

Министерство образования Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

А. П. ПУДОВКИН, Н. А. МАЛКОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЭС

Одобрено Учебно-методическим объединением по образованию в области автоматiki, электроники, микроэлектроники и радиотехники в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению 5511 и специальностям 2008 и 2205

Тамбов
• Издательство ТГТУ •
2001

УДК 621.396.6.007.63(075)

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор *Д. А. Дмитриев*;профессор *Ю. А. Брусенцов*

П88

Пудовкин А. П., Малков Н. А.

Проектирование РЭС. Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. 160 с.

ISBN 5-8265-0064-6

В учебном пособии содержатся методические 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 5, 6 курсов дневного и заочного отделений специальностей 2008, 2205 по дисциплинам "Основы проектирования РЭС" и "Конструирование РЭС", а также при курсовом и дипломном проектировании.

УДК 621.396.6.007.63(075)

ББК з844я73-1

© Пудовкин А. П., Малков Н.

А., 2001

© Тамбовский государственный

технический университет

(ТГТУ), 2001

ISBN 5-8265-0064-6

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, объем и содержание 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 пяти 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 (ЭЗ), составление схемы структурной блока (Э1) с указанием функциональных связей.
- 4 Анализ соответствия элементов ЭЗ 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 Российской Федерации

ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра _____

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой

_____ подпись, инициалы, фамилия
" ___ " _____ 200__ г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К курсовому проекту по _____
наименование учебной дисциплины

на тему : _____

Автор проекта _____ Группа _____
(подпись, дата, инициалы, фамилия)

Специальность _____
(номер, наименование)

Обозначение курсового проекта _____

Руководитель проекта _____
(подпись, дата, фамилия, инициалы)

Проект защищен _____ Оценка _____

Члены комиссии _____
(подпись, дата, фамилия, инициалы)

_____ (подпись, дата, фамилия, инициалы)

Тамбов 2001 г.

Рис. 1.1 Бланк титульного листа курсового проекта

Формирование развернутого технического задания. **Расширенное 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), допустимая 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 (T_{\min} , ..., T_{\max} , К); относительная влажность; длительность; ускорение ударных импульсов; число ударных импульсов в минуту; диапазон частот вибрации ($f_{\text{н}}$, ..., $f_{\text{в}}$); амплитуда виброускорения $a(f)$; линейное ускорение, м/с; пониженное атмосферное давление H_{\min} , 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.)

Таблица 1.1
Сравнительные характеристики элементной
базы устройства

Наименование	Количество, шт.	Конструктивные параметры	Допустимые условия эксплуатации

	Ма с- са, г	Уста ново ч- ная пло щад ь, мм ²	Инте нсивн ость отказ ов, 10 ⁶ 1/ч	Диа пазо н темпе рату р, °С	Вибрация		Уд ар- ны е пе рег руз ки, м/с ² , (g)	Лин ейн ые уско рени я, м/с ² , (g)
					Ча сто та, Гц	Пер егру зка, м/с ² , (g)		

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 подвергаются 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;
- разработка несущей конструкции (НК);
- разработка сборочных чертежей блока и НК;
- обеспечение защиты конструкции от заданных механических воздействий;
- обеспечение защиты от внешних климатических воздействий;
- полный расчет теплового режима.

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 5-ти), сформировать множество вариантов компоновки (не менее 4-х) 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 повысить 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 воздухопроводов, теплообменников;
 - тип вентилятора;
 - типы радиаторов;
 - форма и расположение вентиляционных отверстий;
 - конструкции тепловых экранов.

В подтверждение правильного выбора системы охлаждения должен быть произведен расчет теплового режима всего блока.

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

- выбрать схему размещения амортизаторов и их число;
- выбрать типы амортизаторов;
- выбрать крепеж, фиксаторы;
- выбрать способы предохранения крепежных изделий от самоотвинчивания;
- выбрать 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.

Полный расчет теплового режима. При расчете теплового режима блоков РЭС используют приближенные методы анализа и расчета. Целью расчета является определение температур нагретой зоны и среды вблизи поверхности электрорадиоэлементов (ЭРЭ), необходимых для оценки надежности. Рекомендуется производить расчет для наиболее критического элемента, т.е. элемента, допустимая положительная температура которого имеет наименьшее значение среди всех элементов, входящих в

состав устройства и образующих нагретую зону. В зависимости от условий эксплуатации, особенностей и режима работы устройства выполнить расчет стационарного теплового режима блока при естественном конвективном теплообмене блока, расчет стационарного режима блока при принудительном охлаждении. Перегрев полупроводниковых приборов можно уменьшить путем увеличения теплоотдающих поверхностей, т.е. установки прибора на радиатор.

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 "Оценка качества полученной продукции" необходимо оценить качество конструкции - определить его уровень в сравнении с другим, лучшим образцом среди иных. В числе основных показателей качества конструкции при оценке рекомендуется использовать показатели назначения, надежности, безопасности, технологичности.

При определении показателей назначения следует выбрать только самые необходимые из них, характеризующие важнейшие свойства РЭС. К группе показателей назначения относят три подгруппы: классификационные, эксплуатационные и конструкционные показатели.

К классификационным показателям относятся, например, мощность передатчика, дальность действия радиолокатора, объект (носитель), на котором устанавливается РЭС. К эксплуатационным показателям относят, например, полосу пропускания приемника, температурную стабильность частоты, диапазон регулирования какого-либо параметра и т.п. Конструктивные показатели характеризуют основные конструкторские решения, удобство монтажа на объекте, габаритные и присоединительные размеры, уровень миниатюризации и др. Уровень миниатюризации - мера совокупности технических решений, направленных на эффективное использование объема, массы и потребляемой энергии РЭС.

К показателям надежности относятся безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность. Показателем безотказности (обязательный расчет и обоснование) служит вероятность безотказной работы: вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникает. Показатели долговечности связаны с понятием ресурса и срока службы. Показателем ремонтпригодности является вероятность того, что время восстановления работоспособности РЭС не превысит заданного. Основным показателем сохраняемости служит срок сохраняемости - календарная продолжительность хранения и транспортировки изделия в заданных условиях, в течение и по прошествии которой сохраняются в установленных пределах показатели назначения.

Показатели безопасности определяются правилами и нормами техники безопасности, производственной санитарии, международными регламентами и нормами.

К числу основных показателей технологичности относят трудоемкость, материалоемкость и себестоимость.

Комплексную оценку качества конструкции РЭС проводят в три этапа:

- 1) выбор номенклатуры показателей качества конструкции для конкретного случая;
- 2) подбор аналогов и выбор базового изделия;
- 3) заполнение карты технического уровня и качества продукции (УКК) и расчет УКК.

Число показателей должно быть минимальным, обеспечивающим необходимую точность при малой трудоемкости расчетов, показатели качества и приданные им весовые коэффициенты должны быть выбраны применительно к конкретному случаю.

Подбор аналогов может быть по конструкции в целом и по составным частям. Особую важность имеет корректность выбора аналога, основанная на сходности назначения аналога и оцениваемого изделия. Базовым изделием называют лучшее изделие из числа аналогов, показатели которого оптимальны на данный период, а их техническая реализуемость подтверждена реальным существованием базового изделия.

Заполнение карты технического уровня и качества продукции и расчет УКК производятся одновременно. Расчет УКК основан на сравнении показателей свойств оцениваемой конструкции с базовыми показателями для установления частного уровня качества конструкции по заданному свойству (частный УКК). Затем рассчитывается обобщенный уровень качества конструкции в целом,

оцениваемый по основным показателям качества. При этом следует обратить внимание на большую роль, которую играют коэффициенты весомости в расчете обобщенного показателя качества.

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 07-97). 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 ударам).

Расстояние между строками текста должно быть 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 и 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.

Пример: 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 ЕСКД Р50-77-88 (см. рис. 1.2.)

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

$\Delta t_k, ^\circ\text{C}$

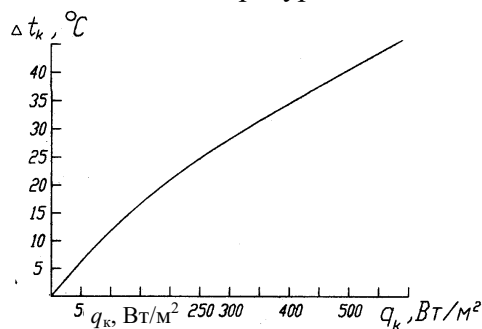


Рис. 1.2 Зависимость перегрева корпуса блока от удельной поверхностной мощности

источник, откуда данная формула заимствована. Например:

- 1 Определяем условную поверхность нагретой зоны S_3 , м для воздушного охлаждения:

$$S = 2[L_1L_2 + (L_1 + L_2)L_3R_3],$$

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, см. 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 3-х 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 должны быть приведены 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: электрическая - Э, гидравлическая - Г, пневматическая - П, газовая - Х, кинематическая - К, вакуумная - В, оптическая - Л, энергетическая - Р, деления - Е, комбинированная - 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 - ЭЗ, схема гидравлическая соединений - Г4 и т.д.

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

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 выбирают 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.

Таблица 2.1

Назначение, наименование и начертание линий

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

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

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.

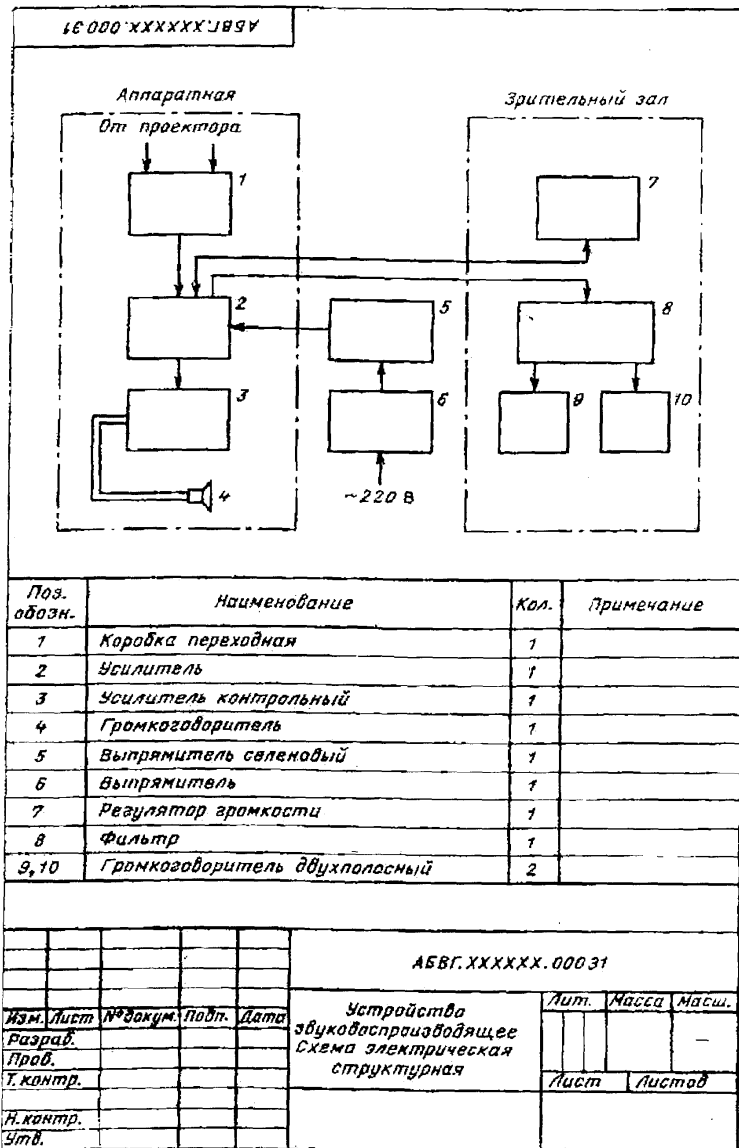


Рис. 2.1 Звукоспроизводящее устройство.
Схема электрическая принципиальная

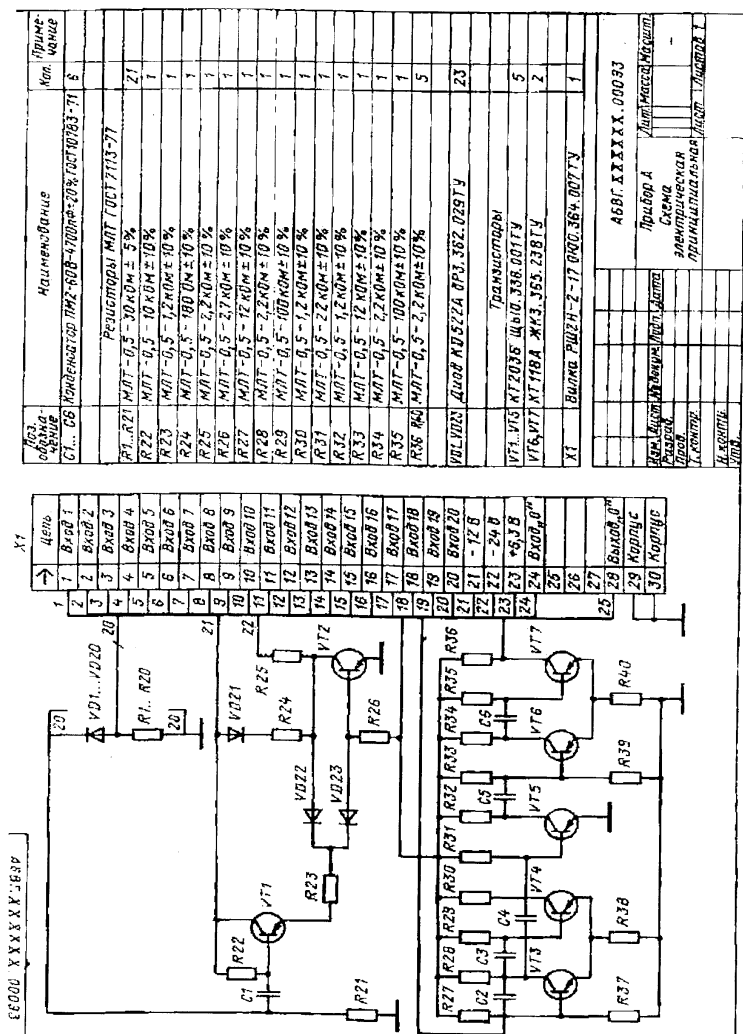


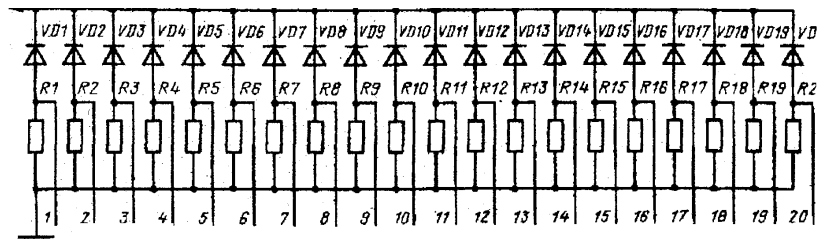
Рис. 2.2 Устройство 1. Схема электрическая принципиальная

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 графику схемы. На рис. 2.3 для сравнения показано многолинейное представление фрагмента этой схемы. Каждый элемент или устройство, изображенные на схеме, должны иметь позиционное буквенно-цифровое обозначение в соответствии с требованиями ГОСТ 2.710-81 (см. прил.). Позиционные обозначения элементам следует присваивать в пределах изделия (рис. 2.4, 2.5). Порядковые номера элементам и устройствам присваивают, начиная с единицы в пределах группы элементов,

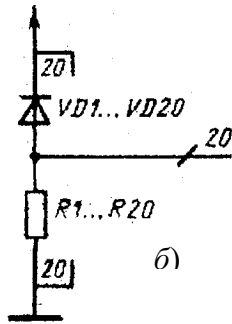
имеющих одинаковые буквенные позиционные обозначения, например, R1, R2 и т.д., C1, C2 и т.д. Порядковые номера присваивают в соответствии с последовательностью расположения элементов или устройств на схеме сверху вниз в направлении слева направо. Позиционные обозначения проставляют рядом с графическим 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 - Х3:5, т.е. выходной контакт должен быть соединен с 5-м контактом разъема Х3 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.



a)



б)

Рис. 2.3
Упрощение

Каждой таблице присваивают позиционное обозначение элемента, вместо условного графического обозначения которого она помещена.

Допускается сохранять условные графические обозначения входных и выходных элементов - разъемов, плат и т.п. (см. рис. 2.4).

Таблицы входных и выходных цепей могут быть выполнены разнесенным способом (рис. 2.6), 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.

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. 2.5).

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 помещать 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. 2.7). В перечень элементов (рис. 2.8) элементы этой схемы не включают.

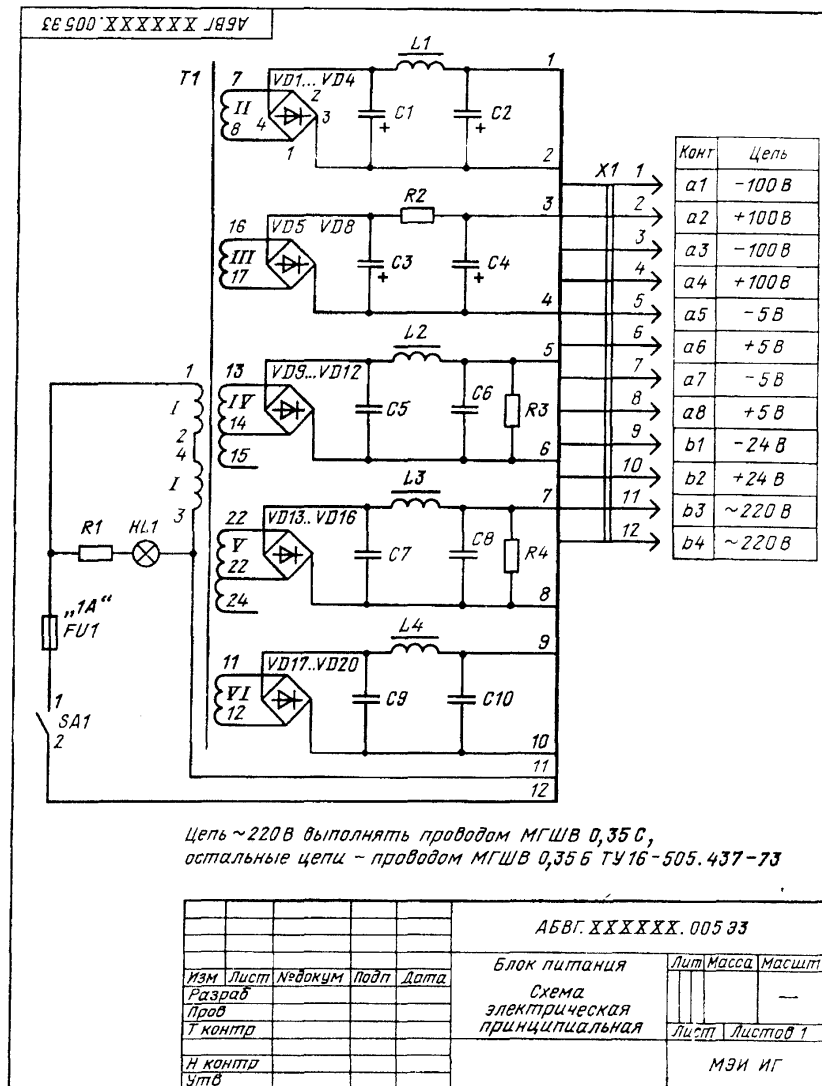


Рис. 2.4 Блок питания. Схема электрическая принципиальная

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	Конденсаторы		
C1...C4	K50-360-160-200 ОЖО.464.042 ТУ	4	
C5...C10	K50-6-II-25B-200 мкФ ОЖО.464.031 ТУ	6	
FU1	Вставка плавкая ВП1-1-1А-250 В ОЮО.480.003 ТУ	1	
HL1	Лампа МН18-01 ГОСТ 2204-80	1	
L1...L4	Дроссель Д29-1,2-0,28 ОЮО.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 ОЮО.360.016 ТУ	1	
T1	Трансформатор ТАН1-127/220-50 ОЮО.470.001 ТУ	1	
VD1...VD20	Диод Д2376 ТРЗ.362.021 Т	20	
X1	Вилка РП14-30Л ЕСЗ.656.015 ТУ	1	
МИФТ.ХХХХХХ.005 ПЭЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Разраб.			Дата
Пров.			
Н. контр.			
Утв.			
Блок питания		Лит.	Лист
Перечень элементов		Листов	
		МЭИ ИГ	

Рис. 2.5 Блок питания. Перечень элементов

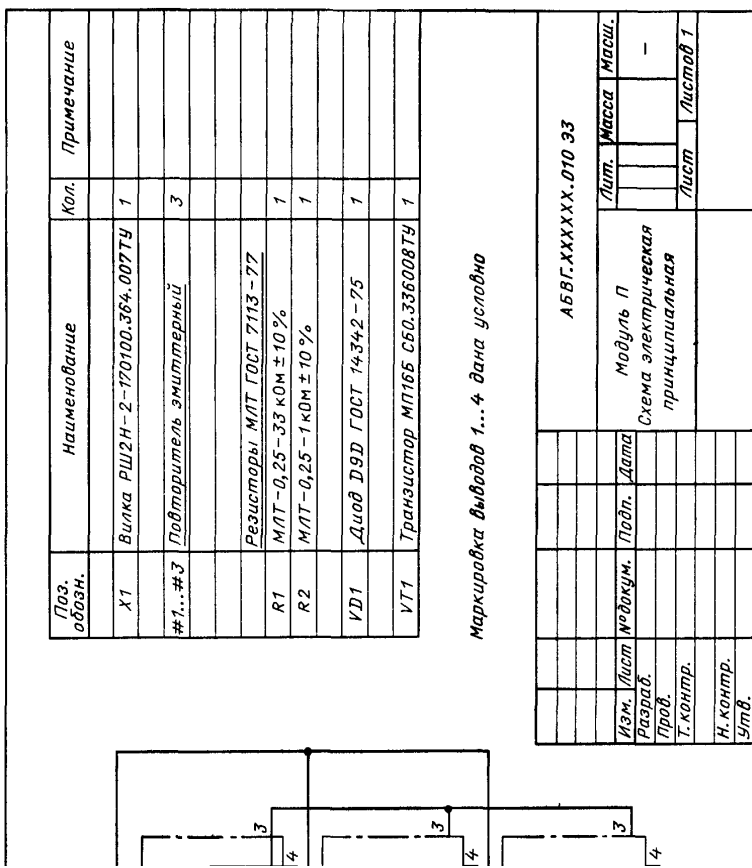


Рис. П. Схема электрическая принципиальная

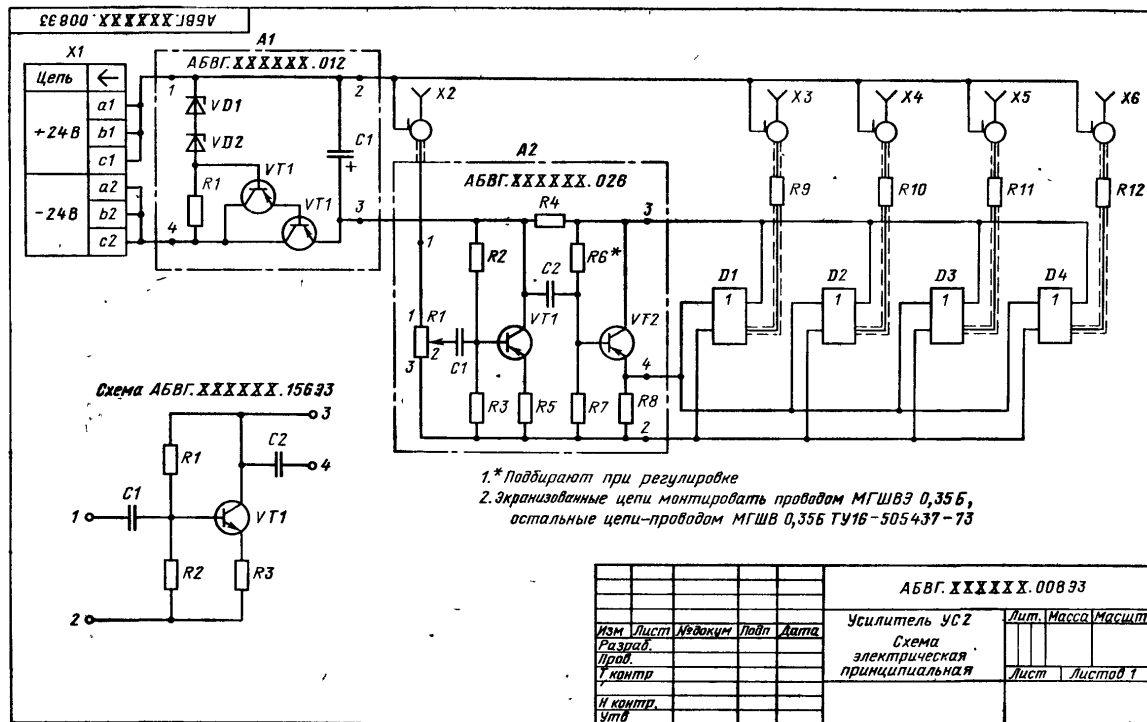


Рис. 2.7 Усилитель УС2. Схема электрическая принципиальная

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
D1...D4	Повторитель АБВГ.ХХХХХХ.156	4	
R9...R12	Резистор МЛТ-0,5-24 Ом ± 10 % ГОСТ...	4	
X1	Вилка РП14-ЗОЛЕСЗ.656.015 ТУ	1	
X2...X6	Розетка СР-50-73Ф ВР0.364.010 ТУ	5	
A1	Плата МИФТ.ХХХХХХ.012	1	
C1	Конденсатор К50-6-1-16 В-500 мкФ ОЖО.464.031 ТУ (и т. д.)	1	
A2	Плата МИФТ.ХХХХХХ.026	1	
	Конденсаторы МБМ ГОСТ...		
C1	МБМ-160 В-0,05 мкФ ± 10 %	1	
C2	МБМ-160 В-0,1 мкФ ± 10 % (и т. д.)	1	
ТГТУ ХХХХХХ.008 ПЭЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
			Дата
Усилитель УС2		Лит.	Лист
Перечень элементов		1	2
		КРЭМС	

Рис. 2.8 Усилитель УС2. Перечень элементов

ТГТУ.

Рис 2.45. Усилитель УС2. Перечень элементов

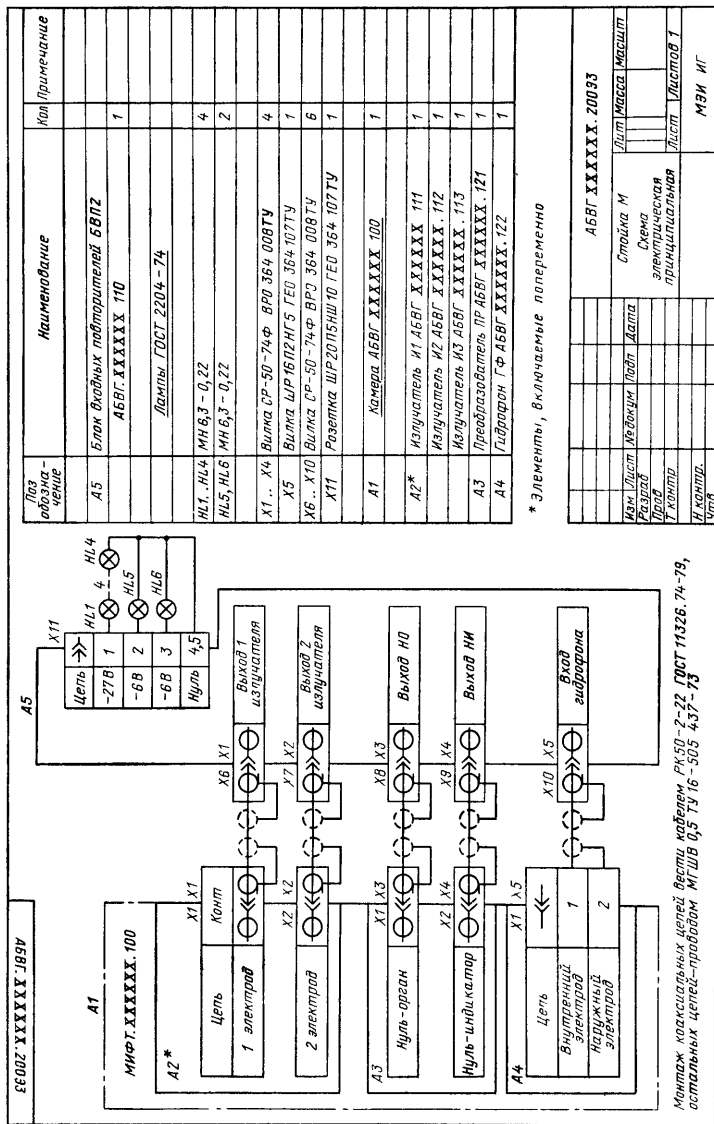


Рис. 2.9 Стойка М. Схема электрическая принципиальная

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. 2.9). Знаком * отмечены устройства, включаемые попеременно. На рис. 2.9 показано упрощенное соединение нескольких одноканальных 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. 2.6) 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. 2.6 - 2.8). 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. 2.6).

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. 2.4, 2.9);
- 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. 2.10.

Рис. 2.10 Форма спецификации

Формат	Зона	Паз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание

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. 2.11) представлена разделами "Документация", "Сборочные единицы", "Детали", "Стандартные изделия".

Формат	Зона	Паз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
			ТГУ.46.4918.000СБ	Сборочный чертеж		
			ТГУ.46.4918.000ПЗ	Пояснительная записка		
				Летали		

Рис. 2.11 Пример заполнения спецификации

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.

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):

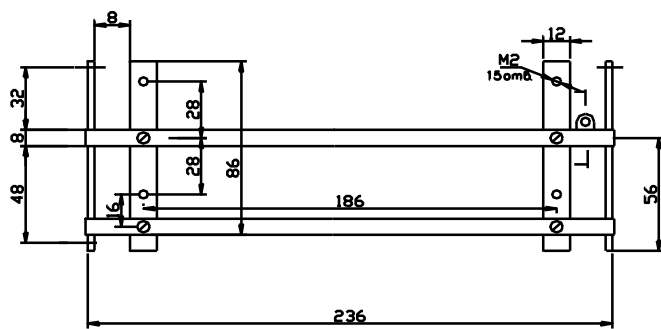
- а) изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, и обеспечивающее возможность сборки и контроля сборочной единицы;
- б) размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены 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) при необходимости техническую характеристику и координаты центра масс.

В качестве примера приведен сборочный чертеж (рис. 2.12). Чертеж содержит изображение конструкции, которое дает представление о взаимном расположении и соединении составных частей и является достаточным для проведения сборки этого изделия.

ГТТ464918.002СБ



Рис. 2.12 Пример выполнения



Курсовой проект

сборочного чертежа

ТТТУ464918.002СВ

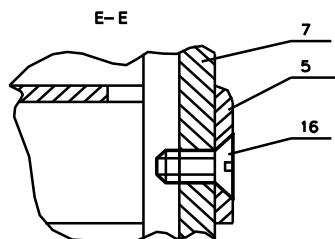
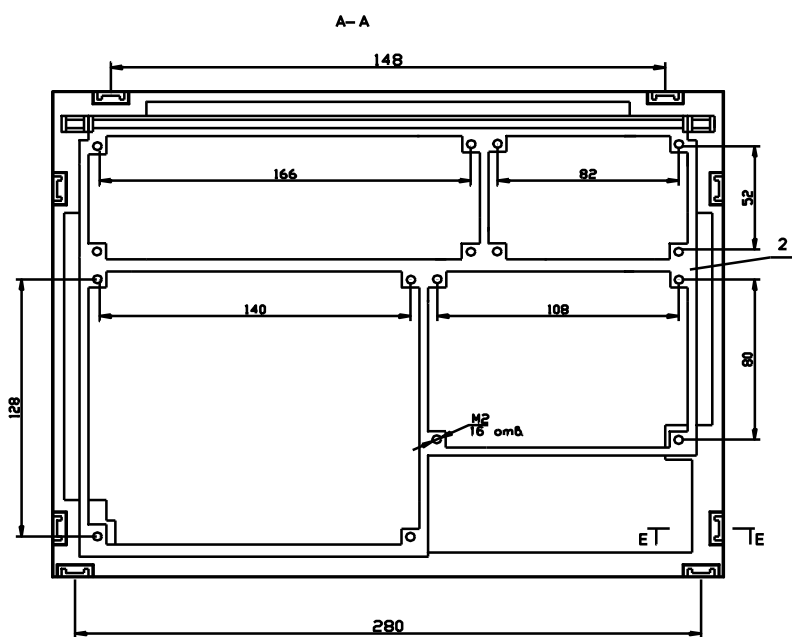
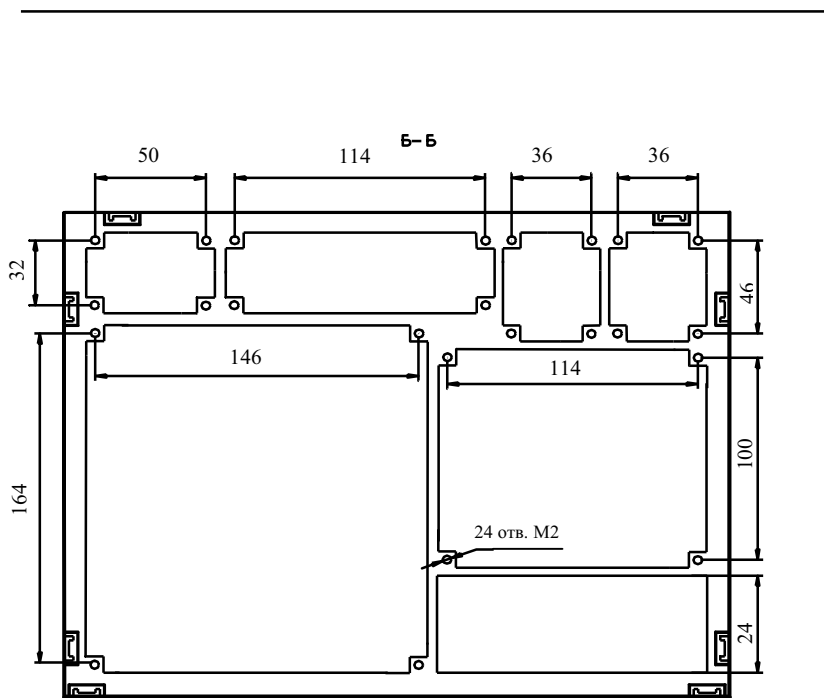


Рис. 2.12 (продолжение)



Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата	ТГТУ464918.002 СБ	Лист
						2

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.

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.

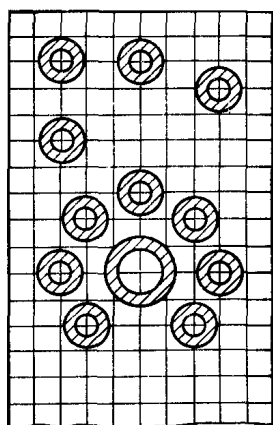


Рис. 2.13 Изображение отверстий

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. 2.13 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.

Таблица 2.2

Значение 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 для выводов диаметром от 0,4 до 0,8 мм и 0,6 мм для выводов диаметром свыше 0,8 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 показываются 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.

Таблица 2.3

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

Таблица 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								

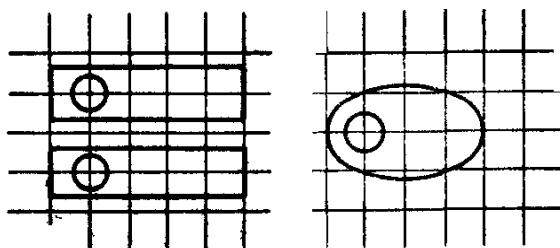


Рис. 2.14 Изображение контактных площадок

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. 2.14). 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, $b_{\min} = \dots$ мм".

Для простановки размеров групповых контактных площадок рекомендуется вынести изображение контактной группы в увеличенном масштабе с простановкой необходимых размеров на поле чертежа (рис. 2.15). Рекомендуется делать плавный переход контактной площадки в проводник.

При этом ось симметрии печатного проводника должна быть перпендикулярна касательной к контуру контактной площадки или самому контуру контактной площадки (рис. 2.16). Расстояние между краем проводника,

контактной площадки, неметаллизированного отверстия и краем платы должно быть не менее толщины платы.

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. 2.17).

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. 2.18). 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.

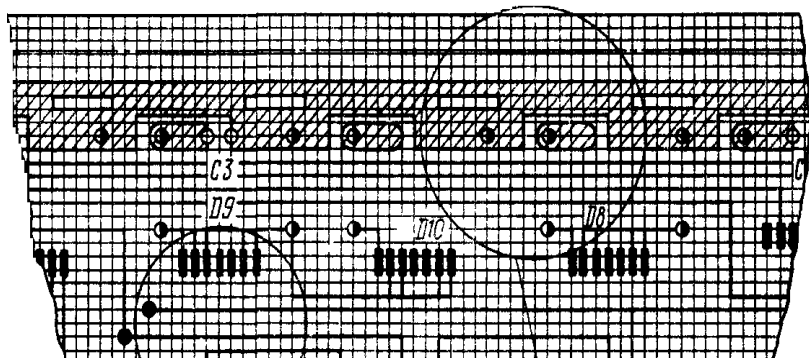
При прокладке печатных проводников следует по возможности избегать ответвлений проводников (рис. 2.19); концы печатных проводников, предназначенные для подключения печатной схемы, рекомендуется располагать с учетом удобства применения переходных элементов (рис. 2.20). Границы участков печатной платы, которые не допускается занимать проводниками, ограничивают штрихпунктирной утолщенной линией.

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. 2.21 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.



A(4:1)

Б

Б

Рис. 2.15 Изображение контактной группы

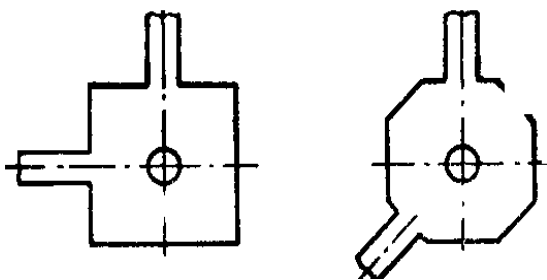


Рис. 2.16 Изображение контактной площадки с проводником

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. 2.13, 2.15) или рисками по периметру платы (рис. 2.22). Допускается наносить не все линии координатной сетки, при этом на поле чертежа помещают запись типа "Линии координатной сетки нанесены через

одну" (рис. 2.23). 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. 2.23 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.

Пример выполнения чертежа печатной платы с указанием размеров в таблице координат приведен на рис. 2.17. 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.

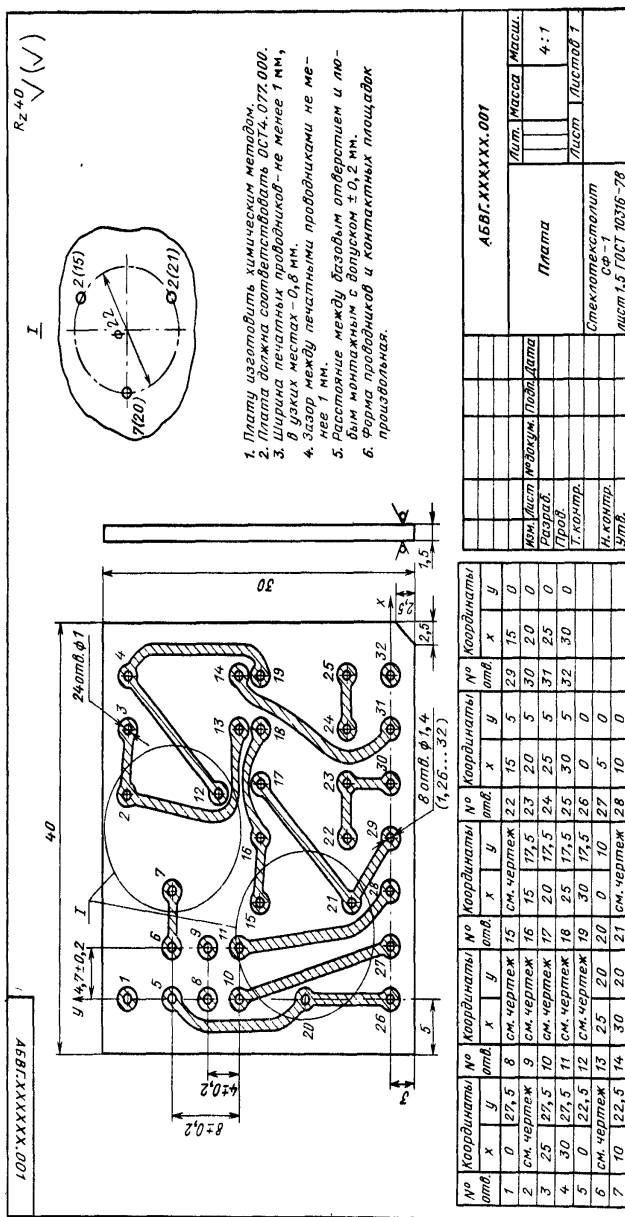


Рис. 2.17 Чертеж печатной платы с проводниками произвольной формы

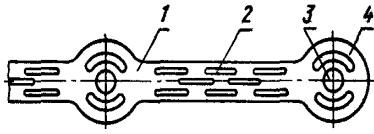


Рис. 2.18 Изображение проводников шириной более 5 мм

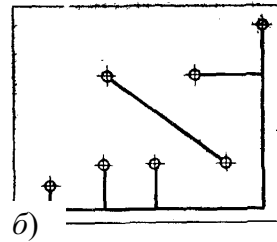
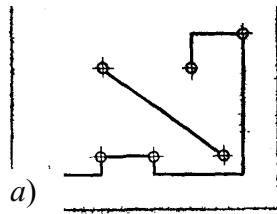


Рис. 2.19 Изображение печатных проводников:
а - правильное; б - неправильное

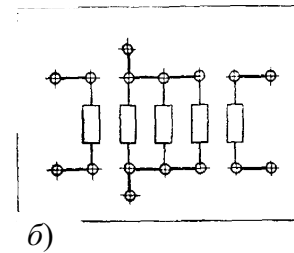
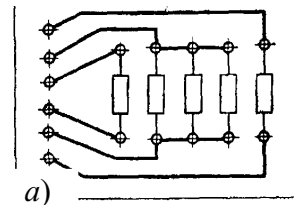


Рис. 2.20 Изображение контактов для подключения печатной платы:
а - правильное; б - неправильное

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.

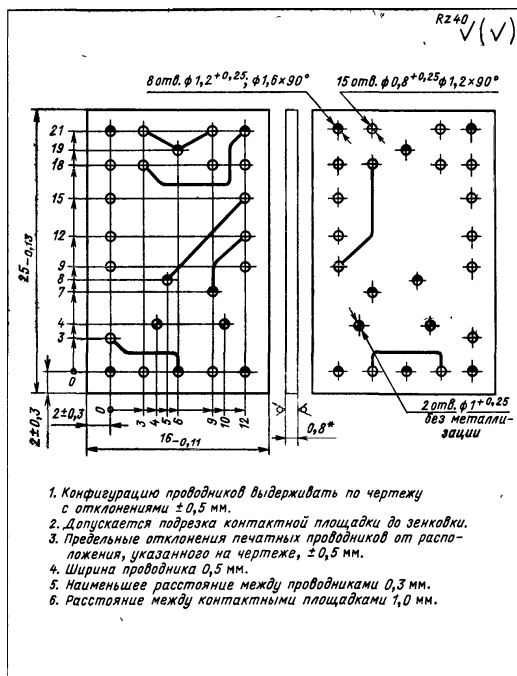


Рис. 2.21 Чертеж двусторонней печатной платы

- 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, $b_{\min} = \dots$ 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 $\pm \dots$ мм, в свободных местах $\pm \dots$ мм.
- 13 Предельные отклонения расстояний между центрами контактных площадок в группе $\pm \dots$ мм.
- 14 Маркировать эмалью ... ГОСТ, шрифт ... по ГОСТ ...

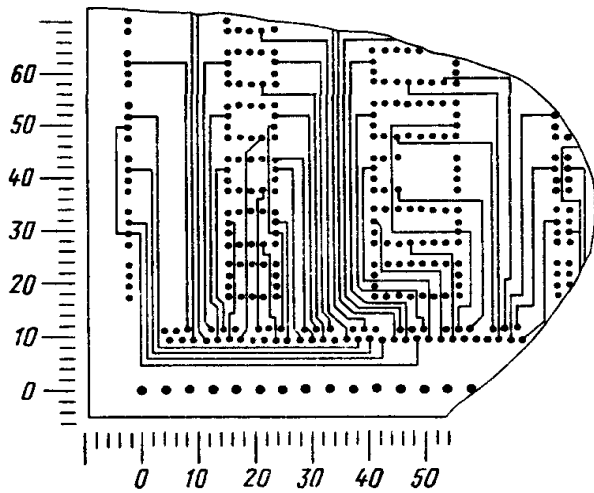


Рис. 2.22 Вариант нанесения координатной сетки

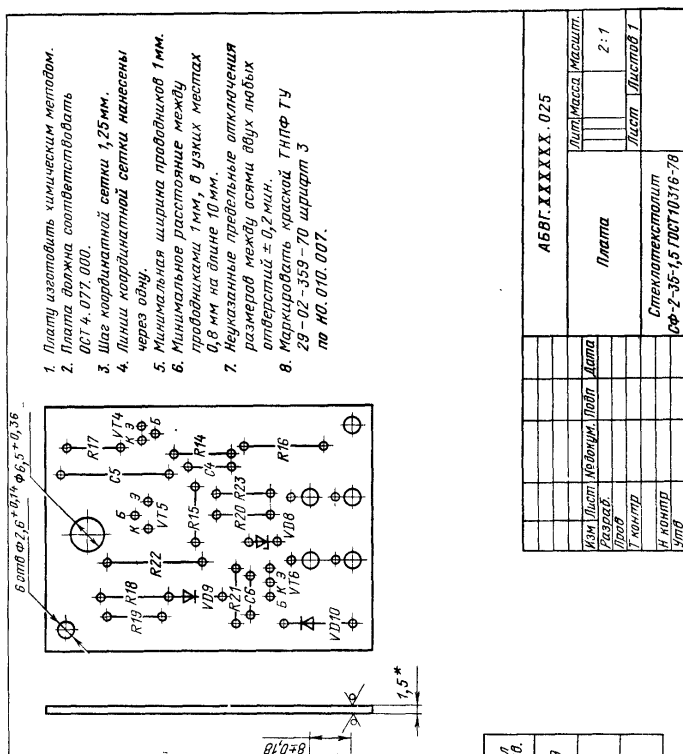
Пример записи технических требований в зависимости от содержания чертежа печатной платы приведен на рис. 2.14, 2.18, 2.20.

На изображении платы допускается указывать маркировку (рис. 2.20) 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. 2.24). 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. 2.25). 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.

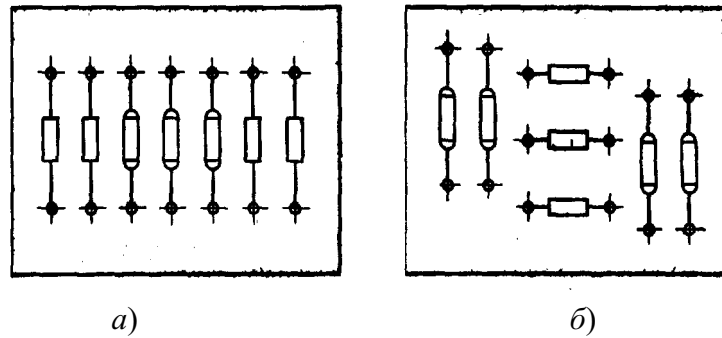


Рис. 2.24 Размещение навесных элементов на печатной плате:

а - рекомендуемое; *б* - нерекондуемое

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. 2.26).

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 предельные 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.

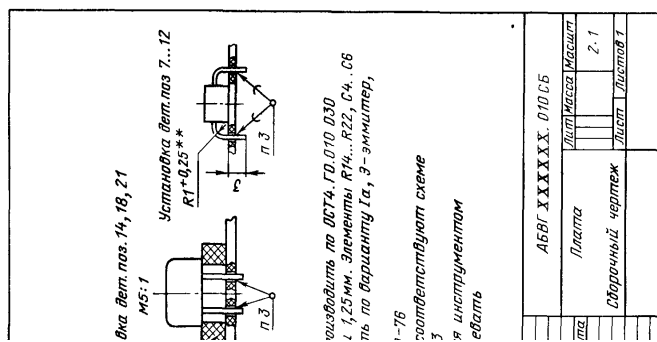


Рис. 2.25 Сборочный чертеж печатной платы

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A3			AБВГ.ХХХХХХ.010 СБ	Сборочный чертеж	1	
				<u>Детали</u>		
A4	1		AБВГ.ХХХХХХ.015	Штекер	2	
A3	2		AБВГ.ХХХХХХ.017	Плата	1	
A4	3		AБВГ.ХХХХХХ.022	Штекер	2	
A4	4		AБВГ.ХХХХХХ.016	Втулка	4	
A4	5		AБВГ.ХХХХХХ.018	Втулка	2	
A4	6		AБВГ.ХХХХХХ.021	Заклепка	4	
				<u>Стандартные изделия</u>		
				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
AБВГ.ХХХХХХ.010						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.					Лит.	Лист
Проб.						Листов
						1 2
Н. контр.					Плата	
Утв.						

Рис. 2.26 Спецификация сборочного чертежа печатной платы

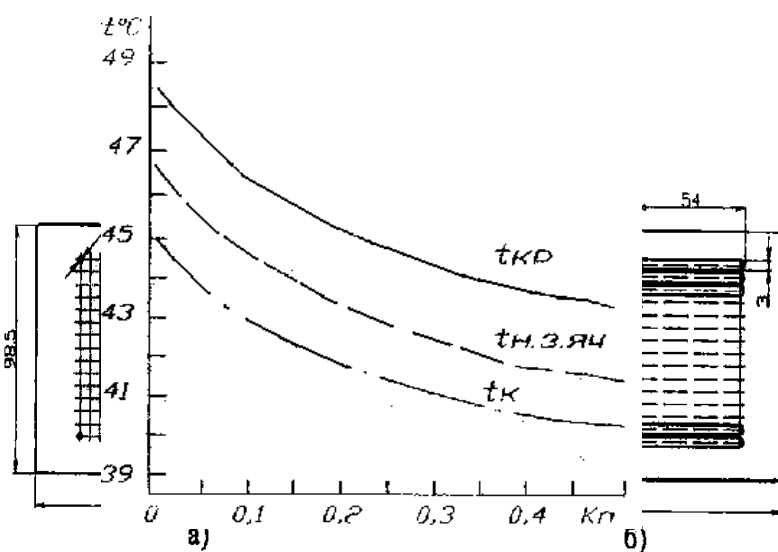
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Прочие изделия		
				Конденсаторы		
		14		КМ-5Б-Н90-0,068 мкФ±10%		
				ОЖ0.460.161 ТУ	2	С4, С6
		15		К53-14-10В-15 мкФ±20%		
				ОЖ0.464.096 ТУ	1	С5
				Диоды полупроводниковые		
		16		КД 105Б ТТЗ.362.060 ТУ	1	VD10
		17		КД 102А ТТЗ.362.083 ТУ	1	VD9
		18		Стабилитрон КС533А		
				СМЗ.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
				АБВГ.ХХХХХХ.010		Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

Рис. 2.26 Продолжение 2.4 Особенности исследовательских курсовых проектов

Курсовые проекты исследовательского профиля связаны с теоретическими и экспериментальными исследованиями в области конструирования РЭС. В качестве примерных тем курсовых проектов исследовательского профиля могут быть следующие:

- разработка оптимального типоразмерного ряда БНК блоков самолетной РЭС;
- разработка оптимального типоразмерного ряда радиаторов для теплонагруженных приборов радиоаппаратуры;
- исследование различных способов закрепления печатных плат с целью обеспечения защиты ячеек РЭС от вибрационных и ударных воздействий;
- исследование различных конструктивных вариантов экранов с целью обеспечения защиты РЭС от внешнего электромагнитного поля;

- исследование различных конструктивных вариантов кожухов с целью обеспечения нормального теплового режима РЭС;
 - исследование и разработка алгоритмов автоматизированной трассировки межстоечного монтажа с помощью ленточных кабелей;
 - пути миниатюризации гибридно-интегральных схем (ГИС) СВЧ-устройств;
 - пути повышения эффективности систем источников вторичного электропитания бортовой РЭС.
- Примерное содержание пояснительной записки курсового проекта исследовательского профиля:
- раскрытие темы проекта, формулирование и обоснование основной задачи исследования, его актуальность;
 - обзор состояния по литературным источникам, возможные направления решения задачи исследования;
 - теоретические исследования, выводы основных закономерностей и соотношений. Оптимизация конструкций с помощью современных статистических и других методов, а также методов, базирующихся на использовании ЭВМ с целью повышения эффективности конструкций радиоаппаратуры;
 - методический план экспериментальных исследований, необходимое оснащение и его назначение при проведении экспериментов, описание экспериментальной установки;
 - обобщение данных экспериментальных и теоретических исследований, их сопоставление с

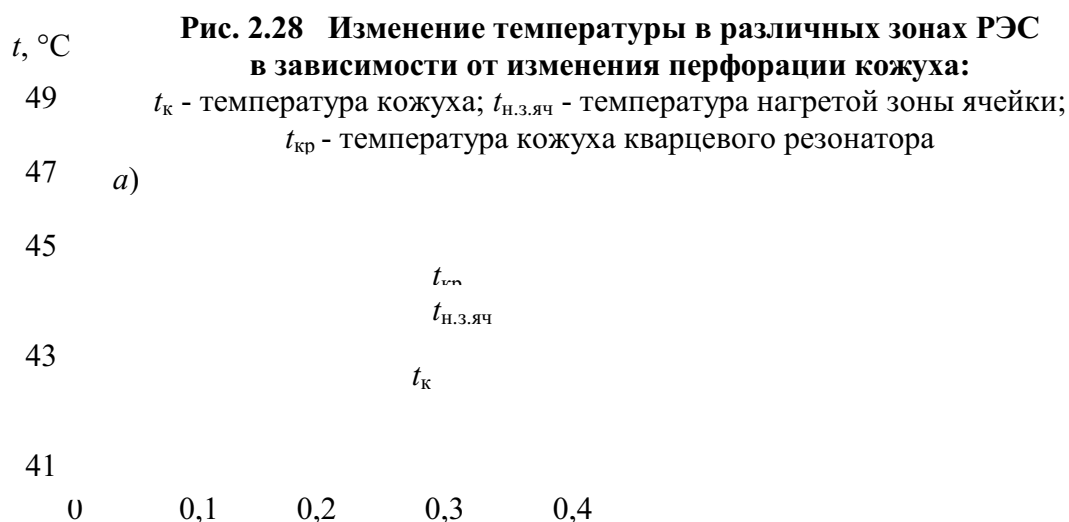


расчетными. Общие выводы по результатам исследований и их применимость при конструировании РЭС;

- определение экономической эффективности внедрения результатов исследования при проектировании конструкций радиоаппаратуры.

Рис. 2.27 Эскизы кожуха РЭС с различными коэффициентами перфорации в виде:
а - отверстий; *б* - вырезов

Пояснительная записка курсового проекта исследовательского профиля содержит не более 50 страниц.



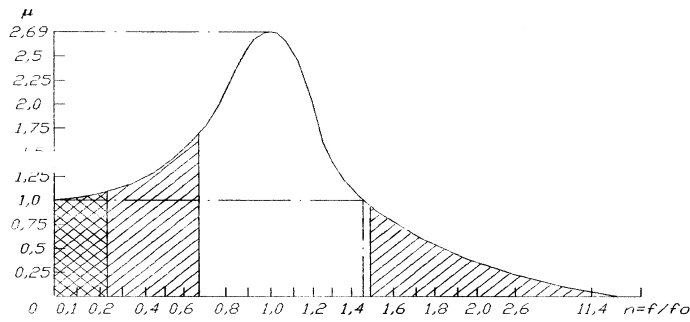


Рис. 2.29 Зависимость коэффициента динамичности от собственной частоты ПП

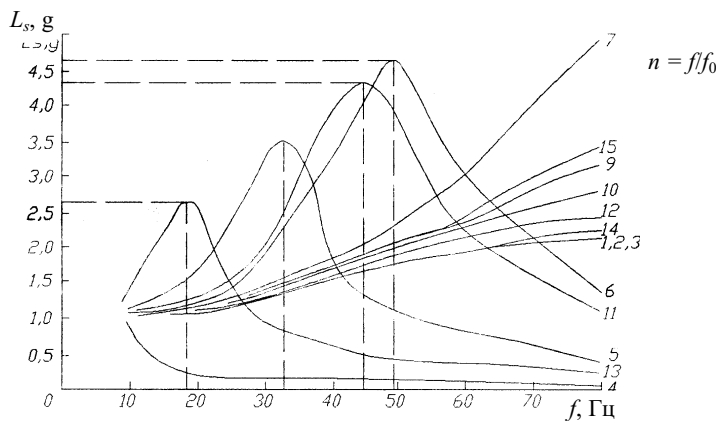


Рис. 2.30 Зависимость вибрационной перегрузки в определенном частотном диапазоне вибрационных воздействий от различных способов закрепления ПП

Графическую часть проекта исследовательского профиля определяет руководитель проекта при составлении задания на проектирование, однако, ее объем должен быть не менее трех листов формата А1. На листы могут выноситься:

А1. На листы могут выноситься:

- эскизы исследуемых конструкций РЭС (рис. 2.27);
- таблицы результатов расчета или замеров параметров РЭС (табл. 2.5);
- распределение температурного или электромагнитного поля исследуемых РЭС;
- графики изменения температуры в зависимости от конструктивных решений разрабатываемого РЭС (рис. 2.28);
- частотные характеристики конструкций, исследуемых на вибрационные воздействия (рис. 2.29, 2.30).

Таблица 2.5

Результаты расчета теплового режима прибора на ЭВМ при $t_c = 35^\circ\text{C}$

$K_{\text{П}}$	$t_{\text{к}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{н.з.бл}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{н.з.яч}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{кр}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{ис1}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{ис2}}, ^\circ\text{C}$

0	45	46,6	46,9	48,9	77,2	107,7
0,16	43,2	44,5	44,8	46,8	75,1	105,6
0,32	42,1	43,3	43,6	45,6	73,9	104,4
0,64	40,9	41,9	42,2	44,2	72,5	103

3 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1 Методология проектирования конструкций РЭС

Современный инженер решает задачу проектирования РЭС эвристическими методами в непосредственном взаимодействии с ЭВМ в рамках широко применяемых диалоговых систем. В диалоге с ЭВМ осуществляется принцип комбинаторики. С помощью ЭВМ эффективно проводится выбор решения из множества вариантов, которое с большой вероятностью близко к оптимальному. Система эвристических методов, содержащая множество правил, рекомендаций и программ, позволяет принять решение в процессе проектирования РЭС. Процесс принятия решения состоит из следующих

основных шести этапов:

- выявление проблемы;
- постановка задачи;
- поиск решения;
- принятие решения;
- выполнение решения;
- оценка полученного результата.

Основная структура процесса принятия решения представлена на рис. 3.1.

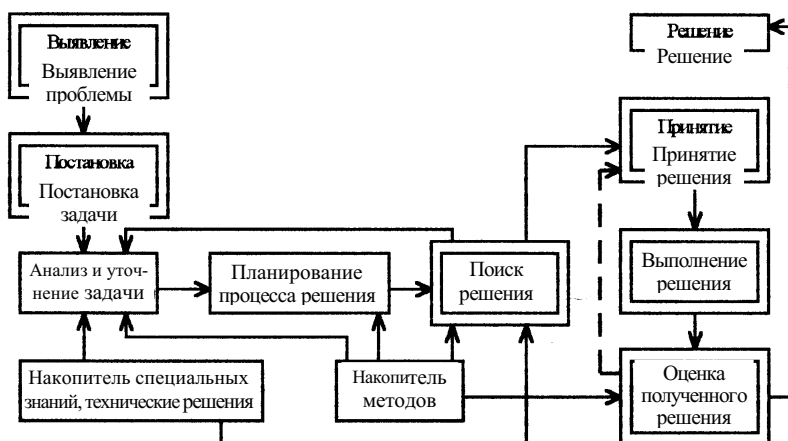


Рис. 3.1 Структура процессов решения творческих задач

Применительно к проектированию РЭС перечисленные выше этапы имеют следующий смысл:

- 1 Выявление проблемы - определение потребности в разработке нового устройства РЭС. Предполагается, что необходимость в новом устройстве доказана, поэтому в курсовом проектировании этот этап опускается.
- 2 Постановка задачи - формирование требований к изделию. На этом этапе разрабатывается расширенное техническое задание, которое представляет собой документ, устанавливающий основное назначение и показатели качества изделия, технико-экономические и специальные требования, предъявляемые к изделию (стадия проектирования - ТЗ и техническое предложение).
- 3 Поиск решения - подбор вариантов конструкции, удовлетворяющих сформулированным на 2-м этапе требованиям, или разработка нового варианта (стадия проектирования - эскизный проект).
- 4 Принятие решения - выбор предпочтительного варианта из отобранных по критерию качества, который оговаривается в постановке задачи (стадия проектирования - технический проект).

- 5 Выполнение решения - разработка конструкторской документации на выбранный вариант конструкции РЭС, изготовление опытного образца (стадия проектирования - рабочий проект).
- 6 Оценка полученного результата - сравнение показателей и параметров разработанной РЭС с техническим заданием.

Студент в процессе работы над курсовым проектом по конструированию РЭС выполняет этапы 2, 3, 4 и (частично) 5.

Результатом выполнения 2-го этапа процесса принятия решения является оформленное расширенное техническое задание и анализ существующих конструкций.

Наиболее ответственными этапами в процессе проектирования РЭС являются поиск и принятие решения.

При курсовом проектировании перед студентом обычно стоит задача подобрать пригодные для сравнения варианты технического решения поставленной задачи, выбрать и доработать какое-либо одно техническое решение. Далее будут подробно рассмотрены основные аспекты этой задачи - задачи поиска и выбора технического решения.

Выполнение курсового проекта заканчивается разработкой конструкторской документации.

Следует отметить, что главной задачей процесса конструирования является создание высокоэффективной РЭС. Особое место в оценке эффективности РЭС занимает комплексная микроминиатюризация. Микроминиатюризация - это системный подход к проектированию аппаратуры с применением ИС, БИС, облегченных высокопрочных материалов, функциональной электроники и т.д.

Нужно стремиться к тому, чтобы все составные части РЭС, в том числе СВЧ-устройства, источники вторичного электропитания, электромеханические устройства, имели минимальные габариты, массу и энергопотребление.

В процессе проектирования РЭС необходимо учитывать множество взаимосвязанных, а иногда и противоречивых технических требований, предъявляемых к конструкции отдельных устройств и РЭС в целом. Такими требованиями являются:

- назначение и область применения РЭС;
- заданные электрические характеристики (рабочие частоты, быстродействие, мощность, точность и др.);
- условия эксплуатации (диапазон рабочих температур, влажность, удары, вибрации и т.д.);
- конструкционные параметры (масса, габариты, надежность, тепловые режимы и т.д.);
- технико-экономические характеристики (стоимость, технологичность, унификация и стандартизация);
- организационно-производственные факторы (сроки разработки РЭС, серийноспособность и др.);
- наличие и уровень элементной базы.

3.2 Анализ существующих конструкций и выбор метода конструирования

При выполнении курсового проекта в качестве исходного материала студент имеет расширенное ТЗ и электрическую принципиальную схему изделия. С анализа и уточнения ТЗ, электрической принципиальной схемы и заданной элементной базы начинается непосредственная работа над конструкцией изделия.

Студент должен тщательно изучить электрическую принципиальную схему изделия, обратив особое внимание на следующие вопросы:

- параметры распространяющихся в схеме радиосигналов (максимальная частота, напряжение, сила токов, длительность и скважность импульсов и т.д.);
- возможность возникновения в схеме паразитных связей и наводок (через общее сопротивление источника электропитания, индуктивные и емкостные);
- пути распространения полезного радиосигнала;
- напряжение и сила тока источников электропитания;
- допустимые уровни напряжений и токов сигнала помехи на входах ИС.

При этом одновременно производится анализ элементной базы изделия, для чего все входящие в схему компоненты вместе со своими техническими параметрами целесообразно представлять в виде таблицы, пример оформления которой показан в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Характеристика элементной базы

Наименование элемента	К о л- в о, ш т.	Конструктивные параметры			Допустимые условия эксплуатации				
		Ма сса, г	Ус та- нов оч- ная пло- ща дь, м ² × 10 ⁶	λ, 1/ч ,10 ⁶	Диапа зон темпе ра- тур, °С	Вибрация		Перегру зки	
						Часто та, Гц	п е р е- г р у з- к и, (g)	у да р- н ы е, (g)	лин ей- ны е, (g)

Транзисторы:	2	0,1	25	0,5	-60 ...	10 ...	7,	2,	7,5
КТ315	2	8	38	0,7	100	600	5	5	25
КТ815(4)		4,0	0		-40 ...	10 ...	1	7	
Диоды:	1			0,6	85	600	0	5	25
Д208А	2	0,5	10	0,4					15
КД522Б	0	5	0	6	-60 ...	10 ...	1	7	0
Стабилитроны:	2	2,0	35	5	100	100	0	5	25
КС156А	1	1		5,5	-60 ...	2 ...	1	1	25
КС147		1	60		80	2500	5	5	25
Конденсаторы:	7		60	2,4	-55 ...	10 ...	7,		10
К50-6	3			1,2	100	600	5	7	25
КМ5,	8	-	-	0,9	-55 ...	10 ...	7,	5	25
КМ6	2	-	-	8	100	600	5	7	
К10-17	1		-					5	25
Резисторы:	5	0,1		0,3	-10 ...	5 ...	2,		25
МЛТ-0,125	3	5	25	0,6	70	80	5	5	25
МЛТ-2	4	3,5	22	1,2	-80 ...	10 ...	1	2	
С2-22б	5		0		85	2000	0	0	10
Микросхемы:	5			0,2	-60 ...	10 ...	1	2	20
К572	1	8	32	0,2	85	600	0	0	40
К174	1	8	32	0,2					20
К1531	1	8,5	0	5	-60 ...	10 ...	1	2	20
К1533	6	8	30	0,3	125	2000	5	0	18
К142	2	8	0	0,2	-60 ...	10 ...	1	2	
87×251	3	12	36	0,2	125	2000	5	0	25
Индикаторы:	1		0	3	-30 ...	10 ...	1	2	25
ИПГ01	1	4	36	0,2	90	600	5	0	
ИПЦ02Б		10	0	5					-
Реле:	4		32		-60 ...	1 ...	3	4	
РЭС-48	4	9	0	0,2	100	2500	0	0	
	1		64	0,2	-60 ...	1 ...	3	4	
			0		100	4000	0	0	
				1,6	-60 ...	1 ...	3	4	
			10		100	4000	0	0	
			0		-60 ...	1 ...	3	4	
			20		100	3000	0	0	
			0		-60 ...	1 ...	3	4	
					100	3000	0	0	
			28		-60 ...	1 ...	3	3	
			0		100	4000	0	0	
					-60 ...	1 ...	3	4	
					100	4000	0	0	
					-60 ...	1 ...	3	4	
					100	3000	0	0	
					-60 ...	50 ...	1	2	
					85	1000	5	0	

Рис. 3.2 Электрическая принципиальная

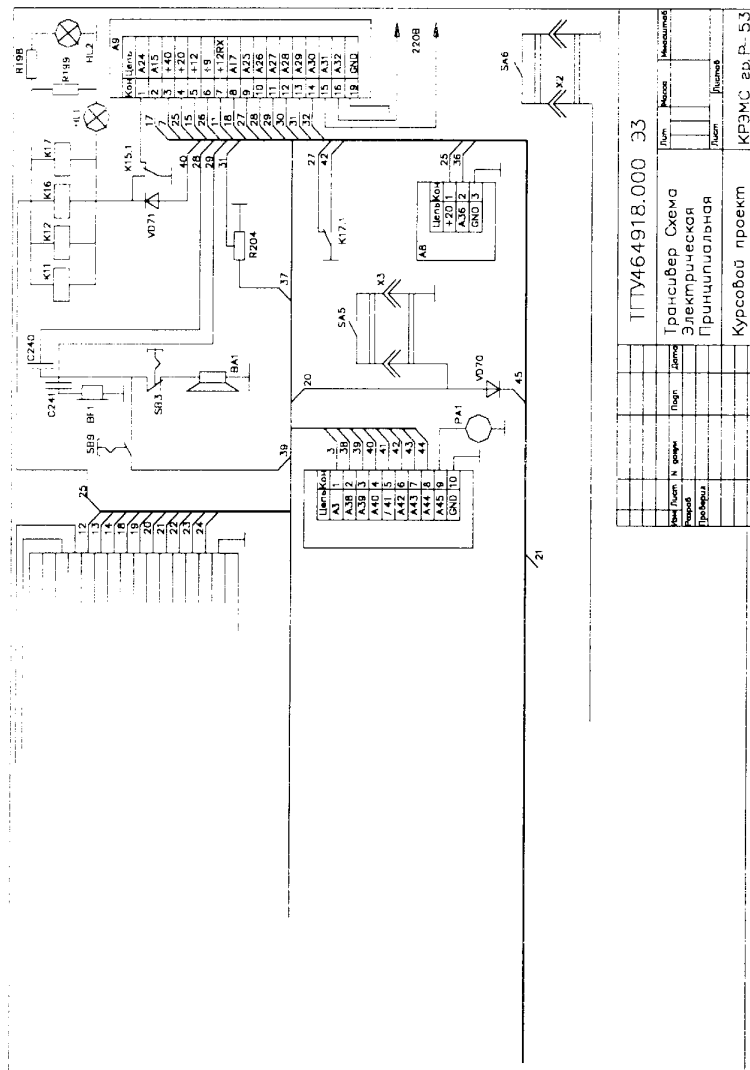


схема трансивера

Анализ элементной базы предполагает изучение следующих вопросов:

- совместимость ЭРЭ и ИС (конструктивная, электрическая, электромагнитная, по условиям эксплуатации);
- соответствие элементной базы условиям эксплуатации, указанным в расширенном ТЗ;
- совместимость элементной базы по надежности.

Массогабаритные характеристики элементов и данные по условиям эксплуатации приведены в паспортных данных на них и в литературе.

Рассмотрим пример анализа электрической схемы и элементной базы трансивера, представленные на рис. 3.2. Аппарат представляет собой супергетеродин с одной фиксированной промежуточной частотой и реверсивными трактами усиления. Рабочие напряжения +12 В (RX) и +12 В (TX) снимаются с катодов диодов VD68 и VD69 соответственно. Реле K11, K12, K16 и K17 используются для перевода трансивера из режима приема в режим передачи и наоборот. Лампа накаливания HL2 со светофильтром голубого цвета предназначена для индикации включения трансивера и подсветки шкалы S-метра PA1, лампа HL1 со светофильтром красного цвета сигнализирует о переводе аппарата в режим передачи. Реле K13, K14 и выключатель SB2 ("УП") обеспечивают переключение кварцевого фильтра в режим узкой полосы, кнопочным переключателем SB4 ("CW") трансивер переводят в телеграфный режим, а SB5 (VOX) - в телефонный режим голосового управления.

Кнопка SB6 ("HX") используется в режиме приема. Если она не нажата, то возможна работа на передачу SSB с применением тангенты SA6 (служит для перевода трансивера в режим передачи во всех режимах, если не нажата SB6). Если же кнопка нажата, то трансивер также находится в режиме приема, работа на

передачу с использованием тангенты в режиме SSB невозможна, однако можно работать телеграфом через систему VOX с использованием тонального генератора электронного телеграфного ключа.

Кнопкой SB7 "Настр." ("Настройка") трансивер переводят в режим настройки. При этом он переключается в режим TX (без нажатия тангенты), одновременно включается телеграфный гетеродин в режим постоянного излучения. Из головки громкоговорителя BA1 слышен тональный сигнал частотой около 1 кГц. Кнопка SB8 служит для перевода трансивера в режим передачи без использования тангенты, при этом возможна работа как телеграфом, так и SSB.

Режим расстройки включают кнопкой SB1, частоту изменяют переменным резистором R203. Контакты реле K17.1 используются для управления дополнительным усилителем мощности, K17.2 - для формирования рабочих напряжений +12 В (RX) и +12 В (TX), контакты реле K15.2 и K15.3 - для управления реверсивным УПЧ. Выключатель SB9 служит для отключения системы АРУ. Переменным резистором R204 регулируют уровень самопрослушивания тонального генератора в режиме CW, резистором R201 - усиление на передачу.

В режиме приема сигнал РЧ с антенного гнезда XW1 через КСВ-метр (выводы 40, 41) поступает на П-контур L16 (вывод 52), затем через вывод 6, контакты реле K11.1, конденсатор C55 и секцию SA1.3 переключателя диапазонов - на контур L8C63 и далее усиливается двунаправленным (реверсивным) каскадом на транзисторах VT7, VT3. В рассматриваемом режиме РЧ сигнал проходит в направлении от L3 к C67 через транзистор VT8, в режиме передачи - от C67 к L8 через транзистор VT7. Перевод каскада из режима RX в режим TX осуществляется подачей напряжения +12 В на выводы 10 (RX) и 9 (TX.). При этом транзистор VT8 включен по схеме с общим истоком, а VT7 - с общей базой. В результате входные/выходные сопротивления каскадов в обоих режимах оказываются высокими со стороны контура L8C63 и низкими со стороны конденсатора C67 и следующего за ним диодного балансного смесителя, что благоприятно сказывается на согласовании входных/выходных сопротивлений смежных каскадов. Соединение эмиттера транзистора VT7 через дроссель L9 и резистор R33 с истоком VT8 способствует закрыванию нерабочего транзистора VT7 в режиме RX из-за подачи на него небольшого положительного напряжения с истока работающего в этом режиме VT8. В режиме передачи процесс закрывания происходит в обратном порядке. На второй затвор VT8 в режиме RX подается напряжение АРУ, а в режиме TX - закрывающее напряжение отрицательной полярности.

Со стока транзистора VT8 усиленный сигнал РЧ через конденсатор C67 поступает на двойной мостовой балансный смеситель. В его состав входят два диодных моста (VD18 - VD21 и VD22 - VD25), трансформаторы T3, T4 и резисторы R40, R41. Наличие последних позволяет реализовать переключательный режим диодов при относительно высоком напряжении гетеродина (эффективное значение 4 В) и ограничить ток через диоды при открывающей полуволне напряжения предельно допустимыми значениями.

Описываемый узел является одним из вариантов смесителя высокого уровня, способного обеспечить большой динамический диапазон за счет высокого напряжения гетеродина, а также высокий уровень подавления входных сигналов. К положительным качествам такого смесителя относятся также хорошая развязка входных и гетеродинных цепей и его реверсивность, т.е. способность работать при разных направлениях прохождения сигнала. Сигнал ГПД подается на одну из обмоток трансформатора T3 (вывод 20), а сигнал РЧ - через вывод 26 и конденсатор C100 - в точку соединения двух обмоток трансформатора T4. Сигнал ПЧ 10,7 МГц в режиме приема снимается с его третьей обмотки, которая вместе с конденсатором C102 образует фильтр предварительной селекции ПЧ.

С этого фильтра через конденсатор C101 сигнал ПЧ поступает на вход двунаправленного усилителя, выполненного на транзисторах VT9 - VT11. В режиме приема (прохождение сигнала от конденсатора C101 к C103) работает каскадный усилитель на транзисторах VT9 и VT10 (первый включен по схеме с общим истоком, второй - по схеме с общей базой), в режиме передачи (прохождение сигнала от C103 к C101) - один транзистор VT11. Такое схемное решение позволяет получить необходимое усиление сигнала ПЧ в обоих режимах (RX и TX). В первом случае на второй затвор транзистора VT9 подается управляющее напряжение либо от системы АРУ, либо с резистора R131 (через каскад на транзисторе VT26) с целью регулировки усиления по ПЧ. В режиме TX на этот затвор VT9 через резистор R202 поступает закрывающее напряжение отрицательной полярности, вырабатываемое генератором на транзисторах VT41, VT42, расположенные в цифровой шкале. Это же закрывающее напряжение подается на второй затвор VT11 в режиме RX. В режиме передачи на него поступает напряжение регулировки усиления (DSB) с резистора R201.

Сигнал ПЧ, выделенный фильтром L11C106, через катушку связи L12 и конденсатор C103 (с вывода 21) поступает на восьмикристалльный лестничный фильтр (вывод 17). В режиме SSB (контакты K13.1, K14.1 разомкнуты) его полоса пропускания равна 2,4 кГц, в режиме CW (контакты замкнуты) - 0,8 кГц.

Резисторы R38, R39 служат для устранения эффекта "колокольчика".

С выхода кварцевого фильтра (вывод 19) напряжение ПЧ подается на затвор полевого транзистора VT12, входящего в состав двунаправленного усилителя (VT12, VT13). Этот каскад работает аналогично описанному выше (в обоих режимах) и отличается от него только отсутствием третьего (биполярного) транзистора. Выделенный фильтром L13C114 сигнал ПЧ через катушку связи L14 поступает на второй балансный диодный смеситель кольцевого типа (VD26 - VD30), также используемый в обоих режимах (RX и TX).

Сигнал частотой 10,7 МГц с опорного гетеродина, выполненного на транзисторе VT30, подведен к смесителю через вывод 24 и элементы C122, R63, R61, R64. Балансируют его подстроечным резистором R63 (грубо) и подбором емкости конденсатора C121.

С выхода 34 смесителя напряжение, отфильтрованное фильтром C123R65C124, через конденсатор C126 и вывод 30 поступает на вход (вывод 32) каскадного предварительного усилителя ЗЧ, выполненного на транзисторах VT14, VT15. Каскад хорошо согласуется с выходным сопротивлением балансного смесителя и входным сопротивлением усилителя мощности ЗЧ, обеспечивая при этом достаточно большое усиление.

С коллектора транзистора VT14 через регулятор громкости - переменный резистор R74 - сигнал ЗЧ подан на вход усилителя мощности ЗЧ, собранного на микросхеме DA1. В режиме приема резистор R77 замкнут контактами реле K17.1, благодаря чему коэффициент усиления каскада максимален. При переходе в режим передачи контакты реле размыкаются, и резистор R77 включается в цепь эмиттера транзистора выходного каскада микросхемы. В результате коэффициент усиления уменьшается. Требуемое усиление в режиме RX устанавливается подбором резистора R78, в режиме TX - резистора R77.

Через вывод 35 на вход усилителя мощности подается напряжение ЗЧ с телеграфного ключа для самопрослушивания (его громкость регулируют переменным резистором R204). С выхода усилителя (вывод 38) сигнал ЗЧ поступает либо на телефоны, либо одновременно на телефоны и головку громкоговорителя BA1 (в зависимости от положения переключателя SB3), а также на узел АРУ (через выключатель SB9) и систему антиVOX (вывод 60). Нагрузочный резистор R81 предотвращает выход микросхемы из строя при одновременном отключении головки громкоговорителя и телефонов в момент появления сигнала большого уровня на входе.

В режиме передачи сигнал 34 от микрофона BM1 через дроссель L17 и конденсатор C191 поступает на резистор R148, а с его движка - на неинвертирующий вход ОУ DA2. Дроссель предотвращает просачивание высокочастотных наводок на его вход. Через контакты K16.1 усиленный сигнал подается на балансный смеситель (с вывода 80 на 31), а также на устройство голосового управления VOX (с вывода 79 на вывод 58).

В балансном смесителе (VD23 - VD30) несущая частота подавляется, выделенный контуром L13C114 DSB сигнал усиливается каскадом на транзисторе VT13. Фильтр основной селекции выделяет одну боковую по-лосу и подавляет остаток несущей. Более удаленные от ПЧ побочные продукты преобразования подавляются контуром L11C106. Сформированный однополосный сигнал усиливается каскадом на транзисторе VT11 и с его стока подается на двойной мостовой балансный смеситель (VD18 - VD21, VD22 - VD25). В рассматриваемом режиме он работает так же, как и в режиме RX, однако, направление прохождения сигнала обратное. Снимаемый с вывода 26 сигнал усиливается транзистором VT7 и отфильтровывается контуром L8C63.

Далее сигнал рабочей частоты (в зависимости от выбранного с помощью переключателя SA1 диапазона) через конденсатор C57 и вывод 8 подается на вход усилителя мощности передатчика. Он состоит из трех каскадов предварительного усилителя (VT17), выходного каскадного усилителя (VT19, VT20) и согласующего их друг с другом эмиттерного повторителя (VT18). Каждый выходной каскад имеет, как известно, высокое выходное сопротивление, которое в данном случае дополнительно повышается трансформатором Т6. Такое схемное решение позволило применить в выходном П-контуре КПЕ (C158, C159) относительно небольшой емкости, получить более высокую спектральную чистоту сигнала на выходе, а также меньшую критичность соединительных проводов названного контура к их длине.

Сигнал РЧ с обмотки II трансформатора Т6 через выводы 50, 7, конденсатор С56, контакты реле К11.1, выводы 6, 51 поступает на П-контур L16C158 - С166, а с него через вывод 52, КСВ-метр (выводы 41, 40) и гнездо ХW1 - в антенну.

Примененный КСВ-метр позволяет контролировать режим работы фидера, а также оценивать выходную мощность трансивера по напряжению прямой волны. Его можно использовать с мощностью передатчика от 10 до 200 Вт, при этом потери энергии в нем не превышают 1 %. Важное достоинство такого измерителя КСВ - одинаковая чувствительность на всех КВ диапазонах.

В КСВ-метре создается управляющее напряжение, служащее для защиты усилителя мощности передатчика при высоком КСВ в фидере антенны. Это напряжение снимается с резистора R86 и через выводы 43, 45 подается на базу регулирующего транзистора VT16. При высоком напряжении обратной волны стабилитрон VD33 и транзистор VT16 открываются, напряжение на коллекторе последнего и гальванически связанном с ним втором затворе полевого транзистора VT17, падает, и коэффициент усиления усилителя мощности уменьшается практически до нуля.

Генератор выполнен на транзисторе VT1. Параметрический стабилизатор напряжения VD2R9 и элементы развязки С22, R1, С24, С242 предотвращают просачивание РЧ напряжения в цепи питания и обеспечивают повышенную стабильность параметров выходного сигнала при небольших колебаниях питающего напряжения, возникающих при переходных процессах (переключение с приема на передачу и наоборот). Резистор R4 улучшает развязку генератора с последующим каскадом.

На транзисторе VT2 собран широкополосный усилитель РЧ. Малая проходная емкость затворной цепи и высокое входное сопротивление каскада способствуют хорошей развязке генератора от других каскадов.

В диапазонах 1,8; 14 и 21 МГц усилитель ГПД нагружен эллиптическим фильтром нижних частот седьмого порядка L5 - L7C37 - С43 с полосой пропускания 11,3 ... 18,8 МГц, в остальных - аналогичным фильтром L2 - L4C30 - С36 с полосой пропускания 7 ... 10,5 МГц. Фильтры переключаются одновременно со сменой диапазонов переключателем SA1. Все паразитные составляющие сигнала подавляются более чем на 35 дБ. С выходов фильтров сигнал поступает на вход усилителя-удвоителя на транзисторах VT3, VT4.

Переключение режимов работы этого каскада осуществляется контактами реле К9.1, управляемого блоком коммутации. В диапазонах 1,8 и 18 МГц каскад работает как усилитель, в остальных - как удвоитель. При переходе в режим усиления коллектор VT3 отключается, а транзистор VT4 переводится в режим линейного усиления (класс А) благодаря подаче в базовую цепь дополнительного напряжения положительной полярности из-за подключения резистора R19 параллельно R18. В режиме удвоения частоты сигнал с входного трансформатора Т1 в противофазе поступает на базы обоих транзисторов. Их коллекторы при этом соединены друг с другом и нагружены входной обмоткой трансформатора Т2. Выходной сигнал ГПД снимается с половины вторичной обмотки Т2, а кабельный усилитель развязки с цифровой шкалой на транзисторах VT5 и VT6 подключен ко всей обмотке. Коэффициент усиления этого каскада в полосе частот 100 кГц ... 50 МГц - около 10. С цифровой шкалой он соединен отрезком коаксиального кабеля РК-75. Резистор R29 установлен в цифровой шкале (на коаксиальном разъеме). Применение такого усилителя наряду с мерами, принятыми в цифровой шкале с целью модернизации, позволили отодвинуть верхний предел измерения частоты до 33 МГц включительно, в чем возникла необходимость при работе в диапазонах 14 и 21 МГц при выбранной схеме построения трансивера.

Система расстройки содержит варикап VD1, резисторы R7, R8 и конденсаторы С16, С18 и С19.

Включают ее кнопкой SB1, а частоту изменяют переменным резистором R203. Требуемая степень растяжки поддерживается автоматически с помощью реле К5, управляемого переключателем диапазонов в блоке коммутации.

С помощью блока коммутации осуществляется переключение диапазонов в ГПД (реле К1 - К4, К6, К8, К10), переключение катушки L1 для получения соответствующей растяжки в различных диапазонах (К5), изменение режима работы усилителя-удвоителя (К9) в ГПД, коммутация кварцевых резонаторов для получения рабочей боковой полосы в диапазонах 14 и 21 МГц в опорном кварцевом гетеродине (К7), формирование управляющего сигнала логического 0, используемого при переключении цифровой шкалы с целью записи в счетчики различных чисел.

Схема систем голосового управления VOX и антиVOX. Входной сигнал с вывода 79 микрофонного усилителя через вывод 58 и подстроечный резистор R118 (им регулируют чувствительность системы VOX) поступает на вход усилителя ЗЧ, выполненного на транзисторе VT23. На диодах VD36, VD37 собран выпрямитель сигнала, на транзисторах VT22, VT21 - электронный ключ. В коллекторную цепь

VT21 включено командное реле K15. Сигнал антиVOX с выхода усилителя ЗЧ (вывод 58) через конденсатор C240 подается на вход (вывод 60) усилителя ЗЧ, выполненного на транзисторе VT24.

Выпрямленное диодами VD38, VD39 напряжение через делитель R120R119 поступает на базу транзистора VT22. В режиме приема нижний (по схеме) вывод конденсатора C177 соединен контактами реле K15.1 с общим проводом устройства. При переводе трансивера в режим передачи этот конденсатор отключается, что способствует исключению дребезга контактов реле K15 при наличии близких по величине управляющих сигналов на входах обеих систем (VOX и антиVOX).

Система АРУ, S-метр и измеритель мощности (ИМ). Сигнал с выхода усилителя ЗЧ (вывод 58) через выключатель АРУ SA13 подается на вход (вывод 68) выпрямителя АРУ, собранного на диодах VD41, VD42 по схеме удвоения напряжения. Время задержки срабатывания АРУ определяется емкостью конденсатора C135 и сопротивлением резистора R134. Выпрямленное напряжение через резистор R132 поступает на вход усилителя постоянного тока на транзисторе VT26. В его эмиттерную цепь включен микроамперметр PA1, резистор-шунт R135, блокировочный конденсатор C183 и диод VD40, расширяющий пределы измерения за счет получающегося нелинейного участка в конце шкалы (это необходимо для контроля сигналов большого уровня). На транзисторе VT25 собран измеритель выходной мощности трансивера. К его базе подводится сигнал, снимаемый с вывода 44 КСВ-метра. При установке переключателя SA2 в верхнее (по схеме) положение прибор PA1 индицирует величину напряжения обратной волны. Резисторы R136 - R138 используются в системе расстройки.

Опорный кварцевый гетеродин собран на транзисторе VT30 по схеме емкостной трехточки. В его базовую цепь контактами реле K7.1 включается один из кварцевых резонаторов ZQ10, ZQ11. В результате в диапазонах 14 и 21 МГц генератор вырабатывает синусоидальные колебания частотой 10,703, а в остальных - 10,7 МГц. В коллекторную цепь транзистора включен контур L18C207.

Выходной сигнал с катушки связи L19 через вывод 88 поступает на вход (вывод 24) балансного смесителя VD26 - VD30.

Телеграфный кварцевый гетеродин собран на полевом транзисторе VT28. Резонатор ZQ9 на частоту 10,701 МГц включен между затвором и общим проводом последовательно с подстроечным конденсатором C196. Последний предназначен для установки частоты телеграфного гетеродина на середину полосы пропускания кварцевого фильтра основной селекции. Конденсатором C201 подбирают глубину связи генератора с последующим каскадом, необходимую для получения требуемой мощности передатчика в телеграфном режиме.

На транзисторе VT29 выполнен электронный ключ. Конденсаторы C199 и C200 сглаживают фронты и спады телеграфных посылок. База транзистора (вывод 85) соединена с выходом (вывод 74) электронного ключа. Вывод 84 используется для включения генератора в режиме настройки, а также для манипуляции генератором при работе ручным ключом SA5.

Электронный телеграфный ключ выполнен по ставшей уже классической схеме на микросхемах КМОП DD1 - DD3 и транзисторе VT27. На микросхеме DD1 собран управляемый генератор импульсов с регулируемой частотой следования (R140 - регулятор скорости передачи), на триггерах DD2.1 и DD2.2 - формователи соответственно точек и "тире", на элементе DD3.1 - устройство сложения, на DD3.2 - DD3.4 - генератор сигнала ЗЧ, на VT7 - эмиттерный повторитель.

Работает ключ следующим образом. При нейтральном положении манипулятора SA3 на нижний (по схеме) вход элемента DD1.2 (вывод 6) и верхний DD1.3 (вывод 8) через резистор R141 подано напряжение с уровнем логической 1, поэтому генератор заторможен (на входе С триггера DD2.1 - уровень логического 0). Из-за наличия на входе R триггера DD2.2 уровня логической 1 напряжение на его инверсном выходе (вывод 12) имеет такой же уровень. При переводе манипулятора в левое (по схеме) положение ("точки") указанные выше входы элементов DD1.2, DD1.3 соединяются с общим проводом (это эквивалентно подаче логического 0), генератор возбуждается, и его импульсы поступают на вход С триггера DD2.1. Сформированные последним "точки" через элемент DD3.1 поступают на базу транзистора VT27, а с его эмиттера - на базу ключевого транзистора VT29 телеграфного гетеродина.

Одновременно "точки" поступают на вход (вывод 8) элемента DD3.3, разрешая тем самым работу генератора ЗЧ. Триггер DD2.2 в это время удерживается в исходном состоянии уровнем логической 1, поданным на его вход R через резистор R147. Элемент DD3.1 обеспечивает передачу "точки" нормальной длительности даже при кратковременном соединении соответствующих контактов манипулятора. При переводе манипулятора в правое (по схеме) положение ("тире") генератор импульсов и триггер DD2.1 работают так же, как и при формировании "точек". Однако на входе R триггера DD2.2 в

этом случае устанавливается уровень логического 0, и он изменяет свое состояние под действием импульсов триггера DD2.1. Импульсы с выходов обоих триггеров суммируются элементом DD3.1, формируя "тире". Как и в предыдущем случае, DD3.1 обеспечивает передачу тире даже при кратковременном замыкании контактов манипулятора. Ключ формирует стандартные посылки кода Морзе на всех скоростях передачи.

Электронная цифровая шкала. По сути, это несколько доработанный вариант устройства, описанного В. Криницким. Модернизация в основном коснулась входной части: изменены номиналы некоторых резисторов, исключены диоды защиты, микросхема K155ЛА3 заменена на K131ЛА3 (DD4). Эти меры привели к формированию более "четких" импульсов (меандра) на входе микросхемы DD5, в результате чего верхний предел диапазона рабочих частот поднялся до 33 МГц.

В кварцевом генераторе (DD6.3) применен резонатор на 100 кГц, что не только сократило число микросхем в делителе, но и привело к уменьшению побочных излучений при работе цифровой шкалы, а значит, и к уменьшению общего уровня шума трансивера. В счетчики записаны числа 107000 при наличии на выводе 101 уровня логического 0 и 893000 при смене его уровнем логической 1, что необходимо для правильного отсчета частоты при ПЧ 10,7 МГц.

В преобразователе напряжения (VT41, VT42) и стабилизаторе (VT40) применены более мощные транзисторы КТ630Б и КТ608А. Кроме того, в первое из этих устройств введен источник напряжения отрицательной полярности -10 В, состоящий из обмотки V трансформатора Т8, выпрямительного моста VD64-VD67 и параметрического стабилизатора напряжения R194VD63. Это напряжение используется для закрывания нерабочих каскадов трансивера (вывод 105).

Блок питания трансивера включает в себя трансформатор Т7, два выпрямителя (VD47-VD50 и VD51-VD54) и два стабилизатора напряжения (DA1, VT31 - VT33 и VT34, VT35). Блок выдает четыре напряжения: нестабилизированные +40 В и +20 В для питания соответственно усилителя мощности передатчика и обмоток реле, стабилизированное +9 В для питания цифровой шкалы и телеграфного ключа и стабилизированное +12 В для питания всех остальных каскадов. Через диод VD55 (вывод 96) подается напряжение 20 ... 30 В от внешнего источника постоянного тока.

Проектирование современной РЭС основано на модульном принципе, на базе которого разработаны функционально-модульный, функционально-узловой и функционально-блочный методы конструирования. Основной задачей конструкторского проектирования является реализация схемы изделия в виде набора отдельных конструктивно законченных модулей, узлов или блоков, связанных друг с другом цепями электрической коммутации.

Важным этапом при этом является разбиение электрической принципиальной схемы изделия на подсхемы (функциональное разбиение). В курсовом проектировании студент проводит функциональное разбиение, выполняя следующую последовательность операций.

Определение примерного числа модулей первого уровня, из которых будет состоять проектируемое изделие. Для этого надо знать суммарную площадь S_{Σ} занимаемую радиокомпонентами, составляющими электрическую принципиальную схему изделия и устанавливаемыми на печатную плату (ПП):

$$S_{\Sigma} = k_S \sum_{i=1}^n S_{yi},$$

где S_{yi} - установочная площадь i -го компонента; k_S - коэффициент, зависящий от назначения и условий эксплуатации изделия, $k_S = 1 \dots 3$.

Исходя из требований на габаритные размеры изделия, указанных в ТЗ, ориентировочно определяется типоразмер ПП для модулей первого уровня. При этом желательно использовать унифицированный ряд размеров ПП (ОСТ4.010.020-83 "Платы печатные. Основные размеры"): 170 × 75, 170 × 200, 170 × 150 мм.

Разделив суммарную площадь компонентов S_{Σ} на площадь печатной платы выбранного типоразмера, можно получить число модулей первого уровня. Следует отметить, что такой подход является оценочным; число модулей может быть скорректировано исходя из условий эксплуатации, назначения изделия, состава его электрической функциональной схемы, применяемого технологического процесса изготовления и т.д. Кроме того, часть электрических компонентов, таких как устройства управления и индикации, выходные и входные элементы электрической коммутации, не могут быть размещены на ПП, они устанавливаются на переднюю или заднюю панель изделия. При функциональном разбиении такие элементы должны быть заранее выделены в отдельную подсхему.

Более точно определить число ячеек в блоке можно на этапе предварительной компоновки, когда будут выбраны варианты конструкции блока и его размеры.

После функционального разбиения электрической принципиальной схемы изделия необходимо провести анализ существующих конструкций и рассмотреть сравнительные технические характеристики аналогичных конструктивных решений устройства с учетом требований миниатюризации, надежности, качества. При этом следует учитывать особенности проектирования конструкции РЭС в зависимости от функционального назначения, условий эксплуатации, размещения и свойств объекта-носителя.

На основе проведенного разбиения электрической схемы и анализа существующих конструкций выбирается метод конструирования устройства в целом и его составных частей. Существующие методы конструирования РЭС подразделяются на три взаимосвязанные группы (рис. 3.3):

- по видам связей между элементами;
- по способу выявления и организации структуры связей между элементами;
- по степени автоматизации конструирования РЭС зависит от назначения аппаратуры и ее функций, преобладающего вида связей, уровня унификации, автоматизации и т.д.



Рис. 3.3 Классификация РЭС по месту размещения

Так, при конструировании устройств с применением ИС используют:

- топологический метод (преобладают физические связи);
- функционально-модульный (в качестве функциональных модулей используются ИС);
- автоматизированный (размещение ИС на плате, трассировка соединений выполняется с помощью ЭВМ).

В свою очередь ИС конструируются методами топологии с применением автоматизации.

Таким образом, существует определенная взаимосвязь и последовательность применения перечисленных методов конструирования, которая состоит, во-первых, в выявлении видов связей между деталями и элементами, во-вторых, в определении структуры и числа (с точки зрения избыточности) связей между элементами и, в-третьих, в определении возможности или невозможности автоматизации выявления и организации структуры связей между деталями и элементами.

Рассмотрим кратко сложившиеся методы конструирования РЭС. На рис. 3.4 приведена классификация видов связей в РЭС.

Геометрический метод. В основу метода положена структура геометрических и кинематических связей между деталями, представляющая собой систему опорных точек, число и размещение которых зависит от заданных степеней свободы и геометрических свойств твердого тела.

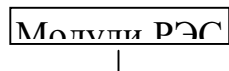




Рис. 3.4 Классификация модулей РЭС по характеру электрических сигналов

Принцип геометрического метода исходит из основных положений геометрии. Любая точка, расположенная в пространстве, обладает тремя степенями свободы. Тело же имеет шесть степеней свободы. Применение геометрического метода к конструированию РЭС приводит к следующим основным положениям.

- 1 Все возможные перемещения одного тела относительно другого, которые могут встретиться в двух конструктивно связанных телах, полностью определяются числом и местом расположения точек совместного прикосновения. Но так как число совместных точек прикосновения не может быть более шести и менее одной, то одно тело относительно другого может иметь до пяти степеней свободы.
- 2 Расположение точек соприкосновения тел (точек опоры) должно быть выбрано так, чтобы каждая точка безусловно ограничивала движение тела; если убрать эту точку опоры, то тело получит свободу перемещения в направлении, которое ограничивалось этой точкой.
- 3 Для лучшего ограничения возможного перемещения тела точки со-прикосновения следует располагать так, чтобы плоскость, касательная к любой точке, была по возможности перпендикулярна вероятному перемещению тела, лишённого этой точки опоры.
- 4 Для того чтобы сохранить при помощи совместных точек касания (опор) заданное положение одного тела относительно другого, необходимо иметь постоянно действующие силы, направленные перпендикулярно плоскости, касательной к точкам опоры, и создающие сжимающие напряжения в этих точках. Такие силы называются замыкающими и являются или силой тяжести тела, или силой действия специальных пружин.

Геометрический метод конструирования целесообразно применять для конструкций, в которых должно соблюдаться точное взаимоположение деталей или обеспечиваться их точное перемещение.

Машиностроительный метод. В основу этого метода конструирования положена структура механических связей между элементами, представляющая собой систему опорных поверхностей. Машиностроительный метод используется для конструирования устройств и элементов РЭС, которые несут большие механические нагрузки и в которых неизбежны вследствие этого большие деформации. При этом точечные опоры, принятые в геометрическом методе, оказываются нецелесообразными, так как могут перегружаться, поэтому их заменяют опорными поверхностями.

Характерные черты машиностроительного метода конструирования следующие:

- применение опорных поверхностей вместо опорных точек;
- возможное увеличение числа опорных поверхностей по сравнению с геометрическим методом;
- расположение опорных поверхностей допускается под любыми углами к возможному перемещению;
- замена замыкающих сил на замыкание формой поверхности, что неизбежно вызывает в подвижных соединениях зазоры, а в неподвижных - большие напряжения;
- обеспечение точности движения и взаимного расположения деталей за счет высокой степени точности их изготовления.

Топологический метод. В основу метода положена структура физических связей между ЭРЭ. Топологический метод, в принципе, может применяться для выявления структуры любых связей, однако

конкретное его содержание проявляется там, где связности элементов может быть сопоставлен граф.

Основные черты топологического метода следующие:

- сопоставление связности элементов конструкции РЭС графу, изоморфизм графов, т. е. свойство эквивалентности строения независимо от различия в геометрическом образе, которое позволяет получить множество преобразований графа, среди которых конструктору удастся найти совершенно непохожее на свой прототип решение;
- использование свойств графов для размещения элементов и ориентации их в пространстве для трассировки линий связи и средств их соединения с элементами.

Таблица 3.2

Применение методов проектирования РЭС

Метод конструирования	Области применения метода в процессе проектирования РЭС
Геометрический	Проектирование подвижных соединений, фиксаторов, арретиров, элементов кинематической схемы
Машиностроительный	Проектирование несущих конструкций блоков, ячеек, ПП
Топологический	Компоновка РЭС, размещение ЭРЭ на плате, трассировка электрических соединений

Топологический метод конструирования применяется, в первую очередь, для создания пленочных ИС, ПП, гибких печатных соединителей.

В табл. 3.2 приведены области конструкторских работ, использующие те или иные методы конструирования.

Метод проектирования моноконструкций основан на минимизации числа связей в конструкции и применяется для создания функциональных узлов, блоков, РЭС на основе оригинальной несущей конструкции в виде моноузла (моноблока) с оригинальными элементами. Разработка моноконструкций РЭС связана с многочисленными трудностями и имеет ряд недостатков, а именно: значительное время конструирования и внедрения в серийное производство, ограниченные возможности типизации и унификации, недостаточно высокая надежность, низкая степень ремонтпригодности, сложность внесения изменений в электрическую схему без переделки конструкции, значительная стоимость разрабатываемых и изготавливаемых конструкций.

Базовый (модульный) метод конструирования. В основу метода положен модульный принцип проектирования. Деление базового метода на разновидности связано с ограничениями, схемной и конструкторской унификацией структурных уровней (модулей, функциональных узлов, блоков). Базовый метод является основным при проектировании современной РЭС, он имеет много преимуществ по сравнению с методом моноконструкций:

- на этапе разработки позволяет одновременно вести работу над многими узлами и блоками, что сокращает сроки проведения разработок; упрощает отладку и сопряжение узлов в лаборатории, так как работа любого функционального узла определяется работой известных модулей; резко упрощается конструирование и макетирование; сокращает объем оригинальной конструкторской документации, дает возможность непрерывно совершенствовать аппаратуру без коренных изменений конструкции; упрощает и ускоряет внесение изменений в схему, конструкцию и конструкторскую документацию;
- на этапе производства сокращает сроки освоения серийного производства аппаратуры; упрощает сборку, монтаж, снижает требования к квалификации сборщиков и монтажников; снижает стоимость

- аппаратуры благодаря широкой механизации и автоматизации производства; повышает степень специализации производства;
- при эксплуатации повышает эксплуатационную надежность РЭС, облегчает обслуживание, улучшает ремонтпригодность аппаратуры.

4 Конструкторские расчеты

4.1 Компонировочные 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 желательным 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.

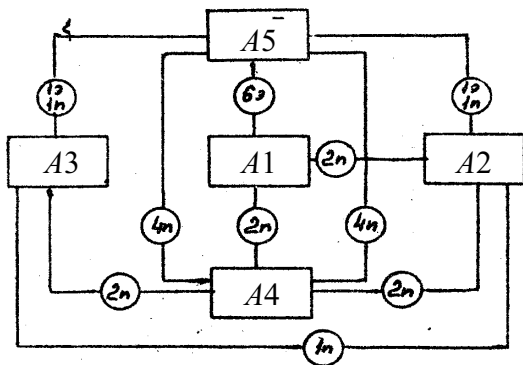


Рис. 4.1 Структурная схема осциллографа:

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

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 обуславливаться 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. 4.1 дается пример структурной схемы.

Таблица 4.1
Таблица габаритов

Констр уктив	Габариты, мм	Масс а, кг	Конст рукти в	Габариты, мм	Масс а, кг
A1	50 × 240 ×		A4	200 × 250 ×	
A2	70		A5	20	
A3	65 × 220 ×			200 × 20 ×	
	40			60	
	65 × 220 ×				
	40				

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 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. 4.1 дан в табл. 4.1).

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_{Φ} ;
- критерии использования объема q_v ;
- критерии тепловых связей q_T ;
- критерии центра тяжести (ЦТ) полученной конструкции $q_{ЦТ}$.

Остальные критерии добавляются по необходимости. Ими может быть ремонтпригодность, 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. 4.2. Другие возможные способы оценок будут приводиться ниже по ходу изложения на примерах. В табл. 4.2 п. 1 - 6 относятся к функциональным связям, им присваивается общее обозначение Φ_{Φ} ; п. 7 - 9 относятся к тепловым связям Φ_T ; п. 10 - 12 - к электрическим $\Phi_{\mathcal{E}}$; п. 13 - к магнитным связям Φ_M .

Таблица 4.2

Система оценок КВ (связей) в баллах

№	Описание КВ	Баллы
1	Связь неэкранированным проводом,	10
2	неограниченная по длине	20
3	Связь экранированным проводом, но	
	неограниченная по длине	
4	Связь экранированным или неэкранированным	30
	проводом, ограниченная по длине из-за	
	возможных паразитных наводок или искажений	40
	сигнала	
5	Связь экранированным проводом, ограниченная	60 -
	по длине из-за возможных искажений сигнала	
6	Связь экранированным проводом, ограниченная	70
7	по длине из-за: 1) возможного искажения	10
	сигнала; 2) уменьшения отношения сигнал/шум;	1
8	3) наводок	
	Связь по месту	2

9	Тепловая совместимость, требующая учета тепловыделения при размещении ЭРЭ	
1	Тепловая совместимость, требующая	3
0	естественного массообмена в изделии или	1
1	экранировании	
1	Тепловая совместимость, требующая	2
	принудительной вентиляции или других сложных	
1	средств	4
2	Электрическая совместимость, учитываемая при	3
	размещении ЭРЭ	
1	Электрическая совместимость, требующая	
3	экранирования электрического поля	
	Электрическая совместимость, требующая	
	экранирования электрического поля	
	Магнитная совместимость, требующая магнитного	
	экранирования	

Из табл. 4.2 видно, что оценки в баллах для q_{Φ} 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:

$$q_{\Phi} = \sum_{i=1}^n (l_i K_i),$$

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 XU была параллельна лицевой панели, а ось Z , перпендикулярная плоскости XU , была

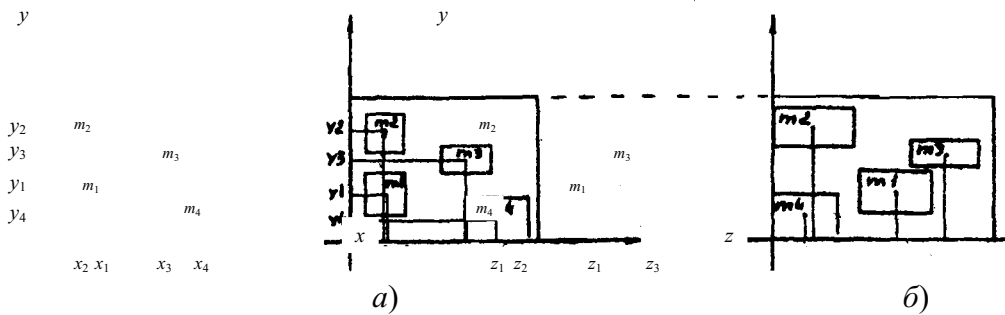


Рис. 4.2 Проекция четырех конструктивов на плоскость:
а - XY; б - YZ

направлена вдоль корпуса РЭС по одному из его ребер. Для примера на рис. 4.2, 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:

$$X_{\text{ЦТ}} = \frac{m_1 X_1 + m_2 X_2 + m_3 X_3 + m_4 X_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{\sum m_i X_i}{\sum m_i};$$

$$Y_{\text{ЦТ}} = \frac{m_1 Y_1 + m_2 Y_2 + m_3 Y_3 + m_4 Y_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{\sum m_i Y_i}{\sum m_i}.$$

Для нахождения координаты $Z_{\text{ЦТ}}$ необходимо изобразить проекции тех же четырех конструктивов на плоскость YZ (рис. 4.2, б), перпендикулярную ранее рассмотренной плоскости XY. Тогда

$$Z_{\text{ЦТ}} = \frac{m_1 Z_1 + m_2 Z_2 + m_3 Z_3 + m_4 Z_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{\sum m_i Z_i}{\sum m_i}.$$

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 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ - разность между соответствующими координатами геометрического центра и ЦТ РЭС. Чем больше расстояние Δl , тем меньше (в баллах) величина критерия $q_{\text{ЦТ}}$.

Процесс формирования вариантов компонования

Среди конструктивов блока выделяют его ядро или стержень.

Ядро - конструктив, в котором протекает главный рабочий процесс, непосредственно обеспечивающий выполнение изделия его показателей назначения (рабочих функций).

Стержень - система конструктивов, однозначно размещенных в пространстве, в которой протекает главный рабочий процесс, непосредственно обеспечивающий выполнение рабочей функции изделия. Компоновочное взаимодействие (КВ) между конструктивами (К), зависящее по величине и направлению от их конструкции, физической природы протекающих в них процессов и от их взаимного размещения, можно оценить или как силы, или как затраты. В последнем случае могут быть приняты во внимание следующие виды затрат на КВ:

- организация функциональных связей между конструктивами;

- конструктивная привязка друг к другу несовместимых конструктивов;
- создание несущей конструкции;
- габариты;
- элементы тепло-, влажно- и пылезащиты.

Знак и значение КВ в любом изделии для двух К могут быть определены по следующим правилам. Если два конструктива желательно сблизить для уменьшения помех, длины электрической связи, увеличения основания сигнал/шум, то такому К присваивается знак "+", а конструктивы считаем имеющими друг к другу отношение "притяжения".

Если два К желательно удалить друг от друга для уменьшения помех или нежелательных связей, то КВ принимает знак "-", а конструктивы считаем имеющими отношение "отталкивания".

Если два рассматриваемых К можно располагать на любом расстоянии друг от друга, то между ними существует "безразличное" (нейтральное) отношение, и КВ равно нулю.

Если расстояние между двумя рассматриваемыми К или их взаимное расположение строго установлены и их менять нельзя, то между ними существует "нормированное отношение" и КВ будем обозначать C (константой).

В объединениях конструктивов КВ - векторная величина, получаемая сложением нескольких составляющих. Возможны такие случаи, когда между двумя или большим числом К может быть несколько КВ разного знаков (например, необходимость сближения по функциональным связям и удаление из-за тепловой несовместимости). Таким образом, в сложном изделии между всеми К сосуществует большое число разнохарактерных по физической природе и часто противоречивых зависимостей, из-за чего задача объемного компонования чрезвычайно усложняется. Для обеспечения принятия обоснованных решений процесс компоновки должен быть не только многокритериальным, но еще и многовариантным. Критерии компоновки, как уже сказано, противоречивы. Улучшение одного из них может сопровождаться ухудшением другого, поэтому конструктору следует искать не оптимум одного, пусть и основного критерия, а приемлемый компромисс между оценками критериев. Именно поэтому выбор решения должен производиться на множестве различных сочетаний конструктивов и их объединений в заданном объеме, т.е. на множестве вариантов. Разные варианты компоновки обладают разным суммарным КВ, что, в принципе, позволяет построить методики обоснованного отбора из множества наиболее предпочтительных вариантов.

В рассматриваемом нами примере осциллограф является моноблоком, а поэтому выбираем стратегию "от содержания к форме". Далее по степени взаимного притяжения конструктивов к ядру и к объединениям с ним других конструктивов следует установить очередность вовлечения конструктивов в процесс компонования. Посмотрим, как выполняется эта операция в нашем случае. Основой для работы здесь служит структурная схема блока. Установлено, что ядром конструкции осциллографа надо считать

ЭЛТ - конструктив $a1$. Выбираем критерии и примем во внимание следующие виды связей:

- + ϕ_{Φ} - связи функциональные;
- ϕ_{T} - тепловая связь;
- ϕ_{M} - связь по магнитной совместимости;
- ϕ_{Σ} - связь по электрической совместимости.

Наличие функциональных связей нам показывают соединительные провода между конструктивами на структурной схеме. О наличии тепловых связей можно судить по тепловыделениям конструктивов большим, чем $0,025 \text{ Вт/см}^2$. О наличии магнитной связи между конструктивами можно судить только по принципиальной схеме. Она имеется, если оба анализируемых конструктива имеют элементы, создающие магнитное поле (моточные узлы), или элементы, реагирующие на его наличие. То же касается и электрических связей. Влияющим фактором, как правило, могут быть крупные конденсаторы выходных цепей и цепей питания, в особенности, если корпус их по схеме находится под напряжением и не заземлен. Могут влиять и другие части конструкции (ЭРЭ или детали), несущие на себе заряд.

Объектом влияния служат обычно элементы входных низкоуровневых цепей (неэкранированные конденсаторы). Для связи достаточно даже малых паразитных емкостей. Причем влияние тем больше, чем больше влияющее напряжение (заряд), его частота, емкость связи и сопротивление объекта влияния относительно земли. Паразитные наводки могут осуществляться и на неэкранированные провода в жгуте со стороны соседних проводов, соединяющих импульсные и коммутируемые цепи.

Составим, пользуясь вышеприведенными указаниями, матрицу КВ.

	A1	A2	A3	A4	A5
A1		φ_{Φ}	0	$+\varphi_{\Phi} -\varphi_{\Gamma}$ $-\varphi_{\text{М}}$	$+\varphi_{\Phi} -\varphi_{\Gamma}$
A2			φ_{Φ}	$+\varphi_{\Phi} -\varphi_{\Gamma}$ $-\varphi_{\text{Э}}$	$+\varphi_{\Phi} -\varphi_{\Gamma}$
A3				$+\varphi_{\Phi} -\varphi_{\Gamma}$ $-\varphi_{\text{М}} -\varphi_{\text{Э}}$	$+\varphi_{\Phi} -\varphi_{\Gamma}$
A4					$+\varphi_{\Phi} -\varphi_{\Gamma}$
A5					

Выполним числовую оценку КВ, базирующуюся на табл. 4.2. Пользуясь матрицей, из всех К выбирается тот, который имеет наибольшее притяжение к ядру A1. Для этого из первой строки матрицы выписывают конструктивы, имеющие хотя бы одну положительную компоненту КВ. Получаем ряд A2 A4 A5. В ряду осуществляем сравнение К по их относительному притяжению к A1. Функциональные связи К с ядром считаются весомее функциональных связей с другими конструктивами в 1,5 раза. Результаты оценки связей конструктивов Θ представлены ниже. Верхний индекс при обозначении оценки означает шаг подбора. На первом шаге подбора оцениваются связи с ядром:

$$\begin{aligned} \text{для } A2 \quad \Theta_2^1 &= \varphi_{\Phi, A1} = 10 \cdot 1,5 = 15; \\ \text{для } A4 \quad \Theta_4^1 &= \varphi_{\Phi, A1} - \varphi_{\Gamma} - \varphi_{\text{М}} = 10 \cdot 1,5 - 1 - 3 = 11; \\ \text{для } A3 \quad \Theta_3^1 &= 0; \\ \text{для } A5 \quad \Theta_5^1 &= \varphi_{\Phi, A1} - \varphi_{\Gamma} = 30 \cdot 1,5 - 2 = 43. \end{aligned}$$

Как видно, наибольшим притяжением к A1 обладает конструктив A5. Записываем полученное объединение:

$$A1 \cup A5.$$

На втором шаге подбора из оставшихся конструктивов необходимо выбрать тот, который имеет наибольшее притяжение уже к объединению. Из матрицы выписывают три оставшихся К, имеющих к объединению хотя бы одну положительную компоненту и оценивают связи. Проводим подсчет оценок, при этом наибольшую оценку полного КВ к объединению имеет A2. Таким образом, получим объединение:

$$A1 \cup A5 \cup A2.$$

Третий шаг - это подсчет КВ оставшихся К с новым объединением. В итоге после третьего шага имеем объединение

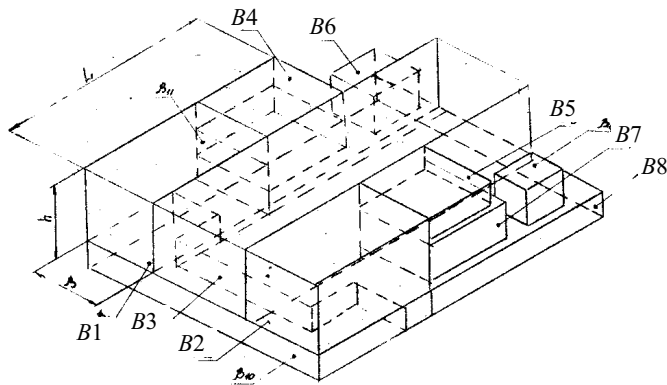
$$A1 \cup A5 \cup A2 \cup A3.$$

Приходим к окончательной очередности вовлечения К в процесс размещения:

$$A1 \cup A5 \cup A2 \cup A3 \cup A4.$$

Установив порядок вовлечения К в процессе компонования, можно приступить к формированию множества вариантов компоновки по методу целевого варьирования. 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. 4.3, а - д. Их числовые характеристики сведены в табл. 4.3.

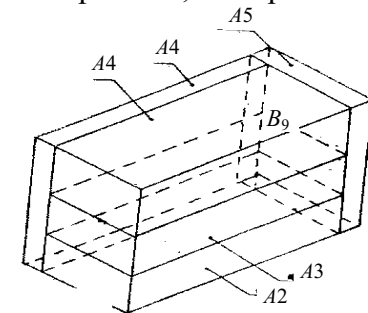
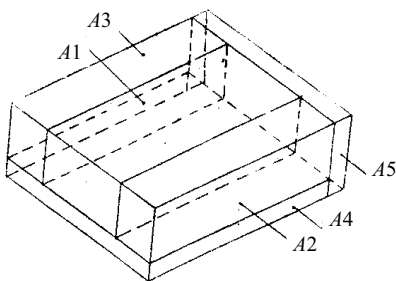


B10

а)

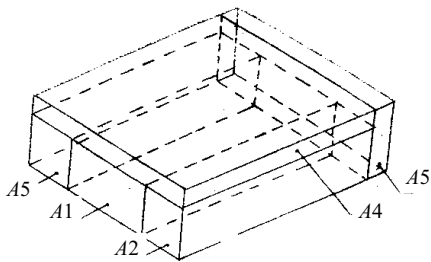
Рис. 4.3 Компоновочный эскиз:

а - вариант 1; б - вариант 2; в - вариант 3; г - вариант 4; д - вариант 5

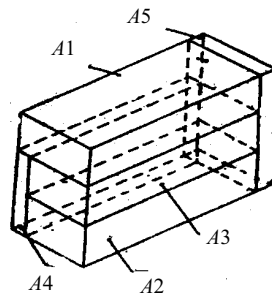


б)

в)



г)



д)

Рис. 4.3 Продолжение

Таблица 4.3
Данные о конструктивах вариантов 2, 3, 4, 5

№	Наименование	Коли честв о	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	1	200	20	60

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 таблицу (табл. 4.4).

Таблица 4.4

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:

$y_i^{(1)} \geq y_i^{(2)}$, т.е. $x_1 > x_2$, в этом случае вариант x_2 из дальнейшего рассмотрения исключается, а x_1 сравнивается с x_3 ;

$y_i^{(1)} \leq y_i^{(2)}$, т.е. $x_1 < x_2$, в этом случае для x_1 есть более предпочтительный вариант x_2 , поэтому x_1 из рассмотрения исключается;

$y_i^{(1)} \leq y_i^{(2)}$, 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_1 : 1-я итерация $X = x = \{x_1, \dots, x_g\}$. Поочередно сравниваем оценки первого варианта с остальными, сначала сравниваем x_1 и x_2 . Здесь $y_i^{(1)} \leq y_i^{(2)}$, 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 $x_1 \approx x_3$, $x_1 \approx x_4$, $x_1 \approx x_5$, $x_1 \approx x_6$, $x_1 \approx x_7$, $x_1 \approx x_8$.

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. $X_2 = \{x_2, x_3, x_5, \dots, x_8\}$. 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. $X_3 = \{x_3, x_5, \dots, x_8\}$. Парное 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. $X_4 = \{x_7\}$. Данный вариант заносим в множество $P(x)$, так как для него нет более предпочтительного.

Таким образом, в результате применения итерационной процедуры получаем множество

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

из трех вариантов. 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. 4.5.

Таблица 4.5
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.

4.2 Электрическая совместимость

При компоновке аппаратуры радиоэлектронных средств (РЭС) высших структурных уровней конструктору может встретиться необходимость защиты какого-либо чувствительного элемента схемы (объекта влияния) от внутренних и внешних источников помех, предполагая при этом, что путями преимущественного распространения помех являются связи через электрические, магнитные и электромагнитные поля. Вблизи источника излучения электромагнитной энергии (на расстояниях порядка длины волны и менее) задача защиты от внутренних источников сводится к защите или только по магнитной или только по электрической составляющей поля. При нахождении источника помех на

значительном удалении (более трех-пяти длин волн, в этих случаях речь обычно идет о внешних полях) рассматривается воздействие на объект распространяющейся в пространстве плоской электромагнитной волны, в которой энергия распределена равномерно между магнитной и электрической составляющими. Во всех упомянутых выше случаях весьма эффективным приемом защиты является применение экранов, иначе говоря экранирование. Экран представляет собой металлическое тело (перегородку, оболочку), разделяющее две области пространства и тем самым предотвращающее распространение электрических и магнитных полей от одной из этих областей к другой.

Защитное действие экрана основывается как на эффекте шунтирования (создания для силовых линий магнитного поля помехи специального "удобного" пути с низким магнитным сопротивлением в обход защищаемого объекта), так и на эффекте создания противодействующего помехе поля за счет вихревых токов, возбуждаемых полем помехи в материале экрана. В зависимости от частоты помехи влияние указанных эффектов осуществляется в различной степени. В изолированную экраном область помещается или объект влияния, или сам источник помех

Эффективность экранирования (Э) - это уменьшение напряженности магнитного или электрического полей, обеспечиваемое в защитном объеме пространства конструкцией экрана, выражается чаще всего в децибелах:

$$\mathcal{E} = 20 \lg \frac{H_3}{H}, \quad \text{или} \quad \mathcal{E} = 20 \lg \frac{E_3}{E},$$

где H (или E) - напряженность магнитного (электрического) поля в исследуемой точке до введения экрана; H_3 (E_3) - напряженность в той же точке после введения экрана.

Перевод децибелов в число раз увеличения (или уменьшения) может быть взят по таблицам или найден по значению логарифма. Промежуточные (узловые) точки легко запоминаются.

Увеличение (уменьшение) в 2 раза соответствует 6 дБ; 3,16 - 10 дБ; 10 - 20 дБ; 31,62 - 30 дБ; 100 - 40 дБ; 1000 - 60 дБ; 10000 - 80 дБ.

Прежде чем приступить к выполнению задания студенту необходимо проанализировать, какому типу помех преимущественно подвергается защищаемый объект. Соответственно этому надо выбрать тип экранирования и определить, от каких частот помехи следует строить защиту. Требуемая степень защиты в общем случае может быть рассчитана, исходя из соображения, что напряжение помехи на защищаемом объекте должно быть, по крайней мере, в несколько раз меньше полезного сигнала.

Интенсивность поля помехи на частоте $f = 628$ принимается обычно в пределах 1,99 - 7,96 А/м.

Конструктор должен иметь в виду, что влияние помехи распространяется через магнитное поле и может быть снижено в 5 раз только за счет правильного размещения защищаемого объекта относительно поля помехи (даже без экранирования!).

Для контурных катушек (резонансных систем) необходимая степень ослабления помехи рассчитывается с учетом резонансной кривой контура, его добротности и требуемой полосы пропускания.

Желательно, чтобы экран по возможности удовлетворял конструкторским требованиям как по электростатическому, так и по магнитостатическому экранированию. Конструктивная форма экрана в зависимости от объекта - цилиндр или параллелепипед.

Магнитное экранирование на низких частотах (1 - 3 кГц)

В диапазоне частот 1 - 3 кГц эффективность экрана от частоты не зависит. Вначале подбирается материал экрана, толщина экрана, зазор экран-объект. Эффективность экранирования проверяется расчетом. Наиболее практическая область - нижняя граница частотного диапазона поля помехи. Материалом экрана может быть только электротехническая сталь или пермаллой (при слабых полях).

Допустимо применять многослойное экранирование.

Расчетное соотношение для ориентировочных прикидок (до частоты помех 1 кГц):

$$\mathcal{E} = 1 + \mu_r \frac{d_3}{D},$$

где \mathcal{E} - фактическая эффективность защиты; μ_r - относительная магнитная проницаемость; d_3 - толщина стенок экрана, мм; D - диаметр эквивалентного сферического экрана (близкий к длине стенки кубического), мм.

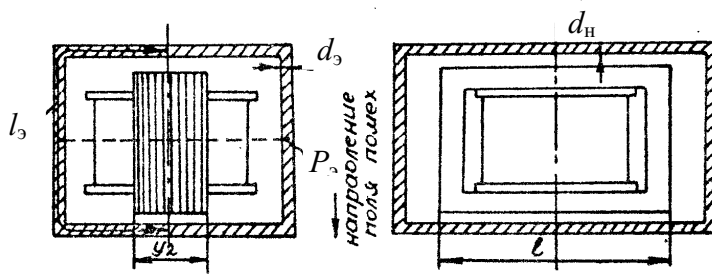


Рис. 4.4 Схема магнитного экранирования

Основной расчет эффективности экранирования рекомендуется выполнить по формуле

$$\mathcal{E} = 1 + \frac{2d_n P_3 d_3 \mu_r}{l y l_3},$$

где d_n - расстояние между сердечником защищаемого объекта и экраном в направлении поля помехи (рис. 4.4), мм; P_3 - периметр экрана в плоскости, перпендикулярной направлению поля помехи, мм; l - длина яра сердечника в направлении, мм; l_3 - меньший полупериметр прямоугольного экрана в плоскости, параллельной источнику помехи, мм; y - толщина набора сердечника, мм.

Магнитное экранирование на повышенных и высоких частотах

Суть экранирования сводится к тому, что под действием источника магнитной энергии на стороне экрана, обращенной к источнику, возникают заряды, а в его стенках - токи, образующие во внешнем пространстве поля, по напряженности близкие полю источника, а по направлению - противоположные ему. В результате внутри экрана происходит взаимная компенсация полей, а снаружи - вытеснение внешнего поля полями вихревых токов. Плотность тока и напряженность магнитного поля падают по экспоненциальному закону по мере углубления в металл. Поэтому в расчетах необходимо учитывать так называемую эквивалентную глубину проникновения (ЭГП) поля в толщину материала экрана ($\text{ЭГП} = \delta$).

Значения ЭГП для некоторых материалов на разных частотах приводятся в табл. 4.6.

Расчетное соотношение при $d_3 > \delta$:

$$\mathcal{E} = e^{\frac{d_3}{\delta}} \left(\frac{1}{2} + \frac{D}{2,8 m \mu_r \delta} \right),$$

где d_3 - фактическая толщина стенок экрана, мм; D - ширина прямоугольного экрана или диаметр цилиндрического, мм; m - коэффициент формы экрана ($m = 1$ - прямоугольный, $m = 2$ - цилиндрический, $m = 3$ - сферический).

Таблица 4.6
Эквивалентная глубина проникновения, мм

Частота, Гц	Медь	Латунь	Алюминий	Сталь		Пермаллой
				$\mu_r = 50$	$\mu_r = 100$	
10^2	6,7	12,4	8,8	-	1,54	0,38

10^5	0,21	0,39	0,27	-	0,049	0,012
10^6	0,067	0,12	0,088	0,023	-	-
10^8	0,0067	0,012	0,0088	0,002	-	-
				3		

При $\delta > d$, работает в основном эффект шунтирования, поэтому в данном случае расчетной формулой будет:

$$\Theta = \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma \omega \mu D d_3}{2m} \right)^2},$$

где σ - удельная проводимость материала, $\text{См} \cdot \text{см}^{-3}$; $\omega = 2\pi f$ - угловая частота; f - частота поля помехи, Гц;
 $\mu = \mu_0 \mu_r$ - магнитная проницаемость; $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-8}$ - магнитная постоянная, В·с/см·А.

В пограничных случаях рекомендуется провести расчет по этим формулам.

Для контурных катушек необходимо проверить расчетом допустимость величины снижения добротности за счет введения экрана (обычно не более 10 %). Методика такого расчета показана ниже на примере.

Электрическое экранирование

Электрическое экранирование требует выбора материала с возможно большей проводимостью (алюминий, серебряная медь) и тщательной конструктивной проработки соединения экран - корпус.

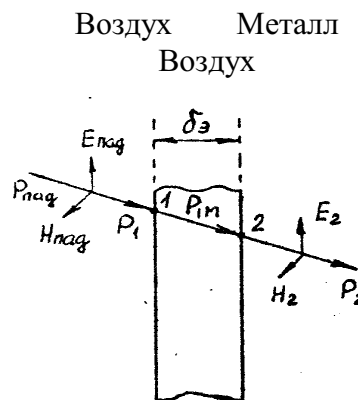
Эффективность экранирования определяется формулой

$$\Theta = Z_3 \omega \frac{C_{3A} C_{3B}}{C_{AB}},$$

где Z_3 - комплексное сопротивление экрана {модуль}; ω - угловая частота помехи; C_{3A} , C_{3B} , C_{AB} - частичные емкости экран-наводящего помеху тела A ; экран-защищаемого объекта B и между телами A и B .

В формуле за сопротивление экрана следует принять переходное сопротивление экран-корпус (r_3). Это сопротивление следует тщательно конструктивно проработать. Его величину в случае высококачественного исполнения следует принять в пределах 0,04 - 0,06 Ом, в прочих случаях 0,1 - 0,2 Ом. Допустимость того или иного решения проверяется заданной эффективностью экранирования и требуемыми условиями эксплуатации.

Защита от влияния внешнего электромагнитного поля



В этом случае экранирование происходит, благодаря отражению электромагнитной волны от металлической поверхности эк-рана и затуханию преломленной волны в теле экрана (рис. 4.5). Кроме прямого прохождения падающей волны в тело экрана и далее в экранируемое пространство, теоретически имеются многократные переотражения энергии от границ металл-воздух как со стороны падающей волны, так и в теле экрана. Однако практически с ошибкой не более

2 % переотражениями можно пренебречь. Тогда расчетные формулы для проектирования экрана имеют следующий вид:

$$\Theta = \frac{E_{\text{пад}}}{E_{\Gamma}} = \frac{H_{\text{пад}}}{H_{\Gamma}} = e^{-\frac{d_3}{\delta}} \frac{Z_{\text{возд}}}{4Z_{\text{мет}}},$$

где $Z_{\text{возд}}$ - характеристическое сопротивление воздуха (вакуум), оно принимается равным $Z_{\text{возд}} = 377 \text{ Ом}$;

$Z_{\text{мет}}$ - модуль характеристического сопротивления металла

$$Z_{\text{мет}} = \sqrt{\omega\mu/\sigma};$$

ω - угловая частота помехи; σ - удельная проводимость металла, $\text{См}\cdot\text{см}^3$; $\mu = \mu_0\mu_r$ - магнитная проницаемость материала экрана.

Толщина экрана практической роли не играет.

КОНСТРУКТОРСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЭКРАНОВ

А Для случая магнитного экранирования

- 1 В расчет следует вводить не максимальное и не среднее значения магнитной проницаемости материала экрана, а начальную величину, так как индукция поля помехи, как правило, мала. Начальная магнитная проницаемость при этом должна быть возможно более высокой, за исключением интенсивных полей. Наиболее подходящим материалом здесь будет пермаллой.
- 2 Увеличение толщины экрана почти пропорционально увеличивает эффект экранирования.
- 3 Зазор между экраном и объектом экранирования при малых габаритах 3 - 5 мм, при больших 7 - 10 мм.
- 4 Недопустимо крепление трансформатора или иного объекта с магнитопроводом внутри экрана стальными деталями. Непосредственный контакт магнитопровода с экраном следует исключить.
- 5 При креплении на стальную панель следует исключить непосредственный контакт между экраном и панелью. Необходимо применять магнитные прокладки.
- 6 В конструкции экрана следует исключать на пути магнитных силовых линий стыки, швы и щели. Крышки применять с хорошо прилегающей отбортовкой. В отдельных случаях щели допустимы только вдоль направления силовой линии.
- 7 Менее подвержены помехам трансформаторы на тороидальных или стержневых сердечниках с равномерным распределением обмоток по сердечнику (стержням).
- 8 При проектировании конструкции экрана учитывать механические и технологические свойства материала (пригодность для глубокой вытяжки, гибки и пр.).
- 9 На повышенных (выше 10 кГц) и высоких частотах, где экранирующий эффект создается преимущественно противодействующим полем вихревых токов, для изготовления экрана с успехом применяются немагнитные материалы. От конструктора при этом требуется:
 - обеспечить неравенство $\delta_3 > \delta$;
 - обеспечить хорошую проводимость материала экрана на пути вихревых токов: предпочтительны медь, алюминий, латунь; на СВЧ рекомендуется в качестве покрытия серебро;
 - на пути вихревых токов должно отсутствовать все, что увеличивает им сопротивление (швы, стыки, щели, зазоры, перпендикулярные к направлению токов широкие отверстия).
- 10 В пограничной частотной области (1 - 50 кГц) надо проверить как эффект от шунтирования, так и эффект от вихревых токов. Сравнить их. Сделать вывод о преобладании одного из них.

Б Для случая электрического экранирования

- 11 Для изготовления экрана требуется материал высокой проводимости. Отверстия малокритичны. Несущественно влияют и металлические покрытия.
- 12 Крайне важно обеспечить минимально возможное значение электрического сопротивления контакта экран-корпус, защиту этого контакта от окисления и механических воздействий. Особое влияние нужно уделить поверхностям из алюминия и магниевых сплавов, склонных к образованию изоляционной оксидной пленки.
- 13 Недопустимо образование электростатических влияющих связей с экранируемым объектом через промежуточные тела: незаземленные крышки, перегородки, стойки, металлические элементы несущих конструкций, другие нормально нетоковедущие части. Все подобные конструктивные элементы должны быть надежно заземлены. Крышки экранов в местах прилегания должны быть припаяны или же обеспечен другой вид надежного электрического контакта.
- 14 Следует в конструкциях избегать размеров, соизмеримых или кратных с длиной волны (во избежание появления стоячих волн).
- 15 При отсутствии полной ясности, от влияния какого поля должна быть выполнена защита объекта, ищется решение, удовлетворяющее требованиям как по магнитному, так и по электрическому экранированию.

В Для случая электромагнитного экранирования

- 16 Выполняя конструкцию электромагнитного экрана, надо учитывать, что реальная эффективность экранирования будет всегда несколько меньше расчетной величины, ибо электромагнитное поле проникает внутрь экрана не только через толщину материала экрана, но и по щелям, проводам и прочим путям. Тут страшны все отверстия и щелочки независимо от расположения, поэтому запас по эффективности необходимо иметь не менее, чем на 30 %.

4.3 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 п. 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 типонаименований 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 п. 2

Выполняя этот пункт 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 $17,5 \div 8$ Ом·м, что близко к r_v объемных медных проводников ($15,4 \div 8$ 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 $J_{\text{доп}} 30$ А/мм²; у проводников из электрохимического слоя меди - 20 А/мм²; у объемных 5 - 10 А/мм²;
- 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. 4.7).

Таблица 4.7

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
Фотоэлектрохимический	Гетинакс электротехнический ЭВ (н. ч.)	СТУ-36-1404-62	1,5 - 3
	Гетинакс Гв-50 (в. ч.)	СТ-2718-54	1,5 - 3
Комбинированный	Стеклотекстолит фольгированный СФ-	ГОСТ 10316-70 МРТУ 16-509	0,5 - 3

ванный	2001-64		
	Низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД 180-2	ТУ ИЖ 44-65	1,5 - 2

Указания к выполнению п. 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 удастся 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 $2 \times 45^\circ$) 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. Этим же правилам 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 контактными 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 устанавливается исходя из соотношения:

$$D - |D_{н.о}| > -D_s + r,$$

где $D_{н.о}$ - нижнее предельное отклонение диаметра отверстия; D_3 - 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 ГОСТу 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. 4.8.

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.

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

$$B = B_{\min d} + [B_{н.о.}],$$

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. 4.8).

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.

Таблица 4.8

Допуски на расположение контактных отверстий

Параметры	Класс точности ПП			
	1	2	3	4
Минимальное значение но-минальной ширины провод-ника 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 отвер-стия к толщине платы, Y	0,50	0,50	0,33	0,33
Допуск на отверстие ΔD ,	± 0,10	± 0,10	± 0,05	± 0,05

мм без металлизации: \varnothing < 1 мм $\varnothing > 1$ мм	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
Допуск на отверстие ΔD , мм, с металлизацией: \varnothing < 1 мм $\varnothing > 1$ мм	$\pm 0,10$ -0,15	$\pm 0,10$ -0,15	$\pm 0,10$ - -0,10	$\pm 0,10$ 0,10
Допуск на ширину проводника ΔB , мм: без покрытия с покрытием	$\pm 0,15$ +0,25 -0,20	$\pm 0,10$ +0,15 -0,10	0,03 -0,05 0,10 -0,08	$\pm 0,03$ $\pm 0,05$
Допуск на расположение отверстий δD , мм при размере платы: менее 180 мм 180 - 360 мм более 360 мм	0,20 0,25 0,30	0,15 0,20 0,25	0,08 0,10 0,15	0,05 0,08 0,10
Допуск на расположение контактных площадок δP , мм на ОПП и ДПП при размере платы: менее 180 мм 180 - 360 мм более 360 мм	0,35 0,40 0,45	0,25 0,30 0,35	0,20 0,25 0,30	0,15 0,20 0,25
Допуск на расположение проводников на ОПП и ДПП δL , мм	0,15	0,10	0,05	0,03
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки B_m , мм	0,06	0,045	0,035	0,025

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 - с 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 п. 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:

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

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. 4.7; t - толщина проводника, мм.

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

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

где r - удельное объемное сопротивление из табл. 4.9; 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 :

$$D = D_3 + |D_{\text{н.о}}| + R,$$

где D_3 - 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. 4.8).

Рассчитываем диаметр контактных площадок. Минимальный диаметр контактных площадок для ОПП, изготовленных *химическим методом*:

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

где H_ϕ - толщина фольги; $D_{\min 1}$ - минимальный эффективный диаметр площадки.

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

где B_m - расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки; δD и δP - допуски на расположение отверстий и контактных площадок (табл. 4.8); 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

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

- при сеточнографическом получении рисунка

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

Для ДПП, изготавливаемых *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, изготавливаемых *химическим методом*:

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

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, изготавливаемых *комбинированным позитивным методом*:

- при фотохимическом способе получения рисунка

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

- при сеточнографическом способе получения рисунка

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

Для ДПП, изготавливаемых *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;
проводников (табл. 4.8).

δL - допуск на расположение

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 п. 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 М 2:1 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, переемычек нет совсем или их количество минимально.

Для ориентировочного выбора площади платы нужно учитывать коэффициент заполнения K_3 , равный 0,5 - 0,7:

$$S_{\text{пл}} = S_{\text{эл}} / K_3,$$

где $S_{\text{эл}}$ - площадь элемента; $S_{\text{пл}}$ - площадь платы.

По полученному значению $S_{\text{пл}}$ 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 удастся 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 п. 6

Электрическое сопротивление печатных проводников.

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

$$R_c = r/h(L_1/t_1 + \dots + L_k/t_k),$$

где r - удельное электрическое сопротивление; h - толщина печатного проводника с покрытием; k - количество участков печатного проводника; L_i - длина i -го участка печатного проводника 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. 4.9.

Таблица 4.9

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
Гальв. медь	1,90	Никель	7,80
Хим. медь	2,80	Серебро	1,59
Золото	2,22		

Электрическое сопротивление рассчитывают по формуле:

$$R = (R_1 L_1 + \dots + R_k L_k),$$

где R_i - электрическое сопротивление проводника постоянной заданных значений

Нагрузочная способность по току:

- а) Для печатных плат, с их поверхности, и печатных прохождение тока большой току следует выбирать с На графике приведена

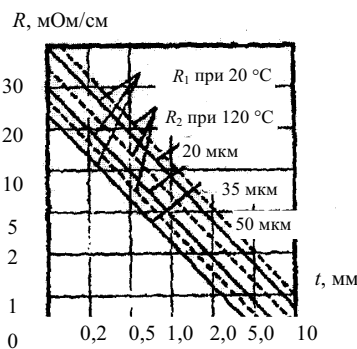


Рис. 4.6 Электрическое сопротивление участка печатного проводника

печатного проводника без покрытия

сопротивление i -го участка печатного ширины и толщины, определяемое для температуры по графику рис. 4.6.

критичных к рассеивающей мощности проводников, допускающих плотности, нагрузочную способность по использованию графика рис. 4.7. 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 3А.

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 или в соседних слоях, следует устанавливать в соответствии с рабочим напряжением.

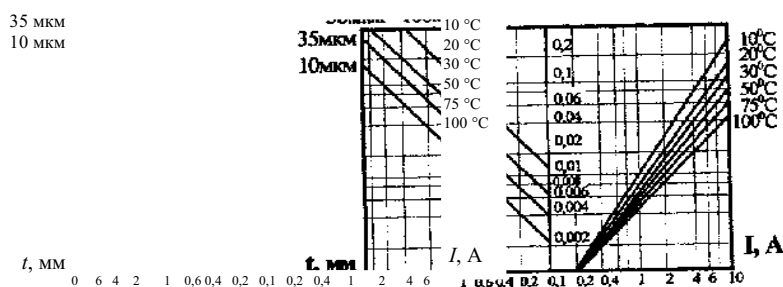


Рис. 4.7 Нагрузочная способность по току одиночных печатных проводников постоянной ширины
Указания к выполнению п. 7

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.

$$C = C_{\text{пог}} L_1,$$

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

Погонная емкость между двумя проводниками

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

где K_{Π} - коэффициент пропорциональности, определяемый по рис. 4.8; 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 (рис. 4.9), от ширины проводника приведена соответственно в табл. 4.10 и 4.11.

Таблица 4.10

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

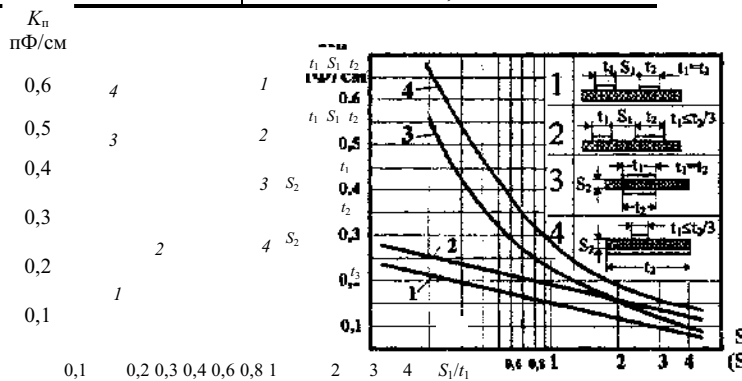


Рис. 4.8 Зависимость коэффициента пропорциональности K_{Π} от параметров ПП:

s_1, s_2 - расстояние между печатными проводниками; t_1, t_2 - ширина печатных проводников

Таблица 4.11

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

Ширина проводника, мм	Расстояние между проводниками, мм	ДПП	
		нелакированная $\varepsilon = 3,5$	лакированная $\varepsilon = 5$
1	2	3	4

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

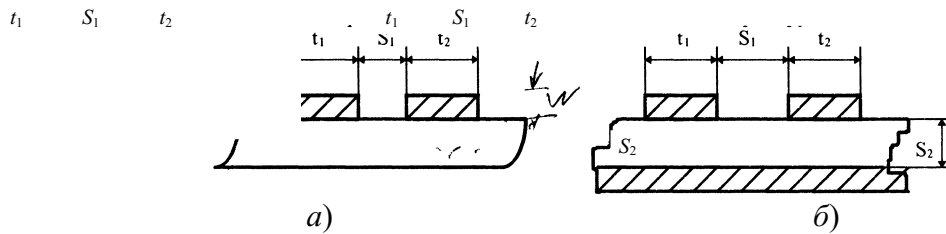


Рис. 4.9 Плата:

a - без экранирующей плоскости; *б* - с экранирующей плоскостью

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

Индуктивность печатного про-

$$L = L_{\text{пог}} l_2,$$

где $L_{\text{пог}}$ - погонная

мкГн/см; l_2 - длина

Погонную индуктивность пе-
по рис. 4.10.

При оценке допустимых пара-
учитывать динамическую
микросхем или снижение
микросхем. Динамическая
микросхем бывает двух видов:
привести к переключению

алгоритмом работы); сбой сигнала (помеха накладывается на информационный сигнал и препятствует переключению микросхем в соответствии с алгоритмом их работы). Сбой сигнала следует учитывать при максимальном быстром действии, при этом обеспечивается условие отсутствия ложных срабатываний. При длительности информационного сигнала, большей $5T_{\text{зд.р.ср}}$ (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. 4.12. Допустимую паразитную емкость между проводниками входа и

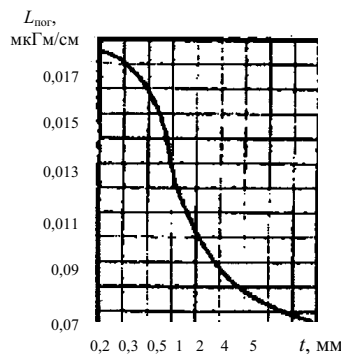


Рис. 4.10 Зависимость погонной индуктивности печатного проводника от ширины (толщина проводника 0,05 мм)

водника

индуктивность печатного проводника,
печатного проводника, см.
чатного проводника можно опре-делить

зитных связей на ПП необходимо
помехо-устойчивость цифровых
коэффициента уси-ления аналоговых
помехоустойчивость цифровых
ложное срабатывание (помеха может
микросхем, не предусмотренному

выхода вычисляют при снижении коэффициента усиления на 10 % (табл. 4.12). 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. 4.13.

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

$$L_{\text{доп}} = L_{\text{сдоп}} L_{\text{мдоп}} / (L_{\text{сдоп}} + L_{\text{мдоп}}),$$

где $L_{\text{сдоп}}$ - допустимая длина параллельно расположенных соседних проводников при воздействии только емкостной паразитной связи.

Таблица 4.12

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

Серия микросхем ы	Длительность импульсных сигналов			
	$2T_{\text{зд.р.ср}}$	$3T_{\text{зд.р.ср}}$	$4T_{\text{зд.р.ср}}$	$5T_{\text{зд.р.ср}}$
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	35	50

$$L_{\text{сдоп}} = C_{\text{доп}} / C ;$$

$L_{\text{мдоп}}$ - допустимая длина параллельно расположенных соседних проводников при воздействии только индуктивной паразитной связи:

$$L_{\text{мдоп}} = [T_{\text{зд.р.ср}} / (U_{\text{пу}} + U_0)] / K_m \Delta I,$$

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.

Таблица 4.13

Допустимая индуктивность, мкГн, шин заземления

Серия микросхем	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	0,1	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	-	-	-	-	-	-

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

$$L_{\text{доп}} = 0,5L_{\text{доп}} \cdot$$

Допустимая длина шины заземления

$$L_{\text{з.доп}} = L_{\text{доп}} / L_{\text{пог}} \cdot$$

Для обеспечения помехоустойчивости ПП с цифровыми микросхемами необходимо обеспечивать минимальную длину соединительных проводников между микросхемами. Печатные проводники должны быть по 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 разнесения проводников можно существенно уменьшить паразитные индуктивности и емкости.

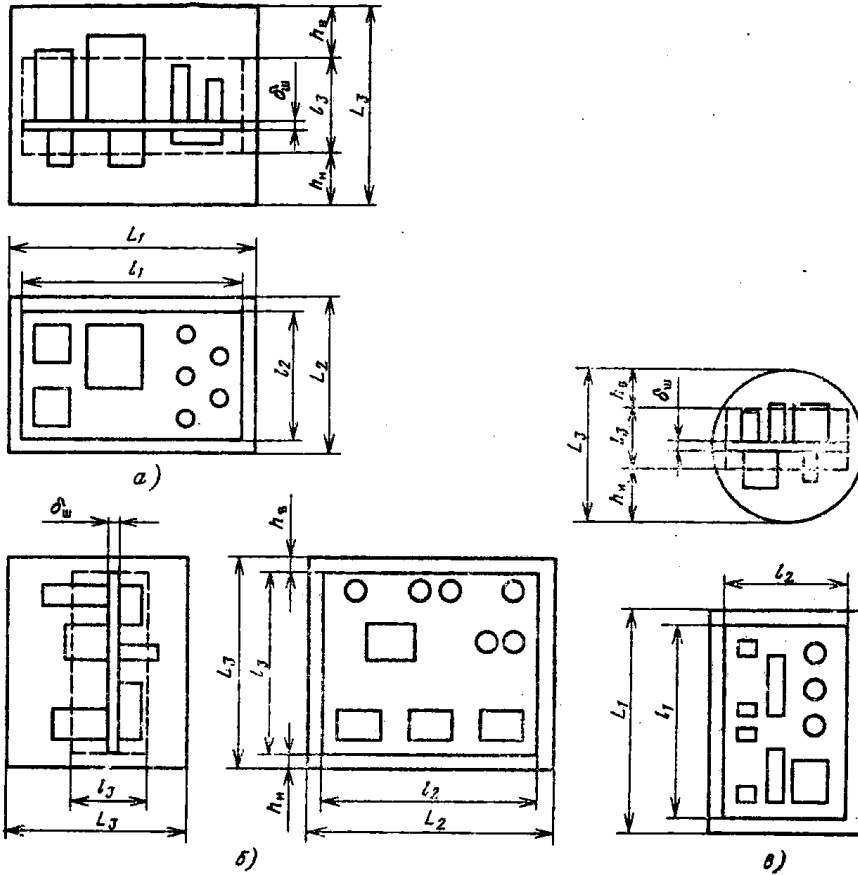
Компоновку плат следует выполнять так, чтобы сигнальные точки различных участков схемы или схемных узлов циркулировали по замкнутым контурам. При этом "местные земли" этих узлов не должны перекрываться, так как общие для двух или более контуров участки земляной шины являются причиной паразитных связей 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 размещать так, чтобы защитить другие участки схемы от сигналов данного узла, и наоборот.

4.4 Расчет теплового режима

Модуль РЭС второго уровня и выше, например блок, представляет собой сложную систему тел с множеством внутренних источников теплоты. Точное аналитическое описание температурных полей внутри блока невозможно из-за громоздкости задачи и неточности исходных данных: мощности источников теплоты, теплофизических свойств материалов, размеров границ. Поэтому при расчете теплового режима блоков РЭС используют приближенные методы анализа и расчета. Целью расчета является определение температур нагретой зоны и среды вблизи поверхности ЭРЭ, необходимых для оценки надежности. Рекомендуется проводить расчет для наиболее критичного элемента, т.е. элемента, допустимая положительная температура которого имеет наименьшее значение среди всех элементов, входящих в состав устройства и образующих нагретую зону.

Расчет стационарного теплового режима блока при естественном конвективном теплообмене. Конструкция РЭС заменяется ее физической тепловой моделью, в которой нагретая зона представляется

в виде параллелепипеда, имеющего среднеповерхностную температуру $t_{н.з}$ и рассеиваемую тепловую



мощность $P_{н.з}$. На рис. 4.11 представлены тепловые модели блоков РЭС. За размеры нагретой зоны принимаются размеры шасси l_1 и l_2 и высота l_3 , которая определяется по формуле

$$l_3 = \delta_{ш} + h_{31} + h_{32},$$

где $\delta_{ш}$ - толщина шасси; h_{31} и h_{32} - части высоты нагретой зоны, расположенные со стороны шасси в 1-м и 2-м отсеках, на которые шасси делит блок РЭС. Размеры h_{31} и h_{32} определяются по формуле

Рис. 4.11 Тепловые модели блоков РЭС в виде параллелепипедов с горизонтально (а) и вертикально (б) ориентированными шасси и в виде цилиндра (в)

$$h_{3j} = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{V_i}{(l_1/l_2)},$$

где $j = 1, 2$ - номер отсека блока; V_i - объем i -й детали в j -м отсеке; n_j - число деталей в j -м отсеке.

Большая часть РЭС имеет блоки разъемной, кассетной или книжной конструкции с плотной компоновкой. В зависимости от ориентации модулей 1-го уровня и величины воздушных зазоров между ними различают три группы конструкций по характеру теплообмена в них. Отличительные особенности этих групп приведены в табл. 4.14. Выбор той или иной группы осуществляется эмпирически, исходя из опыта разработок и здравого смысла. Наиболее общим случаем является вторая группа конструкций.

Тепловая модель блока РЭС плотной компоновки приведена на рис. 4.12.

Расчет теплового режима блока можно условно разделить на три этапа: 1) определение температуры корпуса t_k ; 2) определение среднеповерхностной температуры нагретой зоны $t_{н.з}$; 3) определение температуры поверхности радиоэлемента (микросхемы, ЭРЭ).

Для выполнения первых двух этапов расчета теплового режима необходимы следующие исходные данные: размеры корпуса - ширина L_1 , глубина L_2 , высота L_3 ; размеры нагретой зоны $l_1 \times l_2 \times l_3$; величины воздушных зазоров между нагретой зоной и нижней поверхностью корпуса h_n , нагретой зоной и верхней поверхностью корпуса h_b ; площадь перфорационных отверстий S_n ; мощность, рассеиваемая блоком в виде теплоты P_o , мощность радиоэлементов, расположенных непосредственно на корпусе P_k ; базовая

температура t_0 , т.е. температура окружающей среды; теплофизические параметры воздуха и материалов конструкции блока.

Таблица 4.14

Классификация конструкций в зависимости от характера теплообмена

Группа конструкций	Виды теплообмена между модулями 1-го уровня	Виды теплообмена между нагретой зоной и корпусом
I	Излучение, теплопроводность	Конвекция, излучение, теплопроводность
II	Конвекция, излучение, теплопроводность	Излучение, конвекция, теплопроводность
III	Излучение, теплопроводность	Излучение, теплопроводность

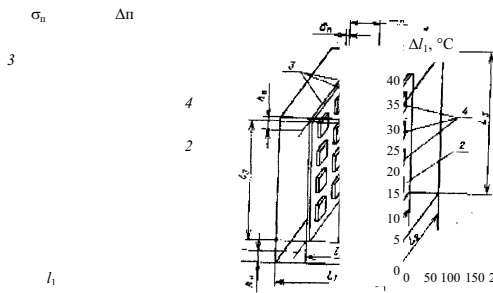


Рис. 4.12 Тепловая модель блока РЭС плотной компоновки:
 1 - корпус; 2 - нагретая зона; 3 - модуль 1-го уровня; 4 - радиоэлемент

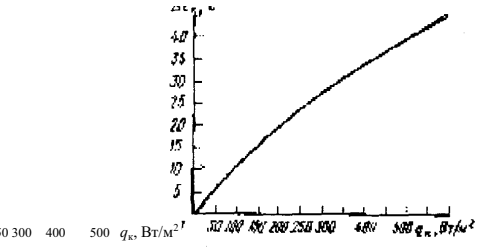


Рис. 4.13 Зависимость перегрева корпуса блока от удельной мощности

Этап 1. Определение температуры корпуса

1 Рассчитываем удельную поверхностную мощность корпуса блока q_k :

$$q_k = P_0 / S_k,$$

где S_k - площадь внешней поверхности корпуса блока,

$$S_k = 2(L_1L_2 + L_2L_3 + L_1L_3).$$

2 По графику на рис. 4.13 задаемся перегревом корпуса блока в первом приближении Δt_k .

3 Определяем коэффициенты лучеиспускания для верхней $\alpha_{л.в}$, боковой $\alpha_{л.б}$ и нижней $\alpha_{л.н}$ поверхностей корпуса:

$$\alpha_{ли} = \epsilon_i 5,67 \frac{\left[\left(\frac{t_0 + \Delta t_k + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_0 + 273}{100} \right)^4 \right]}{\Delta t_k},$$

где ϵ_i - степень черноты i -й наружной поверхности корпуса, определяется в зависимости от материала из табл. 4.15.

Таблица 4.15

Степень черноты различных поверхностей

Материал	ε	Материал	ε
Алюминий	0,05	Масляные краски	0,9
полированный	0,25	Никель	2
Алюминий окисленный	0,18	полированный	0,0
Алюминий	0,09	Олово (луженое	8
грубополированный	0,96	кровель-	
Алюминиевая фольга	0,16	ное железо)	0,0
Асбестовый картон	0,92	Платина	8
Бронза полированная	0,05	Резина твердая	0,1
Бумага	00,7	Резина мягкая	0,9
Вольфрам	5	Серебро	5
Графит	0,39	полированное	0,8
Дюралюминий (Д16)	0,26	Сталь	6
Железо полированное	0,10	никелированная	0,0
Золото	0,82	Сталь окисленная	5
Ковар	0,92	Стальное литье	0,1
Краски эмалевые	0,88	Саиса	1
Лак	0,03	Стекло	0,8
Латунь полированная	0,20	Силумин	0,5
Латунь прокатная	0,02	Титан	4
Медь полированная	0,65	Фарфор	0,9
Медь окисленная	0,9	Хром полированный	6
Муар		Цинк	0,9
		Шеллак черный	2
		матовый	0,2
			5
			0,6
			3
			0,9
			2
			0,1
			0
			0,2
			5
			0,9
			1

4 Для определяющей температуры $t_m = t_o + 0,5\Delta t_k$ рассчитываем число Грасгофа Gr для каждой поверхности корпуса:

$$Gr_{mi} = \beta_m g \frac{L_{опр.i}^3}{\nu_m^2} \Delta t_k,$$

где $L_{опр.i}$ - определяющий размер i -й поверхности корпуса; β_m - коэффициент объемного расширения, для газов $\beta_m = (t_m + 273)^{-1}$; g - ускорение свободного падения; ν_m - кинематическая вязкость газа, для воздуха определяется из табл. 4.16. Индекс m означает, что все параметры соответствуют определяющей температуре t_m .

Таблица 4.16

Теплофизические параметры сухого воздуха при давлении $101,3 \cdot 10^5$ Па

$t_m, \text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda_m \cdot 10^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\nu_m \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Pr	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$t_m, \text{ }^\circ\text{C}$	$\lambda_m \cdot 10^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\nu_m \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$	Pr	$\rho, \text{ кг/м}^3$
-50	2,04	9,23	0,72	1,58	50	2,83	17,	0,69	1,09
-20	2,28	12,7	8	4	60	2,90	95	8	3
0	2,44	9	0,71	1,39	70	2,97	18,	0,69	1,09
10	2,51	13,2	6	1,29	80	3,05	97	6	1,02
20	2,60	8	0,70	5	90	3,13	20,	0,69	9
30	2,68	14,1	7	1,24	100	3,21	02	4	1,00
40	2,76	6	0,70	7	120	3,34	21,	0,69	0,97
		15,0	5	1,20			09	2	2
		6	0,70	5			22,	0,69	0,94
		16,0	3	1,16			10	0	6
		0	0,70	5			23,	0,68	0,89
		16,9	1	1,12			13	8	8
		6	0,69	8			25,	0,68	
			9				45	6	

5 Определяем число Прандтля Pr из табл. 4.16 для определяющей температуры t_m .

6 Находим режим движения газа или жидкости, обтекающей каждую поверхность корпуса:

$(Gr \cdot Pr)_m \leq 5 \cdot 10^2$ - режим переходный к ламинарному;

$5 \cdot 10^2 \leq (Gr \cdot Pr)_m \leq 2 \cdot 10^7$ - ламинарный режим;

$(Gr \cdot Pr)_m > 2 \cdot 10^7$ - турбулентный режим.

7 Рассчитываем коэффициенты теплообмена конвекцией для каждой поверхности корпуса блока.

- для переходного режима

$$\alpha_{ki} = 1,18 \frac{\lambda_m}{L_{опрi}} (Gr \cdot Pr)_m^{1/8} N_i;$$

- для ламинарного режима

$$\alpha_{ki} = 0,54 \frac{\lambda_m}{L_{опрi}} (Gr \cdot Pr)_m^{1/4} N_i;$$

$$\alpha_{ki} = 0,135 \frac{\lambda_m}{L_{опрi}} (Gr \cdot Pr)_m^{1/3} N_i,$$

где λ_m - теплопроводность газа, для воздуха значения λ_m приведены в табл. 4.16; N_i - коэффициент, учитывающий ориентацию поверхности корпуса:

$N_i = 0,7$ - для нижней поверхности;

$N_i = 1$ - для боковой поверхности;

$N_i = 1,3$ - для верхней поверхности.

8 Определяем тепловую проводимость между поверхностью корпуса и окружающей средой σ_k :

$$\sigma_k = (\sigma_{к.н} + \sigma_{л.н})S_n + (\sigma_{к.б} + \sigma_{л.б})S_b + (\sigma_{к.в} + \sigma_{л.в})S_v,$$

где S_n, S_b, S_v - площади нижней, боковой и верхней поверхностей корпуса соответственно

$$S_n = S_v = L_1 L_2; \quad S_b = 2L_3(L_1 + L_2).$$

Встречаются блоки РЭС с оребренными поверхностями. В этом случае необходимо определить эффективный коэффициент теплообмена оребренной i -й поверхности $\alpha_{эф i}$, который зависит от конструкции ребер и перегрева корпуса относительно окружающей среды. Определение $\alpha_{эф i}$ производится точно так же, как при расчете радиатора.

Определив эффективный коэффициент теплообмена $\alpha_{эф}$, переходят к расчету тепловой проводимости всего корпуса σ_k , которая состоит из суммы проводимостей неоребреной $\sigma_{к.о}$ и оребреной $\sigma_{к.р}$ поверхностей:

$$\sigma_k = \sigma_{к.о} + \sigma_{к.р},$$

где $\sigma_{к.о}$ - рассчитывается по формуле без учета оребреной поверхности; $\sigma_{к.р} = 0,77\alpha_{эф}S_{pi}N_i$; S_{pi} - площадь основания оребреной поверхности; N_i - коэффициент, учитывающий ориентацию этой поверхности.

9 Рассчитываем перегрев корпуса блока РЭС во втором приближении $\Delta t_{к.о}$:

$$\Delta t_{к.о} = (P_0/\sigma_k)K_{к.п}K_{H1},$$

где $K_{к.п}$ - коэффициент, зависящий от коэффициента перфорации корпуса блока $K_{п}$; K_{H1} - коэффициент, учитывающий атмосферное давление окружающей среды. Графики для определения коэффициентов $K_{к.п}$ и K_{H1} представлены на рис. 4.14 и 4.15. Коэффициент перфорации определяется как отношение площади перфорационных отверстий $S_{п}$ к сумме площадей верхней и нижней поверхности корпуса:

$$K_{п} = S_{п}/(S_{н} + S_{в}).$$

10 Определяем ошибку расчета

$$\delta = |t_{к.о} - t_k|/\Delta t_{к.о}.$$

Если $\delta \leq 0,1$, то расчет можно считать законченным. В противном случае следует повторить расчет температуры корпуса для другого значения Δt_k , скорректированного в сторону $\Delta t_{к.о}$.

11 Рассчитываем температуру корпуса блока

$$t_k = t_0 + t_{к.о}.$$

На этом первый этап расчета теплового режима блока РЭС окончен.

Этап 2. Определение среднеповерхностной температуры нагретой зоны

1 Вычисляем условную удельную поверхностную мощность нагретой зоны блока q_3 :

$$q_3 = \frac{P_3}{1,82(l_1l_2 + l_1l_3 + l_2l_3)},$$

где P_3 - мощность, рассеиваемая в нагретой зоне. В общем случае $P_3 = P_0 - P_k$, где P_k - мощность, рассеиваемая в элементах, установленных непосредственно на корпус блока; в этом случае последний играет роль радиатора.

2 Из графика на рис. 4.16 находим в первом приближении перегрев нагретой зоны относительно температуры окружающей блок среды Δt_3 .

$K_{к.п}$

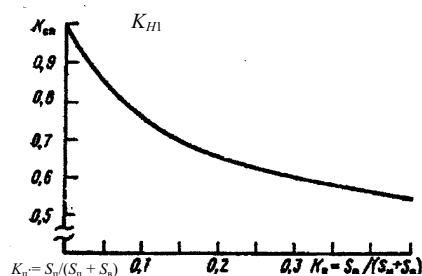


Рис. 4.14 Зависимость коэффициента $K_{к.п}$ от

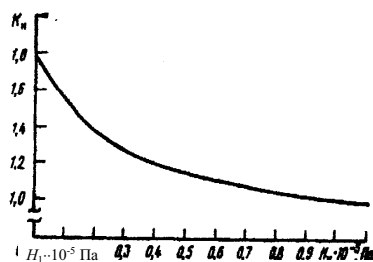


Рис. 4.15 Зависимость коэффициента K_{H1} от

коэффициента перфорации атмосферного давления
корпуса блока окружающей среды

3 Определяем коэффициент теплообмена излучением между нижними $\alpha_{3,л.н}$ и верхними $\alpha_{3,л.в}$ и боковыми $\alpha_{3,л.б}$ поверхностями нагретой зоны и корпуса:

$$\alpha_{3,л.i} = \varepsilon_{\pi i} 5,67 \left[\left(\frac{t_o + \Delta t_3 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_k + 273}{100} \right)^4 \right] / (\Delta t_3 - \Delta t_{к.о}),$$

где $\varepsilon_{\pi i}$ - приведенная степень черноты i -й поверхности нагретой зоны и корпуса

$$\varepsilon_{\pi i} = \left[\frac{1}{\varepsilon_{zi}} + \left(\frac{1}{\varepsilon_{ki}} - 1 \right) \frac{S_{zi}}{S_{ki}} \right]^{-1},$$

ε_{zi} и S_{zi} - степень черноты и площадь i -й поверхности нагретой зоны.

- 4 Для определяющей температуры $t_m = (t_k + t_o + \Delta t_3)/2$ и определяющего размера h_i находим числа Грасгофа Gr_{hi} и Прандтля Pr .
- 5 Рассчитываем коэффициенты конвективного теплообмена между нагретой зоной и корпусом для каждой поверхности:

- для нижней поверхности $\alpha_{3,к.н} = \lambda_m / h_n$;

- верхней поверхности

$$\alpha_{3,к.в} = \begin{cases} \lambda_m / h_b & \text{при } (Gr_{h_b} \cdot Pr) \leq 10^3; \\ 0,234 \left[6,25 - 5,25 \left(1 + h_b / \sqrt{l_1 l_2} \right)^{5/3} \right] \lambda_m \times \\ \times (Gr_{h_b} \cdot Pr)^{1/4} / h_b & \text{при } (Gr_{h_b} \cdot Pr) > 10^3; \end{cases}$$

- для боковой поверхности

$$\alpha_{3,к.б} = \begin{cases} \lambda_m / h_b & \text{при } (Gr_{h_b} \cdot Pr) \leq 10^3; \\ 0,18 \left[6,25 - 5,25 \left(1 + h_b / \sqrt{2(l_1 + l_2)l_3} \right)^{5/3} \right] \times \\ \times \lambda_m (Gr_{h_b} \cdot Pr)^{1/4} / h_b & \text{при } (Gr_{h_b} \cdot Pr) > 10^3. \end{cases}$$

6 Определяем тепловую проводимость между нагретой зоной и корпусом

$$\sigma_{3,к} = K_{\sigma} \sum_{i=н.в.б} (\alpha_{3,л.i} + \alpha_{3,к.i}) S_{zi},$$

где K_{σ} - коэффициент, учитывающий кондуктивный теплообмен; $K_{\sigma} = \begin{cases} 1,63 - \frac{0,157}{\sigma S_{\lambda}} & \text{при } \frac{1}{\sigma S_{\lambda}} \leq 4; \\ 1 & \text{при } \frac{1}{\sigma S_{\lambda}} > 4; \end{cases}$

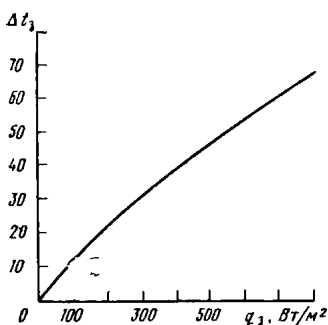


Рис. 4.16 Зависимость перегрева нагретой зоны от удельной мощности поверхности

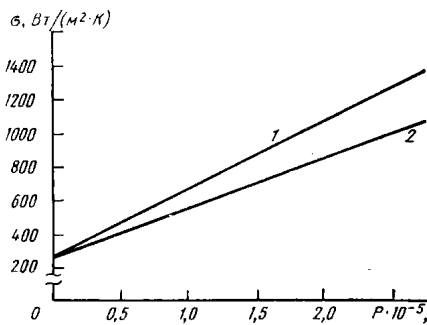


Рис. 4.17 Зависимость удельной тепловой проводимости от усилия прижима модулей к корпусу:

1 - контакт медной ячейки с
алюминиевым корпусом; 2 -
контакт алюминий-
алюминий

σ - удельная тепловая проводимость от модулей к корпусу блока, зависящая от усилия прижима ячеек к корпусу (рис. 4.17), при отсутствии прижима $\sigma = 240 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; S_{λ} - площадь контакта рамки модуля с корпусом блока.

7 Рассчитываем нагрев нагретой зоны $\Delta t_{3,0}$ во втором приближении:

$$\Delta t_{3,0} = \Delta t_{к,0} + \frac{P_3 K_{к.п} K_W K_{H2}}{\sigma_{3,к}},$$

где K_W - коэффициент, учитывающий внутреннее перемешивание воздуха, зависит от производительности вентилятора C_B , (рис. 4.18); K_{H2} - коэффициент, учитывающий давление воздуха внутри блока (рис. 4.19).

8 Определяем ошибку расчета $\delta = |\Delta t_{3,0} - \Delta t_3| / \Delta t_{3,0}$. Если $\delta < 0,1$, то расчет окончен. При $\delta \geq 0,1$ следует повторить расчет для скорректированного значения Δt_3 .

9 Рассчитываем температуру нагретой зоны

$$t_3 = t_0 + \Delta t_{3,0}.$$

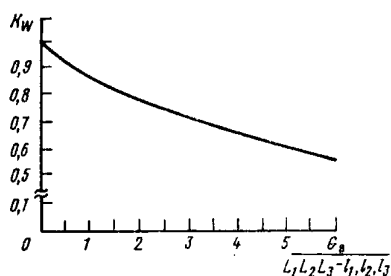


Рис. 4.18 Зависимость коэффициента K_W от кратности обмена воздуха в блоке

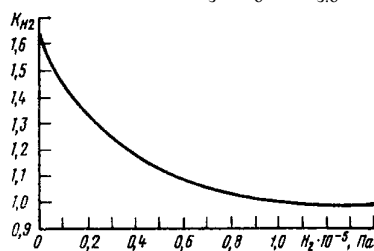


Рис. 4.19 Зависимость коэффициента K_{H2} от давления воздуха внутри блока

Этап 3. Расчет температуры поверхности элемента

Для определения температуры корпуса микросхемы, установленной в модуле 1-го уровня, операции выполняют в следующей последовательности.

1 Определяем эквивалентный коэффициент теплопроводности модуля, в котором расположена микросхема для вариантов:

- при отсутствии теплопроводных шин $\lambda_{\text{экр}} = \lambda_{\text{п}}$, где $\lambda_{\text{п}}$ - теплопроводность материала основания платы;
- при наличии теплопроводных шин

$$\lambda_{\text{экр}} = (1 - A) \lambda_{\text{п}} \left[1 - \frac{V_{\text{ш}}}{V_{\text{п}}} + \frac{1}{(V_{\text{ш}}/V_{\text{п}})(V_{\text{ш}}/V_{\text{п}}) + 1 - V_{\text{ш}}/V_{\text{п}}} \right]^{-1} + A \frac{\lambda_{\text{п}}}{2} \left[1 + \frac{\lambda_{\text{ш}} V_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{п}} V_{\text{п}}} + \frac{1}{1 - V_{\text{ш}}/V_{\text{п}}} \right],$$

где $\lambda_{ш}$ - теплопроводность материала теплопроводной шины; $V_{п}$ - объем ПП с учетом объема теплопроводных шин; $V_{ш}$ - объем теплопроводных шин на ПП; A - поверхностный коэффициент заполнения платы модуля теплопроводными шинами: $A = S_{ш} / S_{п}$; $S_{ш}$ - суммарная площадь, занимаемая теплопроводными шинами на ПП.

В табл. 4.17 приведены теплофизические параметры некоторых материалов.

2 Определяем эквивалентный радиус корпуса микросхем:

$$R = \sqrt{\frac{S_{\text{оис}}}{\pi}},$$

где $S_{\text{оис}}$ - площадь основания микросхемы.

3 Рассчитываем коэффициент распространения теплового потока:

$$m = \sqrt{\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\delta_{п} \lambda_{\text{эв}}}},$$

где α_1, α_2 - коэффициенты теплообмена с 1-й и 2-й сторон ПП; для естественного теплообмена

$\alpha_1 + \alpha_2 = 17 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\delta_{п}$ - толщина ПП модуля.

Таблица 4.17

Теплофизические свойства материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Материал	Коэффициент теплопроводности дно-сти $\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
Алюминий	208	Эбонит	0,163
Бронза	64	Стеклотекстолит	0,24 - 0,34
Латунь	85,8	Стекло	0,74
Медь	390	Фарфор	0,834
Сталь	45,5	Картон	0,231
Асбестовая ткань	0,169	АЛ-9	151
Асбест листовой	0,116	АЛ-2	175
Слюда	0,583	АМЦ	188
Пластмасса полихлорвиниловая	0,443	Пенопласт	0,04
Фторопласт-4	0,25	ПВХ-2	0,06
Полистирол	0,09 - 0,14	Пенополиуретан ЭПЭ	

4 Определяем искомый перегрев поверхности корпуса микросхемы:

$$\Delta t = \Delta t_{\text{в}} + k \left[\frac{Q}{k_{\alpha} (S - S_0) + \frac{1}{\frac{\delta_3}{\lambda_3 \pi R^2} + \frac{1}{B + M \pi R \lambda_{\text{эв}} \delta_{п} m \frac{K_1(mR)}{K_0(mR)}}}} \right] +$$

$$+ \sum_{i=1}^N \frac{Q_i \frac{K_0(mr_i)}{K_0(mR_i)}}{k_{ai}(S_i - S_{oi}) \left\{ 1 + \left[\frac{\delta_{zi}}{\lambda_{zi} \pi R_i^2} + \frac{1}{k_{ai}(S_i - S_{oi})} \right] \left(B_i + M \pi R_i \lambda_{экв} \delta_{zi} m \frac{K_1(mR_i)}{K_0(mR_i)} \right) \right\}}$$

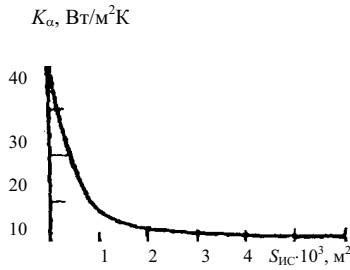


Рис. 4.20 Зависимость коэффициента теплоотдачи K_α от

где B и M - условные величины, введенные для упрощения формы записи: при одностороннем расположении корпусов микросхем на ПП $B = 8,5\pi R^2$, Вт/К, $M = 2$; при двустороннем расположении корпусов $B = 0$, $M = 1$; k - эмпирический коэффициент: для корпусов микросхем, центр которых отстоит от торцов ПП на расстоянии менее $3R$, $k = 1,14$; для корпусов микросхем, центр которых отстоит от торцов ПП на расстоянии более $3R$, $k = 1$; k_α - коэффициент теплоотдачи от корпусов микросхем определяется по графику (рис. 4.20); K_0 , K_1 - модифицированные функции Бесселя; N - число i -х корпусов микросхем, расположенных вокруг корпуса рассчитываемого элемента на расстоянии не более $10/m$, т.е. $\Delta t_b = \frac{\Delta t_k + \Delta t_3}{2}$; $r_i \leq 10/m$; Δt_b - среднеобъемный перегрев воздуха в блоке; $Q_{исci}$ - мощность, рассеиваемая i -й микросхемой; $S_{исci}$ - суммарная площадь поверхности i -й микросхемы; δ_{zi} - зазор между микросхемой и ПП; λ_{zi} - коэффициент теплопроводности материала, заполняющего зазор.

5 Определяем температуру поверхности корпуса микросхемы:

$$t_{ис} = t_o + \Delta t_{ис}.$$

Дискретный ЭРЭ можно считать аналогично микросхеме локальным источником теплоты на пластине, и методика определения температуры поверхности его корпуса будет аналогична.

4.5 Механические воздействия

Целью расчета является определение действующих на элементы изделия перегрузок при вибрации и ударах, а также максимальных перемещениях. При необходимости производится выбор и расчет системы амортизации.

Расчет на действие вибрации

- 1 Определяем частоту собственных колебаний отдельных конструктивных элементов РЭС. Частоту собственных колебаний равномерно **нагруженной пластины** вычисляем по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \frac{K_\alpha}{a^2} \sqrt{\frac{D}{M}} ab,$$

где a и b - длина и ширина пластины; D - цилиндрическая жесткость; $D = Eh^3/12(1 - \nu^2)$; E - модуль упругости; h - толщина пластины; ν - коэффициент Пуассона; M - масса пластины с элементами; K_α - коэффициент, зависящий от способа закрепления сторон пластины, определяется по общей формуле

$$K_\alpha = k \left(\alpha + \beta \frac{a^2}{b^2} + \gamma \frac{a^4}{b^4} \right)^{1/2}.$$

Коэффициенты k , α , β , γ приведены в табл. 4.19. Если прогиб и угол поворота на краю пластины равны нулю, то этот край считают жестко защемленным. Если прогиб и изгибающий моменты равны нулю, то этот край опертый, и если изгибающий момент и перерезывающая сила равны нулю, то этот край свободный. Для пластины, закрепленной в четырех точках:

$$f_0 = \frac{\pi}{2a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{M}} ab.$$

Таблица 4.18

Характеристики материалов, применяемых в РЭС

Материал	$E \cdot 10^{-10}$, Н/м ²	ν	$\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	$\Lambda \cdot 10^2$
СТЭФ толщиной 1,33 мм	3,2	0,279	2,47	2 - 10
МТЭ толщиной 1,22 мм	3,5	0,214	1,98	-
НФД толщиной 0,92 мм	3,45	0,238	2,32	-
СФ с печатной схемой	3,02	0,22	2,05	-
Сталь	22	0,3	7,8	-
Алюминий	7,3	0,3	2,7	-

Таблица 4.19
Коэффициенты κ , α , β , γ

№	Эскиз закрепления	κ	α	β	γ
1		9,87	1	2	1
2		9,87	1	2,33	2,44
3		15,42	1	0,95	0,71
4		9,87	1	2,57	5,14
5		22,37	1	0,48	0,19
6		15,42	1	1,11	1
7		22,37	1	0,57	0,17
8		15,42	1	1,19	2,1
9		22,37	1	0,61	1
10		3,52	0	1	0

2 Определяем коэффициент динамичности.

Для механической системы с одной степенью свободы коэффициенты динамичности рассчитываются по следующим формулам:

- для силового возбуждения (рис. 4.21, а)

$$K_{\text{дин}} = \chi = \frac{S_b}{z_{\text{ст}}} = \left[(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2 \right]^{-1/2};$$

- для кинематического возбуждения (рис. 4.21, б)

$$K_{\text{дин}} = \mu = \frac{S_b}{\xi_0} = \frac{\sqrt{1 + \varepsilon^2 \eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2}},$$

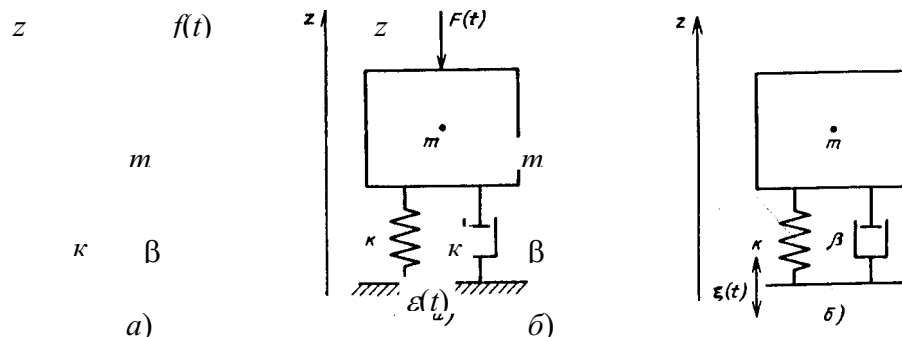


Рис. 4.21 Модели РЭС для анализа механических воздействий: модель механической системы с одной степенью свободы при силовом (а) и кинематическом (б) возбуждении

где S_B - амплитуда вынужденных колебаний; $z_{ст}$ - статическое смещение системы под воздействием силы F_0 ; $z_{ст} = F_0/k$; F_0 - амплитуда возбуждающей силы $F(t)$; k - жесткость системы; ξ_0 - амплитуда вибросмещения основания; $\eta = f/f_0$ - коэффициент расстройки; f - частота возбуждения; f_0 - частота собственных колебаний системы; ε - показатель затухания.

Расчет на действие удара

Ударные воздействия характеризуются формой и параметрами ударного импульса (рис. 4.22). Следует иметь в виду, что максимальное воздействие на механическую систему оказывает импульс прямоугольной формы.

- 1 Определяем условную частоту ударного импульса $\omega = \pi/\tau$, где τ - длительность ударного импульса.
- 2 Определяем коэффициент передачи при ударе:

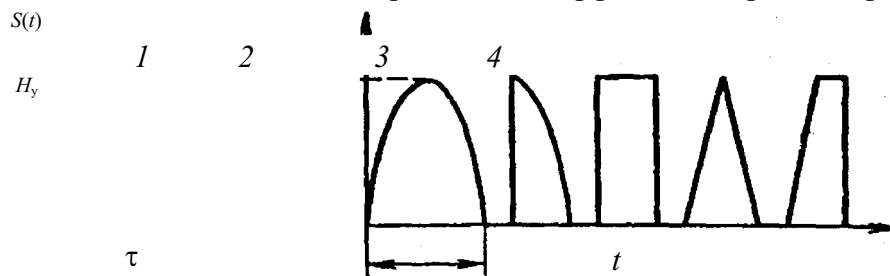


Рис. 4.22 Формы ударных импульсов:

1 - полусинусоидальная; 2 - четвертьсинусоидальная; 3 - прямоугольная; 4 - треугольная; 5 - трапециевидная

- для прямоугольного импульса

$$K_y = 2 \sin \frac{\pi}{2\nu};$$

- для полусинусоидального импульса

$$K_y = \frac{2\nu}{\nu^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2\nu};$$

где ν - коэффициент расстройки, $\nu = \omega/2\pi f_0$; f_0 - частота собственных колебаний механической системы.

- 3 Рассчитываем ударное ускорение $a_y = H_y K_y$, где H_y - амплитуда ускорения ударного импульса.
- 4 Определяем максимальное относительное перемещение:

- для полусинусоидального импульса

$$Z_{max} = \frac{2H_y}{2\pi f_0} \frac{\nu}{\nu^2 - 1} \cos \frac{\pi}{2\nu};$$

- для прямоугольного импульса

$$Z_{max} = \frac{2H_y}{2\pi f_0} \sin \frac{\pi}{2\nu}.$$

- 5 Проверяется выполнение условий ударопрочности по следующим критериям:

- для ЭРЭ ударное ускорение должно быть меньше допустимого, т.е. $a_y < a_{y, доп}$, где $a_{y, доп}$ определяется из анализа элементной базы;

- для элементов РЭС типа пластин должно выполняться условие

$$Z_{max} < \delta_{доп} l^2,$$

где $\delta_{доп}$ определяется по табл. 4.20;

- для ПП с ЭРЭ

$$Z_{max} < 0,003b,$$

где b - размер стороны ПП, параллельно которой установлены ЭРЭ;

- для амортизированных систем

$$Z_{max} < Z_{св},$$

где $Z_{св}$ - свободный ход амортизатора.

6 Частным случаем ударного воздействия является удар при падении прибора. Действующая при этом перегрузка находится следующим образом:

- определяем относительную скорость соударения

$$V_o = V_y + V_{от},$$

где $V_y = \sqrt{2gH}$ - скорость прибора в момент соударения; H - высота падения прибора; $V_{от} = V_y K_B$ - скорость отскока; K_B - коэффициент восстановления скорости, выбирается из табл. 4.20;

- вычисляем действующее на прибор ускорение

$$a_{п} = V_o 2\pi f_0,$$

Условие прочности проверяется аналогично п. 5 по ударному ускорению.

Таблица 4.20

**Значения коэффициента восстановления скорости
в зависимости от материала соударяющихся тел**

Материал соударяющихся тел	K_B
Сталь - сталь	0,94
Сталь - бетон	0,90
Сталь - сухая земля	0,68
Сталь - пенопласт	0,55

**4.6 Последовательность решения задач надежности
при конструкторском проектировании**

В зависимости от класса разрабатываемого объекта, его назначения, исходных данных на проектирование, последовательность проведения расчетов надежности может быть различной. Наиболее часто студентам выдается задание на конструкторскую проработку печатного узла или блока радиоэлектронных средств (РЭС).

При конструкторском проектировании РЭС не требуется рассчитывать все показатели надежности (ПН).

Необходимо прежде всего определить вид объекта и выбрать те ПН, которые наиболее полно характеризуют надежностные свойства разрабатываемого объекта.

Таблица 4.21

Цифры шифра	Признак деления и рекомендуемый номер
Первая цифра	Признак: ремонтпригодность. 1 - неремонтируемые; 2 - ремонтируемые.
Вторая цифра	Признак: ограничение продолжительности эксплуатации. Неремонтируемые изделия: 1 - до отказа; 2 - до отказа или до достижения предельного состояния; 3 - до первого отказа или до окончания выполнения; требуемых функций. Ремонтируемые изделия: 1 - до отказа; 2 - до отказа или до достижения предельного состояния; 3 - до первого отказа или до окончания

	<p>выполнения требуемых функций; 4 - до достижения предельного состояния; 5 - до предельного состояния в "режиме ожидания" или до окончания выполнения требуемых функций в "режиме работы".</p>
Третья цифра	<p>Признак: временной режим использования по назначению. 1 - непрерывный; 2 - циклически регулярный; 3 - циклически нерегулярный.</p>
Четвертая цифра	<p>Признак: доминирующий фактор при оценке последствий отказа. Неремонтируемые изделия: 1 - факт отказа; 2 - факт выполнения или невыполнения изделием заданных ему функций в заданном объеме; Ремонтируемые изделия: 1 - наличие отказа независимо от длительности простоя; 2 - факт выполнения или невыполнения изделием заданных ему функций в заданном объеме; 3 - факт вынужденного простоя; 4 - наличие отказа и вынужденный простой; 5 - факт выполнения или невыполнения изделием заданных ему функций в заданном объеме при произвольном моменте начала "режима работы".</p>

Таблица 4.22

Шифр объекта	Нормируемые ПН
1111	$\lambda_{об}(t) = \lambda_{сх}(t) + \lambda_{к}(t) + \lambda_{Т}(t) + \lambda_{э}(t)$
1121	
1131	
2111	
2121	
2131	
1211	$m_t ; t_\gamma \text{ (или } t_\gamma \text{ и } t_{сл}),$ <p>где t_γ - гамма-процентный ресурс (наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью).</p>
1221	
1231	
2211	
2221	
2231	
1222	$P(t) ; t_\gamma \text{ (или } t_\gamma \text{ и } t_{сл}),$ <p>где $t_{сл}$ - средний срок службы (математическое ожидание срока службы)</p>
1232	
2222	
2232	
2422	
2432	
1312	$P(t)$
2312	

2411	ω (или m_t); t_γ (или t_γ и $t_{сл}$)
2421	
2431	
2413	$K_{ТН}$; t_γ (или t_γ и $t_{сл}$)
2423	K_Γ ; t_γ (или t_γ и $t_{сл}$)
2433	
2414	$K_{ТН}$; ω (или m_t); t_γ (или t_γ и $t_{сл}$)
2424	K_Γ ; ω (или m_t); t_γ (или t_γ и $t_{сл}$)
2434	
2415	$R(\tau)$; t_γ (или t_γ и $t_{сл}$)
2425	
2435	
2515	
2525	
2535	

Таблица 4.23

Группа аппаратуры, ГОСТ 16019-78	Число ЭРЭ, в т.ч. ИС и микросборок (пай-ки и провода не учитываются)	$\tilde{m}_{t,g}$, ч		
		АППП и КА (на ПП и до 5 % ИС)	КА на ППП и более 5 % ИС и Мсб	аппаратура на ИС и Мсб
1 - 2				
1 Стационарная для статистических наземных и подземных сооружений	≤ 1000 1001 - 2000 2001 - 3000 3001 - 4000	2500 2000 1500 1000 700	3500 3000 2500 2000 1500	5000 4500 4000 3500 3000
2 Стационарная на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях	> 4000			
3 - 5				
3 Возимая на автомобилях и мотоциклах (на ходу)	≤ 700 701 - 1000 1001 - 2000	2000 1500 1000 700	3000 2500 2300 2000	5000 4500 4000 3500
4 Возимая во внутренних помещениях речных судов	2001 - 3000 > 3000	500	1400	3000
5 Возимая на железнодорожном транспорте				

6 - 7				
6 Носимая, для длительной переноски, работа на открытом воздухе, в неотапливаемых помещениях	≤ 200 201 - 300 301 - 700 701 - 1000 1001 - 2000	3000 2500 2000 1500 1000	4000 3500 3000 2500 2000	6000 5500 5000 4500 4000
7 Портативная длительной переноски в отапливаемых помещениях				

Примечание: АППП - аппаратура на полупроводниковых приборах (ППП); ИС - интегральные схемы; КА - комбинированная аппаратура; Мсб - микросборки.

Нормируемые ПН рекомендуется определять в следующей последовательности: 1) в зависимости от конструктивного решения (ремонтпригодности, ограничения на продолжительность эксплуатации, временного режима использования по назначению и последствий отказа (табл. 4.21) для объекта устанавливается шифр из четырех цифр; 2) по шифру объекта из табл. 4.22 определяются нормируемые ПН; 3) если однозначный шифр составить затруднительно, например, при определении второй или четвертой цифры, то можно записать несколько шифров, по которым составить группу ПН; 4) окончательно выбрать ПН.

Пример. Определить нормируемые показатели надежности для радионавигационной системы типа АРК-9.

Вид аппаратуры - ремонтируемая (2), эксплуатируется до достижения предельного состояния (2) в циклически нерегулярном режиме (3); основным фактором при оценке последствий отказа независимо от длительности простоя (1). Шифр навигационной системы - 2231.

Ответственным этапом в проектировании надежной РЭС является обоснование норм (допустимых значений) (табл. 4.23) для выбранных показателей надежности. Это объясняется следующими причинами. Во-первых, от правильности результатов данного этапа зависит успех и смысл всех расчетов надежности, так как здесь мы определяем, какое значение ПН можно считать допустимым. Во-вторых, нет общих правил и рекомендаций для установления норм надежности различных объектов, многое здесь зависит от субъективных факторов и опыта конструктора. В-третьих, любая ошибка на данном этапе ведет к тяжелым последствиям: занижение нормы ведет к повышению потерь от ненадежности, завышение - от дороговизны.

При отсутствии стандартов для определения норм показателей надежности могут использоваться следующие способы: анализ эффективности, способ аналогии (прототипа), распределение нормы надежности системы по элементам.

Надежность РЭС в значительной степени определяется надежностью элементов электрической схемы (ЭЭС) и их числом. Поэтому точность расчета ПН проектируемого объекта относительно отказов, обусловленных нарушениями ЭЭС, имеет большое значение. Заметим, что к ЭЭС следует относить места паяк, контакты разъемов, крепления элементов и т.д. Показатель надежности, характеризующий отказы ЭЭС, обозначим $N_{\text{эс}}$.

При разработке РЭС можно выделить три этапа расчета показателей $N_{\text{эс}}$: прикидочный расчет ($N_{\text{эс}}^{\text{п}}$), расчет с учетом условий эксплуатации ($N_{\text{эс}}^{\text{э}}$) и уточненный расчет ($N_{\text{эс}}^{\text{у}}$). Так как при изменениях конструкции могут меняться режимы и условия работы ЭЭС, то после каждого такого изменения необходима проверка условий, для которых рассчитывался показатель $N_{\text{эс}}$.

Обычно расчет $N_{\text{эс}}$ производится в предположении, что имеет место экспоненциальный закон надежности, т.е. время работы объекта между отказами имеет экспоненциальное (показательное) распределение. Основаниями для этого служат: 1) большое число элементов и высокая надежность каждого элемента (значительно превышает сроки службы каждого элемента период рабочей эксплуатации РЭС); 2) все отказы, обусловленные некачественным изготовлением, проявляются в период настройки и испытания РЭС перед эксплуатацией; 3) отказы, связанные со старением ЭЭС, в

период эксплуатации РЭС составляют незначительную долю от общего числа отказов; 4) вероятность возникновения отказов ЭЭС примерно одинакова в любые интервалы времени эксплуатации; 5) отказы ЭЭС независимы.

Прикидочный расчет $N_{\text{сх}}$ проводится с целью проверить возможность выполнения требований технического задания по надежности, а также для сравнения ПН вариантов разрабатываемого объекта.

Прикидочный расчет может производиться и когда принципиальной схемы еще нет, в этом случае количество различных ЭЭС определяется с помощью объектов-аналогов. Исходные данные и результаты расчета рекомендуется представлять в форме табл. 4.24.

Таблица 4.24

Порядковый номер и тип элемента	Число элементов каждого типа n_i	Границы и среднее значение интенсивности и отказов, $\lambda_{i \min}, \lambda_{i \max}, \lambda_{i \text{ср}}$	Суммарные значения интенсивностей отказов элементов определенного типа, $n_i \lambda_{i \min}, n_i \lambda_{i \max}, n_i \lambda_{i \text{ср}}$
1 Резисторы			
2 Конденсаторы			
3 Диоды			
4 Транзисторы			
5 Пайки			
...			

По данным табл. 4.24 рассчитываются граничные и средние значения интенсивностей отказов, а также другие показатели безотказности электрической схемы:

$$\lambda_{\min}^n = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_{i \min}; \quad \lambda_{\max}^n = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_{i \max}; \quad \lambda_{\text{ср}}^n = \sum_{i=1}^m n_i \lambda_{i \text{ср}};$$

$$P_{\min}^n = \exp[-\lambda_{\max}^n t]; \quad P_{\max}^n = \exp[-\lambda_{\min}^n t]; \quad P_{\text{ср}}^n = \exp[-\lambda_{\text{ср}}^n t];$$

$$m_{t \min}^n = 1/\lambda_{\max}^n; \quad m_{t \max}^n = 1/\lambda_{\min}^n; \quad m_{t \text{ср}}^n = 1/\lambda_{\text{ср}}^n,$$

где m - число типов элементов схемы.

Расчет безотказности конструируемого объекта с учетом условий эксплуатации аппаратуры, т.е. влияния механических воздействий, высотности и климатических факторов производится с помощью поправочных коэффициентов для интенсивностей отказов по одной из следующих формул:

$$\lambda_j^3 = \lambda_{0j} K_{1j} K_{3j} K_{4j}; \quad \lambda_j^2 = \lambda_{0j} K_{2j} K_{3j} K_{4j}; \quad \lambda_j^1 = \lambda_{0j} K_{1,2,j} K_{3j} K_{4j},$$

где λ_{0j} - интенсивность отказов j -го элемента в номинальном режиме (температура окружающей среды 20 °С, коэффициент нагрузки равен 1); $K_{1j} K_{2j} K_{3j} K_{4j}$ - поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно воздействия вибрации, ударных нагрузок, климатических факторов (влажности и температуры) и высоты; $K_{1,2,j}$ - коэффициент, учитывающий одновременное воздействие вибрации и ударных нагрузок.

Значения интенсивностей λ_{oj} и поправочных коэффициентов K_{oj} берутся из научно-технической литературы по надежности РЭС. От достоверности исходных данных во многом зависит ценность расчетов надежности.

Обозначим произведение поправочных коэффициентов для j -го элемента через K_j^3 : $K_j^3 = K_{1,2j}K_{3j}K_{4j}$, тогда

$$\lambda_j^3 = \lambda_{oj}K_j^3.$$

Исходные данные для расчета электрической схемы с учетом условий эксплуатации заносятся в табл. 4.25. Если в объекте имеется n_j однотипных элементов, имеющих одинаковые значения λ_{oj} и K_j^3 , то для всей электрической схемы интенсивность λ_{cx}^3 определяется по формуле

$$\lambda_{cx}^3 = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_{oj} K_j^3.$$

В случае, когда объект содержит ω частей, поправочные коэффициенты K_j^3 для которых различны, например, одни части имеют амортизацию, другие - нет, то используется формула

$$\lambda_{cx}^3 = \sum_{i=1}^{\omega} \sum_{j=1}^m n_{ij} \lambda_{oj} K_{ij}^3,$$

где $n_{ij}, \lambda_{oj}, K_{ij}^3$ - число элементов j -го типа, их интенсивность отказов и поправочный коэффициент для i -й части объекта соответственно; n_i - число типов элементов в i -й части.

На основе значений λ_{cx}^3 определяются другие показатели с учетом условий эксплуатации:

$$P_{cx}^3 = \exp[-\lambda_{cx}^3 t]; \quad m_{tcx}^3 = 1/\lambda_{cx}^3.$$

Заметим, что в формулах можно использовать интервалы значений $[\lambda_{oj \min}, \lambda_{oj \max}]$, в этих случаях им соответствуют интервалы для ПН λ_{cx}^3 , $P_{cx}^3(t)$, m_{tcx}^3 .

Уточненный расчет показателей безотказности (N_{cx}^y) производится, когда конструкция объекта в основном определена. Здесь прежде всего учитываются отклонения электрической нагрузки ЭЭС и окружающей их температуры от номинальных значений, кроме того анализируется изменение ПН при используемой системе обслуживания (введенной диагностике, улучшении условий ремонта и т.д.). Интенсивности отказов элемента j -го типа уточненная λ_j^y и всей схемы λ_{cx}^y рассчитываются по формулам

$$\lambda_j^y = \lambda_j^3 a_j, \quad \lambda_{cx}^y = \lambda_{cx}^3 = \sum_{j=1}^m n_j \lambda_j^y,$$

где a_j - поправочный коэффициент, определяемый как функция коэффициента $K_{n,j}$, учитывающего электрическую нагрузку, и температуры T_j для элемента j -го типа.

Для удобства расчета λ_{cx}^y заполняется табл. 4.26. Если в конструкцию объекта вносят изменения, в результате которых меняются $K_{n,j}, T_j$ и a_j , то соответствующая коррекция производится в табл. 4.26 и заново производится расчет. Допускается вместо табл. 4.25 и 4.26 заполнять одну объединенную таблицу.

Коэффициенты нагрузки K_n для резисторов и конденсаторов определяется соответственно по формулам

$$K_n = \frac{W}{W_d}; \quad K_n = \frac{(U_n + U_{имп} + U_{\approx})}{U_{ном}}$$

где W и W_d - средняя и допустимая мощности рассеивания на резисторе; $U_{ном}, U_{п}$ - номинальное и постоянное напряжение на конденсаторе; $U_{имп}$ - амплитуда импульсного напряжения; U_{\sim} - амплитуда переменной составляющей напряжения.

Таблица 4.25

Но ме ри на и- ме но ван ие эле мен та	Об оз на че ние эле мен та	Тип эле мента	Кол и чес тво эле мент ов j - го ти па, шт.	Интен сив ность отка зов в номи нальн ом режи ме $\lambda_{oj} \cdot 10^6, 1/ч$	Поправочные коэффициенты						Интен сив ность отказа в элемен та j -го типа с учетом услови й эксплу атации, $n_j \lambda_{oj} K_j^2, 1/ч$
					K_{1j}	K_{2j}	$K_{1,2j}$	K_{3j}	K_{4j}	K_j^2	

Таблица 4.26

Ном ер и на и ме но ва ние эле мента	Обоз на че ние схем е	Тип эле мента	Кол и чес тво эле мент ов j - го ти па, шт.	Интен сив ность отка зов в номи нальн ом режи ме $\lambda_j, 1/ч$	Поправоч ные коэффици енты			Уточ ненна я интен сивно сть отказ ов $\lambda_j^2 a_j \cdot 10^6,$ $1/ч$	Уточне нная интен сивно сть отказа элемен тов j -го типа $n_j \lambda_j a_j,$ $1/ч$
					K_{nj}	$T_j,$ ° C	a_j		

Для транзисторов в качестве K_n берется максимальный из следующих коэффициентов

$$U_{кэ}/U_{кэд}; U_{кб}/U_{кбд}; U_{эб}/U_{эбд}; W/W_d,$$

где $U_{кэ}, U_{кб}, U_{эб}$ - прямое напряжение между коллектором и эмиттером, коллектором и базой, эмиттером и базой; $U_{кэд}, U_{кбд}, U_{эбд}$ - допустимое прямое напряжение между коллектором и эмиттером, коллектором и базой, эмиттером и базой; W, W_d - рассеиваемая и допустимая мощности.

В случае маломощных усилительных и генераторных транзисторов в режиме без насыщения $W = W_k$, а в режиме с насыщением $W = W_k + W_э$, где $W_k, W_э$ - средние рассеиваемые мощности на коллекторе и эмиттере. Для мощных транзисторов, включенных по схеме с общим эмиттером: $W = W_k + W_б = W_о + W_в - W_э - W_{б,о}$, где $W_k, W_б$ - мощности, рассеиваемые на коллекторе и базе; $W_о, W_{б,о}$ - мощности, отдаваемые источниками коллекторного напряжения и смещения соответственно; $W_в, W_э$ - мощности источника возбуждения и на нагрузке. Для диодов коэффициент нагрузки берется с учетом коэффициентов по прямому току ($I_{пр}$), обратному току ($I_{обр}$) и напряжению (U), т.е.

$$K_n = \max \left\{ \frac{I_{пр,раб}}{I_{пр,ном}}; \frac{I_{обр,раб}}{I_{обр,ном}}; \frac{U_{раб}}{U_{ном}} \right\}.$$

Коэффициент нагрузки для контактов реле, выключателей, коммутационных устройств и монтажных проводов определяется отношением рабочего и номинального токов, т.е. $K_n = \frac{I_{раб}}{I_{ном}}$, а для обмоток реле и электромагнитов - относительным временем нахождения их под нагрузкой или относительной наработкой.

Уточненные значения показателей безотказности $P_{сх}^y(t)$, $m_{t,сх}^y$ - относительно отказов элементов электрической схемы рассчитываются по аналогичным формулам.

Расчет надежности с учетом всех видов отказов

В заключении анализа надежности разрабатываемого объекта рассчитываются окончательные значения нормируемых ПН, которые учитывают все возможные виды отказов - отказы элементов электрической схемы, конструкционные, технологические, эксплуатационные и другие.

Для неремонтируемых, невозстанавливаемых и восстанавливаемых с допустимыми перерывами в работе объектов при определении мгновенных и числовых ПН обычно рассчитывается общая интенсивность отказов объекта, например:

$$\lambda_{об}(t) = \lambda_{сх}(t) + \lambda_k(t) + \lambda_t(t) + \lambda_э(t),$$

где $\lambda_{сх}(t), \lambda_k(t), \lambda_t(t), \lambda_э(t)$ - интенсивности отказов, обусловленные соответственно нарушениями элементов электрической схемы, ошибками конструкции, технологии и эксплуатации.

При определении $\lambda_э(t)$ учитывается наличие устройств обнаружения и устранения отказов, принятые стратегии замены элементов с ограниченным сроком службы, наличие профилактических осмотров и контроля, запасных частей и т.д. Важным источником эксплуатационных отказов являются ошибки обслуживающего персонала (операторов). С помощью значения $\lambda_{об}(t)$ рассчитываются другие нормируемые ПН.

Для микропроцессорных систем формула дополняется интенсивностью отказов программного обеспечения для объектов, подлежащих метрологической аттестации. Аналогично учитываются метрологические отказы.

Если для расчета интенсивностей $\lambda_k(t), \lambda_t(t), \lambda_э(t)$ исходной информации недостаточно, то используются поправочные коэффициенты, учитывающие отказы различных видов, т.е.

$$\lambda_{об} = K_k K_t K_э \lambda_{сх},$$

где $K_k, K_t, K_э$ - коэффициенты конструкционных, технологических и эксплуатационных отказов.

4.7 Оценка качества

Классификация показателей качества

Оценить качество конструкции - значит определить его уровень в сравнении с другим, лучшим образцом среди иных. Уровень качества всегда относителен. Качеством конструкции называется не одно, а совокупность свойств конструкции, обуславливающих ее способность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением.

При оценке качества конструкции будем пользоваться показателями качества - количественными характеристиками одного или нескольких свойств, составляющих качество конструкции, причем каждая характеристика рассматривается применительно к определенным условиям производства и эксплуатации конструкции.

Итак, уровень качества конструкции - относительная характеристика, основанная на сравнении показателей качества оцениваемой конструкции с их базовыми значениями (выбранными для сравнения).

Показатели качества конструкции в зависимости от характера решаемых задач по оценке уровня качества классифицируются по различным признакам (табл. 4.27).

Таблица 4.27

Классификация показателей качества конструкции

Признак	Группа показателей
Характеризуемые свойства	Показатели: назначения (классификационные, эксплуатационные, конструктивные); надежности (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость); безопасности, эргономические, эстетические; технологичности (трудоемкость, материалоемкость, себестоимость); унификации; патентно-правовые.
Способ выражения	Показатели, выраженные в: натуральных единицах (кг, м и т.п.); стоимостных единицах (руб.); относительных единицах.
Число характеризующих свойств	Показатели: единичные; комплексные (групповые, обобщенные, интегральные).
Применение оценки качества	Показатели: базовые; относительные.

Комплексная оценка качества конструкции РЭС

Качество готового изделия характеризуется качеством конструкции (или, что то же, техническим уровнем изделия) и качеством изготовления. Если изделие не имеет дефектов производства, то его уровень качества совпадает с качеством конструкции. Здесь будем рассматривать именно этот интересующий нас случай.

Уровень качества конструкции (УКК) оценивается в три этапа: 1) выбор номенклатуры показателей качества конструкции для конкретного случая; 2) подбор аналогов и выбор базового изделия; 3) заполнение карты технического уровня и качества продукции и расчет УКК.

Выбор номенклатуры показателей качества конструкции основан на выполнении двух условий: число показателей должно быть минимальным, обеспечивающим необходимую точность при малой трудоемкости расчетов; показатели качества и приданные им весовые коэффициенты должны быть выбраны применительно к конкретному случаю. Предпочтительно выбирать показатели, характеризующие простые свойства, потому что комплексные показатели сложных свойств накапливают при оценке элементы субъективизма, вносимые через весовые коэффициенты.

Как ранее неоднократно отмечалось, оценить что-либо - значит сравнить с аналогом. Аналогом называют реально существующую конструкцию отечественной или зарубежной разработки того класса, обладающую сходностью назначения (ГОСТ 2.116-71). Могут быть аналоги по конструкции в целом и по составным частям. Особую важность имеет корректность выбора аналога, основанная на сходности назначения аналога и оцениваемого изделия.

Базовым изделием называют лучшее изделие из числа аналогов, показатели которого оптимальны на данный период, а их техническая реализуемость подтверждена реальным существованием базового изделия. Совокупность показателей базового изделия называют базовыми показателями. При разработке принципиально нового класса изделий бывают случаи, когда нет удовлетворительных аналогов. Тогда за базовые показатели принимают заданные и технически реализуемые перспективные параметры.

Заполнение карты технического уровня и качества продукции и расчет УКК производятся одновременно. Расчет УКК основан на сравнении показателей свойств оцениваемой конструкции с базовыми показателями для установления частного уровня качества конструкции по данному свойству (частный УКК). Для расчета частного УКК в тех случаях, когда повышение качества конструкции характеризуется уменьшением показателя (показатели массы, габаритов, трудоемкости, энергопотребления и др.), применяют формулу

$$\text{УКК}_i = \frac{B_i}{P_j}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n_1,$$

где УКК_i - частный уровень качества конструкции, оцениваемой по i -му свойству; B_i - базовый показатель i -го свойства; P_j - показатель j -го свойства оцениваемой конструкции.

Если повышение качества характеризуется увеличением показателя (показатели прочности, дальности действия и т.д.), применяют величину, обратную получаемой по предыдущей формуле.

Для оценки уровня качества конструкции в целом (обобщенный УКК) применяют отношение средневзвешенных значений показателей свойств:

$$\text{УКК} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i B_i}{\sum_{j=1}^{n_1} m_j P_j},$$

где УКК - обобщенный уровень качества конструкции в целом, оцениваемой по основным параметрам.

Значимость каждого показателя в общей оценке уровня качества различна и зависит от конкретных требований, поэтому в формулу входят коэффициенты весомости. При выборе их необходимо следовать четырем правилам: 1) коэффициенты весомости сравниваемых свойств данной и базовой конструкции должны быть одинаковы; 2) коэффициент весомости наиболее важного показателя имеет наибольшее значение; 3) показатели одинаковой важности имеют одинаковые коэффициенты весомости; 4) коэффициенты весомости всех рассматриваемых свойств отвечают условию

$$\sum_{i=1}^n m_i = 1; \quad \sum_{j=1}^{n_1} m_j = 1.$$

Коэффициенты весомости, как и показатели свойств, которые нельзя оценить какой-либо физической величиной, оцениваются в баллах и определяются экспертным методом.

Расчет показателей качества конструкции РЭС выполняют при заполнении карты технического уровня и качества (ГОСТ 2.116-71). Пример заполнения основных граф карты уровня (КУ) и расчет обобщенного

показателя приведен в табл. 4.28 для носимой радиостанции ближней связи. Использована трехбалльная шкала. Новая конструкция на 27,3 % лучше базового варианта.

Таблица 4.28

Пример заполнения карты уровня по трехбалльной шкале показателей качества (для носимой радиостанции ближней связи)

Номер показателя	Наименование показателя	Численное значение показателя				
		базового B_i	данного D_i	q_i	m_i	$q_i m_i$
1	Группа назначения					
1.1	Классификационные Эксплуатационные, конструктивные и миниатюризации: объем, дм^3 масса, кг мощность потребляемая, Вт уровень миниатюризации	Совпадают с базовыми То же				
1.2						
1.3		0,3	0,2	1,5	0,3	0,4
1.4		1,4	1,0	1,4	0,3	5
1.5		1,1	1,00	1,1	0,2	0,3
1.6		200	220	1,1	0,2	6
					0,2	
					2	
					0,2	
					2	

$$M_1 = 0,3; \quad Q_1 M_1 = 0,375; \quad Q_1 = \sum_{i=1}^6 q_i m_i = 1,25$$

Продолжение табл. 4.28

2	Группа надежности					
2.1	Безотказность (время наработки до отказа), ч	100	150	1,5	0,4	0,60
2.2		0	0			
2.3	Долговечность (средний срок службы), г.	6	6	1,0	0,2	0,20
2.4		10	10	1,0	0,1	
	Сохраняемость, г. Ремонтопригодность, балл	2	3	1,5	0,3	0,10

$$M_2 = 0,3; \quad Q_2 M_2 = 0,405; \quad Q_2 = 1,35$$

3	Группа безопасности и эргономики					
3.1	Безопасность, балл	3	3	1,0	0,3	0,3
3.2	Гигиенические, балл	3	3	1,0	0,1	0,1
3.3	Антропометрические (соответствие корпуса размерам кисти), балл	2	2,2	1,1	0,5	0,55
3.4	Психофизиологические, балл	3	3	1,0	0,1	0,1

$$M_3 = 0,1; \quad Q_3 M_3 = 0,105; \quad Q_3 = 1,05$$

4	Группа эстетики					
4.1	Выразительность, балл	2	3	1,50	0,2	0,3
4.2		2	2,9	1,45	0,4	0,58
4.3	Рациональность формы, балл	2	2,8	1,40	0,1	0,14
4.4		2	2,8	1,40	0,3	0,42
	Целостность композиции, балл					
	Совершенство производственного исполнения, балл					

$$M_4 = 0,1; \quad Q_4 M_4 = 0,144; \quad Q_4 = 1,44$$

5	Группа технологичности					
5.1	Трудоемкость, н.-ч	120	100	1,2	0,7	0,84
5.2	Материалоемкость, кг	0,8	0,8	1	0,1	0,10
5.3	Себестоимость, тыс.	1,0	1,0	0,8	0,1	0,08
5.4	р.	0,5	0,6	0,6	0,1	0,12
5.5	Применяемость Повторяемость	0	0	0	0	0

$$M_5 = 0,1; \quad Q_5 M_5 = 0,114; \quad Q_5 = 1,14$$

6	Группа патентно-правовых					
6.1	Патентной защиты	0,10	0,13	1,3	1	1,3
6.2	Патентной чистоты	0	0	0	0	0

$$M_6 = 0,1; \quad Q_6 M_6 = 0,130; \quad Q_6 = 1,3$$

	Обобщенный показатель качества конструкции	$Q_{об} = \sum_{j=1}^6 Q_j = 1,273$				
--	--	-------------------------------------	--	--	--	--

ПриложениеЕ

Таблица 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	

Таблица П2

Допустимые стрелы прогиба фольгированных материалов

Номиналь ная толщина стенок	Допустимая стрела прогиба, мм			
	одностороннее фольгирование		двухстороннее фольгирование	
	Гетинак кс	Стеклотекстолит	Гетинак с	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

Таблица ПЗ
Допустимая плотность тока в зависимости от метода изготовления

Метод изготовления	Толщина фольги, t, мкм	Допустимая плотность тока, $J_{доп}$, 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 Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания); аналоговые и многозарядные преобразователи; датчики для указания или измерения: громкоговоритель магнитострикционный элемент детектор ионизирующих	A	Элементы разные: нагревательный элемент лампа осветительная пиропатрон Разрядники, предохранители, устройства защитные: дискретный элемент защиты по току мгновенного действия дискретный элемент защиты по току инерционного действия предохранитель плавкий	E
	B		EK
			EL
			ET
			F
			FA
	BA		
	BB		
	BD		FP
	BE		FU
BF			
BC	FV		
BK			

излучений	BL	дискретный элемент	G
сельсин-приемник	BM	защиты по	GB
телефон (капсюль)	BP	напряжению,	H
сельсин-датчик	BQ	разрядник	
тепловой датчик		Генераторы,	
фотоэлемент	BR	источники питания:	HA
микрофон	BS	батарея	HG
датчик давления	BV	Устройства	
пьезоэлемент	C	индикационные и	HL
датчик частоты		сигнальные:	
вращения (тахогенератор)	D	прибор звуковой	K
звукозаписывающий		сигнализации	KA
датчик скорости	DA	индикатор	KH
Конденсаторы	DD	символьный	KK
Схемы интегральные,		прибор световой	
микросборки:	DS	сигнализации	KM
схема интегральная	DT	Реле, контакторы,	KT
аналоговая	P	пускатели:	KV
схема интегральная	PA	реле токовое	
цифровая, логический		реле указательное	L
элемент		реле	M
устройство хранения		электротепловое	
информации		контактор,	
устройство задержки		магнитный	
Приборы		пускатель	
измерительные:		реле времени	
амперметр		реле напряжения	
		Катушки	
		индуктивности,	
		дрессели, реакторы	
		Двигатели	

Продолжение табл. П4

Примеры видов элементов	Код	Примеры видов элементов	Код
счетчик импульсов	PC	Устройства связи	U
частотомер	PF	Преобразователи	
счетчик активной	PI	электрических	
энергии	PK	величин в	
счетчик реактивной	PR	электрические:	UV
энергии	PS	модулятор	UR
омметр		демодулятор	UI
Регистрирующий	PT	дискриминатор	
прибор:	PV	преобразователь	
часы, измеритель	PW	частоты, инвертор,	UZ
времени,		генератор частоты,	
действия	Q	выпрямитель	
вольтметр	QF	Приборы	
ваттметр	QK	электровакуумные и	V
Выключатели и	QS	полупроводниковые:	VD
разъединители в	R	диод, стабилитрон	
силовых цепях:	RK	прибор	VL
выключатель	RP	электровакуумный	VT

автоматический	RS	транзистор	VS
короткозамыкатель	RU	тиристор	
разъединитель		Линии и элементы	W
Резисторы:		СВЧ. Антенны:	W
терморезистор	S	ответвитель	E
потенциометр		короткозамыкатель	W
шунт измерительный	SA	вентиль	K
варистор	SB	трансформатор,	W
Устройства	SF	фазовращатель	S
коммутационные в цепях		аттенюатор	
управления, сигнализа-		антенна	W
ции и измерительных:	SL	Соединения	T
выключатель или	SP	контактные:	W
переключатель	SQ	токосъемник,	U
выключатель кнопочный	SR	контакт скользящий	W
выключатель	SK	штырь	A
автоматический		гнездо	X
выключатель, срабатыва-	T	соединение	
ющий от различных	TA	разборное	XA
воздействий:	TS	соединитель	XP
уровня		высокочастотный	XS
давления	TV	Устройства	XT
положения (путевой)		механические с	
частоты вращения		электромагнитным	X
температуры		приводом:	W
Трансформаторы,		электромагнит	
автотрансформаторы:		тормоз с	
трансформатор тока		электромагнитным	Y
электромагнитный		приводом	YA
стабилизатор		муфта с	
трансформатор		электромагнитным	YB
напряжения		приводом	
		электромагнитный	YC
		патрон или плита	
		Устройства	YN
		оконечные, фильтры,	
		ограничители	Z

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гелль П. П. Иванов-Есипович Н. К. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 536 с.
- 2 Дульнев Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высшая школа, 1984. 247 с.
- 3 Муромцев Ю. Л., Грошев В. Н., Чернышова Т. И. Надежность радиоэлектронных и микропроцессорных систем: Учебное пособие / Московский институт хим. Машиностроения. М.; 1989. 104 с.
- 4 Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры / П. И. Овсицер, Ю. В. Голованов, В. П. Ковешников и др.; Под ред. П. И. Овсичера. М.: Радио и связь, 1988. 232 с.
- 5 Оформление рабочих чертежей и деталей: Лаб. работа / Сост. А. П. Пудовкин. Тамб. гос. техн. ун-т. Тамбов, 1994. 14 с.
- 6 Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие для вузов / Е. М. Парфенов, Э. Н. Камышная, В. П. Усачев. М.: Радио и связь, 1989. 272 с.
- 7 Пименов А. И. Снижение массы конструкции РЭС. М.: Радио и связь, 1981. 128 с.

- 8 Преснухин Л. Н., Шахнов В. А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем. М.: Высшая школа, 1986. 512 с.
- 9 Справочник конструктора РЭС: Компоненты, механизмы, надежность / Н. А. Барканов, Б. Е. Бердичевский, П. Д. Верхопятницкий и др.; Под ред. Р. Г. Варламова. М.: Радио и связь, 1985. 384 с.
- 10 Справочник конструктора РЭС: Общие принципы конструирования / Под ред. Р. Г. Варламова. М.: Сов. Радио, 1980. 480 с.
- 11 СТП ТГТУ 07-97.
- 12 Горобец А. И. и др. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные узлы). Киев: Техніка, 1985.
- 13 ОСТ 4Г0.010.009-84.
- 14 Руководящий документ по стандартизации. Инструкция. Платы печатные. Требования к конструированию. РД-50-708-91.
- 15 Расчет экрана при проектировании радиоэлектронных средств: Метод. указ. / Сост. Ю. Л. Муромцев, А. В. Ивановский, А. П. Пудовкин. Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 1998. 20 с.
- 16 Конструирование функционального узла на печатном монтаже: Метод. указ. / Сост.: Н. А. Малков, Ю. Л. Муромцев. Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 1998. 36 с.
- 17 Пудовкин А. П., Муромцев Ю. Л., Малков Н. А. Проектирование многослойных печатных плат: Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 88 с.

Содержание

Введение	3
.....	
1 Основные требования при курсовом проектировании	3
1.1 Задание на курсовое проектирование	4
.....	13
1.2 Содержание и обязательные разделы	16
.....	17
1.3 Общие требования к оформлению текста	
.....	
1.4 Указания по выполнению графических работ	
.....	
1.5 Рекомендации по защите курсового проекта	
.....	
2 Указания по выполнению графических работ	18
.....	
2.1 Правила выполнения схем	18
.....	
2.2 Выполнение схем различных типов	21
.....	
2.3 Правила выполнения чертежей	34
.....	
2.4 Особенности исследовательских курсовых проектов	60
3 Последовательность выполнения курсового проекта	64
.....	
3.1 Методология проектирования конструкций РЭС ..	64
.....	
3.2 Анализ существующих конструкций и выбор метода конструирования	66
.....	
4 Конструкторские расчеты	85
.....	

4.1	Компоновочные расчеты блока РЭС	85
	99
4.2	Электрическая совместимость	106
	125
4.3	Расчет параметров печатного монтажа	136
	
4.4	Расчет теплового режима	141
	151
4.5	Механические воздействия	156
	159
4.6	Последовательность решения задач надежности при конструкторском проектировании.	
	
4.7	Оценка качества	
	
	Приложение	
	
	Список литературы	
	