

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

Институт микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина

Методические указания к выполнению курсового проекта

«Подготовка отчета и презентации»

**По курсу
«Проектирование печатных плат»**

Москва, Зеленоград

2021

Оглавление

Оглавление	2
Введение.....	2
Типовой состав отчета	4
1. Титульный лист и оглавление.....	4
2. Техническое задание.....	4
3. Составление структурной схемы (и расчет канала).....	5
4. Выбор элементной базы	6
5. Моделирование ВЧ-канала.....	7
6. Составление библиотеки элементной базы.	9
7. Составление электрической схемы.	9
8. Проектирование топологии.....	11
9. Разработка КД.....	15
10. Дополнительные виды работ.....	16
11. Список литературы	17
12. Приложения.	18
Типовой состав презентации.....	19
Приложение А. МПСУ.687254.001СБ	21
Приложение Б. Титульный лист	24

Введение

Описание всей выполненной работы должно быть включено в отчет по курсовому проекту. Отчет в печатном виде сдается основному преподавателю, в электронном (pdf) выкладывается в «Портфолио». В печатной версии отчета не обязательно печатать цветным, можно обойтись черно-белым. Также в Портфолио в виде архивов выкладываются проекты в ВЧ САПР и в топологическом САПР, а также все полученные КД.

Отчет должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.32-2017 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления», в том числе – шрифт Times New Roman, 14 кегль, полуторный интервал между строк, пронумерованные страницы, подписанные и пронумерованные рисунки и пр.

Отдельно должна быть подготовлена презентация и речь к защите. Объем речи 5 минут, презентация – основные этапы работы.

В тексте отчета и во время доклада всё вынесенное в ТЗ должно быть тем или иным способом подтверждено. Например, для численных параметров, это могут быть результаты моделирования, или результаты расчета. Также в некоторых случаях можно ссылаться на свойства выбранной элементной базы.

В отчете не должно быть оторванных от текста картинок, графиков и таблиц, каждый добавленный в текст (и доклад) такой элемент служит для подтверждения выполнения ТЗ или описания этапа выполненной работы. Должны быть приведены пояснения, что читатель видит и зачем это нужно.

Доклад слушают кроме основного преподавателя приглашенные преподаватели (как правило это ваши научные руководители по диплому), и остальная аудитория. После доклада задают вопросы, как что было сделано, ловят на недостатках и ошибках, и оценивают, как вы можете представлять выполненную работу.

В данном методическом указании представлен типовой состав отчета и презентации, а также рекомендации к подготовке доклада.

Курсивом выделены стандартные фразы, которые часто используются для пояснения хода проектирования. Рекомендуется свой пояснительный текст строить по такому же виду.

Разделы отчета 2-5 соответствуют выполненному вами в прошлом семестре БДЗ «Расчет ВЧ-ячейки».

Разработанные конструкторские документы идут в приложения. Каждый документ – это отдельно приложение. Нумеруются они как **«Приложение А»**, **«Приложение Б»** и т.д.

Данный состав отчета и доклада процентов на 50 совпадает с типовым ВКР бакалавра по нашей специальности, поэтому эту структуру можно в будущем использовать и при подготовке ВКР и доклада к ней.

Материал написан с учетом версии Altium Designer 20.1.14

Типовой состав отчета

1. Титульный лист и оглавление

1.1. Формат в Приложении Б.

1.2. Вторым листом должно идти оглавление. В оглавление включаются и приложения.

2. Техническое задание

2.1. Сначала словами пишется цель работы, например:

«Проектирование двухканальной приемной ячейки», или «Проектирование передающую ячейку с контролем мощности», или «Разработка приемной ячейки усиления и фильтрации, с возможностью переключения каналов», в зависимости то задания.

2.2. Далее надо в виде списка расписать задачи. Задачи – это фактически те этапы, которые нужно выполнить, чтобы прийти к поставленной цели. С учетом типового маршрута проектирования печатного узла это получается приблизительно такой список:

- *Составление структурной схемы*
- *Выбор ВЧ-компонентов*
- *Моделирование ВЧ-канала*
- *Выбор устройства управления ячейки*
- *Составление структурной подсхемы питания*
- *Составление схемы электрической принципиальной*
- *Проектирование топологии*
- *Разработка конструкторской документации*
- ** Дополнительные выполненные работы*

Если получилось, что ячейка разбита на несколько печатных узлов, то это тоже нужно конкретизировать в списке задач.

2.3. Затем в виде таблицы или списка идут численные требования, например:

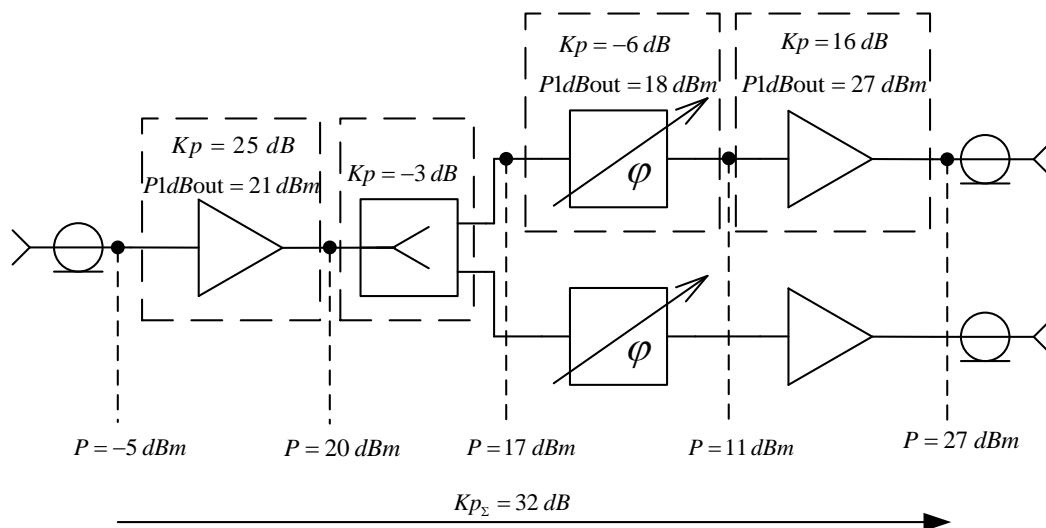
<i>Параметр</i>	<i>Значение</i>
<i>Центральная частота, F_c</i>	<i>2,8 ГГц</i>
<i>Полоса частот по -3дБ, $\Delta F_{-3дБ}$</i>	<i>не менее 5% от центральной частоты</i>
<i>Коэффициент усиления, K_p</i>	<i>не менее 16 дБ</i>
<i>Точка одностенной компрессии, P_{1dB}</i>	<i>не менее 30 дБмВт</i>
<i>КСВН</i>	<i>не более 1,5</i>
<i>Переходное ослабление направленного ответвления</i>	<i>16 дБ</i>
<i>Номинал напряжения питания</i>	<i>+12 В</i>

2.4. Словами дописывается то, что плохо ложится в таблицу, например:

«Должна быть предусмотрена установка детектора мощности во вторичном плече направленного ответвителя» или «Управление фазовращателями должно осуществляться с помощью микроконтроллера, размещенного на плате».

3. Составление структурной схемы (и расчет канала)

3.1. Пишется что-то типа *«На основании технического задания составлена структурная схема проектируемой ячейки»* и рисуется структурная схема разработанного устройства. На структурной схеме можно конкретизировать именованные ВЧ-компонентов и системный расчет (уровни мощностей, как меняется усиление и т.д.).



3.2. Если структурная схема сильно менялась в процессе проектирования, то можно сначала нарисовать примерную структурную схему, а потом финальную.

3.3. Если в моделировании никак не проверялись P_{1dBout} или $K_{ш}$, то приводится расчет (по формулам), показывающий выполнение ТЗ.

4. Выбор элементной базы

4.1. Описывается выбор сначала основной (ВЧ), затем дополнительной элементной базы (питание и управление).

4.2. Про резисторы, конденсаторы, индуктивности, разъемы и прочую мелочь писать не надо, только если это не что-нибудь редкое или особенное.

4.3. Если осуществлялся выбор между несколькими компонентами на одно место, то составляется сравнительная таблица и пишется, почему был выбран конкретный компонент.

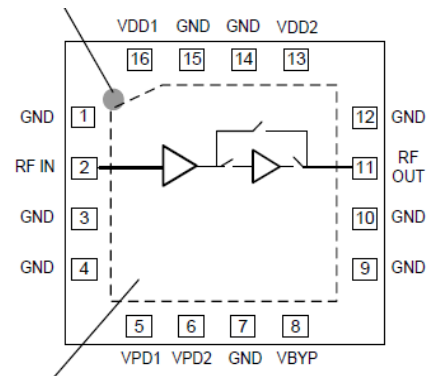
4.4. Последним в списке идет выбранная ВЧ-подложка (с толщиной диэлектрика) с обоснованием, почему она выбрана.

4.5. На каждый выбранный компонент составляется описание приблизительно в таком виде:

Было в даташите:

Product Features

- 1.5 – 3.8 GHz Operational bandwidth
- 2nd stage LNA with integrated bypass mode
- Ability to turn LNA and bypass mode OFF
- Ultra low noise, 0.5 dB at 1.95 GHz
- 36 dB Gain at 1.95 GHz, 17 dB in Low Gain Mode
- +35 dBm Output IP3 in High Gain Mode
- +34 dBm Output IP3 in Low Gain Mode
- Internally matched
- Positive supply only, +3.3 to +5 V
- 3.5x3.5 mm 16-pin SMT package



Внесено в отчет:

Малошумящий усилитель TQL9065 [5]

Диапазон рабочих частот 1,5 – 3,8 ГГц

Возможность отключения второго каскада

Коэффициент усиления в режиме полного усиления 36 дБ на частоте 1,95 ГГц

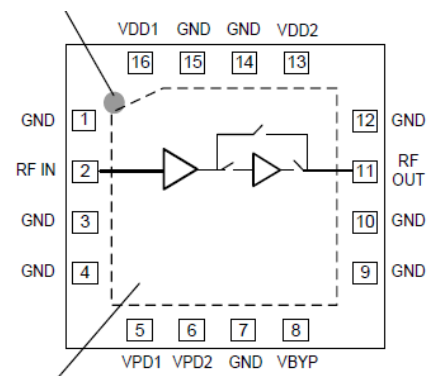
Коэффициент усиления с отключенным вторым каскадом 17 дБ на частоте 1,95 ГГц

Коэффициент шума 0,5 дБ на частоте 1,95 ГГц

Уровень интермодуляционных искажений третьего порядка 35 дБмВт в режиме полного усиления, 34 дБмВт с отключенным вторым каскадом

Возможность питания от +3,3 В и +5 В

Корпус QFN 3,5 мм x 3,5 мм

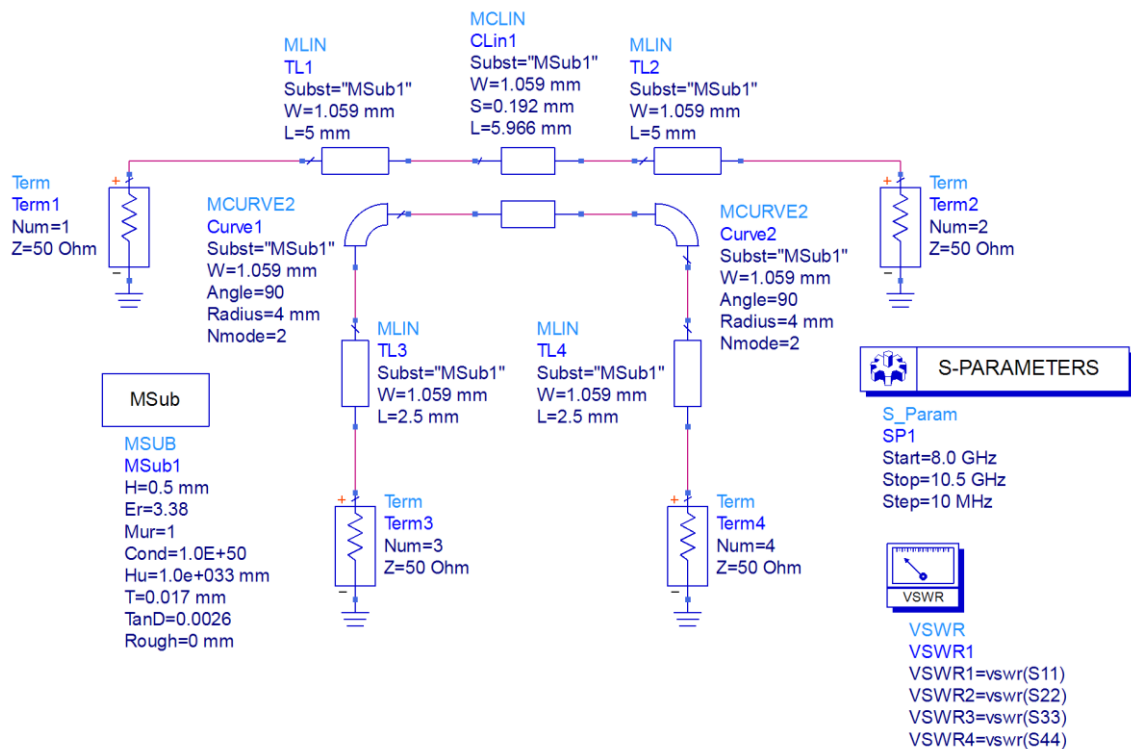


5. Моделирование ВЧ-канала

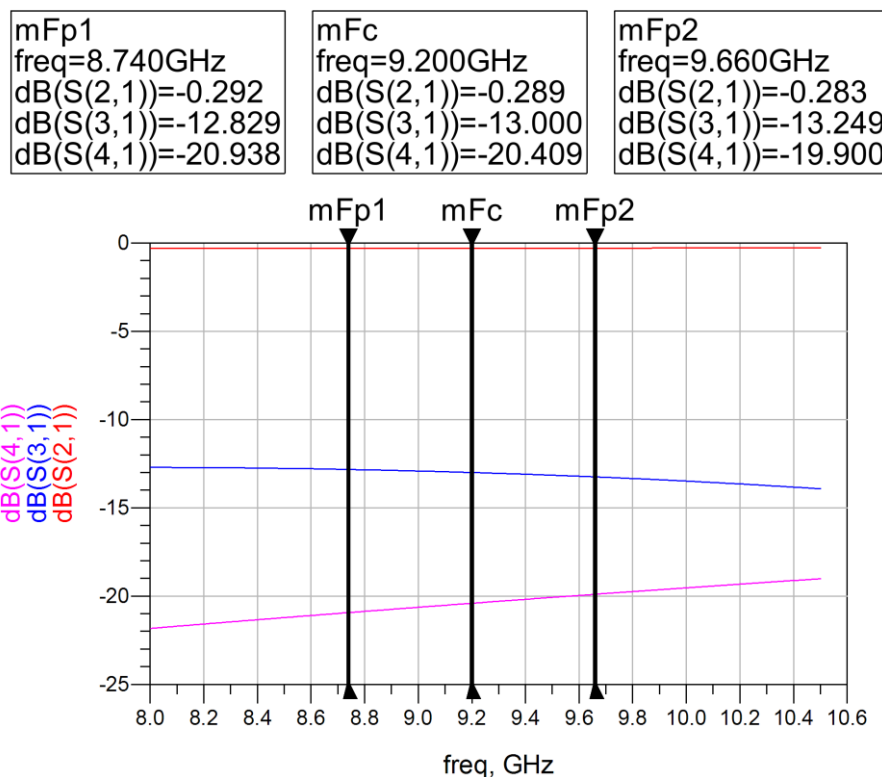
5.1. Описывается моделирование в ВЧ САПР. Если проводилось моделирование компонентов по отдельности, то и описывается все это поэтапно отдельно.

5.2. Для отдельно спроектированных полосковых устройств моделирование описывается отдельно, например:

«Спроектирован направленный ответвитель мощности на связанных линиях



Результаты моделирования направленного ответвителя представлены на рисунке.



Результаты моделирования показывают, что переходное ослабление на рабочей частоте равно 13 дБ и в диапазоне рабочих частот отклоняется от заданного не более чем на 0,3 дБ, что соответствует техническому заданию»

5.3. Если у компонентов проводилось индивидуальное согласование, то про каждый компонент пишется отдельно, сначала модель и результаты без согласующих цепей, затем после согласования. Все это должно сопровождаться фразами вида

«Результаты моделирования без согласующих цепей показывают отсутствие согласования компонента НМС123 на 50 Ом, выходное КСВН больше 1,5. Спроектируем выходную согласующую цепь на микрополосковых линиях», «Результаты моделирования вместе со спроектированной согласующей цепью показывают приемлемый уровень КСВН как по входу, так и по выходу».

5.4. Приводится совместная модель и полученные результаты. По графикам коэффициента передачи, КСВН и (если проводилось) Кш или P1dB делается вывод, что выполняется техническое задание.

5.5. Если у устройства есть несколько режимов, то приводятся результаты моделирования в этих режимах. Если режимов получается слишком много, то можно воспользоваться моделированием выхода годных (Yield Analysis).

6. Составление библиотеки элементной базы.

6.1. Здесь писать по минимуму, не более чем на одну-две страницы с фразами вида *«Были составлены условные графические обозначения и посадочные места компонентов, используемых в проекте»* и пара самых сложных компонентов.

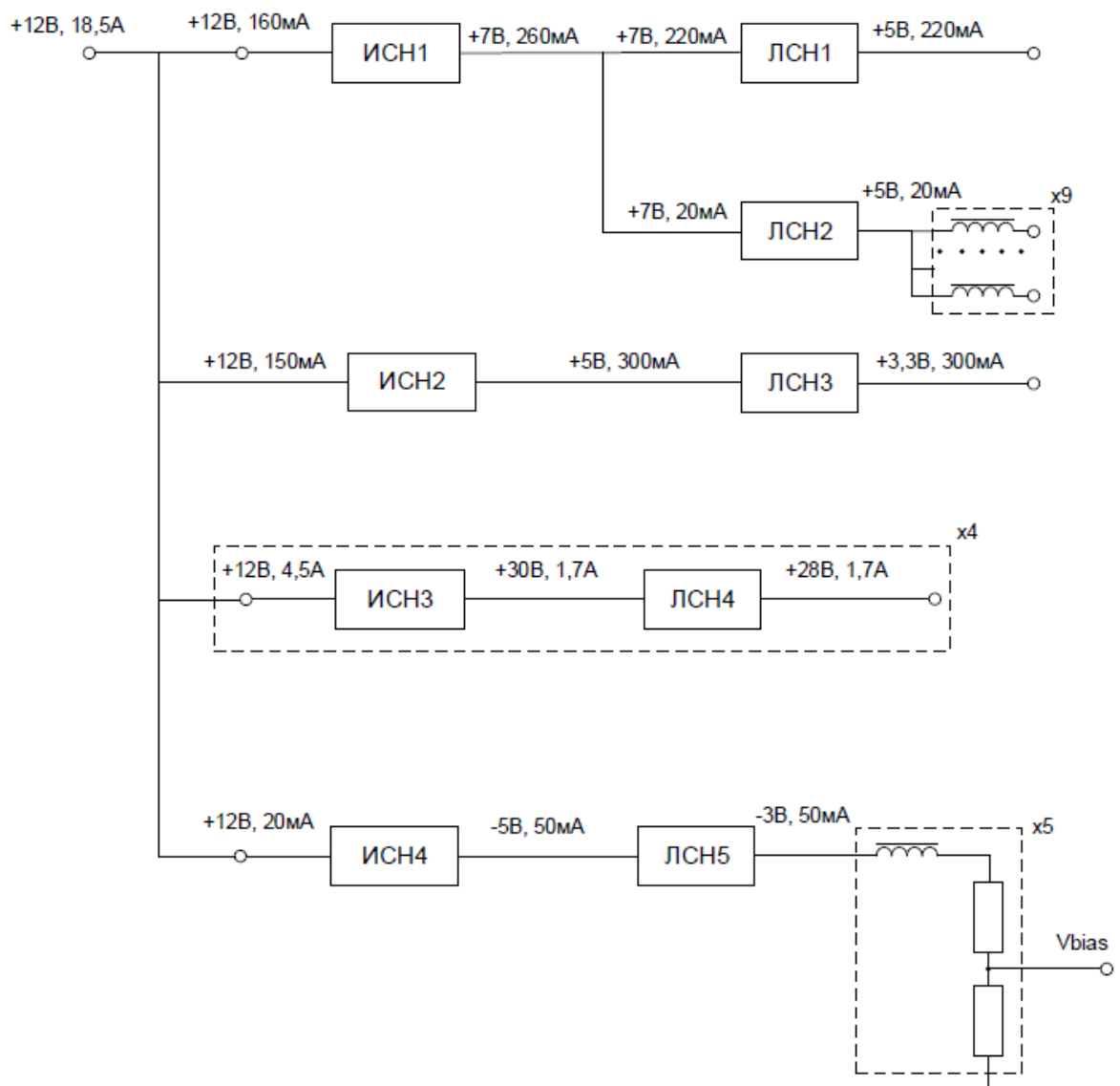
7. Составление электрической схемы.

7.1. Описывается составление электрической схемы вместе со скриншотами фрагментов схемы. Сопровождается это фразами вида *«С использованием результатов моделирования и с учетом рекомендаций производителей элементной базы составлен эскиз электрической принципиальной схемы», «Усилитель мощности TGA2624-CP требует применения высоковольтных (до 50В) керамических конденсаторов в цепи питания +28В».*

Саму схему принципиальную как конструкторский документ надо будет добавить в приложение к отчету.

7.2. Текстом или некоторой структурной схемой надо пояснить структуру проекта – плоский ли он, иерархический, иерархический многоканальный и пр.

7.3. В этом разделе нужно описать расчет цепей стабилизаторов (например, расчет отношения резисторов, выбор собственно стабилизаторов и пр.). Хорошим поясняющим рисунком здесь будет структурная схема подсистемы питания, по которой будет понятно, как какие номиналы питающих напряжений формируются и протекающие токи.



7.4. Если цвет электрической схемы белый на черном, то инвертировать, так, чтобы было черное на белом.

7.5. Для идущих на оценку «Отлично» в этой части отчета описывается применение микроконтроллера. Необходимо описать по каким причинам был выбран именно этот микроконтроллер и его назначение ног, способа тактирования, программирования (наименование интерфейса и выделенные ноги) и общения с внешним миром.

8. Проектирование топологии.

8.1. Описывается проектирование топологии печатной платы. Сопровождается это фразами вида *«На основании электрической схемы с использованием полученных ранее моделей полосковых устройств, с учетом рекомендаций производителей элементной базы и правил проектирования ВЧ-плат спроектирована топология устройства»*.

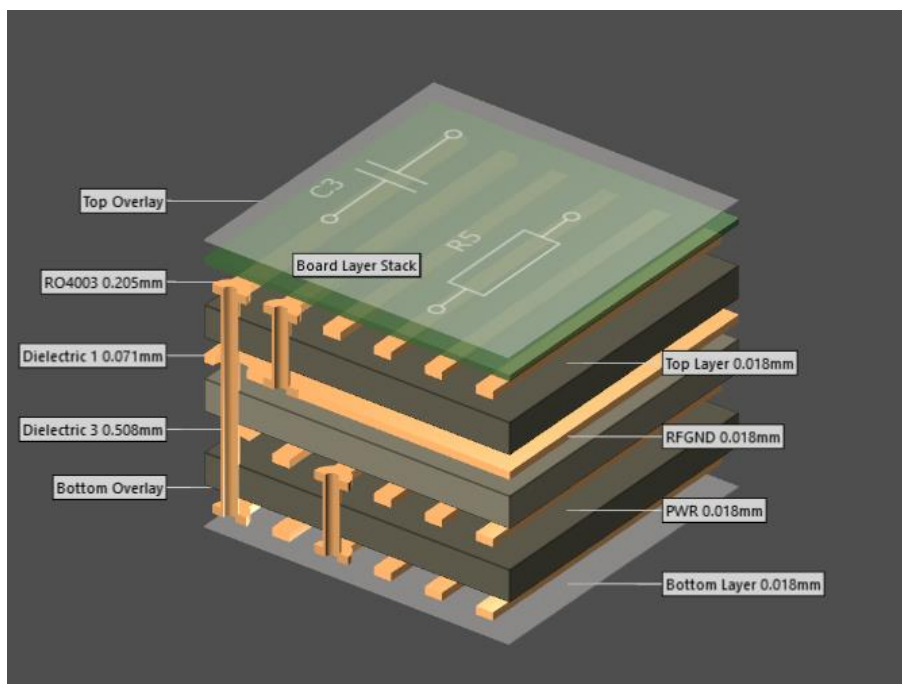
8.2. Если были какие-либо сложности или особенности, то про них надо написать.

8.3. Надо привести геометрические размеры полученной платы.

8.4. Надо расписать стек, сколько-слойная получилась плата, написать почему, и расшифровать выбранный стек (типы и толщины диэлектриков и препрегов, и диапазоны отверстий).

				Thru 1:4 Blind 1:2 Blind 3:4 + -			
#	Name	Type	Thickness	#	Thru 1:4	Blind 1:2	Blind 3:4
	Top Overlay	Overlay					
	Top Solder	Solder Mask	0.025mm				
1	Top Layer	Signal	0.018mm	1			
	RO4003	Core	0.205mm				
2	RFGND	Plane	0.018mm	2			
	Dielectric 1	Prepreg	0.071mm				
3	PWR	Signal	0.018mm	3			
	Dielectric 3	Core	0.508mm				
4	Bottom Layer	Signal	0.018mm	4			
	Bottom Overlay	Overlay					

В режиме редактирования стека (Design - Layer Stack Manager) можно вывести 3D-визуализацию стека по Tools – Layer Stack Visualizer.

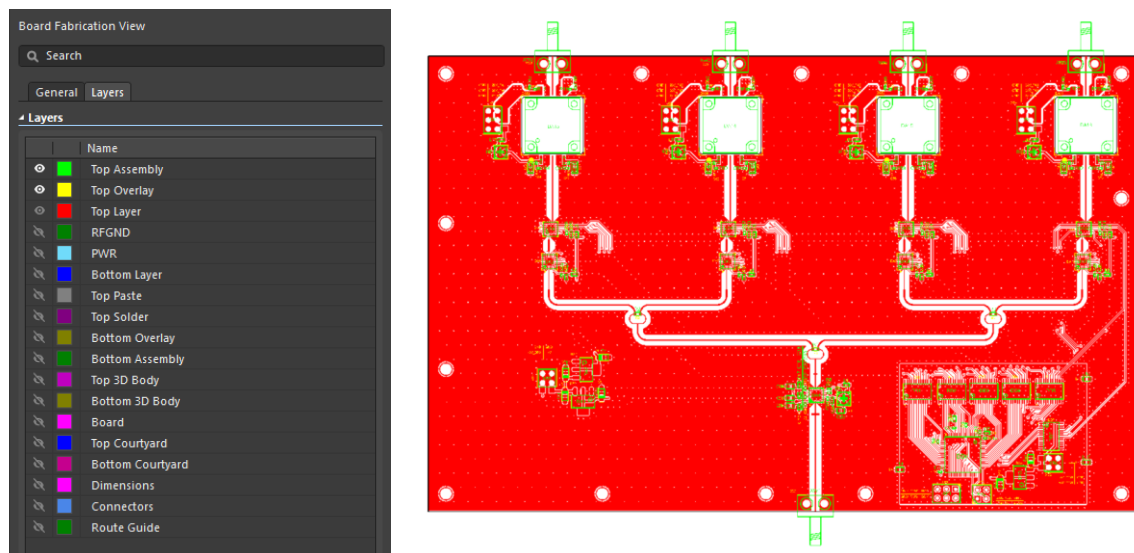


8.5. Для послойного представления печатной платы в качестве рисунков в отчет могут быть вставлены:

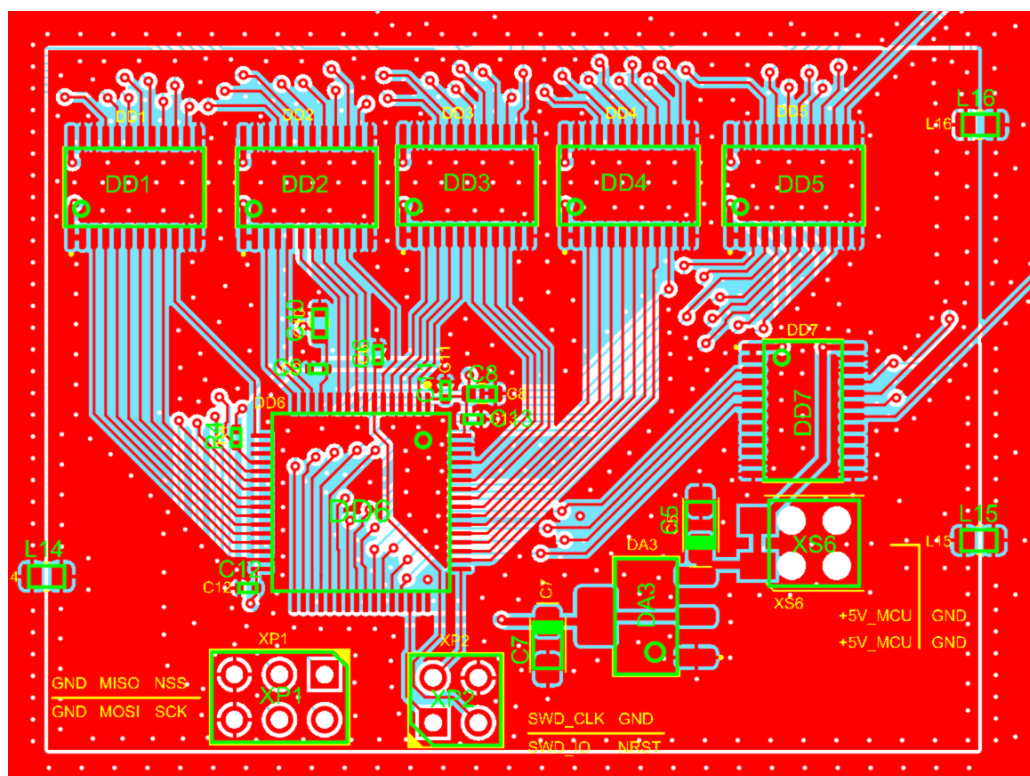
- слои металлизации
- отдельные сборочные виды
- отдельно про маску
- 3D-визуализацию почетного узла

Большая часть картинок хорошо получается из документа Draftsman через размещение видов Board Fabrication View. В них можно на вкладке Layer настроить отображаемые слои и их порядок отображения друг перед другом.

Например, для слоя Top Layer стоит дополнительно включить отображение Top Overlay и Top Assembly, чтобы было понятно, где какой компонент стоит. Порядок отображения – Top Assembly, Top Overlay, Top Layer.

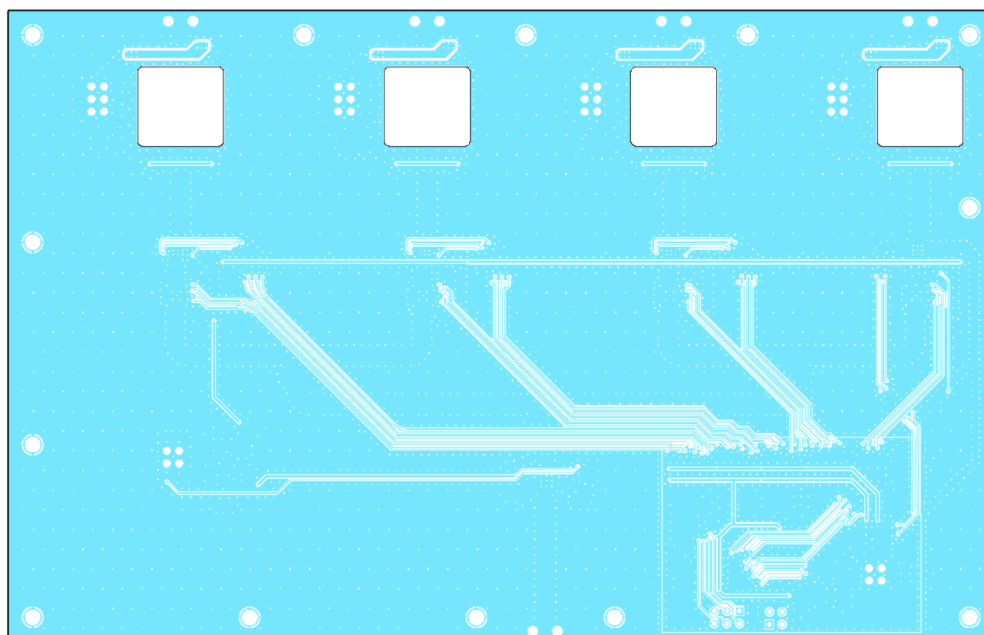


Показанная выше картинка получилась нечитаемой, значит надо будет приводить фрагменты разводки на отдельных рисунках с пояснениями, например: *«На данном рисунке приведен фрагмент разводки вокруг микроконтроллера. Он и преобразователи управляющих сигналов разведены на отдельном участке платы, с отделенной земляной заливкой от остальной части печатной платы.»*

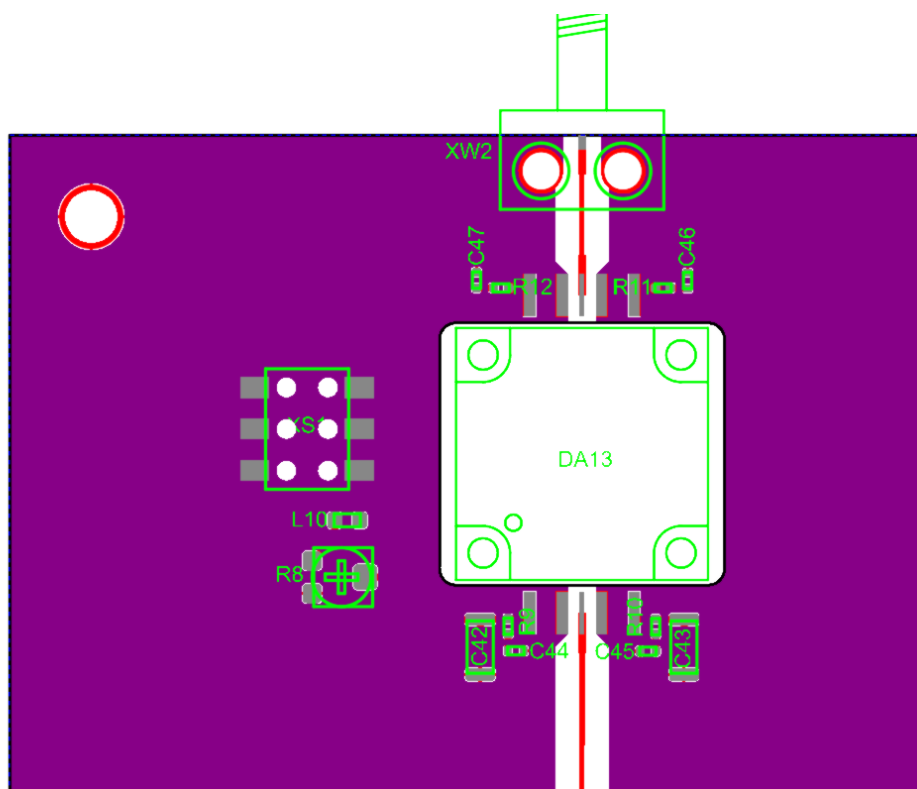


Если для размещения компонентов использовался нижний слой Bottom Layer, то для него тоже стоит включить отображение Bottom Overlay и Bottom Assembly (в порядке Bottom Assembly, Bottom Overlay, Bottom Layer).

Внутренние слои как правило не надо совмещать. Пример картинки для внутреннего слоя.

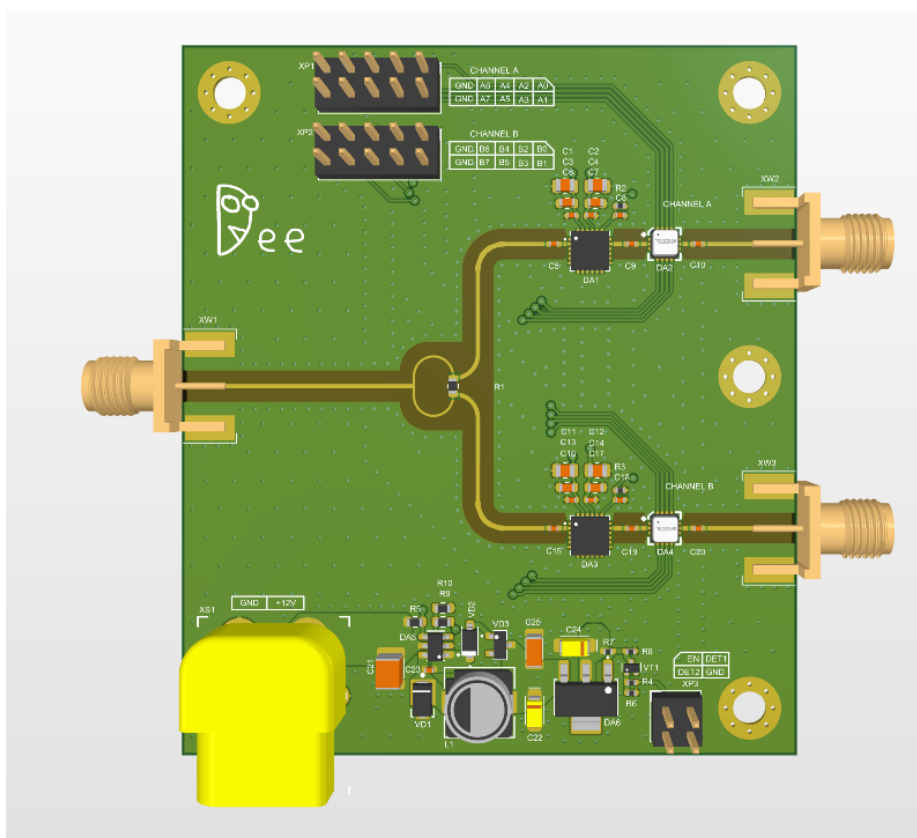


Для визуализации вырезов маски лучше всего выглядит порядок показанных слоев Top Assembly, Top Paste, Top Solder и Top Layer, ниже показан фрагмент платы.



8.6. Дополнительно можно рассказать про финализацию шелкографии, про то, что какой шрифт был выбран для нее, про возможные добавленные поясняющие метки, лого разработчика и т.д.

8.7. Для красоты можно воспользоваться возможностями Altium Designer и добавить в отчет трехмерный вид платы. Для этого перейти в режим 3D (по клавише 3) и выбрать удачный вид (вращение по Shift+ПКМ).



9. Разработка КД.

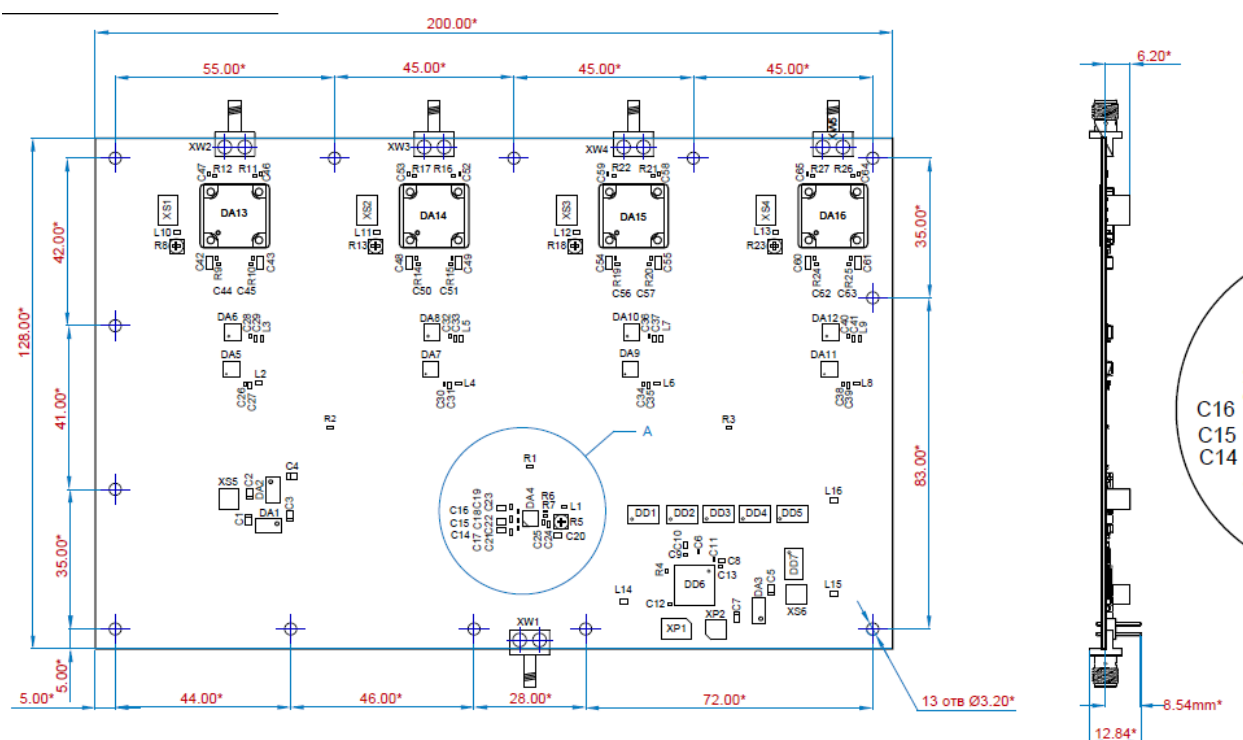
В этом разделе надо расписать про все про разработку КД, в том числе:

9.1. Определение состава КД и ее иерархии, выбор десятичного номера изделия и еще стоит привести иерархию документов, можно в виде структурной схемы.

9.2. Упомянуть какие документы были разработаны с применением каких инструментов.

9.3. Нужно вставить фрагменты конструкторских документов с пояснениями. Целиком в этот раздел конструкторские документы вставлять не надо, только значимые фрагменты. Обрамляется это все фразами типа «С применением

редактора чертежей Draftsman был разработан сборочный чертеж ячейки... На рисунке приведен фрагмент сборочного чертежа с габаритными размерами и расположением компонентов. Устройство имеет габаритные размеры 200x128 мм, высотой не более 13мм. Устройство собирается с помощью пайки, имеет такие-то габаритные размеры, Полностью сборочный чертеж приведен в приложении Б к отчету».

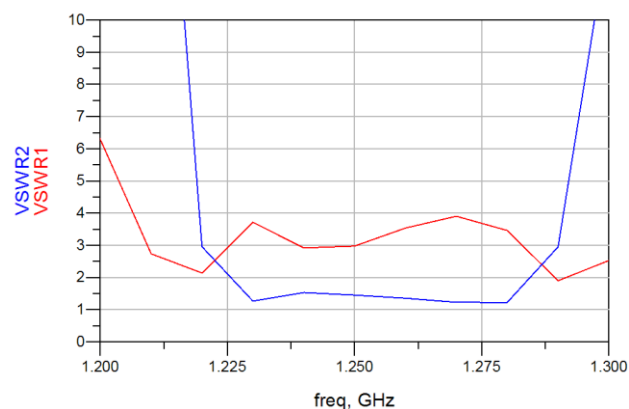
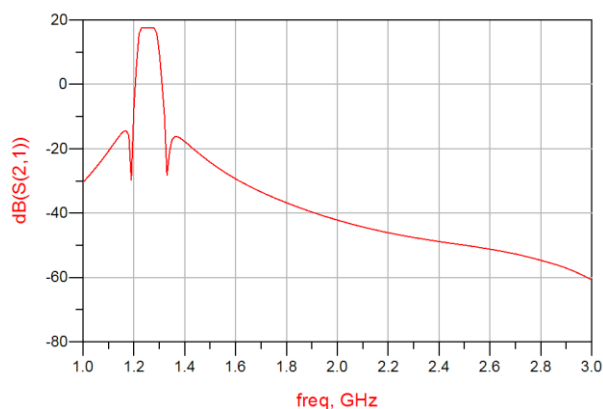


9.4. Сами документы КД должны быть в приложениях к отчету, за исключением «Т5М», т.к. он является архивом герберов.

10. Дополнительные виды работ.

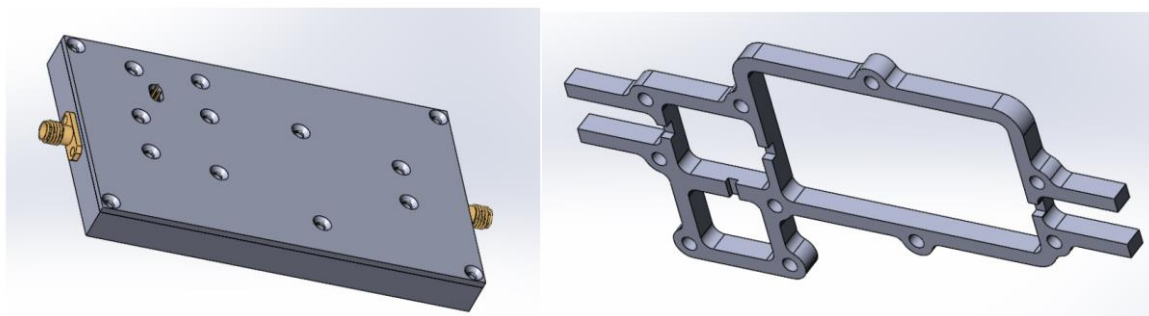
Для улучшения работы можно выполнить еще некоторые операции и их описание с результатами привести в отдельные разделы, например:

10.1. ЕМ-анализ разведённой топологии. Описывается как он был сделан и, сравниваются с результатами моделирования в пункте 5. Один из вариантов этого описан в методичке «Работа с ВЧ-объектами в Altium Designer» в разделе «Обратный перенос в ADS для моделирования».



С большой вероятностью результаты ЕМ-анализа убегают от заданных. В отчет нужно внести объяснение этого, например *«Результаты совмещенного ЕМ-моделирования разведенной топологии и ВЧ-моделей компонентов показывают рассогласованность разведенной схемы по входу, потребуется дополнительная настройка и регулировка»*.

10.2. Механическое проектирование. Описание всей разработанной механики можно внести в этот раздел, например, разработку рамки, делящей на ячейки или разработку единого корпуса и пр. Сюда же можно отнести разработку сложного конструктива, если было решено устройство разбивать на отдельные печатные узлы. На картинке пример этапа разработки корпуса ВЧ-устройства.



Полное описание разработки конструктива выходит далеко за пределы темы данного курсового проекта (вместе с БДЗ), поэтому здесь писать по минимуму.

10.3. В этот раздел можно отнести тепловой расчет, программирование микроконтроллера и иные дополнительные виды работ.

11. Список литературы

11.1. В формате списка литературы приводятся все использованные источники, включая ссылки на страницы с документацией ЭКБ.

11.2. Соответственно, по тексту должны присутствовать правильно оформленные ссылки (в квадратных скобках).

12. Приложения.

12.1. Сюда по правилам оформления приложений вставить все разработанное КД. Приложения нумеруются как «**Приложение А**», «**Приложение Б**» и т.д. отдельной надписью в верхней правой части каждого приложения. Разработанные нами конструкторские приложения являются, как правило, pdf-документами, и их придется добавлять в этот раздел постранично, т.к. стандартный вариант в ворде «Вставить – Объект - PDF» вставляет только первую страницу pdf (предварительно сконвертировав ее в jpeg). Проще всего в данном случае вставлять либо снимками экрана (Win+Shift+S), либо копировать листы инструментами просмотрщика pdf.

12.2. Также нужно помнить, что для приложений альбомного формата нужно будет делать отдельные разделы в отчете в альбомном формате.

12.3. Т.к. все конструкторские документы, которые мы делали, формата не более, чем А3, то их всех можно вставлять в А4 (с приемлемым сжатием размеров).

12.4. Более продвинутые пользователи могут пойти другим путем: сначала сконвертировать отчет без приложений в pdf, а затем сжать между собой все полученные pdf-ники. Но для этого нужно уметь использовать редакторы, умеющие плотно работать с pdf.

12.5. Пример оформления приложения в Приложении А к данному методическому указанию (получен вставкой скриншотов).

Типовой состав презентации

Презентация и доклад формируются на основании отчета, в них должны быть отображены основные этапы выполненной работы. **Типовой состав презентации следующий:**

- Название работы, кто выполнил, руководитель (1 слайд).
- Техническое задание (1 слайд).
- Структурная схема (1 слайд).
- Выбор ВЧ-элементной базы (1-2, максимум 3 слайда).
- Выбор дополнительной элементной базы (не более 2 слайдов, не забыть про ВЧ-подложку).
- Моделирование (здесь сколько слайдов получится, должно быть подробно).
- Структурная схема подсистемы питания (1 слайд).
- Эскиз схемы электрической принципиальной (сначала ВЧ-тракт, потом все остальное, 1-3 слайда).
- Топология (обязательно верхнего слоя и всех других сигнальных слоев, залитые только землей внутренние слои можно не выносить). Фрагменты должны быть хорошо различимы и понятны. (2-3 слайда).
- 3D-вид (1 слайд или совместить с соседними слайдами).
- Конструкторские документы. СБ подробно, текстовые можно в два столбика.
- Дополнительные выполненные виды работы (ЕМ-анализ топологии, механическое конструирование, еще что было сделано) (1-2 слайда, не больше).
- Спасибо за внимание (1 слайд).

Важные моменты:

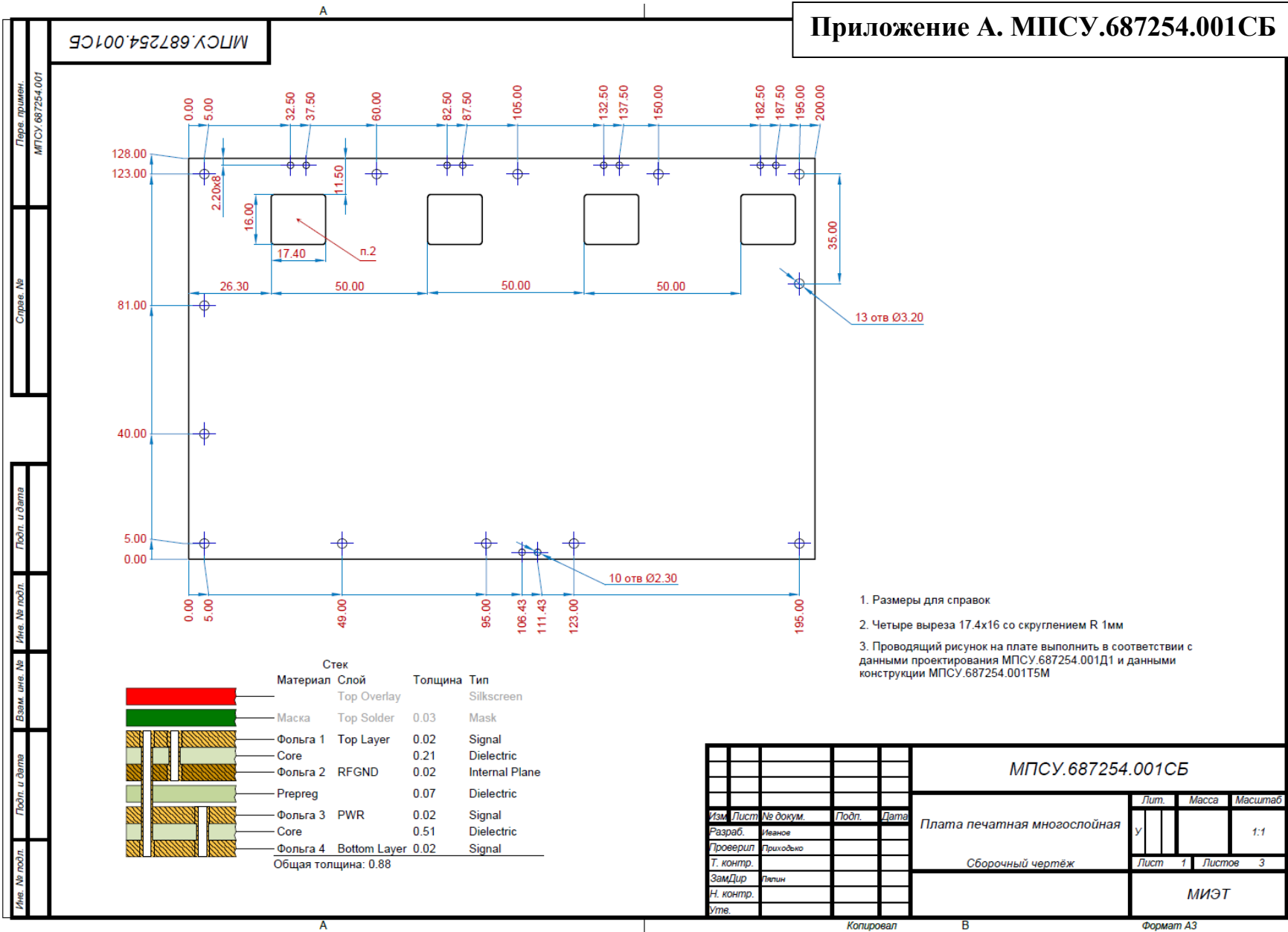
- Должны быть номера слайдов!
- При докладе по слайду с ТЗ озвучиваются только основные требования.
- Время лучше всего планировать в среднем 0,5-1 минуты на слайд, суммарно 5-7 минут на весь доклад. Учтите, что обычно чтение текста вслух с бумаги идет в два раза быстрее, чем устный рассказ по памяти.

- Не должно быть во время доклада ситуаций «вот он слайд...» и стоим-молчим. Речь должна непрерывно идти, объясняющая, что представлено, откуда оно получилось и к чему ведет и т.д.
- Доклад должен быть устный, без чтения по бумажке.
- Расчет по Кш или P1dB (если не выполнялось их моделирование) вынести на слайд про структурный расчет.
- Вообще помните, для каждого заявленного в ТЗ требования в докладе должно быть показано его выполнение (тем или иным способом)! Если этого в докладе нет, считается, что ТЗ не выполнено.
- На всех графиках результатов моделирования должны быть понятны полученные значения, т.е. надо ставить маркеры. Обычно нужно три маркера – на центральной частоте и два по границе рабочего диапазона. Для фильтров нужны маркеры и для полосы запираания.
- Картинки для слайдов подбирать такие, чтобы было читаемо. Избегать много черного фона, с проектора плохо видно.
- Вообще, для сколько-нибудь сложной работы невозможно уместить всю работу во временной лимит доклада и приходится отбирать, что не показывать, а что показать более подробно. В случае, если какой-то этап работы выполнен, а показать его не получается, а надо бы хотя бы упомянуть, то можно сослаться на отчет с фразой «более подробно описано в отчете в разделе ...». Но слишком нагнать так нельзя, иначе комиссия решит, что от нее спрятали какую-то большую глупость или ошибку.
- Формат презентации берите стандартный широкоформатный.
- Избегайте ненужной анимации при переключении слайдов, она никогда не работает как было задумано.
- Для успешной защиты курсового проекта надо серьезно готовиться заранее, писать доклад к презентации и тренировать его перед зеркалом.

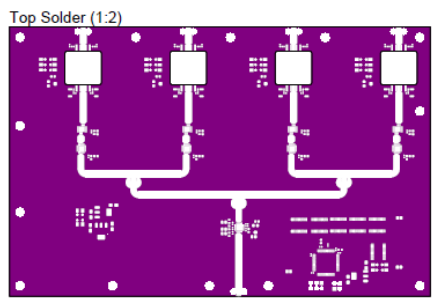
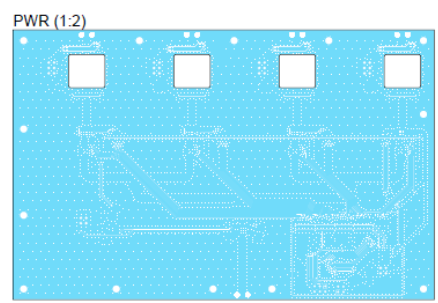
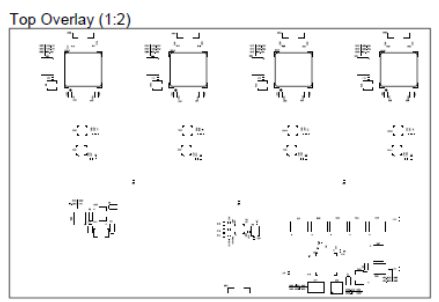
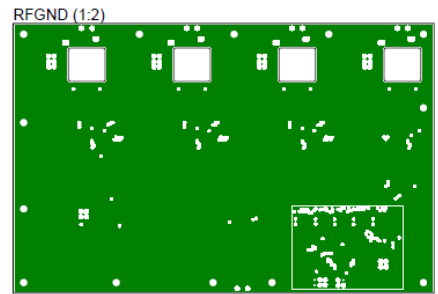
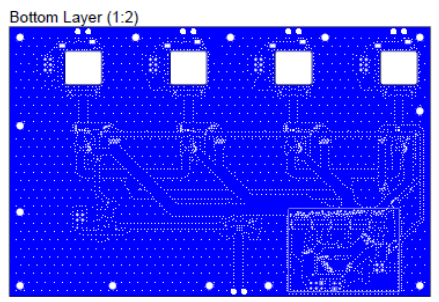
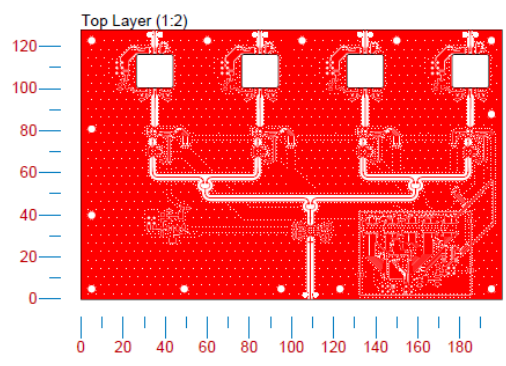
Разработчик:

Ст. преподаватель Института МПСУ

Приходько Д.В.



МПСУ.687254.001СБ



1	Име. Не подп.	Подп. и дата
	Име. Не подп.	Подп. и дата
	Име. Не подп.	Подп. и дата
	Име. Не подп.	Подп. и дата

МПСУ.687254.001СБ

Карта сверловки

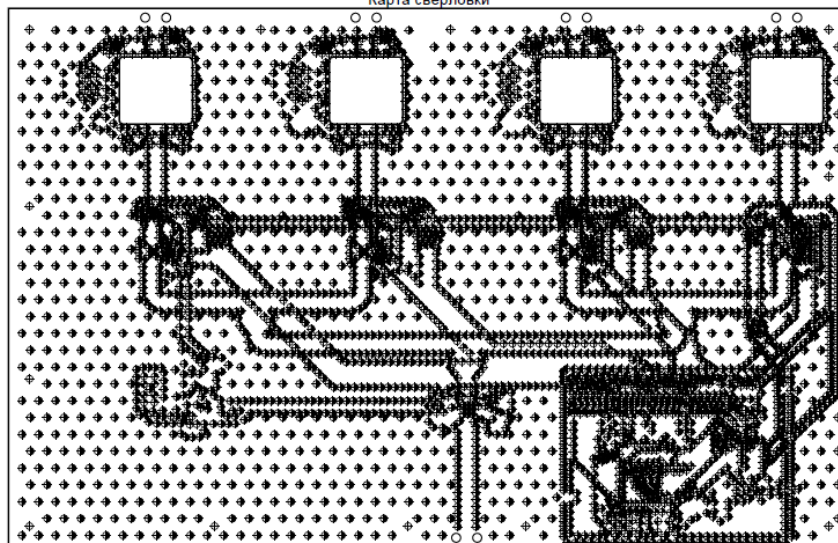


Таблица отверстий

Символ	Количество	Размер	Металлизация	Слой
⊕	2902	0.30	Есть	Top Layer - Bottom Layer
⊕	411	0.30	Есть	Top Layer - RFGND
⊕	579	0.30	Есть	PWR - Bottom Layer
⊕	10	1.00	Есть	Top Layer - Bottom Layer
⊕	32	1.20	Нет	Top Layer - Bottom Layer
○	10	2.30	Есть	Top Layer - Bottom Layer
⊕	13	3.20	Есть	Top Layer - Bottom Layer
3957 Total				

Подп. и дата

Име. № подл.

Взам. или. №

Подп. и дата

Име. № подл.

Изм.	Лист	Не докум.	Подп.	Дата

Копировал

МПСУ.687254.001СБ

3
Лист

Формат А3

Приложение Б. Титульный лист

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники»

Институт микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина

Отчет по выполнению курсового проекта

по дисциплине «Проектирование печатных плат»

{ Наименование ячейки }

Выполнил {Фамилия И.О.}

Группа {РТ-4_}

Москва 20__