

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

А. В. НЕСТЕРОВ

ИНЖЕНЕРНЫЙ ДИЗАЙН РЭС

Сопутствующие материалы. Часть 3
Вводное занятие

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
2025

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

3D – трехмерный
АЧХ – амплитудно-частотная характеристика
ВУ – внешнее управление
ДЭП – дополнительный этап проектирования
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
МПЛ – микрополосковая линия
ОСП – обычный способ проектирования
ОЭП – основной этап проектирования
ПП – плата печатная
ПФ – полосовой фильтр
ПЭЗ – перечень элементов к схеме ЭЗ
РЭС – радиоэлектронное средство
САПР – система автоматизированного проектирования
СВЧ – сверхвысокие частоты
СЛ – полосовой фильтр на параллельно связанных резонаторах
УГО – условное графическое обозначение
УД – удостоверяющий лист
УСП – упрощенный способ проектирования
ШТ – встречно-штыревой полосовой фильтр
Э1 – схема электрическая структурная
ЭЗ – схема электрическая принципиальная
ЭУП – электронное учебное пособие

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСОБИЯ

Сопутствующие материалы к ЭУП «Инженерный дизайн РЭС. Модуль усилителя СВЧ» представлены следующими частями:

1. Варианты индивидуального задания.
2. Система выставления оценок.
3. Вводное занятие.
4. Руководство преподавателя.
5. Ответы и решения.
6. Вопросы по отчету.
7. Теоретические вопросы.

Данное пособие содержит общие организационные моменты и информацию по дисциплине в виде слайдов презентации с комментариями и некоторыми теоретическими сведениями для получения общего представления о проектировании.

Может использоваться в качестве полноценной замены традиционному вводному занятию при очной форме обучения.

Выдается студентам:

- при дистанционной форме обучения – в первый день семестра;
- при очной форме обучения – после проведения первого занятия, но не позднее окончания следующего за ним дня.

2. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МОМЕНТЫ

Перед тем как приступить к дисциплине «Инженерный дизайн РЭС», необходимо обратить внимание на общие организационные моменты ее проведения:

1. Итоговая оценка по данной дисциплине никаким образом не зависит от заслуг студента в других дисциплинах: отличные оценки не означают получение привилегий, а низкие оценки не ограничивают возможности в получении высшего балла. Все определяется исключительно собственным желанием и работоспособностью, при этом существует возможность выбора одного из двух способов проектирования:

- упрощенный (УСП) с максимальной оценкой «удовлетворительно»;
- обычный (ОСП).

2. При ОСП ничего сверхсложного и невыполнимого в предлагаемых заданиях нет. Однако это совсем не означает, что все будет элементарно, и работу можно отложить на последний день. К любым выполняемым действиям нужно подходить ответственно.

Если в течение семестра возникает ситуация, при которой преподаватель понимает, что не сможет поставить студенту положительную оценку (например, при халатном отношении к поставленным задачам), то сначала делается личное предупреждение. Затем при отсутствии положительных сдвигов оповещаются кафедра и деканат.

3. Для успешной работы понадобится четыре основные составляющие:

- распределение времени и сил;
- понимание;
- желание;
- общение.

Любую более-менее сложную задачу можно разбить на ряд взаимосвязанных относительно простых подзадач, поэтому для достижения цели необходимо грамотно распределить время и силы на всем пути ее выполнения. Если просидеть слишком долго над решением локальной проблемы, то с большой вероятностью можно не успеть дойти до конца:

- отставание от плана в учебных делах в течение семестра усложняет получение изначально желаемой оценки;
- выпускная работа только лишь с одним разделом, пусть и сделанным идеально, грозит недопуском к защите;

– на предприятии задержка отбирает драгоценное время у других людей на выполнение ими своих задач, а с учетом плотного графика, когда все надо было сдать «вчера», это приводит к гарантированному срыву сроков (страдает репутация работника, отдела, предприятия, назначаются штрафы и т. п.).

При проектировании желательно не только не отставать от плана графика, приведенного на рис. 7–9 в данном пособии и в ЭУП, но и идти с его опережением, так как заранее неизвестно то, что конкретно для каждого окажется наиболее трудоемким.

По данной дисциплине вплоть до защиты не будут проводиться контрольные и проверочные работы, а также не потребуется что-либо специально заучивать, так как используемые теоретические сведения при необходимости можно будет всегда освежить в памяти. Упор следует сделать на понимание материала. Если работа выполняется не бездумно, то в следующий раз, столкнувшись с чем-то подобным, будет уже заметно проще. Опыт – вещь бесценная.

При проектировании рекомендуется не думать о том, что это учебная дисциплина, а попытаться представить, что каждый уже работает по специальности, и перед ним на предприятии поставлена важная и ответственная задача, которую нельзя «провалить». Если будут интерес и желание, то задания не доставят разочарований и окажутся весьма простыми, а нужная оценка получится сама собой. Также не следует пускать все на самотек, необходимо делать выводы о проделанной работе и предпринимать шаги для улучшения и ускорения предстоящей, например:

- при подготовке отчета еще раз уделить внимание тем моментам, которые вызвали затруднения;

- выполнить предварительные расчеты до начала занятий;

- посмотреть на результаты предстоящих этапов проектирования в ЭУП.

Неотъемлемой частью процесса обучения является общение по возникающим вопросам, которые не следует бояться задавать. Однако делать это нужно правильно: попытаться максимально конкретизировать проблему и попробовать сначала самостоятельно найти ее решение. Студентов, одновременно выполняющих задания, много. Ответить сразу всем преподаватель физически не в состоянии, поэтому не нужно бездействовать, а также паниковать и обижаться на задержки в получении ответов. Студенту необходимо еще раз внимательно прочитать то, что оказалось непонятным, ведь большинство вопросов будет связано с двумя причинами:

– желание сделать задания быстрее, приводящее к пропуску важных «мелочей» в отдельных словах, предложениях, абзацах и даже страницах;

– недочитывание материала до конца, порождающее возникновение вопросов, ответы на которые на самом деле есть (все описать в одном предложении зачастую невозможно, а конец страницы не означает конец пункта).

Ответы на вопросы могут быть даны преподавателем как в письменном виде, так и любыми другими доступными способами.

При очной форме обучения предусмотрен достаточно большой процент занятий, на которых студент может отсутствовать по разным причинам, но при этом у него сохраняется возможность полноценно выполнять работу дистанционно без отставания от плана.

Из всего нужно извлекать пользу, ведь учиться – это узнавать что-то новое, разбираться в непонятном и сложном, применять полученные знания для решения насущных задач, творить и созидать уже сейчас или в ближайшем будущем.

3. ОБЗОР ДИСЦИПЛИНЫ

В данном разделе приводится обзорная информация по дисциплине для ОСП в виде слайдов из презентации, демонстрируемой при очной форме обучения на первом занятии, с комментариями к ним.

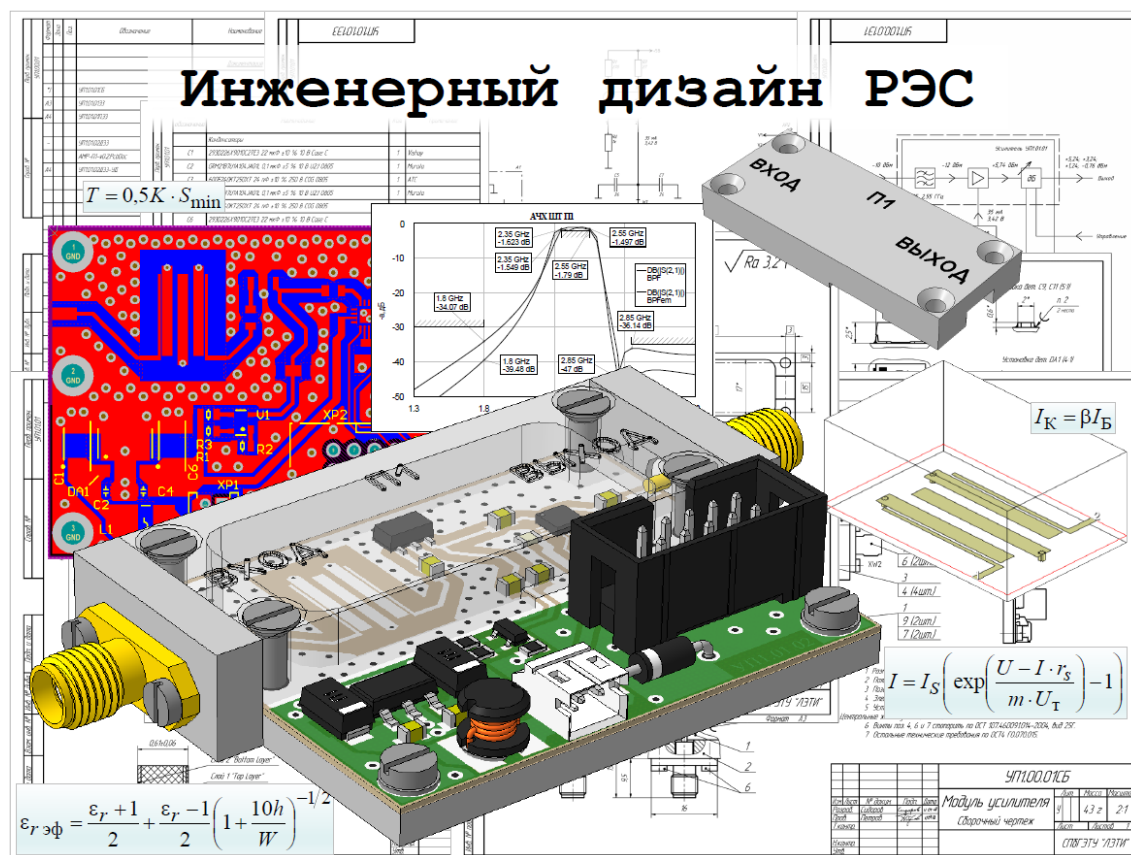


Рис. 1

На 1-м слайде (рис. 1) в графическом виде приведено содержание дисциплины. Здесь можно заметить следующие элементы:

- различные КД на заднем фоне (в нижней части – сборочные чертежи и чертежи деталей, в правой верхней части – схемы Э1 и Э3, в левой верхней части – текстовые КД, такие как спецификация и перечень элементов);
- результаты моделирования ПФ (в середине – графики АЧХ, справа – 3D-модель ПФ);
- формулы (в левой нижней части – для расчета эффективной диэлектрической проницаемости МПЛ, зависящей от толщины диэлектрического основания, его относительной диэлектрической проницаемости и ширины полосковых элементов; в нижней правой части – для определения тока, протекающего через р-п-переход, который является основой всех полупроводниковых устройств; в правой верхней части – для определения тока коллектора ИДРЭС. СМ-3. Вводное занятие – v15.0

биполярного транзистора в активном режиме; в левой верхней части – для определения позиционного допуска осей отверстий);

- результат разработки файла трассировки ПП (в левой части);
- результаты твердотельного моделирования (в правой верхней части – 3D-модель детали; в левой нижней части – 3D-модель сборочной единицы, которую и предстоит разработать).

Из всего этого можно сделать вывод о том, что при проектировании предстоит в основном рисовать и моделировать, а также производить сопутствующие расчеты.

На 2-м слайде (рис. 2) содержится краткое описание основных задач дисциплины.

2/14

Задачи дисциплины

1. Показать применимость накопленных по разным дисциплинам знаний, то есть их использование для решения конкретной задачи от получения технического задания до готового изделия, которым в данном случае является трехмерная модель.

2. Показать на практике основные возможности программного обеспечения по созданию радиоэлектронного устройства:

- разработка библиотек элементов;
- компоновка и трассировка ПП;
- создание 3D-моделей устройств;
- моделирование СВЧ-структур.

3. Показать на практике основы оформления конструкторской документации согласно требованиям ЕСКД:

- разработка основных типов схем и перечней элементов;
- разработка чертежей;
- разработка спецификаций и сборочных чертежей.

Рис. 2

Студенты по мере своего обучения получают довольно большой объем знаний из разных областей, но эти знания даются им порциями: навыки профессионального владения конкретным специализированным программным продуктом (например, КОМПАС-3D), общие теоретические сведения по определенной дисциплине, практическое выполнение конкретных заданий в лабораториях и др. Поэтому основная задача данной дисциплины – показать на практике как можно использовать накопленные ранее знания для решения

конкретной задачи, примерив на себя роль разработчика и пройдя по всем этапам процесса создания устройства от получения технического задания до готового изделия, под которым в данном случае понимается его 3D-модель.

Ко второстепенной (но не менее важной) задаче относится получение дополнительных навыков по использованию основных возможностей программного обеспечения для разработки радиоэлектронного устройства (моделирование СВЧ-структур, подготовка библиотечных компонентов, компоновка и трассировка ПП, создание 3D-моделей устройств и др.) и по оформлению КД согласно требованиям ЕСКД.

Важно не только правильно рассчитать, промоделировать и скомпоновать ПП, обеспечив тем самым работоспособность изделия, но и правильно оформить результаты работы, чтобы информация в созданных документах была понятна не только автору, но и другим людям (например, соисполнителям, рабочим на заводе или даже самому автору через некоторый промежуток времени). Правила оформления, изложенные в ЕСКД, как раз и служат для создания единообразия и однозначного понимания.

На 3-м слайде (рис. 3) содержится краткое описание задания на проектирование.

3/14

Задание на проектирование

Задание: разработать полный комплект КД и 3D-модели на устройство СВЧ-диапазона под названием «модуль усилителя», позволяющее усиливать сигнал заданной частоты, ослаблять входные помехи и регулировать уровень выходной мощности.

Пример варианта задания

№	Студент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
41		AD1000-0,635-18/18	СЛ	-19	1,9 / 2,1	1,5 / 2,6	30 / 30	V	GALL-33+	SKY12329-350LF	BY	1729128, CWF-6R-B	a	20 / 40 / -	ЗП-6, ИПС

Структурная схема разрабатываемого устройства

Структуры ПФ

Примеры форм ПП

Рис. 3

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

- усиление сигнала заданной частоты;
- ослабление входных помех;
- регулировка уровня выходной мощности.

Для этого в изделии должны быть следующие функциональные части, образующие СВЧ-тракт (совокупность СВЧ-устройств, соединенных определенным образом) и показанные на схеме Э1 в левой нижней части слайда:

- ПФ (для ослабления помех);
- усилитель (для усиления сигнала заданной частоты);
- управляемый аттенюатор (для регулировки уровня мощности).

ПФ в изделии – пассивное устройство, а усилитель и аттенюатор – активные устройства, выполненные на основе микросхем и требующие для работы подачи питания. Для этого служит узел вторичного питания, преобразующий внешнее питание в требуемое. «Токовое зеркало» – совокупность компонентов, выступающих в качестве генератора стабильного тока, который подается на выход микросхемы усилителя.

Разработка изделия будет осуществляться в соответствии с заданием на проектирование, состоящим из двух частей: индивидуальное и общее.

Индивидуальное задание на проектирование представлено набором вариантов (пример показан в центре слайда) с примерно одинаковой сложностью выполнения и следующими параметрами в столбцах слева направо:

- наименование СВЧ-материала ПП;
- структура СВЧ-фильтра (топологии условно показаны в правой части слайда): встречно-штыревой ПФ (ШТ) или ПФ на параллельно связанных резонаторах (СЛ);
- уровень мощности входного сигнала;
- параметры, определяющие вид АЧХ ПФ (граничные частоты полосы пропускания, частоты помех и значения, на которые последние необходимо ослабить);
- типоразмер корпуса конденсатора, для которого необходимо разработать библиотечный компонент, установочный чертеж и 3D-модель;
- наименования микросхем усилителя и аттенюатора;
- способ управления аттенюатором: ручное управление (РУ) с помощью коммутационных устройств (кнопки или переключатели, размещенные на ПП) или внешнее управление (ВУ) с помощью разъема;

- наименование разъема питания и разъема управления (для ВУ);
- вариант формы ПП с критичными размерами (примеры показаны в нижней правой части слайда);
- дополнительные требования: наличие индикации питания на выходе стабилизатора (ИПС), выполненной на основе светодиода, и номер схемы защиты от переплюсовки.

Вторая часть задания – общее. Оно относится ко всем вариантам индивидуального задания и содержит общие требования к изделию, например:

- изделие должно быть выполнено на двусторонней ПП с расположением компонентов и печатных проводников только на верхней ее стороне;
- название печатного узла (ПП с размещенными на ней компонентами) – «усилитель»;
- для крепления печатного узла и экранирования СВЧ-тракта должны быть разработаны изделия с наименованиями «основание» и «экран» соответственно;
- крепление «экрана», «основания» и «усилителя» должно осуществляться винтами М2,5 (буква «М» означает метрическую резьбу);
- для подачи и снятия полезного сигнала должны быть применены разъемы типа SMA с волновым сопротивлением 50 Ом;
- название всего изделия – «модуль усилителя».

На 4-м слайде (рис. 4) представлен эскиз «модуля усилителя» в разобранном виде. При очной форме обучения опытный образец в сборе и его составные части демонстрируются вживую, а при дистанционной форме остается оперировать только чертежами, эскизами и фотографиями, приведенными на слайдах и в ЭУП.

В основе изделия, как отмечалось ранее, находится двусторонняя ПП. ПП представляет собой несущую конструкцию для крепления компонентов и их электрического соединения в соответствии со схемой. Исходный материал двусторонней ПП – диэлектрическая прослойка, называемая «основание ПП», покрытая с двух сторон металлической фольгой. Кроме двусторонних ПП существуют также односторонние ПП (металлизация у них только с одной стороны) и многослойные ПП (здесь металлизированные слои и слои диэлектрика чередуются друг с другом).

Различают следующие виды изделий: деталь, сборочная единица, комплекс и комплект. При проектировании будут использоваться только понятия «деталь» и «сборочная единица».

Составные части «модуля усилителя»

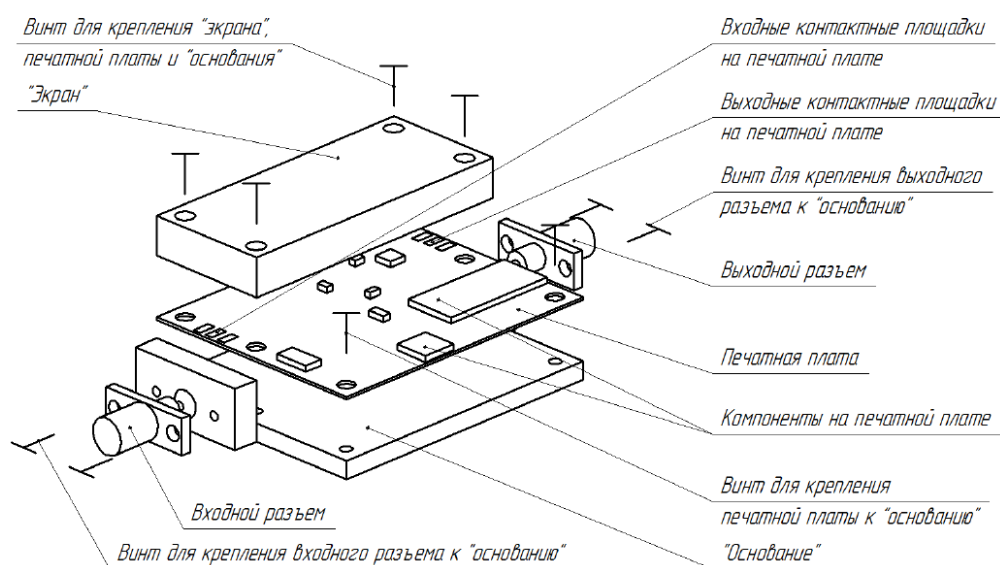


Рис. 4

Деталь – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций (например, пластмассовый колпачок шариковой ручки).

Сборочная единица – изделие, составные части которого соединяются между собой сборочными операциями (свинчиванием, пайкой, склеиванием и т. п.) на предприятии-изготовителе (например, шариковая ручка).

Двусторонняя ПП является деталью, так как производится из покупного листа материала без применения сборочных операций (в отличие от многослойной ПП, которая является сборочной единицей).

«Усилитель», представляющий собой печатный узел, получается путем установки на изготовленную ПП покупных компонентов (резисторы, конденсаторы, микросхемы и разъемы), которые закрепляются с помощью пайки. Таким образом «усилитель» – сборочная единица.

Для экранирования СВЧ-тракта используется «экран», а для размещения печатного узла – «основание». Оба изделия являются деталями.

Для получения «модуля усилителя» на «основание» устанавливается «усилитель» и фиксируется винтами в тех местах, которые не будут закрыты «экраном». Далее монтируются СВЧ-разъемы с помощью пайки центральных

жил к ПП и крепления винтами их фланцев к боковым стенкам «основания». После этого размещается «экран», который также прижимается к ПП винтами. Наличие сборочных операций означает, что изделие в целом является сборочной единицей.

Таким образом, всего имеется две сборочные единицы и три детали.

На 5-м слайде (рис. 5) представлена структура обозначения изделия и КД по обезличенному способу.

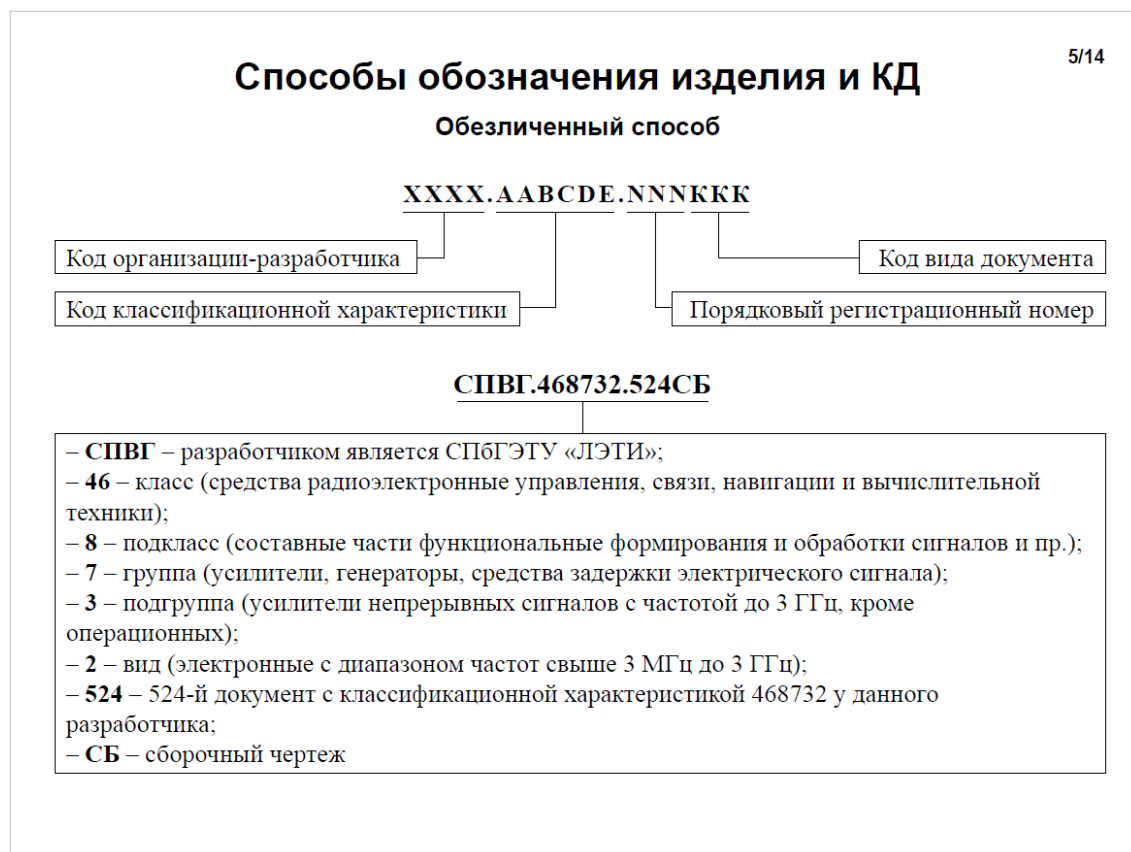


Рис. 5

Каждое изделие кроме наименования должно иметь уникальное обозначение, которое по обезличенному способу присвоения обозначений состоит из следующих частей:

– четырехзначный буквенный код организации-разработчика, присваиваемый Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (например, для СПбГЭТУ «ЛЭТИ» – СПВГ);

– код классификационной характеристики, состоящий из шести цифр и назначаемый по Общероссийскому классификатору изделий и КД (классификатор ЕСКД). Он определяет функциональное назначение изделия;

– порядковый регистрационный номер (число от «001»), назначаемый для каждой классификационной характеристики.

Указанные три части образуют обозначение изделия и его основного КД (КД, который в отдельности или вместе с другими записанными в него КД полностью и однозначно определяет данное изделие и его состав).

Основным КД для детали является чертеж (документ с изображением детали и необходимыми данными для ее изготовления), а для сборочной единицы – спецификация (текстовый документ в виде таблицы с перечнем составных частей и разработанных документов).

На изделие кроме основного КД могут быть разработаны и другие документы, называемые неосновными КД (например: сборочный чертеж, схема электрическая принципиальная). Обозначение такого КД состоит из обозначения изделия и кода вида документа.

Так, в нижней части слайда приведено обозначение неосновного КД (сборочного чертежа), разработанного в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» на 524-й усилитель непрерывных сигналов в диапазоне от 3 МГц до 3 ГГц. Как видно, только по обозначению КД (без самого документа) можно получить некоторую информацию об изделии. Однако при изменении его параметров, что особенно характерно для деталей, меняется и классификационная характеристика. Это приводит к необходимости внесения соответствующих изменений во все КД, где данное изделие применяется.

Раньше обезличенный способ был единственным, но в последней редакции ГОСТ 2.201 был добавлен объектно-ориентированный способ.

На 6-м слайде (рис. 6) представлена структура обозначения изделия и КД по модифицированному объектно-ориентированному способу, используемая при проектировании и состоящая из следующих частей:

- код конечного изделия, состоящий из буквы «У», означающей учебный проект, и номера варианта задания;
- порядковый номер сборочной единицы в виде двузначного числа. Так как при проектировании две сборочные единицы, то условно для «модуля усилителя» принят номер «00», а для «усилителя» – номер «01»;
- порядковый номер детали, входящей в указанную сборочную единицу. Состоит он также из двух цифр, при этом условно считается, что номер «01» означает саму сборочную единицу, а номера «02», «03» и далее – номера деталей (1-ю, 2-ю и далее соответственно);
- для неосновных КД завершает обозначение код вида документа.

В нижней части слайда приведены примеры обозначений для неосновного КД (сборочный чертеж) и основного КД (чертеж детали).

Способы обозначения изделия и КД

Объектно-ориентированный способ (модифицированный)

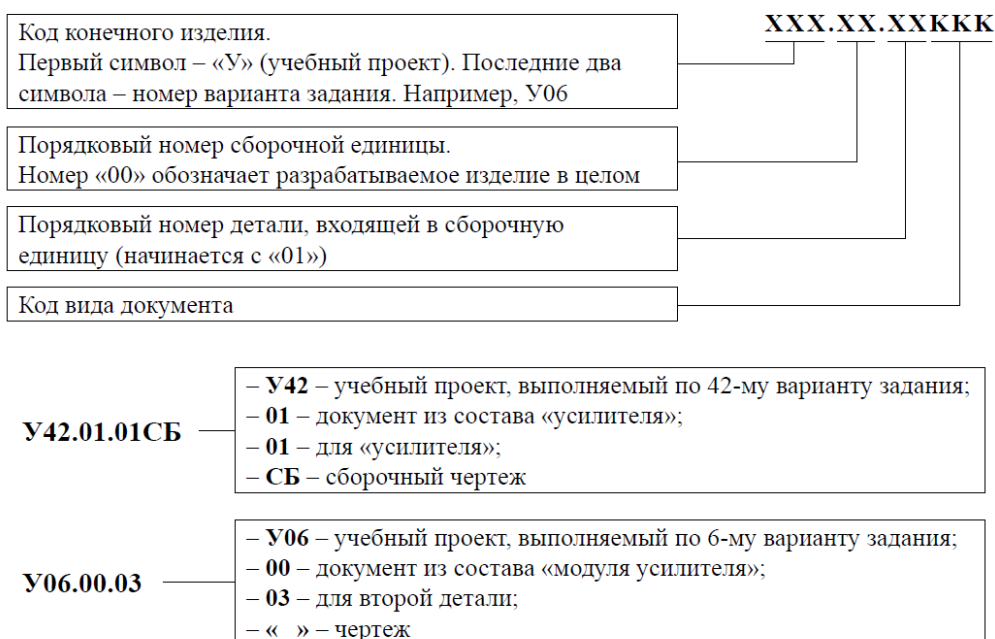


Рис. 6

Как видно из рисунка, преимущество данной структуры при проектировании 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.

Весь процесс разработки изделия разделен на этапы проектирования, каждый из которых содержит необходимую информацию по выполнению отдельной задачи. Этапы проектирования представлены в виде двух групп: ОЭП и ДЭП.

ОЭП являются обязательными. 1-я часть блок-схемы с ОЭП представлена на 7-м слайде (рис. 7).

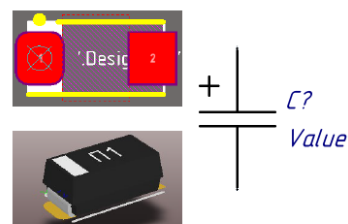
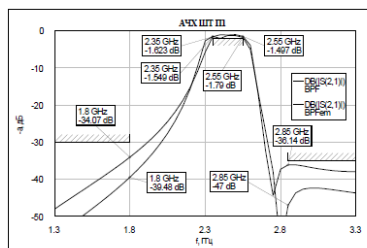
Каждый прямоугольник голубого цвета – это условное занятие (одна учебная неделя), за которое необходимо выполнить приведенные в нем этапы проектирования. Около прямоугольников размещены характерные для них графические пояснения (КД, скриншоты программ и др.).

На 1-й неделе выполняются следующие ОЭП:

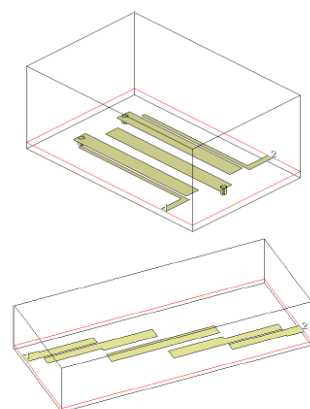
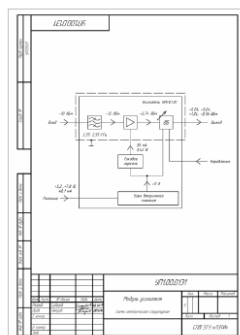
- получение задания;

Основные этапы проектирования

- 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 списка КД
3. Схема Э1



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

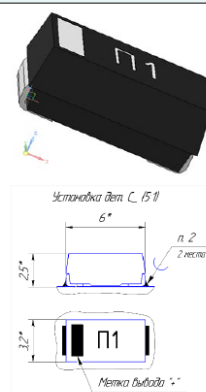


Рис. 7

- проработка списка КД;
- создание структурной электрической схемы «модуля усилителя».

Пример варианта задания был рассмотрен на 3-м слайде (см. рис. 3).

Список КД состоит из обозначений всех разрабатываемых КД, их наименований и наименований изделий.

На каждую из трех деталей («экран», «основание» и ПП) создается основной КД (чертеж детали). Кроме того, для изготовления ПП понадобится файл трассировки (данные проектирования с кодом документа ДЗ3), а также удостоверяющий лист на данные проектирования (код документа – УД) для простановки подписей лиц, ответственных за разработку и изготовление данных проектирования.

На каждую из двух сборочных единиц («модуль усилителя» и «усилитель») разрабатывается основной КД (спецификация). Однако только одного такого документа в подавляющем большинстве случаев недостаточно для сборки изделия, поэтому потребуется создать и неосновные КД.

Первым неосновным КД для каждой из двух сборочных единиц станет сборочный чертеж (документ с изображением сборочной единицы и необходимыми данными для ее сборки).

На «усилитель» для разработки файла трассировки ПП будут созданы еще два неосновных КД: схема электрическая принципиальная (код документа – Э3) и перечень элементов к ней (код документа – ПЭ3).

Схема Э3 – это документ, в котором в виде УГО показан полный состав компонентов изделия и взаимосвязи между ними.

Перечень элементов – текстовый документ в виде таблицы, в котором записаны данные об изображенных на схеме компонентах (позиционные обозначения, наименования и количество).

На «модуль усилителя» в дополнение к сборочному чертежу будут разработаны еще три неосновных КД: схема электрическая структурная (код документа – Э1), схема электрическая Э3, на которой будет показано подключение СВЧ-разъемов к «усилителю», и перечень элементов к ней.

Схема Э1 – документ, определяющий основные функциональные части изделия, их назначения и взаимосвязи.

Миниатюра КД для Э1 показана в нижней левой части слайда, а сами функциональные части обсуждались в описании к 3-му слайду (см. рис. 3).

Создание схемы Э1 (а в последствии также и библиотечного компонента, схем Э3 и ПП) будет производиться в САПР Altium Designer, являющейся современной САПР с 3D-режимом просмотра ПП и позволяющей работать над достаточно сложными проектами.

На 2-й неделе производится проектирование СВЧ-фильтра в САПР Microwave Office. В средней верхней части слайда показаны АЧХ ПФ, полученные при схемном и электромагнитном моделировании, а в средней нижней части слайда – 3D-модели для ШТ и СЛ.

Для разработки схемы Э3 «усилителя» необходима база компонентов – библиотека. Каждый библиотечный компонент в общем случае состоит из УГО (уникального знака, которым он обозначается на схеме) и связанного с ним посадочного места (совокупность КП для установки компонента на ПП).

У разработчиков обычно есть свои библиотеки, но при работе над проектом обычно появляются компоненты, которые ранее не использовались. Как раз на 3-й неделе и выполняются этапы по созданию библиотечного компонента танталового конденсатора с типоразмером из варианта задания (скриншот показан в правой верхней части слайда), его 3D-модели и чертежа установки на ПП (правая нижняя часть слайда).

Для всех остальных компонентов, которые понадобятся на этапе разработки схемы Э3 «усилителя», подобные файлы уже сделаны.

Библиотека создается в той же САПР, что и схемы (Altium Designer), а 3D-модели и чертежи – в КОМПАС-3D.

На 8-м слайде (рис. 8) представлена 2-я часть блок-схемы с ОЭП.

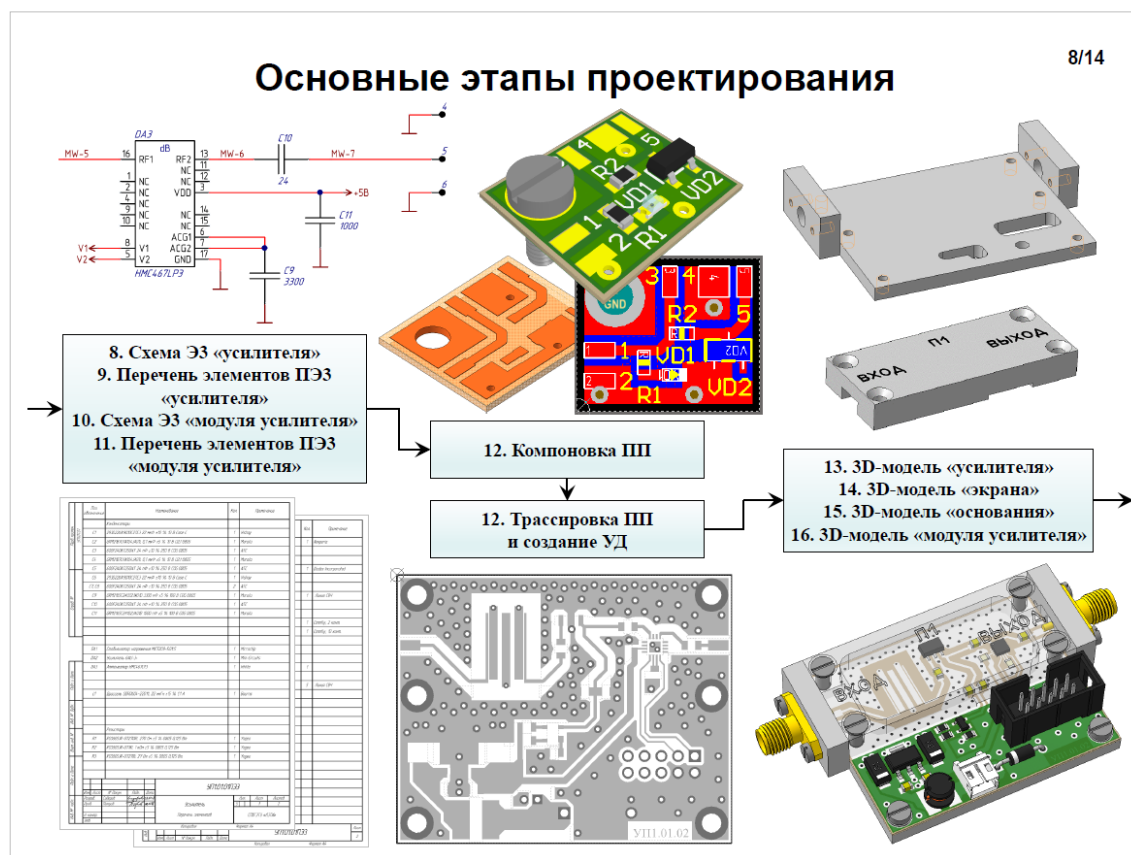


Рис. 8

На 4-й неделе в Altium Designer разрабатываются схемы ЭЗ «усилителя» (ее фрагмент показан в левой верхней части слайда) и «модуля усилителя», а в Microsoft Word – перечни элементов к ним (миниатюра перечня элементов ПЭЗ «усилителя» показана в левой нижней части слайда).

На 5-й и 6-й неделях в Altium Designer в соответствии со схемой ЭЗ «усилителя» создается файл трассировки:

- группируются посадочные места компонентов на ПП (компоновка);
- осуществляется соединение их КП печатными проводниками и полигонами (трассировка).

Это самая продолжительная и ответственная работа.

В средней нижней части слайда приведен пример файла трассировки, на котором хорошо видна топология ПФ, полученная из Microwave Office. Темно-серым цветом отображаются КП и монтажные отверстия, светло-серым цветом – печатные проводники и полигоны (большие области металлизации), а белым цветом – области без металлизации (открытый диэлектрик).

В средней верхней части слайда для небольшого примера приведен результат трассировки ПП и ее внешний вид отдельно и с установленными компонентами. Перед началом работы крайне желательно изучить приведенное в ЭУП описание данного примера, обратив внимание на общую последовательность действий, характерные ошибки и возможные последствия в случае пропуска последних.

7-я неделя посвящена созданию в КОМПАС-3D 3D-моделей всех изделий. В правой верхней части слайда показаны «основание» и «экран», а в правой нижней части слайда – «модуль усилителя».

На 9-м слайде (рис. 9) представлена 3-я часть блок-схемы с ОЭП.

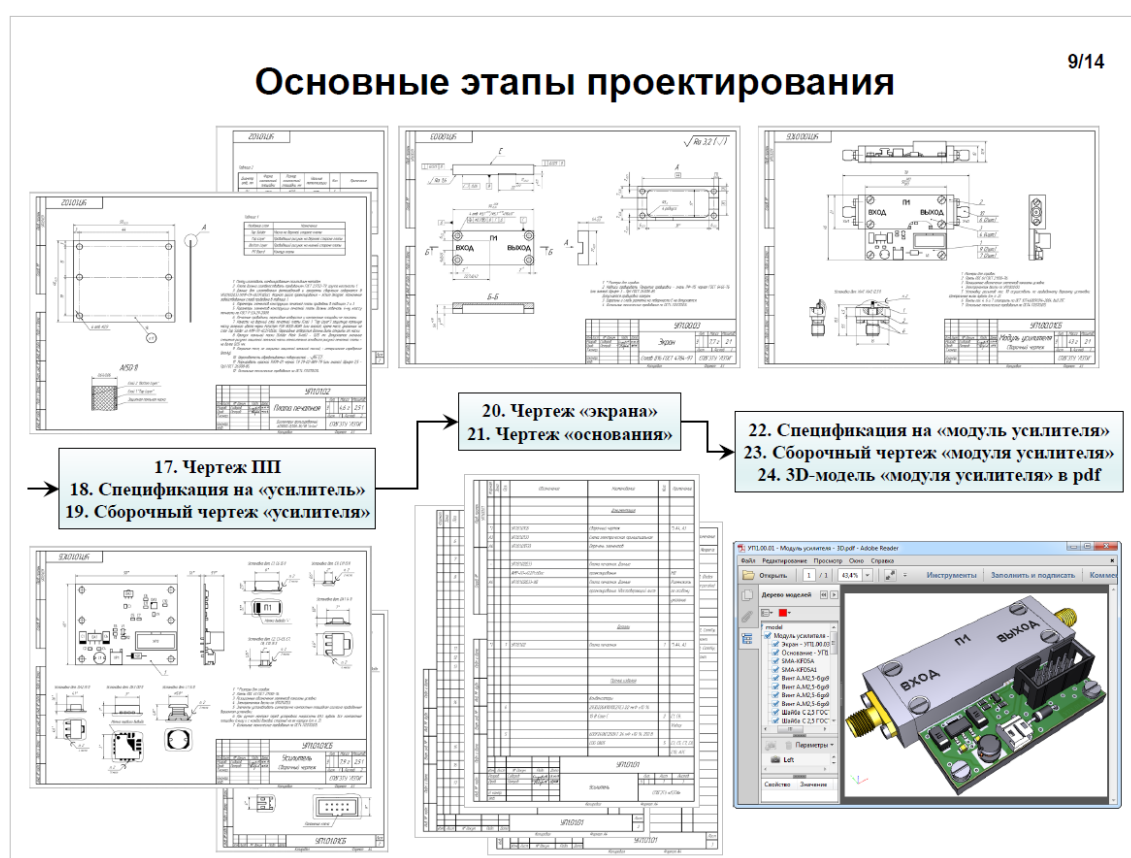


Рис. 9

На последних трех неделях по полученным 3D-моделям изделий в КОМПАС-3D разрабатываются чертежи деталей (миниатюра чертежа ПП показана в правой верхней части слайда, а «экрана» – в средней верхней части слайда) и сборочные чертежи сборочных единиц (миниатюра сборочного чертежа «усилителя» показана в левой нижней части слайда, а «модуля усилителя» – в правой верхней части слайда), а в Microsoft Word – спецификации сборочных единиц (миниатюра спецификации на «усилитель» показана в средней нижней части слайда).

Последним ОЭП является этап с сохранением 3D-модели «модуля усилителя» в 3D-pdf. Особенность такого PDF заключается в возможности полноценного просмотра 3D-информации (поворот 3D-модели, управление видимостью составных частей и др.) в бесплатной программе Adobe Reader.

На покупные изделия (микросхемы, резисторы, конденсаторы и пр.) КД выпускают их разработчики.

В результате при выполнении заданий будут использованы следующие программы (при этом результаты работы в одних программах используются для продолжения работы в других, а сами программы постоянно сменяют друг друга для решения поставленных задач):

- Altium Designer для разработки библиотек, схем и файла трассировки;
- Mathcad для выполнения расчетов (также можно использовать Excel или обычный калькулятор);
- Microwave Office для моделирования СВЧ-фильтра;
- Paint.Net для создания текстур;
- КОМПАС-3D для создания 3D-моделей и чертежей;
- Microsoft Word для создания текстовых КД и отчетов;
- Adobe Acrobat 3D и Adobe Acrobat 3D Toolkit для сохранения 3D-модели в 3D-pdf и размещения текстур на верхнем и нижнем слоях ПП;
- Adobe Reader для просмотра 3D-pdf.

В процессе проектирования появляется возможность делать ДЭП, показанные на 10-м слайде в оранжевых прямоугольниках (рис. 10). Сплошные черные линии со стрелками отведены от недель, с которых можно полноценно выполнить соответствующие этапы, а красные пунктирные линии со стрелками – от недель, с которых можно лишь приступить к ним.

Кроме получения дополнительных знаний и навыков ДЭП можно использовать для повышения оценки в случаях медленного выполнения ОЭП.

Предусмотрены следующие ДЭП:

- создание эскиза «модуля усилителя» (рисунок составных частей изделия, показанный на рис. 4). На 1-й неделе его можно нарисовать вручную, а на 7-й неделе получить из 3D-модели;
- расчет коэффициента шума многокаскадной системы («модуля усилителя»). Полноценно выполняется с конца 1-й недели;
- составной этап проектирования, связанный со схемой «токового зеркала» (вывод формулы сопротивления, расчет токов и напряжений и др.). Полноценно выполняется с середины 4-й недели;



Рис. 10

– создание схемы электрической функциональной на основе схем Э1 и Э3. Полноценно выполняется с конца 4-й недели;

– представление файла трассировки ПП в форме, наиболее близкой для производства (создание файлов форматов Gerber и Excellon). Полноценно выполняется после разработки файла трассировки (конец 6-й недели);

– разработка ИИ и внесение изменений в КД, связанных с заменой резистора или микросхемы. Полноценно выполняется с середины 8-й недели или постепенно с середины 4-й;

– создание исполнения «усилителя» с торцевыми СВЧ-разъемами. Полноценно выполняется с конца 8-й недели или постепенно с середины 4-й;

– разработка ведомости покупных изделий (текстовый КД на основе спецификаций). Полноценно выполняется на 10-й неделе или постепенно с середины 8-й;

– замена обозначений КД со структуры по модифицированному объектно-ориентированному способу на структуру по обезличенному способу (с кодом организации-разработчика, классификационной характеристикой и порядковым регистрационным номером). Полноценно выполняется с конца 10-й недели или постепенно с конца 1-й, т. е. с момента создания первого КД.

[illegible]

ЭУП самодостаточно, т. е. содержит всю необходимую теоретическую и практическую информацию для выполнения разработки.

Информацию в ЭУП можно условно разделить на две части:

- разделы с 1-го по 24-й с описанием ОЭП;
- приложения с описанием ДЭП.

В приложениях также приведены фотографии изготовленного опытного образца, результаты его работы и некоторые вспомогательные теоретические и практические сведения.

Для удобства в ЭУП предусмотрены внутритекстовые гиперссылки, обозначенные серым цветом. Переход между местами назначения и отправления при их использовании осуществляется комбинациями клавиш **Alt+Left** (назад) и **Alt+Right** (вперед).

Содержание из конца ЭУП продублировано закладками, расположенными в левой части окна просмотра pdf-документа.

На 12-м слайде (рис. 12) приведено сравнение внешнего вида опытного образца «усилителя» (справа внизу) и его 3D-модели (слева вверху).



Рис. 12

Приближение внешнего вида 3D-модели к реальному образцу определяется детализацией 3D-моделей и возможностями программ по рендерингу (визуализации) изображений (освещение, свойства материалов и др.)

На 13-м слайде (рис. 13) приведены экспериментальные результаты измерения АЧХ ПФ.

В правой нижней части слайда показано подключение коаксиальных кабелей к ПП: центральные жилы припаяны к печатным проводникам, отходящим от ПФ, а оплетки – к металлизации (земле ПП).

В правой верхней части слайда показано сравнение результатов эксперимента (сплошная линия) и моделирования (пунктирная линия):

АЧХ полосового фильтра

13/14

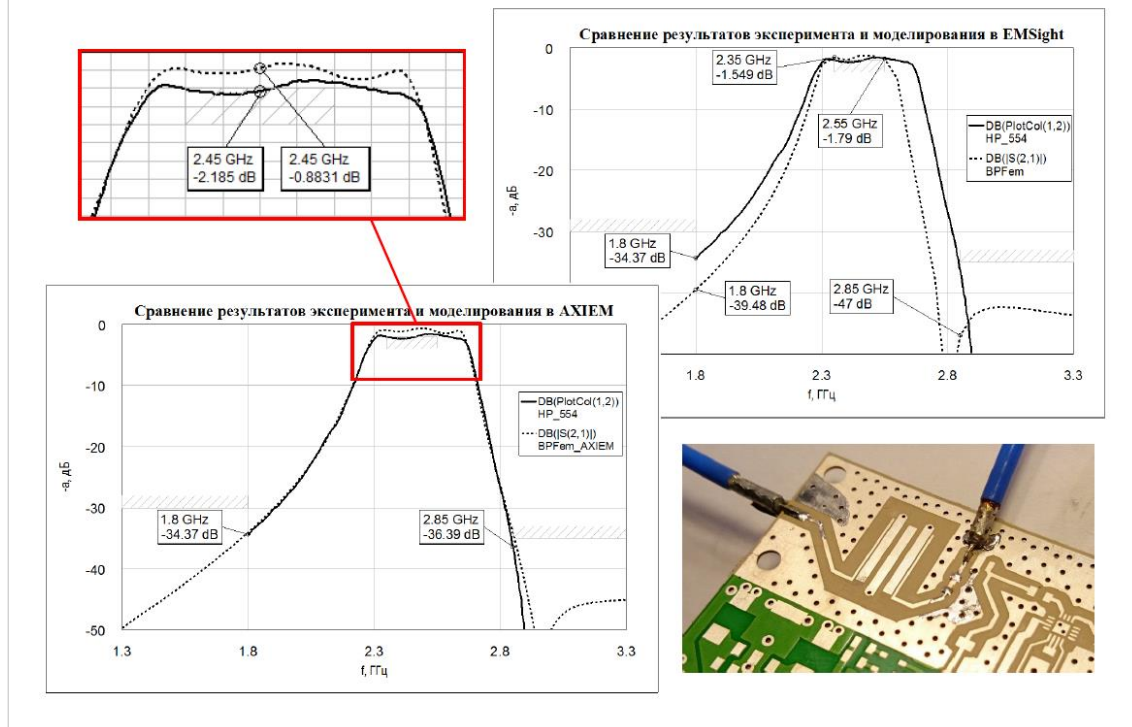


Рис. 13

– расхождение в области низких частот в основном связано с тем, что моделирование производилось в объеме, ограниченном со всех сторон стенками из идеального проводника. В реальных же условиях металлические стенки присутствуют только над и под топологией фильтра, а также частично в пространстве основания ПП (в виде металлизированных отверстий);

– расхождение в области верхних частот в основном связано с тем, что при моделировании не учитывалась толщина печатных проводников (они были бесконечно тонкими).

В левой нижней части слайда показано сравнение результатов эксперимента (сплошная линия) и моделирования (пунктирная линия) для измеренных значений толщин печатных проводников и основания ПП, геометрических размеров топологии (зазоры между печатными проводниками, их длины и ширины) и без боковых металлических стенок в модели. Оставшиеся различия связаны со следующими причинами:

– погрешности измерений (потери в местах перехода от печатных проводников к центральным жилам кабелей и в разъёмных соединениях, погрешность прибора);

– погрешности обмера ПП;

- неизвестные истинные значения потерь и относительной диэлектрической проницаемости материала основания ПП и его анизотропия;
- неточности моделирования (размер сетки, настройки и др.).

На 14-м слайде (рис. 14) приведено сравнение внешнего вида опытного образца «модуля усилителя» (слева внизу) и 3D-моделей в следующих программах:



Рис. 14

- Adobe Reader (слева сверху);
- 3D PDF Reader на Android (справа сверху);
- КОМПАС-3D (справа снизу).

Отсутствие текстур на рисунке, полученном из 3D PDF Reader, связано с их некорректным отображением.

Содержание

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСОБИЯ.....	3
2. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МОМЕНТЫ	4
3. ОБЗОР ДИСЦИПЛИНЫ.....	7

[illegible]

[illegible]