

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В. И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
кафедра РЭС

ОТЧЕТ
по практической работе № 1
по дисциплине «Инженерный дизайн РЭС»
Тема: ОЭП № 1–3

Студент гр. 1181

Шишков Д. А.

Преподаватель

Нестеров А. В.

Санкт-Петербург

2025

1. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАДАНИЯ

1.1. Индивидуальное задание на проектирование

В таблице 1 приведено содержание варианта № 35 индивидуального задания на проектирование.

Таблица 1

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
IS680-280-0,508-18/18	СЛ	-19	5,15 / 5,5	4,85 / 5,85	30 / 30	В	GALI-1+	RFSA3413TR7	ВУ	PWL-2, MW-5M	а	20 / 40 / -	ЗП-4, ИПС

В столбце 1 – название СВЧ-материала, на котором требуется разработать устройство. IS680-280-0,508-18/18 – фольгированный диэлектрик фирмы Isola с толщиной основания 0,508 мм и двусторонней металлизацией толщиной 18 мкм. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика на частоте 10 ГГц $2,80 \pm 0,05$. Его средний в диапазоне рабочих частот тангенс угла диэлектрических потерь 0,003 и ориентировочное значение плотности $2,5 \text{ г/см}^3$.

В столбце 2 – аббревиатура структуры СВЧ-фильтра. А именно, СЛ – полосовой фильтр (ПФ) на параллельных связанных резонаторах. Топология полосового фильтра (ПФ) на связанных линиях приведена на рис. 1.

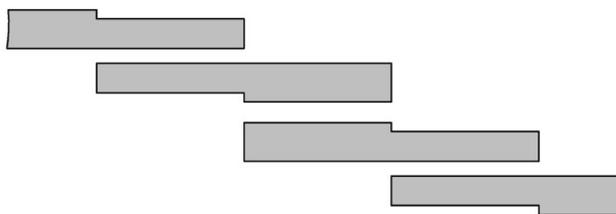


Рисунок 1

В столбце 3 – требуемый уровень мощности выходного сигнала.

В столбце 4 – нижняя и верхняя граничные частоты полосы пропускания СВЧ-фильтра, указанные через дробную черту.

В столбце 5 – частоты помех, подлежащих подавлению в ПФ.

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

В столбце 7 – типоразмер корпуса танталового конденсатора, для которого необходимо разработать посадочное место, условное графическое обозначение (УГО) и 3D-модель. Его параметры указаны в таблице 2 с расшифровкой размеров на рис. 2.

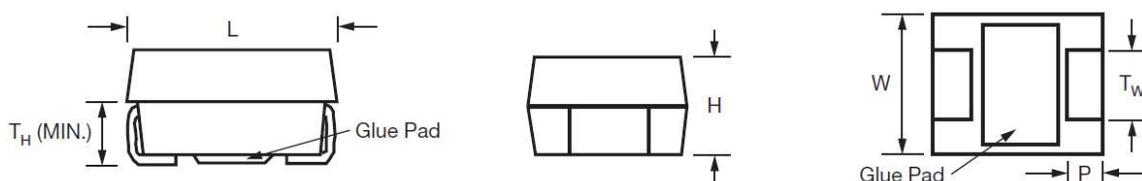


Рисунок 2

Таблица 2

Размеры EIA	L , мм	W , мм	H , мм	P , мм	TW , мм	TH (мин.), мм	Масса, г
3528-21	$3,5 \pm 0,2$	$2,8 \pm 0,2$	$1,9 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,3$	$2,2 \pm 0,1$	0,7	0,065

В столбце 8 – наименование микросхемы усилителя.

В столбце 9 – наименование микросхемы аттенюатора.

В столбце 10 – способ управления аттенуатором. А именно, внешнее управление (через разъем по кабелю).

В столбце 11 – наименования разъемов питания и управления. РWL-2 (см. рис. 3, *а*) – прямая вилка питания на плату фирмы Connfly с шагом 3,96 мм. MW-5М (см. рис. 3, *б*) – вилка на плату фирмы Connfly с пятью контактами с шагом 2 мм.

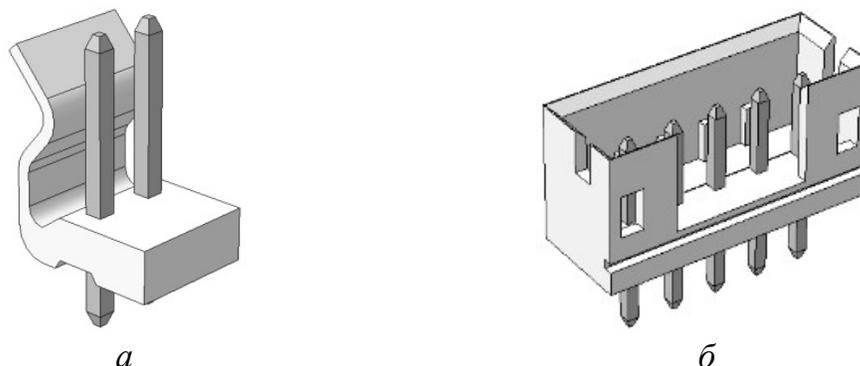


Рисунок 3

В столбце 12 – вариант формы печатной платы (ПП). На рис. 4 сплошной линией показан контур ПП, а пунктирной – контур экранирования. Также линиями перпендикулярными стороне ПП отмечены положения входа и выхода изделия.

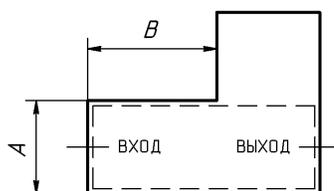


Рисунок 4

В столбце 13 – номинальные значения размеров с рис. 4 в формате «А / В / С». Допуски на размеры следующие:

- для А и С – не более указанных значений;
- для В – плюс-минус 1 мм от указанного значения.

Размер С для данного варианта не указан, а значит, как и другие опущенные, просто должен быть минимально возможным.

В столбце 14 – дополнительные требования:

- ЗП-4 – защита от переплюсовки схемы № 4;
- ИПС – наличие схемы индикации питания на выходе стабилизатора, выполненной на основе светодиода.

1.2. Общее задание на проектирование

Общие для всех вариантов задания требования к изделию:

- изделие должно быть выполнено на двусторонней ПП (ДПП) 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, что определяет наименьшие номинальные размеры элементов проводящего рисунка ПП (см. табл. 3);

Таблица 3

Наименование параметра	Наименьшие номинальные значения размеров, мм
Ширина проводника	0,15
Расстояние между проводниками	0,15
Гарантийный поясик КП	0,05

- 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. 4. 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. 5);



Рисунок 5

– 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 коаксиальных СВЧ-разъемов EMPCB.SMAFSTJ.B.NT фирмы Taoglas, для чего на ПП должны быть размещены соответствующие КП (см. рис. 6).



Рисунок 6

2. ПРОРАБОТКА ПЕРЕЧНЯ КД

2.1. Перечень разрабатываемых КД

На основных этапах проектирования будут разработаны конструкторские документы (КД), приведенные в следующем перечне (см. табл. 4)

Таблица 4

Обозначение КД	Наименование КД	Наименование изделия
У35.00.01	Спецификация	Модуль усилителя
У35.00.01СБ	Сборочный чертеж	
У35.00.01Э1	Схема электрическая структурная	
У35.00.01Э3	Схема электрическая принципиальная	
У35.00.01ПЭ3	Перечень элементов	
У35.00.02	Чертеж	Основание
У35.00.03	Чертеж	Экран
У35.01.01	Спецификация	Усилитель
У35.01.01СБ	Сборочный чертеж	
У35.01.01Э3	Схема электрическая принципиальная	
У35.01.01ПЭ3	Перечень элементов	
У35.01.02	Чертеж	
У35.01.02Д33	Данные проектирования	Плата печатная
У35.01.02Д33-УД	Удостоверяющий лист	

2.2. Краткое описание использованной при проектировании структуры обозначений

Обозначение КД состоит из обозначения изделия и кода вида документа.

В данной работе используется объектно-ориентированный способ обозначения изделий, но без кода, отражающего позицию изделия в структуре конечного изделия (см. рис. 7). Код конечного изделия состоит из буквы «У», означающей «учебный проект», и номера варианта.

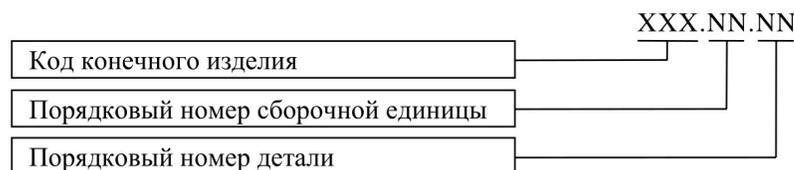


Рисунок 7

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

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.

Основным КД для сборочной единицы является спецификация, в которой перечисляются все ее составные части. Код документа для нее отсутствует.

Сборочный чертеж содержит изображение изделия и данные, требуемые для осуществления сборки. Он имеет код документа «СБ».

В схеме электрической принципиальной (полной) показывается полный состав компонентов в виде условных графических обозначений (УГО) и их взаимосвязи. Код документа для такой схемы – ЭЗ.

Для получения подробной информации о компонентах принципиальной схемы используется перечень элементов. Код документа состоит из буквы «П» и кода схемы, к которой он разрабатывается.

Схема электрическая структурная помогает отразить функциональные части изделия и пути распространения основных сигналов. Код этого документа – Э1.

Для детали основным документом является чертеж, т. е. документ, по которому ее можно изготовить. Аналогично спецификации он не имеет кода документа.

Для «платы печатной» будет создан документ «данные проектирования». Он обеспечит получение на предприятии-изготовителе полного комплекта или части комплекта КД на ПП. В нем содержится информация для изготовления рисунка ПП, координаты и размер отверстий, области нанесения защитной маски и др. Код документа для него – Д33.

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.

3. СХЕМА Э1

3.1. Функциональные части и пути распространения сигналов

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

Управление аттенюатором осуществляется подачей управляющих сигналов извне через разъем.

Для работы микросхемы усилителя 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:

- схема ЗП, а также микросхема стабилизатора для формирования и стабилизации требуемого уровня напряжения;
- индикация питания на выходе стабилизатора (ИПС);
- в зависимости от соотношения в дальнейшем рассчитываемого напряжения питания токового зеркала и аттенюатора, может потребоваться

включение параметрического стабилизатора напряжения для формирования второго из первого.

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.

3.2. Расчет центральной частоты полосы пропускания ПФ

Верхняя и нижняя частоты полосы пропускания (из варианта индивидуального задания): $F_{c-} = 5,15$ ГГц; $F_{c+} = 5,5$ ГГц.

Центральная частота полосы пропускания:

$$F_0 = \frac{F_{c-} + F_{c+}}{2} = \frac{5,15 + 5,5}{2} = 5,325 \text{ ГГц}.$$

3.3. Уровни СВЧ-сигнала, указанные на схеме Э1

Уровень мощности сигнала на входе:

$$P_{\text{вх}} = -19 \text{ дБм} = 12,59 \text{ мкВт}.$$

Коэффициент передачи по мощности ПФ:

$$G_{\text{пф}} = -2 \text{ дБ}.$$

Мощность сигнала на входе усилителя:

$$P_{\text{у вх}} = P_{\text{вх}} + G_{\text{пф}} = -19 - 2 = -21 \text{ дБм} = 7,94 \text{ мВт}.$$

Коэффициент усиления по мощности усилителя (по документации для частоты F_0): $G_y = 10,73$ дБ.

Мощность сигнала на выходе усилителя:

$$P_{\text{у вых}} = P_{\text{у вх}} + G_y = -21 + 10,73 = -10,26 \text{ дБм} = 90,42 \text{ мВт}.$$

Возможные уровни мощности сигнала на выходе аттенюатора рассчитываются в подразделе 3.5.

3.4. Результаты проверок соответствия предельным допустимым уровням

Уровень сигнала на входе микросхемы усилителя не превышает предельно допустимого значения, указанного в документации (см. рис. 8):

$$P_{\text{у вх}} = -21 \text{ дБм} < 15 \text{ дБм}.$$

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Ratings
Operating Temperature*	-45°C to 85°C
Storage Temperature	-65°C to 150°C
Operating Current	55mA
Input Power	15dBm

Рисунок 8

Уровень сигнала на выходе микросхемы усилителя не превышает значения однодецибелльной точки компрессии, указанной в документации (см. рис. 9) для F_0 : $-10,26 \text{ дБм} < 11,43 \text{ дБм}$.

TEST CONDITIONS: $I_{cc} = 40\text{mA}$, $V_d = 3.41\text{V}$ @Temperature = +25degC

FREQ	Gain	Isolation	Input Return Loss	Output Return Loss	Stability		IP3 Output	1dB Comp. Output	Noise Figure
					K	Delta			
(MHz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	K	Delta	(dBm)	(dBm)	(dB)
5200	10.70	19.49	15.98	20.36	1.52	0.38	23.69	11.63	4.71
5400	10.75	19.60	16.17	20.08	1.53	0.38	23.46	11.31	4.58

Рисунок 9

Уровень сигнала на входе микросхемы аттенюатора не превышает предельно допустимого значения, указанного в документации (см. рис. 10): $-0,26 \text{ дБм} < 30 \text{ дБм}$.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Rating
Storage Temperature	-40 to +150 °C
RF Input Power at RFIN, $T_C=85^\circ\text{C}$	+30 dBm
RF Input Power at RFOUT, $T_C=85^\circ\text{C}$	+27 dBm
Device Supply Voltage (V_{DD})	-0.5 to +6 V
All Other DC and Logic Pins, V_{DD} Applied Prior to Any Other Pin Voltages	-0.5 to +6 V

Рисунок 10

3.5. Уровни ослабления микросхемы аттенюатора

Количество выводов управления микросхемы аттенюатора: $N_{упр} = 4$.

Количество возможных уровней ослабления: $N_{атт} = 2^{N_{упр}} = 2^4 = 16$.

Уровни ослабления микросхемы аттенюатора без учета опорных вносимых потерь на частоте F_0 :

0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15 дБ.

Значение опорных вносимых потерь на частоте F_0 (см. рис. 11): 3,3 дБ.

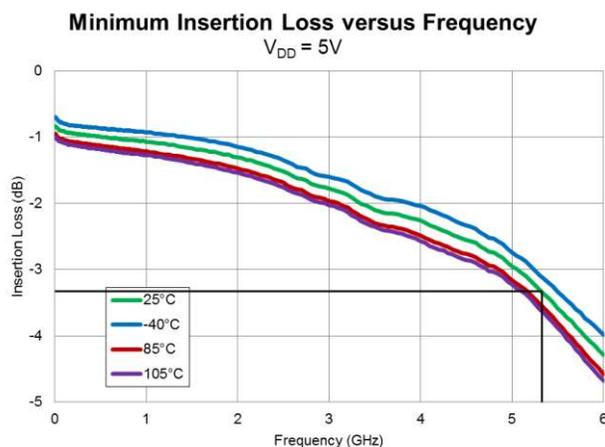


Рисунок 11

Уровни ослабления микросхемы аттенюатора с учетом опорных вносимых потерь на частоте F_0 : -3,3; -4,3; -5,3; -6,3; -7,3; -8,3; -9,3; -10,3; -11,3; -12,3; -13,3; -14,3; -15,3; -16,3; -17,3; -18,3 дБ.

Таким образом, возможны следующие уровни мощности сигнала на выходе «усилителя»: $-13,56$; $-14,56$; $-15,56$; $-16,56$; $-17,56$; $-18,56$; $-19,56$; $-20,56$; $-21,56$; $-22,56$; $-23,56$; $-24,56$; $-25,56$; $-26,56$; $-27,56$; $-28,56$ дБм.

Их значение в милливаттах соответственно: $0,044$; $0,035$; $0,028$; $0,022$; $0,018$; $0,014$; $0,011$; $0,009$; $0,007$; $0,006$; $0,004$; $0,003$; $0,003$; $0,002$; $0,002$; $0,001$ мВт.

3.6. Рисунок схемы Э1 без рамки

На рис. 12 приведен рисунок схемы Э1 без рамки, являющийся итогом выполнения первых трех пунктов курсового проектирования.

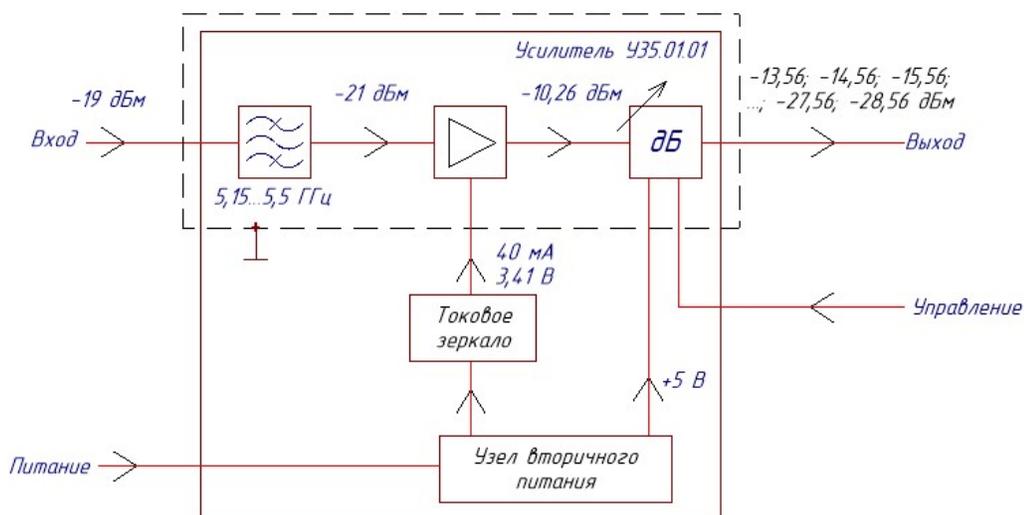


Рисунок 12