

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

«Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»



Т. В. Молодечкина, О. А. Кизина

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

**Методические указания
по выполнению курсового проекта
для студентов специальности 6-05-0713-02
«Электронные системы и технологии»
(профилизация «Проектирование и производство
программно-управляемых электронных средств»)**

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой

2026

УДК УДК 681.3.016 (075.8) **УДК** 621.3.049.75

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией
факультета компьютерных наук и электроники
(протокол № 4 от 21.11.2025 г.)

Кафедра энергетики и электроники

Методические указания разработаны в соответствии с учебным планом подготовки инженеров по специальности 6-05-0713-02 Электронные системы и технологии (профилизация “Проектирование и производство программно-управляемых электронных средств”).

Приведены требования к оформлению курсового проекта и его содержанию. Изложены методические рекомендации по разработке всех основных частей курсового проекта. Пособие содержит информационный и справочный материал, необходимый для выполнения расчетов и разработки конструкторской документации.

Предназначено для студентов специальностей радиотехнического профиля.

© Молодечкина Т. В., Кизина О. А., 2026
© Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой, 2026

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Системы автоматизированного проектирования электронных средств. Методические указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности 6-05-0713-02 «Электронные системы и технологии» (профилизация “Проектирование и производство программно-управляемых электронных средств”))» использованы текстовый процессор Microsoft Office Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Редактор *С. Е. Рясова*

Подписано к использованию 15.01.2026.

Объем издания: 1,7 Мб. Заказ 535.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

211440, Ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Цель и задачи курсового проектирования	6
2 Основные требования к курсовому проекту.....	7
2.1 Тематика курсового проектирования	7
2.2 Задание на курсовое проектирование и исходные данные	7
2.3 Содержание и объем курсового проекта.....	8
2.4 Организация курсового проектирования и защита проекта	10
3 Методические указания по выполнению курсового проекта	12
3.1 Общие указания	12
3.2 Требования к построению и содержанию пояснительной записки.....	12
4 Указания по оформлению курсового проекта.....	36
4.1 Оформление пояснительной записки	36
4.2 Оформление графической части проекта.....	43
4.3 Общие указания по выполнению расчетов	46
ЛИТЕРАТУРА.....	48
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Пример оформления титульного листа	51
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Пример оформления содержания	52
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Пример оформления пояснительной записки.....	53

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Системы автоматизированного проектирования электронных средств» («САПР ЭС») занимает ведущее место в процессе подготовки инженеров. При изучении этой дисциплины ставятся задачи формирования у студентов технического мышления, обучения будущих инженеров практическим навыкам инженерных методов проектирования, расчета, модернизации, технического обеспечения и производственной реализации изделий на новой элементной базе с применением САПР. С целью закрепления указанных навыков выполняется курсовой проект, который является важным этапом конструкторско-технологической подготовки студентов, необходимым для успешной работы над дипломным проектом.

Курсовой проект как форма текущей аттестации обучающихся при освоении содержания образовательных программ высшего образования I ступени является видом самостоятельной работы обучающихся, представляющей собой решение конструкторской или технологической задачи по изучаемой учебной дисциплине соответствии с установленными к курсовому проекту требованиями.

1 Цель и задачи курсового проектирования

Цель курсового проектирования: систематизация и закрепление теоретических знаний студентов по основным разделам дисциплины; углубленное изучение методик проектирования печатных плат (ПП); получение практических навыков работы с конструкторской документацией, системами государственных и отраслевых стандартов, нормативно-технической документацией; обобщение и анализ результатов, полученных другими разработчиками.

При выполнении курсового проекта решаются задачи оптимального конструирования печатных плат на базе типовых методик с применением САПР и другого прикладного программного обеспечения. Основными задачами являются:

- закрепление, углубление и систематизация знаний и конструкторских навыков, полученных при изучении теоретических и специальных схемотехнических, конструкторских и технологических дисциплин;
- освоение современных методов автоматизированного проектирования ЭС с использованием средств вычислительной техники;
- приобретение опыта работы со стандартами, нормативно-справочной и технической документацией;
- овладение навыками оформления конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД, ГОСТ и другой нормативно-технической документацией;
- выработка навыков обоснования инженерно-технических решений в расчетно-пояснительной записке;
- подготовка студента к дипломному проектированию и к последующему самостоятельному решению сложных комплексных конструкторских задач при работе на предприятиях отрасли.

2 Основные требования к курсовому проекту

2.1 Тематика курсового проектирования

Курсовой проект по дисциплине «САПР ЭС» должен представлять собой решение комплексной инженерно-технической задачи, отражающей специфику работы инженера. Темы проектов могут охватывать все разнообразие современных ЭС, определяемое их функциональным назначением, технической сложностью, условиями производства и эксплуатации и др. Основное внимание при этом должно уделяться ЭС, построенным на современной элементной базе и контроллерах.

Объектом курсового проектирования может быть схемотехнически и конструктивно законченное ЭС, предназначенное для самостоятельного или подчиненного применения. Примером таких объектов может быть печатный узел. Допускаются темы по разработке функциональных узлов повышенной сложности: субблоков, печатных узлов с микросхемами высокой степени интеграции.

Предметом курсового проектирования является разработка новой конструкции печатного узла или модернизация уже существующего на уровне технического проекта с включением элементов эскизного проектирования.

Примерные темы курсовых проектов по «САПР ЭС»:

1. Проектирование печатной платы генератора.
2. Проектирование печатной платы устройства управления специальным технологическим оборудованием с применением микропроцессоров.
3. Проектирование печатной платы осциллографа.
4. Проектирование печатной платы блока автономного питания.
5. Проектирование печатной платы устройства группового управления пультами.
6. Проектирование печатной платы лазерного устройства считывания информации.
7. Проектирование печатной платы устройства регистрации и считывания графической информации.

2.2 Задание на курсовое проектирование и исходные данные

Темы курсовых проектов разрабатываются на кафедре и утверждаются заведующим кафедрой до начала семестра, в котором предусмотрено их выполнение в соответствии с учебным планом по специальности.

Обучающийся вправе выбрать тему курсового проекта из числа утвержденных на кафедре или самостоятельно предложить тему курсового проекта с обоснованием ее целесообразности.

Задание по курсовому проекту должно быть выдано обучающемуся в очной форме получения высшего образования в первые две недели после начала семестра, в котором учебными планами он предусмотрен.

Задание по курсовому проекту выдается индивидуально и должно содержать конкретное название темы, необходимые исходные данные, объем и содержание основной и графической частей, календарный график выполнения этапов работы над курсовым проектом.

Задание по курсовому проекту подписывается руководителем курсового проекта и обучающимся, датируется днем выдачи и утверждается заведующим кафедрой.

В задание на курсовое проектирование включаются:

1. Тема проекта.
2. Сроки сдачи студентом законченного проекта.
3. Исходные данные к проекту.
4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов).
5. Перечень графического материала.
6. Календарный график работы над проектом.

Исходные данные для проектирования:

- назначение разрабатываемого изделия, выполняемые функции;
- принципиальная электрическая схема с указанием характеристик пассивных элементов и типов активных элементов. Могут быть указаны электрические параметры изделия и технические требования (быстродействие, частотный диапазон, мощность, разрядность и т. п.);
- климатические условия эксплуатации: класс и категория климатического исполнения;
- механические условия: удары и вибрации при эксплуатации и транспортировке.

2.3 Содержание и объем курсового проекта

Курсовой проект должен содержать: расчетно-теоретическую часть, помещаемую в пояснительной записке, и графическую часть, представленную комплектом чертежей.

Структура пояснительной записки. При изложении материала в пояснительной записке рекомендуется соблюдать следующую последовательность разделов:

- Титульный лист.
- Задание на курсовое проектирование.
- Содержание.
- Введение.
- Обзор аналогичных разработок и анализ технического уровня разрабатываемого изделия.
- Анализ требований технического задания и выбор среды проектирования печатной платы.
- Выбор и обоснование применяемой элементной базы.
- Создание интегрированных библиотек.
- Проектирование электрической схемы.
- Разработка конструкции печатной платы.
- Выбор, обоснование способов электромонтажа.
- Разработка конструкции печатного узла.
- Конструкторские расчеты. Расчет объемно-компоновочных характеристик изделия. Расчет элементов печатного монтажа.
- Выводы и заключение.
- Список использованных источников.
- Приложения.

Перечень графического материала. В состав графической части курсового проекта входят:

- схема электрическая принципиальная, перечень элементов;
- чертеж печатной платы;
- сборочный чертеж печатного узла, спецификация узла.

Общий объем расчетно-пояснительной записки составляет 20–25 с. Графическая часть проекта включает комплект чертежей на разрабатываемую конструкцию объемом не менее 3 листов.

Курсовой проект, выполненный в полном объеме и допущенный к защите, предоставляется на защиту в папке-скоросшивателе или в переплетенном виде.

! Ответственность за своевременное выполнение графика курсового проектирования, принятые решения и правильность всех данных несет обучающийся – автор курсового проекта.

2.4 Организация курсового проектирования и защита проекта

На выполнение курсового проекта по дисциплине «САПР ЭС» учебным планом отводится примерно 13 недель. Работа над курсовым проектом является самостоятельной работой студента, проводимой под руководством и контролем руководителя проектирования. В установленные расписанием дни и часы студент консультируется у своего руководителя. Обычно время работы над курсовым проектом разбивается на этапы. После завершения определенного этапа проектирования следует окончательно оформить текстовую и графическую документацию.

Объем выполненной студентом работы по каждому этапу оценивается руководителем проектирования в процентах от общего объема проектирования. Явка студентов на опрощенки строго обязательна и учитывается при защите проекта.

Оформленный курсовой проект сдается студентом руководителю на проверку **не позднее чем за 7 дней до назначенного срока защиты.**

При условии положительной оценки содержания курсового проекта и соответствия требованиям оформления на титульном листе курсового проекта руководитель проставляет запись «к защите».

В случае незначительных замечаний к выполненному курсовому проекту руководитель проставляет запись «к защите с доработкой».

При проверке и оценивании курсового проекта учитываются: содержание, актуальность, степень самостоятельности, оригинальность выводов и предложений, качество используемого материала, уровень грамотности (общий и профессиональный), правильность и корректность расчетов, правильность оформления курсового проекта.

Курсовой проект, выполненный не в соответствии с методическими указаниями по выполнению курсового проекта, возвращается обучающемуся на доработку, при этом руководителем проставляется запись на титульном листе курсового проекта «на доработку», а после устранения недостатков курсовой проект представляется на повторную проверку.

! В случае, если представлены несколько курсовых проектов с идентичным содержанием, что не отражает степени самостоятельности выполнения курсового проекта, все они возвращаются исполнителям на переработку.

Защита курсового проекта проводится с целью проверки знаний обучающегося по учебной дисциплине, умения им логично излагать материал,

обосновывать предложенные решения, вести дискуссию и отвечать на заданные вопросы.

Защита курсовых проектов обучающимися в очной форме получения образования проводится до начала зачетной недели в соответствии с утвержденными графиками защиты курсовых проектов.

Защита курсовых проектов проводится перед комиссией по защите курсовых проектов, которая формируется заведующим кафедрой в составе не менее двух человек с участием руководителя курсового проекта.

При защите курсового проекта студент в своем выступлении должен раскрыть:

- назначение, область применения и технико-экономические характеристики объекта курсового проектирования;
- методику расчета;
- полученные результаты и степень новизны принятых решений.

Результаты защиты курсового проекта оцениваются отметками в баллах по десятибалльной шкале. Положительными являются отметки не ниже 4 (четырёх) баллов.

Отсутствие знаний у обучающегося по теме курсового проекта, которое обнаруживается при защите курсового проекта, дает основание комиссии снизить отметку или выставить неудовлетворительную, если становится очевидно, что курсовой проект выполнен не самостоятельно.

Пересдача неудовлетворительной отметки, полученной при защите курсового проекта, допускается не более двух раз.

Вторая пересдача проводится комиссией для проведения аттестации повторно в составе не менее трех человек, формируемой заведующим кафедрой по распоряжению декана факультета.

Отметка, выставленная комиссией для проведения аттестации повторно, является окончательной.

В случае получения неудовлетворительной отметки или неявки обучающегося без уважительной причины при повторной защите курсового проекта обучающийся считается не ликвидировавшим академическую задолженность в установленные сроки.

Обучающимся, не защищавшим курсовой проект в установленный срок по уважительной причине (болезнь, семейные обстоятельства, стихийные бедствия и иное), подтвержденной документально, деканом факультета устанавливается индивидуальный срок защиты курсового проекта.

3 Методические указания по выполнению курсового проекта

3.1 Общие указания

Проектирование рекомендуется начинать с анализа плана работы над проектом, в котором необходимо предусмотреть изучение литературы, повторение некоторых дисциплин, разработку конструкции, оформление пояснительной записки, выполнение чертежей и т. д. На основании обязательного графика выполнения работ студент самостоятельно составляет развернутый календарный план выполнения курсового проекта с учетом контрольных точек, оговоренных заранее консультантом проекта. В этом случае обеспечивается самоконтроль, равномерное распределение нагрузки по этапам проектирования, что оказывает положительное влияние на качество разработки и облегчает работу. Желательно в течение одного рабочего дня чередовать различные виды работ, т. е. заниматься двумя-тремя разделами плана. Сведения, полученные из технической, нормативной литературы, рекомендации преподавателя и другое целесообразно фиксировать в рабочей тетради (конспекте).

3.2 Требования к построению и содержанию пояснительной записки

Ниже приводятся требования к последовательности разделов и содержанию пояснительной записки, вытекающие из логической последовательности процесса конструирования ЭС.

Введение

Этот раздел пояснительной записки должен кратко характеризовать современное состояние научно-технической разработки, решению которой посвящен данный курсовой проект. Здесь должна быть также сформулирована цель работы. Кроме того, во введении надо обосновать необходимость проведения подобной работы, ее значимость, показать *актуальность темы*.

Обзор аналогичных разработок и анализ технического уровня разрабатываемого изделия

Проектирование любого устройства начинается с аналитического обзора известных аналогов, на основании которого формируется техническое задание (ТЗ) и разрабатывается структура объекта. При обзоре следует сравнивать найденные аналоги и разрабатываемое изделие по функциональным характеристикам.

Анализ требований технического задания и выбор среды проектирования печатной платы

В этом разделе должны быть тщательно проанализированы все пункты технического задания с целью определения возможности выполнения конструкции.

Анализ технического задания рекомендуется начинать с изучения особенностей электрической принципиальной схемы устройства, способных повлиять на конструкцию изделия. Для этого первоначально анализируют назначение устройства, его состав, принцип работы. Анализ электрической схемы обычно ведется по следующим направлениям:

- выявление специфики схемы (частотный диапазон или быстродействие, чувствительность, точность, энергетические показатели и т. д.);
- выявление органов управления, коммутации и регулировки;
- выбор нестандартных электрорадиоэлементов.

В результате анализа схемы и схемотехнических данных (или поверочного расчета) выявляются также те участки схемы, которые могут быть источниками электрических, магнитных или тепловых полей, вызывающих нестабильность работы или снижение надежности устройства. Далее производится анализ эксплуатационных, конструкторско-технологических, экономических и специальных требований.

Студент должен тщательно проанализировать каждое требование технического задания с точки зрения его влияния на выбор конструкции в целом и каждой ее составной части и составить перечень требований к их конструкции. Например, указанное в задании значение повышенной влажности может предъявлять к конструкции требование обеспечения влагозащиты элементов путем использования герметичного корпуса; малый объем выпуска – требования к конструкции деталей с точки зрения изготовления их на универсальном технологическом оборудовании без применения специального инструмента и специальной оснастки и т. п.

Выбор среды проектирования печатной платы

В настоящее время существует достаточно большое количество программных продуктов для создания печатных плат. Автоматизированное проектирование не только повышает точность расчетов и сокращает объем экспериментальных исследований, но и существенно снижает временные и финансовые затраты на разработку. Кажущаяся на первый взгляд простой задача выбора инструмента проектирования печатных плат на практике оказывается гораздо более сложной и требует тщательного анализа не столько функциональности, сколько его стоимости и эффективности.

Перед началом проектирования необходимо сделать обзор программных продуктов, позволяющих выполнить задачи, которые необходимо решить

в ходе курсового проектирования (разработка схемы электрической принципиальной, разработка печатного узла и выполнение конструкторской документации). По результатам проведенного обзора следует оценить возможности программ по следующим критериям:

- доступность, простота и обучающие программы;
- количество имеющихся опций;
- наличие библиотек;
- аналоговое и цифровое моделирование и проектирование печатных схем;
- возможность вывода на печать конструкторской документации;
- наличие функции импорта схемы / списка соединений,
- проверка правил проектирования;
- количество слоев;
- количество компонентов;
- возможность использовать как вставные компоненты, так и компоненты для поверхностного монтажа;
- возможность автоматического размещения компонентов;
- удобство интерфейса;
- рисование, конвертирование и редактор принципиальных схем;
- подбор элементов и аналогов;
- оптимизация расчета размера ПП под категорию количества слоев;
- учет падения напряжения, сверхвысокочастотных цепей, помех и обратных связей;
- наличие симуляторов проверки правильности схемы.

В тексте пояснительной записки следует привести обзор программ и выбрать лучшую, которая будет применяться для разработки платы.

Выбор и обоснование применяемой элементной базы

Целью данного раздела является выбор конкретных серий и типов интегральных микросхем (ИМС) и электрорадиоэлементов, определение их габаритов, массы, установочных и присоединительных размеров, а также способов закрепления и монтажа ИМС.

При этом определяются элементы схемы, которые будут находиться на печатной плате, и элементы, подлежащие выносу за ее пределы. С этими элементами необходимо обеспечить связь через внешние соединители (разъемы).

Для элементов, располагаемых на плате, необходимо уяснить и описать их функции, назначение выводов, конструктивное исполнение. Как правило, у микросхем выводы питания на электрической схеме не показываются, а сведения о подключении к ним питания указываются графически, в виде таблицы

или в технических требованиях. Все эти данные понадобятся при создании библиотечных компонентов.

Для разработки условных графических обозначений (УГО) компонентов необходимы исходные данные (файл с техническим описанием, datasheet), которые можно найти на сайте компонентов. Для корректного изображения УГО компонента находим раздел «pin configuration and functions», находим обозначения и названия выводов.

При разработке конструкций современных изделий ЭС необходимо выбирать такие электрорадиоэлементы, которые в конструктивном, схемном и технологическом отношении хорошо согласуются с параметрами, габаритами, конструкцией, методами сборки используемых в разрабатываемом устройстве ИМС.

Выбор типов ИМС и электрорадиоэлементов должен также проводиться с учетом:

- а) номиналов и мощностей элементов;
- б) надежности и условий эксплуатации системы, составной частью которой является проектируемое изделие;
- в) технических требований к конструкции проектируемого изделия и системы в целом;
- г) экономической целесообразности;
- д) наличия данных типов элементов в серийном производстве;
- е) унификации и стандартизации.

Выбор типов ИМС и ЭРЭ должен также проводиться с учетом вида монтажа. Например, при использовании многослойных печатных плат (МПП), изготовленных методом металлизации сквозных отверстий, целесообразно применение ИМС и ЭРЭ со штыревыми выводами, а при использовании МПП, изготовленных методом открытых контактных площадок, необходимо применять элементы с планарными выводами. Кроме того, следует учитывать, что различное конструктивное исполнение ИМС и ЭРЭ позволяет получить и различную плотность монтажа. Ограничения габаритов и массы изделия обуславливают выбор малогабаритных и микроминиатюрных элементов, если это позволяют условия их работы в изделии.

Задачу выбора типов микроминиатюрных ЭРЭ и ИМС следует решать на основе системного подхода и комплексной микроминиатюризации. Например, ряд серий и функциональных наборов корпусных ИМС имеет различное конструктивное исполнение, отличающееся габаритами и массой. В частности, большинство серий микросхем имеют бескорпусные аналоги, либо могут выпускаться по требованию заказчика.

Для совместной работы с ИМС в функциональных узлах ЭС могут быть использованы резисторно-конденсаторные и конденсаторные сборки, совместимые с ИМС по конструкции и эксплуатационным параметрам.

Если в проектируемом изделии применяются нестандартные элементы или узлы (оригинальные, частного применения), то при отсутствии в задании их конструктивных параметров необходимо провести поверочные расчеты, выбрать тип конструкции, определить габариты, массу, способы крепления и монтажа.

Для выбранной элементной базы в тексте пояснительной записки должны быть приведены следующие характеристики:

- габаритные размеры;
- диаметр выводов;
- масса;
- электрические характеристики;
- допустимые механические нагрузки;
- рекомендуемые размеры контактных площадок (для поверхностно-монтируемых компонентов).

Необходимо указать источник информации по каждому элементу.

Создание интегрированных библиотек

Раздел должен содержать описание процесса создания всех библиотечных компонентов, необходимых для проектирования электрической схемы и печатной платы. Компонент включает в себя символ, корпус (посадочное место).

В разделе необходимо описать процесс создания проекта, библиотеки УГО, библиотеки посадочных мест.

Допускается подробно описать процесс создания одного УГО, остальные созданные УГО можно привести на рисунках.

Для символов с большим количеством выводов целесообразно воспользоваться мастером создания символов. Обязательными составляющими символа являются точка привязки и атрибут позиционного обозначения. Если проект разрабатывается с помощью Altium Designer, необходимо иметь в виду, что символ в данном приложении является основой (компонентом), к которому подключаются модели посадочного места, трехмерная модель, модели для анализа целостности сигналов и моделирования работы электрической схемы.

Библиотека посадочных мест создается в соответствии с данными, взятыми из datasheet элементов.

Начать следует с создания стилей контактных площадок, которые будут входить в состав посадочного места. Главными параметрами контактной площадки являются диаметр отверстия для сквозного вывода, а также форма и размеры самой контактной площадки. В записке следует привести соображения по выбору параметров контактных площадок (выбираются в соответствии с рекомендациями фирмы-производителя или рассчитываются). Далее

контактные площадки выбранного стиля располагаются в соответствии с расстояниями между выводами создаваемого корпуса. При этом необходимо соблюдать правильную нумерацию площадок в соответствии со справочными данными. Затем нужно нарисовать изображение корпуса и добавить атрибут позиционного обозначения. В состав посадочного места также должна входить точка привязки. После проверки правильности создания корпуса он записывается в библиотеку.

В записке для каждого компонента необходимо привести вид символа и посадочного места.

Номера соответствующих ГОСТов для условных графических обозначений элементов:

- ГОСТ 2.721 – Обозначения общего применения;
- ГОСТ 2.722 – Машины электрические;
- ГОСТ 2.723 – Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители;
- ГОСТ 2.725 – Устройства коммутирующие;
- ГОСТ 2.726 – Токосъемники;
- ГОСТ 2.727 – Разрядники, предохранители;
- ГОСТ 2.728 – Резисторы, конденсаторы;
- ГОСТ 2.729 – Приборы измерительные;
- ГОСТ 2.730 – Приборы полупроводниковые;
- ГОСТ 2.732 – Источники света;
- ГОСТ 2.743 – Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники;
- ГОСТ 2.733 – Обозначения условные детекторов ионизирующих излучений в схемах;
- ГОСТ 2.734 – Линии сверхвысокой частоты и их элементы;
- ГОСТ 2.735 – Антенны;
- ГОСТ 2.736 – Элементы пьезоэлектрические и магнитострикционные.

Проектирование электрической схемы

Принципиальная электрическая схема определяет полный состав элементов и связей между ними и дает детальное представление о принципах работы объекта проектирования. Принципиальная электрическая схема служит основанием для разработки других конструкторских документов: схемы соединений, чертежей печатных плат и перечня элементов. Каждая схема должна быть оформлена как самостоятельный конструкторский документ, которому присваивается обозначение по ГОСТ 2.201-80 (АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ ЭЗ). На каждом документе (внизу справа) помещают основную надпись по ГОСТ 2.104-68.

Для создания схемы электрической принципиальной в программе Altium Designer необходимо создать проект File – New – Project и выбрать PCB_Project (Default). Далее работа с библиотеками, схемами и трассировкой платы будет осуществляться внутри созданного проекта путем добавления необходимых файлов. **ВНИМАНИЕ!** *Обязательно сохранять проект перед добавлением новых файлов и сразу после добавления нового файла в проект, иначе файлы корректно отображаться не будут.*

В разделе «Проектирование электрической схемы» должны быть изложены общие соображения о проектировании данной схемы, сведения об использовании шин для сокращения количества изображаемых связей на схеме, пояснения, каким образом в схеме указано подключение цепей питания и т. д. Здесь же необходимо проанализировать цепи и присвоить некоторым из них имена, чтобы в дальнейшем на них можно было ссылаться для назначения этим цепям конкретных ограничений (ширина проводников, требования к длине и расположению и др.).

Разработка конструкции печатной платы

В разделе должны быть раскрыты следующие вопросы: сформулированы основные требования к конструкциям и технологии плат, выбрана требуемая группа жесткости печатной платы, обоснован выбор типа печатной платы и класса точности выполнения размеров элементов печатного монтажа, выбраны размеры и конфигурация печатной платы, выбраны материалы печатных плат (основания, покрытий); выбраны и размещены элементы печатного рисунка, выбраны требуемые элементы маркировки и контроля.

Выбор типа конструкции печатной платы

В соответствии с ГОСТ Р 53386–2009 различают следующие виды печатных плат:

- односторонняя печатная плата (ОПП). Применяются в бытовой технике, технике связи и в блоках питания на ЭРЭ. Имеют низкую стоимость, высокую надежность, низкую плотность компоновки;
- двусторонняя печатная плата (ДПП). Применяются в измерительной, вычислительной технике, технике управления и автоматического регулирования, технике связи, высокочастотной технике;
- многослойная печатная плата (МПП);
- рельефная печатная плата (РПП);
- гибкая печатная плата (ГПП);
- гибко-жесткая плата (ГЖП). Применяются в ЭС высокой надежности при реализации уникальных и сложных технических решений, конструкции которых исключают применение жестких ПП;

- гибкий печатный кабель (ГПК);
- ПП с металлическим сердечником;
- объединительная ПП.

В зависимости от условий эксплуатации ЭС конструктор определяет по ГОСТ 23752–79 группу жесткости и соответствующие ей требования к конструкции ПП, материалу основания и необходимости применения дополнительной защиты от климатических, механических и других воздействий, указанных в нормалях (таблица 1).

Таблица 1 – Требования к конструкции печатных плат в зависимости от группы жёсткости (ГОСТ 23752–79)

Наименование воздействующего фактора		Допускаемые значения воздействующего фактора по группам жесткости			
		1	2	3	4
Температура окружающей среды, °С	Верхнее значение	55	85	100	120
	Нижнее значение	–25	–40	–60	
Относительная влажность воздуха, %		75 при температуре до 35 °С	98	98 при температуре до 40 °С	
Смена температур, °С		От –25 до +55	От –40 до +85	От –60 до +100	От –60 до +120
Атмосферное давление, Па (мм рт.ст.)		Нормальное	53600 (400)		666 (5)

При выборе типа конструкции ПП учитывают:

1) тип элементной базы: традиционная (корпусная), бескорпусная, поверхностно-монтируемые компоненты (ПМК); смешанная (традиционная и ПМК);

2) возможность выполнения всех коммутационных соединений, что зависит от функциональной и конструкторской сложности узла. При незначительной конструкторской сложности (от 8 до 12 ИМС) при традиционном монтаже применяются ДПП, при средней (от 30 до 50 ИМС) – ДПП и МПП, при высокой (свыше 50 ИМС) – МПП. Условно примем, что установка ПМК с общим числом выводов до 350 соответствует малой конструкторской сложности ПП, от 350 до 800 – средней, свыше 800 – высокой;

3) технико-экономические показатели (стоимость, технологичность, уровень унификации и стандартизации и др.);

4) возможность автоматизации процессов изготовления, контроля и диагностики, установки электрорадиоизделий (ЭРИ) с учетом применяемого в конкретном производстве технологического оборудования.

ГОСТ Р 53429–2009, распространяемый на все виды печатных плат, устанавливает семь классов точности на размеры печатных плат, элементы конструкции ПП и позиционные допуски их расположения, а также определяет основные электрические параметры ПП – допустимую токовую нагрузку, рабочие напряжения, сопротивления печатных проводников. Класс точности ПП указывают в конструкторской документации на ПП. Выбор класса точности обусловлен составом элементной базы, требованиями к миниатюризации аппаратуры, надежности, стоимости и всегда связан с уровнем технологического оснащения конкретного производства.

После выбора конструкции печатной платы (числа слоев) необходимо определить размеры печатной платы. Для этого проводится расчет размеров печатной платы: суммируются установочные площади компонентов и эта сумма корректируется с учетом коэффициента заполнения. После этого выбираются размеры сторон печатной платы.

Размеры сторон печатной платы должны быть согласованы с размерами базовых несущих конструкций, для которых они предназначены. Размеры каждой из сторон печатной платы должны быть кратными:

- 2,5 мм – при длине до 100 мм включительно;
- 5 мм – при длине до 350 мм включительно;
- 10 мм – при длине более 350 мм.

Предельные отклонения сопрягаемых размеров контура печатной платы не должны быть более 12-го качества по ГОСТ 25347-2013. Предельные отклонения несопрягаемых размеров контура печатной платы не должны быть более 14-го качества по ГОСТ 25347-2013.

Отклонение от перпендикулярности сторон прямоугольной печатной платы не должно быть более 0,2 мм на 100 мм длины.

Контур печатной платы обычно имеет прямоугольную форму, но в технически обоснованных случаях может отличаться от нее. На плате располагают крепежные отверстия, для чего необходимо создать соответствующие стили контактных площадок.

Более точно определить геометрические размеры ПП можно исходя из компоновки конструкторско-технологических зон для размещения на ПП ЭРИ, элементов электрического соединения, крепления, контроля функционирования и фиксации ячейки, размеров краевых полей. Для определения геометрических размеров ПП необходимо учесть размеры всех конструкторско-технологических зон. Так как число и расположение зон определяет

конструктор, то их состав для разных ПП может существенно различаться. В качестве примера на рисунке 1 представлена разбивка коммутационно-монтажного пространства на шесть конструкторско-технологических зон различного назначения:

- S1 – зона размещения ЭРИ (обычно наибольшая зона);
- S2 – зона шириной y_1 для размещения элементов электрического соединения (электрического соединителя, контактных площадок, колодок для подключения кабеля и т. п.);
- S3 – зона шириной y_2 для расположения элементов контроля и крепления ПП (контрольные колодки, одиночные контакты, пистоны и др.);
- S4 и S5 – зоны шириной x_1 и x_2 для установки ЭМ1 (электронного модуля первого уровня) в блок;
- S6 – зона расположения дополнительных элементов крепления (ПП, теплоотвода, стоек и др.).

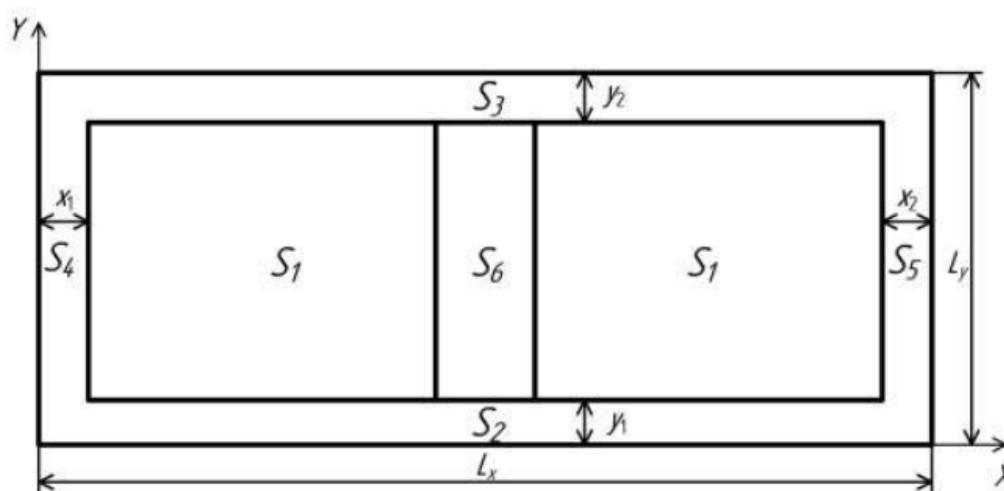


Рисунок 1 – Конструкторско-технологические зоны ПП

Определив размеры всех зон, можно получить ориентировочные габариты будущей ПП. Зная размеры L_x и L_y , используя ГОСТ Р 53429–2009, можно определить окончательные размеры ПП.

Толщина печатной платы определяется толщиной материала основания и проводящего рисунка без учета дополнительных покрытий. Суммарную толщину образует совокупность толщин ПП и непроводящих покрытий наружных слоев. Толщина ПП зависит от конструктивных и технологических особенностей, а также от механических нагрузок, вибраций и ударов при эксплуатации и транспортировке, которые могут привести к деформации и отказу ПП. Предпочтительными значениями номинальных толщин ОПП и ДПП

являются 0,8; 1,0; 1,5 и 2,0 мм. Установлен размерный ряд значений толщины оснований ПП:

- гибкие – 0,1–0,2–0,4 мм;
- жесткие – 0,8–1,0–1,5–2,0–3,0 мм.

Монтажные отверстия – отверстия, которые предназначены для установки микросхем и ЭРЭ. Переходные отверстия – отверстия для электрической связи между слоями или сторонами ПП. Различают:

- сквозные металлизированные отверстия, обеспечивающие электрическую связь между сторонами ПП и внутренними слоями МПП;
- сквозные металлизированные отверстия (скрытые или межслойные переходы), обеспечивающие контакт между двумя внутренними слоями;
- несквозные («слепые» или «глухие») отверстия, создающие контакт;
- несквозные (скрытые) микропереходные отверстия, в том числе многоуровневые микропереходы.

Микроотверстия или микропереходы (microvia) – отверстия диаметром менее 0,15 мм и/или плотностью более 1000 переходов/дм².

Форма контактных площадок (круглая, прямоугольная, квадратная и др.), а также их размеры в наружных, внутренних, сигнальных слоях и слоях питания/земли могут различаться.

Форма контактных площадок в наружных слоях определяется:

- формой выводов ЭРИ (круглое или прямоугольное сечение выводов, шариковые выводы, безвыводные компоненты и др.);
- элементной базой (традиционные или поверхностно-монтируемые компоненты);
- характером расположения выводов (радиально-перпендикулярно плоскости монтажа, аксиально-параллельно плоскости монтажа);
- жесткостью выводов;
- способом соединения выводов ЭРИ с контактными площадками (в отверстия пайкой, внахлест к контактными площадкам пайкой или сваркой);
- методом изготовления ПП.

Диаметры монтажных, переходных металлизированных и неметаллизированных отверстий должны быть выбраны из следующего ряда: 0,05; 0,075; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0 мм.

Центры отверстий рекомендуется располагать в узлах координатной сетки.

При применении дискретных ЭРЭ с шагом выводов, некратным шагу координатной сетки, по крайней мере одно из отверстий, принятое за основное,

должно быть расположено в узле координатной сетки, остальные отверстия располагают в соответствии с рабочим чертежом элемента.

Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий в зависимости от класса точности печатной платы должны соответствовать указанным в таблице 2.

Таблица 2 – Предельные отклонения отверстий печатных плат

В миллиметрах

Диаметр отверстия	Наличие металлизации	Предельное отклонение диаметра отверстия для класса точности						
		1	2	3	4	5	6	7
До 0,3 включ.	Без металлизации	—	—	—	±0,02	±0,02	±0,02	±0,02
	С металлизацией без оплавления	—	—	—	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02
	С металлизацией и с оплавлением	—	—	—	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06
Св. 0,3 до 1,0 включ.	Без металлизации	±0,10	±0,10	±0,05	±0,05	±0,05	±0,025	±0,02
	С металлизацией без оплавления	+0,05	+0,05	+0	+0	+0	-0,025	-0,02
	С металлизацией и с оплавлением	-0,15	-0,15	-0,10	-0,10	-0,10	-0,075	-0,05
	С металлизацией и с оплавлением	+0,05	+0,05	+0	+0	+0	—	—
Св. 1,0	Без металлизации	-0,18	-0,18	-0,13	-0,13	-0,13	—	—
	Без металлизации	±0,15	±0,15	±0,10	±0,10	±0,10	±0,05	±0,03
	С металлизацией без оплавления	±0,10	0,10	+0,05	+0,05	0,05	+0	-0,02
	С металлизацией и с оплавлением	-0,20	-0,20	-0,15	-0,15	-0,15	-0,10	-0,08

Номинальные размеры сквозных отверстий под крепежные детали выбираются по ГОСТ 11284.

Наименьшие номинальные размеры элементов проводящего рисунка печатных плат в зависимости от класса точности приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Наименьшие номинальные размеры элементов проводящего рисунка печатных плат

В миллиметрах

Наименование параметра	Наименьшие номинальные значения размеров для класса точности						
	1	2	3	4	5	6	7
Ширина проводника	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Расстояние между проводниками	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10	0,075	0,050
Гарантийный поясок контактной площадки	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025	0,020	0,015

При наличии на печатной плате свободного места указанные значения допускаются устанавливать по любому более низкому классу, а для первого класса – увеличивать в два раза.

Выбор материала печатной платы

Материал основания ПП выбирают с учетом электрических и физико-механических параметров ПП во время и после воздействия механических

нагрузок, климатических факторов и химических агрессивных сред в процессе производства и эксплуатации, обеспечения автоматизации процесса установки ЭРЭ. Выбор материала ПП также зависит от технологии изготовления ПП. Основными критериями при выборе материала основания ПП служат:

- пригодность для изготовления выбранного типа конструкции ПП;
- соответствие требуемым электрическим и механическим характеристикам;
- возможность эксплуатации в заданных техническим заданием условиях;
- стоимость.

Специалисту-проектировщику следует стремиться выбрать такой материал, который был бы наиболее оптимален для конкретной разрабатываемой конструкции ПП и при этом обладал бы наименьшей стоимостью.

Размещение электрорадиоизделий на печатной плате

Компоновка и размещение ЭРИ должны удовлетворять требованиям системного подхода. Необходимо предусмотреть:

- обеспечение наиболее простой трассировки;
- требуемую плотность компоновки ЭРИ;
- сложность электрической принципиальной схемы;
- тепловые режимы;
- механические воздействия;
- помехозащищенность и исключение взаимного влияния элементов печатного монтажа на электрические параметры ПП;
- обеспечение технологических требований, предъявляемых к ЭС: автоматическую сборку, пайку, контроль;
- обеспечение высокой надежности, малых габаритных размеров и массы, теплоотвода, ремонтпригодности, быстродействия.

Соблюдение указанных ограничений подтверждается проверочными расчетами, которые включают: 1) оценку компоновочных параметров ПП; 2) размещение ЭРИ с последовательным учетом всех существенных воздействий (механических, электрических, электромагнитных и т. д.) Если полученные результаты не удовлетворяют требованиям, необходимо рассмотреть новую компоновку ЭРИ и повторить процесс конструирования сначала.

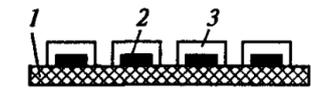
Некоторые рекомендации по размещению ЭРИ и ПМК:

- ЭРИ и ПМК, имеющие наибольшее количество внешних связей, располагают вблизи соединителя;
- ЭРИ и ПМК, имеющие наибольшее число связей с уже установленными ЭРИ и ПМК, размещают рядом;
- крупногабаритные ЭРИ и ПМК устанавливают вблизи электрического соединителя или у элементов крепления ячейки;

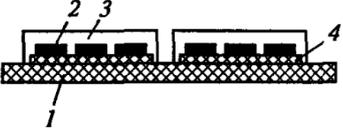
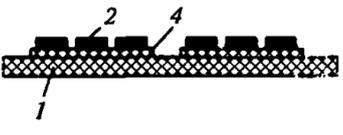
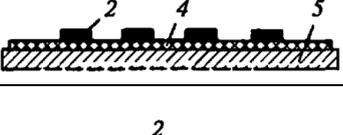
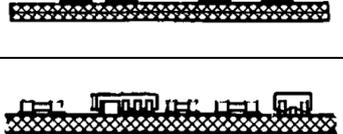
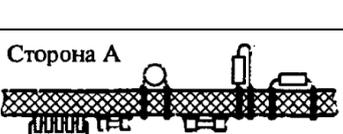
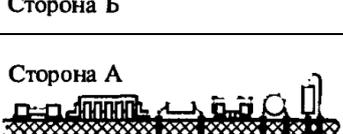
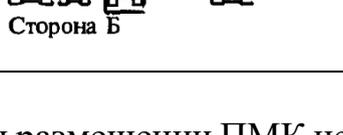
- корпусные ЭРИ и ПМК располагают рядами, при этом выводы должны совпадать с узлами координатной сетки (или хотя бы один или несколько);
- ИМС, ПМК и МСБ (корпусные и бескорпусные) располагают симметрично относительно контактных площадок;
- ЭРИ и ПМК размещают с учетом электрических связей, теплового режима, паразитных связей между ЭРИ, ПМК и проводниками, равномерного распределения масс ЭРИ и ПМК на ПП, минимальной длины связей и количества переходов со слоя на слой;
- функционально связанные ЭРИ и ПМК устанавливают на минимальном расстоянии друг от друга;
- группировку пассивных ЭРЭ выполняют вокруг соответствующих активных;
- шаг установки ИМС, ПМК и МСБ на ПП определяется размерами и типом корпуса, тепловым режимом блока, механическими воздействиями, методом разработки технологии ПП, числом задействованных выводов и пр.;
- определяют и устанавливают ЭРИ и ПМК с особыми требованиями к их расположению (с экранированием, термостатированием, вертикально и пр.);
- вариант установки ЭРИ определяется в соответствии с ГОСТ 29137-91, ОСТ 45.010.030-81, ГОСТ Р 59630-2021 «Установка поверхностно-монтируемых изделий на печатные платы» в зависимости от условий эксплуатации, метода изготовления ПП, степени автоматизации сборки.

При выборе варианта размещения навесных компонентов на печатной плате можно воспользоваться таблицей 4.

Таблица 4 – Варианты размещения навесных компонентов на печатной плате

№ варианта компоновки	Линейные графические модели компоновочных структур ячеек ЭА	Варианты компоновочных структур ячеек ЭА
1	2	3
1		Традиционный монтаж: ЭРЭ и корпусные ИМС в корпусах 1–4 типов, монтируют на ДПП или МПП с одной стороны в отверстия
2		Традиционный монтаж: монтаж БИС/СБИС, МСБ в корпусном исполнении на МПП
3		Поверхностный монтаж: ИМС, БИС/СБИС в корпусах для поверхностного монтажа монтируют на многослойных керамических платах, которые размещают на коммутационную МПП

Окончание таблицы 4

1	2	3
4		Монтаж ИМС, БИС/СБИС в бескорпусном исполнении проволочными выводами на многослойных керамических платах, которые размещают на коммутационную МПП
5		Бескорпусные ИМС, БИС/СБИС в микросборках устанавливают на подложки из ситалла, поликора или полиимида при помощи проволочных выводов, а затем бескорпусные микросборки размещают на МПП
6		Бескорпусные ИМС, БИС/СБИС в микросборках устанавливают на ДПП или МПП на полиимиде, а затем на металлическое основание
7		Монтаж безвыводных кристаллов БИС/СБИС: 1) методом перевернутого кристалла на микрокоммутационных платах; 2) методом утопленного кристалла
8		Поверхностный монтаж. Одно- и (или) двусторонний монтаж поверхностно-монтируемых компонентов на ДПП или МПП
9		Смешанный двусторонний монтаж на ДПП или МПП: 1) ЭРИ монтируют в отверстия на стороне А; 2) поверхностно-монтируемые компоненты монтируют на стороне Б
10		Смешанный двусторонний монтаж на ДПП или МПП: 1) монтаж поверхностно-монтируемых компонентов на сторонах А и Б; 2) монтаж ЭРИ, монтируемых в отверстия на стороне А

При размещении ПМК не существует ограничений по максимальному расстоянию между корпусами ПМК – чем больше, тем лучше. Однако часто требуется как можно более плотно разместить ПМК на ПП (рисунок 2).

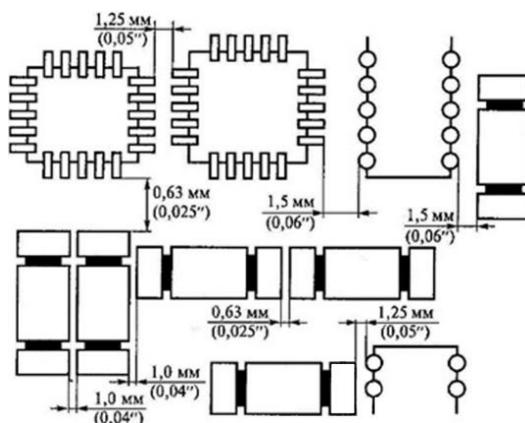


Рисунок 2 – Минимальные рекомендуемые расстояния между ПМК и элементами печатного монтажа

Минимальное расстояние между контактными площадками ПМК должно быть не менее 0,63 мм. Все полярные ПМК (SMD) должны быть по возможности ориентированы в одном направлении.

Разработка топологии печатной платы

Подготовку к трассировке следует начать с размещения барьеров трассировки. Барьерами на плате выделяются места, на которых запрещается размещение проводников. Это места расположения крепежных отверстий, несущих конструкций, радиаторов охлаждения, проводящих корпусов компонентов. Барьеры учитываются при интерактивной и автоматической трассировке.

Далее на основании класса точности печатных плат устанавливаются параметры трассировки для всей платы – ширина проводников и зазоры между ними. Группы цепей с похожими характеристиками (например, цепи питания) могут объединяться в классы, для которых необходимо установить свои правила трассировки. Следует выделить цепи со специфическими параметрами (высокая частота сигнала, ширина, ограничения по длине и т. д.) и назначить им индивидуальные правила.

На основании задания на проектирование или самостоятельно разработчик должен выделить цепи, которые следует развести вручную и запретить их дальнейшую модификацию при автотрассировке. В записке следует пояснить критерии такого выбора. Для разводки этих цепей лучше воспользоваться ручной трассировкой, т. к. интерактивная трассировка не всегда позволяет задать требуемое положение проводников.

Затем следует оттрассировать цепи питания. Цепи питания, как правило, проходят по всей печатной плате, поэтому их следует размещать так, чтобы они не мешали проведению других проводников. При этом очень важно учитывать вопросы электромагнитной совместимости, т. к. через цепи питания возможно возникновение паразитных связей, особенно при наличии на одной печатной плате цифровых и аналоговых сигналов. Цепи питания можно попробовать трассировать автоматически с последующим редактированием. Для придания им желаемой конфигурации можно временно установить барьеры в виде линий, однако следует проанализировать трудоемкость и эффективность этого способа и, возможно, остановиться на ручной трассировке цепей питания.

После описанных выше действий остальные цепи следует развести с помощью автотрассировщика. Требования к параметрам трассировки этих цепей определяются классом точности печатной платы, но возможны и специфические требования к отдельным цепям. Также можно устанавливать различные требования к топологии в разных местах платы с помощью определения «комнат». Предварительно разведенные цепи перед автотрассировкой

необходимо защитить от модификации. При автотрассировке необходимо провести несколько сеансов трассировки с разными параметрами: изменить шаг сетки, ширину проводников, зазоры между проводниками. Затем на основании сравнения количественных показателей, содержащихся в отчетах о трассировке для каждого варианта, и на основе визуального анализа топологии следует выбрать наилучший вариант.

Другой подход заключается в том, что после первого сеанса автотрассировки анализируется топология и делается вывод о том, какие параметры трассировки нужно изменить для улучшения ее качества. Кроме того, при визуальном анализе топологии могут возникнуть предложения об изменении размещения компонентов для освобождения каналов трассировки в тех местах, где компоненты блокируют проведение проводников.

Все эти этапы необходимо отразить в пояснительной записке и привести конкретные данные, подтверждающие обоснованность сделанных выводов и произведенных действий.

Финальным этапом работы над топологией печатной платы является проверка печатной платы на полноту трассировки и на соблюдение зазоров средствами редактора печатных плат (утилиты DRC). Необходимость этого объясняется выполнением ручных операций при проектировании топологии: разработчик может допустить ошибки и не обнаружить их. Отчет о проверке содержит имена не полностью разведенных цепей с указанием оттрассированных частей, а также нарушения технологических ограничений (недопустимые зазоры). При этом в отчете указываются объекты, между которыми обнаружены нарушения, а также координаты расположения этих ошибок. На печатной плате утилита проверки DRC помещает индикаторы ошибок. Обнаруженные не полностью разведенные цепи следует доразвести вручную, а выявленные ошибки топологии устранить. Рекомендуется при проверке платы средствами утилиты DRC поэтапно увеличивать задаваемые в правилах проверки зазоры, что позволит вести исправления нарушений постепенно (переходить от меньших зазоров к большим).

Выбор, обоснование способов электромонтажа

Выбор способа электромонтажа связан с проектированием контактных площадок размещаемых на ПП компонентов.

Основными способами электромонтажа являются пайка волной припоя и пайка расплавлением дозированного припоя, которые имеют существенные различия и особенности использования.

Пайка – процесс соединения металлических частей изделия с помощью специального сплава – припоя. Она несколько напоминает сварку металлов, но при сварке соединяемые детали нагреваются до плавления,

а при пайке нагревают припой и детали только до температуры плавления припоя (рисунок 3).



Рисунок 3 – Способы нагрева при пайке

Расплавленный припой затекает в зазоры между деталями изделия под действием капиллярных сил, и чем меньше зазор между соединяемыми поверхностями при пайке, тем лучше проникает в зазор припой под их действием.

Название паяк определяется инструментом (оборудованием) или средой, нагревающими место соединения. Независимо от способа нагрева пайка может производиться в обычной окружающей атмосфере или в специально созданной среде. Поэтому различают способы пайки и по характеру окружающей среды: в вакууме; в среде нейтральных газов; в восстановительной среде.

Пайка волной припоя применима только тогда, когда компоненты монтируются на поверхность с нижней стороны платы, а сами компоненты выдерживают погружение в ванну с припоем. Этот метод пайки для поверхностных компонентов ограничивается из-за проявления эффекта затенения паяемых контактных площадок корпусами компонентов. Для некоторых классов приборов при пайке волной припоя ориентация компонентов относительно направления движения волны напрямую определяет качество формирования паяного соединения. Лучшие результаты достигаются, когда продольная ось корпуса направлена по движению платы при пайке. Такая ориентация уменьшает вероятность образования перемычек из припоя. Важную роль играет и создание «ловушек припоя», которые не дают накапливаться припою на концевых площадках посадочного места компонента. Такие простые корпуса, как прямоугольные или SO, просто ориентируются параллельно или перпендикулярно потоку волны.

При пайке оплавлением дозированного припоя повышаются требования к точности позиционирования компонентов и нанесения припойной пасты при повышенной плотности монтажа. Здесь необходимо учитывать эффект скольжения компонента по расплавленному припою. Этот эффект проявляется как следствие действия сил поверхностного натяжения жидкого припоя (при оплавлении), которые стремятся затянуть компонент в центр припойной площадки, что обычно приводит к необходимости повышения точности позиционирования компонента. Для предотвращения скользящего эффекта необходимо делать зазор 0,635 мм или даже 1,27 мм.

Разработка конструкции печатного узла

В этом подразделе необходимо обосновать массогабаритные и другие компоновочные характеристики печатного узла, определить конструктивные составляющие (планки, съемники, рамки, соединители, переходники, элементы закрепления и т. д.).

В этом разделе также должны быть сформулированы основные требования к защите печатных узлов от электрических, тепловых, механических, климатических и других воздействий.

Конструкторские расчеты

Пример расчета объемно-компоновочных характеристик изделия

Площадь печатной платы $S_{\text{ПП}}$, мм², рассчитывается по формуле

$$S_{\text{ПП}} = K_v \cdot \left(\sum_{i=1}^m S_{\text{уст}_i} \cdot n \right), \quad (1)$$

где K_v – коэффициент использования площади ПП (принимается $K_v = 1,5$);

$S_{\text{уст}_i}$ – установочная площадь i -го элемента, мм²;

n – число элементов i -го типоразмера;

m – количество типоразмеров.

Таблица 1 – Параметры электрорадиоэлементов

Позиционное обозначение элемента	Габаритные размеры $x \times y \times z$, мм	Количество элементов, шт.	Занимаемая площадь элемента, мм ²	Суммарная площадь подобных элементов, мм ²	Занимаемый элементом объём $V_{\text{уст}_i}$, мм ³	Масса $m_{\text{э}_i}$, г
1	2	3	4	5	6	7
A1	25,2×26×5,7	1	655,2	655,2	3734,64	20
A2	13,5×10×4	1	135	135	540	4

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
A3	23×15,4×5,7	1	354,2	354,2	2018,94	2,2
A4	7×7×2,5	1	49	49	122,5	1,2
A5	12,6×10,2×5,7	1	128,52	128,52	732,56	1,8
A7	5,8×5,8×8,7	1	33,64	33,64	292,67	2,5
C1...C6	3,1×1,6×0,55	6	4,96	29,76	16,37	0,046
DD1	7,8×10,2×2,5	1	79,56	79,56	198,9	0,7
FU1	3,1×1,6×0,55	1	4,96	4,96	2,73	0,03
G1	72×18×20	1	1296	1296	25920	200
HL1...HL3	3,1×1,6×0,55	3	4,96	14,88	8,18	0,1
R1, R3, R7, R9...R11	3,1×1,6×0,55	6	4,96	29,76	16,37	0,04
R2, R4, R5, R6, R8	3,1×1,6×0,55	5	4,96	24,8	13,64	0,01
SB1...SB4	6,2×6,2×4	4	38,44	153,76	615,04	3,5
VD1	3,86×1,8×1,35	1	6,95	6,95	9,38	0,05
X1	76,96×20,98×21,41	1	1614,62	1614,62	34569,03	20
XS1...XS2	15,8×15×7,12	2	237	474	3374,88	2,61
XT1	15×10,2×14,3	1	153	153	2187,9	3,4
ZQ1	12,3×4,5×5	1	55,35	55,35	276,75	1

Площадь, занимаемая всеми компонентами, составляет 5292,96 мм² (согласно данным таблицы 1).

Площадь печатной платы рассчитываем по формуле (1):

$$S_{\text{пп}} = 7939,4 \text{ мм}^2.$$

Округляем значение площади ПП:

$$S_{\text{пп.ГОСТ}} = 8100 \text{ мм}^2.$$

Согласно ГОСТ Р 53429-2009 принимаем соотношение сторон печатной платы 1:1, а ее габаритный размер устанавливаем равным 90 × 90 мм.

Рассчитаем коэффициент заполнения площади печатной платы:

$$K_3 = \frac{\sum_{i=1}^m S_{\text{уст}_i} \cdot n}{S_{\text{пп.ГОСТ}}} = \frac{5292,96}{8100} = 0,65. \quad (2)$$

Суммарная масса всех элементов печатного узла составляет $m_2 = 276,97$ г (согласно данным таблицы 1).

Масса печатной платы определяется по формуле

$$m_{\text{пп}} = \rho \cdot V = 1600 \cdot 1,215 \cdot 10^{-5} = 0,01944 \text{ кг} = 19,44 \text{ г}, \quad (3)$$

где ρ – плотность материала печатной платы. Т. к. в данном случае материал платы – стеклотекстолит, $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$;

V – объем печатной платы, м³:

$$V = S_{\text{пл.ГОСТ}} \cdot h = 8100 \cdot 1,5 = 12\,150 \text{ мм}^3 = 1,215 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3. \quad (4)$$

Определяем массу печатного узла по формуле

$$m_{\text{ПУ}} = m_{\text{ЭРЭ}} + m_{\text{пл}} = m_{\Sigma} + m_{\text{пл}} = 276,97 + 19,44 = 296,4 \text{ г}. \quad (5)$$

Пример расчета элементов печатного монтажа

Исходные данные:

- двусторонняя печатная плата;
- метод изготовления: комбинированный позитивный;
- класс точности – 4;
- толщина фольги 35 мкм;
- максимальный ток через проводник 35 мА;
- максимальная длина проводника 0,4 м;
- максимальный диаметр выводов электрорадиоэлемента 1 мм.

1) Определяем минимальную ширину, мм, печатного проводника по постоянному току для цепей питания и заземления:

$$b_{\text{mini}} = \frac{I_{\text{max}}}{j_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (1)$$

где I_{max} – максимальный постоянный ток, протекающий в проводниках (определяется из анализа электрической схемы);

$j_{\text{доп}}$ – допустимая плотность тока, выбирается в зависимости от метода изготовления из таблицы 1;

t – толщина проводника, мм.

Таблица 1 – Допустимая плотность тока в зависимости от метода изготовления

Метод изготовления	Толщина фольги t , мм	Допустимая плотность тока $j_{\text{доп}}$, А/мм ²	Удельное сопротивление ρ , Ом · мм ² /м
Химический: – внутренние слои МПП – наружные слои ОПП, ДПП	20, 35, 50 20, 35, 50	15 20	0,05
Комбинированный позитивный	20 35 50	75 48 38	0,0175
Электрохимический	—	25	0,050

$$b_{\text{min1}} = \frac{0,035}{48 \cdot 0,035} = 0,021 \text{ мм}.$$

2) Определяем минимальную ширину проводника, мм, исходя из допустимого падения напряжения на нем:

$$b_{\min 2} = \frac{\rho I_{\max} l}{U_{\text{доп}}}, \quad (2)$$

где ρ – удельное объемное сопротивление материала проводника (см. таблицу 1);

I_{\max} – максимальный постоянный ток, протекающий в проводниках (определяется из анализа электрической схемы);

l – длина проводника, м;

$U_{\text{доп}}$ – допустимое падение напряжения, определяется из анализа электрической схемы.

Допустимое падение напряжения на проводниках не должно превышать 5 % от питающего напряжения микросхем и не более запаса помехоустойчивости микросхем.

$$U_{\text{доп}} = 0,1 \cdot 5 = 0,5 \text{ В};$$

$$b_{\min 2} = \frac{0,0175 \cdot 0,035 \cdot 0,4}{0,5 \cdot 0,035} = 0,014 \text{ мм.}$$

3) Определяем минимальную ширину проводников по формуле

$$b_{\min} = b_{l\min} + 1,5h_{\Phi} + 0,03 \text{ мм}, \quad (3)$$

где $b_{l\min}$ – минимальная эффективная ширина проводника.

Для печатных плат 1, 2 и 3 класса точности принимают $b_{l\min} = 0,18$ мм; для печатных плат 4 класса точности $b_{l\min} = 0,15$ мм.

Минимальная ширина проводников

$$b_{\min} = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ мм.}$$

Максимальная ширина проводников

$$b_{\max} = b_{\min} + (0,02 + 0,06) = 0,23 + 0,08 = 0,31 \text{ мм.}$$

4) Определяем номинальное значение диаметров монтажных отверстий.

Рассчитываем для электрорадиоэлемента с шириной выводов 1 мм:

$$d = d_3 + |\Delta d_{\text{н.о}}| + r, \quad (4)$$

где d_3 – максимальный диаметр вывода устанавливаемого электрорадиоэлемента;

$\Delta d_{\text{н.о}}$ – нижнее предельное отклонение от номинального диаметра монтажного отверстия;

r – разница между минимальным диаметром отверстия и максимальным диаметром вывода электрорадиоэлемента. Ее выбирают в пределах от 0,1 до 0,4 мм.

Расчитанные значения диаметра d сводят к предпочтительному ряду отверстий: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм.

$$d = 1 + 0,3 + 0,1 = 1,5 \text{ мм.}$$

5) Рассчитываем диаметр контактных площадок.

Минимальный диаметр контактных площадок для двусторонних печатных плат, изготовленных комбинированным позитивным методом:

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5h_{\phi} + 0,03, \quad (5)$$

где h_{ϕ} – толщина фольги;

$D_{1\min}$ – минимальный эффективный диаметр площадки:

$$D_{1\min} = 2 \left(\left(b_m + \frac{d_{\max}}{2} \right) + (\delta d \cdot \delta p) \right), \quad (6)$$

где b_m – расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки;

δd и δp – допуски на расположение отверстий и контактных площадок;

d_{\max} – максимальный диаметр просверленного отверстия, мм.

Величины δd , δp определяют по таблицам (учитывается погрешность технологического процесса).

Максимальный диаметр просверленного отверстия определяем по формуле

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (7)$$

где Δd – допуск на отверстие (принимается равным 0,15).

$$d_{\max} = 1,5 + 0,15 + 0,15 = 1,8 \text{ мм;}$$

$$D_{1\min} = 2 \left(\left(0,15 + \frac{1,8}{2} \right) + (0,15 \cdot 0,05) \right) = 2,1 \text{ мм;}$$

$$D_{\min} = 2,1 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 2,2 \text{ мм.}$$

б) Максимальный диаметр контактной площадки:

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06), \quad (8)$$

$$D_{\max} = 2,2 + 0,06 = 2,26 \text{ мм.}$$

7) Минимальное расстояние между двумя контактными площадками:

$$S_{\min 1} = L_0 - (D_{\max} + \delta p), \quad (9)$$

где L_0 – расстояние между центрами рассматриваемых элементов (принимаем равным 2,6 мм).

$$S_{\min 1} = 2,6 - (2,26 + 0,05) = 0,29 \text{ мм.}$$

8) Минимальное расстояние между двумя проводниками:

$$S_{\min 2} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta p).$$

4 Указания по оформлению курсового проекта

4.1 Оформление пояснительной записки

Пояснительную записку к курсовому проекту следует оформлять с соблюдением требований ГОСТ 2.105-2019 «ЕСКД. Общие требования к текстовым документам».

Пояснительная записка к курсовому проекту должна быть напечатана на одной стороне листа писчей бумаги формата А4 шрифтом Times New Roman размером 13 (межстрочный интервал – одинарный). Расстояние от рамки формы до границ текста в начале и в конце строк – не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней рамки должно быть не менее 10 мм.

Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15 мм.

Каждый раздел записки необходимо начинать с новой страницы. Опечатки, описки и графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения документа, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием корректирующей жидкостью белого цвета и нанесением на том же месте исправленного текста (графики).

Пояснительная записка должна содержать титульный лист. Форма и содержание титульного листа приведены в [приложении А](#).

В начале пояснительной записки помещается содержание, в котором приводят порядковые номера и заголовки разделов, подразделов, обозначения и заголовки приложений. При этом после заголовка каждого из указанных структурных элементов ставят отточие, а затем приводят номер страницы пояснительной записки, на которой начинается данный структурный элемент. В содержании номера подразделов приводят после абзацного отступа, равного двум знакам, относительно номеров разделов. В содержании при необходимости продолжения записи заголовка раздела или подраздела на второй (последующей) строке его начинают на уровне начала этого заголовка на первой строке, а при продолжении записи заголовка приложения – на уровне записи обозначения этого приложения.

Содержание размещают на новой странице. Слово «Содержание» записывают в верхней части страницы, посередине, с прописной буквы и выделяют полужирным шрифтом. Наименования структурных элементов пояснительной записки, включенные в содержание, записывают с прописной буквы. Пример оформления содержания приведен в [приложении Б](#).

Пояснительную записку к курсовому проекту следует разделять на разделы и подразделы. Разделы нумеруются по порядку в пределах всей записки. Нумерация производится арабскими цифрами. Подразделы нумеруются

в пределах каждого раздела. При этом номер состоит из двух цифр, разделенных точкой, например:

5.1 – Первый подраздел пятого раздела

Заголовки разделов и подразделов должны быть краткими и точно отражать их содержание. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовков состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце, полужирным шрифтом, не подчеркивая, с абзацного отступа. Заголовки разделов выделяют увеличенным размером шрифта (следует использовать шрифт 14).

Расстояние между заголовком раздела и подраздела должно быть равно одной пустой строке. Расстояние между заголовком подраздела и пункта должно быть равно одной пустой строке. Расстояние между заголовком раздела (подраздела) и предыдущим или последующим текстом должно быть равно двум пустым строкам.

Пример

2 Конструкторские расчеты *(шрифт 14, с абзацного отступа 15 мм)* *(одна пустая строка)*

2.1 Расчет на механические воздействия *(шрифт 13, с абзацного отступа 15 мм)* *(одна пустая строка)*

2.1.1 Расчет на действие удара *(шрифт 13, с абзацного отступа 15 мм)* *(две пустых строки)*

Пример оформления пояснительной записки приведен в [приложении В](#).

Пояснительная записка должна быть изложена кратко, грамотно, с применением технической терминологии. Следует избегать сложных и длинных предложений. Не рекомендуется повторять уже однажды изложенные мысли. При описании конструкций изделий и аппаратуры не следует употреблять одновременно в одной фразе настоящее, прошедшее и будущее время, совершенный и несовершенный вид, а также личную и безличную форму глаголов и т. д.

Терминология, используемая в пояснительной записке, должна быть единой и соответствовать установленным стандартам, а при отсутствии таковых – общепринятой в научно-технической литературе. Следует избегать употребления для одного и того же понятия двух или более терминов.

Сокращения слов в пояснительной записке допускаются только в исключительных случаях и должны соответствовать общепринятым нормам. К допустимым относятся:

– сокращения, установленные правилами русской орфографии и пунктуации (например, то есть – т. е., и так далее – и т. д.);

– сокращения, регламентированные ГОСТ 2.316 «Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц».

Список применяемых в записке сокращений приводят после содержания.

В тексте документа, за исключением формул, таблиц и рисунков, не допускается применять:

– математический знак «минус» перед отрицательным значением величин (следует писать слово «минус»);

– знак «∅» для обозначения диаметра (следует писать слово «диаметр»).

При указании размера или предельных отклонений диаметра на чертежах, помещенных в тексте документа, перед размерным числом следует писать знак «∅»;

– математические знаки величин без числовых значений, например: > (больше), < (меньше), = (равно), ≥ (больше или равно), ≤ (меньше или равно), ≠ (не равно), а также знаки № (номер), % (процент);

– индексы стандартов, технических условий и других документов без регистрационного номера.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Пример

Плотность каждого образца ρ , кг/м³, вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (3)$$

где m – масса образца, кг;

V – объем образца, м³.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой. Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак «×».

Формулы должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Ссылки в тексте на порядковый номер формул дают в скобках. Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит

из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой (например, (3.1)).

В пояснительной записке допускаются ссылки на стандарты, технические условия и другие документы при условии, что они полностью и однозначно определяют соответствующие требования и не вызывают затруднений в пользовании документом. Ссылаться следует на документ в целом или его разделы и приложения. Ссылки на подразделы, пункты, таблицы и рисунки не допускаются, за исключением подразделов, пунктов, таблиц и рисунков пояснительной записки.

В тексте пояснительной записки числовые значения величин с обозначением единиц физических величин и единиц счета следует писать цифрами, а числа без обозначения единиц физических величин и единиц счета от единицы до девяти – словами.

Примеры

- 1 Провести испытания пяти плат, каждая длиной 0,1 м.
- 2 Отобрать 15 плат для испытания на электрический пробой.

Если в тексте пояснительной записки приводится ряд числовых значений, выраженных в одной и той же единице физической величины, то ее указывают только после последнего числового значения (например, 1,50; 1,75; 2,00 м).

Если в тексте приводится диапазон числовых значений физической величины, выраженных в одной и той же единице физической величины, то обозначение единицы физической величины указывается после последнего числового значения диапазона. Исключение составляют «С», «%», «°».

Примеры

- 1 От 1 до 5 мм.
- 2 От 10 до 100 кг.
- 3 От плюс 10 °С до минус 40 °С.
- 4 От плюс 10 °С до плюс 40 °С.
- 5 От 15 % до 30 %.

Недопустимо отделять единицу физической величины от числового значения (переносить их на разные строки или страницы), кроме единиц физических величин, помещаемых в таблицах, выполненных машинописным способом.

При невозможности выразить числовые значения в виде десятичной дроби допускается записывать в виде простой дроби в одну строку через косую черту.

Пример

5/32; (50А – 4С)/(40В + 20).

Интервалы чисел в тексте записывают со словами «от» и «до» (имея в виду «от ... до ... включительно»), если после чисел указана единица физической величины или числа представляют безразмерные коэффициенты, или через тире, если числа представляют порядковые номера.

Примеры

... толщина слоя должна быть от 0,5 до 2,0 мм.
7–12, рисунок 1–14.

Для пояснения текста записки следует использовать графический материал (чертеж, схему, диаграмму, рисунок), который может быть расположен как по тексту (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце его.

Графический материал следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией, приводя эти номера после слова (например, «Рисунок 1»). Допускается нумеровать графический материал в пределах раздела. В этом случае номер графического материала состоит из номера раздела и порядкового номера графического материала, разделенных точкой.

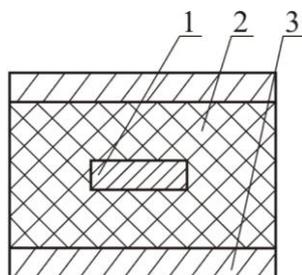
Пример

Рисунок 1.1

При ссылке на графический материал следует писать «в соответствии с рисунком 2» или «в соответствии с рисунком 1.1».

Графический материал при необходимости может иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и его наименование, отделенные тире, помещают после пояснительных данных.

Пример



(одна пустая строка)

1 – центральный проводник; 2 – диэлектрик; 3 – наружный проводник

(одна пустая строка)

Рисунок 1 – Полосковая линия (сечение)

(одна пустая строка)

Цифровой материал по тексту излагают в таблицах. Таблицы используются для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким и его следует помещать над таблицей.

При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Цифровой материал оформляют в виде таблиц в соответствии с рисунком 5.

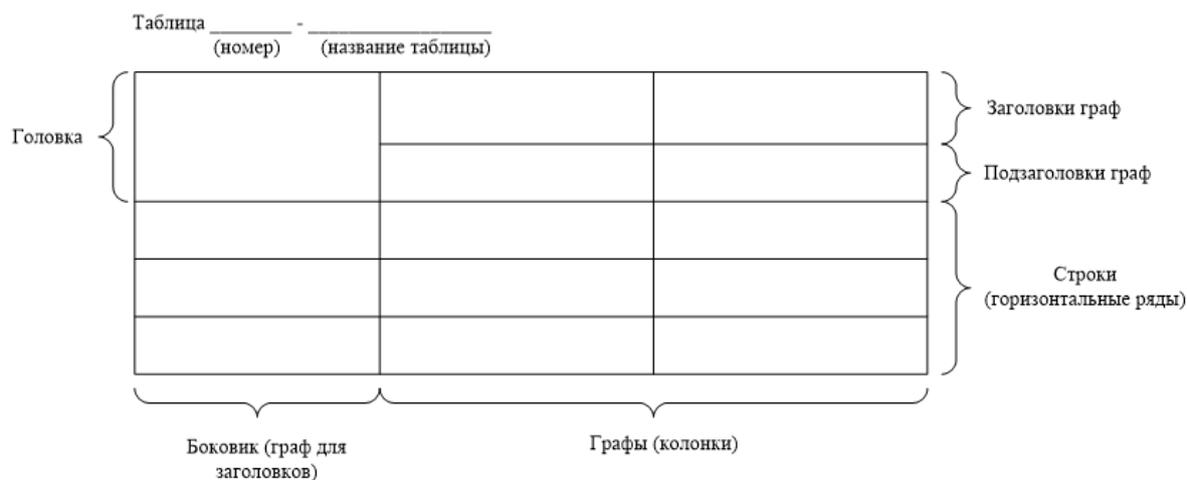


Рисунок 5 – Оформление цифрового материала в таблицах

Таблицы нумеруют арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы документа должны быть приведены ссылки в его тексте, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе.

Таблицы, как правило, ограничивают слева, справа и снизу линиями. Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается. Горизонтальные и вертикальные линии, разграничивающие строки таблицы, допускается не проводить, если их отсутствие не затрудняет пользование таблицей.

Заголовки граф, как правило, записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф.

Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости – в приложении к документу. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа.

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части таблицы повторяют ее головку и боковик.

При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут слова «Продолжение таблицы» с указанием номера таблицы.

Пример

Таблица _

В миллиметрах

Номинальный диаметр резьбы, болта, винта, шпильки	Внутренний диаметр шайбы	Толщина шайбы					
		легкой		нормальной		тяжелой	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
2,0	2,1	0,5	0,8	0,5	0,5	—	—
2,5	2,6	0,6	0,8	0,6	0,6	—	—
3,0	3,1	0,8	1,0	0,8	0,8	1,0	1,2

Продолжение таблицы _

В миллиметрах

Номинальный диаметр резьбы, болта, винта, шпильки	Внутренний диаметр шайбы	Толщина шайбы					
		легкой		нормальной		тяжелой	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
4,0	4,1	1,0	1,2	1,0	1,2	1,2	1,6
...
...
42,0	42,5	—	—	9,0	9,0	—	—

В конце пояснительной записки приводится список использованной при написании литературы. Оформление списка и ссылки на него в тексте выполняются по ГОСТ 7.32-2017 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». Список литературы включается в содержание документа.

Примеры

1. Земсков А. И., Шрайберг Я. Л. Электронные библиотеки: учебник для вузов. – М.: Либерия, 2003. – 351 с.
2. Костюк К. Н. Книга в новой медицинской среде. – М.: Директ-Медиа, 2015. – 430 с.
3. ISO 25964-1:2011 Information and documentation – Thesauri and interoperability with other vocabularies. – Part 1: Thesauri for information retrieval. – URL: <https://www.iso.org/standard/53657.html> (дата обращения: 20.10.2016).

При использовании в тексте информации из какого-либо источника на него необходимо дать ссылку в квадратных скобках с указанием номера из списка использованных источников.

Пример

«Например, в [2] показан вывод использованной формулы».

Иллюстрированный материал, таблицы и текст вспомогательного характера приводятся в виде приложений к пояснительной записке. Нумерация листов пояснительной записки и приложений должна быть сквозная. При наличии приложений в пояснительной записке по тексту должны быть ссылки на них.

4.2 Оформление графической части проекта

При оформлении графической части курсового проекта необходимо руководствоваться действующими стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Содержание и объем графической части курсового проекта определяется руководителем. Графическая документация выполняется на листах формата А1. Допускается использование и других форматов, установленных ГОСТ 2.301-68.

Толщина линий должна быть одинакова для всех изображений в пределах выполняемых чертежей. Все надписи на чертежах должны выполняться стандартным чертежным шрифтом.

Каждый чертеж должен содержать основную надпись, которую располагают в правом нижнем углу документа. Порядок заполнения основной надписи и дополнительных граф к ней регламентирует ГОСТ 2.104. Вся графическая документация к курсовому проекту подразделяется на три основных вида:

- чертежи деталей;
- сборочные чертежи;
- схемы.

Основные требования к выполнению чертежей на различные виды изделий регламентирует ГОСТ 2.109. Согласно требованиям данного стандарта чертеж детали должен содержать:

- необходимое количество изображений и размеров, определяющих форму детали;
- указания о предельных отклонениях размеров детали;
- указания о шероховатости поверхностей и предельных отклонениях их формы;
- сведения о материале, из которого изготовлена деталь;
- указания о покрытиях.

Деталь изображают на чертеже в том виде, в каком она поступает на сборку. Для упрощения графического изображения деталей рекомендуется максимально использовать местные виды и разрезы, развертки, выносные элементы, а также различные упрощения, предусмотренные стандартами. Количество размеров на чертеже детали должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля детали; указывается обозначение марки и сортамента материала, из которого изготавливают деталь. В основной надписи чертежа детали указывают не более одной разновидности материала. Если для изготовления детали предусматривается использование заменителей материала, то их указывают в технических требованиях, которые излагают на поле чертежа. Следует отметить, что все чертежи деталей содержат, как правило, технические требования, правила изложения которых регламентирует ГОСТ 2.316.

Одной из наиболее распространенных деталей, на которую приходится разрабатывать конструкторскую документацию в процессе выполнения курсового проекта, является двусторонняя печатная плата. Характерно, что изложенные выше требования к чертежам деталей также распространяются и на оформление чертежей двусторонних печатных плат. Кроме того, специфике оформления чертежей печатных плат более полно учитывает ГОСТ 2.417. Согласно этому стандарту размеры на чертеже печатной платы задаются одним из следующих способов:

- в соответствии с требованиями ГОСТ 2.307;
- нанесением координатной сетки в прямоугольной или полярной системе координат;
- комбинированным способом при помощи размерных и выносных линий и координатной сетки.

Если размеры и конфигурация рисунка печатной платы оговорены в технических требованиях чертежа, допускается элементы печатных плат изображать условно. Следует обратить внимание и на то, что первым пунктом

в технических требованиях, излагаемых на поле чертежа платы, указывается способ изготовления платы. Остальные требования излагаются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.316.

Чертежи печатных узлов, блоков, объединительных панелей, других составных сборочных единиц проектируемого изделия оформляют в виде сборочных чертежей. Требования к оформлению таких чертежей также регламентируются ГОСТ 2.109.

В общем случае сборочный чертеж должен содержать:

- изображение сборочной единицы;
- размеры и предельные отклонения, которые должны быть проконтролированы по данному чертежу;
- указания о характере сопряжения деталей;
- номера позиций составных деталей, входящих в изделие;
- габаритные размеры изделия;
- установочные, присоединительные и справочные размеры и т. д.

Сборочные чертежи в курсовом проекте допускается выполнять с упрощениями, установленными ГОСТ 2.109 и ГОСТ 2.305. Сборочные чертежи должны содержать также технические требования, которые следует излагать на поле чертежа.

Все составные части сборочной единицы нумеруют на сборочном чертеже в соответствии с номерами позиций, указанными в спецификации. Номера позиций наносят на полях линий-выносок. Номера позиций располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группируют в колонку или строчку по возможности на одной линии.

Спецификацию на сборочные единицы следует составлять на отдельных листах формата А4 для каждой сборочной единицы в отдельности и подшивать в виде приложений в пояснительную записку. Форму спецификации и порядок ее заполнения регламентирует ГОСТ 2.108. В спецификацию вносят составные части, входящие в специфицируемое изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к этому изделию и к его неспецифицируемым составным частям.

Разделы спецификации располагают в такой последовательности: документация, комплексы, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты. Наименование каждого раздела следует подчеркивать.

К графической части курсового проекта относятся и чертежи схем. В зависимости от основного назначения, схемы подразделяются на структурные, функциональные, принципиальные, соединения, подключения, расположения. Как правило, в курсовом проекте чаще всего приходится оформлять чертежи

электрических принципиальных схем. При оформлении таких чертежей следует руководствоваться соответствующими стандартами. Основные правила выполнения чертежей электрических схем, единые для всех видов изделий, в том числе и для изделий вычислительной техники, регламентируются ГОСТ 2.702. Кроме того, ГОСТ 2.708 устанавливает правила выполнения чертежей электрических схем цифровой вычислительной техники. Условные графические обозначения двоичных логических элементов регламентируются ГОСТ 2.743, а условные графические обозначения резисторов и конденсаторов – ГОСТ 2.728. При оформлении чертежей схем следует особое внимание обращать на правильность буквенно-цифровых обозначений в электрических схемах. Такие обозначения регламентирует ГОСТ 2.710.

4.3 Общие указания по выполнению расчетов

Особое внимание должно быть уделено правильному оформлению расчетов. Расчет – это один из видов конструкторских документов, предусмотренных ЕСКД и содержащий расчеты параметров и величин (например, расчет размерных цепей, тепловой расчет и т. д.). Расчеты выполняются по формам 5 и 5А ГОСТ 2.301.

Расчеты в общем случае должны содержать:

- а) эскиз и схему рассчитываемого изделия;
- б) задачу расчета (с указанием, что требуется определить при расчете);
- в) данные для расчета;
- г) условия расчета;
- д) расчет;
- е) заключение.

Так, например, при оформлении конструкторских расчетов в курсовом проекте рекомендуется учитывать следующее. Допускается не приводить эскиз или схему рассчитываемого изделия, если выполнены соответствующие чертежи. В этом случае дается соответствующая ссылка, например: «См. сборочный чертеж рассчитываемого изделия ФИО.436616.012СБ и схему электрическую принципиальную ФИО.436618.012ЭЗ».

Особое внимание следует уделить обоснованию исходных данных для расчета и указанию источника их получения:

- из ранее проведенных расчетов;
- из справочной, нормативно-технической (ГОСТ, ОСТ) и технической литературы;
- из чертежей, эскизов и другой проектной документации.

Примеры

«Плотность мощности, рассеиваемой в блоке $q_{\text{БЛ}} = \frac{P}{V} = 30 \text{ Вт/дм}^3$

(см. лист 25)»;

«Габаритные размеры втулки взяты из чертежа детали ФИО.753691.008»;

«Диэлектрическая проницаемость стеклотекстолита $\epsilon_{\text{СТ}} \approx 6$ [12]»

и т. п.

При описании условий выполнения расчетов необходимо указать ограничения и допуски с учетом применимости методик расчета, оценивать возможную точность методик и получаемых результатов. При выполнении расчетов с помощью ЭВМ дополнительно необходимо приводить список используемых идентификаторов и обозначений с указанием размерности величин.

Непосредственный расчет должен выполняться с подстановкой данных.

В заключении по расчету обязательно указывается, где используются результаты расчетов: например, для выполнения конкретных чертежей; для принятия необходимых технических решений; сравнения с базовыми величинами; выполнения других расчетов и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куземин А. Я. Конструирование и микроминиатюризация ЭВА. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.
2. Преснухин Л. Н., Шахнов В. А. Конструирование ЭВМ и систем. – М.: Высшая школа., 1986. – 512 с.
3. Шерстнев В. В. Конструирование и микроминиатюризация ЭВА. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
4. Савельев А. Я., Овчинников В. А. Конструирование ЭВМ и систем. – М.: Высш. шк., 1989. – 248 с.
5. Жданович В. М., Луговский В. П., Русак И. М. Технические средства ЭВМ. Элементная и конструктивная база. – Мн.: Выш. шк., 1991. – 637 с.
6. Гель П. П., Иванов-Есипович Н. К. Конструирование и микроминиатюризация РЭА. – Лн.: Энергоиздат, 1984. – 536 с.
7. Несущие конструкции РЭА / Под ред. П. И. Овсищера. – М.: Радио и связь, 1988. – 232 с.
8. Савельев М. В. Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 319 с.
9. Пикуль М. И., Русак И. М., Цырельчук Н. А. Конструирование и технология производства ЭВМ: учебник. – Мн.: Выш. шк., 1996. – 263 с.
10. Романов Ф. И., Шахнов В. А. Конструкционные системы микро- и персональных ЭВМ. – М.: Высш. шк., 1991. – 272 с.
11. Князев А. Д. и др. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.
12. Микроэлектронная аппаратура на бескорпусных ИМС / Под ред. И. Н. Воженина. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
13. Гуськов Г. Я. и др. Монтаж микроэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1986. – 176 с.
14. Пронин Е. Г., Шохат В. С. Проектирование технических средств ЭВА. – М.: Радио и связь, 1986. – 192 с.
15. Компоновка и конструкции микроэлектронной аппаратуры / Под ред. Б. Ф. Высоцкого. – М.: Радио и связь, 1984. – 208 с.
16. Русак И. М., Луговский В. П. Технические средства ПЭВМ: справочник / Под ред. И. М. Русака. – Мн.: Выш. шк., 1996. – 504 с.
17. Русак И. М. Конструирование и расчет печатных плат: учеб. пособие по курсу «Конструирование ЭВС». – Мн.: МРТИ, 1993. – 34 с.
18. Конструирование аппаратуры на БИС и СБИС / Под ред. Б. Ф. Высоцкого. – М.: Радио и связь, 1989.

19. Валин М. Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. – М.: Радио и связь. – 1981. – 296 с.
20. Дульнев Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. – М.: Высшая школа, 1984. – 247 с.
21. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА / Романычева Э. Т. и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 256 с.
22. Конструирование и расчет БГИС, микросборок и аппаратуры на их основе: учеб. пособие для вузов / Под. ред. Б. Ф. Высоцкого. – М.: Радио и связь. – 1981. – 216 с.
23. Справочник конструктора РЭА. Общие принципы конструирования / Под. ред. Р. Г. Варламова. – М.: Сов. радио. – 1980. – 480 с.
24. Поляков К. П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь. – 1982. – 240 с.
25. Русак И. М., Станкевич А. В. Автоматизированное проектирование печатных узлов ЭВС: учеб. пособие. – Мн.: БГУИР. – 2005. – 52 с.
26. Заплетохин В. А. Конструирование деталей механических устройств: справочник. – Л.: Машиностроение, 1990. – 669 с.
27. Гжиров Р. И. Краткий справочник конструктора. – Л.: Машиностроение, 1984. – 464 с.
28. Токарев М. Ф. и др. Механические воздействия и защита РЭА / Под ред. В. А. Фролова. – М.: Радио и связь. – 1984. – 224 с.
29. Испытания радиоэлектронной аппаратуры и испытательное оборудование / Глудкин О. П. и др. – М.: Радио и связь. – 1987. – 272 с.
30. Соломахо В. Л., Томилин Р. И., Цитович Б. В. и др. Справочник конструктора-приборостроителя. – Мн.: Выш. шк., 1988. – 272 с.
31. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭА. – М.: Радио и связь, 1986. – 496 с.
32. Применение ИМС в ЭВТ / Под ред. Б. Н. Файзулаева, Б. В. Тарабрина. – М.: Радио и связь, 1986. – 384 с.
33. Ненашев А. П. Конструирование радиоэлектронных средств. – М.: Высш. шк., 1990. – 432 с.
34. Каленкович Н. И. и др. Механические воздействия и защита радиоэлектронных средств. – Мн.: Выш. шк., 1989. – 244 с.
35. ГОСТ 2.105. Межгосударственный стандарт ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Мн., 1999.
36. ГОСТ 2.109 ЕСКД. Основные требования к чертежам.
37. ГОСТ 2417 ЕСКД. Правила выполнения чертежей печатных плат.
38. ГОСТ 2.708 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.

39. ГОСТ 22732 ЕСКД. Методы оценки качества промышленной продукции.
40. ГОСТ 2.116. Карта технического уровня и качества продукции.
41. ОСТ 4ГО.010.009. Узлы и блоки ЭА на микросхемах. Конструирование.
42. ГОСТ 23752. ЕСКД, Платы печатные. Общие технические условия.
43. ГОСТ 23751. Платы печатные.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой»

Кафедра энергетики и электроники
Факультет компьютерных наук и электроники

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ
по учебной дисциплине
«Системы автоматизированного проектирования электронных средств»
на тему
«Проектирование печатной платы блока питания»

Студент

студент гр. 23-ЭТ
И. И. Иванов

Руководитель

Т. В. Молодечкина
к.т.н., доцент

Допущен к защите

«__» _____

Отметка по курсовому проекту _____

«__» _____

Новополоцк 20__

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ**Содержание**

Обозначения и сокращения	4
Введение	5
1 Обзор аналогичных разработок и анализ технического уровня разрабатываемого изделия	6
2 Анализ требований технического задания и выбор среды проектирования печатной платы	10
3 Выбор и обоснование применяемой элементной базы	13
4 Создание интегрированных библиотек	20
5 Проектирование электрической схемы.....	25
6 Разработка конструкции печатной платы.....	28
7 Выбор, обоснование способов электро монтажа.....	30
8 Разработка конструкции печатного узла	32
9 Конструкторские расчеты	38
9.1 Расчет объемно-компоновочных характеристик изделия	38
9.2 Расчет элементов печатного монтажа	40
Выводы и заключение	41
Список использованных источников	43
Приложение А. Схема электрическая принципиальная.....	45
Приложение Б. Перечень элементов	47
Приложение В. Чертеж печатной платы.....	50
Приложение Г. Сборочный чертеж печатного узла	52
Приложение Д. Спецификация	54

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

2 Конструкторские расчеты *(шрифт 14, полужирный, абзац 15 мм)*

(одна пустая строка)

2.1 Расчет объемно-компоновочных характеристик изделия *(шрифт 13, абзац 15 мм)*

(две пустых строки)

Рассчитываем площадь печатной платы $S_{\text{ПП}}$, мм² по формуле

$$S_{\text{ПП}} = K_v \cdot \left(\sum_{i=1}^m S_{\text{уст}_i} \cdot n \right), \quad (2.1)$$

где K_v – коэффициент использования площади, $K_v = 2$; *(абзац 15 мм)*

$S_{\text{уст}_i}$ – установочная площадь i -го элемента, мм²;

n – число элементов i -го типоразмера;

m – число используемых типоразмеров.

Расчет установочных площадей представлен в таблице 5.1

(одна пустая строка)

Таблица 5.1 – Параметры элементов для платы индикации (без абзацного отступа)

Элементы	Кол-во	Площадь $S_{\text{уст}_i}$, мм ²	Суммарный объем по каждой группе, мм ³	Суммарная площадь, мм ²
Индикатор	1	1802	21624	1802
Светодиод	3	36	436	108

(две пустых строки)

5.2 Расчет объемно-компоновочных характеристик изделия

(две пустых строки)

Надежность любого электронного устройства в значительной степени определяется качеством основания для установки электрорадиоэлементов. Ранее было сказано, что изготавливаются двусторонние печатные платы позитивным комбинированным методом, выбирая при этом фольгированный стеклотекстолит СФ-2-35-2 и СФ-2-50-2.

(одна пустая строка)



(одна пустая строка)

Рисунок 5.34 – Структура типовой конструкции РЭС (центрировать)

(одна пустая строка)