А.П. ПУДОВКИН, Н.А. МАЛКОВ,
Н.А. КОЛЬТЮКОВ

КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭС

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

УДК 621.396.6.007.63(075)
ББК 🡸844я73-1
П88

Р е ц е н з е н т ы :
Кандидат технических наук, доцент кафедры
"Радиотехнические системы посадки" ТВВАИУ РиЭ
П.А. Федюнин,

Кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры КРЭМС ТГТУ
О.А. Белоусов

Пудовкин, А.П.
П88 Конструирование РЭС : учебное пособие / А.П. Пудовкин, Н.А. Малков, Н.А. Кольтюков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 88 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0656-1.

В учебном пособии содержатся указания по организации и выполнению курсового проектирования с учетом стадий проектирования в соответствии с ЕСКД, приводятся справочные материалы, расчетные формулы, рабочие программы автоматизированного конструирования, а также конкретные примеры выполнения расчетов и чертежей на основе системного подхода и модульного принципа проектирования РЭС.

Учебное пособие предназначено в помощь студентам дневного и заочного отделений, обучающимся по направлениям 210300 – Радиотехника и 210200 – Проектирование и технология электронных средств.

УДК 621.396.6.007.63(075)
ББК 🡸844я73-1

ISBN 978-5-8265-0656-1
© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет" (ТГТУ), 2007
Министерство образования и науки Российской Федерации

ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

А.П. ПУДОВКИН, Н.А. МАЛКОВ, Н.А. КОЛЬТЮКОВ

КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭС

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлениям 210300 – Радиотехника и 210200 – Проектирование и технология электронных средств

Тамбов
♦ Издательство ТГТУ ♦
2007

Учебное издание

ПУДОВКИН Анатолий Петрович,
МАЛКОВ Николай Аркадьевич,
КОЛЬТЮКОВ Николай Александрович

КОНСТРУИРОВАНИЕ РЭС

Учебное пособие

Редактор В.Н. Митрофанова
Инженер по компьютерному макетированию М.А. Филатова

Подписано к печати 26.12.2007
Формат 60 × 84 / 16. 5,11 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 834.

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета,
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Курсовое проектирование ставит своей целью систематизацию, закрепление и расширение теоретических знаний в области конструирования радиоэлектронных средств (РЭС), углубленное изучение одного из направлений радиотехники в соответствии с темой проекта, развитие конструкторских и расчетных навыков, а также самостоятельности в работе.

При выполнении курсового проекта студенту необходимо решить комплексную инженерно-техническую задачу, которая включает анализ и обоснование основных элементов и узлов проектируемого радиоэлектронного устройства, разработку конструкции, обоснование принятых расчетных и технических решений.

1.1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Каждому студенту выдается индивидуальное задание на курсовое проектирование в начале семестра. В задании указывается срок выдачи заданий, дата защиты проекта, исходные данные к проекту, объем и содержание графических работ и расчетно-пояснительной записки.

Темой курсового проекта является разработка конструктивно законченного радиоэлектронного устройства различного назначения, входящего в состав РЭС.

Исходными данными для выполнения проекта являются:

1) схема электрическая принципиальная устройства, выполненная в соответствии с ЕСКД и перечнем входящих электрорадиоэлементов;

2) электрические требования с указанием данных, например, чувствительность, избирательность, рабочий диапазон частот, стабильность частоты и т.д.;

3) конструкторские требования: габариты, масса, показатели надежности, конструктивное оформление и т.д.;

4) условия эксплуатации с указанием устойчивости к климатическим воздействиям по ГОСТ 15150–69, к механическим – по ГОСТ 16019–78;

5) технико-экономические требования с указанием серийности производства устройства и группы изделия в зависимости от стоимости его разработки и производства.

Графическая часть проекта должна включать комплект чертежей на разрабатываемое устройство объемом не менее 3–4 листов ватмана формата А1 по ГОСТ 2.301–68.

Расчетно-пояснительная записка должна состоять из 40 – 50 листов.

1.2. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Рекомендуется следующее содержание расчетно-пояснительной записки:

Титульный лист.

Аннотация.

Содержание.

Введение.

1. Исходные данные к проекту и их анализ.
2. Проектирование блока.
3. Проектирование заданного функционального узла.
4. Оценка качества полученной конструкции.
5. Заключение о выполнении технического задания на проектирование.

Список использованных источников (литература).

Приложения.

Титульный лист необходимо выполнить по форме, указанной на рис. 1.1.

В текстовую часть "Введения" рекомендуется включить следующие вопросы:

– цель конструкторской разработки;
– предполагаемые характеристики устройства, определяющие его параметры или преимущество перед аналогом;
– целесообразность проектирования устройства по экономическим критериям конструирования, изготовления и эксплуатации;
– соответствие проектируемого устройства нормативно-техническим документам.

Раздел **"Исходные данные к проекту и их анализ"** должен включать:

1. Проектируемый блок, как составная часть системы высшего уровня.
2. Формирование развернутого технического задания (ТЗ) на проектирование блока.
3. Описание и анализ электрической принципиальной схемы (Э3), составление схемы структурной блока (Э1) с указанием функциональных связей.
4. Анализ соответствия элементов Э3 заданным условиям эксплуатации по механическим и климатическим требованиям.
5. Аналоги, анализ свойств, рекомендации по использованию отдельных решений.
6. Патентный поиск.

Проектируемый блок как составная часть системы высшего уровня. Следует рассмотреть краткие сведения о системе, ее структурную схему, характеристики системы, место блока в системе, его роль и требования к нему.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ (ФАО)
ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра_____.

УТВЕРЖДАЮ
ЗАВ. КАФЕДРОЙ
_____
подпись, инициалы, фамилия
“_____” _____ 2007 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту по_____.
название учебной дисциплины

на тему:_____

Автор ***проекта***_____ **Группа** _____
подпись, дата, инициалы, фамилия

Специальность _____
номер, наименование

Обозначение курсового проекта_____

Руководитель проекта_____
подпись, дата инициалы, фамилия

Проект защищен_____**Оценка**_____

Члены комиссии: _____
подпись, дата инициалы, фамилия
_____
подпись, дата инициалы, фамилия
_____
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтролер:_____
подпись, дата инициалы, фамилия

Тамбов 2007

Рис. 1.1. Бланк титульного листа курсового проекта

Формирование развернутого технического задания. Расширенное техническое задание (ТЗ) представляет собой документ, устанавливающий основное назначение и показатели качества изделия, технико-экономические и специальные требования, предъявляемые к изделию. Расширенное ТЗ должно включать следующие пункты.

В пункте 1 указывается наименование изделия.

В пункте 2 "Назначение изделия" осуществляется выбор типа проектируемой РЭС по классификационным признакам.

В пункте 3 "Комплектность изделия" приводится состав изделия, например: блок питания, микропроцессор, пульт управления, дисплей для изделия "Вычислительное устройство".

В пункте 4 "Технические параметры" указываются основные параметры РЭС, которые влияют на конструкцию устройства, например: потребляемая мощность, рабочий диапазон радиочастот, длительность и скважность входных и выходных импульсов, рабочие напряжения и токи в цепях устройства и т.д.

В пункте 5 "Характеристики стандартизации и унификации" определяются типовые конструкции ячеек, блоков, каркасов, стоек, пультов и т.д., система которых регламентируется ГОСТ 20504–81. Для оценки уровня стандартизации изделия используются коэффициенты применяемости $K_{пр}$ и повторяемости $K_{п}$ стандартизованных, нормализованных и унифицированных составных частей.

В пункте 6 "Требования к конструкции" устанавливаются требования к внешнему виду изделия, определяемые правилами технической эстетики и условиям эксплуатации. Здесь могут быть указаны форма изделия, цвет и материалы покрытия, габаритные размеры и масса изделия. Особо оговаривается уровень генерируемого шума (дБ), допускаемая температура поверхности корпуса, интенсивность электромагнитного излучения. Последнее определяется санитарными нормами и правилами для рабочих мест и окружающей среды.

В пункте 7 "Характеристики внешних воздействий" приводятся: диапазон температур относительная влажность; длительность; ускорение ударных импульсов; число ударных импульсов в минуту; диапазон частот вибрации ($f_H..f_B$); амплитуда виброускорения $a(f)$; линейное ускорение, м/с^2; пониженное атмосферное давление Н, кПа; скорость воздушно-пылевого потока v, м/с. Характеристики приводятся в режиме хранения и перевозки, а также в режиме работы. Кроме того, в режиме работы определяются характеристики внешних электрического, магнитного и электромагнитного воздействий.

В пункте 8 "Интерфейс оператора" устанавливаются требования эргономики к конструкции РЭС. Эти требования характеризуют систему оператор-изделие и состоят из двух видов групп: антропометрических и психофизиологических. Здесь указывается, в какой обстановке взаимодействует оператор с изделием, время взаимодействия, характер действий оператора (выработка сигналов управления или индикации, видимые и не видимые оператору.

Пункт 9 "Входная-выходная информация" содержит сведения о сигналах, поступающих на вход разрабатываемого радиоэлектронного устройства: спектры сигналов, длительность, амплитуда и частота следования импульсов, напряжения, токи и т.д.

В пункте 10 "Надежность" задается среднее время между отказами изделия, либо вероятность безотказной работы за определенное время $P(t)$. Здесь могут быть указаны методы испытаний на надежность.

Описание и анализ электрической принципиальной схемы. При анализе электрической схемы радиоэлектронного устройства делают описания по назначению устройства, его составу и работе. При рассмотрении назначения устройства необходимо уяснить основные задачи, которые могут быть решены с помощью данного устройства. Описание устройства дается с учетом взаимодействия всех блоков и функциональных узлов, входящих в его состав, при этом уясняется назначение всех основных частей устройства. При описании работы устройства по электрической принципиальной схеме указывают порядок прохождения сигнала по тракту и те функциональные преобразования, которым сигнал подвергается в каждом каскаде тракта. Следует обратить внимание на входные и выходные цепи, на цепи импульсных и высокочастотных сигналов и на цепи питания.

Анализ соответствия элементов ЭЗ заданным условиям эксплуатации по механическим и климатическим требованиям. Анализ следует производить сравнением данных, помещенных в справочниках по эксплуатационным характеристикам, с соответствующими значениями, указанными в ТЗ на разработку устройства. Для повышения надежности рабочий диапазон элементов по паспорту должен иметь некоторый запас. В случае, когда часть элементов схемы не может нормально работать при заданных внешних воздействиях, необходимо предусмотреть специальные меры, в частности: локальная герметизация, термостатирование, амортизация и т.д. По результатам анализа электрической принципиальной схемы применяемых радиоэлементов составляется таблица сравнительных характеристик элементной базы устройства (табл. 1.1.)

1.1. Сравнительные характеристики элементной базы устройства

Наименование	Количество, шт.	Конструктивные параметры			Допустимые условия эксплуатации				
						Вибрация			
		Масса, г	Установочная площадь, мм^2	Интенсивность отказов, 10^{-6} 1/ч	Диапазон температур, °С	Частота, Гц	Перегрузка, м/с^2, (g)	Ударные перегрузки, м/с^2, (q)	Линейные ускорения, м/с^2, (q)

Аналоги, анализ свойств, рекомендации по использованию отдельных решений. Здесь необходимо определить состав конструкции, число конструктивов, особенность несущей конструкции (НК), провести анализ компоновки, определить влияние компоновки на качество конструкции, определить способ охлаждения, величину потребляемой мощности.

Патентный поиск. Патентный поиск необходим для проверки неподпадаемости данного технического решения под действие той страны, где оно используется. Проверке на патентную чистоту подвергают главные части изделия, т.е. те, благодаря которым изделие приобретает качества, не присущие известным устройствам и выгодно отличающие его от изделий аналогичного назначения.

Раздел **"Проектирование"** включает в себя следующие вопросы:

- подготовительные операции;
- процесс объемного компонования;
- разработку несущей конструкции (НК);
- разработку сборочных чертежей блока и НК;
- обеспечение защиты конструкции от заданных механических воздействий;
- обеспечение защиты от внешних климатических воздействий.

Подготовительные операции. При конструировании в качестве первоначальных требований выдвигаются компоновочные параметры устройства, его габариты (объем) и коэффициент заполнения. Задача по разработке конструкции состоит в размещении в заданном, обычно минимальном объеме всех элементов, указанных в электрической принципиальной схеме, причем коэффициент заполнения объема и миниатюризации должны быть не ниже значений, указанных в ТЗ. Для решения этой задачи необходимо:

- провести формирование по Э1 перечня (массива) конструктивов, подлежащих процессу компонования, с заданием их возможных габаритов, мест креплений, мест подключений соединений, способа подключения, массы, потребляемой мощности;
- уточнить перечень элементов, выносимых из функциональных узлов на лицевую, заднюю и боковые стенки устройства, минимальную необходимую площадь лицевой панели, ее форму и габариты.

Процесс объемного компонования блока. Размещение конструктивов должно обеспечивать равномерное и максимальное заполнение конструктивного объема с удобным доступом для осмотра, ремонта и замены. Замена детали и сборочной единицы не должна приводить к разборке всей конструкции или ее составных частей. Для этого необходимо выбрать принцип и методику компонования, сформировать множество критериев для обеспечения выбора оптимального варианта компоновки устройства (не менее пяти), сформировать множество вариантов компоновки (не менее четырех) и выбрать оптимальный вариант. Выбор варианта конструкции осуществляется исходя из технических требований и условий производства. По условиям производства рекомендуется применять однотипные конструкции ячеек, элементы несущих конструкций, электрические межсоединения, элементы фиксации и крепления. Выбранный вариант компоновки является исходным для дальнейшей разработки конструкции.

Разработка несущей конструкции. Разработку конструкции блока можно разбить на следующие этапы.

1. Выбор прообраза и сборочных признаков НК по компоновочному эскизу. В некоторых случаях, например при проектировании бытовой аппаратуры, целесообразнее разрабатывать оригинальную несущую конструкцию. Это позволяет повысить коэффициент заполнения объема, уменьшить массу и габариты.

2. Проектирование или выбор элементов несущих конструкций. Уменьшение массы БНК является весьма актуальным. При создании РЭА с минимальной массой несущих конструкций следует придерживаться следующих правил:

- выполнять все элементы конструкции равнопрочными без большого запаса по прочности;
- обеспечивать высокую жесткость способами, не требующими увеличения массы;
- упрощать несущую конструкцию до наименьшего числа деталей;
- широко применять легкие сплавы и пластмассы;
- выбирать рациональную форму профилей несущих конструкций;
- вводить в детали различные отверстия, выемки, проточки, чтобы избежать лишнего материала, не несущего нагрузки;
- вводить в тонколистовые детали отбортовки и выдавки, позволяющие повысит жесткость конструкции;
- использовать гальванические и лакокрасочные покрытия, имеющие минимальную массу.

Внимание следует уделить выбору технологического варианта исполнения конструкции (литая, сварная, клепаная и т.д.), выбору марки конструкционного материала, выбору метода осуществления разъемных и неразъемных соединений деталей (свинчивание, сварка и т.д.). Вопросы конструирования элементов несущих конструкций рассмотрены в учебной литературе.

3. Проектирование лицевой панели. Следует руководствоваться требованиями эргономики и технической эстетики.

4. Предварительные соображения по необходимой системе охлаждения. Здесь должны быть рассмотрены и выбраны:

- конструкция воздуховодов, теплообменников;
- тип вентилятора;
- типы радиаторов;
- форма и расположение вентиляционных отверстий;
- конструкции тепловых экранов.

Обеспечение защиты конструкции от заданных механических воздействий. На этом этапе при необходимости следует обосновать потребность амортизации и выбрать:

- схему размещения амортизаторов и их число;
- типы амортизаторов;
- крепеж, фиксаторы;
- способы предохранения крепежных изделий от самоотвинчивания;
- способы повышения жесткости элементов конструкции.

Обеспечение защиты от внешних климатических воздействий. Следует определить основные способы защиты как всего устройства в целом, так и отдельных его блоков, ячеек и наиболее ответственных деталей от климатических воздействий. Необходимо определить возможность и необходимость применения таких способов, как:

- полное или частичная герметизация всего устройства с помощью корпусов (кожухов);
- герметизация отдельных ячеек и деталей заливкой, пропиткой, обволакиванием, опрессовкой;
- защита с помощью металлических, неметаллических неорганических и лакокрасочных покрытий.

Для каждой детали и узла надо выбрать конкретный вид покрытия и дать основные характеристики. Виды и толщину покрытия выбирают в зависимости от назначения, условий эксплуатации.

Раздел **"Проектирование функционального узла"** может включать проектирование: печатных узлов, механических устройств, отдельных радиоэлементов. Может выполняться электромонтажный чертеж, чертеж лицевой панели, комплект чертежей несущей конструкции, расчет помехоустойчивости или экранирования, расчет электрической изоляции, расчет магнитных цепей, расчет уплотнения и герметизации, расчет размерных цепей, расчет амортизации, обеспечение специальных условий эксплуатации, разработка оригинальных методик расчетов и проектирование с помощью ЭВМ и т.д.

В разделе **"Заключение"** необходимо подвести итог о проделанной работе и сделать заключение о полном выполнении пунктов технического задания, наметить основные пути дальнейшего совершенствования разработанной конструкции.

Раздел **"Список используемых источников"** должен содержать перечень тех книг, журнальных статей, нормативно-технических документов, которые использованы при работе над курсовым проектом. На указанные в перечне работы должны быть сделаны ссылки по тексту исполнительной записки. Список литературы оформить по ГОСТ 7.1–84.

В раздел **"Приложения"** включаются следующие документы: спецификации, перечень элементов к электрической принципиальной схеме, программа автоматизированного проектирования конструкций.

1.3. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТА

При изложении и оформлении материала расчетно-пояснительной записки необходимо придерживаться основных требований и рекомендаций по выполнению текстовых документов (ЕСКД ГОСТ 2.105–79, ГОСТ 2.106–68, СТП ТГТУ 15-2007). Текст должен быть написан аккуратно от руки чернилами (пастой) одного цвета на одной или двух сторонах листа белой бумаги формата А4 (210 × 287 мм) или отпечатан машинописным способом через полтора или два межстрочных интервала. Рамку наносят сплошной основной линией на расстояниях 20 мм от левой (правой) границы формата и 5 мм от остальных границ формата. От рамки до границ текста в начале строк оставлять 5 мм, в конце строк – не менее 3 мм, сверху и снизу – не менее 10 мм. Абзацы в тексте начинают отступом, равным 15 – 17 мм (5 ударов). Расстояние между строками текста – 8 мм. Расстояние от текста до следующего заголовка текста при рукописном способе должно быть равно 16 мм, а при машинописном – 2 интервала.

Слова "Содержание", "Введение", "Заключение", "Список использованных источников" записываются в виде заголовка симметрично тексту прописными буквами и не нумеруются. Разделы, подразделы, пункты, подпункты нумеруются согласно требованиям ГОСТ 2.105–79. Нумерация страниц пояснительной записки – сквозная, начиная с титульного листа курсового проекта, включая приложения, и должна быть в правом верхнем углу относительно текста без сокращенного слова "стр".

Независимо от этого каждый отдельный документ (ведомость проекта, пояснительная записка, спецификация) имеет свою нумерацию листов, начиная с заглавного листа этого документа. Для пояснительной записки заглавным (первым) листом является "Содержание", включающее наименование разделов и подразделов с указанием листов (страниц).

"Содержание" при необходимости может иметь продолжение на следующих листах. На титульном листе, задании, аннотации номера страниц не ставятся.

Графический материал: рисунок, схемы, диаграммы – помещают в тексте ПЗ для установления свойств или характеристик объекта. На графический материал должна быть ссылка в тексте. Допускается нумерация графического материала в пределах раздела. Номер рисунка состоит в этом случае из номера раздела и порядкового номера рисунка, разделенных точкой.

П р и м е р : Рисунок 1.1.

При наличии таблиц в тексте, дополняющих графический материал, таблицы следует помещать после графического материала.

Допускается схемы, графики и рисунки вычерчивать на отдельных листах ватмана, кальки или миллиметровой бумаги и вклеивать в соответствующие места пояснительной записки. Оформление координатных осей, сеток и характерных точек, выбор масштаба шкал, обозначение величин, нанесение единиц измерения и поясняющих надписей на диаграммах и графиках производить по рекомендациям ЕСКДР50-77-88 (рис. 1.2).

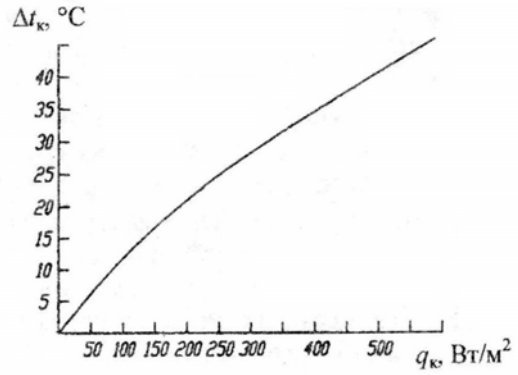


Рис. 1.2. Зависимость перегрева корпуса блока от удельной поверхностной мощности

Таблицы необходимо сопровождать тематическими заголовками, номером. На каждую таблицу должна быть ссылка, нумерация по тексту – сквозная. Название таблицы и ее номер пишутся слева направо следующим образом:

Таблица 1

Предельные отклонения диаметра

Формулы по тексту записки должны быть вписаны аккуратно, иметь обязательное обозначение и расшифровку входящих в нее элементов с указанием единиц измерения. Необходимо также указать тот литературный источник, откуда данная формула заимствована. Например:

1. Определяем условную поверхность нагретой зоны $S_з$, м^2 для воздушного охлаждения

$$S_з = 2\left[L_1 L_2 + (L_1 + L_2) L_3 R_3\right],$$

где L_1, L_2, L_3 – геометрические размеры корпуса блока, м; R_3 – коэффициент заполнения блока.

2. Определяем удельную мощность нагретой зоны q_3, Вт/м:

$$q_3 = Q / S_3 ,$$

где Q – мощность, рассеиваемая блоком, Вт и т.д.

Нумерация формул должна быть сквозная. Нумерация выполняется арабскими цифрами с правой стороны на уровне формул в круглых скобках. Следует обратить внимание на порядок обозначения основных, дополнительных и производных единиц измерения физических величин.
В расчетно-пояснительной записке должны применяться единицы Международной системы единиц СИ.

Список использованных источников оформляется в следующем порядке:

а) для книг – фамилия автора, инициалы, название книги, часть, выпуск, место издания, издательство, год, число страниц;

б) для журнальных статей – фамилия автора, инициалы, заголовок статьи, название журнала, год, том, число страниц;

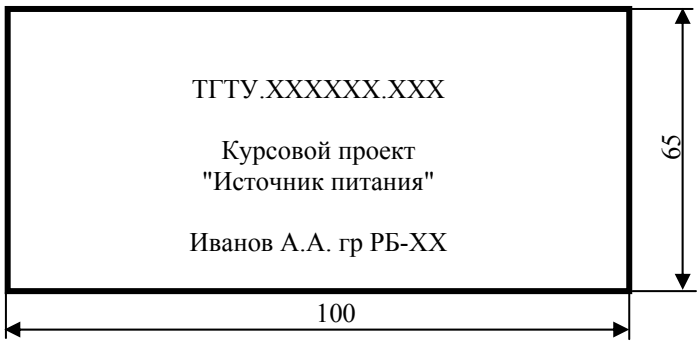


Рис. 1.3. Образец оформления этикетки

в) для нормативно-технических документов – наименование документа, вид документа (нормаль, руководящий технический материал, стандарт предприятия, отраслевой стандарт, государственный стандарт), обозначение документа.

Текстовые документы курсового проекта должны быть сброшюрованы в папку формата А4 по ГОСТ 2.301–68 или потребительского формата, близкого к формату А4. На папку должна быть наклеена этикетка (65 × 100, рис. 1.3) с указанием аббревиатуры университета (ТГТУ), вида документа и его обозначения, темы проекта, кода учебной группы и специальности, автора проекта и года окончания выполнения.

1.4. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

К графическим документам могут относиться чертежи:

- схема электрическая принципиальная устройства;
- сборочный чертеж устройства;
- электромонтажный чертеж;
- сборочный чертеж лицевой панели;
- рабочие чертежи деталей, в том числе чертежи печатной платы.

Чертежи и схемы курсового проекта выполняются карандашом на стандартных форматах согласно ГОСТ 2.301–68 с основной надписью по ГОСТ 2.104–68, ГОСТ 21.103–78 в правом нижнем углу. На чертежах деталей должны быть указаны данные, необходимые для изготовления и контроля (допускаемые отклонения размеров, высота микронеровностей поверхности, покрытия, специальные требования). На сборочных чертежах должны быть приведены все сведения, необходимые для сборки, регулировки и контроля.

Обозначения и наименования деталей, сборочных единиц изделия в целом должны быть выполнены по классификатору, применяемому в отрасли и на базовом предприятии.

Форма и порядок заполнения спецификации должны соответствовать основным требованиям ГОСТ 2.108–78. Спецификации помещаются в приложении расчетно-пояснительной записки.

До защиты проекта графические материалы хранятся в рулоне. После защиты они складываются до формата А4 по ГОСТ 2.501–88, подшиваются в одну папку с пояснительной запиской.

1.5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Законченный курсовой проект, подписанный руководителем проекта, защищается перед комиссией, состоящей не менее чем из трех преподавателей.

При защите студент в течение 8 – 10 мин докладывает о поставленной перед ним задаче и путях ее реализации в проекте, приводит анализ этого решения и обосновывает полученные результаты, ссылаясь на выполненные чертежи и расчетно-пояснительную записку. При этом отмечаются оригинальные конструкторские решения и пути дальнейшего совершенствования конструкции РЭС.

План защиты проекта строится в следующей последовательности:

1) тема и актуальность проекта;

2) исходные данные (анализ электрической принципиальной схемы и ТЗ);

3) техническое решение (компоновка, размещение и трассировка, несущие конструкции, материал, покрытия, соединители);

4) защита от дестабилизирующих факторов;

5) результаты проверочных конструкторских расчетов;

6) применение ЭВМ;

7) выводы о выполнении ТЗ и перспективах развития разработанной конструкции РЭС.

2. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Графическая часть курсового проекта выполняется в соответствии с требованиями ЕСКД.

В состав графической части проекта могут входить следующие чертежи (в пересчете на формат А1 – 594 × 841 мм):

- электрическая схема устройства (1 лист);
- сборочный чертеж устройства (1 лист);
- электромонтажный чертеж (1 лист);
- рабочие чертежи деталей, в том числе чертежи печатной платы (1 лист).

Чертежи выполняются карандашом, на чертежах деталей должны быть указаны данные, необходимые для изготовления и контроля (допускаемые отклонения размеров, высота микронеровностей поверхности, покрытия, специальные требования). На сборочных чертежах приводятся все сведения, необходимые для сборки, регулировки и контроля.

Каждый чертеж должен иметь основную надпись конструкторского документа, расположенную в правом углу поля документа. Спецификации помещаются в приложении расчетно-пояснительной записки.

Содержание и объем графического материала согласовывается с преподавателем-руководителем курсового проекта.

2.1. ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ СХЕМ

Общие положения

Схема – конструкторский документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними. При выполнении схем используются следующие термины.

Элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное назначение (резисторы, трансформаторы, диоды, транзисторы и т.п.).

Устройство – совокупность элементов, представляющая единую конструкцию (блок, плата, шкаф, панель и т.п.). Устройство может не иметь в изделии определенного функционального назначения.

Функциональная группа – совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию (панель синхронизации главного канала и др.).

Функциональная часть – элемент, функциональная группа, а также устройство, выполняющее определенную функцию (усилитель, фильтр).

Функциональная цепь – линия, канал, тракт определенного назначения (канал звука, видеоканал, тракт СВЧ и т.п.).

Линия взаимосвязи – отрезок прямой, указывающий на наличие электрической связи между элементами и устройствами.

Классификацию схем по видам и типам устанавливает ГОСТ 2.701–84. Виды схем определяются в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, и обозначаются буквами русского алфавита. Различают десять видов схем: электрическую – Э, гидравлическую – Г, пневматическую – П, газовую – Х, кинематическую – К, вакуумную – В, оптическую – Л, энергетическую – Р, деления – Е, комбинированную – С.

Схемы деления изделия на составные части (буквенное обозначение Е) разрабатывают для определения состава изделия. Комбинированные схемы выполняют, если в состав изделия входят элементы разных видов.

Схемы в зависимости от назначения подразделяют на типы и обозначают арабскими цифрами. Установлено восемь типов схем: структурная – 1, функциональная – 2, принципиальная (полная) – 3, соединений (монтажная) – 4, подключения – 5, общая – 6, расположения – 7, объединенная – 0.

На объединенной схеме совмещаются различные типы схем одного вида, например, схема электрическая соединений и подключения.

Наименование и код схемы определяются ее видом и типом. Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы. Например, схема электрическая принципиальная – Э3, схема гидравлическая соединений – Г4 и т.д.

Наименование комбинированной схемы определяется видами схем, входящими в ее состав, и соответствующим типом, например, схема электрогидравлическая принципиальная – С3.

Наименование объединенной схемы определяется видом схемы и типами схем, входящими в ее состав, например схема электрическая соединений и подключения – Э0. При выполнении комбинированных и объединенных схем должны соблюдаться правила, установленные для соответствующих видов и типов схем.

В технических документах, разрабатываемых при проектировании, эксплуатации и исследовании электротехнических устройств, применяют все типы схем, указанные выше. При этом на стадиях эскизного и технического проектирования разрабатывают структурные и функциональные схемы, на стадии рабочего проектирования – принципиальные, соединений, подключения, общие и расположения. Общее количество схем, входящих в комплект конструкторской документации на изделие, выбирается минимальным, но в совокупности они должны содержать сведения в объеме, достаточном для проектирования, эксплуатации, контроля и ремонта изделия. Между схемами одного комплекта осуществляется однозначная связь при помощи буквенно-цифровых позиционных обозначений. Такая связь необходима для быстрого отыскания одних и тех же элементов или устройств, входящих в схемы различного типа.

Общие правила выполнения схем устанавливают ГОСТ 2.70-1–84 и ГОСТ 2.702–75. Схемы выполняют без соблюдения масштаба. Действительное пространственное расположение составных частей не учитывается или учитывается приближенно. Электрические элементы и устройства на схеме изображают в состоянии, соответствующем обесточенному. Элементы и устройства, которые приводятся в действие механически, изображают в нулевом или отключенном положении. При отклонении от этого правила на поле схемы необходимо давать соответствующие указания.

Форматы листов для выполнения схем следует выбирать из основного ряда форматов согласно ГОСТ 2.301–68 и ГОСТ 2.004–79. При выборе форматов схемы следует учитывать объем и сложность схемы, условия хранения и обращения схем, возможность внесения изменений, особенности техники выполнения схем. Выбранный формат должен обеспечивать компактное выполнение схем без ущерба для ее наглядности и удобства использования.

Схемы могут выполняться на нескольких листах, при этом формат листов должен быть по возможности одинаковым. При выполнении схемы на нескольких листах или в виде совокупности схем одного типа рекомендуется:

– для схем, поясняющих принцип работы изделия (принципиальная, функциональная), изображать на каждом листе определенную функциональную цепь, например, цепи управления, блокировок, сигнализации, силовые и др.;

– для схем соединений изображать на каждом листе часть изделия, расположенную в определенном месте пространства (конструкция, пост, помещение и т.п.).

Линии на схемах всех типов выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.303–63. Толщины линий выбираются в пределах от 0,2 до 1 мм и выдерживаются постоянными во всем комплекте схем. Графические обозначения элементов и линии взаимосвязи выполняют линиями одинаковой толщины. Допускается утолщением линий при необходимости выделить отдельные электрические цепи, например, силовые цепи. На одной схеме рекомендуется применять не более трех типоразмеров линий по толщине.

Назначение, применение и начертание линий в электрических схемах представлены в табл. 2.1.

На электрической схеме изображают элементы и устройства в виде графических обозначений, линии взаимосвязи, буквенно-цифровые обозначения, таблицы, помещают текстовую информацию, основную надпись.

Таблица 2.1

Назначение, наименование и начертание линий

Назначение	Наименование	Начертание
Электрические связи, графические обозначения элементов	Сплошная	
Механические связи, экраны	Штриховая	
Условные границы устройств, функциональных групп	Штрихпунктирная	

2.2. ВЫПОЛНЕНИЕ СХЕМ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Схемы структурные

Схемы структурные определяют основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязи и служат для общего ознакомления с изделием. На структурной схеме раскрывается не принцип работы отдельных функциональных частей изделия, а только взаимодействие между ними. Поэтому составные части изделия изображают упрощенно в виде прямоугольников произвольной формы. Допускается применять условные графические обозначения.

Графическое построение схемы должно давать наиболее наглядное представление о последовательности взаимодействия функциональных частей в изделии. На линиях взаимодействия рекомендуется стрелками (по ГОСТ 2721–74) обозначать направления хода процессов, происходящих в изделии.

На схеме должны быть указаны наименования функциональных частей объекта, которые, как правило, вписываются внутрь прямоугольника. Допускается для функциональной части указывать сокращенное или условное наименование, которое в этом случае должно быть пояснено на поле схемы.

На схеме допускается помещать поясняющие надписи, диаграммы, таблицы и т.д., определяющие последовательность процессов во времени, а также указывать параметры в характерных точках (токи, напряжения и т.д.), формы импульсов и др.

При большом количестве функциональных частей допускается взамен наименований и обозначений проставлять порядковые номера (сверху вниз и слева направо). В этом случае над основной надписью помещают таблицу, выполненную по типу таблицы перечня элементов, в которой помещают наименования (при необходимости тип и обозначение) составных частей. На рис. 2.1 приведена схема структурная звуковоспроизводящего устройства. Функциональные группы на схеме выделяются штрихпунктирной линией. На основе структурной схемы разрабатывают другие типы схем – функциональную, принципиальную.

Схемы принципиальные

Схема электрическая принципиальная определяет полный состав элементов изделия и дает детальное представление о принципе работы изделия. Принципиальная схема служит основой для разработки других конструкторских документов – схемы соединений и расположения, чертежей конструкции изделия – и является наиболее полным документом для изучения принципа работы изделия. На принципиальной схеме изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи (разъемы, зажимы и т.п.). Элементы изображают в виде условных графических обозначений, установленных ГОСТ и ЕСКД.

Построение схемы осуществляется разнесенным и совмещенным способами. Разнесенным способом выполняют схемы автоматики и электрооборудования (т.е. схемы, содержащие много контакторов, реле и различных контактов). При выполнении таких схем рекомендуется пользоваться строчным способом, располагая условные графические обозначения элементов, входящих в одну цепь, последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи – одну под другой таким образом, чтобы изображения этих цепей образовали параллельные строки (горизонтальные или вертикальные). При выполнении схемы строчным способом допускается нумеровать строки арабскими цифрами, указывать назначение цепей.

На рис. 2.2 изображена схема электрическая принципиальная устройства, в которое входят цепочки элементов *VD* и *R*, соединенные параллельно. При выполнении схемы применен способ упрощенного изображения нескольких одинаковых элементов, соединенных параллельно.

Линии связи, идущие от средней точки между этими элементами, выполнены в однолинейном представлении, обозначены порядковыми номерами (1...20). Линия групповой связи показана утолщенной линией. Разветвления от групповой линии связи изображены под углом 45° к ней и обозначены. Каждая из них имеет однозначный адрес присоединения. Такой прием значительно упрощает схему.

Каждый элемент или устройство, изображенные на схеме, должны иметь позиционное буквенно-цифровое обозначение в соответствии с тре

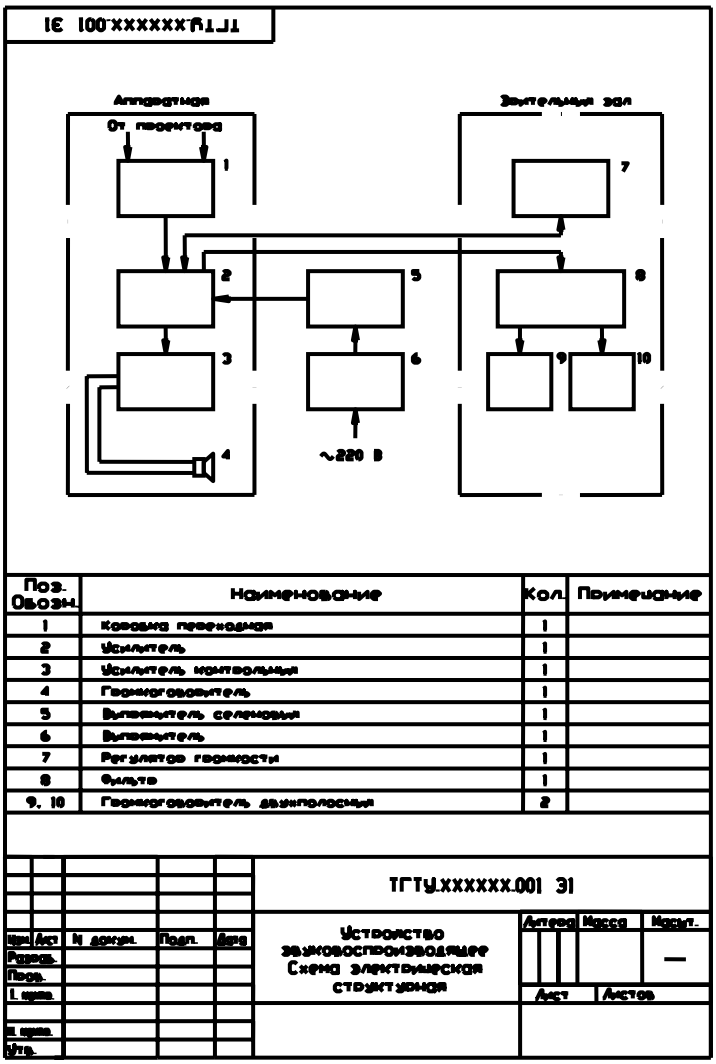


Рис. 2.1. Звуковоспроизводящее устройство.
Схема электрическая структурная

бованиями ГОСТ 2.710–81 (см. прил.). Позиционные обозначения элементам следует присваивать в пределах изделия (рис. 2.3). Порядковые номера элементам и устройствам присваивают, начиная с единицы в пределах группы элементов, имеющих одинаковые буквенные позиционные обозначения, например, *R*1, *R*2 и т.д., *C*1, *C*2 и т.д. Порядковые номера присваивают в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо. Позиционные обозначения проставляют рядом с графическим обозначением с правой стороны или над ним.

При изображении на схеме элемента или устройства разнесенным способом его позиционное обозначение проставляют около каждой составной части. Допускается условно присваивать выводам обозначения на схеме, при этом на поле схемы следует дать соответствующее указание (рис. 2.6). При разнесенном способе изображения схемы эти обозначения следует указывать на каждой составной части элементов, при этом, если на схеме представлено несколько одинаковых элементов, обозначение контактов допускается наносить только на изображении одного из элементов (см. рис. 2.2 – 2.4). На принципиальной схеме рекомендуется указывать характеристики входных и выходных цепей изделия (частоту, напряжение, ток, сопротивление, индуктивность и т.п.). Допускается указывать адреса внешних соединений (если они заведомо определены), например, Л – ХЗ:5, т.е. выходной контакт должен быть соединен с пятым контактом разъема ХЗ устройства А, или "Прибор А", если такая надпись обеспечивает однозначность присоединения.

Характеристики входных и выходных цепей изделия, а также адреса их внешних подключений рекомендуется записывать в таблицы, помещаемые вместо условных графических обозначений входных и выходных элементов – разъемов, плат и т.д. Порядок расположения контактов в таблице определяется удобством построения схемы. Размеры и форма таблицы ГОСТом не устанавливаются. При отсутствии характеристик входных и выходных цепей или адресов их внешнего присоединения в таблице не приводят графу с этими данными. При необходимости допускается вводить в таблицу дополнительные графы.

Каждой таблице присваивают позиционное обозначение элемента, вместо условного графического обозначения в которое она помещена. Допускается сохранять условные графические обозначения входных и выходных элементов: разъемов, плат и т.п. (см. рис. 2.5).

Таблицы входных и выходных цепей могут быть выполнены разнесенным способом (рис. 2.5), при этом головка таблицы приводится только на одном из изображений.

В графе "Конт." допускается проставлять несколько последовательных номеров контактов в случае, если они соединены между собой.

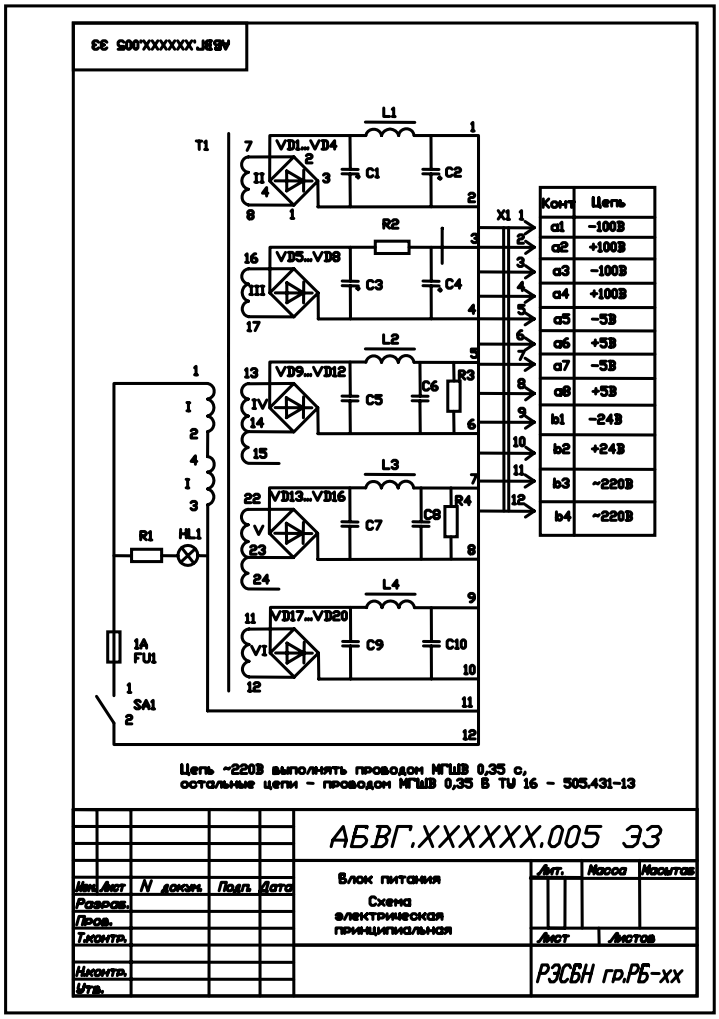


Рис. 2.3 Блок питания. Схема электрическая принципиальная

На принципиальной схеме должны быть однозначно определены все элементы и устройства, входящие в состав изделия. Данные об элементах должны быть записаны в перечень элементов (см. рис. 2.4).

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	Конденсаторы		
C1...C4	К50-36б-160-200 ОЖ0.464.042 ТУ	4	
C5...C10	К50-6-II-25 В-200 мкФ ОЖ0.464.031 ТУ	6	
FU1	Вставка плавкая ВП1-1-1А-250 В		
	0Ю0.480.003 ТУ	1	
HL1	Лампа МН18-01 ГОСТ 2204-80	1	
L1...L4	Дроссель Д29-1,2-0,28 0Ю0.475.000 ТУ	4	
	Резисторы МЛТ ГОСТ...		
R1	МЛТ-0,5-620 кОм ± 10%	1	
R2	МЛТ-2-240 Ом ± 10%	1	
R3, R4	МЛТ-2-510 Ом ± 10%	2	
SA1	Микротумблер МТ1 0Ю0.360.016 ТУ	1	
T1	Трансформатор ТАН1-127/220-50		
	0Ю0.470.001 ТУ	1	
VD1...VD20	Диод Д237б ТР3.362.021 Т	20	
X1	Вилка РП14-30Л ЕС3.656.015 ТУ	1	

Изм.	Лист	№докум.	Подп	Дата	ТГТУ. ХХХХХ.005 ПЭ3			
Разраб.					Блок питания Перечень элементов	Лит.	Лист	Листов
Пров.								
Н. контр.						КРЭМС Р-51		
Утв.								

Рис. 2.4. Блок питания. Перечень элементов

При проектировании изделия, в которое входят несколько разных устройств, на каждое из них рекомендуется выполнять самостоятельную принципиальную схему. Если такие устройства могут быть применены в других изделиях или самостоятельно, выполнение отдельных принципиальных схем для них является обязательным. При оформлении принципиальной схемы изделия, в состав которого входят устройства, имеющие самостоятельные принципиальные схемы, каждое такое устройство рассматривают как элемент схемы изделия, присваивают ему позиционное обозначение, изображают в виде прямоугольника или условного графического обозначения, записывают в перечень элементов в одну строку. На схеме изделия в прямоугольники, изображающие устройства, допускается омещать электрические схемы этих устройств. Если в изделие входят несколько одинаковых устройств, то схему устройства рекомендуется помещать на свободном поле схемы изделия с соответствующей надписью "Схема АБВГ.ХХХХХХ.156.ЭЗ" (рис. 2.6). В перечень элементов (рис. 2.7) элементы этой схемы не включают.

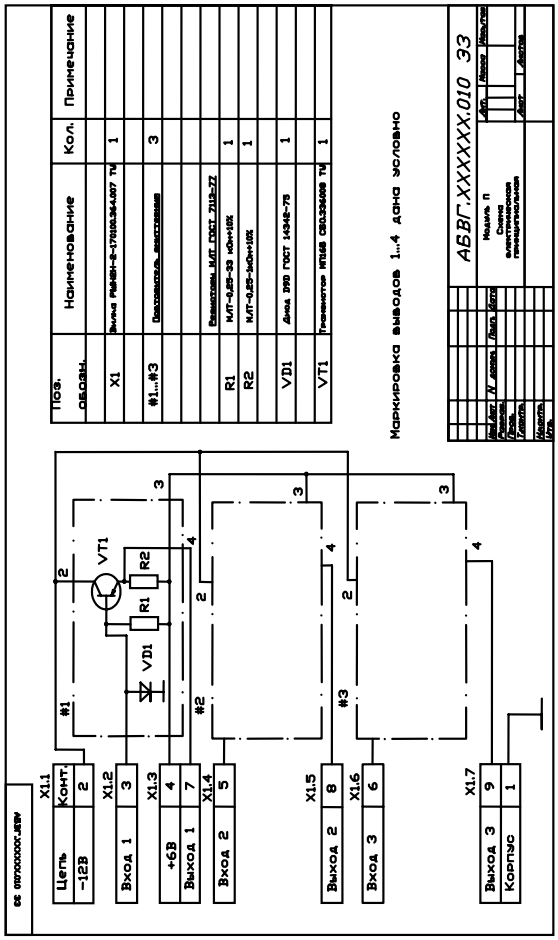


Рис. 2.5. Модуль П. Схема электрическая принципиальная

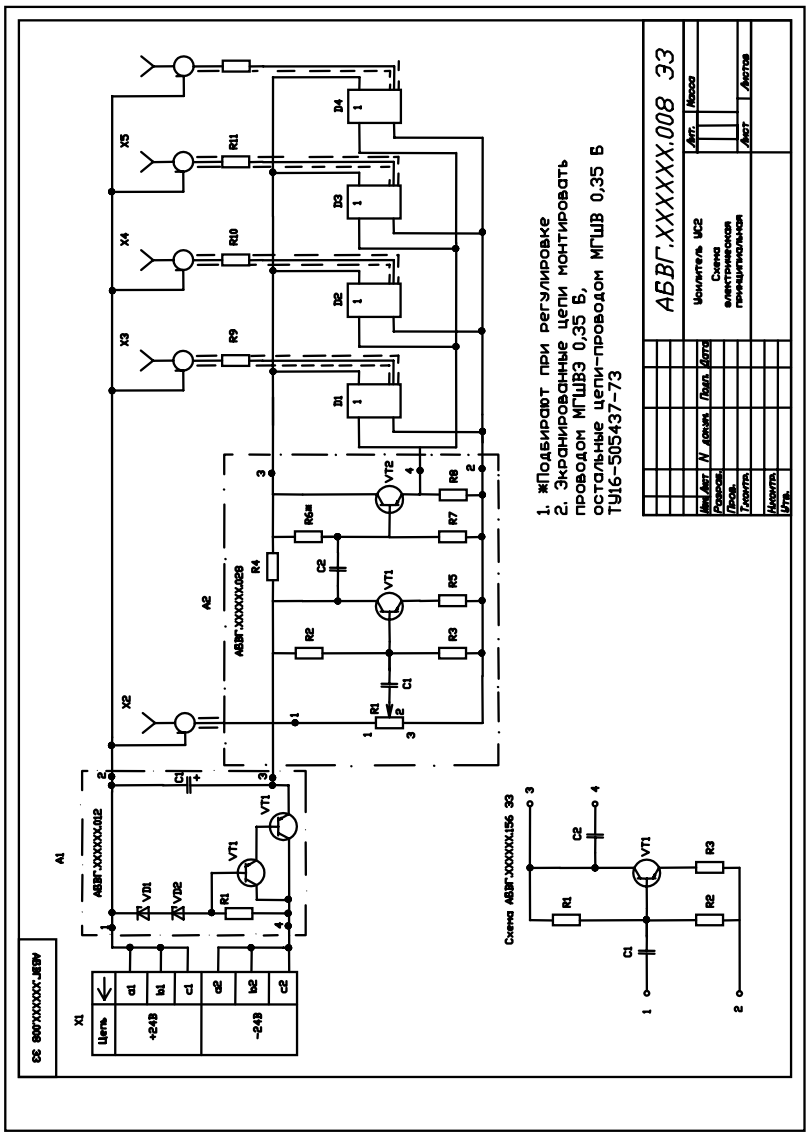


Рис. 2.6. "Схема АБВГ.XXXXXX.156.ЭЗ"

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
D1...D4	Повторитель АБВГ.XXXXXX.156	4	
R9...R12	Резистор МЛТ-0,5-24 Ом ± 10 % ГОСТ...	4	
X1	Вилка РП14-30ЛЕС3.656.015 ТУ	1	
X2...X6	Розетка СР-50-73Ф ВР0.364.010 ТУ	5	
A1	Плата МИФТ.XXXXXX.012	1	
C1	Конденсатор К50-6-I-16 В-500 мкФ		
	ОЖ0.464.031 ТУ	1	
	(и т. д.)		
A2	Плата МИФТ.XXXXXX.026	1	
	Конденсаторы МБМ ГОСТ...		
C1	МБМ-160 В-0,05 мкФ ± 10%	1	
C2	МБМ-160 В-0,1 мкФ ± 10%	1	
	(и т. д.)		

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	ТГТУ XXXXXX.008 ПЭ3			
					Усилитель УС2 элементов	Лит.	Лист 1	Листов 2
						КРЭМС		

Рис. 2.7. Усилитель УС2. Перечень элементов

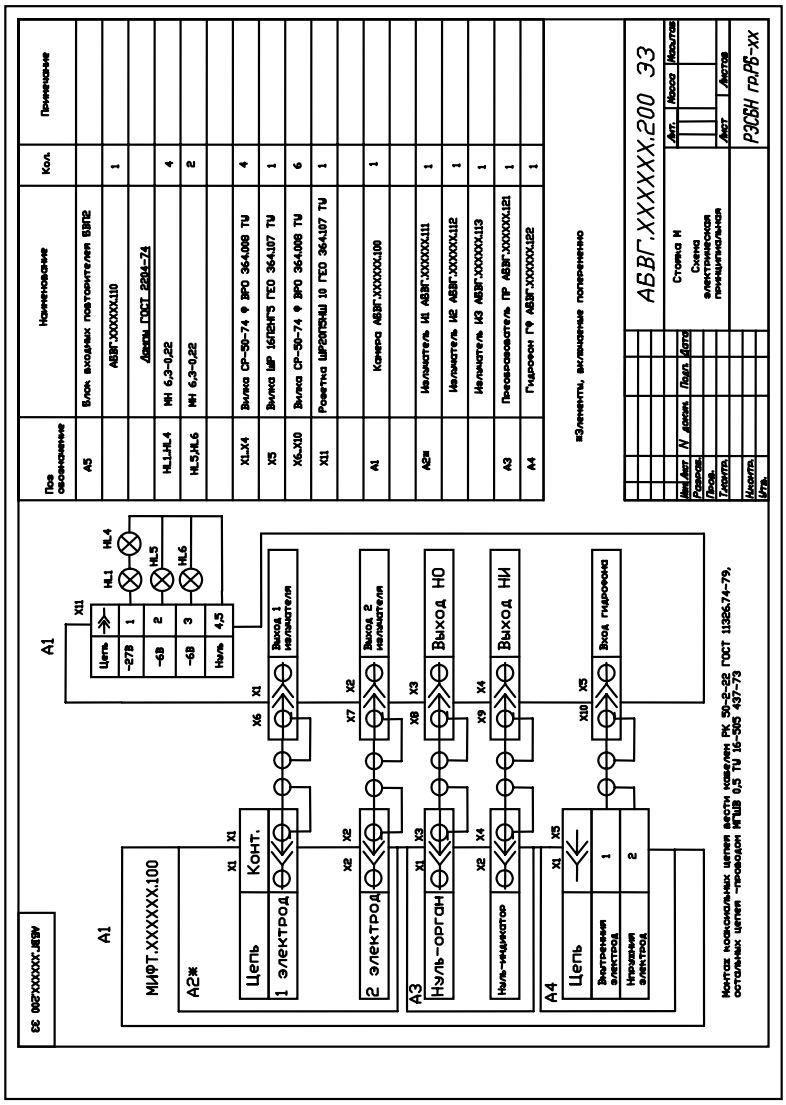


Рис. 2.8

При изображении устройств, имеющих самостоятельную принципиальную схему, допускается вместо условных графических обозначений входных и выходных элементов помещать таблицы с характеристиками входных и выходных цепей (рис. 2.8). Знаком * отмечены устройства, включаемые попеременно. На рис. 2.8 показано упрощенное соединение нескольких одинаковых элементов (Н1...Н4), соединенных последовательно.

Если в изделие входят несколько одинаковых устройств, не имеющих самостоятельных принципиальных схем или одинаковых функциональных групп, то на схеме изделия допускается не повторять схемы этих устройств. При этом устройство или функциональную группу изображают в виде прямоугольника, а схему такого устройства изображают внутри одного из прямоугольников (рис. 2.5) или помещают на поле схемы с соответствующей надписью.

На схеме изделия, в состав которого входят устройства, не имеющие самостоятельных принципиальных схем, допускается позиционные обозначения элементам присваивать в пределах каждого устройства после элементов, не входящих в устройства.

Запись элементов, входящих в каждое устройство (функциональную группу), начинают с соответствующего заголовка. Заголовок записывают в графе "Наименование" и подчеркивают. Если в изделии имеются элементы, не входящие в устройства, то при заполнении перечня вначале записывают эти элементы без заголовка (см. рис. 2.5 – 2.7). Если в изделии имеется несколько одинаковых устройств или функциональных групп, то в перечне указывают количество элементов, входящих в одно устройство. Общее количество одинаковых устройств (функциональных групп) указывают в графе "Кол." на одной строке с заголовком (см. рис. 2.5).

При выполнении принципиальной схемы на поле схемы допускается помещать различные текстовые данные:

– указания о марках, сечениях и расцветках проводов и кабелей, которыми должны быть выполнены соединения элементов;

– указания о требованиях к электрическому монтажу данного изделия (см. рис. 2.3, 2.8);

– указания о назначении отдельных цепей для схем, выполненных строчным способом.

При выполнении схем на нескольких листах нужно выполнять следующие требования: при присвоении элементам позиционных обозначений соблюдать сквозную нумерацию в пределах изделия, выполнять общий перечень элементов.

2.3. ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ

Основные требования к выполнению сборочных чертежей указаны в ГОСТ 2.109–73.

Спецификация и сборочный чертеж

Спецификация и сборочный чертеж изделия относятся к рабочей конструкторской документации. Эта документация разрабатывается после выполнения чертежа общего вида и чертежей деталей.

Основным конструкторским документом для сборочной единицы, комплекса и комплекта по ГОСТ 2.102-68 является спецификация, которая представляет собой перечень составных частей и конструкторских документов для конкретного изделия. Необходимость спецификации как самостоятельного конструкторского документа обусловлена потребностями изготовления, комплектования конструкторских документов, планирования запуска изделий в производство.

Форму и порядок заполнения спецификации устанавливает ГОСТ 2.108–68. Спецификацию составляют на листах формата А4 по форме, приведенной на рис. 2.9.

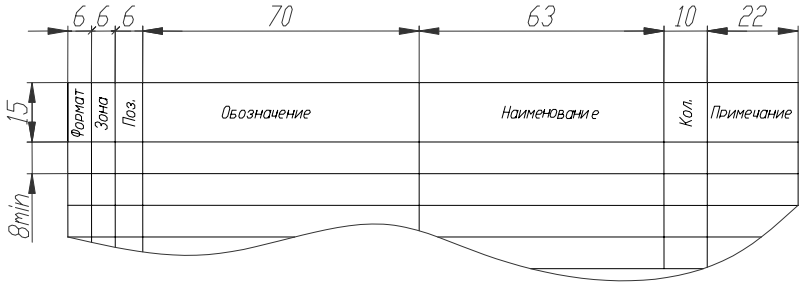


Рис. 2.9. Форма спецификации

В спецификацию вносят составные части, входящие в изделие, а также конструкторские документы, относящиеся к изделию в целом и его составным частям.

В общем случае спецификация состоит из разделов, которые располагают в следующей последовательности: документация, комплексы, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы, комплекты.

В зависимости от состава изделия некоторые разделы в спецификации могут отсутствовать. Спецификация (рис. 2.10) представлена разделами "Документация", "Сборочные единицы", "Детали", "Стандартные изделия".

В разделах: "Комплексы", "Сборочные единицы", "Детали" запись указанных изделий производят в порядке возрастания цифр, входящих в классификационную характеристику изделия. Детали с одинаковой классификационной характеристикой рекомендуется записывать в соответствии с порядковым номером.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
A1			ТГТУ.464511.002 СБ	Сборочный чертеж	1	
				Сборочные единицы		
		1	ТГТУ.301341.002	Каркас	1	
		2	ТГТУ.462122.002	Основная плата	1	
		3	ТГТУ.462132.002	Усилитель мощности	1	
		5	ТГТУ.463132.002	ДПФ	1	
		6	ТГТУ.463132.002	Коммутатор диапазонов	1	
		7	ТГТУ.463343.002	ВЧ гетеродин	1	
		8	ТГТУ.464343.002	КПЕ	1	
		9	ТГТУ.465345.002	ФНЧ	1	
		10	ТГТУ.465456.002	ДПКД	1	
		11	ТГТУ.465676.002	Цифровая шкала	1	
		12	ТГТУ.466776.002	Электронный телеграфный ключ	1	
		13	ТГТУ.466787.002	УНЧ	1	
		14	ТГТУ.467787.002	Опорный гетеродин	1	
		15	ТГТУ.468898.002	УПЧ	1	
		16	ТГТУ.468899.002	Усилитель АРУ	1	
				Детали		
		23	ТГТУ.751314.002	Ножка	4	
		26	ТГТУ.753525.002	Втулка	40	
		29	ТГТУ.754636.002	Уголок	4	

Перв. примен. | Справ. N° | Подпись и дата | Инв. N дубл. | Взам. инв. N | Подпись и дата | Инв. N подл.

Изм.	Лист	N докум.	Подп.	Дата	ТГТУ.464511.002			
Разраб.					Несущая конструкция	Лит.	Лист	Листов
Провер.							1	
Т.контр.								
Н.контр.								
Утв.								

Рис. 2.10. Пример заполнения спецификации

Если в разделы: "Комплексы", "Сборочные единицы", "Детали" входят изделия, разработанные различными организациями, то запись изделий производят в алфавитном порядке сочетания начальных знаков (букв) индексов организаций-разработчиков, а далее в порядке цифр, входящих в обозначение.

Изделия, примененные по государственным, республиканским, отраслевым стандартам, а также по стандартам предприятий, относят к "Стандартным изделиям".

Стандартными изделиями чаще всего являются подшипники, крепежные изделия по государственным стандартам, затем – по республиканским, отраслевым и стандартам предприятий. В пределах каждой категории стандартов изделия объединяют в группы по функциональному признаку. Обычно вначале записывают радиоэлементы, а затем крепежные детали: болты, винты, гайки, шпильки, шпонки и т.д. (в порядке алфавита), в пределах каждого наименования – по возрастанию обозначения стандарта, а внутри одного стандарта – по возрастанию основных параметров или размеров изделия.

Раздел "Прочие изделия" содержит изделия, примененные по техническим условиям. Запись изделий производится по однородным группам. Дальнейший порядок записи аналогичен порядку записи стандартных деталей. В спецификациях на электротехнические изделия порядок записи прочих изделий может быть определен порядком их записи в перечне электрической схемы.

В раздел "Материалы" вносят материалы, непосредственно входящие в изделие, такие как кабели, провода, шнуры, нефтепродукты, лаки, краски и т.д. Порядок записи материалов определен ГОСТ 2.108–68. После заполнения граф спецификации следует сделать следующие замечания:

а) в графе "Формат" указывают форматы документов. Если документ выполнен на листах разного формата, то в графе проставляют "звездочку", а форматы указывают в графе "Примечание" в порядке возрастания. Для деталей, на которые не выпущены чертежи, в графе указывают БЧ (без чертежа). В разделах "Стандартные изделия", "Прочие изделия", "Материалы" графу не заполняют;

б) в графе "Зона" указывают обозначение зоны чертежа, в которой находится номер позиции составной части;

в) в графе "Поз." указывают порядковые номера составных частей, непосредственно входящих в специфицируемое изделие, в последовательности записи их в спецификации. В разделах "Документация" и "Комплекты" графу не заполняют;

г) в графе "Обозначение" указывают обозначение конструкторских документов и изделий в соответствии с ГОСТ 2.201-80. В разделах "Стандартные изделия", "Прочие изделия", "Материалы" графу не заполняют;

д) в графе "Наименование" указывают наименование изделия в соответствии с основной надписью на конструкторских документах этих изделий. Для стандартных, прочих изделий и материалов к наименованию добавляются обозначения в соответствии со стандартами и техническими условиями. В разделе "Документация" записывают только наименование элемента на данное специфицируемое изделие: "Сборочный чертеж".

После каждого раздела спецификации следует оставлять несколько свободных строк для дополнительных записей. Допускается резервировать и номера позиций.

Сборочный чертеж является документом, на котором приводятся сведения, необходимые для изготовления (сборки) сборочной единицы.

В общем случае сборочный чертеж должен содержать (ГОСТ 2.109–73):

а) изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность сборки и контроля сборочной единицы;

б) размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены или проконтролированы по данному чертежу;

в) указания о характере сопряжений и методах его осуществления;

г) номера позиций составных частей, входящих в изделие, в точном соответствии со спецификацией на данное изделие;

д) габаритные размеры изделия;

е) установочные, присоединительные и другие необходимые справочные размеры;

ж) техническую характеристику и координаты центра масс при необходимости.

В качестве примера приведен сборочный чертеж (рис. 2.11). Чертеж содержит изображение конструкции, которое дает представление о взаимном расположении и соединении составных частей и является достаточным для проведения сборки этого изделия.

На чертеже приведены размеры, которые выполняются по данному чертежу. Номера позиций составных частей приводятся в точном соответствии со спецификацией на данное изделие.

Изображение на сборочных чертежах следует выполнять с упрощениями по ГОСТ 2.109–73 и другим стандартам ЕСКД. Допускается изображать нерассеченными составные части, на которые оформляются самостоятельные сборочные чертежи. Типовые, покупные и другие широко применяемые изделия допускается изображать внешними очертаниями. Сварное, паяное, клееное и тому подобное изделие из однородного материала в сборе с другими изделиями в разрезах и сечениях штрихуют в одну сторону, изображая границы между двумя изделиями сплошными основными линиями.

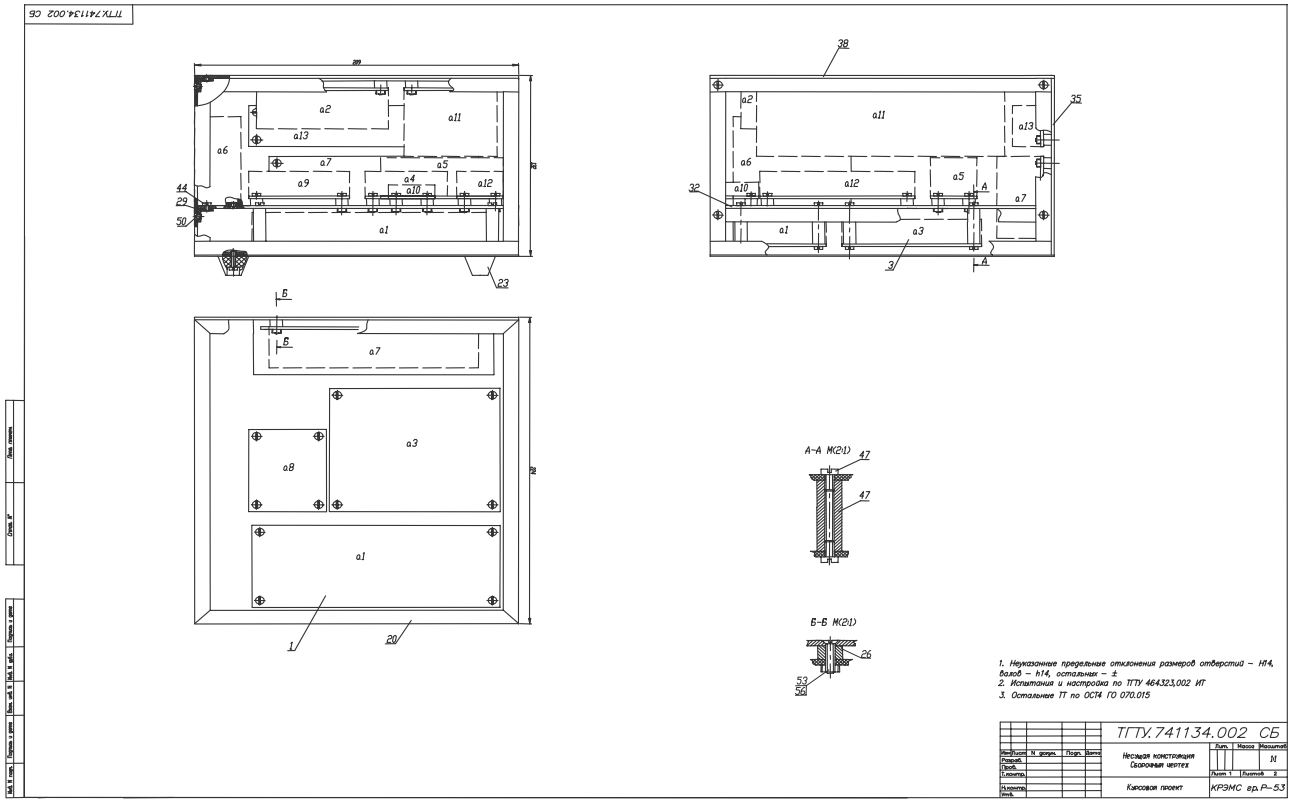


Рис. 2.11. Сборочный чертеж

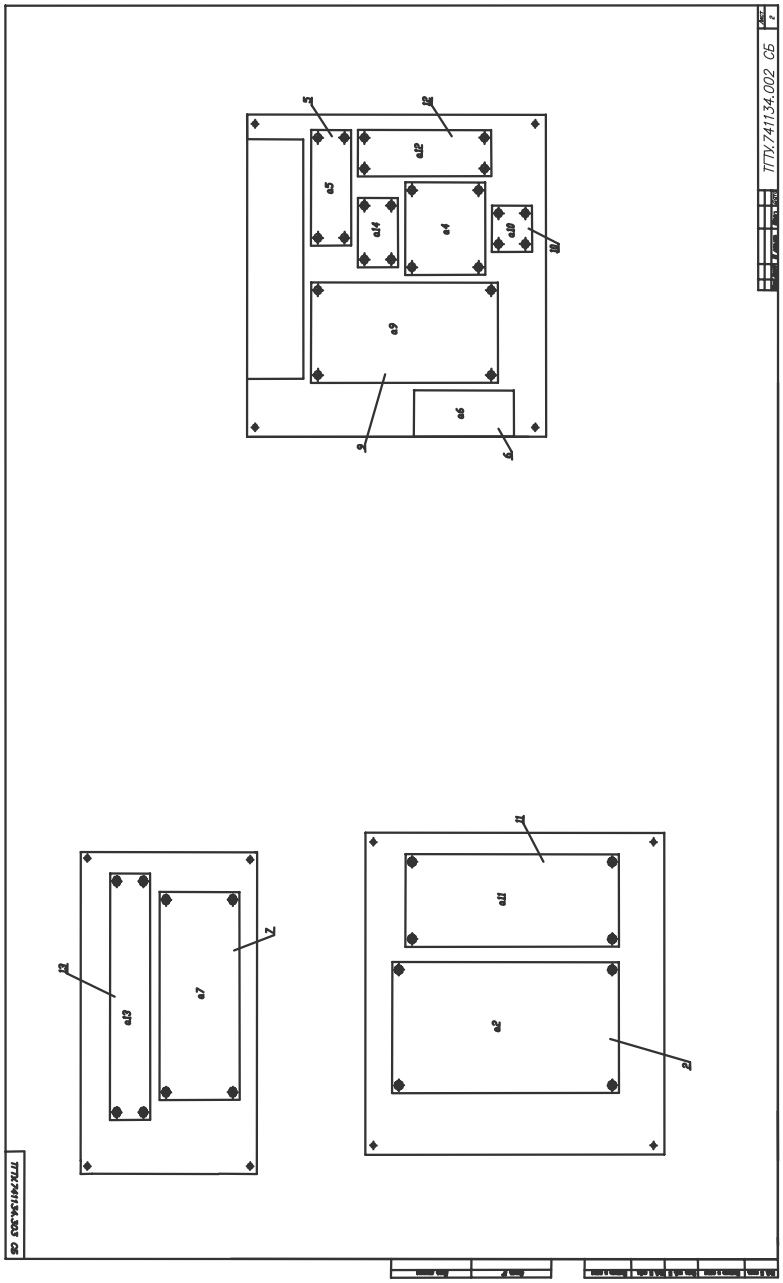


Рис. 2.11.Продолжение

Допускается совмещение спецификации со сборочным чертежом при условии их размещения на листе формата А4, при этом спецификацию располагают ниже графического изображения изделия и заполняют ее в том же порядке и по той же форме, что и спецификацию, выполненную как самостоятельный конструкторский документ. Такому совмещенному конструкторскому документу присваивается обозначение основного конструкторского документа.

На чертежах сборочных единиц, изготавливаемых наплавкой металла или сплава на деталь, заливкой поверхностей детали пластмассой, резиной и т.д., наносят размеры окончательно готовой сборочной единицы и другие данные, необходимые для изготовления и контроля. Наплавляемый металл для заливки записывают в спецификацию сборочной единицы в раздел "Материалы".

Чертежи печатных плат

Сущность печатного монтажа заключается в нанесении на изоляционное основание тонких электропроводящих покрытий, выполняющих функции монтажных проводов и элементов схемы – резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, контактных деталей и др. Ниже приведены основные термины, которые будут использованы при изложении материала.

Печатный проводник – участок токопроводящего покрытия, нанесенного на изоляционное основание, выполняющий функции обычного монтажного привода.

Печатный монтаж – система печатных проводников, обеспечивающих электрическое соединение элементов схемы.

Печатная плата – изоляционное основание с нанесенным на нем печатным монтажом. Навесные элементы – объемные электро- и радиоэлементы, установленные и закрепленные на печатной плате способом пайки и имеющие электрический контакт с печатными проводниками.

Контактная площадка – металлизированный участок вокруг монтажного отверстия, имеющий электрический контакт с печатным проводником и обеспечивающий электрическое соединение навесных элементов схемы с печатным монтажом.

Монтажное отверстие – отверстие в печатной плате, предназначенное для закрепления выводов навесных элементов и электрического соединения их с печатными проводниками.

Координатная сетка – сетка, наносимая на изображение платы и служащая для определения положения монтажных отверстий, печатных проводников и других элементов платы.

Шаг координатной сетки – расстояние между соседними линиями координатной сетки. Шаг координатной сетки должен быть кратным 0,625 мм (0,625; 1,25; 1,875; 2,5 и т.д.).

Узел координатной сетки – точка пересечения линий координатной сетки.

Свободные места – участки печатной платы, где при размещении проводников могут быть выдержаны рекомендуемые значения ширины проводников и расстояния между проводниками и контактными площадками.

Узкие места – участки печатной платы, где при размещении проводников, ширина проводников, расстояния между ними и контактными площадками выполняются меньше рекомендуемых (вплоть до минимально допустимых).

Печатный узел – печатная плата с печатной схемой, навесными элементами и другими деталями, прошедшая все стадии изготовления.

Конструкторская документация на печатные платы и узлы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109–73, ГОСТ 2.417–68 и действующими нормативно-техническими документами. Чертеж печатной платы односторонней или двусторонней классифицируется как чертеж детали. Чертеж печатной платы должен содержать все сведения, необходимые для ее изготовления и контроля: изображение печатной платы со стороны печатного монтажа; размеры, предельные отклонения и шероховатость поверхностей печатной платы и всех ее элементов (отверстий, проводников), а также размеры расстояний между ними; необходимые технические требования; сведения о материале.

Размеры каждой стороны печатной платы должны быть кратными 2,5 при длине до 100 мм; 5 при длине до 350 мм; 20 при длине более 350 мм. Максимальный размер любой из сторон печатной платы не должен превышать 470 мм. Соотношение линейных размеров сторон печатной платы должно быть не более 3:1 и выбирается из ряда 1:1; 1:2; 2:3; 2:5. Толщину плат определяют исходя из механических требований, предъявляемых к конструкции печатного блока, с учетом метода изготовления. Рекомендуются платы толщиной 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм. Чертежи печатных плат выполняют в натуральную величину или с увеличением 2:1; 4:1; 5:1; 10:1.

Разработку чертежа печатной платы начинают с нанесения координатной сетки. За основной шаг прямоугольной координатной сетки по ГОСТ 10317–79 принимается 2,5 мм. Для малогабаритной аппаратуры и в технически обоснованных случаях допускается применять дополнительные шаги 1,25 и 0,5 мм. Центры всех отверстий на печатной плате должны располагаться в узлах координатной сетки. Если из-за конструктивных особенностей навесного элемента этого сделать нельзя, то центры отверстий располагают согласно указаниям чертежа на этот элемент. Такое расположение центров отверстий используют для ламповых панелей, малогабаритных реле, разъемов и других элементов. При этом должны соблюдаться следующие требования: центр одного из отверстий, принятого за основное, должен быть расположен в узле координатной сетки; центры остальных отверстий нужно по возможности располагать на вертикальных или горизонтальных линиях координатной сетки. На рис. 2.12 показано расположение отверстий на печатной плате.

Диаметры монтажных и переходных металлизированных и неметаллизированных отверстий выбирают из ряда (0,2); 0,4; (0,5); 0,6; (0,7); 0,8; (0,9); 1,0; (1,2); 1,3; 1,5; 1,8; 2,0; 2,2; (2,4); (2,6); (2.8); (3,0). Диаметры, не взятые в скобки, являются предпочтительными. Не рекомендуется на одной печатной плате иметь более трех различных диаметров отверстий. Диаметры металлизированных отверстий выбирают в зависимости от диаметров выводов навесных элементов и толщины платы, а диаметры неметаллизированных отверстий в зависимости от диаметров выводов навесных элементов, устанавливаемых в эти отверстия (табл. 2.2). Необходимость зенковки монтажных и переходных отверстий диктуется конкретными конструктивными требованиями и методом изготовления платы.

2.2. Значения диаметров металлизированных и неметаллизированных отверстий

Номинальный диаметр монтажного неметаллизированного отверстия, мм	Номинальный диаметр монтажного и переходного металлизированного отверстия, мм	Максимальный диаметр вывода навесного элемента, мм
0,5	0,4	–
0,7	0,6	до 0,4
0,9	0,8	0,4…0,6
1,1	1	0,6…0,8
1,6	1,5	0,8…1,3
2,1	2	1,3…1,7

При применении других диаметров металлизированных отверстий по ГОСТ 10317–79 разница между диаметром металлизированного отверстия и диаметром вывода должна быть не более 0,4 мм.

Шероховатость поверхности монтажных неметаллизированных отверстий и торцов печатных плат должна быть Rz < 80 по ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности монтажных и переходных металлизированных отверстий – Rz < 40. Для упрощения графики платы отверстия показывают окружностями одинакового диаметра с обозначением по табл. 2.3 (по ОСТ 27-72-694-834).

При выполнении отверстий таким способом на поле чертежа помещают таблицу отверстий (табл. 2.4). Размеры граф и форма таблицы ГОСТом не устанавливаются.

2.3. Таблица отверстий

Обозначение	Диаметр, мм	Диаметр зенковки, мм	Наличие металлизации	Количество
	$0{,}6^{+1}$	$1{,}1^{+0{,}2} \times 100^{\circ}$	Есть	28
	$0{,}8^{+1}$	$1{,}1^{+0{,}2} \times 100^{\circ}$	–	35
	$1{,}5^{+0{,}12}$	$2{,}0^{+0{,}2} \times 100^{\circ}$	–	18
	$2{,}7^{+0{,}1}$		Нет	4
	$3{,}6^{+0{,}3}$		–	2

2.4. Условное обозначение отверстий

Диаметр отверстия, мм	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	5,0
Условное обозначение отверстий								

Все монтажные отверстия должны иметь контактные площадки. Форма контактной площадки может быть произвольной, круглой, прямоугольной или близкой к ним. Центр контактной площадки симметричной формы должен совпадать с центром монтажного отверстия, для контактных площадок прямоугольной и овальной форм центр монтажного отверстия может быть смещен (рис. 2.13). Круглые контактные площадки и отверстия с зенковкой изображают одной окружностью, диаметр которой должен соответствовать минимальному размеру контактной площадки. Размер диаметра контактных площадок следует указывать в технических требованиях чертежа. При наличии на плате контактных площадок, не оговоренных размерами или по форме отличных от круглых, допускается все контактные площадки изображать окружностью, равной диаметру отверстия. Форму и размеры следует задавать записью в технических требованиях "Форма контактных площадок произвольная, b_{min} = ... мм".

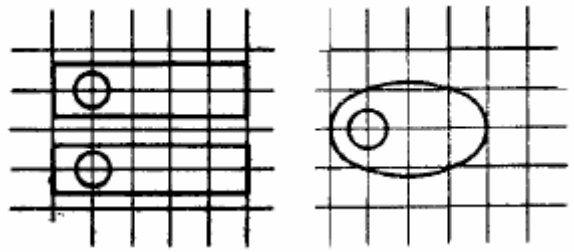


Рис. 2.13. Изображение контактных площадок

Для простановки размеров групповых контактных площадок рекомендуется вынести изображение контактной группы в увеличенном масштабе с простановкой необходимых размеров на поле чертежа (рис. 2.14). Рекомендуется делать плавный переход контактной площадки в проводник.

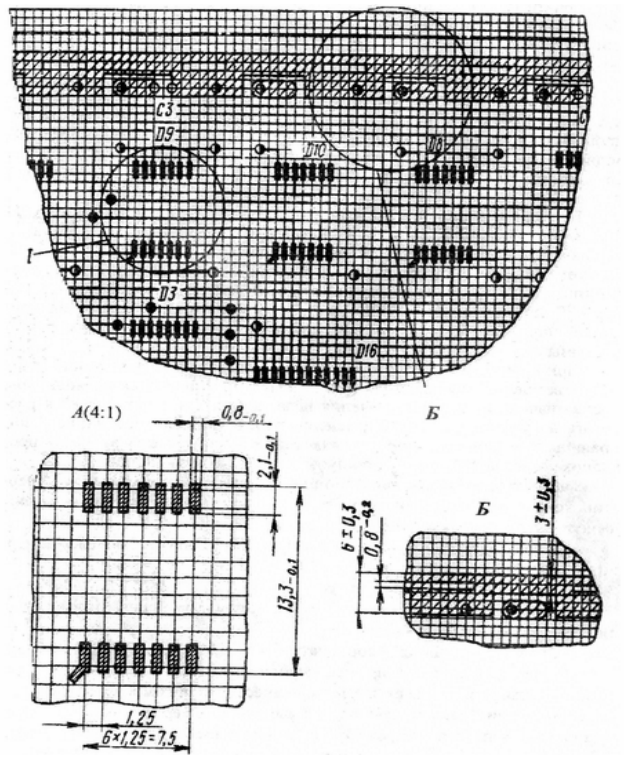


Рис. 2.14. Изображение контактной группы

При этом ось симметрии печатного проводника должна быть перпендикулярна касательной к контуру контактной площадки или самому контуру контактной площадки (рис. 2.15). Расстояние между краем проводника, контактной площадки, неметаллизированного отверстия и краем платы должно быть не менее толщины платы.

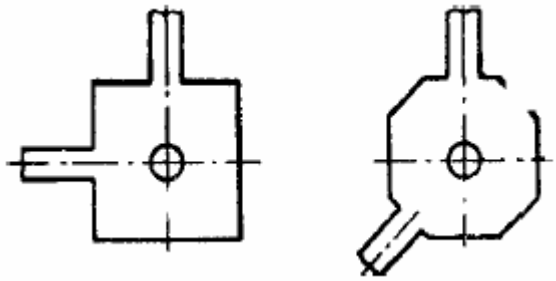


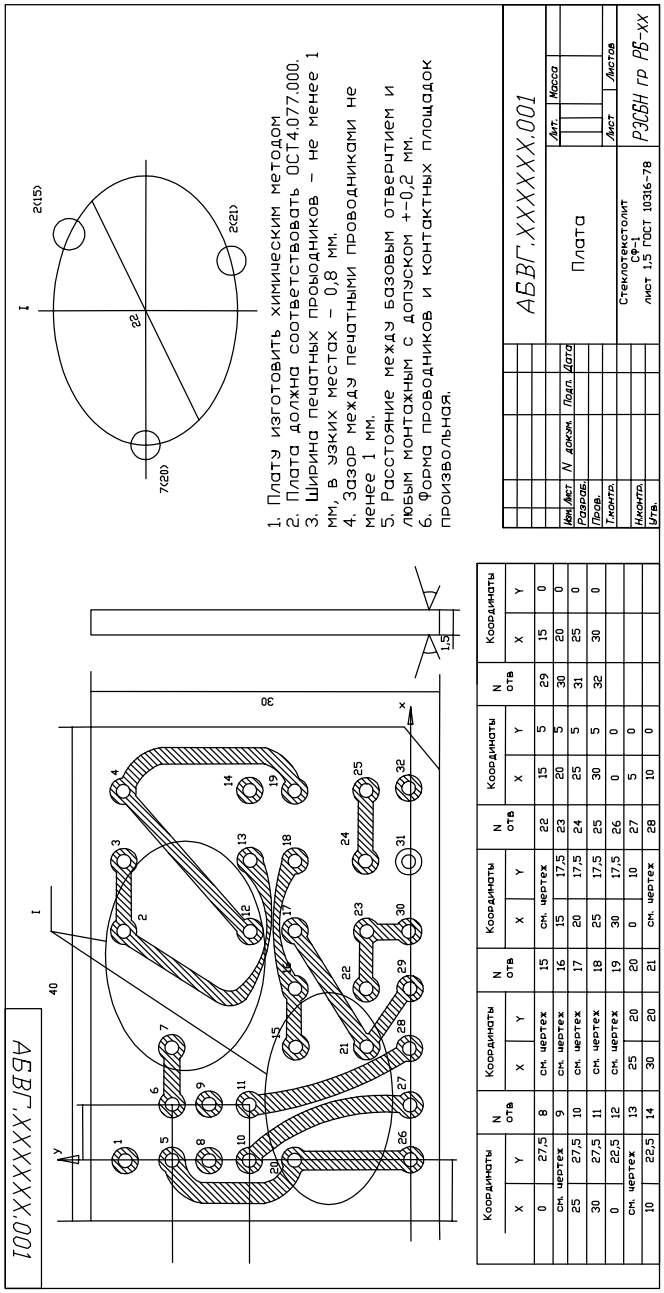
Рис. 2.15. Изображение контактной площадки с проводником

Печатные проводники следует изображать в виде отрезков линий, совпадающих с линиями координатной сетки, или под углом, кратным 15°. Допускается выполнение проводников произвольной конфигурации и скругление перегибов проводников (рис. 2.16).

Печатные проводники следует выполнять одинаковой ширины на всем протяжении. В узких местах сужают проводники до минимально допустимых значений на возможно меньшей длине. Взаимное расположение проводников не регламентируется. При необходимости прокладки проводников шириной 0,3 – 0,4 мм на всем протяжении рекомендуется через 25 – 30 мм предусматривать расширение проводника типа контактной площадки.

Проводники шириной менее 2,5 мм изображают одной линией, являющейся осью симметрии проводника, более 2,5 мм – двумя линиями и штрихуют под углом 45° или зачерняют. Проводники шириной более 5 мм следует выполнять как экран (рис. 2.17). Форма вырезов в широких проводниках и экранах должна быть показана на чертеже и определена размерами. В целях упрощения чертежа допускается выполнять проводники любой ширины одной линией, при этом в технических требованиях чертежа указывают ширину проводника.

При прокладке печатных проводников следует по возможности избегать ответвлений проводников (рис. 2.18); концы печатных проводников, предназначенные для подключения печатной схемы, рекомендуется располагать с учетом удобства применения переходных элементов (рис. 2.19). Границы участков печатной платы, которые не допускается занимать проводниками, ограничивают штрихпунктирной утолщенной линией.



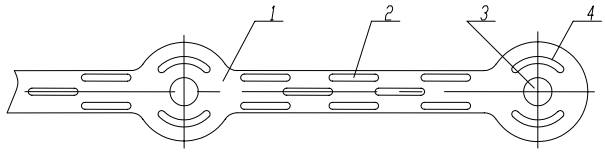


Рис. 2.17. Изображение проводников шириной более 5 мм

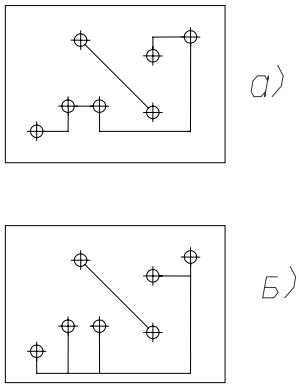


Рис. 2.18. Изображение печатных проводников:
а – правильное; *б* – неправильное

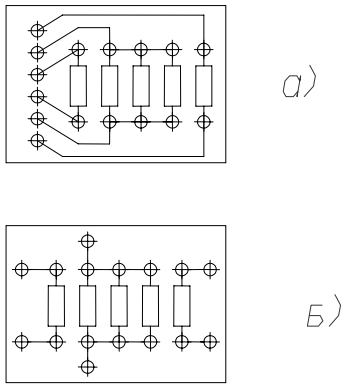


Рис. 2.19. Изображение контактов для подключения печатной платы:
а – правильное; *б* – неправильное

Габаритные размеры печатной платы, диаметры и координаты отверстий, контактных площадок и их относительное расположение показывают на чертеже одним из следующих способов:

а) в соответствии с требованиями ГОСТ 2.307–68 с помощью размерных и выносных линий;

б) нанесением координатной сетки;

в) комбинированным способом при помощи размерных и выносных линий и координатной сетки;

г) с помощью таблицы координат.

На рис. 2.20 приведен пример выполнения чертежа двусторонней печатной платы. Размеры всех элементов нанесены при помощи размерных и выносных линий. При таком способе выполнения чертежа координатную сетку не наносят. За начало отсчета в данном примере принят центр левого нижнего отверстия платы. Отверстия различного диаметра обозначены в соответствии с данными табл. 2.4. Контактные площадки и отверстия с зенковкой упрощенно изображены одной окружностью.

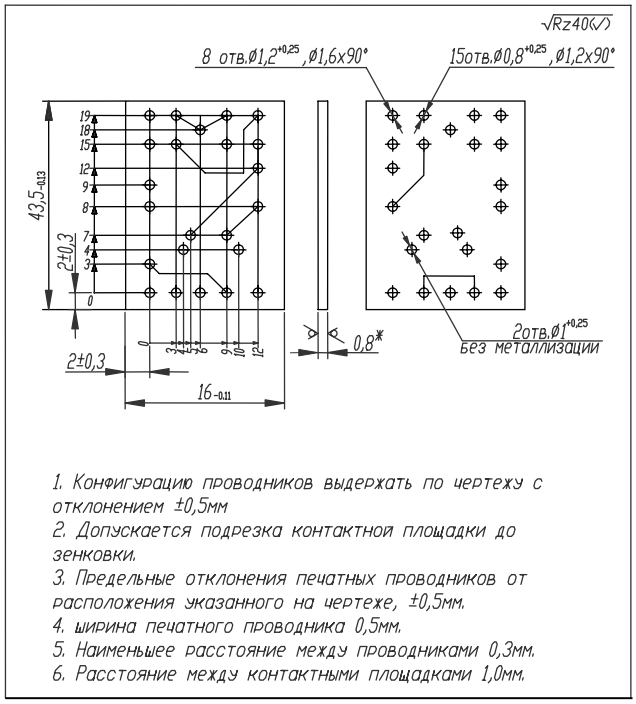


Рис. 2.20. Чертеж двусторонней печатной платы

При задании размеров нанесением координатной сетки линии сетки должны нумероваться. Шаг нумерации определяют конструктивно с учетом насыщенности и масштаба изображения. Координатную сетку в зависимости от способа выполнения документации наносят на все поле платы (см. рис. 2.12, 2.14) или рисками по периметру платы (рис. 2.21). Допускается наносить не все линии координатной сетки, при этом на поле чертежа помещают запись типа "Линии координатной сетки нанесены через одну" (рис. 2.22). За нуль в прямоугольной системе координат на главном виде платы принимают центр крайнего левого нижнего отверстия, левый нижний угол платы, левую нижнюю точку, образованную построениями, например продолжением линии контура платы, углы которого срезаны.

На рис. 2.22 приведен пример выполнения чертежа печатной платы комбинированным способом простановки размеров – при помощи размерных и выносных линий и координатной сетки. Линии координатной сетки нанесены через одну, и поэтому приведена соответствующая запись в технических требованиях чертежа. На поле чертежа выполнена таблица отверстий. Все недостающие данные относительно печатного монтажа указаны в технических требованиях чертежа.

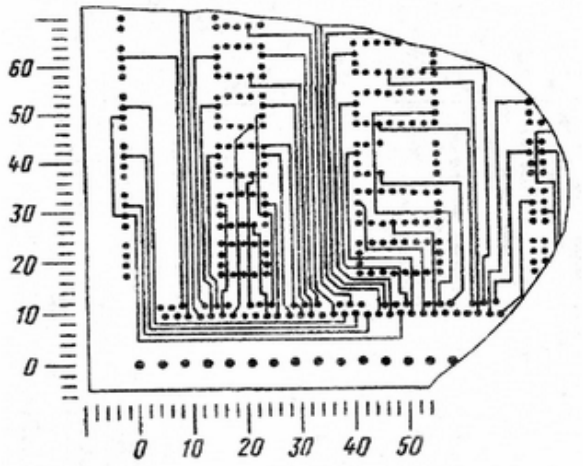


Рис. 2.21. Вариант нанесения координатной сетки

Пример выполнения чертежа печатной платы с указанием размеров в таблице координат приведен на рис. 2.16. Размеры диаметров отверстий указаны на чертеже, относительное расположение отверстий – в таблице координат; все отверстия обозначены арабскими цифрами согласно ГОСТ 2.307–68.

На чертеже печатной платы указывают габаритные размеры платы, ширину проводников, имеющих строго определенную или переменную ширину (при этом расчетную ширину следует указывать на каждом участке между двумя соседними контактными площадками, переходными или монтажными отверстиями); диаметры и координаты крепежных, технологических и других отверстий, не связанных с печатным монтажом.

На поле чертежа указывают метод изготовления платы, технические условия (если не все данные содержатся на чертеже), шаг координатной сетки, ширину проводников и расстояния между ними, расстояния между контактными площадками, между контактной площадкой и проводником, допуски на выполнение проводников, контактных площадок, отверстий и расстояний между ними, особенности конструкции, технологии и другие параметры печатных плат.

Технические требования располагают над основной надписью, формулируют и излагают в следующей последовательности:

1. Плату изготовить ... методом... .
2. Плата должна соответствовать ... (ГОСТ, ОСТ).
3. Шаг координатной сетки … мм.
4. Конфигурацию проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа … мм.

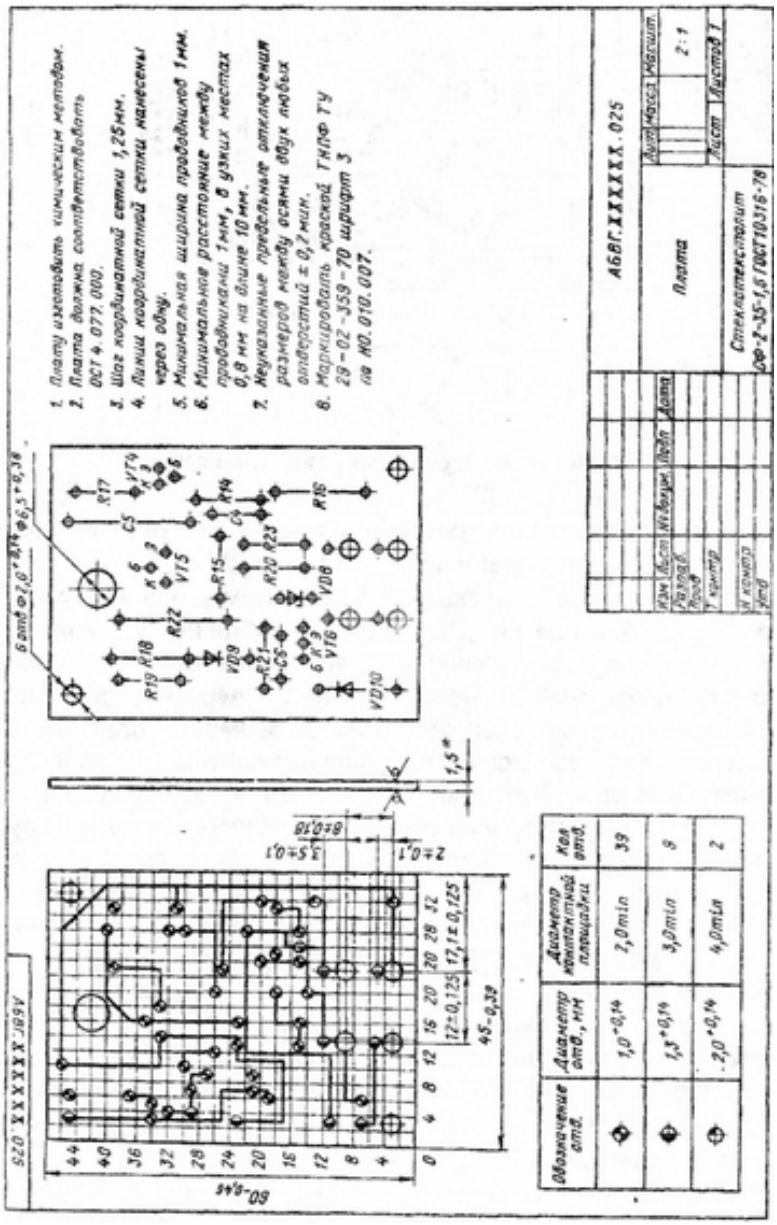


Рис. 2.22. Чертеж печатной платы с комбинированным способом нанесения размеров

5. Допускается скругление углов контактных площадок и проводников.
6. Места, обведенные штрихпунктирной линией, проводниками не занимать.
7. Требования к параметрам элементов платы – в соответствии с конструктивными данными.
8. Ширина проводников в свободных местах ... мм, в узких ... мм.
9. Расстояние между двумя проводниками, между двумя контактными площадками или проводником и контактной площадкой в свободных местах ... мм, в узких ... мм.
10. Форма контактных площадок произвольная, $b_{\min}$ =... мм.

11. Допускается занижение контактных площадок металлизированных отверстий: на наружных слоях до зенковки, на внутренних слоях ...

12. Предельные отклонения расстояний между центрами отверстий, кроме оговоренных особо, в узких местах ± ... мм, в свободных местах ± ... мм.

13. Предельные отклонения расстояний между центрами контактных площадок в группе ± ... мм.

14. Маркировать эмалью ... ГОСТ, шрифт ... по ГОСТ ...

Пример записи технических требований в зависимости от содержания чертежа печатной платы приведен на рис. 2.13, 2.17, 2.19.

На изображении платы допускается указывать маркировку (рис. 2.19) в соответствии с требованиями ГОСТ 2.314-68. Маркировка может быть основной и дополнительной. Основная маркировка включает условное обозначение платы, порядковый номер изменения чертежа, дату изготовления, порядковый или заводской номер платы и партии плат. Условное обозначение платы следует выполнять травлением фольги. В качестве условного обозначения принимают последние три цифры обозначения чертежа платы или буквенно-цифровое обозначение функциональной группы, например, ЛОГ 2. Остальная маркировка выполняется краской.

Дополнительная маркировка включает позиционные буквенно-цифровые обозначения навесных элементов по электрической принципиальной схеме, изображение контура навесных элементов, цифровое обозначение выводов навесных элементов, точек контроля, обозначение положительного вывода (+) полярных навесных элементов.

Символы дополнительной маркировки следует выполнять травлением фольги при наличии свободного места на стороне печатного монтажа платы или краской способом сеткографической печати со стороны печатного монтажа платы, а при необходимости – и со стороны пайки.

К числу особенностей печатного монтажа относятся плоское расположение печатных проводников, что не позволяет осуществлять переход с одной платы на другую без перемычек, переходных колодок или разъемов; установка навесных элементов и крепление выводов только путем пропускания их в отверстия: одновременная пайка всех элементов, установленных на печатной плате.

Навесные элементы следует размещать правильными рядами, параллельно один другому, на той стороне платы, где отсутствуют печатные проводники (рис. 2.23). Такое размещение позволяет устанавливать и закреплять навесные элементы на автоматических линиях и выполнять пайку погружением, исключая воздействие припоя на навесные элементы.

Все навесные элементы крепятся на плате с помощью выводов, которые вставляют в монтажные отверстия и подгибают. Не рекомендуется в монтажном отверстии размещать два и более выводов. Некоторые элементы, например маломощные транзисторы, крепят клеем.

Сборочный чертеж печатной платы при минимальном количестве изображений должен давать полное представление о расположении и выполнении всех печатных и навесных элементов и деталей. Сборочный чертеж выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109–73 с учетом ГОСТ 2.413–72. Конструкции навесных элементов вычерчиваются в виде упрощенных изображений, им присваивается буквенно-цифровое позиционное обозначение в соответствии с электрической принципиальной схемой, по которой выполняют электрический монтаж платы (рис. 2.24). На сборочном чертеже печатной платы должны быть указаны номера позиций всех составных частей, габаритные и присоединительные размеры, должны содержаться сведения о способах присоединения навесных элементов к печатной плате.

В технических требованиях сборочного чертежа должны быть ссылки на документы (ГОСТ, ОСТ), устанавливающие правила подготовки и закрепления навесных элементов, сведения о припое и др.

Основным конструкторским документом сборочного чертежа печатной платы является спецификация, оформляемая в виде таблицы по правилам ГОСТ 2.108–68. При записи в спецификацию составных частей, являющихся элементами электрической принципиальной схемы, в графе "Примечание" указывают буквенно-цифровые позиционные обозначения этих элементов (рис. 2.25).

а) *б)*

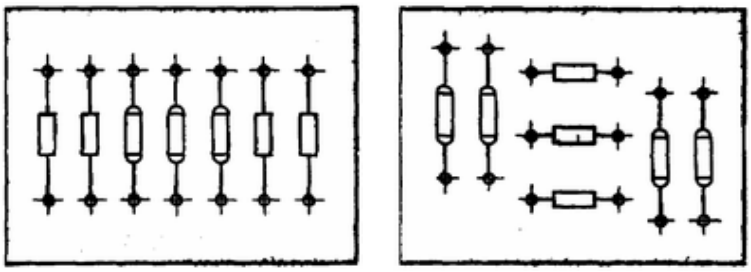
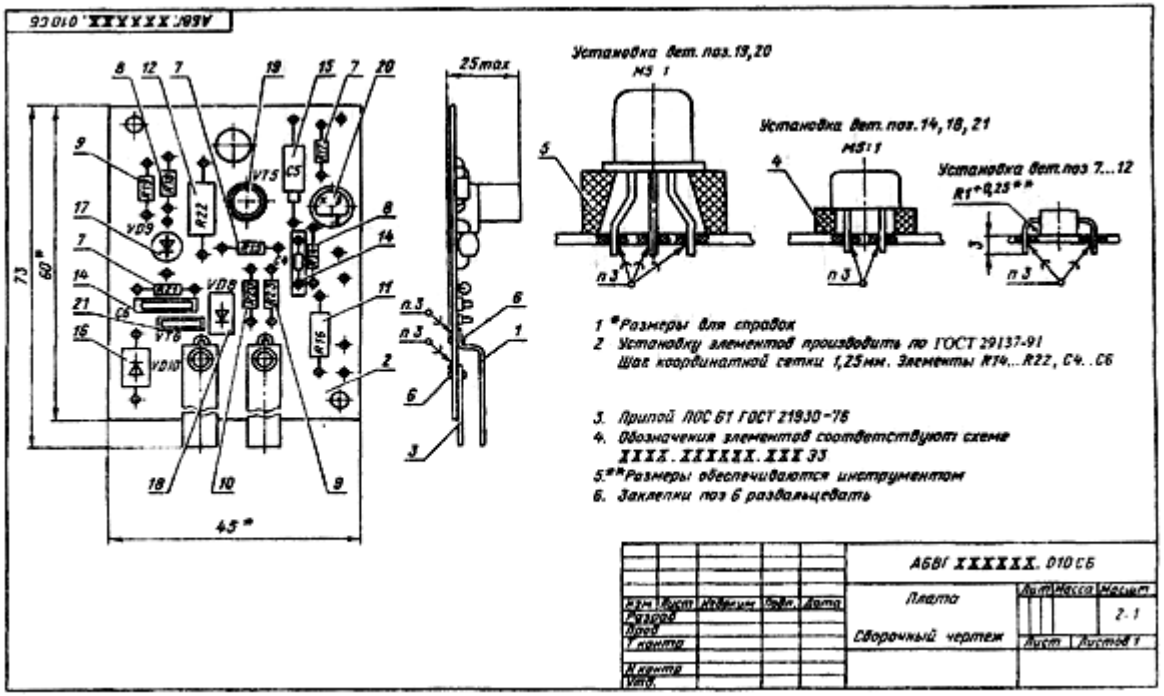


Рис. 2.23. Размещение навесных элементов на печатной плате:
а – рекомендуемое; *б* – нерекомендуемое


АБВГ.XXXXXX.010СБ
25max
Установка дет. поз.19,20
МЕ 1
Установка дет. поз.14,18,21
МЕ 1:1
Установка дет.поз 7...12
R1*0,25**
п 3
1 *Размеры для справок
2 Установку элементов производить по ГОСТ 29137-91
Шаг координатной сетки 1,25мм. Элементы R14...R22, C4..C6
3. Припой ПОС 61 ГОСТ 21930-76
4. Обозначения элементов соответствуют схеме
XXXX.XXXXXX.XXX ЭЗ
5.**Размеры обеспечиваются инструментом
6. Заклепки поз 6 развальцевать
АБВГ XXXXXX. 010СБ
Плата
Сборочный чертеж
Лит
Масса
Масшт
2:1
Лист
Листов 1
Изм
Лист
Подпись
Дата
Разраб.
Пров.
Т.контр.
Н.контр.
Утв.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
А3			АБВГ.XXXXXX.010 СБ	Сборочный чертеж	1	
				Детали		
А4		1	АБВГ.XXXXXX.015	Штекер	2	
А3		2	АБВГ.XXXXXX.017	Плата	1	
А4		3	АБВГ.XXXXXX.022	Штекер	2	
А4		4	АБВГ.XXXXXX.016	Втулка	4	
А4		5	АБВГ.XXXXXX.018	Втулка	2	
А4		6	АБВГ.XXXXXX.021	Заклепка	4	
				Стандартные изделия		
				Резисторы МЛТ ГОСТ...		
		7		МЛТ-0,125-200 Ом±5%-В	3	R15,R17,R21
		8		МЛТ-0,125-4,3 кОм±5%-В	2	R14,R18
		9		МЛТ-0,125-10 кОм±5%-В	2	R19,R23
		10		МЛТ-0,125-100 кОм±5%-В	1	R20
		11		МЛТ-0,5-200 Ом±5%-В	1	R16
		12		МЛТ-1-330 Ом±5%-В	1	R22

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	АБВГ.XXXXXX.010			
Разраб.					Плата	Лит.	Лист	Листов
Пров.							1	2
Н. контр.								
Утв.								

Рис. 2.25. Спецификация сборочного чертежа печатной платы

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Прочие изделия		
				Конденсаторы		
		14		КМ-5б-Н90-0,068мкФ±10%		
				ОЖ0.460.161 ТУ	2	С4,С6
		15		К53-14-10В-15мкФ±20%		
				ОЖ0.464.096 ТУ	1	С5
				Диоды полупроводниковые		
		16		КД 105Б ТТ3.362.060 ТУ	1	VD10
		17		КД 102А ТТ3.362.083 ТУ	1	VD9
		18		Стабилитрон КС533А		
				СМ3.362.002 ТУ	1	VD8
				Транзисторы		
		19		КТ3102Б аА0.336.122 ТУ	1	VT5
		20		КТ3107Б аА0.336.170 ТУ	1	VT4
		21		КТ814В аА0.336.184 ТУ	1	VT6

Изм.	Лист	№докум.	Подп.	Дата	АБВГ.XXXXXX.010	Лист 2

Рис. 2.25. Продолжение

Разработка конструкторской документации печатных плат может осуществляться ручным, полуавтоматическим или автоматизированным методами.

Ручной метод предусматривает разбивку навесных элементов на функциональные группы, размещение групп элементов на площади платы, трассировку печатных проводников и обеспечивает оптимальное распределение проводящего рисунка. При ручном методе конструирования разрабатывается чертеж платы, содержащий изображение платы с проводящим рисунком и отверстиями, а также, при необходимости, дополнительное отдельное изображение части платы, требующей графического пояснения или нанесения размеров, координатную сетку, выполненную в соответствии с требованиями ГОСТ 2.417–78, размеры всех элементов проводящего рисунка и их пре дельные отклонения; технические требования. Чертеж платы должен выполняться в масштабе не менее 2:1, максимальный формат А1.

Полуавтоматизированный метод предусматривает размещение навесных элементов при помощи ЭВМ при ручной трассировке печатных проводников или ручное распределение навесных элементов при автоматизированной трассировке проводников, обеспечивает ускорение процесса конструирования при оптимальном размещении проводящего рисунка. Чертеж платы должен содержать все сведения, необходимые для ее изготовления и контроля. Изображение слоев платы получают с расчерчивающего устройства в виде чертежа-схемы, фотосхемы, фотоотпечатка в масштабе 1:1 или 2:1. На чертеже-схеме и фотосхеме контактные площадки могут быть изображены условно одной окружностью. Чертеж-схему, фотосхему или фотоотпечаток наклеивают на оригинал чертежа платы.

Постоянные данные чертежа, например, технические требования, таблицу отверстий, следует впечатывать с оригинала чертежа постоянной части. Формат конструкторского документа должен быть не более А2.

Автоматизированный метод предполагает кодирование исходных данных, размещение навесных элементов и трассировку печатных проводников производить при помощи ЭВМ. Такой метод обеспечивает высокую производительность труда при изготовлении чертежей. При автоматизированном методе конструктор разрабатывает чертеж-схему кодирования, содержащий номинальные значения размеров элементов конструкции платы.

3. КОНСТРУКТОРСКИЕ РАСЧЕТЫ

3.1. КОМПОНОВОЧНЫЕ РАСЧЕТЫ БЛОКА РЭС

В комплексе работ по конструированию блока компонование является центральным процессом. Ему должен предшествовать этап анализа и упорядочения исходных данных. Под этим подразумеваются нижеследующие операции:

– раскрытие исходных данных (задания) по условиям эксплуатации на основании нормативных документов. От номера группы, класса и т.п. нужно перейти до: конкретных температур, давлений, усилий, вибраций и т.д.;

– изучение и рассмотрение стандартов, общих технических требований и норм на заданный вид аппаратуры. Следует учесть их в общем комплексе исходных данных, т.е. полностью собрать все критерии и граничные условия, убедиться в полноте состава критериев и граничных условий (технических требований), устранить неточности их формулировок, а затем желательно и упорядочить их: критерии по весомости, граничные условия по времени их использования в процессе проектирования;

– рассмотрение и изучение работы заданной схемы электрической принципиальной на проектируемый блок;

– уяснение места проектируемого блока в комплексе радиоэлектронной системы, куда он входит составной частью. Нужно понять как его функциональную роль, так и геометрическое место, где он будет установлен, как закреплен, как и кем будет использоваться, эксплуатироваться, какие могут быть у обслуживающего персонала пожелания к удобству обслуживания блока. При проектировании блока для установки в стойку, шкаф уяснить размеры предназначенного для блока гнезда, способ выемки, фиксации, подключения;

– разбивка принципиальной схемы на части (узлы) с законченным функциональным циклом и составление функциональной схемы;

– выделение среди элементов принципиальной схемы и ее функциональных узлов мест, опасных с точки зрения взаимных влияний по тепловым, магнитным, электрическим связям, а может быть, и по механическим воздействиям;

– обзор и рассмотрение аналогов, т.е. изучение вариантов компонования в конструкциях, выполняющих аналогичные задачи и созданных другими разработчиками. Источником информации на этом этапе могут служить технические журналы, книги, нормативные документы, авторские свидетельства, патенты и т.д. Особое внимание следует уделить анализу компоновочных схем аналогов (в пояснительной записке их следует привести), отметить их положительные стороны, недостатки, сделать выводы и рекомендации применительно к своей задаче.

На основании вышеупомянутых материалов необходимо:

1. Решить вопрос, из каких конструктивов будет состоять блок. Конструктивом будем называть все крупные пространственно-ограниченные составные части блока. В качестве конструктивов могут выступать модули (конструкции 1-го уровня), а также крупные ЭРЭ (трансформаторы, конденсаторы, вариометры), различные механизмы. Специфическим конструктивом можно считать лицевую панель. Ее минимально необходимые габариты будут обусловливаться суммарной площадью, необходимой для удобного размещения всех выносимых на нее элементов схемы. Глубина такого конструктива определяется по наибольшему его элементу, например, переключателю, кнопке и т.д. Состав конструктивов блока определяется на основании его функциональной схемы. При этом принимается решение, какие функциональные узлы будут представлять собой отдельные конструктивы в виде печатных плат, печатных узлов, крупных деталей, модулей, а какие будут объединены. В результате функциональная схема образуется в структурную. В ней фигурируют уже конструктивы, их связи и число соединяющих их проводов. На рис. 3.1 дается пример структурной схемы.

Все конструктивы имеют свои габариты и массу, определенный способ крепления и подсоединения к схеме, характеризуются определенными тепловыделениями, которые желательно перед компоновочными работами рассчитать хотя бы ориентировочно. За габариты конструктивов берутся

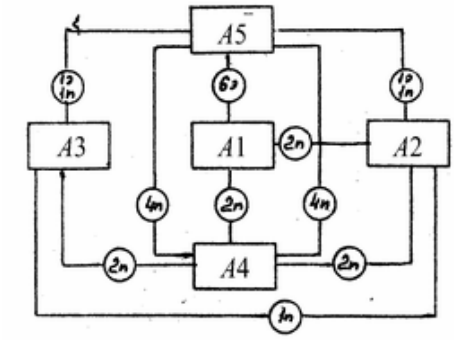


Рис. 3.1 Структурная схема осциллографа:

A1 – модуль ЭЛТ, включающий в себя электронно-лучевую трубку; *A2* – модуль, включающий в себя усилитель синхронизации, триггер синхронизации, триггер развертки, схему блокировки, генератор развертки, усилитель подсвета;
A3 – модуль *Y,* который состоит из аттенюатора, калибратора, входного каскада,
предварительного усилителя канала, трех линий задержки; *A4* – модуль питания, состоящий из стабилизатора, высоковольтного блока питания, низковольтного
блока питания; *A5* – модуль выходных усилителей; *n* – простые провода;
э – экранированные провода

3.1. Таблица габаритов

Конструктив	Габариты, мм	Масса, кг	Конструктив	Габариты, мм	Масса, кг
*A*1	50 × 240 × 70		*A*4	200 × 250 × 50	
*A*2	65 × 220 × 40		*A*5	200 × 20 × 60	
*A*3	65 × 220 × 40				

фактические (уже имеющихся в производстве или продаже функциональных узлов) или предполагаемые (на основании опыта конструктора, предварительных прикидок и расчетов, учета требований стандартизации). Ориентировочный вес конструктивов принимается, исходя из паспортной массы элементов и справочных характеристик материалов. Полученные данные рекомендуется сводить в таблицу (пример в соответствии с рис. 3.1 дан в табл. 3.1).

2. Установить цели, которые должны быть достигнуты в ходе компонования. Они могут быть общими и специальными. К общим можно, например, отнести наиболее жесткие (короткие) функциональные связи, отсутствие взаимных магнитных и электрических наводок, отсутствие тепловых влияний, нарушающих надежную работу схемы. Специальными требованиями являются, например, минимальные габариты, наименьшая масса или наименьший объем, специальная форма, особые условия доступа, особые требования по внешним воздействиям, скорость "разборки-сборки" при ремонте, удобство обслуживания, иногда высокая технологичность (дешевизна изготовления и т.д. Наиболее частым подходом является требование наименьшего объема (габаритов) при обеспечении удобства эксплуатации (ремонте). Одна из целей может быть выделена как основная.

3. Установить и отобрать критерии, по которым можно оценить степень достижения при компоновке поставленных целей. В качестве критериев следует выбирать такие, которые определяются именно процессом компонования – варьированием взаимного расположения конструктивов. Выбор критериев зависит от объекта проектирования и его назначения. Выбор является обязанностью и правом проектировщика (студента). Однако наиболее часто это:

- критерий функциональных связей $q_ф$;
- критерии использования объема q_V;
- критерии тепловых связей $q_т$;
- критерии центра тяжести (ЦТ) полученной конструкции $q_{ЦТ}$.

Остальные критерии добавляются по необходимости. Ими может быть ремонтопригодность, раскрываемость, технологичность и т.д. Не следует в качестве критериев брать независимые от компоновки величины, например, вес (массу), который не меняется от перестановки конструктивов, или экономичность, которой мы пока не знаем, или надежность, которая нечетко определяется взаимным расположением конструктивов. В качестве оценок критериев можно брать или реальные физические величины, или обобщенные по физическим величинам коэффициенты, или даже баллы, полученные на основе работы конструкторских подразделений и организаций. Примерные, часто используемые оценки КВ (связей) в баллах даны в табл. 3.2. Другие возможные способы оценок будут приводиться ниже по ходу изложения на примерах. В табл. 3.2 п. 1 – 6 относятся к функциональным связям, им присваивается общее обозначение $\varphi_Ф$; п. 7 – 9 относятся к тепловым связям $\varphi_Т$; п. 10 – 12 – к электрическим $\varphi_Э$; п.13 – к магнитным связям $\varphi_м$.

3.2. Система оценок КВ (связей) в баллах

№ п/п	Описание КВ	Баллы
1	Связь неэкранированным проводом, неограниченная по длине	10
2	Связь экранированным проводом, но неограниченная по длине	20
3	Связь экранированным или неэкранированным проводом, ограниченная по длине из-за возможных паразитных наводок или искажений сигнала	30
4	Связь экранированным проводом, ограниченная по длине из-за возможных искажений сигнала	40
5	Связь экранированным проводом, ограниченная по длине из-за: 1) возможного искажения сигнала; 2) уменьшения отношения сигнал/шум; 3) наводок	60…70
6	Связь по месту	10
7	Тепловая совместимость, требующая учета тепловыделения при размещении ЭРЭ	1
8	Тепловая совместимость, требующая естественного массообмена в изделии или экранировании	2
9	Тепловая совместимость, требующая принудительной вентиляции или других сложных средств	3
10	Электрическая совместимость, учитываемая при размещении ЭРЭ	1
11	Электрическая совместимость, требующая экранирования электрического поля	2
12	Электрическая совместимость, требующая экранирования электрического поля	4
13	Магнитная совместимость, требующая магнитного экранирования	3

Из табл. 3.2 видно, что оценки в баллах для $ф_ф$ могут на порядок превосходить остальные. Поэтому оценивание величин должно быть весьма взвешенным.

Оценками в баллах для указанных в таблице КВ можно пользоваться при всех видах компоновочных работ, если нет других более точных оценок. Таблицу можно расширить и дополнять применительно к особенностям конструируемой аппаратуры. В качестве критерия функциональных связей, кроме оценок в баллах, может быть использован также обобщенный коэффициент, учитывающий не только характер связей, но также их число и длину проводов. Например

$$q_ф = \sum_{i=1}^{n} \left(l_i,\, K_i \right),$$

где n – число функциональных связей; l – длина каждой из функциональных связей; K – коэффициент, оценивающий характер связи и вид соединительного провода (при функциональной связи в сигнальной цепи простым проводом $K = 1$; экранированный провод по сравнению с неэкранированным получает $K = 0{,}5$; вспомогательные связи могут быть допущены более протяженными по сравнению с сигнальными, что отражается также коэффициентом 0,5).
Использование объема следует оценить коэффициентом заполнения объема

$$q_V = \frac{\sum V_{\text{ЭРЭ}} + \sum V_{\text{нк}}}{V_{\text{бл}}},$$

где $V_{\text{ЭРЭ}}$ – объем ЭРЭ в блоке; $V_{\text{нк}}$ – объем несущей конструкции; $V_{\text{бл}}$ – объем блока.
Критерием положения центра тяжести можно считать удаление последнего от геометрического центра симметрии блока в линейном измерении. Всякие другие дополнительные критерии на этапе компонования проще всего можно оценивать в баллах, для чего разработчику (студенту) надо составлять примерную таблицу оценок, обосновать ее и привести в пояснительной записке.

Нахождение центра тяжести РЭС

Для оценки величины критерия положения центра тяжести следует предварительно определить координаты центра тяжести (ЦТ) блока в общем случае РЭС.
РЭС – пространственная фигура. Введем пространственную декартовую систему координат XYZ, например, так, чтобы плоскость XY была параллельна лицевой панели, а ось Z, перпендикулярная плоскости XY, была направлена вдоль корпуса по одному из его ребер.

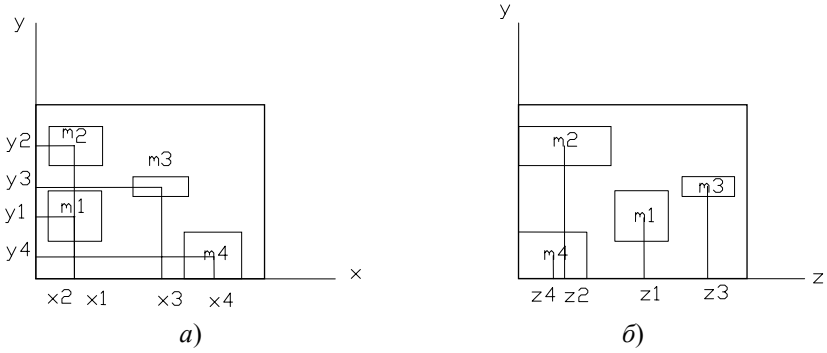


Рис. 3.2. Проекции четырех конструктивов на плоскость:
а – XY; б – YZ

Для примера на рис. 3.2, *а* представлены проекции четырех конструктивов на плоскость XY с соответствующими массами m_1 – m_4. Примем, что центр масс каждого конструктива совпадает с его геометрическим центром, как показано на рисунке. Тогда координаты ЦТ:

$$X_{\text{ЦТ}} = \frac{m_1X_1 + m_2X_2 + m_3X_3 + m_4X_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{\sum m_iX_i}{\sum m_i};$$

$$Y_{\text{ЦТ}} = \frac{m_1Y_1 + m_2Y_2 + m_3Y_3 + m_4Y_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{\sum m_iY_i}{\sum m_i}.$$

Для нахождения координаты $Z_{\text{ЦТ}}$ необходимо изобразить проекции тех же четырех конструктивов на плоскость YZ (рис. 3.2, *б*), перпендикулярную ранее рассмотренной плоскости XY. Тогда

$$Z_{\text{ЦТ}} = \frac{m_1Z_1 + m_2Z_2 + m_3Z_3 + m_4Z_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{\sum m_iZ_i}{\sum m_i}.$$

Таким образом, определили искомые три координаты ЦТ. Теперь можно определить расстояние Δl, на которое отстоит найденный ЦТ от геометрического центра РЭС

$$\Delta l = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2},$$

где ΔX, ΔY, ΔZ – разность между соответствующими координатами геометрического центра и ЦТ РЭС. Чем больше расстояние Δl, тем меньше (в баллах) величина критерия ДЦТ.
Стратегию компонования выбираем от "содержания к форме". Сформируем пять вариантов. Вариант 1 выполним по компоновочной схеме аналога (выпускавшегося ранее отечественной промышленностью осциллографа С1-73). Для вариантов 1, 3, 4, 5 главной целью поставим модульность конструкции в разном исполнении. Соответствующие вариантам компоновочные эскизы представлены на рис. 3.3, *а – д*. Их числовые характеристики сведены в табл. 3.3.

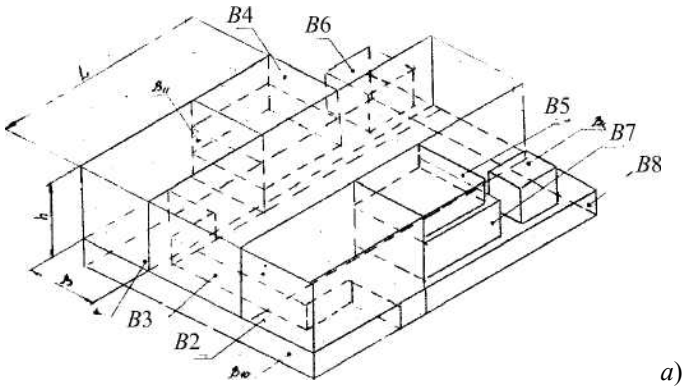


Рис. 3.3. Компоновочный эскиз:
а – вариант 1; *б* – вариант 2; *в* – вариант 3; *г* – вариант 4; *д* – вариант 5

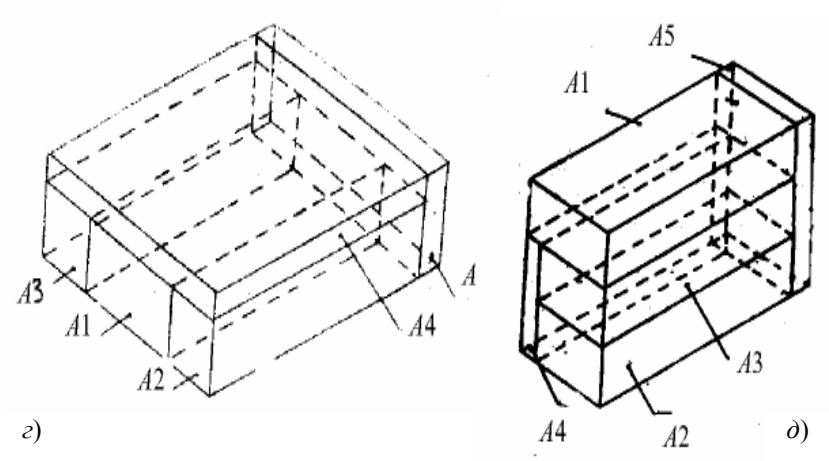


Рис. 3.3. Продолжение

3.3. Данные о конструктивах вариантов 1 – 5

№	Наименование	Количество, шт	Размер, мм		
A1	ЭЛТ	1	50	240	70
A2	Модуль X	1	65	220	40
A3	Модуль Y	1	65	220	40
A4	Модуль питания	1	200	250	20
A5	Модуль выходных усилителей X и Y	1	200	20	60

Выбор предпочтительного варианта

Выбор предпочтительного варианта следует производить на основе многокритериального сравнения. Здесь, как уже говорилось, требуется осуществить поиск некоторого разумного компромисса между большим набором весьма противоречивых критериев.

Для сравнения вариантов в полученном множестве полных пространственных кортежей студентам рекомендуется опираться на принцип Парето-оптимальности, излагаемый в ТГТУ в курсе лекций по конструированию РЭС (Вильфедо Парето – итальянский ученый, 1848 – 1923 гг.). Преимуществом данного метода является возможность попарного сравнения вариантов по строчкам критериев, т.е. возможность сравнивать оценку какого-то критерия одного варианта с оценкой точно такого же критерия другого варианта. В сравнении на данном этапе не участвуют пересчеты оценок критериев в различные обобщенные показатели с помощью малодостоверных весовых коэффициентов. В результате сравнения формируется подмножество Парето-оптимальных вариантов. Если подмножество содержит один вариант, то он и будет наиболее предпочтительным. В противном случае из данного подмножества выбирается вариант одним из следующих способов.

1. Один из частных критериев берется за основной, а на остальные накладываются ограничения. Наиболее предпочтительным будет вариант с лучшим значением основного критерия.

2. Формируется обобщенный показатель качества на основе какой-либо комбинации частных критериев, выбор варианта производится по обобщенному показателю.
Напомним методику сравнения в самом общем виде с помощью примера.
Пусть имеем восемь вариантов выполнения изделия (n = 8). Каждый вариант будем характеризовать пятью критериями (m = 5). Оценки критериев выполняем по 10-балльной системе (условно!), причем, чем выше балл, тем вариант по данному критерию лучше. Оценки вариантов сводим в табл. 3.4.

3.4. Пример сравнения вариантов

Критерии	Варианты							
	Оценки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
q_1	10	4	6	9	5	3	3	3
q_2	3	3	3	3	0	0	4	3
q_3	2	4	5	2	5	2	2	4
q_4	2	3	4	1	2	4	7	4
q_5	4	1	2	3	2	1	7	1

Идея алгоритма формирования множества $P(x)$ состоит в том, что сначала первый вариант x_1 сравнивается с x_2 и далее со всеми остальными. На основании этих сравнений первый вариант либо включается в $P(x)$, либо исключается. При сравнении x_1 и x_2 возможны три случая:
1) $y_i^{(1)} \geq y_i^{(2)}$ т.е. $x_1 > x_2$, в этом случае вариант x_2 из дальнейшего рассмотрения исключается, а x_1 сравнивается с x_3;
2) $y_i^{(1)} \leq y_i^{(2)}$, т.е. $x_1 < x_2$, в этом случае для x_1 есть более предпочтительный вариант x_2, поэтому x_1 из рассмотрения исключается;
3) $y_i^{(1)} = y_i^{(2)}$, здесь ни один из двух вариантов не имеет предпочтения перед другим, т.е. они эквивалентны или безразличны в смысле Парето
($x_1 \approx x_2$), в этом случае переходим к сравнению x_1 и x_3. Если для варианта x_1 не найдется другого, более предпочтительного, то он включается в множество $P(x)$. На этом заканчивается первая итерация. Затем во второй итерации вариант x_2 сравнивается с оставшимися и т.д., т.е. мы имеем дело с итерационным процессом.
При отборе каждый раз сравниваются только два варианта. Рассмотрим процедуру формирования $P(x)$ для условий T_i: 1-я итерация $X = x =$
$= \{x_1, ..., x_g\}$. Поочередно сравниваем оценки первого варианта с остальными, сначала сравниваем x_1 и x_2. Здесь $y_i^{(0)} < y_i^{(2))}$, так как 10 > 4; 3 = 3;
2< 4; 2 < 3; 4 > 1. В результате между вариантами можно поставить знак безразличия, т.е. $x_1 \approx x_2$. Сравнивая x_1 с другими вариантами, получаем

$$x_1 \approx x_3, x_1 \approx x_4, x_1 \approx x_5, x_1 \approx x_1, \ x_1 \approx x_7, x_1 \approx x_8.$$

В результате 1-й итерации вариант x_1 включаем в множество $P(x)$, т.е. $P(x) = \{ x_1\}$, а вариант x_4 исключаем из дальнейшего рассмотрения, так как $x_1 > x_4$.
2-я итерация. $X_2 = \{ x_2, x_3, x_5, ..., x_8\}$. Здесь вариант x_2 сравниваем с x_3 и т.д. Так как $x_2 < x_3$, то x_2 из дальнейшего рассмотрения исключаем. В результате 2-й итерации множество $P(x)$ остается прежним.
3-я итерация. $X_3 = \{x_3, x_5, ..., x_8\}$. Попарное сравнение с другими вариантами показывает: $x_3 > x_5$, $x_3 > x_6$, $x_3 \approx x_7$, $x_3 > x_8$. Таким образом, включаем x_3 в множество $P\{x)$, а варианты x_5, x_6, x_8 исключаем, так как они уступают x_3, т.е.

$$P(x) = \{x_1, x_3\}.$$

На четвертой итерации для исследования остается один вариант x_7, т.е. $X_7 = \{ x_1\}$. Данный вариант заносим в множество $P(x)$, так как для него нет более предпочтительного. Таким образом, в результате применения итерационной процедуры получаем множество из трех вариантов

$$P(x) = \{x_1, x_3, x_7\}.$$

Оптимальным может быть один из этих вариантов для выбранных пяти критериев.
Обычно в множестве $P(x)$ остается значительно меньше вариантов, чем было вначале. Поэтому задача конструктора по определению одного оптимального варианта значительно упрощается. Теоретически возможны два крайних случая. Первый – все исходные варианты останутся в множестве $P(x)$. Второй – в множестве $P(x)$ остается один вариант. Пустым множество Парето быть не может. Для выбора одного варианта из множества Парето большую роль играют интуиция и опыт конструктора, позволяющие ему на основе дополнительно вводимых критериев и соображений принять обоснованное решение.
Возвратимся к рассматриваемому примеру. Мы имеем 5 вариантов и 5 критериев: q_1 – функциональные связи; q_2 – тепловые связи; q_3 – магнитные связи; q_4 – электрические связи; q_5 – использование объема. Критериям следует дать численное значение расчетом по формулам или оценить в баллах. Результаты сводятся в табл. 3.5.

3.5. Оценка критериев

Критерии	Варианты				
	1	2	3	4	5
q_1	0,66	0,36	0,36	0,38	0,38
q_2	2,5	2,1	2,15	2,3	2,9
q_3	0,02	0,05	0,03	0,035	0,02
q_4	0,15	0,25	0,2	0,2	0,23
q_5	0,73	0,87	0,61	0,87	0,77

Для критериев q_1 и q_2 предпочтительными являются наименьшие значения, а для q_3, q_4 , q_5 – наибольшие. Пользуясь вышеприведенной методикой, устанавливаем, что предпочтительным будет вариант 2.

3.2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

Проектирование печатного монтажа включает следующие этапы:
1. По предлагаемой схеме, с учетом условий эксплуатации, произвести выбор типов электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и определить мощность рассеяния (для резисторов).
2. Обосновать выбор метода изготовления печатной платы (ПП), исходя из технологических возможностей класса точности ПП
(ОСТ 4.010.022-85).
3. Изучить основные требования по конструированию печатного монтажа (ГОСТ 23752-79).
4. Произвести расчет параметров электрических соединений.
5. Разработать компоновочный эскиз модуля на печатном монтаже.
6. Рассчитать электрические характеристики.
7. Рассчитать паразитные связи на печатной плате.

Указания к выполнению этапа 1

Выбор ЭРЭ, установочных, монтажных, крепежных и других элементов конструкции должен производиться, прежде всего, исходя из требований схемы и условий эксплуатации РЭС. При этом целесообразно придерживаться следующих рекомендаций:

– применять изделия только серийного или массового производства стандартные или унифицированные;
– сводить к минимуму количество типономиналов изделий;
– не применять ЭРЭ и другие комплектующие изделия в условиях и режимах, превышающих установленные нормативной документацией (ГОСТ, ОСТ, СТП, ТУ);
– учитывать надежность, долговременную и температурную стабильность, точность и стоимость изделий.

Выбрав нужный элемент по справочникам, ГОСТам, ОСТам или ТУ, студенту необходимо перенести в рабочую тетрадь габаритные и установочные размеры элемента и его полную запись в конструкторской документации.

Указания к выполнению этапа 2

Выполняя этот этап задания, необходимо учитывать, что основные параметры печатных плат, разрешающая способность, допустимая плотность тока, электрическое сопротивление проводников, пробивное напряжение между проводниками, диэлектрические потери, сопротивление изоляции, прочность сцепления проводников с основанием, прочность закрепления навесных элементов, стоимость зависят от метода изготовления и материала основания.
Для избежания затруднений при сравнении параметров печатных плат, полученных разными технологическими методами, по литературным источникам, где иногда встречаются трудносопоставляемые характеристики, необходимо учитывать следующие положения:

– разрешающая способность и пробивное напряжение выше у плат, полученных фотохимическим и комбинированным позитивным методами, так как химическое травление дает более четкий край проводников, чем электрохимическое наращивание;
– удельное сопротивление r_v проводников из медной фольги составляет 17,5 – 18 Ом·м, что близко к r_v объемных медных проводников (15,4 –
18 Ом·м); r_v проводников, получаемых электрохимическим методом, в
1,3 – 1,5 раза выше, чем фольгированных;
– допустимая плотность тока у печатных проводников из-за развитой поверхности выше, чем у объемных: у фольгированных она составляет с учетом $J_{доп}$ 30 А/мм^2; у проводников из электрохимического слоя меди – 20 А/мм^2; у объемных 5 – 10 А/мм^2;
– адгезия проводника к основанию у фольгированных проводников лучше, чем у электрохимических; закрепление же выводов навесных элементов прочнее и надежнее в платах, изготавливаемых электрохимическим методом;
– при электрохимическом методе меньше расход меди, чем при химическом, кроме того, шире выбор материалов в качестве основания и обеспечиваются электрические переходы с одной стороны платы на другую по металлизированным монтажным отверстиям;

– комбинированный метод объединяет положительные качества химического и электрохимического методов, но за счет усложнения технологии и увеличения расхода меди дает более высокую стоимость печатных плат.

Выбор диэлектриков для печатных плат необходимо обосновать путем сравнительного анализа их основных характеристик, электрической прочности, сопротивления изоляции, диэлектрической проницаемости, диэлектрических потерь, устойчивости к действию травильных растворов, механических свойств (сопротивление изгибу, ударная вязкость, штампуемость), влагостойкости, стойкости к термоудару (до 200 – 250 °С) и их соответствия условиям эксплуатации и выбранному методу изготовления. Указанные характеристики должны быть найдены по нормативным документам (см. колонку ГОСТ или ТУ в табл. 3.6).

3.6. Рекомендуемые марки материалов для печатных плат

Метод изготовления	Марка материала	ГОСТ, ТУ	Толщина материала, мм
Фотохимический	Стеклотекстолит фольгированный СФ-1	ГОСТ 10316-70 МРТУ 16-509 001-64	0,8-3
Фотоэлектро-химический	Гетинакс электротехнический ЭВ (н. ч.)	СТУ-3б-1404-62	1,5-3
	Гетинакс Гв-50 (в. ч.)	СТ-2718-54	1,5-3
Комбиниро-ванный	Стеклотекстолит фольгированный СФ-2001-64	ГОСТ 10316-70 МРТУ 16-509	0,5-3
	Низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД 180-2	ТУ ИЖ 44-65	1,5-2

Указания к выполнению этапа 3

Изучая основные требования по конструированию РЭС на печатном монтаже, необходимо выделить и запомнить следующие положения.

Конструируя РЭС с применением печатного монтажа следует строго придерживаться функционально-узлового метода, основным принципом которого является схемная, конструктивная и технологическая законченность сборочных единиц, простейшие из которых получили название функциональных узлов (модулей). Если электрическая схема и конструкция узлов унифицированы, то они называются унифицированными функциональными узлами (УФУ).

Выбирать габариты и места расположения выходных контактов следует из рядов типоразмеров УФУ, так как в результате такого ограничения удается значительно повысить плотность заполнения объема частей РЭС, находящихся на более высоком структурном уровне. Размеры печатных плат для УФУ и, следовательно, для модулей должны соответствовать выражению

$$(36n-2)(14m-2),$$

где n и m – целые числа.

Если число ЭРЭ в модуле меньше 30, то надо применять типоразмеры при $n = 1$, т.е. из ряда

$$34(14m-2).$$

При выборе соотношения сторон платы предпочтительными являются соотношения менее 3:1 групповой заготовки 2:1.

Для модуля с планарными выводами ключ (срез 2 × 45°) должен располагаться в верхнем углу платы, для модуля со штыревыми выводами – в нижнем левом углу.

При конструировании модулей необходимо учитывать, что по периметру платы располагаются технологические зоны и отверстия для выходных и крепежных контактов. Технологические зоны нельзя занимать печатным монтажом и навесными элементами.

Центры отверстий под выводы ЭРЭ (кроме отверстий под выводы некоторых типов многоконтактных элементов) должны располагаться в узлах координатной сетки. Шаг координатной сетки согласно ГОСТ 10317–79 равен 2,5 мм, в особо малогабаритных платах допускается шаг 1,25 мм и 0,525 (0,5) мм. Для многоконтактного элемента центр его симметрии должен совпадать с узлом координатной сетки, и хотя бы одно монтажное отверстие должно располагаться на линии сетки, проходящей через центр симметрии. Этих же правил следует придерживаться при установке интегральных схем (ИС). Для ИС с планарными выводами монтажные отверстия не нужны, ленточные выводы этих ИС припаиваются или привариваются внахлест к контактным площадкам, имеющим форму прямоугольника.

Элементы должны размещаться параллельно сторонам платы. Для обеспечения большей надежности закрепления элементов условную ось, проходящую через точки крепления элементов с двумя выводами, необходимо располагать параллельно направлению наибольших перегрузок, действующих на изделие.

В большинстве случаев ЭРЭ с массой до 5 – 10 г крепятся к плате выводами, которые воспринимают все усилия, возникающие при действии вибраций и ударов. Прочность на разрыв проволоки марки ММ, из которой выполняются выводы, имеет следующие значения:

Диаметр вывода, мм ……0,3; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0
Разрушающее усилие, Н …….15; 30; 60; 120; 180

Номинальный диаметр монтажных отверстий устанавливают исходя из соотношения

$$D-\left|D_{\text{н.о}}\right|>-D_{\text{Э}}+r,$$

где $D_{\text{н.о}}$ – нижнее предельное отклонение диаметра отверстия; $D_{\text{Э}}$ – максимальное значение диаметра вывода ЭРЭ; r – разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода ЭРЭ.

Расчетное значение диаметра отверстия следует округлять в сторону увеличения до десятых долей миллиметра. Диаметр монтажного отверстия выбирают таким, чтобы значение r было от 0,1 до 0,4 мм при ручной установке ЭРЭ и от 0,4 до 0,5 мм – при автоматической. Рекомендуется увязывать диаметр металлизированного отверстия D и толщину печатной платы $H_п$ таким образом, чтобы соотношение $D / H_п$ было не менее 1:3.

Диаметры отверстий под выводы должны соответствовать ГОСТ 10317–79 и выбираются из следующего ряда: 0,6; 0,8; 1,0; 1,3; 1,5; 1,8; 2,0; 2,4 мм.

В платах, полученных фотохимическим методом, должна быть предусмотрена установка пустотелых заклепок в монтажные отверстия, предназначенные для внешних соединений и для выводов, подбираемых при настройке элементов. Материал заклепки – трубка 1,7 × 0,2 из латуни ЛТ96. Диаметр отверстия под заклепку берется на 0,1 мм больше ее внешнего диаметра.

В платах, изготавливаемых электрохимическим или комбинированным методом, монтажные отверстия должны быть зенкованы с двух сторон согласно данным табл. 3.7.

Элементы с массой более 10 – 20 г (малогабаритные трансформаторы, разъемы, ряд бумажных и электролитических конденсаторов и др.) должны дополнительно закрепляться с помощью хомутов, скоб, специальных держателей, прижимных планок и т.д. Особо тяжелые и крупногабаритные детали целесообразно размещать вне платы.

3.7. Допуски на расположение контактных отверстий

Параметры	Класс точности ПП			
	1	2	3	4
Минимальное значение номинальной ширины проводника B, мм	0,60	0,45	0,25	0,15
Номинальное расстояние между проводниками S, мм	0,60	0,45	0,25	0,15
Отношение диаметра отверстия к толщине платы, Y	0,50	0,50	0,33	0,33
Допуск на отверстие ΔD, мм без металлизации:				
∅ < 1	± 0,10	± 0,10	± 0,05	± 0,05
∅ > 1	± 0,15	± 0,15	± 0,10	± 0,10
Допуск на отверстие ΔD, мм с металлизацией:	± 0,10 – 0,15	± 0,10 – 0,15	± 0,10 – 0,10	± 0,10 0,10
∅ < 1	± 0,15	± 0,15	± 0,10	± 0,10
∅ > 1	– 0,20	– 0,20	– 0,15	– 0,15
Допуск на ширину проводника ΔB, мм:	± 0,15	± 0,10	0,03 –0,05	± 0,03
без покрытия	+ 0,25	+ 0,15	0,10	± 0,05
с покрытием	– 0,20	– 0,10	–0,08	
Допуск на расположение отверстий δD, мм при размере платы:				
менее 180 мм	0,20	0,15	0,08	0,05
180 – 360 мм	0,25	0,20	0,10	0,08
более 360 мм	0,30	0,25	0,15	0,10
Допуск на расположение контактных площадок δP, мм на ОПП и ДПП при размере платы:				
менее 180 мм	0,35	0,25	0,20	0,15
180 – 360 мм	0,40	0,30	0,25	0,20
более 360 мм	0,45	0,35	0,30	0,25
Допуск на расположение проводников на ОПП и ДПП δL, мм	0,15	0,10	0,05	0,03
Расстояние от края просветленного отверстия до края контактной площадки $B_м$, мм	0,06	0,045	0,035	0,025

Ширину печатного проводника определяют в зависимости от электрических, конструктивных и технологических требований. Наименьшая номинальная ширина печатного проводника, мм рассчитывается как

$$B = B_{\min d} + \left[B_{н.о}\right],$$

где $B_{\min d}$ – минимальная допустимая ширина печатного проводника; $B_{н.о.}$ – нижнее предельное отклонение ширины печатного проводника. Наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника рекомендуется устанавливать в зависимости от класса точности (см. табл. 3.7).

Рекомендуемая ширина контактной площадки 0,5 – 0,8 мм, т.е. ее наружный диаметр для отверстия 1 мм без зенковки равен 2 – 2,6 мм, при наличии зенковки ширина площадки считается от диаметра зенковки.
В узких местах разрешается делать подрезку кольца контактной площадки с одной или двух сторон до ширины 0,15 мм при химическом методе изготовления и до диаметра зенковки – при электрохимическом и комбинированном методах изготовления. При подрезке рекомендуется сохранять площадь контактных площадок за счет увеличения их ширины в свободные стороны.
При прокладке печатных проводников необходимо стремиться к сокращению их длины, равномерному расположению по площади платы, следить за тем, чтобы взаимные наводки и связи между проводниками были минимальными. Эквипотенциальные точки платы следует соединять последовательным обходом проводника, делать отверстия от проводников нежелательно.
В местах изгибов проводников и соединений их с контактными площадками плавные сопряжения, как правило, не предусматриваются. Если по техническим условиям на модуль требуется скругление углов (например, в высоковольтных цепях), то это особо оговаривается на чертеже, так как плавные сопряжения можно получить только при ручном методе изготовления фотооригиналов.
В случае необходимости (для устранения пересечения печатных проводников) допускается установка проволочных перемычек. Если количество перемычек превышает 10 % от числа проводников, то следует перейти на двухсторонний монтаж. Для перемычек надо применять медную мягкую проволоку марки ММ (ГОСТ 242–79) диаметром 0,8 мм, луженую, в изоляционной трубке или без нее.
Навесные ЭРЭ и перемычки должны быть установлены с одной стороны печатной платы, чтобы можно было выполнить групповую пайку погружением или волной припоя.
Место сгиба вывода от корпуса элемента и длина вывода от корпуса элемента до места пайки должны быть выбраны в соответствии с ТУ на элемент. На платах с односторонним расположением печатных проводников элементы устанавливаются вплотную к плате, с двухсторонним зазором 1 мм (для ИС зазор – 0,3 мм). Расстояние между корпусами соседних элементов должно быть не менее 0,5 мм.
При размещении элементов особое внимание должно уделяться обеспечению нормального теплового режима: тепловыделяющие элементы располагают равномерно по поверхности платы, теплочувствительные элементы по возможности удаляют от тепловыделяющих, в необходимых случаях применяют тепловые экраны и радиаторы.
Для соединения с внешней схемой в модуле должны быть установлены переходные контакты или разъем.

Модуль после сборки, настройки и проверки необходимо покрыть защитным лаком (наиболее распространены лаки УР-231 и Э-4100).

Указания к выполнению этапа 4

Расчет печатного монтажа состоит из трех этапов: расчеты по постоянному и переменному току и конструктивно-технологический расчет. Ниже приводится рекомендуемый порядок расчета.
Исходя из технологических возможностей производства выбирается метод изготовления и класс точности ПП (ОСТ 4.010.022-85).
Определяем минимальную ширину печатного проводника по постоянному току для цепей питания и заземления

$$B_{\min 1} = I_{\max} / \left(I_{\text{доп}} t\right),$$

где $I_{\max}$ – максимальный постоянный ток, протекающий в проводниках (определяется из анализа электрической схемы); $I_{\text{доп}}$ – допустимая плотность тока, выбирается в зависимости от метода изготовления из табл. 3.7; t – толщина проводника, мм.
Определяем минимальную ширину проводника, исходя из допустимого падения напряжения на нем

$$B_{\min 2} = r I_{\max} L / \left(t U_{\text{доп}}\right),$$

где r – удельное объемное сопротивление из табл. 3.9; L – длина проводника, м; $U_{\text{доп}}$ – допустимое падение напряжения, определяется из анализа электрической схемы. Допустимое падение напряжения на проводнике не должно превышать 5 % от питающего напряжения для микросхем и не более запаса помехоустойчивости микросхем.
Определяем номинальное значение диаметров монтажных отверстий D

$$D = D_{\text{Э}} + \left|D_{\text{н.о}}\right| + R,$$

где $D_{\text{Э}}$ – максимальный диаметр вывода устанавливаемого ЭРЭ; $D_{\text{н.о}}$ – нижнее предельное отклонение от номинального диаметра монтажного отверстия; R – разница между минимальным диаметром отверстия и максимальным диаметром вывода ЭРЭ, ее выбирают в пределах 0,1 – 0,4 мм. Рассчитанные значения D сводят к предпочтительному ряду отверстий: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм. При этом следует учитывать, что минимальный диаметр металлизированного отверстия

$$D_{\min} \geq H_{\text{рас}} Y,$$

где $H_{\text{рас}}$ – расчетная толщина платы; Y – отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы (см. табл. 3.7).
Рассчитываем диаметр контактных площадок. Минимальный диаметр контактных площадок для ОПП, изготовленных *химическим методом:*

$$D_{\min} = D_{\min} + 1{,}5 H_{\text{ф}},$$

где $H_{\text{ф}}$ – толщина фольги; D_{minl} – минимальный эффективный диаметр площадки.

$$D_{\min 1} = 2\left(B_m + D/2 + \delta D + \delta P\right),$$

где B_m – расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки; δD и δP – допуски на расположение отверстий и контактных площадок (табл. 3.7); $D_{\max}$ – максимальный диаметр просверленного отверстия

$$D_{\max} = D + \Delta D + (0{,}1 - 0{,}15),$$

где ΔD – допуск на отверстие.

Минимальный диаметр контактных площадок для ДПП, изготовленных *комбинированным позитивным методом:*

– при фотохимическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 1{,}5H_{ф} + 0{,}03;$$

– при сеточнографическом получении рисунка

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 1{,}5H_{ф} + 0{,}08.$$

Для ДПП, изготовляемых *электрохимическим методом:*

– при фотохимическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 0{,}03;$$

– при сеточнографическом способе получения рисунка

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 0{,}08.$$

Максимальный диаметр контактной площадки

$$D_{\max} = D_{\min} + (0{,}02 - 0{,}06).$$

Определяем ширину проводников. Минимальная ширина проводников для ОПП, изготовляемых *химическим методом*:

$$B_{\min} = B_{\min 1} + 1{,}5H_{ф},$$

где $B_{\min 1}$ – минимальная эффективная ширина проводника.

$B_{\min 1}$ = 0,18 мм для плат 1, 2 и 3-го классов точности, $B_{\min 1}$ = 0,15 мм для плат 4-го класса точности. Минимальная ширина проводников для ДПП, изготовляемых *комбинированным позитивным методом:*

– при фотохимическом способе получения рисунка

$$B_{\min} = B_{\min 1} + 1{,}5H_{ф} + 0{,}03\ ;$$

– при сеточнографическом способе получения рисунка

$$B_{\min} = B_{\min 1} + 1{,}5H_{ф} + 0{,}08\ .$$

Для ДПП, изготовляемых *электрохимическим методом:*

– при фотохимическом способе получения рисунка

$$B_{\min} = B_{\min 1} + 0{,}03\ ;$$

– при сеточнографическом способе получения рисунка

$$B_{\min} = B_{\min 1} + 0{,}08\ .$$

Максимальная ширина проводников

$$B_{\max} = B_{\min} + (0{,}02 - 0{,}06).$$

Определяем минимальное расстояние между элементами проводящего рисунка.

Минимальное расстояние между проводником и контактной площадкой

$$S_{1\min} = L_0 - [(D_{\max}/2 + \delta P) + (B_{\max}/2 + \delta L)],$$

где L_0 – расстояние между центрами рассматриваемых элементов; δL – допуск на расположение проводников (табл. 3.7).

Минимальное расстояние между двумя контактными площадками

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

Минимальное расстояние между проводниками

$$S_{3\min} = L_0 - (D_{\max} + 2\delta L).$$

Указания к выполнению этапа 5

Для разработки компоновочного эскиза необходимо подготовить силуэты (аппликации) всех ЭРЭ, из которых состоит схема, в том положении, как они будут проектироваться на плату после монтажа в масштабе
М2:1 или М4:1. Силуэты вырезают из плотной бумаги.

Для координатной сетки удобно использовать лист миллиметровки (формат А3), на ней интервалы между двумя соседними параллельными линиями будут равны для М2:1 – 5 клеток (5 мм), для М4:1 – 10 клеток
(10 мм). По периметру листа оставляют чистую полосу шириной 15 – 20 мм.

После того, как лист с координатной сеткой подготовлен, надо приступить к выбору оптимального варианта раскладки ЭРЭ и соединительных проводников на плате, для чего силуэты всех элементов разместить на поле чертежа и путем логического анализа в соответствии с электрической принципиальной схемой найти такой вариант размещения, при котором занимаемая элементами площадь минимальна, а соединительные проводники наиболее короткие, вход разнесен с выходом и источником питания, перемычек нет совсем или их количество минимально.

Для ориентировочного выбора площади платы нужно учитывать коэффициент заполнения $K_з$, равный 0,5 – 0,7:

$$S_{пл} = S_{эл}/K_з\ ,$$

где $S_{эл}$ – площадь элемента; $S_{пл}$ – площадь платы.
По полученному значению $S_{пл}$ подобрать подходящий типоразмер платы из ряда унифицированных (см. ГОСТ 23752–79).
В том случае, когда заданы размеры платы, раскладку необходимо производить, исходя из равномерного заполнения элементами всей площади платы.
После выбора варианта размещения следует нанести на бумагу изображение ЭРЭ по контуру силуэтов сплошной тонкой линией. Внутри контура элемента поставить его схемное обозначение. Здесь же надо нанести базовые, монтажные и другие необходимые отверстия. После размещения элементов еще раз проверить, разместятся ли все печатные проводники, и нанести их на эскиз.
Двусторонний монтаж применяют только тогда, когда на одной стороне не удается развести все печатные проводники или число перемычек превышает 10 % от числа проводников. При двустороннем печатном монтаже проводники, принадлежащие одной стороне, проводят сплошной линией, а проводники второй стороны – пунктирной.
Окончательный вариант компоновочного эскиза модуля должен быть согласован с преподавателем.

Указания к выполнению этапа 6

Электрическое сопротивление печатных проводников. При необходимости сопротивление печатных проводников с покрытием R_c, Ом определяют по формуле

$$R_c = r/h\left(L_1/t_1 + ... + L_k/t_k\right),$$

где r – удельное электрическое сопротивление; h – толщина печатного проводника с покрытием; k – количество участков печатного проводника; L_i – длина i-го участка печатного проводчика шириной t_i.
При определении сопротивления печатного проводника, имеющего дополнительное покрытие толщиной менее 12 мкм с относительно высоким удельным сопротивлением (никелевое, оловянное, палладиевое), как правило, учитывают только сопротивление медного слоя, а сопротивление покрытий не принимают во внимание. При толщине дополнительного покрытия более 12 мкм сопротивление печатного проводника определяют как сумму сопротивлений отдельных слоев. Сопротивление медного печатного проводника с дополнительным медным покрытием рассчитывают, исходя из их суммарной толщины. Удельное электрическое сопротивление наиболее часто применяемых металлов приведено в табл. 3.8.

3.8. Удельное сопротивление металлов

Металл	Удельное электрическое сопротивление металла, $r \cdot 10^8$	Металл	Удельное электрическое сопротивление металла, $r \cdot 10^8$
Медная фольга	1,72	Палладий	10,80
Гальваническая медь	1,90	Никель	7,80
Химическая медь	2,80	Серебро	1,59
Золото	2,22		

Электрическое сопротивление печатного проводника без покрытия рассчитывают по формуле

$$R = \left(R_1 L_1 + ... + R_k L_k\right),$$

где R_i – электрическое сопротивление i-го участка печатного проводника постоянной ширины и толщины, определяемое для заданных значений температуры по графику (рис. 3.4).
Нагрузочная способность по току:
а) Для печатных плат, критичных к рассеивающей мощности с их поверхности, и печатных проводников, допускающих прохождение тока большой плотности, нагрузочную способность по току следует выбирать с использованием графика рис. 3.5.
На графике приведена нагрузочная способность по току одиночных печатных проводников постоянной ширины, расположенных на большем расстоянии, чем ширина печатных проводников, при нормировании перегрева до различных температур в условиях естественной конвекции.
б) Допустимую токовую нагрузку на элементы проводящего рисунка выбирают из условия допустимого превышения температуры печатного проводника над температурой окружающей среды. Например, для проводника толщиной 35 мкм, шириной 1 мм при перегреве на 20 °С нагрузочная способность по току составляет 3 А.

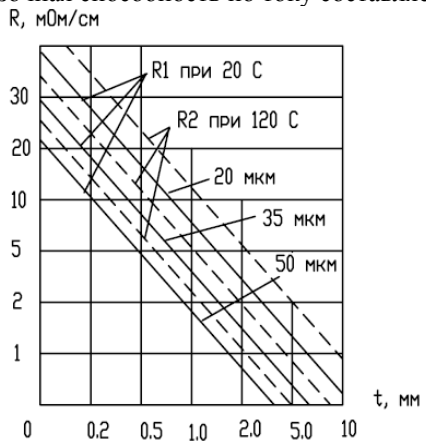


Рис. 3.4. Электрическое сопротивление участка печатного проводника

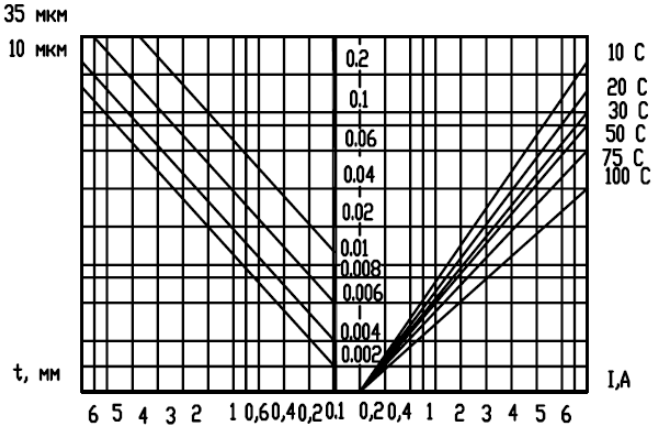


Рис. 3.5. Нагрузочная способность по току одиночных печатных проводников постоянной ширины

в) Для печатных проводников, имеющих дополнительное металлическое покрытие менее 12 мкм, за толщину проводника принимается толщина основного и проводящего слоя (фольги). Для проводников, имеющих дополнительное покрытие толщиной более 12 мкм, за толщину принимают суммарную толщину проводника основной и дополнительно осажденной меди.

г) Значение допустимой токовой нагрузки следует уменьшать:

- на 15 % для печатных проводников, расположенных на расстоянии, равном или меньшем их ширины;
- на 40 % для печатных проводников из гальванически осажденной меди на тонкомерной фольге;
- в 2 раза для печатных проводников из химически осажденной меди по аддитивной технологии.

Электрическая прочность изоляции:

а) Значение допустимого рабочего напряжения между элементами проводящего рисунка, расположенными в одном слое или в соседних слоях, выбирают по ГОСТ 23751–79.

б) Минимально допустимое расстояние между соседними элементами проводящего рисунка, расположенными в одном слое иди в соседних слоях, следует устанавливать в соответствии с рабочим напряжением.

Указания к выполнению этапа 7

В печатных платах необходимо стремиться к уменьшению величины и влияний паразитных связей схемных элементов (сопротивление и индуктивность печатных проводников, емкость и взаимная индуктивность в парах проводников). Емкостные и индуктивные взаимовлияния соседних участков схемы должны быть минимальными. Они зависят соответственно, от паразитной емкости C и паразитной взаимоиндукции M между печатными проводниками. Паразитная емкость между печатными проводниками

$$C = C_{\text{пог}} L_1 ,$$

где $C_{\text{пог}}$ – погонная емкость между двумя проводниками, пф/см; L_1 – длина взаимного перекрытия проводников, см.

Погонная емкость между двумя проводниками

$$C_{\text{пог}} = K_{\text{п}} \varepsilon ,$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент пропорциональности, определяемый по рис. 3.6; ε – диэлектрическая проницаемость среды (для проводников на поверхности платы $\varepsilon = 0{,}5(\varepsilon_{\text{в}} + \varepsilon_{\text{п}})$; $\varepsilon_{\text{в}}$ – диэлектрическая проницаемость воздуха; $\varepsilon_{\text{п}}$ – диэлектрическая проницаемость материала платы).

Диэлектрическая проницаемость для плат, покрытых лаком

$$\varepsilon = 0{,}5(\varepsilon_{\text{л}} + \varepsilon_{\text{п}}),$$

где $\varepsilon_{\text{л}}$ – диэлектрическая проницаемость лака.

Зависимость погонной емкости между двумя печатными проводниками, расположенными друг под другом на соседних слоях и между соседними печатными проводниками одного слоя, от ширины проводника приведена соответственно в табл. 3.9 и 3.10.

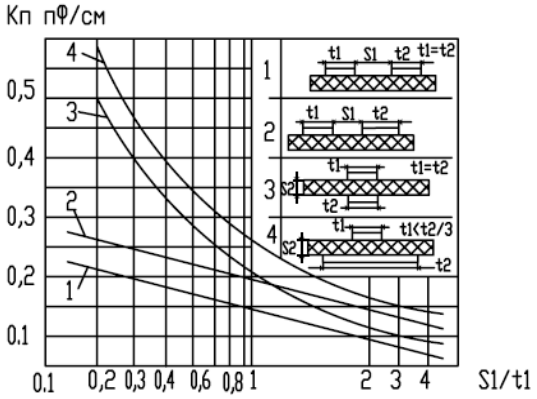


Рис. 3.6. Зависимость коэффициента пропорциональности $K_п$ от параметров ПП:
s_1, s_2 – расстояние между печатными проводниками;
t_1, t_2 – ширина печатных проводников

3.9. Зависимость погонной емкости между двумя печатными проводниками от ширины проводника

Ширина проводника, мм	ДПП толщиной 1,5 мм
0,3	0,60
0,4	0,66
0,5	0,72
0,6	0,75
0,8	0,90
1,0	0,96
1,5	1,2
2,0	1,6
5,0	2,6

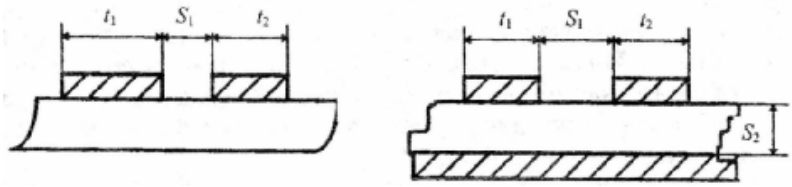
Паразитная емкость проводника в системе из трех и более проводников равна сумме паразитных емкостей пар проводников.
Индуктивность печатного проводника

$$L = L_{пог} l_2 ,$$

где $L_{пог}$ – погонная индуктивность печатного проводника, мкГн/см; l_2 – длина печатного проводника, см.
Погонную индуктивность печатного проводника можно определить по рис. 3.8.

3.10. Зависимость погонной емкости между соседними печатными проводниками одного слоя от ширины проводника

Ширина проводника, мм	Расстояние между проводниками, мм	ДПП	
		нелакированная ε = 3,5	лакированная ε = 5
0,3	0,3	0,58	0,75
0,3	0,4	0,47	0,68
0,3	0,5	0,44	0,63
0,3	0,6	0,42	0,60
0,3	1,0	0,33	0,48
0,3	1,5	0,32	0,45
0,4	0,3	0,58	0,83
0,4	0,4	0,58	0,75
0,5	0,3	0,63	0,90
0,5	0,5	0,58	0,75
0,6	0,2	0,70	1,00
0,6	0,3	0,67	0,95
0,6	0,4	0,60	0,85
0,6	0,5	0,56	0,80
0,6	0,6	0,58	0,75
0,6	1,0	0,46	0,65
0,6	1,5	0,39	0,55



а) *б*)

Рис. 3.7. Плата:
а – без экранирующей плоскости; *б* – с экранирующей плоскостью

При оценке допустимых паразитных связей на ПП необходимо учитывать динамическую помехоустойчивость цифровых микросхем или снижение коэффициента усиления аналоговых микросхем. Динамическая помехоустойчивость цифровых микросхем бывает двух видов: ложное срабатывание помеха может привести к переключению микросхем, не предусмотренному алгоритмом работы); сбой сигнала (помеха накладывается на информационный сигнал и препятствует переключению микросхем

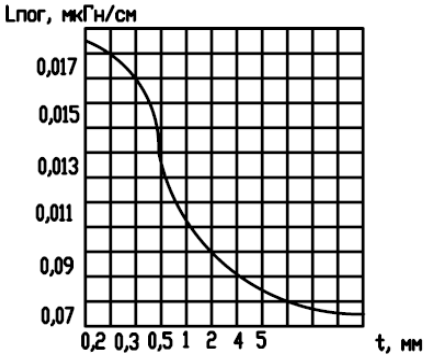


Рис. 3.8. Зависимость погонной индуктивности печатного проводника от ширины
(толщина проводника 0,05 мм)

в соответствии с алгоритмом их работы). Сбой сигнала следует учитывать при максимальном быстродействии, при этом обеспечивается условие отсутствия ложных срабатываний. При длительности информационного сигнала, большей 5Тздр.ср (время задержки срабатывания), следует учитывать ложное срабатывание цифровой микросхемы, при этом обеспечивается условие отсутствия сбоя сигнала.

Динамическая помехоустойчивость микросхем при ложном срабатывании характеризуется амплитудой импульса помехи и длительностью помехи. Допустимая амплитуда импульса помех для некоторых серий микросхем приведена в табл. 3.11.

Допустимую паразитную емкость между проводниками входа и выхода вычисляют при снижении коэффициента усиления на 10 %. Для аналоговых микросхем серии 140 допустимая паразитная емкость составляет 10 пФ, а для серии 740 – 25 пФ.

Допустимая индуктивность шин заземления в зависимости от протекающего тока приведена в табл. 3.12.

Допустимая длина параллельно расположенных соседних проводников с учетом одновременного действия емкостной и индуктивной паразитных связей

$$L_{\text{доп}} = L_{c\text{доп}} L_{m\text{доп}} / \left(L_{c\text{доп}} + L_{m\text{доп}} \right),$$

где $L_{c\text{доп}}$ – допустимая длина параллельно расположенных соседних проводников при воздействии только емкостной паразитной связи

$$L_{c\text{доп}} = C_{\text{доп}} / C,$$

где $L_{\text{доп}}$ – допустимая длина параллельно расположенных соседних проводников при воздействии только индуктивной паразитной связи:

$$L_{m\text{доп}} = \left[T_{\text{здр.ср}} / \left(U_{\text{пу}} + U_0 \right) \right] / K_m \Delta I$$

где $U_{\text{пу}}$ – помехоустойчивость микросхемы, приводимая в ТУ, В; U_0 – значение логического нуля, приводимое в ТУ, В; K_m – коэффициент запаса (от 0,5 до 1); ΔI – перепад тока в цепи питания при переключении микросхемы, А.

3.11. Допустимая паразитная емкость между двумя соседними проводниками при сбое сигнала, пФ

Серия микросхемы	Длительность импульсных сигналов			
	$2T_{здр.ср}$	$3T_{здр.ср}$	$4T_{здр.ср}$	$5T_{здр.ср}$
104	20	40	50	70
106	6	15	30	50
113	7	10	15	22
114	10	15	20	25
130	4	12	20	35
133	10	25	40	50
1	2	3	4	5
134	10	25	37	50
136	10	25	45	60
137	3	15	40	80
138	5	15	40	80
155	10	25	40	60
187	10	20	30	45
211	10	15	20	30
217	5	8	10	20
229	10	20	30	40
230	10	22	35	50
231	10	15	30	50
240	15	22	30	40
250	10	20	30	50

Допустимая длина трех параллельно расположенных проводников (сигнальных шин) при одновременном переключении микросхем в двух активных цепях

$$L_{доп} = 0{,}5L_{доп}\ .$$

Допустимая длина шины заземления

$$L_{з.доп} = L_{доп} / L_{пог}\ .$$

Для обеспечения помехоустойчивости ПП с цифровыми микросхемами необходимо обеспечивать минимальную длину соединительных проводников между микросхемами. Печатные проводники должны быть по

3.12. Допустимая индуктивность, мкГн, шин заземления

Серия микро-схемы	Перепад импульсного тока в шине заземления, мА.											
	200	180	160	140	120	100	90	80	60	40	20	15
104	–	0,06	0,08	0.1	0,11	0,15	0,2	0,25	0,36	0,5	–	–
106	0,25	0,3	0,36	0,4	0,44	–	–	–	–	–	–	–
113	–	0,06	0,08	0,1	0,16	0,23	0,26	0,3	0,37	0,47	0,6	–
114	0,33	0,44	0,55	0,8	–		–	–	–	–		–
130	–	–	0,04	0,14	0,27	0,46	0,54	0,63	–	–	–	–
133	–	–	0,04	0,14	0,27	0,45	0,54	0,63	–	–	–	–
134	0,08	0,12	0,18	0,37	0,4	0,6	–	–	–	–	–	–
136	0,16	0,23	0,32	0,44	0,8	–	–	–	–	–	–	–
137	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,08	0,4	0,6
138	–	–	–	–	–	0,36	–	–	–	–	0,22	0,37
155	0,1	0,12	0,15	0,2	0,25	–	0,4	0,45	–	–	–	–
187	–	–	–	–	–	0,08	–	–	0,08	0,25	0,6	–
211	–	–	–	–	0,06	0,05	ОД	0,15	0,26	0,35	0,52	
317	–	–	–	–	–	–	0,1	0,16	0,35	0,4	0,55	–
229	–	–	–	–	–	–	0,12	0,27	0,27	0,35	–	–
230	–	–	–	–	–	–	0,3	0,42	0,6	–	–	–
231	–	–	–	–	0,35	0,4	0,6	–	–	–	–	–
240	–	–	0,08	0,12	0,32	0,6	–	–	–	–	–	–
250	0,08	0,12	0,24	0,36	0,5	0,6	–	–	–	–	–	–

возможности короче, так как паразитные индуктивности и емкости пропорциональны длине проводников. Поэтому размещение компонентов должно быть настолько плотным, чтобы длины соединяющих проводников были соизмеримы с их размерами. При этом следует увеличивать расстояние между соседними проводниками и располагать проводники в соседних слоях во взаимно перпендикулярных направлениях. Длины проводников не должны превышать допустимых для обеспечения помехоустойчивости микросхем. При определении допустимых длин проводников на платах с теплоотводящими шинами необходимо учитывать емкость между теплоотводящими шинами и печатными проводниками соседних слоев платы. Для снижения уровня помех, обусловленных индуктивностью шин питания и заземления, следует увеличивать ширину шин до 5 мм, располагая их друг под другом на соседних слоях или выполняя в виде смежных

плоскостей с целью получения возможно большей конструктивной емкости фильтра цепи питания. При использовании в платах высокочастотных микросхем электрические соединения между ними следует выполнять в виде согласованных кабелей, витых пар или пар печатных проводников (сигнального и заземления).

При компоновке ПП следует учитывать, что схемные точки с большим сопротивлением особенно чувствительны к влиянию паразитных емкостей, для точек с малым сопротивлением более важны сопротивления и индуктивности проводников. Узкие проводники рекомендуется применять в высокоомных сигнальных цепях, когда паразитная емкость должна быть малой, а последовательные сопротивления и индуктивность имеют второстепенное значение. Широкие проводники применяют для низкоомных сигнальных цепей, когда сопротивления и индуктивности должны быть малы, а паразитные емкости не существенны. Взаимное расположение компонентов и проводников должно быть таким, чтобы емкости между ними оказывались в участках схемы, где влияние этих емкостей на работу схемы минимально. Высокоомные, чувствительные к наводкам точки схемы следует экранировать от других участков схемы с высокими уровнями сигналов. Для этого элементы входных и переходных участков схемы (проводники, контактные площадки, компоненты) должны иметь возможно меньшие размеры. В качестве экранирующих элементов можно использовать конденсаторы развязки на землю, так как конструкция многих типов конденсаторов такова, что их внешняя электродная фольга или покрытие при заземлении могут служить экраном. За счет рационального выбора длины, ширины и разноса проводников можно существенно уменьшить паразитные индуктивности и емкости.

Компоновку плат следует выполнять так, чтобы сигнальные точки различных участков схемы или схемных узлов циркулировали по замкнутым контурам. При этом "местные земли" этих узлов не должны перекрываться, так как общие для двух или более контуров участки земляной шины являются причиной паразитных связей между схемными узлами вследствие падения напряжения на сопротивлении земляной шины. Для разделения контуров сигнала следует выполнять следующие правила: схема должна быть "разведена" так, чтобы уровни сигналов нарастали от одного конца платы к другому, источники питания следует подключать к концу платы, на котором уровни сигналов максимальны, цепи и конденсаторы развязок на землю размешать так, чтобы защитить другие участки схемы от сигналов данного узла, и наоборот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гелль, П.П. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры / П.П. Гелль, Н.К. Иванов-Есипович. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 536 с.
2. Дульнев, Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре / Г.Н. Дульнев. – М. : Высшая школа, 1984. – 247 с.
3. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры / П.И. Овсищер, Ю.В. Голованов, В.П. Ковешников и др. ; под ред. П.И. Овсище-
ра. – М. : Радио и связь, 1988. – 232 с.
4. Оформление рабочих чертежей и деталей : лабораторная работа / сост. А.П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 15 с.
5. Парфенов, Е.М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры : учебное пособие для вузов / Е.М. Парфенов, Э.Н. Камышная, В.П. Усачев. – М. : Радио и связь, 1989. – 272 с.
6. Пименов, А.И. Снижение массы конструкции РЭС / А.И. Пименов. – М. : Радио и связь, 1981. – 128 с.
7. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры / под ред. В.А. Шахнова. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528с.
8. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные узлы) / А.И. Горобец и др. – Киев : Техніка, 1985.
9. РД-50-708-91. Руководящий документ по стандартизации. Инструкция. Платы печатные. Требования к конструированию.
10. Расчет экрана при проектировании радиоэлектронных средств : методические указания / сост. : Ю.Л. Муромцев, А.В. Ивановский, А.П. Пудовкин. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 1998. – 20 с.
11. Конструирование функционального узла на печатном монтаже : методические указания / сост. : Н.А. Малков, Ю.Л. Муромцев. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 1998. – 36 с.
12. Пудовкин, А.П. Проектирование многослойных печатных плат : учебное пособие / А.П. Пудовкин, Ю.Л. Муромцев, Н.А. Малков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 88 с.
13. Пудовкин, А.П. Проектирование и технология рельефного печатного монтажа : учебное пособие / А.П. Пудовкин, Н.А. Малков, В.П. Шелохвостов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 82 с.
14. Конструирование лицевой панели электронного блока : методические указания / сост. А.П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 32 с.

П1. Номиналы диаметров отверстий ПП

Диаметр вывода элемента, мм	Диаметр отверстия, мм	Диаметр зенковки, мм	Угол зенковки, град
0,4	0,6	0,9	70
0,5	0,8	1,2	
0,6	1,0	1,7	
0,8	1,3	2,0	
1,0	1,5	2,2	
1,2	1,8	2,5	

П2. Допустимые стрелы прогиба фольгированных материалов

Номинальная толщина стенок	Допустимая стрела прогиба, мм			
	одностороннее фольгирование		духстороннее фольгирование	
	Гетинакс	Стеклотекстолит	Гетинакс	Стеклотекстолит
0,8	109	109	55	22
1,2	109	109	55	22
1,5	55	30	27	11
2,0	40	25	20	11
2,5	30	15	15	11
3,0	30	15	15	11

П3. Допустимая плотность тока в зависимости от метода изготовления

Метод изготовления	Толщина фольги, *t*, мкм	Допустимая плотность тока, $Y_{доп}$, А/мм^2	Удельное сопротивление, ρ, Ом-м
Химический: наружные слои ОПП, ДПП	20, 35, 50	20	0,050
Комбинированный позитивный метод	20 35 50	75 48 38	0,0175
Электрохимический	25	0,050	

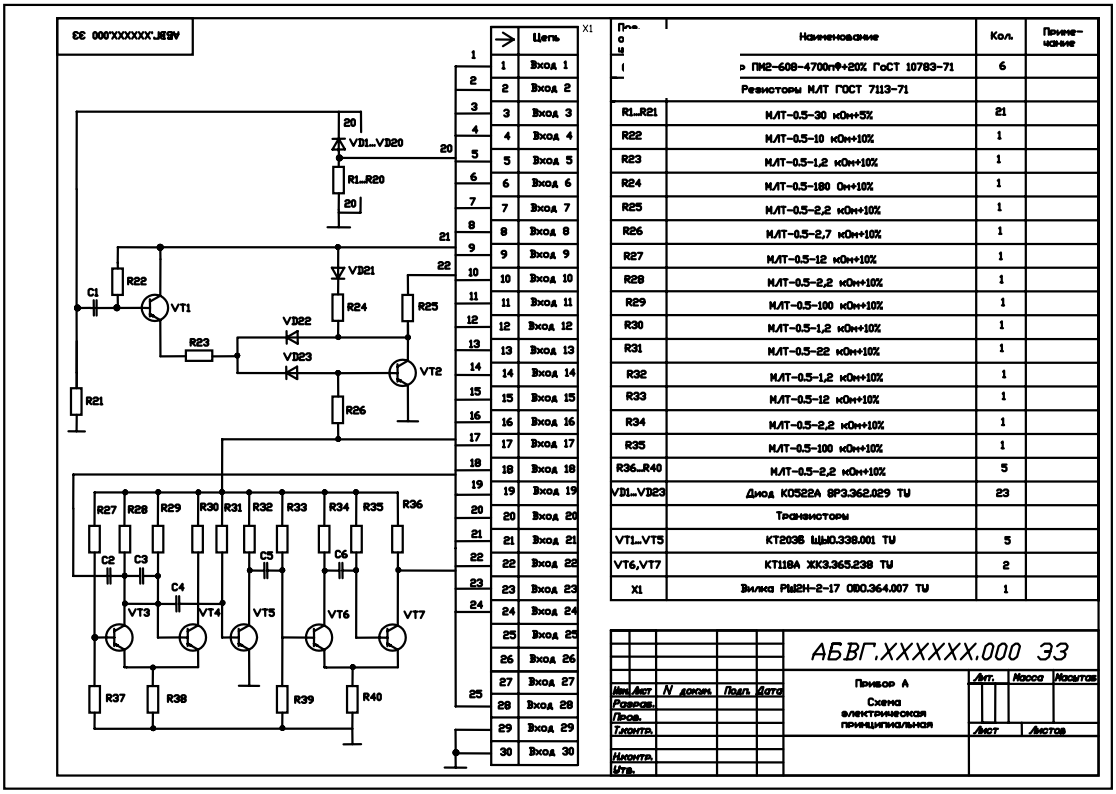
Таблица П4

Примеры видов элементов	Код	Примеры видов элементов	Код
Устройство. Общее обозначение	*A*	дискретный элемент защиты по	
Преобразователи неэлектрических	*B*	напряжению, разрядник	*FV*
величин в электрические (кроме		Генераторы, источники питания:	*G*
генераторов и источников		батарея	*GB*
питания); аналоговые и		Устройства индикационные и	
многоразрядные преобразователи		сигнальные:	*H*
датчики для указания или		прибор звуковой сигнализации	
измерения:			*HA*
громкоговоритель	*BA*	индикатор символьный	*HG*
магнитострикционный		прибор световой сигнализации	*HL*
элемент	*BB*	Реле, контакторы, пускатели:	*K*
детектор ионизирующих излучений	*BD*	реле токовое	*KA*
сельсин-приемник	*BE*	реле указательное	*KH*
телефон (капсюль)	*BF*	реле электротепловое	*KK*
сельсин-датчик	*BC*	контактор, магнитный пускатель	*KM*
тепловой датчик	*BK*	реле времени	*KT*
фотоэлемент	*BL*	реле напряжения	*KV*
микрофон	*BM*	Катушки индуктивности,	*L*
датчик давления	*BP*	дроссели, реакторы	
пьезоэлемент	*BQ*	Двигатели	*M*
датчик частоты вращения (тахо-	*BR*	счетчик импульсов	*PC*
генератор)		частотомер	*PF*
звукосниматель	*BS*	счетчик активной энергии	*PI*
датчик скорости	*BV*	счетчик реактивной энергии	*PK*
Конденсаторы	*C*	омметр	*PR*
Схемы интегральные, микросборки:	*D*	Регистрирующий прибор:	*PS*
схема интегральная аналоговая	*DA*	часы, измеритель времени	
схема интегральная цифровая,	*DD*	действия,	*PT*
логический элемент		вольтметр	*PV*
устройство хранения информации	*DS*	ваттметр	*PW*
устройство задержки	*DT*	Выключатели и разъединители в	
Приборы измерительные:	*P*	силовых цепях:	*Q*
амперметр	*PA*	выключатель автоматический	*QF*
Элементы разные:	*E*	короткозамыкатель	*QK*
нагревательный элемент	*EK*	разъединитель	*QS*
лампа осветительная	*EL*	Резисторы:	*R*
пиропатрон	*ET*	терморезистор	*RK*
Разрядники, предохранители,	*F*	потенциометр	*RP*
устройства защитные:		шунт измерительный	*RS*
дискретный элемент зашиты по	*FA*	варистор	
току мгновенного действия		Устройства коммутационные в	*RU*
дискретный элемент защиты по	*FP*	цепях управления, сигнализации	
току инерционного действия		и измерительных:	*S*
предохранитель плавкий	*FU*	выключатель или переключатель	*SA*

Примеры видов элементов	Код	Примеры видов элементов	Код
выключатель кнопочный	*SB*	Тиристор	*VS*
выключатель автоматический	*SF*	Линии и элементы СВЧ.	*W*
выключатель, срабатывающий от различных	*SL*	Антенны:	
воздействий: уровня			
давления	*SP*	ответвитель	*WE*
положения (путевой)	*SQ*	короткозамыкатель	*WK*
частоты вращения	*SR*	вентиль	*WS*
температуры	*SK*	трансформатор, фазовращатель	*WT*
Трансформаторы, автотрансформаторы:	*T*	аттенюатор	*WU*
трансформатор тока	*TA*	антенна	*WA*
электромагнитный стабилизатор	*TS*	Соединения контактные: токосъемник, контакт	*XA*
		скользящий	
трансформатор напряжения	*TV*	штырь	*XP*
Устройства связи	*U*	гнездо	*XS*
Преобразователи электрических величин в		соединение разборное	*XT*
электрические:			
модулятор	*UV*	соединитель высокочастотный	*XW*
демодулятор	*UR*	Устройства механические с электромагнитным	*Y*
		приводом:	
дискриминатор	*UI*	электромагнит	*YA*
преобразователь частоты, инвертор, генератор частоты,	*UZ*	тормоз с электромагнитным приводом	*YB*
выпрямитель			
Приборы электровакуумные и полупроводниковые:	*V*	муфта с электромагнитным приводом	*YC*
диод, стабилитрон	*VD*	электромагнитный патрон или плита	*YH*
транзистор	*VT*	Устройства оконечные, фильтры, ограничители	*Z*

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ КУРСОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ …….. 3
1.1. Задание на курсовое проектирование ……... 3
1.2. Содержание и обязательные разделы пояснительной записки ……..... 4
1.3. Общие требования к оформлению текста …… 11
1.4. Указания по выполнению графических работ ……. 13
1.5. Рекомендации по защите курсового проекта ……... 14
2. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ …… 15
2.1. Правила выполнения схем ……. 15
2.2. Выполнение схем различных типов …….. 18
2.3. Правила выполнения чертежей ……. 29
3. КОНСТРУКТОРСКИЕ РАСЧЕТЫ …… 53
3.1. Компоновочные расчеты блока РЭС ……. 53
3.2. Расчет параметров печатного монтажа ……. 63
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ……... 83
ПРИЛОЖЕНИЕ ……... 84



Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	⊳ ПМ2-608-4700пФ+20% ГоСТ 10783-71	6	
	Резисторы МЛТ ГОСТ 7113-71		
R1...R21	МЛТ-0,5-30 кОм±5%	21	
R22	МЛТ-0,5-10 кОм±10%	1	
R23	МЛТ-0,5-1,2 кОм±10%	1	
R24	МЛТ-0,5-180 Ом±10%	1	
R25	МЛТ-0,5-2,2 кОм±10%	1	
R26	МЛТ-0,5-2,7 кОм±10%	1	
R27	МЛТ-0,5-12 кОм±10%	1	
R28	МЛТ-0,5-2,2 кОм±10%	1	
R29	МЛТ-0,5-100 кОм±10%	1	
R30	МЛТ-0,5-1,2 кОм±10%	1	
R31	МЛТ-0,5-22 кОм±10%	1	
R32	МЛТ-0,5-1,2 кОм±10%	1	
R33	МЛТ-0,5-12 кОм±10%	1	
R34	МЛТ-0,5-2,2 кОм±10%	1	
R35	МЛТ-0,5-100 кОм±10%	1	
R36...R40	МЛТ-0,5-2,2 кОм±10%	5	
VD1...VD23	Диод КД522А ЕР3.362.029 ТУ	23	
	Транзисторы		
VT1...VT5	КТ203Б ЩЫ0.338.001 ТУ	5	
VT6,VT7	КТ118А ХК3.365.239 ТУ	2	
X1	Вилка РШ2Н-2-17 ОВ0.364.007 ТУ	1	

Рис. 2.2. Устройство 1. Схема электрическая принципиальная