

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 по выполнению контрольных работ

**По курсу
«Проектирование печатных плат»**

Москва, Зеленоград
2023

Оглавление

Введение	2
Регламент выполнения контрольных работ.....	3
Контрольная работа №1. Компонент.....	4
Контрольная работа №2. Электрическая схема	10
Контрольная работа №3. Топология.....	14
Контрольная работа №4. Конструкторская документация	19
Литература.....	24

Введение

В курсе предусмотрены четыре контрольные работы, которые необходимы для проверки навыков освоения этапов работы в топологическом САПР (составление компонента, разработка схемы электрической, разводка топологии и выпуск конструкторской документации) и самостоятельности выполнения курсовой работы студентом. Календарно данные контрольные работы синхронизированы с графиком выполнения курсовой работы, проходят сразу после выполнения студентом соответствующего этапа.

Если студент самостоятельно и успешно выполнил соответствующий этап, то данные контрольные работы не должны вызвать проблем у студента.

Регламент контрольных работ единый.

Для каждой контрольной работы разработаны банки заданий, 112 заданий для первой контрольной, 50 заданий для второй контрольной, 50 заданий для третьей контрольной и 50 заданий для четвертой контрольной. Задания регулярно пересматриваются, обновляются и дополняются.

Для выполнения контрольных работ необходим Altium Designer версии не младше 22. Для четвертой контрольной необходимо установить расширение GOSTBOM (GOST 2.701-2008/2.106-1996).

Последняя версия данного методического указания вместе с остальными по предмету «Проектирование печатных плат» находится на github в отдельном репозитории автора [5].

В отдельном репозитории github находится учебная библиотека компонентов StudentsLibrary [4].

В отдельном репозитории github хранятся шаблоны для Altium Designer [6].

Регламент выполнения контрольных работ

1. Контрольная длится обе пары.
2. Задание должно быть выполнено полностью.
3. Во время выполнения можно пользоваться любыми информационными источниками.
4. Преподавателю по окончании выполнения нужно показать проект с выполненным заданием на проверку.
5. Преподаватель выдает список ошибок и замечаний, которые нужно исправить. **В этот момент наличие ошибок на оценку не влияет.**
6. Студенту дается одна неделя на исправление ошибок в проекте. Исправленное задание необходимо выложить архивом проекта в ОРИОКСе в раздел "Домашние задания", привязав к соответствующей контрольной в дисциплине "Проектирование печатных плат".
7. Доделанное и исправленное задание оценивается. Если студент не исправил указанные преподавателем ошибки или насоздавал новых, то преподавателем еще раз указываются ошибки и дается еще неделя на их исправление. Однако максимальная оценка теперь снижается на 25% от максимума. Исправленное задание нужно также выложить архивом проекта в ОРИОКСе в предыдущее "Домашнее задание" (чтобы было видна история переписки).
8. Если после второй попытки ошибки не исправлены или появились новые ошибки, то студент получает оценку «неудовлетворительно» и отправляется на пересдачу.
9. При пропуске даты контрольной или получении неудовлетворительной оценки студенту при пересдаче контрольной выдается другой вариант. Пересдачи назначаются не ранее, чем через две недели после даты проведения контрольной.
10. В течении пар преподаватель и консультанты присутствуют на занятиях. Но помогают только при возникновении каких-то технических сложностей или ошибок в формулировке задания.
11. Если студент соответствующий этап в своем курсовом проекте (как оно идет по плану), то контрольная работа для него будет выполнима. Если нет - то все плохо, скорее всего студент не сможет ее выполнить за отведенное время.
12. Если к дате контрольной работы студентом выполнена и защищена курсовая работа (включая день выполнения контрольной, т.е. можно защищать курсовую в день выполнения контрольной работы), то студент освобождается от данной и последующих контрольных с максимальной оценкой.

Контрольная работа №1. Компонент

Формулировка задания:

1. Нужно составить два компонента на основании их документации (даташита);
2. Составленные компоненты должны быть готовы к применению и соответствовать принципам нашей библиотеки;
3. В папке с заданием рядом с даташитом лежит подготовленная 3D-модель. В документации некоторых компонентов приведено несколько вариантов посадочных мест, делать то, к которому приложена 3D-модель;
4. Используемая схема механических слоев в посадочном месте приведена в таблице ниже. Можно подгрузить ее репозитория [6] в папке altium-pcb-templates

Слой	Применение
Mechanical 1 Top Assembly	Графика корпуса компонента на верхнем слое. Линии толщиной 0,25 мм. Расположена метка первого пада. Также в этом слое расположена специальная строка для формирования позиционного обозначения на сборочных чертежах. Текст строки «.Designator», шрифт TrueType Arial, высотой 1,5 мм. Слой парный с Mechanical 2.
Mechanical 2 Bottom Assembly	Графика корпуса компонента на нижнем слое. Линии толщиной 0,25 мм. При создании посадочного места используется, только если часть компонента располагается на обратной стороне. Слой парный с Mechanical 1.
Mechanical 3 Top 3D Body	3D-модель компонента на верхнем слое. Слой парный с Mechanical 4.
Mechanical 4 Bottom 3D Body	3D-модель компонента на нижнем слое. При создании посадочного места используется только если 3D-модель разбита на части и некоторые части располагаются на нижней стороне. Слой парный с Mechanical 3.
Mechanical 5 Board	Слой для работы с контуром платы при работе с обычными платами. В новых версиях для редактирования контура также можно использовать режим Board Planning Mode. При создании посадочных мест обычно не используется.
Mechanical 15 Top Courtyard	Граница размещения компонента на верхнем слое; также включает в себя обозначение центра компонента (перекрестие и окружность) и иные метки, не являющиеся частью графики

	корпуса или шелкографии. Линии толщиной 0,05 мм. Слой парный с Mechanical 16.
Mechanical 16 Bottom Courtyard	Граница размещения компонента на нижнем слое; также включает в себя обозначение центра компонента (перекрестие и окружность) и иные метки, не являющиеся частью графики корпуса или шелкографии. Линии толщиной 0,05 мм. При создании посадочного места используется, только если часть компонента располагается на обратной стороне. Слой парный с Mechanical 15.

Список проверяемых моментов:

Чек-лист по УГО:

- Имя УГО (Design Item ID) уникально в пределах всех используемых библиотек УГО
- УГО соответствует ЕСКД (для стандартных компонентов, резисторов, конденсаторов, индуктивностей, транзисторов, микросхем, разъемов и пр.)
- Нумерация и именование пинов соответствует документации или стандартным решениям
- В компонентах с термопадом добавлен пин для него
- Левый верхний левый пин располагается в (0, 0)
- Пины располагаются в сетке 5 мм
- Общий стиль графики соответствует библиотеке (цвета, шрифты, толщины линий и пр.)
- Правильный шаблон позиционного обозначения (по ЕСКД)
- Правильно заполнено поле Comment (в общем случае =PartNumber либо сборная строка для удобного заполнения перечня элементов)
- Добавлены все необходимые параметры компонента. Минимально PartNumber и Manufacturer. Если компонент входит в серию, то введены все изменяемые параметры (Value, Tolerance, Package и т.д.)
- Привязано посадочное место
- Пины УГО и пады посадочного места соответствуют друг другу
- Корректно настроена перестановка секций, выводов и дифпар (при наличии)
- Для особых компонентов выбран правильный тип, отличный от Standard (Net-Tie, Mechanical, Graphical, Standard NoBOM и пр)

- Добавлены полезные ссылки (на станицу компонента на сайте производителя, на документацию, на страницу в выбранном магазине, во внутреннем хранилище компании и пр.)

Чек-лист по посадочному месту:

Общее соответствие чертежу в документации

правильно использованы единицы длин (мм, дюймы или mils) и углов (градусы или радианы)

правильно взят основной вид из документации (нужно зеркалить чертеж или нет)

Правильная схема механических слоев (минимальный набор)

графика корпуса, Assembly – M1/M2

3D-модель, 3D Body – M3/M4

граница размещения, Courtyard – M15/M16

слои объединены в пары

Информация о посадочном месте

для стандартных корпусов – именование по IPC-7351B или коду документации производителя или по названию компонента

именование посадочного места уникально в пределах всех используемых библиотек посадочных мест

введена высота компонента (задается максимум)

Центр координат компонента

в центре посадочного места (в большинстве случаев)

на первом паде (у штыревых разъемов 2,54 мм и аналогичных)

по оси симметрии на краю платы (у устанавливаемых на фиксированном положении относительно края платы, например, боковых SMA-разъемов, некоторых разъемов питания и пр.) или иной характерной точки

Графика корпуса (Assembly)

в слое Top Assembly; в слой Bottom Assembly только если есть часть компонента на обратной стороне

линии толщиной 0,25 мм

упрощенно, контурными линиями, по номинальным (средним) размерам корпуса

у стандартных корпусов (SOIC, QFN, DPAK и пр.) выводы не обозначают и не прорисовывают

присутствует строка позиционного обозначения «.Designator» (True Type Arial, высота 1,5 мм), только в слое Top Assembly

обозначение первого пада или полярности – кружок, срезанный угол, иная метка

3D-модель

в слое Top 3D Body, даже если часть компонента на обратной стороне; в слой Bottom Assembly только если 3D-модель разбита на несколько файлов и часть из них на обратной стороне

отцентрирована, повернута в нужный угол, при необходимости смещена вверх или вниз

в 3D-режиме видно, что корпус корректно расположен относительно падов, шелкографии и плоскости печатной платы

Шелкография (Overlay)

в слое Top Overlay; в слой Bottom Overlay только если есть часть компонента на обратной стороне

линии толщиной 0,15 мм

зазор от выреза в паяльной маске от 0,15 мм и нельзя поверх падов

участками линий недалеко за номинальными пределами корпуса

обозначение первого пада залитой точкой, можно за пределом границы размещения

Граница размещения (Courtyard)

в слое Top Courtyard; в слой Bottom Courtyard только если есть часть компонента на обратной стороне

линии толщиной 0,05 мм

замкнутой линией, с отступом не менее +0,2 мм от металла, тела и основной шелкографии

для простых компонентов прямоугольником (окружностью); если геометрия сложная – то можно делать контур

присутствует метка центра – окружность радиусом 0,25 мм и перекрестие 0,7 мм x 0,7 мм

возможны иные дополнительные особые информационные метки

Пады

расположены в правильных слоях (Top Layer или Bottom Layer для поверхностно монтируемых, Multi-Layer для традиционно монтируемых)

нумерация падов соответствует документации или стандартному корпусу (для стандартных корпусов против часовой стрелки, для штыревых разъемов – зигзагом и пр.)

зазоры между падами – минимум 0,15..0,2 мм (по выбранной технологии)

размеры и положение падов с учетом правил увеличения относительно выводов на корпусе на основании IPC-7351B (для SMT-компонентов), документации производителя и пр.

в стандартных корпусах типа SON, DFN, QFN, PQFN и прочих безвыводных у пада есть вылет за пределы корпуса (либо по калькуляторам IPC или документации производителя; если нет данных, то просто +0,3..0,4 мм от границы корпуса)

в стандартных корпусах типа SOIC, SOP, вариаций SOT и прочих выводных, размер пада с учетом минимального зазора и максимального размаха ножек

у обычных падов паяльная маска и паста задаются правилами

пады сложной формы заданы регионами; паяльная маска и паста для них задаются либо правилами, либо отдельной графикой в слоях Solder и Paste

у посадочных мест, где одному пину в УГО соответствует несколько падов, эти пады имеют одинаковые номера

Термопад

если позволяет место и зазоры – делается по максимальному размеру; если места нет – по номинальному или даже немного подрезается

имеет последний номер (если не указано иное в документации производителя)

переходные отверстия, даже если их размер, число и положение рекомендованы производителем, в посадочное место не вносятся, их располагают уже при разводке в плате исходя из разрешенного типа отверстий

Компоненты, устанавливаемые в вырез платы

добавлен вырез в плате (регион типа Board Cutout)

вырез задается с зазором от максимального размера корпуса

вырез задается как фрезерованный, т.е. внутренние углы имеют радиус (от 2 мм)

зазор металла (падов) от выреза от 0,25 мм для фрезерованных контуров

Лишняя графика и элементы

в термопаде посадочного места, сгенерированного встроенным мастером IPC Compliant Footprint Wizard, удалены отверстия

если в графике присутствуют регионы, созданные из контуров – исходные контура удалены

найжены и вычищены все задвоения и ненужные наложения график, падов, отверстий, регионов и пр.

Прочее

избегать использовать отдельно расположенные отверстия в посадочных местах (сложно задавать цепь в проекте), вместо них использовать сквозные пады

для компонентов с малым шагом между выводами (0,5 мм и менее) следить за возможностью масочного мостика

для отметки зон запрета разводки или заливок, использованы объекты типа Keepout, графику в слое Keep-Out Layer или Polygon Cutout; при договоренности можно ввести новый механический слой как информационный

соблюдены все дополнительные правила и приемы для посадочных мест особых типов компонентов, таких как краевые разъемы, полосковые компоненты, механические и графические компоненты и пр.

Контрольная работа №2. Электрическая схема

Формулировка задания:

1. Нужно на основании краткого задания и даташитов на основную микросхему (или нескольких микросхем) составить проект с электрической схемой;
2. Все компоненты доступны в учебной библиотеке StudentsLibrary [4], никакой компонент самому составлять не надо будет. Возможно только за исключением микрополосковых компонентов.
3. Схема должна быть пригодна для передачи в редактор топологии, т.е. она должна проходить проверку ERC (можно с помощью панели Navigator) и, если в проект добавить файл печатной платы и сделать прямое ECO, то все корректно перенесется;
4. Готовый проект надо запаковать через Project - Project Packager, в этом случае архив будет максимально чист и легко влезет в ОРИОКС. При этом библиотеку компонентов в архив класть не надо.

Список проверяемых моментов:

1. Составленная электрическая схема соответствует заданию;
2. Шаблоны листов электрической схемы соответствует ЕСКД (можно только А4 или А3). Правильно выбран шаблон первого и последующего листов. Рекомендованные шаблоны размещены в репозитории [6] в папке altium-schematic-templates. Для первого листа может быть выбрана версия с лого МИЭТ или без лого.
3. Правильно заполнены все реквизиты документа, минимально для первого листа это:
 - Разработал – фамилия студента;
 - Проверил - «Приходько»;
 - Утвердил – «Сидоров»;
 - Нумерация листов. Номер листа – SheetNumber, общее число листов SheetTotal. Учтите, если лист в проекте один, то поле «Лист» не заполняется (SheetNumber = пустое);
 - Литера – «У»;
 - Наименование организации – «МПСУ» (для первого листа без лого), для первого листа с лого МИЭТ заполнять наименование организации не обязательно;
 - Обозначение документа - в соответствии с вариантом «SCHpXX Э3», где XX – номер варианта;

- Первичное применение - в соответствии с вариантом «SCHpXX», где XX – номер варианта;
 - Наименование изделия – в соответствии с назначением проекта, например, «Плата УМ» или «Плата ДЕТ».
4. Для минимально для второго листа это:
- Обозначение документа - в соответствии с вариантом «SCHpXX ЭЗ», где XX – номер варианта;
 - Номер листа (SheetNumber)
5. Цепи и компоненты расположены в сетке 5 мм;
6. У всех внесенных компонентов корректно составлены цепи «обвязки» (питание, управление, подключение к земле и пр.);
7. ВЧ-цепи составлены корректно, с учетом требований ТЗ, документации производителя и/или результатов моделирования.
8. Для микросхем, не имеющих развязки по ВЧ-тракту по постоянному току, внесены блокировочные конденсаторы невливающего номинала;
9. У дискретных компонентов (резисторов, конденсаторов, индуктивностей) после выбора номинала выбрано конкретное ЭКБ от конкретного производителя. Для быстрого заполнения параметров можно пользоваться каталогами производителей ЭКБ (Murata, Samsung, Panasonic, TDK, TE Connectivity, AVX, Kyocera AVX, Vishay, Taiyo Yuden, Multicomp, Johanson, KEMET, EPCOS, CTS Components, Coilcraft, Yageo Walsin Technologies, International Resistive, TT Electronics, Bourns и пр.), интернет-магазинами ЭКБ (Mouser, Digikey, Arrow, Farnell, Chip-dip и пр.) или ресурсами для быстрой подготовки BOM для производства (Octopart, SnapEDA, LCSC, панель Manufacture Part Search в Altium Designer).
10. У всех выбранных дискретных компонентов на основании их PartNumber корректно заполнены все параметры и выбрано соответствующее посадочное место.
11. У использованных микросхем строка PartNumber дополнена от базовой строки до полной в зависимости от выбранной версии. Смотреть можно в документации производителя в разделах Order Guide или Package Info или аналогичных.
12. При заполнении параметров соблюден единый стиль обозначений, в том числе:
- единицы на русском или английском (50 кОм или 50 kOhm);
 - не должно быть в проекте обозначения одного и того же значения двумя различными способами. Например, не должно присутствовать одновременно 10 нФ и 0,01 мкФ. По ЕСКД предпочтительно обозначение емкости относительно пФ и мкФ;

- пробелы или их отсутствие от значения до единицы или символа % в точности;
- использован одинаковый десятичный разделитель (точка или запятая);
- наличие или отсутствие пробелов между значением/единицей/символами «±» или «%» и пр.;
- для точности или везде использован символ «±» (Alt+0177), или нигде не использован;
- одинаково введено актуальное наименование фирмы производителя ЭКБ (краткое, или полное, или историческое наименование). Например, использован только один из вариантов «Texas Instruments» или «TI». Здесь нужно следить за актуальным состоянием рынка ЭКБ, т.к. производители постоянно друг друга покупают, продают, сливаются, разделяются и переименовываются. Например, Hittite и Linear Technology давно куплены Analog Devices. Но в обозначении ЭКБ до сих пор используются стили, характерные для Hittite и Linear Technology. И в документации, найденной в сети, часто фигурируют старые названия фирм;
- нужно следить, чтобы краткое обозначение типоразмера (Package) соответствовало выбранному посадочному месту (Footprint);
- для обозначения рассеиваемой мощности Power у резисторов использованы или десятичные обозначения (100 мВт, 63 mW) или в простых дробях относительно Ватта (1/10 Вт, 1/16 Вт).

13. Для разъемов питания и управления в случае использования табличной формы подписаны цепи;

14. Корректно составлены подсистемы питания, в том числе корректный выбор импульсных и линейных стабилизаторов, а также рассчитаны задающие резистивные делители для них;

15. ВЧ-цепи внесены в отдельный класс цепей (с помощью директив);

16. Если пришлось делать схему на нескольких листах - то корректно настроена и применена иерархия проекта (как соединяются глобальные цепи и пр.);

17. Схема проаннотирована (позиционные обозначения компонентов имеют номера), схема аннотации соответствует ГОСТ (сверху-вниз, слева-направо);

18. Важные цепи (типа отдельных цепей питания, управления или ВЧ-прохода) поименованы с помощью NetLabel, портов или иным способом;

19. Если в ТЗ есть требования к топологии (например, посчитана геометрия согласующей цепи), то эти требования надо указать в формате технических требований для будущего тополога в схеме. Технические требования оформляются нумерованным списком над основной надписью.

20. Общая читаемость и чистота схемы, в том числе:

- ВЧ-входы слева, ВЧ-выходы справа;
- Основной проход ВЧ-сигнала слева направо, преимущественно на одной линии;
- Нет множественных пересечений цепей, запутывающих чтение схемы;
- Использование глобальных цепей (в основном для земли и частично для питания);
- Ближняя обвязка компонентов сгруппирована вокруг основного компонента;
- Положение компонентов ближней обвязки должно давать понимание, как они приблизительно должны располагаться в топологии. Например, фильтрующие конденсаторы по питанию расположены рядом с ножкой потребителя в порядке от малой емкости к большой.

Контрольная работа №3. Топология

Формулировка задания:

1. Подготовлен проект, в котором есть готовая электрическая схема. В этой же схеме в виде примечаний указаны требования к печатной плате и используемые нормы техпроцесса.
2. В проекте добавлен файл печатной платы и в него перенесены компоненты.
3. В папке с заданием еще добавлена документация производителя (даташиты) на основные микросхемы. Часто стоит учитывать рекомендации по разводке оттуда.
4. По идее, электрическую схему править не надо, и она не нужна. Но на всякий случай, все компоненты взяты из учебной библиотеки [4].
5. Некоторые полезные шаблоны можно взять в репозитории [6] папке altium-pcb-templates.
6. Никакие классы цепей и компонентов, а также правила в печатной плате не заданы, это в том числе ваша задача. Проект может быть не настроен на генерацию классов компонентов, исключение генерации коммат и прочие особенности.
7. Габариты печатной платы тоже не заданы, вы их определяете сами. Если это отдельно не указано в ТЗ.
8. Необходимо задать стек. Для ВЧ-диэлектрика (первое ядро) данные есть в тексте примечаний. Для многослойки использовать гибридное попарное прессование, где препрег – от 2х до 3х листов RO4450F ($E_r=3,52$, толщина 0,102 мм) или FR4_Prepreg ($E_r=4,5$, толщина 0,125 мм или 0,069 мм), второе ядро - FR4 ($E_r=4,5$, толщина из списка 0,1 мм/0,15 мм/0,2 мм/0,25 мм/0,3 мм или 0,51 мм). Не забудьте также указать финишное покрытие с внешних сторон. Для большинства печатных плат из заданий – это ENIG – осаждение золотом с подслоем никеля.
9. Можно воспользоваться библиотекой базовых материалов от ООО «Резонит» [9]. Нужно скачать файл Rezonit.xml и загрузить в редакторе стека печатной платы через меню Material Library.
10. Допустимые диапазоны отверстий должны быть из списка доступных для попарного прессования без контролируемого сверления на глубину (т.е. сквозные и попарные вокруг ядер) и из разрешенного списка в ТЗ.
11. Все схемы для разводки ВЧ-шные, т.е. должны соблюдаться все обычные правила и приемы разводки ВЧ-лат.
12. ВЧ-линии могут быть как микрополосковые (с дальней землей), так и копланарные (с ближней землей). Если жестко не задано в ТЗ, то можно выбирать любой тип, естественно, с соблюдением нужного зазора до земляной заливки.
13. Готовая топология должна проходить проверку на ВСЕ заданные правила DRC тем или иным способом. Если какое-то нарушение правила не ошибка,

или ошибка из-за библиотечного компонента, то нужно либо вывести данную ошибку из-под действия правила, либо завейвить ее с пояснением.

14. Технологические нормы даны исходя из класса точности "Стандарт" середины 2022 года. Сейчас можно их изменить под актуальные и удобные для тополога. Но только если вы понимаете, что это за нормы и какие значения допустимы по классу "Стандарт" на текущий момент. Можно ориентироваться на Резонит.

15. Готовый проект надо запаковать через Project - Project Packager, в этом случае архив будет максимально чист и легко влезет в ОРИОКС.

Список проверяемых моментов:

1. Выполнено ТЗ и учтены все требования из примечаний.
2. Задан стек, в том числе:
 - Для ВЧ-диэлектрика (первое ядро) данные в тексте примечаний.
 - Для многослоек использовать гибридное попарное прессование
 - Препрег – от 2х до 3х листов или RO4450F ($\epsilon_r=3,52$, толщина 0,102 мм) или FR4_Prepreg ($\epsilon_r=4,5$, толщина 0,125 мм или 0,069 мм)
 - Второе ядро - FR4 ($\epsilon_r=4,5$, толщина 0,1 мм/0,15 мм/0,2 мм/0,25 мм/0,3 мм или 0,51 мм).
 - Не забудьте также указать финишное покрытие. Для большинства печатных плат из заданий – это ENIG – осаждение золотом с подслоем никеля.
 - Заданные диапазоны отверстий из списка разрешенных для попарного прессования без контролируемого сверления на глубину (т.е. сквозные и попарные вокруг ядер) и из разрешенного списка в ТЗ
3. Разводка ВЧ-цепей с учетом правил разводки ВЧ-линий, в том числе:
 - Выдержаны ширины ВЧ-линий. ВЧ-линии как правило 50 Ом, ширина или задана в ТЗ, либо ее надо отдельно посчитать.
 - Проход ВЧ-линий как можно более прямой и короткий. Если, конечно по ТЗ не много-портовое устройство или жестко задана компоновка платы с расположением ВЧ-компонентов и разъемов, там возможны варианты.
 - Если в схеме с помощью графических элементов TL (микрополосковая линия) указана рекомендованная геометрия ВЧ-цепей – эти рекомендации учтены.
 - Если пришлось ВЧ-линии поворачивать, то это сделано правильно - срез или дуга большого радиуса.
 - Для ВЧ-линий с дальней землей и микрополосковых ВЧ-компонентов сделан достаточный вырез в соседней земляной заливке ($>3W$). Для ВЧ-линий с ближней землей выдержан расчетный зазор.

- Нет разрывов земли под ВЧ-линиями.
 - Корректно расположены компоненты, стоящие в ВЧ-цепях (согласующие компоненты на землю, индуктивность для подачи питания и пр.). Не должно быть ненужных оттяжек и изгибов ВЧ-линий.
4. Соблюдены отдельные требования по разводке из документации производителя – расположение компонентов, зоны запрета разводки, выравнивание длин линий и пр.
5. Нет падов или отверстий без назначенной цепи NoNet, только если, это не следует из схемы.
6. Правильно расположены фильтрующие конденсаторы (иногда резисторы и индуктивности) по питанию у активных микросхем (ближняя обвязка).
7. Разумно использована площадь печатной платы в части компоновки компонентов.
8. Разумные ширины линии цепей питания и управления. Если по цепи течет большой ток, то ее ширина увеличена или выполнена полигональной разводкой с прямым соединением с падами.
9. Добавлены плавные переходы (teardrops) между широкими падами (особенно сквозными у штыревых разъемов) и относительно узкими подводящими линиями.
10. Правильно сделана земляная заливка на всех слоях.
11. Достаточное количество переходных отверстий в земляной заливке. У земляных падов компонентов рядом стоит хотя бы одно земляное отверстие.
12. Есть земляные отверстия в термопадах отдельных компонентов корпусах типа QFN, SON и пр.
13. Правильно настроены и применены термобарьеры в падах и отверстиях, в том числе:
- Переходные отверстия в земляных заливках имеют с ней прямое соединение;
 - Земляные пады у ВЧ-разъемов имеют прямое соединение с земляной заливкой;
 - У компонентов в ВЧ-цепях в зависимости от мощности или частоты либо прямое соединение с земляной заливкой, либо через термобарьер;
 - У остальных компонентов базовый термобарьер.
14. Над ВЧ-дорожками сделан достаточный вырез в паяльной маске, в том числе:
- Над микрополосковыми ВЧ-линиями (с дальней землей) – аналогично контуру выреза в земляной заливке;
 - Над копланарными ВЧ-линиями (с ближней землей) – вдоль ВЧ-линии, захватывая первый ряд земляных отверстий по заливке;
 - Но при этом оставлен масочный мостик для пайки компонентов;

- Микрополосковые компоненты полностью вскрыты от паяльной маски (если иное не указано в ТЗ).
15. Земляные отверстия в пределах закрытых маской заливок закрыты маской (тентированы).
16. Проставлены монтажные отверстия под МЗ. Для прямоугольных плат 4 штуки по углам платы. Монтажные отверстия не обязательно делать как свободное посадочное место, можно поставить просто сквозной пэд соответствующего размера (3,5 мм/4..5 мм для МЗ) в цепи GND.
17. Финализируется шелкография, в том числе:
- Расположена только там, где можно быть шелкографии – не поверх паяльной пасты, не за пределами платы, не под компонентами и пр. В идеале по залитым паяльной маской плоскостям.
 - Позиционные обозначения имеют нормальный шрифт 1 мм TrueType Arial или Arial Narrow, повернуты в не более, чем двух направлениях. Понятно какому компоненту принадлежит строка позиционного обозначения. При расположении компонентов под углами некратными 90° - либо вдоль компонентов, либо в обычной прямоугольной сетке на выносах.
 - У полосковых компонентов позиционное обозначение в шелкографии спрятано;
 - Любые добавленные линии не тоньше 0,15 мм;
 - У разъемов с питанием и управлением добавлена распиновка (именование подключенных цепей);
 - Добавлены иные метки, поясняющие использование спроектированного печатного узла, например, направление прохода сигналов для многопортовых устройств (антенных ключей, приемопередающих модулей и пр.), расшифровка управляющих цифровых сигналов, назначение ключей и пр.
 - Код в соответствии с вариантом задания («ТОРрХХ») и обозначение в соответствии с назначением печатного узла (например, «Плата УМ»);
 - Выберите (создайте) себе лого и вставьте в свободное пространство на шелкографии. В качестве источника лого лучше всего брать черно-белый рисунок в формате JPG.
18. Выдержаны все технологические нормы и плата проходит DRC.
19. Если отошли от какого-то из требований из ТЗ или технорм, то есть объяснение почему.
20. В слое Board (М5) находится актуальный контур платы, включая возможные внутренние вырезы.
21. Можно смело пользоваться любыми продвинутыми инструментами – профиль импеданса, контроль длин линий, импорт материалов для стека из базы материалов Резонита, вспомогательная графика на дополнительных механических слоях, зоны запрета для генерации переходных отверстий и пр. Владение данными

инструментами не входит в оценивание, но может значительно ускорить и упростить разводку топологии в некоторых вариантах.

Контрольная работа №4. Конструкторская документация

Формулировка задания:

1. Подготовлен проект с полностью готовым печатным узлом.
2. Необходимо составить комплект конструкторской документации на спроектированный печатный узел.
3. Функциональное назначение печатного узла приведено в примечании на схеме на первом листе вместе с дополнительными требованиями и пояснениями к заданию.
4. В состав печатного узла могут входить дополнительные механические элементы (механический крепеж, рамка, пластина, корпус ячейки, радиатор и пр.), в печатной плате могут присутствовать особые зоны и пр. Учесть при составлении текстовых документов и сборочных чертежей. Наличие таких элементов прописано в примечании на схеме на первом листе.

Необходимо выполнить:

1. По классификатору ЕСКД «Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов ОК 012-93» [8] определить обозначение изделия. Формат обозначения «Код организации/код изделия/порядковый номер изделия (вариант задания)» - «МПСУ.ХХХХХХ.УУУ». Информация о назначении изделия приведена в примечаниях на первом листе схематика. Внести в реквизиты схемы электрической принципиальной.

Подсказка – большая часть подготовленных проектов печатных узлов по назначению подходит в подгруппу 46XXXX или соседние с ней.

2. Исходя из типа печатной платы и ее габаритов определить ее обозначение. Возможные варианты – многослойная (сборочная единица 68725X/68726X) или двуслойная (деталь 7587XX).

3. Определить иерархию и состав КД на печатный узел - двухуровневая если печатная плата многослойная (9 документов), одноуровневая если печатная плата двуслойная (8 документов).

4. Перед генерацией текстовых документов убедиться, что все одинаковые компоненты (особенно дискретные резисторы, конденсаторы, индуктивности и пр.) корректно сгруппированы в списке BOM. Для этого воспользоваться возможностями документа ActiveBOM.

5. Определить класс точности исполнения печатной платы (по минимальным размерам ширина проводника/зазор и размер отверстий) в соответствии с ГОСТ Р 53429-2009.

6. Составить полный комплект КД – 9 или 8 документов.

7. При составлении комплекта КД учесть все дополнительные требования, приведенные в примечаниях на первом листе схемы.

8. В Данных конструкции (Т5М) для генерации гербер-файлов и файлов сверловки использовать формат Gerber (RS-274X), единицы mm, точность 4:4, со вложенными апертурами в гербер-файлы, формат записи чисел – полный, запись положения на шаблоне - абсолютная, тип плоттера – растровый. Для отверстий с разным диапазоном и наличием/отсутствием металлизации создавать отдельные файлы сверловки.

9. Для выполнения чертежей использовать расширение Draftsman. Шаблоны чертежей использовать из репозитория [6] папки altium-draftsman-templates. Разрешено использовать только форматы А3 или А4. В одном документе использовать формат одного размера.

10. Для выполнения текстовых документов использовать возможности расширения GOSTBOM (GOST 2.701-2008/2.106-1996). Оно должно быть заранее установлено для наличия всех фиш в редакторе чертежей Draftsman и возможности генерации текстовой документации. Также можно использовать подправленный шаблон перечня элементов из репозитория [6] папки altium- gostbom2-templates.

11. Для генерации чертежа схемы электрической принципиальной использовать экспорт схематиков через SmartPDF.

12. Для сборки всех данных конструкции Т5М в один проект использовать проект типа CAMtastic в составе проекта печатного узла.

13. Финальная точка для всех документов (кроме данных конструкции Т5М) – файлы в формате pdf (промежуточные xls-файлы текстовых документов также необходимо экспортировать в pdf).

14. Полный комплект КД собрать в zip-архив и выложить в дисциплину "Проектирование печатных плат" в ОРИОКСе в раздел "Домашние задания", привязав к соответствующей контрольной. В архив собирать только комплект КД. Исходник в виде проекта печатной платы, документов типа Draftsman, xls-таблиц и пр. в него вкладывать не надо.

Список проверяемых моментов:

1. Правильно определена иерархия КД и выбраны обозначения документов.
2. Файлы всех документов корректно названы.
3. Во всех чертежах и текстовых документах правильно заполнены реквизиты (основная запись) и выбраны форматы документов. Используются выбранные обозначения печатного узла и печатной платы.
4. В спецификации на печатный узел присутствуют все нужные разделы.

5. В текстовых документах – спецификации, перечне элементов (ПЭЗ), ведомости покупных (ВП) компоненты корректно сгруппированы.
6. В случае присутствия в проекте компонентов, для которых использовано обозначение в схеме электрической принципиальной ЭЗ, но которые физически не являются отдельными от печатной платы элементами (такие как полосковые компоненты, краевые разъемы, монтажные отверстия, графические метки в схеме и пр.), а также при обозначении подсхем в иерархических электрических схемах (функциональные группы) – все это корректно внесено в текстовые документы (упомянуто в составе перечня элементов ПЭЗ, но исключено из спецификации на печатный узел и ведомости покупных ВП).
7. В случае присутствия в проекте компонентов, устанавливаемых на печатный узел, но которые не приведены в схеме электрической принципиальной ЭЗ (это могут быть элементы крепежа, корпус, рамка, радиатор и пр.) – все это корректно внесено в текстовые документы и учтено при составлении сборочного чертежа на печатный узел (упомянуто в спецификации на печатный узел; исключено из перечня элементов ПЭЗ; в ведомость покупных ВП вносятся только покупаемые изделия, если же является дополнительно разработанной сборочной единицей или деталью – то исключено из ведомости покупных).
8. В сборочном чертеже (СБ) на печатный узел:
 - 8.1. Приведены необходимые технические требования, включая информацию применимости размеров, ссылка на схему электрическую принципиальную, информация про пайку, возможно отдельно про другие виды крепежа, ссылка на ОСТ 4 ГО.070.015, иные пояснения исходя из дополнительных требований.
 - 8.2. Корректно настроен основной сборочный вид.
 - 8.3. Корректное расположение всех боковых видов (по развертке).
 - 8.4. При наличии компонентов на нижней стороне присутствует сборочный вид снизу.
 - 8.5. На сборочных видах установлены необходимые размеры для справок и для контроля. Если присутствуют исполнительные размеры, то они указаны отдельно с допусками или предельными значениями.
 - 8.6. Позиционные обозначения компонентов размещены так, чтобы сборочные виды однозначно читались. Ориентация позиционных обозначений не более чем по двум направлениям. Если присутствует области с плотным расположением компонентов – использованы выносные виды.

- 8.7. Для всех видов установки компонентов (пайка, клейка и пр.) выполнены установочные виды. Одинаковые по виду установки компоненты сгруппированы.
- 8.8. Дополнительно приведен изометрический вид для визуального пояснения.
- 8.9. У всех элементов чертежа корректно настроены стили отображения, включающие стили заголовков, линий, шрифтов, единиц и пр.
- 8.10. Учтены все дополнительные требования задания, в том числе возможные внесенные механические компоненты (крепеж, корпус, радиаторы и пр.), указание при необходимости порядка сборки или дополнительного вида с пояснениями и пр.
9. Данные конструкции (Т5М) сгенерированы корректно, в соответствии с требованиями задания. Присутствует отдельный гербер-файл с актуальным контуром печатной платы. Для всех файлов использован заданный формат данных.
10. Именован гербер-файлов и файлов сверловки, а также описание их форматов соответствует таблице в данных проектирования (Д1).
11. В сборочном чертеже на печатную плату (в случае многослойки) или чертеже детали на печатную плату (в случае двуслойки):
- 11.1. Приведены необходимые технические требования, включая информацию о применимости размеров, ссылки на допуски, ссылки на класс жесткости и класс точности; ссылки на данные конструкции и данные проектирования, указание шероховатости металлизированной поверхности, информация о финишном покрытии, информация о паяльной маске и пр.
- 11.2. Основной вид с основными размерами для справок (включая радиусы скругления, положения и диаметры больших отверстий и вырезов и пр.). Можно использовать как обычные линейные размеры, так и ординатные (относительно базовой точки).
- 11.3. Корректное расположение всех боковых видов (по развертке).
- 11.4. Стекло с расшивкой.
- 11.5. Послойное представление печатной платы и карта сверловки с таблицей отверстий.
- 11.6. Указана шероховатость поверхности.
- 11.7. У всех элементов чертежа корректно настроены стили отображения, включая стили заголовков, линий, шрифтов, единиц и пр.
- 11.8. Учтены все дополнительные требования задания, в том числе при наличии на печатной плате областей с повышенным классом точности, зон с торцевой металлизацией, зон на которые надо нанести дополнительное

покрытие и пр. Все это прописано в технических требованиях и при необходимости на чертеж внесен дополнительный вид, где отмечены данные области.

12. В схеме электрической принципиальной при экспорте убраны все метки, неприменимые по ЕСКД (директивы классов и правил, рабочие текстовые записи, примечание с текстом задания, отдельные метки NoERC и пр.). Дополнены реквизиты в соответствии с обозначениями, определёнными по классификатору ЕСКД «Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов ОК 012-93» [8].
13. Материал (-ы), из которого изготавливают печатную плату, упомянут в необходимых местах – в спецификации на печатную плату (если она многослойная) или в чертеже детали печатной платы (если печатная плата двуслойная).
14. Все текстовые документы и чертежи (кроме архива данных конструкции Т5М) экспортированы в pdf. Данные конструкции Т5М загружены в проект типа CAMTastic в составе проекта печатной платы в Altium Designer

Литература

1. Лопаткин, А. Проектирование печатных плат в Altium Designer. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ДМК Пресс, 2016. — 400 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/93565>
2. Суходольский В.Ю. Altium Designer: сквозное проектирование функциональных узлов РЭС на печатных платах: учеб. Пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 560 с.
3. Желобаев А.Л. Методические указания к лабораторным работам по курсу «САПР Altium Designer»: М.:МИЭТ, 2019 – 104с.

Перечень ресурсов сети «Интернет»

4. Репозиторий автора с учебной библиотекой <https://github.com/dee3mon/StudentsLibraryGIT>
5. Репозиторий автора с учебными материалами по Altium Designer <https://github.com/dee3mon/altium-methodic>
6. Репозиторий автора с шаблонами для Altium Designer <https://github.com/dee3mon/altium-templates>
7. Онлайн-документация Altium Designer <https://www.altium.com/documentation/altium-designer>
8. Классификатор ЕСКД <http://classinform.ru/ok-eskd/kod>
9. Резонит. Библиотека материалов Резонит для Altium Designer. <https://www.rezonit.ru/directory/v-pomoshch-konstruktoru/proektirovanie-v-altium-designer/biblioteka-materialov-rezonit-v-altium-designer/>

Каналы Youtube с видеоуроками по Altium Designer

10. Официальный канал Altium Designer <https://www.youtube.com/channel/UCpCi8Hpe4nIg4qvy2vpCGNQ>
11. Канал Алексея Сабунина <https://www.youtube.com/user/SabuninAlexey>
12. Плейлист «Altium Designer» на канале Сергея Булавинова <https://www.youtube.com/playlist?list=PLgUwXvgNkHqJ3G5UoLGMfHJM2c-m4Afdx>
13. Канал официального представительства Altium Russia https://www.youtube.com/channel/UCvZ_kyV4ATrOfjmtVpuj0LQ
14. Плейлист «Altium Designer» на канале консультационного центра АМКАД <https://www.youtube.com/watch?v=PcStOG7sRqk&list=PLUk9KaCJSP-UAcH1uLu6mOQmDTmZGCND8>

15. Плейлист «Уроки Altium Designer» на канале разработчика Nordic Energy https://www.youtube.com/playlist?list=PLUYH9oDZsrZ25Lv_HNp03AzZTBotulIBa
16. Канал Robert Feranec - автора образовательного сообщества Fedevel Academy <https://www.youtube.com/user/matarofe/featured>
17. Запись демонстрации автора «Altium Designer. ВЧ-разводка. РСВ. ч.1» <https://youtu.be/H46g1ZmeIxU>
18. Запись демонстрации автора «Altium Designer. ВЧ-разводка. РСВ. ч.2» <https://youtu.be/QoDxT5PjQ6M>
19. Запись демонстрации автора «Altium Designer. Оформление КД на печатный узел. ч.1» <https://youtu.be/6v8BJw2Rb78>
20. Запись демонстрации автора «Altium Designer. Оформление КД на печатный узел. ч.2» <https://youtu.be/1ku26JRT4-c>

Разработчик:

Ст.преподаватель Института МПСУ

Приходько Д.В.