74).
	Опция **Display Cross-Overs** отключена (по умолчанию)	С включенной опцией места пересечений линий электрической связи отображаются в виде U-образной перемычки. Не предусмотрено в ЕСКД
	Опция **Pin Direction** отключена	Отключение отображения меток, показывающих электрический тип пинов в УГО (например, метка двунаправленного вывода). Настройка отключена, так как вид автоматически добавляемых меток не соответствует требованиям ЕСКД
	В группе **Alpha Numeric Suffix** выбрана опция **Numeric, separated by a dot** '**.**'	Позиционные обозначения УГО, выполненного разнесенным способом, имеют числовой индекс, который по ЕСКД должен быть отделен точкой от общего позиционного обозначения (см. рис. 8.2)
	В группе **Pin Margin** в поле **Name** задано **0.5mm**, а в поле **Number** – **1.5mm**	Общий отступ имени и номера вывода в УГО компонентов. Для каждого вывода данные значения можно задать индивидуально в его свойствах, включив опции **Customize Position**
Graphical Editing	Опция **Convert Special Strings** включена	Отображение содержимого специальных строк в том виде, в котором они выводятся на печать. Например, содержание параметра Comment, в котором обычно указывается ссылка на другой параметр (CI_Value или PartNumber)
	Опция **Single '\' Negation** включена	Если указанный символ поставить первым в имени цепи, то над всем именем появится горизонтальная черта (обозначение инверсии). Для инверсии отдельного символа указанный знак необходимо ставить сразу после него

Продолжение таблицы Г.3

Подраздел	Настройка	Примечание
Graphical Editing	Опция **Mark Manual Parameters** отключена (по умолчанию)	Используется для визуальной индикации (в виде точки) параметров, в свойствах которых отключена опция **Autoposition** (автоматическое размещение).
	Опция **Click Clears Selection** включена (по умолчанию)	Используется для снятия выделения со всех объектов щелчком ЛКМ в любом свободном от выделенных объектов месте рабочего поля
	Опция **Shift Click To Select** включена только для примитива **Pin** (кнопка Primitives)	Пины будут выделяться с зажатой клавишей **Shift**. Опция включена для удобства рисования схем, так как возможное выделение пинов из состава УГО компонентов при их расстановке мешается и замедляет работу
	Опция **Always Drag** включена (по умолчанию)	УГО перемещается с линями электрической связи, подключенными к его пинам. Перемещение УГО без линий электрической связи осуществляется с зажатой клавишей **Ctrl**. С отключенной опцией описанные действия производятся наоборот
	Опция **Display Strings As Rotated** включена (по умолчанию)	Позволяет корректно отобразить повернутый текст (например, в графе 26 рамки)
	Опция **Protect Locked Objects** отключена (по умолчанию)	Если опция отключена, то заблокированные объекты попадают под выделение мышкой, но при попытке их перемещения появляется окно с предупреждением. Если опция включена, то заблокированные объекты не попадают под выделение мышкой (ни под групповое, ни под одинарное). Свойства заблокированного объекта можно открыть двойным щелчком ЛКМ по нему
	Опция **Reset Parts Designators On Paste** включена (по умолчанию)	При вставке скопированного компонента его позиционное обозначение (Designator) будет сброшено. Отключение данной опции полезно при вырезании и вставке участка схемы с одного листа на другой, когда необходимо сохранить позиционные обозначения вставленных компонентов
	В группе **Auto Pan Options** для опции **Style** выбрано значение **Auto Pan Off**	Отключение автоматического панорамирования при приближении курсора мышки к границе рабочей области во время выполнения какой-либо команды

Продолжение таблицы Г.3

Подраздел	Настройка	Примечание
Compiler	В группе **Errors & Warnings** включены опции **Fatal Error** и **Error** и отключена опция **Warning** (по умолчанию)	Отображение результатов проверки в реальном времени (подчеркивание фигурной линией) при нарушении правил со следующими степенями серьезности: – **Fatal Error** – критическая ошибка; – **Error** – ошибка; – **Warning** – предупреждение. Цвет подчеркивания определяется нарушением с наибольшей степенью серьезности. Правила настраиваются на вкладке **Error Reporting** окна свойств проекта (команда Project ⇒ Project Options)
	В группе **Auto-Junctions** отключена опция **Display On Buses**	Отключено отображение автоматического обозначения электрического соединения (точка) на шинах
	В группе **Auto-Junctions** для столбца **On Wires** для опции **Size** выбрано значение **Small**	Задан размер автоматического обозначения электрического соединения (точка) на линиях электрической связи
	В группе **Manual Junctions Connection status** для опции **Size** выбрано значение **Small**	Задан размер ручного допустимого обозначения электрического соединения (точка) на линиях электрической связи. Под «допустимым» понимается установка обозначения в точку, от которой отходит три или четыре участка линии электрической связи. В противном случае размер обозначения определяется настройкой элемента **Junction** из подраздела **Default Primitives**
Grids	В группе **Grid Options** в списке **Visible Grid** выбрана опция **Dot Grid**, а в поле **Grid Color** выбран черный цвет	Сетка в рабочем поле отображается в виде точек черного цвета
	В группе **Metric Grid Presets** установлены значения шагов сетки **0.5**, **1** и **3** мм (для удобства работы для Electrical Grid значения уменьшены на треть)	**Snap Grid** – сетка для привязки курсора мышки при рисовании графических объектов; **Electrical Grid** – сетка, в которой осуществляются подключения выводов компонентов; **Visible Grid** – видимая в рабочем поле сетка. В списке, открываемом при щелчке ПКМ, доступны различные команды, например: – **Remove** (удаление выбранной сетки); – **Add Grid Setting** (добавление сетки); – **Move Up** и **Move Down** (изменение положения выбранной сетки в списке).

Окончание таблицы Г.3

Подраздел	Настройка	Примечание
Break Wire	В группе **Cutting Length** для опции **Snap Grid Size Multiple** выбрано значение **2**	При использовании команды **Edit ⇒ Break Wire** будет удален участок линии электрической связи размером с два узла активной в данный момент сетки
Default Primitives	Опция **Permanent** включена	Заданные настройки примитивов не изменяются при изменении их параметров в редакторе
	Настройки примитивов в метрической системе измерения приведены в табл. Г.5	Настройки для каждого примитива могут задаваться на вкладке **Mils** (дюймовая система измерения) и на вкладке **MMs** (метрическая система измерений). Назначение кнопок на вкладках: – **Edit Values** – изменение настроек выбранного примитива; – **Reset** – сброс настроек примитива в выбранной системе измерения; – **Reset All** – сброс настроек всех примитивов в выбранной системе измерения. Назначение остальных кнопок: – **Save As** – сохранение настроек примитивов в файл; – **Load** – загрузка настроек примитивов из файла; – **Reset All** – сброс настроек примитивов для двух систем измерения

Таблица Г.4

Настройки раздела PCB Editor

Подраздел	Настройка	Примечание
General	Опция **Smart Component Snap** включена (по умолчанию)	При выборе компонента курсор мышки привязывается к центру ближайшей КП. При отключенной опции привязка осуществляется к точке начала координат посадочного места
	Опция **Protect Locked Objects** включена	См. аналогичную опцию из подраздела Graphical Editing в табл. Г.3
	Опция **Display popup selection dialog** включена	Если под курсором мышки оказывается несколько разных объектов, то выбор нужного осуществляется во всплывающем окне. При отключенной опции объекты можно циклически перебирать последовательными щелчками ЛКМ. Всплывающее окно выбора объектов в этом случае открывается двойным щелчком ЛКМ

Продолжение таблицы Г.4

Подраздел	Настройка	Примечание
General	Опция **Click Clears Selection** включена (по умолчанию)	См. аналогичную опцию из подраздела Graphical Editing в табл. Г.3
	Опция **Smart Track Ends** включена (по умолчанию)	Связывающие линии выходят из свободных вершин размещенных трасс, а не от ближайших объектов (КП, переходных отверстий или вершин, находящихся внутри трасс). При смене опции для обновления линий соединения в рабочем поле необходимо зажать ЛКМ на каком-нибудь объекте или передвинуть его
	В группе **Others** в списке **Comp Drag** выбрано значение **Connected Tracks**	При перемещении компонента командами **Edit ⇒ Move ⇒ Drag** или **Edit ⇒ Move ⇒ Component** (или последовательным нажатием клавиш **M ⇒ D** или **M ⇒ C**) подключенные к его КП трассы перемещаются вместе с ним
	В группе **Autopan Options** в списке **Style** выбрано значение **Disable**	Отключение автоматического панорамирования при приближении курсора мышки к границе рабочей области во время выполнения какой-либо команды
	Опция **Repour Polygons After Modification** включена	Автоматическое перестроение полигонов Polygon Pour после их изменения
Board Insight Display	Опция **Gray Scale Other Layers** отключена	См. п. 9 из Г.38
Board Insight Color Overrides	В группе **Base Pattern** выбрана опция **Solid (Override Color)**	Все объекты, подключенные к цепи, будут полностью окрашиваться в цвет, заданный для этой цепи. По умолчанию была включена опция Checker Board (чередование цвета цепи и цвета слоя как на шахматной доске)
Interactive Routing	В разделе **Favorites** с помощью кнопки **Favorite Interactive Routing Widths** удалены все значения ширин трасс в дюймах и заданы значения от 0,2 до 1,6 мм с шагом 0,1 мм, а также значение 0,25 мм. Кроме того, скрыт столбец с переводом значений из миллиметров в дюймы	Значения из этого списка выбираются при интерактивной трассировке комбинацией клавиш **Shift+W**
	Для опции **Track Width Mode** выбрано значение **Rule Minimum**	См. п. 2.4 из Г.42

Окончание таблицы Г.4

Подраздел	Настройка	Примечание
Interactive Routing	В группе **Routing Conflict Resolution** отключены опции **Stop At First Obstacle**, **AutoRoute On Current Layer** и **AutoRoute On Multiple Layers**	См. Г.42
	В группе **Interactive Routing Options** включена опция **Display Clearance Boundaries**	
True Type Fonts	Опция **Embed TrueType fonts inside PCB documents** включена	Использованные шрифты типа TrueType будут встроены в документ, что позволит просматривать его на других компьютерах в таком же виде. Если опция отключена, то шрифт типа TrueType, использованный в документе и отсутствующий в системе, будет заменен на указанный в списке **Substitution font**
Defaults	Опция **Permanent** включена	См. аналогичные настройки из подраздела Default Primitives в табл. Г.3
	Настройки примитивов приведены в табл. Г.6	
Layer Colors	По умолчанию выбран набор цветов **Default**	Сохранение настроек в отдельный файл осуществляется командой **Save As color profile**, а порядок подключения такого файла указан в п. 6 из 5.2.1. Назначение используемых профилей из папки **…ИДРЭС\Профили**: – **ИДРЭС-AltiumFootprintGray** – для рисунка посадочного места в оттенках серого цвета (см. п. 17.1 из 5.2.3); – **ИДРЭС-AltiumPCB** – для работы с ПП и посадочным местом (см. п. 13 из 12.1); – **ИДРЭС-AltiumPCBGray** – для рисунков ПП в оттенках серого цвета (см. п. 27.9 из 12.3 и п. 29 из 12.5)

Таблица Г.5

Настройки примитивов для редакторов схем и УГО

Примитив	Назначение	Настройка
Arc	Дуга	**Color** (цвет) – черный
Bezier	Кривая Безье	**Color** (цвет) – темно-синий цвет
Bus Entry	Вход в шину	Координаты начальной и конечной точек: **Location X1** и **Y1** – 0mm; **Location X2** и **Y2** – **3mm**
Comment	Системный параметр компонента	**Font** (шрифт) – GOST type B, 12, Italic
Designator		

Окончание таблицы Г.5

Примитив	Назначение	Настройка
Ellipse	Эллипс	**Border Width** (ширина линии контура) – Small; **Border Color** (цвет контура) – черный; опция **Draw Solid** (заполнение цветом) отключена
Elliptical Arc	Дуга эллипса	**Color** – черный
Net Label	Метка цепи	**Font** – GOST type B, 12
Parameter	Параметр	**Font** – GOST type B, 12, Italic
Pin	Вывод	**Line Width** (ширина линии) – Small. В группах **Name Position and Font** и **Designator Position and Font** включены опции **Use local font setting** и заданы настройки шрифта – GOST type B, 12
Polygon	Полигон	**Border Width** – Small
Port	Порт	**Fill Color** (цвет заполнения) – белый; **Border Color** – белый; **Font** – GOST type B, 12
Power Object	Порт питания	**Style** (стиль) – GOST Bar; **Net** (цепь) – GND; опция **Show Net Name** отключена; **Orientation** (ориентация) – 270 Degrees; **Font** – GOST type B, 12
Rectangle	Прямоугольник	**Border Width** – Small; опция **Draw Solid** отключена
Round Rectangle	Скругленный прямоугольник	
Text Frame	Текстовый блок	**Border Width** – Small; **Alignment** (выравнивание текста по горизонтали) – Center; **Font** – GOST type B, 16, Italic; опция **Draw Solid** отключена; опция **Show Border** (показать границу) включена
Text String	Текстовая надпись	**Font** – GOST type B, 16, Italic
Wire	Линия электрической связи	**Color** – красный

Таблица Г.6

Настройки примитивов для редакторов ПП и посадочных мест

Примитив	Назначение	Настройка
Arc	Дуга	**Width** (ширина) – 0.1mm
Component	Компонент	В группе **Designator**: **Height** (высота буквы) – 1mm; **Width** (ширина линии буквы) – 0.15mm; **Autoposition** (положение) – Center-Above. В группе **Component Properties** опция **Lock Primitives** (запрет выделения примитивов из посадочного места на ПП) включена по умолчанию
Coordinate	Перекрестие с указанием координат его центра	**Line width** (ширина линии перекрестия) – 0.15mm; **Size** (размер перекрестия) – 1mm; **Text Height** (высота буквы) – 1mm; **Text Width** (ширина линии буквы) – 0.15mm; **Layer** (слой расположения) – Top Overlay

Продолжение таблицы Г.6

Примитив	Назначение	Настройка
Linear Dimension	Линейный размер	**Pick Gap** – 0mm; **Arrow Size** – 2.5mm; **Arrow Length** – 5mm; **Extension Width** – 0.15mm; **Line Width** – 0.15mm; **Offset** – 1mm; **Text Height** – 1.6mm; **Text Width** – 0.15mm; **Text Gap** – 0.5mm; **Unit** – Millimeters; **Precision** – 1
Angular Dimension	Угловой размер	**Pick Gap** – 0mm; **Arrow Size** – 2.5mm; **Length** – 5mm; **Extension Width** – 0.15mm; **Line Width** – 0.15mm; **Offset** – 1mm; **Text Height** – 1.6mm; **Text Width** – 0.15mm; **Text Gap** – 0.5mm
Radial Dimension	Радиальный размер	**Arrow Size** – 2.5mm; **Line Width** – 0.15mm; **Text Height** – 1.6mm; **Text Width** – 0.15mm; **Text Gap** – 0.5mm; **Unit** – Millimeters; **Precision** – 1
Leader Dimension	Линия-выноска	**Pick Gap** – 0mm; **Arrow Size** – 2.5mm; **Line Width** – 0.15mm; **Text Gap** – 0.5mm; **Text Height** – 1.6mm; **Text Width** – 0.15mm
Datum Dimension	Размер от общей базы без размерной линии	**Pick Gap** – 0mm; **Extension Width** – 0.15mm; **Text Height** – 1.6mm; **Text Width** – 0.15mm; **Text Gap** – 0.5mm; **Unit** – Millimeters; **Precision** – 1
Baseline Dimension	Линейный размер от общей базы	**Pick Gap** – 0mm; **Arrow Size** – 2.5mm; **Length** – 5mm; **Extension Width** – 0.15mm; **Line Width** – 0.15mm; **Offset** – 1mm; **Text Height** – 1.6mm; **Text Width** – 0.15mm; **Text Gap** – 0.5mm; **Unit** – Millimeters; **Precision** – 1
Original Dimension	Обычный размер, ориентируемый под произвольным углом	**Line Width** – 0.15mm; **Height** – 1mm; **Text Height** – 1.6mm; **Text Width** – 0.15mm; **Unit Style** – None
Linear Diameter Dimension	Линейный размер для указания диаметра	**Pick Gap** – 0mm; **Arrow Size** – 2.5mm; **Arrow Length** – 5mm; **Extension Width** – 0.15mm; **Line Width** – 0.15mm; **Offset** – 1mm; **Text Height** – 1.6mm; **Text Width** – 0.15mm; **Text Gap** – 0.5mm; **Unit** – Millimeters; **Precision** – 1
Radial Diameter Dimension	Диаметральный размер	**Arrow Size** – 2.5mm; **Arrow Length** – 5mm; **Line Width** – 0.15mm; **Text Height** – 1.6mm; **Text Width** – 0.15mm; **Text Gap** – 0.5mm; **Unit** – Millimeters; **Precision** – 1
Polygon	Полигон Polygon Pour	**Remove Necks When Copper Width Less Than** – 0.2mm. Также в группе **Net Options** включены опции **Remove Dead Copper** и **Pour Over All Same Net Objects**. Назначение опций см. в п. 3 из Г.26
String	Надпись	**Height** (высота буквы) – 1mm; **Width** (ширина линии буквы) – 0.15mm.
Track	Линия	**Width** – 0.1mm

Окончание таблицы Г.6

Примитив	Назначение	Настройка
Via	Переходное отверстие	**Hole Size** (диаметр отверстия) – 0.6mm; **Diameter** (диаметр площадки) – 1.2mm
Track Keepout	Граница зоны запрета в виде линии	**Width** – 0.1mm
Arc Keepout	Граница зоны запрета в виде дуги	

Примечание. Настройки примитивов из табл. Г.5 и Г.6 дополнительно сохранены в папке …\ИДРЭС\Профили:

– «ИДРЭС-AltiumSchPrimitives.dft» – для редакторов схем и УГО;

– «ИДРЭС-AltiumPCBPrimitives.dft» – для редакторов ПП и посадочных мест.

Г.2. Правила проектирования ПП

В табл. Г.7 приведено описание правил проектирования ПП, загружаемых по профилю **ИДРЭС-AltiumPCBRules.RUL** в п. 10 из 12.1.

Следует обратить внимание на то, что загружать правила можно как сразу для всех подразделов, так и по отдельности, но после импорта все существовавшие в нем ранее правила будут удалены или заменены.

Таблица Г.7

Загружаемые правила проектирования ПП

Подраздел	Название правила	Описание
Electrical ⇒ Clearance	**C**	Зазор между объектами разных цепей – 0,2 мм, а зазор от металлизации до отверстий – 0,254 мм
Routing ⇒ Width	**W**	Диапазон ширин трасс – от 0,2 до 2 мм с предпочтительным значением 0,5 мм
Routing ⇒ Routing Via Style	**RVS**	Для переходных отверстий задан допустимый диаметр отверстия от 0,4 до 6 мм с предпочтительным значением 0,6 мм и диаметр металлизации от 0,9 до 8 мм с предпочтительным значением 1,2 мм
Mask ⇒ Solder Mask Expansion	**SME**	Зазор между КП и защитной паяльной маской – 0,05 мм
Plane ⇒ Polygon Connect Style	**PCS**	Задано прямое подключение КП и переходных отверстий к полигонам Polygon Pour (опция **Direct Connect**)
Manufacturing ⇒ Minimum Annular Ring	**MAR_Pad**	Минимальный гарантийный поясок для КП с отверстием – 0,2 мм
	MAR_Via	Минимальный гарантийный поясок для переходного отверстия – 0,15 мм

Продолжение таблицы Г.7

Подраздел	Название правила	Описание
Manufacturing ⇒ Hole Size	**HS_UP**	Диапазон значений диаметров неметаллизированных отверстий – от 0,5 до 6,0 мм
	HS_P	Диапазон значений диаметров металлизированных отверстий – от 0,3 до 6,0 мм
Manufacturing ⇒ Hole To Hole Clearance	**HtHC**	Минимальное расстояние между краями двух отверстий – 0,2 мм
Manufacturing ⇒ Minimum Solder Mask Sliver	**MSMS**	Минимальная ширина масочного мостика – 0,15 мм
Manufacturing ⇒ Silk To Solder Mask Clearance	**StSMC**	Зазор между краем меди в КП и переходных отверстиях и объектами шелкографии – 0,15 мм (опция **Check Clearance To Exposed Copper**). Размер вскрытия защитной паяльной маски при этом не учитывается
Manufacturing ⇒ Silk To Silk Clearance	**StSC**	Зазор между любыми объектами в слоях шелкографии – 0 мм
Manufacturing ⇒ Board Outline Clearance	**BOC**	Для всех объектов задан фиксированный зазор в 0,5 мм до следующих границ: – **Outline Edge** (контур ПП); – **Cavity Edge** (контуры полостей внутри ПП для встраивания компонентов, задаваемые в посадочных местах); – **Cutout Edge** (контуры вырезов в ПП); – **Split Barrier** (разделительная линия, определяющая границу для слоев, которые не переходят из одного соседнего стека в другой). До границ **Split Continuation** (разделительная линия, определяющая границу для слоев, которые переходят из одного соседнего стека в другой) зазор равен 0 мм
Placement ⇒ Component Clearance	**CC**	Минимальный зазор между компонентами – 0,49 мм. Правило проверяет зазоры до 3D-моделей из состава посадочных мест. Если 3D-моделей нет, то компонентом считается параллелепипед с высотой, заданной в свойствах посадочного места, и прямоугольным сечением, очерченным по внешним сторонам наиболее отдаленных графических примитивов (системные параметры не учитываются, слои расположения примитивов не ограничены). При этом прямоугольное сечение всегда имеет стороны параллельные осям X и Y из рабочего поля, т. е. при повороте посадочного места сечение не поворачивается, а изменяет свои размеры

Окончание таблицы Г.7

Подраздел	Название правила	Описание
Placement ⇒ Permitted Layers	**PL**	Задано расположение компонентов только на верхней стороне ПП (опция Top Layer), при этом проверка правила в режиме реального времени невозможна

Численные значения параметров указаны в соответствии с общим заданием на проектирование по 4-му классу точности (см. табл. Б.6) с поправкой на стандартные технологические возможности изготовления ПП у отдельных производителей и подходят для толщин медной фольги 18 и 35 мкм.

Примечания:

– производители обычно рекомендуют не занижать зазоры между небольшими участками металлизации и огибающим их полигоном, так как при травлении раствор в таких местах плохо обновляется и в результате могут остаться недотравленные участки. Кроме того, на этапе осаждении меди при металлизации отверстий полигон вытягивает ее на себя, в результате чего расположенные очень близко небольшие области металлизации могут соединиться с ним поверх фоторезиста, приводя к замыканию;

– в правилах из подраздела Routing ⇒ Width опция Characteristic Impedance Driven Width позволяет задать не ширину, а значение волнового сопротивления, которое будет рассчитываться по данным из окна Layer Stack Manager (в этом же окне с помощью кнопки Impedance Calculation можно посмотреть и изменить формулы). Расчет в используемой версии Altium Designer производится только в МПП относительно слоев типа Plane;

– в правилах из подраздела Routing ⇒ Routing Via Style также можно выбирать шаблоны переходных отверстий из библиотеки (см. п. 10 из 12.1);

– в правилах из подраздела Manufacturing ⇒ Hole To Hole Clearance опция Allow Stacked Micro Vias позволяет располагать глухие и скрытые переходные отверстия друг под другом для повышения плотности соединений в МПП;

– настройка способов проверки правил проектирования рассмотрена в п. 14 из 12.1.

Г.3. Управление изображением в рабочем поле

В редакторах схем и УГО, а также в редакторах ПП и посадочных мест в 2D-режиме просмотра доступны следующие часто используемые возможности управления изображением в рабочем поле:

– перемещение изображения по горизонтали – поворот колесика мышки с зажатой клавишей **Shift**;

– перемещение изображения по вертикали – поворот колесика мышки;

– перемещение изображения в любом направлении – зажатая ПКМ;

– изменение масштаба – поворот колесика мышки с зажатой клавишей **Ctrl**. Также используются клавиши **PgUp** (увеличение) и **PgDn** (уменьшение) или перемещением мышки с зажатой СКМ или ПКМ;

– автомасштабирование по всем размещенным объектам – комбинация клавиш **Ctrl+PgDn** (команда **View ⇒ Fit Document** в редакторе ПП или команда **View ⇒ Fit All Objects** в остальных редакторах).

Примечание. Другие команды содержатся в меню View.

В редакторах ПП и посадочных мест в 3D-режиме просмотра в основном используются следующие действия:

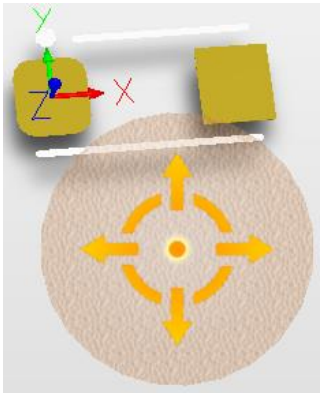


Рис. Г.1

– поворот 3D-модели – зажатая клавиша **Shift** с последующим перемещением мышки с зажатой ПКМ.

Примечания:

– если ПКМ нажать за пределами появившейся сферы (рис. Г.1), то поворот можно осуществлять в любом направлении;

– если ПКМ нажать на элементах управления сферы (стрелки и дуги), то поворот можно осуществлять только в соответствующих направлениях;

– включение вида на нижнюю сторону ПП – последовательное нажатие клавиш **V ⇒ B** или команда **View ⇒ Flip Board**;

– включение вида на верхнюю сторону ПП (возврат в исходное состояние) – клавиша **0** или команда **View ⇒ Zero Rotation**.

Примечание. В 3D-режиме просмотра доступны действия, описанные для 2D-режима просмотра. Кроме того, предопределенные виды можно выбрать из списка на ПИ PCB Lib Standard, а отдельные возможности кроме меню View содержатся в окне View Configurations (клавиша L).

Г.4. Сочетания клавиш

При работе в САПР для увеличения производительности используются различные сочетания клавиш (комбинации клавиш и отдельные клавиши).

Для просмотра доступных действий в режиме работы со сложной командой в рабочем поле предусмотрены две возможности:

– комбинацией клавиш **Shift+F1** или клавишей «~» открывается меню команд, в котором можно не только посмотреть возможные действия и сочетания клавиш к ним, но и щелчком ЛКМ сразу их выполнить;

– клавишей **F1** открывается окно, предназначенное только для просмотра доступных команд и сочетаний клавиш. Однако из него кнопкой **Current Process Help** можно вызвать справку по текущей команде с переходом на сайт www.altium.com.

При необходимости командам можно назначить собственные сочетания клавиш или отредактировать существующие. Для этого предназначена группа **Shortcuts** из окна **Edit Command** (рис. Г.2), которое открывается при щелчке ЛКМ с зажатой клавишей **Ctrl** по требуемой команде.

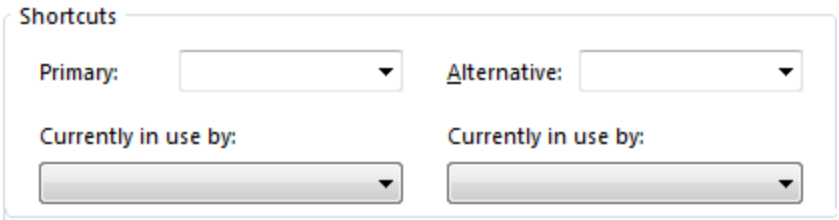


Рис. Г.2

Желаемое сочетание клавиш вводится в поле **Primary** или выбирается из выпадающего списка. Если оно уже используется в какой-нибудь команде, то ее название появится в списке **Currently in use by**.

Альтернативой непосредственного назначения сочетаний клавиш в меню редакторов является окно, вызываемое командой **DXP ⇒ Customize**, в котором осуществляется поиск требуемой команды с последующим переходом в окно **Edit Command**.

Кроме сочетаний клавиш в Altium Designer доступно использование клавиш быстрого вызова (подчеркнутые буквы в названиях), что позволяет переходить по пунктам меню без использования мышки. Назначение командам таких клавиш осуществляется в окне **Edit Command**, в котором в поле **Caption** перед желаемой буквой ставится символ «**&**».

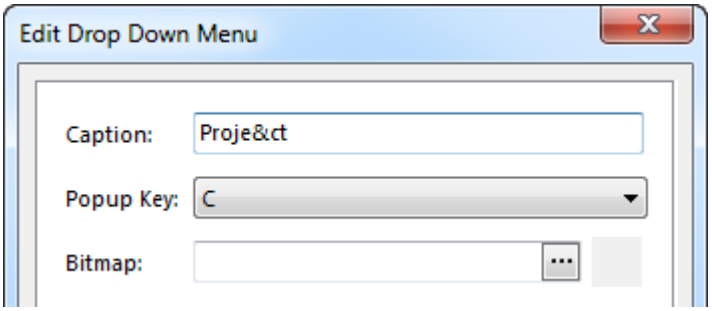


Рис. Г.3

При щелчке ЛКМ с зажатой клавишей **Ctrl** по названию меню появляется окно **Edit Drop Down Menu** (см. рис. Г.3), в котором в поле **Popup Key** можно выбрать клавишу, при нажатии на которую меню откроется около курсора мышки. Само меню при этом открывается с зажатой клавишей **Alt**.

Примечание. Например, комбинация клавиш Alt+C откроет меню Project в ПИ, а клавиша C – меню Project около курсора.

Окно Edit Drop Down Menu доступно не только для видимых пунктов меню в верхней части окна Altium Designer, но и для всех групповых команд, расположенных в этих меню.

Г.5. Выделение объектов

Выделение объектов в рабочем поле и снятие с них выделения осуществляется следующими основными способами:

1. Выделение щелчком ЛКМ.

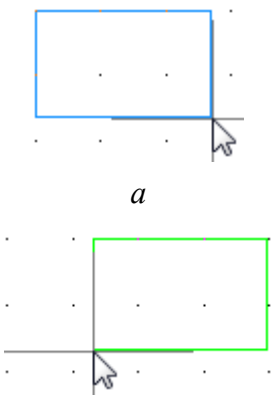
Примечания:

– повторный щелчок ЛКМ по выделенному объекту снимает выделение;

– при зажатой кнопке Shift к выделению можно добавить отдельные объекты, а также исключить по отдельности уже выделенные;

– зажатая клавиша Shift также используется при включении опции Shift Click To Select (подразделы Schematic ⇒ Graphical Editing и PCB Editor ⇒ General из окна Preferences) для выделения примитивов, отмеченных в списке, появляющемся при нажатии кнопки Primitives;

– снять выделение со всех объектов можно щелчком ЛКМ в любом свободном месте рабочего поля (требуется включение опции Click Clears Selection из табл. Г.3 и Г.4). Также можно воспользоваться комбинацией клавиш Shift+C (очистка объектов в фильтре) или кнопкой Clear в нижнем правом углу рабочего поля (см. рис. 5.9).



а

б

Рис. Г.4

2. Массовое выделение мышкой.

При выделении слева направо выделенными окажутся только полностью попавшие в контур выделения объекты, при этом контур имеет синий цвет как на рис. Г.4, *а* (в редакторах ПП и посадочных мест синим цветом также закрашена и вся область внутри контура).

При выделении справа налево выделенными окажутся полностью и частично попавшие в контур выделения объекты, а контур имеет зеленый цвет как на рис. Г.4, *б* (в ре-

дакторах ПП и посадочных мест зеленым цветом также закрашена и вся область внутри контура).

Примечание. Способы снятия выделения см. в п. 1.

3. Командами из меню **Edit ⇒ Select**.

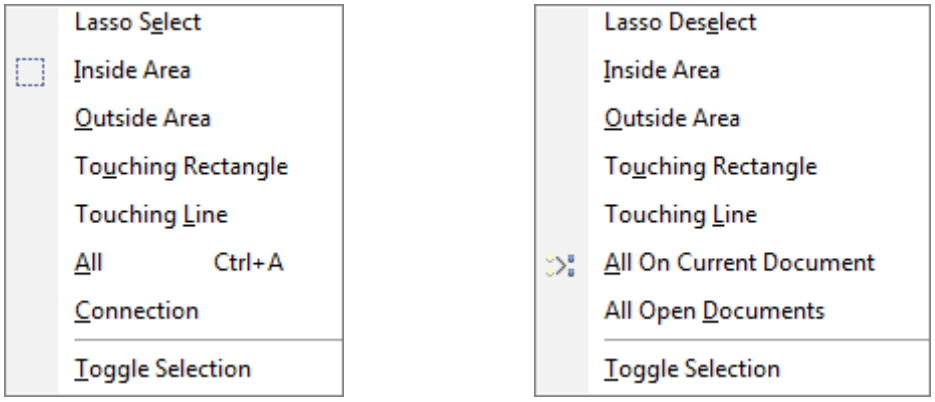
Примечания:

– указанное меню также доступно при нажатии клавиши S;

– для выделения рекомендуется пользоваться именно этим меню (в особенности в редакторе ПП), так как в этом случае исключаются случайные сдвиги объектов;

– для снятия выделения используются команды из меню Edit ⇒ DeSelect (также доступно при нажатии клавиши X).

3.1. Команды выделения в редакторах схем и УГО (рис. Г.5, *а*):



а *б*

Рис. Г.5

– **Lasso Select** – выделение объектов, полностью попавших в нарисованный зажатой ЛКМ контур произвольной формы и размеров;

– **Inside Area** и **Outside Area** – выделение объектов, полностью попавших и не попавших в прямоугольный контур соответственно;

– **Touching Rectangle** – выделение объектов, полностью и частично попавших в прямоугольный контур;

– **Touching Line** – выделение объектов, пересекающихся с проведенной зажатой ЛКМ линией;

– **All** – выделение всех объектов;

– **Connection** – выделение всех объектов, электрически связанных с указанным объектом (пины, все сегменты линий электрической связи, подключенных к пинам, и идентификаторы цепей), с их маскированием.

Примечание. Команда недоступна в редакторе УГО;

– **Toggle Selection** – режим одиночного выделения щелчками ЛКМ.

Примечание. В рассмотренных командах заблокированные объекты будут выделены при отключенной опции Protect Locked Objects (см. табл. Г.3).

3.2. Команды снятия выделения в редакторах схем и УГО аналогичны по действию описанным в п. 3.1, кроме двух (см. рис. Г.5, *б*):

– **All On Current Document** – снятие выделения со всех объектов в текущем документе;

– **All Open Documents** – снятие выделения со всех объектов во всех открытых документах.

3.3. Команды выделения в редакторе ПП (рис. Г.6, *а*) и редакторе посадочных мест (рис. Г.6, *б*):

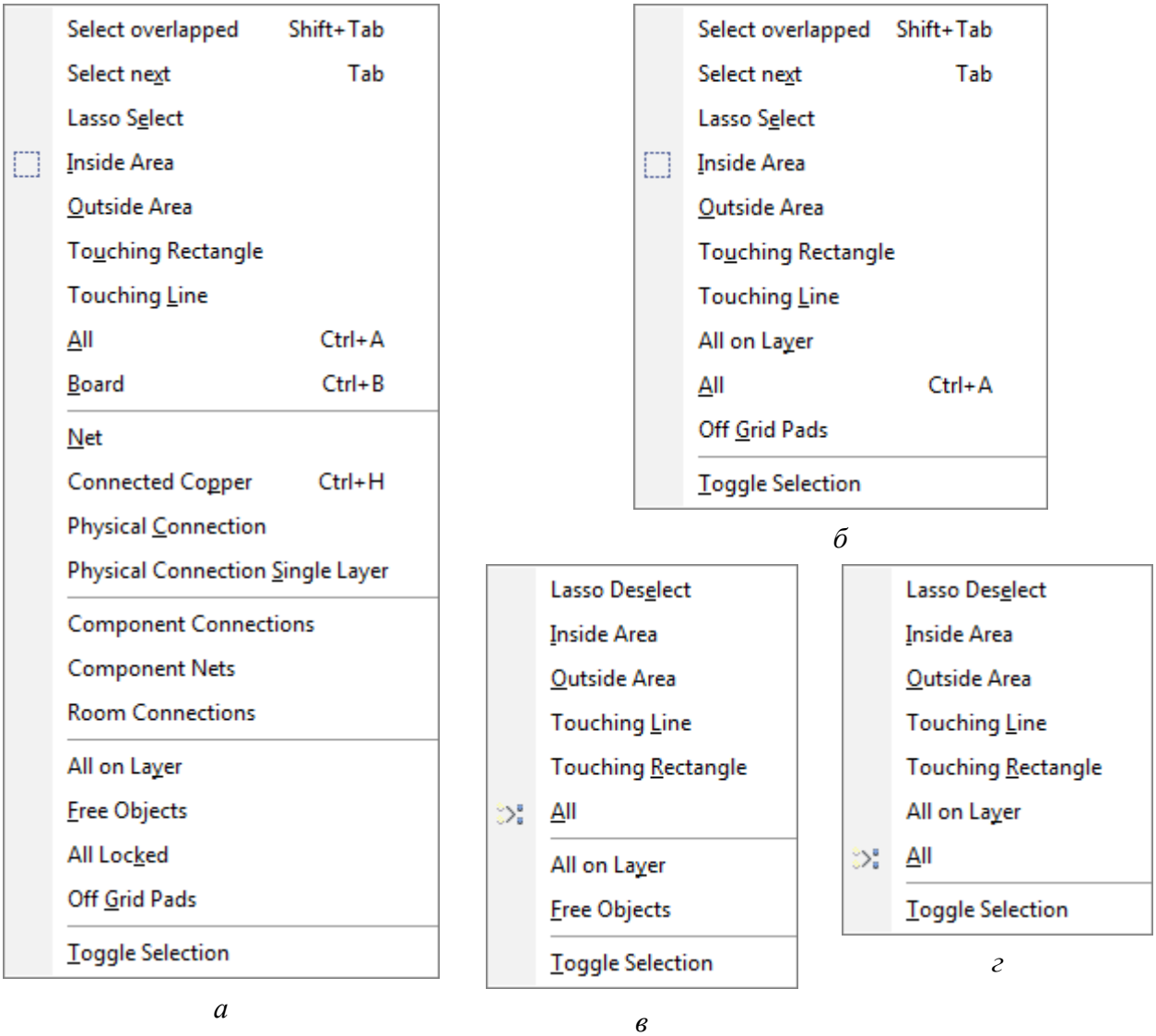


Рис. Г.6

– **Select Overlapped** – выделение одиночного объекта из множества объектов, находящихся под курсором мышки, путем их циклического перебора (требуется отключение опции **Display popup selection dialog** из табл. Г.4);

– **Select Next** – циклическое добавление к предварительно выделенному объекту связанных с ним.

Примечание. Например, если изначально был выделен сегмент трассы, то запуск данной команды приведет к следующему циклическому выделению: сегмент трассы, все соединенные с ним сегменты трассы на одном слое, все соединенные с ним участки металлизации (сегменты трассы, КП и др.), все объекты данной цепи, сегмент трассы;

– **Board** – выделение всех объектов, находящихся внутри контура ПП или пересекающего его.

Примечание. Заблокированные объекты будут выделены при отключенной опции Protect Locked Objects (см. табл. Г.4);

– **Net** – выделение всех (в том числе заблокированных) объектов указанной цепи, кроме полигонов Polygon Pour.

Примечание. Если щелкнуть ЛКМ в области рабочего поля, в которой отсутствуют цепи, то появится окно, в котором можно ввести требуемое имя цепи для выделения;

– **Connected Copper** – выделение всех (в том числе заблокированных) участков металлизации, соединенных с указанным объектом;

– **Physical Connection** – выделение всех (в том числе заблокированных) сегментов трассы, переходных отверстий и свободных КП (КП посадочных мест под выделение не попадают), располагающихся между двумя ближайшими КП посадочных мест и соединенных с указанным объектом;

– **Physical Connection Single Layer** – команда аналогична команде Physical Connection, но выделение происходит только на текущем слое и без переходных отверстий;

– **Component Connections** – выделение всех (в том числе заблокированных) сегментов трасс, переходных отверстий и свободных КП (КП посадочных мест под выделение не попадают), располагающихся между двумя ближайшими КП посадочных мест и соединенных с КП указанного компонента.

Примечание. Если щелкнуть ЛКМ в области рабочего поля, в которой отсутствует компонент, то появится окно, в котором можно ввести требуемое позиционное обозначение;

– **Component Nets** – выделение всех (в том числе заблокированных) участков металлизации (сегменты трасс, КП и др., кроме полигонов Polygon Pour), соединенных с указанным компонентом;

– **Room Connections** – выделение всех (в том числе заблокированных) сегментов трасс и связанных с ними переходных отверстий, располагающихся полностью внутри указанной комнаты, при условии непосредственного подключения их к КП компонентов.

Примечание. Если щелкнуть ЛКМ в области рабочего поля, в которой отсутствует комната, то появится окно, в котором можно выбрать одну из существующих комнат;

– **All on Layer** – выделение всех объектов, полностью располагающихся на текущем слое (КП посадочных мест под выделение не попадают).

Примечание. Заблокированные объекты будут выделены при отключенной опции Protect Locked Objects (см. табл. Г.4);

– **Free Objects** – выделение всех свободных объектов.

Примечания:

– под выделение не попадают компоненты, координаты, размеры, полигоны Polygon Pour, объекты с подстройкой длины;

– заблокированные объекты будут выделены при отключенной опции Protect Locked Objects (см. табл. Г.4);

– **All Locked** – выделение всех заблокированных объектов при условии отключенной опции **Protect Locked Objects** (см. табл. Г.4);

– **Off Grid Pads** – выделение всех КП, расположенных не в узлах сетки с текущим в данный момент шагом.

Примечание. Команда работает с дюймовой системой координат;

– **Lasso Select**, **Inside Area**, **Outside Area**, **Touching Rectangle**, **Touching Line**, **All**, **Toggle Selection** – описание см. в п. 3.1.

Примечания:

– во всех командах последней группы заблокированные объекты будут выделены при отключенной опции Protect Locked Objects (см. табл. Г.4);

– с зажатой клавишей Shift можно добавлять новые объекты (или группы объектов) к уже выделенным;

– если требуется выделить сразу несколько КП из состава посадочных мест, то команды массового выделения необходимо выполнять с зажатой клавишей Ctrl. Следует отметить, что если в посадочных местах отключить опцию Lock Primitives, то также будут выделяться и прочие примитивы из их состава (например, линии).

3.4. Команды снятия выделения в редакторе ПП (рис. Г.6, *в*) и редакторе посадочных мест (рис. Г.6, *г*) аналогичны по действию описанным в п. 3.3.

4. Поиском подобных объектов командой **Find Similar Objects** (см. Г.6).

5. По запросу в панели **Filter** (см. Г.12).

6. При выборе объектов в некоторых панелях с включенной опцией **Select** в верхней их части (например, в панели **PCB**).

Примечания:

– свойства выделенных объектов можно изменить в панели Inspector (см. Г.10) или List (см. Г.11);

– существуют также отдельные нерассмотренные в данном подразделе команды выделения. Например, командой Unions ⇒ Select All In Union в редакторе схем можно выделить все объекты, которые находятся в группе с указанным объектом.

Г.6. Команда Find Similar Objects

Команда **Find Similar Objects** предназначена для поиска объектов, обладающих набором похожих свойств. На рис. Г.7 приведено окно Find Similar Objects с настройками для выбора в схеме Э3 «усилителя» из варианта «П1» идентификаторов цепей Power Object с именем +5В.

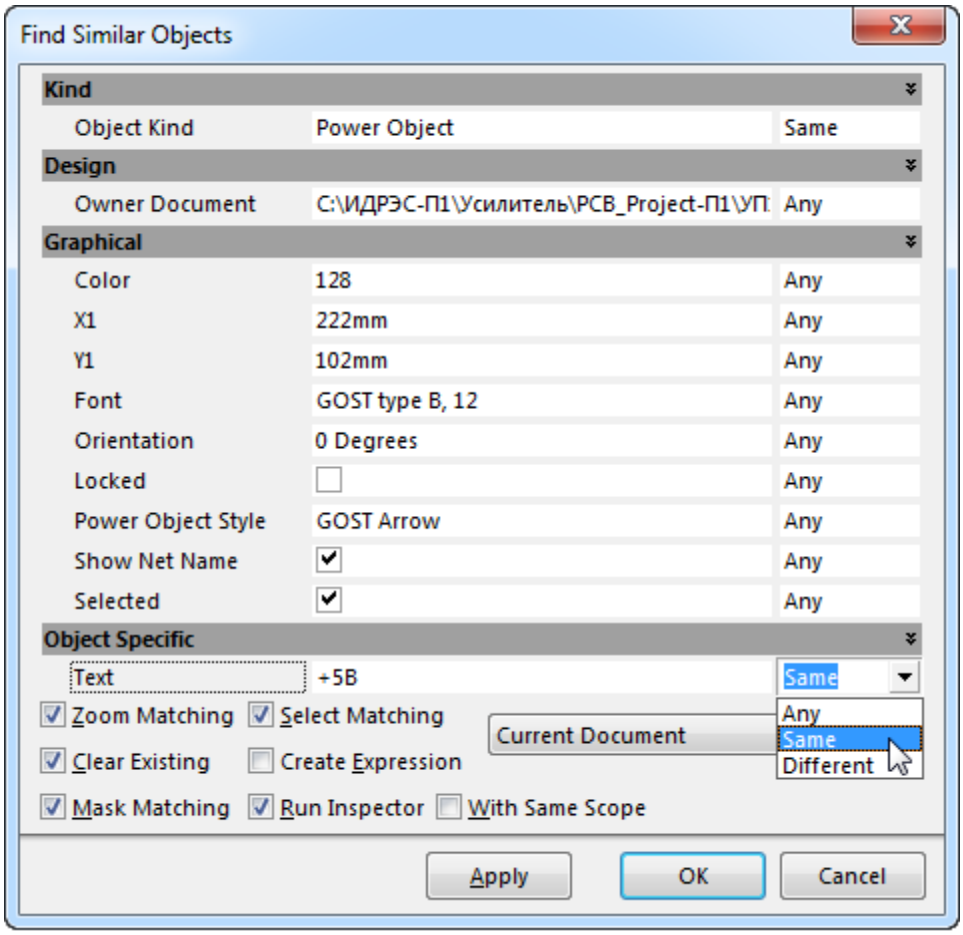


Рис. Г.7

Особенности работы с окном **Find Similar Objects**:

1. Открыть окно можно одним из двух способов:

– нажать комбинацию клавиш **Shift+F** (или в любом свободном от каких-либо объектов месте рабочего поля запустить команду **ПКМ ⇒ Find Similar Objects**), после чего в рабочем поле щелкнуть ЛКМ по объекту, который станет заготовкой для задания критериев поиска;

– на объекте, который станет заготовкой для задания критериев поиска, запустить команду **ПКМ ⇒ Find Similar Objects** (при этом предварительно выделять объект не обязательно).

2. В верхней части окна находится таблица с тремя столбцами со следующей информацией:

– левый – имена параметров объекта, который был выбран заготовкой;

– средний – значения параметров объекта, который был выбран заготовкой. Значения можно изменять. Кроме того, поддерживается символ «*»;

– правый – критерий поиска по значению каждого параметра (**Any** – любое, т. е. значение параметра при поиске не учитывается; **Same** – только совпадающее с указанным; **Different** – любое, кроме указанного).

Например, если заготовкой был компонент, то запись в значении параметра **Component Designator** символов **C*** с включенным критерием **Same** позволит выбрать все конденсаторы.

3. В нижней части окна доступны следующие опции:

– **Zoom Matching** – автоматическое масштабирование рабочего поля для отображения найденных объектов;

– **Clear Existing** – снятие выделения со всех объектов, не попавших под заданные критерии поиска;

– группа опций **Normal**, **Mask** и **Dim** (рис. Г.8), доступных только для редакторов ПП и посадочных мест: **Normal** – обычное отображение объектов (их цвет не изменяется, они все доступны для выделения), **Mask** – маскирование выбранных объектов (невыбранные объекты окрашиваются в серый цвет и оказываются недоступны для выделения), **Dim** – затенение невыбранных объектов (все объекты доступны для выделения).

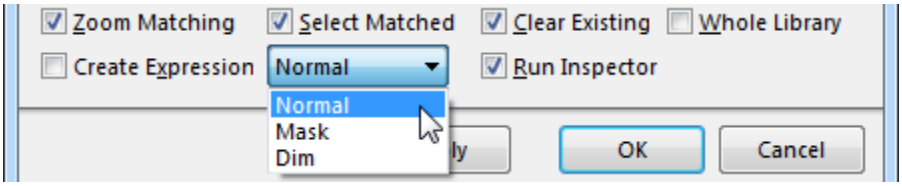


Рис. Г.8

Примечание. Настройки для опций Mask и Dim задаются из меню Mask Level в нижнем правом углу рабочего поля;

– **Mask Matching** (доступно только в редакторах схем и УГО) – маскирование найденных объектов.

Примечание. Отличие от опции Mask для редакторов ПП и посадочных мест состоит только в том, что невыбранные объекты становятся тусклыми, а не серыми;

– **Select Matching** – выделение найденных объектов;

– **Create Expression** – автоматическое создание запроса по заданным критериям, которое будет вставлено в панель Filter (см. Г.12);

– **Run Inspector** – запуск панели Inspector (см. Г.10);

– группа опций с заданием области поиска объектов в редакторе схем: **Current Document** – в текущей схеме, **Open Documents** – во всех открытых схемах (в скрытых схемах поиск не работает), **Project Documents** – во всех схемах проекта (открытых, закрытых и скрытых);

– группа опций с заданием области поиска объектов в редакторе УГО: **Current Component** – в текущем УГО, **All Components** – во всех УГО текущей библиотеки;

– **With Same Scope** (только в редакторах схем и УГО) – копирование области поиска объектов в панель Inspector (см. п. 2.2 из Г.10);

– **Whole Library** (только в редакторе посадочных мест) – поиск не только в текущем посадочном месте, но и во всей библиотеке (см. рис. Г.8).

4. Для тестирования правильности выбора объектов в рабочем поле без закрытия рассматриваемого окна используется кнопка **Apply**.

Г.7. Панель PCB Library

Панель **PCB Library** предназначена для работы с библиотекой посадочных мест.

Внешний вид панели с подключенной библиотекой посадочных мест **Others.PcbLib** из папки **…ИДРЭС\AD library\pcb** показан на рис. Г.9.

Особенности панели:

1. Доступ к панели осуществляется из группы **PCB** в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

2. В группе **Components** приводится перечень посадочных мест открытой библиотеки с указанием количества КП (Pads) и общего количества графических примитивов в них (Primitives).

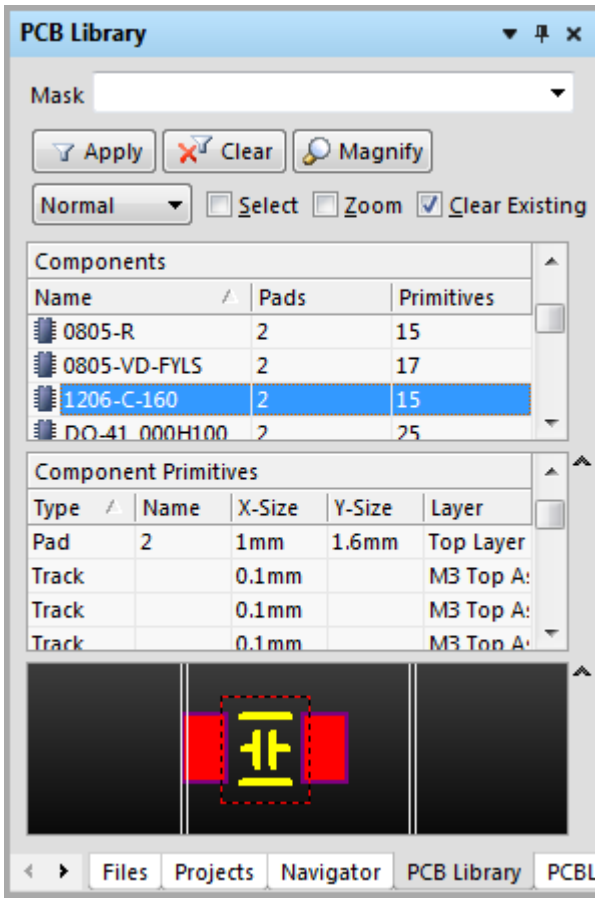


Рис. Г.9

Из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любой области этой группы, можно запустить различные команды, например:

– **New Blank Component** – создание нового посадочного места;

– **Copy** – копирование выбранного посадочного места;

– **Copy Name** – копирование имени выбранного посадочного места;

– **Delete** – удаление выбранного посадочного места;

– **Component Properties** – редактирование свойств выбранного компонента;

– **Place** – добавить посадочное место в файл трассировки (команда активна при наличии любого открытого файла с расширением «.PcbDoc»).

Примечания:

– некоторые команды также доступны из меню Tools;

– поиск нужного посадочного места можно осуществить одним из трех способов: перемещением ползунка, с использованием поля Mask (см. п. 3) или с помощью ввода символов с клавиатуры прямо в этой группе.

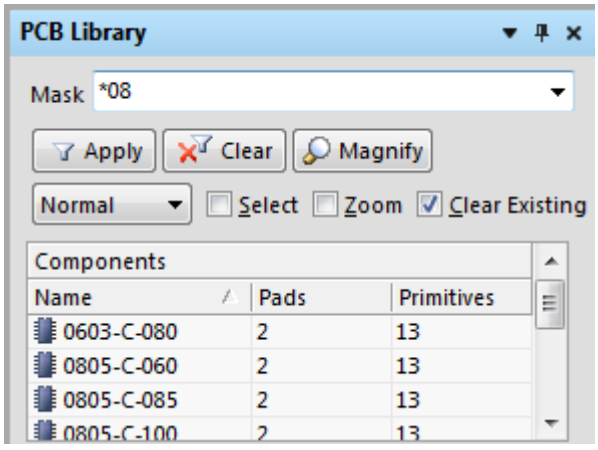


Рис. Г.10

3. Для фильтрации посадочных мест в группе Components предназначено поле **Mask** из верхней области панели. Доступен символ «*».

Например, для маски «***08**» в списке останутся посадочные места, в любом месте названия которых есть цифры **08** (рис. Г.10).

4. В группе **Components Primitives** приводятся графические примитивы в выбранном посадочном месте с указанием типа (Type), имени (Name), размеров по горизонтали (X-Size) и вертикали (Y-Size), а также слоя расположе-

ния (Layer). По умолчанию здесь приводятся только КП (Pads), переходные отверстия (Vias), линии (Tracks) и дуги (Arcs).

Из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любой области этой группы, можно включить отображение других типов примитивов, а также перейти в свойства выбранного примитива.

Примечание. Данные столбцов можно сортировать.

5. В верхней области панели собраны опции, влияющие на отображение в рабочем поле выбранных объектов из группы Components Primitives:

– группа опций **Normal**, **Dim** и **Mask** (см. п. 3 из Г.6);

– **Select** – выделение выбранных примитивов в рабочем поле;

– **Zoom** – автоматическое масштабирование рабочего поля для отображения выбранных примитивов;

– **Clear Existing** – снятие выделения со всех примитивов из предыдущих выделений;

– **Apply** – применение настроек при их изменении;

– **Clear** – снятие выделения со всех объектов и очистка фильтрации (все объекты отображаются как при опции **Normal**).

Примечание. Также это действие можно выполнить комбинацией клавиш Shift+C и кнопкой Clear в нижнем правом углу рабочего поля;

– **Magnify** – режим увеличения (см. п. 6.2).

6. В нижней области панели располагается окно **мини-просмотра**, в котором отображается графика выбранного посадочного места.

Данное окно может работать в двух режимах:

6.1. Стандартный. В этом режиме приводится изображение посадочного места без механических слоев.

Прямоугольным контуром показан размер рабочего поля и положение посадочного места относительно него. При изменении масштаба в рабочем поле или перемещении посадочного места будут происходить и соответствующие изменения в данном окне. Также верно и обратное: контур можно перемещать или изменять его размеры за характерные точки.

6.2. Детальный просмотр.

Для перехода в этот режим необходимо нажать кнопку **Magnify** из верхней области панели и подвести курсор мышки к интересующему месту в рабочем поле. В окне мини-просмотра при этом будет показано изображение посадочного места с механическими слоями в измененном масштабе, управление которым осуществляется кнопками **PgUp** (увеличение) и **PgDn**

(уменьшение) при расположении курсора мышки в этом окне. Возвращение в стандартный режим – клавиша **Esc** или щелчок ПКМ.

7. Данные столбцов панели можно сортировать. Порядок сортировки (прямой или обратный) выбирается щелчком ЛКМ по названию требуемого столбца. Индикацией служит серый треугольник.

8. При необходимости окно мини-просмотра и группу Component Primitives можно скрыть, щелкнув ЛКМ по галочкам справа от них.

Г.8. Панель SCH Library

Панель **SCH Library** предназначена для работы с библиотекой УГО.

Внешний вид панели с подключенной библиотекой УГО **IntegratedCircuits.SchLib** из папки **…ИДРЭС\AD library\sch** показан на рис. Г.11, при этом для выбранного УГО микросхемы HMC291SE подключено посадочное место и добавлен поставщик. В оригинальной библиотеке информация о поставщиках не используется, а посадочные места не добавляются, так как она является частью библиотеки в виде базы данных (см. Г.34).

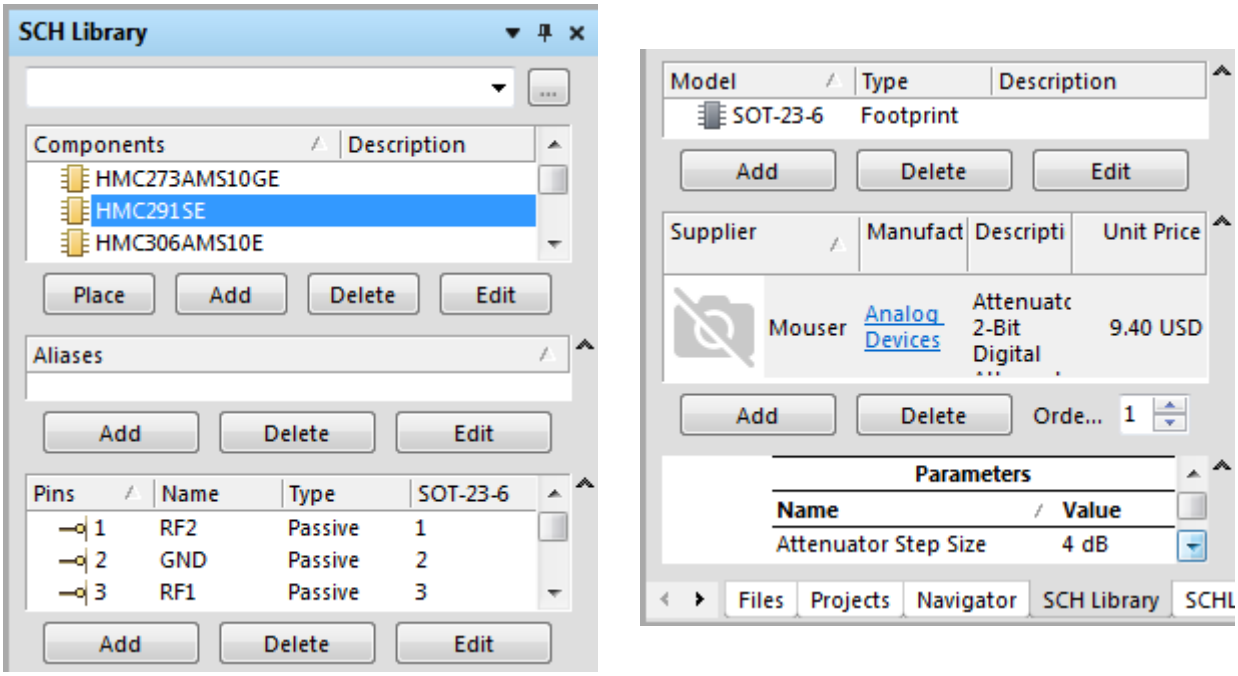


Рис. Г.11

Особенности панели:

1. Доступ к панели осуществляется из группы **SCH** в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

2. В группе **Components** приводится перечень УГО открытой библиотеки с их описанием в столбце **Description** (при наличии).

Назначение кнопок под группой:

– **Place** – добавление выбранного УГО компонента на схему (если нет открытых схем, то автоматически будет создан пустой лист схемы);

– **Add** – создание нового УГО;

– **Delete** – удаление выбранного УГО;

– **Edit** – редактирование свойств выбранного УГО.

Примечания:

– при создании УГО также следует обратить внимание на команды из меню Tools и из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любой области этой группы;

– способы поиска нужного УГО аналогичны описанным в примечании к п. 2 из Г.7.

3. Для фильтрации УГО в группе Components предназначено поле в верхней области панели (см. п. 3 из Г.7).

4. Пиктограмма с троеточием позволяет настроить масштабирование выбираемых УГО в группе Components (рис. Г.12):

– **Do Not Change Zoom Between Components** – не изменять масштаб в рабочем поле при выборе УГО;

– **Remember Last Zoom For Each Component** – запоминать масштаб в рабочем поле для каждого УГО;

– **Center Each Component In Editor** – расположение каждого выбранного УГО в центре рабочего поля с изменением масштаба в рабочем поле в соответствии с настройкой **Zoom Precision**.

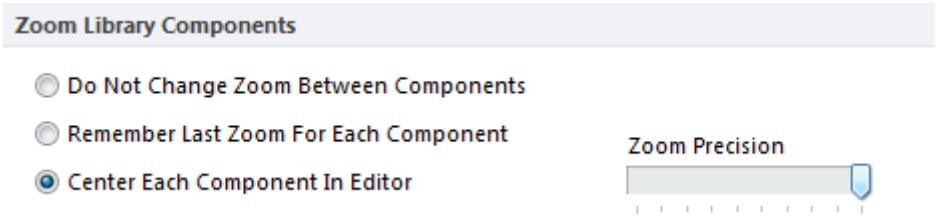


Рис. Г.12

Примечание. Настройки являются системными и также могут быть заданы в подразделе Schematic ⇒ Library AutoZoom окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences).

5. В группе **Aliases** можно указать аналоги компонентов (например, от других производителей).

Примечание. Добавленный в эту группу аналог появится в виде отдельного компонента в подключенной библиотеке в панели Libraries. Однако пользоваться этой возможностью не рекомендуется, так как нельзя зара-

нее присвоить уникальные значения параметрам компонента. Поэтому данную группу обычно скрывают (см. п. 8 из Г.7).

6. В группе **Pins** содержится список пинов выбранного УГО (их номера, имена и типы) и соответствующие номера КП из подключенного посадочного места.

7. В группе **Model** приводятся все подключенные к выбранному УГО модели (посадочные места, модели для схемотехнического моделирования и для анализа целостности сигналов).

8. В группе **Supplier** приводятся выбранные пользователем поставщики данного компонента.

Примечания:

– из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любой области этой группы, можно выбрать отображаемые столбцы;

– настройки поиска поставщиков осуществляется в подразделе Data Management ⇒ Suppliers окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences). Например, для поиска компонентов у поставщиков Mouser и Digi-Key потребуется указать данные личного аккаунта.

9. В нижней области панели располагается окно просмотра информации о компоненте от выбранного поставщика в виде таблицы.

Примечание. При работе с группой Supplier и указанным окном просмотра сильно замедляется работа при переключении между компонентами. Также требуется подключение к сети Интернет. Поэтому обычно данные группы не используют и скрывают (см. п. 8 из Г.7).

10. Данные столбцов панели можно сортировать (см. п. 7 из Г.7).

Г.9. Панель Libraries

Панель **Libraries** предназначена для работы с библиотеками компонентов в редакторах схем и ПП.

Внешний вид панели с открытой библиотекой диодов (**VD**) из состава библиотеки компонентов в виде базы данных **ИДРЭС-ADLibrary.DbLib** из папки **…ИДРЭС\AD library** показан на рис. Г.13.

Особенности панели:

1. Доступ к панели осуществляется из групп **SCH** и **PCB** (в зависимости от используемого редактора) в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

2. Кнопка **Libraries** позволяет управлять подключениями библиотек компонентов.

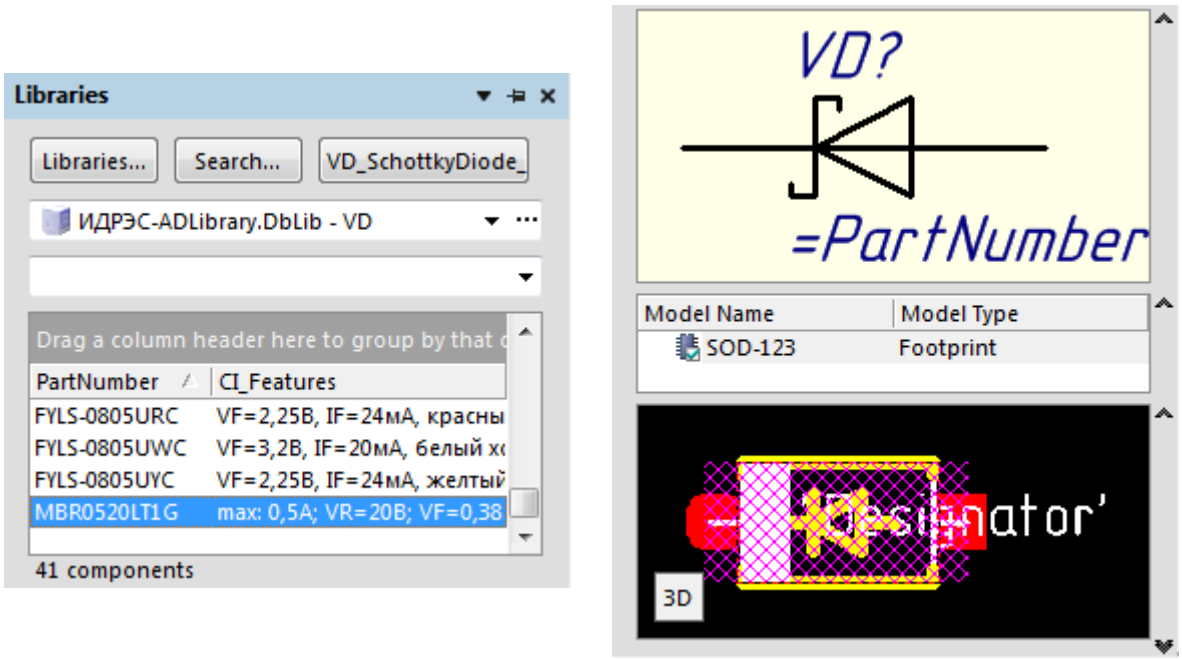


Рис. Г.13

После ее нажатия появляется окно **Available Libraries** с тремя вкладками (см. рис. 8.7):

– **Project** – библиотеки, подключенные к активному в данный момент проекту;

– **Installed** – библиотеки, доступные для любого проекта;

– **Search Path** – библиотеки, подключенные к активному в данный момент проекту из указанных директорий.

Примечания:

– на вкладке Search Path нельзя добавить интегрированные библиотеки (расширение «.IntLib») и библиотеки УГО (расширение «.SchLib»);

– поиск библиотек компонентов в окне Available Libraries происходит сначала в порядке расположения вкладок, а затем в порядке отображения их на этих вкладках (на вкладках Project и Installed порядок можно поменять кнопками Move Up и Move Down);

– примеры подключения библиотек на вкладках Project и Search Path приведены в п. 8 из 8.2;

– пример подключенной библиотеки на вкладке Installed показан на рис. Г.14 (добавление библиотеки в список установленных осуществляется кнопкой Install и удаление из него кнопкой Remove).

Каждая установленная библиотека может быть подключена и отключена (опция Activated), что позволяет использовать требуемый в данный момент набор библиотек без повторного их добавления и удаления.

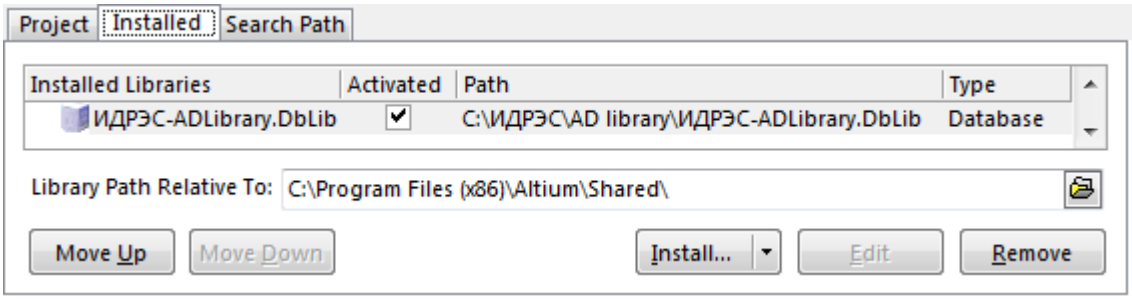


Рис. Г.14

В столбце Path можно указать как полный путь к библиотеке, так и относительный (например, только название файла библиотеки). В последнем случае изменением директории в поле Library Path Relative To можно оперативно управлять доступными в данный момент библиотеками, расположенными по указанному пути (отсутствующие библиотеки будут подсвечены красным цветом);

– настройки на вкладке Installed являются системными и также могут быть заданы в подразделе Data Management ⇒ Installed Libraries окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences).

3. Кнопка **Search** позволяет осуществлять поиск компонентов в добавленных библиотеках.

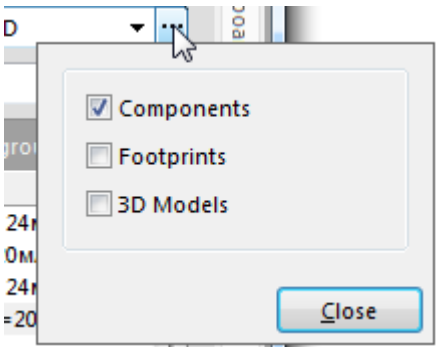


Рис. Г.15

4. Кнопка **Place** служит для добавления выбранного компонента в схему (см. Г.28).

5. Под кнопками располагается список со всеми доступными библиотеками. Выбранная в нем библиотека является текущей, и именно с ней осуществляется работа.

Пиктограмма с тремя точками служит для указания типов библиотек, которые отображаются в списке доступных библиотек (рис. Г.15):

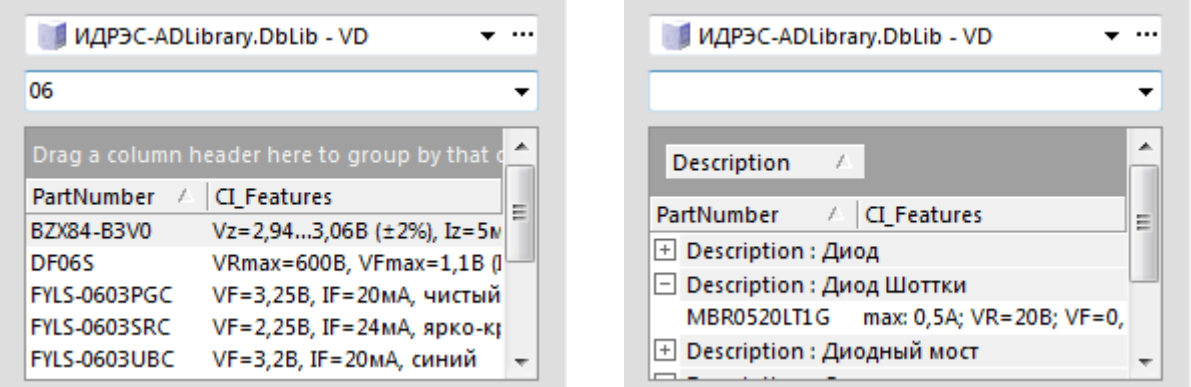
– **Components** – библиотеки компонентов;

– **Footprints** – библиотеки посадочных мест;

– **3D Models** – библиотеки 3D-моделей корпусов компонентов с расширением «.PCB3D» (устаревшие библиотеки).

6. Под списком с доступными библиотеками находится поле для фильтрации компонентов в текущей библиотеке.

Например, при записи цифр «**06**» в списке компонентов останутся только те, у которых в любом месте текстовых данных из отображаемых в данный момент столбцов есть группа из этих цифр (рис. Г.16, *а*).



а *б*

Рис. Г.16

7. Под списком с доступными библиотеками и полем для фильтрации находится область со списком компонентов из текущей библиотеки.

Из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ внутри этой области, можно запустить различные команды, например:

– **Refresh Library** – обновление информации из текущей библиотеки;

– **Refresh All** – обновление информации из всех доступных библиотек;

– **Select Columns** – управление списком отображаемых столбцов.

Примечания:

– данные столбцов можно сортировать (см. п. 7 из Г.7);

– для библиотек компонентов в виде базы данных можно осуществить дополнительную сортировку по информации из любого отображаемого столбца. Для этого требуемый заголовок перетаскивается в темно-серое поле над списком компонентов. Например, на рис. Г.16, б осуществлена сортировка по данным параметра Description.

8. Под списком с компонентами текущей библиотеки находятся следующие области, которые можно скрыть:

– окно просмотра УГО выбранного компонента;

– список моделей выбранного компонента (посадочные места, модели для схемотехнического моделирования и для анализа целостности сигналов).

Примечание. В этой области можно управлять списком отображаемых столбцов и осуществлять сортировку данных в них;

– окно просмотра посадочных мест и 3D-моделей.

Примечание. В этом окне доступны два режима просмотра (2D и 3D), переключение между которыми осуществляется с помощью соответствующей пиктограммы. Управление изображением в 3D-режиме просмотра описано в Г.3 (сфера управления не отображается);

– области с поставщиками выбранного компонента и информацией от поставщиков (см. пп. 8 и 9 из Г.8).

Примечание. Данные области скрыты, так как не используются (см. примечание к п. 9 из Г.8).

Г.10. Панель Inspector

Панель **Inspector** используется для просмотра и редактирования свойств одного или нескольких выделенных в рабочем поле объектов.

В зависимости от редактора, с которым производится работа, панель имеет следующие названия:

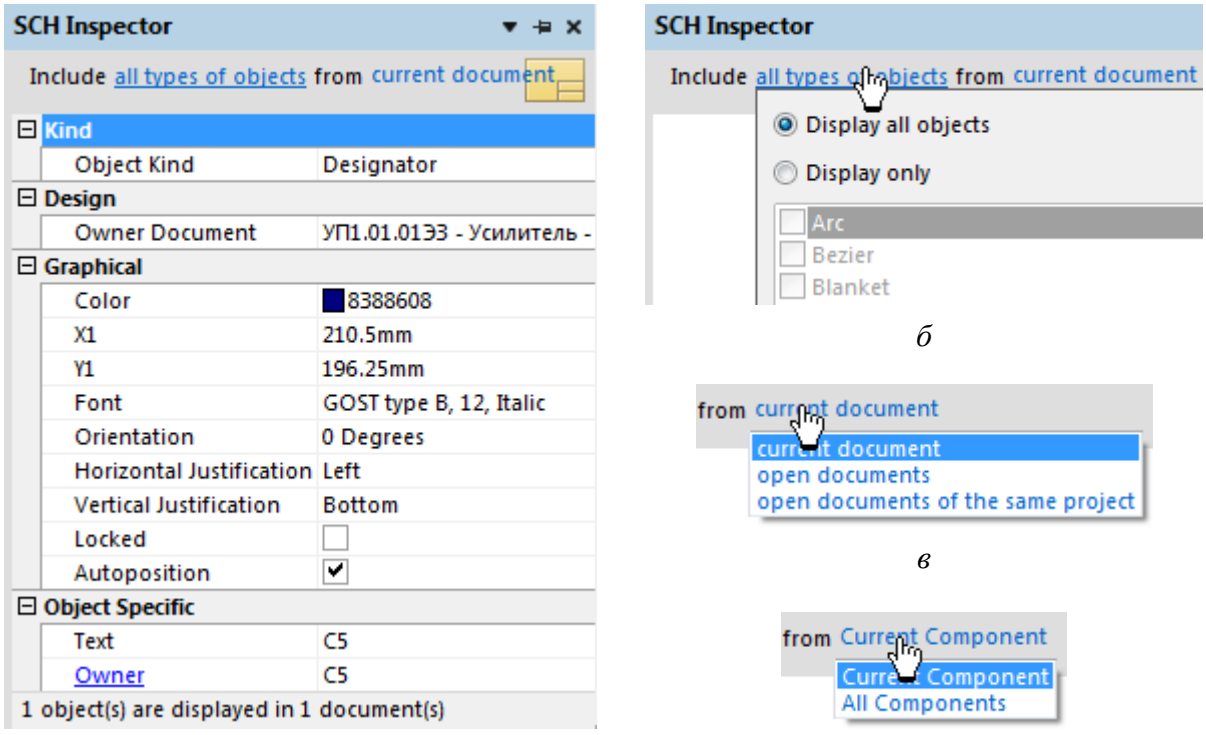
– в редакторе схем – **SCH Inspector**;

– в редакторе УГО – **SCHLIB Inspector**;

– в редакторе ПП – **PCB Inspector**;

– в редакторе посадочных мест – **PCBLIB Inspector**.

Внешний вид панели для выбранного позиционного обозначения *C5* в схеме Э3 «усилителя» из варианта «П1» показан на рис. Г.17, *а*.



а *б* *в* *г*

Рис. Г.17

Особенности панели:

1. Доступ к панели осуществляется из групп **SCH** и **PCB** (в зависимости от используемого редактора) в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

2. В верхней области панели задаются настройки фильтрации объектов:

2.1. Параметр **Include** определяет объекты, свойства которых отображаются в панели:

– **Display all objects** – все выделенные в рабочем поле объекты;

– **Display only** – только выбранные в списке типы объектов среди выделенных в рабочем поле (рис. Г.17, *б*).

2.2. Параметр **from** определяет область расположения объектов:

– в панели SCH Inspector (рис. Г.17, *в*): **current document**, **open documents** или **open documents of the same project**;

– в панели SCHLIB Inspector (рис. Г.17, *г*): **Current Component** или **All Components**.

Примечания:

– описание указанных опций приведено в п. 3 из Г.6;

– данный параметр можно изменить автоматически при использовании команды Find Similar Objects с опцией With Same Scope (см. п. 3 из Г.6);

– в панелях PCB Inspector и PCBLIB Inspector параметр отсутствует.

3. В средней области панели приводится список свойств выделенных в рабочем поле объектов с учетом настроек фильтрации из п. 2:

– левый столбец – наименования параметров;

– правый столбец – значения параметров, которые можно изменять.

Примечания:

– если параметры выделенных объектов имеют различающиеся значения, то в правом столбце приводится обозначение как на рис. Г.18 для параметра Object Kind (тип объекта);

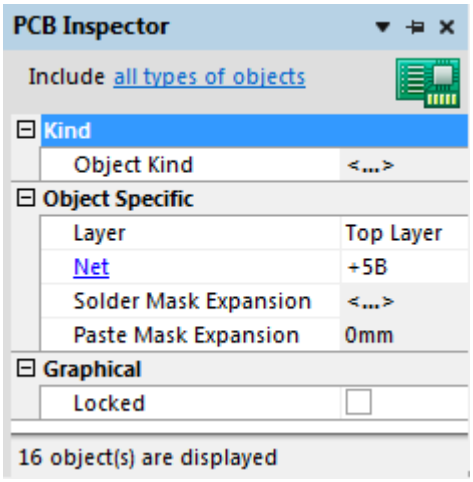


Рис. Г.18

– для выделенной группы объектов в панели отображаются только общие для них свойства. Например, на рис. Г.18 показан вид панели PCB Inspector после выделения на ПП из варианта «П1» всех объектов, подключенных к цепи +5В (трассы, полигоны и КП);

– отдельные параметры в списке могут отображаться в виде ссылок (например, параметр Net на рис. Г.18), что означает возможность просмотра и редактирования их свойств после щелчка ЛКМ.

Во многих случаях можно вернуться обратно, нажав на соответствующую ссылку. Например, ссылка Owner (владелец) на рис. Г.17, а приведет к

отображению свойств конденсатора с указанным позиционным обозначением, а ссылка Component Designator из свойств конденсатора позволит вернуться к свойствам объекта Designator.

4. В нижней области панели приводится информация о количестве выбранных объектов и области их нахождения (см. рис. Г.17, *а* и Г.18).

Г.11. Панель List

Панель **List** используется для просмотра и редактирования свойств одного или нескольких объектов, при этом сами объекты не обязательно предварительно выбирать в рабочем поле, а свойства можно изменять как сразу для всех интересующих объектов, так и по отдельности.

В зависимости от редактора, с которым производится работа, панель имеет следующие названия:

– в редакторе схем – **SCH List**;

– в редакторе УГО – **SCHLIB List**;

– в редакторе ПП – **PCB List**;

– в редакторе посадочных мест – **PCBLIB List**.

Внешний вид панели в режиме просмотра пинов для УГО с наименованием **GALI_** из библиотеки **IntegratedCircuits.SchLib** из папки **…ИДРЭС\AD library\sch** показан на рис. Г.19.

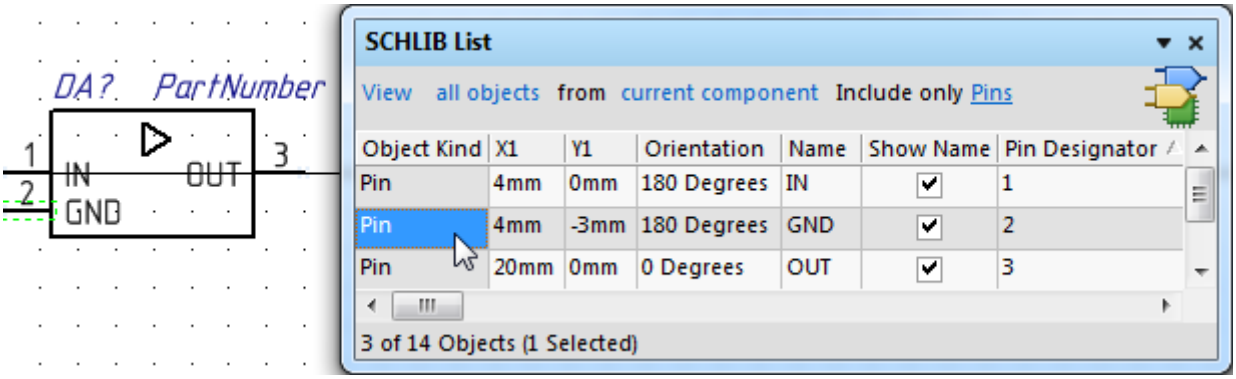


Рис. Г.19

Особенности панели:

1. Доступ к панели осуществляется из групп **SCH** и **PCB** (в зависимости от используемого редактора) в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

2. В верхней области панели первая опция определяет режим работы:

– **View** – только просмотр;

– **Edit** – просмотр и редактирование.

3. Следующие за режимом работы опции задают настройки фильтрации объектов:

3.1. Вид объектов:

– **all objects** – все объекты;

– **selected objects** – только предварительно выделенные в рабочем поле;

– **non-masked objects** – только незамаскированные объекты, т. е. предварительно отфильтрованные с помощью запроса из панели Filter (см. Г.12) или найденные командой Find Similar Objects (см. Г.6).

3.2. Область расположения объектов (параметр **from**):

– в панели SCH List: **current document**, **open documents** или **open documents of the same project**;

– в панели SCHLIB List: **current component** или **all components**;

– в панели PCBLIB List: **current component** (в текущем посадочном месте) или **whole library** (во всех посадочных местах текущей библиотеки).

Примечания:

– описание опций для панелей SCH List и SCHLIB List дано в п. 3 из Г.6;

– в панели PCB List параметр отсутствует.

3.3. Типы объектов, для которых отображаются свойства в панели (параметр **Include**).

Примечание. Опции данного параметра описаны в п. 2.1 из Г.10.

4. В средней области панели содержится таблица со свойствами выбранных объектов с учетом настроек фильтрации из п. 3.

Особенности работы с таблицей:

– при щелчке ЛКМ по строке, относящейся к интересующему объекту, он будет выделен в рабочем поле.

Примечание. Поддерживается выбор нескольких объектов с клавишами Ctrl (добавление указанного объекта к уже выбранным) и Shift (добавление всех объектов между исходным и указанным);

– при двойном щелчке ЛКМ по строке, относящейся к интересующему объекту, открывается окно его свойств;

– данные в каждом столбце могут быть отсортированы (см. п. 7 из Г.7);

– данные столбцов можно копировать в MS Excel и вставлять из него, что удобно при заполнении функциональных назначений пинов в УГО многовыводных микросхем;

– доступны дополнительные команды из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любом месте таблицы. Например, командой **ПКМ ⇒ Choose Columns** в группе **Visible Columns** окна Columns Setup кнопками **Up** и **Down** можно изменить порядок расположения столбцов.

5. В нижней области панели приводится следующая информация:

– количество объектов, отображаемых в таблице (количество строк);

– общее количество объектов выбранного вида (см. п. 3.1);

– количество выделенных объектов.

Г.12. Панель Filter

Панель **Filter** используется для создания запросов на выбор объектов для последующего их редактирования.

В зависимости от редактора, с которым производится работа, панель имеет следующие названия:

– в редакторе схем – **SCH Filter**;

– в редакторе УГО – **SCHLIB Filter**;

– в редакторе ПП – **PCB Filter**;

– в редакторе посадочных мест – **PCBLIB Filter**.

Особенности панели:

1. Доступ к панели осуществляется из групп **SCH** и **PCB** (в зависимости от используемого редактора) в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

2. Панели **SCH Filter** и **SCHLIB Filter**.

2.1. Внешний вид панели SCH Filter показан на рис. Г.20.

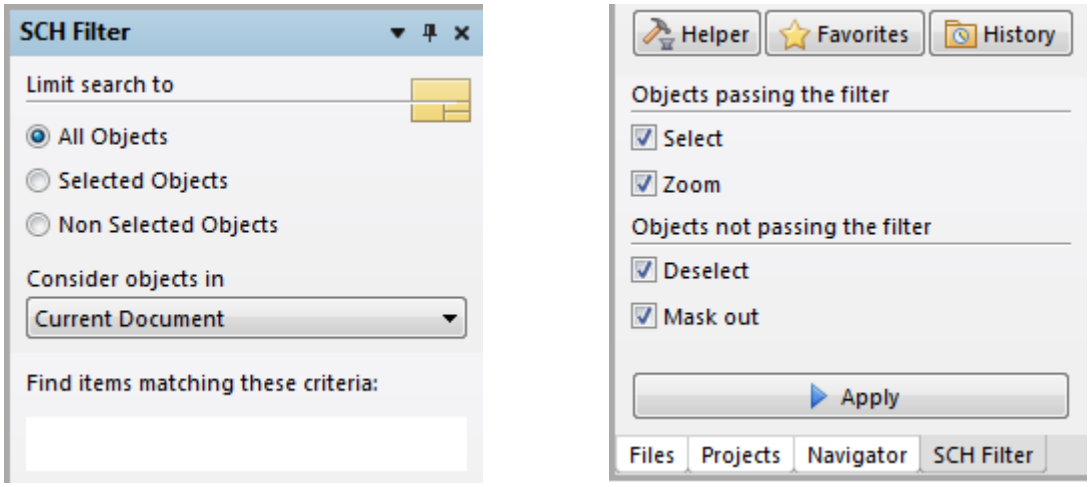


Рис. Г.20

2.2. В группе **Limit search to** задаются объекты, на которые будет действовать запрос:

– **All Objects** – все;

– **Selected Objects** – только предварительно выделенные;

– **Non Selected Objects** – только предварительно невыделенные.

2.3. В списке **Consider objects in** задается область действия запроса: **Current Document**, **Open Documents** или **Project Documents** (см. п. 3 из Г.6).

В панели SCHLIB Filter вместо этого списка присутствует опция **Whole Library** (действие запроса на все компоненты библиотеки).

2.4. В группах **Objects passing the filter** и **Objects not passing the filter** задаются опции, применяемые соответственно к объектам, которые попали и не попали под действие запроса:

– **Select** – выделение;

– **Zoom** – автоматическое масштабирование рабочего поля для отображения выбранных объектов;

– **Deselect** – снятие выделения;

– **Mask out** – маскирование (невыбранные объекты становятся тусклыми и оказываются недоступны для выделения).

2.5. Кнопка **Apply** запускает работу фильтра.

Примечание. Сбросить результаты действия запроса можно комбинацией клавиш Shift+C и кнопкой Clear в нижнем правом углу рабочего поля.

2.6. Поле **Find items matching these criteria** служит для написания текста запроса, который можно создать следующими способами:

– вручную (при вводе появляется список предлагаемых команд);

– автоматически на основе критериев поиска, указанных в окне **Find Similar Objects** с включенной опцией **Create Expression** (см. п. 3 из Г.6);

– с помощью кнопки **Helper** (см. п. 2.7).

Примечание. Некоторые предустановленные запросы можно выбрать из списка, открываемого командой ПКМ ⇒ Examples.

Любой запрос можно сохранить в список предпочтительных для последующего использования командой **ПКМ ⇒ Add to Favorites**. Просмотреть список таких запросов позволяет кнопка **Favorites**, при этом в открывающемся окне на одноименной вкладке доступны следующие кнопки:

– **Remove** – удаление запроса;

– **Rename** – переименование запроса;

– **Edit** – корректировка текста запроса;

– **Apply Expression** – использование запроса.

Примененные запросы сохраняются в истории, которую можно посмотреть с помощью кнопки **History**, при этом в открывающемся окне на одноименной вкладке доступны следующие кнопки:

– **Add To Favorites** – добавление запроса в список предпочтительных;

– **Clear History** – очистка истории;

– **Apply Expression** – использование запроса.

2.7. Окно **Query Helper**, открываемое после нажатия кнопки **Helper**, показано на рис. Г.21.

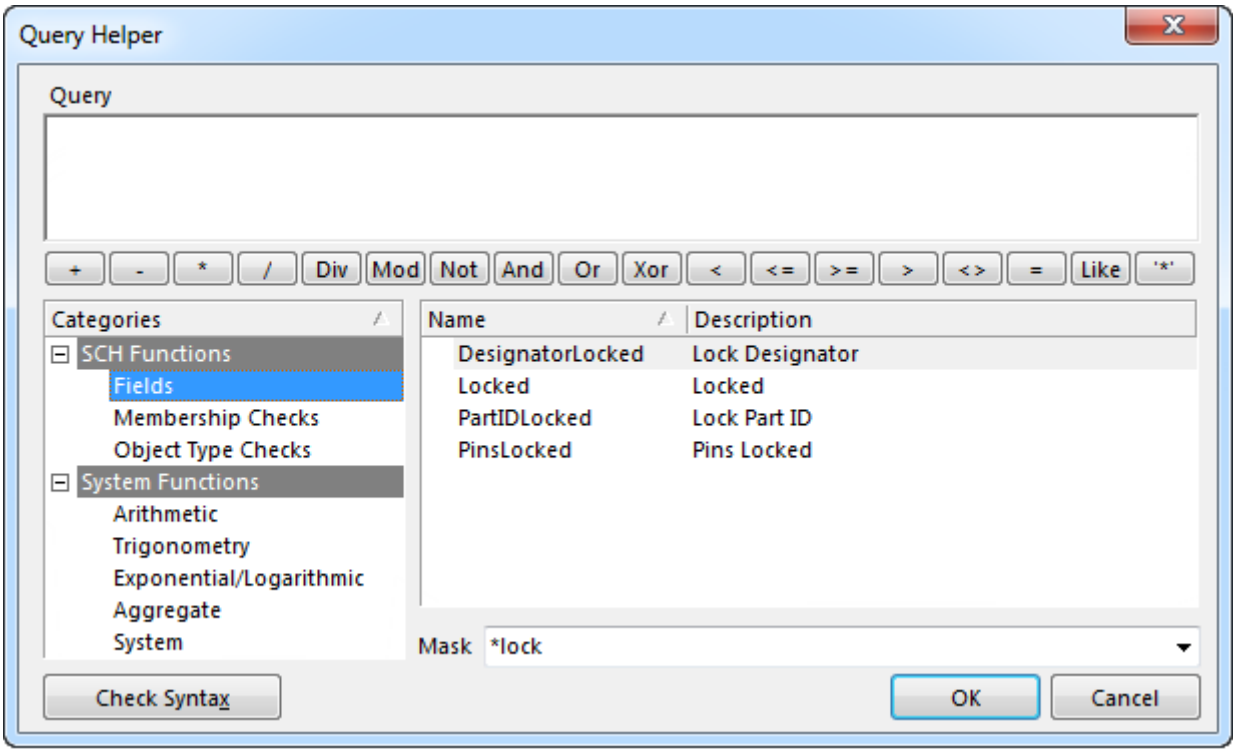


Рис. Г.21

Особенности окна **Query Helper**:

– поле **Query** предназначено для ввода текста запроса (при вводе появляется список предлагаемых команд);

– кнопки под полем Query – различные операторы, которые можно использовать при составлении сложных запросов между командами;

– в группе **Categories** содержатся доступные категории команд, полный список которых для каждой категории приводится в таблице справа.

Примечание. Добавление команды из таблицы в поле Query осуществляется двойным щелчком ЛКМ по ней;

– поле **Mask** позволяет осуществить поиск команды в выбранной категории (доступен символ «*»);

– кнопка **Check Syntax** позволяет проверить правильность написания введенного запроса (но не правильность его работы).

Примечание. По каждой команде из поля Query можно получить справку, нажав на ней клавишу F1, однако для этого требуется подключение к сети Интернет. Описание команд также доступно в [144].

2.8. Примеры некоторых запросов, используемых в редакторах схем и УГО, приведены в табл. Г.8.

Таблица Г.8

Примеры запросов в редакторах схем и УГО

Запрос	Выбираемый объект
IsWire	Линии электрической связи
IsPart	Компоненты
IsPolyline	Линии
PartDesignator = 'DA2'	Компонент *DA2*
IsPowerObject And (StringText = '+5B')	Идентификаторы цепей Power Port с именем +5В
PowerObjectStyle = 'GOST Arrow'	Идентификаторы цепей Power Port с символом стрелки
(IsDesignator Or IsComment) And (Object_Orientation(Parent) = '0 Degrees') And (Object_DesignItemID(Parent) Like '*Polar*')	См. п. 9.5 из 8.3
(IsDesignator Or IsComment) And (Object_Designator(Parent) like 'C*') And Not (Object_DesignItemID(Parent) Like '*Polar*') And ((Object_Orientation(Parent) = '90 Degrees') Or (Object_Orientation(Parent) = '270 Degrees'))	

3. Панели **PCB Filter** и **PCBLIB Filter**.

3.1. Внешний вид панели PCB Filter показан на рис. Г.22.

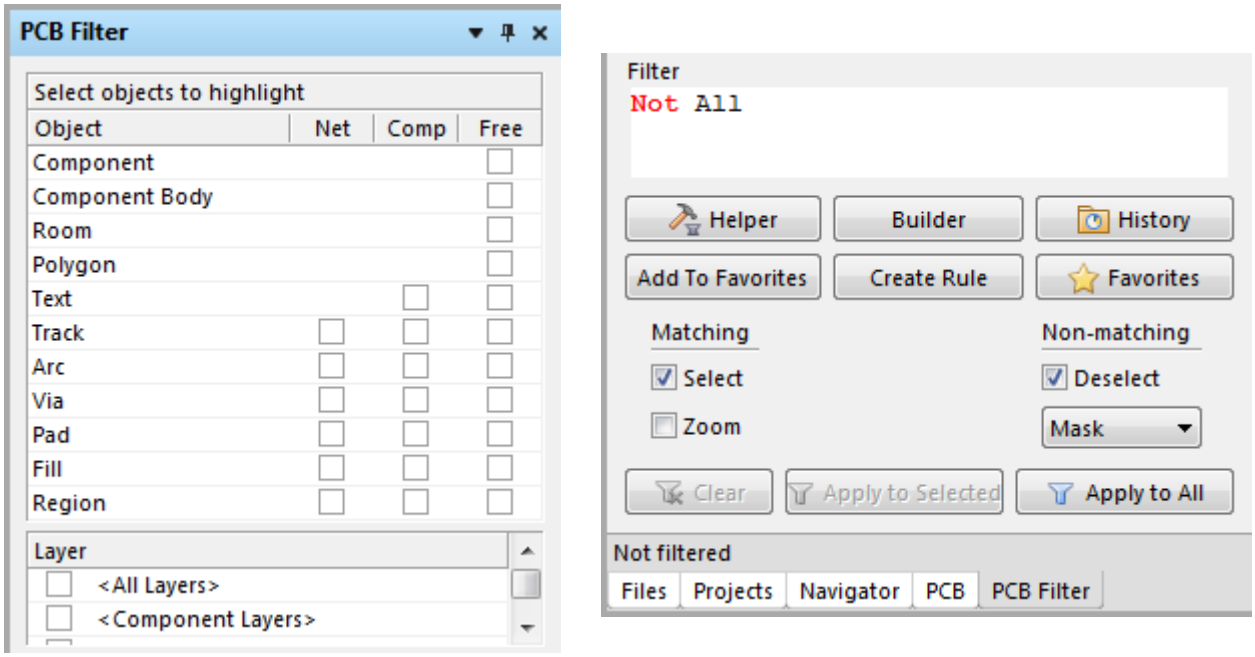


Рис. Г.22

3.2. В верхней области панели PCBLIB Filter есть опция **Filter The Whole Library** (действие запроса на все компоненты библиотеки).

3.3. Группа **Select objects to highlight** предназначена для оперативного выбора объектов и их принадлежности (**Net** – подключены к цепям, **Comp** –

находятся в составе компонентов, **Free** – не принадлежат компонентам) путем установки галочек в соответствующих ячейках.

В панели PCBLIB Filter из этой группы исключены столбцы Net и Comp, а также объекты Component и Room.

3.4. Группа **Layer** предназначена для оперативного выбора слоев расположения объектов.

Общими для панелей являются слои, указанные в структуре ПП, и слои паяльной пасты (см. табл. Г.14). Кроме того, в панели PCB Filter также доступны системные классы слоев и пользовательские классы.

3.5. В группах **Matching** и **Non-matching** задаются опции, применяемые соответственно к объектам, которые попали и не попали под действие запроса. Они соответствуют рассмотренным в п. 2.4.

Дополнительно для объектов Non-matching можно выбрать режим **Normal**, **Mask** или **Dim** (см. п. 3 из Г.6).

Таблица Г.9

Примеры запросов в редакторах ПП и посадочных мест

Запрос	Выбираемый объект
All	Все (см. п. 1 из Г.47)
IsTrack And OnLayer('Top Layer')	Линии на слое **Top Layer**
InNamedPolygon('TopGND')	Полигон с именем TopGND (см. п. 3.2.4 из Г.26)
IsText And IsComponentSelected And OnLayer('M3 Top Assy')	См. примечание к п. 17.2 из 12.3
IsPad And Not InAnyComponent	Любые КП, которые не принадлежат компонентам (см. п. 23.1 из 12.3)
Locked	Заблокированные объекты (см. примечание к п. 23.2 из 12.3)
IsPad And InNet('Net_W1')	КП, подключенные к цепи Net_W1 (см. примечание к п. 5.10 из 12.5)
IsVia And IsFree	Свободные переходные отверстия без подключения к цепи (см. п. 16.1 из 12.5)
IsConnection	Связывающие линии (см. п. 16.11 из 12.5)
(IsVia Or IsPad) And InAnyNet	КП и переходные отверстия, подключенные к любой цепи (см. п. 16.13 из 12.5)
InPoly	Полигоны Polygon Pour (см. п. 16.16 из 12.5)
(IsArc Or IsTrack) And OnLayer('Top Overlay') And InComponentClass('CompShield')	См. п. 22.1 из 12.5
(IsVia And InAnyNet) Or ((IsText And InAnyComponent) And OnLayer('Top Overlay'))	См. п. 22.2 из 12.5

3.6. Кнопки в нижней области панели имеют следующее назначение:

– **Clear** – сброс результат действия запроса.

Примечание. Также это действие можно выполнить комбинацией клавиш Shift+C и кнопкой Clear в нижнем правом углу рабочего поля;

– **Apply to Selected** – применение запроса только к предварительно выделенным объектам;

– **Apply to All** – применение запроса ко всем объектам.

3.7. Поле **Filter** служит для написания текста запроса, и оно аналогично по работе рассмотренному в п. 2.6 полю **Find items matching these criteria**.

Кроме того, дополнительно к описанным способам создания запросов добавляются еще два:

– с помощью групп из пп. 3.2 и 3.3;

– с помощью кнопки **Builder** в окне Building Query from Board.

Примечания:

– пример построения запроса в окне Building Query from Board с комментариями приведен в п. 16.7 из 12.5;

– в более сложных запросах (см. рис. 12.112) вместо последующей ручной расстановки скобок можно изменить уровень вхождения с помощью пиктограмм стрелок влево и вправо.

3.8. Примеры запросов, используемых в редакторах ПП и посадочных мест, приведены в табл. Г.9.

Г.13. Панель Navigator

Панель **Navigator** используется в редакторе схем для просмотра списка электрических объектов схемы (компонентов и их классов, цепей и их классов, шин и т. д.) и их взаимосвязей.

Внешний вид панели для проекта из варианта «П1» показан на рис. Г.23.

Особенности панели:

1. Доступ к панели осуществляется из группы **Design Compiler** в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

2. Для появления информации в панели требуется компиляция проекта.

3. Панель состоит из четырех областей:

– область **Documents** со списком листов схем проекта. В обычных однолистовых и многолистовых проектах здесь находится строка **Flattened Hierarchy** (плоская иерархия проекта, т. е. сразу все его листы) и строки с отдельными листами проекта;

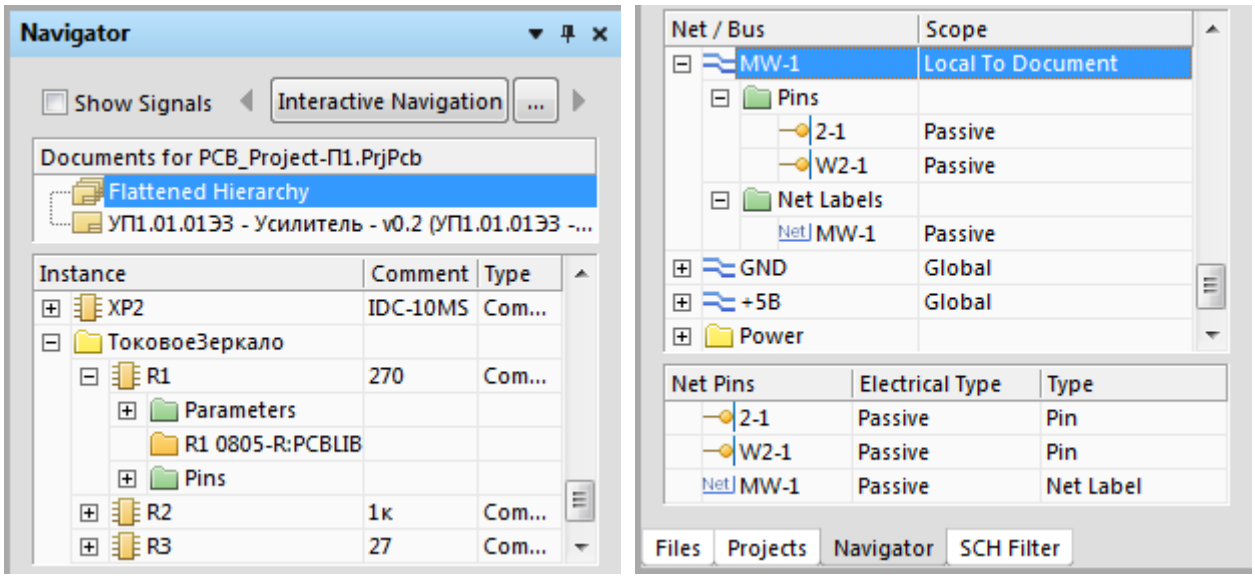


Рис. Г.23

– область **Instance** со списком компонентов и их классов. В группе каждого компонента всегда содержатся значения пользовательских параметров и наименование посадочного места. Наличие информации о пинах определяется опцией **Pins** из п. 4;

– область **Net / Bus** со списком цепей, их классов и шин. Содержание информации в группе каждой цепи полностью определяется опциями из п. 4;

– область **Net Pins**, которая содержит данные, полностью определяемые опциями из п. 4, о любой выбранной строке из трех остальных областей.

4. Данные, которые дополнительно отображаются в группе каждого объекта из областей **Instance**, **Net / Bus** и **Net Pins** задаются в группе **Objects To Display** (рис. Г.24) из подраздела **System ⇒ Navigation** окна **Preferences** (команда DXP ⇒ Preferences).

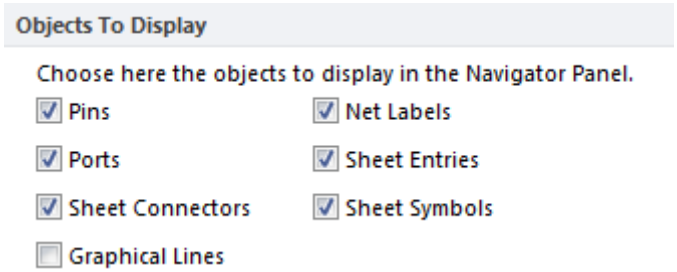


Рис. Г.24

Здесь можно включить отображение пинов (**Pins**), линий электрической связи (**Graphical Lines**) и идентификаторов (**Ports**, **Sheet Connectors**, **Net Labels**, **Sheet Entries** и **Sheet Symbols** из Г.27).

Примечание. Доступ к указанном подразделу также осуществляется кнопкой с троеточием в верхней части панели (рис. Г.23).

5. Объекты можно выбирать как в панели щелчком ЛКМ, так и в рабочем поле, предварительно запустив интерактивный режим кнопкой **Interactive Navigation** в верхней части панели. Перемещаться по истории выбора можно с помощью пиктограмм с треугольником, расположенных слева и справа от указанной кнопки.

Выбор строки в верхней области панели определяет объекты, которые будут отображаться в трех оставшихся областях (для всех листов проекта или для какого-то отдельного).

Информация в трех нижних областях меняется в зависимости от выбранного объекта, например:

– при выборе компонента в рабочем поле будет раскрыта его группа в области **Instance** и отобразятся его пины в области **Net Pins** (при условии включения опция Pins на рис. Г.24);

– при выборе цепи в рабочем поле будет раскрыта ее группа в области **Net / Bus** и в области **Net Pins** отобразятся пины компонентов, подключенные к ней, и метка цепи, если она была размещена на этой цепи (при условии включения опций Pins и Net Labels на рис. Г.24);

– если выбрать пин компонента в области **Net Pins**, то он будет выделен в соответствующих группах в областях **Instance** и **Net / Bus**.

Кроме того, выбранные объекты в областях **Instance**, **Net / Bus** и **Net Pins** автоматически подсвечиваются в рабочем поле (см. п. 6).

6. Подсветка объектов в рабочем поле как при их выборе в панели, так и при выборе в интерактивном режиме определяется опциями группы **Highlight Methods** (рис. Г.25) из подраздела **System ⇒ Navigation** окна **Preferences** (команда DXP ⇒ Preferences):

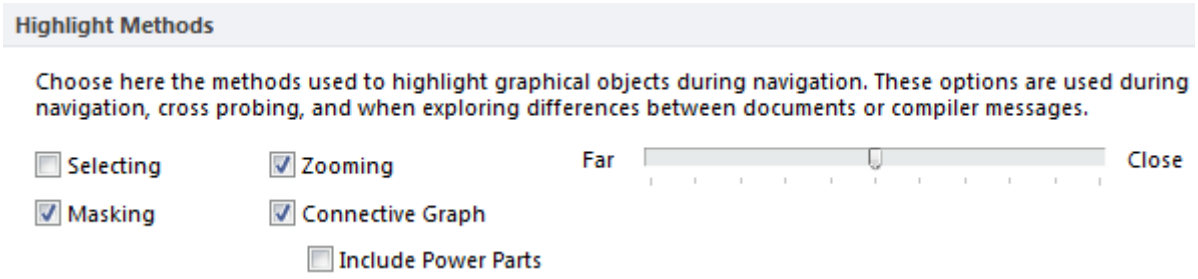


Рис. Г.25

– **Selecting** – выделение выбранного объекта (и связанных с ним при включенной опции Connective Graph), что позволяет настроить его свойства в панелях SCH List и SCH Inspector. Однако это не приводит к выделению объекта на ПП даже при включенном режиме Cross Select Mode (см. Г.35);

– **Masking** – затенение объектов, не относящихся к выбранному (и связанных с ним при включенной опции Connective Graph);

– **Zooming** – масштабирование на выделенном объекте (и связанных с ним при включенной опции Connective Graph). Настройка масштаба осуществляется перемещением ползунка от **Far** (далеко) до **Close** (вписать объекты в рабочее поле);

– **Connective Graph** – отображение объектов, связанных с выбранным, с добавлением соединяющих линий (граф связности) зеленого цвета при работе с компонентами и красного цвета при работе с цепями.

Примечание. Если линия электрической связи нарисована с разрывом, то соединяющая линия будет изображена с пунктиром (см. рис. 8.64);

– **Include Power Parts** – отображать компоненты, которые связаны с выбранным с помощью идентификаторов цепей Power Port.

Примечания:

– во многолистовых проектах рекомендуется включить одновременное отображение вкладок с листами схемы (см. п. 10.4 из 12.3);

– очистка подсветки осуществляется комбинацией клавиш Shift+C или кнопкой Clear в нижнем правом углу рабочего поля (см. рис. 5.9).

7. Выбор объекта в панели (или в рабочем поле при интерактивном режиме) с зажатой клавишей **Alt** приведет к его подсветке также и в открытом файле трассировки, даже если режим Cross Select Mode выключен (см. Г.35).

Примечания:

– подобную возможность удобно использовать при одновременном отображении вкладок со схемой и файлом трассировки (см. п. 10.4 из 12.3);

– включенная опция Connective Graph (см. п. 6) не приводит к подсветке связанных объектов в файле трассировки.

8. Опция **Show Signals** в верхней части панели (см. рис. Г.23) преобразует область **Net / Bus** в область **Signal** для просмотра сигналов.

Примечание. С библиотечными компонентами из данного учебного пособия данная опция не представляет интереса.

9. После компиляции проекта в дополнение к вкладке **Editor**, в которой осуществлялось создание текущего листа схемы, появится вкладка с наименованием этого листа, предназначенная только для его просмотра.

Примечание. Перейти на нее можно либо выбрав ее в рабочем поле, либо дважды щелкнув ЛКМ по строке с соответствующим листом в области Documents.

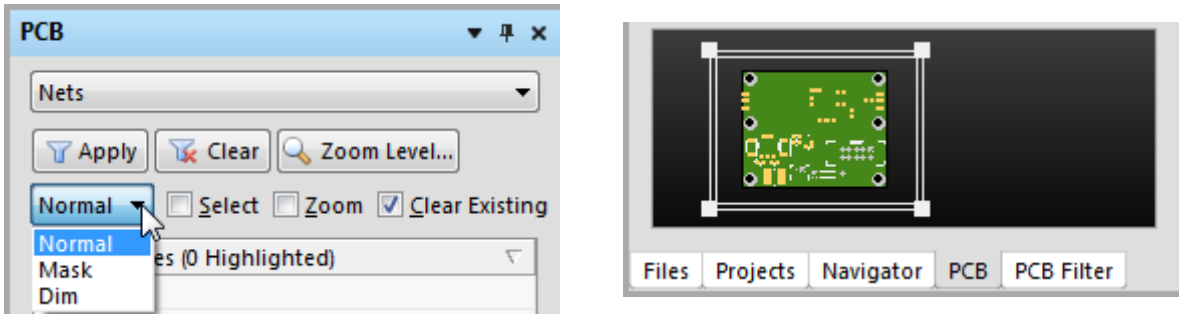
Г.14. Панель PCB

Панель **PCB** используется для просмотра объектов с ПП.

Особенности панели:

1. Доступ к панели осуществляется из группы **PCB** в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

2. В верхней области панели собраны опции, влияющие на отображение выбранных в ней объектов в рабочем поле (рис. Г.26, *а*):



а *б*

Рис. Г.26

– группа опций **Normal**, **Dim** и **Mask** (см. п. 3 из Г.6);

– опции **Select**, **Zoom**, **Clear Existing**, **Apply** и **Clear** аналогичны описанным в п. 5 из Г.7;

– **Zoom Level** – настройка уровня для опции Zoom перемещением ползунка от **Far** (далеко) до **Close** (вписать объекты в рабочее поле).

Примечание. Настройка является системной и также может быть задана в группе Highlight Methods (см. рис. Г.25) из подраздела System ⇒ Navigation окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences).

3. В нижней области панели находится окно **мини-просмотра** с изображением ПП без механических слоев (рис. Г.26, *б*).

Примечание. Особенности данного окна описаны в п. 6.1 из Г.7.

4. Остальная область панели образована тремя частями, информация в которых зависит от выбранного режима работы панели из списка, расположенного в верхней части панели (рис. Г.26, *а*).

Часто используемые режимы работы:

4.1. **Nets** (цепи). В этом режиме в средней области панели приводится следующая информация (рис. Г.27):

– классы цепей;

– цепи выбранных классов;

– примитивы выбранных цепей.

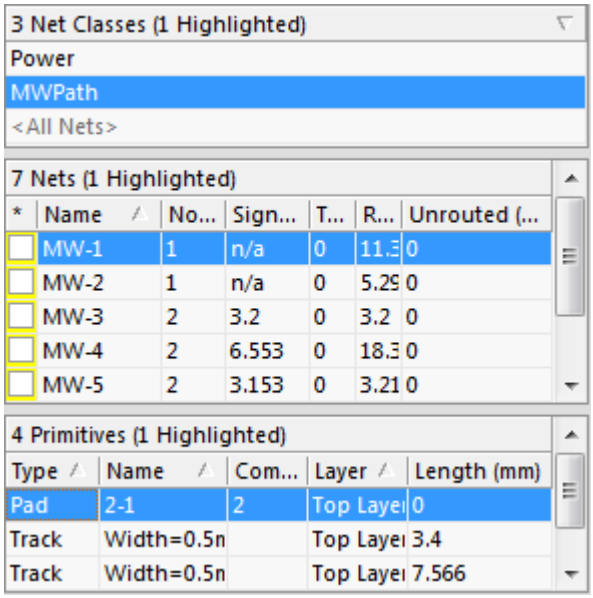


Рис. Г.27

В каждой части можно осуществить сортировку информации и открыть свойства выбранного объекта для его редактирования.

Особенности режима:

4.1.1. В списке классов цепей командами **Add Class** и **Delete Class** из контекстного меню (щелчок ПКМ) можно создать новый класс или удалить выбранный соответственно.

Класс **All Nets** присутствует всегда и включает в себя все цепи.

4.1.2. В списке с цепями можно изменить количество столбцов с информацией командой **ПКМ ⇒ Columns**.

Назначение столбцов:

– «*» – цветной ореол в ячейке показывает цвет, заданный для данной цепи. Этим цветом обозначаются связывающие линии, и его можно поменять в свойствах цепи. При установке галочки в ячейке в цвет цепи окрасятся все объекты, которые к ней подключены.

Примечание. Настройки окраски задаются в подразделе PCB Editor ⇒ Board Insight Color Overrides окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences);

– **Name** – имя цепи;

– **Node Count** – количество КП в данной цепи;

– **Total Pin/Package Length** – сумма значений всех параметров Pin/Pkg Length, заданных в КП для учета длин выводов компонентов;

– **Routed Length** – сумма длин всех трасс (линии и дуги) с учетом высот переходных отверстий, расположенных на них;

– **Unrouted (Manhattan)** – манхэттенское расстояние всех участков цепей со связывающими линиями (сумма модулей разностей их координат);

– **Signal Length** – суммарная длина прохождения сигнала: Unrouted (Manhattan), Total Pin/Package Length, длины прохождения сигнала по объектам, отличным от линий и дуг (например, по полигонам), и Routed Length, но за вычетом тупиковых участков трасс и петель.

Примечание. Значение указывается только для цепей, содержащих две КП. В противном случае записывается n/a. Для вычисления длин сигналов цепей с большим количеством КП требуется создание объекта xSignals;

– **Min** и **Max** – соответственно минимальное и максимальное значения, заданные в правилах проектирования (подразделы Length и Matched Lengths группы High Speed);

– **Estimated Length** – оцениваемая длина (Routed Length и длины связывающих линий, определенных по кратчайшему расстоянию между узлами).

При наличии заданных правил проектирования в ячейках может присутствовать цветовая индикация (см. примечание к п. 5.8 из 12.5).

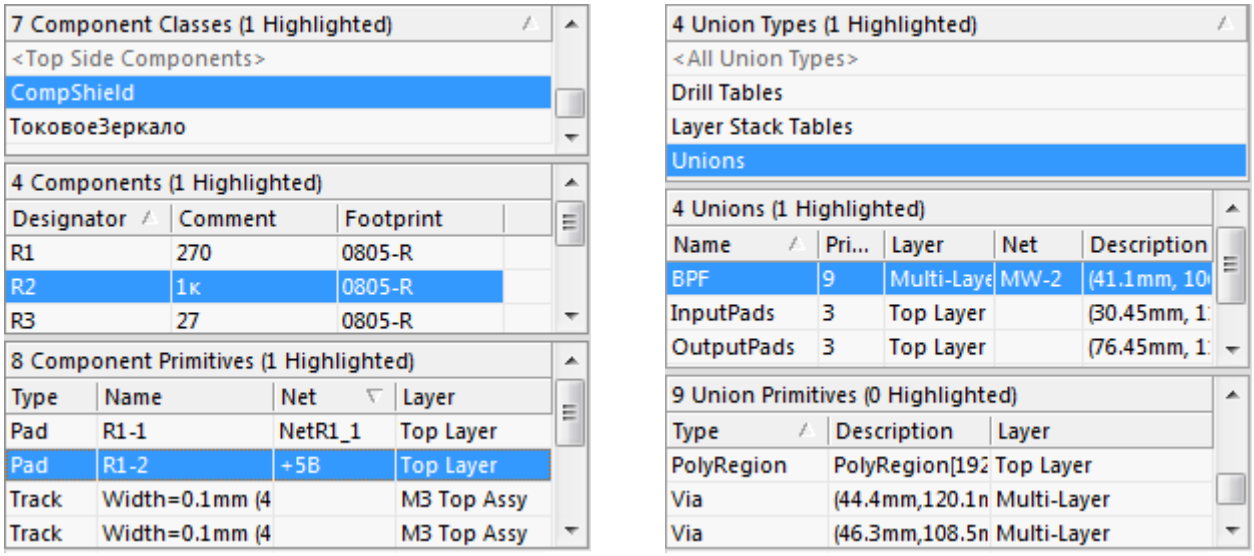
4.1.3. В списке с примитивами по умолчанию приведены не все возможные объекты. Настроить их отображение можно из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ.

4.2. **Components** (компоненты). В этом режиме в средней области панели приводится следующая информация (рис. Г.28, *а*):

– классы компонентов;

– компоненты выбранных классов;

– примитивы выбранных компонентов.



а *б*

Рис. Г.28

В каждой части можно осуществить сортировку информации и открыть свойства выбранного объекта для его редактирования.

Особенности режима:

4.2.1. В списке с классами компонентов можно создать новый класс или удалить выбранный (см. п. 4.1.1).

Кроме пользовательских классов здесь присутствует пять системных:

– **All Components** – все компоненты;

– **Bottom Side Components** – компоненты с нижней стороны ПП;

– **Inside Board Components** – компоненты внутри контура ПП;

– **Outside Board Components** – компоненты вне контура ПП;

– **Top Side Components** – компоненты с верхней стороны ПП.

4.2.2. В списке с компонентами командой **ПКМ ⇒ Reposition Component** включается режим размещения выбранного компонента.

Крайний правый столбец без названия позволяет оперативно управлять блокировкой выбранных компонентов.

4.2.3. Особенности списка с примитивами см. в п. 4.1.3.

4.3. **Unions** (группы). В этом режиме в средней области панели приводится следующая информация (см. рис. Г.28, *б*):

– категории групп;

– группы выбранной категории;

– примитивы выбранных групп.

В каждой части можно осуществить сортировку информации.

Особенности режима:

4.3.1. Примеры категорий:

– все группы (**All Union Types**);

– пользовательские группы (**Unions**);

– отдельные системные группы (таблицы отверстий, таблицы структуры слоев, меандры для подстройки длины и др.).

4.3.2. В списке групп полезными могут оказаться следующие команды из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ:

– **Select All In Union** – выделить все объекты группы;

– **Deselect All In Union** – снять выделение со всех объектов группы;

– **Break objects from Union** – исключение объектов из группы. Если в открывшемся окне убрать галочки в столбце **Keep in Union** со всех объектов, то группа удалится;

– **Rename** – переименование группы.

4.3.3. В списке примитивов можно открыть свойства выбранного объекта для его редактирования.

4.4. **3D Models** (3D-модели). В этом режиме в средней области панели приводится следующая информация (рис. Г.29):

– классы компонентов;

– компоненты выбранных классов;

– 3D-модели выбранных компонентов.

В каждой части можно осуществить сортировку информации.

Особенности режима:

4.4.1. В списке классов компонентов можно только выбрать требуемый.

4.4.2. В списке с компонентами кроме компонентов выбранного класса всегда присутствует строка **Free Models**. Здесь собраны 3D-модели, которые были добавлены в файл трассировки пользователем, т. е. они не принадлежат никаким компонентам.

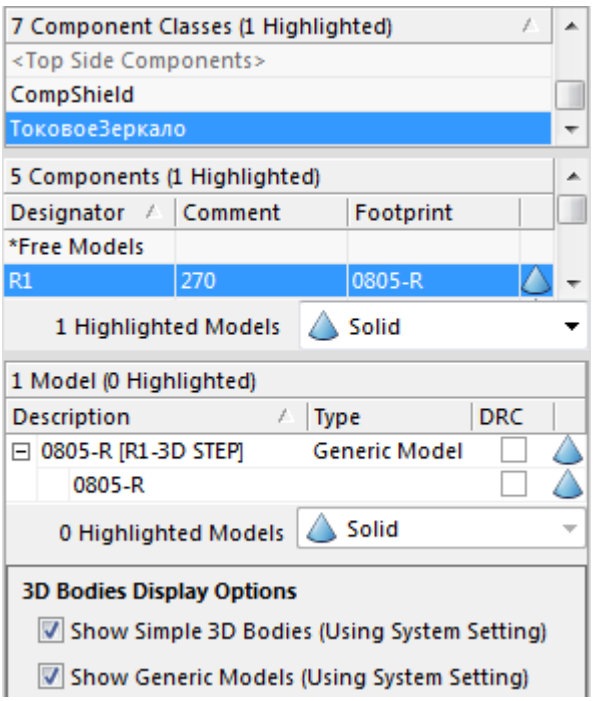


Рис. Г.29

Крайний правый столбец без названия позволяет последовательно переключать режимы прозрачности 3D-модели выбранного компонента от 0 % (**Hide**, невидимый) до 100 % (**Solid**, полностью видимый) с шагом 25 %. Кроме того, требуемый режим можно выбрать сразу из списка.

Для выбранного компонента доступен переход в окно его свойств.

4.4.3. При наличии у компонента нескольких 3D-моделей каждой из них можно задать разный режим прозрачности (например, так сделано в посадочных местах применяемых при проектировании SMD-светодиодов).

В группе **3D Bodies Display Options** задаются настройки из подраздела **PCB Editor ⇒ Display** окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences):

– **Show Simple 3D Bodies** – видимость 3D-моделей, созданных средствами Altium Designer;

– **Show Generic Models** – видимость загруженных 3D-моделей.

Примечание. Отключение отображения 3D-моделей только в текущей ПП производится в группе 3D Bodies окна View Configurations (клавиша L).

4.5. **Pad & Via Templates** (шаблоны КП и переходных отверстий). В этом режиме в средней области панели приводится следующая информация (рис. Г.30):

– библиотеки;

– шаблоны выбранных библиотек;

– КП и переходные отверстия выбранных шаблонов.

В каждой части можно осуществить сортировку информации.

Особенности режима:

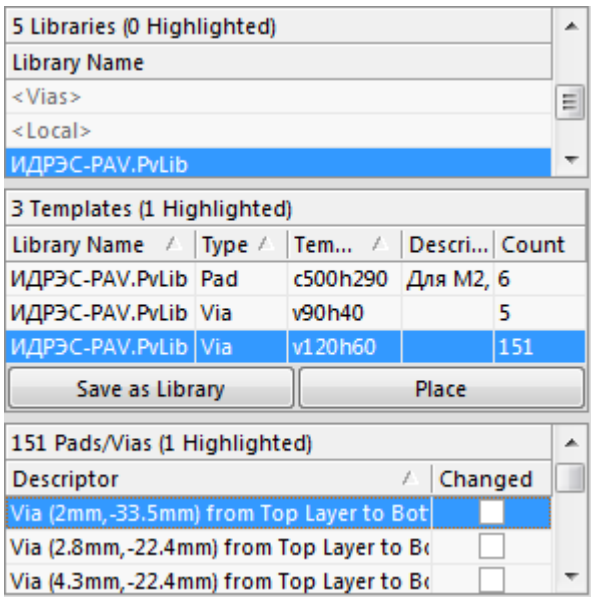


Рис. Г.30

4.5.1. В списке библиотек всегда присутствуют следующие:

– **All** – все шаблоны;

– **Pads** – только шаблоны КП;

– **Vias** – только шаблоны переходных отверстий;

– **Local** – шаблоны КП и переходных отверстий из файла трассировки, т. е. не из сторонних библиотек.

Все остальные библиотеки – подключенные.

4.5.2. В списке шаблонов доступно две кнопки:

– **Save as Library** – создание новой библиотеки шаблонов КП и переходных отверстий на основе выбранных шаблонов;

– **Place** – добавление в файл трассировки выбранного шаблона из подключенной библиотеки.

4.5.3. Для каждого объекта из списка КП и переходных отверстий доступен переход в окно его свойств.

Столбец **Changed** служит индикацией изменений. В нем автоматически появляются галочки у тех КП и переходных отверстий из подключенных библиотек, шаблоны которых были изменены в проекте. Внести изменения можно кнопкой Update в панели PCB Pad Via Templates (см. Г.16).

Г.15. Панель PCB Rules And Violations

Панель **PCB Rules And Violations** используется в редакторе ПП для работы с нарушениями правил проектирования, обнаруженных как в режиме реального времени, так и после пакетной проверки.

Описание панели приведено в п. 26.4 из 12.5.

Г.16. Панель PCB Pad Via Templates

Панель **PCB Pad Via Templates** используется в редакторах ПП и посадочных мест в основном для работы с библиотеками шаблонов КП и переходных отверстий.

Внешний вид панели для открытого файла трассировки из варианта «П1» с подключенной библиотекой шаблонов **ИДРЭС-PAV.PvLib** из папки **…ИДРЭС\AD library** показан на рис. Г.31.

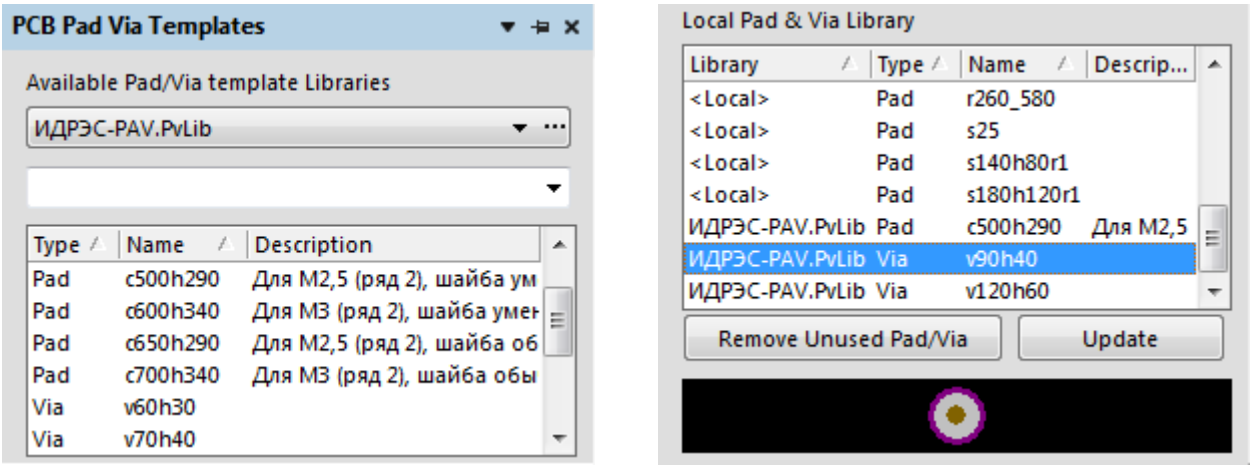


Рис. Г.31

Особенности панели:

1. Доступ к панели осуществляется из группы **PCB** в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

2. В группе **Available Pad/Via template Libraries** содержатся следующие элементы:

2.1. Поле с текущей библиотекой шаблонов КП и переходных отверстий, с которой в данный момент осуществляется работа. Подключение библиотек осуществляется в окне Available Libraries на вкладках Project и Installed после нажатия на пиктограмму с тремя точками.

Примечание. В используемой версии Altium Designer в списке отображается только одна библиотека, находящаяся в данный момент на первом месте на вкладке Project. Если указанная вкладка пуста, то будет отображаться библиотека с вкладки Installed;

– назначение вкладок окна Available Libraries описано в п. 2 из Г.9.

2.2. Поле для поиска шаблона в текущей библиотеке.

Примечание. Поиск по маске не поддерживается.

2.3. Таблица с шаблонами КП и переходных отверстий в текущей библиотеке со следующими столбцами.

– **Type** – тип шаблона (**Pad** – КП, **Via** – переходное отверстие);

– **Name** – имя шаблона (см. Г.22);

– **Description** – описание шаблона.

Примечание. Данные столбцов можно сортировать (см. п. 7 из Г.7).

Из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любом месте данной таблицы, доступны две команды:

– **Add To Internal Library** – добавление выбранного шаблона в таблицу Local Pad & Via Library без размещения в рабочем поле;

– **Place** – добавление выбранного шаблона на рабочее поле (такой шаблон будет также добавлен в таблицу Local Pad & Via Library).

Вместо указанных команд можно воспользоваться перетаскиванием шаблонов зажатой ЛКМ, при этом:

– если перетащить шаблон в свободное место таблицы Local Pad & Via Library или в рабочее поле, то он будет добавлен в новую строку;

– если перетащить шаблон на уже существующий в таблице Local Pad & Via Library, то последний будет заменен перетаскиваемым.

3. В группе **Local Pad & Via Library** содержатся следующие элементы:

3.1. Таблица с шаблонами КП и переходных отверстий, которые существуют в данном файле: добавленные из библиотеки (в столбце Library указывается название библиотеки) и локальные, которые были созданы только в текущем файле (в столбце Library указывается <Local>).

Добавление шаблона в рабочее поле осуществляется перетаскиванием зажатой ЛКМ или командой **ПКМ ⇒ Place**.

Примечания:

– данные столбцов можно сортировать (см. п. 7 из Г.7);

– добавленные шаблоны из библиотек можно использовать в файле трассировки, в правилах проектирования, в настройках примитивов по умолчанию и в некоторых командах.

3.2. Кнопка **Remove Unused Pad/Via**, позволяющая удалить из таблицы Local Pad & Via Library неиспользуемые шаблоны из библиотеки.

Примечание. Локальные шаблоны удаляются из таблицы автоматически, если они отсутствуют в файле (например, были удалены).

3.3. Кнопка **Update**, позволяющая обновить шаблоны из библиотек, если с ними в библиотеке или в рабочем поле были сделаны какие-то изменения. В появляющихся при этом окнах можно конкретизировать область обновления (например, запретить обновление заблокированных КП).

3.4. Окно **мини-просмотра** с изображением выбранного в таблице Local Pad & Via Library шаблона КП.

Г.17. КП со стандартными параметрами

Добавление КП (назначение см. в п. 7 из 5.2.3) производится командой **Place ⇒ Pad** (или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ P**).

В окне свойств КП доступны следующие опции:

1. Группа **Properties** (рис. Г.32):

– **Designator** – номер или обозначение КП;

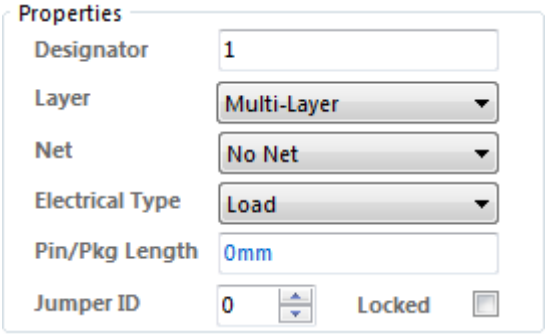


Рис. Г.32

– **Layer** – слой расположения (для планарных КП в основном используются слои Top Layer или Bottom Layer, а для КП с отверстием выбирается слой Multi-Layer);

– **Net** – название цепи, к которой подключена КП (опция **No Net** означает отсутствие подключения к цепи);

– **Electrical Type** – электрический тип КП, который учитывается в правилах ПП в подразделе Routing ⇒ Routing Topology. Например, если КП задать тип Source, а в правилах выбрать вид топологии Starburst (топология «звезда»), то все связывающие линии данной цепи будут сходиться в этой КП (рис. Г.33);

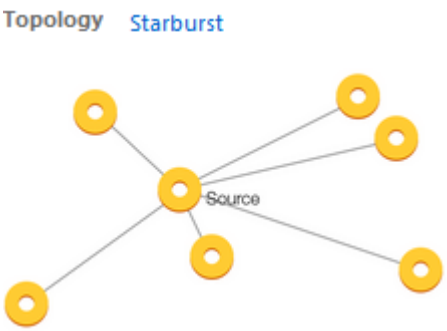


Рис. Г.33

– **Pin/Pkg Length** – длина вывода компонента, устанавливаемого на данную КП (учитывается в параметре Signal Length по п. 4.1.2 из Г.14);

– **Jumper ID** – идентификатор перемычки;

– **Locked** – блокировка КП.

Примечания:

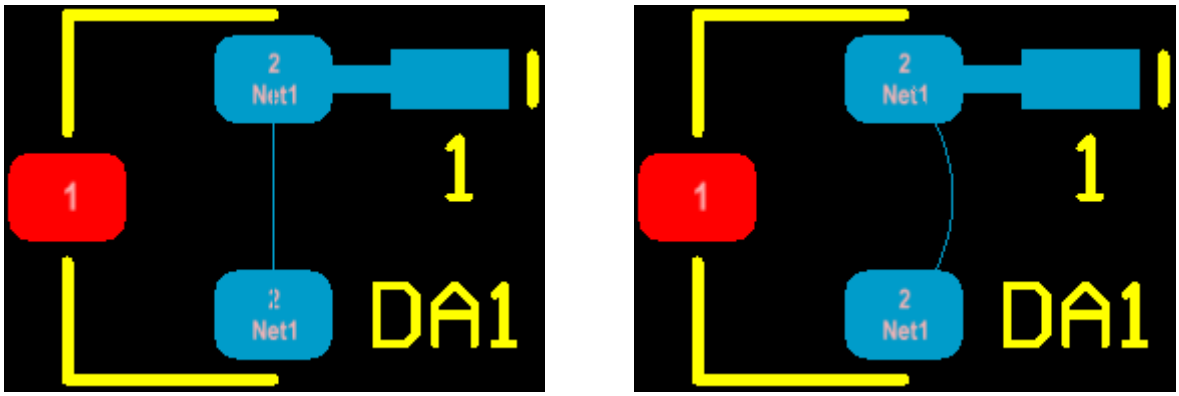
– если КП создается в составе посадочного места и будет подключена к УГО, то для правильного автоматического установления связей необходимо, чтобы соответствующие КП и пины имели одинаковые номера (наименования) в полях Designator. Также связи можно установить вручную для каждого компонента с использованием окна Model Map (см. п. 2.4 из 5.4);

– КП посадочного места с одинаковыми номерами (обозначениями) в поле Designator будут связаны с одним пином в УГО компонента, а на ПП автоматически подключатся к цепи этого пина. При трассировке ПП все такие КП должны быть соединены с металлизацией (трассами, полигонами и т. п.) соответствующей цепи (рис. Г.34, а);

– КП посадочного места с одинаковыми номерами (обозначениями) в поле Designator и номерами в поле Jumper ID считаются физически объединенными внутри компонента (например, выводы от металлического корпуса разъема). При трассировке ПП с металлизацией соответствующей цепи

(трассами, полигонами и т. п.) должна быть соединена хотя бы одна такая КП (рис. Г.34, б). Перемычки обозначаются дугой с цветом, установленным для данной цепи;

– нулевые идентификаторы перемычек означают, что КП внутри компонента физически не объединены (значение по умолчанию).



а *б*

Рис. Г.34

2. Группа **Hole Information** (рис. Г.35):

– **Hole Size** – диаметр отверстия;

– **Tolerance** – предельные отклонения диаметра отверстия (используются только как справочная информация);

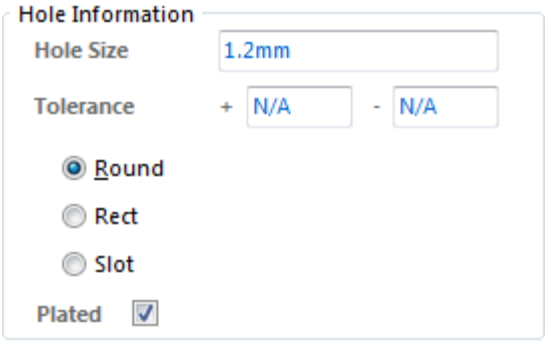


Рис. Г.35

– **Round** – круглое отверстие;

– **Rect** – прямоугольное отверстие с шириной из поля Hole Size (в появляющемся при выборе этой опции поле **Length** задается длина прямоугольника, а в поле **Rotation** – угол поворота);

– **Slot** – прямоугольное отверстие со скруглениями коротких сторон, диаметр которых равен значению из поля Hole Size (также доступны указанные выше опции Length и Rotation). Параметры подобных отверстий приведены в табл. Л.6 для команды G85;

– **Plated** – наличие внутренней металлизации отверстия.

Примечание. Настройки данной группы доступны только для КП с отверстием.

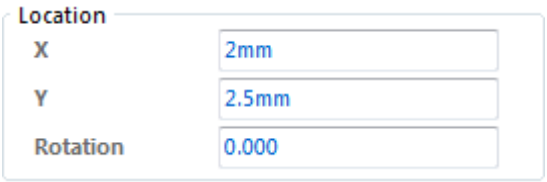


Рис. Г.36

3. Группа **Location** (рис. Г.36):

– **X** и **Y** – координаты расположения центра КП;

– **Rotation** – угол поворота КП.

4. Группа **Size and Shape** (рис. Г.37):

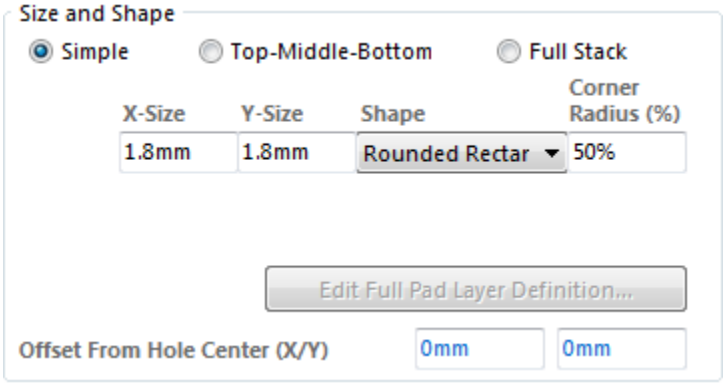


Рис. Г.37

– **X-Size** – размер КП по горизонтали;

– **Y-Size** – размер КП по вертикали;

– **Shape** – форма КП: **round** – круг, **rectangular** – прямоугольник, **octagonal** – прямоугольник со скошенными под углом 45° углами (все фаски имеют одинаковые размеры, равные 50 % от половины короткой стороны); **rounded rectangle** – прямоугольник со скругленными углами;

– **Corner Radius (%)** – радиус скругления углов в процентах от половины короткой стороны КП (доступно только для формы rounded rectangle);

– **Simple** – простая КП (для КП с отверстием означает одинаковую форму КП на всех слоях ПП);

– **Top-Middle-Bottom** – сложная КП, для которой можно задать разные размеры и формы отдельно на слоях Top Layer, Bottom Layer и сразу всех внутренних слоях ПП;

– **Full Stack** – сложная КП, для которой можно задать разные размеры и формы отдельно на каждом сигнальном слое. После выбора этой опции становится доступной кнопка Edit Full Pad Layer Definition, по нажатию которой открывается окно для редактирования параметров КП;

– **Offset From Hole Center (X/Y)** – сдвиг по горизонтали и вертикали центра отверстия относительно центра КП.

5. Группа **Paste Mask Expansion** (рис. Г.38):

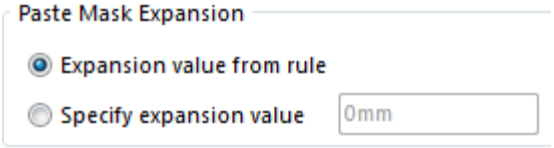


Рис. Г.38

– **Expansion value from rule** – величина, на которую соответствующие области в слоях паяльной пасты выступают за границы КП заданной формы (определяется в правилах ПП в подразделе Mask ⇒ Paste Mask Expansion и по умолчанию равна 0 мм);

– **Specify expansion value** – величина, на которую соответствующие области в слоях паяльной пасты выступают за границы КП заданной формы (определяется для конкретной КП и не зависит от общих правил ПП).

6. Группа **Solder Mask Expansions** (рис. Г.39):

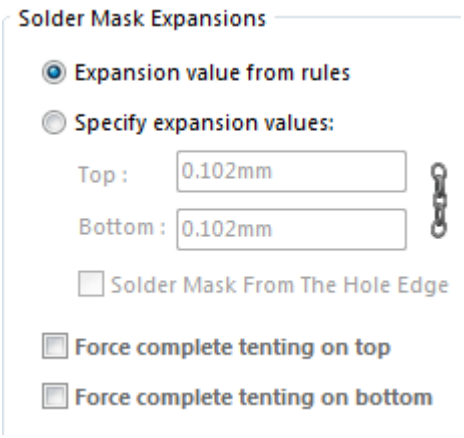


Рис. Г.39

– **Expansion value from rules** – величина, на которую соответствующие области в слоях защитной паяльной маски выступают за границы КП заданной формы (определяется в правилах ПП в подразделе Mask ⇒ Solder Mask Expansion);

– **Specify expansion values** – величина, на которую соответствующие области в слоях защитной паяльной маски выступают за границы КП заданной формы (определяется для конкретной КП и не зависит от общих правил ПП).

Примечание. Пиктограмма цепи позволяет задать значения отдельно для слоя Top Layer (поле Top) и Bottom Layer (поле Bottom);

– **Solder Mask From The Hole Edge** – величины из полей Top и Bottom будут отсчитываться не от границ формы КП, а от края отверстия;

– **Force complete tenting on top** и **Force complete tenting on bottom** – опции, позволяющие закрыть маской КП на слоях Top Layer и Bottom Layer соответственно (при включении данных опций все настройки, заданные в этой группе ранее, будут проигнорированы).

7. Группа **Testpoint Settings** (рис. Г.40):

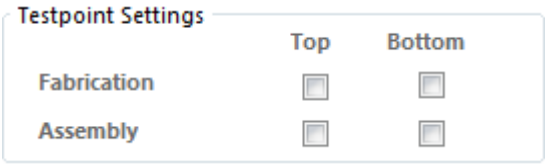


Рис. Г.40

– **Fabrication** – КП на слое Top Layer и (или) Bottom Layer назначаются свойства тестовой площадки (контрольной точки) для возможности тестирования ПП без установленных на нее компонентов;

– **Assembly** – аналогично Fabrication, но такие контрольные точки используется для тестирования ПП с установленными компонентами.

Примечания:

– контрольной точкой также может быть переходное отверстие;

– контрольным точкам могут быть назначены правила ПП в разделе Testpoint: подраздел Usage – для каких цепей и в каком количестве они нужны; подраздел Style – правила, которым они должны удовлетворять;

– примером использования контрольных точек со свойством Fabrication является обнаружение замыканий между различными цепями или обрывов в заданной цепи;

– в общем случае любая КП и переходное отверстие без защитной паяльной маски до установки компонентов на ПП может использоваться как контрольная точка. Однако контрольные точки со свойством Fabrication могут потребоваться в случаях, если используются компоненты с малым шагом выводов (сложно попасть зондом в КП; нежелательно соприкосновение зонда с КП, чтобы ее не повредить) или из-за особенностей оборудования, применяемого для тестирования (например, зонд перемещается с определенным шагом, т. е. контрольные точки должны быть размещены в узлах сетки с определенным шагом);

– примером использования контрольных точек со свойством Assembly является тестирование правильной работы компонентов (например, проверка заданных напряжений при включении устройства);

– для контрольных точек со свойством Assembly обычно задаются требования по размещению в сетке с определенным шагом (из-за особенностей работы оборудования для тестирования), на некотором минимальном расстоянии от корпусов компонентов (зонд имеет конечные размеры) и др.;

– управление контрольными точками в редакторе ПП осуществляется командой Tools ⇒ Testpoint Manager;

– информацию о контрольных точках, расположенных на ПП, можно вывести в отчет командами File ⇒ Fabrication Outputs ⇒ Test Point Report или File ⇒ Assembly Outputs ⇒ Test Point Report.

8. Группа с вкладками в верхней части окна.

Здесь можно посмотреть вид КП на относящихся к ней и доступных в данный момент слоях.

Например, для планарной КП со слоя Top Layer будут отображаться вкладки со слоями Top Layer, Top Paste и Top Solder, если все они отображаются в данный момент в проекте. Для КП с отверстием добавятся три таких же слоя на нижней стороне ПП (Bottom) и слой Multi-Layer.

Примечание. У КП с отверстием на слоях Top Paste и Bottom Paste не будет никакой информации, кроме рисунка отверстия, так как такие КП не предназначены для нанесения паяльной пасты.

9. В группе **Pad Template** (рис. Г.41) в списке **Template** можно выбрать шаблон КП, которая уже есть в текущем файле трассировки или в текущем

посадочном месте в библиотеке. В этом случае все настройки соответствующего шаблона будут загружены в рассмотренные ранее группы.

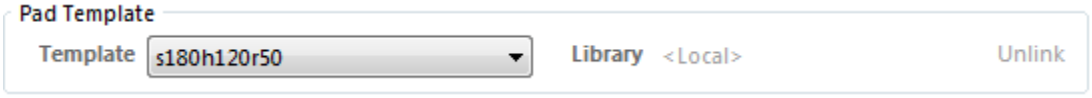


Рис. Г.41

Примечания:

– после корректировки настроек выбранного шаблона КП создается новый шаблон без изменения исходного;

– шаблоны КП можно добавлять из библиотеки КП и переходных отверстий (см. Г.16 и Г.23);

– если шаблон КП взят из библиотеки КП и переходных отверстий, то в поле Library (рис. Г.41) будет указано ее название. Кроме того, большинство загруженных настроек будет недоступно для редактирования. Чтобы получить к ним доступ, необходимо разорвать связь с библиотекой с помощью ссылки Unlink;

– шаблонам КП, создаваемым в файле трассировки или посадочном месте, автоматически присваиваются имена (см. Г.22).

Г.18. КП с нестандартными параметрами

Под КП с нестандартными параметрами в данном пособии понимается КП со сложной графикой на отдельных слоях, которую невозможно получить только с использованием возможностей окна ее свойств.

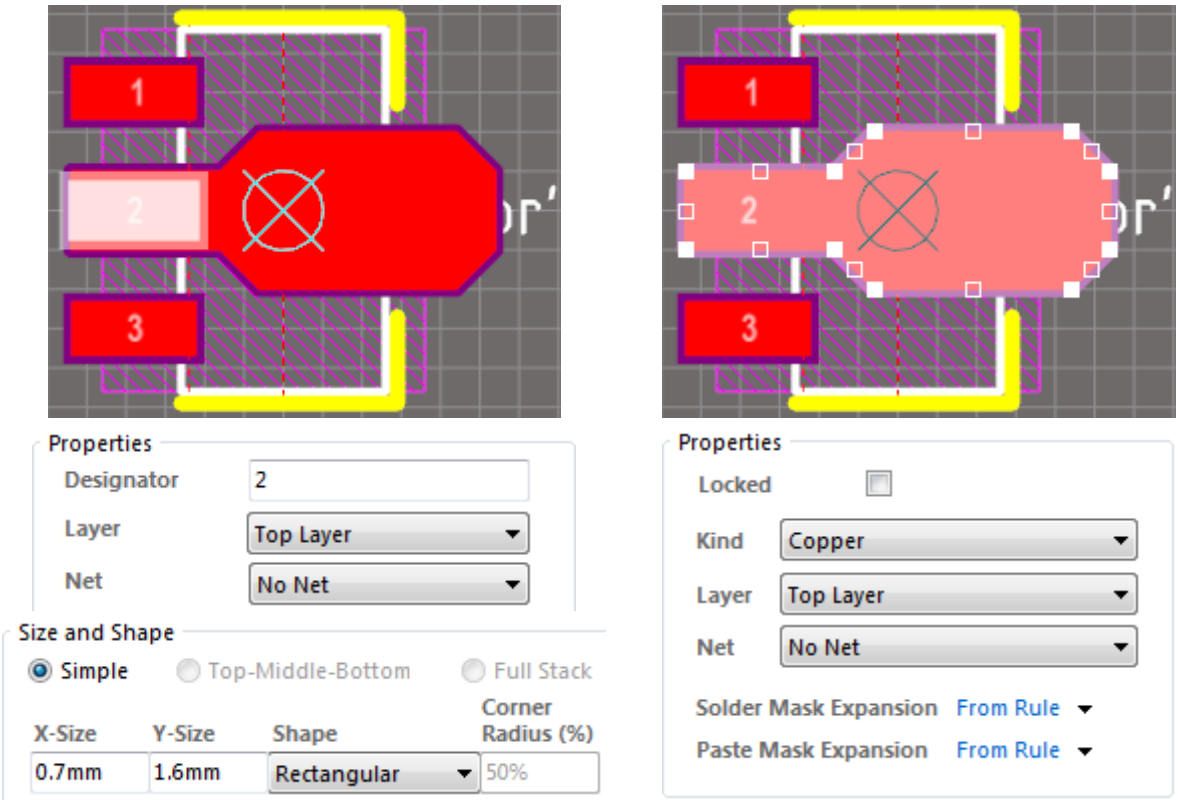
Например, нестандартную форму на слое Top Layer имеет КП для среднего вывода корпуса SOT-89-3 (см. рис. 8.19) в одноименном посадочном месте в библиотеке **Others.PcbLib** из папки **…ИДРЭС\AD library\pcb**. Она образована двумя частями:

– КП со стандартными параметрами (рис. Г.42, *а*). Именно через нее осуществляется связь с соответствующим пином в УГО;

– полигон Solid Region в слое Top Layer, полностью закрывающий КП со стандартными параметрами. Чтобы для него автоматически создавалась графика в слоях Top Solder и Top Paste в соответствии с правилами ПП, в его свойствах для параметров Solder Mask Expansion и Paste Mask Expansion выбраны опции From Rule (рис. Г.42, *б*).

Примечания:

– если на схеме к пину УГО, связанному с такой КП, будет подключена цепь, то после переноса на ПП полигон также подключится к этой цепи;



а *б*

Рис. Г.42

– если на схеме к пину УГО, связанному с такой КП, не будет подключена цепь, то после переноса на ПП в месте контакта КП и полигона появится ошибка, связанная с нарушением правила Short-Circuit. Оперативно соединить КП и полигон с новой цепью в редакторе ПП позволяет команда Design ⇒ Netlist ⇒ Configure Physical Nets. В появившемся после этого окне достаточно нажать кнопку Execute. Кроме того, в столбцах группы Action этого окна можно конкретизировать места, которые необходимо исправить, и поменять имена цепей. Также можно воспользоваться командой Update Free Primitives from Component Pads из этого же меню;

– в посадочном месте для создания произвольной формы КП можно использовать и другие примитивы (например, линии);

– кроме металлизации можно создавать различные области в слоях типа Solder и Paste. В этих случаях зачастую отключают автоматическое создание аналогичных областей в КП со стандартными параметрами.

Г.19. Неметаллизированное отверстие

Неметаллизированное отверстие создается на основе КП (см. Г.17), в свойствах которой задаются следующие параметры:

1. В группе **Hole Information**:

– **Hole Size** – требуемый диаметр отверстия;

– **Plated** – отключена.

2. В группе Properties:

– **Layer** – Multi-Layer;

– **Net** – No Net.

3. В группе **Size and Shape**:

– **X-Size** и **Y-Size** – нули;

– **Shape** – любая опция (например, Round).

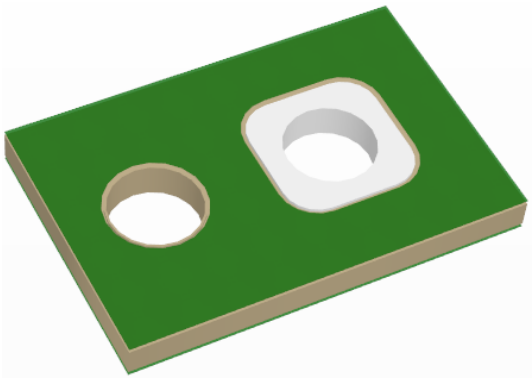


Рис. Г.43

Примечание. Преимущество указания нулевых размеров КП – отсутствие в Gerber-файле (см. прил. Л) соответствующей апертуры.

4. В группе **Solder Mask Expansions** при выбранной опции **Specify expansion values** включается опция **Solder Mask From The Hole Edge** и в поле **Top** задается значение **0.05** мм.

Примечание. Значение задано по правилу SME (см. табл. Г.7).

Сравнение неметаллизированного отверстия с монтажным (обычная КП с отверстием) показано на рис. Г.43.

Г.20. Особенности использования монтажных отверстий

Часто встречающиеся ошибки, связанные с использованием монтажных отверстий (КП с отверстиями):

– не учитывается допуск на диаметр отверстия или выбирается заведомо недостаточный диаметр отверстия. Например, под квадратные в сечении выводы разъемов (0,64 × 0,64 мм) задаются отверстия диаметром 0,7 мм;

– осуществляется округление расстояний между осями отверстий в посадочном месте при переходе от дюймов к миллиметрам без последующей корректировки. Например, при шаге штыревых выводов 2,54 мм монтажные отверстия ставятся с шагом 2,5 мм.

Чтобы избежать ошибок с неправильным выбором диаметра, необходимо руководствоваться требованиями ГОСТ Р 53429–2009 и РД 50–708–91, по которым его номинальное значение устанавливают в соответствии со следующим соотношением:

$$d - |\Delta d|_{\text{но}} \geq d_{\text{э}} + r, \qquad (\text{Г}.1)$$

где $|\Delta d|_{\text{но}}$ – нижнее предельное отклонение диаметра отверстия (для 4-го класса точности ПП см. табл. Г.10), мм; $d_{\text{э}}$ – максимальный диаметр вывода (для прямоугольного вывода за диаметр берется диагональ его сечения), мм; r – разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода устанавливаемого компонента (при ручной установке значение r выбирают в диапазоне 0,1–0,4 мм), мм.

Таблица Г.10

Предельные отклонения диаметров отверстий для 4-го класса точности ПП

Наличие металлизации	Предельное отклонение диаметра отверстия, мм, при диаметре отверстия, мм		
	До 0,3 включ.	Св. 0,3 до 1,0 включ.	Св. 1,0
Без металлизации	±0,02	±0,05	±0,10
С металлизацией без оплавления	–0,03 –0,07	+0,00 –0,10	+0,05 –0,15
С металлизацией и с оплавлением	–	+0,00 –0,13	+0,05 –0,18

Расчетное значение диаметра отверстия по (Г.1) следует округлять в сторону увеличения до десятых долей миллиметра. Например, для квадратных в сечении выводов 0,64 × 0,64 мм диаметр отверстий на ПП, выполняемой по 4-му классу точности, составит:

$$d \geq 0{,}91 + 0{,}1 + 0{,}13 = 1{,}14 \approx 1{,}2 \text{ мм}.$$

На практике такое значение все же оказывается большим, поэтому часто его выбирают без учета r и с незначительным уменьшением $|\Delta d|_{\text{н.о}}$, т. е. приемлемый диаметр отверстия в данном примере составит 1 мм.

Примечание. Ограничения, накладываемые на диаметр металлизации КП в зависимости от диаметра отверстия, рассмотрены в Б.9.

Г.21. Переходное отверстие

Добавление переходного отверстия (назначение см. в примечании к п. 9 из 12.1) производится командой **Place ⇒ Via** (или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ V**).

В окне свойств переходного отверстия доступны следующие опции:

1. В верхней части окна (рис. Г.44):

– **Hole Size** – диаметр отверстия;

– **Tolerance** – предельные отклонения диаметра отверстия (используются только как справочная информация);

– **Location** – координаты расположения центра переходного отверстия;

– **Diameter** – диаметр площадки переходного отверстия.

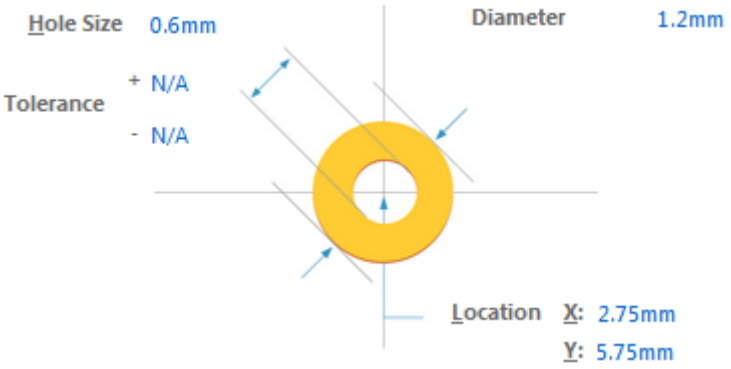


Рис. Г.44

2. Группа **Via Template** (рис. Г.45) полностью аналогична группе Pad Template из окна свойств КП (см. п. 9 из Г.17).

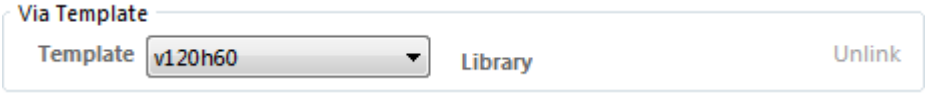


Рис. Г.45

3. Группа **Diameters** (рис. Г.46):

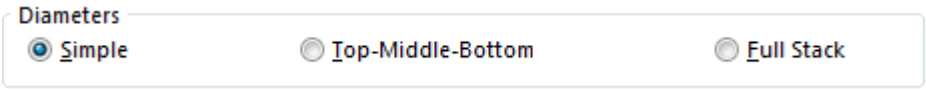


Рис. Г.46

– **Simple** – простое переходное отверстие (одинаковый диаметр площадки на всех слоях ПП);

– **Top-Middle-Bottom** – сложное переходное отверстие, для которого можно задать разные диаметры площадок на слоях Top Layer, Bottom Layer и сразу всех внутренних слоях ПП;

– **Full Stack** – сложное переходное отверстие, для которого можно задать разные диаметры площадок отдельно на каждом сигнальном слое. После выбора этой опции вместо поля Diameter с рис. Г.44 появляется кнопка Edit Full Stack Via Sizes, открывающая окно для редактирования диаметров.

4. Группа **Properties** (рис. Г.47):

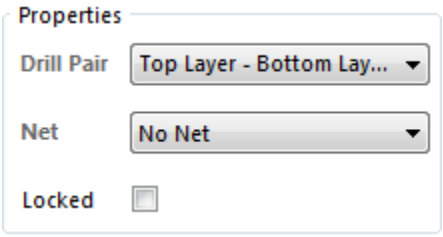


Рис. Г.47

– **Drill Pair** – выбор начального и конечного слоя, между которыми будет создано переходное отверстие.

По умолчанию переходные отверстия создаются сквозными (через всю ПП), но в редакторе ПП кнопкой **Drill Pairs** в нижней части ок-

на свойств можно установить пары сигнальных слоев, чтобы задать глухие (от внешнего до любого внутреннего сигнального слоя ПП) и скрытые (только между внутренними сигнальными слоями ПП) переходные отверстия;

– **Net** – название цепи, к которой подключено переходное отверстие (опция **No Net** означает отсутствие подключение к цепи);

– **Locked** – блокировка переходного отверстия.

5. Группа **Testpoint Settings** полностью аналогична такой же группе из окна свойств КП (см. п. 7 из Г.17).

6. Группа **Solder Mask Expansions** полностью аналогична такой же группе из окна свойств КП (см. п. 6 из Г.17).

Г.22. Имена шаблонов КП и переходных отверстий

Имена шаблонам КП и переходных отверстий по умолчанию присваиваются в соответствии с соглашением IPC-7251 & 7351 Padstack Naming Convention и содержат их параметры.

Система построения имен шаблонов простых КП (Simple) с часто используемыми параметрами показана на рис. Г.48.



Рис. Г.48

Примеры имен шаблонов КП:

– **c500h290** – круглая КП (диаметр – 5 мм) с металлизированным отверстием (диаметр – 2,9 мм);

– **r150_200** – прямоугольная планарная КП (размеры – 1,5 × 2,0 мм);

– **s180h120r50** – квадратная КП (размеры – 1,8 × 1,8 мм) со скруглениями углов (50 %) и металлизированным отверстием (диаметр – 1,2 мм);

– **c0hn260** – неметаллизированное отверстие (диаметр – 2,6 мм).

Система построения имен шаблонов простых переходных отверстий (Simple) с часто используемыми параметрами показана на рис. Г.49.

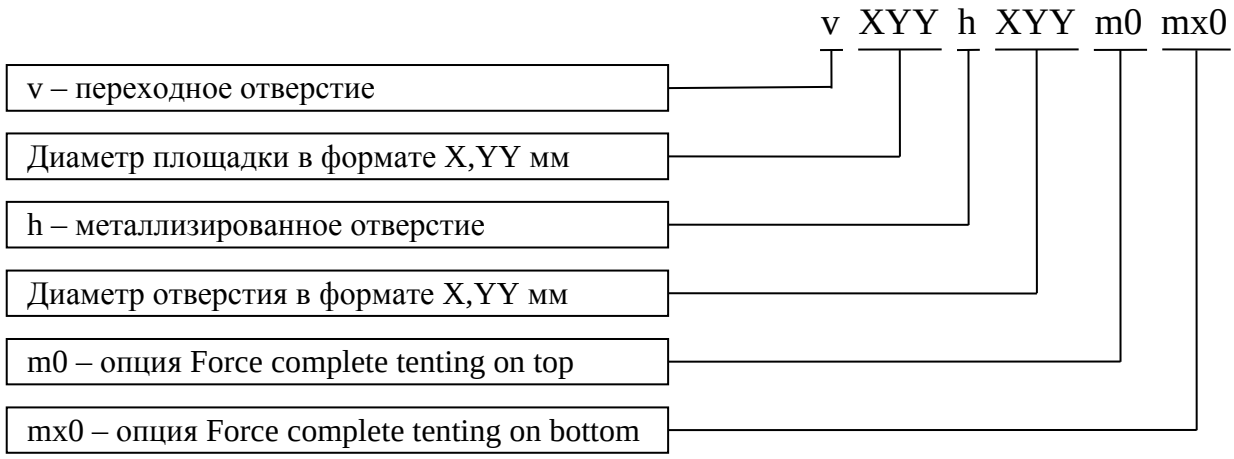


Рис. Г.49

Примеры имен шаблонов переходных отверстий:

– **v60h30m0mx0** – переходное отверстие (диаметр площадки – 0,6 мм), закрытое защитной паяльной маской с двух сторон ПП, с диаметром отверстия 0,3 мм;

– **v120h60** – переходное отверстие (диаметр площадки – 1,2 мм) с диаметром отверстия 0,6 мм.

Примечание. Ведущие нули (leading) в именах шаблонов КП и переходных отверстий в формате XYY не записываются.

Г.23. Библиотека КП и переходных отверстий

Шаблоны КП и переходных отверстий можно хранить в специальной библиотеке, загружая их оттуда по мере необходимости.

Особенности работы с такой библиотекой:

1. Подключение библиотеки осуществляется через панель **PCB Pad Via Templates** (см. п. 9 из 12.1 и Г.16).

2. После создания новой библиотеки (команда **File ⇒ New ⇒ Library ⇒ Pad Via Library**) или открытия уже существующей (команда **File ⇒ Open**)

будет автоматически запущена панель **Pad Via Library** и в рабочем поле появится окно редактора шаблонов КП (Pad Template Editor) или переходных отверстий (Via Template Editor).

3. На рис. Г.50 показана панель Pad Via Library для библиотеки **ИДРЭС-PAV.PvLib** из папки **…\ИДРЭС\AD library** (см. рис. 2.9).

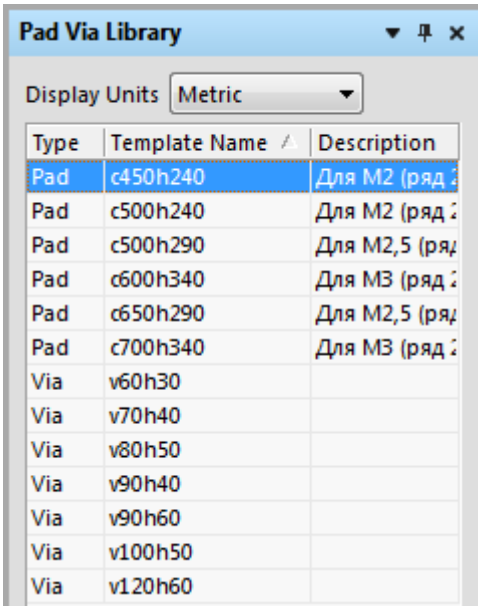


Рис. Г.50

В списке **Display Units** выбирается система единиц, в которой отображаются параметры в окне редакторов шаблонов КП и переходных отверстий.

В таблице, расположенной ниже, приводятся все существующие в библиотеке шаблоны КП и переходных отверстий (назначение столбцов описаны в п. 2.3 из Г.16). Из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любом ее месте, доступны три команды:

– **Add Pad Template** – создание шаблона КП;

– **Add Via Template** – создание шаблона переходного отверстия;

– **Delete** – удаление выбранного шаблона.

3. На рис. Г.51 показано окно редактора шаблонов переходных отверстий для выбранного в панели Pad Via Library шаблона v120h60.

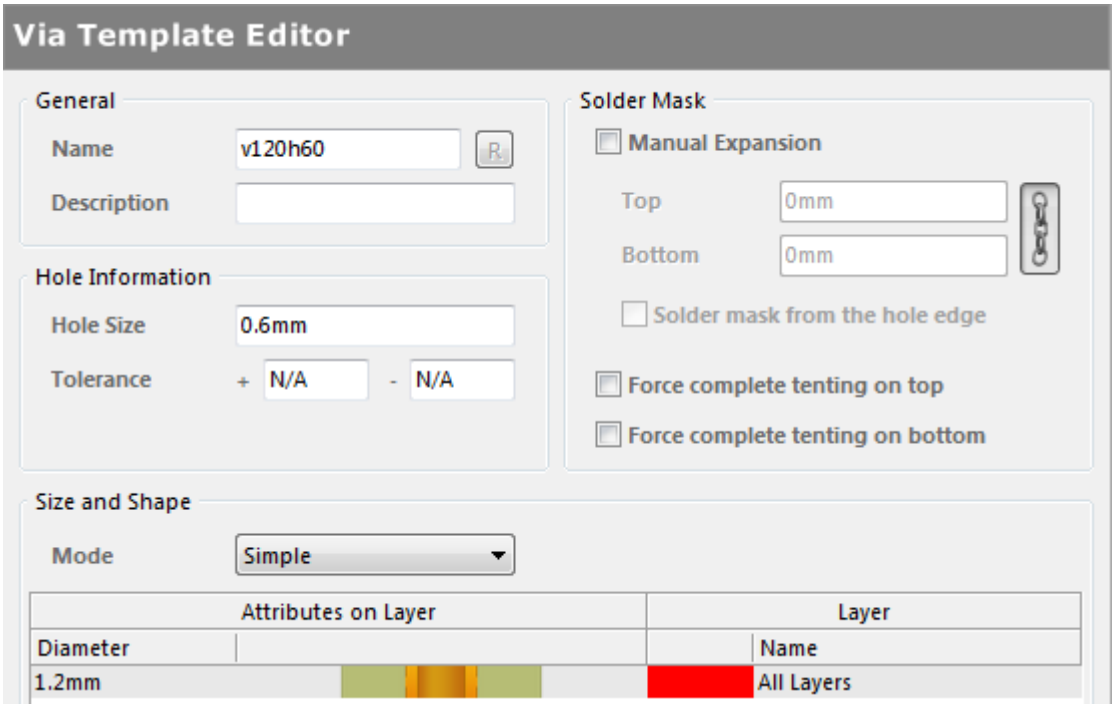


Рис. Г.51

Опции редактора практически полностью соответствуют опциям из окна свойств переходного отверстия (см. Г.21), но есть следующие особенности:

– опции из группы Diameters окна свойств (см. рис. Г.46) представлены в виде списка **Mode** в группе **Size and Shape**;

– диаметр площадки (поле Diameter на рис. Г.44) настраивается в таблице в столбце **Diameter** отдельно для каждого сигнального слоя (группы сигнальных слоев) в зависимости от выбранной опции в списке Mode;

– при выборе в списке Mode опции Full Stack в таблице появляется возможность добавлять и удалять сигнальные слои (кроме присутствующих по умолчанию) соответствующими командами из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любом месте таблицы, и выбирать их названия в столбце Layer Name;

– в шаблонах создаются только сквозные переходные отверстия;

– в поле **Description** можно записать комментарий к шаблону;

– в поле **Name** можно задать собственное имя шаблону (для возврата к стандартному значению нажимается кнопка **R**).

4. На рис. Г.52 показано окно редактора шаблонов КП для выбранной в панели Pad Via Library шаблона c500h290.

Отличия от опций из окна свойств КП (см. Г.17) состоят в следующем:

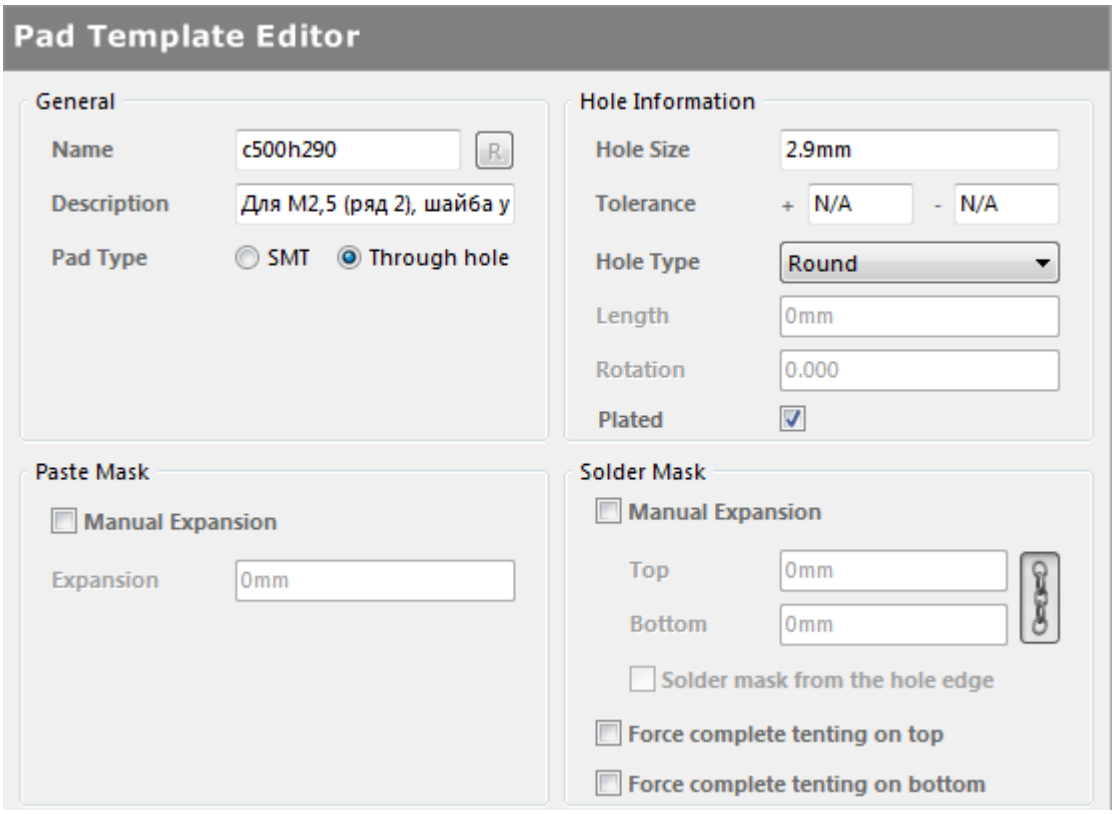


Рис. Г.52 Начало (окончание см. на с. 801)

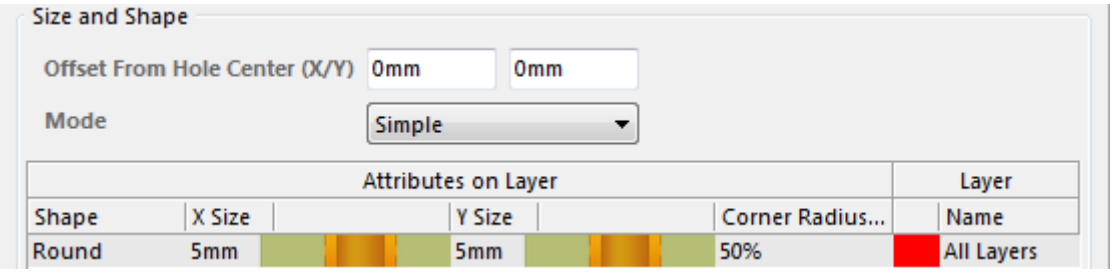


Рис. Г.52 Окончание (начало см. на с. 800)

– назначение и использование полей **Name** и **Description** аналогично редактору шаблонов переходных отверстий;

– опция **Pad Type** позволяет выбрать тип КП: **SMT** – планарная КП, **Through hole** – КП с отверстием;

– опции **Simple**, **Top-Middle-Bottom** и **Full Stack** из окна свойств КП выбираются в списке Mode;

– геометрические параметры КП задаются в таблице отдельно для каждого сигнального слоя (группы сигнальных слоев) в зависимости от выбранной опции в списке Mode;

– при выборе в списке Mode опции Full Stack по аналогии с редактором шаблонов переходных отверстий появляется возможность добавлять и удалять сигнальные слои.

Г.24. Линии

Особенности работы с линиями:

1. Режим создания линии запускается следующими способами:

– в редакторе схем – командой **Place ⇒ Drawing Tools ⇒ Line** или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ D ⇒ L**;

– в редакторах УГО, ПП и посадочных мест – командой **Place ⇒ Line** или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ L**.

2. Линия создается как полилиния, т. е. единый объект, состоящий из нескольких связанных между собой прямолинейных сегментов.

В режиме создания линии доступны следующие общие для всех редакторов возможности:

– рисование – последовательные щелчки ЛКМ в рабочем поле для указания ее вершин;

– отмена последней вершины – клавиши **BackSpace** или **Delete**;

– завершение построения – щелчок ПКМ или клавиша **Esc**;

– выход из команды – повторный щелчок ПКМ или повторное нажатие клавиши **Esc**.

3. Особенности создания линии в редакторах схем и УГО:

3.1. Клавишей **Space** осуществляется циклическое переключение пяти режимов создания угла между двумя точками (рис. Г.53):

– **Any Angle** – произвольный угол;

– **90 Degree Up** – угол 90° у курсора мышки;

– **90 Degree Down** – угол 90° у исходной точки;

– **45 Degree Up** – угол 45° у курсора мышки;

– **45 Degree Down** – угол 45° у исходной точки.

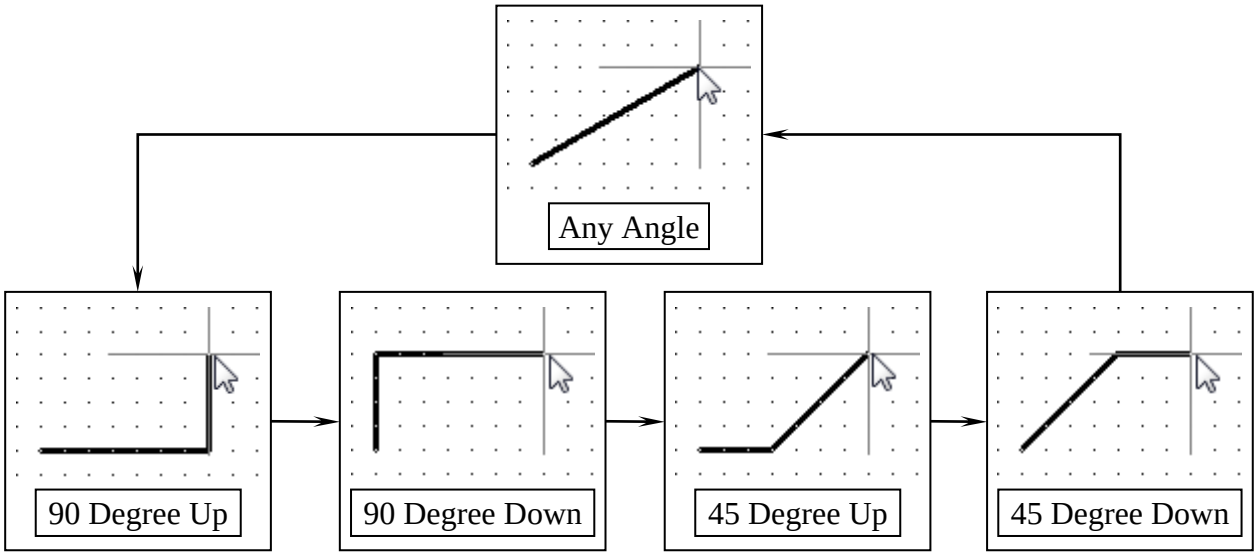


Рис. Г.53

3.2. Во всех режимах создания угла, кроме Any Angle, работает режим с предсказанием (**Look Ahead Mode**).

В этом режиме после щелчка ЛКМ размещается сегмент, предшествующий сегменту, непосредственно соединенному с курсором мышки.

3.3. На вкладке **Graphical** окна свойств (рис. Г.54) можно задать следующие настройки:

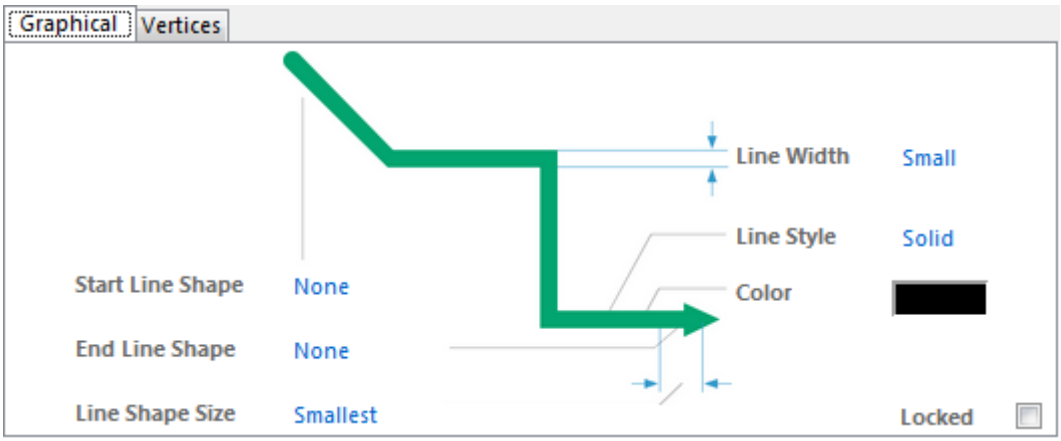


Рис. Г.54

– **Start Line Shape** и **End Line Shape** – значок (например, стрелка) на конце первого и последнего сегмента соответственно (опция **None** означает отсутствие значка);

– **Line Shape Size** – один из четырех вариантов размера значка;

– **Line Width** – один из четырех вариантов ширины всех сегментов (размеры в миллиметрах приведены в п. 2.1 из 8.1);

– **Line Style** – один из четырех вариантов стиля. Требованиям ЕСКД соответствует только стиль Solid (сплошная);

– **Color** – цвет;

– **Locked** – блокировка.

3.4. На вкладке **Vertices** окна свойств можно управлять настройками вершин полилинии: добавлять новые кнопкой **Add**, удалять существующие кнопкой **Remove**, изменять координаты и выполнять другие команды из списка, появляющегося при нажатии кнопки **Menu**.

4. Особенности редактирования линии в редакторах схем и УГО:

– при щелчке ЛКМ по созданной полилинии ее вершины подсвечиваются зелеными квадратами (рис. Г.55, *а*);



а *б*

Рис. Г.55

– на выделенной полилинии зажатой ЛКМ можно изменить положение каждой вершины, при этом при перемещении крайних вершин клавишей **Space** циклически переключаются режимы создания угла (см. рис. Г.53);

– на выделенной полилинии зажатой ЛКМ можно переместить каждый сегмент (требуется отключение опции **Always Drag**).

Примечание. Назначение опции Always Drag приведено в табл. Г.3, а ее включение обусловлено удобством создания схем с использованием библиотечных компонентов;

– перемещение всей полилинии осуществляется зажатой ЛКМ без предварительного ее выделения (с опцией **Always Drag** также справедливо и для выделенной полилинии);

– на выделенной полилинии после запуска команды **ПКМ ⇒ Edit Line Vertex N** (N – номер вершины) на любой вершине будет открыта вкладка Vertices окна свойств для редактирования координат вершин;

– на выделенной полилинии для удаления вершины необходимо зажать на требуемой вершине ЛКМ, после чего нажать клавишу **Delete**;

– на выделенной полилинии для добавления новой вершины необходимо зажать ЛКМ в требуемом месте сегмента, после чего нажать клавишу **Insert** и передвинуть курсор мышки (требуется отключение опции **Always Drag**);

– если на выделенной полилинии щелкнуть ЛКМ по сегменту, то его вершины подсветятся красными квадратами (см. рис. Г.55, *б*). В этом случае в панели Inspector или List можно отредактировать их координаты.

5. Особенности создания линии в редакторах ПП и посадочных мест:

5.1. Линия создается на текущем в данный момент слое.

Примечание. Слой можно изменить в окне свойств линии или в панели Inspector или List уже после ее создания.

5.2. Комбинацией клавиш **Shift+Space** осуществляется циклическое переключение пяти режимов создания угла между двумя точками (рис. Г.56):

– **Any Angle** – произвольный угол;

– **Line 45 End** – угол 45° у курсора мышки;

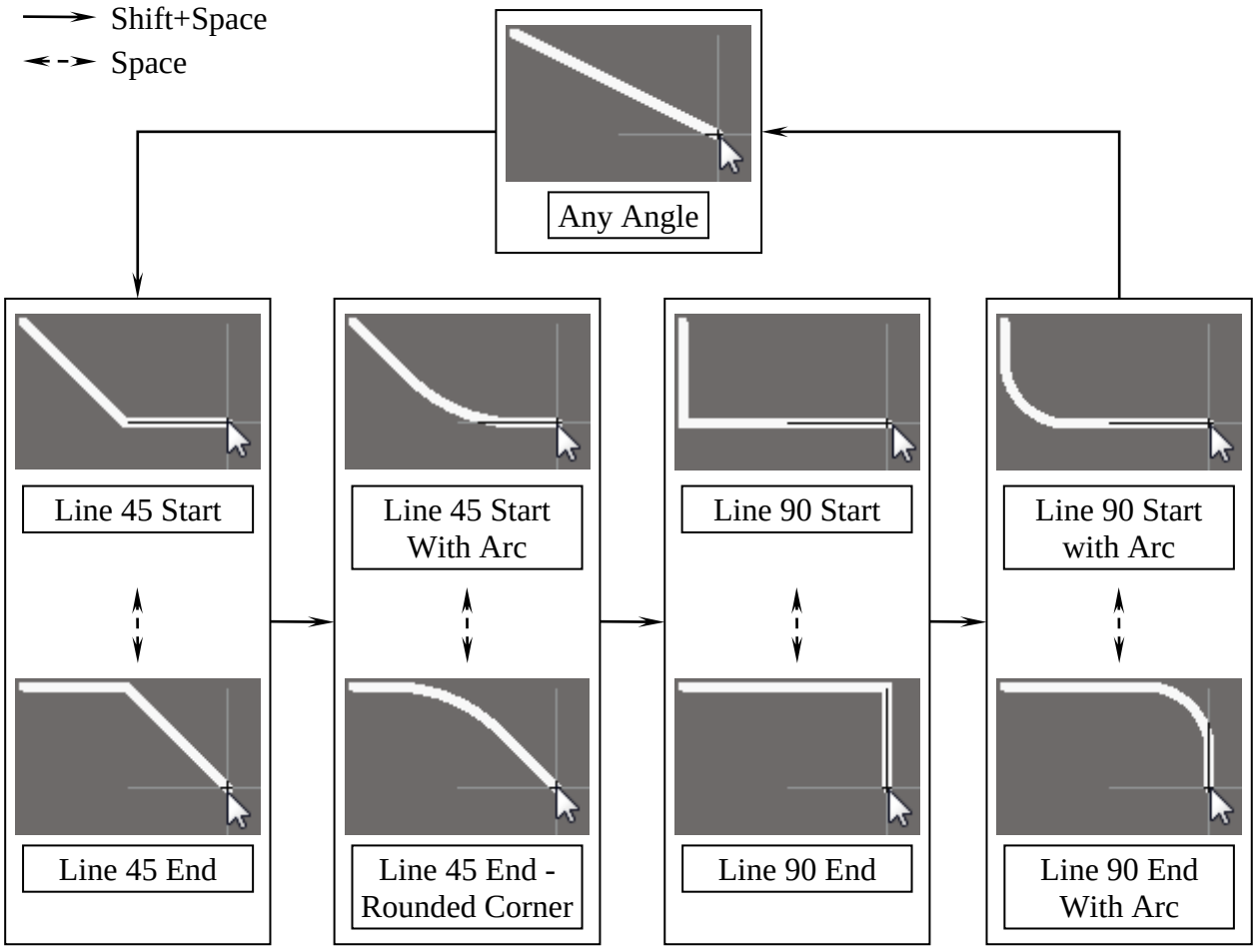


Рис. Г.56

– **Line 45 End - Rounded Corner** – угол 45° у курсора мышки со скруглением;

– **Line 90 End** – угол 90° у курсора мышки;

– **Line 90 End With Arc** – угол 90° у курсора мышки со скруглением.

5.3. Клавишей **Space**, кроме режима Any Angle, выбирается один из двух путей прохождения от исходной точки до курсора мышки (см. рис. Г.56);

5.4. Клавишей **1** осуществляется включение и отключение режима рисования с предсказанием (**Toggle Lookahead Mode**).

В этом режиме после щелчка ЛКМ размещается сегмент, предшествующий сегменту, непосредственно соединенному с курсором мышки. Последний сегмент отображается внешними очертаниями.

5.5. В окне свойств линии (рис. Г.57) можно задать следующие настройки для выбранного ее сегмента:

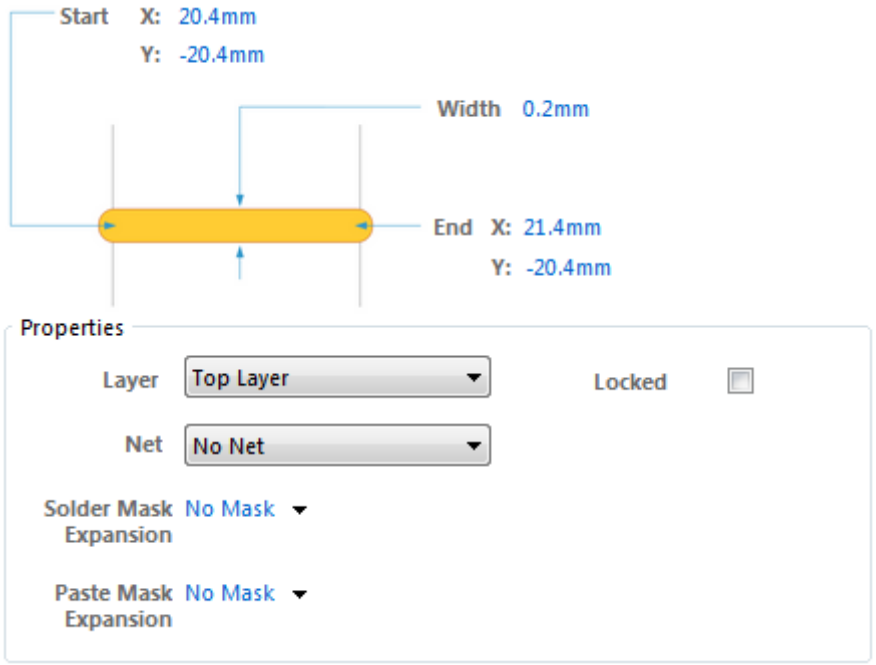


Рис. Г.57

– **Start** и **End** – координаты начала и конца сегмента соответственно;

– **Width** – ширина сегмента;

– **Locked** – блокировка сегмента;

– **Layer** – слой расположения сегмента;

– **Net** – название цепи, к которой подключен сегмент (опция **No Net** означает отсутствие подключения к цепи);

– **Solder Mask Expansion** и **Paste Mask Expansion** – соответственно величины, на которые области в слоях защитной паяльной маски и паяльной пасты больше границ сегмента (опция **No Mask** означает отсутствие такой

области, опции **Expansion value from rules** и **Specify expansion value** аналогичны описанным в пп. 5 и 6 из Г.17).

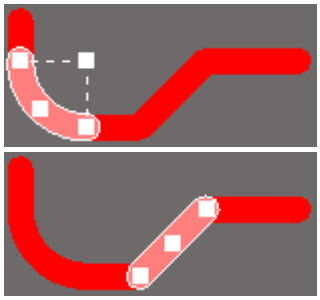


Рис. Г.58

6. Особенности редактирования линии в редакторах ПП и посадочных мест:

– при щелчке ЛКМ по отдельному сегменту полилинии он будет подсвечен, а также на нем появятся несколько характерных точек (рис. Г.58);

– выделенные сегменты можно удалять клавишей **Delete** и на их месте рисовать новые (например, для замены прямого угла скруглением);

– отдельные вершины полилинии не удаляются;

– при перемещении зажатой ЛКМ любой характерной точки скругленного сегмента (или любого его участка) будет изменяться его радиус с автоматической корректировкой длин соединенных с ним прямолинейных сегментов. Также при уменьшении радиуса одного из двух соединенных скругленных сегментов между ними будет создан прямолинейный сегмент;

– внутренние прямолинейные сегменты можно перемещать параллельно самим себе зажатой ЛКМ.

Примечание. В окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в разделе PCB Editor ⇒ Interactive Routing в группе Dragging (рис. Г.59) доступны следующие влияющие на редактирование линии опции:

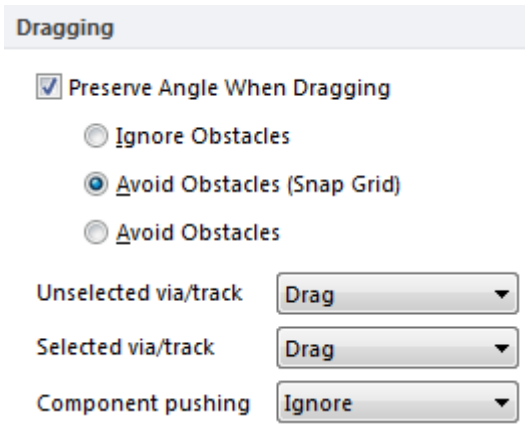


Рис. Г.59

– Preserve Angle When Dragging – сохранение углов смежных сегментов полилинии при перетаскивании текущего;

– Selected via/track и Unselected via/track – соответственно действия с предварительно выделенными и невыделенными переходными отверстиями и прямолинейными сегментами (назначение опций Drag и Move см. в Г.29);

– перемещение зажатой ЛКМ за центральную характерную точку прямолинейного сегмента приводит к созданию соединенного с ним параллельного участка (рис. Г.60);



Рис. Г.60

– в режиме Drag (см. Г.29 и рис. Г.59) при перемещении общей вершины двух прямолинейных сегментов создается новый сегмент под углом 45° (рис. Г.61);

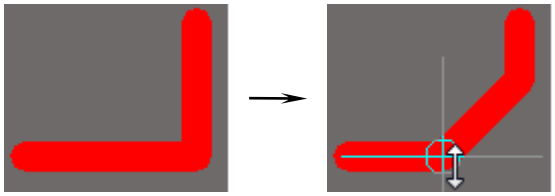


Рис. Г.61

– для выделения всей полилинии сложной конфигурации имеет смысл выделить один ее сегмент и нажать клавишу **Tab** (см. команду **Select next** в п. 3.3 из Г.5);

– выделенную линию можно перемещать зажатой ЛКМ;

– для разделения полилинии на две можно воспользоваться командой **Edit ⇒ Slice Tracks** (см. Г.41).

Г.25. Линия электрической связи

Особенности работы с линией электрической связи:

1. Режим создания линии электрической связи запускается командой **Place ⇒ Wire** или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ W**.

2. Линия электрической связи является полилинией, и для нее характерны возможности, описанные в п. 2 из Г.24.

3. Особенности рисования:

3.1. Если линия электрической связи отводится от пина компонента, сегмента другой линии электрической связи или идентификатора цепи, то около курсора мышки появляется красное перекрестие (рис. Г.62).

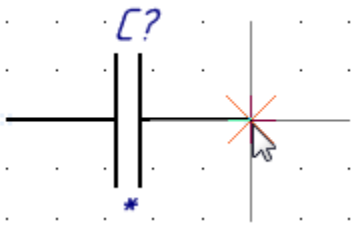


Рис. Г.62

3.2. Линия электрической связи автоматически создается при соприкосновении двух пинов компонентов (в этом месте также появляется красное перекрестие).

3.3. Построение линии электрической связи автоматически завершается, если осуществляется щелчок ЛКМ по пину компонента, сегменту другой линии электрической связи или идентификатору цепи.

3.4. Комбинацией клавиш **Shift+Space** осуществляется циклическое переключение пяти режимов создания угла между двумя точками (рис. Г.63):

– **90 Degree Start** – угол 90° около курсора мышки;

– **45 Degree Start** – угол 45° около курсора мышки;

– **Any Angle** – произвольный угол;

– **Auto Wire** – автоматическое проведение линии электрической связи от исходной точки до курсора мышки с обхождением препятствий.

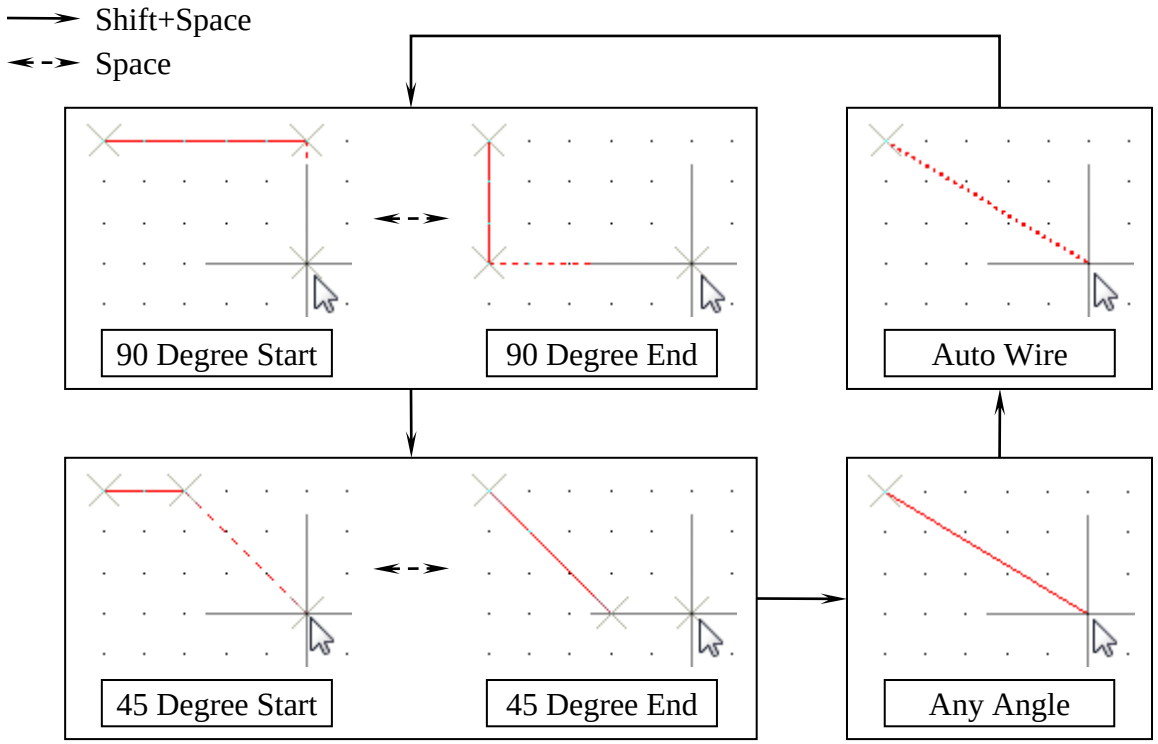


Рис. Г.63

3.4. Клавишей **Space**, кроме режимов создания угла Any Angle и Auto Wire, выбирается один из двух путей прохождения от исходной точки до курсора мышки (рис. Г.63).

3.5. В режимах создания угла, кроме Any Angle и Auto Wire, работает режим с предсказанием (**Look Ahead Mode**).

В этом режиме после щелчка ЛКМ размещается сегмент, предшествующий сегменту, непосредственно соединенному с курсором мышки. Последний сегмент отображается пунктиром (рис. Г.63), а размещаемый сегмент – тонкой линией.

4. Редактирование в окне свойств:

4.1. На вкладке **Graphical** (рис. Г.64) задаются следующие настройки:

– **Color** – цвет;

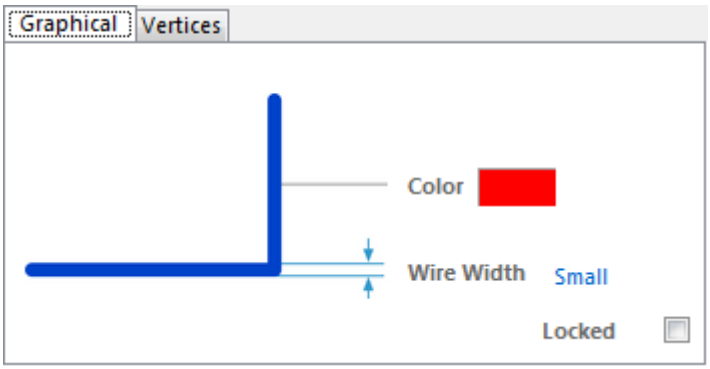


Рис. Г.64

– **Wire Width** – один из четырех вариантов ширины всех сегментов (размеры в миллиметрах приведены в п. 2.1 из 8.1);

– **Locked** – блокировка.

4.2. Вкладка **Vertices** аналогична рассмотренной в п. 3.4 из Г.24.

5. Редактирование в рабочем поле:

– при щелчке ЛКМ по созданной линии электрической связи ее вершины подсвечиваются зелеными квадратами (рис. Г.65, *а*);



а *б*

Рис. Г.65

– на выделенной линии электрической связи зажатой ЛКМ можно изменить положение каждой вершины, при этом при перемещении крайних неподключенных вершин комбинацией клавиш **Shift+Space** и клавишей **Space** циклически переключаются режимы создания угла (см. рис. Г.63);

– для продления линии электрической связи в направлении последнего сегмента необходимо перемещать курсор мышки с зажатой клавишей **Alt**;

– на выделенной линии электрической связи зажатой ЛКМ можно независимо перемещать каждый сегмент (требуется отключение опции **Always Drag**). Если к сегменту были подключены сегменты других линий электрической связи, пины компонентов или идентификаторы цепей, то при перемещении они будут отсоединены.

Примечание. Назначение опции Always Drag приведено в табл. Г.3, а ее включение обусловлено удобством создания схем с использованием библиотечных компонентов;

– с включенной опцией **Always Drag** также можно перемещать сегменты линии электрической связи, но не всегда только требуемые, а в основном находящиеся на одной горизонтали или вертикали (предварительное выделение линии электрической связи не требуется). В этом случае отсоединения других подключений от этого сегмента не происходит, а идентификаторы цепей перемещаются вместе с сегментом;

– на выделенной полилинии после запуска команды **ПКМ ⇒ Edit Line Vertex N** (N – номер вершины) на любой вершине будет открыта вкладка Vertices окна свойств для редактирования ее координат;

– на выделенной полилинии для удаления вершины необходимо зажать на требуемой вершине ЛКМ, после чего нажать клавишу **Delete**;

– на выделенной полилинии для добавления новой вершины необходимо зажать ЛКМ в требуемом месте сегмента, после чего нажать клавишу **Insert** и передвинуть курсор мышки (требуется отключение опции **Always Drag**);

– если на выделенной полилинии щелкнуть ЛКМ по сегменту, то его вершины подсветятся красными квадратами (см. рис. Г.65, *б*). В этом случае в панели Inspector или List можно отредактировать их координаты, а сам сегмент удалить кнопкой **Delete**;

– каждой линии электрической связи автоматически присваивается имя цепи, которое можно поменять с помощью идентификаторов цепи;

– для удаления участка линии электрической связи можно воспользоваться последовательным нажатием клавиш **E ⇒ W** или командой **Edit ⇒ Break Wire** (ширина удаляемой области циклически меняется клавишей **Space** или задается в окне свойств, открываемом клавишей **Tab**).

Г.26. Полигоны

В Altium Designer существует три вида полигонов:

1. **Fill** (полигон прямоугольной формы), создаваемый командой **Place ⇒ Fill** или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ F**.

Особенности работы с полигоном:

1.1. После запуска команды в рабочем поле щелчком ЛКМ указываются две вершины прямоугольника, расположенные по диагонали.

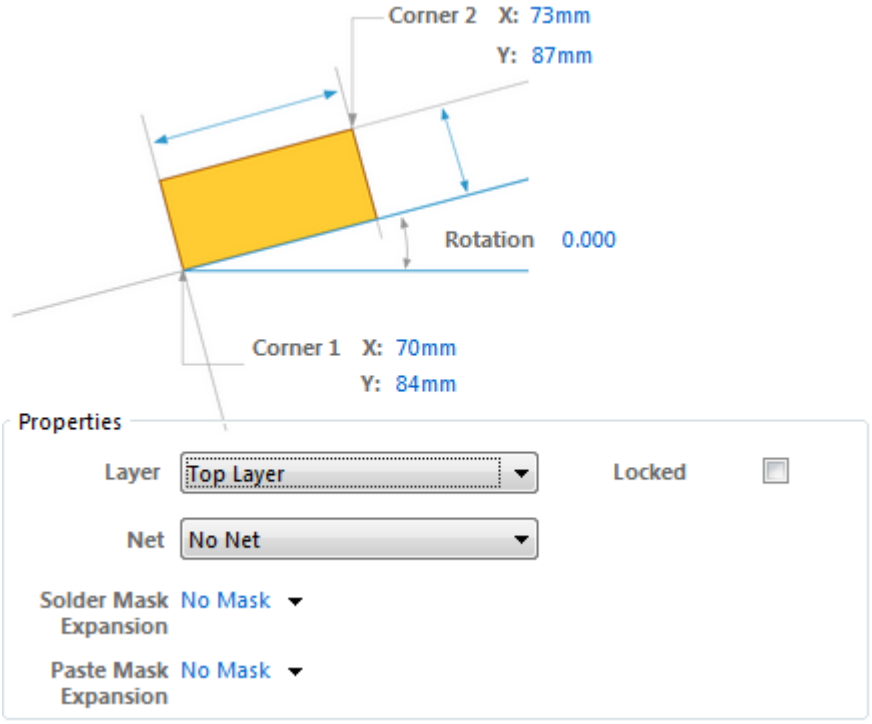


Рис. Г.66

1.2. В окне свойств можно задать следующие настройки (см. рис. Г.66):

– **Corner 1** и **Corner 2** – координаты двух вершин;

– **Rotation** – угол поворота;

– **Locked** – блокировка полигона;

– **Layer** – слой расположения полигона;

– **Net** – название цепи, к которой подключен полигон (опция **No Net** означает отсутствие подключения к цепи);

– **Solder Mask Expansion** и **Paste Mask Expansion** – соответственно величины, на которые области в слоях защитной паяльной маски и паяльной пасты больше границ полигона (опция **No Mask** означает отсутствие такой области, опции **Expansion value from rules** и **Specify expansion value** аналогичны описанным в пп. 5 и 6 из Г.17).

1.3. В рабочем поле можно отредактировать положение границ полигона, его вершин (форма остается только прямоугольной) и угол поворота.

2. **Solid Region** (полигон произвольной формы), создаваемый командой **Place ⇒ Solid Region** или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ R**.

Особенности работы с полигоном:

2.1. После запуска команды в рабочем поле щелчками ЛКМ указываются вершины многоугольника.

2.2. В контекстном меню, появляющемся при нажатии комбинации клавиш **Shift+F1** или клавиши «~» в процессе создания полигона, приведены следующие часто используемые команды (рис. Г.67):

– **Cycle Placement Mode** – циклическое переключение пяти режимов создания угла между двумя точками (см. рис. Г.56);

– **Toggle Elbow Side** – выбор одного из двух путей прохождения от начальной точки к курсору мышки (см. рис. Г.56);

– **Remove Last Vertex** – удаление последней размещенной вершины;

– **Toggle Lookahead Mode** – режим рисования с предсказанием. В этом режиме после щелчка ЛКМ размещается сегмент, предшествующий сегменту, непосредственно соединенному с курсором мышки. Последний сегмент отображается пунктиром;

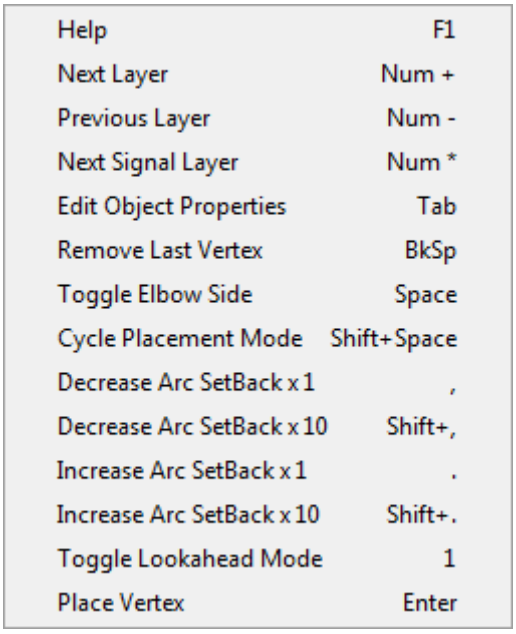


Рис. Г.67

– **Increase Arc SetBack** и **Decrease Arc SetBack** – соответственно увеличение и уменьшение радиуса в режимах создания угла со скруглением (**x 1** – с шагом 0,0254 мм, **x 10** – с шагом 0,254 мм).

Примечание. Названия режимов создания угла между двумя точками в большинстве своем отличаются от указанных на рис. Г.56:

– произвольный угол – Any Angle;

– угол 45° – Line 45/90 и Line 90/45;

– угол 45° со скруглением – Line 45/90 With Arc и Line 90/45 With Arc;

– угол 90° – Line 90/90 Vertical Start и Line 90/90 Horizontal Start;

– угол 90° со скруглением – Line 90/90 Vertical Start With Arc и Line 90/90 Horizontal Start With Arc.

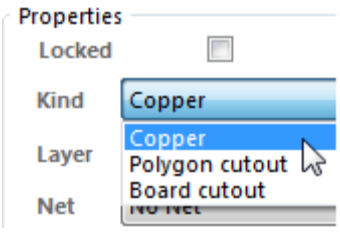


Рис. Г.68

2.3. На вкладке **Graphical** окна свойств доступны настройки, рассмотренные для полигона Fill в п. 1.2: **Locked, Layer**, **Net**, **Solder Mask Expansion** и **Paste Mask Expansion**.

Дополнительно в списке **Kind** приведены опции, определяющими назначение полигона (рис. Г.68):

– **Copper** – обычный полигон;

– **Polygon cutout** – полигон, используемый для создания вырезов в полигоне Polygon Pour. В рабочем поле отображается пунктирным контуром с цветом слоя, на котором расположен;

– **Board cutout** – полигон, используемый для создания внутренних вырезов в ПП. В рабочем поле отображается пунктирным контуром, внутри которого область окрашивается в цвет фона вокруг ПП (по умолчанию – серый).

Примечания:

– альтернативным способом создания полигона со свойством Polygon cutout является команда Place ⇒ Polygon Pour Cutout;

– альтернативным способом создания полигона со свойством Board cutout является команда Design ⇒ Board Shape ⇒ Define Board Cutout;

– в редакторе посадочных мест в списке Kind есть еще опция Cavity definition. Такой полигон используется для указания в одном из механических слоев области, необходимой для расположения компонента внутри ПП (задаются размеры в плоскости и высота).

2.4. На вкладке **Outline Vertices** окна свойств можно в табличном виде отредактировать координаты вершин, добавить новые (кнопка **Add**) и удалить существующие вершины (кнопка **Remove**), экспортировать или импор-

тировать данные (**Menu ⇒ Export To CSV** и **Menu ⇒ Import From CSV** соответственно) и выполнить другие действия.

2.5. Полигон с назначениями **Copper**, **Polygon cutout** и **Board cutout** кроме команды Place ⇒ Solid Region также можно создать на текущем в данный момент слое из предварительно нарисованного графическими примитивами (линиями и дугами) замкнутого контура, расположенного на любом слое, командами **Tools ⇒ Convert ⇒ Create Region from Selected Primitives**, **Tools ⇒ Convert ⇒ Create Cutout from Selected Primitives** и **Tools ⇒ Convert ⇒ Create Board Cutout from Selected Primitives** соответственно.

2.6. Полигон Solid Region может выполнять функцию зоны запрета размещения различных объектов (keepout). Для его добавления используется команда **Place ⇒ Keepout ⇒ Solid Region**.

В окне свойств на вкладке Graphical (рис. Г.69) доступны следующие опции:

– **Locked** – блокировка полигона;

– список **Restricted for Layer** – слой расположения (любой отдельный сигнальный слой или все сигнальные слои сразу);

– группа **Keepout Restrictions** – типы объектов, которые запрещено размещать внутри зоны запрета и на расстоянии, заданном в правилах проектирования ПП.

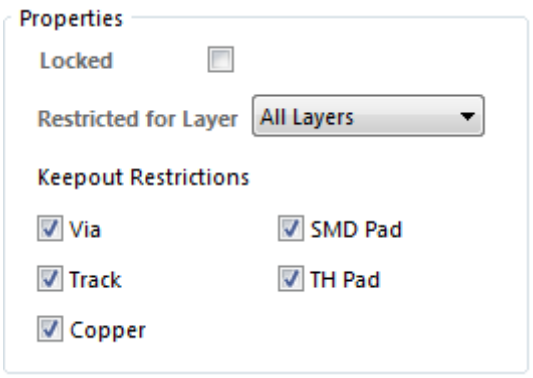


Рис. Г.69

Если зона запрета задана на всех слоях, то полигон отображается с цветом слоя Keep-Out Layer (по умолчанию – розовый). Если выбран только один сигнальный слой, то полигон отображается с цветом этого слоя, а его контур – с цветом слоя Keep-Out Layer.

Примечания:

– с помощью команд из меню Place ⇒ Keepout можно создать зоны запрета в виде дуг, окружностей, линий и полигонов Fill;

– осуществить переход от полигона Solid Region с назначением Copper в полигон в виде зоны запрета и наоборот можно командами Tools ⇒ Convert ⇒ Convert Selected Primitives to Keepouts и Tools ⇒ Convert ⇒ Convert Selected Keepouts to Primitives соответственно.

2.7. Способы редактирования полигона Solid Region:

2.7.1. Изменение положения вершины зажатой ЛКМ, при этом комбинацией клавиш **Shift+Space** можно выбрать один из трех режимов (рис. Г.70):

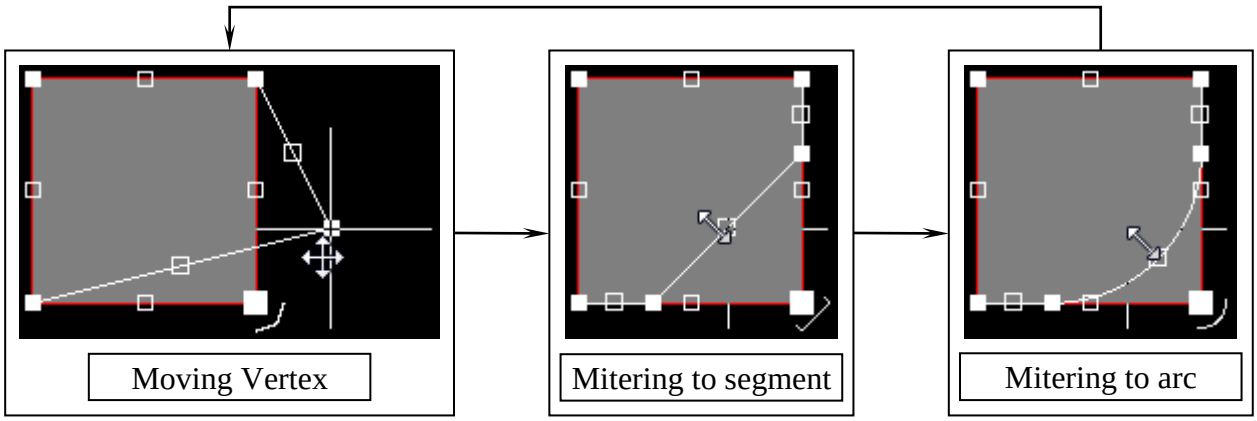


Рис. Г.70

– **Moving Vertex** – перемещение вершины;

– **Mitering to segment** – перемещение вершины с созданием фаски;

– **Mitering to arc** – перемещение вершины с созданием скругления.

Примечания:

– последний выбранный режим в этом пункте и п. 2.7.2 запоминается и используется при работе с аналогичными характерными точками как на текущем, так и на других полигонах;

– текущий режим в этом пункте и п. 2.7.2 можно определить как по виду курсора мышки, так и по информации из информационного поля.

2.7.2. Изменение положения зажатой ЛКМ характерной точки, отмеченной белым пустым квадратом, при этом комбинацией клавиш **Shift+Space** можно выбрать один из трех режимов (рис. Г.71):

– **Sliding Edge** – перемещение стороны;

– **Breaking edge** – создание новой вершины;

– **Incurvating edge** – сторона становится дугой.

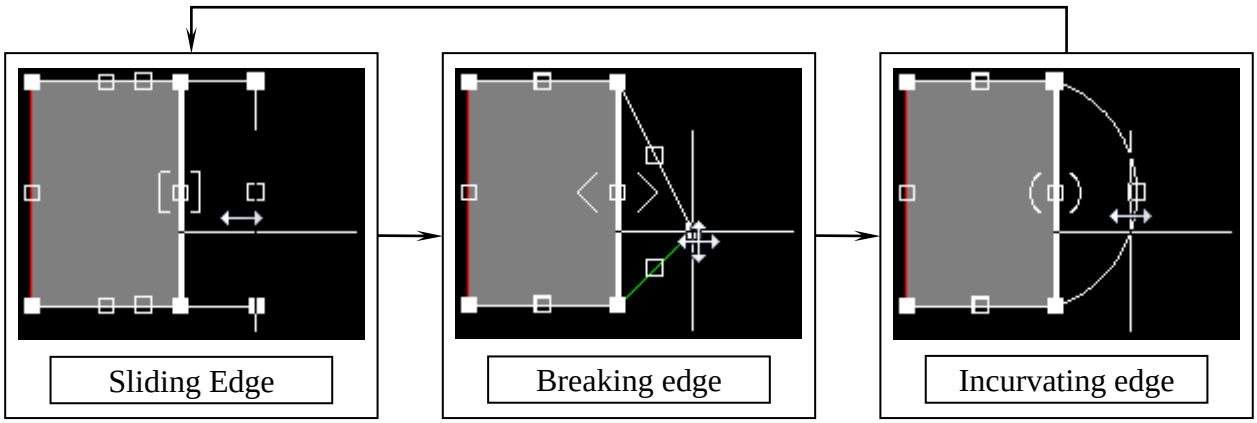


Рис. Г.71

2.7.3. Добавление новой вершины (альтернатива режиму Breaking edge из п. 2.7.2 в следующем порядке:

– зажимается клавиша **Ctrl**;

– в месте расположения новой вершины зажимается ЛКМ;

– осуществляется перемещение курсора мышки, после чего отпускается клавиша **Ctrl**;

– указывается положение вершины, а затем отпускается ЛКМ.

2.7.4. Удаление существующей вершины одним из двух способов:

– удаляемая вершина совмещается с ближайшей вершиной;

– сначала зажимается ЛКМ на удаляемой вершине, после чего осуществляется перемещение курсора мышки. Затем нажимается клавиша **Delete** и ЛКМ отпускается.

2.7.5. Изменение положения стороны зажатой ЛКМ (альтернатива режиму Sliding Edge из п. 2.7.2). Для этого курсор мышки наводится на любое ее место, кроме характерных точек.

2.7.6. Объединение перекрывающихся или соприкасающихся полигонов командой **ПКМ ⇒ Polygon Actions ⇒ Combine Selected Polygons**.

3. **Polygon Pour** (полигон с заполнением), создаваемый последовательным нажатием клавиш **P ⇒ G** или командой **Place ⇒ Polygon Pour**.

Особенности работы с полигоном:

3.1. При расположении полигона на сигнальном слое происходит автоматическая корректировка внутреннего заполнения в соответствии с правилами проектирования в группах **Electrical ⇒ Clearance** и **Plane ⇒ Polygon Connect Style**, т. е. используются заданные зазоры до других объектов и применяются установленные стили подключения к требуемым КП и переходным отверстиям (прямое, с термобарьером или без подключения).

3.2. После запуска команды открывается окно свойств (рис. Г.72), в котором можно задать следующие настройки:

3.2.1. В группе **Fill Mode** определяется способ заполнения полигона:

– **Solid (Copper Regions)** – сплошное заполнение;

– **Hatched (Tracks/Arcs)** – заполнение штриховкой в виде линий и дуг;

– **None (Outlines Only)** – без заполнения (только внешний контур).

Примечание. Способы Hatched и None используются редко, поэтому опции для них в данном разделе не рассматриваются.

3.2.2. Для способа заполнения Solid доступны следующие опции:

– **Remove Islands Less Than** – значение площади отдельных участков заполнения (как подключенных, так и неподключенных к другим объектам), меньше которой они будут автоматически удаляться;

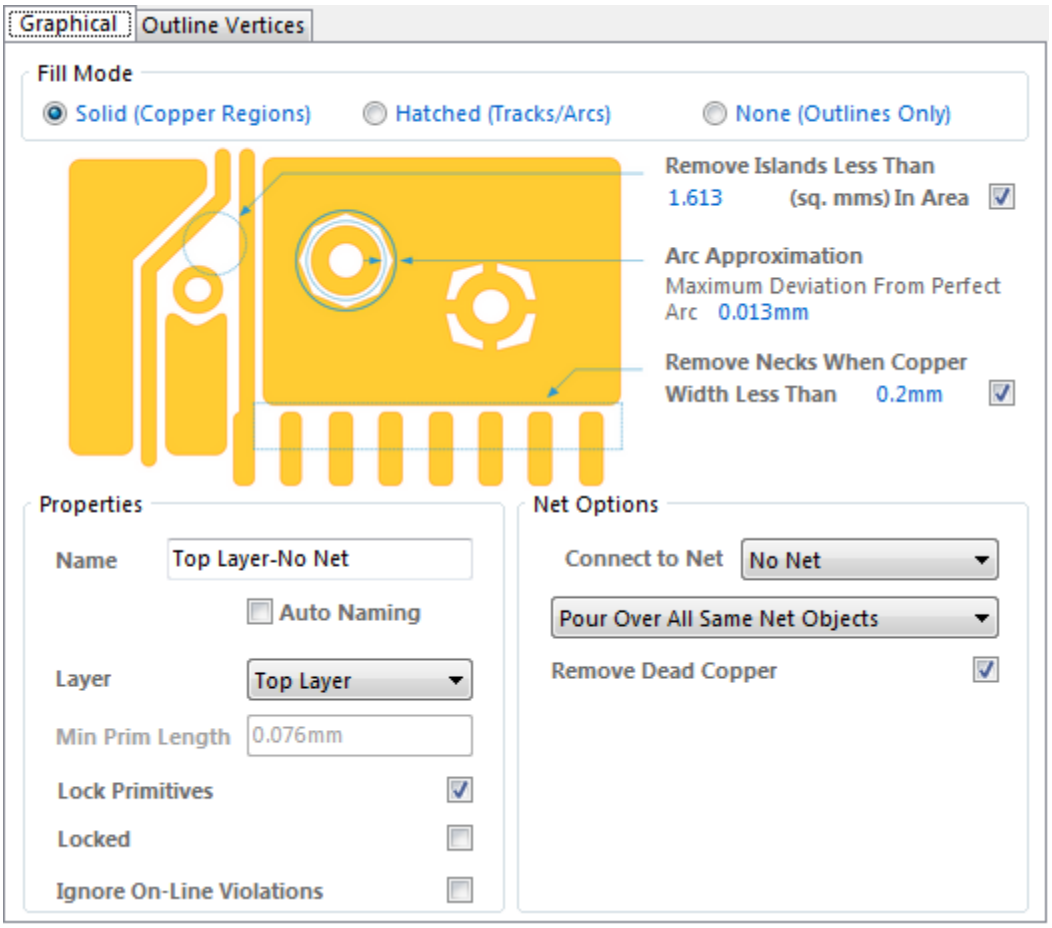


Рис. Г.72

– **Arc Approximation** – максимальное отклонение от скруглений (окружности при заполнении аппроксимируются отрезками);

– **Remove Necks When Copper Width Less Than** – значение ширины узких перемычек, меньше которой они будут автоматически удаляться (обычно задается минимальное значение по выбранному классу точности ПП).

3.2.3. В группе **Net Options** задаются настройки, связанные с цепями:

– список **Connect to Net** – название цепи, к которой подключен полигон (опция **No Net** означает отсутствие подключения к цепи);

– опции заполнения в местах расположения объектов той же цепи, кроме КП и переходных отверстий: **Don't Pour Over Same Net Objects** – отсутствие заполнения, **Pour Over All Same Net Objects** – заполнение поверх любых объектов, **Pour Over Same Net Polygons Only** – заполнение только поверх других полигонов;

– **Remove Dead Copper** – автоматическое удаление участков заполнения («островков»), не соединенных с другими объектами той же цепи.

Примечание. Способы подключения к КП и переходным отверстиям той же цепи определяются в правилах проектирования (см. п. 3.1).

3.2.4. В группе **Properties** задаются следующие настройки:

– **Name** – имя полигона;

– **Auto Naming** – при включенной опции полигону будет присвоено автоматическое имя по шаблону, определяемому в группе Polygon Auto Naming Template окна Board Options (команда Design ⇒ Board Options);

– **Layer** – слой расположения полигона;

– **Locked** – блокировка полигона;

– **Ignore On-Line Violations** – при включенной опции для данного полигона будет отключена проверка нарушений в режиме реального времени.

Примечания:

– имя полигона может участвовать при составлении правила проектирования. Примеры обращения к полигону с именем TopGND – InNamedPolygon('TopGND') или (ObjectKind = 'Poly') And (Name = 'TopGND');

– полигоны могут иметь одинаковые имена. Тогда правило, созданное для данного имени, будет применено ко всем одноименным полигонам;

– автоматически создаваемые имена отслеживаются и изменяются программой, в том числе и в созданных правилах проектирования.

3.2.5. Настройки вкладка **Outline Vertices** окна свойств аналогичны рассмотренным для полигона Solid Region в п. 2.4.

3.3. После задания в окне свойств настроек происходит переход в режим рисования контура и последующего автоматического заполнения полигона. Рисование контура и способы его корректировки ничем не отличаются от описанных для полигона Solid Region (см. пп. 2.1, 2.2 и 2.7).

Примечания:

– полигон Polygon Pour также можно создать на текущем в данный момент слое из предварительно нарисованного графическими примитивами (линиями и дугами) замкнутого контура, расположенного на любом слое, командой Tools ⇒ Convert ⇒ Create Polygon from Selected Primitives (у созданного полигона будет по умолчанию включен способ заполнения None);

– автоматическое перестроение полигона после его модификации определяется опцией Repour Polygons After Modification (см. табл. Г.4).

3.4. Дополнительные возможности работы с полигоном:

– с помощью полигона Solid Region с назначением Polygon cutout в полигоне Polygon Pour можно создавать области без заполнения (рис. Г.73);

– командой **Place ⇒ Slice Polygon Pour** рисуется кривая, которая в результате разделит выбранный полигон на несколько разных полигонов;

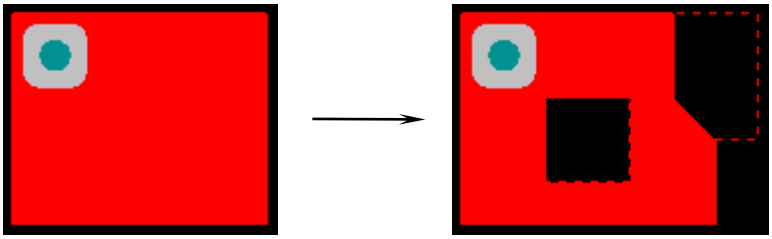


Рис. Г.73

– принудительное обновление заполнения полигона осуществляется командами из меню **Tools ⇒ Polygon Pours**: **Repour Selected** – для выделенного полигона, **Repour All** – для всех полигонов, **Repour Violating Polygons** – для полигонов с нарушениями правил проектирования, **Repour Modified** – для измененных полигонов;

– выбранный полигон можно временно скрыть, выполнив на нем команду **ПКМ ⇒ Polygon Actions ⇒ Shelve Selected**;

– восстановить скрытые полигоны позволяет команда **Tools ⇒ Polygon Pours ⇒ Restore N Shelved polygon(s)**, где N – число скрытых полигонов;

– изменить приоритет заполнения выбранного полигона при пересечении его границ с другим аналогичным полигоном можно командой **ПКМ ⇒ Polygon Actions ⇒ Bring to front** (повысить) или **ПКМ ⇒ Polygon Actions ⇒ Send to back** (понизить), выполненной на нем (рис. Г.74).

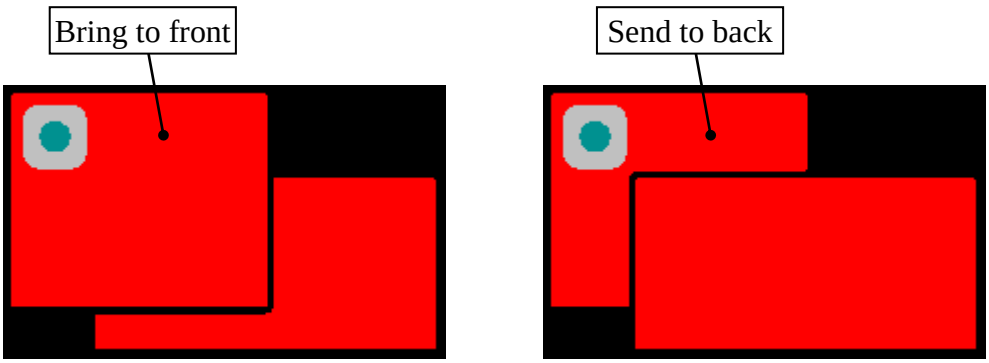


Рис. Г.74

3.5. Управление полигонами Polygon Pour осуществляется в окне, запускаемом командой **Tools ⇒ Polygon Pours ⇒ Polygon Manager** (рис. Г.75).

В группе **View/Edit** содержатся все существующие в проекте полигоны Polygon Pour в виде таблицы со следующими возможностями:

– в ячейках таблицы (кроме столбцов Net и IsModified) можно изменять данные (например, имя полигона);

– для каждого выбранного полигона доступны рассмотренные ранее команды из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ по строке с ним (например, полигон можно удалить, скрыть или сделать снова видимым);

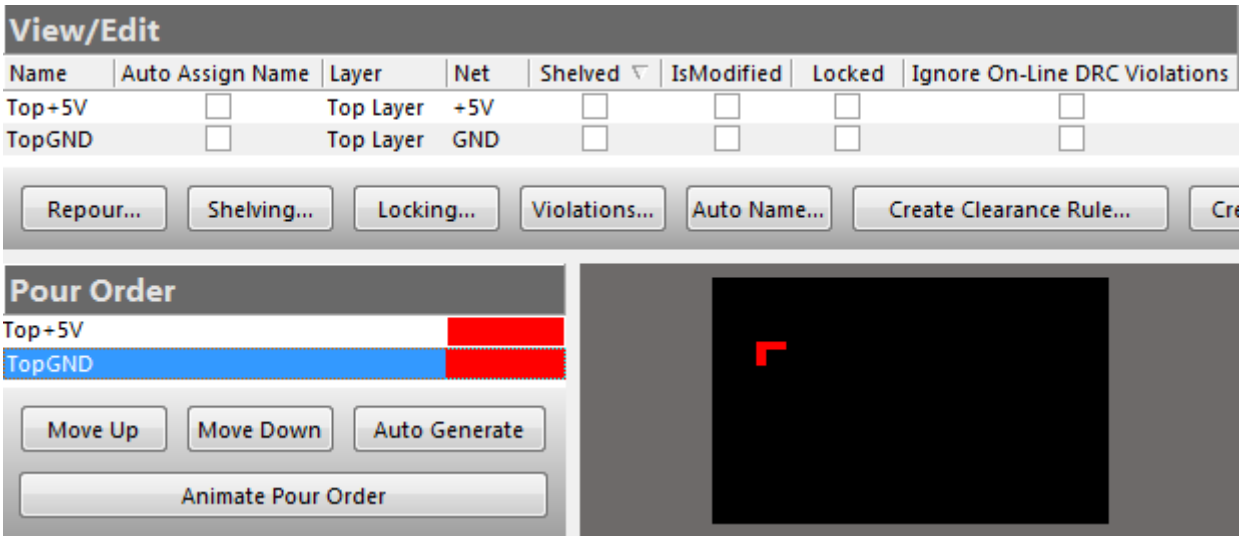


Рис. Г.75

– команды также представлены в виде кнопок (например, кнопка **Create Clearance Rule** позволяет создать правило по зазорам, при этом запрос с именем выбранного полигона уже будет введен в необходимом поле).

В группе **Pour Order** перечисляются полигоны с указанием цвета слоя, на котором они расположены, в порядке их приоритета (сверху – наивысший) со следующими возможностями:

– кнопки **Move Up** и **Move Down** позволяют изменить порядок полигонов в списке (также можно менять порядок перетаскиванием зажатой ЛКМ);

– кнопка **Auto Generate** автоматически проставляет приоритеты по их площади (от наименьшей к наибольшей) в пределах каждого слоя;

– кнопка **Animate Pour Order** запускает автоматическую анимацию с перебором полигонов в порядке уменьшения их приоритета.

В окне справа от группы Pour Order отображается ПП с выбранными в данный момент полигонами.

Г.27. Идентификаторы цепей

Соединение на схеме с помощью линии электрической связи осуществляется не только графически в виде полилинии из Г.25, но одновременно и электрически, т. е. с помощью цепи (Net).

Название цепи присваивается автоматически и по умолчанию содержит обозначение пина одного из подключенных к линии электрической связи компонентов. Например, на рис. Г.76 название цепи **NetC3_2** означает, что линия подключена ко 2-му выводу компонента *C3*.

Примечание. Если подключение к пинам отсутствует, то имя цепи содержит произвольное уникальное число.

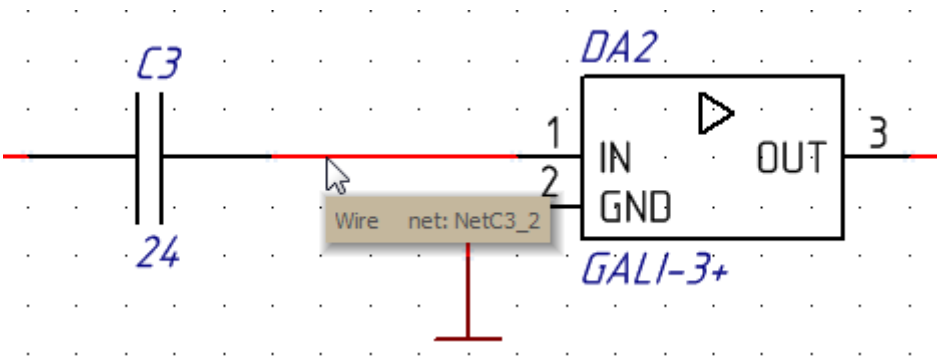


Рис. Г.76

Соединение пинов компонентов на схеме может быть выполнено двумя способами:

– физически – непрерывной линей электрической связи как на рис. Г.76. Очевидно, что таким способом можно соединить пины компонентов только на одном листе схемы;

– логически – разорванной линией электрической связи, при этом отдельные ее участки должны иметь одинаковые имена цепи (например, цепи +5В, V1, V2 и GND на рис. 8.66). Такой способ зачастую облегчает чтение схемы (например, значительное сокращение графики линий электрической связи для цепей GND и питания) и позволяет соединить выводы компонентов на разных листах схемы.

Примечание. В Altium Designer существует два вида многолистового проекта:

– обычный, в котором схема устройства из-за ее большого размера создается на нескольких равноправных листах. Для удобства пользования такими схемами и для уменьшения количества линий электрической связи, переходящих между листами, на каждом листе стараются разместить информацию об отдельных функциональных группах (например, на одном листе – узел вторичного питания, а на другом – СВЧ-тракт);

– иерархический, в котором каждый функциональный узел изображается на отдельном листе (листы нижнего уровня), а все взаимосвязи между узлами показываются на главном листе (лист верхнего уровня). Другими словами, данный вид проекта напоминает структурную схему на листе верхнего уровня и принципиальные схемы функциональных узлов на листах нижнего уровня. Иерархичные проекты могут быть многоуровневыми (отдельные листы нижнего уровня являются локальными листами верхнего уровня) и многоканальными (отдельный функциональный узел входит в лист верхнего уровня несколько раз).

Для логического соединения применяются идентификаторы цепей со следующими особенностями:

1. Типы идентификаторов цепей:

1.1. **Net Label** (метка цепи), добавляемый командой **Place ⇒ Net Label** или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ N**.

Примечание. Также идентификатор может быть добавлен соответствующей пиктограммой на ПИ Wiring (рис. Г.77, а).

Зачастую метки цепи используются только для принудительной смены имени цепи с целью облегчения чтения схемы и создания ПП (рис. Г.77, *б*). Также без них невозможно объединить разные линии электрической связи в линию групповой связи (см. п. 2.3 из 8.1).

1.2. **Power Port** (порт питания), добавляемый командой **Place ⇒ Power Port** или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ O**.

Примечание. Также идентификатор может быть добавлен соответствующими пиктограммами на ПИ Wiring (рис. Г.77, а) или Utilities (рис. Г.77, в).

Идентификаторы, в названии которых содержится «power port», отличаются только предустановленными названием цепи и стилем значка. Настройки можно поменять вручную после размещения.

Для создания цепи земли (при проектировании используется цепь GND) рекомендуется добавлять символ земли (рис. Г.77, *г*) указанной командой или клавишами, так как в этом случае в нем будут заданы настройки, соответствующие ЕСКД (см. примитив Power Object из табл. Г.5).

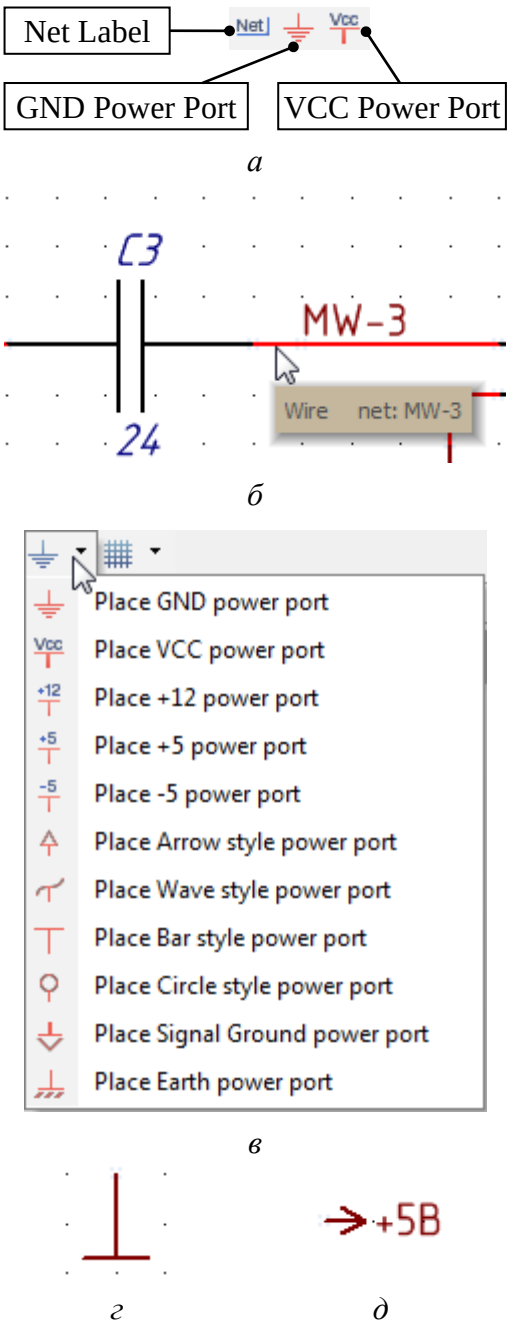


Рис. Г.77

Для создания цепей питания, а также цепей, для которых необходимо выполнить п. 2.7 из 8.1, в свойствах любого идентификатора Power Port должны быть заданы следующие настройки:

– стиль – GOST Arrow;

– опция **Show Net Name** – включена;

– в поле **Net** – требуемое имя цепи.

Внешний вид идентификатора для цепи «+5В» показан на рис. Г.77, *д*.

1.3. **Port** (порт), добавляемый командой **Place ⇒ Port** или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ R**.

Обозначение по умолчанию (текст в рамке) не соответствует требованиям ЕСКД, однако данный идентификатор в обычных многолистовых проектах можно использовать для выполнения п. 2.6 из 8.1:

– во время создания схемы на концы требуемых линий электрической связи устанавливаются порты, в свойствах которых задаются необходимые имена цепей, а цвет рамок делается белым;

– после создания схемы проверяется, что всем листам заданы правильные номера (при необходимости нумерация изменяется по п. 5.1 из 8.2);

– запускается команда **Reports ⇒ Port Cross Reference ⇒ Add To Project**, после чего у каждого порта появляется ссылка на номер страницы;

– поиском похожих объектов (команда Find Similar Objects из Г.6) во всем проекте выбираются все параметры с именем **CrossRef**, после чего в свойствах шрифта меняется начертание с курсива на обычный;

– выполняется команда **Tools ⇒ Parameter Manager** и в появившемся окне выбираются только порты;

– в следующем открывшемся окне (с таблицей параметров) осуществляется сортировка по столбцу CrossRef, после чего для каждой группы одинаковых номеров выбираются все ячейки, нажимается клавиша **F2**, и номер страницы меняется на такой же, но в круглых скобках;

– в схеме вручную производится коррекция положения параметров.

1.4. Редко используемые:

– **Sheet Entry** (вход листа). С помощью пары идентификаторов Sheet Entry и Port организуется связь в иерархических проектах. Устанавливается на листе верхнего уровня внутри объекта **Sheet Symbol**, обозначающего один из листов нижнего уровня;

– **Off Sheet Connector** (соединитель между листами). Предназначен для работы в обычных многолистовых проектах, но на практике не используется, так как значок не соответствует требованиям ЕСКД;

– **Hidden Pin** (скрытый пин в УГО). Применять не рекомендуется, так как сложно проследить за корректностью их подключения.

2. Опции, связанные с областью действия идентификаторов цепей, находятся в окне свойств проекта (команда **Project ⇒ Project Options**) на вкладке **Options** в группе **Net Identifier Scope** (табл. Г.11).

Таблица Г.11

Опция группы Net Identifier Scope (область действия идентификаторов цепей)

Опция	Назначение
Automatic (Based on project contents)	Автоматическая. Область действия устанавливается автоматически в зависимости от содержания проекта: – если на верхнем листе проекта есть идентификаторы Sheet Entry, то используется опция Hierarchical; – если в проекте нет идентификаторов Sheet Entry, но есть идентификаторы Port, то используется опция Flat; – если в проекте нет идентификаторов Sheet Entry и Port, то используется опция Global
Flat (Only ports global)	Плоская. Идентификаторы Port и Power Port являются глобальными, а идентификаторы Net Label – локальными
Hierarchical (Sheet entry <–> port connections, power ports global)	Иерархическая. Предназначена для иерархических проектов. Соединения между листами осуществляются только с помощью пары идентификаторов Sheet Entry и Port. Идентификаторы Port без связи с соответствующими идентификаторами Sheet Entry не будут соединять цепи, даже если они имеют одинаковые имена на разных листах. Идентификаторы Net Label являются локальными, а идентификаторы Power Port – глобальными
Strict Hierarchical (Sheet entry <–> port connections, power ports local)	Строгая иерархическая. Предназначена для иерархических проектов. Опция аналогична Hierarchical, но идентификаторы Power Port являются локальными
Global (Netlabels and ports global)	Глобальная. Идентификаторы Port, Power Port и Net Label являются глобальными.

Примечание. Локальные идентификаторы имеют область действия в пределах одного листа, а глобальные – в пределах нескольких листов.

3. Опции, связанные с влиянием идентификаторов на имена цепей, находятся в окне свойств проекта (команда **Project ⇒ Project Options**) на вкладке **Options** в группе **Netlist Options** (табл. Г.12)

Таблица Г.12

Опции группы Netlist Options (влияние идентификаторов цепей на имена цепей)

Опция	Назначение
Allow Ports to Name Nets	При подключении к идентификатору Port цепь автоматически переименовывается по имени из его настроек

Окончание таблицы Г.12

Опция	Назначение
Allow Sheet Entries to Name Nets	При подключении к идентификатору Sheet Entry цепь автоматически переименовывается по имени из его настроек
Allow Single Pin Nets	В проекте допускается наличие цепей, подключенных только к одному выводу
Append Sheet Numbers to Local Net	В проекте допускается существование локальных цепей с одинаковыми именами меток цепи (Net Label), расположенных на разных листах. При этом такие цепи считаются разными и не соединяются друг с другом, а при переходе на ПП к их именам добавляются номера листов. Опция работает в случае, если листам присвоены номера, а в группе Net Identifier Scope (см. п. 2) не используется опция Global (при опции Global все цепи с одинаковыми именами будут считаться одинаковыми)
Higher Level Names Take Priority	При наличии нескольких меток цепи (Net Label) с разными именами, расположенных на линии электрической связи на разных листах схемы, итоговое имя будет взято с листа с более высоким приоритетом (с листа верхнего уровня). Приоритет идентификаторов цепей от высшего к низшему следующий: Net Label, Power Port, Port
Power Port Names Take Priority	При установке на линию электрической связи идентификатора Power Port цепь будет автоматически переименована по имени, заданному в его настройках, даже если к этой линии были подключены объекты Port или Net Label

Примечание. Разные типы идентификаторов с одинаковым именем цепи, установленные на разных участках линии электрической связи, не обеспечивают их логического соединения.

Г.28. Добавление компонента на схему

Добавить компонент на схему можно двумя способами:

1. Из панели **Libraries** (см. Г.9) одним из двух вариантов:

1.1. Выбрать требуемый компонент в списке компонентов текущей библиотеки и нажать кнопку **Place** в верхней части панели или дважды щелкнуть ЛКМ по компоненту в списке.

В результате фантом добавляемого компонента окажется привязанным к курсору мышки до тех пор, пока не будет произведен щелчок ЛКМ в месте желаемого его размещения. После этого под курсором мышки появится следующий такой же компонент для продолжения добавления, завершить которое можно щелчком ПКМ или клавишей **Esc**.

Некоторые доступные до размещения компонента команды:

– клавиша **Tab** – открытие окна свойств компонента;

– клавиша **Space** – поворот компонента по часовой стрелке на 90º;

– комбинация клавиш **Shift+Space** – поворот компонента против часовой стрелки на 90º;

– клавиша **X** – перевернуть вдоль оси X;

– клавиша **Y** – перевернуть вдоль оси Y.

Примечание. Список доступных команд и комбинаций клавиш вызывается клавишей F1 или «~» (см. Г.4).

1.2. Перетащить требуемый компонент из списка компонентов текущей библиотеки зажатой ЛКМ.

В результате фантом добавляемого компонента также окажется привязанным к курсору мышки, но для его размещения в рабочем поле необходимо отпустить зажатую ЛКМ, а последующего автоматического перехода к добавлению такого же компонента не происходит.

Примечание. До размещения компонента доступны описанные в п. 1.1 команды, кроме клавиш F1 или «~».

2. Из окна **Place Part**, открываемого командой **Place ⇒ Part** или последовательным нажатием клавиш **P ⇒ P** (рис. Г.78).

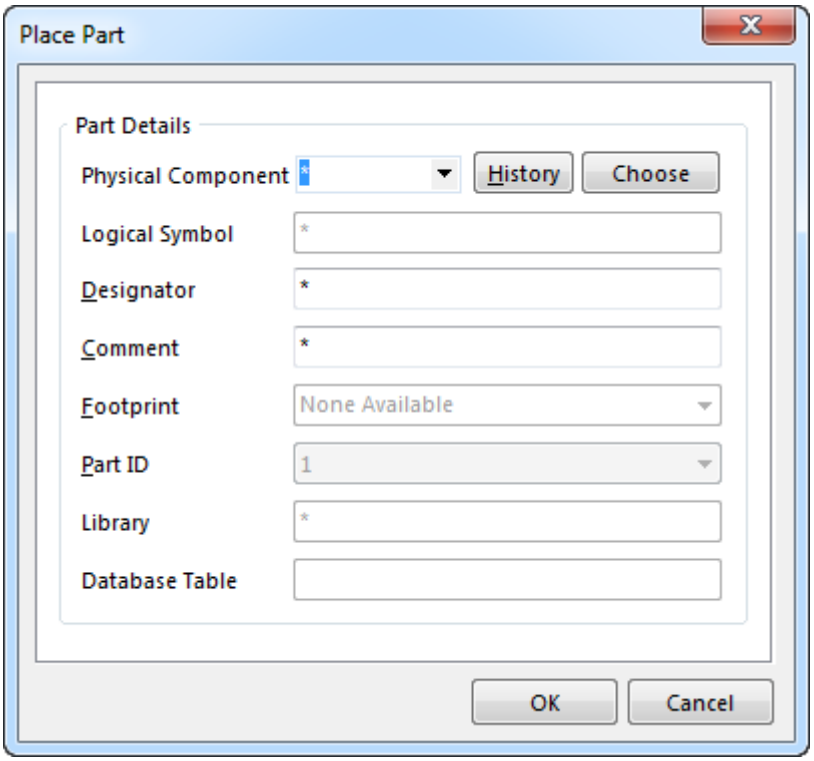


Рис. Г.78

Выбор компонента осуществляется в окне **Browse Libraries** (открывается кнопкой **Choose**) по аналогии с панелью Libraries.

Примечание. В окне Browse Libraries нельзя изменить количество отображаемых столбцов.

Размещение выбранного компонента после нажатия кнопки **OK** в окне **Place Part** аналогично п. 1.1. После завершения размещения окно Place Part будет открыто автоматически.

Добавленные ранее в схему компоненты сохраняются в истории и могут быть выбраны в списке **Physical Component** или в окне **Placed Parts History**, открываемом кнопкой **History**.

Г.29. Действия при перемещении объектов

В Altium Designer существует два режима перемещения объектов:

– **Move** – перемещение только выбранного объекта;

– **Drag** – перемещение выбранного объекта с сохранением соединений (в редакторе схем – с линиями электрической связи, в редакторах ПП и посадочных мест – с линиями и трассами).

Принудительный выбор режима, а также некоторые команды, связанные с перемещениями объектов, находятся меню **Edit ⇒ Move**.

Примечание. Настройки режимов перемещения по умолчанию расположены в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences):

– для редактора схем – опция Always Drag (см. табл. Г.3);

– для редакторов ПП и посадочных мест – опции Selected via/track и Unselected via/track из группы Dragging подраздела PCB Editor ⇒ Interactive Routing (см. рис. Г.59) и опция Comp Drag (см. табл. Г.4).

Часто используемые действия при изменении положения:

– открытие окна свойств – клавиша **Tab**;

– поворот по часовой стрелке и против нее в редакторах ПП, посадочных мест и УГО – клавиша **Space** и комбинация клавиш **Shift+Space** соответственно. В редакторе схем – соответственно комбинации клавиш **Ctrl+Space** и **Ctrl+Shift+Space**.

Примечания:

– угол поворота в редакторах схем и УГО кратен 90°, а в редакторах ПП и посадочных мест его можно изменить по п. 8.7 из 12.3;

– в редакторе схем клавишей Space и комбинацией клавиш Shift+Space можно повернуть выделенные объекты, которые не находятся в режиме перемещения;

– перемещение на другую сторону ПП в редакторах ПП и посадочных мест – клавиша **L**;

– переворот вдоль оси X и Y – клавиши **X** и **Y** соответственно.

Примечание. В редакторе ПП при выполнении переворота посадочного места компонента вдоль осей будет выдано предупреждение, так как для перемещения на другую сторону ПП используется клавиша L;

– перемещение в ортогональном режиме – зажатая клавиша **Alt**.

Примечание. В редакторах ПП и посадочных мест кроме перемещения по вертикали и горизонтали добавляется перемещение по диагоналям;

– перемещение с десятикратным увеличением шага при использовании клавиш **Up**, **Down**, **Left** и **Right** – зажатая клавиша **Shift**;

– динамическое выравнивание в редакторе ПП при перемещении посадочного места компонента относительно контуров ближайших компонентов – зажатая клавиша **Ctrl**, а относительно ближайших КП компонентов – зажатая клавиша **Shift**.

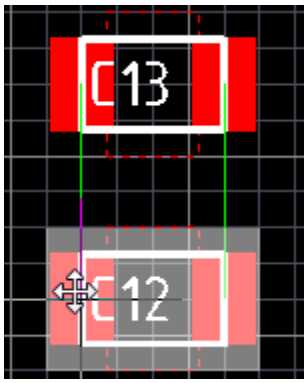


Рис. Г.79

Примечание. Выравнивание происходит в текущей сетке, а индикацией служат зеленые вспомогательные линии (рис. Г.79);

– перемещение в указанные координаты – команда **Edit ⇒ Move Selection by X, Y**.

Г.30. Выравнивание объектов

Выравнивание применяется для нескольких предварительно выделенных объектов командами из меню **Edit ⇒ Align**:

– **Align Left** и **Align Right** – выравнивание по левому и правому краю соответственно;

– **Align Horizontal Centers** и **Align Vertical Centers** – выравнивание объектов по их общему центру, расположенному на горизонтали и вертикали соответственно;

– **Distribute Horizontally** и **Distribute Vertically** – выравнивание расстояния между объектами по горизонтали и вертикали соответственно;

– **Increase Horizontal Spacing** и **Decrease Horizontal Spacing** – соответственно увеличение и уменьшение расстояния между объектами по горизонтали на значение текущего шага сетки по оси X. Аналогичные команды изменения расстояния по вертикали на значение текущего шага по оси Y – **Increase Vertical Spacing** и **Decrease Vertical Spacing**.

Примечание. Команды доступны в редакторах ПП и посадочных мест;

– **Align To Grid** – перемещение объектов в узлы текущей сетки.

Примечание. Команда в редакторе посадочных мест не работает, а в редакторе ПП работает только с посадочными местами компонентов;

– **Align** – выбор действий по выравниванию одновременно по горизонтали и вертикали.

Г.31. Перенумерация компонентов в схеме

Все настройки для перенумерации компонентов в схеме определяются в окне **Annotate** (команда **Tools ⇒ Annotation ⇒ Annotate Schematics**):

1. В группе **Order of Processing** задается направление перенумерации (рисунок под списком опций динамически изменяется в соответствии со сделанным выбором).

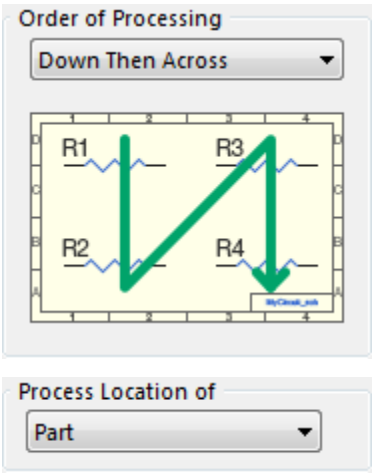


Рис. Г.80

В соответствии с требованием ЕСКД (см. п. 3.4 из 8.1) должна быть выбрана опция **Down Then Across** (рис. Г.80).

2. В группе **Process Location of** (рис. Г.80) указывается объект, относительно которого осуществляется перенумерация:

– **Designator** – по положению параметров Designator относительно точек их привязки (поле Justification в свойствах). При данной опции получаются плохие результаты для компонентов одного функционального назначения, для которых выполнялся поворот УГО (резисторы, конденсаторы и пр.) и (или) перемещение параметров;

– **Part** – по положению компонентов относительно их центров. При данной опции получаются плохие результаты для компонентов одного функционального назначения, УГО которых имеют разную протяженность по горизонтали. Однако в большинстве случаев рекомендуется выбирать именно ее.

3. В группе **Matching Options** задаются настройки при работе с компонентами, УГО которых изображено разнесенным способом (см. рис. 8.2), т. е. состоит из нескольких секций:

– в списке **Complete Existing Package** выбирается область, в которой производится упаковка секций для достижения минимального количества компонентов: **None** – не производится, **Per Sheet** – на каждом отдельном листе, **Whole Project** – во всем проекте;

– в таблице определяются параметры, по которым производится упаковка и принадлежность секций отдельным компонентам.

Примечание. Например, если на схеме есть два одинаковых многосекционных компонента, то для определения принадлежности секций выполняется следующее:

– в свойствах всех секций создается пользовательский параметр с одинаковым названием (например, Part);

– параметру из секций, которые относятся к первому компоненту, присваивается одно значение, а параметру из секций, которые относятся ко второму компоненту, – другое;

– в таблице из группы Matching Options окна Annotate устанавливается галочка слева от созданного параметра.

4. В таблице **Schematic Sheets To Annotate** (рис. Г.81) перечислены все листы проекта со следующими опциями:

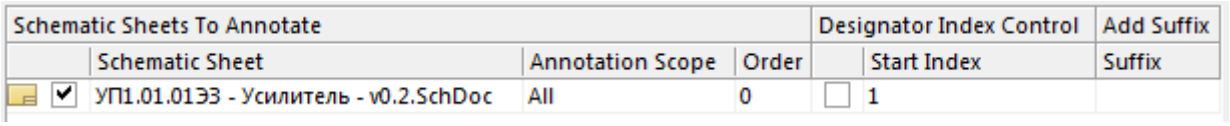


Рис. Г.81

– галочка слева от листа позволяет разрешить перенумерацию для компонентов, расположенных на нем;

– в столбце **Annotation Scope** указывается область для перенумерации на листе: **All** – все компоненты, **Ignore Selected Parts** – все компоненты, кроме предварительно выделенных, **Only Selected Parts** – только предварительно выделенные компоненты;

– в столбце **Order** каждому листу задается номер для определения порядка, в котором он будет включен в перенумерацию;

– в столбце **Designator Index Control** можно записать начальное число, с которого будет осуществляться присвоение порядковых номеров в позиционных обозначениях на данном листе, и разрешить такую возможность установкой галочки слева от него;

– в столбце **Add Suffix** можно задать дополнительные символы, которые будут добавляться для компонентов на данном листе.

Примечание. В контекстном меню, вызываемом щелчком ПКМ в любом месте этой таблицы, полезными являются две команды:

– Order Alphabetically – листы будут записаны в алфавитном порядке их наименований;

– Order By Project Order – листы будут записаны в том порядке, в котором они находятся в проекте в панели Projects.

5. В таблице **Proposed Change List** (рис. Г.82) отображаются те компоненты, которые были включены в перенумерацию настройками из таблицы Schematic Sheets To Annotate.

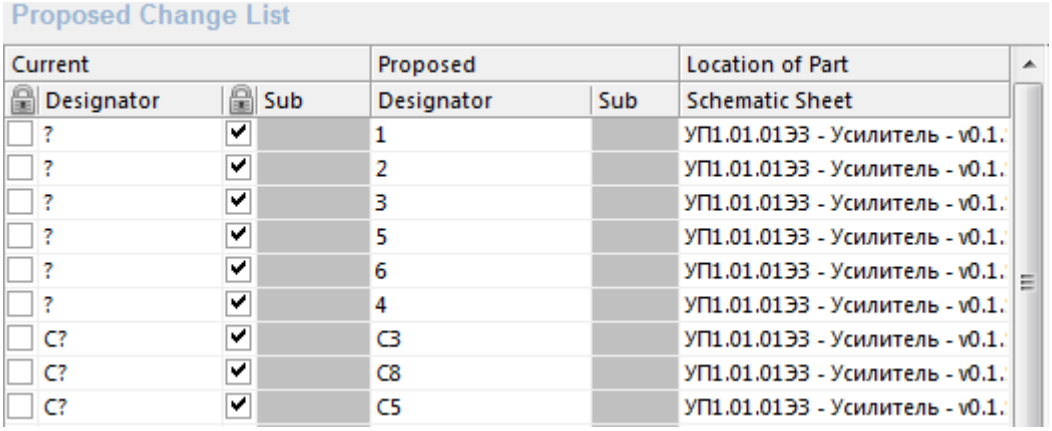


Рис. Г.82

Здесь доступны следующие возможности:

– в столбце **Current Designator** приводятся текущие позиционные обозначения компонентов (в столбце с иконкой замка слева от позиционного обозначения наличие галочки означает запрет на его изменение при перенумерации);

– в столбце **Current Sub** приводятся номера секций для многосекционных компонентов (в столбце с иконкой замка слева от номера секции наличие галочки означает запрет на перенумерацию секций);

– в столбцах **Proposed Designator** и **Proposed Sub** приводятся позиционные обозначения и номера секций, которые будут у компонентов после перенумерации (информация обновляется после нажатия соответствующих кнопок внизу окна Annotate);

– в столбце **Location Part** для каждого компонента записано название листа, на котором он находится.

Примечания:

– защитить позиционное обозначение компонента от изменений при перенумерации также можно опцией Locked, которая находится напротив параметра Designator в свойствах компонента (см. рис. 8.62);

– защитить номера секций от изменений при перенумерации также можно опцией Locked, которая находится напротив надписи Part в свойствах компонента (при создании компонентов рекомендуется включать эту опцию);

– ячейки с защищенными данными окрашиваются в серый цвет.

6. Кнопка **Update Changes List** позволяет обновить данные в столбцах Proposed Designator и Proposed Sub.

Примечание. Обновление будет произведено только для тех компонентов, которые ранее не были перенумерованы, поэтому для обновления всех позиционных обозначений может понадобиться нажатие кнопки Reset All.

7. Кнопка **Reset** с двумя опциями:

– **Reset All** – приводит все незащищенные позиционные обозначения в исходное состояние (то есть вместо порядковых номеров будет знак «?») и обновляет данные в столбцах Proposed Designator и Proposed Sub;

– **Reset Duplicates** – приводит повторяющиеся незащищенные позиционные обозначения в исходное состояние (одно позиционное обозначение в каждой такой группе остается неизменным).

8. Кнопка **Back Annotate** позволяет загрузить изменения из файла ECO или WAS-IS.

Примечание. В файле ECO в каждой строке сначала записывается текущее позиционное обозначение, а после через пробел – новое позиционное обозначение.

9. Кнопка **Accept Changes (Create ECO)** после всех заданных настроек в окне Annotate открывает окно **Engineering Change Order** (рис. Г.83), предназначенное для просмотра и внесения изменений в схему:

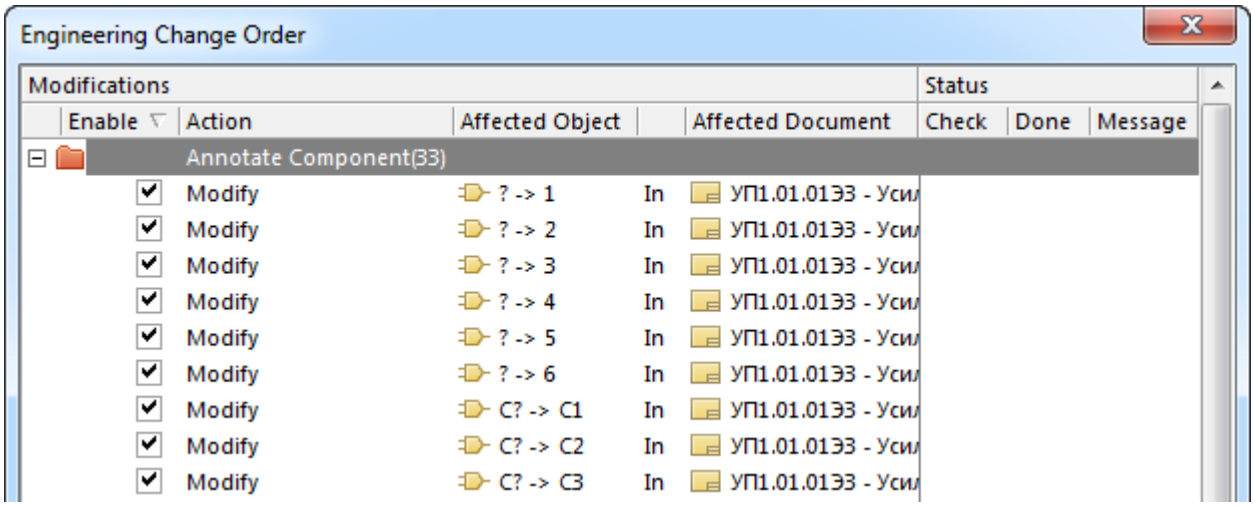


Рис. Г.83

– все изменения, происходящие при перенумерации, находятся в группе **Annotate Component**;

– каждое изменение описывается в столбце **Affected Object**;

– для отмены выбранного изменения необходимо убрать соответствующую галочку в столбце **Enable**;

– для внесения изменений в схему служит кнопка **Execute Changes**;

– успешно внесенные изменения отмечаются зелеными галочками в столбцах **Check** и **Done**.

Г.32. Альтернативные виды УГО

В библиотеке УГО для каждого УГО можно создать дополнительные (альтернативные) виды его отображения. Делается это с помощью команд из меню **Tools ⇒ Mode** или пиктограмм на ПИ **Mode** (рис. Г.84).

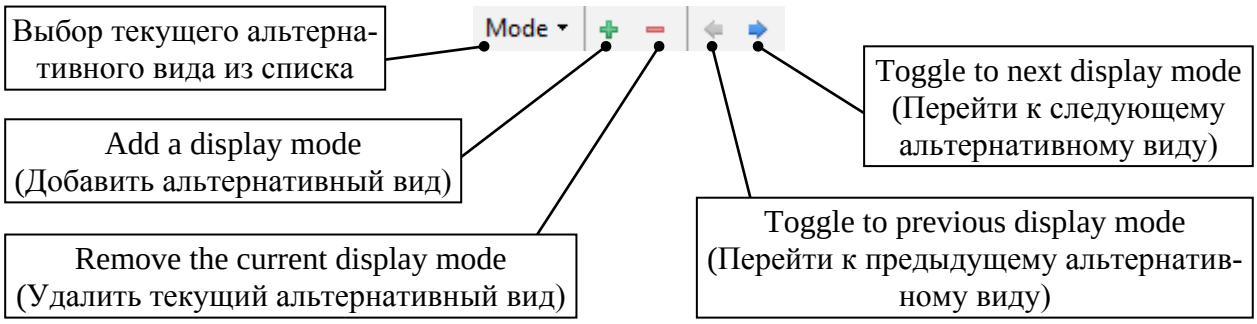


Рис. Г.84

Примером УГО с тремя альтернативными видами является диодный мост из библиотеки **Discretes_Assemblies.SchLib** из папки **…ИДРЭС\AD library\sch** (рис. Г.85).

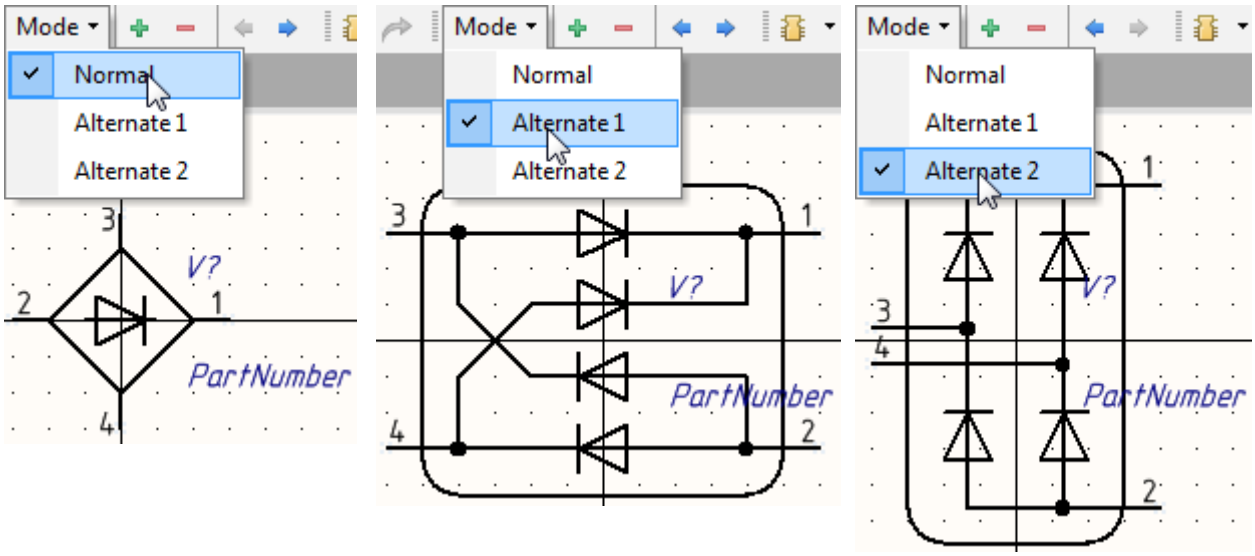


Рис. Г.85

Особенности создания УГО с альтернативными видами:

– названия видов изменить нельзя (первый всегда называется **Normal**, второй – **Alternate 1**, третий – **Alternate 2** и т. д.);

– количество пинов во всех видах должно быть одинаковым;

– связь между пинами и КП посадочного места для всех альтернативных видов получается одинаковой;

– положение системных параметров является общим для всех видов, поэтому в их свойствах имеет смысл включать опцию **Autoposition**.

Особенности добавления УГО с альтернативными видами на схему:

– компонент добавляется из библиотеки с тем альтернативным видом УГО, который был выбран текущим в библиотеке (остался в рабочем поле при последнем сохранении);

– изменить вид УГО компонента можно после его размещения на схеме через панель **SCH Inspector** в поле **Display Mode** (рис. Г.86).

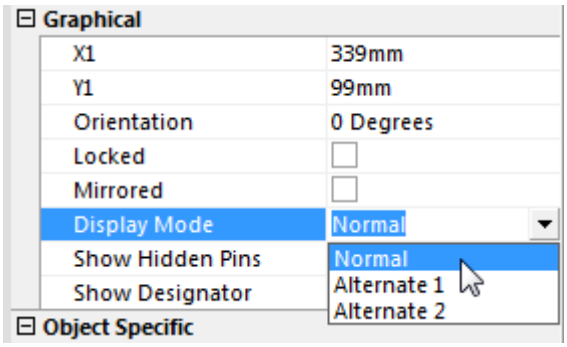


Рис. Г.86

Примечание. Также это можно сделать в окне свойств компонента и в панели SCH List (см. Г.11);

– после изменения вида УГО зачастую требуется обновить положение системных параметров. Для этого удобнее включить и отключить опцию **Mirrored** в панели **SCH Inspector** (рис. Г.86).

Примечание. В используемой при проектировании библиотеке компонентов у некоторых компонентов добавлен пользовательский параметр SI_Mode, в котором записано количество видов УГО. Он является справочным и ни на что не влияет.

Г.33. Типы компонентов

В Altium Designer любому УГО и посадочному месту можно присвоить один из семи типов, описание которых приведено в табл. Г.13.

Примечание. Если в библиотечном компоненте заданы разные типы для УГО и посадочного места, то приоритет будет за типом УГО.

Таблица Г.13

Типы компонентов

Тип (Type)	Описание
Standard	Стандартный электрический компонент (например, резистор или микросхема). Отображается при формировании списка компонентов и синхронизируется в проекте между схемой и ПП
Mechanical	Механический компонент (например, радиатор или монтажный лепесток). Отображается при формировании списка компонентов. Синхронизируется в проекте между схемой и ПП, если присутствует и на схеме, и на ПП

Окончание таблицы Г.13

Тип (Type)	Описание
Graphical	Графический компонент (например, логотип). Не отображается при формировании списка компонентов и не синхронизируется в проекте между схемой и ПП
Net Tie (In BOM)	Компонент для объединения нескольких цепей (например, проводная перемычка, соединяющая КП с разными цепями). Отображается при формировании списка компонентов и синхронизируется в проекте между схемой и ПП
Net Tie	Компонент для объединения нескольких цепей (например, две или более КП, соединенные трассой). Не отображается при формировании списка компонентов, но синхронизируется в проекте между схемой и ПП
Standard (No BOM)	Стандартный электрический компонент. Не отображается при формировании списка компонентов, но синхронизируется в проекте между схемой и ПП
Jumper	Компонент для обозначения проводной связи между участками одной цепи, расположенными в разных местах. Обычно используется на ОПП в виде проводной перемычки. На схеме такие компоненты не подключаются и нужны для формирования списка компонентов и материалов. На ПП используются, чтобы установить связь между КП по воздуху, которая учитывается при проверке правил проектирования

Особенности компонентов типа Net Tie и Jumper:

1. Создание компонента типа **Net Tie**:

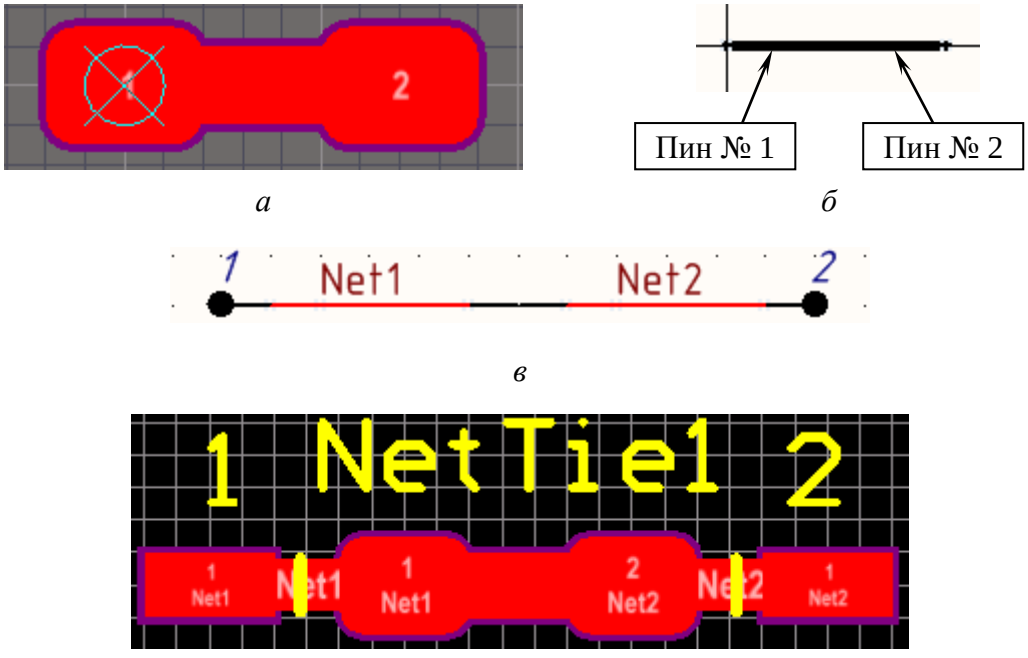
– в редакторе посадочных мест добавляются КП и осуществляется их соединение (например, на рис. Г.87, *а* две КП соединены линией).

Примечание. Настройки КП – обычные, т. е. уникальные номера в поле Designator и нулевое значение в поле Jumper ID (см. п. 1 из Г.17);

– в редакторе УГО добавляются пины в количестве КП из посадочного места и при необходимости соединяются линиями (например, на рис. Г.87, *б* два пина просто расположены стык в стык);

– в редакторе УГО в свойствах компонента в поле Type выбирается опция **Net Tie**, отключается видимость системных параметров (опция **Visible** напротив полей Default Designator и Default Comment), в поле Default Designator записывается «**NetTie?**» (без кавычек) и при создании интегрированной библиотеки подключается посадочное место.

2. Использование компонента типа **Net Tie**. В редакторе схем к пинам УГО компонента подключаются разные цепи (рис. Г.87, *в*), а после перехода в редактор ПП к КП подводятся трассы этих цепей, при этом ошибки соединения разных цепей в этом месте не возникает (рис. Г.87, *г*).



а *б*

в

г

Рис. Г.87

Примечания:

– на рис. Г.87, а в свойствах линии для параметра Solder Mask Expansion выбрана опция From Rule для автоматического создания соответствующей графики в слое Top Solder (делать это не обязательно);

– соединить КП можно и другими объектами (например, полигоном);

– ширину области соединения КП можно выбрать любой;

– в поле Default Designator записано «NetTie?», чтобы позиционное обозначение компонента не влияло на другие позиционные обозначения;

– при подведении трасс к такому посадочному месту в редакторе ПП потребуется использовать режим Ignore Obstacles (см. п. 2.1 из Г.42).

3. Создание компонента типа **Jumper**:

– в редакторе посадочных мест добавляются две несвязанные друг с другом КП с уникальными номерами в поле Designator и одинаковым ненулевым значением в поле Jumper ID (см. п. 1 из Г.17);

– в редакторе УГО добавляются два пина и при необходимости соединяются графическим объектом (например, кривой Безье);

– в редакторе УГО в свойствах компонента в поле Type выбирается опция **Jumper**, в поле Default Designator записывается «**Jump?**» (без кавычек) и при создании интегрированной библиотеки подключается посадочное место.

4. Использование компонента типа **Jumper**. В редакторе схем подобные компоненты размещаются на отдельном листе, при этом их пины не обяза-

тельно подключать к линиям электрической связи, так как после перехода в редактор ПП их КП в любом случае не будут подключены к цепям.

В редакторе ПП любая КП из состава такого компонента вручную подключается к цепи, в которой необходимо осуществить связь проводом. В результате КП окажутся соединены дугой с цветом цепи (см. рис. Г.34, *б*).

Примечания:

– в поле Default Designator записано «Jump?», чтобы позиционное обозначение компонента не влияло на другие позиционные обозначения;

– недостатком добавления компонента типа Jumper на схему является использование дополнительного листа, который не нужно выводить на печать (потребуется вручную корректировать количество листов проекта в столбце SheetTotal на рис. 8.5). Также компонент будет отображаться в списке компонентов, что для перечня элементов не нужно;

– можно не делать полноценный компонент, ограничившись созданием только посадочного места с опцией Jumper в поле Type (см. рис. 5.19, а). В этом случае посадочное место добавляется из библиотеки посадочных мест в редактор ПП. Недостаток этого способа заключается в том, что при обновлении ПП из схемы будет появляться запрос на удаление компонента;

– КП из состава посадочного места можно переместить в рабочем поле редактора ПП, предварительно отключив опцию Lock Primitives.

Г.34. Библиотека компонентов в виде базы данных

Компоненты, необходимые в вариантах задания для разработки проекта ПП, содержатся в библиотеке в виде базы данных из папки **…\ИДРЭС\AD library** (см. рис. 2.9). Ее достоинства и недостатки указаны в п. 3 из 5.1, а пример подключения к проекту – в п. 8 из 8.2.

Особенности разработки указанной библиотеки в виде базы данных:

1. В соответствии с информацией из 5.2 и 6.6 создаются библиотеки посадочных мест.

В рассматриваемой библиотеке для удобства посадочные места представлены в двух библиотеках в папке **pcb** (см. рис. 2.9):

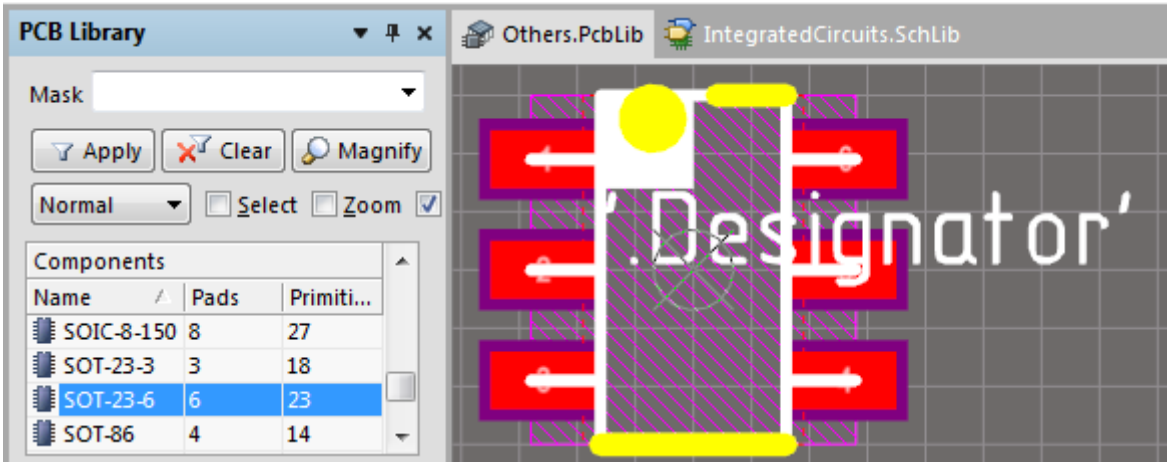
– **Connectors_Switches.PcbLib** – разъемы и переключатели;

– **Others.PcbLib** – дискретные компоненты и микросхемы.

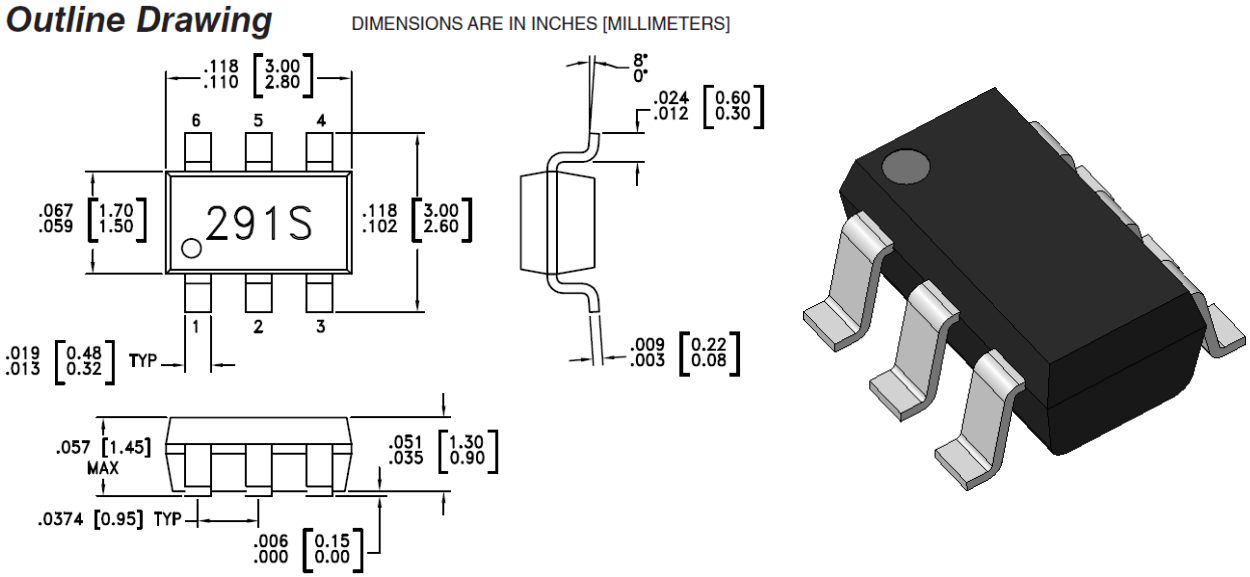
Примечания:

– как и с танталовым конденсатором, посадочные места и 3D-модели компонентов (см. разд. 5 и 6) создаются на основе информации, приведенной

в их документации. Например, для микросхемы HMC291SE посадочное место в сетке 0,5 мм показано на рис. Г.88, а, а чертеж корпуса SOT-23-6 из документации и его 3D-модель – на рис. Г.88, б;



а



б

Рис. Г.88

– подразумевается, что одно посадочное место может использоваться в разных компонентах, выполненных в соответствующем корпусе;

– кроме рисования вручную можно воспользоваться командой Tools ⇒ IPC Compliant Footprint Wizard, позволяющей не только автоматически создавать посадочные места широко используемых корпусов, но и генерировать для них приличные 3D-модели. Сильно упрощенный вариант такой подпрограммы запускается командой Tools ⇒ Component Wizard.

Следует обратить внимание на то, что в отдельных случаях автоматически созданные места требуют ручной корректировки.

2. В соответствии с информацией из 5.3 создаются библиотеки УГО.

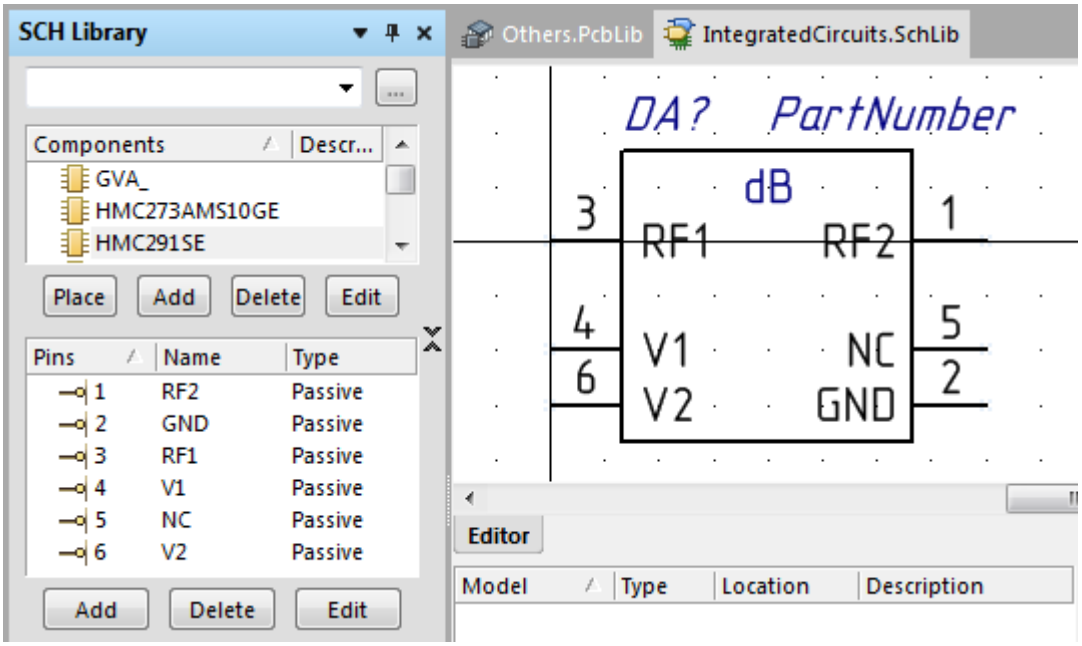
В рассматриваемой библиотеке для удобства УГО представлены в трех библиотеках в папке **sch** (см. рис. 2.9):

– **Connectors_Switches.SchLib** – разъемы и переключатели;

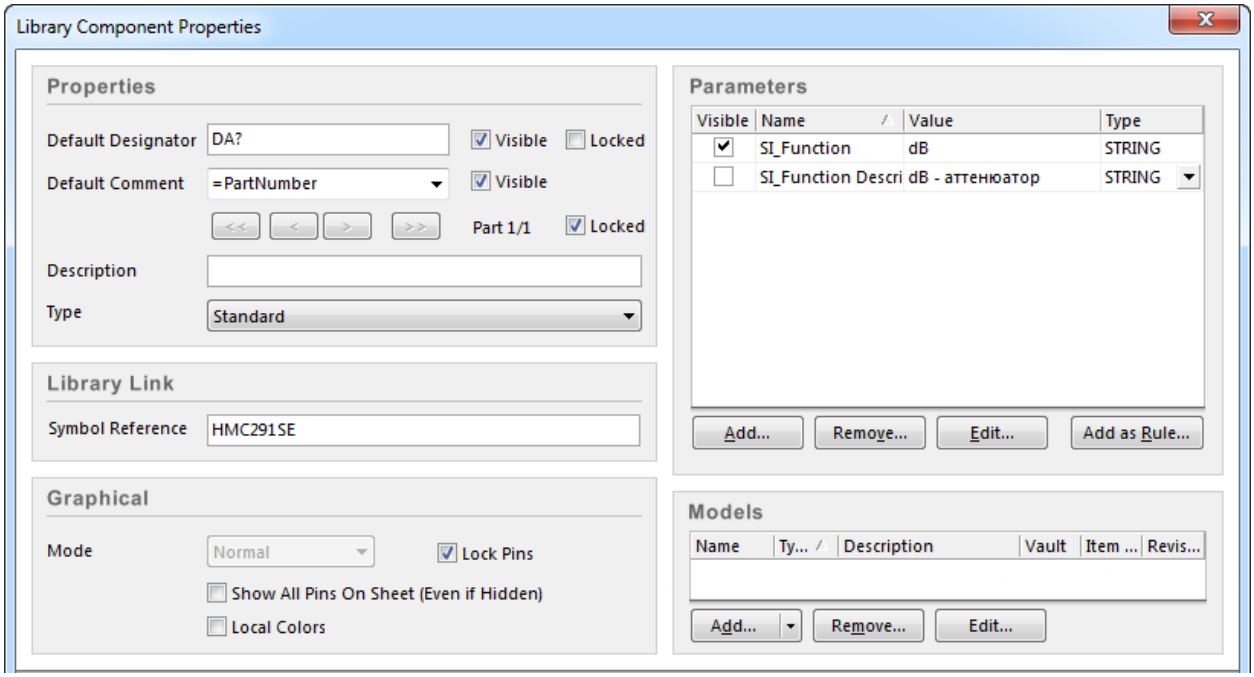
– **Discretes_Assemblies.SchLib** – дискретные компоненты и их сборки;

– **IntegratedCircuits.SchLib** – микросхемы.

Пример УГО микросхемы HMC291SE показан на рис. Г.89, *а*.



а



б

Рис. Г.89

Примечания:

– заполнение функциональных назначений пинов (поля Display Name в их свойствах) удобно осуществлять в панели SCHLIB List (см. Г.11);

– в свойствах УГО для дальнейших действий не нужно создавать пользовательские параметры, заполнять параметр Description и подключать посадочные места. Исключением в данной библиотеке являются параметры, которые используются для указания нестандартной функции микросхемы (см. рис. Г.89, б и примечание к п. 9.1 из 8.3);

– для разных компонентов, имеющих одинаковые номера выводов и их функциональные назначения, рекомендуется создавать одно общее УГО. Например, для микросхем GVA-62+, GVA-63+, GVA-83+ и GVA-123+, используемых при проектировании, используется одно УГО с названием GVA_ (см. рис. Г.89, а);

– для каждого компонента следует проверять совпадение номеров пинов в УГО и номеров КП в посадочном месте. Если это не так (у некоторых производителей последовательность присвоения номеров выводов для одного и того же корпуса может быть разной), то необходимо создать копию посадочного места и скорректировать в нем нумерацию.

3. Создается файл базы данных.

В рассматриваемой библиотеке такой файл подготовлен в Microsoft Access (**ИДРЭС-ADLibrary.mdb** на рис. 2.9).

Примечание. Выбор Microsoft Access вместо Microsoft Excel обусловлен следующими причинами:

– вносить изменения в базу данных можно даже в том случае, если она уже используется в Altium Designer (для базы данных в Microsoft Excel файл будет доступен только для чтения, если он не был открыт раньше, чем запущен Altium Designer);

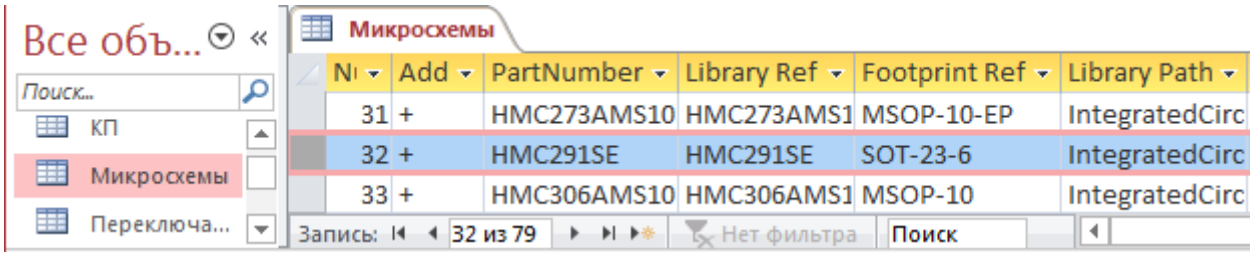
– дальнейшее создание библиотеки осуществляется без внесения дополнительных корректировок.

В базе данных есть два типа объектов: таблицы и запросы.

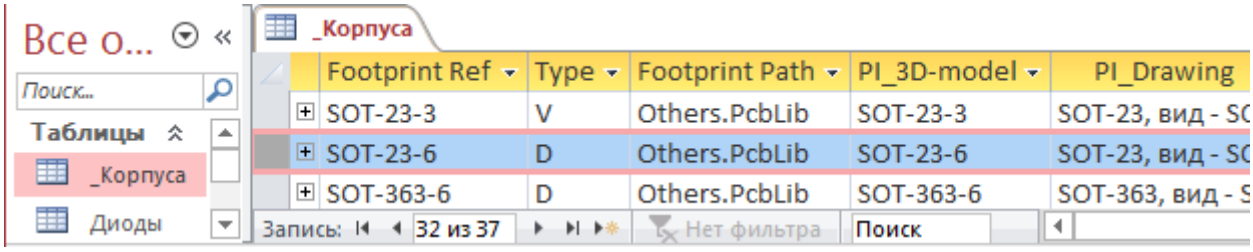
3.1. Таблицы используются для хранения информации о компонентах:

– обычные таблицы, в каждой из которых содержатся данные компонентов одного функционального назначения (диоды, конденсаторы и т. д.), при этом каждая строка представляет собой отдельный компонент (рис. Г.90, *а*);

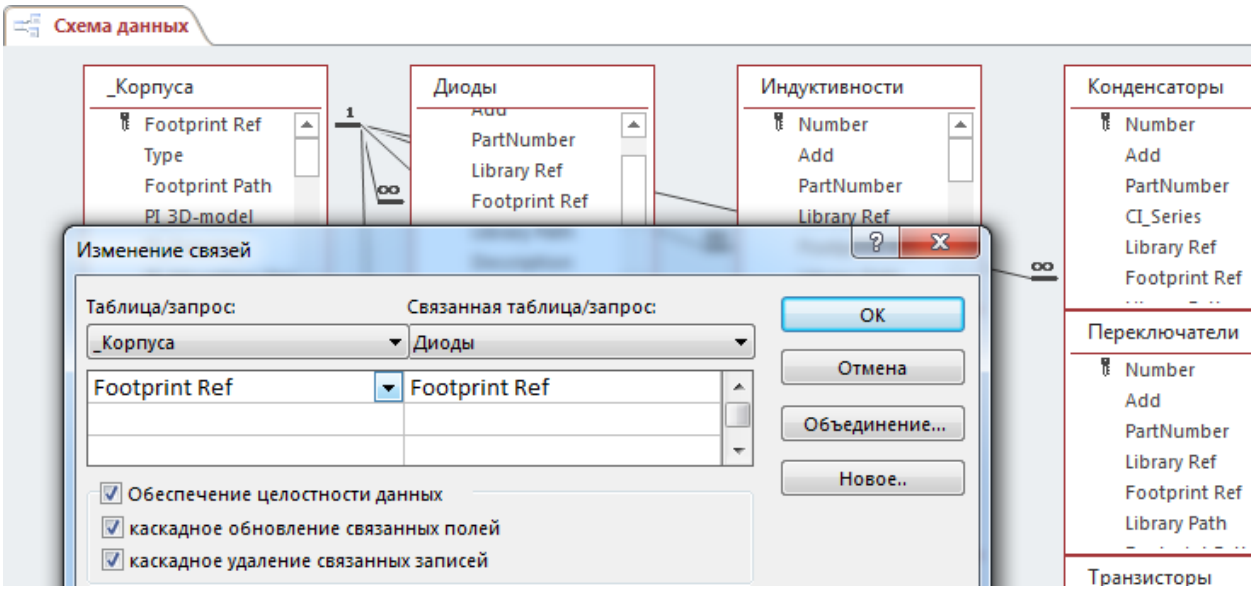
– таблица «_Корпуса» с данными о корпусах, которые могут использоваться в разных компонентах (рис. Г.90, *б*).


Все объ...
Поиск...
КП
Микросхемы
Переключа...
Микросхемы
N
Add
PartNumber
Library Ref
Footprint Ref
Library Path
31 + HMC273AMS10 HMC273AMS1 MSOP-10-EP IntegratedCirc
32 + HMC291SE HMC291SE SOT-23-6 IntegratedCirc
33 + HMC306AMS10 HMC306AMS1 MSOP-10 IntegratedCirc
Запись: 32 из 79
Нет фильтра
Поиск

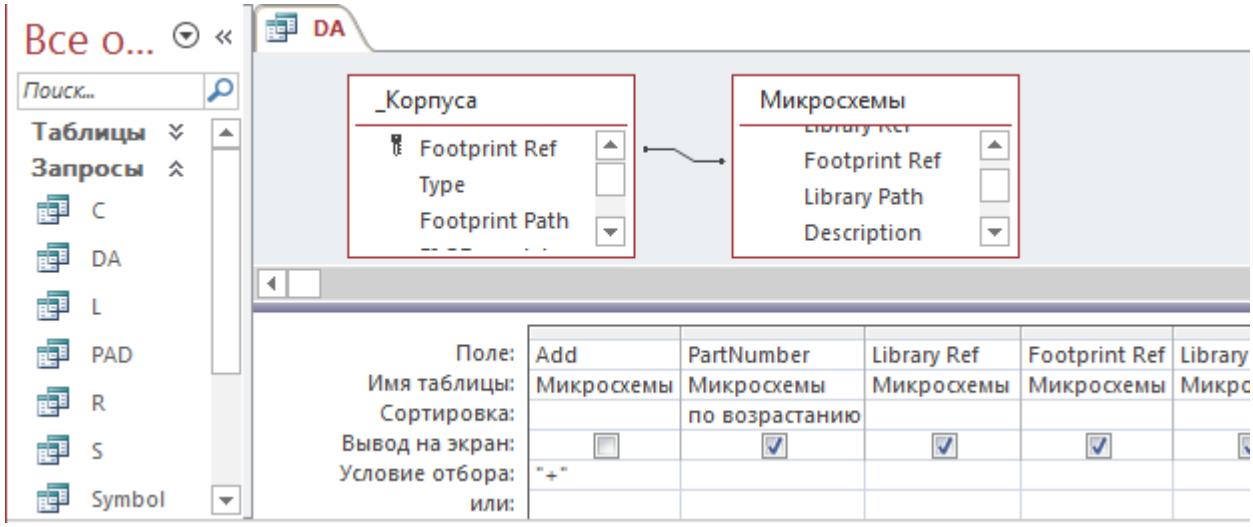
а


Все о...
Поиск...
Таблицы
_Корпуса
Диоды
_Корпуса
Footprint Ref
Type
Footprint Path
PI_3D-model
PI_Drawing
SOT-23-3 V Others.PcbLib SOT-23-3 SOT-23, вид - SC
SOT-23-6 D Others.PcbLib SOT-23-6 SOT-23, вид - SC
SOT-363-6 D Others.PcbLib SOT-363-6 SOT-363, вид - S
Запись: 32 из 37
Нет фильтра
Поиск

б


Схема данных
_Корпуса
Footprint Ref
Type
Footprint Path
PI_3D-model
Диоды
PartNumber
Library Ref
Footprint Ref
Индуктивности
Number
Add
PartNumber
Library Ref
Конденсаторы
Number
Add
PartNumber
CI_Series
Library Ref
Footprint Ref
Переключатели
Number
Add
PartNumber
Library Ref
Footprint Ref
Library Path
Транзисторы
Изменение связей
Таблица/запрос:
Связанная таблица/запрос:
_Корпуса
Диоды
Footprint Ref
Footprint Ref
OK
Отмена
Объединение...
Новое..
Обеспечение целостности данных
каскадное обновление связанных полей
каскадное удаление связанных записей

в


Все о...
Поиск...
Таблицы
Запросы
C
DA
L
PAD
R
S
Symbol
DA
_Корпуса
Footprint Ref
Type
Footprint Path
Микросхемы
Footprint Ref
Library Path
Description
Поле: Add PartNumber Library Ref Footprint Ref Library
Имя таблицы: Микросхемы Микросхемы Микросхемы Микросхемы Микро
Сортировка: по возрастанию
Вывод на экран:
Условие отбора: "+"
или:

г

Рис. Г.90

Примечания:

– информация о корпусах разъемов и переключателей содержится в соответствующих таблицах для этих компонентов;

– таблицы создаются командой Создание ⇒ Таблица;

– редактирование столбцов (добавление или удаление, изменение их порядка и др.) производится в режиме «Конструктор» (команда ПКМ ⇒ Конструктор, выполненная на названии соответствующей таблицы), в котором они называются «полями».

Столбцы (поля) таблиц условно делятся на три группы:

– столбец-идентификатор;

– столбцы с системными данными;

– столбцы с пользовательскими данными.

В столбце-идентификаторе для каждого компонента должна быть записана уникальная информация, по которой его можно отличить от любых других. Это может быть и Part Number, но в данной базе данных в таблицах с компонентами используется порядковый номер (столбец **Number**), т. к. Part Number у разных фирм может быть одинаковым, а в таблице с корпусами компонентов – столбец с системными данными **Footprint Ref**.

Минимальный набор обязательных столбцов с системными данными (то есть данными для получения полноценного компонента) следующий:

– **Library Ref** и **Footprint Ref** – названия УГО и посадочных мест в библиотеках соответственно;

– **Library Path** и **Footprint Path** – названия библиотек УГО и посадочных мест соответственно (здесь также прописываются пути к библиотекам, если они находятся не в папке или подпапках с базой данных).

Примечание. Если к компоненту подключается два и более посадочных места (например, для диода 1N4007), то для каждого следующего создается отдельная пара столбцов, начиная с Footprint Ref 2 и Footprint Path 2.

Необязательным столбцом с системными данными является столбец **Description** (служит для заполнения соответствующего параметра компонента).

Количество столбцов с пользовательскими данными может быть любым и определяется удобством пользования базой данных и конкретизацией параметров при поиске нужного компонента, например:

– PI_3D-model – название 3D-модели;

– CI_BOM – запись для последующего получения перечня элементов;

– CI_Temperature – температурный диапазон работы компонента.

Примечания:

– столбцы с системными данными могут иметь произвольные названия, но для существенного упрощения последующих действий следует использовать указанные стандартные имена;

– столбцам с данными одного назначения в разных таблицах следует давать одинаковые названия;

– порядок записи столбцов влияет только на удобство внесения данных.

Связь таблиц с компонентами и таблицы «_Корпуса» осуществляется на вкладке **Схема данных** (команда **Работа с базами данных ⇒ Схема данных**) по столбцу **Footprint Ref** (см. рис. Г.90, *в*).

Примечания:

– предварительно для столбца Footprint Ref в таблице «_Корпуса» в режиме «Конструктор» требуется включение опции «Ключевое поле»;

– связь осуществляется перетаскиванием зажатой ЛКМ столбца из таблицы «_Корпуса» на аналогичные столбцы в таблицах с компонентами и заданием опций в появляющемся окне (см. рис. Г.90, в).

3.2. Запросы на выборку используются для последующей работы с ними в Altium Designer как с библиотеками компонентов и имеют следующие преимущества перед таблицами:

– компоненты в Altium Designer будут изначально отображаться в том порядке, в котором они отсортированы в запросах, а при использовании таблиц – в порядке их добавления вне зависимости от примененных сортировок;

– в запросах можно уже на уровне базы данных отключить ненужные вспомогательные столбцы, а не выполнять эти действия в Altium Designer.

Каждому запросу присваивается то название, которое будет отображаться в названии библиотеки. В данном случае в основном использованы буквенные коды позиционных обозначений компонентов (см. рис. Г.90, *г*).

При изменении данных в таблицах информация в запросах обновляется автоматически. Исключением являются действия с переименованием, удалением и добавлением столбцов.

Примечание. Запрос на выборку создается командой Создание ⇒ Конструктор запросов. В появляющемся окне «Добавление таблицы» на вкладке «Таблицы» добавляются следующие таблицы: или таблица «_Корпуса» и требуемая таблица с компонентами, для которых корпуса указаны в первой таблице, или таблица с компонентами, для которых корпуса не указаны в таблице «_Корпуса» («Переключатели», «Разъемы» и др.).

Затем поля из добавленных таблиц перетаскиваются в нижнюю часть рабочей области экрана (можно перетаскивать сразу группу выделенных полей), кроме следующих вспомогательных:

– Number – используется для нумерации строк и позволяет отсортировать данные в порядке их добавления;

– Type – используется для сортировки корпусов по их принадлежности к функциональным группам компонентов;

– Footprint Ref из таблицы «_Корпуса» – полностью повторяет соответствующее поле в таблице с компонентами.

Следует обратить внимание на две настройки полей (см. рис. Г.90, *г*):

– для поля «Add» отключена галочка «Вывод на экран», а также задано условие отбора по знаку «+», что позволяет управлять количеством отображаемых в библиотеке Altium Designer компонентов (при большом их числе сильно увеличивается время первого открытия библиотек и наблюдаются подвисания при работе);

– для поля «PartNumber» включена сортировка «по возрастанию».

4. В Altium Designer командой **File ⇒ New ⇒ Library ⇒ Database Library** создается файл библиотеки с расширением «.DBLib», после чего он сохраняется в папку с базой данных (**ИДРЭС-ADLibrary.DbLib** на рис. 2.9).

Примечания:

– данный файл устанавливает соответствия между столбцами базы данных и параметрами компонентов в САПР;

– открытие уже существующей библиотеки в виде базы данных осуществляется командой File ⇒ Open.

5. Подключается база данных, для чего выполняется следующее:

– запускается команда **Tools ⇒ Options** и в открывшемся окне Database Library Options на вкладке **Symbol & Model Search Paths** включается опция **Search Subdirectories** для автоматического поиска библиотек УГО и посадочных мест во всех подпапках папки с базой данных;

– в рабочем поле в группе **Source of Connection** выбирается тип базы данных **Microsoft Access** и кнопкой **Browse** указывается путь к ней. Для возможности перемещения папки с библиотекой необходимо включить опцию **Store Path Relative to Database Library** (относительный путь к базе данных);

– нажимается кнопка **Connect**, в результате чего в рабочем поле слева от нее появляется список всех таблиц и запросов базы данных с галочками в столбце Enable (разрешение использования в библиотеке);

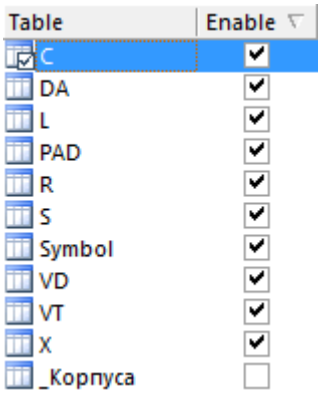


Рис. Г.91

– оставляются галочки в столбце Enable только для запросов (рис. Г.91);

– для каждого запроса, выбранного щелчком ЛКМ (рис. Г.91), в группе **Field Settings** в поле **Database field** выбирается название столбца-идентификатора;

– сохраняются изменения в библиотеке.

Примечания:

– чтобы переподключить базу данных в случае корректировок в ее столбцах, в рабочем поле следует сначала дважды щелкнуть по опции Store Path Relative to Database Library, после чего нажать кнопку Reconnect;

– на вкладке Field Mappings (рис. Г.92) можно настроить соответствия между полями базы данных (Database Field Name) и параметрами компонентов в САПР (Design Parameter) отдельно для каждого запроса с рис. Г.91. Параметры в квадратных скобках – системные;

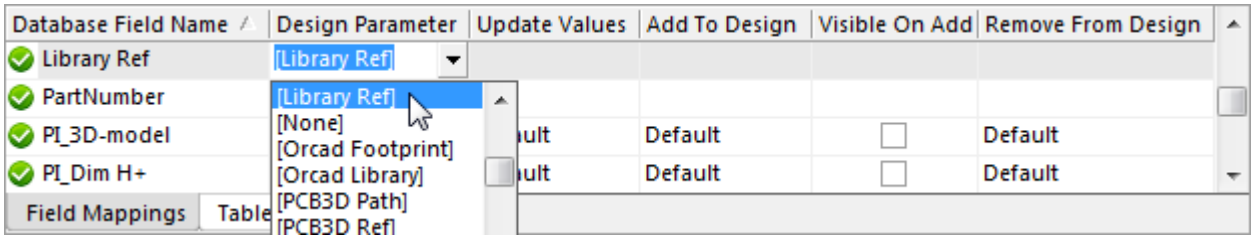


Рис. Г.92

– при необходимости отключения любого поля из базы данных в столбце Design Parameter напротив него выбирается опция [None];

– на вкладке Field Mappings также задаются настройки для пользовательских параметров: Update Values – обновление параметра, который уже есть в проекте (Update – обновлять, Do not update – не обновлять); Add To Design – добавление параметра, отсутствующего в проекте (Add – добавлять, Do not add – не добавлять, Add only if not blank in database – добавлять, если в базе данных ему присвоено какое-то значение); Visible On Add – управление видимостью параметра; Remove From Design – удаление параметра из проекта, если он отсутствует в базе данных или в ней ему не присвоено значения (Do not remove – не удалять, Remove only if blank in database – удалять, если в базе данных ему не присвоено значение).

По умолчанию все настройки имеют значения Default, т. е. определяется на вкладке Default Actions окна Database Library Options (команда Tools ⇒ Options);

– на вкладке Table Browser приводится состав базы данных для выбранного запроса с рис. Г.91. Кроме того, командами из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любом месте таблицы, можно отредактировать или удалить любой компонент, а также создать новый. Все изменения автоматически передаются в файл базы данных.

Г.35. Режим Cross Select Mode

В режиме Cross Select Mode (режим перекрестного выделения) при выделении объектов в редакторе схем осуществляется автоматическое выделение их в редакторе ПП (и наоборот).

Включение и выключение режима производится в редакторах схем и ПП командой **Tools ⇒ Cross Select Mode**.

В группе **Cross Select Mode** из подраздела **System ⇒ Navigation** окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) доступны следующие настройки режима (рис. Г.93):

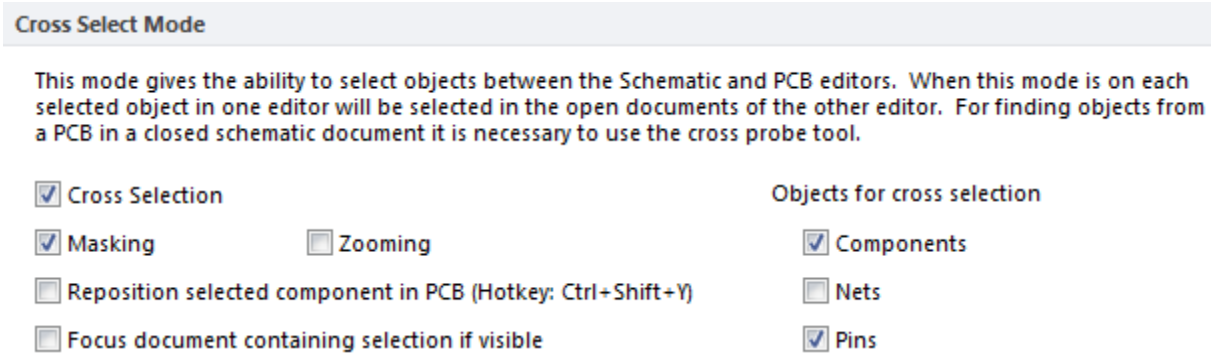


Рис. Г.93

– **Cross Selection** – включение режима;

– **Masking** – затенение невыбранных объектов в редакторе, в котором не осуществлялся текущий выбор объектов;

– **Zooming** – автомасштабирование выбранных объектов в редакторе, в котором не осуществлялся текущий выбор объектов.

Примечание. Настройка уровня масштаба задается в этом же подразделе в группе Highlight Methods (рис. Г.25) перемещением ползунка от Far (далеко) до Close (вписать объекты в рабочее поле);

– **Reposition selected component in PCB (Hotkey: Ctrl+Shift+Y)** – включение режима переразмещения посадочных мест для предварительно выбранных в схеме компонентов. В основном используется для переразмещения компонентов по отдельности и работает только при одновременно отображаемых вкладках со схемой и файлом трассировки;

– **Focus document containing selection if visible** – при одновременном отображении схемы и файла трассировки после выбора объекта в одном редакторе автоматически активируется вкладка с другим редактором;

– **Components** – режим работает с компонентами;

– **Nets** – режим работает с цепями;

– **Pins** – режим работает с пинами.

Г.36. Система привязок в редакторах ПП и посадочных мест

Под системой привязок понимается набор возможностей для размещения объектов в требуемых координатах рабочего поля. Достаточно удобный доступ к ним осуществляется из меню **Snap** в нижнем правом углу рабочего поля (рис. Г.94).

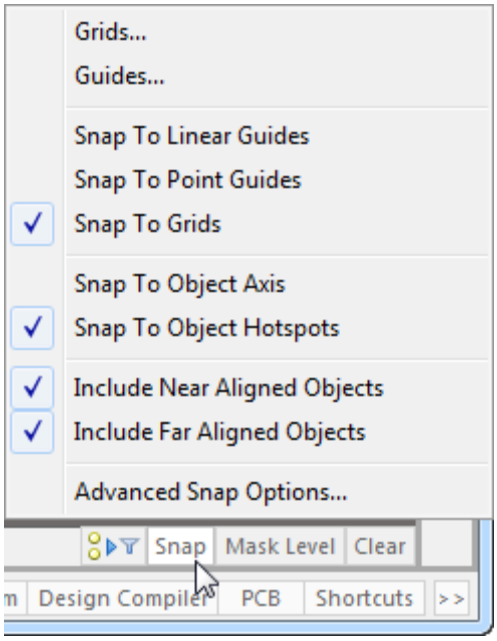


Рис. Г.94

В редакторах ПП и посадочных мест есть три категории привязок:

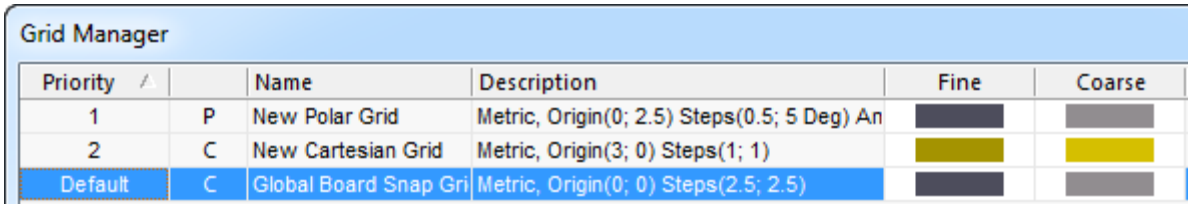
1. Сетки.

Предусмотрены следующие особенности их использования:

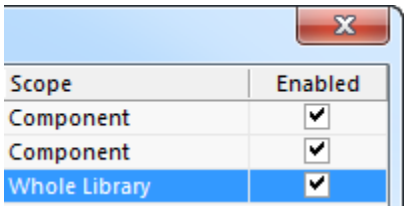
1.1. Привязка к сеткам включается командой **Snap ⇒ Snap To Grids**.

1.2. В рабочем поле одновременно может существовать несколько разных сеток.

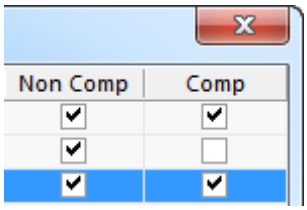
1.3. Для просмотра и управления сетками служит окно **Grid Manager** (рис. Г.95), открываемое командами **Snap ⇒ Grids** или **Tools ⇒ Grid Manager**.



а



б



в

Рис. Г.95

На рис. Г.95, *а* показаны столбцы, общие для редакторов ПП и посадочных мест:

– **Priority** – приоритет сетки. Сетка, расположенная в списке выше других, будет отображаться поверх всех остальных, и именно с ней в этой области рабочего поля будет осуществляться работа. Изменить приоритет выделенной сетки можно командами **Increment Priority** (увеличить) и **Decrement Priority** (уменьшить) из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ в любом месте таблицы из этого окна (команды также можно выполнить комбинациями клавиш **Ctrl+Up** и **Ctrl+Down** соответственно);

– столбец без названия – вид сетки (**P** – полярная, **C** – декартовая). Выбор вида осуществляется только при создании сетки командами **ПКМ ⇒ Add Polar Grid** и **ПКМ ⇒ Add Cartesian Grid**;

– **Name** – наименование сетки (можно изменить в свойствах сетки);

– **Description** – описание сетки (формируется автоматически в соответствии с настройками сетки);

– **Fine** – цвет объектов сетки (точек или линий), идущих с основным шагом сетки (настраивается в свойствах сетки);

– **Coarse** – цвет объектов сетки (точек или линий), идущих с увеличенным шагом сетки (настраивается в свойствах сетки).

На рис. Г.95, *б* показаны столбцы из окна Grid Manager для редактора посадочных мест (параметры в ячейках можно изменять):

– **Scope** – область действия сетки (**Component** – только в текущем посадочном месте, **Whole Library** – во всей библиотеке);

– **Enabled** – включение и отключение сетки.

На рис. Г.95, *в* показаны столбцы из окна Grid Manager для редактора ПП (параметры в ячейках можно изменять):

– **Non Comp** – сетка предназначена для всех объектов, кроме посадочных мест компонентов (при перемещении посадочных мест такая сетка в рабочем поле будет временно скрываться);

– **Comp** – сетка предназначена только для посадочных мест компонентов (при редактировании других объектов такая сетка в рабочем поле будет временно скрываться).

Примечания:

– опции в столбцах Non Comp и Comp работают независимо друг от друга, т. е. можно сделать сетку для всех объектов, поставив обе галочки, или временно отключить ее, сняв обе галочки;

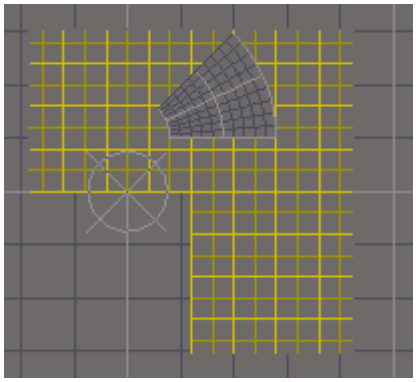


Рис. Г.96

– вид сеток в рабочем поле с рис. Г.95 показан на рис. Г.96;

– доступны различные команды как из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ, так и при нажатии на кнопку Menu в нижней части окна. Например, сетки можно удалить или сохранить в отдельный файл;

– сетка Default – декартовая сетка по умолчанию. Ее приоритет всегда самый последний, а из настроек доступно только изменение шага по осям X и Y, цвета и оформления (точки или линии).

1.4. Параметры сетки можно настроить в окне **Grid Manager** (см. рис. Г.95), дважды щелкнув по требуемой строке ЛКМ (или запустив на ней команду **ПКМ ⇒ Properties**), или в рабочем поле, подведя курсор мышки на требуемую сетку и нажав комбинацию клавиш **Ctrl+G**.

Для декартовой сетки в окне свойств (рис. Г.97) доступны следующие опции:

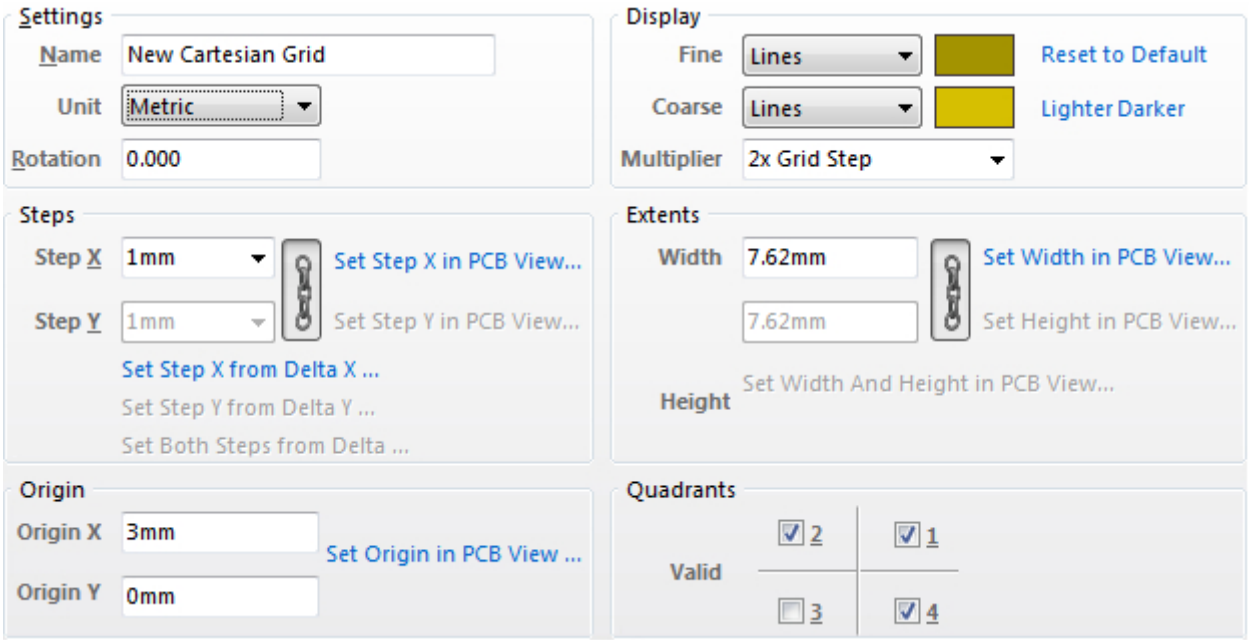


Рис. Г.97

– в группе **Settings** – наименование сетки (поле **Name**), система единиц измерения (список **Units**) и угол поворота (поле **Rotation**) относительно точки начала отсчета сетки из группы Origin;

– в группе **Steps** – шаг сетки по осям X и Y (поля **Step X** и **Step Y** соответственно), которые по умолчанию задаются одинаковыми (их можно задать

разными, если отключить пиктограмму с цепочкой). Опция **Set Step X in PCB View** и аналогичная для оси Y позволяет ввести в поле шага сетки автоматически полученное расстояние между двумя указанными в рабочем поле точками, а опция **Set Step X from Delta X** и аналогичные для оси Y и одновременно для двух осей – расстояние между двумя указанными в рабочем поле точками по соответствующим осям;

– в группе **Origin** – координаты точки начала отсчета сетки (с помощью опции **Set Origin in PCB View** точку можно указать в рабочем поле);

– в группе **Display** – цвет и вид объектов сетки (точки, линии или отсутствие отображения), идущих с основным шагом сетки (поле **Fine**) и с увеличенным шагом сетки (поле **Coarse**). В поле **Multiplier** задается множитель для сетки с увеличенным шагом;

– в группе **Extents** – размеры одного квадранта сетки. Их можно сделать разными по двум осям, отключив пиктограмму с цепочкой, и автоматически записать полученное расстояние между двумя указанными в рабочем поле точками по соответствующим осям;

– в группе **Quadrants** – квадранты относительно точки начала отсчета из группы Origin, в которых располагается сетка.

Для полярной сетки в окне свойств (рис. Г.98) доступны следующие опции, которые не были описаны для декартовой сетки:

– в группе **Steps** – шаг по углу (в градусах в поле **Angular Step**) и по радиусу (поле **Radial Step**);

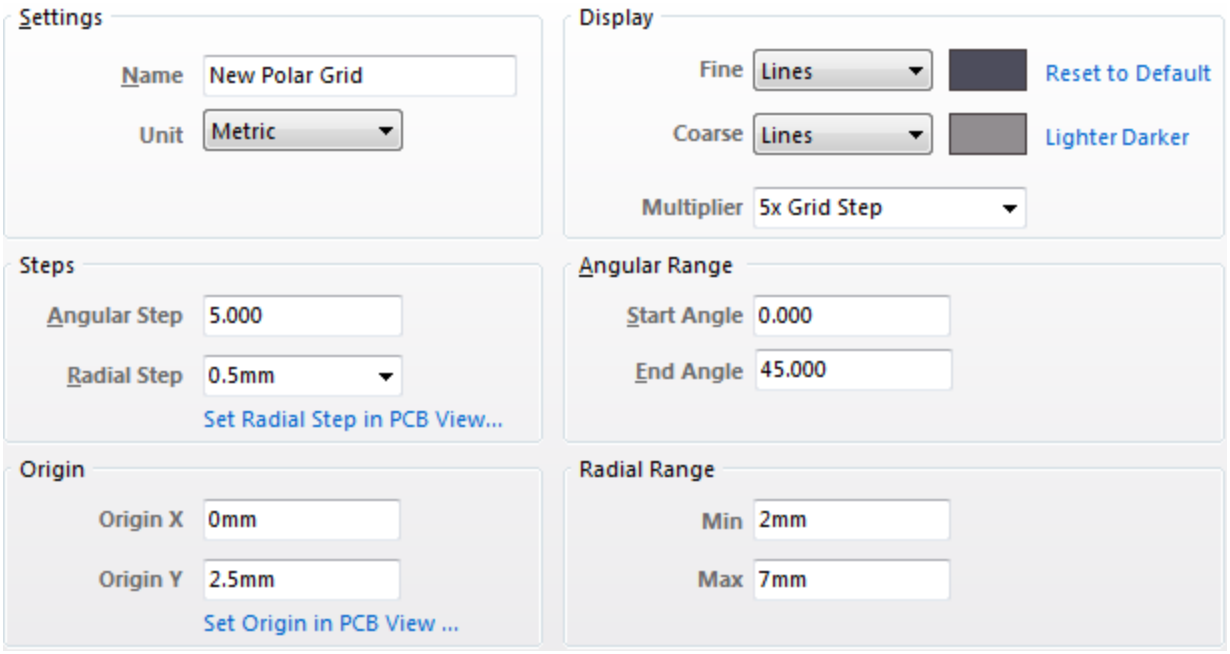


Рис. Г.98

– в группе **Angular Range** – диапазон изменения угла;

– в группе **Radial Range** – диапазон изменения радиуса.

1.5. Шаг сетки **Default** кроме окна свойств можно быстро изменить из рабочего поля, нажав клавишу **G** и выбрав в появившемся меню нужное значение (рис. Г.99). Также можно задать разные шаги по осям и списков **Snap Grid X** и **Snap Grid Y**.

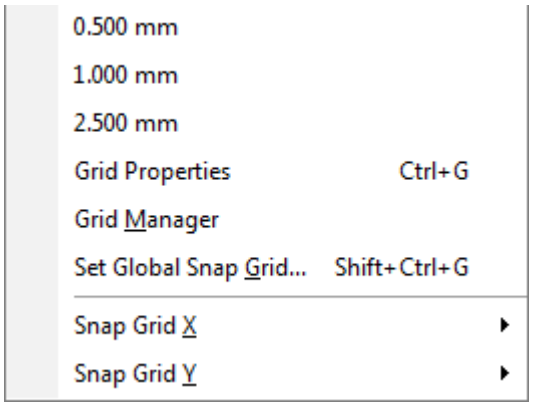


Рис. Г.99

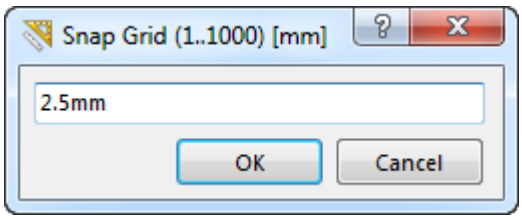


Рис. Г.100

Произвольное значение шага сетки задается следующими способами:

– если значение не будет часто использоваться, то следует выбрать команду **Set Global Snap Grid** и ввести его в появившемся окне (рис. Г.100).

Примечание. Окно Snap Grid также можно вызвать из рабочего поля комбинацией клавиш Shift+Ctrl+G или последовательным нажатием клавиш G ⇒ G;

– если значение планируется использовать часто, то имеет смысл добавить его в список с рис. Г.99. Для этого с зажатой клавишей **Ctrl** осуществляется щелчок по любому ненужному значению, после чего оно корректируется в поле **Parameters** появившегося окна **Edit Command** с указанием в поле **Caption** названия для отображения в списке. Кроме того, в названии можно воспользоваться символом «**&**» (см. Г.4).

2. Характерные точки объектов.

Настройка привязок к характерным точкам объектов осуществляется в окне Board Options (команды **Snap ⇒ Advanced Snap Options** или **Design ⇒ Board Options**), фрагмент которого показан на рис. Г.101.

В группе **Snap Options** доступны следующие общие опции привязок:

– **Snap To Object Hotspots** – привязка к характерным точкам объектов, расположенных только на текущем слое;

– **Range** – радиус окружности вокруг характерной точки, при попадании внутрь которой курсор мышки будет привязываться к ней;

– **Snap On All Layers** – привязка к характерным точкам объектов, расположенных на всех слоях;

– **Snap To Board Outline** – привязка к границам ПП;

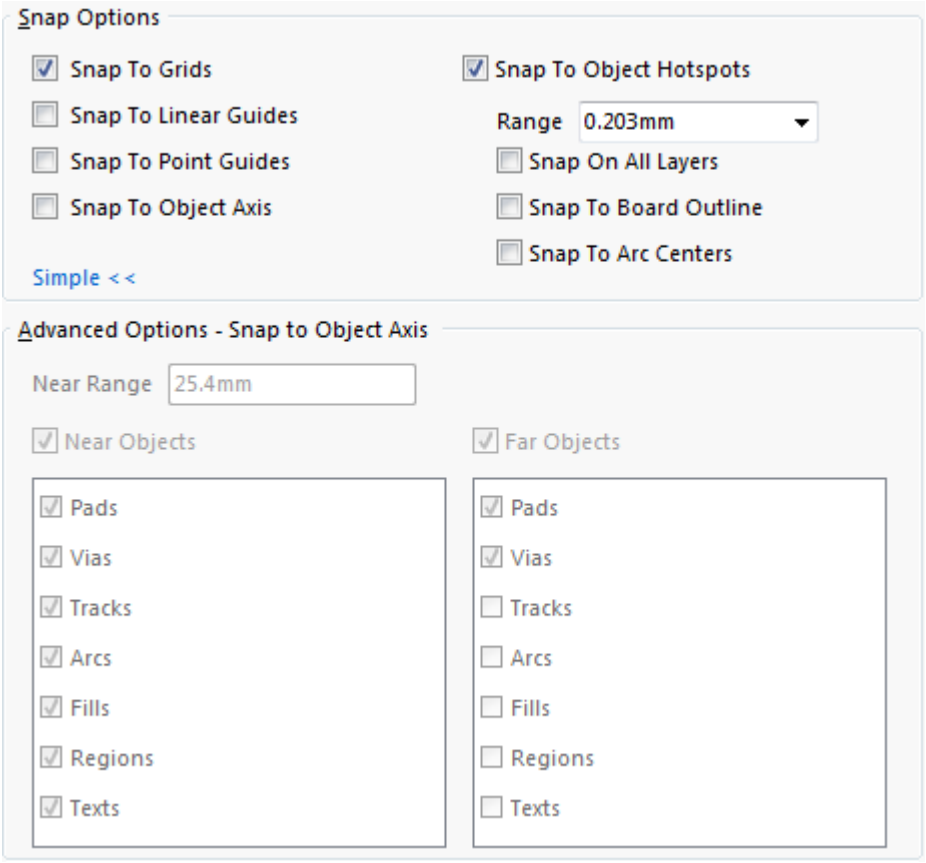


Рис. Г.101

– **Snap To Arc Centers** – привязка к центрам дуг и окружностей;

– **Snap To Object Axis** – привязка к осям объектов (к их центральным точкам).

Примечания:

– в группе Snap Options также доступны опции по управлению привязкой к сеткам из п. 1 (Snap To Grids) и привязками к направляющим из п. 3 (Snap To Linear Guides и Snap To Point Guides);

– циклическое переключение между отключением привязок к характерным точкам, включением таких привязок на текущем слое и включением на всех слоях в рабочем поле осуществляется комбинацией клавиш Shift+E.

В группе **Advanced Options - Snap to Object Axis** при включении опции **Snap To Object Axis** доступны следующие дополнительные опции:

– **Near Range** – радиус окружности от курсора мышки до осей объектов (до их центральных точек), по которым будет осуществляться выравнивание с появлением выравнивающих линий (рис. Г.102);

– **Near Objects** – включение выравнивания по осям (по их центральным точкам) отмеченных под этой опцией объектов, которые расположены в пределах значения из поля Near Range (близкие объекты);

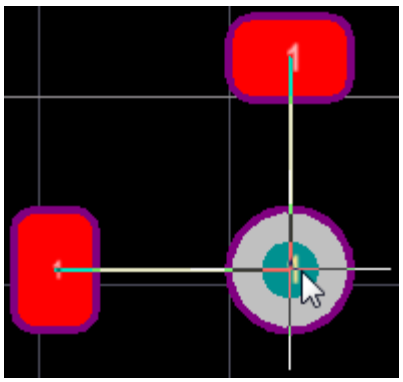


Рис. Г.102

– **Far Objects** – включение выравнивания по осям (по их центральным точкам) отмеченных под этой опцией объектов, которые расположены за пределами значения из поля Near Range (дальние объекты).

Примечание. Опции по привязке к характерным точкам объектов с текущего слоя и по привязке к осям дальних и ближних объектов доступны также в меню Snap (см. рис. Г.94).

3. Направляющие (вспомогательные линии и точки).

Предусмотрены следующие особенности их использования:

3.1. Для добавления направляющих мышкой в рабочем поле используются команды из меню **Place ⇒ Work Guides** (рис. Г.103):

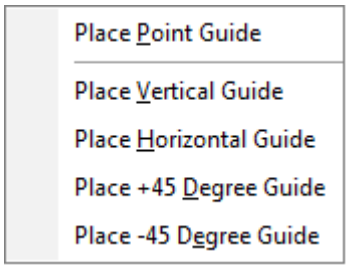


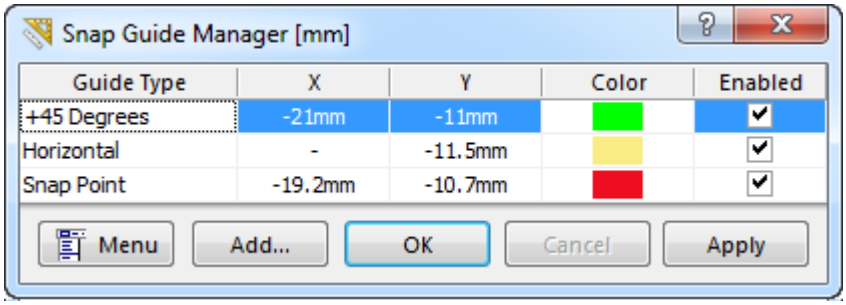
Рис. Г.103

– **Place Point Guide** – вспомогательная точка;

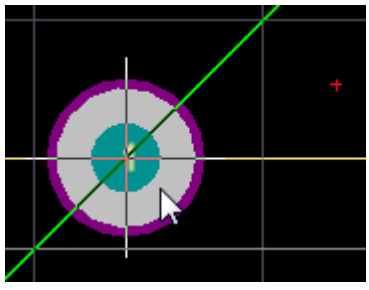
– **Place Vertical Guide** и **Place Horizontal Guide** – вспомогательная вертикальная и горизонтальная прямая соответственно;

– **Place +45 Degree Guide** и **Place –45 Degree Guide** – вспомогательная прямая с углом наклона к оси X плюс 45° и минус 45° соответственно.

3.2. Для просмотра и управления направляющими служит окно **Snap Guide Manager** (рис. Г.104, *а*), открываемое командами **Snap ⇒ Guides** или **Tools ⇒ Guide Manager**, со следующими элементами:



а



б

Рис. Г.104

– столбец **Guide Type** – тип направляющей;

– столбцы **X** и **Y** – координаты расположения вспомогательной точки или точки рабочего поля, через которую проходит вспомогательная прямая (для горизонтальной и вертикальной вспомогательных прямых указывается только одна координата);

– столбец **Color** – цвет направляющей;

– столбец **Enabled** – включение или отключение направляющей;

– кнопка **Add** – добавление направляющих;

– контекстное меню, вызываемое щелчком ПКМ в любом месте данного окна, или кнопка **Menu** – дополнительные команды. Например, направляющие можно удалить или сохранить в файл.

3.3. Привязки к направляющим включаются командами **Snap ⇒ Snap To Linear Guides** (для вспомогательных линий) и **Snap ⇒ Snap To Point Guides** (для вспомогательных точек), а также соответствующими опциями в окне **Board Options** (см. п. 2).

Примечания:

– чем больше текущий шаг сетки, тем больше размеры области, в которой начинает срабатывает привязка к направляющим (даже если привязка к сеткам отключена);

– если из всех привязок включены только привязки к направляющим, то курсор мышки будет привязываться к местам пересечений вспомогательных линий (см. рис. Г.104, б) или к вспомогательным точкам. При включении привязки к сеткам появится дополнительное привязывание к местам пересечения вспомогательных линий с линиями сетки. При включении привязки к осям объектов появится дополнительное привязывание к местам пересечения выравнивающих линий (и объектов) со вспомогательными линиями.

Г.37. Информационное поле

Информационное поле по умолчанию отображается в левом верхнем углу рабочего поля в редакторах ПП и посадочных мест (см. рис. 5.7).

В подразделе **PCB Editor ⇒ Board Insight Modes** окна **Preferences** (команда **DXP ⇒ Preferences**) содержатся следующие его настройки:

1. В группе **Display** (рис. Г.105):

– **Display Heads Up Information** – отображение информационного поля.

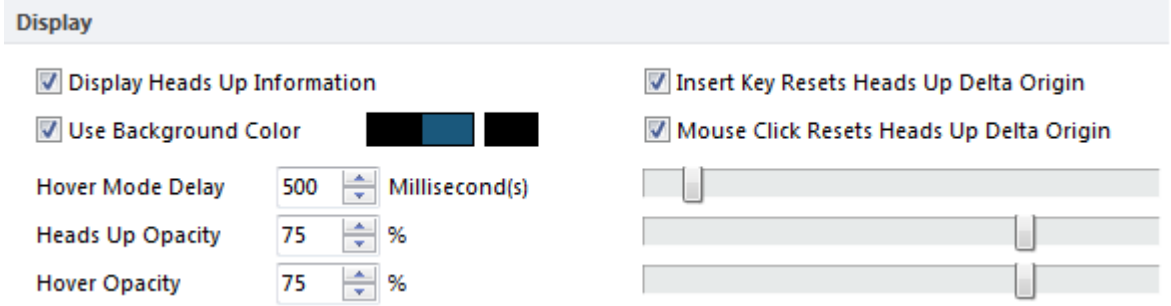


Рис. Г.105

Примечание. В рабочем поле данная опция управляется комбинацией клавиш Ctrl+H;

– **Use Background Color** – отображение фона прямоугольной формы за надписями информационного поля, настройки цветов которого задаются с помощью соответствующих пиктограмм;

– **Insert Key Resets Heads Up Delta Origin** – клавиша **Insert** сбрасывает в ноль параметр Last Click Delta (см. п. 2);

– **Mouse Click Resets Heads Up Delta Origin** – щелчок ЛКМ сбрасывает в ноль параметр Last Click Delta (см. п. 2);

– **Hover Mode Delay** – задержка до появления данных в информационном поле в режиме его работы при остановке курсора на объекте;

– **Heads Up Opacity** и **Hover Opacity** – прозрачность информационного поля в режиме его работы при перемещении курсора мышки и при его остановке на объекте соответственно.

2. В группе **Insight Modes** представлена таблица, в которой определяется содержание информационного поля и внешний вид данных (рис. Г.106).

Insight Modes

	Visible Display Modes				Font			
Description	Heads Up	Hover	Popup	Panel	Font	Size	Style	Color
Cursor Location	☑	☑			Arial	10	Bold	
Last Click Delta	☑	☑			Arial	10	Bold	
Current Layer	☑	☑			Arial	12	Bold	
Snap Grid	☑	☑			Arial	8	Bold	
Summary		☐			Arial	8	Bold	
Heads Up Shortcuts		☐			Arial	8	Bold	
Violation Details		☑	☐	☐	Arial	8	Bold	
Net Details		☑	☐	☐	Arial	8	Bold	
Component Details		☑	☐	☐	Arial	8	Bold	
Primitive Details		☐			Arial	8	Bold	

Рис. Г.106

Столбец **Description** содержит доступные для отображения параметры:

– **Cursor Location** – текущие координаты курсора мышки (x и y);

– **Last Click Delta** – смещение курсора мышки от места обнуления его координат (dx и dy).

Примечание. В рабочем поле включить и отключить данный параметр можно комбинацией клавиш Shift+D;

– **Current Layer** – текущий слой.

Примечание. В режиме просмотра только одного слоя (комбинация клавиш Shift+S) справа от его названия в скобках будет указано Single;

– **Snap Grid** – текущий шаг сетки;

– **Summary** – количество компонентов и цепей под курсором мышки;

– **Heads Up Shortcuts** – сочетания клавиш;

– **Violation Details** – информация об обнаруженных нарушениях правил проектирования под курсором мышки;

– **Net Details** – информация о цепи под курсором мышки;

– **Component Details** – информация о компоненте под курсором мышки;

– **Primitive Details** – информация о примитиве под курсором мышки.

В столбцах **Heads Up** и **Hover** отмечаются параметры, которые будут отображаться в режиме работы информационного поля при перемещении курсора мышки и при его остановке на объекте соответственно.

В столбце **Popup** отмечаются параметры, которые по умолчанию будут отображаться во всплывающих окнах **Board Insight** с информацией по объектам и обнаруженным нарушениям правил проектирования, находящимся под курсором.

Примечание. Указанные окна запускаются из рабочего поля комбинациями клавиш Shift+X и Shift+V соответственно.

В столбце **Panel** указываются параметры, которые по умолчанию будут отображаться в панели **Board Insight**.

Примечание. Данная панель запускается из группы PCB в дополнительном меню и содержит всю информацию из всплывающих окон Board Insight.

В группе столбцов **Font** задаются параметры шрифта для каждого параметра (шрифт, размер, стиль и цвет).

3. В нижней части подраздела приведены динамически изменяющиеся в соответствии с заданными настройками виды информационного поля в режимах **Heads Up Preview** и **Hover Preview** на фоне рабочего поля, заполненного цветными кругами (рис. Г.107).

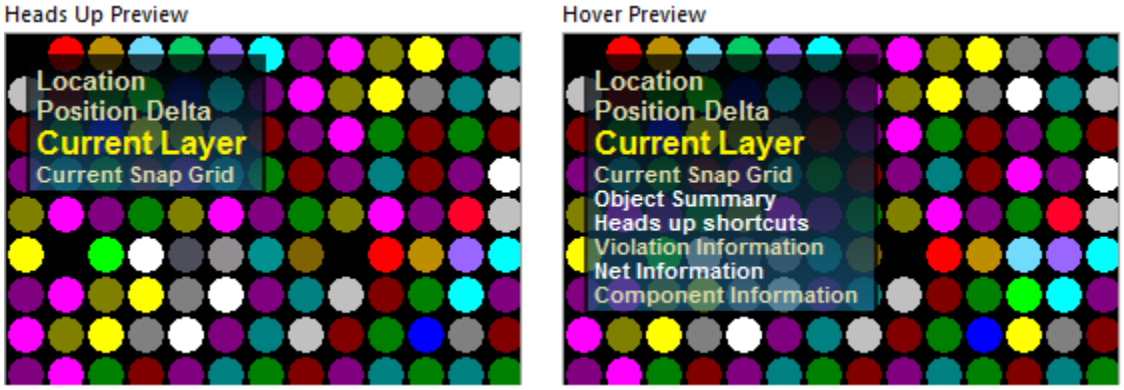


Рис. Г.107

Кроме настроек из подраздела PCB Editor ⇒ Board Insight Modes также доступны следующие возможности управления информационным полем из группы команд **View ⇒ Board Insight** (рис. Г.108):

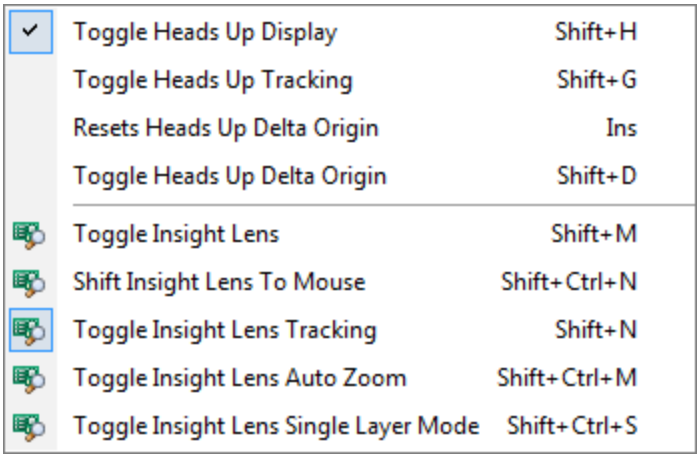


Рис. Г.108

– **Toggle Heads Up Display** – отображение информационного поля;

– **Toggle Heads Up Tracking** – режим перемещения информационного поля за курсором мышки;

– **Resets Heads Up Delta Origin** и **Toggle Heads Up Delta Origin** – соответственно обнуление и отображение параметра Last Click Delta (см. п. 2).

Примечания:

– список команд с рис. Г.108 также можно открыть клавишей F2;

– в нижней части рис. Г.108 приведены команды для работы с лупой – прямоугольной областью с увеличенным изображением рабочего поля. Ее включение и отключение производится командой Toggle Insight Lens, а изменение масштаба изображения в этой области – поворотом колесика мышки с зажатой клавишей Alt. Дополнительные настройки при работе с ней доступны в подразделе PCB Editor ⇒ Board Insight Lens окна Preferences.

Г.38. Слои

Слой (layer) в Altium Designer – составная часть общего изображения, совпадающая с ним по размеру и содержащая информацию только определенного функционального назначения (см. рис. 5.15 и 5.16).

Просмотр существующих слоев и управление их отображением осуществляется в окне **View Configurations** (клавиша **L**).

Примечание. В редакторе посадочных мест данное окно также можно открыть командой Tools ⇒ Layers & Colors, а в редакторе ПП – командой Design ⇒ Board Layers & Colors.

Особенности работы со слоями в Altium Designer:

1. Все слои разделены на шесть групп и представлены на вкладке **Board Layers And Colors** окна View Configurations (вид пяти групп показан на рис. 5.11, *а* и 12.3, *б*).

Назначение слоев приведено в табл. Г.14.

Таблица Г.14

Слои в Altium Designer

Группа	Назначение
Signal Layers	Сигнальные слои. В этих слоях располагается информация о трассах, КП, переходных отверстиях и других элементах проводящего рисунка ПП (см. Б.1). Все, что на них изображено, в итоге останется на ПП в виде металлизации (например, трассы и переходные отверстия на рис. Б.1 и Б.2). По умолчанию в этой группе присутствует два слоя: – **Top** – проводящий рисунок на верхней стороне ПП; – **Bottom** – проводящий рисунок на нижней стороне ПП. Кроме того, также доступно еще 30 сигнальных слоев, которые используются как внутренние слои в МПП (их можно увидеть, отключив опцию **Only show layers in layer stack**). Переименовать, добавить и удалить данные слои можно только в окне Layer Stack Manager (команда **Design ⇒ Layer Stack Manager** в редакторе ПП и **Tools ⇒ Layer Stack Manager** в редакторе посадочных мест). Возможности по работе со стеком ПП описаны в п. 5 из 12.1
Internal Planes	Специальные слои для расположения сплошной металлизации. В основном они используются в качестве внутренних слоев в МПП для цепей питания и земли. Информация в этих слоях отображается инверсно, т. е. любой размещенный объект означает отсутствие металлизации. Доступно 32 слоя (их можно увидеть, отключив опцию **Only show planes in layer stack**). Переименовать, добавить и удалить данные слои можно только при определении структуры ПП в окне Layer Stack Manager (см. группу Signal Layers)
Mask Layers	Группа из четырех слоев двух видов: 1. Слои паяльной пасты. Используются для изготовления трафарета для последующего нанесения паяльной пасты: – **Top Paste** – на верхней стороне ПП; – **Bottom Paste** – на нижней стороне ПП. 2. Слои защитной паяльной маски. Здесь размещаются области, которые будут открыты от защитной паяльной маски (вырезы в маске на рис. Б.15, *в*): – **Top Solder** – на верхней стороне ПП; – **Bottom Solder** – на нижней стороне ПП. Переименовать слои этой группы можно только при определении структуры ПП в окне Layer Stack Manager (см. группу Signal Layers)

Окончание таблицы Г.14

Группа	Назначение
Silkscreen Layers	Слои шелкографии (silk-screen – шелкография, трафаретная печать). Информация из них наносится краской поверх защитной паяльной маски (см. рис. 12.141 и Б.16, *в*) и используется в основном для правильной установки компонентов при монтаже и поиска их на ПП. В группе только два слоя: – **Top Overlay** – шелкография на верхней стороне ПП; – **Bottom Overlay** – шелкография на нижней стороне ПП. Переименовать данные слои можно только при определении структуры ПП в окне Layer Stack Manager (см. группу Signal Layers)
Other Layers	Группа из четырех дополнительных слоев: – **Drill Guide** – автоматическое отображение центров отверстий; – **Keep-Out Layer** – области запрета расположения различных элементов проводящего рисунка ПП на всех слоях (см. п. 2.6 из Г.26); – **Drill Drawing** – автоматическое отображение условных обозначений отверстий и таблицы отверстий (см. п. 20 из 12.5); – **Multi-Layer** – автоматическое расположение элементов, относящихся к нескольким слоям (переходные отверстия и КП с отверстиями).
Mechanical	Механические слои. Предназначены для размещения любой вспомогательной информации, которую пользователь определяет самостоятельно. В данном учебном пособии назначение использованных слоев приведено в табл. Г.15. Доступно 32 слоя (их можно увидеть, отключив опцию **Only show enabled mechanical Layers**). Для переименования слоя используется клавиша **F2**. Для каждого слоя доступны уникальные опции: – **Enable** – добавление или удаление слоя (если на ПП в слое есть примитивы из состава компонента, то он не может быть удален); – **Single** – включение отображения данного слоя даже при работе в режиме Single Layer Mode (см. п. 9); – **Linked To** – связь с листом проекта ПП (например, с рамкой). Такие слои скрываются при отключении опции **Display Sheet** в окне Board Options (команда **Design ⇒ Board Options** в редакторе ПП и команда **Tools ⇒ Library Options** в редакторе посадочных мест). Пары слоев задаются в редакторе ПП по п. 6 из 12.1

Таблица Г.15

Механические слои, используемые в учебном пособии

Слой	Измененное имя	Назначение
Mechanical 1	M1 Board	Графика контура ПП для отправки в производство
Mechanical 2	M2 Inner Line	Контуры прорезей внутри ПП
Mechanical 3	M3 Top Assy	Контуры корпусов компонентов, расположенных на верхней стороне ПП (assy – сборка)
Mechanical 4	M4 Bottom Assy	Контуры корпусов компонентов, расположенных на нижней стороне ПП

Окончание таблицы Г.15

Слой	Измененное имя	Назначение
Mechanical 5	M5 Top 3D	3D-модели корпусов компонентов, расположенных на верхней стороне ПП
Mechanical 6	M6 Bottom 3D	3D-модели корпусов компонентов, расположенных на нижней стороне ПП
Mechanical 7	M7 Shield	Контур «экрана»

Каждому слою можно назначить цвет, щелкнув по соответствующей цветной ячейке рядом с ним, а также включить или отключить его отображение в рабочем поле (опция **Show**).

Группа **System Colors** предназначена для корректировки цвета различных системных объектов и управления их отображением.

Примечание. Цвета слоев и системных объектов также можно изменить в окне Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) в разделе PCB Editor ⇒ Layer Colors (см. табл. Г.4).

2. На вкладке **Transparency** окна View Configurations осуществляется управление прозрачностью (ее можно изменить как для каждого типа объектов, так и для всех типов объектов сразу как на отдельном слое, так и на всех слоях сразу). Фрагмент вкладки показан на рис. Г.109.

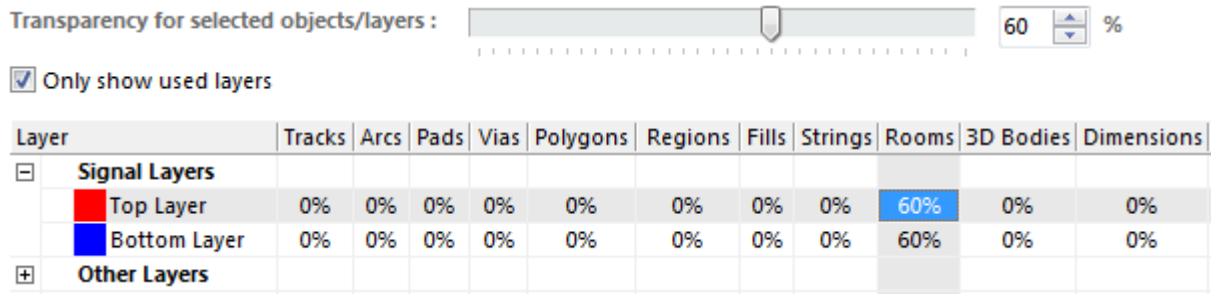


Рис. Г.109

3. На вкладке **View Options** окна View Configurations в группе **Solder Masks** опциями **Show Top Positive** и **Show Bottom Positive** можно изменить отображение слоев защитной паяльной маски в 2D-режиме просмотра с инверсного на обычное и задать уровень их общей прозрачности (**Opacity**) для верхней и нижней стороны ПП соответственно (рис. Г.110).



Рис. Г.110

4. Выбор текущего слоя осуществляется щелчком ЛКМ по соответствующей вкладке с названием слоя внизу рабочего поля (см. рис. 5.7).

Смена текущего слоя также возможна следующими способами:

– для циклического переключения только между сигнальными слоями используется клавиша «*» на цифровой клавиатуре (**Numpad**). Для переключения в обратном направлении используется комбинация клавиш **Shift+***;

– для циклического переключения между всеми доступными в данный момент слоями используются клавиши **Plus** и **Minus** на цифровой клавиатуре или поворот колесика мышки при зажатых клавишах **Ctrl** и **Shift**.

Примечание. Текущий слой – слой, с которым в данный момент осуществляется работа.

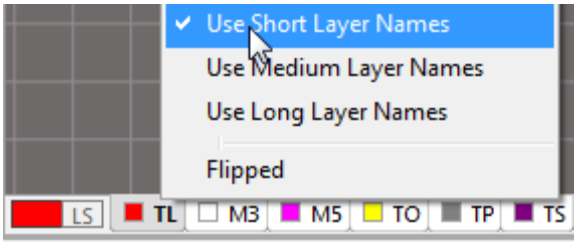


Рис. Г.111

5. Для вкладок со слоями в нижней части рабочего поля из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ по ним, можно выбрать один из трех способов отображения имен (рис. Г.111): **Use Short Layer Names** – короткие имена (из двух символов), **Use Medium Layer Names** – средние имена, **Use Long Layer Names** – длинные (полные) имена.

6. Порядок отрисовки графики со слоев в рабочем поле настраивается в окне **Layer Drawing Order** (рис. Г.112), которое открывается одноименной кнопкой из раздела **PCB Editor ⇒ Display** окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences). Например, по умолчанию информация со слоя **Multi Layer** располагается поверх данных со всех остальных слоев, в том числе и текущего в данный момент слоя (**Current Layer**).

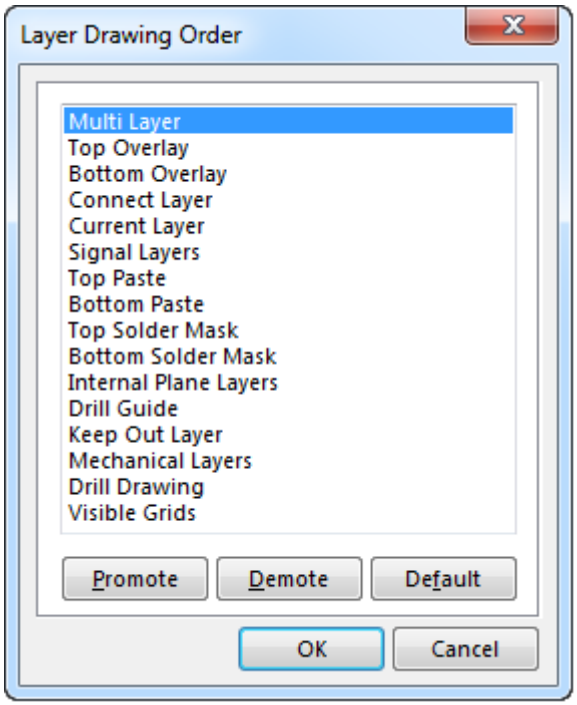


Рис. Г.112

Кнопки **Promote** и **Demote** позволяют изменить положение выбранного слоя, а кнопка **Default** – установить порядок по умолчанию.

Примечание. Настройки не влияют на режим Single Layer Mode (см. п. 9).

7. Чтобы различные объекты и посадочные места компонентов правильно

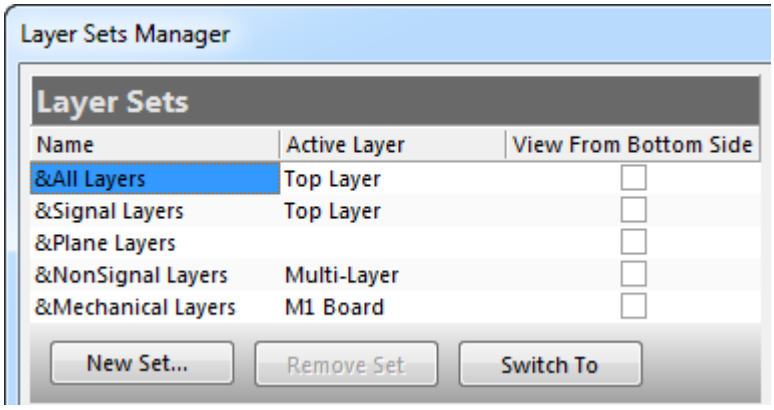
переносились с верхней стороны ПП на нижнюю (и наоборот), устанавливаются парные слои (см. 5.2.2 и п. 6 из 12.1).

8. При работе в редакторах ПП и посадочных мест зачастую требуется наличие в рабочем поле информации только из некоторых слоев.

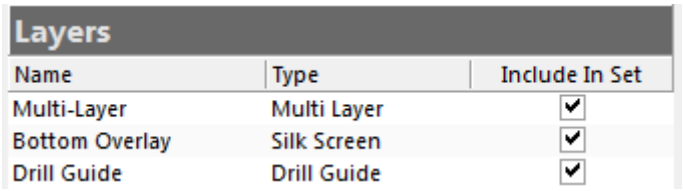
Управлять видимостью слоев можно вручную на вкладке **Board Layers And Colors** окна View Configurations, однако удобнее это делать с помощью наборов слоев, работа с которыми осуществляется в окне **Layer Sets Manager** (команда **Manage Layer Sets ⇒ Board Layer Sets** из меню **Design** в редакторе ПП и из меню **Tools** в редакторе посадочных мест):

– в группе **Layer Sets** (рис. Г.113, *а*) приводится список всех доступных наборов слоев с указанием имени набора (столбец **Name**), текущего слоя в наборе (столбец **Active Layer**) и возможности просмотра набора с нижней стороны ПП (столбец **View From Bottom Side**).

Примечание. Столбец View From Bottom Side по своему действию аналогичен команде View ⇒ Flip Board;



а



б

Рис. Г.113

– кнопка **New Set** – добавление набора;

– кнопка **Remove Set** – удаление выбранного набора;

– кнопка **Switch To** – переключение в выбранный набор;

– наборы слоев с рис. Г.113, *а* присутствуют по умолчанию (их описание приведено в табл. Г.16). Они не могут быть удалены, но могут быть скрыты опцией **Show / Hide Default Layer Sets**;

Таблица Г.16

Наборы слоев по умолчанию

Набор слоев	Слои в наборе
&All Layers	Все слои проекта
&Signal Layers	Multi-Layer и группа Signal Layers
&Plane Layers	Группа Internal Plane
&NonSignal Layers	Все слои, кроме групп Signal Layers, Internal Plane и Mechanical
&Mechanical Layers	Группа Mechanical

– каждому набору слоев, кроме присутствующих по умолчанию, можно изменить имя, предварительно нажав в требуемой ячейке клавишу **F2**;

– назначение символа «**&**» приведено в Г.4 (букву набора для его выбора можно нажать после последовательного нажатия клавиш **D ⇒ T**);

– для изменения текущего слоя на любой из содержащихся в этом наборе необходимо нажать клавишу **F2** в соответствующей ячейке;

– в группе **Layers** (рис. Г.113, *б*) приводится список со всеми слоями проекта с указанием их имен (столбец **Name**), типа (столбец **Type**) и информации о вхождении в выбранный набор слоев (столбец **Include In Set**);

– кнопки **Export Layer Sets To File** и **Import Layer Sets From File** позволяют экспортировать и импортировать информацию о наборах слоев соответственно.

Описание наборов слоев, загружаемых по профилю в п. 8 из 12.1 и используемых в учебном пособии, приведено в табл. Г.17.

Таблица Г.17

Наборы слоев, используемые в учебном пособии

Набор слоев	Текущий слой	Слои в наборе
All	Top Layer	Все слое проекта, кроме Bottom Overlay
Shield	M7 Shield	Top Layer, M3 Top Assy, M7 Shield
Bottom	Bottom Layer	Bottom Layer
TopSolder	Top Solder	Top Solder
TopOverlay	Top Overlay	Top Layer, Top Solder, Top Overlay

Выбор требуемого в данный момент набора слоев осуществляется из списка **Design ⇒ Manage Layer Sets**, однако зачастую это удобнее делать с помощью пиктограммы **LS** внизу рабочего поля (см. рис. 5.7).

9. Комбинацией клавиш **Shift+S** можно войти в режим работы только с текущим в данный момент слоем (Single Layer Mode). Предусмотрено три варианта отображения информации из других слоев, которые задаются в груп-

пе **Available Single Layer Modes** (рис. Г.114) из раздела **PCB Editor ⇒ Board Insight Display** окна **Preferences** (команда DXP ⇒ Preferences):

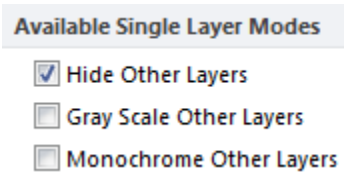


Рис. Г.114

– **Hide Other Layers** – информация из других слоев оказывается скрыта;

– **Gray Scale Other Layers** – информация из других слоев отображается в оттенках серого цвета, которые зависят от их исходных цветов;

– **Monochrome Other Layers** – информация из других слоев отображается одинаковым серым цветом.

Примечания:

– выбрать любой из описанных вариантов режима Single Layer Mode (или отключить его) также можно в группе Single Layer Mode на вкладке View Options окна View Configurations (рис. Г.115);

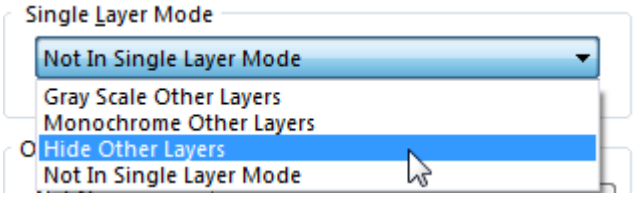


Рис. Г.115

– если на рис. Г.114 включить несколько опций, то при нажатии комбинации клавиш Shift+S они будут циклически переключаться (на рис. Г.116 показаны виды посадочного места при текущем слое Top Layer);

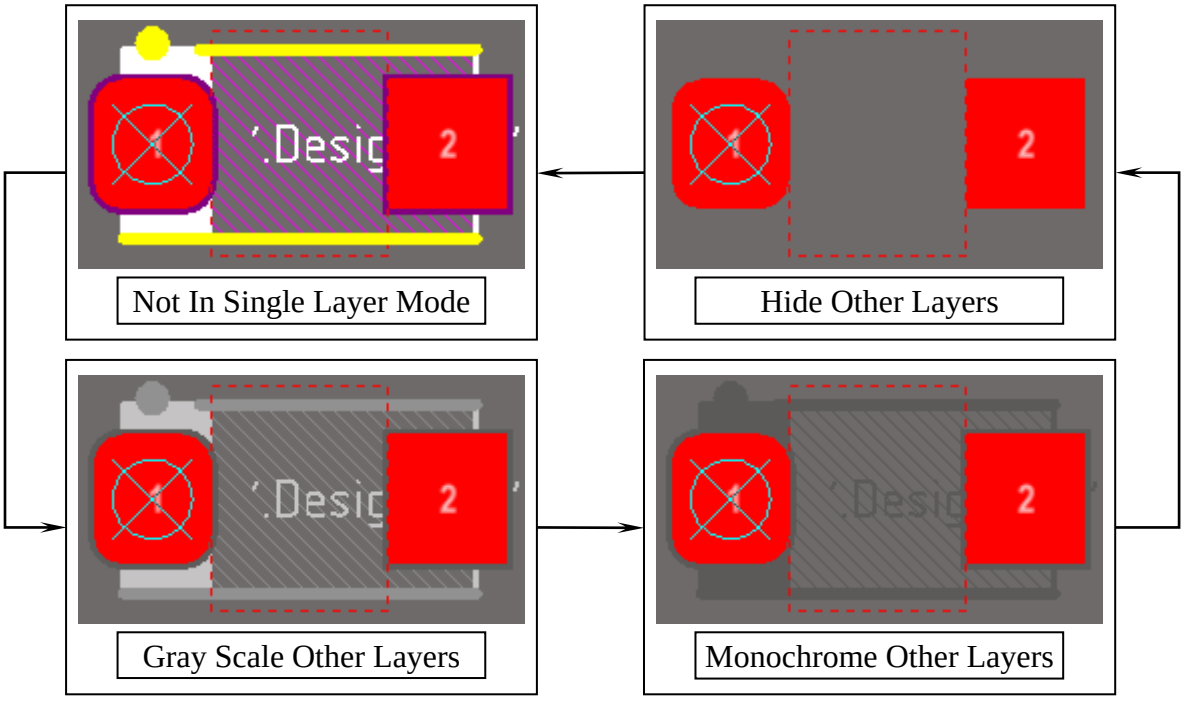


Рис. Г.116

– в режиме Single Layer Mode также будут отображаться механические слои, в свойствах которых включена опция Single (см. табл. Г.14).

10. Все команды по управлению слоями доступны из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ по вкладкам со слоями внизу рабочего поля.

Г.39. Контур ПП

Контур ПП можно создать одним из следующих способов:

1. С использованием специально предназначенного для этого режима работы с формой ПП, в который можно перейти с помощью клавиши **1** или команды **View ⇒ Board Planning Mode**.

Особенности способа:

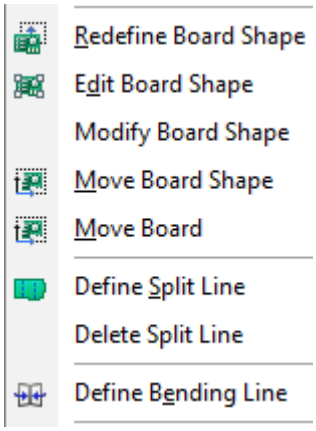


Рис. Г.117

1.1. Используемые команды по редактированию границ ПП расположены в меню **Design** (рис. Г.117):

– **Redefine Board Shape** – режим рисования контура ПП с нуля (см. пп. 2.1 и 2.2 из Г.26);

– **Edit Board Shape** – редактирование уже существующего контура ПП (см. пп. 2.7.1–2.7.5 из Г.26);

– **Modify Board Shape** – изменение формы ПП путем рисования кривой в рабочем поле. Кривая может быть нарисована как внутри существующего контура ПП (нарисованная область будет вырезана из контура), так и вне его (нарисованная область будет добавлена к контуру), но она обязательно должна начинаться и заканчиваться на этом контуре;

– **Move Board Shape** и **Move Board** – соответственно перемещение в рабочем поле только ПП и ПП вместе со всеми объектами, размещенными на ней. Поворот по часовой стрелке (или против нее) и переворот вдоль осей X и Y не дают положительного результата;

– **Define Split Line** и **Delete Split Line** – добавление и удаление границы между разными стеками ПП соответственно;

– **Define Bending Line** – добавление линии, по которой будет осуществляться сгиб гибкой части ПП (стек с опцией Flex).

1.2. Для автоматического получения контура ПП на механическом слое **M1 Board** в конце этапа трассировки, когда форма и размеры ПП меняться больше не будут, в 2D-режиме просмотра запускается команда **Design ⇒ Board Shape ⇒ Create Primitives From Board Shape** и в открывшемся окне производится настройка (рис. Г.118):

– поле **Width** – ширина линии контура;

– список **Layer** – слой, на котором будет создан контур;

– **Include Cutouts** – кроме внешнего контура ПП будут созданы контуры внутренних прорезей ПП (см. Г.40);

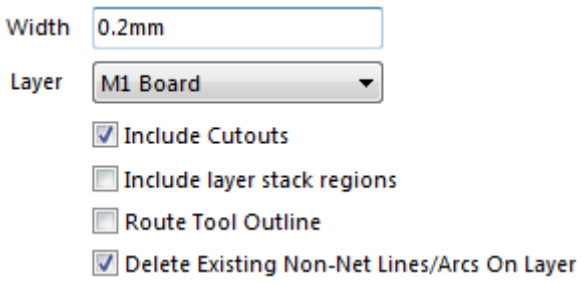


Рис. Г.118

– **Include layer stack regions** – включение информации о стеках ПП;

– **Route Tool Outline** – если данная опция отключена, то центры линий и дуг в создаваемом контуре ПП будут проходить по границам ПП, иначе – линии и дуги будут касаться границ ПП с внешней их стороны;

– **Delete Existing Non-Net Lines/Arcs On Layer** – удаление всех существующих на выбранном слое линий и дуг, которые не подключены к цепям.

Примечания:

– данный способ удобен, если форма и точные габариты ПП заранее неизвестны и будут редактироваться в процессе проектирования;

– пример работы в этом режиме приведен в п. 5 из 12.3.

2. С помощью создания замкнутого контура ПП в механическом слое **M1 Board** вручную из графических примитивов (линий и дуг) или путем экспорта его из чертежной САПР в формате DXF или DWG.

После этого все объекты контура выделяются и запускается команда **Design ⇒ Board Shape ⇒ Define from selected objects**.

Примечание. Данный способ удобен, если контур ПП либо заранее определен, либо используется заготовка ПП с фиксированными формами и габаритами, которые не будут корректироваться в процессе проектирования.

3. С помощью 3D-модели ПП в формате STEP, полученной из MCAD. В этом способе выполняются следующие действия:

– создается отдельный механический слой, в котором будет храниться проекция 3D-модели ПП (например, **M10 PCB Projection**);

– в папке с проектом ПП создается папка **Models**, в которую помещается файл 3D-модели ПП в одном из форматов: STEP («.step» или «.stp»), Parasolid («.x_t» или «.x_b») или Solidworks Part («.sldprt»).

Примечание. Можно не создавать отдельную папку в проекте, а хранить 3D-модель ПП в указанном формате в любой другой директории, но тогда придется указать к ней путь;

– запускается команда добавления 3D-модели (**Place ⇒ 3D Body**);

– в открывшемся окне 3D Body в группе **3D Model Type** выбирается опция **Generic 3D Model**, в группе **Properties** указывается слой, на котором будет храниться проекция ПП, а в группе **Generic 3D Model** включается опция **File** и нажимается кнопка **Select**.

Примечание. Если выбрана опция File, то 3D-модель ПП подключается к проекту в виде ссылки, в результате чего при обновлении файла 3D-модели автоматически будет обновлен и создаваемый контур ПП. Если выбрана опция Embedded, то 3D-модель ПП будет встроена в проект без возможности автоматического обновления;

– в открывшемся окне Choose Model выбирается файл 3D-модели ПП из папки **Models** и нажимается кнопка **OK**.

Примечание. Если 3D-модель ПП хранится в отдельной директории, то к ней необходимо указать путь кнопкой Add Directories, расположенной в нижней части окна;

– окно 3D Body закрывается кнопкой **OK** (настройки окна перед закрытием показаны на рис. Г.119), после чего 3D-модель ПП размещается в рабочем поле и появившееся вновь окно 3D Body закрывается кнопкой **Cancel**;

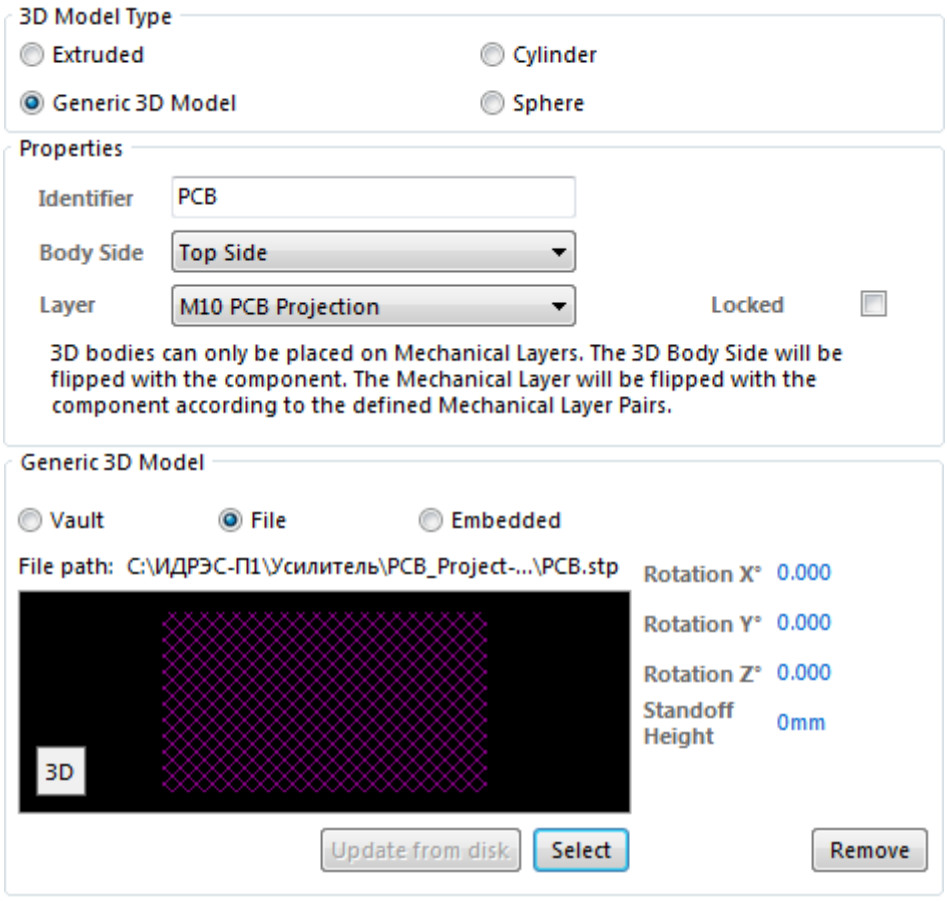


Рис. Г.119

– клавишей **3** осуществляется переход в 3D-режим просмотра ПП;

– запускается команда **Design ⇒ Board Shape ⇒ Define from 3D body**;

– щелчком ЛКМ последовательно указывается 3D-модель ПП и ее поверхность для создания проекции контура;

– в появившемся окне Board Outline Creation Successful оставляются опции по умолчанию (рис. Г.120) и нажимается кнопка **Close**;

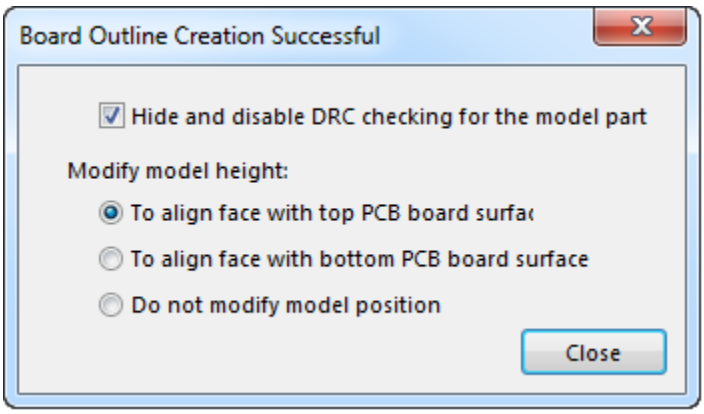


Рис. Г.120

– клавишей **2** осуществляется переход в 2D-режим просмотра ПП;

– при необходимости скрывается механический слой с проекцией ПП;

– после окончания этапа трассировки ПП по п. 1.2 создается контур ПП.

Примечание. При обновлении файла 3D-модели ПП потребуется перейти в 3D-режим просмотра ПП и заново указать поверхность 3D-модели для создания проекции контура.

Г.40. Внутренние вырезы в ПП

Внутренний вырез в ПП можно создать одним из следующих способов:

1. Сначала вручную из графических примитивов (линий и дуг) рисуется замкнутый контур на требуемом механическом слое (например, на **M2 Inner Line**), после чего все объекты контура выделяются и запускается команда **Tools ⇒ Convert ⇒ Create Board Cutout from Selected Primitives**.

Примечания:

– данный способ удобен, если контур прорези ПП заранее определен и не будет корректироваться в процессе проектирования;

– располагать ли контур прорези в отдельном механическом слое (M2 Inner Line) или прямо в слое с контуром ПП (M1 Board) зависит от конкретного производителя ПП.

2. С помощью полигона **Solid Region** с назначением **Board cutout** (см. п. 2.3 из Г.26), нарисованного в любом слое.

После окончания этапа трассировки ПП в требуемом механическом слое по п. 1.2 из Г.39 создаются контуры прорези.

Примечание. Комментарий к выбору слоя расположения контуров прорези см. в примечании к п. 1.

Г.41. Разделение линий и трасс

Для разделения прямолинейного сегмента линии или трассы в редакторе ПП и посадочных мест на две части служит команда **Edit ⇒ Slice Tracks** или последовательное нажатие клавиш **E ⇒ K**.

После запуска команды необходимо провести линию в месте расположения будущего разреза. В окне свойств (рис. Г.121), открываемом во время проведения линии разреза клавишей **Tab**, доступны следующие опции:

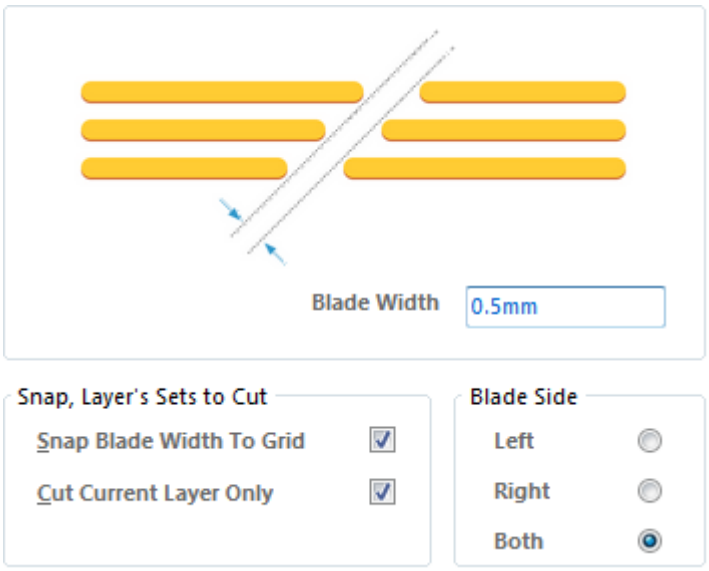


Рис. Г.121

– **Blade Width** – ширина разреза;

– **Snap Blade Width To Grid** – ширина разреза округляется до значения текущего шага сетки;

– **Cut Current Layer Only** – разрез только на текущем слое;

– **Blade Side** – положение разреза относительно линии разреза: **Left** – только слева, **Right** – только справа, **Both** – с двух сторон (при этом с каждой стороны будет ширина, равная половине значения из поля Blade Width).

В рабочем поле удобными являются следующие клавиши:

– **B** – включение и отключение опции Cut Current Layer Only;

– **N** – циклическое переключение опций группы Blade Size;

– **Space** – переключение между произвольным углом проведения линии разреза и углом, кратным 45°.

Г.42. Интерактивная трассировка одиночных цепей

Интерактивная трассировка одиночных цепей запускается командой **Route ⇒ Interactive Routing** или **ПКМ ⇒ Interactive Routing**. Процесс такой трассировки напоминает рисование обычных линий, но при этом обладает гораздо большими возможностями.

Трасса – это такая же полилиния с прямолинейными и скругленными сегментами (см. Г.24), но подключенная к выбранной цепи. Ее создание начинается с объекта, подключенного к какой-нибудь цепи (например, от КП или от сегмента другой трассы).

Примечание. Рисовать можно и с произвольного места рабочего поля, но в этом случае после создания полилинии придется вручную подключить все ее сегменты к требуемой цепи.

Настройки и особенности выполнения интерактивной трассировки:

1. Размещенные сегменты трассы отображаются закрашенными с цветом того слоя, на котором они находятся, а сегменты, которые будут размещены при щелчке ЛКМ, – штриховкой (рис. Г.122).

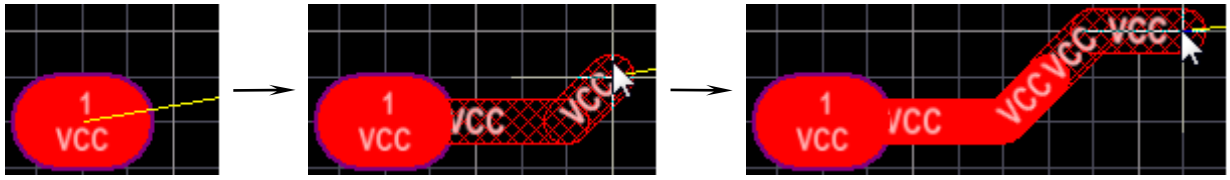


Рис. Г.122

Примечание. Исключением являются неразмещенные скругления в соответствующих режимах создания угла между исходной точкой и курсором мышки (они также отображаются закрашенными).

2. После начала ведения трассы клавишей **Tab** можно открыть окно настроек со следующими возможностями:

2.1. В группе **Routing Conflict Resolution** (рис. Г.123) задаются режимы по разрешению конфликтов, когда при ведении трассы на ее пути встречаются какие-нибудь препятствия:

– **Ignore Obstacles** – игнорирование препятствий (трассу можно провести как угодно с любыми нарушениями, тем не менее нарушения будут подсвечиваться в режиме реального времени);

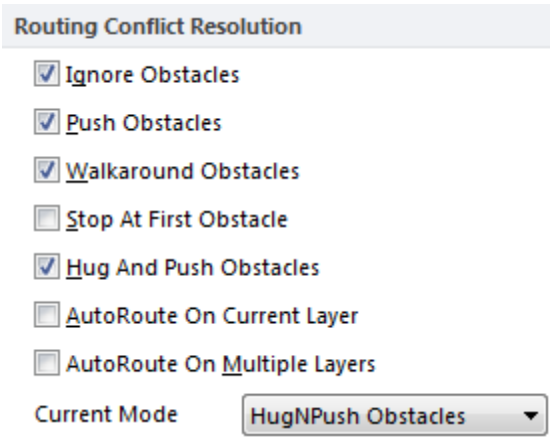


Рис. Г.123

– **Push Obstacles** – расталкивание препятствий (трассы и переходные отверстия с включенной опцией Allow Via Pushing из п. 2.2 будут автоматически изменять свое положение для создания текущей трассы);

– **Walkaround Obstacles** – обход препятствий (создаваемая трасса будет автоматически корректироваться, чтобы найти обходной путь вокруг препятствий до курсора мышки);

– **Stop At First Obstacle** – остановка на первом препятствии (при первом встреченном препятствии дальнейший автоматический поиск пути до курсора мышки будет прекращен);

– **Hug And Push Obstacles** – обход и расталкивание препятствий (трасса проходит как можно ближе к существующим препятствиям и расталкивает другие трассы и переходные отверстия с включенной опцией Allow Via Pushing из п. 2.2 в том случае, если становится недостаточно места);

– **AutoRoute On Current Layer** – автоматический выбор между расталкиванием и обходом препятствий на текущем слое для достижения наименьшей длины трассы;

– **AutoRoute On Multiple Layers** – автоматический выбор между расталкиванием препятствий, их обходом и изменением слоя для достижения наименьшей длины трассы;

– **Current Mode** – действующая в данный момент опция по разрешению конфликтов.

Примечания. Опции, у которых стоят галочки, можно циклически переключать комбинацией клавиш Shift+R в режиме интерактивной трассировки без открытия окна настроек.

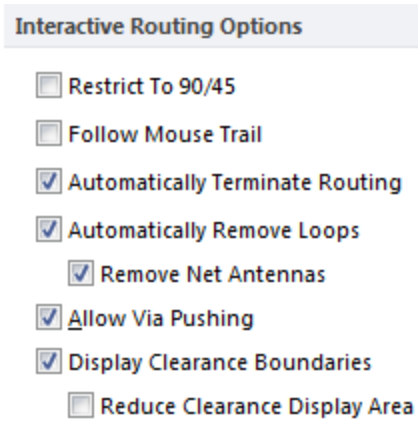


Рис. Г.124

2.2. В группе **Interactive Routing Options** (рис. Г.124) можно задать следующие настройки:

– **Restrict To 90/45** – уменьшение количества режимов создания угла между двумя точками до двух (только под углами 45° и 90°);

– **Follow Mouse Trail** – при наличии препятствий трасса будет проходить по пути перемещения курсора мышки, даже если от начальной точки до конечного положения курсора есть более короткий альтернативный путь;

– **Automatically Terminate Routing** – автоматический выход из режима создания текущей трассы, если сделан щелчок ЛКМ по объекту, подключен-

ному к ее цепи (то есть не нужно завершать создание каждой трассы щелчками ПКМ или клавишей **Esc**).

Примечание. После завершения создания одной трассы можно сразу же рисовать следующую, т. е. выхода из режима интерактивной трассировки не происходит;

– **Automatically Remove Loops** – автоматическое удаление старого пути, если между двумя произвольными точками трассы провести новый путь.

Примечание. Опция назначается сразу для всех цепей, однако ее можно изменить для каждой цепи отдельно в окне свойств (опция Remove Loops);

– **Remove Net Antennas** – автоматическое удаление ни к чему не подключенных ответвлений трассы.

Примечание. Опция доступна при включенной опции Automatically Remove Loops;

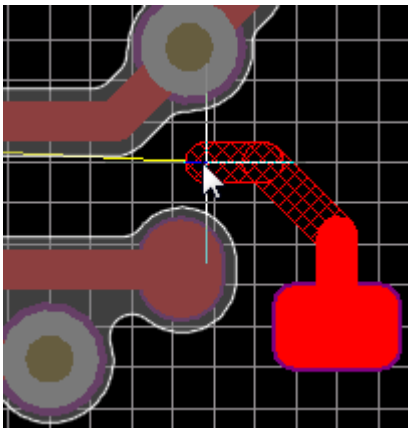


Рис. Г.125

– **Allow Via Pushing** – расталкивание переходных отверстий в режимах Push Obstacles и Hug And Push Obstacles из п. 2.1;

– **Display Clearance Boundaries** – включение отображения области (рис. Г.125), которая не доступна для создания трассы, в соответствии с расположенными объектами и правилами проектирования из подраздела Electrical ⇒ Clearance;

– **Reduce Clearance Display Area** – область, которая не доступна для создания трассы, показывается не во всем файле трассировки, а только около курсора мышки, что уменьшает нагрузку на компьютер.

Примечание. Опция доступна при включенной опции Display Clearance Boundaries.

2.3. В группе **Routing Gloss Effort** (рис. Г.126) задается степень сглаживания (количество изгибов и получающаяся длина) трассы при обходе препятствий:

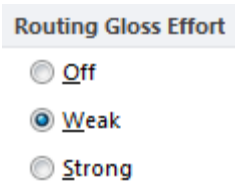


Рис. Г.126

– **Off** – сглаживание отсутствует;

– **Weak** – слабое сглаживание;

– **Strong** – максимальное сглаживание.

2.4. В группе **Interactive Routing Width Sources** (рис. Г.127) задаются опции, связанные с шириной трасс и размерами переходных отверстий:

– **Pickup Track Width From Existing Routes** – при использовании опции User Choice для параметра Track Width Mode позволяет продолжить трасси-

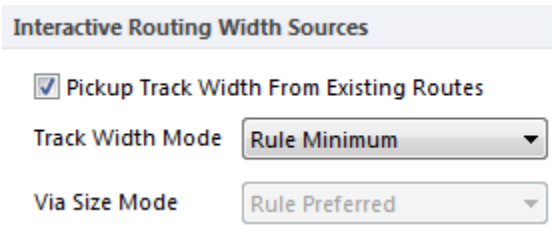


Рис. Г.127

ровку с шириной текущего сегмента (если трасса отводится от участка сегмента) или с шириной, которая использовалась в данной цепи последней (если трасса отводится от объекта цепи, к которому еще не подведены трассы);

– **Track Width Mode** и **Via Size Mode** – первоначальная ширина трассы и размер переходного отверстия соответственно: **User Choice** – значение пользователя, **Rule Minimum**, **Rule Preffered** и **Rule Maximum** – соответственно минимальное, предпочтительное и максимальное значение, заданное в правилах проектирования.

Примечание. На рис. Г.127 параметр Via Size Mode неактивен, так как в п. 10 из 12.1 для правила проектирования RVS вместо размеров были заданы шаблоны переходных отверстий из библиотеки.

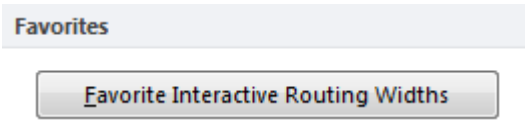


Рис. Г.128

2.5. В группе **Favorites** кнопкой **Favorite Interactive Routing Widths** можно скорректировать набор предпочтительных значений ширин трасс (рис. Г.128).

Примечание. Набор предпочтительных значений был задан в подгруппе Interactive Routing (см. табл. Г.4).

2.6. В группе **Properties** (рис. Г.129) задаются следующие настройки:

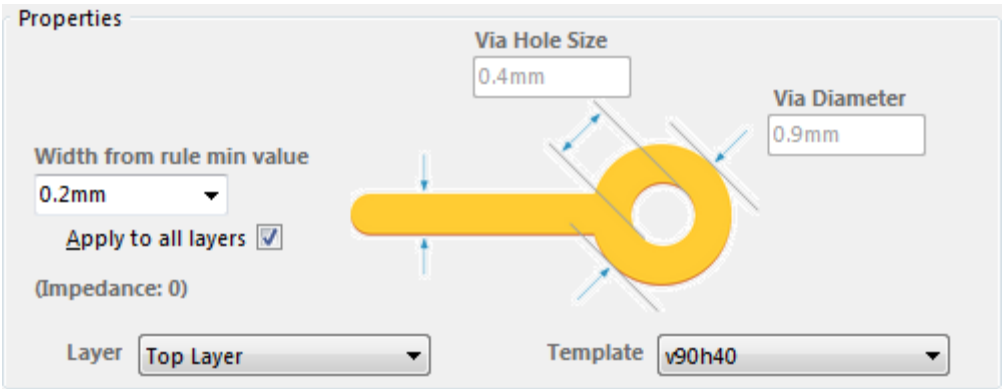


Рис. Г.129

– текущая ширина сегмента трассы (может быть выбрана из списка предпочтительных значений или задана произвольно) на всех слоях (опция **Apply to all layers**) или отдельно для каждого (список **Layer**).

Примечание. Чтобы задать разную пользовательскую ширину трассы на разных слоях, необходимо отключить опцию Apply to all layers и после перехода трассы на нужный слой в рабочем поле изменить значение ширины

на требуемое. При возврате на этот слой автоматически будет установлено заданное ранее значение. Настройки запоминаются для каждой цепи;

– пользовательские размеры текущего переходного отверстия, используемого при трассировке (**Via Hole Size** – диаметр отверстия, **Via Diameter** – диаметр площадки), если в правилах проектирования для текущей цепи не были выбраны шаблоны переходных отверстий;

– шаблон текущего переходного отверстия (список **Template**), используемого при трассировке, если в правилах проектирования для текущей цепи были выбраны шаблоны переходных отверстий.

2.7. В группе **Routing Width Constraints** (рис. Г.130) приводится описание правила проектирования для ширины текущей цепи (название правила и крайние значения), которое можно изменить кнопкой **Edit Width Rule**.

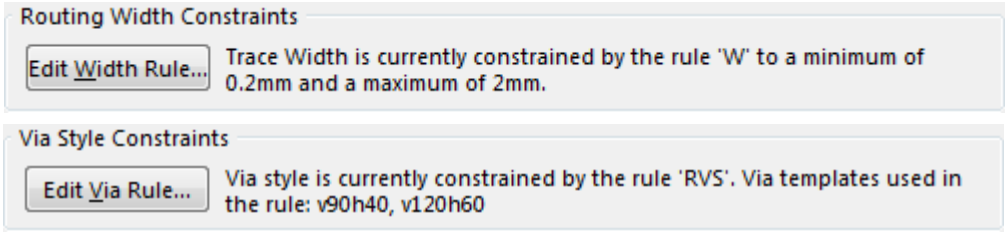


Рис. Г.130

2.8. В группе **Via Style Constraints** (рис. Г.130) приводится описание правила проектирования для размеров текущего переходного отверстия цепи (название правила, размеры или шаблоны), которое можно изменить кнопкой **Edit Via Rule**.

2.9. Группа **Pin Swapping** содержит настройки по эквивалентной замене выводов компонентов (см. Г.45): разрешение замены и предпочтительная длина сегмента трассы, создаваемая при замене (объект **subnet jumper**).

3. В контекстном меню, вызываемом нажатием комбинации клавиш **Shift+F1** или клавиши «~» в процессе создания трассы, перечислены следующие часто используемые команды (рис. Г.131):

– **Edit Trace Properties** – открытие окна настроек из п. 2;

– **Suspend** – выход из режима создания текущей трассы с сохранением результатов ее создания.

Примечание. Кроме клавиши Esc также используется щелчок ПКМ;

– **Commit** – размещение сегментов трассы до курсора мышки.

Примечания:

– кроме клавиши Enter также используется щелчок ЛКМ;

– исключением является режим Look Ahead Mode;

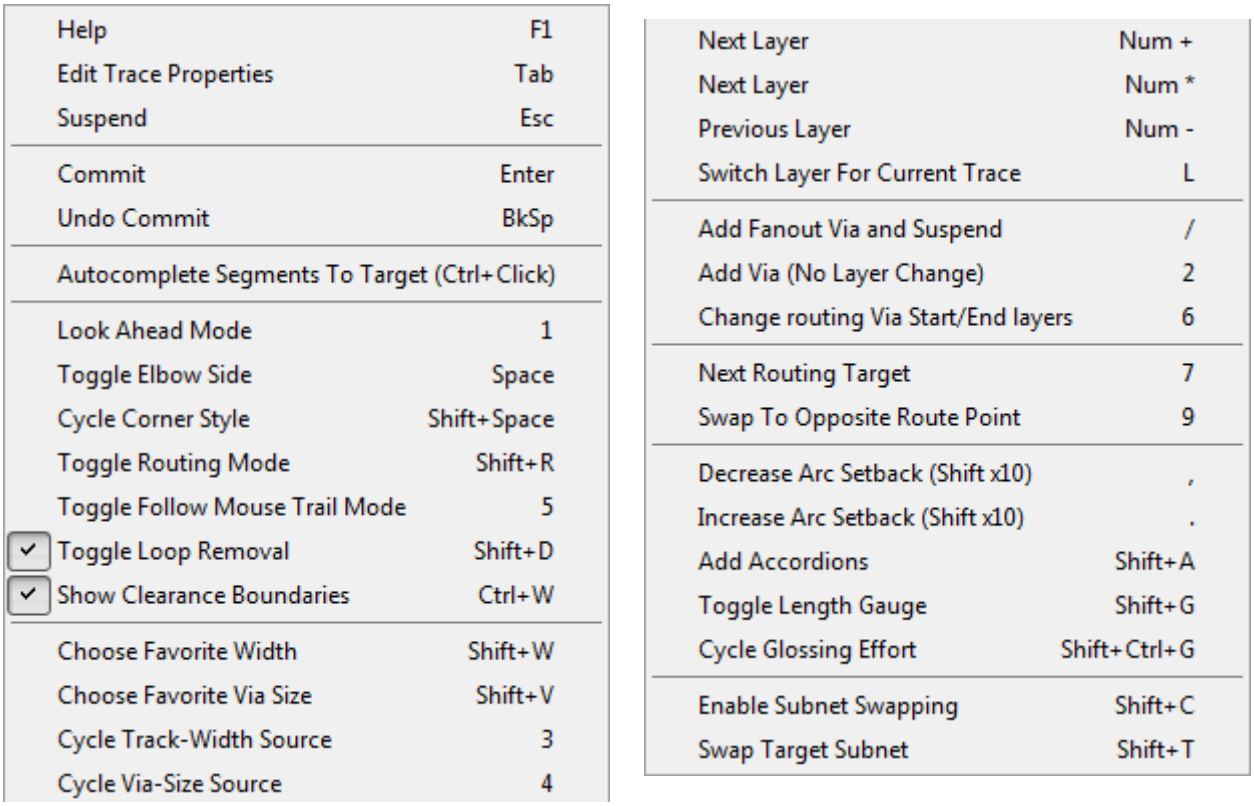


Рис. Г.131

– **Undo Commit** – отмена последней размещенной вершины;

– **Autocomplete Segments To Target** – автоматическое создание трассы до конечной точки цепи, при этом начальная и конечная точки должны быть расположены на одном слое;

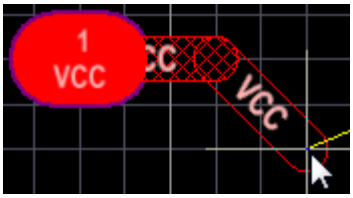


Рис. Г.132

– **Look Ahead Mode** – режим рисования с предсказанием. Режим аналогичен описанному в п. 5.4 из Г.24 и показан на рис. Г.132;

– **Cycle Corner Style** – циклическое переключение пяти режимов создания угла между двумя точками (см. рис. Г.56), при этом на количество режимов влияет опция **Restrict To 90/45** из п. 2.2;

– **Toggle Elbow Side** – выбор одного из двух путей прохождения от исходной точки до курсора мышки (см. рис. Г.56);

– **Toggle Routing Mode** – циклическое переключение между включенными режимами по разрешению конфликтов из п. 2.1;

– **Toggle Follow Mouse Trail Mode** – включение или отключение опции Follow Mouse Trail из п. 2.2;

– **Toggle Loop Removal** – включение или отключение опции Automatically Remove Loops из п. 2.2;

– **Show Clearance Boundaries** – включение или отключение опции Automatically Remove Loops из п. 2.2;

– **Choose Favorite Width** – выбор значения ширины сегмента из списка предпочтительных значений в появляющемся окне Choose Width (см. п. 2.5 и рис. Г.133);

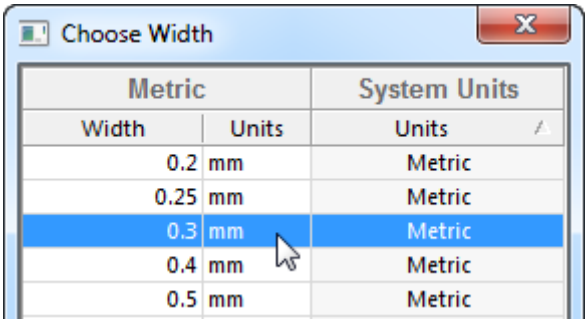


Рис. Г.133

– **Choose Favorite Via Size** – выбор шаблона переходного отверстия в появляющемся окне Choose Via Size для использования по умолчанию в процессе создания трассы из подходящих под правило проектирования, заданного для данной цепи, и существующих в файле трассировки (к существующим в файле трассировки шаблонам также относятся и те, которые создавались в процессе работы, но были удалены, однако в списке они будут присутствовать только до закрытия файла).

Примечания:

– так как в п. 10 из 12.1 для правила проектирования RVS были заданы два шаблона переходных отверстий из библиотеки, то и в окне Choose Via Size будут доступны только они (рис. Г.134);

– окно Choose Via Size предназначено только для выбора шаблона переходного отверстия, а не для редактирования его параметров;

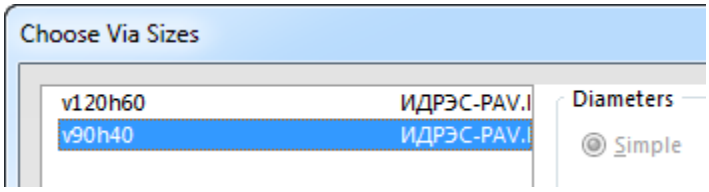


Рис. Г.134

– **Cycle Track-Width Source** и **Cycle Via-Size Source** – соответственно циклическое переключение ширины размещаемого сегмента трассы и размера переходного отверстия между четырьмя значениями из п. 2.4 (User Choice, Rule Minimum, Rule Preffered и Rule Maximum).

Примечание. Так как в п. 10 из 12.1 для правила проектирования RVS были заданы два шаблона переходных отверстий из библиотеки, то переключение будет осуществляться только между ними;

– **Next Layer** и **Previous Layer** – соответственно переключение на следующий и предыдущий сигнальный слой с появлением у курсора мышки переходного отверстия с размером по умолчанию (рис. Г.135).

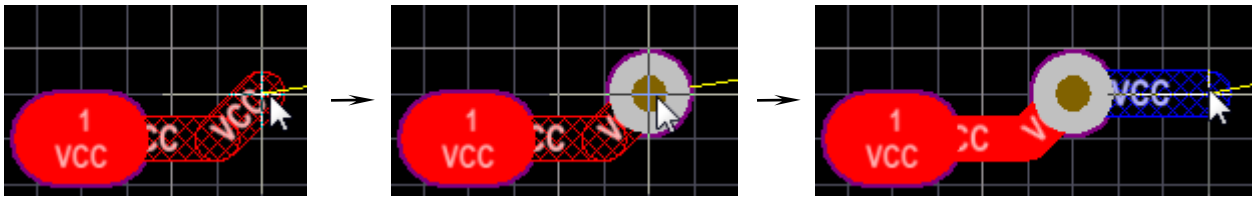


Рис. Г.135

Примечания:

– сегменты трассы и само переходное отверстие после использования команды не размещаются и могут корректироваться (рис. Г.135);

– при возврате на исходный сигнальный слой до размещения сегментов трассы переходное отверстие автоматически исчезает;

– если было произведено размещение сегментов трассы и переходного отверстия, то следующие сегменты будут создаваться на выбранном сигнальном слое (рис. Г.135);

– если используется режим Look Ahead Mode, то переходное отверстие появляется на конце предпоследнего размещаемого сегмента трассы;

– **Switch Layer For Current Trace** – если неразмещенные сегменты трассы отводятся непосредственно от переходного отверстия или КП с отверстием, то эта команда позволяет циклически изменять текущий сигнальный слой без добавления переходного отверстия (рис. Г.136);

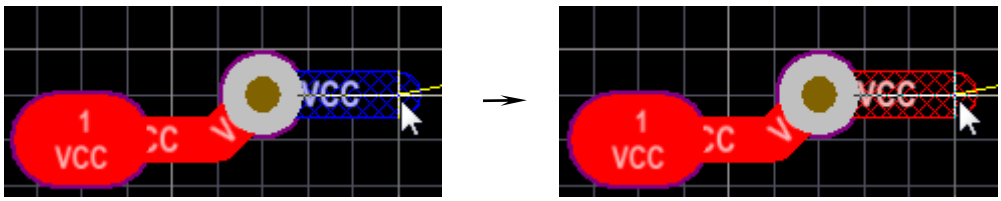


Рис. Г.136

– **Add Fanout Via and Suspend** – по аналогии с командами Next Layer и Previous Layer появится переходное отверстие, но после размещения сегментов трассы и переходного отверстия произойдет выход из режима создания текущей трассы с сохранением результатов ее создания (команда Suspend).

Примечание. Fanout в общем случае – короткая трасса, отходящая от КП и заканчивающаяся переходным отверстием (часто используется в МПП с корпусами типа BGA). Расстановка таких отводов может быть произведена автоматически командами из меню Route ⇒ Fanout в соответствии с правилами проектирования из подраздела Routing ⇒ Fanout Control;

– **Add Via (No Layer Change)** – по аналогии с командами Next Layer и Previous Layer появится переходное отверстие, но после размещения сегментов трассы и переходного отверстия следующие сегменты будут создаваться

на текущем сигнальном слое (то есть происходит добавление переходного отверстия без изменения сигнального слоя);

– **Change routing Via Start/End layers** – в МПП при наличии неразмещенного переходного отверстия производится циклическое переключение между заданными от текущего сигнального слоя парами слоев для переходных отверстий.

Примечание. Пары слоев настраиваются кнопками Drill Pair в свойствах переходных отверстий или в окне Layer Stack Manager;

– **Next Routing Target** – если от данного объекта отводится несколько линии соединений, то данная команда осуществляет циклическое переключение между ними для выбора той, по которой в данный момент будет осуществляться создание трассы;

– **Swap To Opposite Route Point** – продолжение создания трассы с другого конца данной линии соединения.

Примечания:

– неразмещенные сегменты трассы будут отменены;

– если конечная точка находится за переделами видимости, то рабочее поле подстроиться таким образом, чтобы курсор мышки оказался в центре;

– **Decrease Arc Setback (Shift x10)** и **Increase Arc Setback (Shift x10)** – соответственно уменьшение и увеличение радиуса в режимах создания угла со скруглением с шагом 0,0254 мм (если при этом будет зажата клавиша **Shift**, то шаг увеличивается в 10 раз и станет равным 0,254 мм);

– **Add Accordions** – переход в режим подстройки длины трассы путем автоматического добавления сегментов в виде меандра с прямыми, скошенными или скругленными углами (рис. Г.137).

Примечания:

– команда считается устаревшей, так как меандр после его создания представляет собой отдельные сегменты, которые неудобно редактировать;

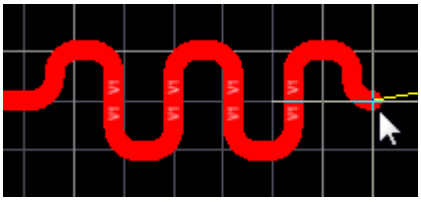


Рис. Г.137

– в этом режиме можно менять параметры меандра в окне настроек (клавиша Tab) и различными командами из контекстного меню, вызываемого нажатием комбинации клавиш Shift+F1 или клавиши «~»;

– если в окне настроек указать значение параметра Target Length (целевая длина) и включить опцию Clip to target length, то при достижении этого значения меандр будет автоматически менять свои параметры для его со-

хранения. Данная возможность работает только до размещения меандра в рабочем поле;

– подстраивать длину рекомендуется после завершения интерактивной трассировки командой Route ⇒ Interactive Length Tuning. В этом случае меандр представляет собой единый объект (группу), контур которого можно редактировать подобно границам полигона Solid Region (см. пп. 2.7.1–2.7.5 из Г.26). Кроме того, описанная ранее возможность с опцией Clip to target length будет работать и после размещения меандра при изменении его контура. При необходимости меандр можно разрушить командой Tools ⇒ Convert ⇒ Explode Length Tuning To Free Primitives;

– **Toggle Length Gauge** – отображение индикатора длины.

Примечания:

– если правило проектирования для длины данной цепи не задано, то в индикаторе отображается только текущая длина трассы с размещенными и неразмещенными сегментами (рис. Г.138);

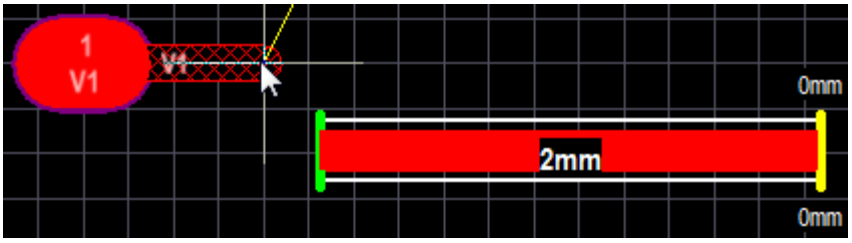
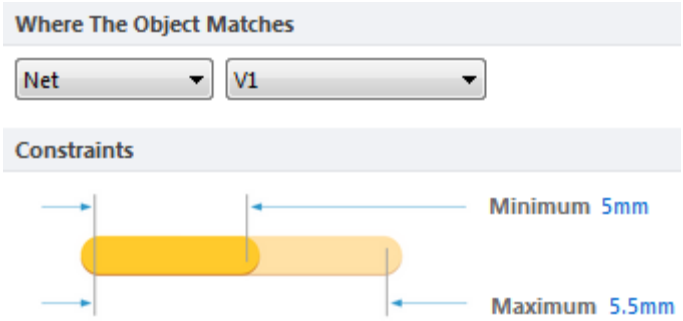


Рис. Г.138



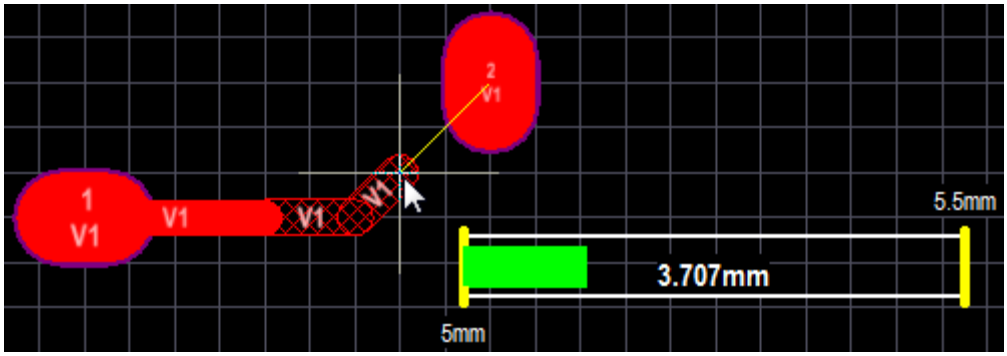


Рис. Г.139

– если правило проектирования для длины данной цепи задано, то желтыми линиями отображаются границы длины из правила, цифрой – текущая длина трассы с размещенными и неразмещенными сегментами, полоска – предполагаемая длина, равная сумме текущей длины трассы с размещенными и неразмещенными сегментами и длины оставшейся связывающей линии до цели (см. рис. Г.139). Зеленая полоска – длина удовлетворяет правилу, красная полоска – длина больше максимального значения из правила;

– если в окне настроек режима подстройки длины трассы значение параметра Target Length задать между границами из правила проектирования, то он будет показан в индикаторе длины зеленой линией;

– **Cycle Glossing Effort** – циклическое переключение между степенями сглаживания трассы из п. 2.3;

– **Enable Subnet Swapping** – проверка возможности осуществления эквивалентной замены при создании текущей трассы. С включенным окном Messages при отсутствии такой возможности будет выдано соответствующее предупреждение;

– **Swap Target Subnet** – режим выбора доступных трасс других цепей, отходящих от КП посадочного места с разрешенной эквивалентной заменой выводов, к которым можно подключить данную трассу (см. Г.45). При этом объекты **subnet jumpers** не образуются.

4. После создания трассы можно настроить свойства каждого выделенного сегмента через окно его свойств, которое полностью совпадает с описанным для линии (см. рис. Г.57).

5. Возможности ручного редактирования трассы схожи с редактированием обычных линий:

– при щелчке ЛКМ по отдельному сегменту трассы он будет подсвечен, а также на нем появятся несколько характерных точек (см. рис. Г.58);

– выделенные сегменты можно удалять клавишей **Delete** и на их месте рисовать новые, при этом в месте удаленного сегмента образуется соединяющая линия соответствующей цепи;

– в режиме Drag (см. Г.29 и рис. Г.59) при перемещении общей вершины двух прямолинейных сегментов создается новый сегмент под углом 45° (см. рис. Г.61);

– перемещение зажатой ЛКМ за центральную характерную точку прямолинейного сегмента приводит к созданию соединенного с ним параллельного участка (см. рис. Г.60).

Примечание. Если такой участок переместить обратно, чтобы он оказался на одной оси с первоначальным сегментом, то лишние вершины автоматически будут удалены. Для точного совмещения может потребоваться изменение привязок (см. Г.36);

– с включенной опцией Automatically Remove Loops можно заменять угол соединения двух соседних сегментов скруглением (рис. Г.140);

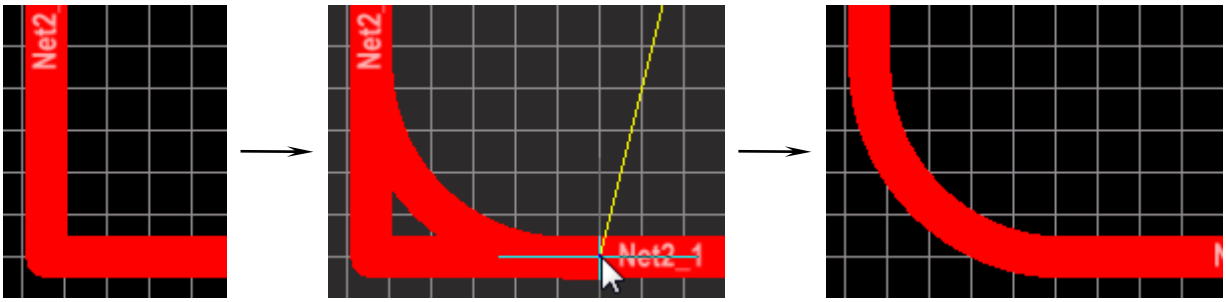


Рис. Г.140

– отдельные вершины трассы не удаляются;

– при перемещении зажатой ЛКМ любой характерной точки скругленного сегмента (или любого его участка) будет изменяться его радиус с автоматической корректировкой длин соединенных с ним прямолинейных сегментов;

– при уменьшении радиуса одного из двух соединенных скругленных сегментов между ними будет создан прямолинейный сегмент;

– внутренние прямолинейные сегменты можно перемещать параллельно самим себе зажатой ЛКМ.

Примечание. Как и для линий влияние оказывают опции Preserve Angle When Dragging, Selected via/track и Unselected via/track (см. рис. Г.59);

– при перемещении сегментов трассы сочетанием клавиш **Shift+R** можно выбрать один из трех режимов разрешения конфликтов: **Ignore Obstacles**, **Push Obstacles** и **Hug and Push Obstacles** (см. п. 2.1).

Примечание. При необходимости изменить набор режимов можно в окне настроек (клавиша Tab);

– для разделения прямолинейных сегментов трасс служит команда **Edit ⇒ Slice Tracks** (см. Г.41).

6. Отсутствующие сегменты трасс на всей ПП можно создать автоматически командой **Route ⇒ Add Subnet Jumpers**.

После ее запуска в открывшемся окне Subnet Connector в поле **Maximum Subnet Separation** указывается максимальная длина соединяющих линий, которые будут заменены объектами **Subnet Jumpers**.

Примечания:

– объекты Subnet Jumpers имеют ширину ближайшего слева сегмента трассы и обозначаются штриховкой (рис. Г.141);

– удалить все объекты Subnet Jumpers позволяет команда Route ⇒ Remove Subnet Jumpers.

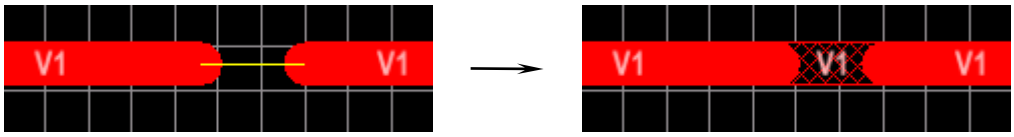


Рис. Г.141

7. Кроме ручного удаления размещенных сегментов трасс в меню **Route ⇒ Un-Route** доступны следующие команды (рис. Г.142):

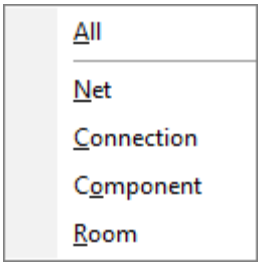


Рис. Г.142

– **All** – удаление трасс, переходных отверстий и свободных КП всех цепей на ПП;

– **Net** – удаление всех трасс, переходных отверстий и свободных КП указанной цепи.

Примечание. Если ЛКМ указать свободное от цепей место рабочего поля, то в появившемся окне можно ввести требуемое имя цепи;

– **Connection** – удаление трасс, переходных отверстий и свободных КП указанной цепи между ближайшими КП компонентов;

– **Component** – удаление трасс, переходных отверстий и свободных КП всех цепей, расположенных между КП указанного компонента и КП ближайших компонентов.

Примечание. Если ЛКМ указать свободное от компонентов место рабочего поля, то в появившемся окне можно ввести требуемое позиционное обозначение;

– **Room** – удаление трасс, переходных отверстий и свободных КП внутри указанной комнаты.

Примечания.

– если ЛКМ указать свободное от комнаты место рабочего поля, то в появившемся окне можно выбрать требуемую комнату;

– в появляющемся после указания или выбора комнаты окне можно уточнить будут ли удалены все трассы, переходные отверстия и свободные КП только полностью расположенные внутри комнаты (кнопка No) или еще и выходящие за пределы границ комнаты до ближайших КП компонентов (кнопка Yes).

8. Для подсветки всех объектов цепи существует три возможности:

8.1. Подсветка в реальном времени, осуществляемая при подведении курсора мышки к любому объекту цепи с зажатой клавишей **Shift**.

Примечание. Настройки такой подсветки находятся в подразделе PCB Editor ⇒ Board Insight Display окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences).

Например, отключение опции Live Highlighting only when Shift Key Down (рис. Г.143) приведет к подсветке цепей при наведении на них курсора мышки без зажатой клавиши Shift.

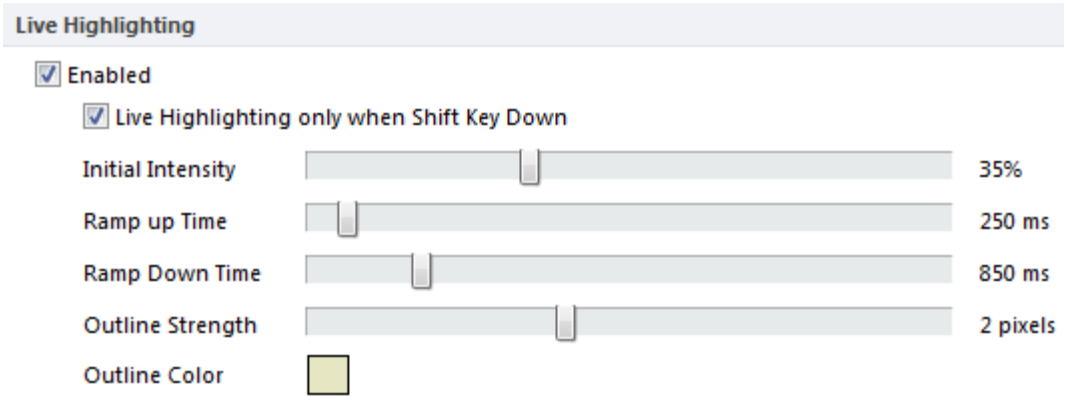


Рис. Г.143

8.2. Постоянная подсветка с затенением, осуществляемая при щелчке ЛКМ по любому объекту цепи с зажатой клавишей **Ctrl**.

Примечания:

– при дополнительно зажатой клавише Shift можно подсвечивать несколько разных цепей;

– для снятия такой подсветки необходимо нажать комбинацию клавиш Shift+C (очистка объектов в фильтре) или кнопку Clear в нижнем правом углу рабочего поля (см. рис. 5.9).

8.3. Постоянная подсветка с затенением (опция **Dim**) или с маскированием (опция **Mask**) при выборе цепи в панели PCB (см. Г.14).

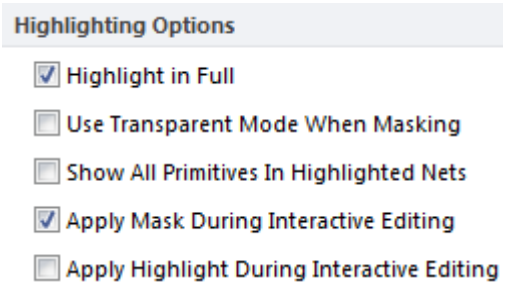


Рис. Г.144

Примечание. В режиме одного слоя опция Show All Primitives In Highlighted Nets из группы Highlighting Options (рис. Г.144) подраздела PCB Editor ⇒ Display окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences) позволяет в пп. 8.2 и 8.3 подсветить и все объекты указанной цепи со скрытых слоев.

9. Во время интерактивной трассировки на отображение объектов в рабочем поле влияют две опции, расположенные в группе **Highlighting Options**

(см. рис. Г.144) из подраздела **PCB Editor ⇒ Display** окна **Preferences** (команда DXP ⇒ Preferences):

– **Apply Mask During Interactive Editing** – затенение объектов, не относящихся к текущей цепи;

– **Apply Highlight During Interactive Editing** – подсветка объектов текущий цепи.

10. Для автоматического сглаживания предварительно выделенных сегментов одной или нескольких трасс используется команда **Route ⇒ Gloss Selected** (пример сглаживания показан на рис. Г.145).

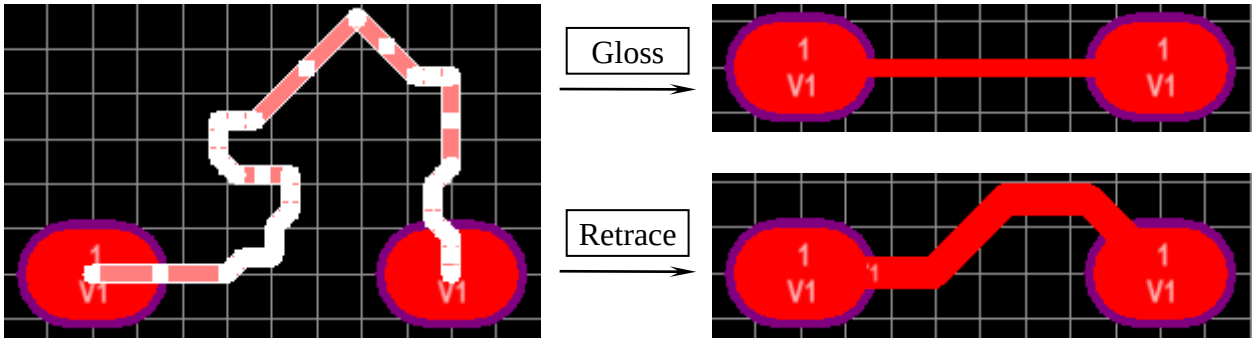


Рис. Г.145

Примечания:

– для сглаживания участка трассы можно выделить только его начальный и конечный сегменты;

– при автоматическом сглаживании программа стремится максимально уменьшить длину трассы и количество ее изломов, при этом параметры сегментов не изменяются;

– расположение переходных отверстий (при наличии) не изменяется;

– сегменты трассы, расположенные под произвольным углом, остаются нетронутыми.

11. Для автоматической корректировки выполненной трассировки предварительно выделенных сегментов одной или нескольких трасс используется команда **Route ⇒ Retrace Selected**.

Примечание. Основные отличия команды от автоматического сглаживания из п. 10 состоят в следующем:

– для выделенных участков трасс происходит обновление их параметров до предпочтительных (Preffered), указанных в правилах проектирования;

– изменение первоначального вида трассы в общем случае происходит не так сильно.

Например, на рис. Г.145 видно, что ширина трассы была увеличена.

12. Полезные настройки по отображению связывающих линий и информации на объектах находятся на вкладке **View Options** окна View Configurations (клавиша **L**):

– список **Net Names on Tracks Display** позволяет настроить отображение имен цепей на трассах: **Do Not Display** – без отображения, **Single and Centered** – один раз в центре каждого сегмента, **Repeated** – с некоторым шагом на каждом сегменте;

– опции **Show Pad Nets** и **Show Via Net** отвечают за отображение имен цепей на КП и переходных отверстий соответственно;

– опция **Show Pad Numbers** управляет отображением номеров КП;

– опция **Show All Connections In Single Layer Mode** при отключении позволяет отобразить в режиме одного слоя только те связывающие линии, которые целиком находятся на этом слое;

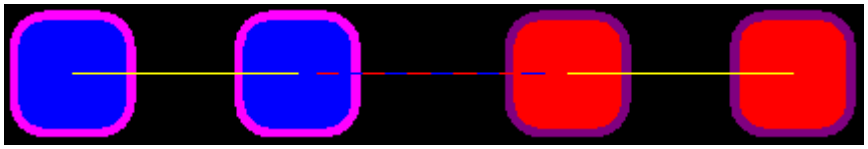


Рис. Г.146

– опция **Use Layer Colors For Connection Drawing** позволяет отобразить связывающую линию для соседних объектов, расположенных на разных сигнальных слоях, в виде пунктирной линии с цветами этих слоев (рис. Г.146).

Г.43. Интерактивная трассировка группы цепей

Интерактивную трассировку сразу нескольких цепей, идущих в одном направлении удобно осуществлять совместно командой **Route ⇒ Interactive Multi-Routing** или **ПКМ ⇒ Interactive Multi-Routing**.

Особенности выполнения интерактивной трассировки:

1. Сначала необходимо выделить требуемые КП или уже существующие сегменты трасс, при этом эти объекты обязательно должны находиться на одном слое. После этого запускается указанная команда и для начала трассировки выполняется щелчок ЛКМ недалеко от объектов.

Примечание. Для массового выделения нескольких КП из состава посадочных мест используются команды массового выделения мышкой с зажатой клавишей Ctrl (см. Г.5).

2. В целом процесс создания группы трасс аналогичен интерактивной трассировке одиночных цепей. Некоторое описанные в Г.42 команды отсутствуют, но есть и дополнительные возможности:

2.1. В окне свойств (клавиша **Tab** после начала трассировки) в группе **Bus Routing** доступны следующие настройки (рис. Г.147):

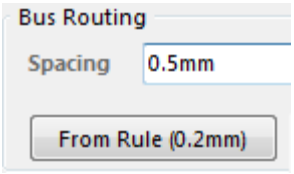


Рис. Г.147

– в поле **Spacing** указывается зазор между соседними трассами в группе;

– кнопкой **From Rule** в поле Spacing вставляется значение зазора, заданного в правилах проектирования.

Примечание. По умолчанию зазор между соседними проводниками соответствует расстоянию между КП или трассами, от которых начинается трассировка.

2.2. В контекстном меню, появляющемся при нажатии комбинации клавиш **Shift+F1** или клавиши «~» в процессе трассировки, доступны следующие дополнительные настройки (рис. Г.148):



Рис. Г.148

– **Cycle Via-Pattern** – при наличии переходных отверстий осуществляется циклическое изменение способа их расположения (рис. Г.149);

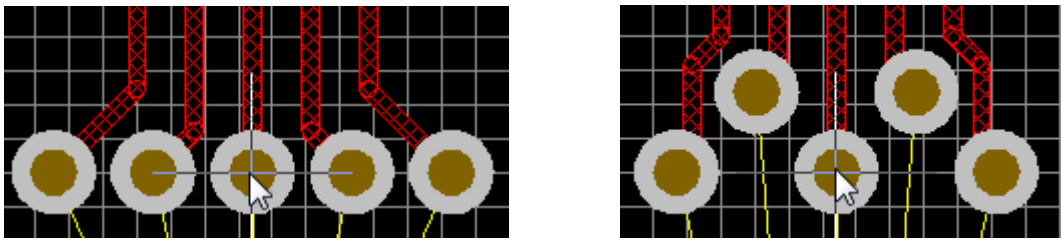


Рис. Г.149

– **Converge Bus Spacing To Rule** – зазор между трассами становится равным заданному в правилах проектирования;

– **Decrease Bus Spacing** и **Increase Bus Spacing** – уменьшение и увеличение зазора между трассами соответственно.

3. Для каждой отдельной созданной трассы доступны все возможности, описанные в пп. 4–11 из Г.42.

4. Действия с группой трасс при включенной опции **Preserve Angle When Dragging** в режиме **Drag** (см. рис. Г.59):

– для продления сразу нескольких трасс сначала необходимо выделить крайние сегменты, а затем потянуть зажатой ЛКМ за любую из свободных

вершин. Кроме того, при перемещении курсора могут быть получены сегменты под углом 45° (рис. Г.150).

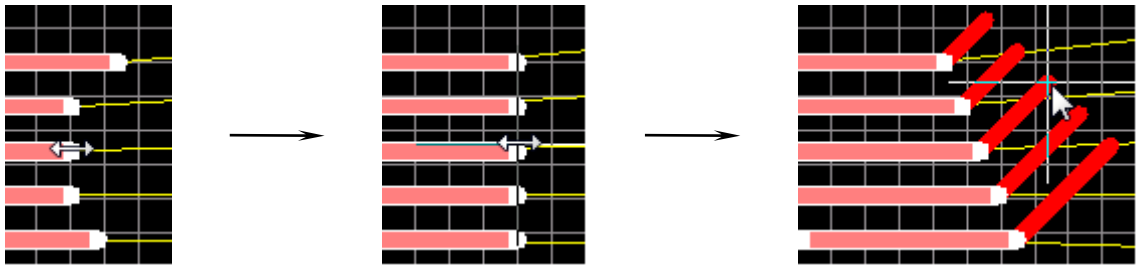


Рис. Г.150

Примечание. При продлении трасс будет произведено их автоматическое выравнивание, если они заканчивались не на одной линии;

– при перемещении сегментов нескольких трасс комбинацией клавиш **Shift+R** можно циклически изменять режимы разрешения конфликтов, показанные на рис. Г.59: **Ignore Obstacles** – игнорирование препятствий, **Avoid Obstacles (Snap Grid)** и **Avoid Obstacles** – остановка у препятствий на основе текущего шага сетки и без учета сетки соответственно.

Примечание. Режимы также доступны в окне свойств, открываемом клавишей Tab при перемещении;

– для одинакового изменения радиусов скруглений (при наличии сегментов со скруглениями) сначала их необходимо выделить, а затем потянуть зажатой ЛКМ за любой их участок.

Г.44. Каплевидности (Teardrops)

Каплевидность (teardrop) – это плавное изменение ширины трассы в местах ее соединения с объектами больших размеров.

Основные области использования:

– в месте соединения трассы с переходным отверстием (или КП с отверстием), выполненным с минимальным гарантийным пояском, при риске возникновения дефекта, показанного на рис. Б.25;

– в месте соединения трассы с большой КП или в месте вынужденного изменения ширины трассы (например, при подходе к узкой КП) для уменьшения скачка волнового сопротивления и отражений;

– в отдельных случаях в месте соединения узкой трассы с КП для лучшего отвода тепла при пайке.

Каплевидности в Altium Designer создаются автоматически в виде полигонов Solid Region, но делать это рекомендуется в самом конце этапа трассировки ПП. Управление их настройками осуществляется в окне **Teardrops**

(рис. Г.151), которое открывается командой **Tools ⇒ Teardrops** или последовательным нажатием клавиш **T ⇒ E**.

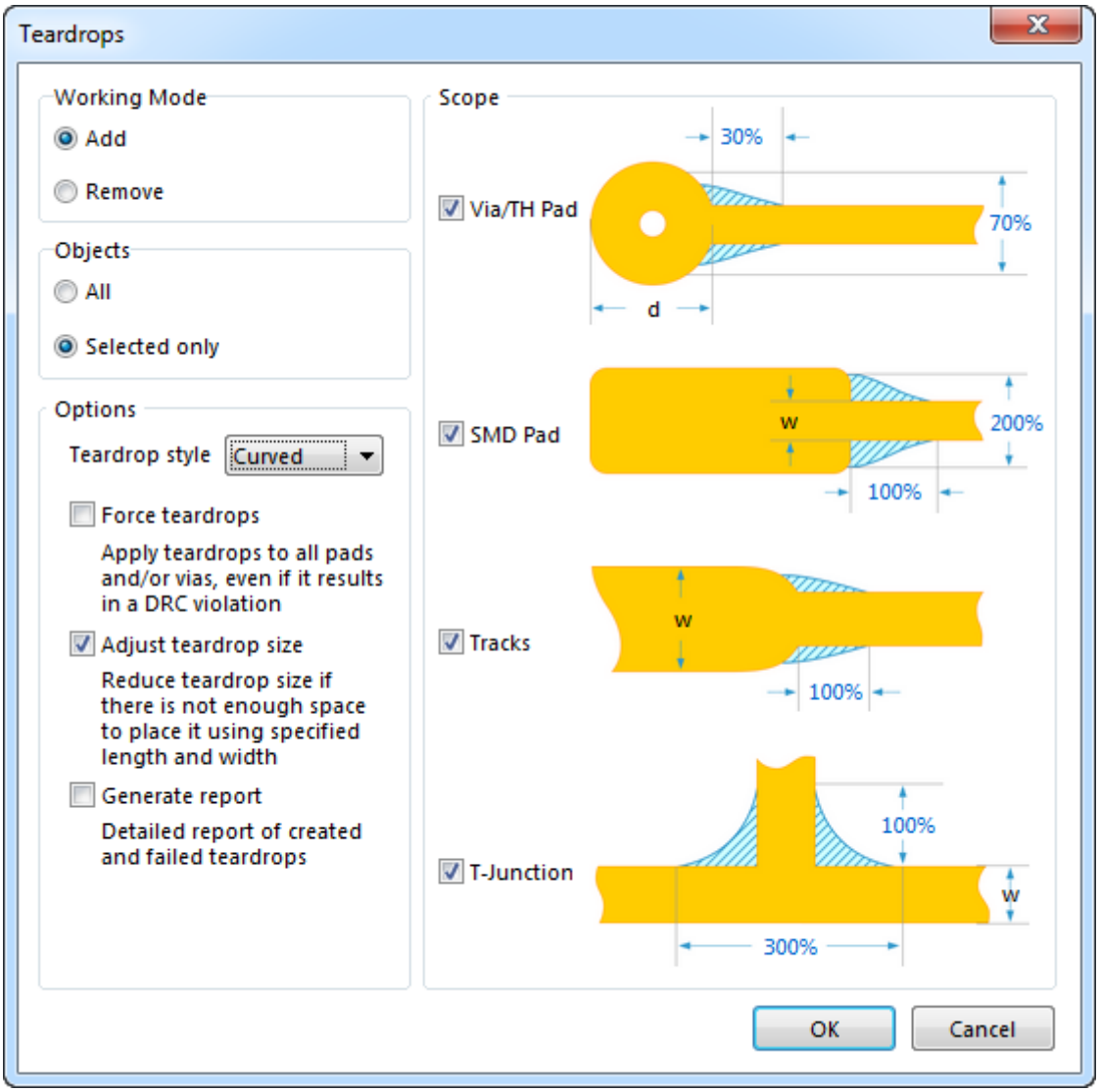


Рис. Г.151

Назначение элементов окна Teardrops:

– группа **Working Mode** – режим работы (**Add** – добавление, **Remove** – удаление);

– группа **Objects** – объекты, с которыми осуществляется работа (**All** – все объекты, **Selected Only** – только предварительно выделенные);

– группа **Scope** – виды соединений трасс, с которыми осуществляется работа: **Via/TH Pad** – соединения с переходными и монтажными отверстиями, **SMD Pad** – соединения с планарными КП, **Tracks** – соединения с другими сегментами трассы, **T-Junction** – ответвления. Для каждого вида соединения можно настроить параметры каплевидности в процентах от указанного на рисунке размера;

– список **Teardrop style** – два стиля каплевидности: **Curved** – изогнутые границы (рекомендуемый стиль), **Line** – прямые границы;

– опция **Force teardrops** – каплевидности создаются даже в тех случаях, когда это приводит к нарушению правил проектирования;

– опция **Adjust teardrop size** – автоматическое уменьшение размеров каплевидности, если для их размещения не хватает места;

– опция **Generate report** – создание отчета со списком мест, в которых получилось и не получилось добавить каплевидности.

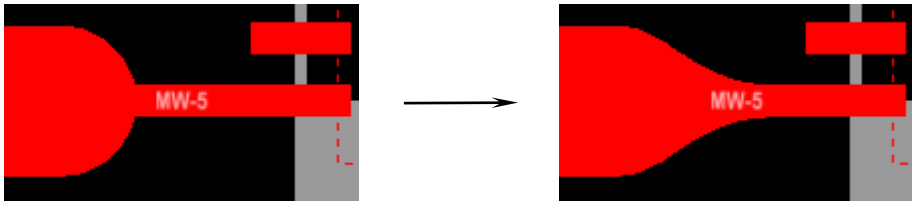


Рис. Г.152

Пример создания каплевидности для случая подведения широкой трассы к узкой КП показан на рис. Г.152 (ее длина задана равной 50 % от ширины широкого сегмента трассы).

Следует отметить, что при любых изменениях объектов, между которыми была создана каплевидность, она автоматически удаляется.

Г.45. Эквивалентная замена выводов

Эквивалентная замена выводов (pin swapping) – изменение подключения цепей к выводам компонента с одинаковыми функциями для уменьшения количества пересечений трасс на ПП. Примерами эквивалентных выводов являются выводы SMD-резисторов и некоторые выводы микроконтроллеров с функцией I/O (вход/выход).

Примечание. В Altium Designer также можно настроить эквивалентную замену выводов для дифференциальных пар (Differential Pair Swapping) и секций в многосекционных УГО (Part Swapping).

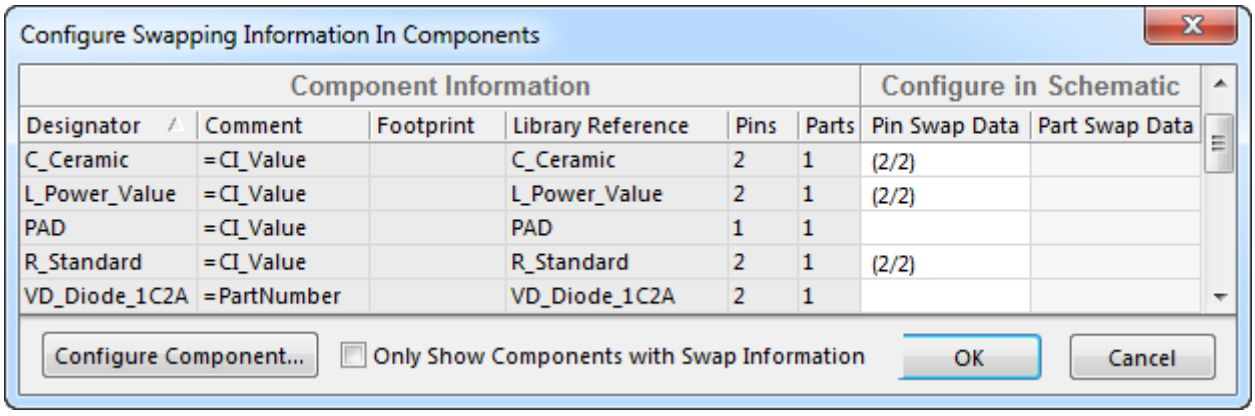
Особенности эквивалентной замены выводов:

1. Данные об эквивалентных выводах находятся в окне **Configure Swapping Information In Components**, которое открывается командами:

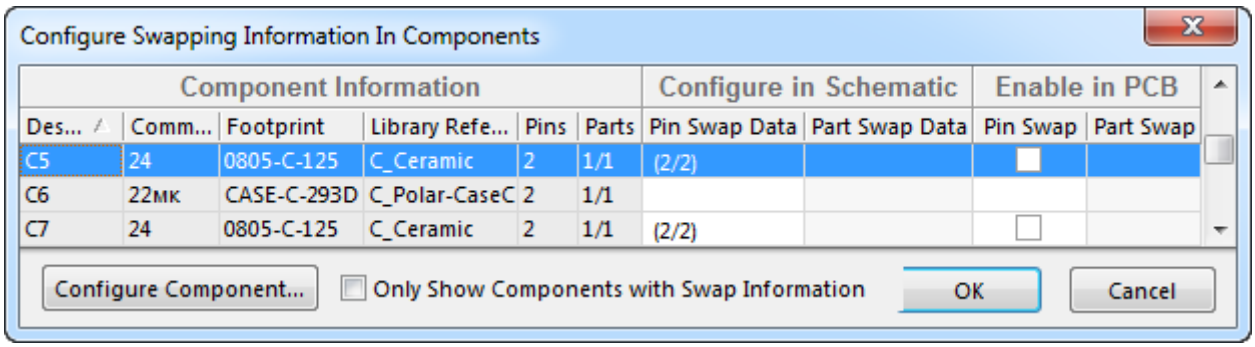
– в редакторах УГО и схем – **Tools ⇒ Configure Pin Swapping**;

– в редакторе ПП – **Tools ⇒ Pin/Part Swapping ⇒ Configure**.

В редакторе УГО для библиотеки **Discretes_Assemblies.SchLib** из папки **…ИДРЭС\AD library\sch** указанное окно показано на рис. Г.153, *а*, а в редакторе ПП для варианта «П1» – на рис. Г.153, *б*.



а



б

Рис. Г.153

Примечание. На ошибки, появляющиеся в окне Messages при открытии данного окна в редакторе УГО, обращать внимание не следует.

Назначение элементов окон с рис. Г.153:

– группа **Component Information** – информация о компонентах;

– группа **Configure in Schematic** – информация об эквивалентных выводах и секциях УГО. Здесь до дробной черты указывается количество выводов (или секций), для которых настроена эквивалентность, а после нее – общее количество выводов (или секций);

– группа **Enable in PCB** – опции по разрешению эквивалентной замены для тех компонентов, у которых она задана (для разрешения необходимо поставить галочку);

– опция **Only Show Components with Swap Information** – отображение только компонентов с информацией об эквивалентности;

– кнопка **Configure Component** – открытие окна **Configure Pin Swapping For** для настройки информации об эквивалентности для выбранного в таблице компонента.

Окно **Configure Pin Swapping For** для резистора *R2* со схемы Э3 «усилителя» из варианта «П1» показано на рис. Г.154.

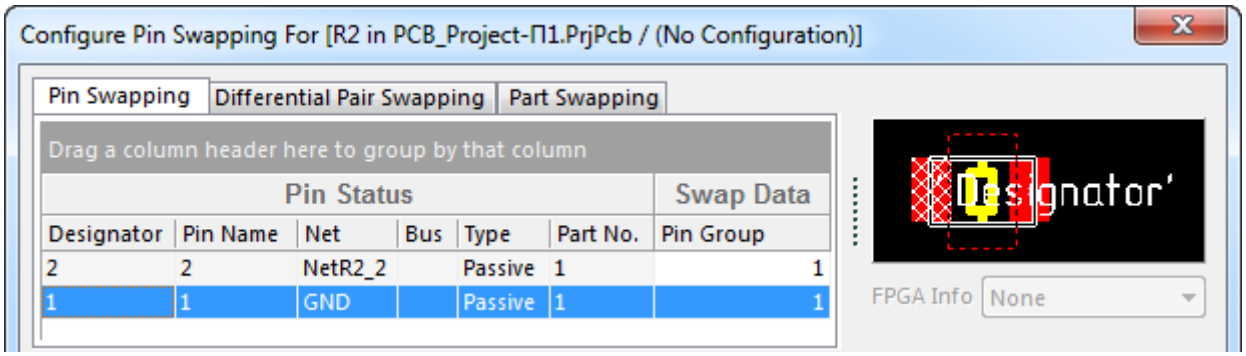


Рис. Г.154

На вкладке **Pin Swapping**, предназначенной для настройки эквивалентности выводов, находятся следующие элементы:

– группа **Pin Status** – информация о пинах компонента;

– столбец **Pin Group** в группе **Swap Data** – редактируемый столбец, в котором для эквивалентных пинов указываются одинаковые данные (поддерживаются цифры и буквы);

– окно просмотра посадочного места, поддерживающее выбор КП.

Примечания:

– выполнить настройку эквивалентности выводов можно в редакторах схем, УГО и ПП для любого компонента в любой момент времени. Преимущество выполнения таких действий в редакторе УГО состоит в том, что добавляемые в проект ПП компоненты будут уже настроены;

– открыть окно Configure Pin Swapping For также можно в окне Configure Swapping Information In Components двойным щелчком ЛКМ по строке с компонентом или в рабочем поле на выделенном компоненте командой ПКМ ⇒ Part Actions ⇒ Configure Pin Swapping в редакторе схем и командой ПКМ ⇒ Component Actions ⇒ Configure Pin/Part Swapping в редакторе ПП.

2. Для возможности эквивалентной замены выводов у конкретного компонента кроме наличия данных в столбце **Pin Group** окна **Configure Pin Swapping For** также должна быть поставлена галочка в столбце **Pin Swap** окна **Configure Swapping Information In Components** (см. п. 1).

3. Эквивалентная замена выводов производится в редакторе ПП (с сохраненными изменениями в файле трассировки и проекте) и только для КП, которые полностью не соединены трассами с КП ближайших компонентов.

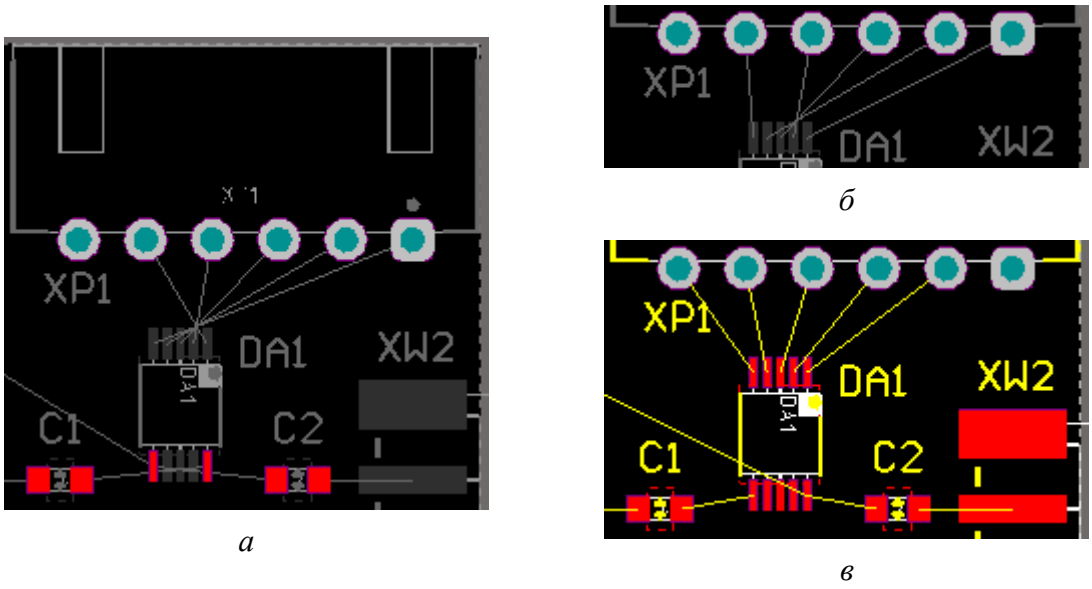
Примечание. Способ разделения трасс см. в Г.41.

Способы эквивалентной замены выводов в редакторе ПП:

3.1. Интерактивная замена командой **Tools ⇒ Pin/Part Swapping ⇒ Interactive Pin/Net Swapping**.

После запуска команды в рабочем поле автоматически подсветятся КП с возможностью эквивалентной замены. Например, на рис. Г.155, *а* – КП № 6 и 10 в микросхеме *DA1*, все КП в разъеме *XP1* и в конденсаторах *C1* и *C2*.

Далее последовательными щелчками ЛКМ указываются КП, которые должны быть заменены (замена происходит в каждой паре). Например, на рис. Г.155, *б* были заменены подключения к КП № 1 и 5 в разъеме *XP1*.



а *б* *в*

Рис. Г.155

3.2. Автоматическая замена командой **Tools ⇒ Pin/Part Swapping ⇒ Automatic Net/Pin Optimizer**.

Это двухэтапная команда. Первый этап осуществляется сразу же после ее запуска, при этом выполняется однопроходная оптимизация по минимизации длин связывающих линий и их пересечений. Однако результат может получиться не очень хорошим. После этого появляется окно с запросом на запуск второго этапа – многопроходной оптимизации. Ее можно запустить кнопкой **Yes** или отказаться кнопкой **No**. В последнем случае будет оставлен результат первого этапа.

Пример выполнения данной команды показан на рис. Г.155, *в*. Видно, что была выполнена эквивалентная замена всех КП в разъеме *XP1*, а также КП № 6 и 10 в микросхеме *DA1*.

3.3. Интерактивная замена в процессе интерактивной трассировки одиночных цепей.

В этом способе необходимо, чтобы предварительно от заменяемых КП были отведены сегменты трасс (рис. Г.156), что в большинстве случаев удобно сделать интерактивной трассировкой группы цепей (см. Г.43).

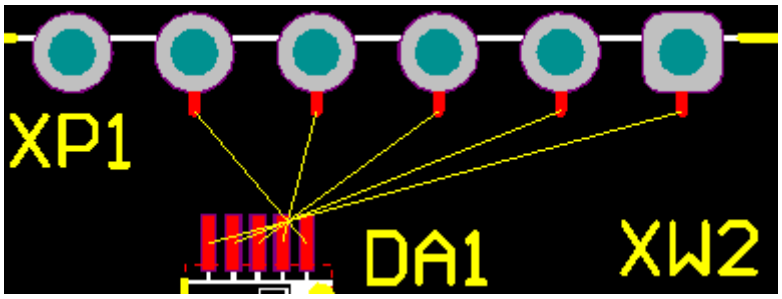


Рис. Г.156

Существует два варианта выполнения эквивалентной замены:

– трасса щелчком ЛКМ непосредственно подключается к желаемому сегменту, отведенному от заменяемой КП другой цепи. При этом создается объект **subnet jumper** в виде заштрихованного сегмента, длина которого определяется в группе **Pin Swapping** окна настроек интерактивной трассировки одиночной цепи (см. п. 2.9 из Г.42), а также происходит обновление подключения связывающей линии, которая была заменена (рис. Г.157).

Примечание. Вариант не работает в режиме Ignore Obstacles;

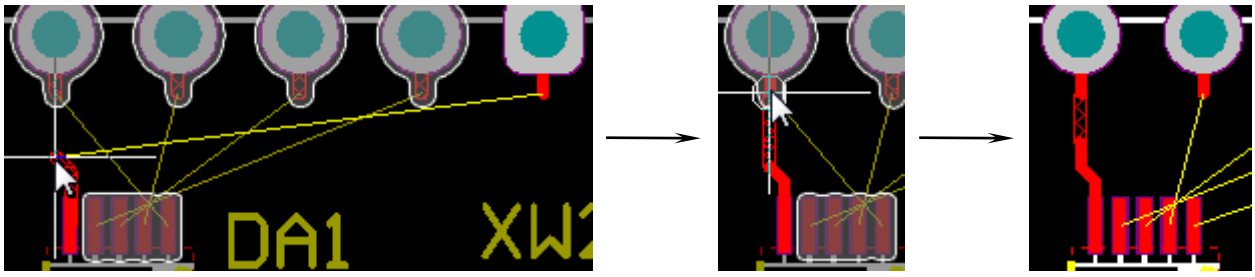


Рис. Г.157

– в процессе создания трассы нажимается комбинация клавиш **Shift+T** (команда **Swap Target Subnet** с рис. Г.131) для включения режима выбора доступных трасс других цепей и осуществляется требуемый выбор щелчком ЛКМ, после чего продолжается процесс интерактивной трассировки. При этом происходит обновление подключения связывающей линии, которая была заменена, но объект **subnet jumper** не создается (рис. Г.158).

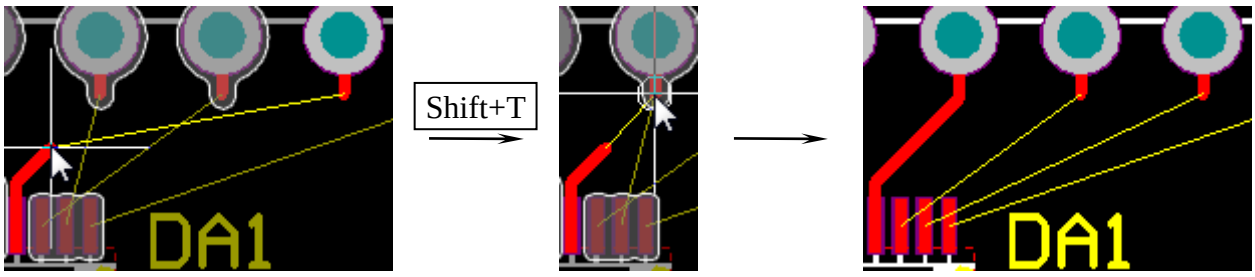


Рис. Г.158

Примечания:

– на рис. Г.155–Г.158 приведена ПП из примера, рассмотренного в Г.46;

– зачастую требуется согласование эквивалентной замены выводов на разъемах с другими устройствами, с которыми предстоит соединение;

– приведенные способы эквивалентной замены выводов можно использовать в любой момент работы с проектом и неограниченное количество раз как по отдельности, так и в различных комбинациях.

4. Информация об эквивалентной замене выводов с ПП в схему переносится методами, задаваемыми в группе **Allow Pin-Swapping Using These Methods** (рис. Г.159) на вкладке **Options** из окна настроек проекта (команда **Project ⇒ Project Options**):

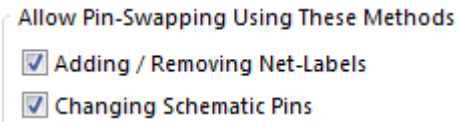


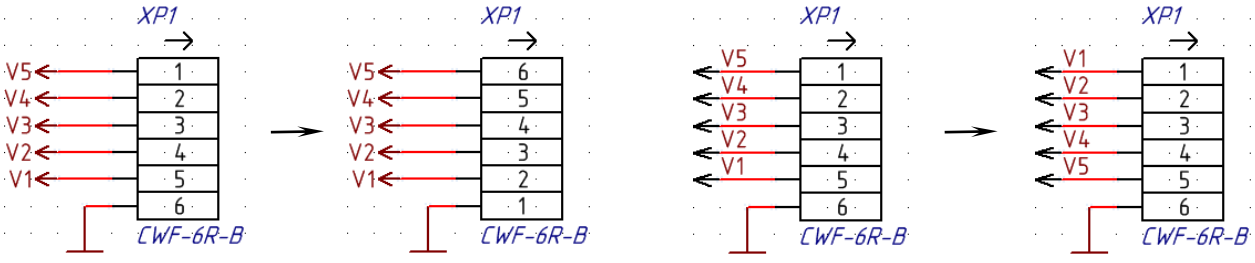
Рис. Г.159

4.1. **Changing Schematic Pins** – изменение информации в пинах УГО компонента (поля Name и Designator).

Примечание. Опция Adding / Removing Net-Labels может быть как включена, так и отключена.

Недостатком метода является внесение изменений в УГО компонента, что может затруднить чтение схемы при наличии многосекционных компонентов (пин из одной секции может оказаться в другой секции) или при наличии нескольких компонентов на схеме (расположение пинов у одинаковых компонентов будет разным). Кроме того, обновление УГО из библиотеки повлечет за собой запуск повторного переноса изменений.

Работа метода при переносе результатов эквивалентной замены выводов разъема *XP1* с рис. Г.155, *а* и *в*, показана на рис. Г.160, *а*.



а *б*

Рис. Г.160

Необходимо отметить, что эквивалентная замена выводов компонентов на ПП возможна только при включении данной опции.

4.2. **Adding / Removing Net-Labels** – замена меток цепи.

Условия работы метода:

– соединение с пинами УГО компонента, у которого производилась эквивалентная замена выводов, должно осуществляться линиями электрической связи, выполненными с разрывом;

– на линиях электрической связи должны быть установлены идентификаторы цепи **Net label**;

– в группе **Allow Pin-Swapping Using These Methods** (см. рис. Г.159) должна быть включена только опция **Adding / Removing Net-Labels** (или отключены обе опции).

Достоинством метода является неизменность УГО компонента, который может быть обновлен из библиотеки без повторного переноса изменений.

Для соблюдения требования п. 2.7 из 8.1 при использовании меток цепей также потребуется установка стрелок, которые можно либо рисовать из примитивов в рабочем поле (линий или одной линией со значком стрелки размера Small), либо предварительно сделать библиотечный компонент с типом Graphical (см. Г.33).

Работа метода при переносе результатов эквивалентной замены выводов разъема с рис. Г.163 показана на рис. Г.160, *б*.

Примечание. В этом методе изменения с рис. Г.155, а и в не удалось бы полностью перенести в схему, так как для цепи GND использован идентификатор цепи Power Port.

Г.46. Пример внесения изменений в схему и файл трассировки

При разработке изделия довольно часто возникает необходимость внесения изменений в проект:

– при неправильно установленных компонентах;

– при добавлении новых компонентов;

– при корректировке содержания параметров компонентов;

– при изменении подключений компонентов (изменение порядка подключения к портам ввода-вывода микроконтроллера, к управляющим выводам аттенюатора и др.).

Примечание. В Altium Designer корректировки в компонентах и цепях, кроме эквивалентной замены выводов (см. Г.45), следует делать в схеме Э3, так как автоматически перенести их из файла трассировки невозможно.

В качестве примера работы с внесением корректировок рассматривается участок разрабатываемого «усилителя» из вариантов задания в области микросхемы аттенюатора, который выполнен в виде отдельного изделия со схемой Э3, показанной на рис. Г.161.

Примечание. На данном этапе на схеме не хватает высокоомного резистора по питанию микросхемы аттенюатора.

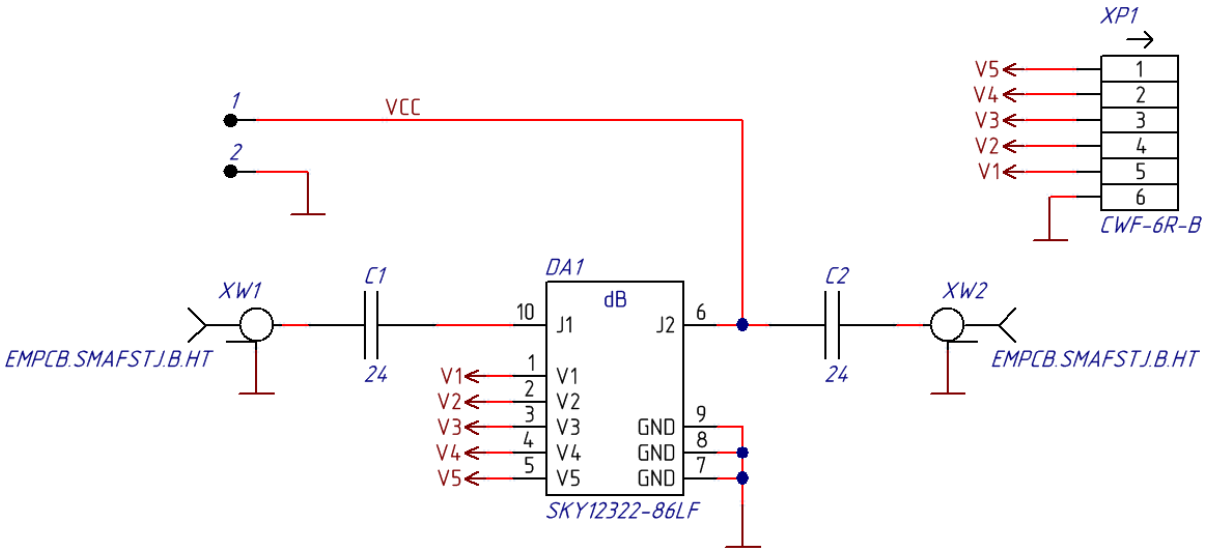


Рис. Г.161

Компоновка ПП выполнена в предположении, что компоненты, через которые проходит СВЧ-сигнал, должны быть расположены в нижней ее части (рис. Г.162).

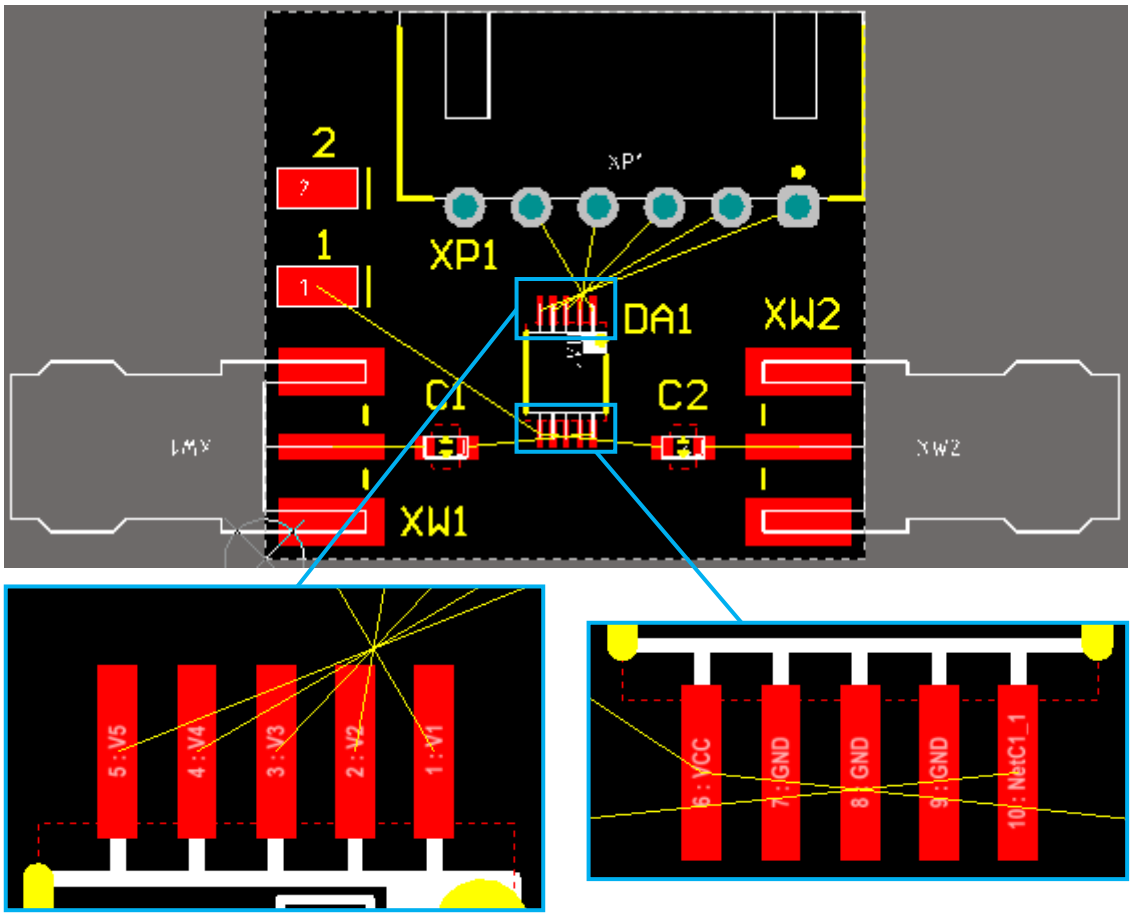


Рис. Г.162

Видно, что провести трассы в одном сигнальном слое не получится, так как есть взаимные пересечения связывающих линий между выводами микро-

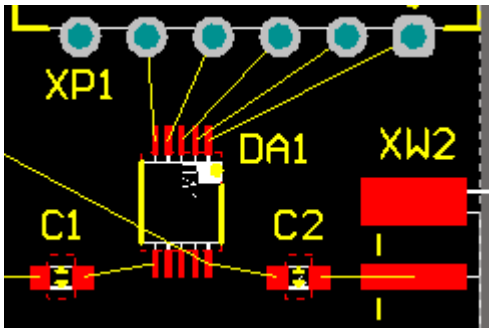


Рис. Г.163

схемы аттенюатора: между выводами управления (№ 1–5) и между входом и выходом (№ 6 и 10).

Для корректировки пересечений в редакторе ПП были использованы возможности по эквивалентной замене выводов (см. Г.45): в разъеме *XP1* поменяны местами подключения между КП в паре № 1 и 5 и в паре № 2 и 3, а в микросхеме аттенюатора *DA1* – между КП № 6 и № 10 (рис. Г.163).

Примечание. Следует внимательно относиться к эквивалентной замене выводов, проверяя такую возможность по документации на компоненты (рис. Г.164). Также зачастую следует согласовывать замену подключений на разъемах с другими устройствами, с которыми предстоит соединение.

Table 1. SKY12322-86LF Signal Descriptions

Pin #	Name	Description
6	J2	RF input or output port, supply voltage input
10	J1	RF input or output port

Рис. Г.164

Для переноса изменений в схему выполняется следующее:

– в настройках проекта включаются требуемые опции по п. 4 из Г.45.

Примечание. В данном примере и в вариантах задания используется метод Changing Schematic Pins;

– из редактора ПП запускается команда **Design ⇒ Update Schematic**;

– в появившемся окне с информацией об обнаруженных различиях между схемой и файлом трассировки нажимается кнопка **Yes** для продолжения автоматического формирования ECO-файла.

Примечание. При нажатии кнопки No откроется окно для интерактивной работы со списком обнаруженных различий;

– в открывшемся окне Engineering Change Order нажимается кнопка **Validate Changes** для проверки возможности внесения изменений в схему. Если в столбце **Check** отображаются зеленые галочки, то последовательно нажимаются кнопки **Execute Changes** для применения изменений (рис. Г.165) и **Close** для выхода.

Результаты автоматического внесения изменений в схему Э3 показаны на рис. Г.166 и отмечены синими контурами. Кроме отсутствия высокоомного резистора по питанию микросхемы аттенюатора на данном этапе появи-

лась еще одна проблема, связанная с тем, что по документации на микросхему питание должно поступать на вывод № 6 (см. рис. Г.164).

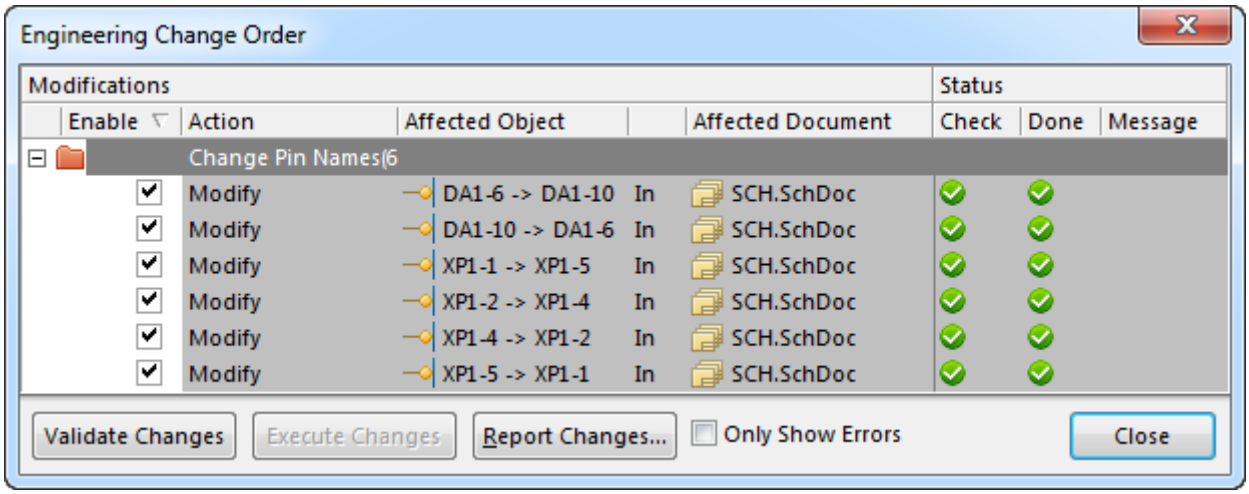


Рис. Г.165

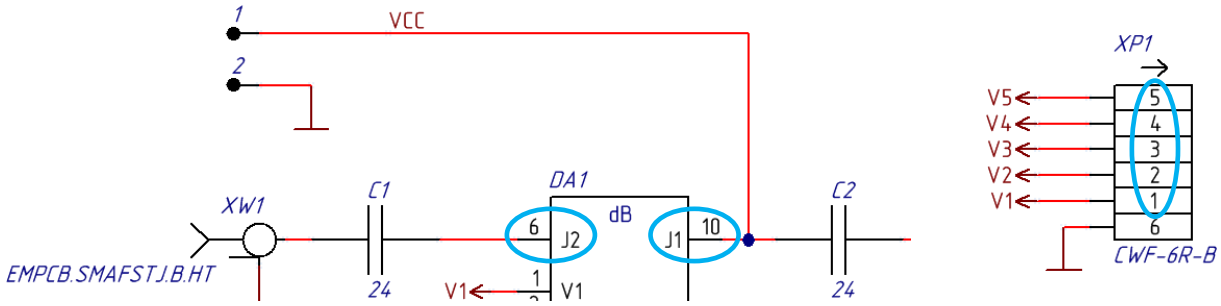


Рис. Г.166

Как отмечалось ранее, добавление компонентов и переподключение цепей следует делать в редакторе схем для их автоматического переноса в файл трассировки. Результат после ручной корректировки и перенумерации (присвоено позиционное обозначение резистору) показан на рис. Г.167.

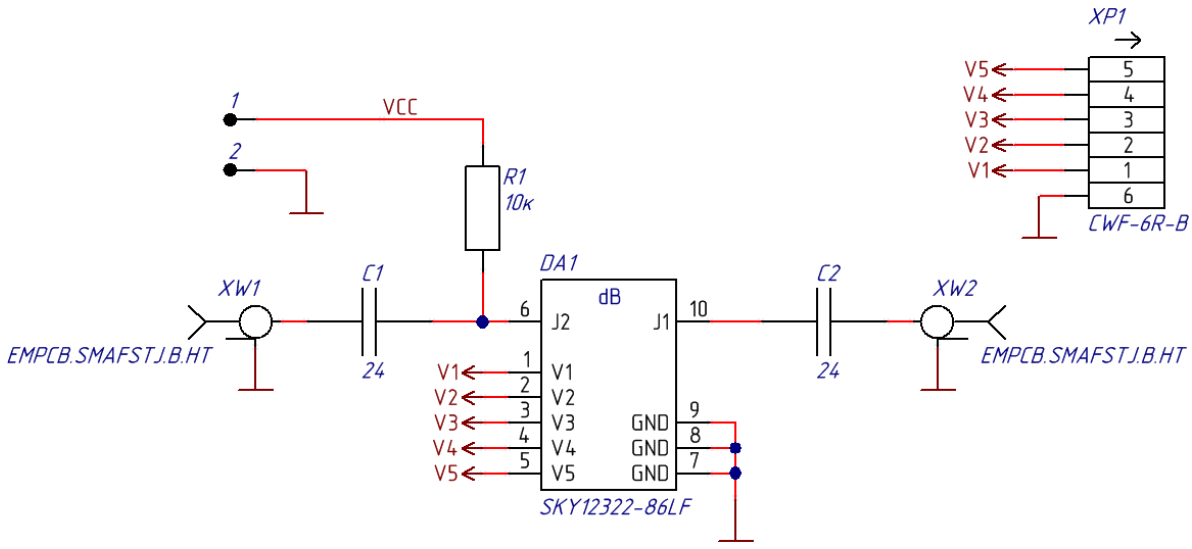


Рис. Г.167

Примечание. Корректировки желательно вносить так, чтобы не изменились позиционные обозначения размещенных компонентов, иначе потребуется делать правки в других документах (например, в перечне элементов).

Для переноса изменений в файл трассировки выполняются действия, аналогичные описанным в п. 6 из 12.3, т. е. с помощью команды **Design ⇒ Update PCB Document** из редактора схем. Результат показан на рис. Г.168.

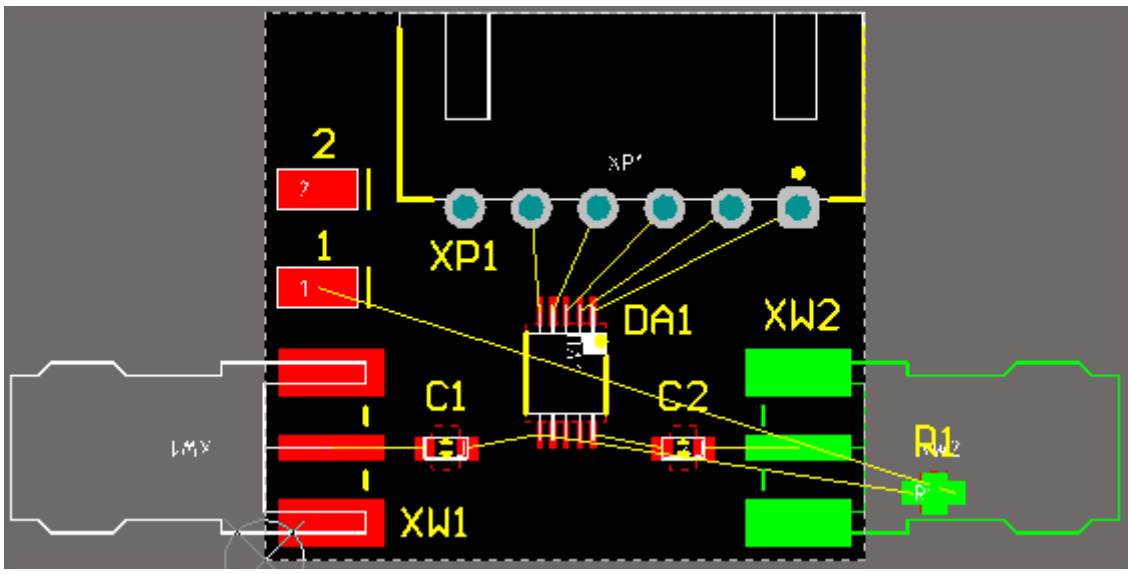


Рис. Г.168

Как видно, резистор добавился за пределами контура ПП.

Примечание. Ошибка на рисунке связана с тем, что корпуса компонентов в данный момент пересекаются.

Результат трассировки для рассмотренного примера в 2D-режиме просмотра показан на рис. Г.169, а в 3D-режиме просмотра – на рис. Г.170.

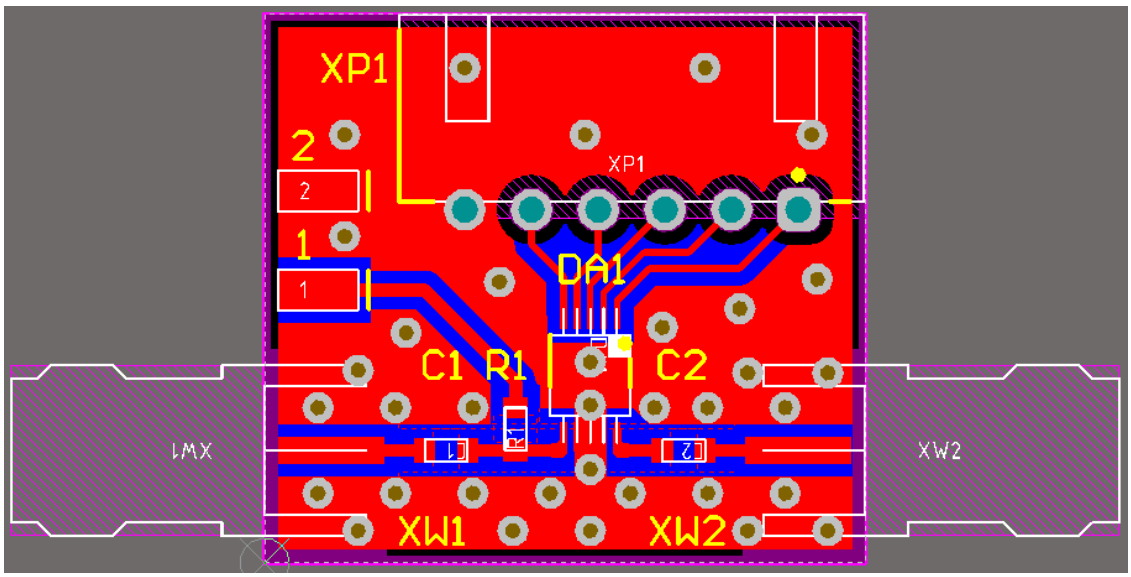


Рис. Г.169

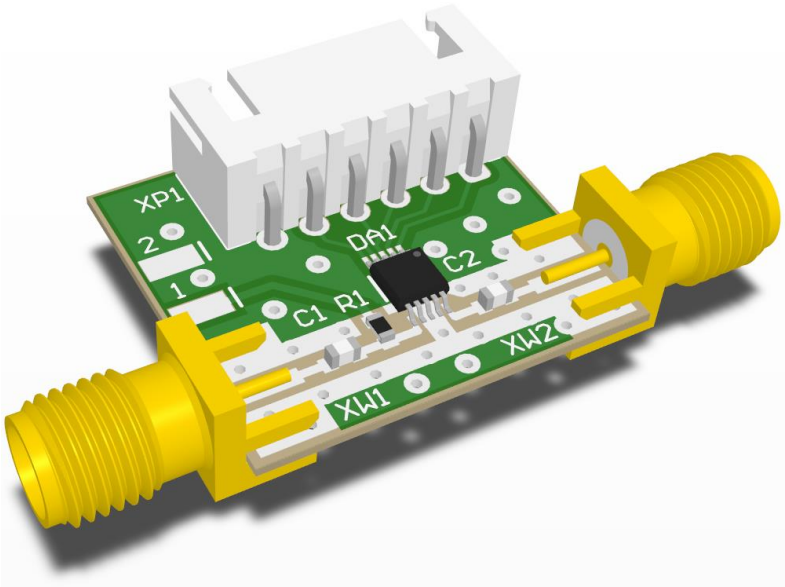


Рис. Г.170

Примечание. Для получения металлизации под микросхемой DA1 сначала был удален полигон Solid Region с назначением Polygon cutout из ее посадочного места (в свойствах компонента была отключена опция Lock Primitives), а после автоматического перестроения полигона Polygon Pour на слое Top поверх КП № 7–9 добавлен полигон Fill с подключением к цепи GND.

Г.47. Групповая заготовка ПП

Объединение нескольких ПП в одну групповую заготовку (процесс часто называется панелизацией или мультиплицированием) увеличивает технологичность производства. Например, снижаются временные затраты на нанесение паяльной пасты и отмывку.

Также в групповую заготовку можно объединить несколько разных ПП (комплект ПП), обладающих одинаковыми конструктивными параметрами (количество слоев, толщина диэлектрического основания и т. д.). Заказ изготовления комплекта ПП у ряда производителей позволяет значительно сэкономить денежные средства, так как при этом затраты на подготовку к производству остаются на уровне одной отдельной ПП.

У разных производителей требования к формированию групповой заготовки ПП и возможности могут различаться:

– размеры комплекта ПП (например, не более 160 × 190 мм);

– количество ПП в одном комплекте (например, не более 5);

– размеры и наличие технологических полей – свободных от металлизации и компонентов областей ПП, необходимых для крепления групповой заготовки и осуществления автоматического монтажа;

– наличие возможностей по облегчению отделения ПП от групповой заготовки (скрайбирование или фрезерование несквозных канавок с узкими перемычками и перфорацией);

– повышающий коэффициент к стоимости при условии недопустимости наличия бракованных ПП в групповой заготовке (**No X-out**) и др.

Групповую заготовку на производстве обычно формируют из файлов в форматах Gerber и Excellon (см. прил. Л), однако при работе в Altium Designer ее также можно создать в редакторе ПП. Достоинством последнего способа является автоматический перенос в заготовку всех изменений, сделанных в составляющих ее ПП.

Последовательность действий для создания групповой заготовки (панели) из четырех ПП из варианта «П1» с фрезерованием несквозных канавок:

1. Создать новый документ ПП, сохранить его в выбранную папку и выполнить настройку по 12.1.

Примечания:

– документ можно создать как в существующем проекте, так и вне проекта (Free Document);

– чтобы заново не задавать настройки, можно использовать шаблон или сделать копию существующего файла трассировки с новым именем;

– при использовании копии файла в панели PCB Filter с включенной опцией Select применяется запрос All, после чего клавишей Delete удаляются выделенные объекты с подтверждением «Locked and Unlocked».

2. Перейти в сетку **0,5** или **1** мм (в зависимости от кратности габаритных размеров ПП).

3. Запустить команду **Place ⇒ Embedded Board Array/Panelize** и в открывшемся окне Embedded Board Array выполнить следующее:

– в поле **PCB Document** выбрать файл трассировки;

– в полях **Column Count** и **Row Count** задать количество ПП в заготовке по горизонтали и вертикали соответственно;

– если в поле **Column Count** или **Row Count** указано 2 и более, то в правом верхнем углу задать зазоры между ПП.

После этого нажать кнопку **OK**, добавить ПП в рабочее поле и отказаться от размещения других ПП.

Примечания:

– настройки окна Embedded Board Array в варианте «П1» при добавлении четырех ПП показаны на рис. Г.171;

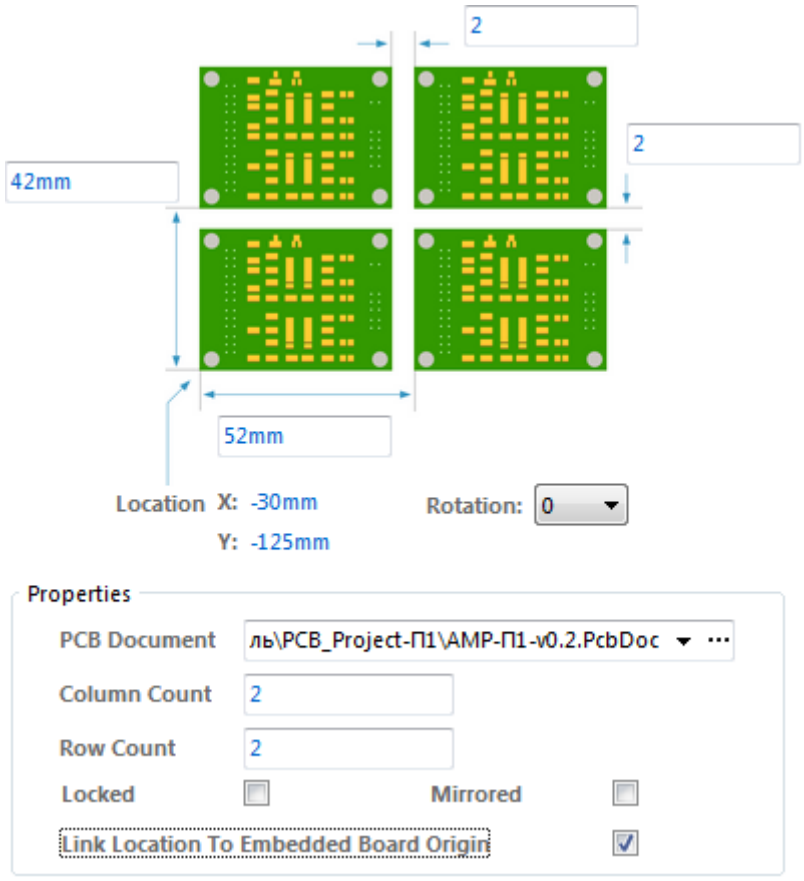


Рис. Г.171

– зазоры между ПП в варианте «П1» заданы равными 2 мм (типичный диаметр фрезы, используемый на производстве);

– при включенной опции Link Location To Embedded Board Origin базовой точкой добавляемых объектов будет точка начала координат исходной ПП. С отключенной опцией базовая точка – нижний левый угол, от которого отведено поле Location на рис. Г.171;

– если добавляется сразу несколько копий ПП (как на рис. Г.171), то в рабочем поле они будут считаться единым объектом;

– ПП, добавляемые по одной штуке, можно размещать в рабочем поле независимо друг от друга;

– в момент размещения объектов зачастую полезно запустить команду Edit ⇒ Jump ⇒ New Location (или последовательно нажать клавиши J ⇒ L), задать требуемые координаты и дважды нажать клавишу Enter;

– после размещения ПП можно открыть окно Embedded Board Array (двойной щелчок ЛКМ по добавленным объектам или команда ПКМ ⇒ Properties), в котором при необходимости скорректировать зазоры между ПП (если за раз было создано несколько копий ПП), изменить координаты расположения в поле Location и базовую точку.

3. Войти в режим работы с формой заготовки ПП (клавиша **1**) и командой **Design ⇒ Edit Board Shape** изменить ее так, чтобы границы располагались за пределами контуров добавленных ПП на расстоянии 7 мм (5 мм – технологическое поле, 2 мм – зазор между ПП и технологическим полем).

Результат на данном этапе в варианте «П1» показан на рис. Г.172.

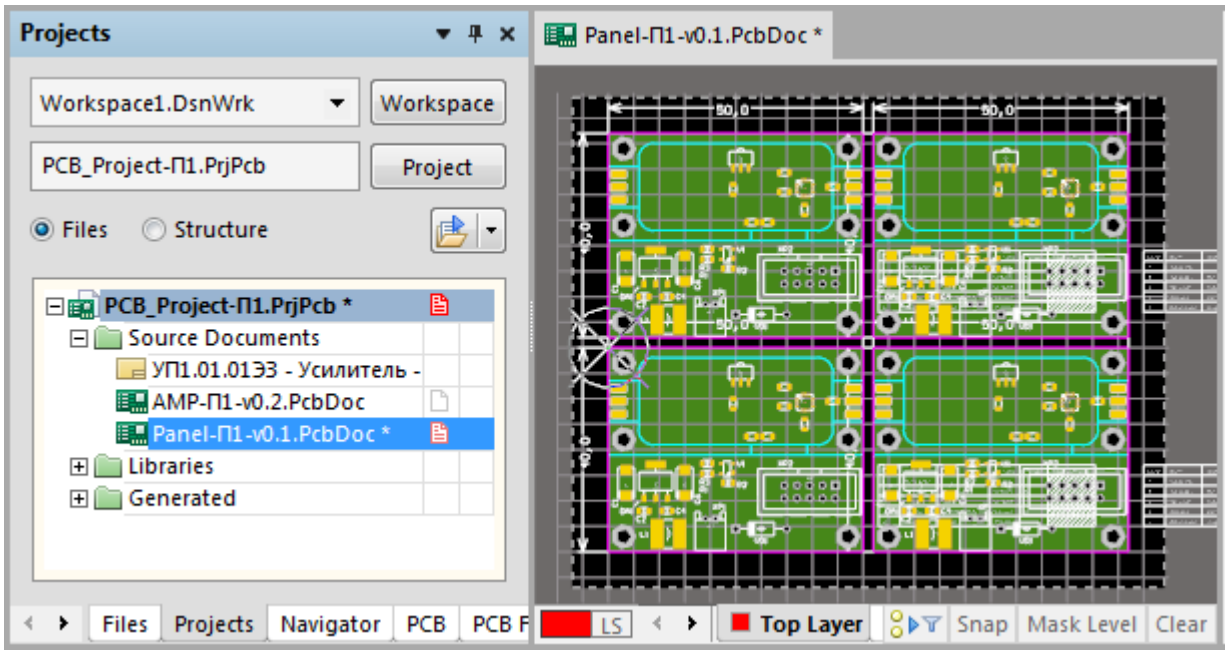


Рис. Г.172

4. Заблокировать добавленные ПП, для чего открыть окно их свойств и включить опцию **Locked** (см. рис. Г.171).

5. Создать канавки для фрезерования:

5.1. Сделать текущим слой **M1 Board**.

Примечание. В этом слое также отображаются контуры добавленных ПП, но они никак не влияют на контуры групповой заготовки.

5.2. В любом свободном месте рабочего поля обозначить две перемычки в виде пары скругленных краев и отверстий:

– первую – с перфорацией только с одной стороны;

– вторую – с перфорацией с двух сторон.

Рекомендуемый вид перемычек приведен в стандарте IPC-7351 [145] и показан на рис. Г.173, где штриховкой отмечена область ПП, а заливкой – область технологического поля.

Перфорация может располагаться как внутри ПП (она отнимает полезное место, но после отделения ПП зачастую не требуется доработка ее контура), так и вне ПП (топология ПП не затрагивается, но после ее отделения необходимо убрать остатки перемычек).

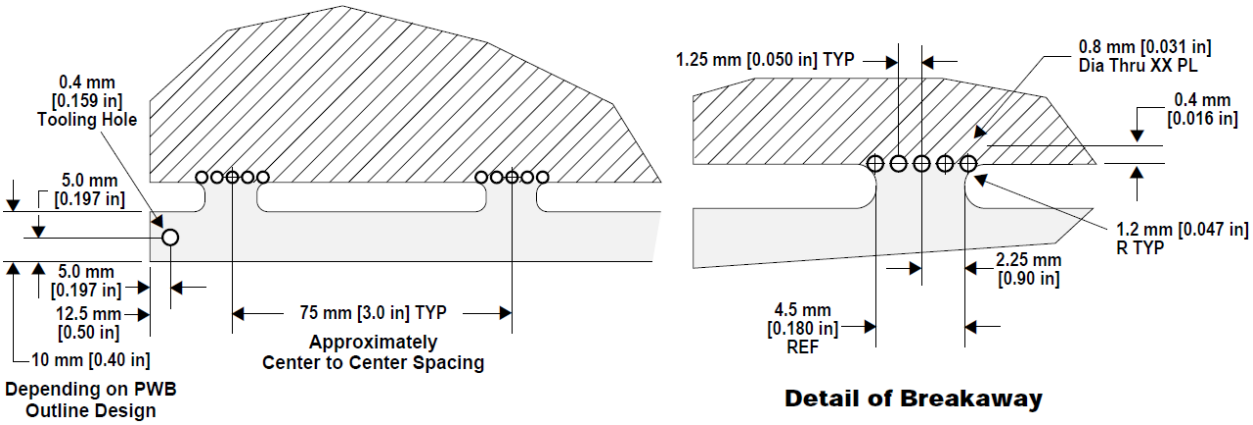


Рис. Г.173 [145]

В варианте «П1» (рис. Г.174) в сетке 0,1 мм нарисованы полуокружности радиусом 1 мм и добавлены отверстия так, чтобы они располагались на перемычках, но впритык к контуру ПП. Затем объекты каждой перемычки объединены в группы командой **ПКМ ⇒ Unions ⇒ Create Union from selected objects**.

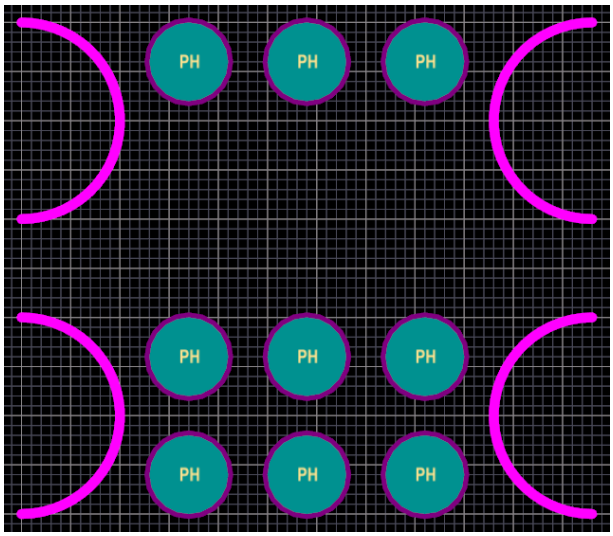


Рис. Г.174

Примечания:

– на рисунке добавлены неметаллизированные отверстия диаметром 0,8 мм с настройками окна свойств КП, указанными в Г.19. Дополнительно в поле Designator для них записано значение PH (perforation hole);

– радиус обусловлен выбранным ранее диаметром фрезы;

– можно нарисовать одну полуокружность и добавить одно отверстие, а все остальное получить копированием с указанием базовой точки, относительно которой оно производится;

– для создания полуокружности оптимальной командой в данном случае является Place ⇒ Arc (Edge) или последовательное нажатие клавиш A ⇒ E. Порядок действий показан на рис. Г.175.

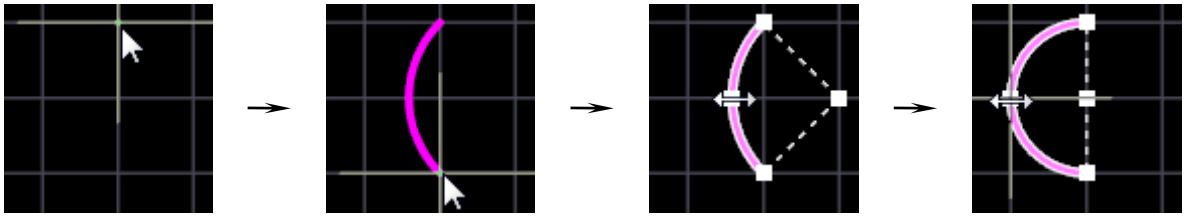


Рис. Г.175

5.3. Перейти в сетку **0,5** или **1** мм (в зависимости от кратности габаритных размеров ПП).

5.4. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ L** (создание линии) обрисовать контуры ПП с шириной линии 0,4 мм.

Примечания:

– ширина выбрана равной 0,4 мм, чтобы отличить нарисованную линию от существующей на ПП;

– контур ПП можно скопировать из файла трассировки, выбрав в нем текущим слой M1 Board и выполнив команду Edit ⇒ Select ⇒ All on Layer (особенно это актуально при сложном контуре).

5.5. Расставить перемычки:

– с двумя рядами перфорации – в зазорах между ПП;

– с одним рядом перфорации – в зазорах между технологическими полями и контурами ПП, при этом отверстия должны располагаться со стороны последних.

При расстановке перемычек кроме размеров с рис. Г.173 зачастую действует следующее правило в зависимости от длины стороны ПП:

– до 50 мм – одна перемычка по центру;

– от 50 до 100 мм – две перемычки на расстоянии порядка 50 мм друг от друга;

– от 100 до 200 мм – одна перемычка в центре, и по одной на расстоянии порядка 20 мм от углов.

Примечание. Перемычки можно расставить вокруг одной ПП, а затем копировать их в другие места, выбирая в качестве базовых точек углы ПП.

5.6. Задать область срабатывания привязки к характерным точкам **1** мм (поле **Range** в п. 2 из Г.36).

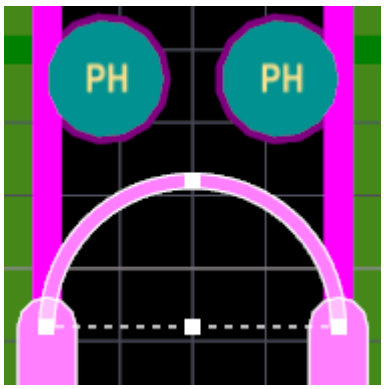


Рис. Г.176

5.7. Командой разделения линий и трасс (см. Г.41) разорвать линии контуров ПП в местах расположения перемычек, после чего довести их вершины до соответствующих полуокружностей.

Фрагмент перемычки в зазоре между ПП в варианте «П1» показан на рис. Г.176.

5.8. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ L** (создание линии) с шириной линии 0,4 мм в режиме **Line 90** со скруглением (см. рис. Г.56) соединить свободные вершины полуокружностей.

Если ПП имеет области с отклонением от прямоугольника, описанного вокруг нее, с размером по одной из оси более 20 мм, то части заготовки должны их закрывать (рис. Г.177).

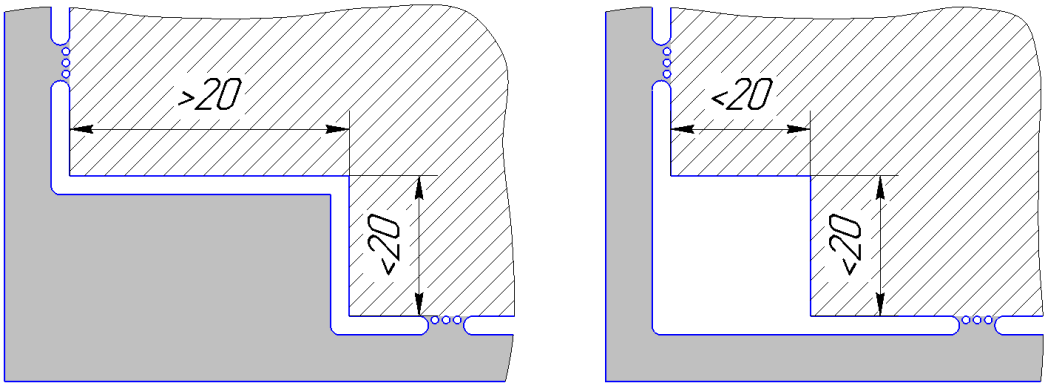


Рис. Г.177

5.9. Задать область срабатывания привязки к характерным точкам **0.25** мм (поле **Range** в п. 2 из Г.36) и отключить привязки.

5.10. Отредактировать автоматически созданные в п. 5.8 скругления, сделав радиус равным 1 мм, для чего зажатой ЛКМ потянуть за их крайние характерные точки (рис. Г.178).

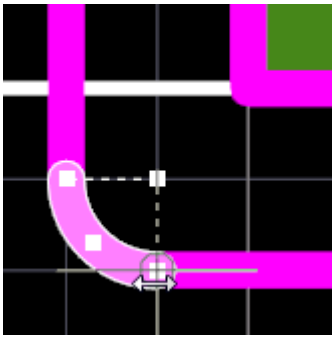


Рис. Г.178

После этого желательно проверить, что в заготовке не осталось скруглений с другими радиусами. Для этого на любой дуге запустить команду **ПКМ ⇒ Find Similar Objects** (см. Г.6), в открывшемся окне напротив поля **Radius** выбрать опцию **Different** и с включенной опцией **Zoom Matching** нажать кнопку **Apply**.

5.11. Превратить контуры фрезерованных канавок в прорези, выполнив для каждого нарисованного контура следующие действия:

– выделить любой элемент контура;

– нажать клавишу **Tab** (в результате выделится весь контур);

– последовательно нажать клавиши **T ⇒ V ⇒ B** или выполнить команду **Tools ⇒ Convert ⇒ Create Board Cutout from Selected Primitives**.

6. Сделать одинаковыми ширины линий и дуг в слое **M1 Board**, а также добавить внешний контур групповой заготовки.

Для этого запустить команду **Design ⇒ Board Shape ⇒ Create Primitives From Board Shape**, в появившемся окне задать настройки как на рис. Г.118 и применить изменения.

7. Сохранить изменения (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. Г.179, а вариант для сравнения – на рис. А.1.

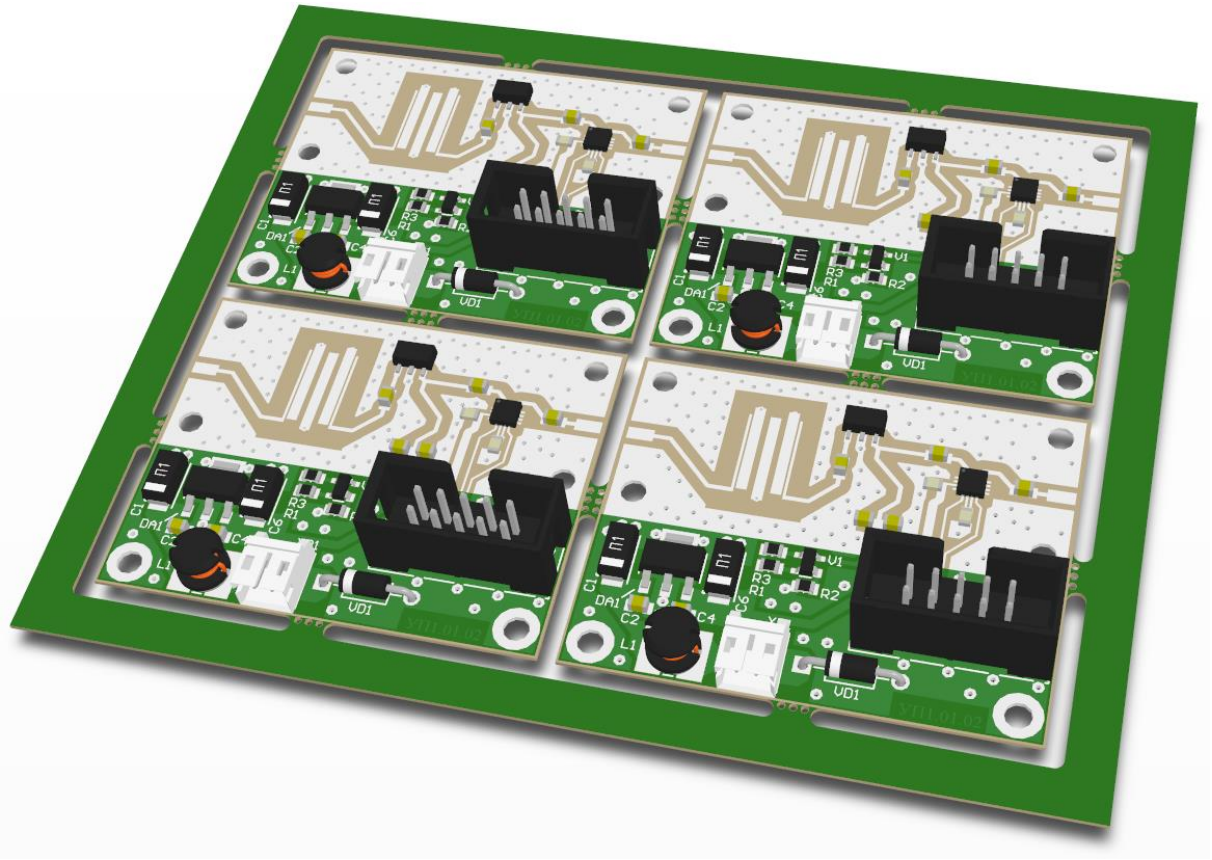


Рис. Г.179

Примечания:

– если защитная паяльная маска на КП отображается некорректно, то следует уменьшить ее толщину до 0,01 мм в стеке ПП (см. п. 5 из 12.1);

– панель можно сохранить в форматах Gerber и Excellon (см. прил. Л), но с редактированием файла с расширением «.gm1»: файл открывается в Altium Designer, запускается команда Edit ⇒ Cut (комбинация клавиш Ctrl+X), в рабочем поле выделением справа налево последовательно выделяются объекты, пересекающие все перемычки (зажимать клавишу Shift не нужно), и нажимается ПКМ. Затем изменения соханяются командой File ⇒ Export ⇒ Gerber: проверка настроек, OK, проверка пути сохранения, OK. После этого вкладка с файлом закрывается без сохранения измнений.

Г.48. Обычный многолистовой проект

При увеличении количества используемых в устройстве компонентов возникает задача размещения их на схеме Э3. Она может быть решена несколькими способами:

– увеличением формата листа, что не совсем удобно, так как листы форматов более А3 занимают много места на столе, да и не везде есть плоттер;

– размещением компонентов на нескольких листах, т. е. использованием многолистового проекта (см. Г.27).

Особенности обычного многолистового проекта:

1. Каждый лист представляет собой отдельный схемный документ, который добавляется к проекту по п. 2 из 8.2 и сохраняется по п. 3 из 8.2.

На каждом листе схемы рекомендуется размещать компоненты, относящиеся к какой-нибудь функциональной группе (или группам), в соответствии с чем и присваивать им наименования. Например, на рис. Г.180 показана структура проекта с двумя листами для условного варианта с обозначением «П2»:

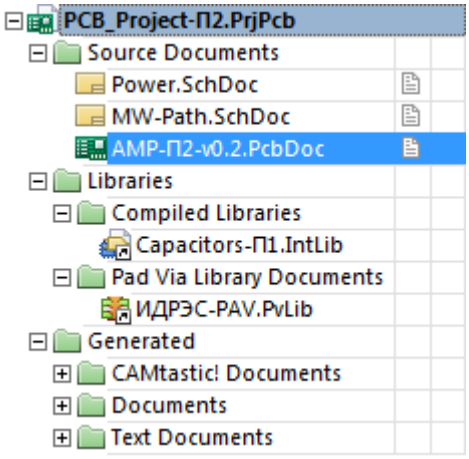


Рис. Г.180

– Power.SchDoc – лист с компонентами, обеспечивающими формирование требуемых уровней напряжений;

– MW-Path.SchDoc – лист с компонентами СВЧ-тракта.

2. Подключение рамок и заполнение полей осуществляется отдельно для каждого листа (см. пп. 3 и 4 из 3.2.3).

Примечания:

– в папке …\ИДРЭС\AD рамки (см. рис. 2.9) для второго и последующих листов предназначены следующие рамки: для формата А4 – А4-2-ИДРЭС-AD.SchDot, для формата А3 – А3-2-ИДРЭС-AD.SchDot;

– для подключения одной рамки сразу к нескольким листам следует их открыть (при этом все остальные листы должны быть закрытыми), после чего при загрузке рамки в появляющемся окне Update Template выбрать опцию All open schematic documents (ко всем открытым документам схем);

– для заполнения граф 2, 7 и 8 в основных надписях листов рекомендуется пользоваться информацией пп. 5 и 6 из 8.2. В окне Sheet Numbering (см. рис. 8.5) листы автоматически выстраиваются в порядке расположения их в структуре проекта, что можно поменять в панели Projects перетаскиванием файлов схем зажатой ЛКМ.

3. Оформление разрывов линий электрической связи осуществляется в соответствии с пп. 2.6 и 2.7 из 8.1 и для многолистовой схемы из варианта «П2» показано на рис. Г.181.

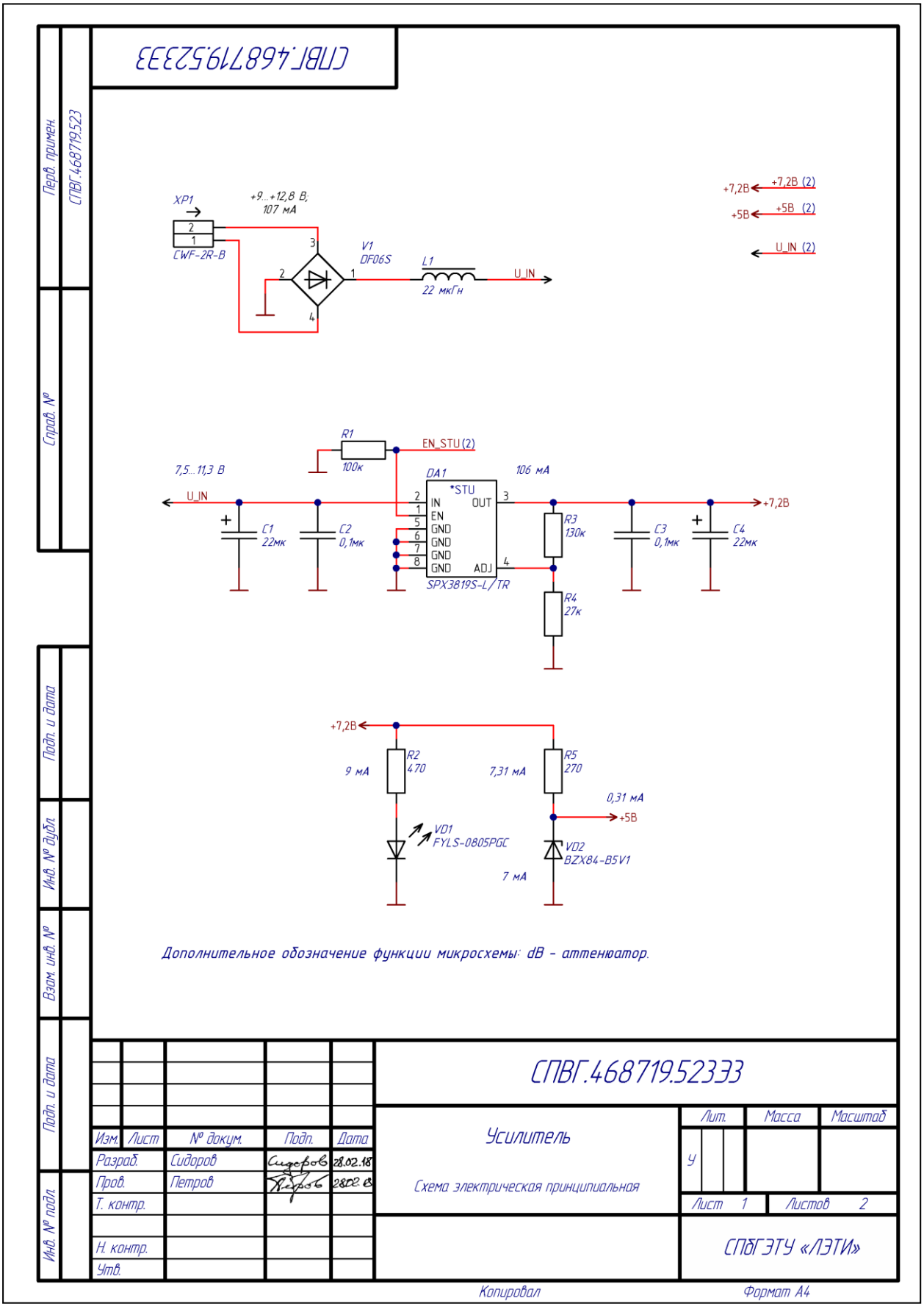


Рис. Г.181 Начало (окончание см. на с. 909)

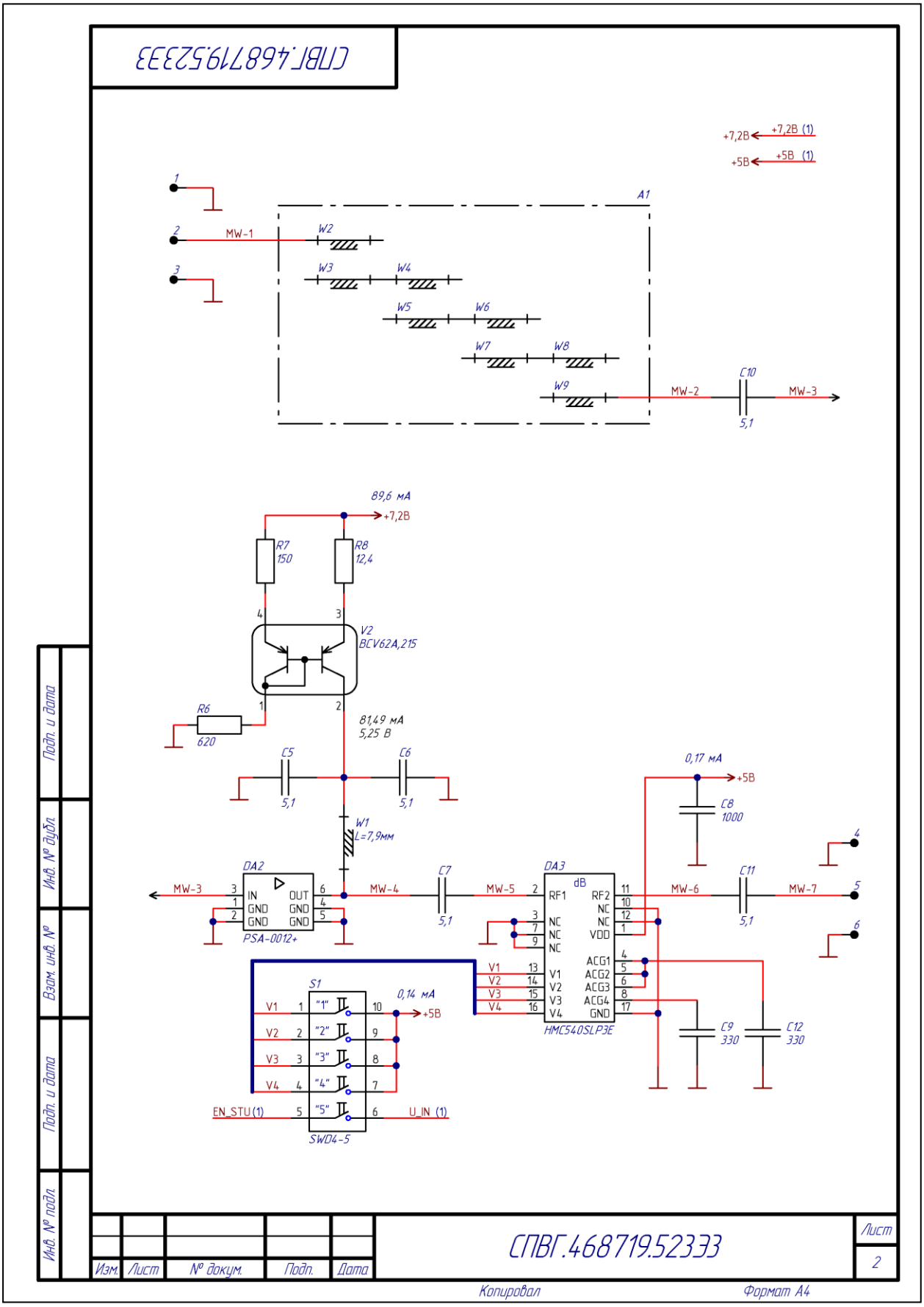


Рис. Г.181 Окончание (начало см. на с. 908)

Особенности схемы с приведенного рисунка:

3.1. Для цепи **GND** используется идентификатор **Power Port** со стилем GOST Bar (см. п. 1.2 из Г.27) без обозначения перехода между листами.

3.2. Для цепей питания с числовыми значениями напряжений (цепи **+5В** и **+7,2В**) использованы идентификаторы **Power Port** со стилем GOST Arrow.

Так как данные цепи переходят с листа на лист, то для выполнения п. 2.6 из 8.1 в верхней части каждого листа для каждой цепи добавлен небольшой отрезок линии электрической связи. Слева к нему подключен соответствующий идентификатор Power Port, а справа – идентификатор Net Label (см. п. 1.1 из Г.27), рядом с которым вручную размещена текстовая надпись с указанием в скобках номера листа с продолжением цепи.

Примечания:

– описанный способ позволяет сразу же увидеть все напряжения, приходящие или уходящие с текущего листа;

– для данной группы цепей можно использовать варианты оформления из п. 3.3, т. е. с использованием идентификаторов Net Label и стрелок (при необходимости) вместо идентификаторов Power Port.

3.3. Для всех остальных цепей, выполненных с разрывами и не относящихся к указанным в пп. 3.1 и 3.2, использованы идентификаторы Net Label со следующими вариантами оформления:

3.3.1. Если цепь существует только на одном листе (цепь **MW-3** на втором листе), то к местам разрывов добавляется стрелка (компонент **Arrow** из библиотеки **Symbol**).

Примечание. Наличие подключенных стрелок препятствует использованию варианта эквивалентной замены выводов по п. 4.2 из Г.45. Если при создании схемы предполагается использование такой замены (например, при наличии микроконтроллера), то стрелки расставляются уже после разработки ПП.

3.3.2. Если цепь переходит на другой лист, но при этом на данном листе в ней нет разрывов (цепь **EN_STU** на первом листе и цепи **EN_STU** и **U_IN** на втором листе), то после идентификатора вручную размещается текстовая надпись по аналогии с п. 3.2.

Примечание. Цепь EN_STU используется для управления микросхемой стабилизатора DA1 через пятый коммутатор переключателя S1: при замыкании коммутатора на вход EN подается напряжение с цепи U_IN (происходит включение микросхемы), при размыкании коммутатора вход EN через

подтягивающий к земле резистор R1 подключается к нулю (происходит выключение микросхемы). При разомкнутом коммутаторе и без резистора R1 вход EN будет в неопределенном состоянии, что может привести к самопроизвольному включению или отключению микросхемы. Номинал резистора выбирается таким, чтобы протекающий через него ток был мал (например, при напряжении в цепи U_IN, равном +7,5 В, ток составит 75 мкА).

3.3.3. Если цепь переходит на другой лист, но при этом на данном листе в ней есть разрывы (цепь **U_IN** на первом листе), то у мест разрывов ставятся стрелки по п. 3.3.1, а переход на другой лист оформляется по аналогии с п. 3.2 (при этом вместо идентификатора Power Port используется стрелка).

3.3.4. Группу цепей обычно одного функционального назначения (цепи **V1**–**V4** на втором листе) в соответствии с п. 2.3 из 8.1 можно объединить в линию групповой связи. Так получается нагляднее, чем с использованием стрелок (рис. Г.182, *а*), в особенности если места подключения находятся в разных местах схемы. Сама же схема воспринимается легче, чем вообще без использования разрывов (рис. Г.182, *б*).

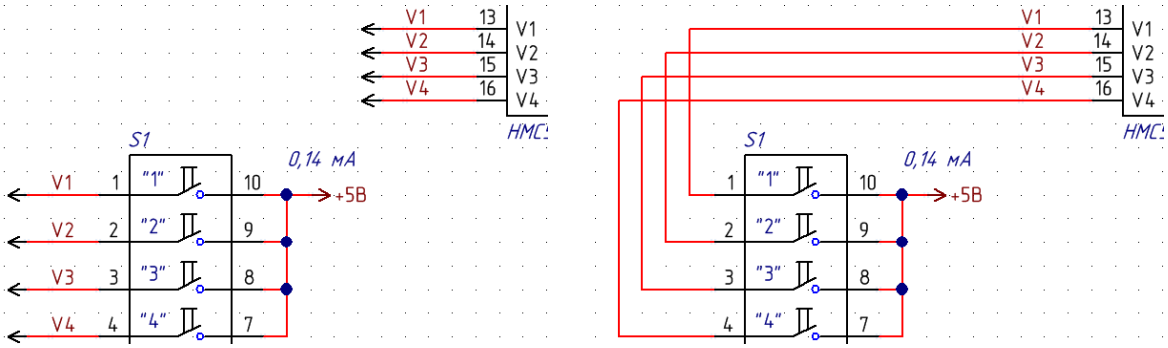


Рис. Г.182

Примечания:

– линия групповой связи создается командой Place ⇒ Bus (последовательное нажатие клавиш P ⇒ B) и в данном проекте используется только как графический объект;

– линия групповой связи не препятствует использованию варианта эквивалентной замены выводов по п. 4.2 из Г.45;

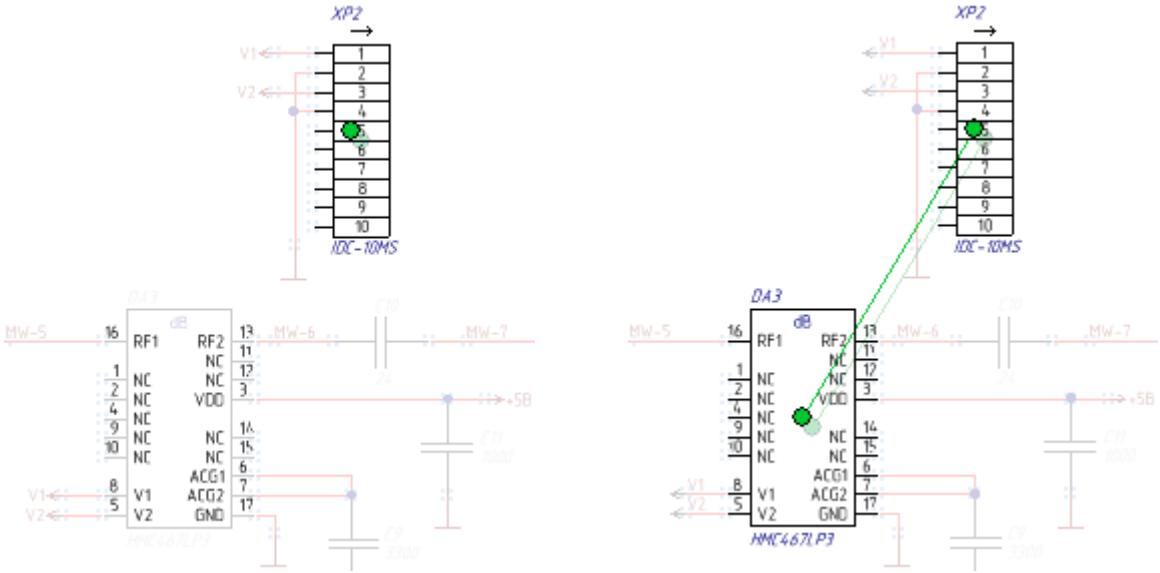
– число разветвлений каждой линии электрической связи, при их наличии в линии групповой связи, указывается текстовой надписью после соответствующего идентификатора Net Label (см. рис. 8.1);

– если группа цепей переходит на другой лист, то их также можно объединить в линию групповой связи. Последняя обрывается за пределами

изображения схемы без стрелки, а у этого места добавляется текстовая надпись с названием такой линии и указанием в скобках номера листа (или номеров листов через запятую) с ее продолжением. Например, BUS_CTL(1).

3.4. Применение идентификаторов Net Label позволяет кроме получения возможности использования варианта эквивалентной замены выводов по п. 4.2 из Г.45 также лучше использовать панель Navigator (см. Г.13) для просмотра компонентов на текущем листе, связанных с выбранным.

Например, в варианте «П1» на рис. 8.66 разъем *XP2* связан с микросхемой *DA3* цепями V1 и V2, при этом разрывы оформлены идентификаторами Power Port. Если в панели Navigator с включенной опцией Connective Graph (см. п. 6 из Г.13) выбрать разъем *XP2*, то в рабочем поле соединяющих линий до других компонентов не появится (рис. Г.183, *а*). С включенной опцией Include Power Parts соединяющие линии будут проведены ко всем компонентам, имеющим подключение к цепям GND, V1 и V2. Однако если оформить цепи управления по п. 3.3.1, то при выборе разъема *XP2* с выключенной опцией Include Power Parts будет проведена соединяющая линия к микросхеме *DA3* (рис. Г.183, *б*).



а *б*

Рис. Г.183

4. Перечень элементов для подобных схем является общим (см. п. 3.8 из 8.1). Результат в варианте «П2» показан на рис. Г.184.

5. Процесс добавления посадочных мест со связями на ПП со всех листов схемы Э3 осуществляется по п. 6 из 12.3 после открытия любого листа.

Результаты трассировки ПП «усилителя» в варианте «П2» показаны на следующих рисунках:

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	Конденсаторы		
C1	293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 % 10 В Case C	1	Vishay
C2	GRM31C5C1H104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 50 В C0G 1206	1	Murata
C3	GRM21B7U1A104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 10 В U2J 0805	1	Murata
C4	293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 % 10 В Case C	1	Vishay
C5–C7	600S5R1DT250XT 5,1 пФ ±0,5 пФ 250 В C0G 0603	3	ATC
C8	GRM2165C2A102JA01D 1000 пФ ±5 % 100 В C0G 0805	1	Murata
C9	GRM1885C1H331JA01D 330 пФ ±5 % 50 В C0G 0603	1	Murata
C10, C11	600S5R1DT250XT 5,1 пФ ±0,5 пФ 250 В C0G 0603	2	ATC
C12	GRM1885C1H331JA01D 330 пФ ±5 % 50 В C0G 0603	1	Murata
DA1	Стабилизатор напряжения SPX3819S-L/TR	1	MaxLinear
DA2	Усилитель PSA-0012+	1	Mini-Circuits
DA3	Аттенюатор HMC540SLP3E	1	Analog Devices
L1	Дроссель SDR0604-220YL 22 мкГн ±15 % 1,1 А	1	Bourns
	Резисторы		
R1	RC0603JR-07100KL 100 кОм ±5 % 0603 0,1 Вт	1	Yageo
R2	RC0805JR-0747ORL 4,70 Ом ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo
R3	RC0805JR-07130KL 130 кОм ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo
R4	RC0805JR-0727KL 27 кОм ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo
R5	RC0805JR-07270RL 270 Ом ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo
R6	RC0805JR-07620RL 620 Ом ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo
R7	RC0805JR-07150RL 150 Ом ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo

Перв. примен. СПВГ.468719.523

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Сидоров	Сидоров	28.02.18
Пров.		Петров	Петров	28.02.18
Н. контр.				
Утв.				

СПВГ.468719.523ПЭ3

Усилитель

Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
У	1	2

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Копировал

Формат А4

Рис. Г.184 Начало (окончание см. на с. 914)

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
R8	Резистор RC0805FR-0712R4L 12,4 Ом ±1 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo
S1	Переключатель SWD4-5	1	Connfly
V1	Диодный мост DF06S	1	ON Semiconductor
V2	Сборка транзисторная BCV62A,215	1	Nexperia
VD1	Светодиод FYLS-0805PGC, чистый зеленый	1	Foyard Optoelectronics
VD2	Стабилитрон BZX84-B5V1	1	Nexperia
W1		1	Линия СВЧ
XP1	Вилка угловая CWF-2R-B	1	Connfly, 2 конт.
A1	Фильтр полосовой	1	
W2-W9		8	Линия СВЧ

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	СПВГ.468719.523ПЭ3	Лист 2

Копировал Формат А4

Рис. Г.184 Окончание (начало см. на с. 913)

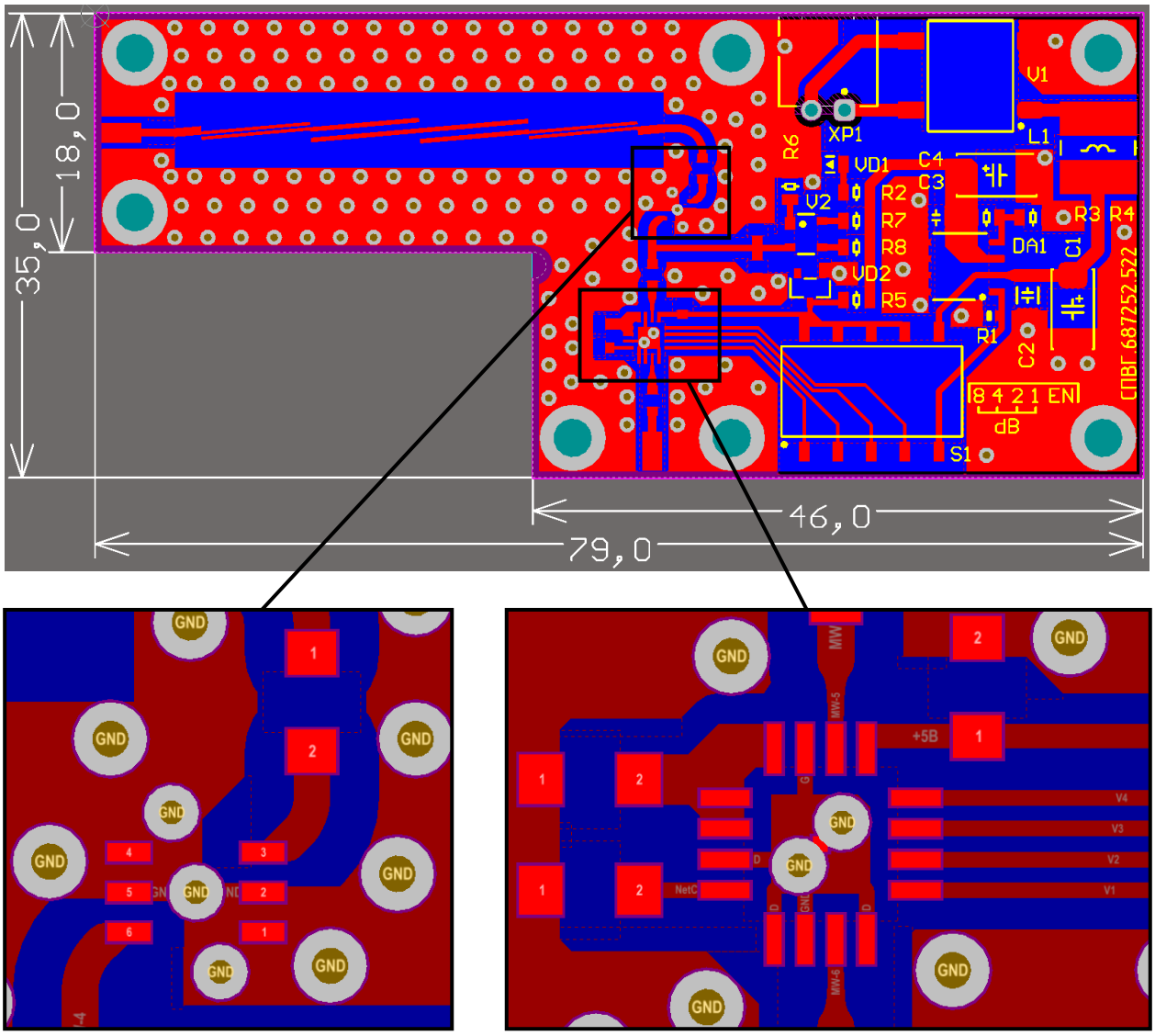


Рис. Г.185

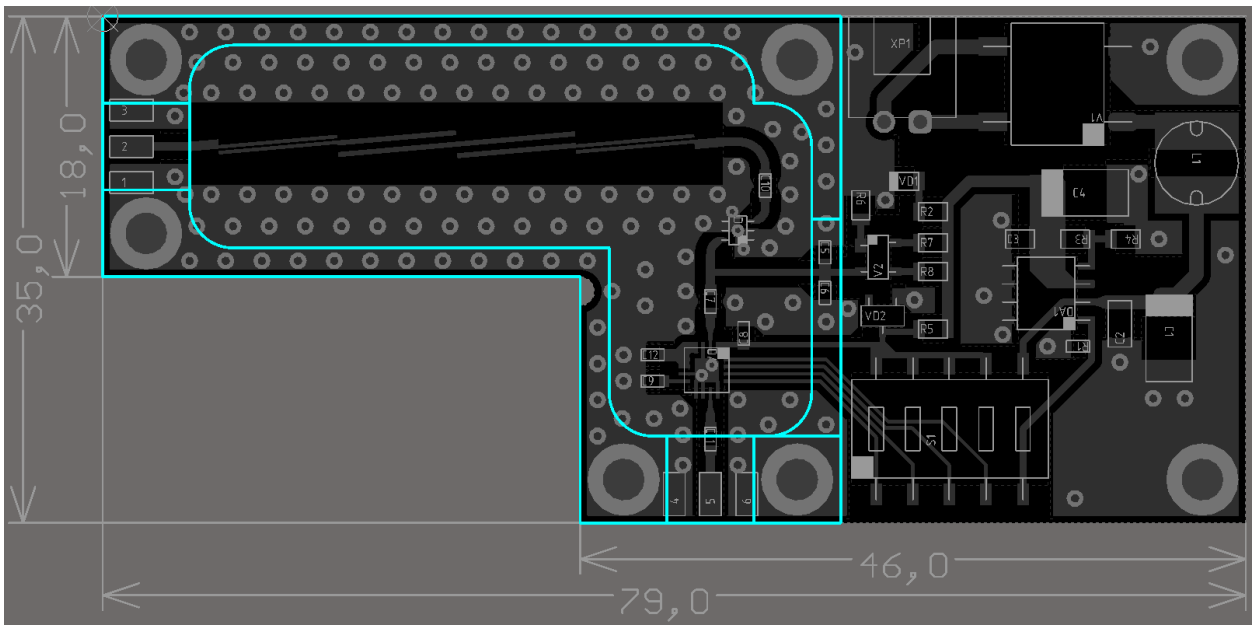


Рис. Г.186

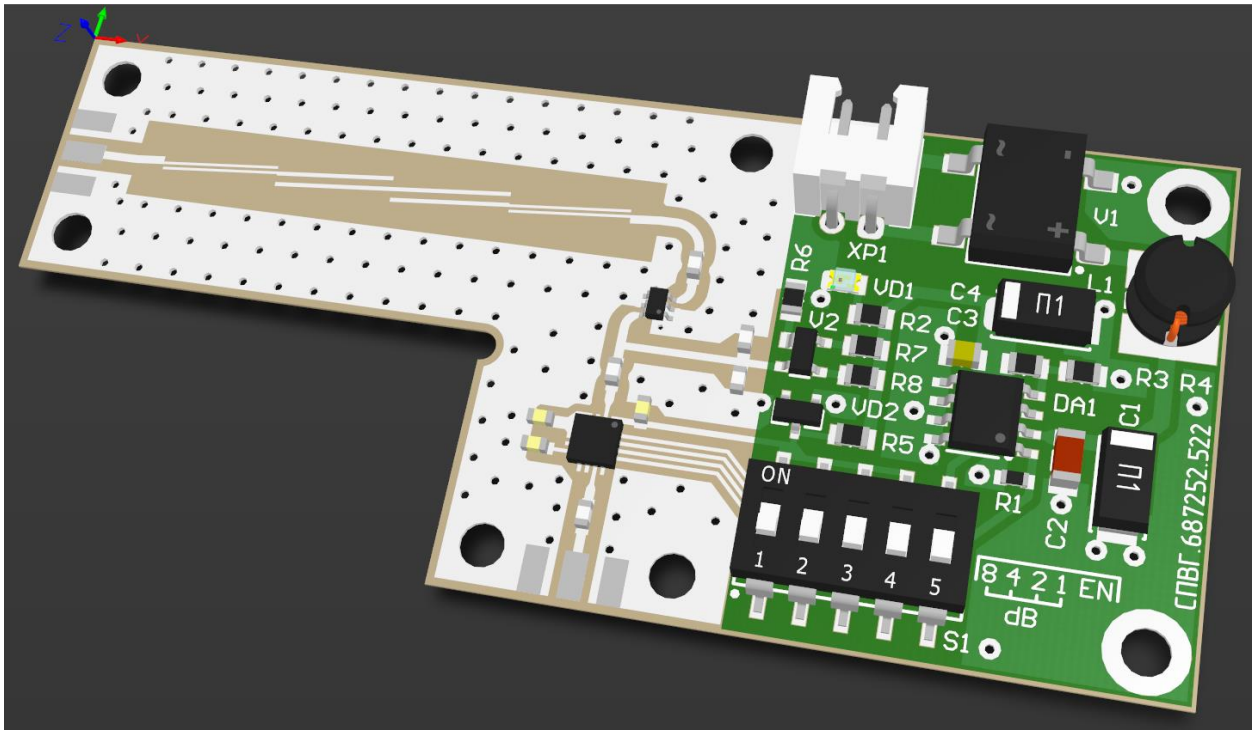


Рис. Г.187

– на рис. Г.185 и Г.186 – 2D-режимы просмотра с наборами слоев **All** и **Shield** соответственно (текущие слои – **Top Layer** и **M7 Shield**);

– на рис. Г.187 – 3D-режим просмотра.

Примечания:

– области увеличения на рис. Г.185 получены после применения в панели PCB Filter запроса IsPad or IsVia в режиме Dim (см. п. 3 из Г.12);

– рис. Г.186 получен после расположения объектов с механических слоев (Mechanical Layers) над объектами с сигнальных слоев (Signal Layers) в окне Layer Drawing Order (см. п. 6 из Г.38);

– внутренний угол ПП оформлен по примечанию к п. 24 из 12.5;

– обозначение ПП расположено в слое шелкографии;

– справа от переключателя S1 в слое шелкографии добавлена справочная информация с назначением каждого коммутатора из его состава;

– полоса пропускания ПФ – от 5,5 до 5,7 ГГц;

– материал ПП – RF-35-0,254-18/18 фирмы Taconic (см. табл. Б.2).

На рис. Г.188 показан внешний вид макета ПП для варианта «П2». Он был бесплатно изготовлен по акции в Китае на диэлектрике KB-6165F (см. табл. Б.3). Финишная толщина ПП составила 1 мм, финишная толщина меди (с учетом гальванической меди) – 35 мкм. Финишное покрытие – HASL.

Примечание. Для СВЧ-структур (например, фильтры) материал FR-4 не подходит, так как обладает большими потерями и заметным снижением

относительной диэлектрической проницаемости с ростом частоты, а ее значения разнятся в зависимости от производителя. Однако при использовании устройства в узком диапазоне частот можно попробовать заранее произвести соответствующие измерения для листа материала, на котором впоследствии будет изготавливаться ПП.

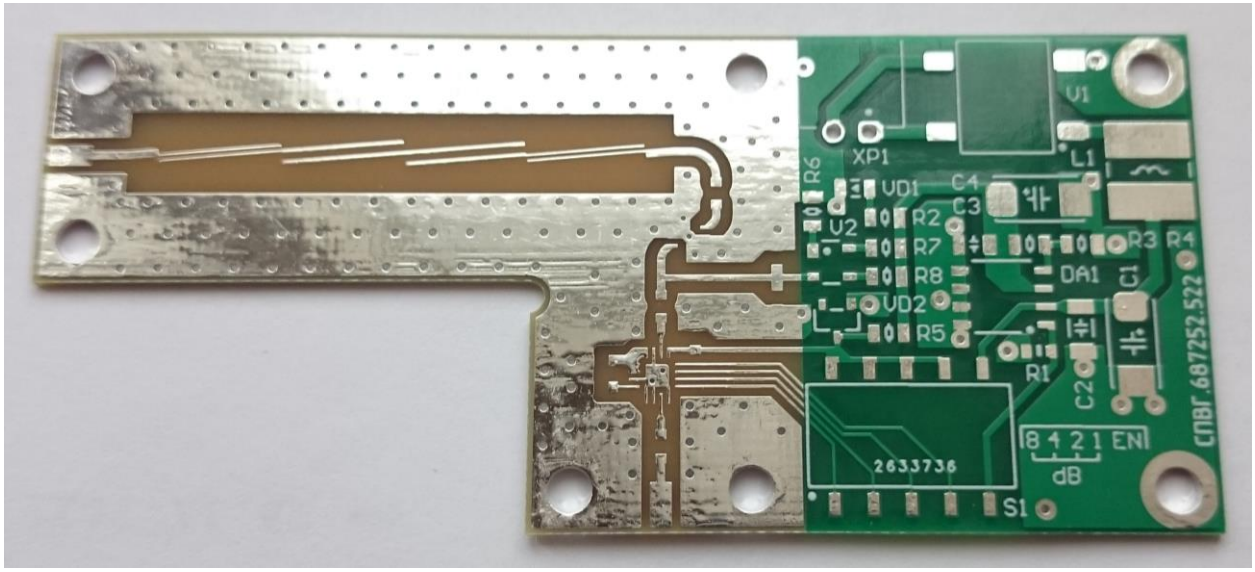


Рис. Г.188

Данный макет ПП не подходит для работы (толщина и относительная диэлектрическая проницаемость не соответствуют расчетным значениям), однако он позволяет убедиться в универсальности форматов Gerber и Excellon (см. разд. Л): при соблюдении требований с сайтов конкретных производителей ПП проблем с пониманием данных форматов не возникает даже в других странах. Это касается и надписи на русском языке (в формате Gerber тексты представлены в виде линий и дуг).

Под переключателем S1 в слое шелкографии можно заметить номер, которого не было в файле трассировки ПП. Если говорить о производстве в Китае, то он используется для идентификации заказов. Фирмы могут предложить отказаться от него за дополнительную плату или выбрать расположение самостоятельно (например, под корпусом компонента). Наши производители его не ставят, но и ПП получаются в разы дороже.

Г.49. Обновление компонентов

В процессе проектирования в уже разработанных библиотечных компонентах могут произойти изменения (например, добавлены параметры или обновлены старые, исправлены функциональные назначения выводов в УГО, скорректирована информация в слоях посадочного места), для переноса ко-

торых в ранее разработанные документы схем и печатных плат предусмотрены следующие возможности:

1. Обновление схемных документов:

1.1. Применение изменений непосредственно из библиотеки УГО командой **ПКМ ⇒ Update Schematic Sheets**, выполненной на интересующем компоненте в панели **SCH Library**.

Пользоваться данным вариантом не рекомендуется, так как в этом случае происходит полное обновление компонента во всех открытых документах схем. При этом в свойствах компонента ссылка на исходную библиотеку заменяется ссылкой на библиотеку, из которой производился запуск команды, что неприемлемо при работе с интегрированной библиотекой или библиотекой в виде базы данных.

Примечание. Также для обновления открытого в редакторе компонента можно воспользоваться командой Tools ⇒ Update Schematics.

1.2. Применение изменений из документа схемы командой **Tools ⇒ Update From Libraries** со следующими возможностями настройки результата обновления на двух страницах окна Update From Library (на рис. Г.189 приведен вид окна для проекта из Г.48):

1.2.1. В группе **Schematic Sheet** (рис. Г.189) отмечаются листы, на которых требуется обновить компоненты.

В списке может быть как один лист (если команда запущена для свободного документа или листа схемы однолистового проекта), так и несколько листов (все листы многолистового проекта без необходимости их предварительного открытия в рабочем поле редактора).

Примечание. В зависимости от количества выбранных листов меняется информация в группе Component Types (см. п. 1.2.5).

1.2.2. Вариант **Fully replace symbols on sheet with those from library** из группы **Settings** (рис. Г.189) – полная замена компонентов компонентами из библиотеки со следующими настройками:

– **Update designator lock field** и **Update part ID lock field** – обновление настроек блокировки (опции Locked в свойствах компонентов) параметров Designator и номера части составного УГО соответственно (в текущей версии программы при отключенных опциях все равно происходит обновление);

– **Preserve Parameter locations** и **Preserve Parameter Visibility** – сохранение заданных в схеме настроек размещения и видимости параметров соответственно.

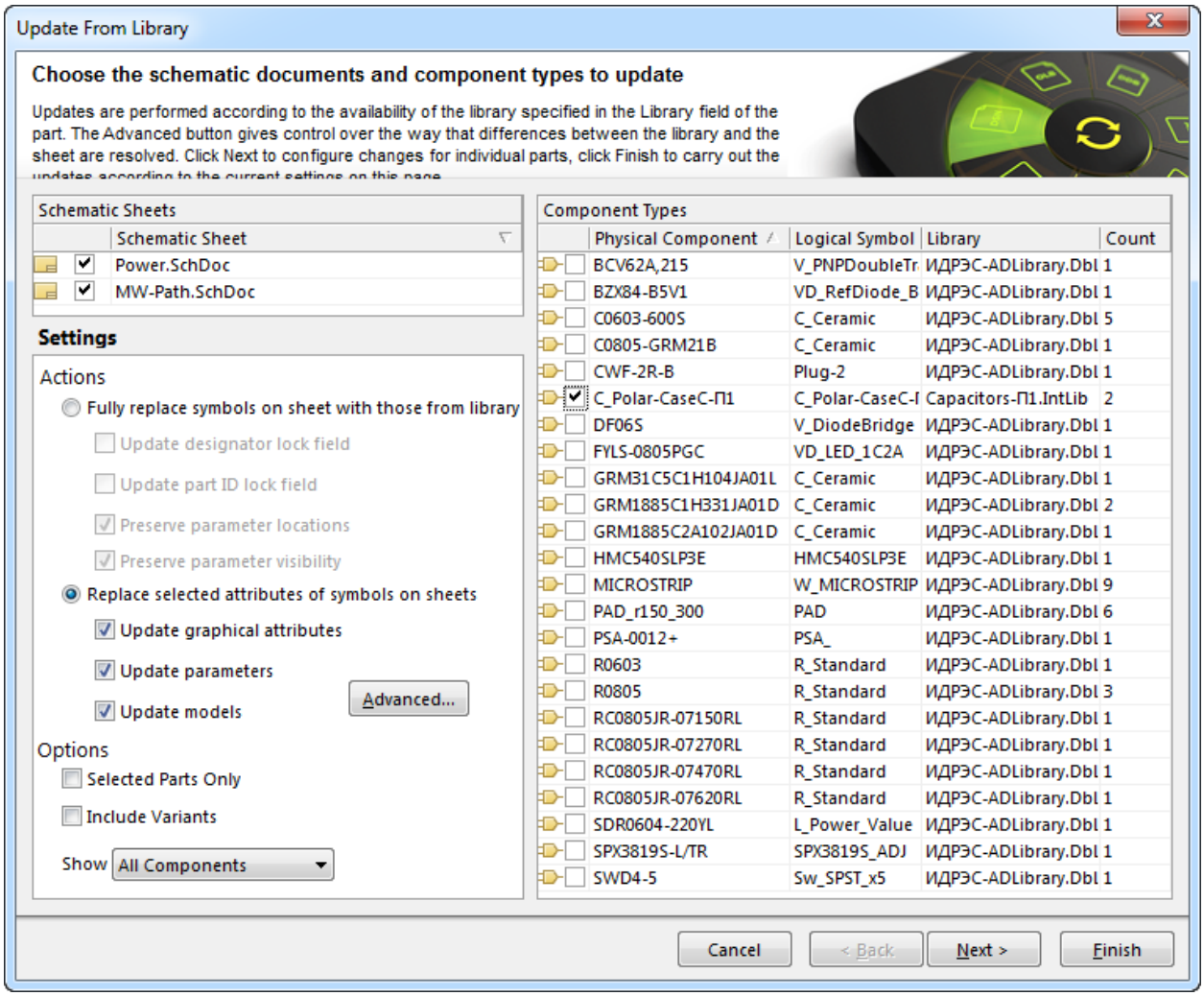


Рис. Г.189

1.2.3. Вариант **Replace selected attributes of symbols on sheets** из группы **Settings** (рис. Г.189) – детальная замена выбранных параметров компонентов на листах со следующими настройками:

– **Update graphical attributes** – обновление графики;

– **Update parameters** – обновление параметров;

– **Update models** – обновление ссылок на посадочные места и другие модели.

С двумя последними вариантами становится доступна кнопка **Advanced**, с помощью которой открывается окно Library Update Settings (рис. Г.190) с возможностью дополнительных настроек для обновления параметров, посадочных мест и других моделей.

Группа **Parameter Settings**:

– **Library parameters not in sheet** (параметры, отсутствующие на листе, но присутствующие в библиотеке): Add (добавить), Do not add (не добавить), Add if not blank (добавить, если параметр не пустой);

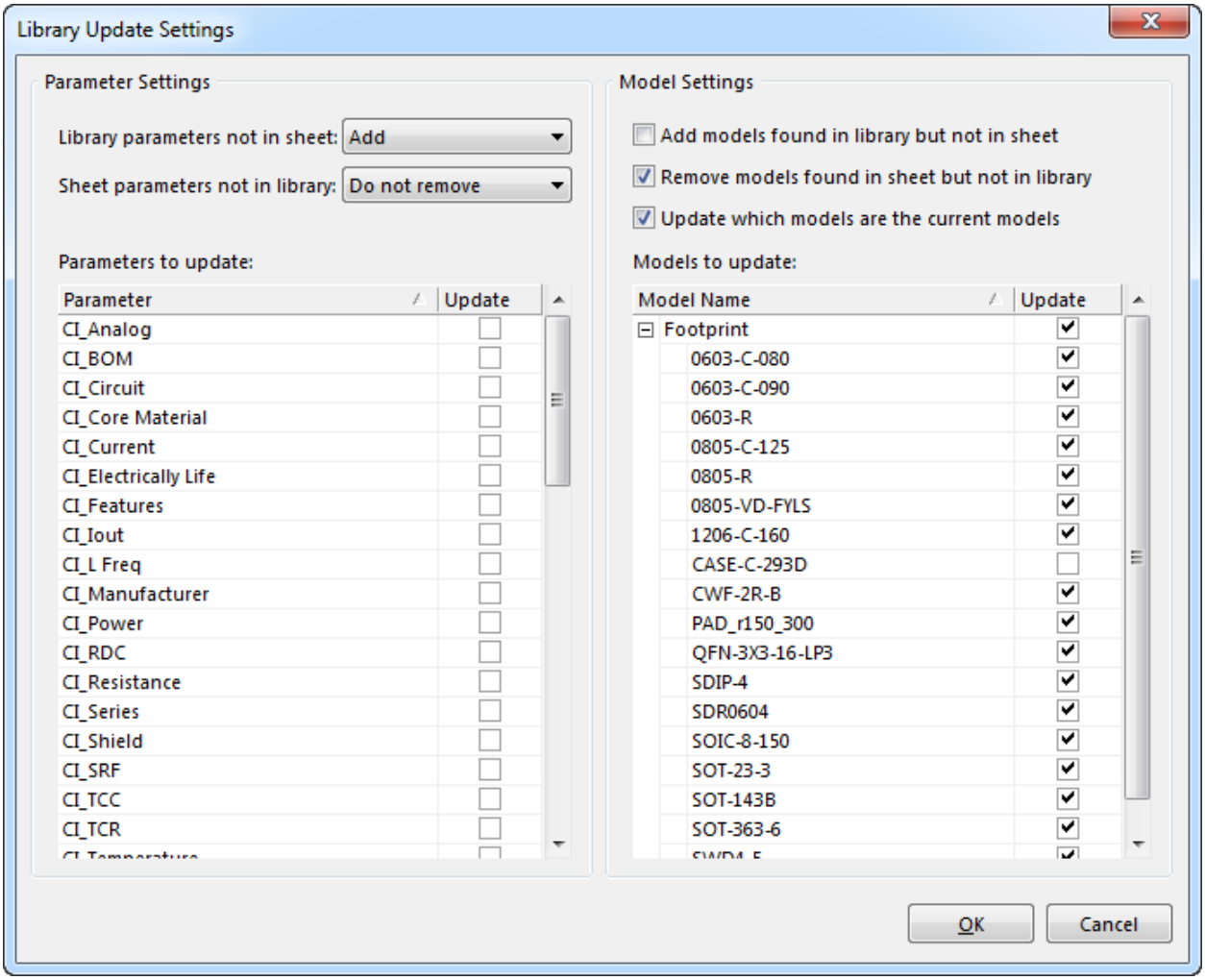


Рис. Г.190

– **Sheet parameters not in library** (параметры, присутствующие на листе, но отсутствующие в библиотеке): Remove (удалить), Do not remove (не удалять), Remove if not blank (удалить, если параметр пустой);

– **Parameters to update** – список параметров, которые можно включить для выполнения обновления (устанавливается галочка в столбце Update).

Примечание. На второй странице окна Update From Library можно детально настроить обновление каждого параметра в каждом компоненте выбранного типа.

Группа **Model Settings**:

– **Add models found in library but not in sheet** – добавить модели, присутствующие в библиотеке, но отсутствующие на листе;

– **Remove models found in sheet but not in library** – удалить модели, присутствующие на листе, но отсутствующие в библиотеке;

– **Update which models are the current models** – обновить текущие модели у размещенных на схеме компонентов (то есть в УГО компонента будет

установлена связь с теми моделями, которые были установлены по умолчанию в библиотеке);

– **Models to update** – список моделей, сгруппированных по типу, которые можно включить для выполнения обновления (устанавливается галочка в столбце Update).

1.2.4. Опции из группы **Settings** (см. рис. Г.189):

– **Selected Parts Only** – обновление только предварительно выделенных на схеме компонентов;

– **Include Variants** – включить в обновление исполнения;

– **Show** (показать): All Components (все компоненты), Database Components (только компоненты из библиотек в виде базы данных), Standard Components (только компоненты из интегрированных библиотек или библиотек с расширением «.SchLib»).

Примечание. Указанные опции влияют на информацию из группы Component Types (см. п. 1.2.5).

1.2.5. В группе **Component Types** (см. рис. Г.189) приводится информация для типов компонентов в соответствии с настройками пп. 1.2.1 и 1.2.4:

– Physical Component – название компонента;

– Logical Symbol – название УГО;

– Library – библиотека компонента;

– Count – количество.

Галочками в первом столбце отмечаются те типы компонентов, которые требуется обновить.

1.2.6. Кнопки **Next** и **Back** позволяют переходить между страницами окна Update From Library.

Примечание. Настройки на первой странице окна Update From Library сохраняются в проекте, а на второй странице – не сохраняются.

1.2.7. Кнопка **Finish** позволяет приступить к обновлению компонентов как с общими настройками с первой страницы окна Update From Library, так и с детальными настройками со второй страницы.

1.2.8. На второй странице окна Update From Library (рис. Г.191) приводится таблица со списком всех компонентов, включенных в процесс обновления, и следующими разделами:

– **Schematic Parts** – информация о размещенных на схеме компонентах (параметры Designator и Comment, названия компонентов и их УГО). Галочками в столбце Update выбираются компоненты, требующие обновления;

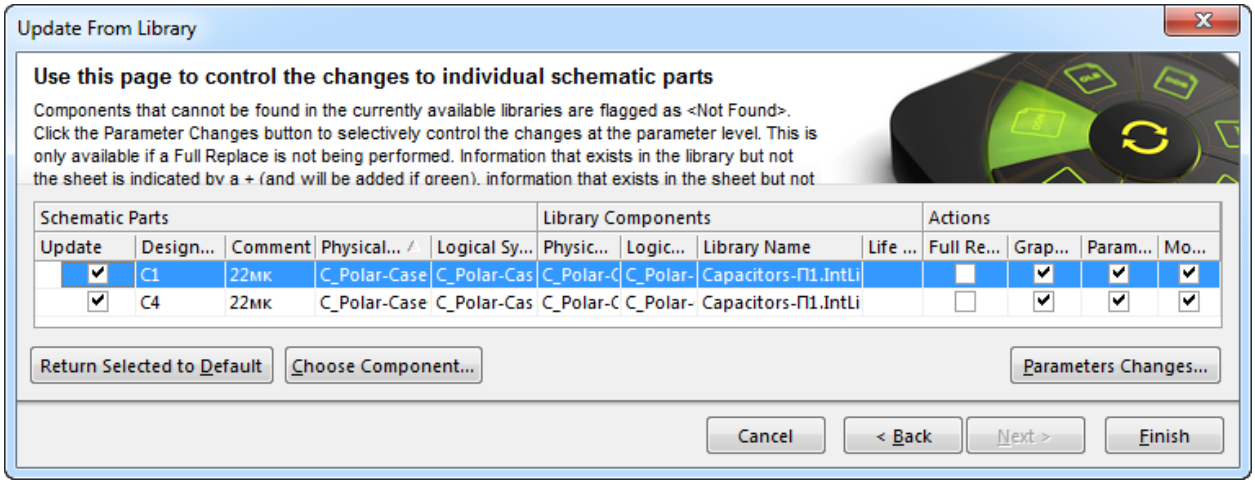


Рис. Г.191

– **Library Components** – информация о компонентах из библиотек, которые будут использоваться для обновления (названия компонентов, их УГО и библиотек);

– **Actions** – действия для обновления компонентов по настройкам, заданным в пп. 1.2.2 и 1.2.3. При необходимости их можно изменить: Full Replace (полное обновление компонентов), Graphical (обновление графики), Parameters (обновление параметров), Models (обновление ссылок на посадочные места и другие модели).

1.2.9. Кнопка **Choose Component** на рис. Г.191 позволяет для выбранного компонента указать компонент из произвольной библиотеки, которым он будет заменен.

1.2.10. Кнопка **Return Selected to Default** на рис. Г.191 позволяет для выбранного компонента сбросить настройки, сделанные в п. 1.2.9.

1.2.11. Кнопка **Parameters Changes** на рис. Г.191 доступна при наличии хотя бы одного компонента с установленной галочкой в столбце Parameters из раздела Actions и предназначена для открытия окна Select Parameter Changes, в котором будут перечислены все такие компоненты со всеми параметрами: как системными, так и пользовательскими (рис. Г.192).

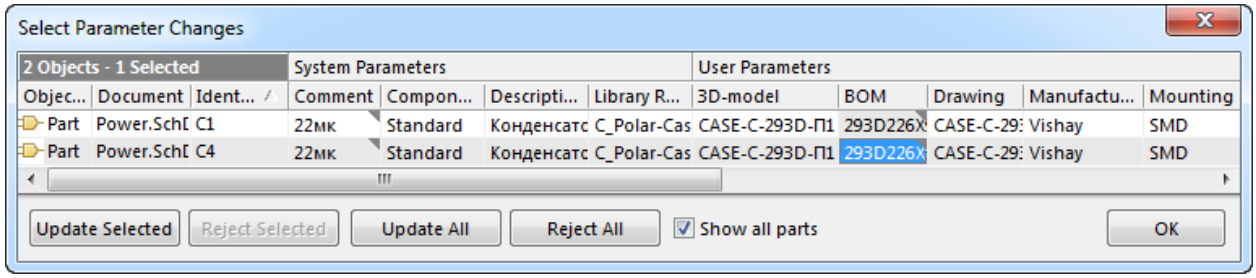
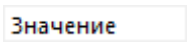


Рис. Г.192

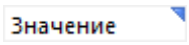
Варианты индикации ячеек с параметрами показаны на рис. Г.193.



Параметр есть у компонента в схеме и библиотеке и имеет одинаковое значение. Никаких изменений не произойдет

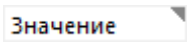
Параметр есть у компонента в схеме и библиотеке и имеет одинаковое пустое значение. Никаких изменений не произойдет

Параметр отсутствует у компонента в схеме и библиотеке. Никаких изменений не произойдет

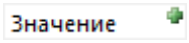


Параметр есть у компонента в схеме и библиотеке, но значение различается. Значение параметра будет взято из библиотеки

Параметр есть у компонента в схеме и библиотеке. В схеме ему присвоено какое-то значение, а в библиотеке – нет. В результате обновления значение параметра будет удалено



Параметр есть у компонента в схеме и библиотеке, но значение различается. Никаких изменений не произойдет



Параметр отсутствует у компонента в схеме, но есть в библиотеке (со значением). Будет добавлен параметр из библиотеки

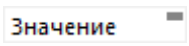


Параметр отсутствует у компонента в схеме, но есть в библиотеке (без значения). Будет добавлен параметр из библиотеки



Параметр отсутствует у компонента в схеме, но есть в библиотеке. Никаких изменений не произойдет

Параметр есть у компонента в схеме, но отсутствует в библиотеке. Данный параметр будет удален



Параметр есть у компонента в схеме, но отсутствует в библиотеке. Никаких изменений не произойдет

Рис. Г.193

Доступны следующие основные команды (как с помощью соответствующих кнопок в нижней части окна, так и из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ):

– **Reject Selected** и **Reject All** – отклонить обновление предварительно выбранного параметра или сразу всех параметров во всех компонентах соответственно;

– **Update Selected** и **Update All** – включить обновление предварительно выбранного параметра или сразу всех параметров во всех компонентах соответственно.

Примечание. Пример обновления только графики УГО в заготовках резисторов типоразмера 0805 на первом листе проекта из Г.48 с сохранением всех параметров, заданных в схеме:

– в библиотеке УГО в соответствии с ГОСТ 2.728–74 внутри УГО резистора добавляются две наклонные черточки, обозначающие номинальную рассеиваемую мощность 0,125 Вт (рис. Г.194);

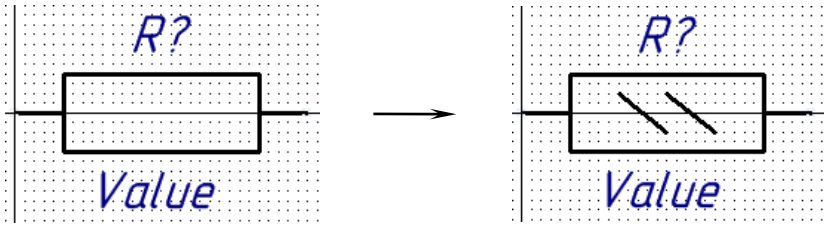


Рис. Г.194

– в схеме запускается команда из п. 1.2;

– выбирается только первый лист (см. п. 1.2.1);

– выбирается вариант обновления по п. 1.2.3, при этом включенной оставляется только опция для обновления графики;

– по п. 1.2.5 отмечается только тип компонента R0805;

– нажимается кнопка Next для просмотра обновляемых компонентов на второй странице окна Update From Library (рис. Г.195);

Schematic Parts					Library Components				Actions			
Upd...	Designa...	Comm...	Physical...	Logical ...	Physical C...	Logical S...	Library Name	Life Cy...	Full ...	Gra...	Para...	M...
☑	R3	130к	R0805	R_Standarc	R0805	R_Standarc	ИДРЭС-ADLibrary.DbLib/		☐	☑	☐	☐
☑	R4	27к	R0805	R_Standarc	R0805	R_Standarc	ИДРЭС-ADLibrary.DbLib/		☐	☑	☐	☐

Рис. Г.195

– нажимается кнопка Finish;

– в окне Engineering Change Order последовательно нажимаются кнопки Validate Changes, Execute Changes и Close.

Результат показан на рис. Г.196 (исходный вариант данного участка схемы приведен на рис. Г.181).

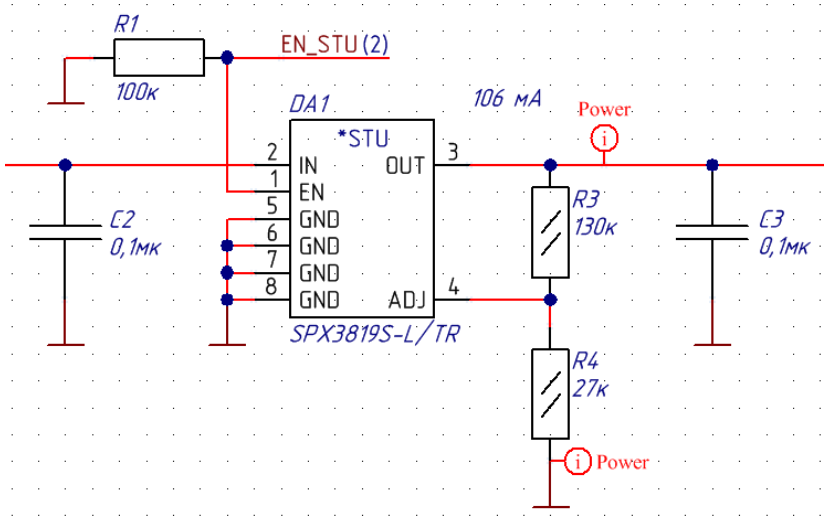


Рис. Г.196

2. Обновление файлов трассировок:

2.1. Применение изменений непосредственно из библиотеки посадочных мест следующими командами, выполненными в панели **PCB Library**:

– **ПКМ ⇒ Update PCB With [наименование посадочного места]** – для обновления выбранного посадочного места;

– **ПКМ ⇒ Update PCB With All** – для обновления всех посадочных мест из данной библиотеки.

Рассматриваемый вариант обновления приводит к полному обновлению выбранных посадочных мест во всех открытых файлах трассировок.

После запуска любой из указанных команд появляется окно Component(s) Update Options со следующими опциями (рис. Г.197):

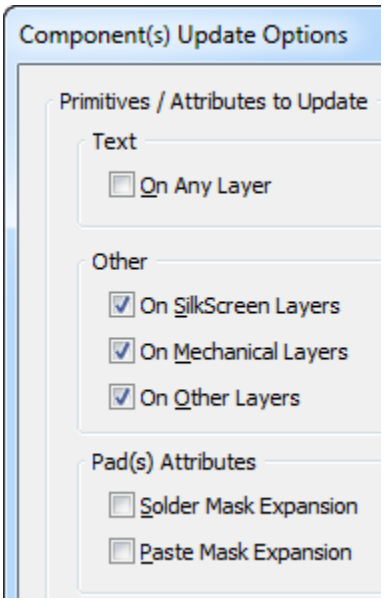


Рис. Г.197

– **On Any Layer** из группы Text – обновление текстовой информации в выбранных посадочных местах на всех слоях ПП;

– **On SilkScreen Layers**, **On Mechanical Layers**, **On Other Layers** из группы Other – обновление информации (кроме текстовой) в выбранных посадочных местах соответственно со слоев шелкографии, механических слоев и других слоев, не относящихся к первым двум категориям;

– **Solder Mask Expansion** и **Paste Mask Expansion** из группы Pad(s) Attributes – обновление информации в выбранных посадочных местах для соответствующих параметров из свойств КП и переходных отверстий (см. Г.17 и Г.21).

Для работы опций из группы Pad(s) Attributes требуется включение опции On Other Layers из группы Other, при этом: если опции отключены, то обновление произойдет только в тех КП и переходных отверстиях, в свойствах которых в файле трассировки была включена опция Expansion value from rule(s); если опции включены, то происходит полное обновление.

Примечание. Также для обновления посадочных мест можно воспользоваться соответствующими командами из меню Tools: Update PCB With Current Footprint и Update PCB With All Footprints.

2.2. Применение изменений из файла трассировки командой **Tools ⇒ Update From PCB Libraries** с возможностью детальной настройки результата обновления в нескольких окнах:

2.2.1. В окне **Update From PCB Libraries - Options** (рис. Г.198) путем установки галочек в столбце Include выбираются слои, которые будут сравниваться с аналогичными слоями посадочных мест компонентов.

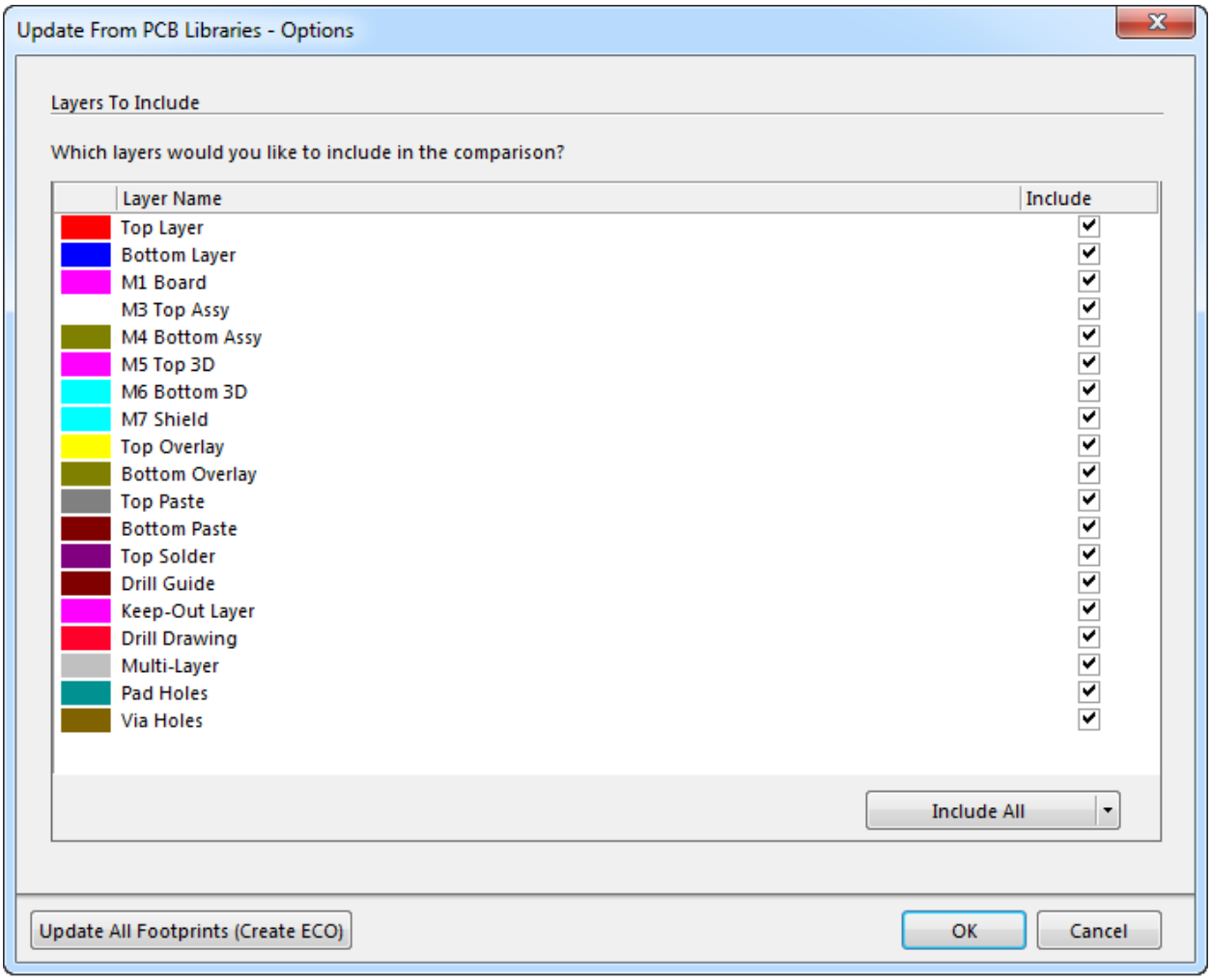


Рис. Г.198

По умолчанию включены все слои. Быстрое управление настройками доступно с помощью многофункциональной кнопки:

– **Include All** и **Include None** – включить и отключить все слои соответственно;

– **Include Selected** и **Don't Include Selected** – включить и отключить выбранные в списке слои соответственно.

Кнопка **OK** позволяет перейти к окну Update From PCB Libraries [наименование файла трассировки] (см. п. 2.2.2), а кнопка **Update All Footprints (Create ECO)** – сразу к окну Engineering Change Order (см. п. 2.2.3).

2.2.2. В окне **Update From PCB Libraries [наименование файла трассировки]** отображаются результаты сравнения посадочных мест (вид окна для проекта из Г.48 приведен на рис. Г.199).

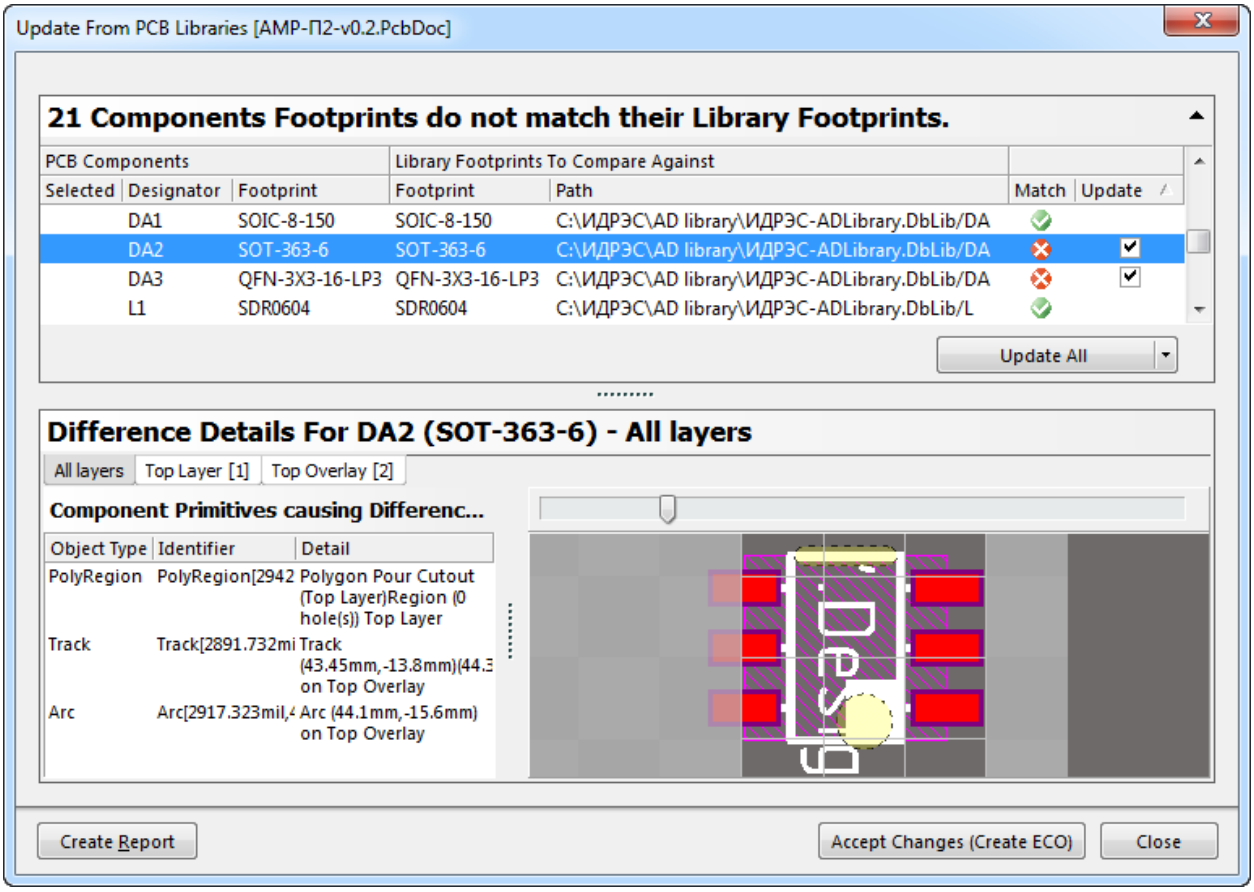


Рис. Г.199

В таблице в верхней части окна приводятся следующие данные:

– в группе **PCB Components** (компоненты на ПП) – индикация предварительного выделения компонента на ПП (Selected), позиционное обозначение (Designator), название посадочного места (Footprint);

– в группе **Library Footprints To Compare Against** (посадочные места из библиотеки для сравнения) – название посадочного места (Footprint), путь к библиотеке (Path);

– в столбце **Match** – индикация соответствия: посадочные места идентичны (зеленая галочка) или различаются (красный крестик);

– в столбце **Update** – указание об обновлении посадочного места (поставленная галочка).

Быстрое управление опциями в столбце Update доступно с помощью многофункциональной кнопки:

– **Update All** и **Update None** – включить и отключить обновление для всех посадочных мест с различиями соответственно;

– **Update Selected** и **Don't Update Selected** – включить и отключить обновление для посадочных мест с различиями, предварительно выбранных в таблице, соответственно.

В заголовке таблицы указывается количество найденных посадочных мест с различиями.

Примечание. На рис. Г.199 такое большое число связано в основном с удалением шелкографии из посадочных мест под «экраном».

В нижней части окна можно детально ознакомиться со всеми найденными различиями в каждом посадочном месте либо сразу на всех слоях (вкладка All layers), либо отдельно на каждом слое. В таблице отображается информация по каждому различающемуся объекту с указанием координат и слоя его расположения, а на рисунке показывается место расположения этих объектов, при этом:

– ползунок **Highlight Cell Density** изменяет размеры ячеек сетки для подсветки объектов;

– при выборе объекта в таблице изображение на рисунке масштабируется под этот объект;

– объект из библиотеки отображается тусклым цветом, а объект в посадочном месте на ПП – ярким цветом (например, на рис. Г.200 показано обнаруженное различие из-за изменения длины линии в слое шелкографии);

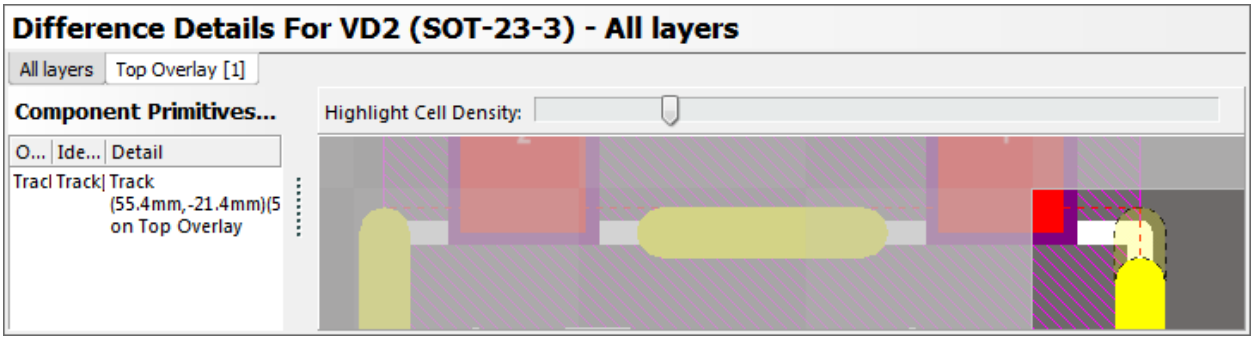


Рис. Г.200

– перемещение изображения осуществляется зажатой ПКМ, а изменение масштаба – зажатой СКМ (кроме того, доступны некоторые команды из контекстного меню, вызываемого щелчком ПКМ).

Примечание. На рис. Г.199 в посадочном месте микросхемы усилителя отсутствует шелкография, так как она была расположена под «экраном», и полигон Polygon cutout, который был удален для возможности организации соединения с полигоном GND (см. рис. Г.185).

Кнопка **Accept Changes (Create ECO)** позволяет перейти к окну Engineering Change Order (см. п. 2.2.3).

2.2.3. Окно **Engineering Change Order** служит для просмотра и принятия изменений либо по всем компонентам из файла трассировки (если была

нажата соответствующая кнопка в окне из п. 2.2.1), либо только по заранее выбранным (если была нажата соответствующая кнопка в окне из п. 2.2.2).

После нажатия кнопки **Execute Changes** появится окно **Component(s) Update Options** (см. п. 2.1) со следующими особенностями:

– кнопка **OK** приводит к обновлению посадочных мест с учетом текущих выбранных настроек;

– кнопка **Cancel** приводит к обновлению посадочных мест с учетом настроек, которые были в этом окне в момент его открытия.

Примечание. Пример восстановления случайно удаленной 3D-модели резистора R4 из проекта, рассмотренного в Г.48 (рис. Г.201):

– запускается команда из п. 2.2;

– в окне из п. 2.2.1 выбирается только слой M5 Top 3D и нажимается кнопка OK;

– в окне из п. 2.2.2 контролируется обнаружение различий в посадочном месте только у необходимого компонента (рис. Г.202);

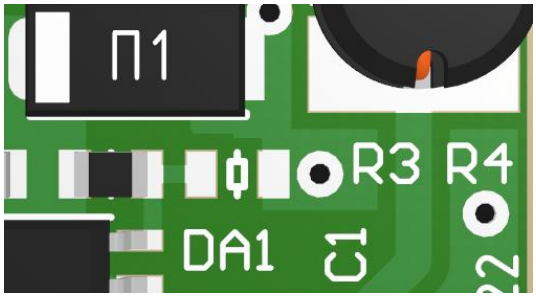


Рис. Г.201

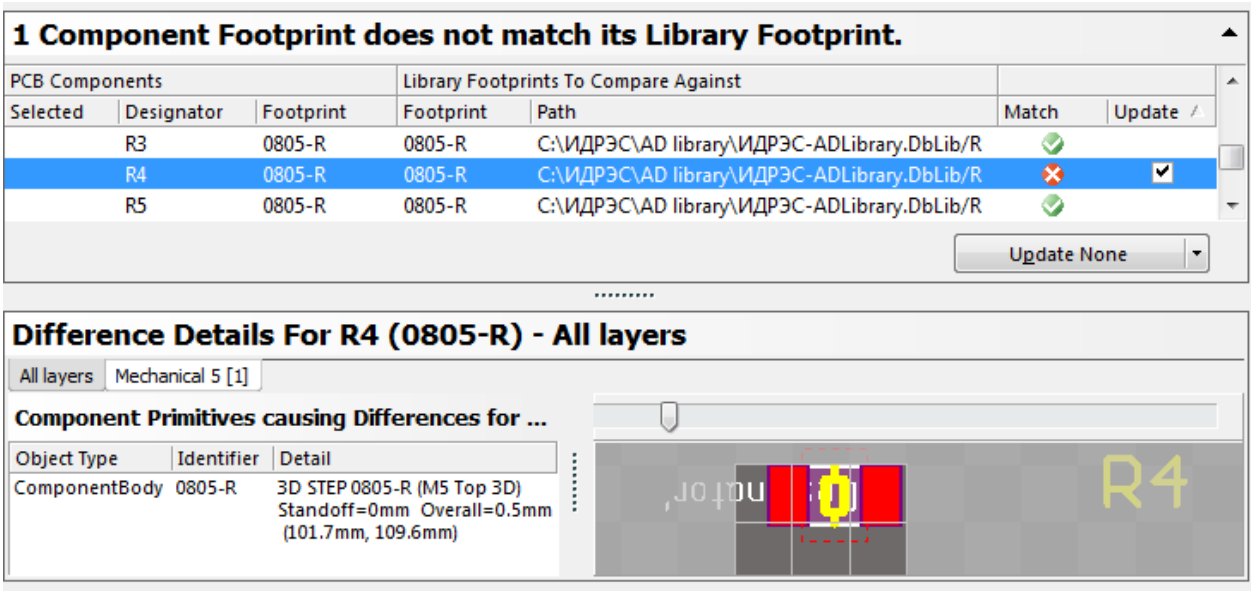


Рис. Г.202

– нажимается кнопка Accept Changes (Create ECO);

– в окне Engineering Change Order последовательно нажимаются кнопки Validate Changes и Execute Changes;

– в появившемся окне из п. 2.1 выбирается только опция On Mechanical Layers и нажимается кнопка OK;

– в окне Engineering Change Order нажимается кнопка Close.

Г.50. Панель Storage Manager

Панель Storage Manager позволяет управлять файлами активного проекта и работать с резервными копиями документов из папки History или из заданной общей папки (см. примечание к п. 3 из 2.7).

Внешний вид панели для проекта из Г.48 показан на рис. Г.203.

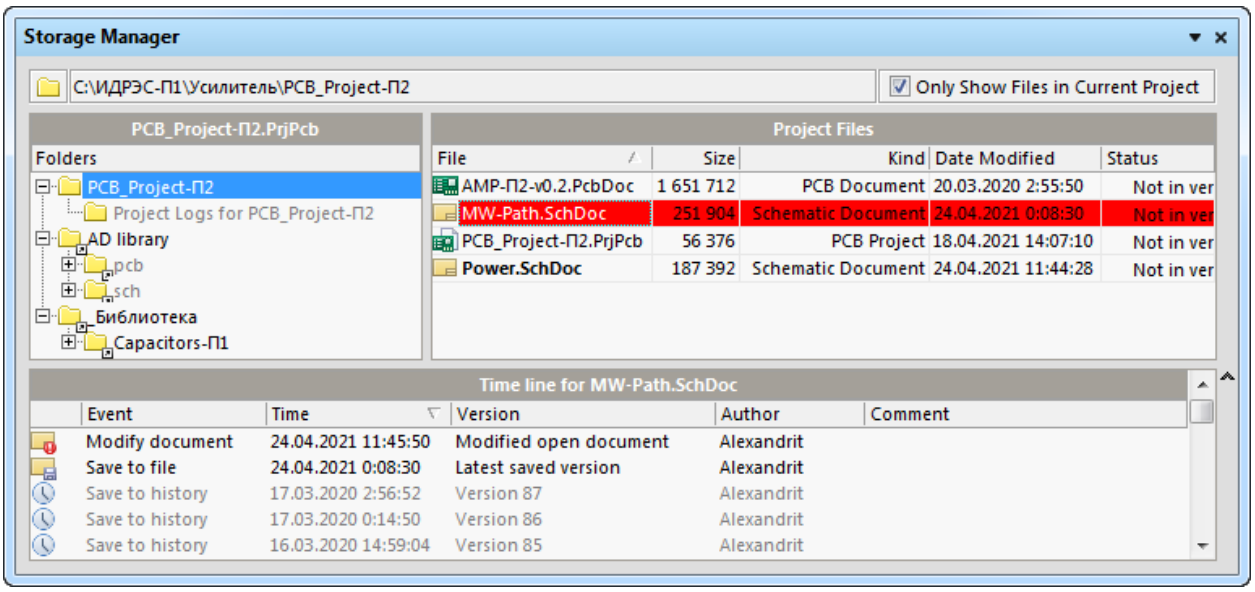


Рис. Г.203

Особенности панели:

1. Доступ к панели осуществляется из группы **System** в дополнительном меню (см. рис. 3.1).

2. В разделе **Folders** отображается структура папок активного проекта, а его название указывается в заголовке раздела.

В контекстном меню, вызываемом щелчком ПКМ, доступны следующие команды:

– **Refresh** – обновить содержимое раздела;

– **Copy**, **Paste**, **Delete** и **Rename** – копирование, вставка, удаление и переименование выбранной папки соответственно.

Примечание. Запись самого проекта удалить и переименовать нельзя;

– **New** – создание новой папки.

3. В разделе **Project Files** приводятся все документы, которые находятся в выбранной папке из раздела Folders, со следующей информацией: имя файла с расширением (File), размер файла на диске в байтах (Size), тип файла (Kind), дата и время последнего сохранения (Date Modified), текущее состояние документа при работе с контролем версий (Status).

Примечание. Контроль версий в данном пособии не рассматривается.

Включение опции **Only Show Files in Current Project** позволяет скрыть все документы в выбранной папке, которые не добавлены в активный проект.

Основные виды индикации записей:

– жирный текст – активный документ;

– красный текст – документ с несохраненными изменениями;

– серый текст – документ не добавлен в состав активного проекта.

В контекстном меню, вызываемом щелчком ПКМ, доступны следующие команды:

– **Open** – открыть выбранный документ;

– **Refresh** – обновить содержимое раздела;

– **Copy**, **Paste**, **Delete** и **Rename** – копирование, вставка, удаление и переименование выбранного документа соответственно.

Примечание. Документ проекта удалить нельзя;

– **Add Project Folder to Version Control** и **Add to Version Control** – добавление в контроль версий.

4. В разделе **Time line** приводятся резервные копии выбранного файла, при этом доступна разделенная (**ПКМ ⇒ Switch to Classic View**) и комбинированная форма представления (**ПКМ ⇒ Switch to Combined View**).

При комбинированной форме представления (см. рис. Г.203) отображается следующая информация:

– **Event** – описание события из истории работы с документом (например, Modify document – открытый документ с несохраненными изменениями, Open document – открытый документ без изменений, Save to file – сохранение в файл, Save to history – сохранение в папку History);

– **Time** – дата и время события;

– **Version** – пояснение к событию (например, Modified open document – открытый документ с несохраненными изменениями, Unchanged open document – открытый документ без изменений, Latest saved version – последняя сохраненная версия, Version *N* – версия с порядковым номером *N*);

– **Author** – имя пользователя, сохранившего документ;

– **Comment** – комментарий к версии.

Основные команды из контекстного меню, вызываемом щелчком ПКМ:

4.1. **Show Autobackups** – отображение в списке истории автоматически сохраненных версий файлов.

Примечание. Автосохранения добавляются в папку History при включении опций Auto save every и Add autosaved documents to history в окне Prefer-

ences (команда DXP ⇒ Preferences) в подразделах Data Management ⇒ Backup и Data Management ⇒ Local History соответственно.

4.2. **Apply label** – добавление комментария к выбранной версии длиной до 64 символов.

Примечания:

– для автосохранений добавляется автоматический комментарий, состоящий из слова AutoSave, даты и отметки времени;

– резервные копии в папке History хранятся в виде архивов формата ZIP. В названии каждого архива содержится имя исходного файла и его расширение, между которыми вставляются символы «.~(N)», где N – порядковый номер версии. При наличии комментария после указанных символов дополнительно записывается конструкция вида «.#(X)», где X – комментарий.

4.3. **Open** – открыть выбранную версию документа.

Примечание. Команда неактивна при выборе нескольких документов.

4.4. **Delete** – удаление выбранной версии документа.

Примечания. Команда работает только в разделенной форме представления раздела Time line (группа Local History), при этом удалить записи Document и Last Saved Contents нельзя.

4.5. **Revert to** – откат до выбранной версии, т. е. выбранная версия документа заменяет текущую версию в проекте.

Примечание. При выполнении команды в разделенной форме представления раздела Time line (группа Local History) создается резервная копия последней сохраненной версии с добавлением комментария вида «[Reverted to Z]», где Z – номер версии, до которой был произведен откат.

4.6. **Purge History** – очистка истории путем удаления резервных копий для выделенного документа. В появляющемся после запуска команды окне Confirm purge document history (рис. Г.204) доступны следующие опции:

– **Keep at least specified number of versions** – сохранять при удалении указанное количество последних резервных копий;

– **Include labeled versions as well** – удалять резервные копии, для которых добавлены комментарии;

– **Purge all history** – удаление всех резервных копий с учетом первых двух опций;

– **Purge versions older than specified number of days** – удаление резервных копий, которые хранятся дольше, чем указанное количество дней, при этом учитываются первые две опции;

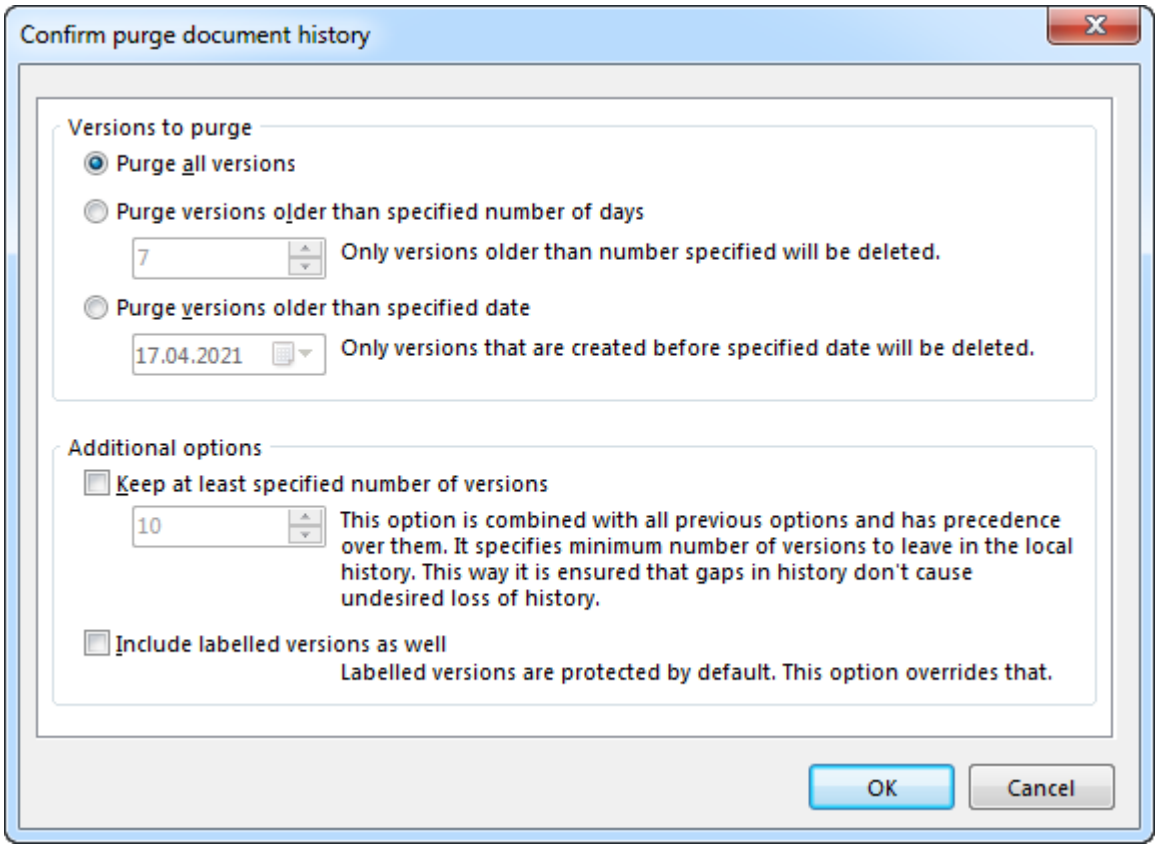


Рис. Г.204

– **Purge versions older than specified date** – удаление резервных копий, сделанных раньше указанной даты (учитываются первые две опции).

4.7. **Compare** – сравнение двух выбранных резервных копий документа (выбор осуществляется щелчком ЛКМ с зажатой клавишей Ctrl).

После запуска команды обе версии откроются в рабочем поле, а список различий появится в панели Differences. При щелчке по интересующей строке списка различия подсветятся одновременно в двух документах.

Примечание. Сравнить два документа можно с помощью команд Project ⇒ Show Differences (результат появится в окне Engineering Change Order) и Project ⇒ Show Physical Differences (результат появится в панели Differences). При использовании этих команд оба документа должны присутствовать в панели Projects (файл может быть и как свободный документ). После запуска указанных команд для выбора второго документа не из текущего проекта в появляющемся окне включается опция Advanced Mode.

Г.51. Рамки для схем

Листы КД должны быть оформлены по ГОСТ Р 2.104–2023 (см. 3.2.3). В Altium Designer в схемах для этого используются отдельные файлы с рамками (шаблоны) с расширением «.SchDot».

Шаблон с рамкой может быть подключен или заменен на какой-нибудь другой на любом этапе работы со схемой, при этом в самом схемном документе выделение и редактирование отдельных его элементов невозможно (за исключением значений заранее созданных параметров). Фактически рамка является фоновым изображением схемы.

Созданный один раз шаблон может быть подключен к любым схемным документам неограниченное число раз. Используемые при проектировании файлы содержатся в папке **…\ИДРЭС\AD рамки** (см. рис. 2.9):

– A3-1-ИДРЭС-AD.SchDot – рамка для первого листа формата A3;

– A3-2-ИДРЭС-AD.SchDot – рамка для второго и последующих листов формата A3;

– A4-1-ИДРЭС-AD.SchDot – рамка для первого листа формата A4;

– A4-2-ИДРЭС-AD.SchDot – рамка для второго и последующих листов формата A4.

Файл с рамкой для редактирования или создания на ее основе других файлов рамок открывается командой **File ⇒ Open**.

Описание процесса создания файла с рамкой:

1. Командой **File ⇒ New ⇒ Schematic** создается новый документ схемы.

2. Запускается команда **Design ⇒ Document Options** и на вкладке Sheet Options выполняется следующее:

– в группе **Options** отключаются все опции (**Title Block**, **Show Reference Zones** и **Show Border**), так как результаты их действия не соответствуют требованиям ЕСКД;

– в группе **Options** для параметра **Orientation** выбирается ориентация листа (**Landscape** – горизонтальный, **Portrait** – вертикальный);

– в группе **Options** в поле **Sheet Color** задается белый цвет, который можно выбрать на вкладке Standard окна Choose Color (рис. Г.205).

Примечание. Цвет по умолчанию является цветочным белым, в чем можно убедиться на вкладке Custom окна Choose Color. Для белого цвета кодировка в формате RGB – (255, 255, 255);

– кнопкой **Change System Font** задаются системные настройки шрифта (шрифт – **GOST type B**, начертание – **обычный**, размер – **12**, набор символов – **Кириллица**);

– в группе **Custom Style** выбирается опция **Use Custom style** и в соответствии с ГОСТ 2.301–68 (табл. Г.18) задаются размеры листа в полях **Custom Width** (ширина) и **Custom Height** (высота).

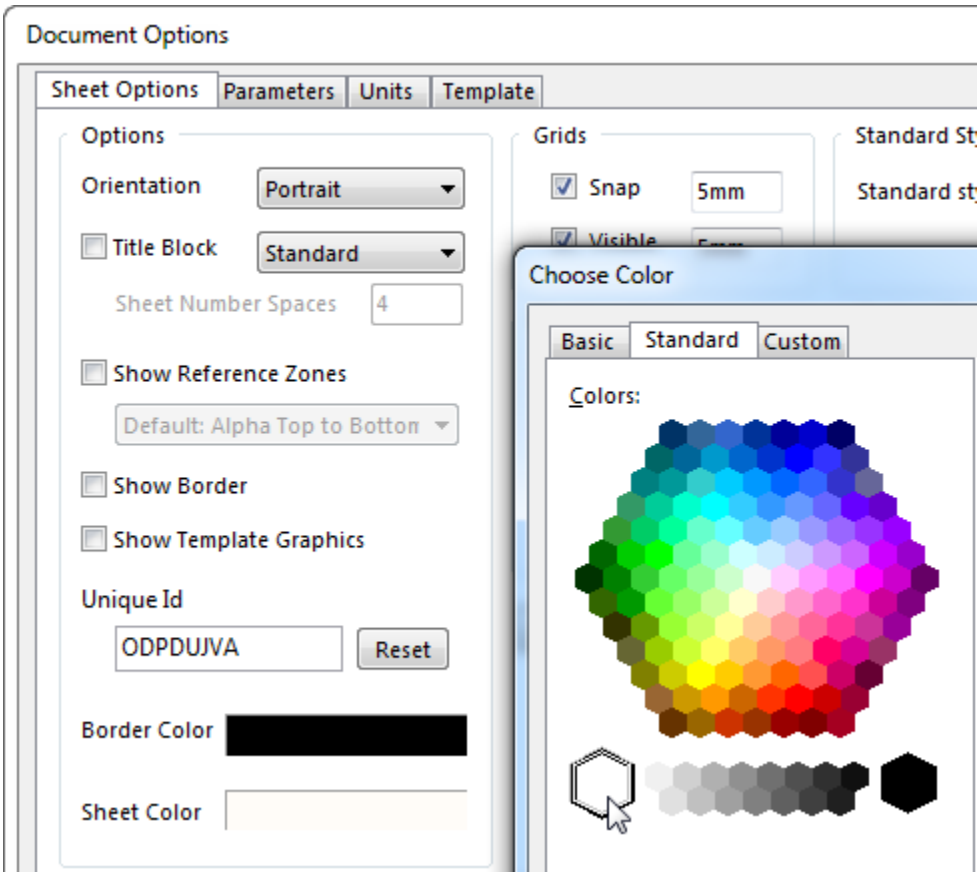


Рис. Г.205

Таблица Г.18

Размеры основных форматов листов

Обозначение формата	Размеры сторон формата, мм
A0	841 × 1189
A1	594 × 841
A2	420 × 594
A3	297 × 420
A4	210 × 297

Важно отметить, что под шириной листа понимается горизонтальный размер листа с горизонтальной ориентацией. Например, для вертикальной ориентации листа формата A4 в поле Custom Width должно быть записано **297mm**, а в поле Custom Height – **210mm**.

Примечания:

– размеры листов из группы Standard Style не соответствуют ЕСКД;

– значения остальных параметров в группе Custom Style можно оставить без изменений (или обнулить), так как они предназначены для отключенных опций из группы Options.

3. В рабочем поле осуществляется переход в сетку 1 мм.

4. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ D ⇒ L** или с помощью команды **Place ⇒ Drawing Tools ⇒ Line** (создание линии) рисуются все границы в соответствии с размерами из ГОСТ Р 2.104–2023. Рекомендуется использовать режим рисования под углом 90°.

В окне свойств (например, клавиша **Tab** в режиме рисования) для ширины толстых линий выбирается опция **Medium**, для тонких – **Small**.

5. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ T** или с помощью команды **Place ⇒ Text String** (создание надписи) добавляются текстовые надписи, указанные в ГОСТ Р 2.104–2023.

В качестве примера на данном этапе на рис. Г.206 показан фрагмент нижней части листа формата А4 с вертикальной ориентацией. Использованный параметр шрифта: **GOST type A**, **16**, **Italic**.

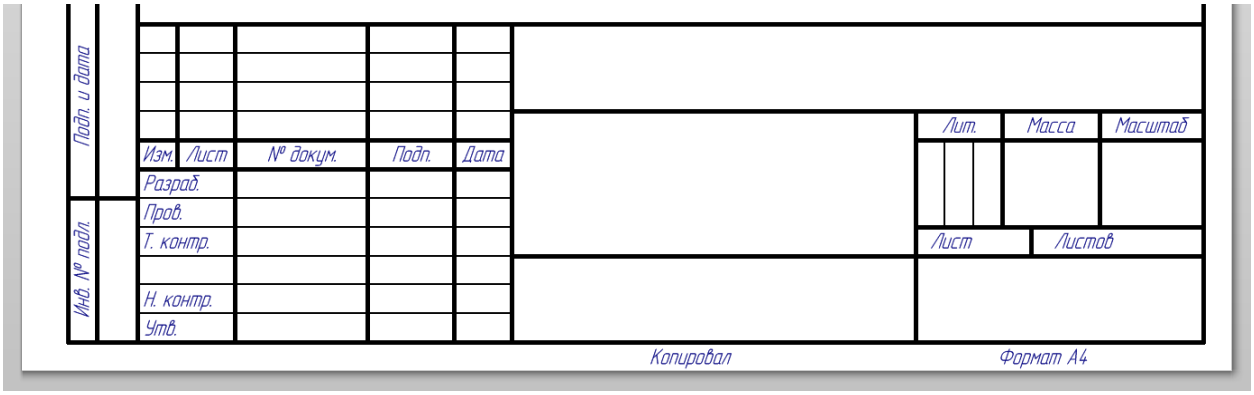


Рис. Г.206

6. Запускается команда **Design ⇒ Document Options** и на вкладке Parameters с помощью кнопки **Add** создаются параметры для заполняемых в схеме граф рамки, например: наименование документа, фамилия разработчика.

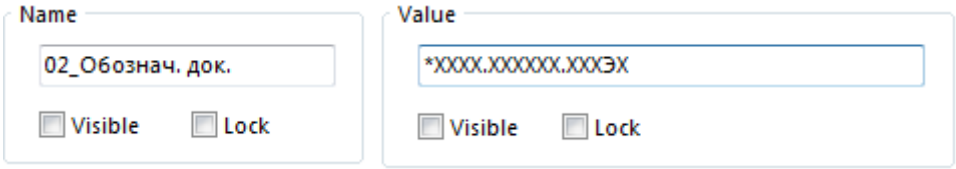


Рис. Г.207

На рис. Г.207 приведен пример создания параметра для обозначения документа в графе 2. Необходимо отметить следующее:

– опция **Visible** в группе **Name** должна быть отключена, иначе впоследствии имя параметра будет отображаться рядом с его значением;

– имена параметров для удобства работы со списком рекомендуется начинать с цифр (системные параметры удалить нельзя). Так, в используемых рамках они содержат номера граф по ГОСТ Р 2.104–2023 (см. рис. 3.6);

– в поле из группы **Value** рекомендуется записывать осмысленный текст, который на следующем шаге поможет спозиционировать параметр в рамке и будет являться подсказкой по его заполнению на схеме. Звездочка не позволит перепутать подсказку с введенным пользователем значением;

– остальные настройки не требуют изменений.

7. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ T** или с помощью команды **Place ⇒ Text String** добавляются текстовые надписи, в свойствах которых в поле **Text** выбираются ранее созданные параметры (рис. Г.208).

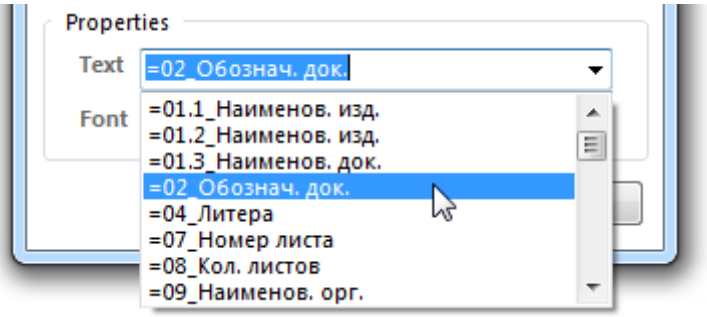


Рис. Г.208

В качестве примера на рис. Г.209 показан фрагмент нижней части листа формата А4 с вертикальной ориентацией и добавленными параметрами. Использованные параметры шрифта: **GOST type A, 31, Italic** – обозначение документа; **GOST type A, 22, Italic** – наименования изделия и организации; **GOST type A, 16, Italic** – все остальные надписи.



Рис. Г.209

В графу 26 добавлена надпись с параметром «**=02_Обознач. док.**» и выбранным в поле **Orientation** значением **180 Degrees**.

Важно отметить, что на отображение надписей влияют настройки **Convert Special Strings** и **Display Strings As Rotated** (см. табл. Г.3).

8. Командой **File ⇒ Save As** файл сохраняется с расширением «.SchDoc».

Основные особенности использования шаблонов с рамками:

– подключение шаблона к схеме осуществляется по п. 3 из 3.2.3;

– в окне Update Template, появляющемся при подключении рамки, следует также обратить внимание на следующие две опции: **Do not update any parameters** (не обновлять никакие параметры) и **Add new parameters that exist in the template only** (добавить в схему только те параметры, которые в ней отсутствуют);

– обновление и удаление текущего шаблона выполняется соответственно командами **Update Current Template** и **Remove Current Template** из меню **Design ⇒ Templates**;

– результат подключения в подразделе **Templates** (см. табл. Г.2) папки **…\ИДРЭС\AD рамки** с собственными шаблонами показан на рис. Г.210. Также попасть в указанный подраздел можно с помощью команды **Design ⇒ Templates ⇒ General Templates ⇒ Manage General Template Folder**;

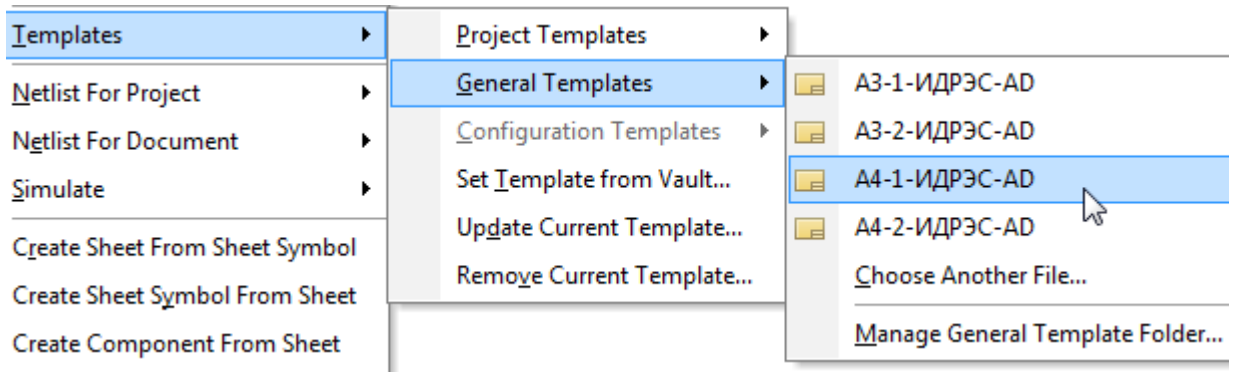


Рис. Г.210

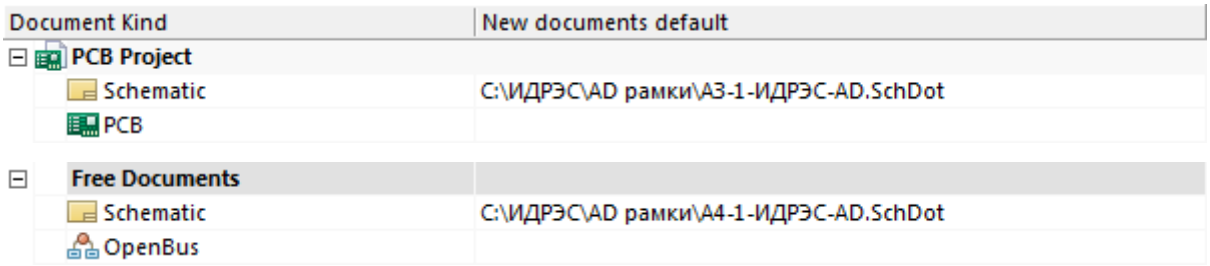


Рис. Г.211

– пример подключения шаблонов в подразделе **New Document Defaults** (см. табл. Г.1), которые будут загружаться каждый раз при создании новых документов схем из проектов и вне проектов, показан на рис. Г.211.

Д. Правила выполнения чертежей деталей

Д.1. Общие сведения

Определение термину «деталь» было дано в 2.1.

Чертеж детали по ГОСТ Р 2.102–2023 – графический КД, содержащий сведения о форме и размерах детали, требования к ее изготовлению и контролю.

Следует отметить, что общие правила выполнения чертежей деталей из данного приложения относятся как к «экрану» и «основанию», так и к ДПП.

Д.2. Общие требования к чертежам

В ГОСТ Р 2.109–2023 даны основные требования к выполнению чертежей, среди которых можно выделить следующие:

1. Для изделий основного единичного и вспомогательного производства на чертежах, предназначенных для использования на конкретном предприятии, допускается помещать различные указания по технологии изготовления и контролю изделий.

2. На чертеже изделия указывают размеры, предельные отклонения, требования к шероховатости поверхностей и другие данные по ГОСТ 2.307–2011, ГОСТ Р 2.308–2023, ГОСТ 2.309–73. Текстовую информацию в виде надписей, таблиц и ТТ выполняют по ГОСТ Р 2.316–2008.

3. На каждое изделие выполняют отдельный чертеж. Исключения:

– группа изделий, обладающих общими конструктивными признаками, на которые выполняют групповой чертеж по ГОСТ 2.113–75 (см. прил. Н);

– составные части изделия, не являющиеся предметом разработки в рамках данного комплекта КД, например стандартные и покупные изделия;

– детали в особых случаях (например, при изготовлении из фасонного или сортового материала отрезкой под прямым углом).

4. На чертежах для изготовления опытных образцов указывают расчетную массу (графа 5 на рис. 3.6, *а* и в табл. 3.1), а на чертежах, начиная с литеры $\mathbf{O_1}$, – фактическую, т. е. определенную взвешиванием изделия.

5. Если ребро (кромку) необходимо изготовить острым или скруглить, то на чертеже помещают соответствующее указание. Отсутствие таких указаний подразумевает необходимость притупления ребра (кромки).

6. Материал детали должен быть указан в графе 3 основной надписи в соответствии с обозначением, установленным стандартами на материал или техническими условиями. Допускается указание только одного материала.

Структура обозначения материала должна соответствовать стандарту (техническим условиям) на материал или стандартам организации. Допускается в условном обозначении материала не указывать группу точности, плоскостность, вытяжку, обрезку кромок, длину и ширину листа, ширину ленты и другие параметры, не влияющие на характеристики изделия, если в стандарте на сортамент и (или) материал не оговорена обязательность их указания.

7. Если предусматривается возможность использования заменителей материала, то их указывают в технических требованиях чертежа или технических условиях на изделие.

Д.3. Масштабы, виды, разрезы и сечения

Масштабы изображений и их обозначения по ГОСТ 2.302–68 рассмотрены в 7.2.

К основным правилам изображения предметов на чертежах по ГОСТ 2.305–2008 можно отнести следующие:

1. В зависимости от содержания изображения разделяют на виды, разрезы и сечения.

Масштаб изображений, расположенных в непосредственной проекционной связи друг с другом на основных плоскостях проекций (см. рис. 7.3), принимают за масштаб выполнения документа и записывают в графе 6 (см. рис. 3.6, *а* и табл. 3.1). Все иные изображения, выполненные на чертеже в ином масштабе, должны иметь о нем указание.

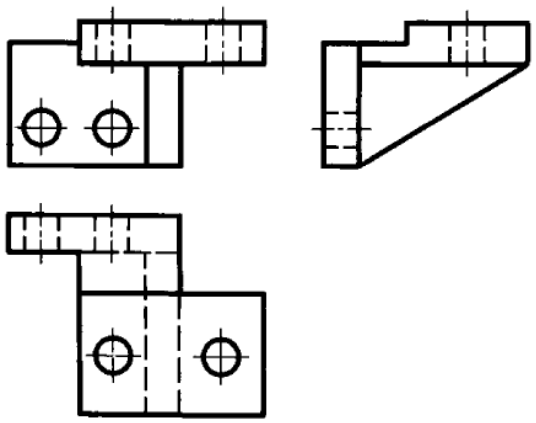


Рис. Д.1 [44]

2. Для уменьшения количества изображений допускается на видах показывать необходимые невидимые части поверхности предмета с помощью штриховых линий. Пример для рис. 7.3 показан на рис. Д.1.

3. Количество изображений на чертеже должно быть наименьшим, но обеспечивающим полное представление о предмете при применении установленных в соответствующих стандартах условных обозначений, знаков и надписей.

4. Виды.

4.1. Основные определения ***видам*** и схема расположения видов с непосредственной проекционной связью были даны в 7.2.

4.2. Если виды сверху, слева, справа, снизу, сзади не находятся в непосредственной проекционной связи с главным изображением (видом или разрезом, изображенным на фронтальной плоскости проекции), то направление проецирования должно быть указано стрелкой около соответствующего изображения. Над стрелкой и над полученным изображением (видом) необходимо нанести одну и ту же прописную букву (вид *Б* на рис. Д.2).

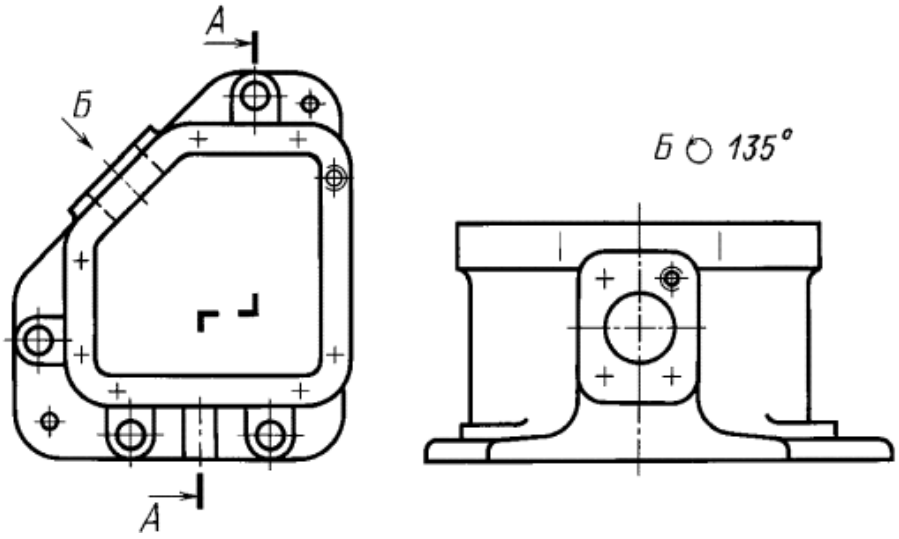


Рис. Д.2 [44]

Когда отсутствует изображение, на котором может быть показано направление взгляда, название вида подписывают.

4.3. Если какую-либо часть предмета на чертеже невозможно показать на перечисленных видах без искажения формы и размеров, то применяют дополнительные виды, получаемые на плоскостях, не параллельных основным плоскостям проекций.

4.4. Дополнительный вид должен быть отмечен на чертеже прописной буквой, а у связанного с дополнительным видом изображения предмета должна быть поставлена стрелка, указывающая направление взгляда, с соответствующим буквенным обозначением.

4.5. Дополнительный вид допускается повертывать, при этом обозначение вида должно быть дополнено специальным обозначением. При необходимости указывают угол поворота (рис. Д.2).

4.6. Местный вид должен быть отмечен на чертеже подобно дополнительному виду (виды *Г* и *Д* на рис. Д.3).

5. Разрезы.

5.1. ***Разрез*** – ортогональная проекция предмета, мысленно рассеченного полностью или частично одной или несколькими плоскостями для выявления

его невидимых поверхностей. При выполнении разреза мысленное рассечение предмета относится только к данному разрезу и не влечет за собой изменения других изображений того же предмета.

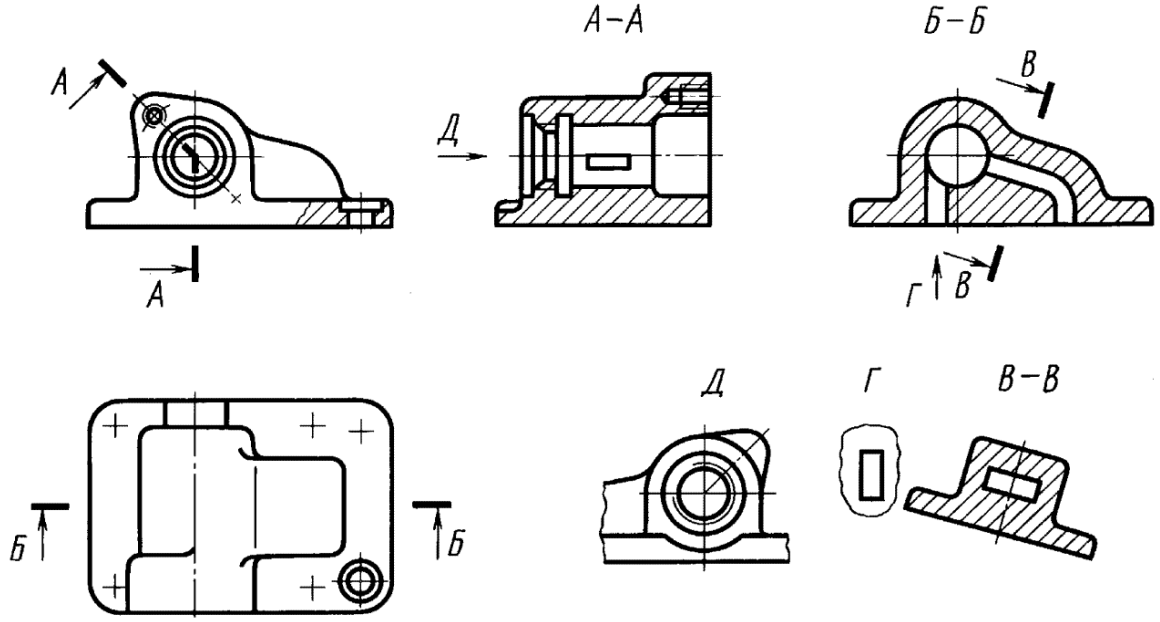
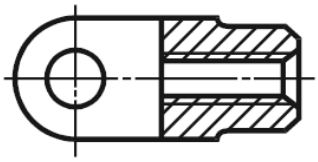


Рис. Д.3 [44]



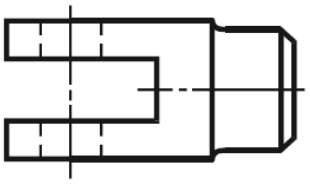


Рис. Д.4 [44]

На разрезе показывают то, что получается в секущей плоскости и что расположено за ней (рис. Д.4).

5.2. В зависимости от числа секущих плоскостей разрезы разделяют на две группы:

– простые – разрезы, выполненные одной секущей плоскостью (разрезы *Б–Б* и *В–В* на рис. Д.3);

– сложные – разрезы, выполненные двумя и более секущими плоскостями (разрез *А–А* на рис. Д.2 и Д.3).

5.3. Положение секущей плоскости указывают на чертеже линией сечения, для которой применяют разомкнутую линию. При сложном разрезе штрихи проводят также у мест пересечения этих плоскостей между собой.

На начальном и конечном штрихах ставят стрелки, расположенные на расстоянии 2–3 мм от концов штрихов и показывающие направление взгляда. Указанные штрихи не должны пересекать контур соответствующего изображения.

5.4. У начала и конца линии сечения (при необходимости и у мест пересечения секущих плоскостей) ставят одну и ту же прописную букву. Буквы наносят около стрелок, указывающих направление взгляда, и в местах пере-

сечения со стороны внешнего угла. Разрез должен быть отмечен надписью вида «*А–А*» (всегда двумя буквами через тире).

5.5. Когда секущая плоскость совпадает с плоскостью симметрии предмета в целом, а соответствующие изображения расположены на одном листе чертежа в непосредственной проекционной связи и не разделены какими-либо другими изображениями для многих видов разрезов не отмечают положение секущей плоскости и разрез надписью не сопровождают (например, разрез на месте главного вида на рис. Д.4).

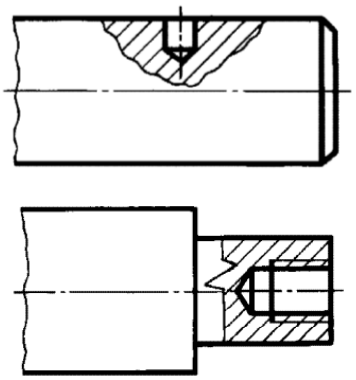


Рис. Д.5 [44]

5.6. Местный разрез – разрез, выполненный секущей плоскостью только в отдельном, ограниченном месте предмета (рис. Д.3 и Д.5).

Местный разрез выделяют на виде сплошной волнистой линией или сплошной тонкой линией с изломом. Эти линии не должны совпадать с какими-либо другими линиями изображения.

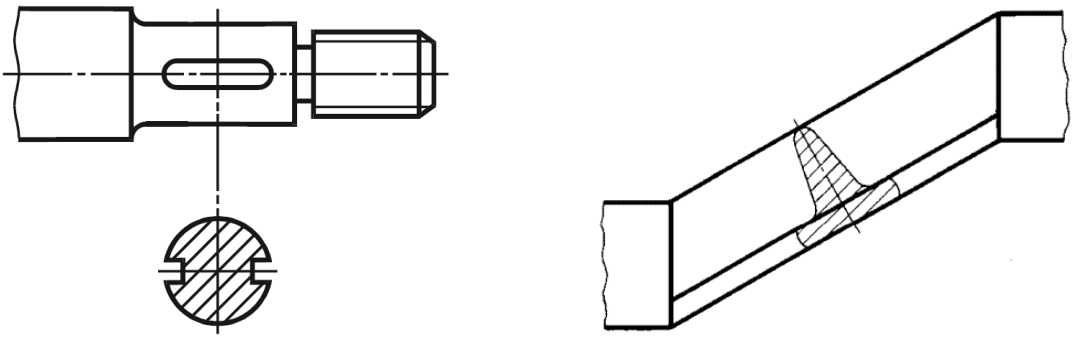
6. Сечения.

6.1. ***Сечение*** – ортогональная проекция фигуры, получающейся в одной или нескольких секущих плоскостях или поверхностях при мысленном рассечении проецируемого предмета. На сечении показывают только то, что получается непосредственно в секущей плоскости.

6.2. Сечения, не входящие в состав разреза, разделяют на две группы:

– вынесенные (рис. Д.6, *а*);

– наложенные (рис. Д.6, *б*).



а *б*

Рис. Д.6 [44]

Вынесенные сечения являются предпочтительными.

На чертежах контур вынесенного сечения, а также сечения, входящего в состав разреза, изображают сплошными основными линиями, а контур нало-

женного сечения – сплошными тонкими линиями, причем контур изображения в месте расположения наложенного сечения не прерывают.

6.3. Ось симметрии вынесенного или наложенного сечения указывают штрихпунктирной тонкой линией без обозначения буквами и стрелками и линию сечения не проводят.

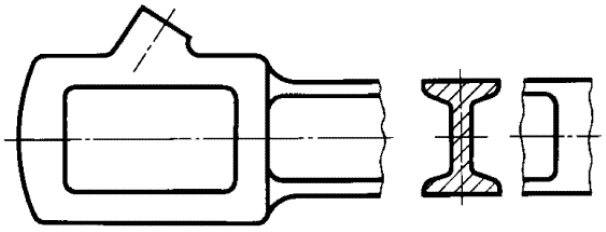


Рис. Д.7 [44]

Также линию сечения не проводят в случае симметричной фигуры вынесенного сечения, расположенного в разрыве между частями одного и того же вида (рис. Д.7).

Во всех остальных случаях линия сечения обозначается подобно разрезу, а само сечение сопровождается надписью по типу «*А–А*».

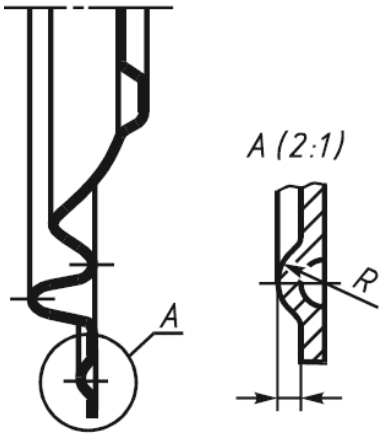


Рис. Д.8 [44]

7. Выносные элементы.

7.1. ***Выносной элемент*** (рис. Д.8) – дополнительное, обычно увеличенное, отдельное изображение части предмета. Его используют, как правило, для размещения какой-либо части предмета, требующей графического и других пояснений в отношении формы, размеров и иных данных.

Он может содержать подробности, не указанные на соответствующем изображении, и может отличаться от него по содержанию (например, изображение может быть видом, а выносной элемент – разрезом).

7.2. При применении выносного элемента соответствующее место отмечают на виде, разрезе или сечении замкнутой сплошной тонкой линией (окружностью, овалом и т. п.) и обозначают прописной буквой на полке линии-выноски. Над изображением выносного элемента указывают его обозначение и масштаб (если он отличается от масштаба, указанного в основной надписи чертежа).

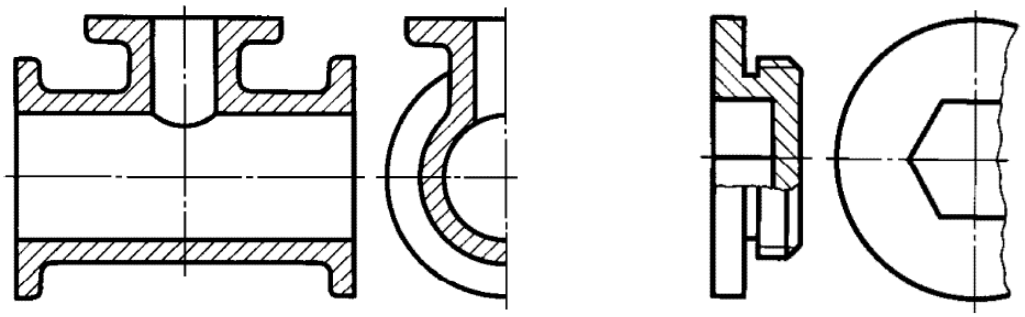
7.3. Выносной элемент располагают недалеко от соответствующего места на изображении предмета, с которого он был получен.

Д.4. Упрощения изображений на чертежах

Подробность выполнения изображения предмета устанавливает разработчик исходя из требований к содержанию документа в зависимости от стадии разработки.

Некоторые условности и упрощения из ГОСТ 2.305–2008:

1. Если вид, разрез или сечение представляют собой симметричную фигуру, допускается вычерчивать половину изображения (рис. Д.9, *а*) или немного более половины изображения с проведением в последнем случае линии обрыва (рис. Д.9, *б*).



а *б*

Рис. Д.9 [44]

2. Детали, такие как винты, заклепки, шпонки, непустотелые валы и шпиндели, шатуны, рукоятки и т. п., при продольном разрезе показывают нерассеченными. Как правило, показывают нерассеченными на сборочных чертежах гайки и шайбы. Шарики всегда показывают нерассеченными.

3. Пластины, а также элементы деталей (отверстия, фаски, пазы, углубления и т. п.) размером (или разницей в размерах) не более 2 мм изображают на чертеже с отступлением от масштаба, принятого для всего изображения, в сторону увеличения.

4. Если предмет имеет несколько одинаковых, равномерно расположенных элементов, то на изображении этого предмета полностью показывают один-два таких элемента (например, отверстия на рис. Д.2 и Д.3), а остальные элементы показывают упрощенно или условно (рис. Д.10).

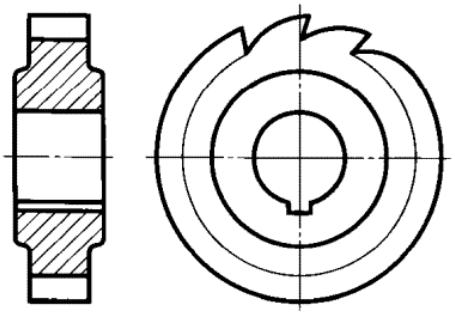


Рис. Д.10 [44]

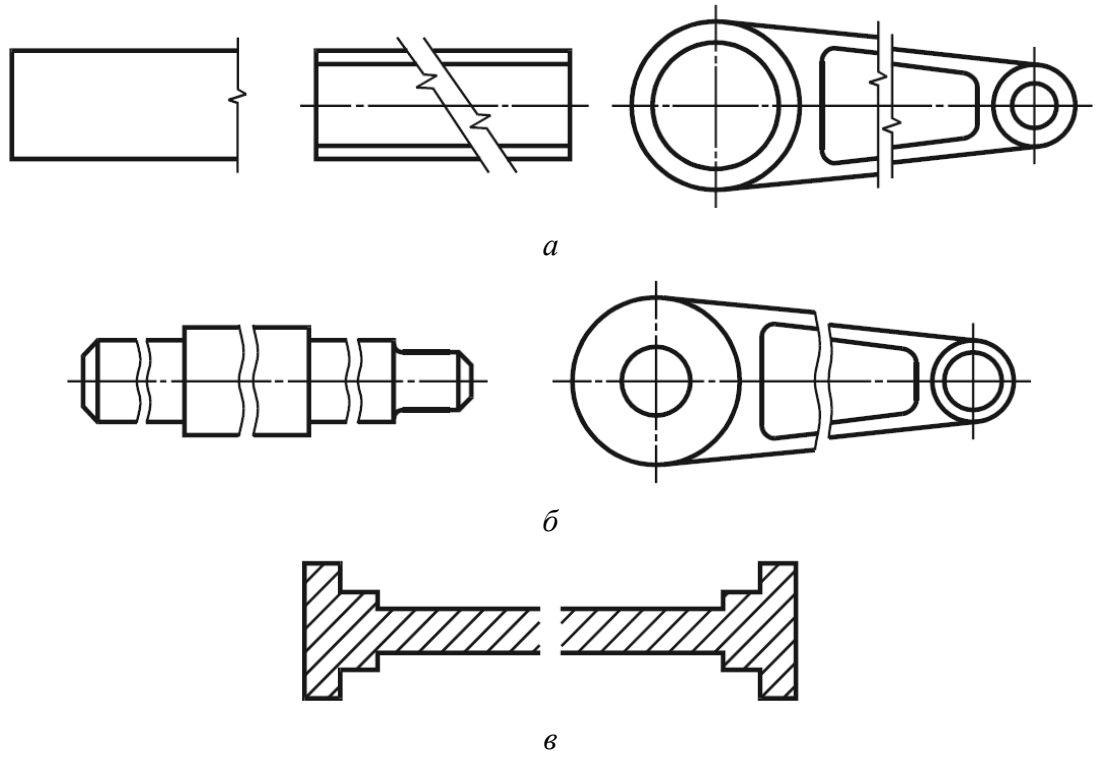
5. Предметы или элементы, имеющие постоянное или закономерно изменяющееся поперечное сечение (валы, цепи, прутки, фасонный прокат, шатуны и т. п.), допускается изображать с разрывами.

Частичные изображения и изображения с разрывами ограничивают одним из следующих способов:

– сплошной тонкой линией с изломом, которая может выходить за контур изображения на длину 2–4 мм. Эта линия может быть наклонной относительно линии контура (рис. Д.11, *а*);

– сплошной волнистой линией, соединяющей соответствующие линии контура (рис. Д.11, *б*);

– линиями штриховки (рис. Д.11, *в*).



а

б

в

Рис. Д.11 [44]

6. Условности и упрощения, допускаемые в неразъемных соединениях, в чертежах электротехнических и радиотехнических устройств, зубчатых зацепления и т. д. устанавливаются соответствующими стандартами.

Д.5. Нанесение размеров

Размер – числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т. п.) в выбранных единицах измерения.

Правила нанесения размеров и предельных отклонений в графических документах устанавливает ГОСТ 2.307–2011. Предельные отклонения рассмотрены отдельно в Д.6.

К основным правилам нанесения размеров можно отнести следующие:

1. Общее количество размеров должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия.

2. Справочные размеры, т. е. размеры, не подлежащие выполнению по данному графическому документу и указываемые для большего удобства пользования этим документом, отмечают знаком «*» (рис. Д.12), а в ТТ записывают: «* Размеры для справок».

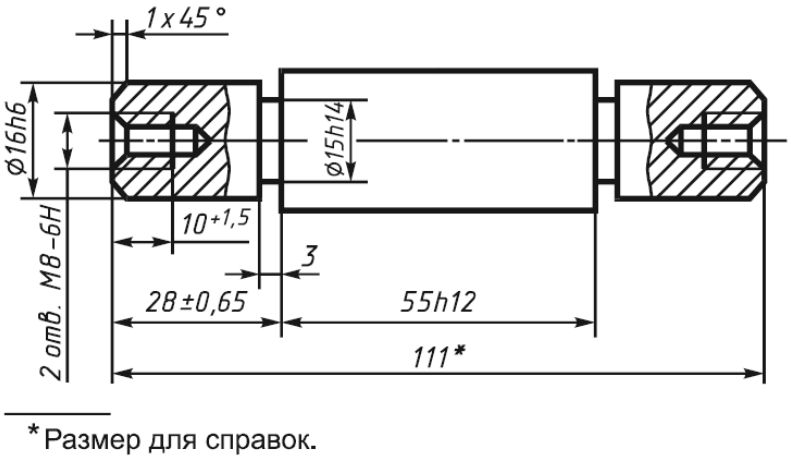


Рис. Д.12 [45]

Если все размеры справочные, их знаком «*» не отмечают, а в ТТ записывают: «Размеры для справок».

К справочным относят следующие размеры:

– один из размеров замкнутой размерной цепи (предельные отклонения таких размеров на чертеже не указывают);

– размеры, перенесенные с графических документов изделий-заготовок;

– размеры на сборочном чертеже, перенесенные с чертежей деталей и используемые в качестве установочных и присоединительных;

– габаритные размеры на сборочном чертеже, перенесенные с чертежей деталей или являющиеся суммой размеров нескольких деталей;

– размеры деталей (элементов) из сортового, фасонного, листового и другого проката, если они полностью определяются обозначением материала, приведенным в графе 3 основной надписи (см. рис. 3.6, *а*) и др.

3. Не допускается повторять размеры одного и того же элемента на разных изображениях, в ТТ, основной надписи и спецификации.

4. Линейные размеры и их предельные отклонения в графических документах и в спецификациях указывают в миллиметрах без обозначения единицы измерения.

В размерах и предельных отклонениях, приводимых в ТТ и пояснительных надписях на поле чертежа, обязательно указывают единицы измерения.

Если в графических документах размеры необходимо указать не в миллиметрах, а в других единицах измерения (сантиметрах, метрах и т. д.), то соответствующие размерные числа записывают с обозначением единицы измерения или указывают их в ТТ.

5. Для размерных чисел применять простые дроби не допускается, за исключением размеров в дюймах.

6. Для всех размеров, нанесенных на рабочих графических документах, указывают предельные отклонения.

7. Размеры в графических документах указывают размерными числами и размерными линиями.

8. При нанесении размера прямолинейного отрезка размерную линию проводят параллельно этому отрезку, а выносные линии – перпендикулярно к размерным (рис. Д.13, *а*). Размерную линию заканчивают стрелками, упирающимися в соответствующие выносные линии.

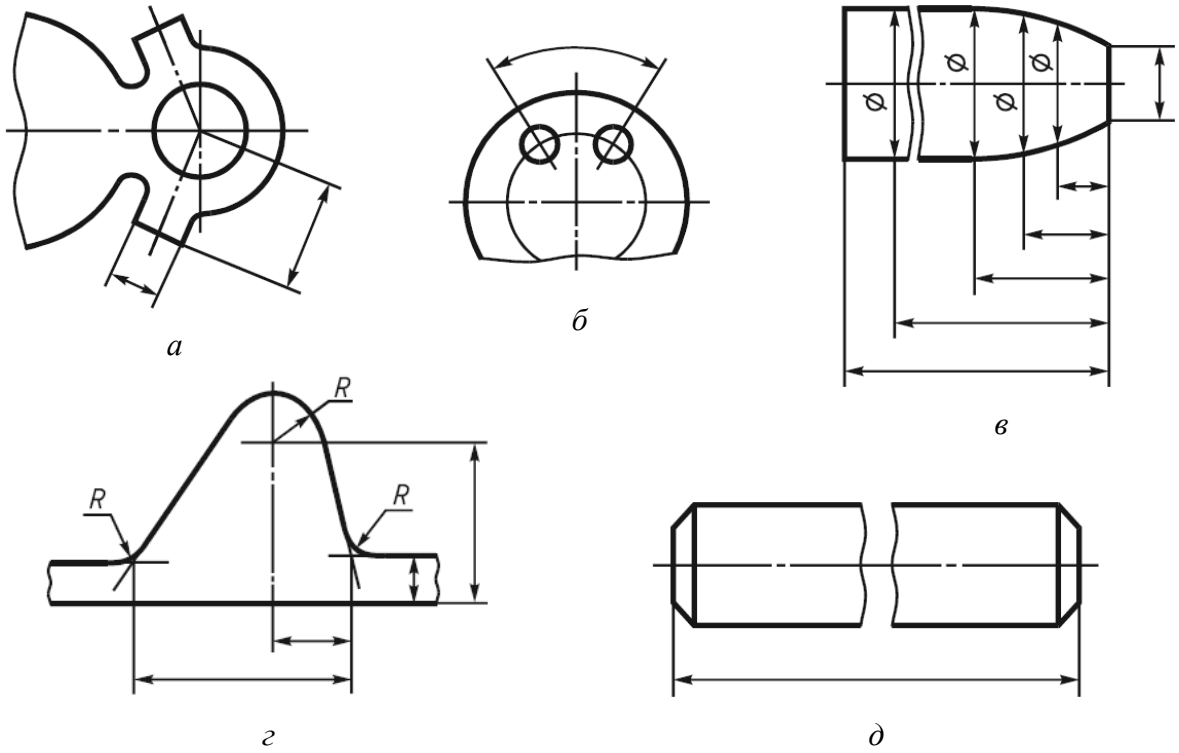


Рис. Д.13 [45]

При нанесении размера угла размерную линию проводят в виде дуги с центром в его вершине, а выносные линии – радиально (рис. Д.13, *б*).

Выносные линии должны выходить за концы стрелок размерной линии на 1–5 мм.

9. Допускается проводить размерные линии непосредственно к линиям видимого контура, осевым, центровым и другим линиям (рис. Д.13, *в* и *г*).

10. Не допускается использовать линии контура, осевые, центровые и выносные линии в качестве размерных.

11. Необходимо избегать пересечения размерных и выносных линий.

12. Размерные линии рекомендуется наносить вне контура предмета.

13. Выносные линии проводят от линий видимого контура, за исключением следующих случаев:

– при простановке размеров криволинейного контура (см. рис. Д.13, *в*);

– если надо показать координаты вершины скругляемого угла или центра дуги скругления, то выносные линии проводят от точки пересечения сторон скругляемого угла или центра дуги скругления (см. рис. Д.13, *г*);

– когда при нанесении размеров на невидимом контуре отпадает необходимость в вычерчивании дополнительного изображения.

14. При изображении изделия с разрывом размерную линию не прерывают (см. рис. Д.13, *д*).

15. Минимальные расстояния между параллельными размерными линиями должны быть 7 мм, а между размерной и линией контура – 10 мм, и выбраны в зависимости от размеров изображения и насыщенности чертежа.

16. Если длина размерной линии недостаточна для размещения на ней стрелок, то ее продолжают за выносные линии (или соответственно за контурные, осевые, центровые и т. д.) и стрелки наносят так, как показано на рис. Д.14, *а*.

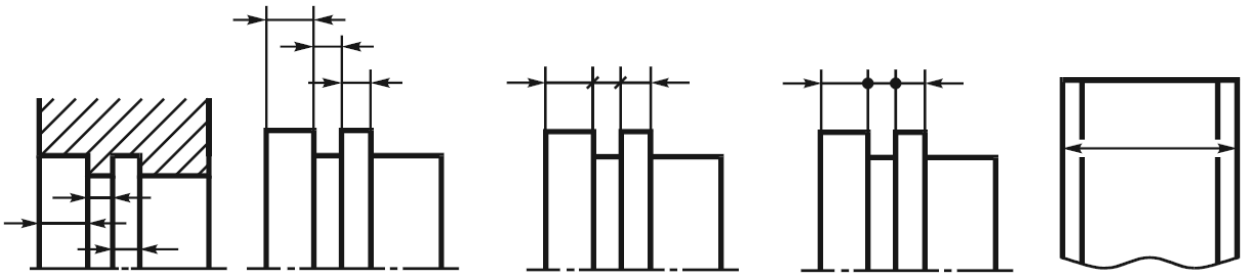


Рис. Д.14 [45]

При недостатке места для стрелок на размерных линиях, расположенных цепочкой, стрелки допускается заменять засечками, наносимыми под углом 45° к размерным линиям (рис. Д.14, *б*), или точками (рис. Д.14, *в*).

При недостатке места для стрелки из-за близко расположенной контурной или выносной линии последние допускается прерывать (рис. Д.14, *г*).

17. Размерные числа наносят над размерной линией возможно ближе к ее середине.

При нанесении размера диаметра внутри окружности размерные числа смещают относительно середины размерных линий.

18. Размерные числа линейных размеров при различных наклонах размерных линий располагают в соответствии с рис. Д.15, *а*.

Если необходимо нанести размер в заштрихованной зоне, соответствующее размерное число наносят на полке линии-выноски (рис. Д.15, *б*).

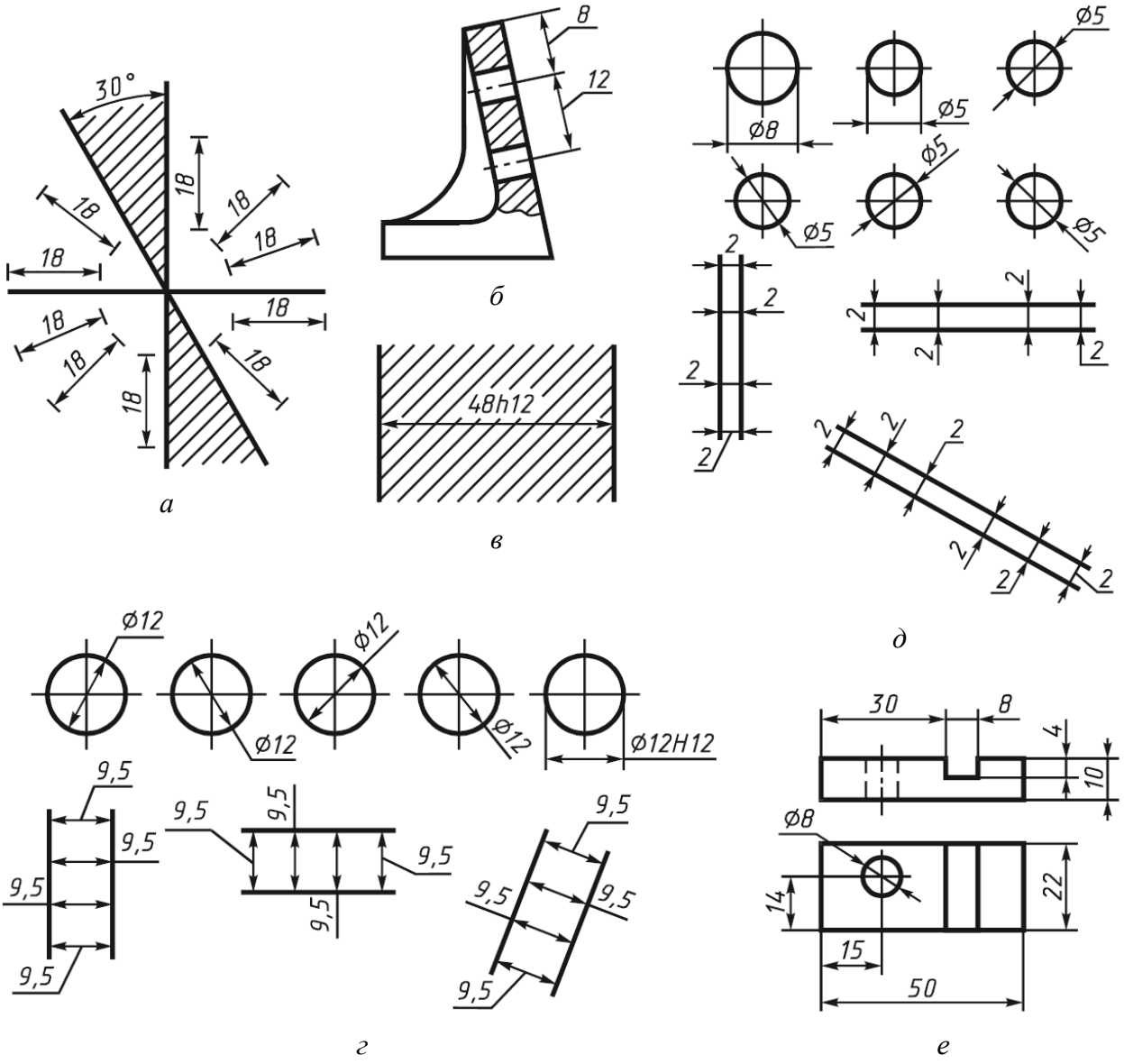


Рис. Д.15 [45]

19. Размерные числа и предельные отклонения не допускается разделять или пересекать какими бы то ни было линиями изображения.

Не допускается разрывать линию контура для нанесения размерного числа и наносить размерные числа в местах пересечения размерных, осевых или центровых линий.

В месте нанесения размерного числа осевые, центровые линии и линии штриховки прерывают (рис. Д.15, *в*).

20. Если для размерного числа недостаточно места над размерной линией, то размер наносят в соответствии с рис. Д.15, *г*. Если недостаточно места для нанесения стрелок, то их наносят в соответствии с рис. Д.15, *д*.

21. Размеры, относящиеся к одному и тому же конструктивному элементу (пазу, выступу, отверстию и т. д.), рекомендуется группировать в одном

месте, располагая их на изображении, где геометрическая форма данного элемента показана наиболее полно (см. рис. Д.15, *е*).

22. При нанесении размера радиуса перед размерным числом помещают прописную букву R.

Если радиусы скруглений, сгибов и т. д. во всем графическом документе одинаковы или какой-либо радиус является преобладающим, то вместо нанесения размеров этих радиусов непосредственно на изображении рекомендуется в ТТ делать записи: «Радиусы скруглений 4 мм»; «Внутренние радиусы сгибов 10 мм»; «Неуказанные радиусы 8 мм» и т. д.

23. При указании размера диаметра (во всех случаях) перед размерным числом наносят знак «Ø».

24. Размеры нескольких одинаковых элементов изделия, как правило, наносят один раз с указанием на полке линии-выноски количества этих элементов (рис. Д.16).

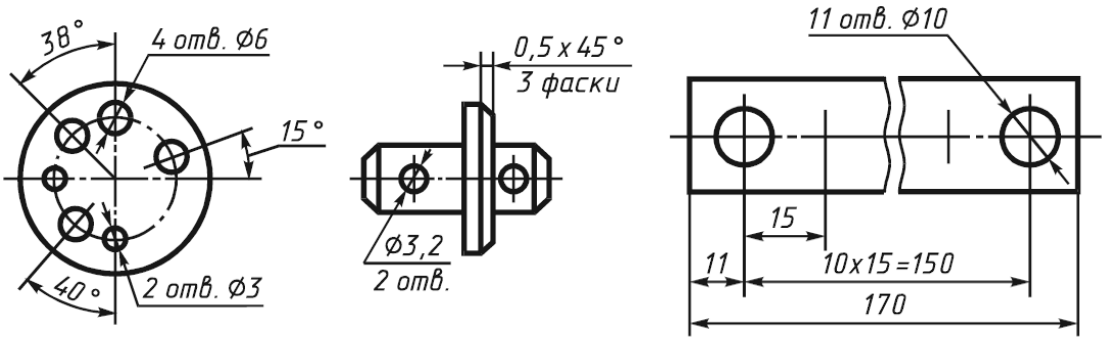


Рис. Д.16 [45]

Количество одинаковых отверстий всегда указывают полностью, а их размеры – только один раз.

25. Количество одинаковых элементов изделия (например, отверстий), расположенных на разных поверхностях и показанных на разных изображениях, записывают отдельно для каждой поверхности (рис. Д.17).

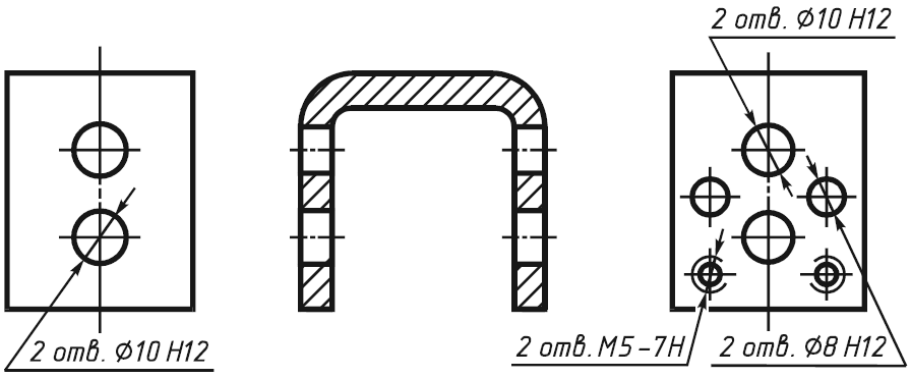


Рис. Д.17 [45]

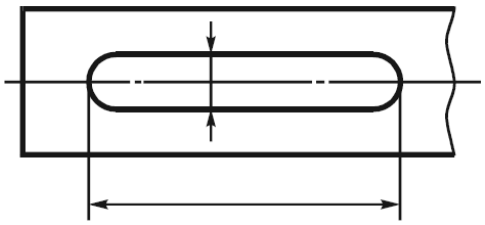


Рис. Д.18 [45]

Допускается повторять размеры одинаковых элементов изделия или их групп (в том числе отверстий), лежащих на одной поверхности, только в том случае, когда они значительно удалены друг от друга и не увязаны между собой размерами.

26. Допускается не наносить размеры радиуса дуги окружности сопрягающихся параллельных линий (рис. Д.18).

27. Размеры двух симметрично расположенных элементов изделия (кроме отверстий) наносят один раз без указания их количества, группируя, как правило, в одном месте все размеры (см. рис. Д.12).

Д.6. Предельные отклонения размеров

Некоторые термины и определения, связанные с предельными отклонениями даны из старой редакции ГОСТ 25346 [146]:

– ***номинальный размер*** – размер, относительно которого определяются отклонения (рис. Д.19);

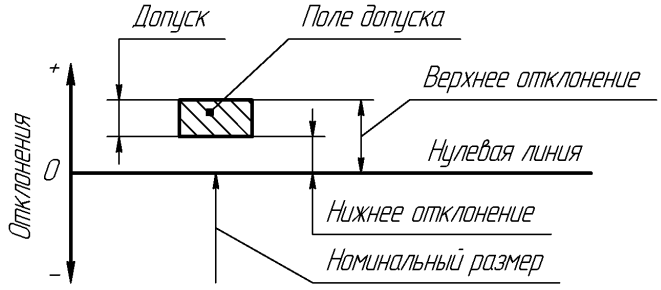


Рис. Д.19

– ***отклонение*** – алгебраическая разность между размером (действительным или предельным) и соответствующим номинальным размерами;

– ***предельное отклонение*** – алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения;

– ***верхнее отклонение*** – алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами (рис. Д.19);

– ***нижнее отклонение*** – алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами (рис. Д.19);

– ***нулевая линия*** – линия, соответствующая номинальному размеру, от которого откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок (рис. Д.19);

– ***основное отклонение*** – верхнее или нижнее предельное отклонение, определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. В принятой системе допусков и посадок основным является отклонение, ближайшее к нулевой линии. Их обозначают буквами латинского алфавита: прописными для отверстий (A…ZC) и строчными для валов (a…zc);

– ***отверстие*** – термин, условно применяемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы;

– ***вал*** – термин, условно применяемый для обозначения наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы;

– ***допуск*** – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями. Допуск – это абсолютная величина без знака (см. рис. Д.19);

– ***квалитет (степень точности)*** – совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров. В стандарте установлено 20 квалитетов: 01, 0, 1, 2…18. Квалитеты от 01 до 5 предназначены преимущественно для калибров, 6 и 7 – размеры повышенной и особой точности, 8–11 – достаточно точные размеры, 12 и выше – размеры, которые обычно нетрудно обеспечить. Числовые значения допусков для некоторых квалитетов приведены в табл. Д.1;

Таблица Д.1

Числовые значения допусков

Квалитет	Числовое значение допуска, мм, для интервалов номинальных размеров, мм							
	От 1 до 3 включ.	Св. 3 до 6 включ.	Св. 6 до 10 включ.	Св. 10 до 18 включ.	Св. 18 до 30 включ.	Св. 30 до 50 включ.	Св. 50 до 80 включ.	Св. 80 до 120 включ.
9	0,025	0,030	0,036	0,043	0,052	0,062	0,074	0,087
10	0,040	0,048	0,058	0,070	0,084	0,100	0,120	0,140
11	0,060	0,075	0,090	0,110	0,130	0,160	0,190	0,220
12	0,100	0,120	0,150	0,180	0,210	0,250	0,300	0,350
13	0,140	0,180	0,220	0,270	0,330	0,390	0,460	0,540
14	0,250	0,300	0,360	0,430	0,520	0,620	0,740	0,870

– ***поле допуска*** – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера (см. рис. Д.19). Поле допуска обозначают сочетанием букв основного отклонения и порядкового номера квалитета, например: g6, H11. Поля допусков по ГОСТ 25347–82 для 11-го квалитета и размеров от свыше 6 до 10 мм включительно показаны на рис. Д.20.

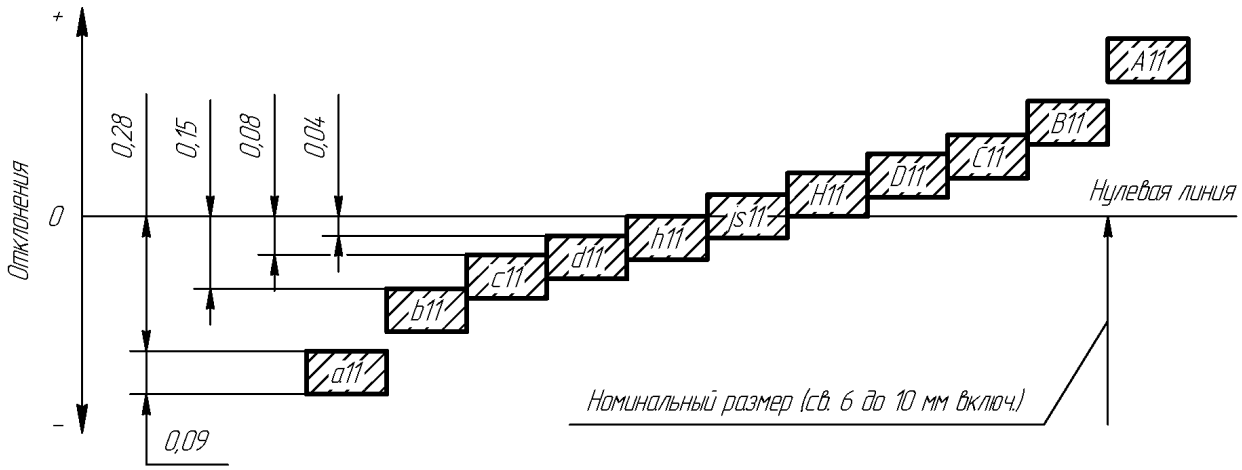


Рис. Д.20

Предельные отклонения размеров следует указывать непосредственно после номинальных размеров. Для линейных размеров это делается одним из следующих способов (см. рис. Д.12):

– условными обозначениями полей допусков в соответствии с ГОСТ 25346–89, например: 8H11, 10c11, 12E8;

– числовыми значениями, например: $8^{+0,09}$, $10^{-0,08}_{-0,17}$, $12^{+0,059}_{+0,032}$;

– условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках их числовых значений, например: $8\text{H}11^{(+0,09)}$, $10\text{c}11^{(-0,08)}_{(-0,17)}$, $12\text{E}8^{(+0,059)}_{(+0,032)}$.

Предельные отклонения угловых размеров указывают только числовыми значениями.

При указании номинальных размеров буквенными обозначениями поля допусков должны быть указаны после тире, например: D – H11.

Числовые значения верхних отклонений помещают над нижними.

Предельные отклонения, равные нулю, не указывают.

При симметричном расположении поля допуска абсолютное значение отклонений указывают один раз со знаком «±», например: 10±0,045.

Для размеров относительно низкой точности допускается оговаривать общие предельные отклонения записью в ТТ чертежа при условии однозначного понимания значений и знаков. Возможно три варианта такой записи:

1. Размеры имеют симметричные предельные отклонения по одному из четырех классов точности в соответствии с ГОСТ 30893.1–2002 [147]: f – «точный», m – «средний», c – «грубый», v – «очень грубый».

Значения предельных отклонений для интервалов номинальных размеров отдельно для случаев линейных размеров, угловых размеров и размеров

притупленных кромок (наружных радиусов скругления и высот фасок) приведены в трех таблицах указанного стандарта. Например, у номинального линейного размера 6 мм, указанного для любого элемента на чертеже без предельных отклонений, предельное отклонение в классе f составит ±0,05 мм, в классе m – ±0,1 мм, в классе c – ±0,3 мм, в классе v – ±0,5 мм.

Пример записи: «Общие допуски по ГОСТ 30893.1 – m».

2. Размеры отверстий и валов имеют односторонние предельные отклонения (в плюс и минус соответственно), а элементы, не относящиеся к отверстиям и валам, – симметричные предельные отклонения. Предельные отклонения задаются по одному из четырех классов точности в соответствии с ГОСТ 30893.1–2002, но в этом случае они обозначаются буквой *t* и индексом: t_1 – «точный», t_2 – «средний», t_3 – «грубый», t_4 – «очень грубый».

Пример записи: «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: $+t_1$, $-t_1$, $\pm t_1/2$».

Величины симметричных предельных отклонений по классам точности ($\pm t/2$) совпадают с соответствующими классами точности из п. 1.

Например, для приведенной записи у номинального линейного размера 6 мм предельные отклонения для отверстий составят плюс 0,1 мм, для валов – минус 0,1 мм, для прочих элементов – ±0,05 мм.

3. Размеры отверстий и валов имеют односторонние предельные отклонения (в плюс и минус соответственно), а элементы, не относящиеся к отверстиям и валам, – симметричные предельные отклонения. Предельные отклонения задаются по квалитетам в соответствии с ГОСТ 25346–89 и ГОСТ 25348–82 [148].

Пример записи: «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H12, h12, $\pm$IT12/2».

Например, для приведенной записи у номинального линейного размера 6 мм предельные отклонения для отверстий составят плюс 0,12 мм, для валов – минус 0,12 мм, для прочих элементов – ±0,06 мм.

Также возможна замена симметричных предельных отклонений по квалитетам ($\pm$IT/2), где после букв IT указывается номер квалитета, на симметричные предельные отклонений по классам точности (для 12-го квалитета – t_1, для 14-го квалитета – t_2, для 16-го квалитета – t_3, для 17-го квалитета – t_4), например: «Общие допуски по ГОСТ 30893.1: H12, h12, $\pm t_1/2$».

Следует отметить, что на чертежах деталей радиоэлектронной аппаратуры часто в ТТ помещают ссылку на отраслевой стандарт ОСТ4 ГО.070.014, который устанавливает общие ТТ к деталям из разных материалов (металл,

резина, древесина и пр.), правила приемки, методы испытаний и др. Также в разделе «Общие требования» из этого стандарта уже содержится запись, сделанная по 3-му варианту, для общих допусков по 14-му квалитету.

Д.7. Допуски формы и расположения поверхностей

Основные определения даны в утратившем силу ГОСТ 24642–81 [149]:

– *допуск формы* – наибольшее допускаемое отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номинального профиля (например, отклонение от прямолинейности, частными случаями которого являются выпуклость и вогнутость);

– *допуск расположения* – предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения реального расположения элемента от его номинального расположения (например, отклонение от перпендикулярности).

Числовые значения на допуски формы и расположения поверхностей можно найти в ГОСТ 24643–81 [150] и ГОСТ 30893.2–2002 [151].

При необходимости нормирования допусков формы и расположения, не указанных в графическом документе числовыми значениями и не ограничиваемых другими указанными допусками формы и расположения, в ТТ должна быть приведена общая надпись о неуказанных допусках формы и расположения со ссылкой на ГОСТ 30893.2–2002 по одному из трех классов точности: H, K (грубее, чем H), L (грубее, чем K),

Пример записи: «Общие допуски формы и расположения – ГОСТ 30893.2 – H».

Стоит отметить, что в отраслевом стандарте ОСТ4 ГО.070.014 в разделе «Общие требования» уже содержится запись для неуказанных отклонений формы и расположения поверхностей по классу точности K.

Нанесение обозначений допусков. Правила указания допусков формы и расположения поверхностей в графических документах устанавливают ГОСТ Р 2.308–2023 и ГОСТ Р 53442–2015 [152].

При условном обозначении данные о допусках формы и расположения поверхностей указывают в прямоугольной рамке, разделенной на две и более части, в которых помещают следующую информацию:

– в первой – условный знак допуска;

– во второй – числовое значение допуска в миллиметрах;

– в третьей и последующих – буквенное обозначение базы, общей базы или комплекта баз.

На рис. Д.21 показано условное обозначение допуска параллельности (один из видов допуска расположения) относительно базовой плоскости *А*. Указание означает, что выявленная поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии 0,02 мм и параллельными базовой плоскости *А*.

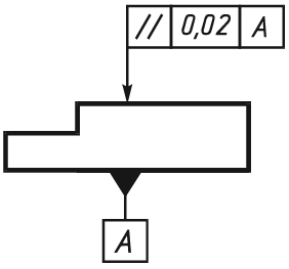


Рис. Д.21 [46]

Рамки выполняются сплошными тонкими линиями. Высота цифр, букв и знаков, вписываемых в рамки, должна быть равна размеру шрифта размерных чисел.

Рамку располагают горизонтально, при этом не допускается пересекать ее какими-либо линиями.

Рамку соединяют с элементом, к которому относится допуск, сплошной тонкой линией, заканчивающейся стрелкой. Соединительная линия может быть прямой или ломаной, но направление отрезка соединительной линии, заканчивающегося стрелкой, должно соответствовать направлению измерения отклонения. Ее проводят от рамки так, как показано на рис. Д.22, *а*.

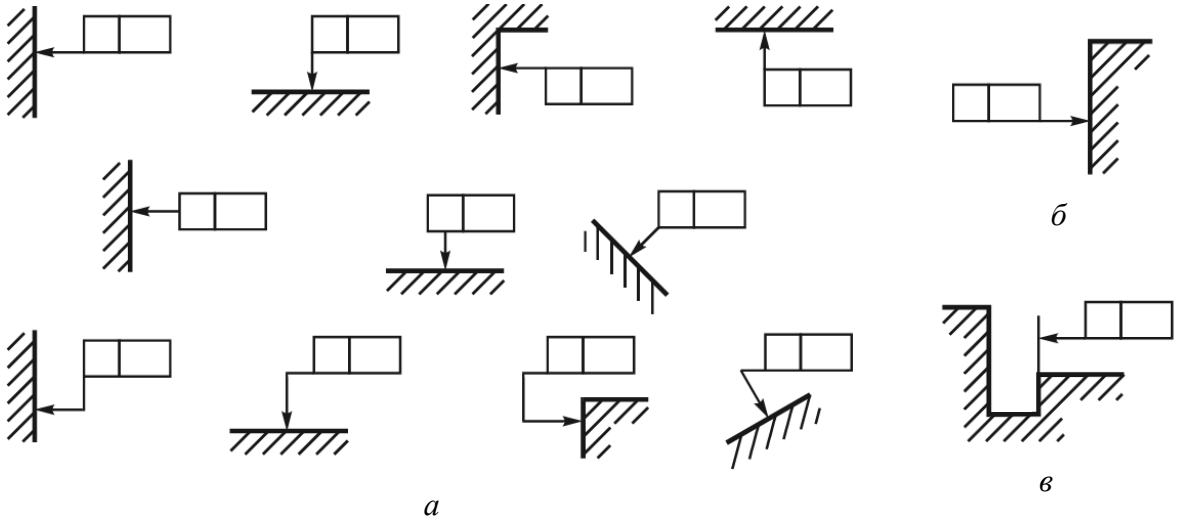


Рис. Д.22 [46]

В необходимых случаях допускается проводить соединительную линию от второй (последней) части рамки (рис. Д.22, *б*) и заканчивать ее стрелкой со стороны материала детали (рис. Д.22, *в*).

Если допуск относится к поверхности или ее профилю, то рамку соединяют с контурной линией поверхности или ее продолжением в виде отрезка тонкой линии, при этом соединительная линия не должна быть продолжением размерной линии (рис. Д.23, *а* и *б*).

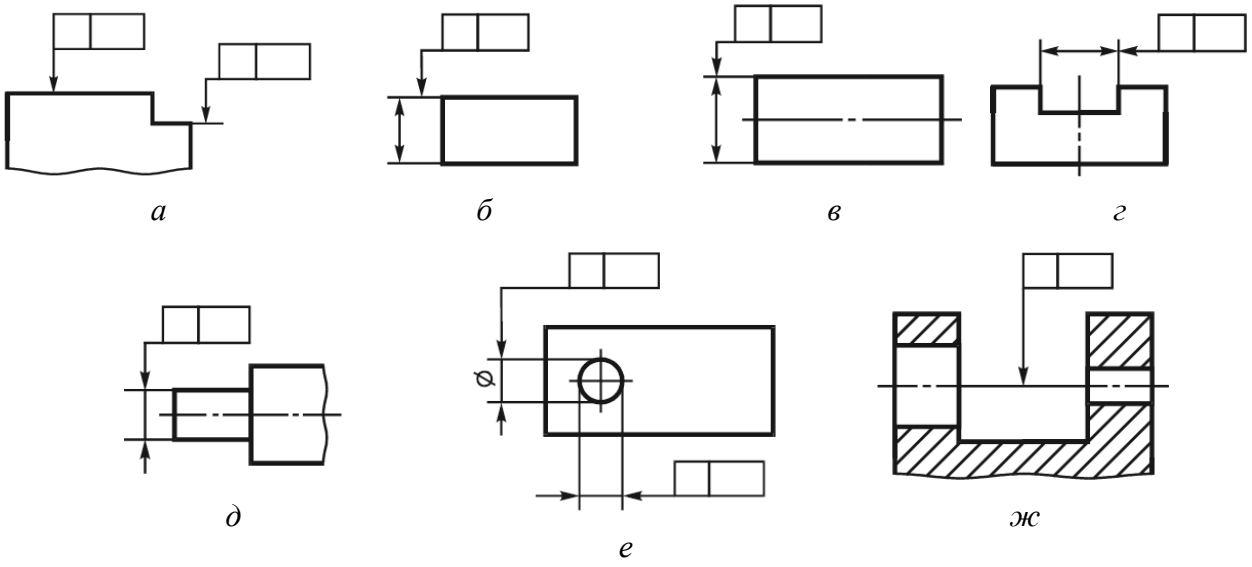


Рис. Д.23 [46]

Если допуск относится к оси или плоскости симметрии, то соединительная линия должна быть продолжением размерной линии (рис. Д.23, *в* и *г*). При недостатке места стрелку размерной линии допускается совмещать со стрелкой соединительной линии (рис. Д.23, *д*).

Если размер элемента уже указан один раз, то на других размерных линиях данного элемента, используемых для условного обозначения допуска формы и расположения, его не указывают. Размерную линию без размера следует рассматривать как составную часть условного обозначения допуска формы и расположения (рис. Д.23, *е*).

Если допуск относится к общей оси (плоскости симметрии) и из чертежа ясно, для каких поверхностей данная ось (плоскость симметрии) является общей, то рамку соединяют с ней как на рис. Д.23, *ж*.

Обозначение баз. ***База*** – элемент детали (или сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения или суммарный допуск формы и расположения рассматриваемого элемента, а также определяется соответствующее отклонение.

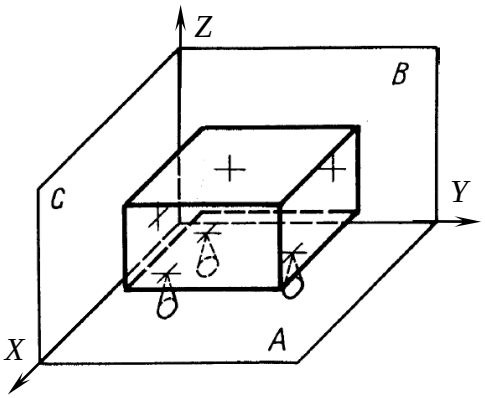


Рис. Д.24 [149]

Базы, образующие комплект баз и указываемые в третьей и последующих частях рамки допуска формы и расположения поверхностей, записывают в порядке убывания числа степеней свободы, лишаемых ими. Например, на рис. Д.24:

– база *А* лишает деталь трех степеней свободы и называется ***установочной***, при

этом данное тело не сможет перемещаться вдоль оси Z и вращаться вокруг осей X и Y;

– база *B* лишает деталь двух степеней свободы и называется ***направляющей***. В дополнение к базе *A* тело не сможет перемещаться вдоль оси X и вращаться вокруг оси Z;

– база *C* лишает деталь одной степени свободы и называется ***опорной***. В дополнение к базам *A* и *B* тело не сможет перемещаться вдоль оси Y.

Базу, относительно которой установлен допуск элемента, указывают прописной буквой. Рамка базы, в которой размещается буква, соединяется с базой сплошной тонкой линией, заканчивающейся зачерненным равносторонним треугольником (см. рис. Д.21). Высота треугольника должна быть приблизительно равна размеру шрифта размерных чисел.

Если базой является линия или поверхность, то треугольник располагают на контуре элемента или на его продолжении, при этом соединительная линия не должна быть продолжением размерной линии (рис. Д.25, *а*).

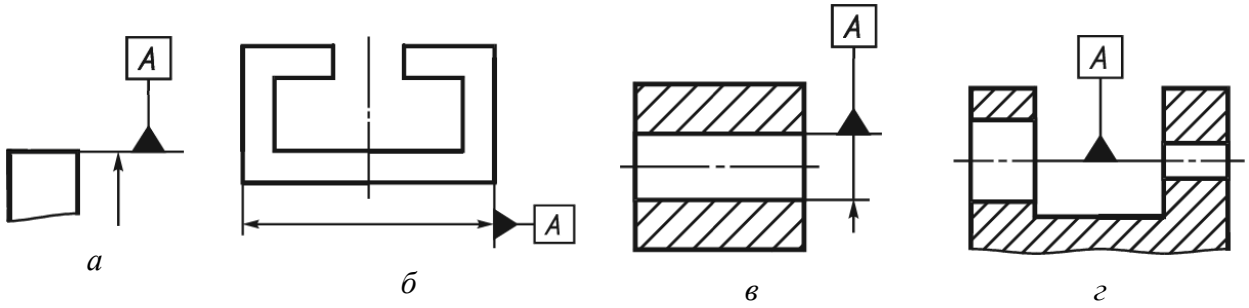


Рис. Д.25 [46]

Если базой является ось или плоскость симметрии, то треугольник располагают на конце размерной линии (рис. Д.25, *б*). В случае недостатка места стрелку размерной линии допускается заменять треугольником (рис. Д.25, *в*).

Если базой является общая ось (плоскости симметрии) и из чертежа ясно, для каких поверхностей ось (плоскость симметрии) является общей, то треугольник располагают на ней (рис. Д.25, *г*).

Допуск плоскостности. Допуск плоскостности (один из видов допуска формы) определяет наибольшее допускаемое значение отклонения от плоскостности, при этом поле допуска (область в пространстве) ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значения допуска *TFE* (рис. Д.26).

На рис. Д.27 показан пример обозначения допуска плоскостности поверхности. Указание означает, что выявленная поверхность должна быть

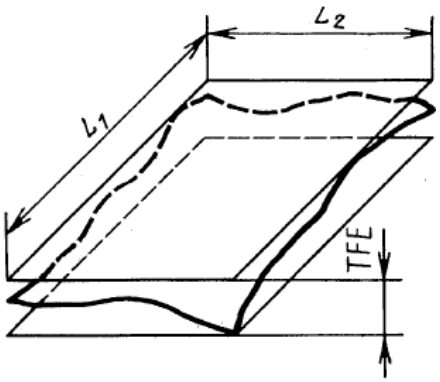


Рис. Д.26 [149]

расположена между двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии 0,1 мм.

Следует отметить, что для элементов с указанными на чертеже предельными отклонениями размеров и неуказанными допусками формы допускаются любые отклонения формы в пределах поля допуска размера рассматриваемого элемента.

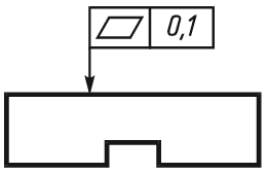


Рис. Д.27 [46]

Значения допусков плоскостности для некоторых интервалов номинальных размеров и степеней точности даны в табл. Д.2. Под номинальным размером здесь понимается номинальная длина нормируемого участка. Если последний не задан, то тогда номинальный размер – номинальная длина большей стороны поверхности (размер L_1 или L_2 на рис. Д.26).

Таблица Д.2

Допуски плоскостности

Интервалы номинальных размеров, мм	Допуски плоскостности, мкм, при степени точности							
	5	6	7	8	9	10	11	12
Св. 16 до 25	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св. 25 до 40	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 40 до 63	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 63 до 100	5	8	12	20	30	50	80	120
Св. 100 до 160	6	10	16	25	40	60	100	160

Степени точности рекомендуется назначать с учетом способа обработки поверхностей:

– 5–6 – шлифование, шабрение, тонкое развертывание, обтачивание и фрезерование повышенной точности;

– 7–8 – грубое шлифование, фрезерование, строгание, чистовое обтачивание, зенкерование и сверление повышенной точности;

– 9–10 – фрезерование, сверление, строгание, обтачивание, долбление, литье под давлением;

– 11–12 – грубая механическая обработка всех видов.

Некоторые указанные способы обработки [153], [154]:

– ***шабрение*** – отделочная обработка поверхности, предварительно обработанной резанием, путем снятия тонкой стружки (скобление) шабером

(рис. Д.28, *а*). Используется для обеспечения точного сопряжения деталей или точного относительного их положения;



а



б



в



д



г



е

Рис. Д.28

– ***развертывание*** – чистовая обработка отверстий резанием (после сверления и зенкерования) многолезвийным режущим инструментом – разверткой (рис. Д.28, б);

– ***обтачивание*** – операция обработки цилиндрических и торцевых поверхностей на токарном станке резцом (рис. Д.28, *в*);

– ***фрезерование*** – обработка резанием металлических и неметаллических материалов на фрезерном станке, при которой режущий инструмент (фреза) имеет вращательное движение, а обрабатываемая заготовка – поступательное (на рис. Д.28, *г* показана концевая фреза). Это основная операция в изготовлении «экрана» и «основания»;

– ***зенкерование*** – обработка предварительно полученных отверстий зенкером с целью повышения их точности. Зенкер имеет три или четыре режущие кромки (рис. Д.28, *д*), т. е. больше, чем у сверла, но меньше, чем у развертки.

Примечание. Также существует понятие зенкование – операция получения цилиндрических или конических углублений под головки винтов с помощью цилиндрических или конических зенковок (см. рис. Д.28, е). Такая операция использована при изготовлении «экрана».

Допуск перпендикулярности. Допуск перпендикулярности (один из видов допуска расположения) определяет наибольшее допускаемое значение отклонения от перпендикулярности, при этом поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном значению допуска *TPR*, и перпендикулярными к базовой плоскости (рис. Д.29).

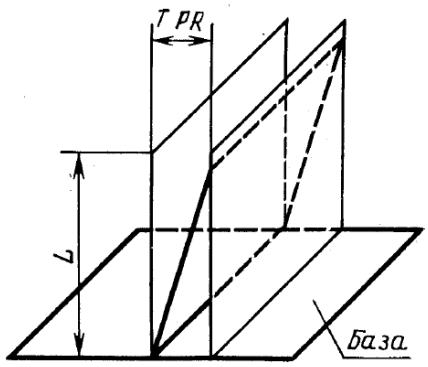


Рис. Д.29 [149]

На рис. Д.30 показан пример обозначения допуска перпендикулярности поверхности. Указание означает, что выявленная поверхность должна быть расположена между двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии 0,02 мм и перпендикулярными к базовой плоскости *А*.

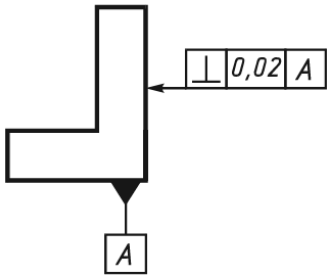


Рис. Д.30 [46]

Значения допусков перпендикулярности для некоторых интервалов номинальных размеров (размер *L* на рис. Д.29) и степеней точности даны в табл. Д.3.

Таблица Д.3

Допуски перпендикулярности

Интервал номинальных размеров, мм	Допуск перпендикулярности, мкм, при степени точности							
	5	6	7	8	9	10	11	12
До 10	2,5	4	6	10	16	25	40	60
Св. 10 до 16	3	5	8	12	20	30	50	80
Св. 16 до 25	4	6	10	16	25	40	60	100
Св. 25 до 40	5	8	12	20	30	50	80	120

Позиционный допуск. Позиционный допуск (один из видов допуска расположения) при проектировании будет использоваться только в диаметральном выражении. В этом случае он определяет удвоенное наибольшее допускаемое значение расстояния между реальным расположениям элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка, при этом поле допуска ограничено цилиндром (рис. Д.31), диаметр которого равен значению допуска в диамет-

ральном выражении *TPP*, а ось совпадает с номинальным расположением рассматриваемой оси (прямой).

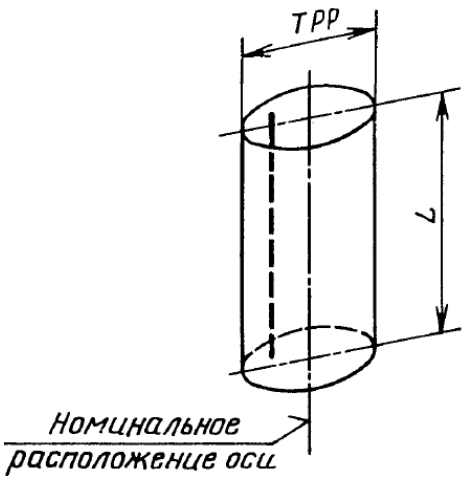


Рис. Д.31 [149]

По ГОСТ 14140–81 [155] допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей должны устанавливаться одним из следующих способов:

– позиционными допусками осей отверстий, что является предпочтительным для отверстий одной сборочной группы при числе элементов в группе более двух;

– предельными отклонениями размеров.

Числовые значения позиционных допусков в диаметральном выражении *T* должны соответствовать значениям ряда: 0,01; 0,012; 0,016; 0,02; 0,025; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,08; 0,1; 0,12; 0,16; 0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16.

Технологические преимущества позиционных допусков состоят в том, что они позволяют использовать наибольшее поле допуска. Так, на рис. Д.32 заштрихованным квадратом показано поле допуска, определяемое предельными отклонениями координирующих размеров ($\pm\delta L$), а описанной окружностью – поле, обеспечиваемое позиционным допуском [156].

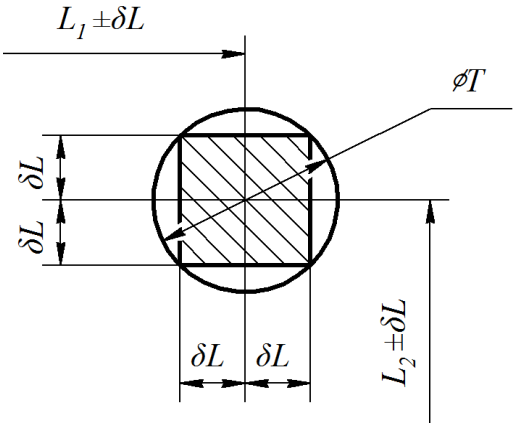


Рис. Д.32

В отличие от допусков размеров позиционные допуски не складываются при задании теоретически точных размеров цепочкой [157].

Использование предельных отклонений координирующих размеров целесообразно, например, если по конструктивным условиям необходимо ограничить отклонения именно в соответствующих координатных направлениях (неодинаковые допуски в разных координатных направлениях; в тонкостенных деталях и др.).

Линейные и угловые размеры, определяющие номинальное расположение и (или) номинальную форму элементов, ограничиваемых допуском, при назначении позиционного допуска и некоторых других видов допуска указывают без предельных отклонений и заключают в прямоугольные рамки.

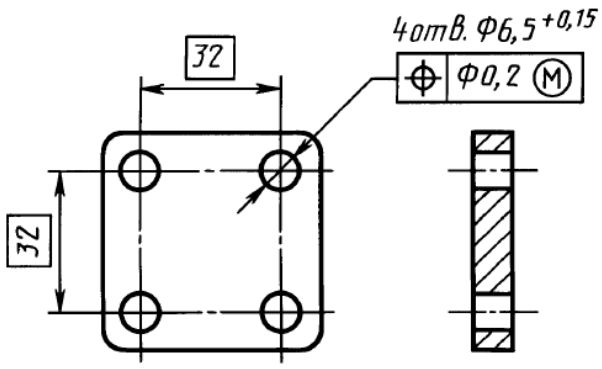


Рис. Д.33 [158]

На рис. Д.33 показан пример обозначения позиционного допуска.

Зависимые и независимые допуски. Допуски формы и расположения поверхностей могут быть независимыми и зависимыми.

Независимый допуск – допуск, числовое значение которого постоянно для всей совокупности деталей, изготавливаемых по данному чертежу, и не зависит от действительного размера нормируемого (или базового) элемента. Если допуск не указан как зависимый, то его считают независимым.

Зависимый допуск – допуск, числовое значение которого переменно для различных деталей, изготовленных по данному чертежу, и зависит от действительного размера нормируемого (или базового) элемента. В чертежах или ТТ зависимый допуск задается своим минимальным значением, которое допускается превышать на величину, соответствующую отклонению действительного размера рассматриваемого или базового элемента данной детали от наибольшего предельного размера вала или наименьшего предельного размера отверстия.

Зависимый допуск обозначается буквой **М** в окружности (рис. Д.33).

Зависимые допуски более экономичны и выгодней для производства, чем независимые. В отдельных случаях при зависимых допусках путем дополнительной обработки (например, развертыванием отверстий) имеется возможность перевести деталь из брака в годные.

Разница между зависимым и независимым допусками будет показана на примере рис. Д.33.

На рисунке задан зависимый позиционный допуск в диаметральном выражении (перед значением допуска 0,2 мм указан знак диаметра) осей четырех отверстий по отношению друг к другу. Номинальные расстояния между осями отверстий – 32 мм. Диаметр каждого отверстия может лежать в диапазоне 6,5–6,65 мм.

Центр каждого из четырех отверстий может находиться внутри окружностей с диаметром 0,2 мм (закрашенная область на рис. Д.34), центры которых занимают номинальное расположение в точной прямоугольной решетке с размером 32 мм. Другими словами, поверхность каждого отверстия не

должна выходить за предельный действующий контур – цилиндр с диаметром $6{,}5 - 0{,}2 = 6{,}3$ мм (заштрихованная область на рис. Д.34).

Для наименьшего диаметра отверстия (6,5 мм) позиционный допуск его оси составит 0,2 мм (как для зависимого, так и для независимого допуска). На рис. Д.34 показано одно из возможных предельных положений отверстия.

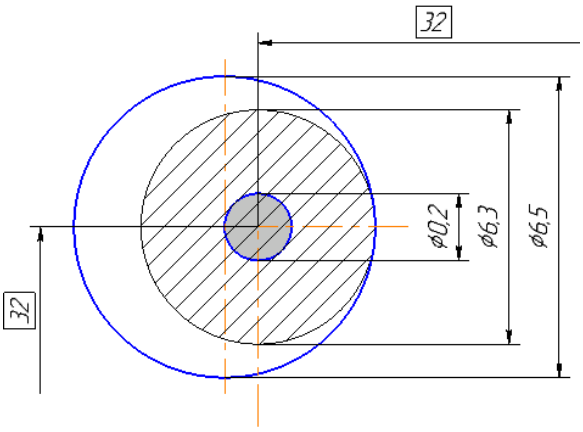
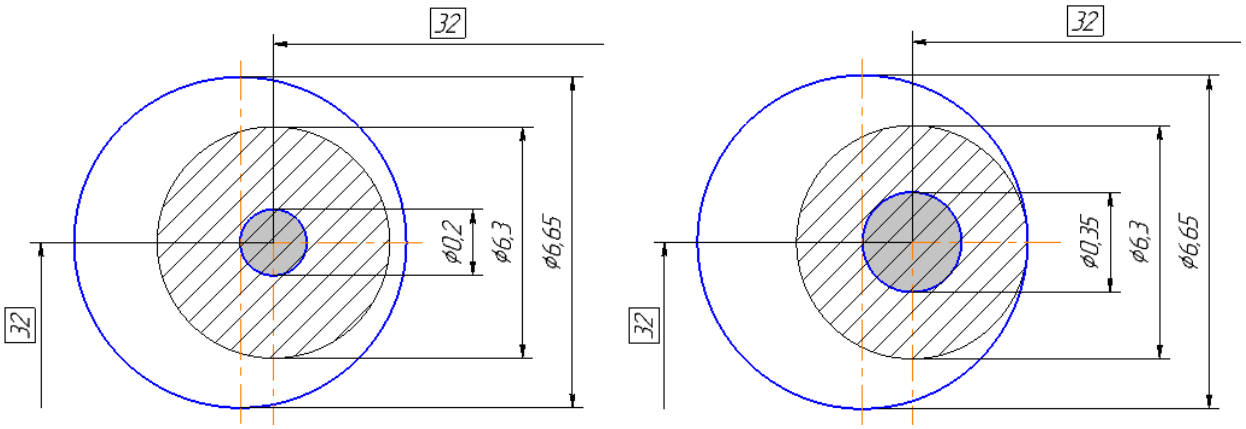


Рис. Д.34

Для наибольшего диаметра отверстия (6,65 мм) позиционный допуск его оси для независимого допуска составит все те же 0,2 мм (рис. Д.35, *а*), а для зависимого: $0{,}2 + 0{,}15 = 0{,}35$ мм (рис. Д.35, *б*).



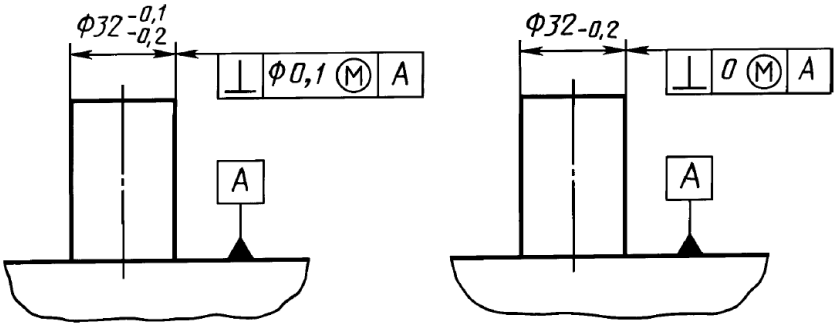
а *б*

Рис. Д.35

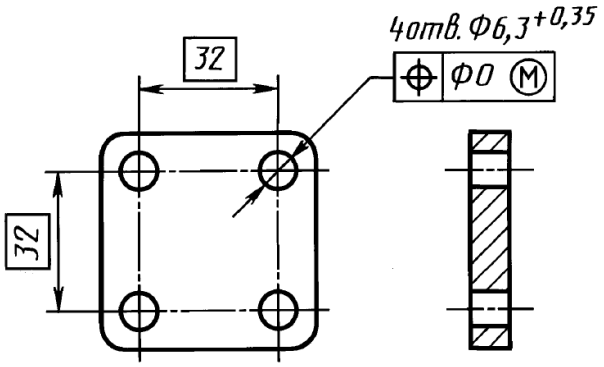
В результате при зависимом позиционном допуске отверстие можно дополнительно сдвинуть без нарушения собираемости изделия за счет допуска на диаметр, и это не будет считаться браком.

Зависимые допуски расположения по ГОСТ Р 50056–92 могут назначаться равными нулю. В этом случае допуск размера является суммарным допуском размера и расположения элемента, а допуск расположения допустим только за счет использования части допуска на размер.

В качестве примера на рис. Д.36, *а* приведена эквивалентная замена раздельных допусков размера цилиндрического элемента и зависимого допуска его расположения (допуск перпендикулярности) на суммарный допуск размера и расположения в сочетании с нулевым зависимым допуском расположения, а на рис. Д.36, *б* – аналогичная эквивалентная замена для рис. Д.33.



а



б

Рис. Д.36 [158]

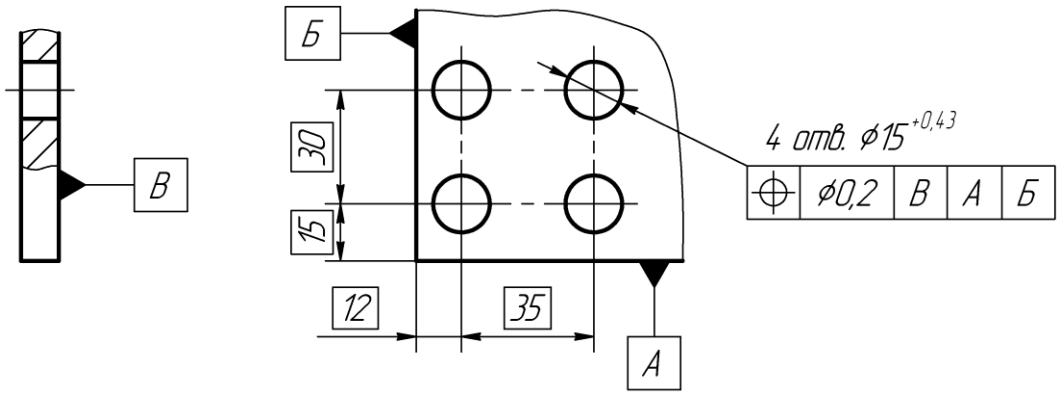


Рис. Д.37

На рис. Д.37 приведен пример указания независимого позиционного допуска для четырех отверстий относительно комплекта баз:

– любой местный диаметр в каждом отверстии должен находиться в диапазоне 15–15,43 мм;

– выявленная поверхность каждого отверстия не должна выходить за предельный действующий контур диаметром 14,8 мм. Другими словами, выявленная средняя линия каждого отверстия должна располагаться внутри поля допуска, представляющего собой цилиндр диаметром 0,2 мм;

– оси полей допусков перпендикулярны относительно базы *В* и параллельны друг другу;

– оси полей допусков занимают теоретически точные положения относительно друг друга (размеры 30 и 35 мм) и относительно баз *А* и *Б* (размеры 12 и 15 мм).

База *В* в данном случае является установочной, т. е. при сборке с этой поверхностью может контактировать поверхность другой детали. Если ее не показывать, то оси полей допусков останутся параллельны друг другу, но на их ориентацию не будет наложено ограничений (если нет никаких других указаний на чертеже). В этом случае сборку с другой деталью осуществить можно, но без условия соприкосновения их плоскостей.

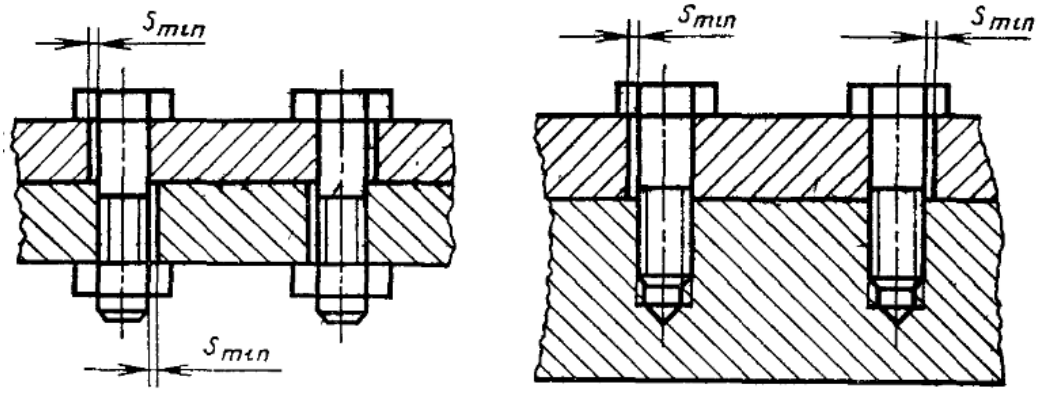
Примеры с подробными пояснениями по указанию на чертеже различных допусков формы и расположения поверхностей даны в ГОСТ Р 50056–92, ГОСТ Р 53089–2008, ГОСТ Р 53090–2008 [159] и ГОСТ Р 53442–2015.

Расчет позиционных допусков осей отверстий для крепежных деталей. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей по ГОСТ 14140–81 назначают в зависимости от типа соединения крепежными деталями, зазора для прохода крепежных деталей и коэффициента использования этого зазора для компенсации отклонений расположения осей.

Соединения крепежными деталями подразделяются на два типа:

– **А** – зазоры для прохода крепежных деталей предусмотрены в обеих соединяемых деталях (рис. Д.38, *а*). Пример такого типа – соединение болтом или заклепкой;

– **В** – зазоры для прохода крепежных деталей предусмотрены лишь в одной из соединяемых деталей (рис. Д.38, *б*). Пример такого типа – соединение винтом или шпилькой (стержнем с резьбой).



а *б*

Рис. Д.38 [155]

Если позиционные допуски осей отверстий установлены одинаковыми для обеих соединяемых деталей, то их можно определить по формулам:

$$T = K \cdot S_{\min} \text{ – для соединений типа А,}$$

$$T = 0{,}5K \cdot S_{\min} \text{ – для соединений типа В,} \qquad (Д.1)$$

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}, \qquad (Д.2)$$

где K – коэффициент использования зазора $S_{\min}$, зависящий от условий сборки и позволяющий зарезервировать гарантированный зазор; $S_{\min}$ – наименьший зазор между сквозным гладким отверстием и крепежной деталью, мм; $D_{\min}$ – наименьший предельный диаметр сквозного отверстия, мм; $d_{\max}$ – наибольший предельный диаметр стержня крепежной детали, мм.

Для соединений, не требующих регулировки взаимного расположения деталей, рекомендуется выбирать коэффициент *K*, равным 0,8 или 1.

Позиционные допуски осей отверстий для обеих соединяемых деталей допускается назначать неодинаковыми ($T_1 \neq T_2$). При этом они должны соответствовать следующим условиям:

$$T_1 + T_2 = 2K \cdot S_{\min} \text{ – для соединений типа А,}$$

$$T_1 + T_2 = K \cdot S_{\min} \text{ – для соединений типа В.} \qquad (Д.3)$$

Предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий, определяют для соответствующего позиционного допуска осей отверстий T путем разложения его на составляющие, ограничивающие позиционное отклонение оси в каждом координатном направлении (T_x и T_y).

Если составляющие позиционного допуска оси по обоим координатным направлениям принимаются одинаковыми (см. рис. Д.32), то их можно найти по формуле:

$$T_x = T_y = 2\delta L \approx 0{,}7T\,.$$

В этом случае предельные отклонения размеров между осями двух любых отверстий (а также между осью любого отверстия и базовой плоскостью) в каждом координатном направлении определяются по формуле:

$$\delta L = 0{,}35T\,. \qquad (Д.4)$$

Следует отметить, что допуски расположения осей сквозных гладких отверстий в соединениях типов А и В рекомендуется назначать зависимыми, если это не приводит к нарушению прочности детали или к нарушению требований к внешнему виду.

Собираемость изделия при соединении типа В. На рис. Д.39 показано соединение двух деталей (позиции 1 и 2) винтом позиции 3. Как было рассмотрено ранее, такое соединение относится к типу В.

Чертежи деталей позиций 1 и 2 показаны на рис. Д.40, *а* и *б* соответственно. Позиционный допуск отверстий вычислен по (Д.1) с коэффициентом $K=1$ и задан относительно двух баз, которыми соприкасаются детали в рассматриваемой плоскости (база *Б* в обеих деталях – установочная).

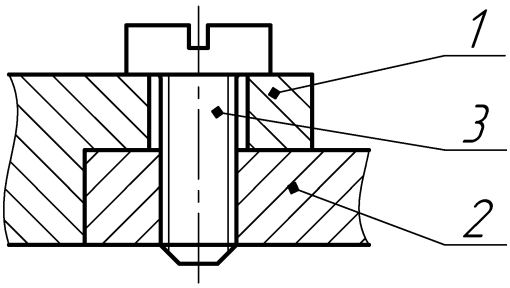
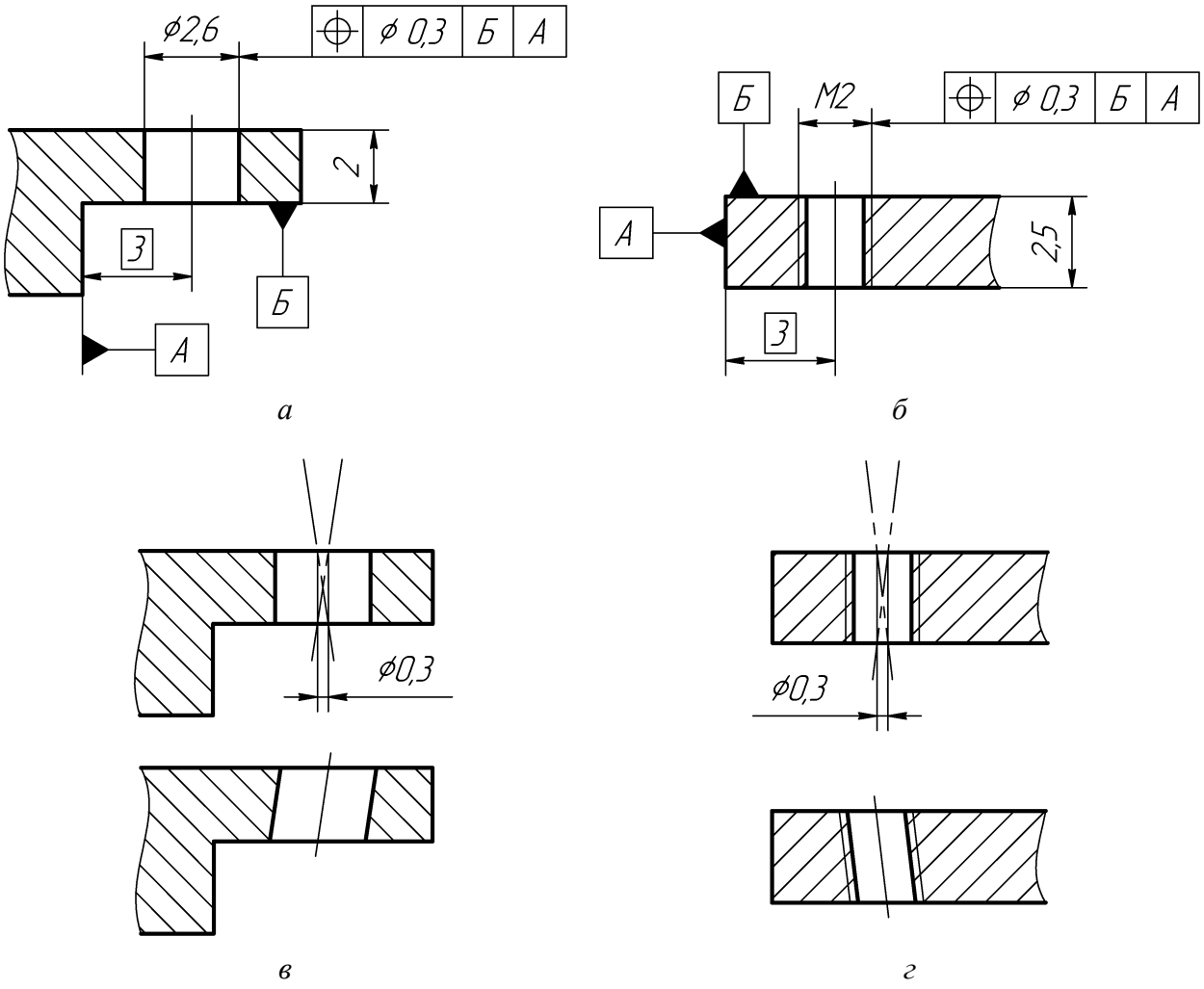


Рис. Д.39



а *б*

в *г*

Рис. Д.40

В изготовленных деталях выявленные оси отверстий могут иметь произвольный угол наклона в пределах полей позиционных допусков, представляющих собой цилиндры с диаметрами 0,3 мм, оси которых строго перпендикулярны базам *Б* в каждой детали и имеют теоретически точное месторасположение, заданное номинальными размерами.

На рис. Д.40, *в* показаны расположения выявленных осей отверстия с наибольшими допустимыми углами наклона и возможный вид отверстия для детали позиции 1, а на рис. Д.40, *г* – то же самое для детали позиции 2.

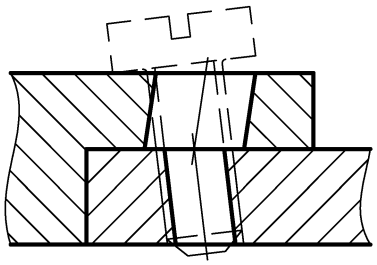


Рис. Д.41

Результат соединения деталей с показанными на рис. Д.40, *в* и *г* углами наклона осей отверстий приведен на рис. Д.41. Видно, что винт установить проблематично.

Существует несколько способов решения этой проблемы:

– увеличить диаметр отверстия в детали позиции 1, но этом может оказаться неприемлемым по условиям функционирования изделия;

– уменьшить позиционный допуск отверстия в детали позиции 2, но это может увеличить стоимость изготовления;

– указать дополнительный допуск перпендикулярности оси отверстия с меньшим значением, чем допускается в указанном позиционном допуске, но это также может увеличить стоимость изготовления;

– использовать выступающее поле допуска расположения – поле или часть его, ограничивающее отклонение расположения рассматриваемого элемента за пределами протяженности этого элемента (нормируемый участок выступает за пределы длины элемента).

Выступающее поле допуска расположения обозначается буквой **Р** в окружности. Контур выступающей части нормируемого элемента ограничивают тонкой сплошной линией, а длину и расположение выступающего поля допуска – размерами (рис. Д.42).

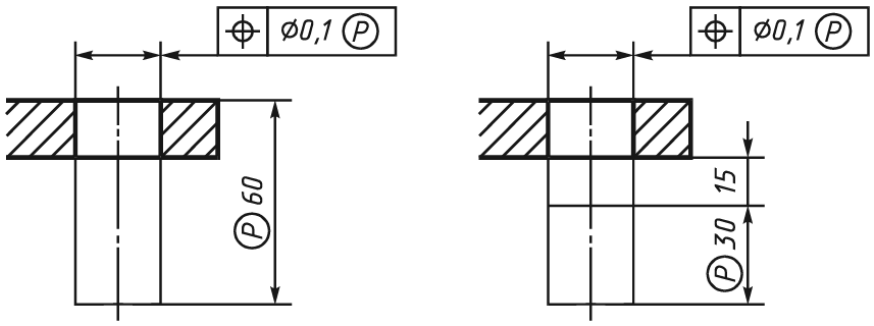


Рис. Д.42 [46]

Минимальная высота выступающего поля допуска над поверхностью детали, в которую вворачивается крепежной изделие, для обеспечения возможности соединений типа В:

– для винтов (болтов) – максимально допустимая толщина сопрягаемой детали (деталей);

– для шпилек (штифтов) – максимальная длина их выступающей части.

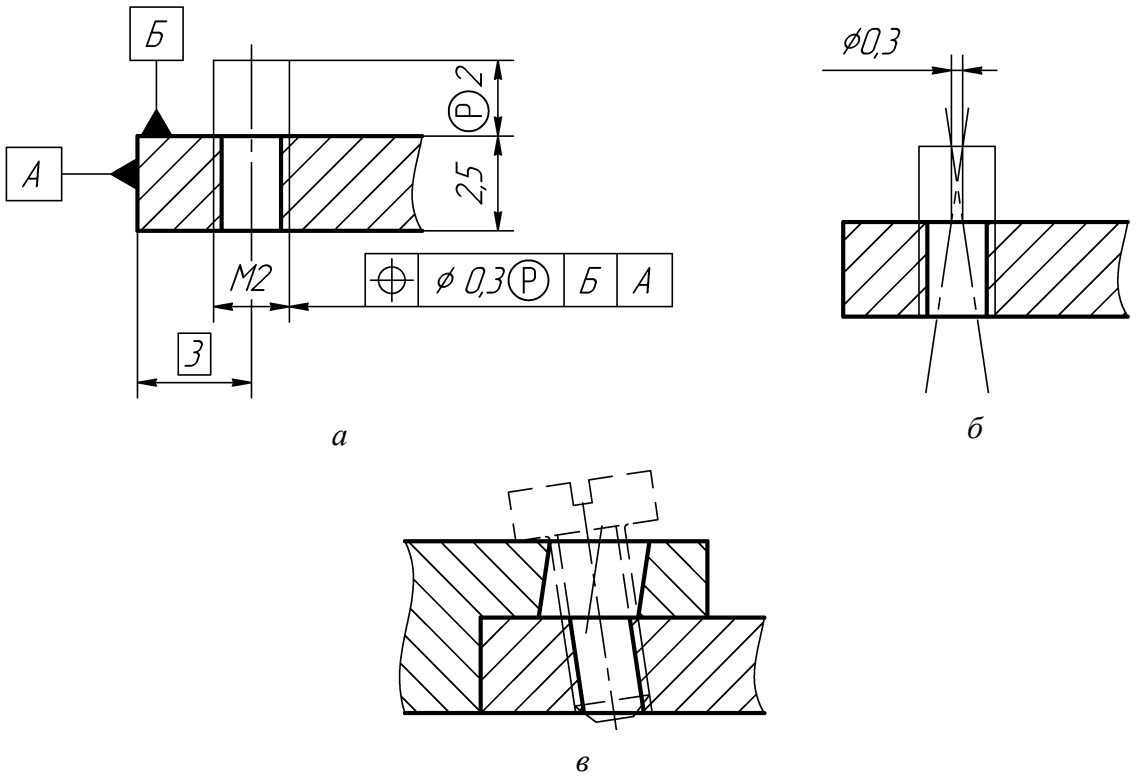


Рис. Д.43

Указание выступающего поля позиционного допуска в детали позиции 2 с величиной, равной толщине детали позиции 1 в месте соединения, показано на рис. Д.43, *а*, а расположения выявленных осей отверстия с наибольшими допустимыми углами наклона для него – на рис. Д.43, *б*.

Результат соединения приведен на рис. Д.43, *в*. Видно, что винт установить можно.

Д.8. Нанесение надписей, ТТ и таблиц

К основным правилам нанесения надписей, ТТ и таблиц в графических документах, которые устанавливает ГОСТ Р 2.316–2023, можно отнести следующие:

1. Графический документ, кроме изображения изделия с размерами, предельными отклонениями и другими параметрами, может содержать:

– текстовую часть, состоящую из ТТ и (или) технических характеристик;

– надписи с обозначением изображений, а также относящиеся к отдельным элементам изделия;

– таблицы с размерами и другими параметрами, ТТ, контрольными комплексами, условными обозначениями и т. д.

2. Текстовую часть, надписи и таблицы включают в графические документы в тех случаях, когда содержащиеся в них данные, указания и разъяс-

нения невозможно или нецелесообразно выразить графически или условными обозначениями.

3. Содержание текста и надписей должно быть кратким и точным.

4. Около изображений на полках линий-выносок наносят только краткие надписи, относящиеся непосредственно к изображению изделия, например указания о количестве конструктивных элементов (отверстий, канавок и т. п.), если они не внесены в таблицу, а также указания лицевой стороны, направления проката, волокон и т. п.

5. Линию-выноску, пересекающую контур изображения и не отводимую от какой-либо линии, заканчивают точкой (рис. Д.44, *а* и *б*).

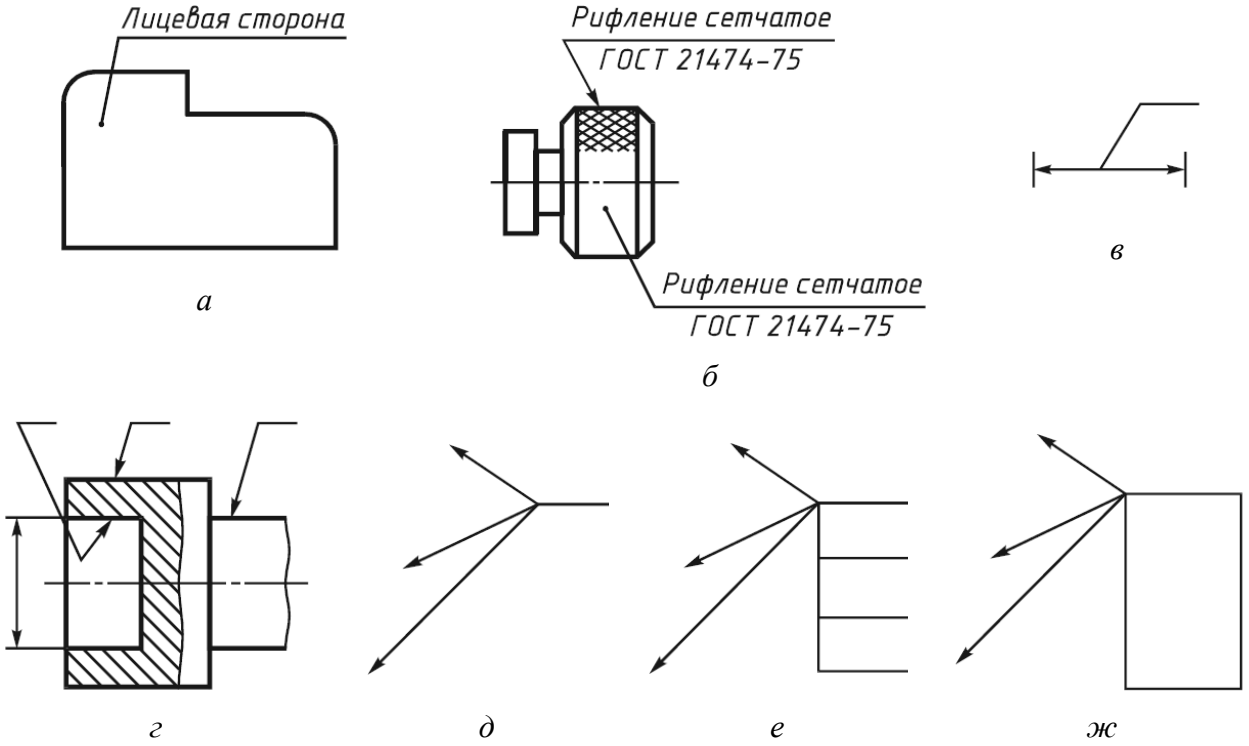


Рис. Д.44 [16]

Линию-выноску, отводимую от линий видимого и невидимого контура, а также от линий, обозначающих поверхности, заканчивают стрелкой (рис. Д.44, *б*).

На конце линии-выноски, отводимой от всех других линий, не должно быть ни стрелки, ни точки (рис. Д.44, *в*).

6. Линии-выноски не должны пересекаться между собой, должны быть непараллельными линиям штриховки (если линия-выноска проходят по заштрихованному полю) и не должны пересекать, по возможности, размерные линии и элементы изображения, к которым не относится помещенная на полке надпись.

Допускается выполнять линии-выноски с изломами (см. рис. Д.44, *г*) и проводить от одной полки две и более линии-выноски (см. рис. Д.44, *д*), при этом не должно нарушаться восприятие (ясность) изображения.

7. При выполнении линии-выноски с одной полкой надписи, относящиеся непосредственно к изображению, могут содержать не более двух строк, располагаемых над полкой линии-выноски и под ней.

Допускается выполнять линии-выноски с несколькими полками (см. рис. Д.44, *е*). В этом случае надписи могут содержать строки, располагаемые над полками линии-выноски.

Допускается, при необходимости помещения большого объема надписей, выполнять линии-выноски с рамкой (см. рис. Д.44, *ж*). В этом случае надписи могут содержать строки, располагаемые в рамке без междустрочных разделителей.

8. Текстовую часть располагают над основной надписью и выполняют в соответствии с ГОСТ Р 2.105–2019.

Между текстовой частью и основной надписью не допускается помещать изображения, таблицы и т. п.

На листах формата более А4 допускается размещение текста в несколько колонок. Ширина колонки не должна превышать 185 мм.

9. По Р ГОСТ 2.105–2019 расстояние от рамки до границ текста в начале и в конце строк должно быть не менее 3 мм, а расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки – не менее 10 мм.

10. ТТ излагают, группируя вместе однородные и близкие по своему характеру требования:

– требования к материалу, заготовке, термической обработке;

– размеры, предельные отклонения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей, массы и т. п.;

– требования к качеству поверхностей, указания об их покрытии;

– требования к настройке и регулированию изделия;

– ссылки на другие документы, содержащие ТТ, и др.

11. Пункты ТТ должны иметь сквозную нумерацию. Каждый пункт ТТ записывают с новой строки.

12. При выполнении графического документа на двух и более листах текстовую часть помещают только на первом листе независимо от того, на каких листах находятся изображения, к которым относятся указания, приведенные в текстовой части.

Надписи, относящиеся к отдельным элементам изделия и наносимые на полках линий-выносок, помещают на тех листах чертежа, на которых они являются наиболее необходимыми для удобства чтения.

13. Для обозначения изображений (видов, разрезов, сечений), поверхностей, размеров и других элементов изделия применяют прописные буквы русского алфавита, за исключением букв Е, З, Й, О, Ч, Х, Ъ, Ы, Ь, и, при необходимости, буквы латинского алфавита, исключая буквы I, O, V, X.

Предпочтительно обозначать сначала изображения.

В случае недостатка букв применяют цифровую индексацию, например: *А*, $А_1$, $А_2$, *Б–Б*, $Б_1$–$Б_1$, $Б_2$–$Б_2$.

Буквенные обозначения не подчеркивают.

14. Размер шрифта буквенных обозначений должен быть больше размера цифр размерных чисел, применяемых в том же графическом документе, примерно в два раза.

15. Масштаб изображения, отличающийся от указанного в основной надписи, записывают непосредственно после надписи, относящейся к изображению, например: *А–А*(1:1), *Б*(5:1), *А*(2:1).

16. Если в графическом документе отыскание дополнительных изображений (сечений, разрезов, видов, выносных элементов) затруднено вследствие большой их насыщенности или выполнения графического документа на двух и более листах, то у обозначения дополнительных изображений указывают номера листов, на которых эти изображения помещены.

В этих случаях над дополнительными изображениями у их обозначений указывают номера листов или обозначения зон, на которых дополнительные изображения отмечены, например: *А–А*(1:2)(1), *Г*(2).

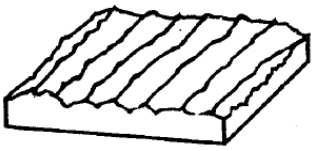
Д.9. Шероховатость поверхности

Термины и определения основных понятий, относящихся к шероховатости поверхности, устанавливает ГОСТ 25142–82 [160]:

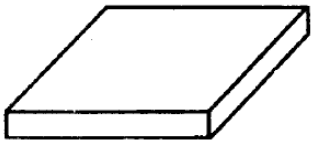
– ***шероховатость поверхности*** – это совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная, например, с помощью базовой длины. Другими словами, шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности, образующих рельеф поверхности в пределах рассматриваемого участка;

– ***реальная поверхность*** – поверхность, ограничивающая тело и отделяющая его от окружающей среды (условно показана на рис. Д.45, *а*);

– ***номинальная поверхность*** – поверхность, заданная в технической документации без учета допускаемых отклонений и неровностей (рис. Д.45, *б*);



а



б

Рис. Д.45 [160]

– ***профиль поверхности*** – линия пересечения поверхности с плоскостью;

– ***отклонение профиля*** – расстояние между точкой профиля и базовой линией;

– ***базовая линия*** – линия, определенным образом проведенная относительно профиля и служащая для оценки геометрических параметров поверхности;

– ***средняя линия профиля*** – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально;

– ***базовая длина*** – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности;

– ***высота неровностей профиля по десяти точкам*** (Rz) – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины;

– ***среднеарифметическое отклонение профиля*** (Ra) – среднеарифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины.

На рис. Д.46 показано условное сечение реальной поверхности с ***выступами*** и ***впадинами профиля***. По оси Y отложено ***отклонение профиля***, т. е. расстояние между точкой профиля и базовой линией.

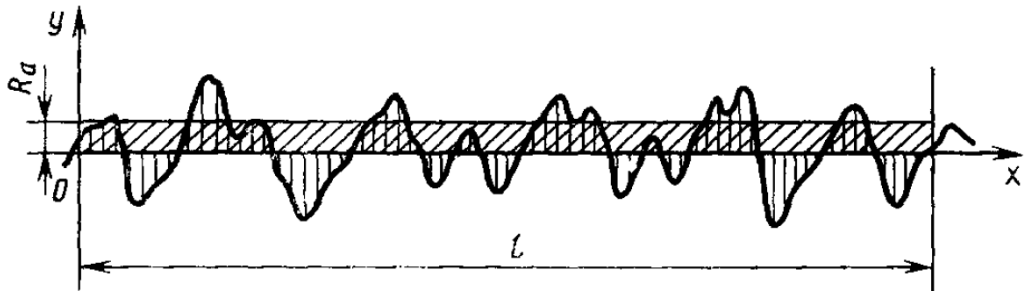


Рис. Д.46 [160]

Параметр Ra является предпочтительным, так как он удобен для измерения профилометрами. Когда контроль параметра Ra затруднен или невозможен (например, при сложной форме поверхности), используют параметр Rz.

Шероховатость поверхностей в основном определяется функциональными требованиями, предъявляемыми к ним. Например, если имеется непо-

движное соединение и подвижное (одной и той же точности), то во втором случае неровности рельефа при функционировании будут снашиваться, что приведет к изменению характера сопряжения. Поэтому при подвижном соединении следует задавать меньшую шероховатость поверхностей, так как при этом на той же длине будет больше выступов, а сами выступы – ниже, что обеспечит большую стабильность характера сопряжения.

На практике правильно заданная шероховатость в значительной степени определяет экономичность изделия: излишне высокое качество поверхностей требует больших затрат на изготовление, а низкое качество приводит к преждевременному выходу изделия из строя [161].

К основным правилам обозначения и нанесения шероховатости поверхностей на чертежах изделий, которые устанавливает ГОСТ 2.309–73 [162], можно отнести следующие:

1. Шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей изделия, независимо от методов их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции.

2. Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рис. Д.47. При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки.

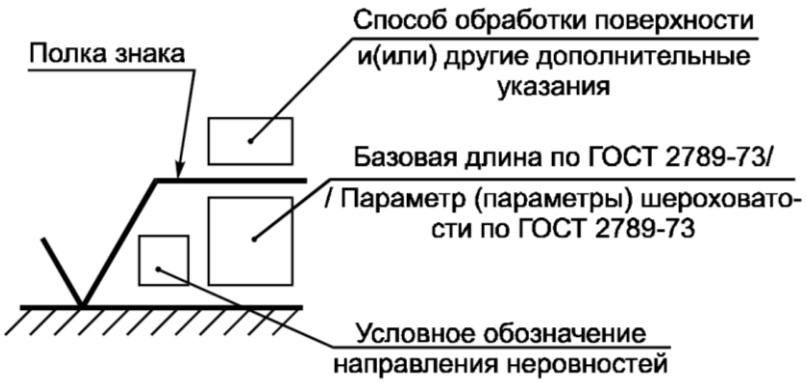
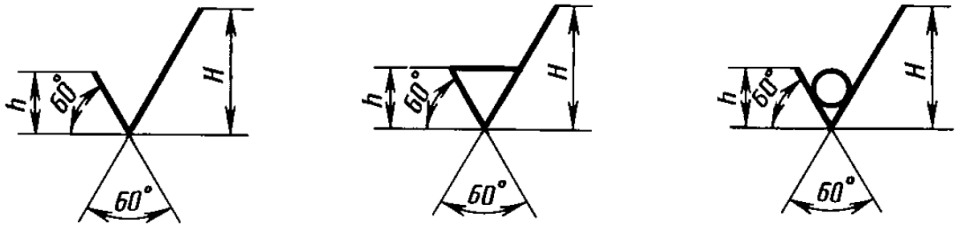


Рис. Д.47 [162]



а *б* *в*

Рис. Д.48 [162]

3. В обозначении шероховатости поверхности применяют один из знаков, изображенных на рис. Д.48.

Высота h должна быть примерно равна применяемой на чертеже высоте цифр размерных чисел, а высота H – (1,5…5)h. Толщина линий знаков должна быть приблизительно равна половине толщины сплошной основной линии, применяемой на чертеже.

В обозначении шероховатости поверхности, способ обработки которой не устанавливается, применяют знак с рис. Д.48, *а*.

В обозначении шероховатости поверхности, образованной только удалением слоя материала, применяют знак с рис. Д.48, *б*.

В обозначении шероховатости поверхности, образованной без удаления слоя материала, применяют знак с рис. Д.48, *в*, с указанием значения параметра шероховатости.

4. Поверхности детали из материала определенного профиля и размера, не подлежащие по данному чертежу дополнительной обработке, отмечаются знаком с рис. Д.48, *в* без указания параметра шероховатости.

Состояние такой поверхности должно соответствовать требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями, или другими документами, причем на этот документ должна быть приведена ссылка, например, в виде указания сортамента материала в графе 3 основной надписи чертежа (см. рис. 3.6, *а* и табл. 3.1).

5. Значение параметра шероховатости указывают в обозначении шероховатости после соответствующего символа, например: Ra 3,2.

При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений.

6. Обозначения шероховатости поверхностей на изображении (рис. Д.49) изделия располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок.

Допускается при недостатке места располагать обозначение шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, на рамке допуска формы, а также разрывать выносную линию.

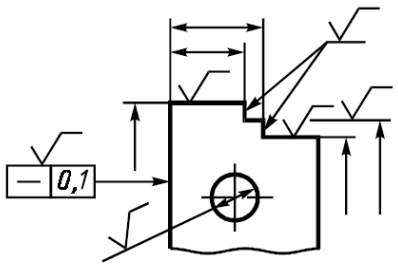
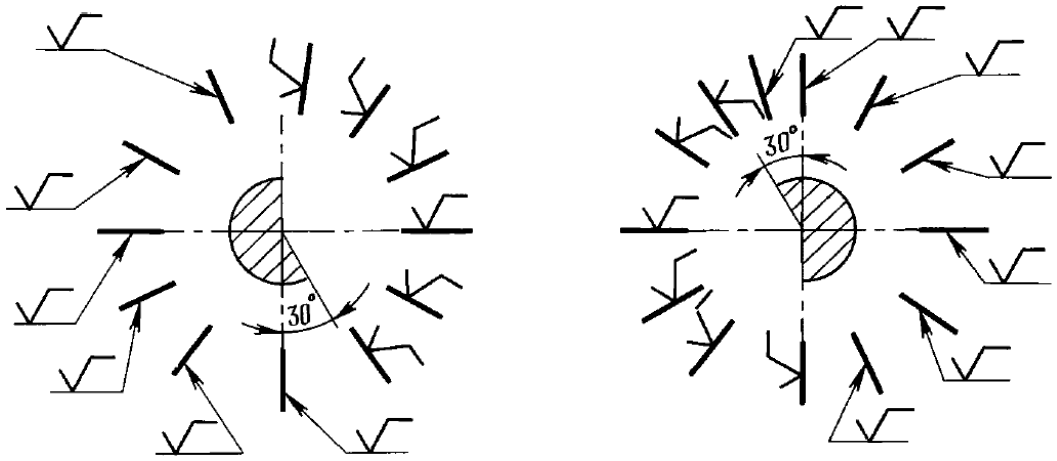


Рис. Д.49 [162]

7. Обозначения шероховатости поверхности, в которых знак имеет полку, располагают относительно основной надписи чертежа так, как показано на рис. Д.50, *а* и *б*.

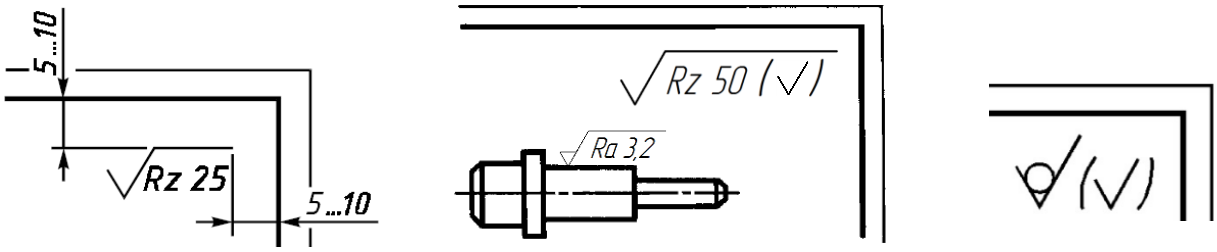


а *б*

Рис. Д.50 [162]

8. При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят (рис. Д.51, *а*).

Размеры и толщина линий знака в обозначении шероховатости должна быть приблизительно в 1,5 раза больше, чем в обозначениях, нанесенных на изображении.



а *б* *в*

Рис. Д.51 [162]

9. Обозначение шероховатости, одинаковой для части поверхностей изделия, может быть помещено в правом верхнем углу чертежа вместе с условным обозначением с рис. Д.48, *а* в скобках (рис. Д.51, *б* и *в*).

Размеры знака, взятого в скобки, должны быть одинаковыми с размерами знаков, нанесенных на изображении.

Таблица Д.4

Значения параметра Ra для некоторых видов обработки

Ra, мкм	Характеристика поверхности	Вид обработки
100	Грубо обработанная	Необработанные или грубо обработанные поверхности детали, опиливание драчевыми напильниками, отпиливание, черновое точение, предварительное строгание
50		
25		

Окончание таблицы Д.4

Ra, мкм	Характеристика поверхности	Вид обработки
12,5	Маловидимые следы обработки	Предварительное и чистовое фрезерование, чистовое точение, чистовое строгание, сверление, зенкерование, опиливание личным напильником
6,3		
3,2		
1,6	Следы обработки незаметны невооруженным глазом	Тонкое строгание, предварительное и чистовое шлифование, развертывание, опиливание бархатным напильником, грубая притирка
0,8		
0,4		
0,2	Высокая степень гладкости	Полирование, тонкое шлифование, средняя и тонкая притирка, ручная доводка, опиливание бархатным напильником с полировкой мелким и тонким наждаком
0,1		
0,05		
0,025		
0,012		

В табл. Д.4 из [153] и [154] приведено соответствие между предпочтительными значениями параметра *Ra* и характерными видами обработки.

Некоторые виды обработки, не указанные в пояснении к табл. Д.2:

– ***притирка*** – операция по чистовой обработке поверхностей изделия, выполняемая с помощью абразивных материалов в виде порошков или паст для получения плотных, герметичных разъемных и подвижных соединений. Является более точной операцией, чем шабрение;

– ***доводка*** – разновидность притирки, предназначена для получения не только требуемых форм и шероховатости поверхности, но и заданных размеров деталей с высокой точностью (5-й и 6-й квалитеты).

Е. Эскиз «модуля усилителя»

Е.1. Содержание этапа проектирования

В данном приложении предлагается выполнить 1-й дополнительный этап проектирования, заключающийся в создании упрощенного эскиза «модуля усилителя» одним из двух способов:

а) без использования 3D-модели «модуля усилителя» от руки или в любом пригодном для этого графическом редакторе с достаточным для понимания структуры изделия количеством видов в соответствии с требованиями ЕСКД (см. прил. Д) и с обозначением составных частей;

б) с использованием 3D-модели «модуля усилителя» в КОМПАС-3D в следующей последовательности:

1. Сформировать упрощенную 3D-модель «усилителя»:

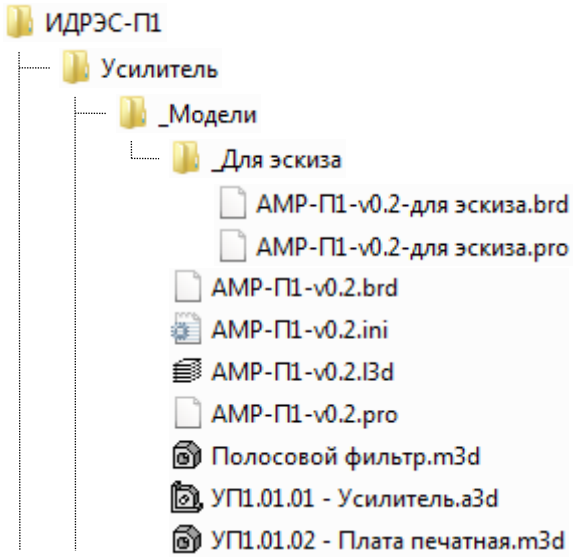


Рис. Е.1

1.1. В папке с 3D-моделью «усилителя» создать новую папку, после чего скопировать в нее файлы с расширениями «.brd» и «.pro» и изменить их названия (при этом они обязательно должны быть одинаковыми).

Результат в варианте «П1» показан рис. Е.1.

1.2. Изменить высоту компонентов, для чего выполнить следующее:

– открыть скопированный файл с расширением «.pro» в Microsoft Word;

– открыть окно **Найти и заменить** комбинацией клавиш **Ctrl+H** (или на вкладке **Главная** из раздела **Редактирование** запустить команду **Заменить**);

– задать высоту компонентов 1 мм, для чего заполнить поля **Найти** и **Заменить на** в соответствии с рис. Е.2 (после символов **ММ** должен быть пробел) и нажать кнопку **Заменить все**.

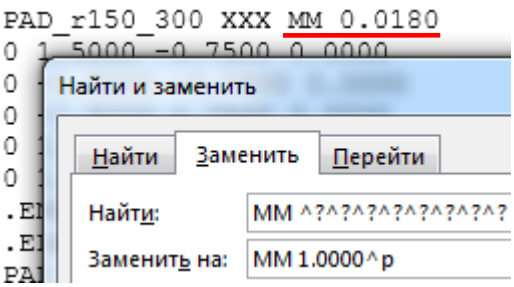


Рис. Е.2

Примечания:

– группы символов «^?» (любой знак) и «^p» (знак абзаца, т. е. конец текущей строки и переход на новую) можно добавить из списка, появляющегося при нажатии кнопки «Специальный»;

– число групп символов «^?» равно восьми (два знака до десятичного разделителя и четыре после него, сам знак и возможный знак абзаца);

– исходные значения высот в файле с расширением «.pro» записываются на основании 3D-моделей из посадочных мест компонентов.

– задать высоту КП 0,1 мм, для чего заполнить поля **Найти** и **Заменить на** в соответствии с рис. Е.3 и нажать кнопку **Заменить все**.

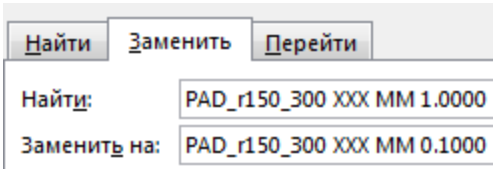


Рис. Е.3

Примечание. Строку можно скопировать прямо из документа, не закрывая окно «Найти и заменить»;

– закрыть окно **Найти и заменить**;

– сохранить изменения в документе, подтвердив потерю отдельных свойств документа при преобразовании его в обычный текст, после чего закрыть Microsoft Word.

1.3. В **КОМПАС-3D** запустить **3D-конвертер Altium Designer-КОМПАС** (см. п. 3.1 из 13.1) и в открывшемся окне **Конвертер eCAD-КОМПАС (3D)** выполнить следующее:

– кнопкой **Файл** около поля **Исходные данные** указать скопированный файл с расширением «.brd»;

– появившийся путь в поле **Модель платы** оставить по умолчанию;

– отключить опцию **Только монтажные отверстия**;

– выбрать опцию **Условная габаритная модель платы** и нажать кнопку **Создать**.

1.4. В появившемся окне **Единица измерения высот компонентов** включить опцию **mm** и нажать **OK**.

В результате будет создана 3D-модель «усилителя» с компонентами в виде параллелепипедов (рис. Е.4).

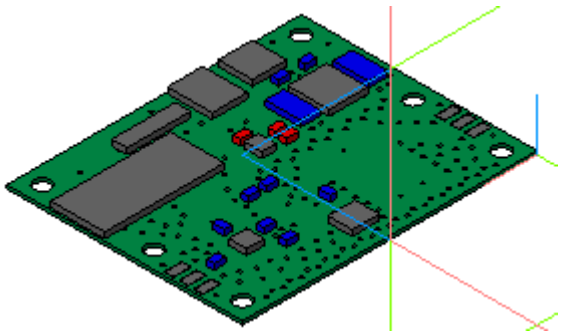


Рис. Е.4

1.5. Скрыть **Начало координат** и зафиксировать группу **Компоненты**.

1.6. Войти в режим контекстного редактирования компонента **Панель**, после чего войти в режим редактирования эскиза (**Эскиз:1**) и удалить в нем все отверстия, кроме крепежных.

Затем выйти из режима редактирования эскиза и из режима контекстного редактирования компонента **Панель**.

1.7. В «усилителе» оставить следующие составные части: **Панель**, входные и выходные КП, несколько любых компонентов по усмотрению.

Остальные компоненты в **Дереве модели** исключить из расчета.

1.8. В **Дереве модели** изменить наименование 3D-модели сборки на имя файла (см. п. 5 из 13.1) и сохранить изменения (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. Е.5.

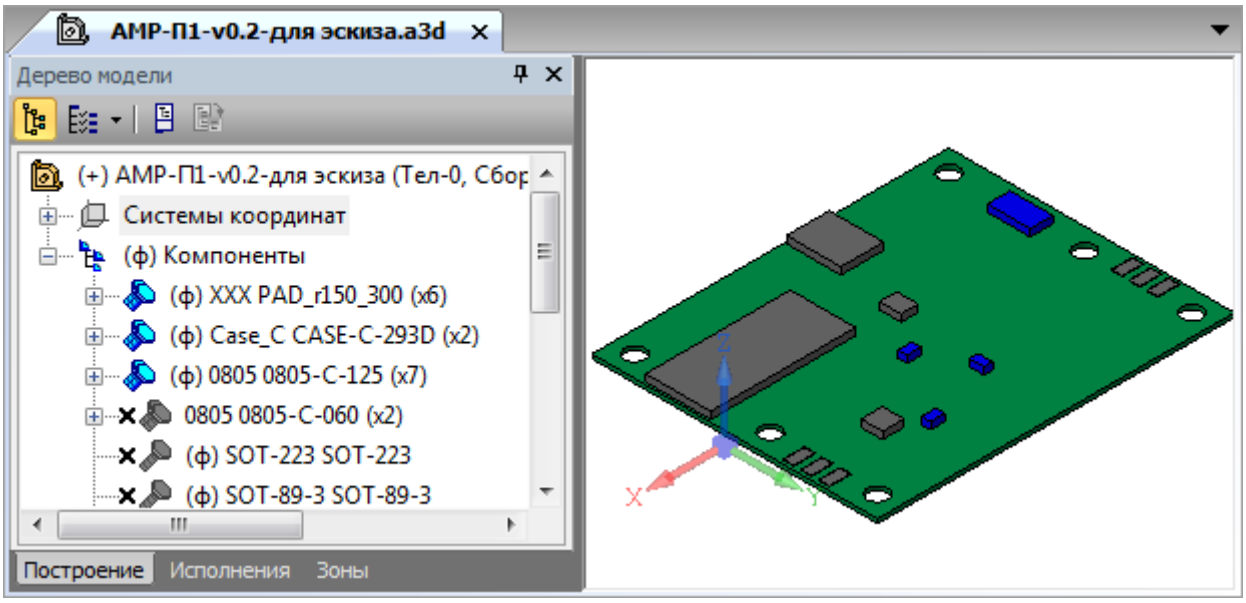


Рис. Е.5

2. Упростить 3D-модель «экрана».

Так как упрощение в 3D-модели «экрана» будет заключаться в отключении некоторых операций (выдавливание, вырезание и др.), то предлагается не создавать упрощенную версию в виде отдельного файла, а внести изменения в уже созданную 3D-модель, использовав для перехода между ее версиями переменную.

Для этого выполнить следующие действия:

2.1. В **КОМПАС-3D** открыть 3D-модель «экрана» (расположение указано в п. 7 из разд. 14).

2.2. Нажать пиктограмму **Переменные** на ПИ **Стандартная** или выполнить команду **Вид ⇒ Панели инструментов ⇒ Переменные**.

В результате появится окно **Переменные**, в котором в виде таблицы будут перечислены все операции, участвующие в построении 3D-модели, с переменными, присвоенными им по умолчанию.

2.3. В варианте «П1» в упрощенной версии 3D-модели «экрана» будут оставлены только те операции, которые необходимы для получения его в виде параллелепипеда с крепежными отверстиями.

Для этого в окне **Переменные** необходимо назначить собственную переменную тем операциям по построению 3D-модели, которые требуется исключить из расчета:

– раскрыть группу с названием 3D-модели;

– отдельно для каждой требуемой операции раскрыть соответствующую группу и в столбце **Выражение** для переменной, у которой в столбце **Параметр** указано **Исключить из расчета**, ввести имя новой переменной **Simple** (после этого она автоматически появится в списке переменных 3D-модели сверху окна);

– в списке переменных 3D-модели сверху окна на переменной **Simple** выполнить команду **ПКМ ⇒ Внешняя**, в результате чего фон ее ячейки изменится на синий, а сама переменная станет доступной для изменения в любой сборке, в которую будет установлена данная 3D-модель;

– в столбце **Комментарий** кратко описать назначение переменной;

– в столбце **Выражение** задать переменной значение **1** (то есть Истина);

– нажать клавишу **F5** (или выполнить команду **Вид ⇒ Перестроить**) и убедиться в том, что в **Дереве модели** исключены необходимые операции, а в рабочем поле показан упрощенный вариант 3D-модели (рис. Е.6);

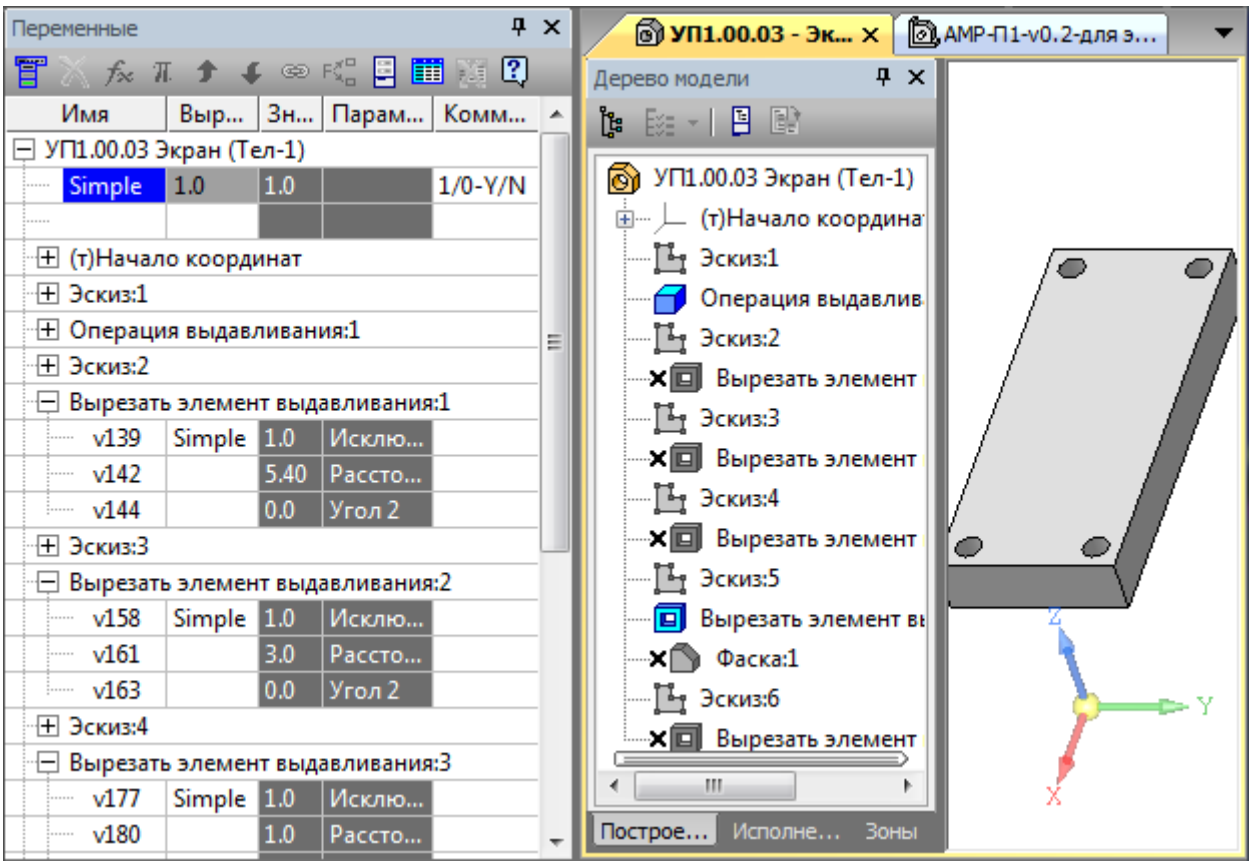


Рис. Е.6

– в столбце **Выражение** вернуть значение переменной **0** (то есть Ложь);

– нажать клавишу **F5** и сохранить изменения (**Ctrl+S**).

Примечание. Внешние переменные позволяют менять вид 3D-модели в сборке без изменений в исходном файле и других сборках. Например, если открыть 3D-модель «модуля усилителя» и в «Дереве модели» для «экрана» исключить вручную операции, то в любой другой сборке и в 3D-модели «экрана», открытой в отдельном окне, эти операции также будут исключены.

3. По п. 2 упростить 3D-модель «основания» (расположение указано в п. 4 из разд. 15).

В варианте «П1» из расчета была исключена только последняя операция, отвечающая за прорези под штыревые выводы компонентов. Результат упрощения показан на рис. Е.7.

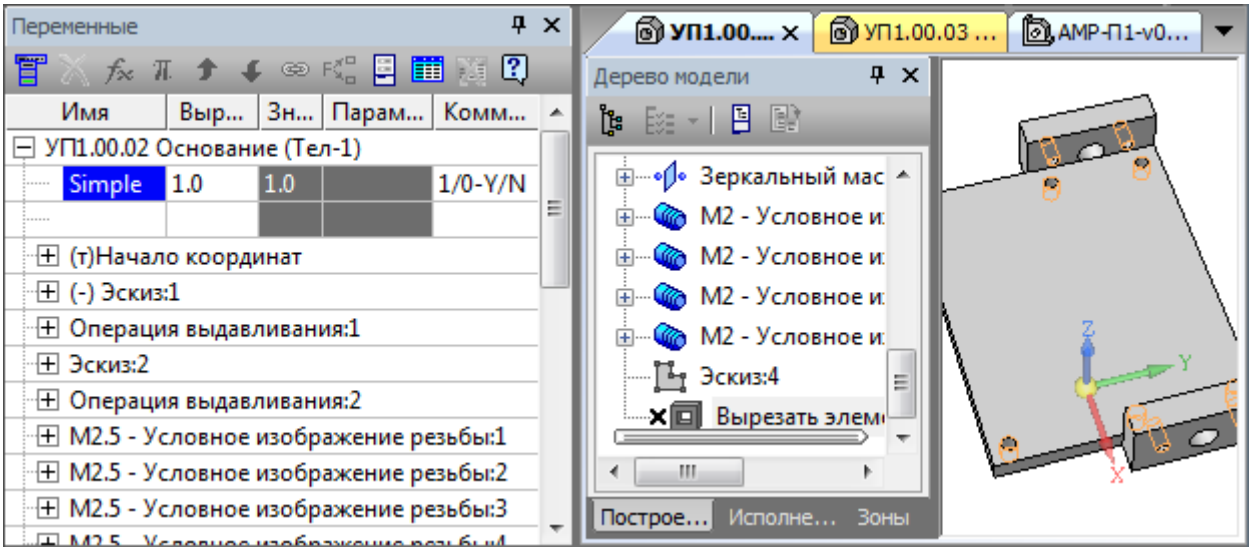


Рис. Е.7

Необходимо обратить внимание на то, что сохраненные 3D-модели «экрана» и «основания» должны быть без упрощений, т. е. со значением переменной **Simple**, равной **0**.

4. Упростить 3D-модель «модуля усилителя».

Все необходимые изменения будут внесены в уже существующий файл с помощью создания в нем нового исполнения.

Примечание. Исполнение 3D-модели в КОМПАС-3D – это один из ее вариантов, обладающий общими конструктивными признаками и незначительно отличающийся от нее.

Для этого выполнить следующее:

4.1. В **КОМПАС-3D** открыть 3D-модель «модуля усилителя» (расположение указано в п. 3 из разд. 14).

В появившемся окне с предложением перестроить сборку, так как были внесены изменения в 3D-модели «экрана» и «основания», нажать **Да**.

4.2. В **Дереве модели** перейти на вкладку **Исполнения** и на названии «модуля усилителя» выполнить команду **ПКМ ⇒ Создать исполнение**.

В **Панели свойств** на вкладке **Параметры** отключить опцию **Зависимое исполнение** и нажать пиктограмму **Создать объект**.

Примечание. Независимое исполнение – исполнение, на составные части которого не влияют изменения в базовом (исходном) исполнении.

4.3. В **Дереве модели** на вкладке **Исполнения** (или в списке **Управление исполнениями** на ПИ **Текущее состояние**) выбрать ЛКМ созданное исполнение, тем самым сделав его текущим.

Примечание. Базовое исполнение и созданное отличаются номером в обозначении изделия (у созданного добавится «-01»).

4.4. В **Дереве модели** перейти на вкладку **Построение** и выполнить следующие действия:

– исключить из расчета все крепежные изделия;

– исключить из расчета эскизы с топологией слоев ПП «усилителя»;

– на «усилителе» выполнить команду **ПКМ ⇒ Свойства компонента** и в **Панели свойств** на вкладке **Файл-источник** рядом с полем **Файл-источник** нажать одноименную пиктограмму;

– в открывшемся окне указать файл упрощенной 3D-модели «усилителя» из п. 1 и открыть его;

– нажать пиктограмму **Создать объект**.

4.5. Открыть окно **Переменные** (см. п. 2.2), в котором для «экрана», «основания» и двух СВЧ-разъемов найти переменные с именами, заканчивающимися на **_Simple**, после чего в столбце **Выражение** задать для них значение **1** и нажать клавишу **F5**.

4.6. Переключиться на базовое исполнение и убедиться в том, что в нем ничего не поменялось.

Затем переключиться на исполнение с упрощенной версией 3D-модели «модуля усилителя» и сохранить изменения (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. Е.8.

4.7. Закрыть вкладки с «экраном», «основанием» и упрощенной версией «усилителя», а также окно **Переменные**.

5. Запустить команду **Сервис ⇒ Разнести компоненты ⇒ Параметры** и задать расстояния между составными частями «модуля усилителя».

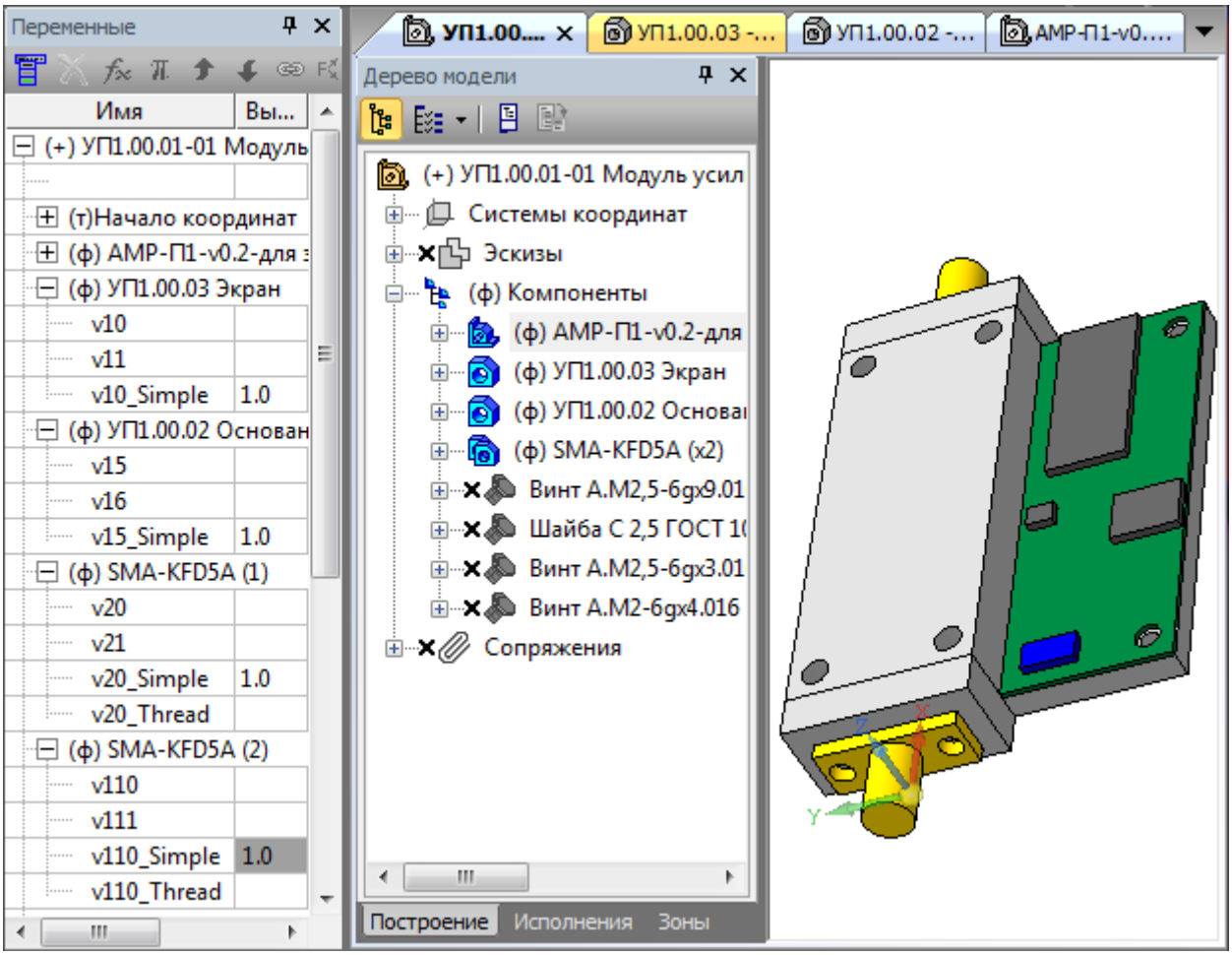


Рис. Е.8

Принцип работы с командой для всех компонентов одинаковый, поэтому далее он будет разобран только для «экрана». После запуска команды в **Панели свойств** выполнить следующие действия:

– в окне **Шаг разнесения** нажать пиктограмму **Добавить**;

– нажать пиктограмму **Выбрать компоненты для разнесения**;

– в **Дереве модели** ЛКМ выбрать «экран», при этом в рабочем поле он окрасится в красный цвет;

– нажать пиктограмму **Объект направления разнесения**;

– в **Дереве модели** раскрыть группу **Начало координат** и выбрать ось, по которой планируется сдвинуть компонент (так как «экран» будет сдвинут вверх, то выбрать **Ось Z**);

– в поле **Расстояние** ввести величину сдвига (например, **20** мм) и нажать клавишу **Enter**;

– нажать пиктограмму **Применить**.

Выполнить аналогичные действия для «усилителя» и СВЧ-разъемов, после чего завершить команду кнопкой **Прервать команду**.

При необходимости можно корректировать заданные ранее расстояния разнесения, выбирая соответствующую операцию в окне **Шаг разнесения**.

О нахождении в режиме разнесения компонентов свидетельствует иконка в правом верхнем углу рабочего поля.

Результат разнесения в варианте «П1» показан на рис. Е.9.

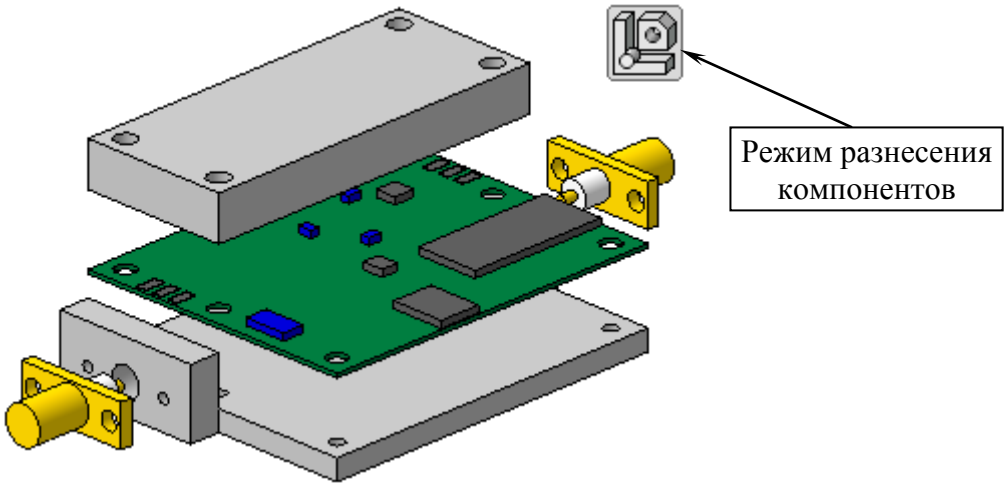


Рис. Е.9

6. Сориентировать 3D-модель «модуля усилителя» с разнесенными компонентами в рабочем поле так, как она будет выглядеть на эскизе, и сохранить полученную ориентацию, добавив новый вид с помощью команды **Вид ⇒ Ориентация** и присвоив ему имя (например, **Для эскиза**).

После этого сохранить изменения в 3D-модели (**Ctrl+S**).

Примечание. Полезными могут оказаться следующие сочетания клавиш для поворота модели:

– Ctrl+Shift+(Up или Down) – вверх или вниз в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости экрана на угол из настроек. Для аналогичных поворотов на угол 90° служат комбинации Space+(Up или Down);

– Ctrl+Shift+(Right или Left) – вправо или влево в горизонтальной плоскости, перпендикулярной плоскости экрана на угол из настроек. Для аналогичных поворотов на угол 90° служат комбинации Space+(Right или Left);

– Alt+(Left или Right) – против часовой стрелки или по часовой стрелке в плоскости экрана на угол из настроек. Для аналогичных поворотов на угол 90° служат комбинации Alt+(Up или Down).

Угол поворота задается в поле «Шаг угла поворота модели» в окне «Параметры» (команда Сервис ⇒ Параметры) на вкладке «Система» в группе Редактор моделей ⇒ Управление изображением.

Исходная ориентация 3D-модели – «Изометрия YZX» в списке видов.

7. Создать эскиз из 3D-модели «модуля усилителя»:

7.1. По информации из 7.1 создать новый чертеж и задать следующие настройки листа:

– формат – **А3**;

– ориентация – **горизонтальная**;

– оформление – **Без внутренней рамки**.

7.2. Сохранить чертеж командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.cdw». Имя файла в варианте «П1» – имя ориентации из п. 6, а путь сохранения – созданная папка в п. 1.1.

7.3. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5).

7.4. Запустить команду **Произвольный вид** (см. рис. 7.6) из ПИ **Компактная панель ⇒ Виды**, выбрать 3D-модель «модуля усилителя» с исполнением «-01» и в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** задать настройки:

– в поле **Ориентация главного вида** – **Для эскиза** (задан в п. 6);

– в поле **Масштаб вида** – **2:1**.

После этого разместить вид в рабочем поле.

7.5. В **Дереве чертежа** на добавленном виде запустить команду **ПКМ ⇒ Параметры вида**, после чего в **Панели свойств** на вкладке **Параметры** нажать пиктограмму **Разнесенный вид** и завершить команду пиктограммой **Создать объект**.

7.6. Перестроить чертеж клавишей **F5**.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. Е.10.

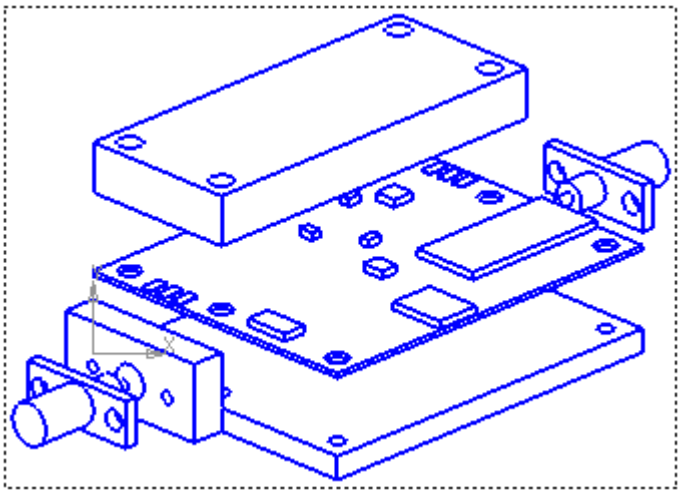


Рис. Е.10

7.7. По примеру рис. 2.4 командой **Отрезок** из ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия** показать условные обозначения винтов, а командой **Ли-**

ния-выноска из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (см. рис. 7.26) – обозначения составных частей.

8. На вкладке с «модулем усилителя» переключиться на базовое исполнение и сохранить изменения (**Ctrl+S**).

9. Удалить backup-файлы из папки, созданной в п. 1.1, и из папки **…\ИДРЭС-П1_Модели**.

10. В данном дополнительном этапе проектирования были внесены изменения в 3D-модели «экрана» и «основания». Если эти действия были совершены после создания чертежей на указанные детали, то при их открытии появятся запросы на перестроение ассоциативных видов.

В результате в чертеже «экрана» потребуется выполнить п. 28 из 20.1. Перестроение же чертежа «основания» не повлечет за собой дополнительных действий.

Е.2. Содержание отчета

По 1-му дополнительному этапу проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести рисунок эскиза «модуля усилителя» с обозначением составных частей, выполненный одним из двух способов, указанных в Е.1.

При использовании сокращений дать их расшифровку.

Ж. Расчет коэффициента шума

Ж.1. Теоретические сведения

Фактор шума или ***шум-фактор*** (F, noise factor) тестируемого устройства характеризует ухудшение отношения сигнал/шум при прохождении через него сигнала под действием собственных шумов.

Численно шум-фактор равен отношению полной мощности шумов на выходе устройства к выходной мощности такого же идеального (не шумящего) устройства при условии, что единственный источник входного шума в обоих случаях – тепловой шум согласованного сопротивления, находящегося при температуре 290 К:

$$F = \frac{S_{in}/N_{in}}{S_{out}/N_{out}} = \frac{N_{out}}{K \cdot N_{in}} = \frac{N_a + K \cdot N_{in}}{K \cdot N_{in}},$$

где S_{in} и S_{out} – мощность сигнала на входе и выходе устройства соответственно, Вт; N_{in} и N_{out} – мощность шума на входе и выходе устройства соответственно, Вт; K – коэффициент передачи по мощности, разы; N_a – мощность собственных шумов, Вт [163], [164].

Наряду с шум-фактором широко используется величина ***коэффициент шума*** (NF, noise figure) – шум-фактор, выраженный в децибелах. Связь коэффициента шума и шум-фактора устанавливается выражениями:

$$NF = 10 \lg F; \qquad (Ж.1)$$

$$F = 10^{NF/10}. \qquad (Ж.2)$$

Для пассивного устройства (например, ПФ на МПЛ, аттенюатор) при идеальном согласовании по входу и выходу, когда его температура равна температуре источника сигнала, шум-фактор определяется выражением:

$$F = 1/K. \qquad (Ж.3)$$

Пересчет коэффициента передачи по мощности из децибелов в разы осуществляется по формуле:

$$K = 10^{G/10}. \qquad (Ж.4)$$

Для покупного активного устройства (например, микросхема усилителя) значение коэффициента шума указывается в документации производителя.

Определение шум-фактора может применяться как к отдельным компонентам, так и к системе в целом, состоящей из отдельных каскадов (функциональных узлов). Например, разрабатываемый «модуль усилителя» является трехкаскадным, так как состоит из ПФ, усилителя и аттенюатора.

Шум-фактор многокаскадных систем (F_s) определяется уравнением каскадного шума (формулой Фрииса):

$$F_s = F_1 + \frac{F_2 - 1}{K_1} + \frac{F_3 - 1}{K_1 K_2} + \ldots + \frac{F_n - 1}{K_1 K_2 \ldots K_{n-1}}, \qquad (Ж.5)$$

где n – число каскадов, шт.; F_n – шум-фактор n-го каскада, разы; K_{n-1} – коэффициент передачи по мощности $(n-1)$-го каскада, разы.

Следует обратить внимание на то, что общий шум-фактор определяется в основном шум-фактором 1-го каскада, а также вторым слагаемым, называемым вкладом 2-го каскада, если коэффициент передачи по мощности 1-го каскада мал. Поэтому для улучшения шумовых свойств системы стремятся к тому, чтобы 1-й каскад обладал большим усилением и малым коэффициентом шума. Например, приемники с высокой чувствительностью зачастую начинаются с малошумящего усилителя (LNA, low-noise amplifier).

Ж.2. Порядок проведения расчетов

В данном приложении предлагается выполнить 2-й дополнительный этап проектирования, заключающийся в расчете значения коэффициента шума «модуля усилителя»:

1. Определить значения величин, указанных в табл. Ж.1 (необходимые для расчетов значения $G_{\text{пф}}$, $G_{\text{у}}$ и уровней ослабления микросхемы аттенюатора были найдены в 3.3).

Таблица Ж.1

Величины для расчета коэффициента шума «модуля усилителя»

Величина	Назначение	Способ определения
$K_{\text{пф}}$	Коэффициент передачи по мощности ПФ, разы	Расчет по (Ж.4)
$K_{\text{у}}$	Коэффициент передачи по мощности микросхемы усилителя, разы	
$F_{\text{пф}}$	Шум-фактор ПФ	Расчет по (Ж.3)
$F_{\text{a max}}$	Максимальное значение шум-фактора микросхемы аттенюатора	Расчет по (Ж.3) и (Ж.4)
$F_{\text{a min}}$	Минимальное значение шум-фактора микросхемы аттенюатора	
$NF_{\text{у}}$	Коэффициент шума микросхемы усилителя, дБ	По таблице п. 9.7 из 3.3 для заданной микросхемы усилителя на частоте F_0
$F_{\text{у}}$	Шум-фактор микросхемы усилителя	Расчет по (Ж.2)

2. По (Ж.1) и (Ж.5) определить минимальное и максимальное значения коэффициента шума «модуля усилителя» ($NF_{\text{му min}}$ и $NF_{\text{му max}}$ соответственно).

Стоит отметить, что так как изделие состоит из трех каскадов, то (Ж.5) будет состоять только из первых трех слагаемых.

3. По (Ж.1) и (Ж.5) определить минимальное значение коэффициента шума «модуля усилителя» ($NF_{\text{му з min}}$) при взаимной замене 1-го и 2-го каскадов.

Ж.3. Содержание отчета

По 2-му дополнительному этапу проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести:

1. Расчет минимального и максимального значений коэффициента шума «модуля усилителя» и всех величин из табл. Ж.1 с пояснениями.

2. Расчет минимального значения коэффициента шума «модуля усилителя» при взаимной замене 1-го и 2-го каскадов.

3. Выводы по результатам сравнения значений минимальных коэффициентов шума из пп. 1 и 2, а также предположение о том, почему при проектировании в качестве 1-го каскада стоит ПФ.

И. Корректировка расчетов схемы «токового зеркала»

И.1. Содержание этапа проектирования

Расчет схемы «токового зеркала» (см. рис. 8.37) в п. 7.7 из 8.3 был выполнен по приближенной формуле (8.1), не учитывающей разные условия, в которых оказываются транзисторы транзисторной сборки. На практике это приведет к тому, что при найденных номиналах резисторов *R1–R3* ток коллектора правого транзистора транзисторной сборки окажется меньше требуемого (см. А.4).

В данном приложении предлагается выполнить 3-й дополнительный этап проектирования, состоящий из четырех частей:

1. Первая часть заключается в выводе формулы в символьном виде для корректировки сопротивления резистора *R2* из схемы на рис. 8.37.

Вывод осуществляется с использованием закона Ома, правил Кирхгофа, (В.5), (В.6), формулы разности логарифмов, а также зависимости напряжения база–эмиттер транзистора от тока эмиттера, полученной из (В.2):

$$U_{\text{БЭ}} = m_{\text{Э}} U_{\text{т}} \cdot \ln\left(\frac{I_{\text{Э}}}{I_{\text{оЭ}}} + 1\right) + I_{\text{Э}} \cdot r_{\text{Э}}, \qquad \text{(И.1)}$$

где $m_{\text{Э}}$ – коэффициент неидеальности ВАХ эмиттерного перехода; $I_{\text{оЭ}}$ – обратный ток насыщенного эмиттерного перехода, А; $r_{\text{Э}}$ – последовательное сопротивление потерь эмиттерного перехода, Ом.

При выводе необходимо обратить внимание на следующее:

– в (И.1) для упрощения итоговой формулы следует пренебречь вторым слагаемым с последовательным сопротивлением потерь и единицей под логарифмом, а также использовать вместо тока $I_{\text{Э}}$ ток $I_{\text{К}}$;

– для токов и напряжений, относящихся к транзисторам транзисторной сборки, должны быть использованы индексы: «п» – для правого транзистора, «л» – для левого транзистора;

– транзисторы в транзисторной сборке считать одинаковыми;

– формула разности логарифмов:

$$\log A - \log B = \log(A/B);$$

– итоговая формула должна содержать только следующие известные величины в явном виде: $I_{\text{Кп}}$, I_{R3}, $R1$, $m_{\text{Э}}$, $U_{\text{т}}$, β.

2. Вторая часть заключается в вычислении сопротивления резистора *R2* по выведенной в первой части этапа формуле.

Значения параметров транзисторов в транзисторной сборке BCV62A,215 для температуры 25 °С: $m_Э = 1{,}01$; $\beta = 100$; $r_Э = 1$ Ом; $I_{оЭ} = 2 \cdot 10^{-14}$ А.

Значения $I_{Кп}$, I_{R3} и *R1* определены в п. 7.7 из 8.3.

Полученное значение сопротивления округлить в меньшую сторону не более чем на 3 % и выбрать номинал из ряда E48 или E96 (табл. И.1).

Таблица И.1

Значения номинальных рядов E48 и E96

E48	E96	E48	E96	E48	E96	E48	E96	E48	E96	E48	E96
100	100	147	147	215	215	316	316	464	464	681	681
–	102	–	150	–	221	–	324	–	475	–	698
105	105	154	154	226	226	332	332	487	487	715	715
–	107	–	158	–	232	–	340	–	499	–	732
110	110	162	162	237	237	348	348	511	511	750	750
–	113	–	165	–	243	–	357	–	523	–	768
115	115	169	169	249	249	365	365	536	536	787	787
–	118	–	174	–	255	–	374	–	549	–	806
121	121	178	178	261	261	383	383	562	562	825	825
–	124	–	182	–	267	–	392	–	576	–	845
127	127	187	187	274	274	402	402	590	590	866	866
–	130	–	191	–	280	–	412	–	604	–	887
133	133	196	196	287	287	422	422	619	619	909	909
–	137	–	200	–	294	–	432	–	634	–	931
140	140	205	205	301	301	442	442	649	649	953	953
–	143	–	210	–	309	–	453	–	665	–	976

Для резистора в том же типоразмере составить Part Number. Обратить внимание на допуск номинала из выбранного ряда по документации и В.1.

Если не планируется выполнять 6-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3), то изменить четыре параметра резистора в схеме Э3 «усилителя», а также скорректировать перечень элементов ПЭ3 «усилителя» и спецификацию на «усилитель» (при их наличии). Затем сохранить измененные КД в основных форматах и в формате PDF с новыми версиями. Прошлые версии файлов можно удалить.

3. Третья часть заключается в определении по схеме с рис. 8.37 с учетом скорректированного номинала резистора *R2* следующих токов и напряжений: I_{R1}, U_{R1}, I_{R2}, U_{R2}, U_{R3}, $U_{БЭл}$, $I_{Бл}$, $U_{КЭл}$, $I_{Кл}$, $U_{БЭп}$, $I_{Бп}$, $U_{КЭп}$, $I_{тз}$.

Известными величинами кроме найденного сопротивления резистора *R2* являются: $I_{\text{Кп}}$, I_{R3}, $U_{\text{Кп}}$, $U_{\text{тз}}$, *R3*, *R1* (см. п. 7.7 из 8.3).

4. Четвертая часть заключается в формулировке двух условий, при независимом выполнении которых расчеты в схеме «токового зеркала», выполненные по приближенной формуле на этапе создания схемы Э3 «усилителя», будут получаться достаточно точными, и их не потребуется корректировать.

И.2. Содержание отчета

По первой части 3-го дополнительного этапа проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести полный вывод формулы для расчета указанного в п. 1 из И.1 сопротивления резистора с расшифровкой всех использованных величин.

По второй части 3-го дополнительного этапа проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести:

1. Расчет сопротивления резистора по выведенной в первой части этапа формуле с подставленными числовыми значениями величин.

2. Сравнение результата расчета со значением, полученным до корректировки (см. п. 7.7.5 из 8.3).

3. Part Number резистора.

4. На отдельных листах последние версии скорректированных КД и описание произведенных изменений в том случае, если 6-й дополнительный этап проектирования выполняться не будет.

По третьей части 3-го дополнительного этапа проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести:

1. Расчеты указанных в п. 3 из И.1 токов и напряжений.

2. На отдельном рисунке направления протекания токов в схеме «токового зеркала», в том числе на двух разветвлениях и на всех выводах транзисторов внутри транзисторной сборки.

По четвертой части 3-го дополнительного этапа проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести требуемые в п. 4 из И.1 условия с пояснениями.

К. Схема электрическая функциональная

К.1. Общие сведения

Определения терминам ***схема*** и ***схема электрическая*** были даны в 3.1.

Схема функциональная – документ, разъясняющий процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или изделия (установки) в целом. Код этого типа схемы – 2. Такими схемами пользуются для изучения принципов работы изделий (установок), а также при их наладке, контроле и ремонте.

Общий код для схемы электрической функциональной – **Э2**.

К основным правилам оформления схем Э2 по ГОСТ 2.702–2011 относятся следующие:

1. На схеме изображают функциональные части изделия (элементы, устройства и функциональные группы), участвующие в процессе, иллюстрируемом схемой, и связи между этими частями.

По сравнению со схемой Э1 в схеме Э2 подробно раскрывают функции отдельных элементов и устройств.

2. Функциональные части и взаимосвязи между ними на схеме изображают в виде УГО, установленных в стандартах ЕСКД.

Отдельные функциональные части допускается изображать в виде прямоугольников.

3. Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности процессов, иллюстрируемых схемой.

4. На схеме следует указывать:

– для каждой функциональной группы – обозначение, присвоенное ей на принципиальной схеме, и (или) ее наименование (если функциональная группа изображена в виде УГО, то ее наименование не указывают);

– для каждого устройства, изображенного в виде прямоугольника, – позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, его наименование и тип и (или) обозначение документа (основной КД, стандарт, технические условия), на основании которого это устройство применено;

– для каждого устройства, изображенного в виде УГО, – позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, его тип и (или) обозначение документа;

– для каждого элемента – позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, и (или) его тип.

Обозначение документа, на основании которого применено устройство, и тип элемента допускается не указывать.

Наименования, типы и обозначения рекомендуется вписывать в прямоугольники.

5. Схему Э2 можно условно представить как промежуточную между Э1 и Э3, поэтому для нее справедливы и их правила оформления (см. 3.1 и 8.1).

Функциональные схемы применяются, как правило, совместно с принципиальными, поэтому позиционные обозначения элементов и устройств на этих документах совпадают. Поэтому в этом случае отдельный перечень элементов для функциональной схемы не разрабатывают [165], [166].

К.2. Создание схемы Э2

В данном приложении предлагается выполнить 4-й дополнительный этап проектирования, заключающийся в разработке схемы Э2 «усилителя».

Так как в схеме Э2 будут компоненты из схемы Э3 «усилителя» (см. разд. 8), то имеет смысл создать ее на основе последней, заменив отдельные функциональные части изображениями, использованными в схеме Э1 (см. разд. 3). Поэтому рекомендуется следующий порядок действий:

1. Сделать копию файла схемы Э3 «усилителя», изменить его имя и переместить файл в папку **…\ИДРЭС-П1\Усилитель**.

В варианте «П1» – «**УП1.01.01Э2 - Усилитель - v0.1**».

2. Открыть файлы схем Э2 «усилителя» и Э1 «модуля усилителя» в **Altium Designer** (см. п. 2 из 10.1).

3. В схеме Э2 в основной надписи рамки скорректировать значения двух параметров (вкладка **Parameters** в окне, вызываемом командой **Design ⇒ Document Options**).

Примечание. Так как схема Э2 не входит в состав проекта (Free Document), то созданного параметра в п. 5.2 из 8.2 не будет, и его значение потребуется ввести вручную вместо ссылки.

4. Изменить состав компонентов из схемы Э2 с учетом следующего:

4.1. Должно быть раскрыто содержание функциональных частей:

– усилитель;

– узел вторичного питания (см. п. 4.2);

– узел управления (при наличии).

Остальные функциональные части представить в виде изображений, скопированных из схемы Э1 «модуля усилителя».

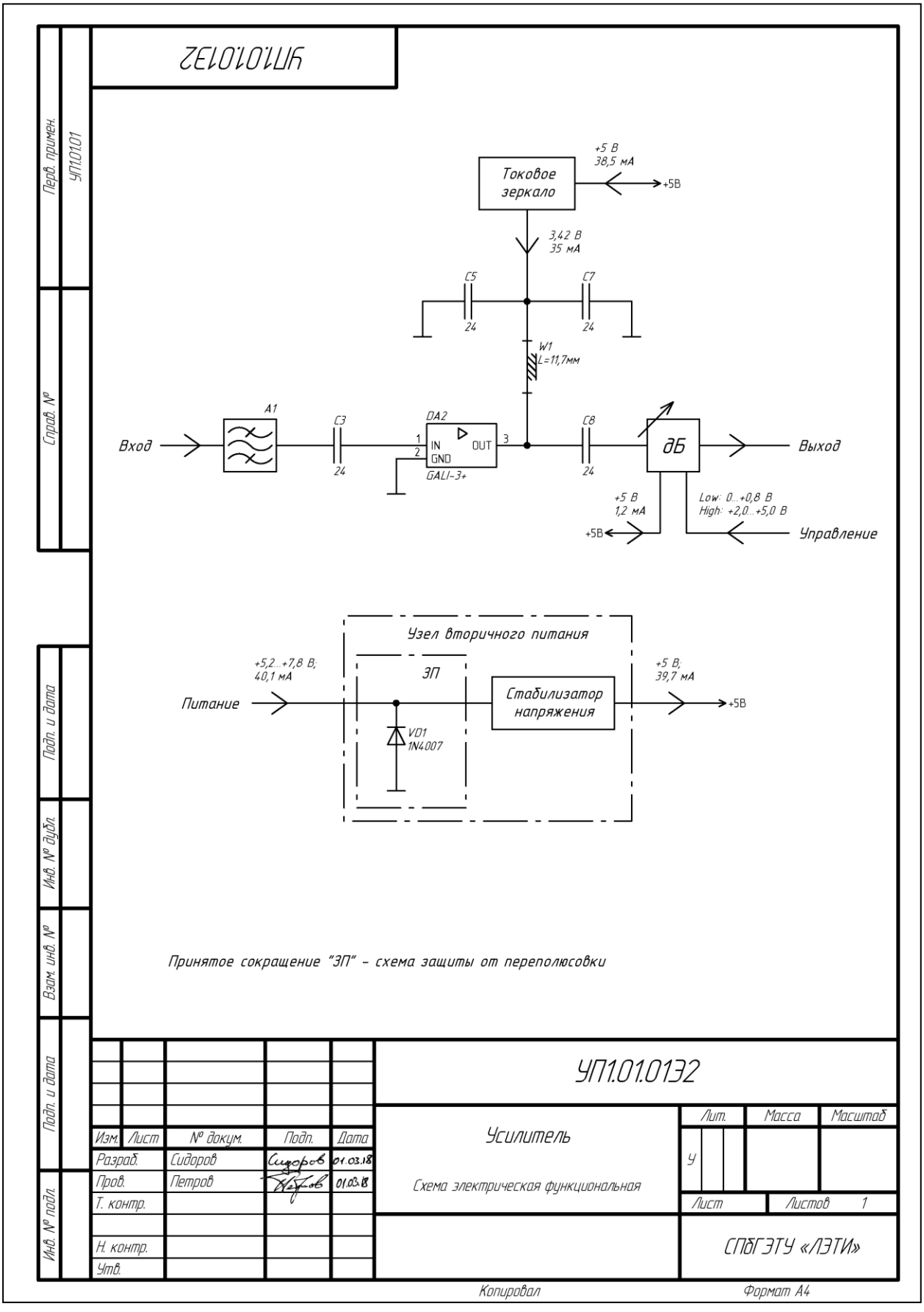

Токовое зеркало
+5 В
38,5 мА
+5В
3,42 В
35 мА
C5
24
C7
24
W1
L=11,7мм
A1
Вход
C3
24
DA2
IN
GND
OUT
GALI-3+
C8
24
дБ
Выход
+5 В
1,2 мА
+5В
Low: 0...+0,8 В
High: +2,0...+5,0 В
Управление
Узел вторичного питания
+5,2...+7,8 В;
40,1 мА
ЭП
Питание
VD1
1N4007
Стабилизатор напряжения
+5 В;
39,7 мА
+5В
Принятое сокращение "ЭП" – схема защиты от переполюсовки
УП1.01.013Э2
Усилитель
Схема электрическая функциональная
Изм. Лист № докум. Подп. Дата
Разраб. Сидоров 01.03.18
Пров. Петров 01.03.18
Т. контр.
Н. контр.
Утв.
Лит. Масса Масштаб
У
Лист Листов 1
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Копировал
Формат А4
Перв. примен.
УП1.01.01
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Рис. К.1

Примечание. Линии электрической связи до скопированных изображений из схемы Э1 «модуля усилителя» рекомендуется проводить заново.

4.2. В узле вторичного питания должны быть полностью раскрыты следующие его составные части с указанием наименований:

– ЗП;

– ИПС (при наличии);

– параметрический стабилизатор напряжения (при наличии).

Микросхему стабилизатора и относящиеся к нему компоненты представить в виде прямоугольного контура с названием.

5. Узел вторичного питания и раскрытые его составные части обвести контурами из штрихпунктирных линий с параметрами по п. 4.5 из 8.3.

6. Удалить метки цепей и расшифровку дополнительной функции.

7. Для сокращений и условных наименований привести их расшифровку.

8. Добавить значения всех напряжений и токов, вычисленных при создании схемы Э3 «усилителя» в 8.3.

9. При необходимости уменьшить формат листа, заменив рамку на **А4-1-ИДРЭС-AD.SchDot** (см. п. 3 из 3.2.3).

Чтобы значения параметров не изменились, в окне **Update Template** необходимо выбрать опцию **Do not update any parameters** (не обновлять параметры) или **Add new parameters that exist in the template only** (добавить только те параметры, которые отсутствуют в заменяемой рамке).

10. Сохранить изменения в схеме (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. К.1.

11. В папке **…\ИДРЭС-П1\Усилитель** удалить папку **History** с резервными копиями файла схемы Э2.

12. Сохранить схему в формате PDF по 8.4.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.01.01Э2 - Усилитель - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1\Усилитель_pdf**.

К.3. Содержание отчета

По 4-му дополнительному этапу проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести:

1. Схему Э2 «усилителя», распечатанную на отдельном листе.

2. Описание изменения (с поясняющим рисунком), которое потребовалось бы выполнить при включении схемы Э2 «усилителя» в комплект КД.

Л. Файлы форматов Gerber и Excellon

Л.1. Основания для использования

Производители могут принимать заказы на изготовление ПП в виде файлов с расширениями тех программ для трассировки, которыми пользуются разработчики (например, для **Altium Designer** – «.PcbDoc», для **P-CAD** – «.pcb»). Однако это нехорошая практика по следующим причинам:

– у производителя не может быть абсолютно всех программ, которыми пользуются разработчики;

– версия одной и той же программы у производителя и разработчика может отличаться, что иногда приводит к ошибкам;

– некоторые внутренние настройки файла трассировки могут пониматься производителем не совсем так, как задумывал разработчик;

– в файле трассировки обычно содержится полная информация о размещаемых компонентах и связях между ними, которую в случае уникальных схемных решений разработчику не получится сохранить в тайне.

Решением является представление проекта ПП в стандартных форматах, которыми пользуются производители. Во всем мире де-факто такими стандартами являются языки управления фотоплоттером компании Gerber Scientific (формат Gerber) и сверлильным оборудованием компании Excellon Automation Company (формат Excellon).

Л.2. Формат Gerber

Формат Gerber разработан основателем компании Джозефом Гербером для векторных фотоплоттеров в начале 1980-х годов в версии RS-274D («стандартный Gerber»).

В упрощенной структуре фотоплоттера на рис. Л.1 показаны следующие его составные части:

– координатный стол, перемещаемый по двум осям, на котором закрепляется фотошаблон;

– оптическая система, образованная источником света высокой яркости, затвором, коллимирующей и фокусирующей оптикой;

– апертурный диск с апертурами (отверстиями определенной формы и размеров).

Луч света, проходя через систему оптики и апертурный диск, при открытом затворе оставляет на фотошаблоне пятно с формой апертуры. Требуемая в данный момент апертура выбирается поворотом апертурного диска.

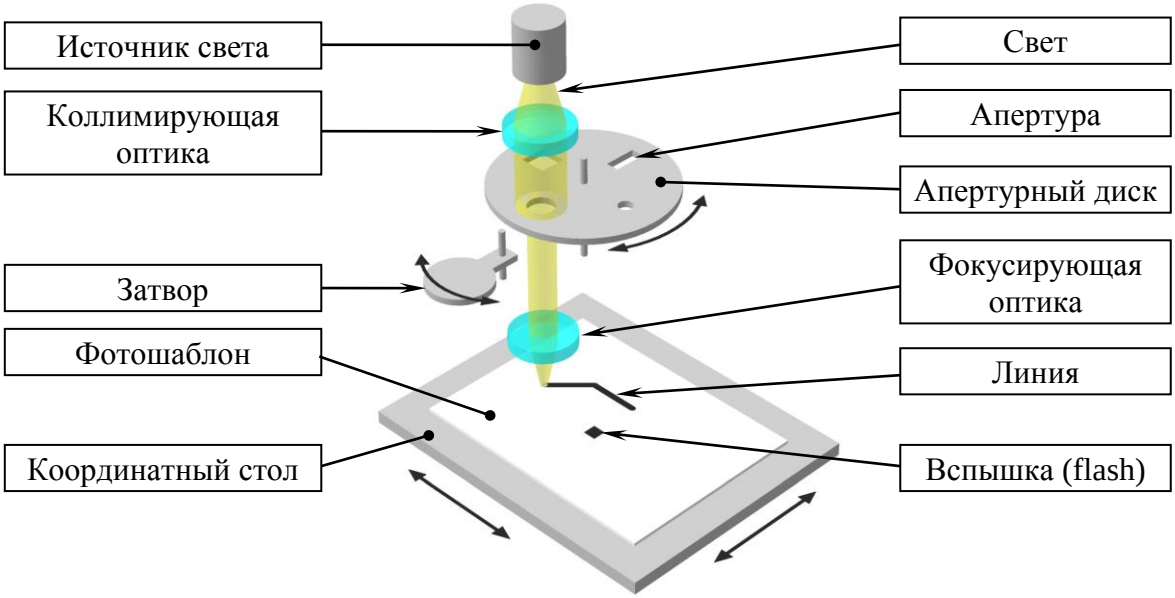


Рис. Л.1

При движении координатного стола на фотошаблоне вычерчивается линия с соответствующей толщиной и формой концов.

Таким образом, для получения изображения на фотошаблоне программа должна состоять из команд, которые управляют затвором, положением координатного стола и выбором апертуры. Это и было заложено в «стандартном Gerber».

Позднее, с развитием технологий растровых фотоплоттеров, появилась и новая спецификация Gerber-файлов, в частности поддерживающая формирование полигонов. К середине 1990-х годов формат Gerber был поддержан рядом ведущих производителей оборудования и систем проектирования ПП. Современной версией является RS-274X («расширенный Gerber»), которая обновляется и публикуется компанией Ucamco.

Файл трассировки, преобразованный в формат Gerber, представляет собой набор текстовых файлов, каждый из которых описывает только один слой ПП независимо от его назначения.

Примечание. Расширения Gerber-файлов, созданных в Altium Designer, состоят из буквы G (Gerber) и одного или двух символов, характеризующих слой (примеры расширений приведены в табл. Л.1).

В версии RS-274X каждый файл представляет собой законченную программу, не требующую каких-либо дополнительных файлов или внешних параметров (например, в версии RS-274D требовался отдельный файл с описанием апертур). При выполнении программы коды считываются и выполняются последовательно без возвратов к ранее выполненным командам.

Таблица Л.1

Расширения некоторых Gerber-файлов, получаемых из Altium Designer

Слой	Расширение
Top Overlay	«.GTO»
Top Solder	«.GTS»
Top Paste	«.GTP»
Top Layer	«.GTL»
Внутренние слои в МПП	«.G1», «.G2», «.G3», …
Bottom Layer	«.GBL»
Bottom Paste	«.GBP»
Bottom Solder	«.GBS»
Bottom Overlay	«.GBO»
Механические слои	«.GM1», «.GM2», «.GM3», …

Формат Gerber является векторным форматом, т. е. по его данным формируется изображение, не зависящее от разрешения [167], [168].

Всю информацию в Gerber-файле можно разделить на две группы: координаты и команды.

Координаты определяют точку по осям X и Y, в которой будет совершено какое-либо действие (например, X00840000Y00066000). Для минимизации количества байтов, необходимых для представления данных, при записи координат используется несколько особенностей:

1. Вместо десятичной точки во всем файле специальной командой указывается только число знаков целой и дробной частей. Так, указанные выше координаты записаны в формате 4:4 (по оси X – 84,0 мм, по оси Y – 6,6 мм).

2. Во всем файле задается подавление нулей (zero suppression) – ведущих (leading) или замыкающих (trailing). Например, указанные выше координаты без подавления нулей можно преобразовать в следующие виды:

– с подавлением ведущих нулей – X840000Y66000;

– с подавлением замыкающих нулей – X0084Y00066.

3. Модальность координат, что означает запоминание последнего значения координаты. Если оно не поменяется на следующем шаге, то оно не записывается. Например, при перемещении из точки с координатами (5; 6) в точку (8; 6) для второй точки указывается только координата X.

Каждая строка в Gerber-файле завершается знаком «*» и содержит в явном виде команды и (или) координаты (некоторые команды модальны).

Все команды можно разделить на две группы: команды функциональных кодов и команды расширенных кодов.

Различают три группы команд функциональных кодов:

– D-коды (рисование и выбор апертуры);

– G-коды (подготовительные операции);

– M-коды (вспомогательные коды).

Примеры таких команд приведены в табл. Л.2.

Таблица Л.2

Некоторые команды функциональных кодов

Команда	Назначение
D01 или D1	Перемещение в указанную точку с открытым затвором. Используется для рисования проводников. Является модальной. Следует за передаваемыми данными. Пример: X0084Y00066D01*
D02 или D2	Перемещение в указанную точку с закрытым затвором. Является модальной. Следует за передаваемыми данными
D03 или D3	Перемещение в указанную точку с закрытым затвором с последующим кратковременным его открыванием и закрыванием (вспышка или flash). Используется для создания КП. Следует за передаваемыми данными
D10 и больше	Каждая команда является ссылкой на соответствующую апертуру
G01	Устанавливает режим рисования линий
G02	Устанавливает режим рисования дуги по часовой стрелке
G03	Устанавливает режим рисования дуги против часовой стрелки
G04	Комментарий. До знака «*» после этой команды может помещаться любая информация, не влияющая на выполнение программы. Пример: G04 это комментарий*
G36	Начало создания контура полигона
G37	Конец создания контура полигона и его заполнение
G54	Осуществляет выбор апертуры (D10 и больше), следующей непосредственно за G54. Может отсутствовать, так как на многих фотоплоттерах считается избыточной. Пример: G54D17*
G70	Установка единиц измерения в дюймы. В RS-274X заменяется командой MO
G71	Установка единиц измерения в миллиметры. В RS-274X заменяется командой MO
G74	Режим рисования дуги в одном квадранте (от 0 до 90º)
G75	Режим рисования дуги в нескольких квадрантах (от 0 до 360º)
G90	Установка абсолютных координат, т. е. каждая пара координат отсчитывается от точки (0; 0). Может отсутствовать, так как такой режим устанавливается по умолчанию. В RS-274X заменяется командой FS
G91	Установка относительных координат, т. е. каждая следующая координата измеряется относительно предыдущей. Устаревшая команда. В RS-274X заменяется командой FS
M02	Конец файла

Команды расширенных кодов характерны для версии RS-274X и в тексте программы заключаются между парой символов «%». Примеры таких команд приведены в табл. Л.3.

Таблица Л.3

Некоторые команды расширенных кодов

Команда	Назначение
MO	Устанавливает единицы измерения. Пример: – %MOIN*% – дюймы; – %MOMM*% – миллиметры
FS	Устанавливает формат и режим координат, а также способ подавления нулей. Пример: %FSLAX25Y25*%, где L – подавление ведущих нулей, A – абсолютные координаты, 2 – количество знаков целой части (отдельно для координаты X и Y), 5 – количество знаков дробной части (отдельно для координаты X и Y). Вместо L может быть буква T (подавление замыкающих нулей), а вместо A – I (относительные координаты), однако в настоящее время оба эти параметра являются устаревшими и не рекомендуются к использованию. Количество знаков целой части может принимать значения от 0 до 6, а дробной части – от 4 до 6
LP	Устанавливает тип полярности объектов, чередованием которых можно нарисовать сложное изображение. Пример: – %LPD*% – объекты с черной полярностью (черные); – %LPC*% – объекты с чистой полярностью (белые)
AD	Создает апертуру, присваивая ей номер, имя и параметры. Если параметров два и более, то они разделяются буквой «X». Пример: %ADD15R,0.2000X0.1000*%
AM	Создает макрос для апертуры сложной формы

В версии RS-274X есть возможность использования четырех стандартных апертур и апертур сложной формы, которые получаются с использованием макросов из восьми примитивов.

Стандартные апертуры приведены в табл. Л.4 и показаны на рис. Л.2.

Таблица Л.4

Стандартные апертуры

Имя	Форма	Параметры
C	Круг	Внешний диаметр, диаметр отверстия
R	Прямоугольник	Размер по оси X, размер по оси Y, диаметр отверстия
O	Прямоугольник с закругленными сторонами	Размер по оси X, размер по оси Y, диаметр отверстия
P	Многоугольник, вписанный в окружность	Диаметр описанной окружности, количество углов (от 3 до 12), угол поворота (в градусах против часовой стрелки), диаметр отверстия

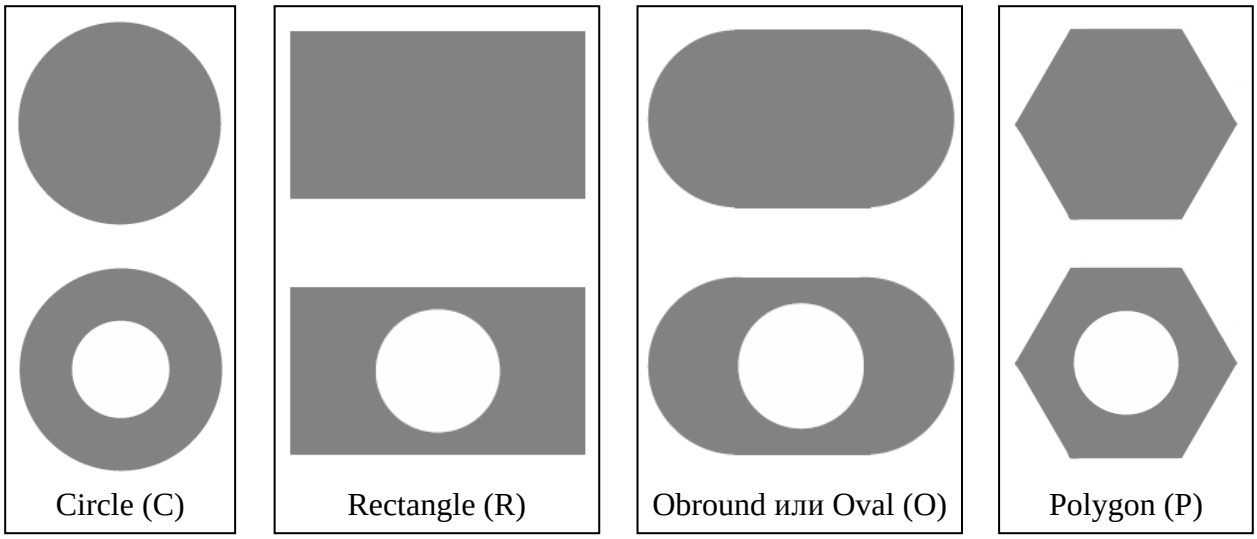


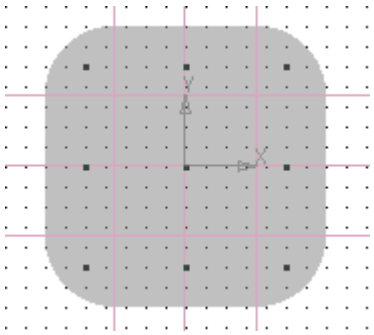
Рис. Л.2

Примером создания стандартной апертуры D15 прямоугольной формы (R) с размерами 0,2 × 0,1 мм без внутреннего круглого выреза в центре является команда %ADD15R,0.2000X0.1000*% из табл. Л.3.

Примечание. Номер апертуры записан произвольно.

Пример апертуры сложной формы – скругленный прямоугольник для шаблона КП s140r50. Текст ее создания приведен на рис. Л.3, *а*.

```
%AMROUNDEDRECTD11*
21,1,1.4000,0.7000,0,0,0.0*
21,1,0.7000,1.4000,0,0,0.0*
1,1,0.7000,0.3500,-0.3500*
1,1,0.7000,-0.3500,-0.3500*
1,1,0.7000,-0.3500,0.3500*
1,1,0.7000,0.3500,0.3500*
%
%ADD11ROUNDEDRECTD11*%
```



а *б*

Рис. Л.3

Название макроса (ROUNDEDRECTD11) может быть произвольным, но Altium Designer добавляет в конце обозначение апертуры, для которой он предназначен. После названия макроса приводятся примитивы, из которых строится апертура, с указанием их параметров через запятую.

Назначение параметров примитивов из примера дано в табл. Л.5.

В данном случае это два прямоугольника (1,4 × 0,7 мм и 0,7 × 1,4 мм) с центрами в точке (0; 0) и четыре окружности диаметром 0,7 мм с центрами в точках (0,35; –0,35), (–0,35; –0,35), (–0,35; 0,35) и (0,35; 0,35). Вид получившейся апертуры с узлами сетки 0,1 мм и вспомогательными линиями, проходящими через указанные точки, показан на рис. Л.3, *б*.

Таблица Л.5

Некоторые примитивы, используемые в макросах

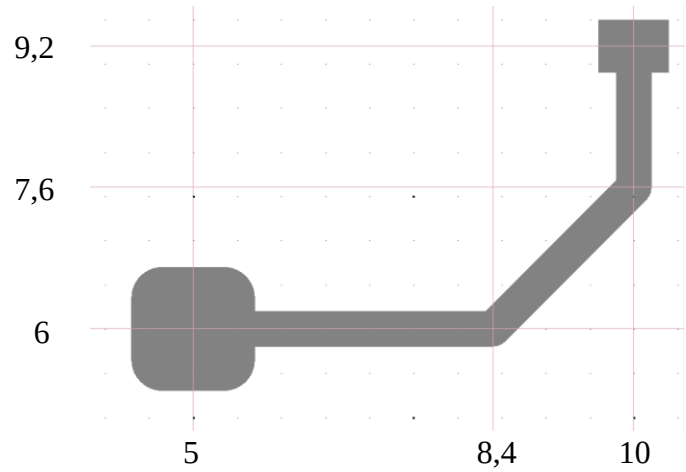
Номер	Форма	Параметры
1	Круг	Экспозиция (1 или 0), диаметр, положение центра по оси X, положение центра по оси Y, угол поворота (в градусах против часовой стрелки)
21	Прямоугольник	Экспозиция (1 или 0), ширина, высота, положение центра по оси X, положение центра по оси Y, угол поворота (в градусах против часовой стрелки)

Примечание. При значении экспозиции «1» примитив добавляется к нарисованному изображению (черный цвет), а при значении «0» примитив стирает часть созданного в том же макросе изображения (белый цвет).

Более подробная информация о формате Gerber содержится в [169].

На рис. Л.4, *а* приведен текст Gerber-файла с расширением «.GTL», полученного из Altium Designer для файла трассировки, в слое Top Layer которой изображены две КП, соединенные трассой шириной 0,4 мм (рис. Л.4, *б*).

```
G04 Layer_Physical_Order=1*
G04 Layer_Color=255*
%FSLAX44Y44*%
%MOMM*%
G71*
G01*
G75*
%ADD10R,0.8000X0.6000*%
G04:AMPARAMS|DCode=11|XSize=...*
%AMROUNDEDRECTD11*
21,1,1.4000,0.7000,0,0,0.0*
21,1,0.7000,1.4000,0,0,0.0*
1,1,0.7000,0.3500,-0.3500*
1,1,0.7000,-0.3500,-0.3500*
1,1,0.7000,-0.3500,0.3500*
1,1,0.7000,0.3500,0.3500*
%
%ADD11ROUNDEDRECTD11*%
%ADD12C,0.4000*%
G54D10*
X100000Y92000D02*
D03*
G54D11*
X50000Y60000D02*
D03*
G54D12*
X100000Y76000D02*
Y92000D01*
X84000Y60000D02*
X100000Y76000D01*
X50000Y60000D02*
X84000D01*
M02*
```



а *б*

Рис. Л.4

В комментариях в начале текста приводится информация о том, что данный слой физический (в нем располагается металлизация) и имеет порядко-

вый номер 1 (находится сверху). Также дана информация о цвете слоя. Эти данные ни на что не влияют (см. табл. Л.2).

После комментариев задаются все настройки Gerber-файла: формат и режим координат, способ подавления нулей, единицы измерения (как командой расширенных кодов, так и командой функциональных кодов), режим рисования линий и способ рисования дуг (см. табл. Л.2 и Л.3).

Далее определяются все используемые в данном файле апертуры в порядке увеличения их номеров. Перед каждым макросом приводится комментарий к нему (на рис. Л.4, *а* он приведен частично из-за большого размера).

Затем следуют команды рисования фотошаблона, собранные по апертурам в порядке увеличения их номеров (обычно текст становится компактнее при создании Gerber-файлов после переоткрытия файла трассировки).

Примечание. Если на ПП есть полигоны, то в Altium Designer они создаются командами функциональных и расширенных кодов (G36, G37 и LP) сразу после определения всех используемых апертур.

Л.3. Формат Excellon

Формат Excellon получил свое название от компании Excellon Automation Company, ставшей лидером по производству оборудования для сверления ПП в 1980-х годах (компания существует и ныне). Он похож на формат Gerber, в нем заложено большое количество разнообразных команд, но программы по разработке ПП используют лишь их минимальный набор, приведенный в табл. Л.6.

Таблица Л.6

Некоторые команды формата Excellon

Команда	Назначение
M48	Начало заголовка
;	Символ, после которого записывается комментарий
METRIC, LZ	Составная команда, устанавливающая единицы измерения (METRIC – миллиметры, INCH – дюймы), наличие нулей (LZ – только лидирующие, TZ – только ведущие, без информации – подавления нулей нет)
TXCY.Z	Сопоставление диаметра C инструменту T (сверлу), где X, Y и Z – числа. Пример: T02C1.2000. Здесь инструменту T02 задается диаметр 1,2 мм (при опции METRIC). Инструменты с номерами от 1 до 9 могут быть указаны без начального нуля (T02 или T2). В команде может содержаться дополнительная информация, связанная с технологическим процессом: F – скорость подачи (погружения) сверла, S – скорость вращения сверла и др. Altium Designer по умолчанию включает эти данные с нулевыми значениями

Окончание таблицы Л.6

Команда	Назначение
%	Конец заголовка
TX	Выбор инструмента с номером X. Инструменты с номерами от 1 до 9 могут быть указаны без начального нуля. Пример: T01 или T1
G00	Включение режима фрезерования и отключение режима сверления с перемещением в указанную точку. Обработку этой командой делать нельзя, так как путь перемещения может быть произвольным Пример: G00X005Y00415
G01	Перемещение инструмента по прямой до указанной точки
G05	Включение режима сверления и отключение режима фрезерования
G85	Команда слотового сверления, т. е. создание прорези путем сверления ряда близко расположенных отверстий между двумя точками. Обычные параметры: неравномерности стенок – не более 12,7 мкм, диаметр сверла – от 0,6 мм, длина – от 2 до 10 диаметров сверла. Пример: X00395Y-002G85X00415. Здесь до команды G85 указаны координаты начальной точки (39,5; –20), а после – координаты конечной точки (41,5; –20).
G90 и G91	См. табл. Л.2
M15	Погружение инструмента (начальная точка фрезерования)
M16	Подъем инструмента (конечная точка фрезерования)
M17	Конец подпрограммы фрезерования
M30	Конец программы

Текст программы в Excellon-файле состоит из заголовка, в котором задаются параметры данных и назначаются размеры инструментам, и основной части, в которой приводятся идентификаторы инструментов и координаты отверстий, выполняемых данным инструментом [170].

Координаты записываются по аналогии с Gerber-файлом.

Типовое расширение Excellon-файла – «.TXT».

На рис. Л.5, *а* приведен текст Excellon-файла, полученного из Altium Designer для файла трассировки с двумя металлизированными отверстиями диаметром 0,5 мм (рис. Л.5, *б*).

```
M48
;Layer_Color=9474304
;FILE_FORMAT=4:4
METRIC,LZ
;TYPE=PLATED
T1F00S00C0.5000
%
T01
X0005Y00081
X00084
M30
```

а



б

Рис. Л.5

Файлы Excellon часто называются NC drill, так как они используются для управления сверлильными станками с числовым программным управлением (Computer Numerical Control drilling and routing machine) по стандарту IPC-NC-349 (Computer Numerical Control Formatting for Drillers and Routers).

Л.4. Экспорт в форматы Gerber и Excellon

В данном приложении предлагается выполнить 5-й дополнительный этап проектирования, заключающийся в создании файлов форматов Gerber и Excellon из разработанного в разд. 12 файла трассировки.

Последовательность действий:

1. В **Altium Designer** открыть проект ПП (см. п. 1 из 12.1).
2. Открыть файл трассировки по п. 3 из 8.3.
3. В настройках проекта (команда **Project ⇒ Project Options**) на вкладке **Options** в группе **Output Options** отключить опцию **Open outputs after compile** (автоматическое открытие сгенерированных файлов) и применить изменения кнопкой **OK**.
4. Для создания Gerber-файлов запустить команду **File ⇒ Fabrication Outputs ⇒ Gerber Files** и в открывшемся окне Gerber Setup выполнить следующее:

4.1. На вкладке **General** (рис. Л.6):

– выбрать единицы измерения **Millimeters**;

– выбрать формат данных **4:4**.

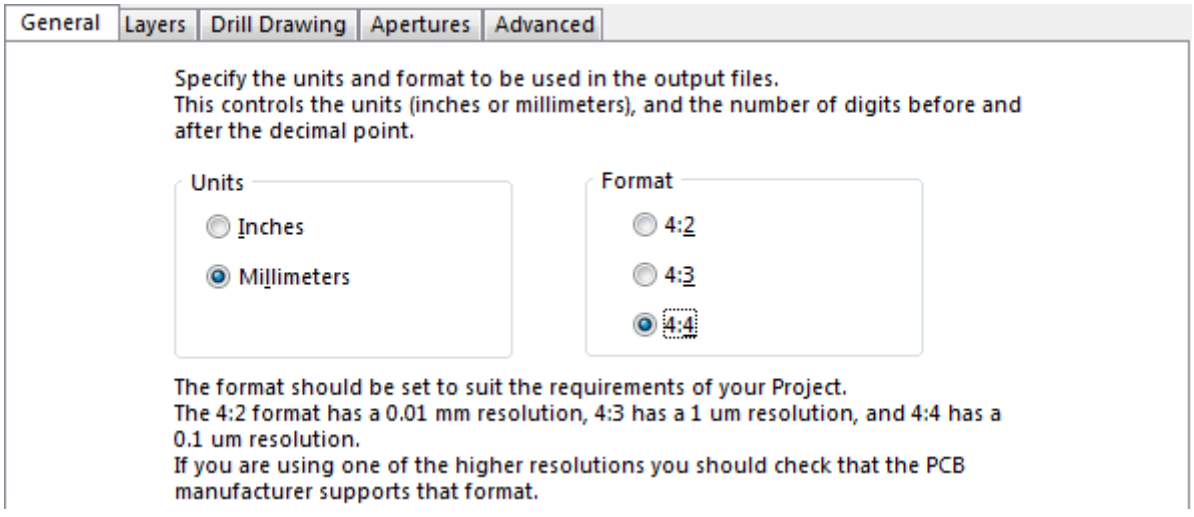


Рис. Л.6

4.2. На вкладке **Layers** в таблице **Layers To Plot** поставить галочки в столбце **Plot** около слоев, для которых будут созданы Gerber-файлы: Top Overlay, Top Solder, Top Layer, Bottom Layer, M1 Board.

Примечания:

– таблица Mechanical Layers(s) to Add to All Plots предназначена для включения графики выбранных механических слоев во все Gerber-файлы из таблицы Layers To Plot;

– опция Mirror в таблице Layers To Plot позволяет отзеркалить слой. Данная настройка не требует включения, так как это делается на производстве после проверки на технологичность изготовления ПП;

– так как шелкография в варианте «П1» отсутствует (см. примечание к п. 30.6 из 16.1), то слой Top Overlay не отмечен (рис. Л.7).

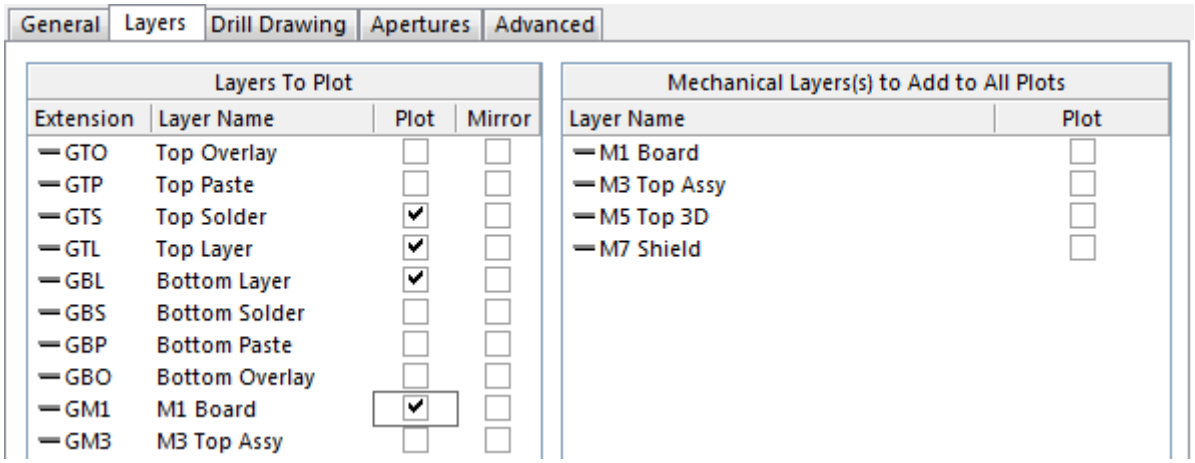


Рис. Л.7

4.3. На вкладке **Drill Drawing** оставить все опции отключенными.

Примечание. На данной вкладке можно сформировать файлы с информацией слоев Drill Drawing и Drill Guide (см. табл. Г.14) для существующих в проекте пар слоев (см. п. 4 из Г.21).

4.4. На вкладке **Apertures** (рис. Л.8) убедиться в том, что включена опция **Embedded apertures (RS274X)**.

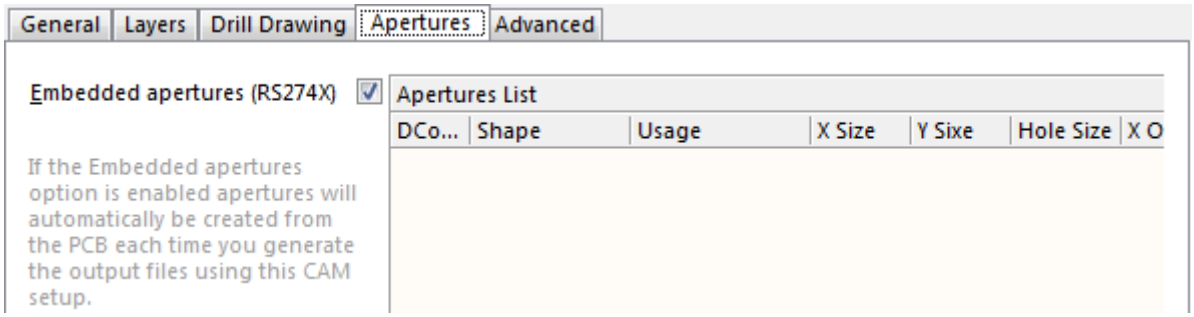


Рис. Л.8

Примечание. При включении данной опции в каждый Gerber-файл будет включено описание всех используемых в нем апертур.

4.5. На вкладке **Advanced** задать параметры в соответствии с рис. Л.9.

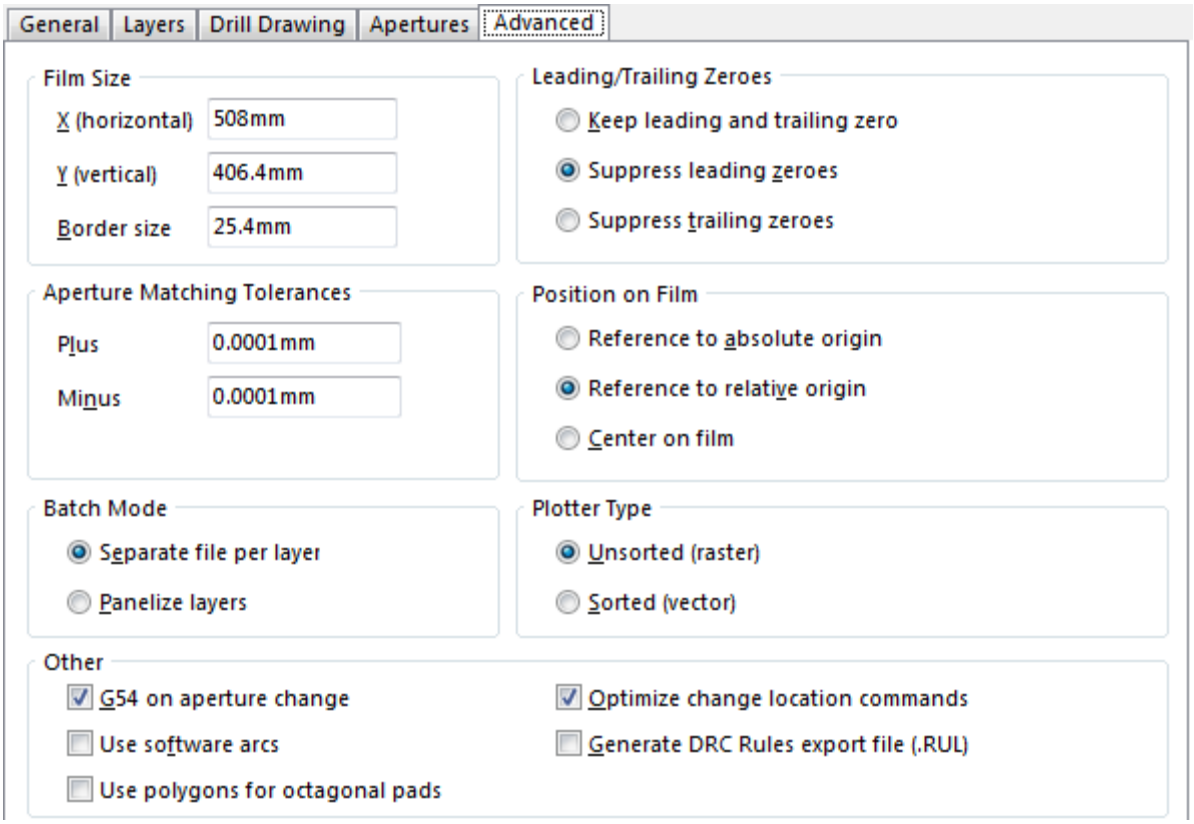


Рис. Л.9

Примечания:

– в группе Film Size заданы размеры пленки фотошаблона (поля X и Y) и величина технологического поля (поле Border size). Данные значения определяются на производстве;

– настройки группы Leading/Trailing Zeroes описаны в п. 2 из Л.2;

– в группе Aperture Matching Tolerances задаются настройки точности размеров апертур (указаны минимальные значения);

– в группе Position on Film задается положение ПП на пленке фотошаблона: Reference to absolute origin – относительно точки начала абсолютной системы координат (нижний левый угол рабочего поля), Reference to relative origin – относительно точки начала пользовательской системы координат (см. п. 5.6 из 12.3), Center on film – в центре фотошаблона;

– в группе Batch Mode задается способ вывода: Separate file per layer – для каждого слоя будет создан отдельный Gerber-файл, Panelize layers – все слои будут собраны в один Gerber-файл;

– в группе Plotter Type указывается тип фотоплоттера (по умолчанию выбран растровый). В данной версии Altium Designer значимых различий в текстах Gerber-файлов между опциями из этой группы не обнаружено;

– опция G54 on aperture change – включение команды G54 из табл. Л.2;

– опция Optimize change location commands – включение модальности координат (см. п. 3 из Л.2).

4.6. Запустить процесс создания Gerber-файлов кнопкой **OK**.

После его окончания в подпапке **Project Outputs**, находящейся в папке проекта ПП, будут созданы Gerber-файлы выбранных слоев и вспомогательные файлы (не требуются для производства):

– файл с расширением «.apr» – перечень апертур стандартных форм;

– файл с расширением «.APR_LIB» – перечень апертур сложных форм;

– файл с расширением «.EXTREP» – таблица соответствия расширений созданных Gerber-файлов и названий слоев ПП;

– файл с расширением «.REP» – перечень номеров апертур, использованных в каждом созданном Gerber-файле.

5. Для создания Excellon-файла запустить команду **File ⇒ Fabrication Outputs ⇒ NC Drill Files**, в открывшемся окне NC Drill Setup задать настройки в соответствии с рис. Л.10 и нажать кнопку **OK**.

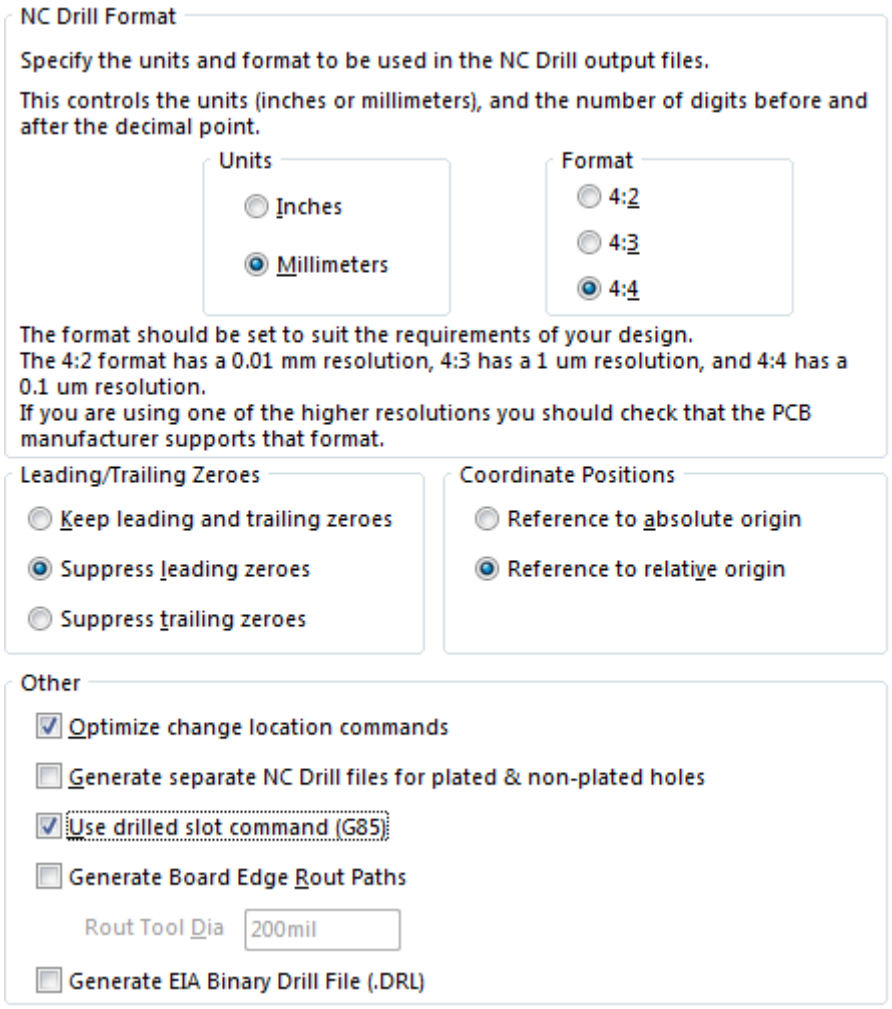


Рис. Л.10

Примечания:

– желательно, чтобы настройки в окнах NC Drill Setup и Gerber Setup при создании файлов для одного проекта совпадали;

– опция Generate separate NC Drill files for plated & non-plated holes – создание отдельных Excellon-файлов для металлизированных и неметаллизированных отверстий. Если опция отключена, то вся информация будет содержаться в одном файле;

– опция Use drilled slot command (G85) – создание отверстий типа Slot командой G85 (см. табл. Л.6). Микрорельеф, получаемый при этом, хорошо подходит для металлизации. Если опция отключена, то подобные отверстия будут получены фрезерованием;

– опция Generate Board Edge Rout Paths – создание файла для фрезерования контура ПП и вырезов в ней фрезой с диаметром, указанным в поле Rout Tool Dia.

После окончания процесса в подпапке **Project Outputs**, находящейся в папке проекта ПП, будет создан Excellon-файл и вспомогательные файлы (не требуются для производства):

– файл с расширением «.DRR» – таблица отверстий;

– файл с расширением «.LDP» – соответствие пар слоев отверстий созданному Excellon-файлу.

Примечания:

– если в проекте есть не только круглые отверстия, то будет создано несколько Excellon-файлов с одинаковыми расширениями, но разными названиями, характеризующими тип отверстий (например, RoundHoles и SlotHoles). Также будет создано несколько файлов, если в проекте МПП кроме сквозных отверстий есть глухие и (или) скрытые отверстия;

– сгенерированные файлы отображаются в панели Projects (рис. Л.11) в двух подгруппах группы Generated (CAMtastic! Documents – файлы форматов Gerber и Excellon, Text Documents – вспомогательные файлы);

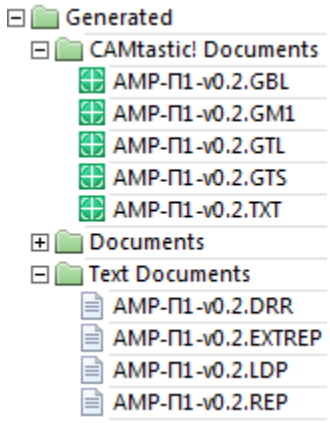


Рис. Л.11

– в настройках проекта при включении опции Use separate folder for each output type на вкладке Option генерируемые файлы будут сохраняться в отдельные подпапки в папке Project Outputs;

– настройки в окнах Gerber Setup и NC Drill Setup сохраняются с файлом трассировки (проектом);

– после возможных корректировок ПП файлы в форматах Gerber и Excellon необходимо создавать заново;

– в случае работы с однотипными ПП имеет смысл создать файл Output Job File, в котором один раз задать все необходимые настройки, после чего использовать его в требуемых проектах.

6. Просмотреть созданные файлы в форматах Gerber и Excellon.

Это можно сделать отдельно для каждого файла, открывая его из панели Projects по аналогии с п. 3 из 8.3, но лучше просматривать их одновременно в отдельном документе:

6.1. В панели **Projects** на названии проекта выполнить команду **ПКМ ⇒ Add New to Project ⇒ CAM Document**.

Примечание. Редактор CAM Editor (CAMtastic) в Altium Designer используется для просмотра и редактирования файлов в форматах Gerber и Excellon, но обладает меньшим набором возможностей в сравнении со специализированными САПР (например, CAM350 фирмы DownStream Technologies). Настройки редактора CAM Editor задаются в одноименном разделе окна Preferences (команда DXP ⇒ Preferences).

По целевому назначению САПР, используемые для технологической подготовки изделий, имеют аббревиатуру CAM (computer-aided manufacturing).

6.2. Импортировать файлы в созданный документ **CAMtastic1.Cam**, для чего при активной вкладке с ним запустить команду **File ⇒ Import ⇒ Quick Load** и убедиться в следующем:

– в поле **Select Import Directory** должна быть выбрана папка **Project Outputs** текущего проекта ПП;

– в поле **File(s) in Directory** должны быть выбраны все файлы (можно выбрать только необходимые файлы с зажатой клавишей **Ctrl**);

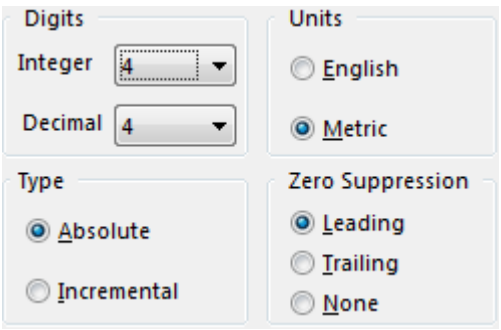


Рис. Л.12

– в окне, открывающемся после нажатия кнопки **Default Units**, должны быть такие же настройки, что и указанные при создании Gerber-файлов (рис. Л.12).

После этого запустить процесс импорта кнопкой **OK**.

В появившемся окне Import Drill Data нажать кнопку **Units** и убедиться в соответствии настроек заданным при создании Excellon-файла (рис. Л.12), после чего продолжить процесс импорта.

6.3. Закрыть появившуюся в рабочем поле вкладку с отчетом.

6.4. Просмотреть добавленные файлы:

– развернуть окно Altium Designer на полный экран;

– перейти в панель **CAMtastic** (рис. Л.13).

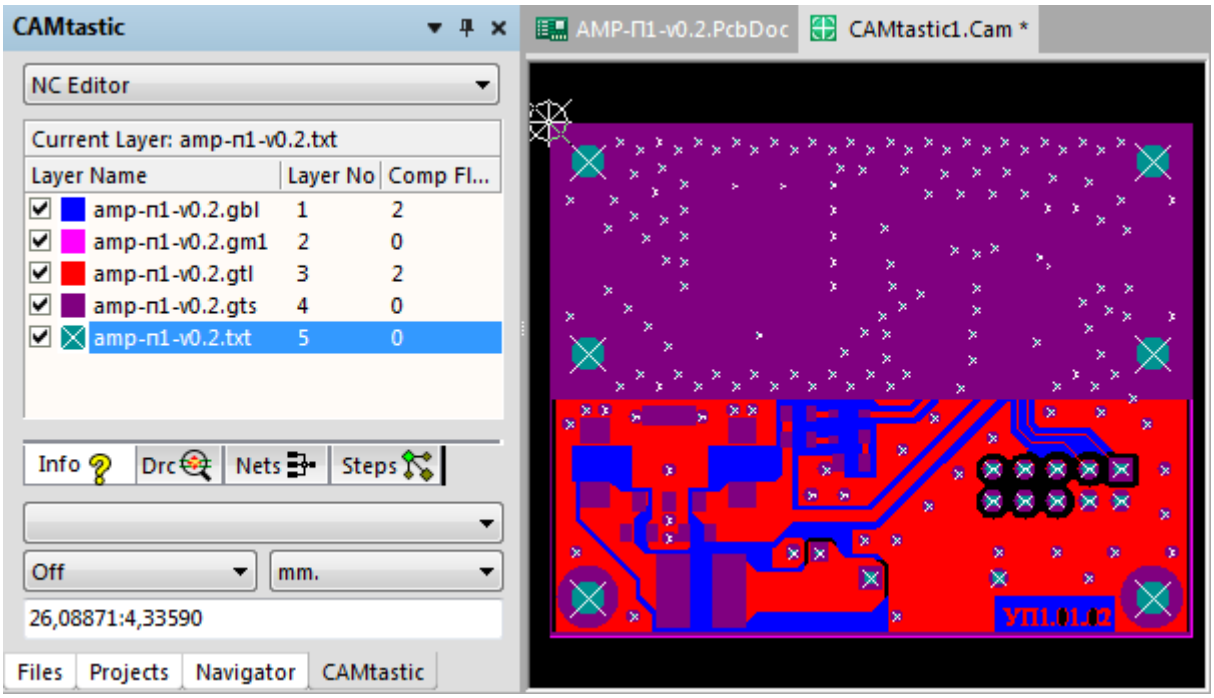


Рис. Л.13

Примечание. Если панели нет, то ее можно запустить из нижнего правого угла рабочего поля после нажатия одноименной кнопки;

– просмотреть отдельно первый файл, для чего в группе со слоями щелкнуть ЛКМ по первой строке и нажать клавишу **Left** (или запустить команду **ПКМ ⇒ Isolate**);

– перемещаясь по списку слоев клавишами **Down** и **Up** внимательно просмотреть информацию с других слоев;

– включить отображение файлов только с расширениями «.gtl» и «.gts» и сделать текущим последний из них. После этого визуально проверить правильность расположения областей отсутствия защитной паяльной маски.

Примечания:

– управление видимостью файла осуществляется галочкой слева от его названия или командой ПКМ ⇒ ON;

– текущий файл – файл, изображение которого показано поверх других изображений (в панели он отмечается белым перекрестием в ячейке с цветом объектов файла). Чтобы сделать файл текущим, по нему необходимо дважды щелкнуть ЛКМ или запустить команду ПКМ ⇒ Current;

– вместо файла с расширением «.gts» включить файл (или файлы) с расширением «.txt», сделав его текущим. После этого визуально проверить правильность расположения отверстий.

Примечания:

– в режиме NC Editor (включается в верхней части панели), предназначенном для просмотра Excellon-файлов, одиночные отверстия дополнительно помечаются маркерами в виде белых перекрестий. При наличии фрезерования или слотового сверления будут показаны маркеры направления следования инструментов, точки начала и конца создания прорезей;

– в режиме CAM Editor, предназначенном для просмотра Gerber-файлов, дополнительные маркеры у отверстий отсутствуют;

– при просмотре файлов может потребоваться режим выбора объектов (клавиша Q или команда Analysis ⇒ Query ⇒ Object) и режим измерения между двумя объектами (команда Analysis ⇒ Measure ⇒ Object to Object). Результаты приводятся в панели CAMtastic на вкладке Info.

6.5. Закрыть вкладку с документом **CAMtastic1.Cam** без сохранения изменений.

7. Сохранить изменения в проекте (см. п. 4 из 5.5).

8. Сохранить в отчет изображение панели **Projects** со всеми раскрытыми группами и подгруппами.

Примечание. Перед передачей производителю файлов в форматах Gerber и Excellon обычно выполняется следующее:

– файлы дополнительно просматриваются в специализированной САПР CAM (например, в CAM350) и там же осуществляется проверка правил проектирования. Кроме просмотра результатов в сторонней программе можно найти места с нарушением минимального размера зазора между участками заполнения одного и того же полигона Polygon Pour, что невозможно автоматически обнаружить средствами Altium Designer;

– после успешной проверки в блокноте вручную создается текстовый файл, в котором указываются: название проекта, размеры ПП, материал и толщина диэлектрика, толщина фольги, тип финишного покрытия, цвета защитной паяльной маски и шелкографии (при наличии), минимальные значения параметров элементов конструкции ПП, порядок слоев (для МПП), назначение каждого передаваемого файла;

– все файлы из подгруппы CAMtastic! Documents панели Projects объединяются с текстовым файлом в одном архиве с названием проекта.

Л.5. Содержание отчета

По 5-му дополнительному этапу проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести:

1. Скриншот панели **Projects** со всеми раскрытыми группами и подгруппами.

2. Назначение каждого созданного файла форматов Gerber и Excellon.

3. Текст Gerber-файла для слоя **M1 Board** с текстовыми пояснениями к каждой строке. Также нарисовать рисунок с результатом выполнения программы из этого файла и указать все координаты.

4. Текст Excellon-файла для круглых отверстий с заголовком и частью программы, начиная с момента выбора последнего инструмента. Каждую строку сопроводить текстовым комментарием. Также нарисовать рисунок с результатом выполнения этой части программы и указать все координаты (можно совместить с рисунком из п. 3).

М. Внесение изменений в КД

М.1. Общие сведения

После утверждения КД в них могут быть внесены изменения по следующим причинам: исправление ошибок, усовершенствование конструкции, изменение литеры, преобразование единичного КД в групповой и др.

К общим правилам внесения изменений по ГОСТ 2.503–74 и ГОСТ Р 2.503–2023 относятся следующие:

1. Основные положения.

1.1. Под изменением документа понимается любое исправление, исключение или добавление каких-либо данных в этот документ.

1.2. Изменения в документы вносят, если они не нарушают взаимозаменяемость изделия с изделиями, изготовленными ранее.

1.3. Любое изменение в документе, вызывающее какие-либо изменения в других документах, должно одновременно сопровождаться внесением соответствующих изменений во все взаимосвязанные документы.

1.4. Если хотя бы для одного изделия изменение документа окажется неприемлемым, то на изменяемое изделие должен быть выпущен новый документ с новым обозначением.

1.5. При нарушении взаимозаменяемости изменяемого изделия с изделиями, изготовленными ранее, изменения в документы последних не вносят, а выпускают новые документы с новыми обозначениями или единичные КД преобразуют в групповые по ГОСТ 2.113–75 (см. прил. Н).

На изделия единичного производства и на опытный образец (опытную партию) допускается не выпускать КД с новыми обозначениями, если их применяют не более чем в одном документе.

1.6. Изменение документов на всех стадиях жизненного цикла изделия вносят на основании ИИ.

Извещение об изменении (ИИ) – документ, содержащий сведения, необходимые для внесения изменений в подлинники конструкторских (технологических) документов, их замены или аннулирования, в том числе причину и срок внесения изменений, а также указания об использовании задела изменяемого изделия.

1.7. Информацию о факте изменения в бумажных КД указывают в таблице изменений основной надписи (графы 14–18 по табл. 3.1, рис. 3.6, *а* и *б*, рис. 9.1) и/или в ЛР (см. рис. 9.3).

1.8. Выпускать ИИ и вносить изменения в подлинники изменяемых документов имеет право только организация – держатель подлинников этих документов.

1.9. Изложенные в ИИ указания обязательны для всех подразделений организации, выпустившей извещение, а также организаций, применяющих изменяемую документацию.

1.10. В документах без ЛР таблицу изменений заполняют на листах(е):

– первом (заглавном) нового подлинника, изготовленном в целом взамен старого;

– измененных;

– выпущенных взамен замененных;

– введенных вновь.

В документах, имеющих ЛР, заполняют его, а таблицу изменений заполняют только на листах, выпущенных вместо замененных и добавленных вновь. При замене всех листов подлинника при ручном способе внесения изменений заполняют только ЛР.

1.11. Заполнение таблицы изменений в основной надписи КД производят в соответствии с табл. М.1.

Таблица М.1

Содержание граф таблицы изменений в основной надписи КД

Название и номер графы	Данные в графе
Изм. (14)	Порядковый номер изменения документа. При замене подлинника новым очередной порядковый номер проставляют исходя из последнего номера изменения, указанного в замененном подлиннике
Лист (15)	На листах, выпущенных вместо замененных, указывают «Зам». На листах, добавленных вновь, указывают «Нов». При замене всех листов подлинника при ручном внесении изменений на первом (заглавном) листе указывают «Все». В остальных случаях графу прочеркивают
№ докум. (16)	Обозначение ИИ. Код организации, выпустившей ИИ, допускается не проставлять
Подп. (17)	Подпись лица, ответственного за правильность внесения изменения
Дата (18)	Дата внесения изменения

Таблица изменений заполняется снизу вверх и в общем случае может продолжаться вверх или влево от основной надписи [14], [171].

1.12. Заполнение граф ЛР производят в соответствии с табл. М.2.

Таблица М.2

Содержание граф ЛР

Название графы	Данные в графе
Изм.	Графы заполняются аналогично табл. М.1
Номер документа	
Подпись	
Дата	
Номера листов (страниц) измененных, замененных, новых, аннулированных	Номера листов (страниц) соответственно измененных, замененных, добавленных и аннулированных по данному ИИ. При переиздании всего документа в графе «Номера листов (страниц) замененных» указывают «Все»
Всего листов (страниц) в документе	Графу заполняют в случае заполнения граф «Номера листов (страниц) новых» и (или) «Номера листов (страниц) аннулированных». В остальных случаях графу прочеркивают
Входящий номер сопроводительного документа и дата	Заполняют при внесении изменений в эксплуатационные документы в соответствии с правилами, установленными ГОСТ 2.603–68 [172]. В остальных случаях графу прочеркивают или в ЛР не предусматривают

1.13. При замене всех листов подлинника в ЛР не воспроизводят номера изменений и другие данные, относящиеся ко всем ранее внесенным в документ изменениям.

1.14. Необходимые исправления документов, вызванные внесением ошибочных изменений по ранее выпущенным ИИ, следует оформлять новыми ИИ.

2. Внесение изменений.

2.1. Внесение изменений в бумажный документ осуществляют:

– зачеркиванием;

– подчисткой (смывкой);

– закрашиванием белым цветом;

– введением новых данных;

– заменой листов или всего документа;

– введением новых дополнительных листов и/или документов;

– исключением отдельных листов документа.

2.2. При добавлении нового листа в бумажный документ допускается присваивать ему номер предыдущего листа с добавлением очередной строчной буквы русского алфавита или через точку арабской цифры, например **3а**

или **3.1**. При этом на первом (заглавном) листе изменяют общее количество листов. При аннулировании листа нумерацию последующих листов сохраняют.

2.3. Если недостаточно места для внесения изменений, или возможно нарушение четкого изображения при исправлении, или невозможно выполнить требования к микрофильмированию, то изготовляют новый подлинник с учетом вносимых изменений и сохраняют его прежнее обозначение.

2.4. Внесение изменений зачеркиванием размеров, знаков, надписей, отдельных слов и строк осуществляют сплошной тонкой линией с проставлением новой информации в непосредственной близости от зачеркнутого.

При изменении части изображения его обводят сплошной тонкой линией, образующей замкнутый контур, и крестообразно перечеркивают сплошными тонкими линиями. Измененный участок изображения выполняют на свободном поле документа. Новое изображение измененного участка должно быть выполнено в прежнем масштабе без поворота. Обозначают перечеркнутый и вновь изображенный участки так же, как выносные элементы. Над новыми изображениями указывают: «Взамен перечеркнутого».

Если изменяется все изображение (вид, разрез или сечение), то его перечеркивают и выполняют заново. Над вновь выполненным изображением, при необходимости, помещают надпись, например: «Вид слева», «Вид снизу».

При недостатке места для внесения изменений в основную надпись соответствующие изменения помещают на свободном поле документа над ней с указанием наименования графы и содержания помещаемых данных, например: «Материал: Сплав Д16 ГОСТ 4784–97». При этом запись в графе вычеркивают и указывают: «См. выше».

2.5. Изменения обозначают порядковыми номерами арабских цифр (1, 2, 3 и т. д.). Один порядковый номер изменения присваивают всем изменениям, которые вносят в документ по одному извещению. Его указывают для всего документа независимо от того, на скольких листах он выполнен.

2.6. При внесении изменений рукописным способом около каждого изменения, в том числе около места, исправленного подчисткой (смывкой) или закрашиванием белым цветом, за пределами изображения или текста наносят порядковый номер изменения в окружности диаметром 6–12 мм, в квадрате со стороной 6–8 мм или в скобках и от этой окружности (квадрата, скобок) проводят сплошную тонкую линию к измененному участку.

Допускается линию к изменяемому участку не проводить.

Также допускается от окружности (квадрата, скобок) с номером изменения проводить несколько линий к участкам, изменение которых проведено под одним номером.

При внесении изменений в текстовые документы (в текстовую часть документов) линии от окружности (квадрата, скобок) с номером изменения не проводят.

3. Извещение об изменении.

3.1. ИИ составляют на один или несколько документов. Одно общее ИИ составляют на несколько документов при условии одновременного проведения изменений во все изменяемые документы.

При составлении одного общего ИИ на несколько документов желательно, чтобы у этих документов были одинаковые внешние абоненты.

3.2. ИИ должно иметь обозначение, которое может состоять из кода организации, отделенного точкой кода (номера) подразделения организации, выпустившей ИИ, и отделенного точкой порядкового регистрационного номера, например: АБВГ.42.107; К.05.49. Регистрационные номера допускается присваивать в пределах подразделения организации, выпустившего ИИ.

В случае если ИИ не рассылают внешним абонентам, то порядок присвоения ему обозначения допускается устанавливать самой организации, выпустившей ИИ.

Порядковый регистрационный номер обозначения ИИ устанавливают в пределах организации.

Допускается к обозначению ИИ добавлять год выпуска ИИ, отделенный знаком дефис, например: АБВГ.16-2004; К.137-2004.

3.3. ИИ для случая из п. 1.3 можно оформить в виде комплекта извещений. При этом для всех выпускаемых в комплекте ИИ должен быть одинаковый срок внесения изменений.

Каждому ИИ в комплекте присваивают один регистрационный номер с добавлением дробного числа, в числителе которого указывают порядковый номер ИИ в комплекте, в знаменателе – общее число ИИ, например: АБВГ.136.2/6; К.281.1/4-2004.

ИИ, вызывающее выпуск других ИИ, считают основным и присваивают первый номер в комплекте.

3.4. ИИ выполняют на бумажном носителе в соответствии с формами, приведенными на рис. М.1 (первый лист) и рис. М.2 (последующие листы). В круглых скобках указаны номера граф, а их содержание – в табл. М.3.

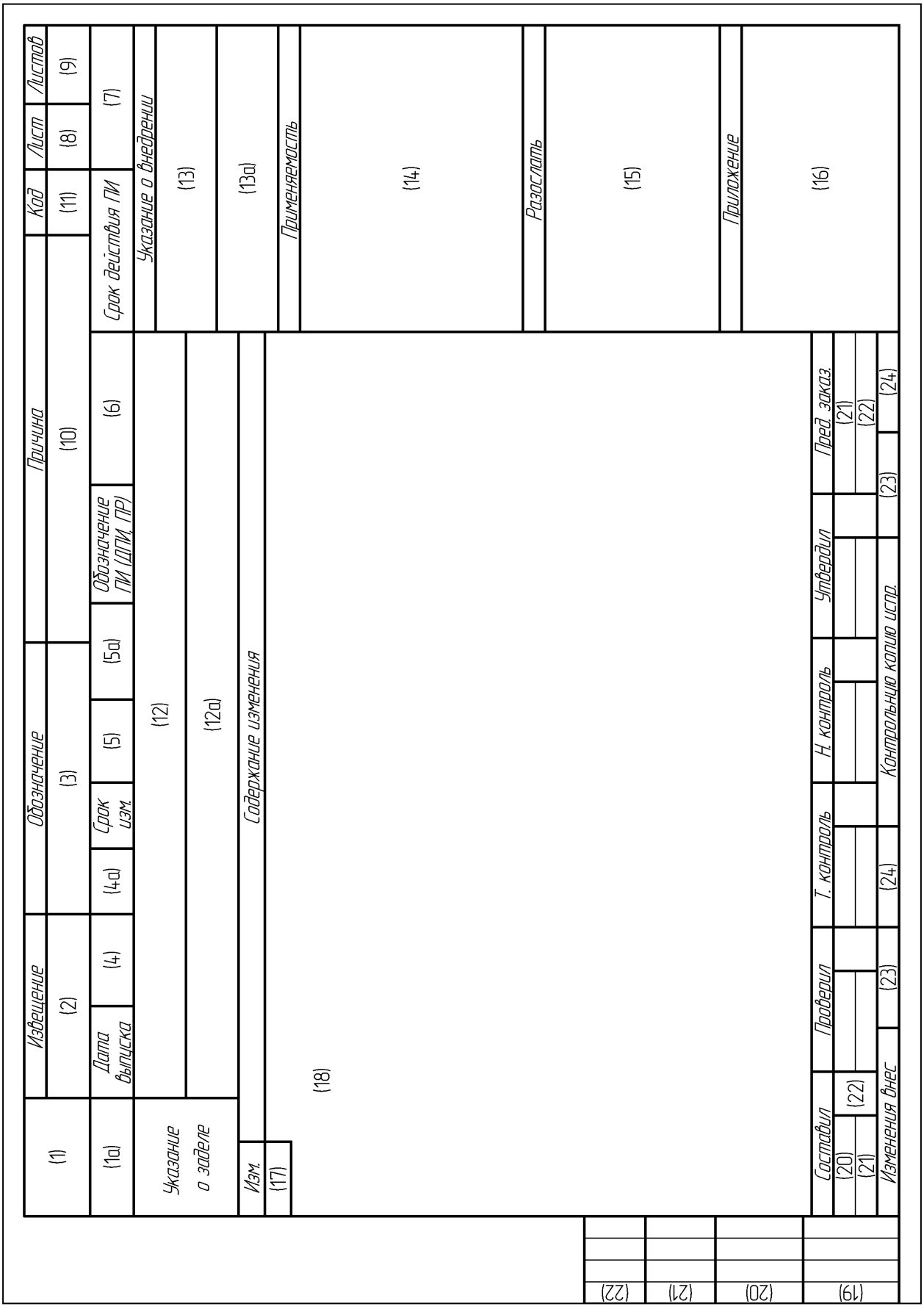

(1)
(1а)
Указание о заделе
Изв.
(17)
Извещение
(2)
Дата выпуска
(4)
(4а)
Обозначение
(3)
Срок изм.
(5)
(12)
(5а)
(12а)
Причина
(10)
Обозначение ПИ (ДПИ, ПР)
(6)
Код
(11)
Срок действия ПИ
(7)
Лист
(8)
Листов
(9)
Указание о внедрении
(13)
(13а)
Применяемость
(14)
Разослать
(15)
Приложение
(16)
Содержание изменения
(18)
Составил
(20)
(21)
(22)
Проверил
(23)
Т. контроль
(24)
Н. контроль
Утвердил
Пред. заказ.
(21)
(22)
(23)
(24)
Изменения внес
Контрольную копию испр.
(19)
(20)
(21)
(22)

Рис. М.1

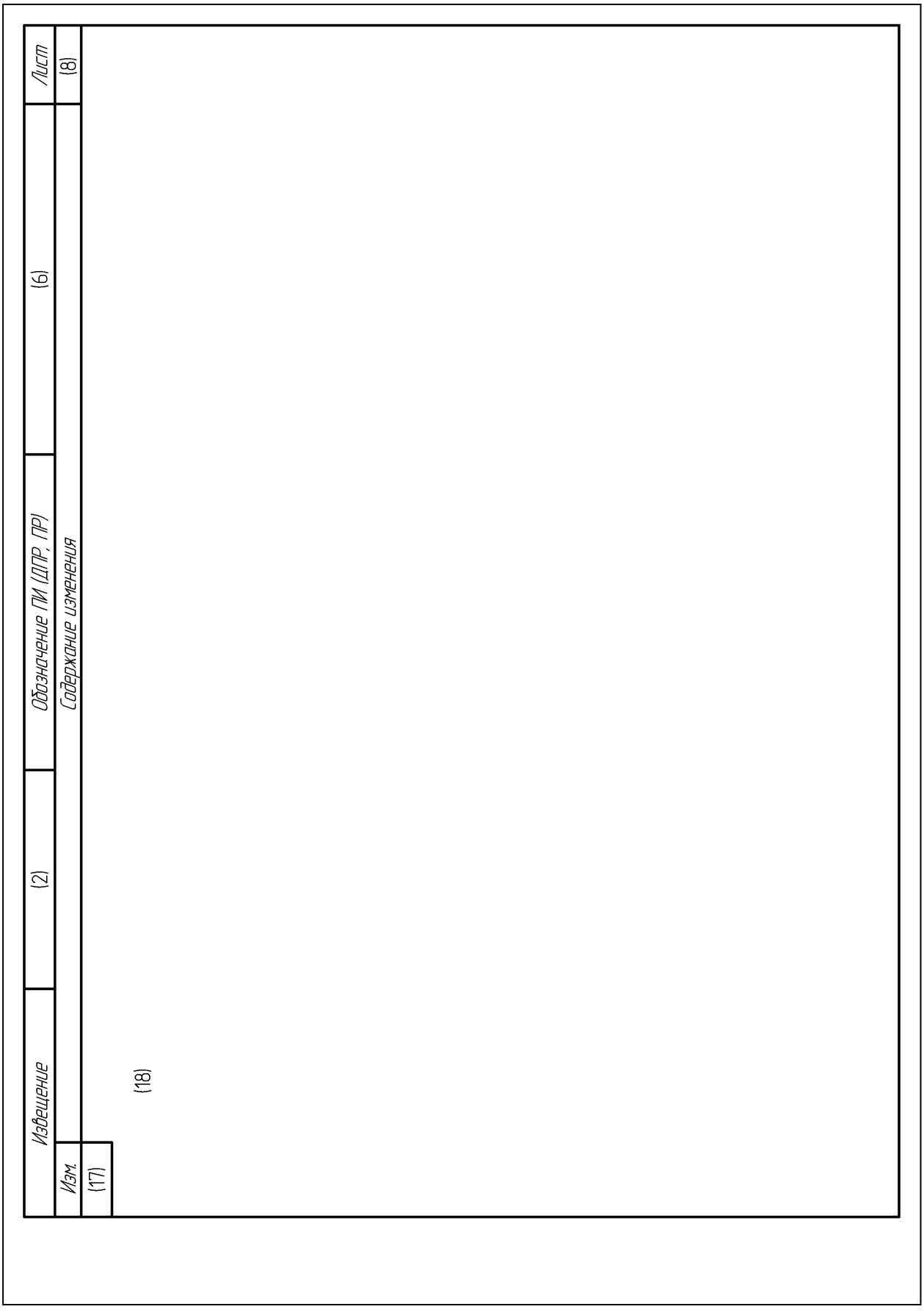

Изм.
(17)
Извещение
(2)
Обозначение ПИ (ДПР, ПР)
(6)
Лист
(8)
Содержание изменения
(18)

Рис. М.2

Таблица М.3

Содержание граф ИИ

Номер графы	Данные в графе
1	Наименование или код организации, выпустившей ИИ. Допускается графу не заполнять
1а	Номер или наименование подразделения организации, выпустившее ИИ
2	Обозначение ИИ
3	Обозначение изменяемого документа. Если выпущено одно общее ИИ, то в графе записывают «См. ниже», а обозначения изменяемых документов указывают в графе 18 и подчеркивают
4	Дата выпуска ИИ (дата сдачи в службу технической документации – СТД)
4а	Графа не заполняется
5	Срок внесения изменения. Указывается дата (при необходимости время суток), до наступления которой должны быть внесены изменения в документы или документы должны быть аннулированы, а также отосланы копии извещения внешним абонентам. При необходимости срочного внесения изменений в этой графе также должна быть надпись «Срочно»
5а, 6, 7	Графы не заполняются
8	Порядковый номер листа ИИ. Если ИИ состоит из одного листа, графу не заполняют
9	Общее количество листов ИИ
10	Причина изменения (табл. М.4).
11	Код причины изменения (табл. М.4). Допускается: – код не указывать (в этом случае графу прочеркивают); – однозначным цифрам кода добавлять слева ноль, например: 01, 02 и т. д.; – при необходимости, по усмотрению организации, указывать другие причины изменения и их коды. Если изменения вносят по нескольким причинам, то причины и коды изменений приводят в графе 18 на первом листе ИИ после надписи «Причины и коды». При этом в графе 10 указывают «См. ниже», а графу 11 прочеркивают
12	Конкретные указания по использованию задела изменяемых изделий (в том числе запасных частей). Подробнее – см. п. 3.6. Если в графе недостаточно места для указания об использовании задела, то текстовую часть помещают на первом листе ИИ в нижней части графы 18 или на последующих листах после надписи: «Указание о заделе». В этих случаях в графе 12 дают ссылку «См. ниже» или «См. лист…»
12а	Графа не заполняется
13	Конкретные указания о внедрении: заводские номера изделий, номера серий, заказов или дату внедрения изменений в производство. Например: «Предприятию… внедрить в производство с изделия…, серии…», «Внедрить с 20.04.17». Графу прочеркивают, если в графе 12 указано: «Не отражается», «Изменение в заделе учтено» или «Задела нет»
13а	Графа не заполняется

Окончание таблицы И.2

Номер графы	Данные в графе
14	Обозначение документов, в которых применяется изменяемый документ. Используется для проверки возможности внесения изменений. Если изменения не относятся к документам, в которых применяется изменяемый документ (замена литеры, исправление ошибок без изменения размеров изделия и т. п.), то в графе указывают: «На применяемости не отражается»
15	Абоненты, которым следует направлять ИИ
16	Приложение(я) к ИИ (при наличии) и количество листов приложений. При отсутствии приложений графу прочеркивают. При наличии приложений они могут содержать, например, копии изменяемых документов с внесенными в них изменениями, необходимые расчеты и пояснения, подтверждающие целесообразность вносимых изменений и т. п.
17	Очередной порядковый номер изменения в данном КД
18	Содержание изменения для данного КД. Подробнее – см. п. 3.9
19	Функция (должность) лиц из служб предприятия, с которыми согласовано ИИ
20	Фамилия
21	Подпись
22	Дата подписания
23	Подпись лица, внесшего изменение
24	Дата внесения изменения

Таблица М.4

Коды причин изменений

Причина изменения	Код
Введение улучшений и усовершенствований (конструктивных)	1
Введение улучшений и усовершенствований (технологических)	2
Введение улучшений и усовершенствований (в результате стандартизации и унификации)	3
Внедрение и изменение стандартов и технических условий	4
По результатам испытаний	5
Отработка документов с изменением литеры	6
Устранение ошибок	7
Улучшение качества	8
Требования заказчика (представительства заказчика)	9
Изменение схемы	10
Улучшение электрического монтажа	11
Изменение средств технологического оснащения	12
Изменение условий труда	13
Введение новых технологических процессов (операций)	14
Замена исходной заготовки	15
Изменение норм расхода материалов	16

3.5. Необходимо обратить внимание на то, что содержание граф в табл. М.3 приведено только для ИИ. Кроме него на формах, показанных на рис. М.1 и М.2, заполняются: дополнительное ИИ (ДИ), предварительное ИИ (ПИ), дополнительное ПИ (ДПИ), предложение об изменении (ПР).

ДИ – документ, содержащий сведения, необходимые для изменения производственно-технических указаний в выпущенном ИИ. Составляется при обнаружении в ИИ ошибок в указании о заделе, в сроках внедрения изменений в производство и т. п.

ПИ – временный документ, содержащий сведения, необходимые для внесения изменений в копии конструкторских (технологических) документов, находящихся в производстве, и действующих до погашения их ИИ или до переоформления в ИИ, окончания срока действия или аннулирования. Составляется: при обнаружении в документе ошибки, которая может вызвать брак изделия или задерживает производство; при предварительной проверке предлагаемых изменений в производстве; при необходимости проведения технологической подготовки производства.

ДПИ – документ, содержащий сведения, необходимые для изменения производственно-технических указаний в выпущенном ПИ.

ПР – документ, содержащий предлагаемые сведения, необходимые для внесения изменений в конструкторские (технологические) документы, их замены или аннулирования.

3.6. Под ***заделом*** изменяемых изделий, указываемых в графе 12, понимают все полностью или частично изготовленные, но не реализованные изделия, выполненные по документам до внесения в них изменений по данному ИИ. В графе дают следующие указания:

– «Не отражается» – если изменения не отражаются на конструкции изделия и не влияют на использование задела;

– «Не использовать» – при недопустимости использования или невозможности доработки задела;

– «Использовать» или «Использовать на пять комплектов» – при использовании задела без учета вносимых изменений;

– «Доработать» или «Использовать с дополнительным сверлением 2 отв. Ø3,5 Н12» – если задел можно использовать с дополнительной доработкой;

– «Изменение в заделе учтено» или «Задела нет» – если известно, что задел изделий изготовлен с учетом проводимого изменения или задел отсутствует;

– «Доработать: в КИНО – с третьего комплекта; в ЕЖИК – с первого комплекта; в КЛЕН – задел использовать» – если указания о заделе не однозначны для всех предприятий.

3.7. При составлении одного общего ИИ на несколько документов при несовпадении порядковых номеров изменений заголовки с обозначениями документов группируют по одинаковым порядковым номерам изменения, а порядковые номера проставляют раздельно по каждой группе (рис. М.3).

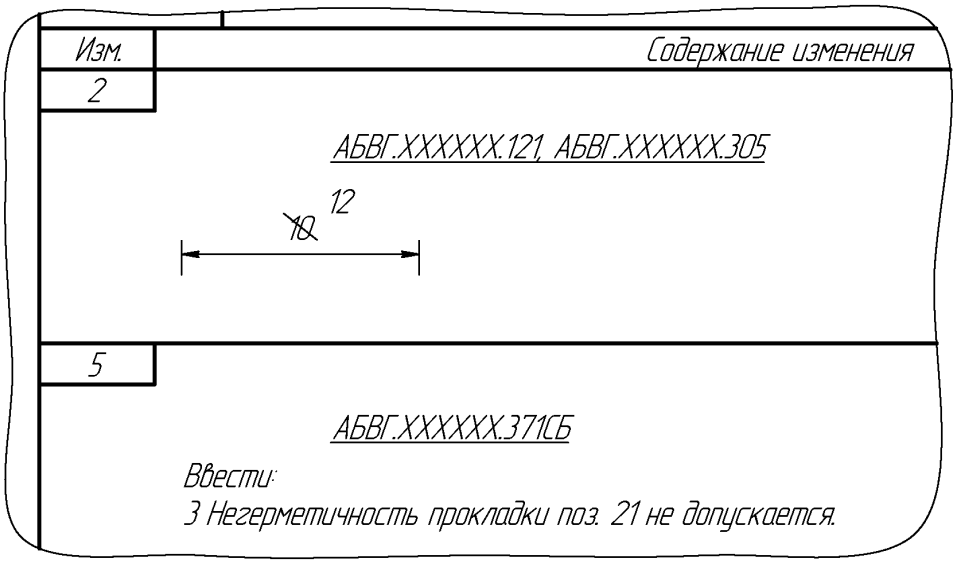


Рис. М.3

При составлении одного общего ИИ на несколько документов с одинаковыми изменениями при несовпадении порядковых номеров изменений в графе 18 составляют таблицу, а графу 17 прочеркивают (рис. М.4).

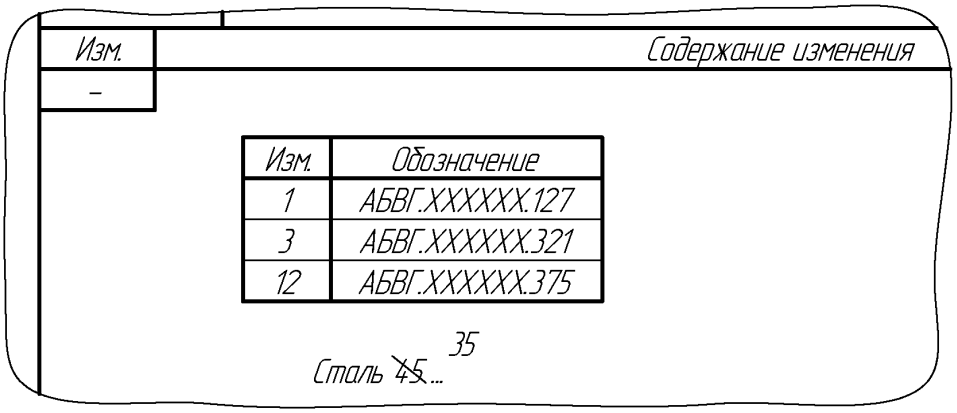


Рис. М.4

3.8. При внесении изменений в документы, содержащие текст, разбитый на графы, в целях оптимизации записи содержания текста изменения допускается взамен этих граф применять таблицы или блоки информации с соответствующей логически расположенной указательной информацией.

3.9. Особенности заполнения графы 18:

3.9.1. В одном общем ИИ на несколько документов содержание изменения по каждому документу отделяют горизонтальной линией (см. рис. М.3).

3.9.2. В графе указывают содержание изменяемого участка (графического, текстового и т. д.) в том виде, в котором он должен быть после внесения изменений в подлинник документа.

3.9.3. При возможности неоднозначного понимания изменения приводят содержание изменяемого участка документа до и после внесения изменений с указаниями над ними «Имеется» и «Должно быть».

3.9.4. Если изменение необходимо осуществить в подлиннике подчисткой (смывкой), над изменяемыми участками помещают надпись: «Изменение осуществить подчисткой» или «Изменение осуществить смывкой».

3.9.5. При аннулировании документа в графе делают надпись, например:

АБВГ.ХХХХХХ.018 аннулировать.

Графу 17 при этом прочеркивают.

3.9.6. Если взамен аннулированного документа следует пользоваться документом с другим обозначением, то в графе делают надпись, например:

АБВГ.ХХХХХХ.380 аннулировать.

Примечание – Заменен документом АБВГ.ХХХХХХ.936.

3.9.7. При замене подлинника новым с тем же обозначением, кроме записи о замене обычно приводят перечень внесенных изменений (рис. М.5).

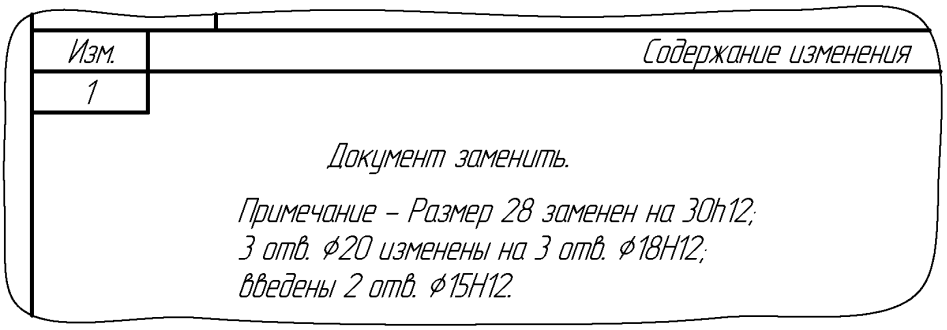


Рис. М.5

3.9.8. Если в связи с выпуском ИИ выпущены новые и/или применены ранее разработанные документы (например, при введении новых изделий или замене их в спецификациях), то после содержания изменения дают примечание о выпуске или применении таких документов, например:

Примечания:

1 Выпущены документы АБВГ.ХХХХХХ.171 и АБВГ.ХХХХХХ.186.

2 Применен документ АБВГ.ХХХХХХ.336.

При введении в изделие сборочной единицы, комплекта или комплекса в примечании дают ссылку только на вновь выпущенную или вновь примененную спецификацию вводимого изделия без перечисления входящих в нее документов.

3.9.9. Одинаковые изменения, повторяющиеся в одном документе на одном или нескольких листах, указывают один раз с соответствующими пояснениями (рис. М.6, *а*).

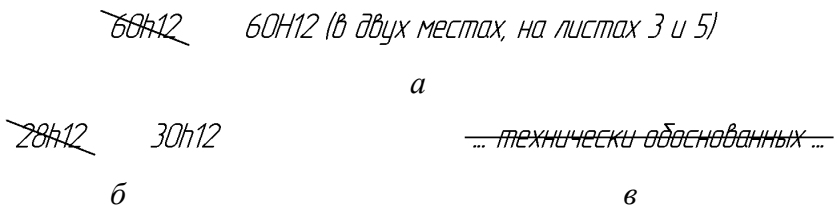


Рис. М.6

3.9.10. При заполнении графы допускаются следующие упрощения:

– при условии однозначного понимания изменения указание об изменении размеров оформлять без изображения (рис. М.6, *б*);

– вместо изображений исключаемого вида, разреза или сечения давать соответствующие текстовые указания, например: «Разрез А–А перечеркнуть», «Вид Б перечеркнуть», «Вид справа перечеркнуть»;

– текст пункта, полностью исключаемого из ТТ, на чертеже документа или текстового документа, имеющего нумерацию пунктов, не повторять, а в графе давать соответствующую запись, например «Пункт 5 вычеркнуть». Допускается последующие пункты не перенумеровывать;

– при изменении части текста не приводить предыдущий и последующий тексты, заменяя их многоточием (рис. М.6, *в*).

М.2. Разработка извещения об изменении и внесение изменений в КД

В данном приложении предлагается выполнить 6-й дополнительный этап проектирования, связанный с выпуском одного общего ИИ на несколько КД и внесением в них соответствующих корректировок по замене одного из следующих компонентов:

а) если был выполнен 3-й дополнительный этап проектирования (см. табл. 2.3) и для резистора выбран Part Number, то ИИ должно содержать информацию о замене этого резистора;

б) если 3-й дополнительный этап проектирования не был выполнен или был выполнен частично без выбора Part Number для резистора, то ИИ должно

содержать информацию о замене микросхемы стабилизатора напряжения из табл. 8.5 на один из соответствующих аналогов, документация на которые находится в папке **…\ИДРЭС\Компоненты\Стабилизаторы**:

– **MC33275ST-X.XT3G** фирмы ON Semiconductor, где **X.X** – уровень выходного напряжения;

– **SPX3819S-L/TR** фирмы MaxLinear.

В случае замены микросхемы стабилизатора на **SPX3819S-L/TR** необходимо обратить внимание на формулу расчета выходного напряжения и расположение резисторов.

Для разработки ИИ и внесения изменений в КД проделать следующее:

1. Подготовить форму ИИ с рис. М.1:

1.1. В **КОМПАС-3D** по информации из 7.1 создать новый чертеж и задать следующие настройки листа:

– формат – **А4**;

– ориентация – **горизонтальная**;

– оформление – **Извещен. об изменен. Первый лист. ГОСТ 2.503-2013 Ф1**.

1.2. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5).

1.3. Так как изменения коснутся трех КД (схема Э3 «усилителя», перечень элементов ПЭ3 «усилителя» и спецификация на «усилитель»), то графу 18 необходимо разделить на три части (см. п. 3.9.1 из М.1 и рис. М.3).

Рекомендуется это сделать в виде добавления двух отдельных таблиц:

1.3.1. Запустить команду **Создать новый вид** из ПИ **Компактная панель ⇒ Виды** (см. рис. 7.6) и щелкнуть ЛКМ в рабочем поле.

1.3.2. Запустить команду **Ввод таблицы** из ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения** (см. рис. 17.24) и указать ЛКМ примерное расположение левого верхнего угла таблицы в рабочем поле.

1.3.3. В появившемся окне **Создать таблицу** задать настройки:

– число столбцов – **2**;

– число строк – **1**;

– высота строки – **6**.

Затем закрыть окно кнопкой **OK**.

1.3.4. Для левой ячейки в **Панели свойств** перейти на вкладку **Таблица**, нажать пиктограмму **Формат ячейки** и в открывшемся окне в поле **Ширина столбца** ввести **17**. После чего закрыть окно кнопкой **OK**.

1.3.5. Для правой ячейки в **Панели свойств** перейти на вкладку **Таблица** и выполнить следующее:

– в списке **Стиль** выбрать **Основная**;

– в списке **Границы** включить пиктограмму **Левая граница** и отжать пиктограмму **Нижняя граница**;

– по п. 1.3.4 задать ширину столбца **185**.

1.3.6. В **Панели свойств** нажать пиктограмму **Создать объект**, а затем клавишу **Esc**.

1.3.7. Отредактировать положение таблицы командой **Сдвиг** из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование** (см. рис. 6.20).

1.3.8. Создать новый вид, скопировать в него созданную таблицу и отредактировать ее положение.

2. Задать обозначение ИИ в соответствии с п. 3.2 из М.1:

– код организации при выполнении 9-го дополнительного этапа проектирования (см. табл. 2.3) – СПВГ (в противном случае – код по рис. 2.3);

– номер подразделения – номер группы;

– порядковый регистрационный номер при выполнении 9-го дополнительного этапа проектирования – номер варианта задания (в противном случае – произвольное двузначное число).

3. Сохранить ИИ с расширением «.cdw».

В имени файла указать обозначение ИИ и расшифровку, например: «**СПВГ.2319.53 - Извещение об изменении**». Так как ИИ не является КД, то его желательно сохранить в отдельную папку внутри папки с КД на «модуль усилителя» (например, **…\ИДРЭС-П1_ИИ**).

Стоит отметить, что дальнейшее заполнение граф ИИ можно сделать вручную на распечатанной форме.

4. Заполнить графы ИИ (см. рис. М.1 и табл. М.3), кроме граф 17 и 18, дважды щелкнув по ним в рабочем поле ЛКМ.

Комментарии к заполнению:

4.1. Графу 1 допускается не заполнять, если для изменяемых КД выполнен 9-й дополнительный этап проектирования. В противном случае в ней необходимо записать **СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**.

4.2. В графе 4 указать дату разработки ИИ.

4.3. В графе 5 указать примерную дату защиты проекта.

4.4. В графе 12 записать следующее:

– в четных вариантах задания – «**Задела нет**»;

– в нечетных вариантах задания дать указание о доработке с первого комплекта. В графе 13 при этом отметить: «**Срок внедрения изменений в производство устанавливает организация**». Это означает, что организация, выпускающая ИИ, не может установить наличие и состояние задела изделий, технологической оснастки и прочих производственных условий в других организациях, изготавливающих данное изделие.

4.5. В графе 15 поставить прочерк.

4.6. Графы 19–22 с левой нижней стороны рамки ИИ (см. рис. М.1) оставить пустыми.

4.7. Графы 20 в полях «Составил», «Проверил» и «Утвердил» заполнить аналогично графам 11 из табл. 9.1.

4.8. Графы 23 и 24 заполняет студент, внесший изменения в КД.

5. Сформулировать изменения по замене компонента (или компонентов) и для каждого из трех КД, создавая предварительно новый вид, заполнить графу 18, при этом учесть, что в спецификацию на «усилитель» изменения впоследствии должны быть внесены заменой листа (листов), а в схему Э3 «усилителя» и перечень элементов к ней – вручную.

В графе 17 для каждого КД поставить цифру 1.

При нехватке места на первом листе по 7.1 добавить второй лист (**горизонтальный А4**) с оформлением – **Извещен. об изменен. Посл. листы. ГОСТ 2.503-2013 Ф1а**.

6. Сохранить изменения в ИИ (**Ctrl+S**).

7. Сохранить ИИ в формате PDF по 17.3 (имя файла и путь – по п. 3).

8. Внести изменения в КД:

8.1. Внести изменения в КД с учетом п. 5.

Если в схему Э3 «усилителя» и перечень элементов к ней по 3-му дополнительному этапу проектирования уже были внесены изменения, то предварительно необходимо восстановить в них исходную информацию.

8.2. Графы 14–18 из таблиц изменений в основных надписях КД заполнить вручную в соответствии с табл. М.1, при этом в графе «№ докум.», если не был выполнен 9-й дополнительный этап проектирования, обозначение ИИ записать полностью (иначе – по усмотрению вносящего изменения).

ЛР (при наличии) заполнить в соответствии с табл. М.2.

В качестве примера на рис. М.7 приведено ИИ, составленное для схемы Э1 «модуля усилителя» после выполнения 9-го дополнительного этапа проектирования, по которому в нее необходимо добавить следующие данные:

Рис. М.7

СПбГЭТУ "ЛЭТИ"	Извещение	Обозначение	Причина	Код	Лист	Листов
	СПВГ.2201.53	СПВГ.468732.524Э1	Добавление дополнительной информации	9		1

2201	Дата выпуска	14.03.18		Срок изм.	21.03.18		Обозначение ПИ (ДПИ, ПР)		Срок действия ПИ	

Указание о заделе	Не отражается

Изм.	Содержание изменения
1	1 Около линии взаимосвязи, идущей от "узла вторичного питания" к "токовому зеркалу", добавить величину тока потребления: 38,5 мА 2 Около линии взаимосвязи, идущей от "узла вторичного питания" к УГО управляемого аттенюатора, добавить величину тока потребления: 1,2 мА 3 Над горизонтальной линией взаимосвязи, идущей от надписи "Управление", добавить значения управляющего напряжения: Low: 0...+0,8 В High: +2,0...+5,0 В 4 Около надписи "Выход" указать максимальное значение коэффициента шума: NFmax: 5,5 дБ

Указание о внедрении
–

Применяемость
На применяемости не отражается

Разослать
–

Приложение
–

Составил	Проверил	Т. контроль	Н. контроль	Утвердил	Пред. заказ.
Сидоров 14.03.18	Петров 14.03.18				
Изменения внес		15.03.18	Контрольную копию испр.		

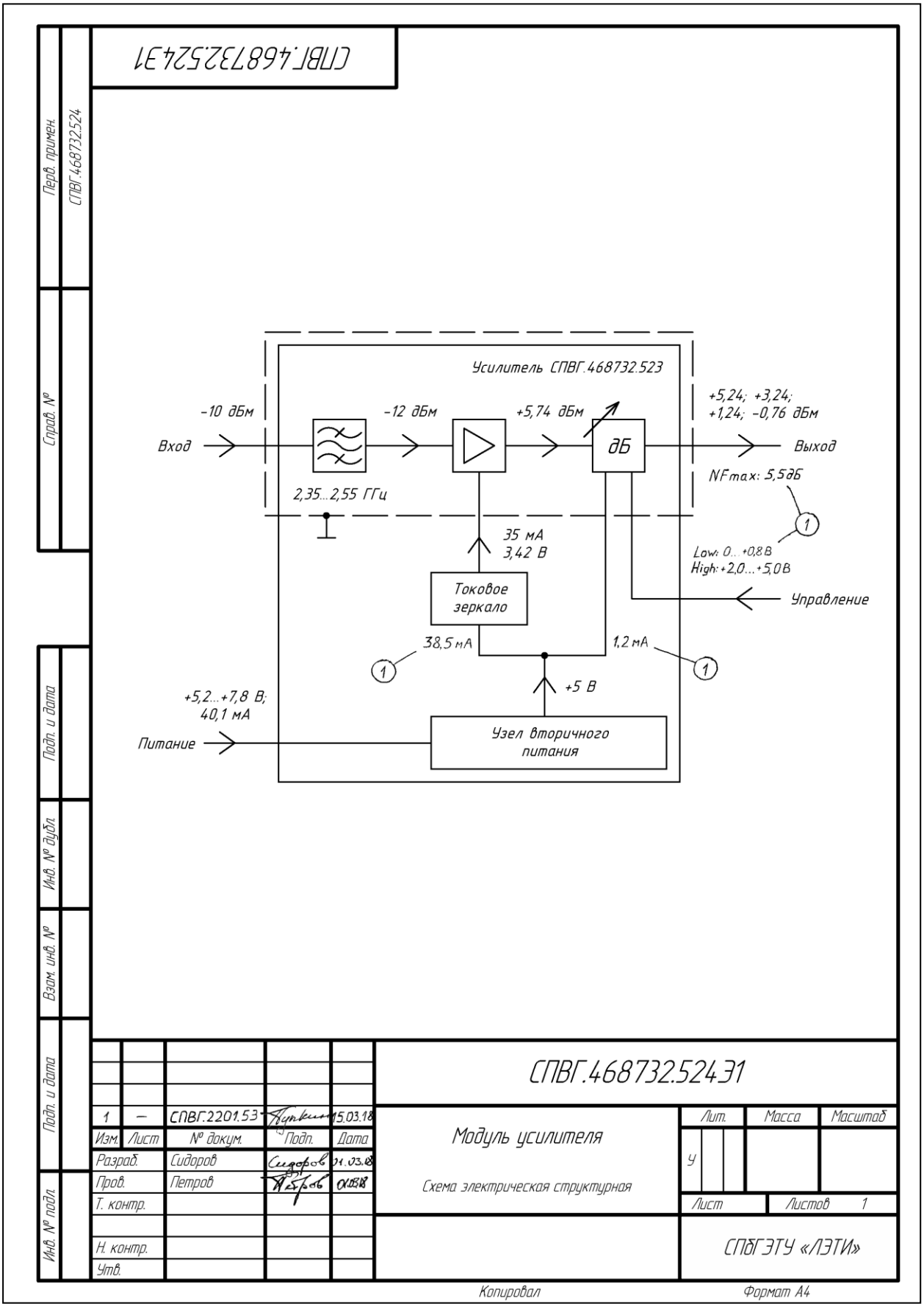

СПВГ.468732.524Э1
Перв. примен.
СПВГ.468732.524
Справ. №
Усилитель СПВГ.468732.523
-10 дБм
-12 дБм
+5,74 дБм
дБ
+5,24; +3,24;
+1,24; -0,76 дБм
Вход
Выход
NFmax: 5,5дБ
2,35...2,55 ГГц
1
35 мА
3,42 В
Low: 0...+0,8 В
High: +2,0...+5,0 В
Токовое зеркало
Управление
38,5 мА
1,2 мА
1
1
+5 В
+5,2...+7,8 В;
40,1 мА
Питание
Узел вторичного питания
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.
СПВГ.468732.524Э1
1 — СПВГ.2201.53 15.03.18
Изм. Лист № докум. Подп. Дата
Разраб. Сидоров 14.03.18
Пров. Петров 15.03.18
Т. контр.
Н. контр.
Утв.
Модуль усилителя
Схема электрическая структурная
Лит. Масса Масштаб
У
Лист Листов 1
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Копировал
Формат А4

Рис. М.8

– значения токов потребления «токового зеркала» и управляемого аттенюатора;

– значения уровней управляющего напряжения, подаваемых на выводы управления аттенюатора;

– максимальное значение коэффициента шума, определенное по 2-му дополнительному этапу проектирования (см. табл. 2.3).

На рис. М.8 показан пример внесения изменений в схему Э1 «модуля усилителя» по ИИ с рис. М.7 (для сравнения см. рис. 8.67).

Примеры внесения изменений в различные КД по ИИ также приведены в прил. Н.

М.3. Содержание отчета

По 6-му дополнительному этапу проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести:

1. ИИ, распечатанное на отдельном листе (листах).

2. КД с внесенными изменениями.

Таблица М.5

Пример оформления таблицы с перечнем изменений в КД

КД	До изменения	После изменения

3. Описание изменений для КД, в которых были выпущены новые листы вместо замененных, оформленное в виде таблицы по примеру табл. М.5.

4. Пояснения к заполнению граф в таблицах изменений основных надписей скорректированных КД и в ЛР (при наличии).

Н. Преобразование единичных КД в групповые

Н.1. Групповые и базовые КД

Достаточно часто разрабатываются изделия, обладающие общими конструктивными признаками при некоторых различиях между собой:

– единство конструкции при различных параметрах (например, электрических), материалах, покрытиях и др. (например, одинаковые по форме и размерам шайбы из разного материала или с разным покрытием);

– единство конструкции при различных размерах (например, болты одинаковой формы, но с разными размерами);

– сходство конструкции при различной конфигурации, различном расположении или разном количестве некоторых составных частей или конструктивных элементов (например, ключи с разной конфигурацией зубьев для различных замков).

На группу подобных изделий вместо единичных КД на каждое изделие рекомендуется выполнять КД групповым или базовым способом. Каждое изделие в такой группе называется исполнением. Основные определения и правила выполнения таких КД содержатся в ГОСТ 2.113–75.

Групповой способ выполнения КД. Групповой способ – способ выполнения комплекта КД на изделия, при котором все исполнения этих изделий содержатся в одном групповом основном КД. При этом такой КД можно выполнять на группу изделий, которые имеют одинаковое наименование и могут быть отнесены к одной классификационной характеристике, входящей в состав обозначения.

Групповой КД – КД, содержащий постоянные и переменные данные исполнений. Постоянные данные (информация, одинаковая для всех исполнений) вносятся в КД один раз без указания о том, что они относятся ко всем изделиям, на которые распространяется этот КД. Переменные данные (информация, которой различаются исполнения) вносятся в КД с указанием о том, к каким конкретно изделиям они относятся.

Основными критериями для оценки целесообразности выполнения групповых КД вместо единичных являются компактность КД на группу изделий, обладающих общими конструктивными признаками, и наглядность в показе различий между изделиями этой группы.

По ГОСТ Р 2.201–2023 каждому исполнению присваивается самостоятельно обозначение, структура которого приведена на рис. Н.1.



Рис. Н.1

Номер исполнения устанавливают в пределах базового обозначения и отделяют разделительным знаком (по умолчанию – дефис).

Дополнительный номер исполнения – необязательная группа знаков, применяемая при наличии переменных характеристик (например, параметров, покрытий, условий работы, дополнительной комплектации изделия составными частями и т. п.), которые возможны для исполнений (в рамках первой группы знаков «ZZ»). В этом случае номер конкретного исполнения представляет собой сочетание обеих групп знаков.

В качестве каждого из двух номеров в общем случае может быть:

– порядковая нумерация цифрами (начиная с 01) или буквами;

– характерные (отличительные) признаки исполнений (например, значение переменного размера).

Для групп «ZZ» и «VV» допускается изменять количество знаков, а также использовать и не использовать разделительные знаки.

При групповом способе одно из исполнений условно принимают за основное и присваивают ему базовое обозначение без номера исполнения (например, СПВГ.687253.523). Остальные исполнения содержат номера исполнений (обычно в виде цифр).

При групповом способе на все исполнения выполняется одна групповая спецификация (или один групповой чертеж деталей) и по одному групповому неосновному КД необходимого вида (один групповой сборочный чертеж, одна групповая схема Э3, один групповой перечень ПЭ3 и др.).

Вместо одного неосновного группового КД с данными о всех исполнениях допускается выполнять несколько единичных неосновных КД, каждый из которых будет содержать данные об одном исполнении, и (или) несколько групповых неосновных КД, каждый из которых будет содержать данные о нескольких (но не всех) исполнениях (например, сборочный чертеж на основное исполнение, сборочный чертеж на исполнение 01, групповой сборочный чертеж на исполнения 02–04 и др.). Такой вариант рекомендуется при передаче другому предприятию КД только некоторых исполнений.

Неосновному КД, относящемуся ко всем исполнениям, присваивают базовое обозначение с добавлением кода документа в соответствии с рис. 2.2 (например, СПВГ.468732.523Э3).

Неосновному КД, выполненному на одно исполнение, присваивают обозначение этого исполнения с добавлением кода документа (например, СПВГ.468732.523-01Э3).

Неосновному КД, выполненному на несколько исполнений (но не на все), присваивают меньшее (младшее) обозначение из исполнений с добавлением кода документа. Например, у сборочного чертежа, выполненного на исполнения СПВГ.687252.020-02, СПВГ.687252.020-03 и СПВГ.687252.020-10, будет обозначение СПВГ.687252.020-02СБ.

Разным исполнениям могут быть присвоены разные условные наименования (коды, типы или условные обозначения) в дополнение к общему наименованию изделия, например: Пускатель ПК-1Н, Пускатель ПК-1Т и др. Их рекомендуется устанавливать только для изделий, подлежащих самостоятельной поставке, и только при необходимости применения наименования в сфере эксплуатации, в технической переписке и т. п. Они не могут однозначно определять изделия в сфере производства и учета.

Преобразование единичного КД в групповой. Обозначение основного исполнения без указания порядкового номера исполнения при групповом способе позволяет достаточно просто преобразовать разработанный ранее единичный документ в групповой: обозначение изделия сохраняется неизменным и становится обозначением основного исполнения, а очередным новым исполнениям присваивают порядковые номера, начиная с 01.

При преобразовании единичных документов в групповые их обозначения сохраняют неизменными даже в том случае, когда возникает необходимость переиздания документа на другом формате или на другом количестве листов.

Базовый способ выполнения КД. Базовый способ – способ выполнения комплекта КД на изделия, при котором все исполнения этих изделий содержатся в одном базовом основном КД. При этом такой КД можно выполнять на группу изделий с одинаковыми наименованиями и классификационными характеристиками и только на специфицированные изделия.

Базовый КД – КД, содержащий только постоянные данные исполнений. Переменные данные приводятся в отдельных документах исполнений вместе с ссылкой на базовый КД.

Базовый способ рекомендуется применять в следующих случаях:

– если при разработке изделия невозможно проработать конструкцию и установить конструктивные разновидности, при этом переменные данные конкретизируются по мере поступления заказов;

– при очень большом возможном количестве исполнений, которые могут быть оформлены только по мере поступления заказов;

– если недопустимо наличие в комплекте КД данных других исполнений и внесение новых исполнений в ранее разработанные КД нежелательно.

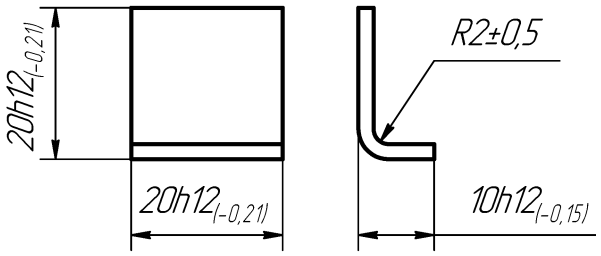
Базовый способ используется редко и практически не подходит для преобразования единичного документа, поэтому далее он не рассматривается.

Н.2. Правила выполнения КД групповым способом

К основным правилам выполнения КД групповым способом относятся:

1. Правила выполнения групповых чертежей (схем).

1.1. Все сведения о переменных данных (изображениях, размерах, электрических параметрах и др.), которые подлежат включению в чертеж (схему) согласно его назначению, должны быть приведены в таблице исполнений.



Обозначение	Покрытие
СПВГ.745211.057	Ц18
-01	-
-02	Х36

Рис. Н.2

На рис. Н.2 показан пример группового чертежа деталей, которые различаются данными, не влияющими на изображение.

1.2. На чертеже с соблюдением масштаба должно быть изображено основное исполнение. Количество изображений (видов, разрезов, сечений) основного исполнения и степень их упрощения выбираются аналогично основному исполнению единичного документа.

На групповой схеме полностью следует изображать схему, относящуюся к основному исполнению.

1.3. Переменные исполнения, различающиеся по форме, показывают на отдельных изображениях. Их выполняют в объеме, достаточном для однозначного понимания отличия от основного исполнения.

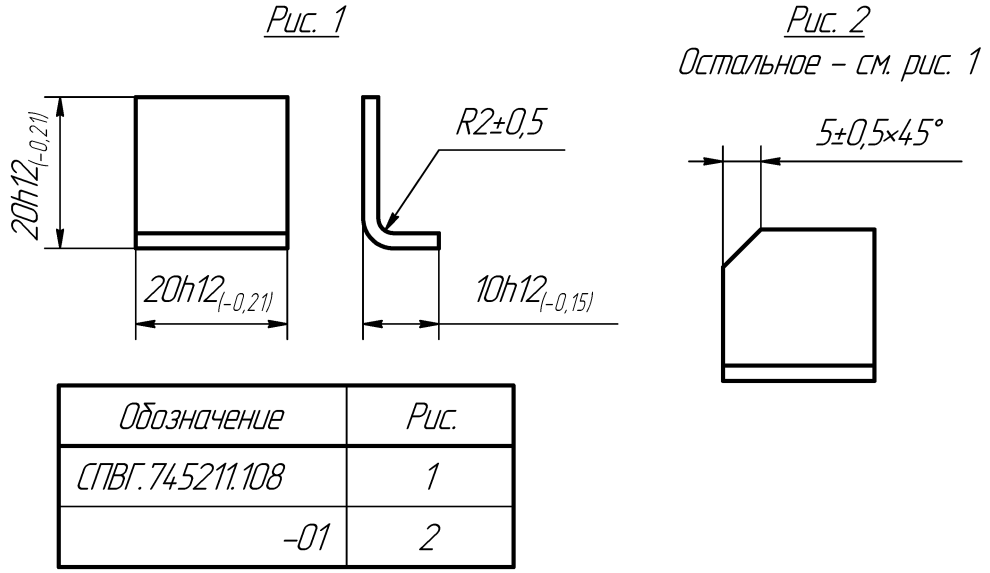
На таких изображениях следует указывать масштаб, если он отличается от приведенного в основной надписи.

1.4. Изображения, относящиеся к одному исполнению, располагают в одном месте и рассматривают как отдельный рисунок.

Каждому рисунку присваивают порядковый номер в пределах чертежа (схемы) и записывают над изображениями в виде заголовков. Изображениям основного исполнения при наличии переменных изображений других исполнений присваивают первый порядковый номер.

Под наименованием рисунка, начиная со второго, делают запись: «Остальное – см. рис. 1». Рисунок и ссылка должны полностью определять изображение того исполнения, на которое распространяется рисунок.

В таблице исполнений помещают графу с заголовком «Рис.», в которой указывают один номер рисунка для каждого исполнения (рис. Н.3).



Обозначение	Рис.
СПВГ.745211.108	1
-01	2

Рис. Н.3

Примечание. Деталь со скруглением полки вместо фаски (то есть с непрямолинейным контуром полки) не может быть указана в качестве исполнения в групповом чертеже с рис. Н.3, так как такая деталь имеет другой код классификационной характеристики (745231).

1.5. Каждый рисунок может быть выполнен на несколько исполнений, которые при одинаковых изображениях различаются другими переменными данными, в том числе переменными размерами (рис. Н.4).

1.6. Допускается переменные элементы показывать на изображениях основного исполнения, если их принадлежность к определенным исполнениям однозначно определена в таблице исполнений. Например, в таблице исполнений может быть указано о наличии или отсутствии в разных исполнениях элемента, обозначенного на изображении буквой.

Рис. 1

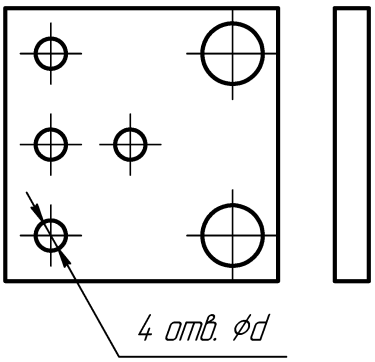


Рис. 2
Остальное – см. рис. 1

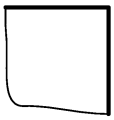


Рис. 3
Остальное – см. рис. 1



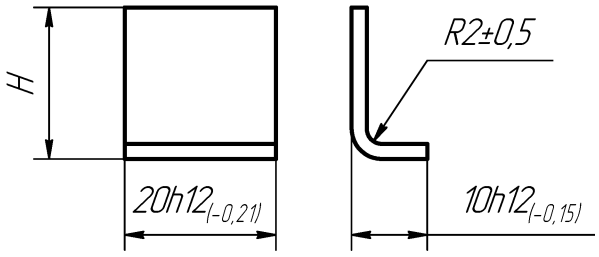
Обозначение	Рис.	d, мм
СПВГ.741124.103	1	5Н12
–01	2	–
–02	1	3Н12
–03	3	3Н12

Рис. Н.4

На изображениях основного исполнения переменные элементы или группы элементов следует изображать сплошными тонкими линиями.

1.7. Постоянные размеры и другие постоянные данные (шероховатость поверхностей и др.) указывают на изображениях основного исполнения. На остальных изображениях эти данные не повторяют, если в них нет необходимости для пояснения таких изображений.

Переменные размеры и другие переменные данные, одинаковые для исполнений, охваченных одним рисунком, указывают на этом рисунке.



Обозначение	H, мм
СПВГ.745211.051	15h11
–01	10h12
–02	30h12

Рис. Н.5

Переменные размеры, не одинаковые для всех исполнений, охваченных одним рисунком, наносят на чертеже буквенными обозначениями, установленными соответствующими стандартами (см. п. 1.8). Конкретные номинальные значения этих размеров и их предельные отклонения указывают в таблице исполнений без выравнивания количества знаков для различных исполнений (рис. Н.4 и Н.5).

Переменные отклонения форм и расположения поверхностей следует наносить на чертеже и указывать в таблице исполнений подобно переменным размерам.

Переменную шероховатость поверхности, не одинаковую для всех исполнений, охваченных одним рисунком, указывают в таблице исполнений.

1.8. Основные буквенные обозначения размеров, которые устанавливает ГОСТ 2.321–84 [173], приведены в табл. Н.1.

Таблица Н.1

Основные буквенные обозначения, применяемые в КД

Величина	Обозначение
Длина	*L*, *l*
Ширина	*B*, *b*
Высота, глубина	*H*, *h*
Толщина (листов, стенок, ребер и т. д.)	*s*
Диаметр	*D*, *d*
Радиус	*R*, *r*
Межосевое и межцентровое расстояние	*A*, *a*
Шаг винтовых пружин, болтовых соединений и т. п., кроме зубчатых зацеплений и резьбы	*t*
Углы	α, β, γ, δ и др.

Прописные буквы рекомендуется применять для обозначения габаритных и суммарных размеров.

В случае обозначения в одном документе различных величин одной и той же буквой применяют цифровые или буквенные индексы, или их комбинацию, причем первый цифровой индекс рекомендуется присваивать второй величине, обозначенной данной буквой, например: d, d_1, d_2, b_n, b_{n1}, b_{n2}.

1.9. На поле чертежа (схемы) должны быть приведены постоянные ТТ и другие постоянные данные.

Переменные ТТ и другие переменные данные, как правило, приводят непосредственно в таблице исполнений.

1.10. Если материал, литера или масса переменные, то их значения указываются в таблице исполнений, а в соответствующих графах основной надписи дается ссылка: «См. табл.».

Если изображения, относящиеся к исполнениям, невозможно выполнить в одном масштабе (например, при переменных размерах), то в графе «Масштаб» ставят прочерк и около изображений масштаб не указывают.

1.11. Таблица исполнений должна быть помещена на поле чертежа (схемы), как правило, на первом листе.

Если таблица исполнений занимает много места и ее размещение на первом (или на одном) листе нецелесообразно из-за значительного увеличения формата, то допускается помещать ее на последующих листах чертежа

(схемы). В этом случае над основной надписью первого листа должна быть запись по типу: «Таблицу исполнений см. на листе 3».

При выполнении таблицы исполнений рекомендуется оставлять свободное место справа и снизу для новых граф и строк.

1.12. В таблицу исполнений должны быть внесены обозначения всех исполнений, на которые распространяется чертеж (схема).

Обозначения исполнений следует записывать в первую графу слева, имеющую заголовок «Обозначение». Запись ведется, как правило, в порядке возрастания обозначений. При записи группы исполнений с одинаковыми базовыми обозначениями полное обозначение следует записывать только для одного исполнения, а в последующих строках – дефис и порядковый номер исполнения (см. рис. Н.2–Н.5).

Если для нескольких исполнений, обозначения которых составляют непрерывный ряд, данные в таблице одинаковы, то обозначения допускается записывать по примеру рис. Н.6, *а*.

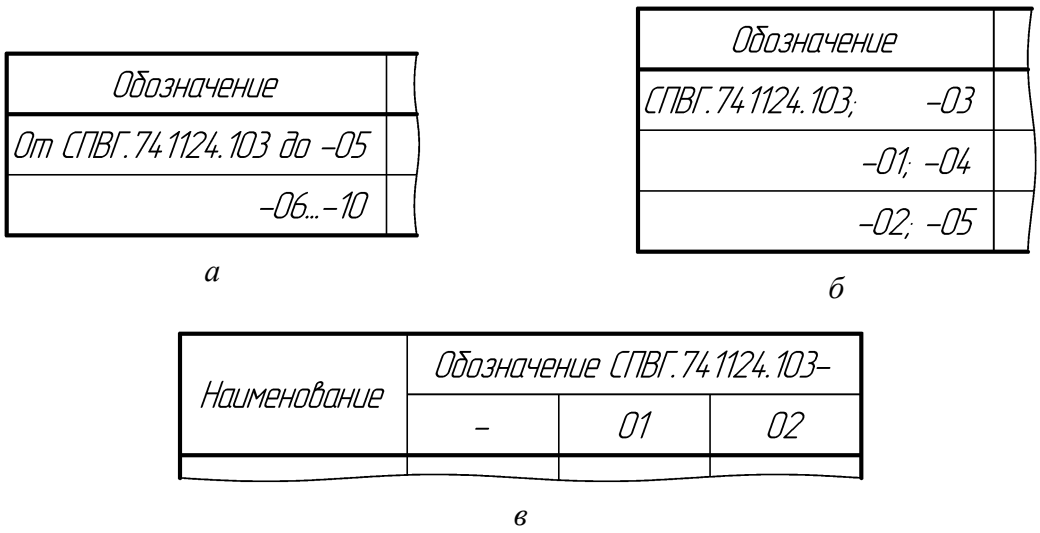


Рис. Н.6

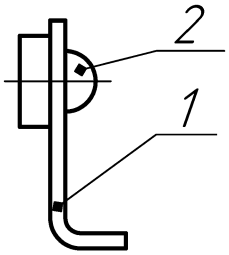
Если одинаковые данные относятся к нескольким исполнениям, обозначения которых не составляют непрерывного ряда, то обозначения исполнений допускается записывать по примеру рис. Н.6, *б*. Также возможны различные комбинации из указанных примеров.

Допускается обозначения исполнений указывать в головке, а наименования переменных данных – в боковике таблицы (рис. Н.6, *в*).

1.13. Переменная составная часть должна иметь для всех исполнений один номер позиции независимо от различий в обозначениях, изображениях и количестве таких частей для разных исполнений.

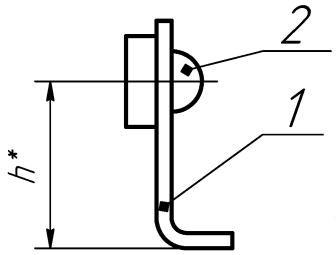
Если для одного исполнения применяется несколько одинаковых составных частей, а для другого исполнения эти составные части разные (имеют разные обозначения), то им следует присвоить разные номера позиций.

Составной части, которая для разных исполнений должна быть записана в разных разделах спецификации (например, для одних исполнений применяется сборочная единица, а для других – деталь), следует присваивать один номер позиции.



Обозначение	Масса, г
СПВГ.301629.221	20
-01	30

а



* Размер для справок

Обозначение	h*, мм	Масса, г
СПВГ.301629.222	12	20
-01	18	30

б

Рис. 1

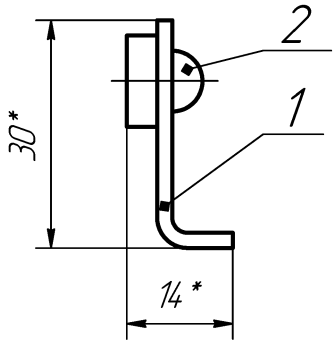


Рис. 2
Остальное – см. рис. 1

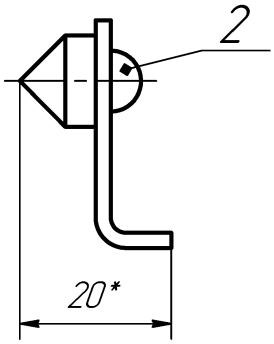
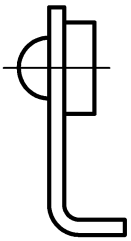


Рис. 3
Остальное – см. рис. 1



Обозначение	Рис.	Масса, г
СПВГ.301629.002	1	20
-01	2	22
-02	3	20

* Размеры для справок

в

Рис. Н.7

1.14. Номера позиций следует наносить на изображения основного исполнения. На изображениях других исполнений наносят номера позиций

только для составных частей, не применяемых в основном исполнении, и повторяют номера позиций для составных частей, имеющих иное изображение.

Примеры групповых сборочных чертежей показаны на рисунках:

– на рис. Н.7, *а* – групповой сборочный чертеж, в котором составные части различаются данными, не влияющими на изображение;

– на рис. Н.7, *б* – групповой сборочный чертеж, в котором составные части различаются размерами, не влияющими на изображение;

– на рис. Н.7, *в* – групповой сборочный чертеж, в котором составные части различаются данными, влияющими на изображения.

2. Правила выполнения групповых спецификаций.

2.1. Неосновные групповые документы следует записывать в спецификацию так же, как единичные. При этом документы, распространяющиеся на все исполнения, охваченные данной спецификацией, следует записывать как постоянные, а остальные документы – как переменные данные.

2.2. При последовательной записи в пределах одного листа спецификации нескольких документов и составных частей, имеющих одинаковое базовое обозначение, первый документ или составную часть следует записывать за полным обозначением, при записи последующих составных частей указывают дефис и порядковый номер исполнения, а при записи документов – дефис, порядковый номер исполнения и код документа; при этом для исполнений, оформленных групповым документом, формат указывают только в строке, где указано полное обозначение документа (рис. Н.8).

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Детали		
А3		5	СПВГ.735214.096-01	Экран	1	
		6	-02	Экран	2	
		7	-06	Экран	1	

Рис. Н.8

2.3. В групповых спецификациях допускается предусматривать свободные строки как резерв для последующего внесения постоянных и переменных данных (например, при оформлении документации нового исполнения).

2.4. Групповую спецификацию по усмотрению разработчика допускается выполнять в одном из четырех вариантов (А, Б, В и Г), выбор которого

определяется количеством исполнений и удобством записи постоянных и переменных данных в конкретном случае.

В данном учебном пособии будет использоваться вариант А, при котором групповая спецификация выполняется на отдельных листах формата А4 со стандартным оформлением для единичных спецификаций (см. рис. 18.1).

2.5. Групповую спецификацию по варианту А оформляют по правилам единичных спецификаций (см. 18.1) с учетом следующих особенностей:

– вначале записывают постоянные документы и составные части, а затем под заголовком «Переменные данные для исполнений» – переменные документы и составные части раздельно для каждого исполнения под его обозначением, записанным в виде заголовка в графе «Наименование» (рис. Н.9);

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
			Переменные данные для исполнений			
				СПВГ.468732.401		
				Лит «О»		
				Сборочные единицы		

Рис. Н.9

– если исполнения имеют условные наименования и (или) находятся на разных стадиях разработки, то соответствующую запись (код, литеру), при необходимости, дают под заголовком с обозначением исполнения. При этом в графе «Лит.» основной надписи ставят прочерк;

– переменные данные для основного исполнения следует записывать с соблюдением правил, установленных для единичных спецификаций, но порядковые номера позиций должны быть продолжением позиций постоянных составных частей;

– переменные данные для каждого последующего исполнения следует записывать с соблюдением правил, установленных для единичных спецификаций, но составные части независимо от их обозначений следует записывать в каждом разделе в порядке возрастания номеров позиций, определившихся при записи составных частей для основного исполнения.

Составные части, не применявшиеся в основном исполнении, следует записывать в конце соответствующего раздела;

– при записи в групповую спецификацию очередного исполнения, данные которого полностью соответствуют одному из предыдущих исполнений (например, имеются различия в расположении одинаковых составных частей), заголовок для переменных данных этого исполнения делают по типу: «СПВГ.468732.401-10 (как для СПВГ.468732.401)», «СПВГ.468732.401-05 (как для 02)». Соответствующие переменные данные при этом вторично не записывают.

Допускается в подобных случаях для нескольких исполнений, непрерывно следующих друг за другом, делать общий заголовок по типу: «От СПВГ.468732.401 до СПВГ.468732.401-05»;

– если для какого-либо исполнения переменные данные не применяются, то ниже заголовка пишут «Отсутствуют». При отсутствии переменных данных для всех исполнений в конце групповой спецификации дают запись по типу: «Различия исполнений СПВГ.468732.401 и СПВГ.468732.401-01 по сборочному чертежу».

3. Правила выполнения неосновных текстовых документов, содержащих текст, разбитый на графы (ведомости, таблицы и т. п.).

3.1. При выполнении групповых и базовых неосновных текстовых документов и соответствующих документов исполнения следует соблюдать требования стандартов на единичные документы того же вида.

3.2. Групповые текстовые документы следует выполнять по правилам, аналогичным выполнению групповых спецификаций.

3.3. По варианту А можно выполнять любые групповые документы на листах по формам, установленным для единичных документов.

Н.3. Создание исполнения «усилителя»

В данном приложении предлагается выполнить 7-й дополнительный этап проектирования, заключающийся в преобразовании разработанных на «усилитель» единичных КД в групповые с целью добавления исполнения, в котором для подачи и снятия СВЧ-сигнала используются указанные в общем задании на проектирование коаксиальные торцевые СВЧ-разъемы.

Основной комплект КД «усилителя» состоит из четырех КД (спецификация, сборочный чертеж, схема Э3 и перечень элементов ПЭ3), в каждый из которых необходимо внести соответствующие корректировки в следующей рекомендуемой последовательности:

1. Преобразование схемы Э3.

1.1. В **Altium Designer** открыть проект ПП (см. п. 1 из 12.1) и открыть схему Э3 «усилителя» (см. п. 3 из 8.3).

1.2. Сохранить схему командой **File ⇒ Save As** в ту же папку и с тем же расширением, но с новой версией файла.

1.3. Сохранить изменения в проекте (см. п. 4 из 5.5).

1.4. По ГОСТ 2.113-75 при преобразовании документов необходимо максимально использовать (без переиздания) подлинники ранее выпущенных документов с внесением в них данных, относящихся к новым исполнениям.

Компоненты в варианте «П1» на схеме находятся в центре листа и занимают много места (см. рис. 8.66). Чтобы ничего не перемещать, вместо изображения переменного исполнения переменные элементы будут показаны на изображении основного исполнения, что позволит внести изменения в КД по ИИ (см. М.1) вручную без замены подлинника.

В вариантах задания также можно осуществить преобразование добавлением изображения переменного исполнения (см. п. 1 из Н.2) или не осуществлять преобразование, а выполнить отдельную единичную схему Э3 на переменное исполнение. В последнем случае необходимо сделать копию файла схемы, приписать к обозначению изделия в названии файла и в графах рамки 2 и 26 (см. табл. 3.1 и рис. 3.6, *а* и *в*) номер исполнения и добавить два разъема с подключениями без таблицы исполнений.

1.5. Перейти в сетку **3** мм.

1.6. Изменить УГО входных и выходных КП:

– на любой входной или выходной КП запустить команду **ПКМ ⇒ Find Similar Objects**;

– в открывшемся окне в правом столбце для параметра **Current Footprint** из группы Object Specific выбрать опцию **Same**;

– включить опции **Select Matching** и **Run Inspector**;

– нажать кнопку **Apply** и убедиться в том, что в рабочем поле выделены нужные объекты. После этого нажать кнопку **OK**;

– в открывшейся панели **SCH Inspector** в группе Graphical для параметра **Display Mode** выбрать опцию **Alternate 1** (рис. Н.10);

– в рабочем поле снять фильтрацию (**Shift+C**).

Примечание. Особенности работы с командой Find Similar Objects приведены в Г.6.

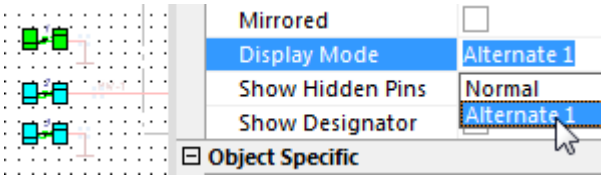


Рис. Н.10

1.7. Добавить два компонента **RF-JACK** из библиотеки **X** и расположить их слева и справа от входных и выходных КП соответственно.

После этого выполнить следующее:

– сориентировать УГО добавленных СВЧ-разъемов так, чтобы их пины были направлены на группы КП, около которых они расположены.

Примечание. Переворот вдоль оси X осуществляется клавишей X;

– в свойствах СВЧ-разъемов напротив системного параметра **Comment** отключить опцию **Visible**;

– левому СВЧ-разъему вручную присвоить позиционное обозначение *XW1*, а правому – *XW2*;

– последовательным нажатием клавиш **P ⇒ W** (создание линии электрической связи) соединить пины СВЧ-разъемов со свободными отводами КП.

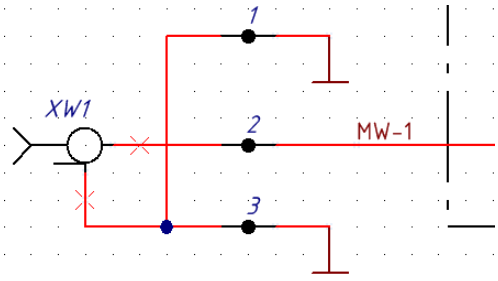


Рис. Н.11

1.8. Скомпилировать схему и пропустить четыре обнаруженные ошибки, разместив на линиях электрической связи, отходящих от пинов СВЧ-разъемов, соответствующие директивы (см. п. 9.8 из 8.3).

Результат для левого СВЧ-разъема показан на рис. Н.11.

1.9. Перейти в сетку **1** мм.

1.10. Последовательным нажатием клавиш **P ⇒ D ⇒ L** (создание линии) нарисовать таблицу из двух столбцов и трех строк высотой по 8 мм каждая.

После этого последовательным нажатием клавиш **P ⇒ T** (создание надписи) заполнить таблицу по аналогии с рис. Н.12 (подробнее см. в Н.2).

Обозначение	*XW1, XW2*
УП1.01.01	-
-01	*EMPCB.SMAFSTJ.B.HT*

Рис. Н.12

При записи названия СВЧ-разъема первым символом необходимо поставить пробел, чтобы надпись не превратилась в гиперссылку.

Примечание. Вместо прочерка можно написать «Отсутствуют».

1.11. Сохранить изменения в схеме Э3 (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» с внесенными изменениями по ИИ и с 6-м дополнительным этапом проектирования (см. табл. 2.3) показан на рис. Н.13.

1.12. Сохранить схему Э3 в формате PDF по 8.4.

Прошлые версии файлов схемы Э3 «усилителя» в форматах SCH и PDF можно удалить.

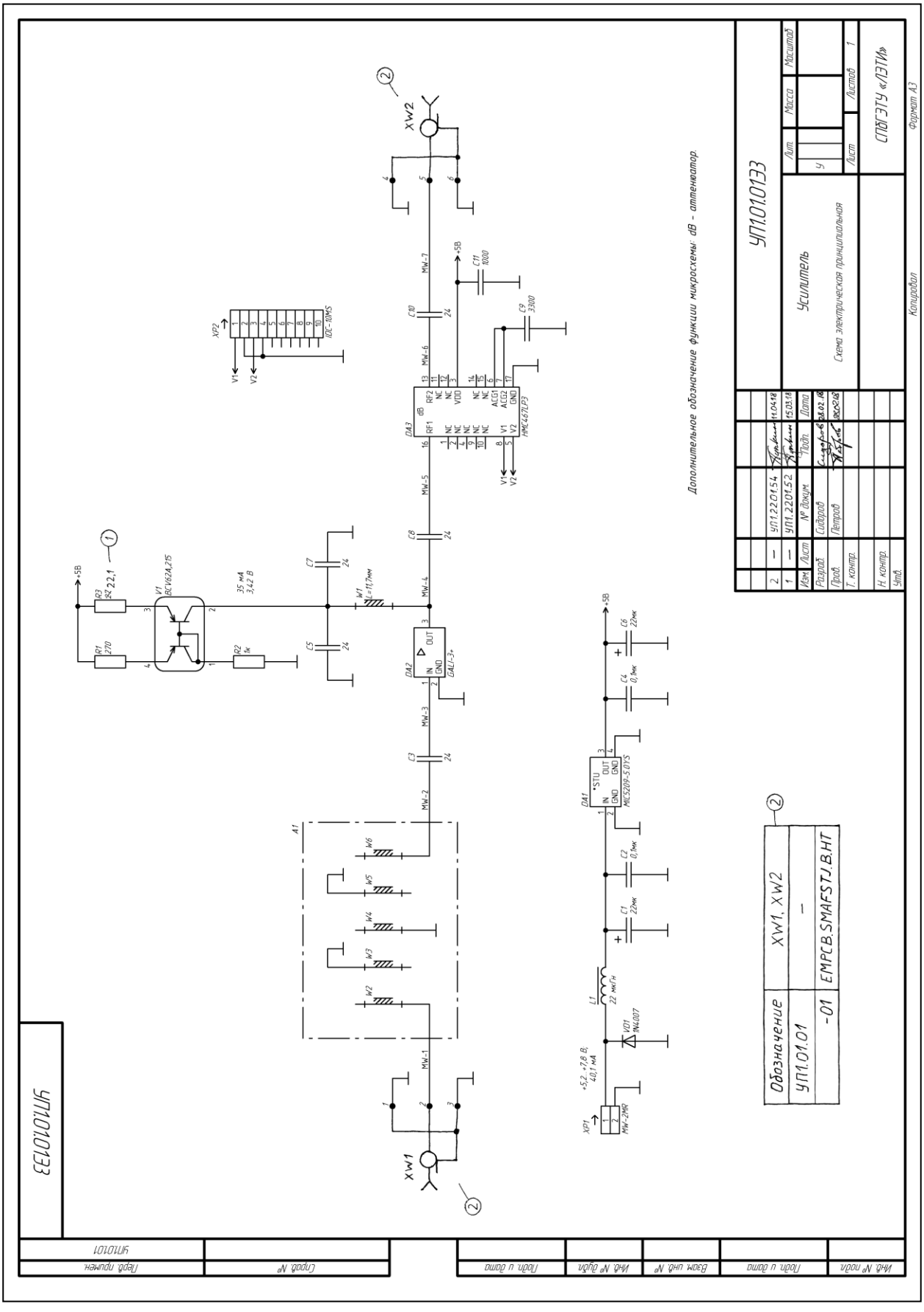

УП1.01.0133
Усилитель
Схема электрическая принципиальная
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Дополнительное обозначение функции микросхемы: dB - аттенюатор.
Обозначение
УП1.01.01
-01
XW1, XW2
–
EMPCB.SMAFSTJ.B.HT
XW1
XW2
XP1
XP2
A1
DA1
DA2
V1
L1
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
C9
C10
C11
R1
R2
R3
W1
W2
W3
W4
W5
W6
MW-1
MW-2
MW-3
MW-4
MW-5
MW-6
MW-7
+5В
-5,2...7,8 В, 40,1 мА
35 мА 3,42 В
Копировал
Формат А3

Рис. Н.13

2. Преобразование перечня элементов ПЭ3.

2.1. Открыть перечень элементов ПЭ3 «усилителя» в **Microsoft Word** и сохранить его с новой версией файла.

Следует отметить, что в вариантах задания вместо преобразования можно выполнить отдельный единичный перечень элементов ПЭ3 на переменное исполнение. В этом случае необходимо сделать копию файла перечня, приписать к обозначению изделия в названии файла и в графе основной надписи на первом и втором листах номер исполнения и добавить два разъема.

2.2. После всех компонентов в соответствии с пп. 2 и 3 из Н.2 записать переменные данные, обратив внимание на следующее:

– заголовок «Переменные данные для исполнений» следует записать в графе «Наименование»;

– СВЧ-разъемы должны быть указаны как в основном исполнении, так и в переменном, при этом в основном исполнении в графе «Наименование» записывается «Отсутствуют», а графы «Кол.» и «Примечание» не заполняются;

– до и после заголовка необходимо оставить по одной пустой строке;

– добавление новых строк осуществляется по п. 7 из 9.2;

– удаление лишних строк осуществляется по п. 8 из 9.2;

– если вся информация в перечне элементов не поместилась на двух листах, то по аналогии с п. 9 из 9.2 необходимо показать ЛР.

2.3. Сохранить изменения в перечне элементов (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» с внесенными изменениями по ИИ и с 6-м дополнительным этапом проектирования показан на рис. Н.14.

2.4. Сохранить перечень элементов в формате PDF по п. 11 из 9.2.

Прошлые версии файлов перечня элементов ПЭ3 «усилителя» в форматах DOC и PDF можно удалить.

3. Преобразование сборочного чертежа.

3.1. Открыть сборочный чертеж «усилителя» в **КОМПАС-3D** и сохранить его с новой версией файла.

В варианте «П1» на листах чертежа практически нет свободного места (см. рис. 19.40) и добавление переменных элементов на изображения основного исполнения без перемещения графических объектов невозможно. Поэтому для минимизации корректировок будет добавлен новый лист формата А4 (при преобразовании формата второго листа из А4 в А3 придется вносить дополнительное изменение в спецификацию) с изображениями переменного исполнения и установочным чертежом разъемов.

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	Конденсаторы		
C1	293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 % 10 В Case C	1	Vishay
C2	GRM21B7U1A104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 10 В U2J 0805	1	Murata
C3	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	1	ATC
C4	GRM21B7U1A104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 10 В U2J 0805	1	Murata
C5	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	1	ATC
C6	293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 % 10 В Case C	1	Vishay
C7, C8	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	2	ATC
C9	GRM2165C2A332JA01D 3300 пФ ±5 % 100 В C0G 0805	1	Murata
C10	600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В C0G 0805	1	ATC
C11	GRM2165C2A102JA01D 1000 пФ ±5 % 100 В C0G 0805	1	Murata
DA1	Стабилизатор напряжения MIC5209-5.0YS	1	Microchip
DA2	Усилитель GALI-3+	1	Mini-Circuits
DA3	Аттенюатор HMC467LP3	1	Hittite
L1	Дроссель SDR0604-220YL 22 мкГн ±15 % 1,1 А	1	Bourns
	Резисторы		
R1	RC0805JR-07270RL 270 Ом ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo
R2	~~RC0805JR-071KL 1 кОм ±5 % 0805 0,125 Вт~~ RC0805FR-0722R1L 22,1 Ом ±1% 0805 0,125 Вт	1	Yageo (1)
R3	RC0805JR-0727RL 27 Ом ±5 % 0805 0,125 Вт	1	Yageo

Перв. примен. УП1.01.01

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
1	—	УП1.2201.52		15.03.18

УП1.01.01ПЭ3

Разраб.	Сидоров		28.02.18
Пров.	Петров		28.02.18
Н. контр.			
Утв.			

Усилитель

Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
У	1	2

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Копировал

Формат А4

Рис. Н.14 Начало (окончание см. на с. 1054)

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
V1	Сборка транзисторная BCV62A,215	1	Nexperia
VD1	Диод 1N4007	1	Diodes Incorporated
W1		1	Линия СВЧ
XP1	Вилка угловая MW-2MR	1	Connfly, 2 конт.
XP2	Вилка прямая IDC-10MS	1	Connfly, 10 конт.
A1	Фильтр полосовой	1	
W2-W6		5	Линия СВЧ
	Переменные данные для исполнений		(2)
	УП1.01.01		(2)
XW1, XW2	Отсутствуют		(2)
	УП1.01.01-01		(2)
XW1, XW2	Розетка коаксиальная торцевая EMPCB.SMAFSTJ.B.HT	2	Taoglas (2)

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УП1.01.01ПЭ3	Лист 2
2	—	УП1.22.01.54		11.04.18		

Копировал Формат А4

Рис. Н.14 Окончание (начало см. на с. 1053)

В вариантах задания вместо преобразования можно выполнить отдельный единичный сборочный чертеж на переменное исполнение.

3.2. Убедиться в том, что включены глобальные привязки, задан шаг сетки **0.1** мм и включено ее отображение (см. пп. 4 и 5 из 6.5).

3.3. По пп. 27.1 и 27.2 из 17.2 на первом листе чертежа создать новый вид, добавить в него таблицу с тремя столбцами и строками и заполнить ее по рис. Н.15, *а*.

Обозначение	Рис.	Масса, г
УП1.01.01	1	7,9
-01	2	11,3

а

Лит.	Масса	Масштаб
У	См. табл.	2,5:1
Лист 1	Листов 3	

б

Рис. Н.15

Массу для основного исполнения взять из графы «Масса» основной надписи, а для исполнения 01 добавить к этому значению массу двух торцевых разъемов – 3,4 г.

3.4. Удалить значение массы из графы «Масса» основной надписи чертежа.

Затем создать новый вид, добавить в него в две строки надпись «См. табл.» с выравниванием по центру и переместить его в графу «Масса» (рис. Н.15, *б*).

3.5. Создать новый вид над изображениями **Вида спереди** и **Вида слева**.

Командой **Ввод текста** (ПИ **Компактная панель ⇒ Обозначения**) добавить обозначение рисунка «Рис. 1» со следующими параметрами: Шрифт – **GOST type A**; высота символов – **5**; Курсив и Подчеркнутый – **включить**.

3.6. По 7.1 добавить третий лист (**вертикальный А4**) с оформлением **Чертеж констр. Посл. листы. ГОСТ 2.104-2006**.

3.7. На листе № 3 создать новый вид (масштаб – масштаб чертежа, имя – **Рис. 2**) и скопировать в него изображение с **Вида спереди**.

3.8. Удалить с добавленного изображения размеры, обозначение позиции и позиционные обозначения.

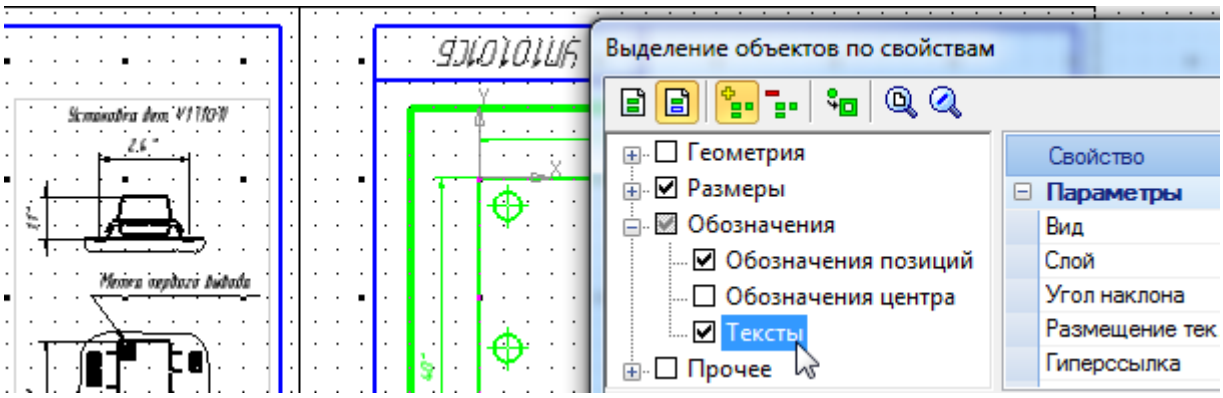


Рис. Н.16

Для выделения нужных объектов выделить вид **Рис. 2** и запустить команду **Выделить ⇒ По свойствам**. В появившемся окне выбрать группу **Размеры** и опции **Обозначение позиций** и **Тексты** в группе **Обозначения**, после чего нажать **ОК** (см. рис. Н.16).

3.9. Над изображением в виде **Рис. 2** командой **Ввод текста** добавить обозначение рисунка «Рис. 2» и параметрами шрифта из п. 3.5, при этом следует обратить внимание на информацию п. 1.4 из Н.2.

3.10. Открыть файл установочного чертежа торцевого СВЧ-разъема из папки **…\ИДРЭС\Монтаж элементов**.

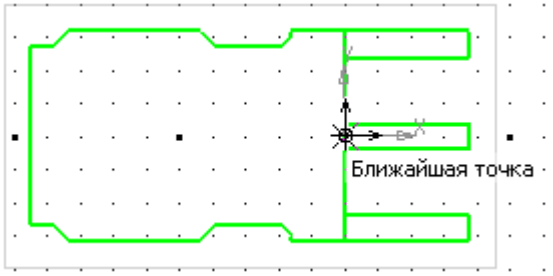
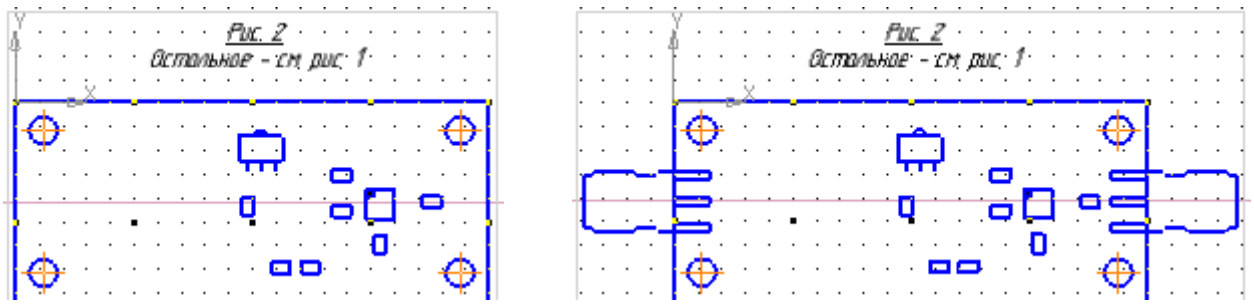


Рис. Н.17

На вкладке с установочным чертежом сделать текущим **Вид 1**, после чего выделить и скопировать изображение за точку начала координат (рис. Н.17).

3.11. Входная и выходная КП на ПП расположены симметрично относительно крепежных отверстий, поэтому для позиционирования торцевых СВЧ-разъемов на изображении переменного исполнения следует провести вспомогательную линию.

В варианте «П1» на вкладке со сборочным чертежом на изображении в виде **Рис. 2** командой **Биссектриса** (см. рис. 6.13) из ПИ **Компактная панель ⇒ Геометрия** после двух щелчков ЛКМ по горизонтальным осевым линиям отверстий добавлена средняя прямая между ними (рис. Н.18, *а*).



а *б*

Рис. Н.18

3.12. Вставить скопированное изображение в требуемые места изображения на виде **Рис. 2** (рис. Н.18, *б*).

При необходимости воспользоваться командами **Сдвиг**, **Поворот** или **Симметрия** (см. рис. 6.20) из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование**.

3.13. Получившееся изображение на виде **Рис. 2** в варианте «П1» оказалось расположено впритык к рамке листа, поэтому у вида был изменен мас-

штаб на 2:1, и указанное значение добавлено в надпись с обозначением рисунка.

Примечание. В обозначении рисунка масштаб вида можно указать не вручную, а ссылкой. Для этого в режиме редактирования надписи запускается команда ПКМ ⇒ Вставить ссылку и в открывшемся окне «Ссылка» выполняется следующее:

– в поле «Тип источника» выбирается опция «Вид»;

– в поле «Ссылка на» выбирается опция «Масштаб»;

– включается опция «В скобках»;

– в группе «Список источников» выбирается вид «Рис. 2».

Затем у добавленной ссылки изменяются параметры шрифта.

3.14. Командой **Линейный размер** или **Авторазмер** (см. рис. 7.21) из ПИ **Компактная панель ⇒ Размеры** показать габаритные размеры исполнения, изменившиеся в результате установки СВЧ-разъемов.

После размерных чисел поставить знак «*».

3.15. Командой **Ввод текста** добавить позиционные обозначения разъемов СВЧ, присвоенные им на схеме Э3 «усилителя», с параметрами шрифта по п. 14.8 из 19.3.

Результат в варианте «П1» на данном этапе показан на рис. Н.19.

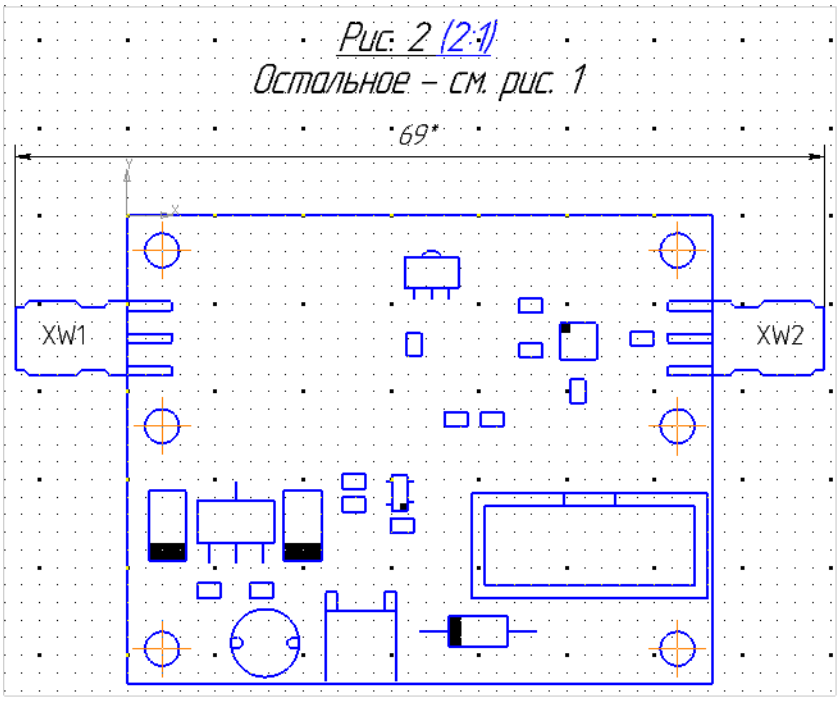


Рис. Н.19

3.16. Добавить вид слева на изображение переменного исполнения, для чего на виде **Рис. 2** с левой стороны от изображения показать стрелку взгля-

да, а вид по стрелке в масштабе, указанном в основной надписи, поместить на свободном месте чертежа (так как виды на чертеже не являются ассоциативными, то опция **Проекционная связь** отсутствует).

Следует обратить внимание на то, что в зависимости от размеров изображения и расположения СВЧ-разъемов в других вариантах задания можно сделать следующее:

– повернуть вид по стрелке (см. п. 12.1 из 21.1);

– изменить масштаб вида по стрелке (при этом в параметрах вида необходимо включить опцию **Масштаб**);

– вместо вида по стрелке добавить с **Вида слева** необходимое количество выносных элементов в нужном масштабе (при этом показывать изображения выносных элементов для основного исполнения не нужно).

3.17. В созданный вид по стрелке копированием поместить изображение с **Вида слева**, после чего выполнить следующее:

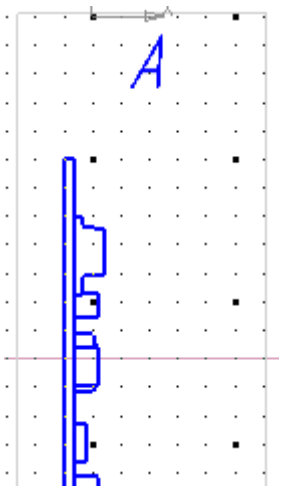


Рис. Н.20

– удалить все размеры;

– вставить с вида **Рис. 2** необходимую для позиционирования входного СВЧ-разъема горизонтальную линию (рис. Н.20);

– перейти на вкладку с установочным чертежом, сделать текущим **Вид 2** и скопировать изображение за точку начала координат;

– перейти на вкладку со сборочным чертежом и вставить скопированное изображение в точку пересечения вспомогательной линии и верхней поверхности ПП;

– при необходимости добавить изображение с вида **Вид 3** из вкладки с установочным чертежом;

– удалить лишние линии командой **Усечь кривую** (см. рис. 6.20) из ПИ **Компактная панель ⇒ Редактирование**. В варианте «П1» также была удалена часть изображения, совпадающая с изображением на **Виде слева** для основного исполнения (для создания обрыва использована команда **Сплайн по точкам** с настройками по п. 16 из 7.3);

– командой **Линейный размер** или **Авторазмер** показать размеры, изменившиеся в результате установки СВЧ-разъемов. После размерных чисел поставить знак «*».

3.18. Удалить вспомогательные линии со всех изображений переменного исполнения.

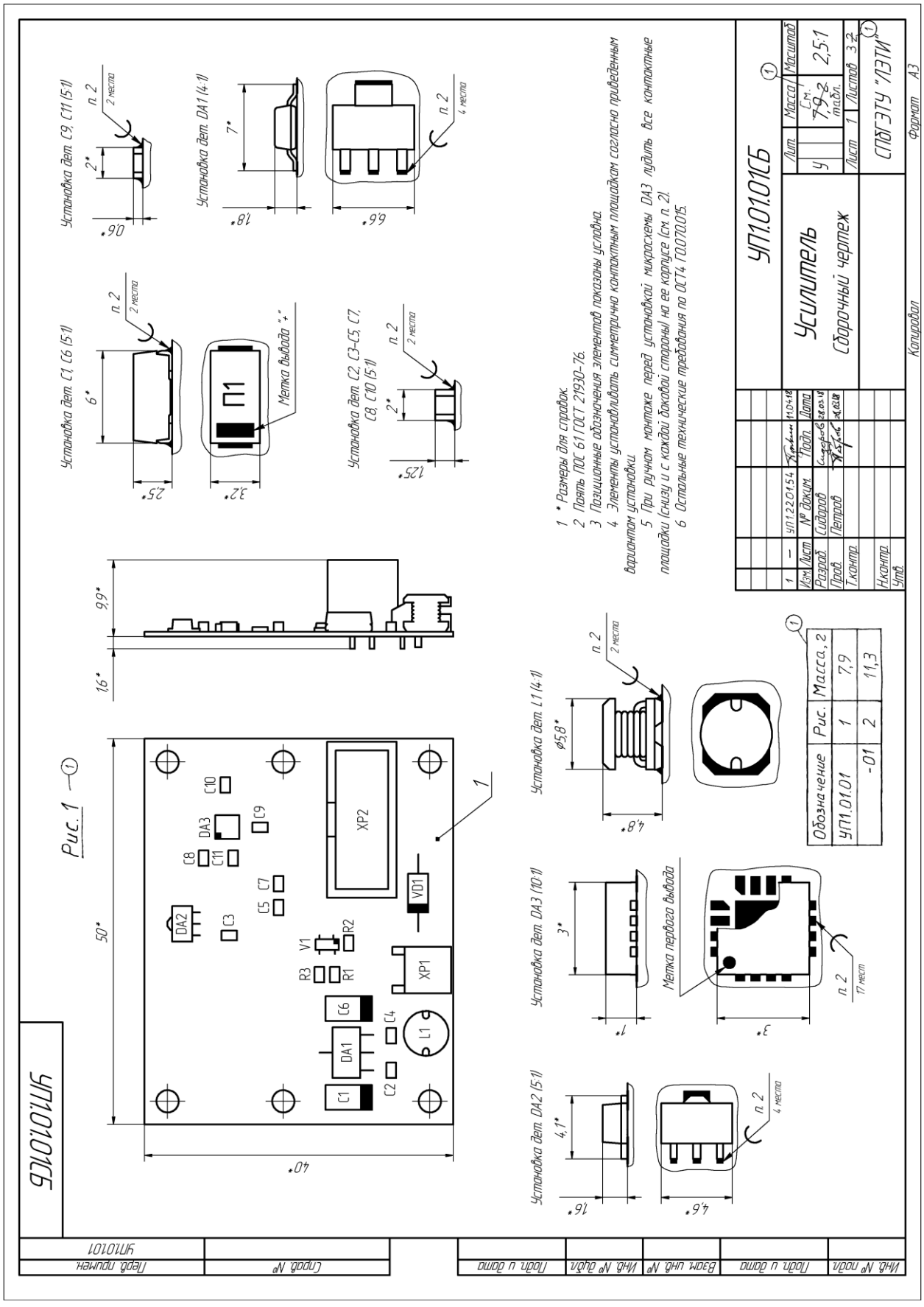


Рис. Н.21 Начало (продолжение и окончание см. на с. 1060 и 1061)

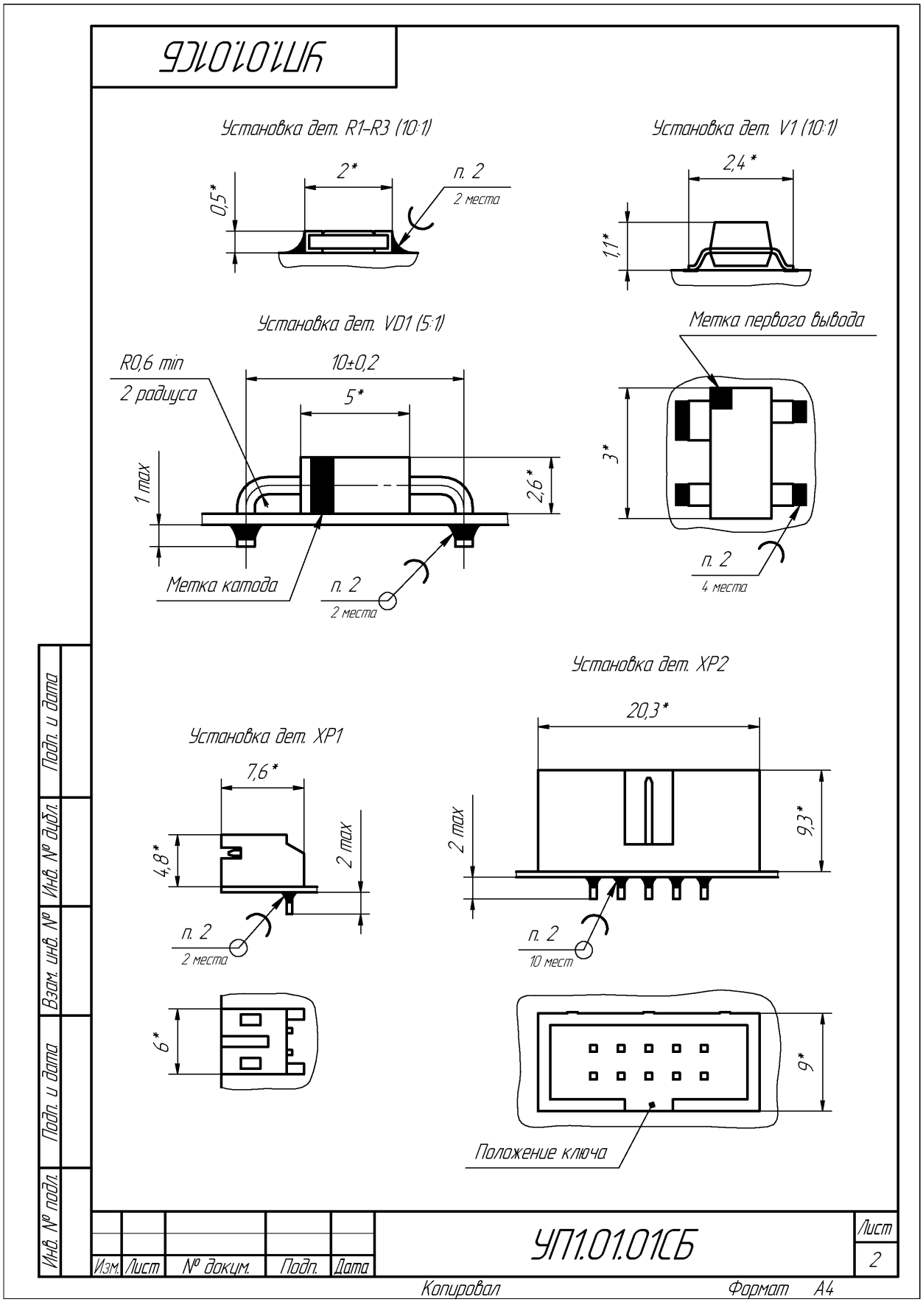


Рис. Н.21 Продолжение (начало см. на с. 1059, окончание – на с. 1061)

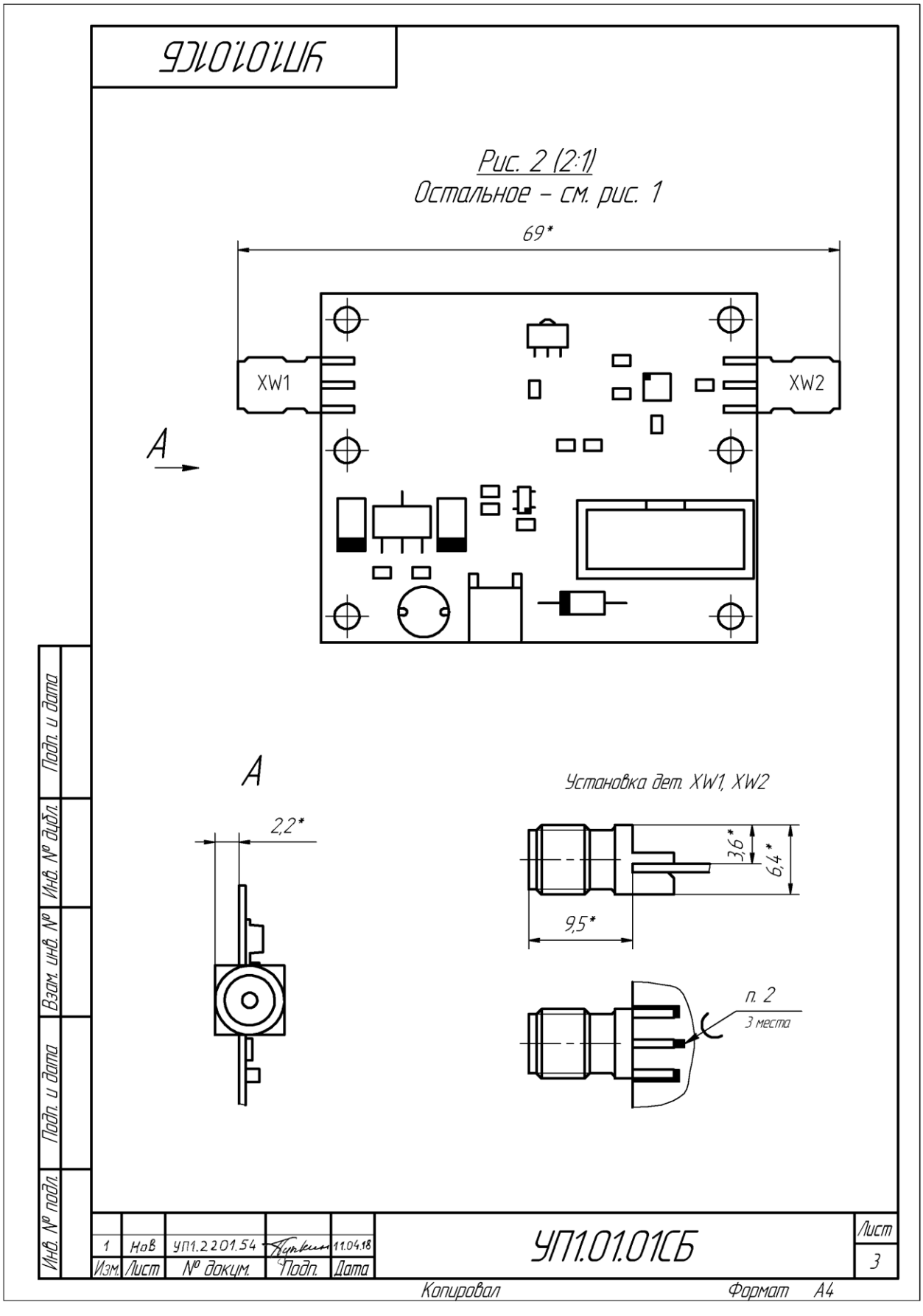


Рис. Н.21 Окончание (начало см. на с. 1059 и 1060)

3.19. По пп. 23.1–23.7 из 19.3 добавить установочный чертеж коаксиального торцевого СВЧ-разъема.

Затем заменить номер пункта на линии-выноске с обозначением пайки ссылкой на 2-й пункт ТТ. Настройки окна **Ссылка** задать по п. 28.4 из 19.3.

3.20. Сохранить изменения в сборочном чертеже (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» с внесенными изменениями по ИИ показан на рис. Н.21.

3.21. Сохранить сборочный чертеж в формате PDF по 17.3.

Прошлые версии файлов сборочного чертежа в форматах CDW и PDF можно удалить.

4. Преобразование спецификации.

4.1. Открыть спецификацию на «усилитель» в **Microsoft Word** и сохранить ее с новой версией файла.

В варианте «П1» все неосновные единичные КД на «усилитель» преобразованы в групповые, поэтому в спецификации в переменных данных будут только разъемы СВЧ. Если в вариантах задания какой-либо неосновной КД не был преобразован в групповой (на исполнение был выполнен единичный неосновной КД), то такой КД записывается в переменных данных.

4.2. После всех записанных данных добавить заголовок «Переменные данные для исполнений», располагающийся в графах «Обозначение» и «Наименование» (см. рис. Н.9), для чего выполнить следующее:

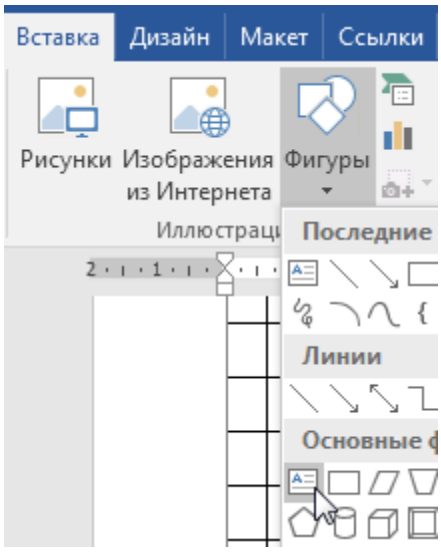


Рис. Н.22

– запустить команду **Вставка ⇒ Фигуры ⇒ Надпись** (см. рис. Н.22);

– зажатой ЛКМ показать границы надписи;

– внутри надписи записать название заголовка (параметры шрифта: Шрифт – **GOST type A**; Размер шрифта – **12**; Курсив – **включить**);

– выполнить на границе добавленной надписи команду **ПКМ ⇒ Формат автофигуры или рисунка**;

– в открывшемся окне **Формат текстового поля** на вкладке **Надпись** включить опцию **подгонять размер автофигуры под текст**, а на вкладке **Цвета и линии** в группах **Заливка** и **Линии** для параметра **Цвет** выбрать опцию **Нет цвета** (см. рис. Н.23);

– зажатой ЛКМ скорректировать положение надписи.

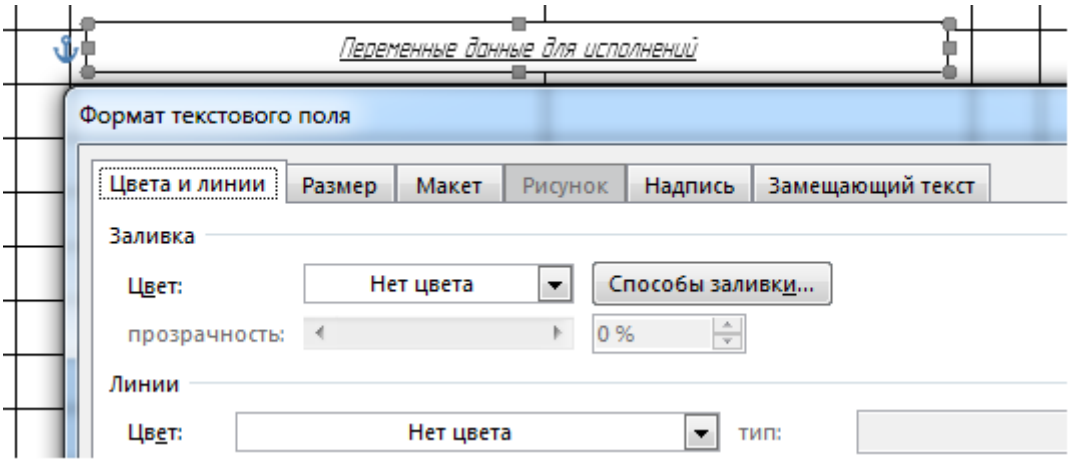


Рис. Н.23

4.3. В соответствии с п. 2 из Н.2 записать переменные данные, обратив внимание на следующее:

– до и после заголовков необходимо оставить по одной пустой строке;

– добавление новых строк осуществляется по п. 7 из 9.2;

– удаление лишних строк осуществляется по п. 8 из 9.2;

– если вся информация в спецификации не поместилась на четырех листах, то по аналогии с п. 9 из 9.2 необходимо показать ЛР.

4.4. Если были изменены форматы листов групповых КД, то внести соответствующие корректировки в разделе «Документация».

4.5. Сохранить изменения в спецификации (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» с внесенными изменениями по ИИ и с 6-м дополнительным этапом проектирования показан на рис. Н.24.

4.6. Сохранить спецификацию в формате PDF по п. 11 из 9.2.

Прошлые версии файлов спецификации в форматах DOC и PDF можно удалить.

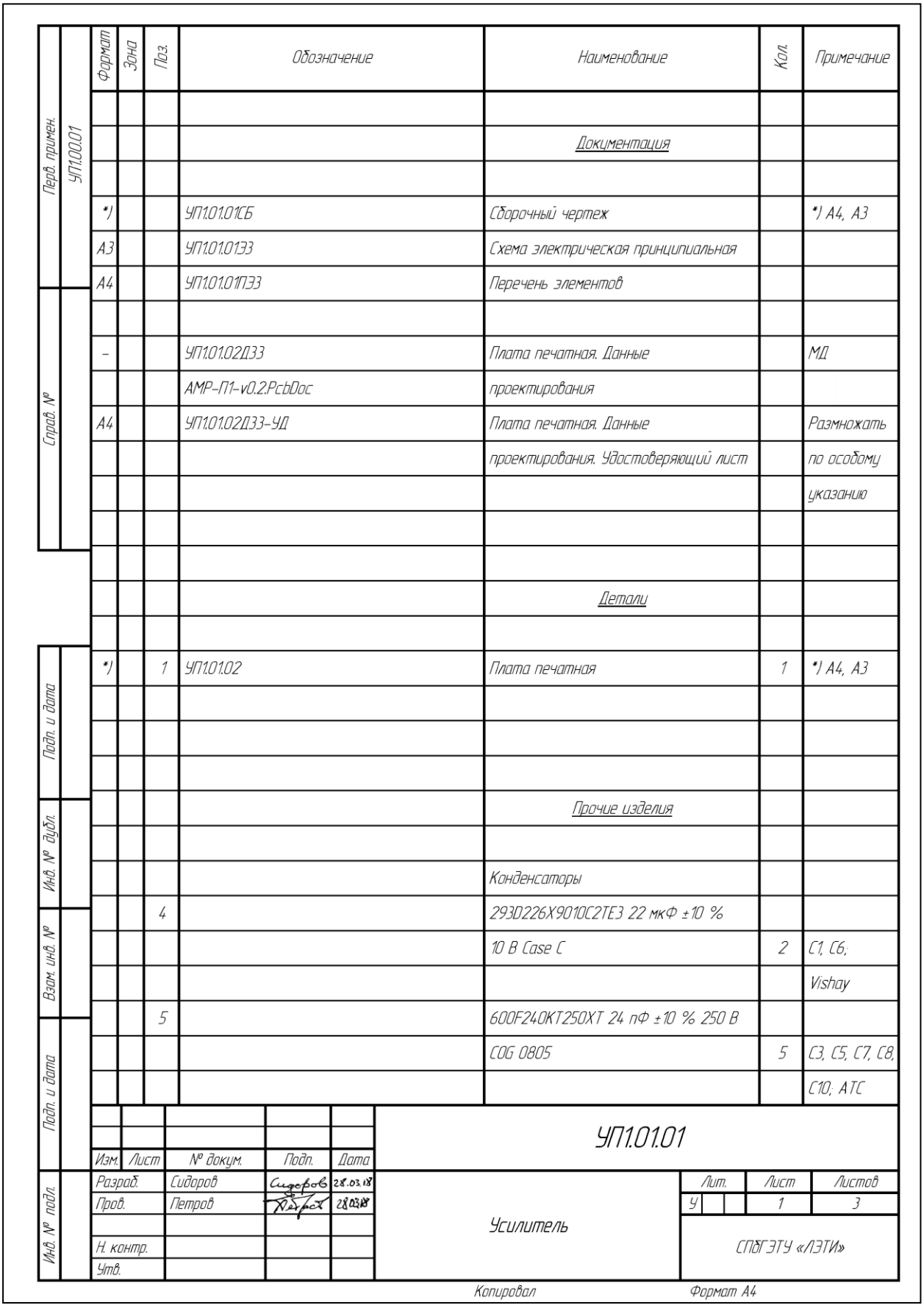
5. Удалить вспомогательную информацию из папки **…\ИДРЭС-П1\Усилитель**:

– backup-файл сборочного чертежа «усилителя»;

– папку **History** с резервными копиями схемы Э3 «усилителя», создаваемых при каждом их сохранении.

В результате при групповом способе выполнения КД в варианте «П1» на два изделия создано четыре КД вместо восьми, при этом для второго изделия не понадобилось использовать обозначение с новым порядковым регистрационным номером.

ИИ, по которому были внесены изменения в данном этапе проектирования, показано на рис. Н.25.



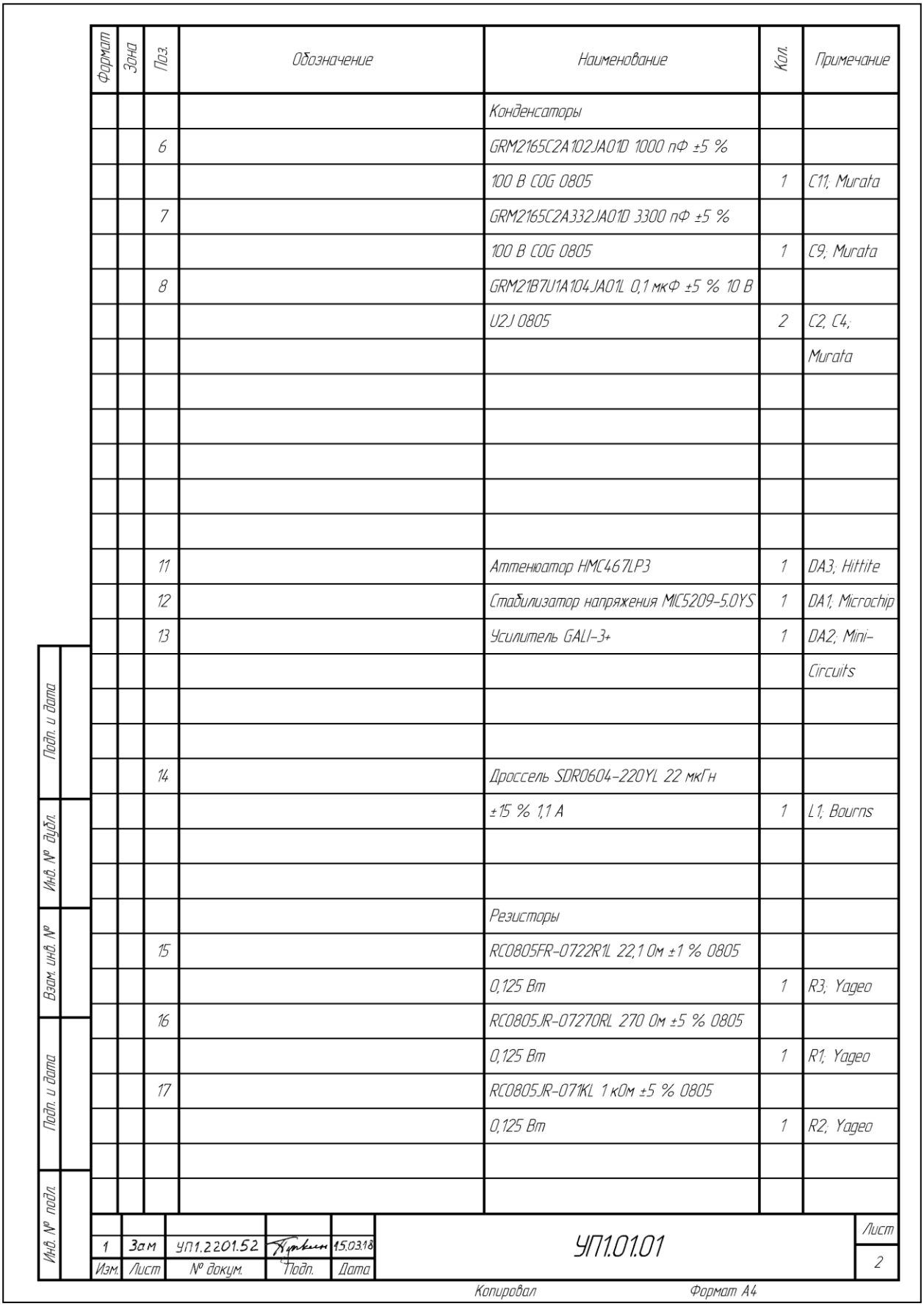
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
*)			УП1.01.01СБ	Сборочный чертеж		*) А4, А3
А3			УП1.01.01Э3	Схема электрическая принципиальная		
А4			УП1.01.01ПЭ3	Перечень элементов		
–			УП1.01.02Д33	Плата печатная. Данные		МД
			AMP-П1-v0.2.PcbDoc	проектирования		
А4			УП1.01.02Д33-УД	Плата печатная. Данные		Размножать
				проектирования. Удостоверяющий лист		по особому
						указанию
				Детали		
*)		1	УП1.01.02	Плата печатная	1	*) А4, А3
				Прочие изделия		
				Конденсаторы		
		4		293D226X9010C2TE3 22 мкФ ±10 %		
				10 В Case C	2	C1, C6;
						Vishay
		5		600F240KT250XT 24 пФ ±10 % 250 В		
				C0G 0805	5	C3, C5, C7, C8,
						C10, АТС

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УП1.01.01		
Разраб.		Сидоров	Сидоров	28.03.18	Усилитель	Лит.	Лист 1 / Листов 3
Пров.		Петров	Петров	28.03.18		У	
Н. контр.						СПбГЭТУ «ЛЭТИ»	
Утв.							

Перв. примен. УП1.00.01 | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Копировал Формат А4

Рис. Н.24 Начало (продолжение и окончание см. на с. 1065 и 1066)



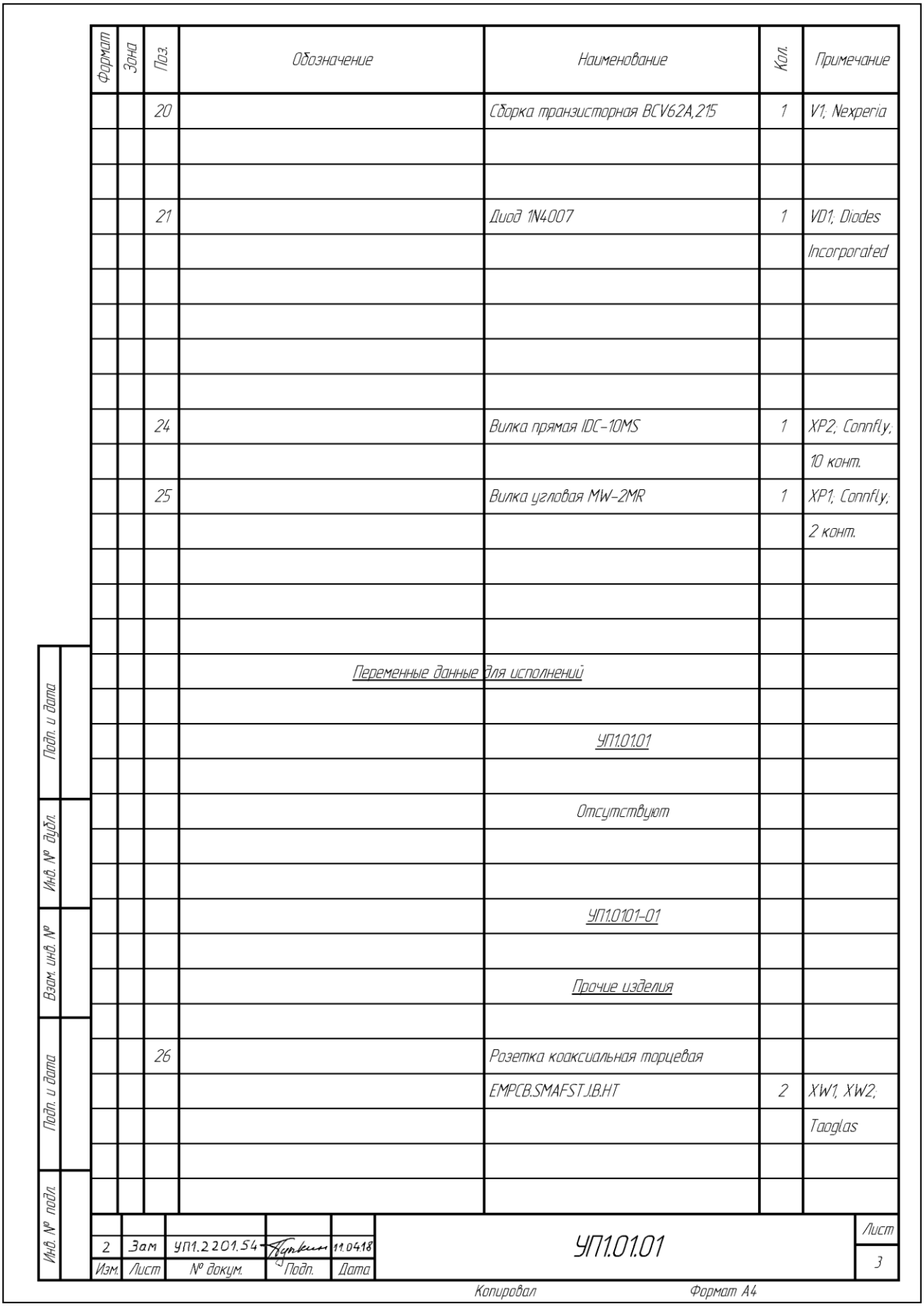
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Конденсаторы		
		6		GRM2165C2A102JA01D 1000 пФ ±5 %		
				100 В C0G 0805	1	C11, Murata
		7		GRM2165C2A332JA01D 3300 пФ ±5 %		
				100 В C0G 0805	1	C9, Murata
		8		GRM21B7U1A104JA01L 0,1 мкФ ±5 % 10 В		
				U2J 0805	2	C2, C4,
						Murata
		11		Аттенюатор HMC467LP3	1	DA3, Hittite
		12		Стабилизатор напряжения MIC5209-5.0YS	1	DA1, Microchip
		13		Усилитель GALI-3+	1	DA2, Mini-
						Circuits
		14		Дроссель SDR0604-220YL 22 мкГн		
				±15 % 1,1 А	1	L1, Bourns
				Резисторы		
		15		RC0805FR-0722R1L 22,1 Ом ±1 % 0805		
				0,125 Вт	1	R3, Yageo
		16		RC0805JR-07270RL 270 Ом ±5 % 0805		
				0,125 Вт	1	R1, Yageo
		17		RC0805JR-071KL 1 кОм ±5 % 0805		
				0,125 Вт	1	R2, Yageo

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УП1.01.01	Лист 2
1	Зам	УП1.2201.52		15.03.18		

Копировал Формат А4

Рис. Н.24 Продолжение (начало см. на с. 1064, окончание – на с. 1066)



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		20		Сборка транзисторная BCV62A,215	1	V1; Nexperia
		21		Диод 1N4007	1	VD1; Diodes
						Incorporated
		24		Вилка прямая IDC-10MS	1	XP2; Connfly,
						10 конт.
		25		Вилка угловая MW-2MR	1	XP1; Connfly,
						2 конт.
				Переменные данные для исполнений		
				УП1.01.01		
				Отсутствуют		
				УП1.0101-01		
				Прочие изделия		
		26		Розетка коаксиальная торцевая		
				EMPCB.SMAFST.J.B.HT	2	XW1, XW2,
						Taoglas

Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УП1.01.01	Лист 3
2	Зам	УП1.2201.54		11.0418		

Копировал Формат А4

Рис. Н.24 Окончание (начало см. на с. 1064 и 1065)

Рис. Н.25 Начало (продолжение и окончание см. на с. 1068 и 1069)

Извещение	УП1.2.201.54	Обозначение ПИ (ДПР, ПР)		Лист
Изм.	Содержание изменения			2

2

УП1.01.01ПЭ3

На листе 2 после всех записанных данных, оставив две пустые строки, записать:

	Переменные данные для исполнений		
	УП1.01.01		
XW1, XW2	Отсутствуют		
	УП1.01.01-01		
XW1, XW2	Розетка коаксиальная торцевая EMPCB.SMAFST.J.B.HT	2	Taoglas

2

УП1.01.01

Заменить лист 3.

Примечание – Добавлена информация в соответствии с приведенным ниже рисунком.

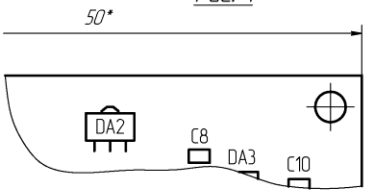
			Переменные данные для исполнений			
			УП1.01.01			
			Отсутствуют			
			УП1.01.01-01			
			Прочие изделия			
		29	Розетка коаксиальная торцевая			
			EMPCB.SMAFST.J.B.HT	2	XW1, XW2;	
						Taoglas

1

УП1.01.01СБ

1 На листе 1 над главным видом добавить обозначение рисунка:

Рис. 1



2 На листе 1 на свободном месте добавить таблицу исполнений:

Обозначение	Рис.	Масса, г
УП1.01.01	1	7,9
-01	2	11,3

3 На листе 1 в графе "Листов" исправить значение 2 на 3.
4 На листе 1 в графе "Масса" зачеркнуть значение и в две строки написать "См. табл.".
5 Лист 3 ввести впервые. Добавленные изображения показаны на листе 3.

Рис. Н.25 Продолжение (начало см. на с. 1067, окончание – на с. 1069)

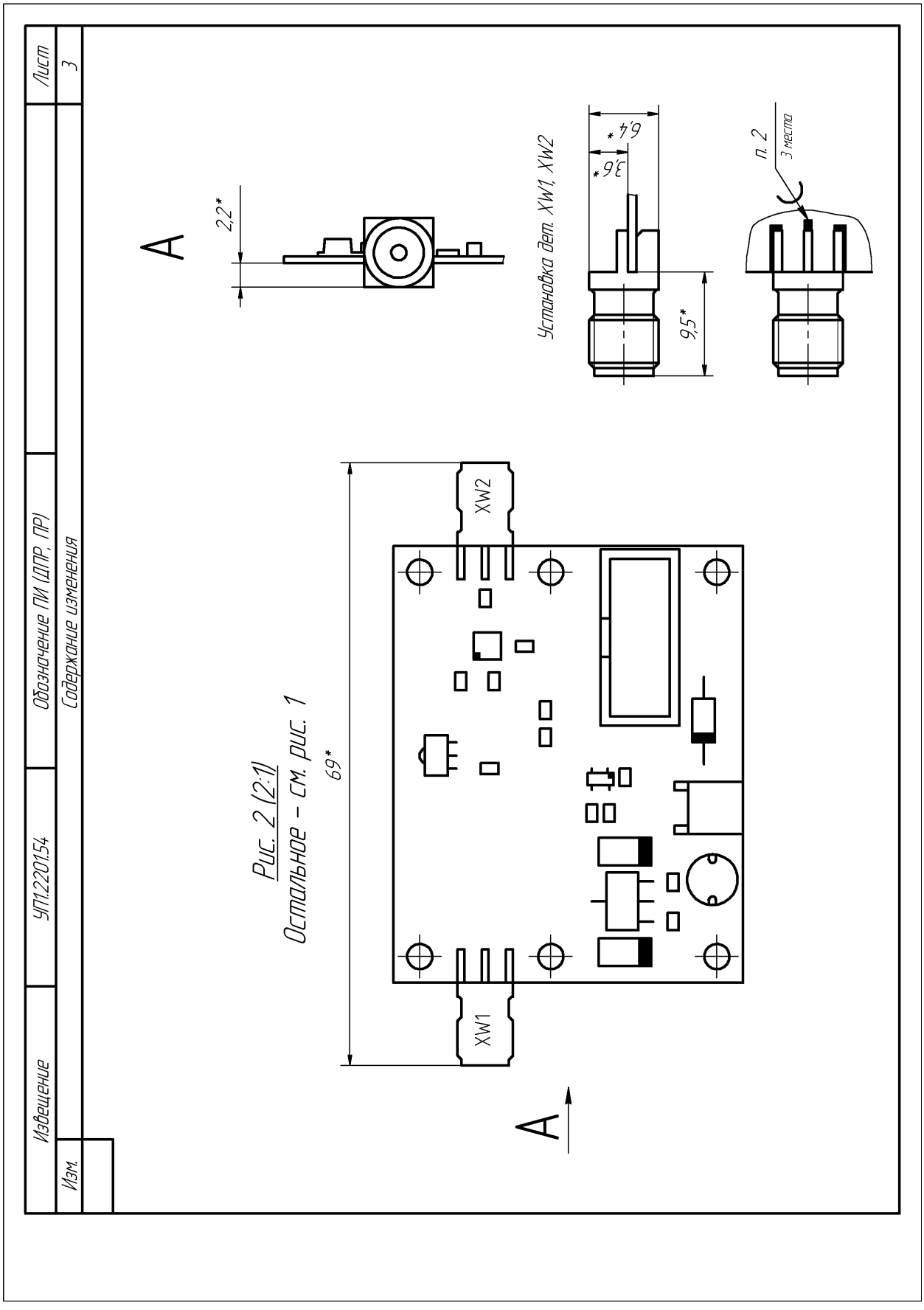


Рис. Н.25 Окончание (начало см. на с. 1067 и 1068)

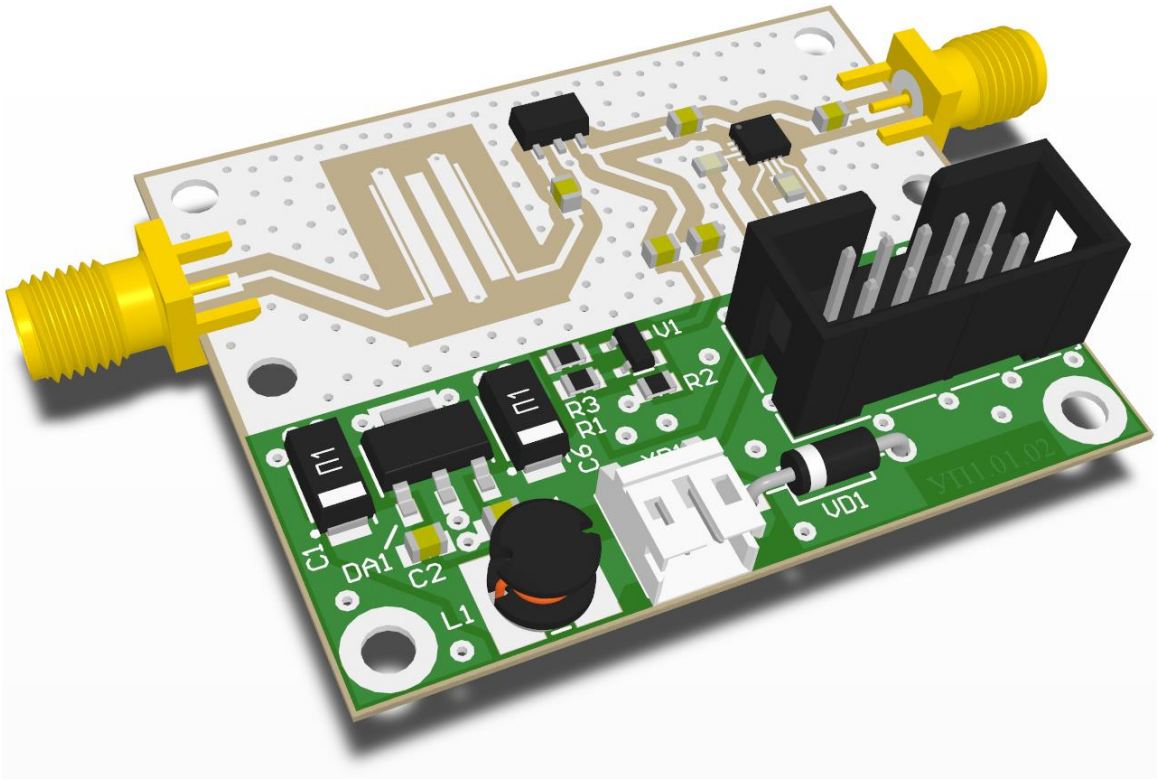


Рис. Н.26

3D-вид исполнения показан на рис. Н.26.

Примечание. Изображение получено в Altium Designer после добавления в формате STEP из КОМПАС-3D на слой Mech 5 Top 3D 3D-моделей торцевых СВЧ-разъемов с включенным отображением резьбы и укороченной на 1 мм центральной жилой (см. пп. 1 и 5 из 6.6). Для скрытия появившихся ошибок в окне PCB Rules and Constraints Editor (команда Design ⇒ Rules) в подразделе Design Rules ⇒ Placement ⇒ Component Clearance предварительно было создано правило проектирования с высшим приоритетом между КП и моделями разъемов (InNamedUnion('InputPads') OR InNamedUnion('OutputPads') и Identifier = 'EMPCB.SMAFSTJ.B.HT' соответственно). В правиле включена опция Infinite, а расстояние по горизонтали задано отрицательной величиной (в этом случае зазоры не проверяются).

Н.4. Содержание отчета

По 7-му дополнительному этапу проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести:

1. Четыре КД (спецификация, сборочный чертеж, схема Э3 и перечень элементов ПЭ3), в которых содержится информация об исполнении «усилителя» с двумя торцевыми коаксиальными СВЧ-разъемами.

2. Краткое описание произведенных изменений.

П. Ведомость покупных изделий

П.1. Общие сведения

Ведомость покупных изделий (ВП) по ГОСТ Р 2.102–2023 – текстовый КД, содержащий перечень покупных изделий, примененных в разрабатываемом изделии.

Код ведомости покупных изделий – **ВП**.

Правила оформления ВП содержатся в ГОСТ Р 2.106–2019, среди которых можно выделить следующие:

1. ВП составляют на основании всех спецификаций данного изделия на отдельных листах формата А3 с оформлением в рамках по ГОСТ Р 2.104–2023, которое упрощенно показано на рис. 3.5, *б*.

Оформление основной надписи и дополнительных граф для текстовых документов описано в п. 3 из 9.1.

ВП оформляют в виде таблицы (рис. П.1), заполняемой сверху вниз, с фиксированными размерами столбцов и строк. На рисунке размеры столбцов приведены с отступлением от принятого масштаба.



Рис. П.1

2. Запись покупных изделий производят по разделам, наименования которых устанавливают в зависимости от характера покупных изделий, вносимых в ведомость. Разделы записывают в виде заголовков в графе «Наименование» и подчеркивают (рис. П.2).

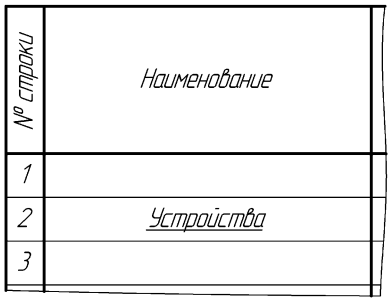


Рис. П.2

3. В каждом разделе ВП рекомендуется записывать изделия по однородным группам, в пределах групп – в алфавитном порядке их наименований, в пределах каждого наименования – по типам и видам, в пределах типов и видов – в порядке возрастания размеров или других параметров.

4. В графе «**№ строки**» указывают порядковый номер строки. На каждом последующем листе нумерация начинается заново.

5. В графе «**Наименование**» указывают наименование и типоразмер изделия в соответствии с обозначением, установленным в документе на поставку. При записи изделий одинакового наименования, отличающихся размерами или другими данными, допускается наименование этих изделий записывать на каждом листе ВП один раз.

6. В графе «**Код продукции**» указывают код продукции по классификатору продукции страны – разработчика конструкторской документации. Коды покупных изделий по классификаторам продукции других стран не указывают.

В Российской Федерации в настоящее время действует Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности классификатор ОК 034–2014 (КПЕС 2008), также известный под сокращением ОКПД 2 [174]. Он был принят приказом Росстандарта от 31.01.2014 № 14-ст взамен ранее действовавшего классификатора ОК 005–93, известного под сокращением ОКП.

Например, использованные в варианте «П1» крепежные изделия имеют следующие коды продукции:

– винты ГОСТ 1491–80 и ГОСТ 17475–80 – 25.94.11.110;

– шайба ГОСТ 10450–78 – 25.94.12.110.

Цифры в коде 25.94.11.110 означают (слева направо):

– 25 – изделия металлические готовые, кроме машин и оборудования;

– 9 – изделия металлические готовые прочие;

– 4 и 1 – изделия крепежные и винты крепежные;

– 1 – изделия крепежные резьбовые из черных металлов, не включенные в другие группировки;

– 110 – болты и винты из черных металлов;

Последние четыре цифры в коде 25.94.12.110 означают (слева направо):

– 2 – изделия крепежные нерезьбовые из черных металлов, не включенные в другие группировки;

– 110 – шайбы из черных металлов.

7. В графе «**Обозначение документа на поставку**» указывают номер документа на поставку (например, техническое условие на изделие). При записи нескольких изделий, поставляемых по одному документу, допускается обозначение документа записывать на каждом листе ВП один раз.

8. В графе «**Поставщик**» указывают наименование (адрес) предприятия-поставщика. Графу заполняют по усмотрению разработчика. Например, здесь обычно записывают наименования фирм для импортных компонентов.

9. В графе «**Куда входит (обозначение)**» указывают обозначение спецификации изделия или его составных частей, в которые непосредственно входит записанное в ВП покупное изделие.

Для изделий, входящих непосредственно в изделие, на которое составляют ВП, эту графу допускается не заполнять, если ее заполняют для всех изделий, входящих в специфицированные составные части.

10. В графе «**Количество на изделие**» указывают количество записанных в ВП покупных изделий, входящих в одно изделие, а также в состав набора подборных частей.

11. В графе «**Количество в комплекты**» указывают количество покупных изделий, входящих в комплекты (монтажных частей, сменных частей, запасных частей, инструмента и принадлежностей, укладок, тары и пр.) или записанных в спецификациях изделия и его составных частей в разделе «Комплекты».

12. В графе «**Количество на регулир.**» указывают количество изделий, которое амортизируется при регулировке и испытании одного изделия, записанного в графе «Куда входит (обозначение)». Количество изделий, как правило, выражают десятичной дробью. Например, 0,2 означает, что для регулировки 10 изделий, на которые составляют ВП, требуется два изделия.

13. В графе «**Количество, всего**» указывают общее количество изделий, записанных в графах «Количество на изделие», «Количество в комплекты» и «Количество на регулир.».

Если записанное в ВП покупное изделие входит в изделие и в одну или несколько составных частей изделия, то в графе «Количество, всего» указывают под итоговой чертой общее количество покупных изделий (рис. П.3).

№ строки	Наименование	Куда входит (обозначение)	Количество			
			на изделие	в комплекты	на регулир.	Всего
1	Шайба DIN433 2,5	СПВГ.301243.501	8			8
2		СПВГ.301243.502	4			4
3		СПВГ.464349.304	22			22
4						34

Рис. П.3

14. В графе «**Примечание**» указывают дополнительные данные, например единицы измерения для изделий, измеряемых не в штуках.

15. При большом количестве разделов ВП допускается в начале первого (заглавного) листа в графе «Наименование» приводить перечень разделов данной ведомости с указанием в графе «Обозначение документа на поставку» номеров листов, на которых помещены эти разделы (рис. П.4).

№ строки	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	
1				
2	Устройства		Листы 1, 2	
3	Конденсаторы		Листы 2–7	
4	Микросхемы		Листы 8–12	

Рис. П.4

16. В ВП комплекса не перечисляют покупные изделия составных частей, на которые имеются свои ВП. В этом случае в конце ведомости дают ссылку на ВП входящих составных частей.

17. При применении в изделии импортных покупных изделий в графы ВП их вносят с теми обозначениями и наименованиями, которые содержатся в сопроводительной технической документации (документах на поставку), в графе «Обозначение документа на поставку» указывают обозначение сопроводительного технического документа (документа на поставку).

Допускается одновременно указывать аутентичные обозначения и наименования на русском языке.

П.2. Создание ВП

В данном приложении предлагается выполнить 8-й дополнительный этап проектирования, состоящий в разработке ВП на «модуль усилителя».

ВП будет оформлена в **Microsoft Word** на заранее подготовленной заготовке «**Ведомость ВП, вариант A.doc**» из папки **…\ИДРЭС\MSWord заготовки** (см. рис. 2.9).

Отличие данной заготовки от заготовки для перечня элементов (см. 9.2) только в форме заполняемой таблицы в рабочем поле листа и в формате используемых листов.

Для создания ВП следует выполнить следующее:

1. Открыть указанную выше заготовку.

2. Сохранить заготовку командой **Файл ⇒ Сохранить как** с расширением «.doc». Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01ВП - Модуль усилителя - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1**.

3. Войти в режим редактирования нижних колонтитулов п. 3 из 9.2 и заполнить без копирования графы рамки в соответствии с табл. П.1. Содержание остальных граф должно соответствовать данным табл. 9.1.

Пояснения к графам даны в табл. 3.1, на рис. 9.1 и на рис. 3.6, *б* и *в*.

Таблица П.1

Содержание граф рамки для ВП на «модуль усилителя», отличающихся от перечня элементов ПЭ3 «усилителя»

Номер графы	Содержание	Комментарий к заполнению
1	Модуль усилителя Ведомость покупных изделий	Наименование изделия определено в табл. 2.1. Наименование документа присутствует в используемой заготовке по умолчанию
2 (на первом и втором листе, и на ЛР)	УП1.00.01ВП	Обозначение документа указано для варианта «П1». Обозначение со второго листа при увеличении числа листов повторяется на каждом последующем
25	УП1.00.01	Обозначение спецификации, в которой записан КД, определено в табл. 2.1 и указано для варианта «П1»

4. Выйти из режима редактирования колонтитулов по п. 4 из 9.2.

5. Используя спецификации на «усилитель» и «модуль усилителя», в соответствии с информацией из П.1 заполнить графы таблицы из рабочего поля, кроме графы «**№ строки**», при этом необходимо обратить внимание на следующее:

– после каждого заголовка должна быть одна пустая строка;

– перед каждым заголовком должно быть не менее одной пустой строки;

– добавление новых строк осуществляется по п. 7 из 9.2;

– удаление лишних строк осуществляется по п. 8 из 9.2.

– если слово не помещается в ячейку, то необходимо либо перенести его часть в ячейку ниже, либо вписать в ячейку по п. 6 из 11.1.

6. Заполнить графу «**№ строки**».

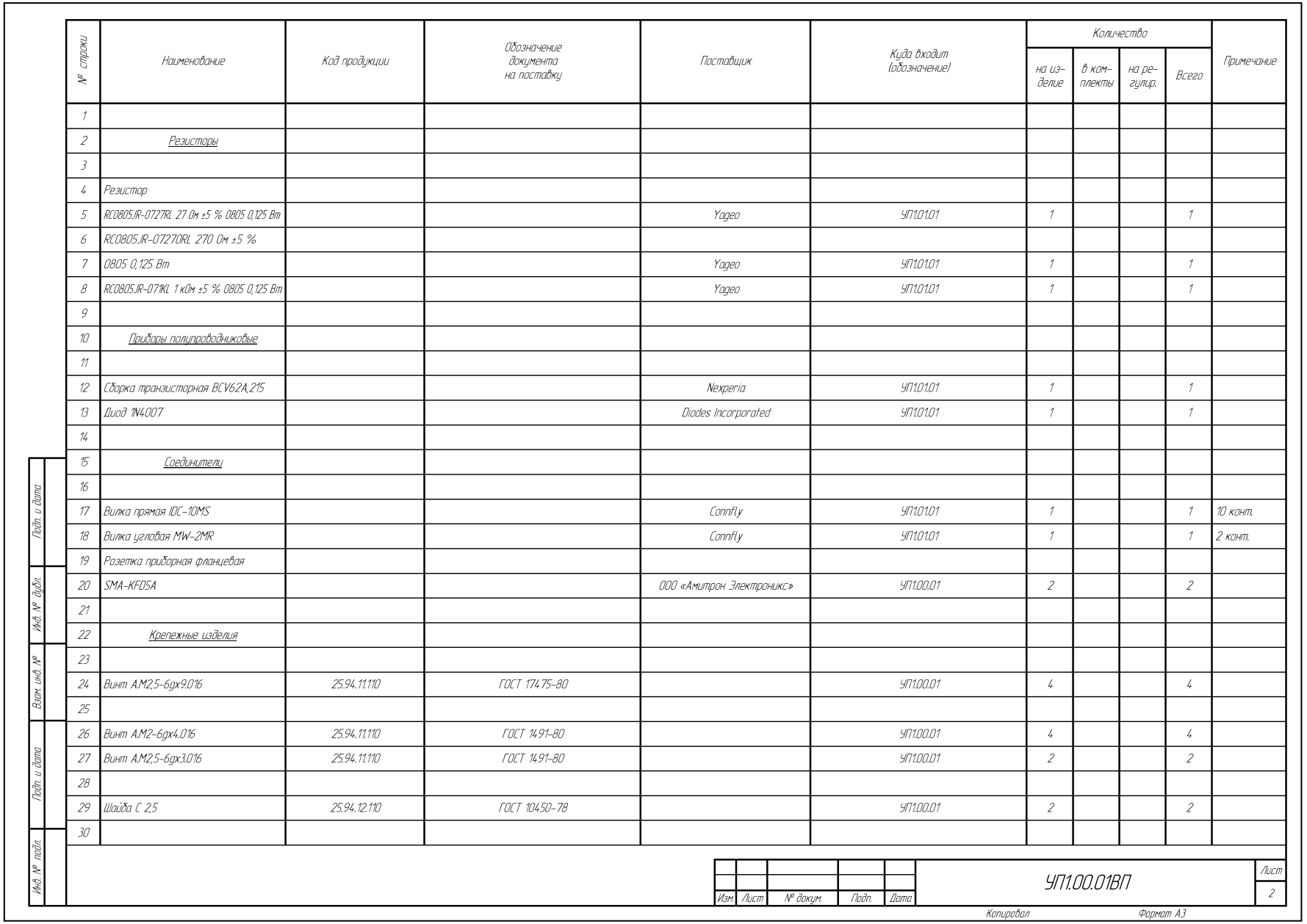
7. Если вся информация в ВП поместилась на двух первых листах, то в соответствии с п. 13 из 9.1 скрыть ЛР.

Для этого выполнить п. 9 из 9.2.

8. Сохранить изменения в ВП (**Ctrl+S**).

Результат в варианте «П1» показан на рис. П.5.

Рис. П.5 Начало (окончание см. на с. 1077)



№ строки	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	Поставщик	Куда входит (обозначение)	Количество				Примечание
						на изделие	в комплекты	на регулир.	Всего	
1										
2	Резисторы									
3										
4	Резистор									
5	RC0805JR-0727RL 27 Ом ±5 % 0805 0,125 Вт			Yageo	УП1.01.01	1			1	
6	RC0805JR-07270RL 270 Ом ±5 %									
7	0805 0,125 Вт			Yageo	УП1.01.01	1			1	
8	RC0805JR-071KL 1 кОм ±5 % 0805 0,125 Вт			Yageo	УП1.01.01	1			1	
9										
10	Приборы полупроводниковые									
11										
12	Сборка транзисторная BCV62A,215			Nexperia	УП1.01.01	1			1	
13	Диод 1N4007			Diodes Incorporated	УП1.01.01	1			1	
14										
15	Соединители									
16										
17	Вилка прямая IDC-10MS			Connfly	УП1.01.01	1			1	10 конт.
18	Вилка угловая MW-2MR			Connfly	УП1.01.01	1			1	2 конт.
19	Розетка приборная фланцевая									
20	SMA-KFD5A			ООО «Амитрон Электроникс»	УП1.00.01	2			2	
21										
22	Крепежные изделия									
23										
24	Винт А.М2,5-6дх9.016	25.94.11.110	ГОСТ 17475-80		УП1.00.01	4			4	
25										
26	Винт А.М2-6дх4.016	25.94.11.110	ГОСТ 1491-80		УП1.00.01	4			4	
27	Винт А.М2,5-6дх3.016	25.94.11.110	ГОСТ 1491-80		УП1.00.01	2			2	
28										
29	Шайба С 2,5	25.94.12.110	ГОСТ 10450-78		УП1.00.01	2			2	
30										

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата

УП1.00.01ВП

Лист 2

Копировал Формат А3

Рис. П.5 Окончание (начало см. на с. 1076)

9. Сохранить ВП в формате PDF по п. 11 из 9.2.

Имя файла в варианте «П1» – «**УП1.00.01ВП - Модуль усилителя - v0.1**», а путь сохранения – **…\ИДРЭС-П1_pdf**.

П.3. Содержание отчета

По 8-му дополнительному этапу проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести:

1. ВП на «модуль усилителя», распечатанную на отдельных листах.

2. Описание изменения (с поясняющим рисунком), которое потребовалось бы выполнить при включении ведомости покупных изделий «модуля усилителя» в комплект КД.

Р. Обозначения разработанных КД по основной структуре системы обозначения

Р.1. Общие сведения

При проектировании в данном учебном пособии был использован модифицированный объектно-ориентированный способ обозначения изделий и КД, что связано с некоторыми отмеченными в 2.3 упрощениями, которые он обеспечивает. Однако на многих предприятиях на стадии рабочей конструкторской документации в основном используется обезличенный способ, который до недавнего времени (по старой редакции ГОСТ 2.201) был единственно возможным.

В табл. Р.1 приведены возможные варианты обозначения основных КД изделий, разработанных в варианте «П1», по обезличенной способу со следующими предположениями:

– организацией-разработчиком является СПбГЭТУ «ЛЭТИ»;

– коды классификационной характеристики для деталей выбраны после их разработки, т. е. уже после того, как были определены значения параметров, влияющих на присвоение данных кодов;

– по каждому коду классификационной характеристики в организации уже было разработано некоторое количество изделий, например: для кода 741512 – 168 изделий, для кода 735214 – 86 изделий.

Таблица Р.1

Обозначения основных КД, принятые в учебном пособии, и варианты их обозначения по основной структуре системы обозначения

Наименование изделия по табл. 2.1	Обозначение основного КД	
	по табл. 2.1	по основной структуре системы обозначения
Модуль усилителя	УП1.00.01	СПВГ.468732.524
Основание	УП1.00.02	СПВГ.741512.169
Экран	УП1.00.03	СПВГ.735214.087
Усилитель	УП1.01.01	СПВГ.468732.523
Плата печатная	УП1.01.02	СПВГ.687252.523

В качестве примера в табл. Р.1 показано следующее:

– изделия с разными кодами классификационной характеристики могут иметь одинаковые порядковые регистрационные номера («усилитель» и ПП);

– изделия с разными наименованиями могут иметь одинаковые коды классификационной характеристики («усилитель» и «модуль усилителя»).

Обозначение неосновного КД изделия состоит из обозначения его основного КД и кода документа (см. рис. 2.2). Например, обозначение сборочного чертежа «усилителя» по основной структуре системы обозначения будет записано как СПВГ.468732.523СБ.

В табл. Р.2 дана расшифровка кодов классификационной характеристики их табл. Р.1.

Таблица Р.2

Расшифровка кодов классификационной характеристики

Код классификационной характеристики	Расшифровка
468732	Класс 46 – средства радиоэлектронные управления, связи, навигации и вычислительной техники. Подкласс 8 – составные части функциональные формирования и обработки сигналов, контроля, технической диагностики, сигнализации, защиты, отражатели защитные, управления, коммутации, сопряжения, образования видеосигнала, развертывающие, отклоняющие, фокусирующие, корректирующие, антенн, фидерного тракта, телеграфных, телефонных средств, усилители, генераторы, задержки электрического сигнала, фильтры. Группа 7 – усилители, генераторы. Средства задержки электрического сигнала. Подгруппа 3 – усилители непрерывных сигналов с частотой до 3 ГГц, кроме операционных. Вид 2 – электронные с диапазонами частот свыше 3 МГц до 3 ГГц
687252	См. 2.3
735214	Класс 73 – «детали – не тела вращения» корпусные, опорные, емкостные. Подкласс 5 – емкостные (резервуары, коробки, футляры, кожухи, капоты, крышки, поддоны, донья, укладки и др.). Группа 2 – кроме изогнутых из листов, полос и лент. Подгруппа 1 – из твердых материалов с наружной поверхностью призматической. Вид 4 – кроме откидных без патрубков с отверстиями
741512	Класс 74 – «детали – не тела вращения» плоскостные; рычажные, грузовые, тяговые; аэрогидродинамические; изогнутые из листов, полос и лент; профильные; трубы. Подкласс 1 – плоскостные с параллельными основными плоскостями. Группа 5 – с основными плоскостями ступенчатыми (с одной стороны). Подгруппа 1 – с плоскими выступами, без пазов на основных плоскостях, с контуром прямолинейным с L до 3В включительно. Вид 2 – без пазов на гранях, с отверстиями

Коды классификационной характеристики в вариантах задания могут отличаться от приведенных в табл. Р.1 для следующих изделий:

– ПП (код вместо 687252 может быть 687253, где вид 3 означает, что ширина ПП находится в диапазоне «свыше 50 до 125 мм включительно»);

– «усилитель» и «модуль усилителя» (код вместо 468732 может быть 468719, где подгруппа 1 означает «усилители сигналов с частотой от 3 ГГц», а вид 9 – «прочие»).

Комментарии к табл. Р.2 по 73-му и 74-му классам:

– ***«деталь – тело вращения»*** – деталь, наружной поверхностью которой является поверхность вращения (рис. Р.1, *а*). В том числе – детали с элементами не тел вращения любой длины, вписывающимися в окружность наибольшего диаметра детали (рис. Р.1, *б*).

На рис. Р.1, *б* диагоналями со сплошными тонкими линиями обозначена плоская поверхность предмета в соответствии с ГОСТ 2.305–2008;

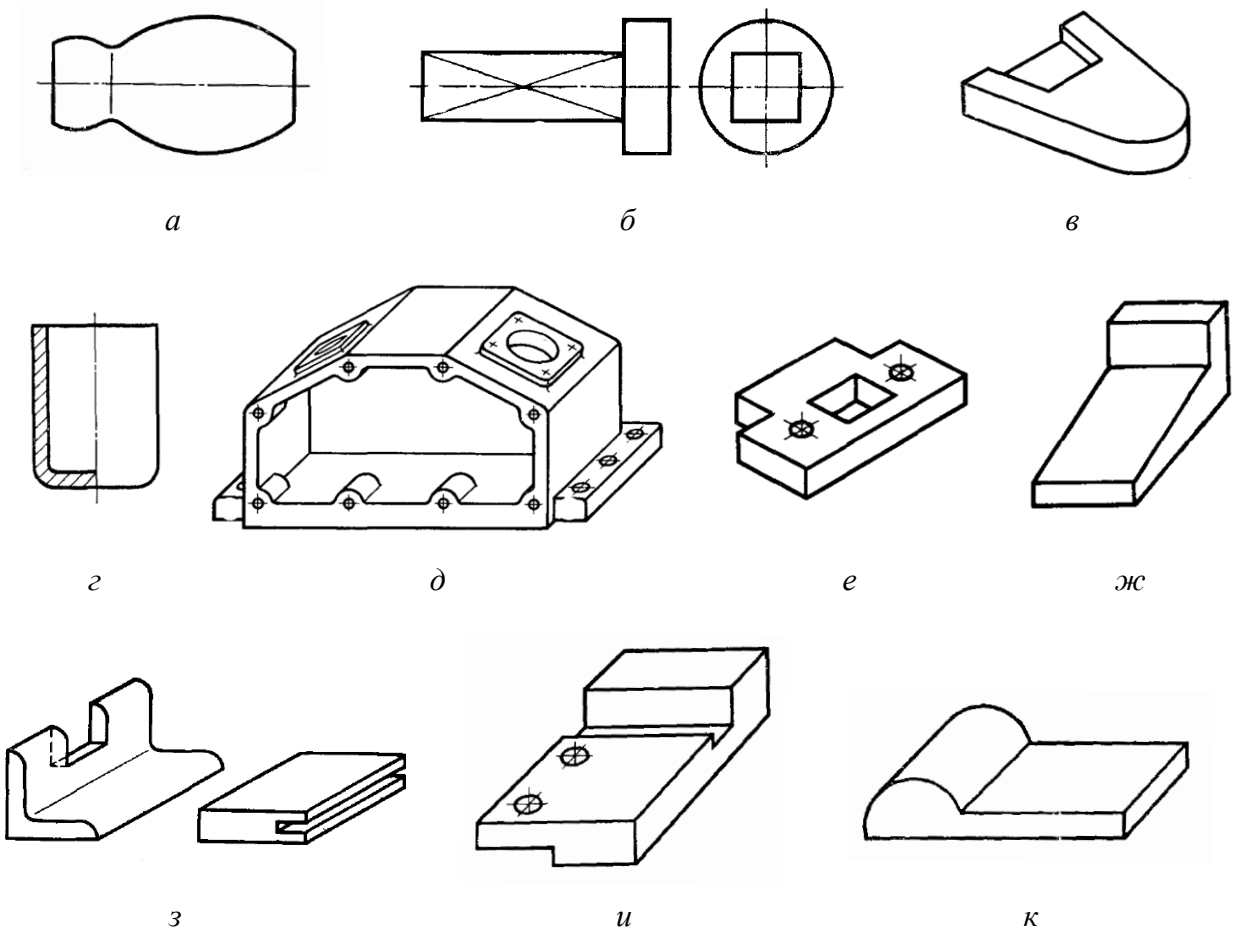


Рис. Р.1 [175]

– ***поверхность вращения*** – поверхность, образованная вращением линии вокруг оси с постоянным радиусом вращения; может быть цилиндриче-

ской, конической, криволинейной и комбинированной, а также наружной и внутренней;

– ***паз*** – выемка (углубление) в детали, являющаяся конструктивным элементом, расположенным на боковой поверхности или на торце.

Паз может быть открытым с одной (см. рис. Р.1, *в*) или двух противоположных сторон (см. рис. Р.1, *з*) или закрытым. Углубление, круглое в поперечном сечении, классифицируется как отверстие вне оси детали;

– ***деталь емкостная*** – деталь коробчатой формы, имеющая в одном или нескольких сечениях замкнутый контур (рис. Р.1, *г*);

– ***деталь корпусная с призматической наружной поверхностью*** – деталь, наружная поверхность которой образована плоскими поверхностями, образующими трехгранные углы (рис. Р.1, *д*);

– ***деталь плоскостная*** – деталь, форма наружной поверхности которой образована основными плоскостями и другими поверхностями любой формы (рис. Р.1, *в*, *е*, *ж*, *и*, *к*);

– ***основные плоскости*** – две противоположные наибольшие по площади плоские поверхности детали. Если все поверхности детали равны по площади, то ими считаются плоскости с наиболее сложным контуром в плане;

– ***деталь плоскостная ступенчатая*** – деталь с основными плоскостями, на которых имеются выступы, открытые с трех или четырех сторон. При этом под выступами понимается часть детали, выступающая от основной плоскости и образующая ступень (рис. Р.1, *ж*, *и*, *к*);

– ***контур прямолинейный*** – контур детали, образованный прямыми линиями (рис. Р.1, *е*, *ж*, *и*, *к*). Фаски или скругления кромок при этом не учитываются;

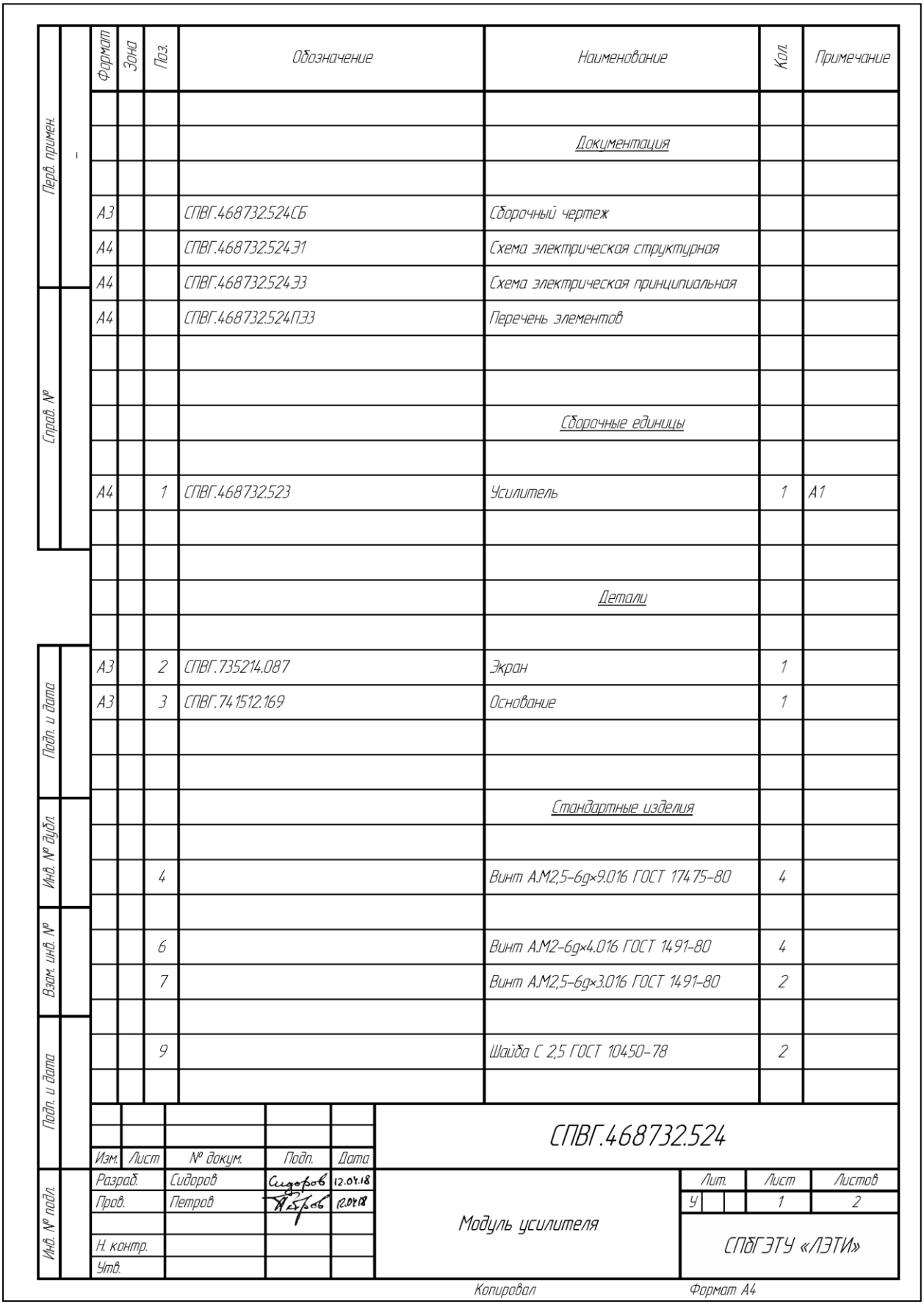
– при определении длины (*L*), ширины (*B*) и высоты (*H*) детали исходят из правила, что $L > B > H$.

Р.2. Замена обозначений разработанных КД

В данном приложении предлагается выполнить 9-й дополнительный этап проектирования, заключающийся в замене обозначений всех разработанных КД на указанные в Р.1.

Необходимо обратить внимание на следующее:

– в порядковых регистрационных номерах первые две цифры должны быть номером варианта задания, а третья – произвольная с учетом информации из данного приложения и 2.3;



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
А3			СПВГ.468732.524СБ	Сборочный чертеж		
А4			СПВГ.468732.524Э1	Схема электрическая структурная		
А4			СПВГ.468732.524Э3	Схема электрическая принципиальная		
А4			СПВГ.468732.524ПЭ3	Перечень элементов		
				Сборочные единицы		
А4		1	СПВГ.468732.523	Усилитель	1	А1
				Детали		
А3		2	СПВГ.735214.087	Экран	1	
А3		3	СПВГ.741512.169	Основание	1	
				Стандартные изделия		
		4		Винт А.М2,5–6g×9.016 ГОСТ 17475–80	4	
		6		Винт А.М2–6g×4.016 ГОСТ 1491–80	4	
		7		Винт А.М2,5–6g×3.016 ГОСТ 1491–80	2	
		9		Шайба С 2,5 ГОСТ 10450–78	2	

Перв. примен. -

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Сидоров	Сидоров	12.04.18
Пров.		Петров	Петров	12.04.18
Н. контр.				
Утв.				

СПВГ.468732.524

Модуль усилителя

Лит.	Лист	Листов
У	1	2

СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

Копировал Формат А4

Рис. Р.2 Начало (окончание см. на с. 1084)

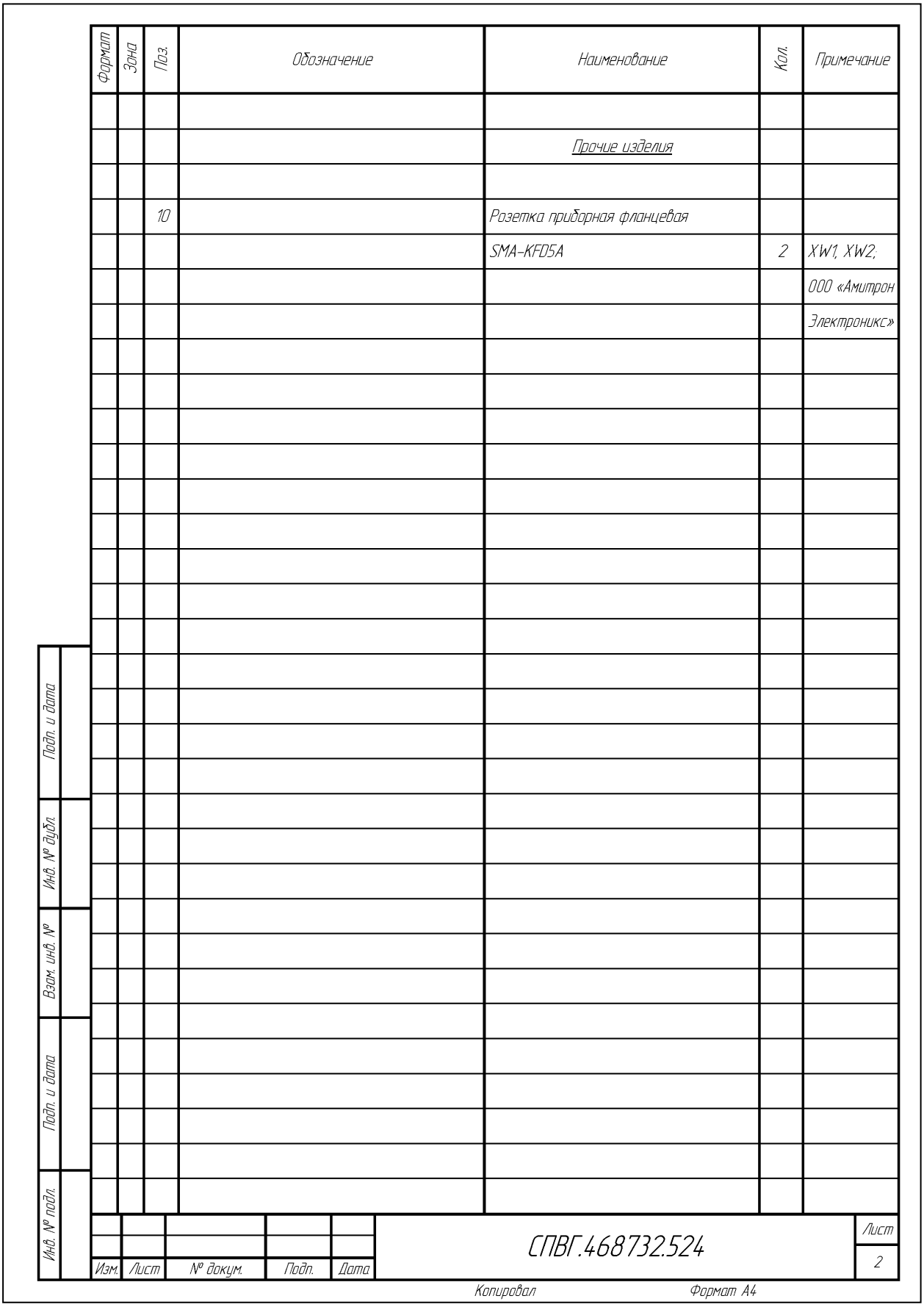


Рис. Р.2 Окончание (начало см. на с. 1083)

– в проекте со схемой Э3 «усилителя» обозначение КД следует изменить на новое в значении параметра, созданного в п. 5.2 из 8.2;

– допускается все необходимые изменения аккуратно внести вручную в распечатанные версии КД, скрыв ненужные надписи канцелярскими корректирующими средствами;

– корректировки могут потребоваться не только в графах рамки.

В качестве примера на рис. Р.2 показана спецификация на «модуль усилителя» (для сравнения см. рис. 22.3), в которой произведены следующие корректировки:

– в графе 2 основной надписи на 1-ом и 2-ом листах заменено обозначение КД;

– заменены обозначения семи КД в столбце «Обозначение»;

– в разделе «Детали» изделия поменяны местами (см. п. 1.5 из 18.1).

Р.3. Содержание отчета

По 9-му дополнительному этапу проектирования (см. табл. 2.3) в отчете необходимо привести:

1. Последние версии КД с корректировками, возникшими при замене обозначений.

2. Перечень всех произведенных в КД изменений, оформленный в виде таблицы по примеру табл. М.5.

3. Расшифровку использованных кодов классификационной характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53429–2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции. М.: Стандартинформ, 2010.

2. ГОСТ 2.101–2016. ЕСКД. Виды изделий. М.: Стандартинформ, 2018.

3. ГОСТ 2.103–2013. ЕСКД. Стадии разработки. М.: Стандартинформ, 2015.

4. ГОСТ Р 2.201–2023. ЕСКД. Обозначение изделий и конструкторских документов. М.: Российский институт стандартизации, 2024.

5. ОКПО. Общероссийский классификатор предприятий и организаций ОК 007–93. URL: https://classinform.ru/okpo.html (дата обращения: 02.02.2025).

6. Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов. URL: https://classinform.ru/ok-eskd.html (дата обращения: 02.02.2025).

7. ГОСТ Р 2.102–2023. ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов. М.: Российский институт стандартизации, 2023.

8. ГОСТ 2.113–75. ЕСКД. Групповые и базовые конструкторские документы. М.: Стандартинформ, 2007.

9. ГОСТ 2.315–68. ЕСКД. Изображения упрощенные и условные крепежных деталей. М.: Стандартинформ, 2007.

10. ГОСТ 2.701–2008. ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. М.: Стандартинформ, 2009.

11. ГОСТ 2.702–2011. ЕСКД. Правила выполнения электрических схем. М.: Стандартинформ, 2011.

12. ГОСТ 2.304–81. ЕСКД. Шрифты чертежные. М.: Стандартинформ, 2007.

13. ГОСТ 2.301–68. ЕСКД. Форматы. М.: Стандартинформ, 2007.

14. ГОСТ Р 2.104–2023. ЕСКД. Основные надписи. М.: Российский институт стандартизации, 2024.

15. ГОСТ Р 2.109–2023. ЕСКД. Основные требования к чертежам. М.: Российский институт стандартизации, 2024.

16. ГОСТ Р 2.316–2023. ЕСКД. Надписи, ТТ и таблицы в графических документах. Правила выполнения. М.: Российский институт стандартизации, 2023.

17. ГОСТ 2.737–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства связи. М.: Стандартинформ, 2010.

18. ГОСТ 2.721–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения. М.: Стандартинформ, 2008.

19. ГОСТ 2.303–68. ЕСКД. Линии. М.: Стандартинформ, 2007.

20. Кауфман М., Сидман А. Практическое руководство по расчетам схем в электронике: Справ. в 2 т. Т. 2: Пер. с англ./ Под ред. Ф. Н. Покровского. –М.: Энергоатомиздат, 1993.

21. Малорацкий Л. Г., Явич Л. Р. Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях. М., Советское радио, 1972.

22. Проектирование полосковых устройств СВЧ: учеб. пособие / Ульяновск, 2001.

23. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. –М.: Радио и связь, 1990.

24. Халяпин Д. Б. Коаксиальные и полосковые фильтры СВЧ. М.: Связь, 1969.

25. Матей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 1: Пер. с англ./ Под общ. ред. Л. В. Алексеева, Ф. В. Кушнира. –М.: Связь, 1971.

26. Техническая электродинамика / Пименов Ю. В., Вольман В. И., Муравцов А. Д. Под ред. Ю. В. Пименова: Учеб. пособие для вузов. –М.: Радио и связь, 2000.

27. Справочник по элементам полосковой техники / Мазепова О. И., Мещанов В. П., Прохорова Н. И., Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р. / Под ред. А. Л. Фельдштейна. –М.: Связь, 1979.

28. Матей Д. Л., Янг Л., Джонс Е. М. Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 2: Пер. с англ./ Под общ. ред. Л. В. Алексеева, Ф. В. Кушнира. –М.: Связь, 1972.

29. Дмитриев Е. Е. Основы моделирования в Microwave Office 2009. URL: http://www.eurointech.ru/index.sema?a=pages&id=83 (дата обращения: 17.01.2016).

30. Дмитриев Е. Е. Microwave Office 2002. Переменные и уравнения. URL: http://www.eurointech.ru/index.sema?a=pages&id=83 (дата обращения: 17.01.2016).

31. ГОСТ 13.1.002–2003. Репрография. Микрография. Документы для микрофильмирования. Общие требования и нормы. М.: Стандартинформ, 2006.

32. ГОСТ 2.722–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические. М.: Стандартинформ, 2008.

33. ГОСТ 2.723–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители. М.: Стандартинформ, 2010.

34. ГОСТ 2.728–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы. М.: Стандартинформ, 2010.

35. ГОСТ 2.730–73. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые. М.: Стандартинформ, 2010.

36. ГОСТ 2.734–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Линии СВЧ и их элементы. М.: Стандартинформ, 2010.

37. ГОСТ 2.743–91. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники. М.: Издательство стандартов, 2003.

38. ГОСТ 2.755–87. ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения. М.: Стандартинформ, 2004.

39. ГОСТ 2.759–82. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы аналоговой техники. М.: Стандартинформ, 2004.

40. ГОСТ 2.710–81. ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. М.: Стандартинформ, 2008.

41. Автоматизированное проектирование в среде PCAD-2000: Метод. указ. / Сост. Н. А. Кальтюков. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005.

42. Лопаткин А. В. Проектирование печатных плат в системе P-CAD 2001. Учеб. пособие для практич. занятий. – Нижний Новгород, НГТУ, 2002.

43. Кудрявцев Е. М. КОМПАС-3D V10. Максимально полное руководство. В 2-х томах. Т. 1. М.: ДМК Пресс, 2008.

44. ГОСТ 2.305–2008. ЕСКД. Изображения – виды, разрезы, сечения. М.: Стандартинформ, 2009.

45. ГОСТ 2.307–2011. ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений. М.: Стандартинформ, 2012.

46. ГОСТ Р 2.308–2023. ЕСКД. Допуски формы и расположения поверхностей. Правила выполнения М.: Российский институт стандартизации, 2023.

47. ГОСТ 2.302–68. ЕСКД. Масштабы. М.: Стандартинформ, 2007.

48. ГОСТ 2.004–88. ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ. М.: Стандартинформ, 2007.

49. ГОСТ 2.313–82. ЕСКД. Условные изображения и обозначения неразъемных соединений. М.: Стандартинформ, 2007.

50. Якубенко А. ЕСКД в Altium Designer. Часть 2. Схемы // CADmaster: сетевой журнал. 2014. № 6. URL: https://www.cadmaster.ru/magazin/numbers/cadmaster-2014.6-79.html (дата обращения: 01.09.2019).

51. ГОСТ 2.501–2013. ЕСКД. Правила учета и хранения. М.: Стандартинформ, 2014.

52. ГОСТ 2.704–2011. ЕСКД. Правила выполнения гидравлических и пневматических схем. М.: Стандартинформ, 2012.

53. ГОСТ Р 2.106–2019. ЕСКД. Текстовые документы. М.: Стандартинформ, 2019.

54. ГОСТ Р 2.105–2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. М.: Стандартинформ, 2021.

55. ГОСТ Р 2.503–2023. ЕСКД. Правила внесения изменений. М.: Российский институт стандартизации, 2024.

56. ГОСТ 2.503–74. ЕСКД. Правила внесения изменений. М.: Изд-во стандартов, 1987.

57. ГОСТ 11284–75. Отверстия сквозные под крепежные детали. Размеры. М.: Стандартинформ, 2006.

58. ГОСТ 10450–78. Шайбы уменьшенные. Классы точности А и С. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2006.

59. Разработка конструкции печатной платы. URL: http://mylektsii.ru/1-77678.html (дата обращения: 28.01.2016).

60. Компоновка печатной платы. URL: http://www.ordinarytech.ru/erdets-962-1.html (дата обращения: 28.01.2016).

61. Начальные сведения по ВЧ-дизайну. URL: http://www.elart.narod.ru/articles/article20/article20.htm (дата обращения: 01.02.2016).

62. Техника разводки печатных плат. URL: http://www.elart.narod.ru/articles/article11/article11.htm (дата обращения: 01.02.2016).

63. Заземление в системах со смешанными сигналами. URL: http://www.elart.narod.ru/articles/article29/article29.htm (дата обращения: 01.02.2016).

64. РД 107.460640.020–88. Отраслевой руководящий документ. Системы автоматизированного проектирования. Комплектность конструкторских и технологических документов на ПП. М.: Изд-во стандартов, 1989.

65. ГОСТ 28388–89. Системы обработки информации. Документы на магнитных носителях данных. Порядок выполнения и обращения. М.: Изд-во стандартов, 2004.

66. ГОСТ 12876–67. Поверхности опорные под крепежные детали. Размеры. М.: Стандартинформ, 2006.

67. ГОСТ 19257–73. Отверстия под нарезание метрической резьбы. Диаметры. М.: Стандартинформ, 2002.

68. ГОСТ 26.008–85. Шрифты для надписей, наносимых методом гравирования. Исполнительные размеры. М.: Стандартинформ, 2008.

69. ГОСТ 26.020–80. Шрифты для средств измерений и автоматизации. Начертания и основные размеры. М.: Стандартинформ, 2008.

70. ГОСТ 9.005–72. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, металлические и неметаллические неорганические покрытия. Допустимые и недопустимые контакты с металлами и неметаллами. М.: Стандартинформ, 2008.

71. ГОСТ 9.303–84. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования к выбору. М.: Стандартинформ, 2008.

72. ГОСТ 15150–69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. М.: Стандартинформ, 2010.

73. ГОСТ 2.417–91. ЕСКД. Платы печатные. Правила выполнения чертежей. М.: Стандартинформ, 2011.

74. ГОСТ Р 51040–97. Платы печатные. Шаги координатной сетки. М.: Изд-во стандартов, 1997.

75. ОСТ4 ГО.010.011. Отраслевой стандарт. Платы печатные. Конструирование. М.: Изд-во стандартов, 1972.

76. ГОСТ Р 53386–2009. Платы печатные. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2009.

77. ГОСТ 23752–79. Платы печатные. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1979.

78. ОСТ4 ГО.070.014. Детали радиоэлектронной аппаратуры. Общие технические условия.

79. ОСТ1 90210–85. Специальные маркировочные краски для приборов и электроагрегатов. Общие ТТ. Выбор маркировочных красок.

80. ГОСТ 2.314–68. ЕСКД. Указания на чертежах о маркировании и клеймении изделий. М.: Стандартинформ, 2007.

81. ГОСТ 2.413–72. ЕСКД. Правила выполнения конструкторской документации изделий, изготовляемых с применением электрического монтажа. М.: Стандартинформ, 2011.

82. ОСТ4.000.030–85. Конструкторская документация. Выполнение спецификаций.

83. ГОСТ 2.414–75. ЕСКД. Правила выполнения чертежей жгутов, кабелей и проводов. М.: Стандартинформ, 2011.

84. Монтаж печатных плат. URL: http://платы.рф/?pcb-mounting,15 (дата обращения: 07.03.2016).

85. Сборка и монтаж печатных плат. URL: http://aviasystem.spb.ru/services/sborka-i-montazh-pechatnyix-plat.html (дата обращения: 07.03.2016).

86. Поверхностный монтаж, применение ЧИП (SMD) компонентов. URL: http://cxem.net/beginner/beginner95.php (дата обращения: 07.03.2016).

87. Пайка волной припоя – основные стадии технологического процесса. URL: http://www.blokhol.com/catalog/catalog1/catalog13/catalog132/catalog1325 (дата обращения: 07.03.2016).

88. Пивненко В. Пайка волной: ключевые параметры дизайна печатных узлов. URL: http://ua-ekran.com/docs/Wave_DFM.pdf (дата обращения: 07.03.2016).

89. ГОСТ 21930–76. Припои оловянно-свинцовые в чушках. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2008.

90. ГОСТ 29137–91. Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования. М.: Изд-во стандартов, 2004.

91. ГОСТ 25347–82. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки. М.: Изд-во стандартов, 2004.

92. ОСТ4 ГО.070.015. Сборочные единицы радиоэлектронной аппаратуры. Общие технические условия.

93. ГОСТ 2.318–81. ЕСКД. Правила упрощенного нанесения размеров отверстий. М.: Стандартинформ, 2007.

94. ГОСТ 21631–2023. Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. М.: Российский институт стандартизации, 2024.

95. ГОСТ 2.311–68. ЕСКД. Изображение резьбы. М.: Стандартинформ, 2007.

96. ОСТ 107.460091.014–2004. Соединения резьбовые. Способы и виды предохранения от самоотвинчивания. Технические требования.

97. Денисенко Д. В., Радченко В. В. Исследование эффективности численных методов и программ компьютерного моделирования в процессе проектирования микрополосковых фильтров СВЧ // Журнал радиоэлектроники: электронный журн. 2014. № 7. URL: http://jre.cplire.ru/mac/jul14/7/text.html (дата обращения: 24.08.2018).

98. РД 50–708–91. Инструкция. Платы печатные. Требования к конструированию. М.: Изд-во стандартов, 1992.

99. Воронина О. А., Лобанова В. А. Технология производства электронных средств: учеб. пособие. Орел: ОГУ имени Тургенева И. С., 2016.

100. Материалы для печатных плат. URL: http://www.pcbtech.ru/pages/view_page/116 (дата обращения: 15.01.2016).

101. Ушаков Н. Н. Технология элементов вычислительных машин. Учебник для втузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1976. 413 с.

102. Буловский П. И., Миронов В. М. Технология радиоэлектронного аппаратостроения. Учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений. М.: Энергия, 1971. 344 с.

103. Срочное производство печатных плат. URL: http://pcblab.ru (дата обращения: 16.01.2016).

104. Немного о КТР и температуре стеклования. URL: https://sepco.ru/pcb-quality/koeffitsient-teplovogo-rasshireniya-i-temperatura-steklovaniya.html (дата обращения: 30.01.2022).

105. Финишное покрытие печатных плат. URL: http://www.pselectro.ru/pokrytija_pechatnyh_plat (дата обращения: 15.01.2016).

106. Финишные покрытия печатных плат. URL: http://www.elinform.ru/articles_68.htm (дата обращения: 15.01.2016).

107. Бегер Е. Особенности проектирования и контроля качества паяльной маски // Печатный монтаж: сетевой журнал. 2009. №2-3. URL: http://www.circuitry.ru/journal/article/2227 (дата обращения: 16.01.2016).

108. Технологические параметры многослойных печатных плат и критерии их выбора. URL: http://www.pcbtech.ru/pages/view_page/102 (дата обращения: 16.01.2016).

109. ГОСТ Р 56251–2014. Платы печатные. Классификация дефектов. М.: Стандартинформ, 2014.

110. Скрайбирование печатных плат. URL: http://www.pselectro.ru/article/5/56 (дата обращения: 16.01.2016).

111. ГОСТ 18238–72. Линии передачи сверхвысоких частот. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2005.

112. ГОСТ 21702–76. Устройства СВЧ. Полосковые линии. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1976.

113. ГОСТ Р 52002–2003. Электротехника. Термины и определения основных понятий. М.: Госстандарт России, 2003.

114. Резисторы. URL: http://wiki.amperka.ru/схемотехника:резисторы (дата обращения: 23.01.2016).

115. Резисторы поверхностного монтажа. URL: http://digteh.ru/PCB/R (дата обращения: 23.01.2016).

116. ГОСТ 28884–90. Ряды предпочтительных значений для резисторов и конденсаторов. М.: Стандартинформ, 2006.

117. Конденсаторы, свойства конденсатора, обозначение конденсаторов на схемах, основные параметры. URL: http://ur4nww.qrz.ru/discovery/b3.htm (дата обращения: 24.01.2016).

118. Конденсаторы поверхностного монтажа. URL: http://digteh.ru/PCB/C (дата обращения: 24.01.2016).

119. Танталовые конденсаторы: особенности применения. URL: http://www.compel.ru/lib/articles/tantalovyie-kondensatoryi-osobennosti-primeneniya (дата обращения: 24.01.2016).

120. Конденсаторы. URL: http://wiki.amperka.ru (дата обращения: 24.01.2016).

121. Чанов Л. Конденсаторы. Так ли все просто? URL: http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/acp/343/doc/532 (дата обращения: 24.01.2016).

122. Гончаренко И. Блокировочные конденсаторы в цепях питания. URL: http://www.radioradar.net/hand_book/documentation/blocking_capacitors_power_circuits.html (дата обращения: 24.08.2018).

123. Частотные характеристики пассивных компонентов. URL: http://portal-ed.ru/index.php/proektirovanie-plat/100-chastotnye-kharakteristiki-passivnykh-komponentov (дата обращения: 24.01.2016).

124. ГОСТ Р 57436–2017. Приборы полупроводниковые. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2018.

125. Системотехника и мехатроника технологических машин и оборудования: Монография / В. В. Сторожев, Н. А. Феоктистов; под ред. д.т.н., профессора Феоктистова Н. А. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2015.

126. Поляков А. М. Разгаданный полупроводник. – М.: Просвещение, 1981.

127. Полупроводниковые диоды: назначение, классификация, маркировка и обозначение в схемах. URL: http://www.club155.ru/diod-types-classify (дата обращения: 24.01.2016).

128. ГОСТ 25529–82. Диоды полупроводниковые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров. М.: Изд-во стандартов, 1986.

129. Параметры математической модели pn – перехода. URL: http://life-prog.ru/2_59259_parametri-matematicheskoy-modeli-pn--perehoda.html (дата обращения: 15.12.2017).

130. Алгоритм определения основных параметров математической модели диода. URL: https://life-prog.ru/2_59260_algoritm-opredeleniya-osnovnih-parametrov-matematicheskoy-modeli-dioda.html (дата обращения: 15.12.2017).

131. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк. 1991.

132. Диод Шоттки. URL: http://www.gamesdraw.ru/?page_id=314 (дата обращения: 12.09.2017).

133. Простые стабилизаторы напряжения и их расчет. URL: http://www.meanders.ru/stabilizator.shtml (дата обращения: 25.01.2016).

134. Параметрические стабилизаторы напряжения. Расчет простейшего параметрического стабилизатора на стабилитроне. URL: http://www.radiohlam.ru/teory/paramstab.htm (дата обращения: 25.01.2016).

135. Светодиоды: устройство, принцип работы, электрические характеристики. URL: http://supply.in.ua/osveschenie/svetodiod.html (дата обращения: 25.01.2016).

136. Биполярные транзисторы. URL: http://www.webpoliteh.ru/4-5-bipolyarnye-tranzistory.html (дата обращения: 14.12.2017).

137. Структура и основные режимы работы биполярных транзисторов. URL: http://helpiks.org/6-15104.html (дата обращения: 14.12.2017).

138. Павлов В. Н, Ногин В. Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств: Учебник для вузов – 2-е изд., исправ. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001.

139. Транзистор полевой. URL: https://www.macmachine.ru/blog/tranzistor_polevoj.html (дата обращения: 29.09.2017).

140. ГОСТ Р 57435–2017. Микросхемы интегральные. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2017.

141. Inner Structure. URL: http://www.njr.com/semicon/package/index.html (дата обращения: 25.01.2016).

142. Основные типы корпусов для полупроводниковых приборов и микросхем силовой электроники. URL: http://nauchebe.net/2015/05/osnovnye-tipy-korpusov-dlya-poluprovodnikovyx-priborov-i-mikrosxem-silovoj-elektroniki (дата обращения: 25.01.2016).

143. Программа инженерного расчета температуры перегрева кристалла электрорадиокомпонента и его теплоотвода / Горячев Н. В., Лысенко А. В., Граб И. Д., Юрков Н. К. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/programma-inzhenernogo-raschyota-temperatury-peregreva-kristalla-elektroradiokomponenta-i-ego-teplootvoda-1 (дата обращения: 01.10.2017).

144. TR0110 Query Language Reference. URL: http://valhalla.altium.com/Learning-Guides/TR0110%20Query%20Language%20Reference.pdf (дата обращения: 02.09.2019).

145. IPC-7351. Generic Requirements for Surface Mount Design and Land Pattern Standard. February 2005.

146. ГОСТ 25346–89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений. М.: Изд-во стандартов, 2001.

147. ГОСТ 30893.1–2002. Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками. М.: Изд-во стандартов, 2003.

148. ГОСТ 25348–82. Единая система допусков и посадок. Ряды допусков, основных отклонений и поля допусков для размеров свыше 3150 мм. М.: Изд-во стандартов, 1982.

149. ГОСТ 24642–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2002.

150. ГОСТ 24643–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. М.: Изд-во стандартов, 2004.

151. ГОСТ 30893.2–2002. Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально. М.: Изд-во стандартов, 2003.

152. ГОСТ Р 53442–2015. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения. М.: Стандартинформ, 2016.

153. Костенко Е. Слесарное дело: Практическое пособие для слесаря. URL: http://www.e-reading.club/bookreader.php/129625 (дата обращения: 28.02.2016).

154. Шероховатость поверхности при некоторых видах обработки. URL: http://www.propro.ru/graphbook/eskd/eskd/gost/2_309/003.htm (дата обращения: 28.02.2016).

155. ГОСТ 14140–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей. М.: Изд-во стандартов, 1982.

156. Палей М. А., Романов А. Б., Брагинский В. А. Допуски и посадки: Справочник: В 2 ч. Ч. 1. – 8-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2001.

157. ГОСТ Р 53089–2008. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Установление позиционных допусков. М.: Стандартинформ, 2009.

158. ГОСТ Р 50056–92. Основные нормы взаимозаменяемости. Зависимые допуски формы, расположения и координирующих размеров. Основные положения по применению. М.: Изд-во стандартов, 1992.

159. ГОСТ Р 53090–2008. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Требования максимума материала, минимума материала и взаимодействия. М.: Стандартинформ, 2009.

160. ГОСТ 25142–82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1982.

161. Рекомендации по выбору параметров шероховатости поверхностей деталей. URL: http://mydocx.ru/9-9982.html (дата обращения: 28.02.2016).

162. ГОСТ 2.309–73. ЕСКД. Обозначения шероховатости поверхностей. М.: Стандартинформ, 2007.

163. Бельчиков С. Коэффициент шума. Теория и практика измерений. URL: http://www.kit-e.ru/articles/measure/2008_4_196.php (дата обращения: 20.06.2018).

164. Keysight Technologies. Основы измерения коэффициента шума в радиочастотном и микроволновом диапазонах. Заметки по применению. URL: http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5952-8255RURU.pdf (дата обращения: 20.06.2018).

165. Усатенко С. Т., Каченюк Т. К., Терехова М. В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. – М.: Издательство стандартов, 1989.

166. Александров К. К., Кузьмина Е. Г. Электротехнические чертежи и схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

167. Якубенко А. Формат Gerber. Общий обзор. URL: http://sapr-journal.ru/stati/format-gerber-obshhij-obzor (дата обращения: 01.02.2016).

168. Топоров С. Вы говорите на Gerber? Как экспортировать Gerber- и Excellon-файлы // Печатный монтаж. 2010. № 2. С. 8–13.

169. The Gerber Format Specification. Revision 2017.11. URL: https://www.ucamco.com/files/downloads/file/81/the_gerber_file_format_specification.pdf (дата обращения: 29.12.2017).

170. Скарпино М. Разработка печатных плат в EAGLE / пер. с анг. А. Э. Бряндинского. – М.: ДМК Пресс, 2018.

171. Единая система конструкторской документации: Справочное пособие / С. С. Борушек, А. А. Волков, Б. Я. Кабаков и др. М.: Издательство стандартов, 1986.

172. ГОСТ 2.603–68. ЕСКД. Внесение изменений в эксплуатационную и ремонтную документацию. М.: Стандартинформ, 2008.

173. ГОСТ 2.321–84. ЕСКД. Обозначения буквенные. М.: Стандартинформ, 2007.

174. Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности. URL: https://classinform.ru/okpd2.html (дата обращения: 02.02.2025).

175. ОК 012-93. Классификатор ЕСКД. Классы 71, 72, 73, 74, 75, 76. Приложение. Алфавитно-предметный указатель. Термины и толкования. Перечень сокращений слов. Условные обозначения. М.: Издательство стандартов, 1986.

Содержание

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 3
ПРЕДИСЛОВИЕ 4
1. ЗАДАНИЕ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ 7
1.1. Цели и задачи проектирования 7
1.2. Содержание задания на проектирование 7
1.3. Содержание отчета 12
2. ПЕРЕЧЕНЬ КД И ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ 13
2.1. Виды изделий 13
2.2. Стадии разработки изделий 15
2.3. Обозначение изделий и КД 16
2.4. Комплектность КД 21
2.5. Перечень разрабатываемых КД 22
2.6. Средства и последовательность проектирования 25
2.7. Файловая структура проекта 39
2.8. Содержание отчета 44
3. СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРНАЯ 45
3.1. Общие сведения 45
3.2. Подготовка к созданию схемы 46
3.2.1. Начальное окно Altium Designer 46
3.2.2. Предварительная настройка Altium Designer 48
3.2.3. Подключение рамок и заполнение полей 49
3.3. Создание схемы Э1 56
3.4. Содержание отчета 76
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЧ-ФИЛЬТРОВ 77
4.1. Общие сведения о фильтрах 77
4.2. Типовые топологии основных классов СВЧ-фильтров 80
4.3. Линейное моделирование ПФ в Microwave Office 84
4.3.1. Интерфейс Microwave Office 84
4.3.2. Предварительные расчеты 85
4.3.3. Создание схемы встречно-штыревого ПФ 89
4.3.4. Создание схемы ПФ на параллельно связанных резонаторах 98
4.3.5. Создание графика измеряемой величины 101
4.3.6. Оптимизация 102

4.3.7. Статистический анализ 112
4.4. Электромагнитное моделирование ПФ в Microwave Office 115
4.5. Содержание отчета 130
5. БИБЛИОТЕЧНЫЙ КОМПОНЕНТ В ALTIUM DESIGNER 131
5.1. Общие сведения 131
5.2. Посадочное место компонента 136
5.2.1. Подготовительные действия 136
5.2.2. Внешний вид посадочного места 139
5.2.3. Создание посадочного места 144
5.3. УГО компонента 153
5.3.1. Подготовительные действия 153
5.3.2. Общие сведения об УГО 154
5.3.3. Создание УГО 156
5.4. Библиотечный компонент 160
5.5. Интегрированная библиотека 165
5.6. Содержание отчета 168
6. 3D-МОДЕЛЬ КОМПОНЕНТА 169
6.1. Начальное окно КОМПАС-3D 169
6.2. Настройки КОМПАС-3D 170
6.3. Основные понятия при создании 3D-моделей в КОМПАС-3D 173
6.4. Главное окно КОМПАС-3D в режиме создания детали 174
6.5. Создание 3D-модели конденсатора 175
6.6. 3D-модель в посадочном месте компонента 196
6.7. Содержание отчета 201
7. ЧЕРТЕЖ УСТАНОВКИ КОМПОНЕНТА 202
7.1. Главное окно КОМПАС-3D в режиме создания чертежа 202
7.2. Виды и масштабы изображений на чертеже 203
7.3. Создание чертежа установки конденсатора 205
7.4. Содержание отчета 219
8. СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ «УСИЛИТЕЛЯ» 220
8.1. Общие сведения 220
8.2. Подготовительные действия 225
8.3. Создание схемы Э3 231
8.4. Сохранение схем из Altium Designer в формате PDF 276
8.5. Содержание отчета 278
9. ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ К СХЕМЕ Э3 «УСИЛИТЕЛЯ» 280

9.1. Правила оформления перечня элементов 280
9.2. Создание перечня элементов ПЭ3 283
9.3. Содержание отчета 291
10. СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ «МОДУЛЯ УСИЛИТЕЛЯ» 292
10.1. Создание схемы Э3 292
10.2. Содержание отчета 296
11. ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ К СХЕМЕ Э3 «МОДУЛЯ УСИЛИТЕЛЯ» 297
11.1. Создание перечня элементов 297
11.2. Содержание отчета 299
12. КОМПОНОВКА И ТРАССИРОВКА ПП 300
12.1. Подготовительные действия 300
12.2. Пример компоновки и трассировки ПП 309
12.3. Компоновка ПП 320
12.4. Особенности трассировки ПП 357
12.5. Трассировка ПП 361
12.6. Удостоверяющий лист 410
12.6.1. Данные проектирования 410
12.6.2. Правила оформления удостоверяющего листа 411
12.6.3. Создание удостоверяющего листа 413
12.7. Содержание отчета 415
13. 3D-МОДЕЛЬ «УСИЛИТЕЛЯ» 416
13.1. Создание 3D-модели «усилителя» 416
13.2. Содержание отчета 432
14. 3D-МОДЕЛЬ «ЭКРАНА» 433
15. 3D-МОДЕЛЬ «ОСНОВАНИЯ» 443
16. 3D-МОДЕЛЬ «МОДУЛЯ УСИЛИТЕЛЯ» 455
16.1. Создание 3D-модели «модуля усилителя» 455
16.2. Содержание отчета 472
17. ЧЕРТЕЖ ПП 473
17.1. Правила выполнения чертежей ПП 473
17.2. Создание чертежа ПП 474
17.3. Сохранение чертежа КОМПАС-3D в формате PDF 499
17.4. Содержание отчета 500
18. СПЕЦИФИКАЦИЯ НА «УСИЛИТЕЛЬ» 501
18.1. Правила выполнения спецификаций 501

18.2. Создание спецификации на «усилитель» 507
19. СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ «УСИЛИТЕЛЯ» 515
19.1. Правила выполнения сборочных чертежей 515
19.2. Особенности монтажа компонентов 519
19.3. Создание сборочного чертежа «усилителя» 527
19.4. Содержание отчета 543
20. ЧЕРТЕЖ «ЭКРАНА» 544
20.1. Создание чертежа «экрана» 544
20.2. Содержание отчета 570
21. ЧЕРТЕЖ «ОСНОВАНИЯ» 571
21.1. Создание чертежа «основания» 571
21.2. Содержание отчета 590
22. СПЕЦИФИКАЦИЯ НА «МОДУЛЬ УСИЛИТЕЛЯ» 591
23. СБОРОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ «МОДУЛЯ УСИЛИТЕЛЯ» 597
23.1. Создание сборочного чертежа «модуля усилителя» 597
23.2. Содержание отчета 610
24. 3D-МОДЕЛИ В PDF 611
24.1. Общие сведения 611
24.2. Создание 3D-pdf 612
24.3. Возможности Adobe Reader по просмотру 3D-pdf 627
24.4. Результаты выполнения этапа проектирования 630
24.5. Содержание отчета 631
ПРИЛОЖЕНИЯ 632
А. Опытный образец 632
А.1. Внешний вид 632
А.2. Обмер изделий 639
А.3. Результаты измерения АЧХ ПФ 643
А.4. Результаты работы «токового зеркала» 650
А.5. Потребление «модуля усилителя» и результаты работы микросхемы стабилизатора напряжения 653
А.6. Результаты работы СВЧ-тракта 655
Б. Общие сведения о ПП 659
Б.1. Термины и определения 659
Б.2. Типы конструкции ПП 660
Б.3. Методы изготовления ПП 664
Б.4. Процесс производства ДПП СВЧ-диапазона 668

Б.5. Материалы основания ПП 674
Б.6. Финишные покрытия 678
Б.7. Паяльная защитная маска 685
Б.8. Классы точности ПП 685
Б.9. Особенности проектирования ПП, связанные с производством 686
Б.10. Линии передачи на ПП 691
В. Используемые при проектировании компоненты и некоторые схемные решения 697
В.1. Постоянный SMD-резистор 697
В.2. Постоянный SMD-конденсатор 701
В.3. SMD-катушки индуктивности 707
В.4. Полупроводниковый диод 709
В.5. Диод Шоттки 712
В.6. Стабилитрон 714
В.7. Светодиод 717
В.8. Биполярный транзистор 719
В.9. Полевой транзистор 723
В.10. Микросхемы 726
В.11. Схемы защиты от переполюсовки 728
Г. Справочная информация по Altium Designer 735
Г.1. Настройки окна Preferences 735
Г.2. Правила проектирования ПП 745
Г.3. Управление изображением в рабочем поле 747
Г.4. Сочетания клавиш 748
Г.5. Выделение объектов 750
Г.6. Команда Find Similar Objects 755
Г.7. Панель PCB Library 757
Г.8. Панель SCH Library 760
Г.9. Панель Libraries 762
Г.10. Панель Inspector 766
Г.11. Панель List 768
Г.12. Панель Filter 770
Г.13. Панель Navigator 775
Г.14. Панель PCB 779
Г.15. Панель PCB Rules And Violations 784

Г.16. Панель PCB Pad Via Templates 784
Г.17. КП со стандартными параметрами 786
Г.18. КП с нестандартными параметрами 792
Г.19. Неметаллизированное отверстие 793
Г.20. Особенности использования монтажных отверстий 794
Г.21. Переходное отверстие 795
Г.22. Имена шаблонов КП и переходных отверстий 797
Г.23. Библиотека КП и переходных отверстий 798
Г.24. Линии 801
Г.25. Линия электрической связи 807
Г.26. Полигоны 810
Г.27. Идентификаторы цепей 819
Г.28. Добавление компонента на схему 824
Г.29. Действия при перемещении объектов 826
Г.30. Выравнивание объектов 827
Г.31. Перенумерация компонентов в схеме 828
Г.32. Альтернативные виды УГО 832
Г.33. Типы компонентов 833
Г.34. Библиотека компонентов в виде базы данных 836
Г.35. Режим Cross Select Mode 845
Г.36. Система привязок в редакторах ПП и посадочных мест 846
Г.37. Информационное поле 853
Г.38. Слои 856
Г.39. Контур ПП 864
Г.40. Внутренние вырезы в ПП 867
Г.41. Разделение линий и трасс 868
Г.42. Интерактивная трассировка одиночных цепей 869
Г.43. Интерактивная трассировка группы цепей 884
Г.44. Каплевидности (Teardrops) 886
Г.45. Эквивалентная замена выводов 888
Г.46. Пример внесения изменений в схему и файл трассировки 894
Г.47. Групповая заготовка ПП 899
Г.48. Обычный многолистовой проект 906
Г.49. Обновление компонентов 917
Г.50. Панель Storage Manager 930
Г.51. Рамки для схем 933

Д. Правила выполнения чертежей деталей 939
Д.1. Общие сведения 939
Д.2. Общие требования к чертежам 939
Д.3. Масштабы, виды, разрезы и сечения 940
Д.4. Упрощения изображений на чертежах 944
Д.5. Нанесение размеров 946
Д.6. Предельные отклонения размеров 952
Д.7. Допуски формы и расположения поверхностей 956
Д.8. Нанесение надписей, ТТ и таблиц 971
Д.9. Шероховатость поверхности 974
Е. Эскиз «модуля усилителя» 980
Е.1. Содержание этапа проектирования 980
Е.2. Содержание отчета 989
Ж. Расчет коэффициента шума 990
Ж.1. Теоретические сведения 990
Ж.2. Порядок проведения расчетов 991
Ж.3. Содержание отчета 992
И. Корректировка расчетов схемы «токового зеркала» 993
И.1. Содержание этапа проектирования 993
И.2. Содержание отчета 995
К. Схема электрическая функциональная 996
К.1. Общие сведения 996
К.2. Создание схемы Э2 997
К.3. Содержание отчета 999
Л. Файлы форматов Gerber и Excellon 1000
Л.1. Основания для использования 1000
Л.2. Формат Gerber 1000
Л.3. Формат Excellon 1007
Л.4. Экспорт в форматы Gerber и Excellon 1009
Л.5. Содержание отчета 1017
М. Внесение изменений в КД 1018
М.1. Общие сведения 1018
М.2. Разработка извещения об изменении и внесение изменений в КД 1030
М.3. Содержание отчета 1036
Н. Преобразование единичных КД в групповые 1037

Н.1. Групповые и базовые КД 1037
Н.2. Правила выполнения КД групповым способом 1040
Н.3. Создание исполнения «усилителя» 1048
Н.4. Содержание отчета 1070
П. Ведомость покупных изделий 1071
П.1. Общие сведения 1071
П.2. Создание ВП 1074
П.3. Содержание отчета 1078
Р. Обозначения разработанных КД по основной структуре системы обозначения 1079
Р.1. Общие сведения 1079
Р.2. Замена обозначений разработанных КД 1082
Р.3. Содержание отчета 1085
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 1086

Нестеров Александр Викторович

Инженерный дизайн РЭС
Модуль усилителя СВЧ

Электронное учебное пособие

Редактор _____

Комплектация 1 CD-ROM. Объем данных 38,4 Мбайт.
Гарнитура «Times New Roman». Заказ ____.

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5