

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности
1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества
и диагностики состояния объектов»
очной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 621.396.6
ББК 323.844-02
К65

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «1» сентября 2023 г.,
протокол № 1

Составители: канд. техн. наук, доц. В. Ф. Поздняков;
ст. преподаватель А. Н. Прудников

Рецензент канд. техн. наук С. В. Болотов

В методических рекомендации кратко изложены основные теоретические и практические материалы для выполнения курсовой работы студентами специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов» очной формы обучения.

Учебное издание

КОНСТРУИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Ответственный за выпуск	А. В. Хомченко
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

1 Практическое занятие № 1. Правила выполнения структурных, функциональных, электрических принципиальных схем	4
2 Практическое занятие № 2. Обозначение схем в текстовой документации. Буквенно-цифровые обозначения элементов электрических схем. Правила выполнения конструкторской документации.....	7
3 Практическое занятие № 3. Выбор радиоэлементов для компоновки электронного узла по электрической принципиальной схеме.....	12
4 Практическое занятие № 4. Расчет посадочных мест радиоэлементов, выбор плотности рисунка печатного монтажа, выбор размеров печатных плат.....	16
5 Практическое занятие № 5. Расчет размеров отверстий под радиоэлементы на печатной плате, размеров контактных площадок.....	19
6 Практическое занятие № 6. Разработка чертежа печатной платы. Разработка сборочного чертежа печатной платы.....	23
7 Практическое занятие № 7. Расчет коэффициентов нагрузки радиоэлементов, нагрузки печатных проводников по току.....	26
8 Практическое занятие № 8. Расчет показателей надежности печатного узла медицинской техники.	33
9 Практическое занятие № 9. Выбор критериев надежности изделия электронной техники техн. РД 50-707–91. Методические указания.....	38
Список литературы.....	47

1 Практическое занятие № 1. Правила выполнения структурных, функциональных, электрических принципиальных схем

В стандарте установлены виды и типы схем и их коды. В зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, виды схем имеют следующие наименования и буквенные коды: электрические – код Э, гидравлические – код Г, пневматические – код П, газовые (кроме пневматических) – код Х, кинематические – код К, вакуумные – код В, оптические – код Л, энергетические – код Р, деления – код Е, комбинированные – код С.

Под комбинированной схемой понимается схема, когда на одном конструкторском документе выполняют схемы двух или более видов, выпущенных на одно изделие. Например, схема электрогидравлическая.

В зависимости от основного назначения типы схем имеют следующие наименования и цифровые коды: структурные – код 1, функциональные – код 2, принципиальные – код 3, соединений (монтажные) – код 4, подключения – код 5, общие – код 6, расположения – код 7, объединенные – код 0. Под объединенной схемой понимается схема, когда на одном конструкторском документе выполняют схемы двух и более типов, выпущенных на одно изделие.

Таким образом, наименование и обозначение схемы как вида документа состоит из кода вида и типа схемы, например, схема электрическая функциональная – Э2, схема электрогидравлическая принципиальная – С3.

В практике встречаются случаи, когда на схемах одного типа помещают сведения, характерные для схемы другого типа, например, на схеме соединений изделия показывают его внешние подключения. Такие схемы называют совмещенными. Номенклатура, наименования и коды этих схем устанавливаются отраслевыми нормативно-техническими документами.

Схемы структурные и функциональные предназначены для общего ознакомления с изделием и для изучения общих принципов работы изделия.

Данные схемы разрабатывают на этапах эскизного и технического проектирования. Они определяются сложностью изделия и необходимостью обеспечить исходными данными последующий этап проектирования.

Схема принципиальная предназначена для определения полного состава изделия, изучения принципов его работы и расчета. Схема служит основанием для разработки конструкции, последующих схем и используется при наладке, регулировке, контроле, эксплуатации и ремонте изделия.

Схемы соединений, подключений и общая предназначены для представления сведений о соединениях составных частей изделий и изделия в целом. Эти схемы служат для разработки других конструкторских документов и, в первую очередь, чертежей, определяющих прокладку и способы крепления проводов, жгутов и кабелей в изделии, а также для осуществления присоединений при наладке, контроле, эксплуатации и ремонте изделия.

Схема расположения определяет относительное расположение составных частей изделия и, при необходимости, их соединений. Эта схема используется

при разработке других документов, а также при изготовлении и эксплуатации изделий.

Данные схемы разрабатывают на этапе рабочего проектирования, и их номенклатура определяется необходимостью обеспечить изготовление, контроль и эксплуатацию изделия.

На структурной схеме в виде прямоугольников должны быть изображены все основные функциональные части изделия.

Допускается изображать элементы, устройства, функциональные части в виде условно-графических объектов (УГО), установленных для функциональных и принципиальных схем.

Основные составные части изделия изображаются, как правило, без учета их действительного расположения и подробностей.

Однако графическое построение схемы должно наглядно показывать взаимодействие функциональных частей в изделии.

На схеме должны быть показаны взаимосвязи электрические и, при необходимости, механические, существующие между функциональными частями. На линиях взаимосвязи можно стрелками показывать направление хода процессов, происходящих в изделии.

Графическое построение структурной схемы должно наглядно показывать взаимодействие функциональных частей в изделии.

Для каждой функциональной части изделия должно быть указано наименование, но можно также указать тип элемента и (или) обозначение документа, на основании которого этот элемент применен. Все эти сведения, как правило, вписывают внутрь УГО. При большом количестве функциональных частей вышеуказанные сведения допустимо помещать в таблицы, при этом функциональные части следует обозначить порядковыми номерами, чтобы была однозначная связь с таблицей.

На схемах допускается помещать информацию о конструктивном расположении функциональных частей, устройств, элементов в изделии, а также указывать другую информацию, например величины токов, математические зависимости и др. Эти пояснения не должны мешать наглядности схемы.

Функциональные схемы предназначены для разъяснения процессов, происходящих в изделии в целом, а также в отдельных функциональных частях. Поэтому для одного изделия может быть выпущено несколько функциональных схем.

На функциональных схемах должны быть изображены все функциональные части, функциональные группы, устройства, элементы, необходимые для разъяснения происходящих в изделии процессов, и показаны связи между ними.

Функциональные части, устройства, элементы изображают в виде УГО, установленных в стандартах ЕСКД, или прямоугольников.

Функциональный процесс, как правило, представляют слева направо и (или) сверху вниз. Допускается изображать пункты измерения и (или) контроля.

В схеме допускается приводить необходимые пояснения, места установки, диаграммы, таблицы и параметры физических величин в характерных точках.

Принципиальная схема определяет полный состав элементов, устройств в изделии, все электрические связи между ними, необходимые для осуществления электрических процессов и их контроля. Принципиальная схема дает детальное

представление о принципах работы изделия. На схеме изображают соединители, зажимы и т. п., которыми заканчиваются входные и выходные цепи, а также можно показывать соединительные и монтажные элементы в изделии, устанавливаемые по конструктивным соображениям.

Элементы, устройства, цепи на схеме размещают, как правило, на параллельных горизонтальных и вертикальных прямых линиях без учета их действительного расположения. Обычно размещение выполняют сверху вниз, слева направо.

Все изображенные на схеме элементы должны быть обозначены буквенно-цифровым позиционным обозначением. Буквы и цифры позиционного обозначения должны выполняться одним размером шрифта.

Позиционное обозначение элемента проставляют рядом с УГО сверху или справа. Рядом с УГО элементов на схеме допускается указывать номинальные величины их основных параметров (емкость и т. п.) или сокращенное наименование элемента.

На схеме допускается помещать поясняющие надписи и указывать в характерных точках величины токов, напряжений, уровни сигналов и т. п.

Для сложных изделий принципиальную электрическую схему допускается выполнять в виде нескольких схем, выделяя в отдельные схемы цепи питания, цепи управления и контроля, цепи блокировки и сигнализации и т. п., при этом:

- отдельные элементы могут быть повторно изображены на нескольких схемах;
- присвоение позиционных обозначений должно быть сквозным по всему изделию;

- каждая такая схема должна содержать перечень элементов, в который вписывают элементы, позиционные обозначения которым присвоены на данной схеме. Эти позиционные обозначения сохраняют при повторе этих элементов на других схемах;

- около повторенных УГО элементов в дополнение к позиционным обозначениям или вместо них допускается указывать сокращения наименования элемента или значения его параметров.

В качестве задания студентам выдаются принципиальные схемы устройств различного назначения, по которым необходимо представить структурную или функциональную схему устройства, ее условное обозначение.

Для закрепления материала необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы






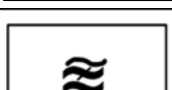

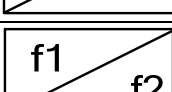
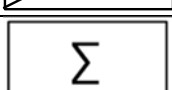
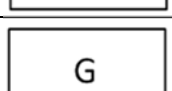
- 1 Как обозначаются структурные схемы на чертежах?
- 2 Как обозначаются функциональные схемы на чертежах?
- 3 Как обозначаются принципиальные схемы на чертежах?
- 4 Какие обозначения имеют оптические, гидравлические, пневматические, кинематические и совмещенные схемы?
- 5 Что определяет электрическая принципиальная схема?
- 6 Каким образом обозначаются электрические элементы на схемах?

7 Где проставляются позиционные обозначения на электрической принципиальной схеме?

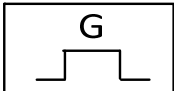

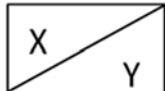
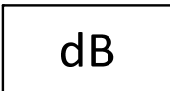
2 Практическое занятие № 2. Обозначение схем в текстовой документации. Буквенно-цифровые обозначения элементов электрических схем. Правила выполнения конструкторской документации

Функциональные группы и устройства изображают на структурных схемах в виде прямоугольников или квадратов, элементы – в виде условных графических обозначений, принятых для принципиальных схем (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Условные графические изображения блоков в структурных схемах

Символика	Назначение
	Генератор
	Частотный фильтр
	Фильтр высоких частот
	Фильтр низких частот
	Полосовой фильтр
	Режекторный фильтр
	Преобразователь
	Преобразователь частот
	Суммирующий усилитель
	Усилитель
	Генератор синусоидальных сигналов

Окончание таблицы 2.1

Символика	Назначение
	Генератор импульсных сигналов
	Ограничитель
	Первичный преобразователь параметров
	Аттенюатор

Назначение той или иной части прибора указывают расположенные внутри этих символов специальные знаки, буквы, упрощенное изображение осциллограмм, графиков и т. д.

В таблице 2.2 приведены условные обозначения элементов на электрической принципиальной схеме.

Таблица 2.2 – Условные буквенные обозначения радиоэлементов

Наименование	Обозначение
Громкоговоритель	BA
Микрофон	BM
Пьезоэлемент	BQ
Звукосниматель	BS
Конденсатор	C
Микросхема аналоговая интегральная	DD
Микросхема интегральная цифровая	DA
Устройство задержки (общее обозначение)	DT
Элементы разные (общее обозначение)	E
Лампа осветительная	EL
Разрядники, предохранители, устройства защиты (общее обозначение)	F
Предохранитель плавкий	FU
Генераторы, источники питания, кварцевые генераторы (общее обозначение)	G
Батарея гальванических элементов, аккумуляторов	GB
Прибор звуковой сигнализации	HA
Индикатор символьный	HG
Прибор световой сигнализации	HL
Реле, контакторы, пускатели (общее обозначение)	K
Реле времени	KT
Катушка индуктивности, дроссель	L

Продолжение таблицы 2.2

Наименование	Обозначение
Двигатель (общее обозначение)	M
Прибор измерительный (общее обозначение)	P
Амперметр (миллиамперметр, микроамперметр)	PA
Счетчик импульсов	PC
Частотомер	PF
Омметр	PR
Измеритель времени действия, часы	PT
Вольтметр	PV
Ваттметр	PW
Резисторы постоянные и переменные (общее обозначение)	R
Терморезистор	RK
Шунт измерительный	RS
Варистор	RU
Выключатели, разъединители, короткозамыкатели в силовых цепях (в цепях питания оборудования)	Q
Выключатель или переключатель	SA
Выключатель кнопочный	SB
Выключатель автоматический	SF
Трансформатор, автотрансформатор	T
Преобразователи электрических величин в электрические устройства связи (общее обозначение)	U
Приборы полупроводниковые и электровакуумные (общее обозначение)	V
Диод, стабилитрон	VD
Транзистор	VT
Тиристор	VS
Прибор электровакуумный	VL
Антенна	WA
Соединение контактное (общее обозначение)	X
Штырь (вилка)	XP
Гнездо (розетка)	XS
Соединение разборное	XT
Соединитель высокочастотный	XW
Устройства механические с электромагнитным приводом (общее обозначение)	Y
Электромагнит	YA
Устройства оконечные, фильтры (общее обозначение)	Z
Фильтр кварцевый	ZQ
Вычислитель	CPS
Вычислительное устройство (центральный процессор)	CPU
Процессор	P

Продолжение таблицы 2.2

Наименование	Обозначение
Секция процессора	PS
Память	M
Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ): с произвольным доступом с последовательным доступом	RAM SAM
Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)	ROM
ПЗУ с возможностью программирования: однократного многократного	PROM RPMOM
Управление	CO
Перенос	CR
Прерывание	INR
Передача	TF
Прием	RC
Ввод-вывод: последовательный параллельный	IOS IOP
Арифметика	A
Суммирование	SM или Σ
Вычитание	SUB
Умножение	MPL
Деление	DIV
Логическое И	ξ или И
Логическое ИЛИ	1 или 1
Исключающее ИЛИ	=1
Повторитель	1
Регистр: общее обозначение со сдвигом слева направо сверху вниз со сдвигом справа налево снизу вверх с реверсивным сдвигом	RG \rightarrow RG \downarrow RG \leftarrow RG \uparrow RG \updownarrow RG
Счетчик двоичный	CT2
Счетчик десятичный	CT10
Дешифратор	DC
Шифратор	CD
Преобразователь	X/Y
Сравнение	= =
Мультиплексор	MUX
Демультимплексор	DMX
Генератор (общее обозначение)	G

Окончание таблицы 2.2

Наименование	Обозначение
Триггер: общее обозначение двухступенчатый Шмидта (пороговый элемент)	T TT TH
Формирователь (общее обозначение)	F
Ключ	SW
Модулятор	MD
Демодулятор	DM
Нелогические элементы: стабилизатор напряжения набор резисторов набор диодов набор транзисторов набор индикаторов	*ST *R *D *T *H
Интерфейс	BPIC
Стабилизатор U	STU

При реализации той или иной электрической принципиальной схемы необходимо сделать выбор соответствующих радиоэлементов. Однако это необходимо делать с учетом функциональных особенностей разрабатываемого электронного блока. Следует учитывать климатические условия работы, напряжение питания, мощность потребления, массогабаритные показатели, стоимость. Кроме того, необходимо как можно больше использовать элементы с большой интеграцией, а также наиболее современные разработки в области микроэлектроники. При использовании и реализации старых разработок и схем необходимо проводить замену старых радиоэлементов на новые, руководствуясь электрическими характеристиками данных элементов.

В качестве задания студентам выдается электрическая принципиальная схема, на которой необходимо проставить позиционные обозначения радиоэлементов, а также составить перечень в соответствии ЕСКД.

Для закрепления материала необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Какими буквенно-цифровыми обозначениями кодируются радиоэлементы?
- 2 Каким образом обозначаются аналоговые и цифровые микросхемы?
- 3 Как обозначаются те или иные структурные элементы РЭА?
- 4 Какие стандарты регламентируют выполнение структурных схем на чертежах?
- 5 Электрические принципиальные схемы выполняются в масштабе или произвольно?
- 6 Электрические структурные схемы выполняются в масштабе или произвольно?

7 Каков порядок нумерации радиоэлементов на электрической принципиальной схеме?

8 Как на электрической принципиальной схеме обозначаются соединения?

9 Каким образом на электрической принципиальной схеме обозначаются внешние выводы?

10 Как маркируются транзисторы малой мощности, средней мощности и большой мощности?

11 Какой текстовый документ должен сопровождать электрическую принципиальную схему?

12 В какой последовательности должны располагаться элементы в перечне элементов?

13 Допускается ли располагать перечень элементов на поле основного чертежа?

3 Практическое занятие № 3. Выбор радиоэлементов для компоновки электронного узла по электрической принципиальной схеме

В анализе электрической принципиальной схемы необходимо из соответствующих справочников выбрать указанные в схеме радиоэлементы или заменить устаревшие радиоэлементы на более современные. Все указанные в схеме радиоэлементы необходимо зафиксировать в виде эскизов с нанесением габаритных размеров и диаметров выводов радиоэлементов, поскольку они понадобятся для определения площадей посадочных мест радиоэлементов и размеров печатной платы в целом.

Также при описании каждого радиоэлемента необходимо привести его предельные электрические параметры, которые впоследствии понадобятся для расчета надежности. Примеры выполнения эскизов некоторых радиоэлементов приведены на рисунках 3.1–3.7.

Резисторы. Внешний вид резистора МЛТ-0,125 приведен на рисунке 3.1.

Резисторы МЛТ-0,25, МЛТ-0,5, МЛТ-1,0 имеют аналогичный внешний вид, но другие габаритные размеры и диаметр выводов (таблица 3.1).

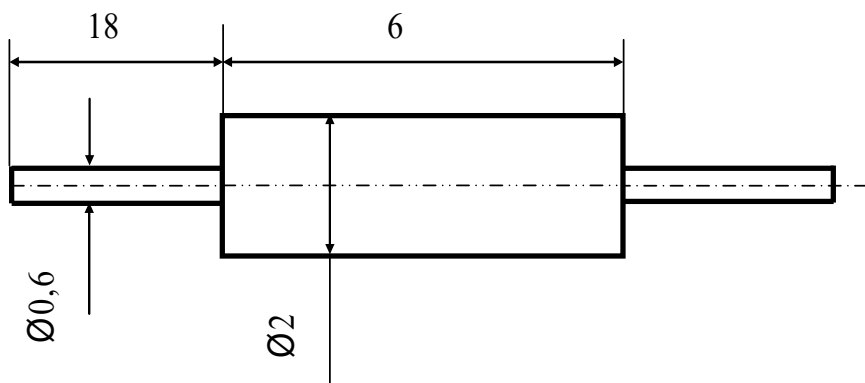


Рисунок 3.1 – Внешний вид резистора МЛТ-0,125

Таблица 3.1 – Габаритные размеры резисторов МЛТ разной мощности

Тип резистора	Длина, мм	Диаметр, мм	Длина выводов, мм	Диаметр выводов, мм
МЛТ-0,125	6,0	2,2	20	0,6
МЛТ-0,25	7,0	3,0	20	0,6
МЛТ-0,5	10,2	4,2	25	0,8
МЛТ-1,0	13,0	6,7	25	0,8

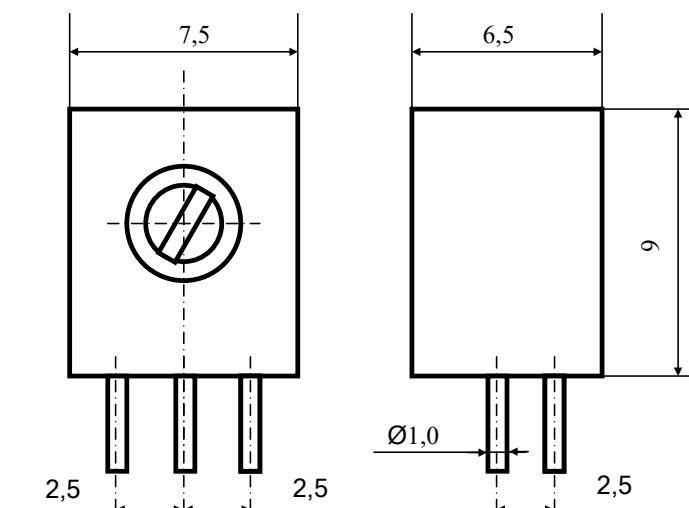
Подстроечный резистор.

Рисунок 3.2 – Внешний вид резистора СПЗ-196

Другие типы постоянных резисторов и подстроечных резисторов, а также их габаритные размеры приведены в справочниках по резисторам.

Конденсаторы.

Типоразмер конденсаторов серии КМ-4 зависит от типа исполнения и номинальной емкости.

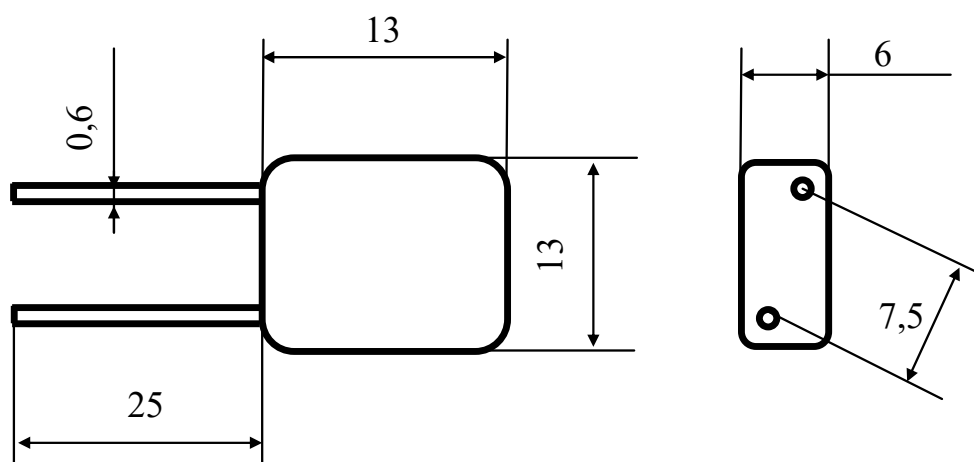


Рисунок 3.3 – Внешний вид конденсатора КМ-4 (типоразмер 4)

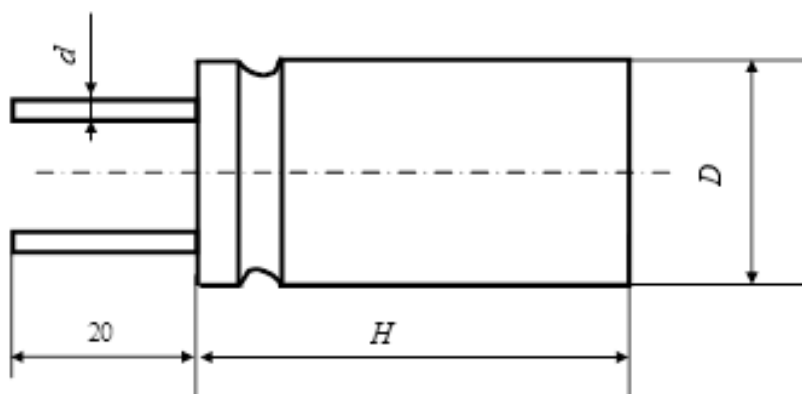


Рисунок 3.4 – Внешний вид и габаритные размеры электролитического конденсатора К50-16

Размеры H , d , D , указанные на рисунке 3.4, зависят от емкости конденсатора и предельного рабочего напряжения.

Другие типы конденсаторов, а также их габаритные размеры приведены в справочниках по электрическим конденсаторам.

Транзисторы.

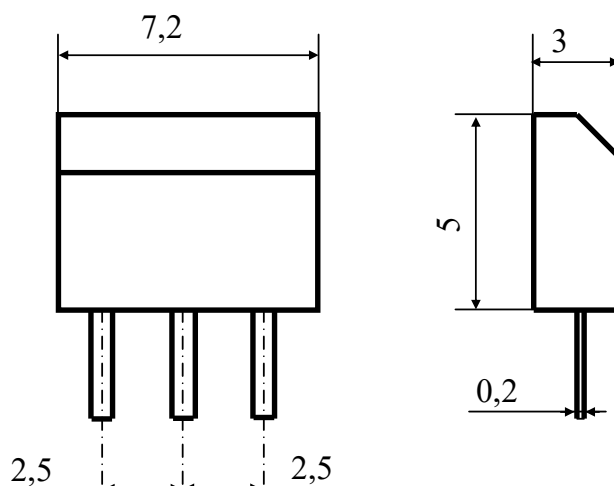


Рисунок 3.5 – Внешний вид и габаритные размеры транзисторов КТ 315, КТ 361

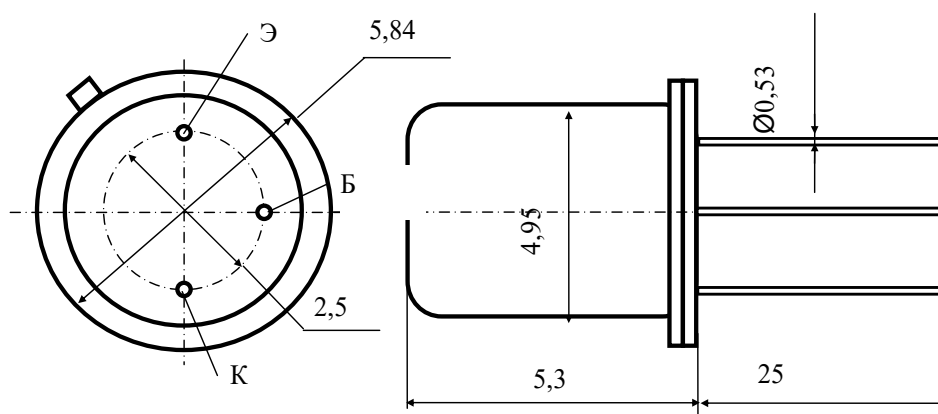


Рисунок 3.6 – Внешний вид и габаритные размеры транзистора КТ 3102 (КТ 3107, КТ 343, КТ 208, КТ 203, КТ 317, КТ 313, КТ 3108, КТ 347, КТ 349, КТ 3127)

Другие типы транзисторов, а также их габаритные размеры приведены в соответствующих справочниках по транзисторам.

Микросхемы.

В предложенных схемах могут быть использованы как аналоговые микросхемы, так и цифровые. В настоящее время используется большое количество различных типов микросхем, но практически все они выпускаются в одинаковых унифицированных корпусах. Аналоговые микросхемы – в металлических или пластмассовых корпусах, а цифровые – практически все в пластмассовых. Далее приведены рисунки внешнего вида и габаритные размеры унифицированных корпусов микросхем (см. рисунки 3.7 и 3.8).

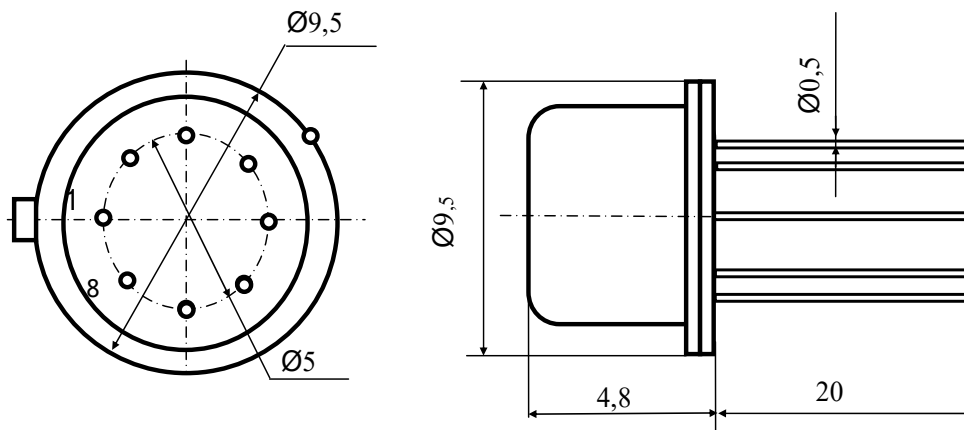


Рисунок 3.7 – Внешний вид и габаритные размеры аналоговой микросхемы в корпусе 301.8-2

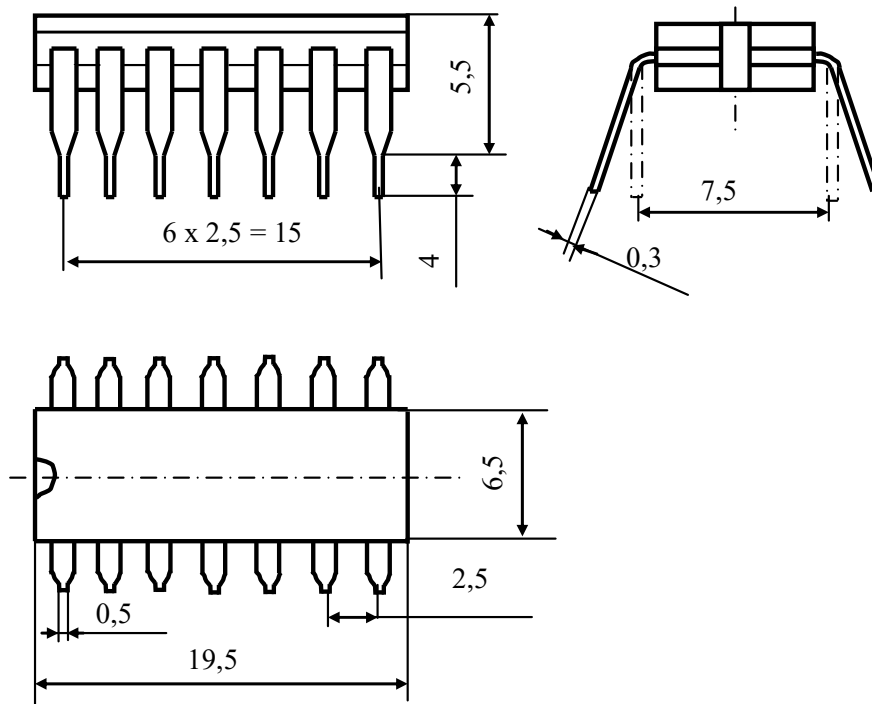


Рисунок 3.8 – Внешний вид и габаритные размеры аналоговых и цифровых микросхем в корпусе 201.14-1, 201.14-6

Другие типы микросхем, а также их габаритные размеры приведены в справочниках по интегральным микросхемам.

В качестве задания студентам выдается электрическая принципиальная схема, в соответствии с которой необходимо выбрать радиоэлементы из справочной литературы (если радиоэлементы старые, их необходимо заменить на новые с теми же параметрами). Сделать эскиз внешнего вида радиоэлементов с габаритными и присоединительными размерами.

Для закрепления материала необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1 Какие основные габаритные размеры резисторов необходимо знать для разработки печатной платы?

2 Какие основные габаритные размеры транзисторов необходимо знать для разработки печатной платы?

3 Какие основные габаритные размеры разных конденсаторов необходимо знать для разработки печатной платы?

4 Какие основные габаритные размеры разных микросхем необходимо знать для разработки печатной платы?

5 Какие электрические параметры радиоэлементов необходимо знать для расчета надежности печатного узла?

4 Практическое занятие № 4. Расчет посадочных мест радиоэлементов, выбор плотности рисунка печатного монтажа, выбор размеров печатных плат

Процесс топологического конструирования состоит из размещения и трассировки. При размещении расставляют навесные элементы на плате, распределяют контакты соединителей по электрической схеме и размещают контрольные гнезда.

Критерием наилучшего решения служит правило двух минимумов: при топологическом конструировании ПП должен быть достигнут минимум пересечений и минимум длины связей.

Минимум пересечений означает и минимум переходных отверстий. Это требование обычно имеет приоритет, т. к. обеспечивает технологичность по минимуму числа слоев и создает важные предпосылки для безотказности.

Минимум длины связей означает максимум связей между соседними элементами и имеет значение для электрических схем в зависимости от быстродействия и частотного диапазона. Правилом двух минимумов следует руководствоваться при топологическом конструировании ПП.

Нормы при размещении и расчет числа посадочных мест.

Несмотря на тесную взаимосвязь и взаимозависимость процедур размещения и трассировки, топологическое конструирование ПП начинается с


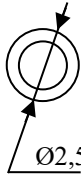

предварительного размещения как самостоятельной процедуры. Расчету предельного числа корпусов ИС и МС, размещаемых на ПП, предшествует установление норм компактного размещения. Эти нормы исходят из расстановки ИС, МС и других навесных элементов рядами. Выводы навесных элементов подвергаются формовке – операции придания выводам определенной формы и длины, обеспечивающих при сборке на ПП гарантированное расстояние паянного шва от тела элемента в соответствии с техническими условиями на элемент. Как правило, отформованные выводы выступают за габариты корпуса. Контур площади, занимаемой на ПП навесным элементом, включая контактные площадки под формованные выводы, называют посадочным местом.

Выводы навесных элементов, как правило, выполнены из проволоки круглого (штыревые выводы) или прямоугольного (планарные выводы) сечения. Элементы со штыревыми выводами можно устанавливать только с одной стороны ПП, элементы с планарными выводами можно устанавливать с обеих сторон ПП, но технологичность и ремонтпригодность печатного узла при двустороннем размещении падают.

Навесные элементы имеют планарные (ленточные прямоугольного сечения) выводы или проволочные (штыревые) выводы из круглой проволоки диаметром 0,4; 0,6; 0,8 мм, под которые должны быть предусмотрены металлизированные отверстия. Диаметр отверстия выбирают из расчета получения зазора между выводом и стенкой отверстия 0,1 мм, необходимого для капиллярного проникновения припоя во время пайки, которое повышает прочность соединения. Например: при диаметре выводов радиоэлемента 1 мм диаметр металлизированного отверстия 1,2 мм, при диаметре выводов 0,8 мм диаметр отверстий 1 мм. В любом случае диаметр металлизированных отверстий на платах общего применения не делается менее 0,8 мм. Отверстия, предназначенные для пайки в них вывода, называют монтажными в отличие от крепежных отверстий, используемых только для механического крепления.

При составлении рисунка ПП необходимо пользоваться библиотекой контактных площадок стандартной формы (ГОСТ 23751–79). Стандартизированы как одиночные контактные площадки, так и контактные группы (таблица 4.1). Контактной группой называется несколько регулярно расположенных контактных площадок, предназначенных для многовыводного элемента. Предусмотрены варианты ориентации площадок и групп.

Таблица 4.1 – Библиотека контактных площадок печатной платы

Параметр	Размер и внешний вид		
Диаметр отверстия, мм	0,8	1,0 ; 1,1	1,3 ; 1,5
Конфигурация, размеры, расположение			

Контур площади, занимаемый на плате навесным элементом, включая контактные площадки под выводы, называется посадочным местом. Площадь посадочных мест всех резисторов (рисунок 4.1), транзисторов, неэлектролитических конденсаторов будем вычислять по формуле

$$S = b \cdot a,$$

где a – длина посадочного места;
 b – ширина посадочного места.

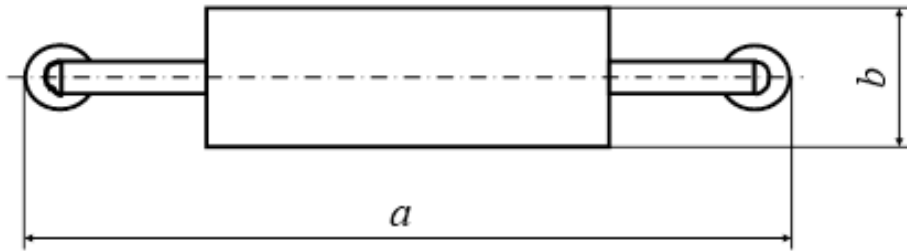


Рисунок 4.1 – К расчету посадочного места резистора

Аналогичным образом рассчитываются посадочные места других радиоэлементов похожего типоразмера.

Посадочное место конденсатора (рисунок 4.2) типа К50-16 определяется по формуле

$$S = \pi \cdot r^2,$$

где r – наибольший радиус конденсатора.

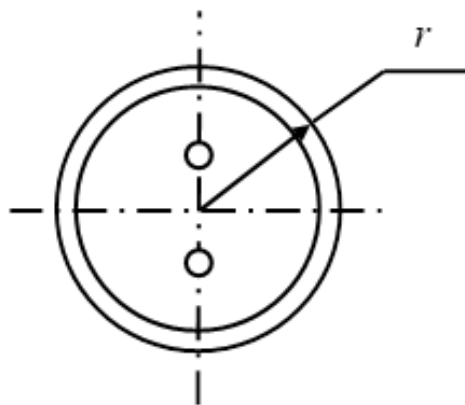


Рисунок 4.2 – Посадочное место электролитического конденсатора К50-16

Посадочные места для микросхем показаны на рисунках 4.3 и 4.4.

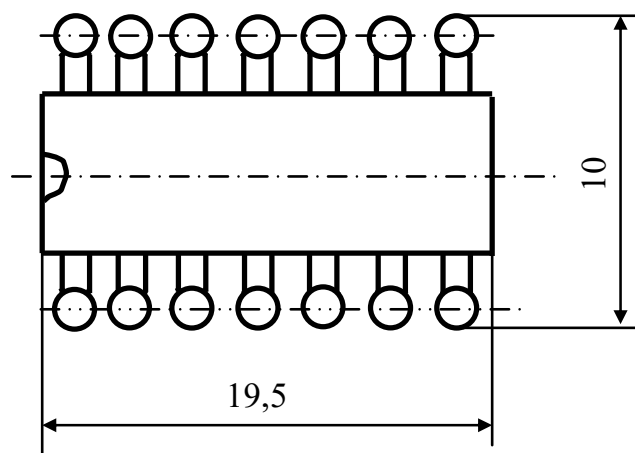


Рисунок 4.3 – Посадочное место микросхемы в корпусе 201.14-1, 201.14-6

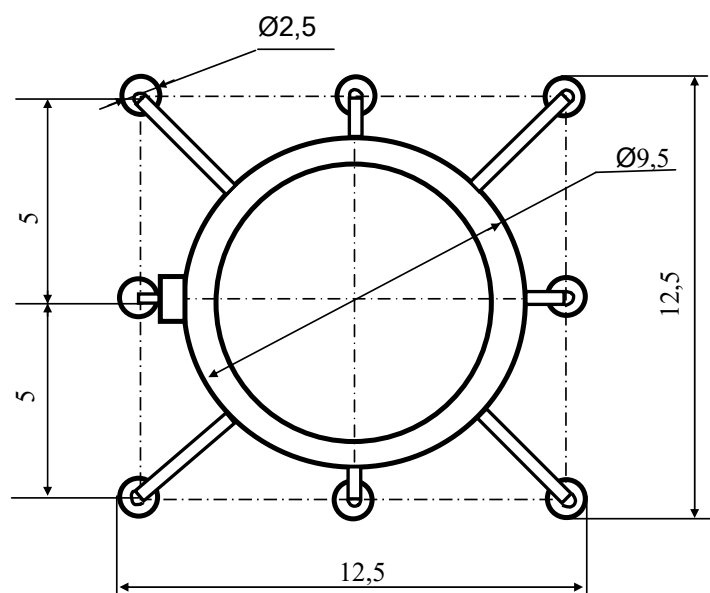


Рисунок 4.4 – Посадочное место микросхемы в корпусе 301.8-2

В соответствии с ранее выданной принципиальной схемой студентам необходимо выбрать плотность рисунка печатной платы, рассчитать размеры посадочных мест под радиоэлементы. Исходя из чего оценить габаритные размеры печатной платы.

Для закрепления материала необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Что называется посадочным местом радиоэлемента?
- 2 Как рассчитывается посадочное место постоянных и переменных резисторов?
- 3 Как рассчитывается посадочное место конденсаторов?
- 4 Как рассчитывается посадочное место транзисторов и диодов?
- 5 Как рассчитывается посадочное место микросхем?
- 6 Из каких соображений выбирается диаметр монтажного отверстия?

- 7 Что такое контактная площадка?
- 8 Как выбирается диаметр (размеры) контактных площадок?
- 9 Что такое металлизация отверстий и зачем она нужна?
- 10 Из каких соображений выбираются размеры печатной платы?

5 Практическое занятие № 5. Расчет размеров отверстий под радиоэлементы на печатной плате, размеров контактных площадок

При конструировании печатных плат используются четыре главных критерия выбора: габаритный критерий, критерий плотности рисунка и толщины проводящего слоя, критерий числа слоев, критерий материала основания.

Рабочая площадь ПП, или зона расположения посадочных мест на ПП, равна общей площади ПП за вычетом площади краевого поля – свободной полосы вдоль периметра ПП, предусматриваемой для технологических целей, не занимаемой рисунком и навесными элементами. Ширина краевого поля есть расстояние от края ПП до края первого ряда посадочных мест. Краевое поле определяется тремя координатами: x – ширина краевого поля по оси X (одинакова с левой и с правой стороны ПП); y_1 – ширина краевого поля для соединителя по оси Y (у нижней кромки ПП); y_2 – ширина краевого поля для размещения контрольных гнезд у верхней кромки ПП. Ширину краевого поля x с левого и с правого края принимают равной: для штыревых выводов $x = 5$ мм, для планарных выводов $x = 2,5$ мм. Ширину краевого поля по оси y_2 при отсутствии контрольных гнезд принимают $y = 2,5$ мм, а при их наличии $y = 12,5$ мм. Размер краевого поля y находят в зависимости от типа выбранного соединителя.

Расчет числа посадочных мест производят по формулам

$$n = n_x n_y; \quad n_x = \frac{L_x - 2x - l_x}{t_x} + 1; \quad n_y = \frac{L_y - (y_1 + y_2) - l_y}{t_y} + 1.,$$

где n – число посадочных мест при одностороннем размещении;

n_x – число посадочных мест в одном ряду (округляется до целого числа в сторону уменьшения);

n_y – число посадочных мест (округляется до целого числа в сторону уменьшения);

L_x, L_y – размеры ПП по осям X и Y ;

l_x, l_y – размеры посадочного места по осям X и Y ;

t_x, t_y – шаг установки по осям X и Y ;

x – ширина краевого поля по X ;

y_1, y_2 – ширина краевого поля для соединителей и контрольных гнезд.

Габаритный критерий.

Выбор габаритов ПП (длина a и ширина b) связан с разделением электрической схемы блока на функционально законченные части. Длина ПП обычно

регламентирована с учетом размера электрического соединителя и составляет $a = 170$ мм. Ширина b составляет 75; 120 (только для морской и самолетной РЭА); 150; 200 мм. Разрешенный к применению размер $b = 150$ мм предпочтительно заменять двумя стандартными платами размером 75 мм.

При разработке печатных плат нестандартной серии радиоэлектронных устройств размеры плат минимизируют. Или, иными словами, пытаются сделать с наименьшими размерами или с размерами под конкретную конструкцию корпуса, устройства.

Критерий плотности рисунка и толщины проводящего слоя.

Предыдущий габаритный критерий тесно связан с той плотностью, с какой может быть выполнен рисунок. По ГОСТ 23751–76 установлены три класса плотности рисунка (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Геометрические размеры трех классов плотности рисунка ПП

Класс плотности	Плотность	Ширина проводника t_{\min} , мм	Расстояние между проводниками S_{\min} , мм	Разрешающая способность R , линий/мм	Предельный размер ПП (a или b), мм
1	Малая	0,5	0,5	1,0	Без ограничений
2	Средняя	0,25	0,25	2,0	240
3	Большая	0,15	0,15	3,33	170

Для большинства разрабатываемых печатных плат используется малый класс плотности. В отдельных случаях при разработке печатного узла, состоящего из интегральных цифровых микросхем, используется средний класс плотности.

Шириной печатного проводника (или, сокращенно, шириной проводника) t называют поперечный размер проводника на любом участке в плоскости основания (неровности края во внимание не принимаются). Расстоянием между проводниками s называют расстояние между краями соседних проводников на одном слое ПП.

Разрешающей способностью рисунка R называют число полос (линий) равной ширины, укладываемое на 1 мм при шаге укладки, равном двойной ширине полосы. В рисунке ПП за линию принимают проводник. Разрешающая способность рисунка ПП

$$R = 1/(t + s),$$

где t – минимальная ширина проводника, допускаемая в узких местах рисунка, мм;

s – минимальное расстояние между проводниками, допускаемое в узких местах рисунка, мм.

Выбранный конструктором класс плотности рисунка должен быть проверен по норме допустимых рабочих напряжений для проводников, лежащих в одной плоскости, а также по плотности тока (из расчета предельной допустимой

плотности тока в печатном проводнике 20 А/мм) и по допустимым потерям на постоянном токе.

Плотность тока и потери зависят от толщины проводящего слоя, которая регламентирована тремя значениями: 10, 20 и 35 мкм. Если потери не существенны для работы электрической схемы (но не для сигнальных цепей, когда падение напряжения сигнала может уменьшить отношение «сигнал – шум»), то конструктор должен предпочитать толщину 10 мкм для повышения точности и для экономии меди. Плотность тока, если она окажется недостаточной из расчета принятого выше значения 20 А/мм, может быть увеличена на порядок при переходе на металлическое основание.

Критерий числа слоев.

По числу слоев различают односторонние, двусторонние и многослойные платы. Чаще всего используются односторонние и двусторонние печатные платы. По возможности необходимо использовать односторонние платы, когда навесные элементы располагаются с одной стороны, а печатные проводники – с другой. Если невозможно развести рисунок с одной стороны, то используют для этой цели и сторону со стороны навесных элементов. В данном случае проводящие слои печатной платы с разных сторон соединяются между собой через отверстия, в которые впаиваются ножки элементов, или через переходные металлизированные отверстия.

Критерий материала основания.

Выбор толщины и материала основания оказывает основное влияние на свойства ПП: жесткость, собственную емкость, теплопроводность. Установлен размерный ряд значений толщины оснований ПП как гибких, так и жестких:

гибкие: 0,1 – 0,2 – 0,4;

жесткие: 0,8 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 3,0.

Наибольшее распространение в отечественной практике нашла толщина 1,0 и 1,5 мм, которая допускает получение металлизированных отверстий в основании соответственно 0,32 и 0,48 мм (минимальный допустимый диаметр). Если толщину основания выбирают с точки зрения жесткости печатного узла, то надо учитывать, что жесткость пропорциональна толщине в кубе. Для оснований применяют изоляционные материалы типа стеклопластиков.

В соответствии с ранее выданной принципиальной схемой студентам необходимо выбрать диаметр отверстий под радиоэлементы, тип и размеры контактных площадок, рассчитать размеры посадочных мест под радиоэлементы, выбрать материал и толщину основания печатной платы.

Для закрепления материала необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое класс плотности печатного рисунка платы?
- 2 Сколько классов плотности рисунка нормировано согласно ГОСТ 23751–76?
- 3 Что такое разрешающая способность рисунка печатной платы?
- 4 Что такое габаритный критерий?
- 5 Что такое критерий плотности рисунка и толщины проводящего слоя?

- 6 Что такое критерий числа слоев?
- 7 Что такое критерий материала основания?
- 8 Что такое плотность тока в печатном проводнике?
- 9 Чему равна предельная плотность тока в медном печатном проводнике?
- 10 Какими значениями регламентирована толщина проводящего слоя?

6 Практическое занятие № 6. Разработка чертежа печатной платы. Разработка сборочного чертежа печатной платы

Трассировка соединений, это разработка рисунка электрических связей между выводами радиоэлементов, а также электрических связей данной печатной платы с другими частями приборов. Рисунок соединений состоит из графических элементов-проводников и контактных площадок. Его выполняют на поле чертежа, где показаны границы рабочей площади ПП и нанесена декартова координатная сетка с основным шагом 2,5 мм и дополнительным шагом 0,5 мм.

Координатной сеткой называют совокупность тонких сплошных линий на чертеже, соответствующих определенным значениям координат в прямоугольной (или, очень редко, в полярной) системе. Шагом координатной сетки называется расстояние между соседними линиями сетки, а узлом – точка пересечения линий.

Большую сторону ПП ориентируют по оси X. Сторону установки навесных элементов обозначают на чертеже буквами СУ, обратную сторону – СО. Начало координат при отсчете делений координатной сетки на стороне установки расположено в левом нижнем углу, а на обратной стороне – в правом нижнем.

Величина свободного поля слева и справа – не менее 5 мм, сверху – не менее 2,5 мм, снизу оставляется место для контактных площадок, для закрепления разъема, свободное поле должно быть не менее 12,5 мм (конкретный размер зависит от типа применяемого разъема). Зная размеры печатной платы, размеры посадочных мест радиоэлементов, можно определить их число и возможность размещения на данной печатной плате.

Нормы при выборе элементов рисунка основаны на требовании максимальной компактности с сохранением технологичности. Графические элементы представляют собой полосы проводникового материала различной ширины, длины, формы, ориентации и контактные площадки с отверстиями или без них. Полоски выполняют роль соединительных проводников, шин питания, земли, экранов. Проводник условно изображают одной линией, совмещаемой с линией координатной сетки (основной или вспомогательной). Предполагается, что проводник размещается на линии координатной сетки по своей оси симметрии. Рядом с линией на поле чертежа указывают ширину. Если проводники имеют изломы, то их следует выполнять в узлах координатной сетки с целью упрощения технологических операций.

Следует иметь в виду, что между проводниками на печатной плате возникают паразитные емкости. Сами проводники обладают паразитными индуктив-

ностями, что ухудшает электрические параметры разрабатываемого электрического блока. Поэтому при трассировке соединений необходимо по возможности уменьшать длину проводников, увеличивать расстояние между ними. Индуктивность проводников снижается за счет увеличения их ширины.

Интегральные микросхемы повышенной степени интеграции (ИС3 и ИС4) следует размещать непосредственно у контактов соединителей. Неиспользованные контакты следует соединять с шиной заземления и располагать между сигнальными выводами. Индуктивность шин питания снижают путем увеличения их ширины.

Навесные радиоэлементы чаще всего устанавливаются на печатной плате в определенном порядке, например рядами, либо, в особых случаях, произвольно. Часто выводы радиоэлементов перед установкой на печатную плату подвергаются формовке.

Наряду с навесными элементами допускается применять навесные перемычки в количестве до 5 % общего числа соединений на ПП. Перемычка представляет собой отрезок изолированного провода, обеспечивающий электрическое соединение между двумя контактными площадками на одной стороне ПП.









На печатной плате можно размещать и экран. Он должен занимать максимально возможную площадь. Экран – это проводящий слой печатной платы, электрически связанный с общей шиной питания. Он служит для защиты радиоэлементов от влияния полей и т. п.

При составлении рисунка ПП необходимо пользоваться библиотекой контактных площадок стандартной формы. Стандартизированы как одиночные контактные площадки, так и контактные группы. Контактной группой называется несколько регулярно расположенных контактных площадок, предназначенных для многовыводного элемента. Предусмотрены варианты ориентации площадок и групп.

Отверстия на чертеже печатной платы, как правило, обозначают окружностями одинакового диаметра (2,5 мм).

Установлена система условных изображений и кодирования диаметров отверстий, что позволяет не проставлять их диаметры на чертеже (таблица 6.1).






Таблица 6.1 – Таблица условных обозначений отверстий на печатной плате

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

Сборочный чертеж печатной платы выполняется на отдельном чертеже в приемлемом масштабе. Все элементы вычерчиваются на плате по размерам, приведенным в соответствующих справочниках. Центры отверстий обозначаются перекрестиями. На элементах или рядом наносятся их условные обозначения согласно электрической принципиальной схеме. Элементы, имеющие полярность (микросхемы, транзисторы, диоды, электролитические конденсаторы), обозна-

чаются на сборочном чертеже с соответствующими обозначениями номеров точек или обозначениями наименований выводов (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Простановка обозначений отверстий и записи на поле чертежа печатной платы

Обозначение	Диаметр, мм	Диаметр контактной площадки, мм	Наличие металлизации	Число отверстий
	0,8 ^{+0,1}	2,0 ^{-0,1}	Есть	45
	1,3 ^{+0,12}	3,0 ^{-0,1}	Есть	34
	1,5 ^{+0,12}	3,0 ^{-0,1}	Есть	4
	2,0 ^{+0,12}	3,5 ^{-0,2}	Есть	12
	3,0 A5	–	Нет	4

Эти сведения необходимы для правильного монтажа в процессе изготовления платы. На сборочный чертеж печатной платы оформляется спецификация по существующим нормативным документам.

При выполнении данного практического занятия студенты проводят трассировку соединений на печатной плате в соответствии с электрической принципиальной схемой.

В качестве закрепления материала необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Каким образом осуществляется трассировка соединений?
- 2 Что такое координатная сетка на поле чертежа печатной платы?
- 3 Что такое шаг координатной сетки?
- 5 Как располагаются проводники на печатной плате?
- 6 Как располагаются радиоэлементы на печатной плате?
- 7 Какое количество дополнительных навесных проводников допускается на плате?
- 8 Как обозначаются на чертеже печатной платы отверстия разного диаметра?
- 9 Что такое величина свободного поля на плате?
- 10 Как обозначается сторона установки элементов и обратная сторона печатной платы?
- 11 Какие виды сборочного чертежа печатной платы должны быть показаны на чертеже?
- 12 Какие размеры необходимо наносить на сборочном чертеже?
- 13 Как выполняется спецификация на сборочный чертеж печатной платы?

7 Практическое занятие № 7. Расчет коэффициентов нагрузки радиоэлементов, нагрузки печатных проводников по току

Расчет надежности заключается в определении показателей надежности изделия по известным характеристикам составляющих компонентов в отдельности и условиям эксплуатации. Для расчета надежности необходимо иметь логическую модель безотказной работы системы. При ее составлении предполагается, что отказы элементов независимы, элементы считаются последовательно соединенными на логической схеме надежности. Элементы и система могут находиться в одном из двух состояний: работоспособном или неработоспособном. Элемент, при отказе которого отказывает вся система, считается последовательно соединенным на логической схеме надежности. Элемент, отказ которого не приводит к отказу системы, считается включенным параллельно.

Расчет надежности РЭА по внезапным отказам.

Из анализа логической схемы надежности определяется способ резервирования, используемый в изделии. Если схема состоит только из последовательно включенных элементов, то система является резервированной.

Определяются интенсивности отказов элементов с учетом условий эксплуатации изделия по формуле

$$\lambda_i = \lambda_{oi} K_1 K_2 K_3 K_4 a_i (T, K_n), \quad (7.1)$$

где λ_{oi} – номинальная интенсивность отказов;

K_1, K_2 – поправочные коэффициенты в зависимости от воздействия механических факторов;

K_3 – поправочный коэффициент в зависимости от воздействия влажности и температуры;

K_4 – поправочный коэффициент в зависимости от давления воздуха;

$a_i (T, K_n)$ – поправочный коэффициент в зависимости от температуры поверхности элемента T и коэффициента нагрузки K_n .

Значения номинальных интенсивностей отказов элементов даны в таблице 7.1. В таблицах 7.2–7.4 приведены поправочные коэффициенты K_1, K_2, K_3, K_4 .

Рассчитывается вероятность безотказной работы в течение заданной наработки (t_p принимается равным 10000 ч). Для нерезервированных систем

$$P(t_p) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t_p\right), \quad (7.2)$$

где n – число радиоэлементов.

При этом интенсивность отказов системы $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$, а среднее время наработки до отказа $T = \frac{1}{\lambda}$.

Таблица 7.1 – Номинальные интенсивности отказов ЭРЭ

Наименование элемента	$\lambda_0 \cdot 10^6, \text{ч}^{-1}$
Микросхемы со средней степенью интеграции	0,013
Большие интегральные схемы	0,01
Транзисторы германиевые:	
до 2 мВт	0,4
до 20 мВт	0,6
до 200 мВт	0,7
св. 200 мВт	1,91
Транзисторы кремниевые:	
до 150 мВт	0,84
до 1 Вт	0,5
до 4 Вт	0,74
Диоды германиевые	0,157
Диоды кремниевые	0,2
Конденсаторы:	
бумажные	0,05
керамические	0,15
слюдяные	0,075
электролитические	0,035
воздушные переменные	0,034
Резисторы:	
композиционные	0,043
пленочные	0,03
проволочные	0,087
угольные	0,045
Трансформаторы:	
входные	1,09
выходные	0,09
звуковой частоты	0,02
высокочастотные	0,045
Трансформаторы силовые	0,025
Дроссели	0,34
Катушки индуктивности	0,02
Реле	0,25·n
Соединители	0,06·n
Переключатель кнопочный	0,07·n
Гнезда	0,01
Клеммы, зажимы	0,0005
Провода соединительные	0,01513
Кабели	0,475
Аккумуляторы	7,2
Батареи заряжаемые	1,4
Электродвигатели:	
асинхронные	8,6
синхронные	0,359
вентиляторные	2,25
Антенны	0,36
Волноводы жесткие	1,1
Волноводы гибкие	2,6
Предохранители	0,5

Окончание таблицы 7.1

Наименование элемента	$\lambda_0 \cdot 10^6, \text{ч}^{-1}$
Выводы высокочастотные	2,63
Плата печатной схемы	0,7
Пайка печатного монтажа	0,01
Пайка навесного монтажа	0,03
Громкоговорители динамические	4
Датчики оптические	4,7
<i>Примечание</i> – n – число контактов	

Таблица 7.2 – Коэффициенты влияния механических воздействий

Условия эксплуатации аппаратуры	Вибрация K_1	Ударные нагрузки K_2	Суммарные воздействия $K\Sigma$
Лабораторные	1,0	1,0	1,0
Стационарные (полевые)	1,04	1,03	1,07
Корабельные	1,3	1,05	1,37
Автофургонные	1,35	1,08	1,46
Железнодорожные	1,4	1,1	1,54
Самолетные	1,46	1,13	1,65

Таблица 7.3 – Коэффициенты влияния влажности

Влажность, %	Температура, °С	Поправочный коэффициент K_3
60...0	20...40	1,0
90...98	20...25	2,0
90...98	30...40	2,5

Рабочую температуру окружающей среды, в которой работает устройство, необходимо брать предельную для наших климатических условий, а именно 30 °С.

Таблица 7.4 – Коэффициенты влияния атмосферного давления

Давление, кПа	Поправочный коэффициент K_4	Давление, кПа	Поправочный коэффициент K_4
0,1...1,3	1,45	32,0...42,0	1,2
1,3...2,4	1,4	42,0...50,0	1,16
2,4...4,4	1,36	50,0...65,0	1,14
4,4...12,0	1,35	65,0...80,0	1,1
12,0...24,0	1,3	80,0...100,0	1,0
24,0...32,0	1,25		

Расчет коэффициентов нагрузки радиоэлементов, нагрузки печатных проводников по току.

Одним из наиболее важных показателей при расчете надежности приборов и узлов является коэффициент нагрузки радиоэлементов, от которого в значительной степени зависит поправочный коэффициент a_i .

В таблице 7.5 приведены коэффициенты нагрузки отдельных элементов.

Таблица 7.5 – Коэффициенты нагрузки ЭРЭ

Наименование	Контролируемый параметр	Коэффициент нагрузки	Рекомендованное значение, импульсное	Рекомендованное значение, статическое
Микросхемы	Максимальный выходной ток $I_{вых. max}$ Входной ток микросхем, включенных на выход, $I_{ex. i}$	$\frac{\sum_{i=1}^n I_{BXj}}{I_{Bmax}}$	–	–
Транзисторы	Мощность, рассеиваемая на коллекторе, P_K	$P_K/P_{K.дон}$	0,5	0,2
Диоды	Обратное напряжение $U_{об}$	$U_0/U_{0.дон}$	0,5	0,2
Конденсаторы	Напряжение на обкладках U	$U/U_{дон}$	0,7	0,5
Резисторы	Рассеиваемая мощность P	$I P/P_{дон}$	0,6	0,5
Трансформаторы	Ток нагрузки I_n	$I_n/I_{n.дон}$	0,9	0,7
Электрические соединители	Ток I_k	$I_k/I_{k.дон}$	0,8	0,5

В основном они рассчитываются по допустимым значениям токов, напряжений или мощности. Одно из значений этих величин известно и его можно взять из справочных данных на заданный радиоэлемент, а второе значение рассчитывается исходя из расчета цепей принципиальной схемы.

После расчета коэффициентов нагрузок отдельных радиоэлементов по соответствующим графическим зависимостям (полиграммам) находят коэффициент $a_i (T, K_n)$ (рисунки 7.1–7.5).

Выбранный конструктором класс плотности рисунка должен быть проверен по норме допустимых рабочих напряжений для проводников, лежащих в одной плоскости, а также по плотности тока и по допустимым потерям на постоянном токе.

Предельная допустимая плотность тока в печатном проводнике, выполненном из меди, составляет 20 А/мм². Сначала находят (из схемы и разработанного рисунка печатной платы) наиболее нагруженные проводники, рассчитывая ток, проходящий через него, а затем находят плотность тока исходя из толщины и ширины проводника.

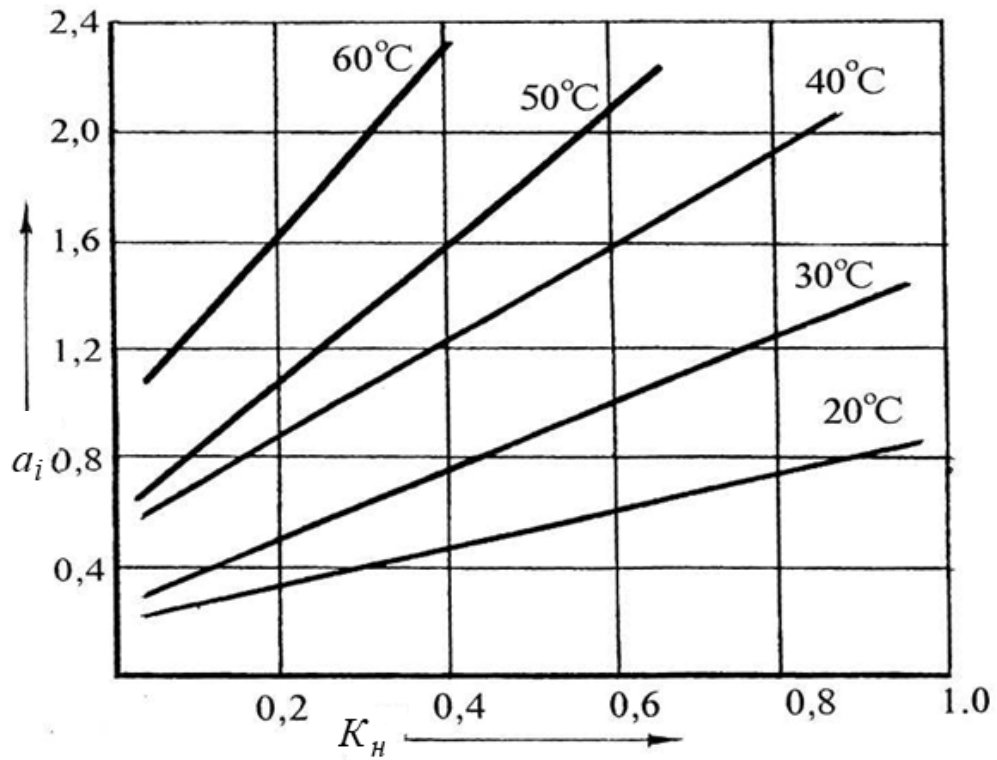


Рисунок 7.1 – Зависимость $a_i(T, K_n)$ для транзисторов

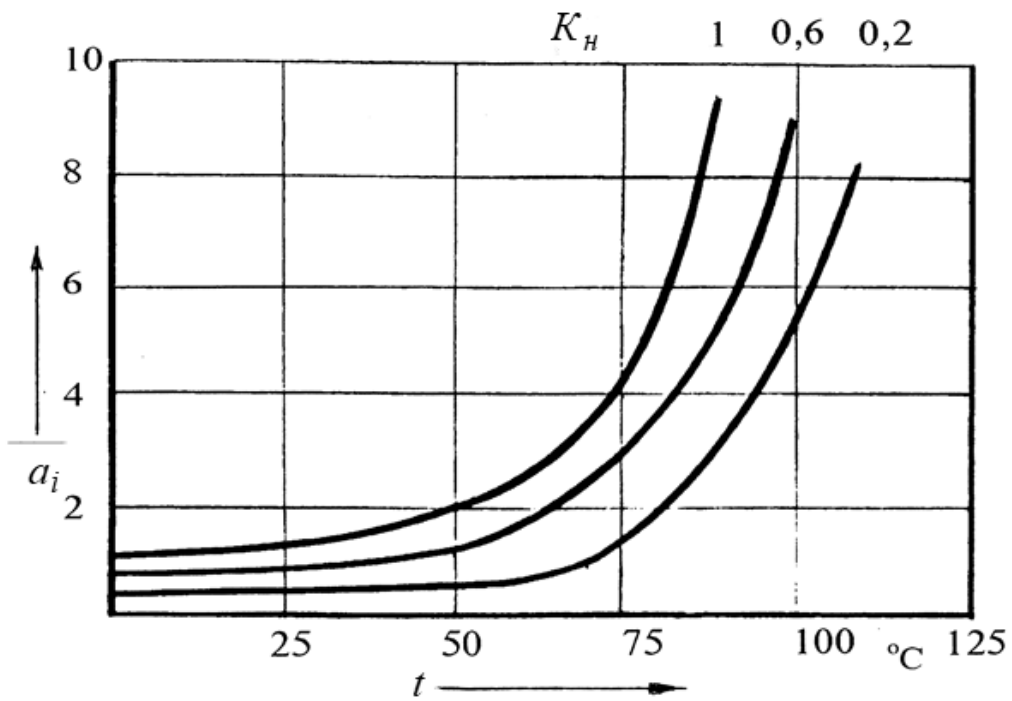


Рисунок 7.2 – Зависимость $a_i(T, K_n)$ для диодов

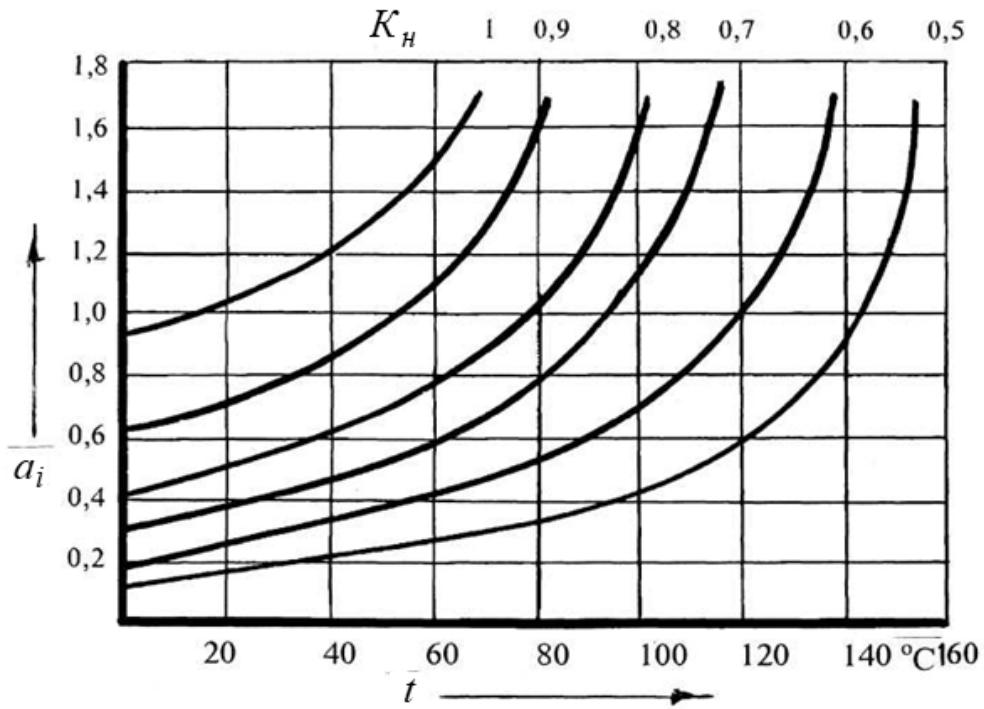


Рисунок 7.3 – Зависимость $a_i(T, K_H)$ для конденсаторов

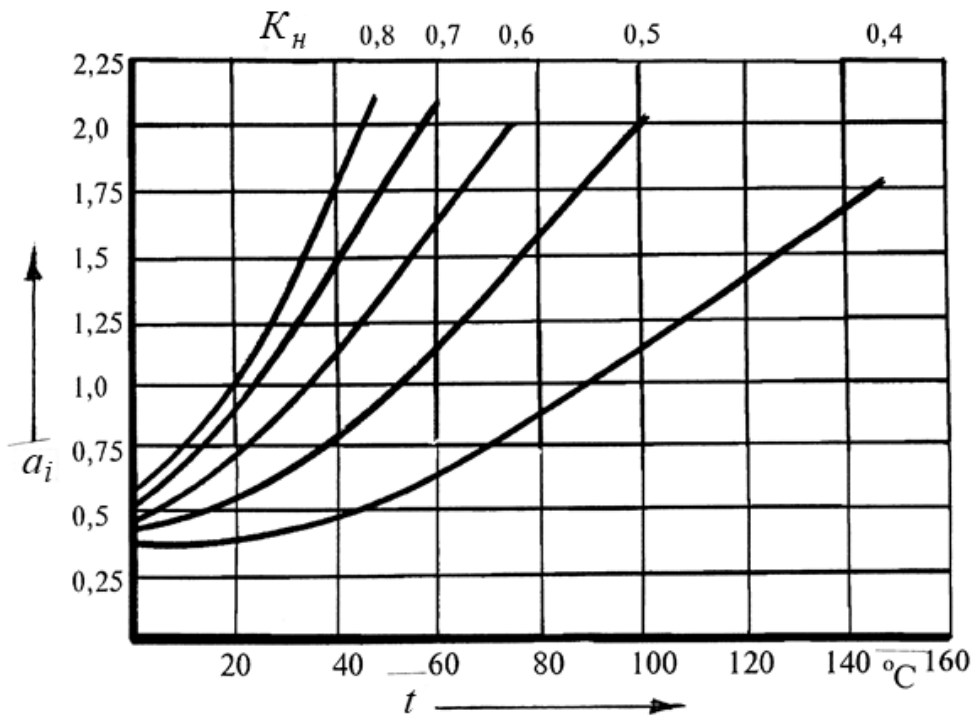


Рисунок 7.4 – Зависимость $a_i(T, K_H)$ для резисторов

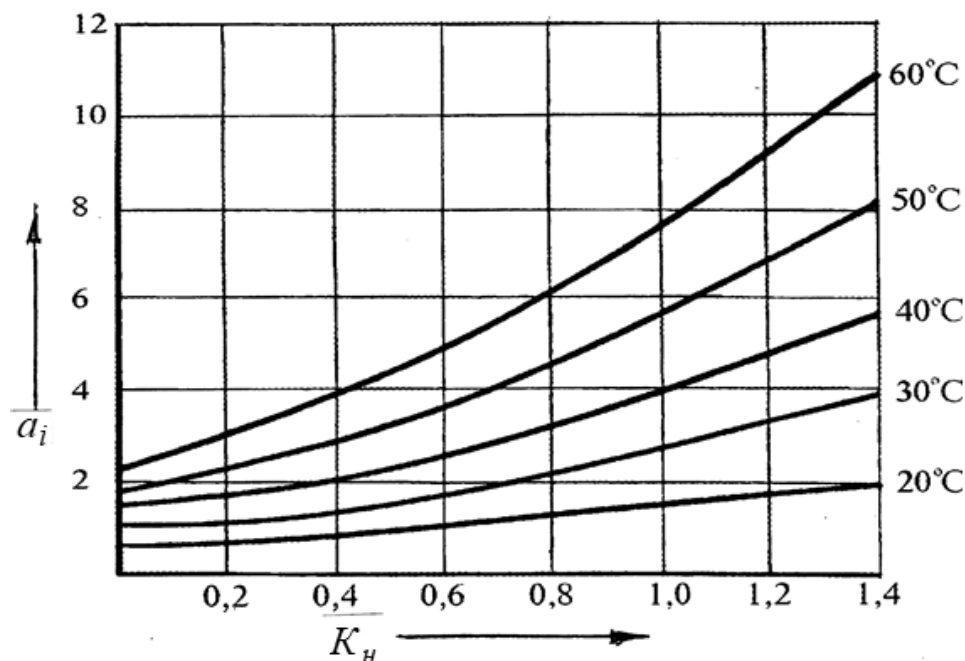


Рисунок 7.5 – Зависимость $a_i(T, K_H)$ для трансформаторов

В данных графиках температура поверхности радиоэлементов выбирается с учетом их нагруженности. Практически все цифровые микросхемы имеют температуру корпуса $35\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура корпуса аналоговых микросхем, конденсаторов, ненагруженных диодов, транзисторов, резисторов принимается равной температуре окружающей среды. Температура теплонагруженных элементов определяется по рабочим параметрам в конкретной схеме.

Интенсивности отказа рассчитываются для каждого радиоэлемента в отдельности, а затем суммируются.

Все данные по каждому радиоэлементу вносятся в сводную таблицу 7.6.

Таблица 7.6 – Интенсивность отказов элементов схемы

Наименование элемента	Номинальная интенсивность отказов $\lambda_{oi}, 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	Коэффициент нагрузки K_H	Температура поверхности элемента $T, ^{\circ}\text{C}$	Поправочный коэффициент $a_i(T, K_H)$	Интенсивность отказов с учетом внешних условий $\lambda_{oi}K_1K_2K_3K_4, 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$	Интенсивность отказов элемента $\lambda_i, 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$
C1	0,15	0,36	20	0,18	0,16	0,029
...
C5	0,15	0,36	20	0,18	0,16	0,029
R1	0,03	0,0001	20	0,35	0,032	0,0112

При выполнении данного практического занятия студентам необходимо рассчитать коэффициенты нагрузки радиоэлементов в соответствии с ранее выданной принципиальной схемой.

После расчета коэффициентов нагрузки рассчитать плотность тока в наиболее нагруженных проводниках, выбрать толщину и ширину печатных проводников.

В качестве закрепления материала необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Каким образом проводится расчет РЭА по внезапным отказам?
- 2 Что такое коэффициент нагрузки?
- 3 Что такое номинальная интенсивность отказов радиоэлементов?
- 4 Чем регламентируется вероятность безотказной работы печатного узла?
- 5 Как рассчитывается коэффициент нагрузки резисторов, конденсаторов?
- 6 Как рассчитывается коэффициент нагрузки диодов, транзисторов?
- 7 Как рассчитывается коэффициент нагрузки интегральных цифровых микросхем?
- 8 Какие поправочные коэффициенты вводятся при расчете надежности печатного узла?
- 9 Чему равна предельная допустимая плотность тока в печатном медном проводнике и как она рассчитывается?
- 10 Как рассчитать интенсивность отказа отдельного радиоэлемента?

8 Практическое занятие № 8. Расчет показателей надежности печатного узла медицинской техники

8.1 Метод максимума-минимума

При использовании донного метода допуски составляющих размеров назначаются так, чтобы допуск замыкающего размера при любой комбинации составляющих размеров был выдержан в любом случае. Обеспечиваемая при этом полная (абсолютная) взаимозаменяемость дает ряд значительных преимуществ. В частности, сборка при этом не требует дополнительных мероприятий, таких как выбор и подгонка деталей; требования к квалификации рабочей силы могут быть невысокие. Кроме того, относительно просто определяется длительность сборки, расширяются возможности разделения труда, облегчается взаимозаменяемость деталей, т. к. их доработка не требуется.

Поэтому всегда следует стремиться к полной взаимозаменяемости. Правда, она требует обеспечения экономичности в случае цепей с малым числом звеньев или больших допусков замыкающих звеньев в случае цепей с большим числом размеров, чтобы допуски составляющих размеров были реально реализуемыми. Решение исходного уравнения размерной цепи, общая форма которого имеет вид $M = f(M)$, при использовании метода максимума-минимума в соответствии с линейным законом увеличения допусков имеет вид

$$T_0 = \sum_{i=1}^m \left| \frac{df}{dM_i} \right| \cdot T_i. \quad (8.1)$$

В зависимости от того, линейны или нелинейны функциональные размерные цепи, расчет значений размеров и допусков должен производиться соответствующим методом.

8.2 Линейные размерные цепи

Для линейной размерной цепи исходное уравнение

$$M_0 = M_1 \pm M_2 \pm M_3 \pm \dots \pm M_i \pm \dots \pm M_m. \quad (8.2)$$

Вследствие независимости размеров цепи частные производные могут принимать значения только плюс один или минус один. Они называются показателями направления (вращения по знаку).

Таким образом, для допуска T замыкающего размера M цепи получаем простое выражение

$$T_0 = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_m = \sum_{i=1}^m T_i. \quad (8.3)$$

Отсюда может быть рассчитан допуск T любого составляющего размера цепи:

$$T_n = T_0 - \sum_{i=1}^{n-1} T_i - \sum_{i=n+1}^m T_i. \quad (8.4)$$

Допуск, рассчитанный для размера m , симметричен относительно координаты C :

$$M = C \pm T/2 = N + E_0 \pm T/2. \quad (8.5)$$

Значения номинального размера N и координаты середины поля допуска C искомого размера M могут быть рассчитаны по характеристикам размерной цепи. Предельное отклонение координаты середины допуска E_{co} замыкающего размера M_0

$$E_{co} = \sum_{i=1}^m k_i \cdot K_{ci}. \quad (8.6)$$

Аналогично соответствующее выражение для составляющего размера M_i

$$E_{cn} = \frac{1}{k \cdot E_{co}} - \sum_{i=1}^{n-1} k \cdot E_{ci} - \sum_{i=n+1}^m k_i \cdot E_{ci}. \quad (8.7)$$

Эти уравнения показывают, что при заданном допуске замыкающего размера допуски T всех составляющих размеров цепи должны назначаться такими, чтобы их сумма не превышала допуск T замыкающего размера.

Следовательно, чем больше размеров составляют цепь, тем меньшими должны быть допуски на них.

Пример – Пусть даны следующие уравнения: $R_5 = R_1 + R_2 - R_3 + R_4$;
 $R = 20 \pm 1$ Ом; $R = 45 + 0,5$ Ом; $R = 50 - 1,5$ Ом; $R = 15 \pm 0,3$ Ом.
 Данные для расчета вносим в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 – Подготовка данных для расчета

i	R , Ом	R , Ом	Δ , Ом	k	N , Ом
1	20 ± 1	20	0	+1	2
2	$45 + 0,5$	45	+0,5	+1	0,5
3	$50 - 1,5$	50	-1,5	-1	1,5
4	$15 \pm 0,3$	15	0	+1	0,6

Номинальное значение R_5

$$R_{4 \text{ ном}} = [(+1)(20) + (+1)(45) + (-1)(50) + (+1)(15)] = 30 \text{ Ом.}$$

Предельное отклонение δ_4 для R_5

$$\Delta_5 = (+1)(0) + (+1)(0,5) + (-1)(-1,5) + (+1)(0) = 2 \text{ Ом.}$$

Допуск на R_5 (как замыкающее звено)

$$T_{R5} = 2 + 0,5 + 1,5 + 0,6 = 4,6 \text{ Ом.}$$

Значение R_5

$$R_5 = R_{ном} + \delta \pm \frac{1}{2} T_{R5} = (30 + 2) \pm 2,6 = 32 \pm 2,6 \text{ Ом.}$$

При этом наибольшее значение $R_5 = 34,6$ Ом, наименьшее значение $R_5 = 29,4$ Ом.

8.3 Нелинейные размерные цепи

При составлении исходного уравнения и, следовательно, при расчете номинального размера и предельного отклонения координаты середины поля допуска, а также допуска замыкающего звена необходимо учитывать функциональную

взаимосвязь составляющих звеньев цепи. Предельные отклонения координаты середины поля допуска могут быть рассчитаны по уравнению (8.1) при условии, что они малы по сравнению с номинальными размерами.

Пример

1 Имеется следующая зависимость:

$$R_2 = \frac{U_1 + U_2}{I_1} + \frac{U_3}{I_3} + R_4.$$

$$U_1 = 3 \text{ В} \pm 1 \%; \quad U_2 = 9 \text{ В} \pm 2 \%; \quad U_3 = 0,64 \text{ В} \pm 5 \%;$$

$$I_1 = 0,085 \text{ А} \pm 10 \%; \quad I_3 = 0,012 \text{ А} \pm 10 \%; \quad R_4 = 750 \text{ Ом} \pm 10 \%.$$

2 Определим допуски величин в единицах измеряемой величины:

$$\Delta U_1 = \pm 0,03 \text{ В}; \quad \Delta U_2 = \pm 0,18 \text{ В}; \quad \Delta U_3 = \pm 0,032 \text{ В};$$

$$\Delta I_1 = \pm 0,0085 \text{ А}; \quad \Delta I_3 = \pm 0,0012 \text{ А}; \quad \Delta R_4 = \pm 7,5 \text{ Ом}.$$

3 Определим степень влияния ошибки каждого первичного параметра на ошибку информативного. Коэффициенты влияния определяются частными производными функциональной зависимости:

$$\frac{dR_2}{dU_1} = \frac{1}{I_1} = \frac{1}{8,5 \cdot 10^{-2}} = 11,76;$$

$$\frac{dR_2}{dI_1} = \frac{U_1 + U_2}{I_1^2} = -\frac{3 + 0,64}{(8,5 \cdot 10^{-2})^2} = -503,8;$$

$$\frac{R_2}{dU_2} \frac{dR_2}{dU_3} = \frac{1}{I_3} = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-2}} = 83,34;$$

$$\frac{dR_2}{dI_3} = -\frac{U_3}{I_3^2} = -\frac{0,64}{1,2 \cdot 10^{-2}} = 53,34;$$

$$\frac{dR_2}{dR_4} = 1.$$

4 Определим возможную максимальную ошибку выходного параметра.

При этом полагаем, что все первичные параметры одновременно могут иметь наихудшие сочетания.

$$\Delta R_2 = \sum_{i=1}^6 \frac{dR_2}{dX_i} \Delta X_i,$$

где $\frac{dR_2}{dX_i}$ – коэффициент влияния ошибки i -го параметра;

ΔX_i – ошибка i -го параметра.

$$R = 11,76 \cdot 0,03 + 11,76 \cdot 0,18 + (-503,8) \cdot 0,0085 + 83,34 \cdot 0,032 + \\ + (-53,34) \cdot 0,012 + 1 \cdot 75 = 75,2 \text{ Ом.}$$

Это максимальная ошибка выходного параметра.

5 Найдем номинальное значение R_2 :

$$R_2 = \frac{3+9}{0,085} + \frac{0,64}{0,012} + 750 = 944,05 \text{ Ом.}$$

6 Поскольку ошибки первичных параметров симметричны, то можно записать

$$R_{2\text{ном}} - \Delta R_2 < R_2 < R_{2\text{ном}} + \Delta R_2;$$

$$R_2 = (944,5 \pm 75,2) \text{ Ом.}$$

8.4 Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло)

Основная идея данного метода состоит в моделировании случайного процесса путем выбора по жребию отдельных ситуаций в системе. Для осуществления метода необходимо иметь аналитические зависимости выходных параметров от первичных типа $y = \varphi(x_i)$. Кроме этого, необходимо иметь совокупность случайных величин, распределенных по такому же закону, как и параметры x_i . Из данной совокупности случайных величин задают случайные значения первичным параметрам и подставляют их в уравнение $E = \varphi(X_i)$. Находят по одному значению Y_i . Затем выбирают другие случайные значения первичных параметров из той же совокупности случайных величин и опять находят выходные параметры Y_i .

Этот процесс повторяется многократно, в результате чего можно построить функцию распределения $f(Y)$.

Необходимый объем испытаний определяется заданной точностью и надежностью оценки.

В соответствии с ранее разработанным печатным узлом необходимо провести расчет показателей надежности по критериям внезапных отказов.

По заданной аналитической зависимости, используя метод максимума-минимума, необходимо провести расчет ошибки выходного параметра.

В качестве закрепления материала необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Что собой представляет линейная цепь?
- 2 В чем сущность метода максимума-минимума?
- 3 В каких случаях можно использовать метод максимума-минимума?

- 4 В чем сущность метода статистических испытаний?
 5 Что собой представляет линейная размерная цепь?
 6 Что собой представляет нелинейная размерная цепь?
 7 Какая взаимосвязь между длинной размерной цепи и допусками?

9 Практическое занятие № 9. Выбор критериев надежности изделия электронной техники. РД 50-707–91. Методические указания

9.1 Классификация изделий по последствиям отказов

9.1.1 Изделия (или их составные части) в зависимости от последствий отказа подразделяют на классы в соответствии с ГОСТ 207–90. Характеристика групп изделий по классам приведена в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Классификация изделий медицинской техники по последствиям отказа

Класс	Характеристика группы (подкласса) изделия	Вид изделия	Примечание
А	<p>А₁ – изделия, замещающие жизненные функции организма человека.</p> <p>А₂ – изделия по поддержанию жизненно важных функций организма в операционный и реанимационный периоды.</p> <p>А₃ – изделия, используемые при сложных операциях, диагностических исследованиях или лечебных воздействиях, не допускающих многократного применения</p>	<p>Стимуляторы, клапаны, сосуды внутренних органов, имплантаты.</p> <p>Аппараты искусственного кровообращения и дыхания.</p> <p>Радиоизотопные, радиологические и лазерные приборы.</p> <p>Приборы для наблюдения за жизненно важными функциями тяжелобольного</p>	Потребность использования изделий класса А, как правило, планируется
Б	<p>Изделия, применяемые в условиях «скорой помощи».</p> <p>Изделия, предназначенные для работы в операционных отделениях для тяжелобольных и в реанимационных отделениях</p>	<p>Аппараты для стимуляции сердечной и дыхательной деятельности.</p> <p>Системы, следящие за больными (мониторы), наркозно-дыхательная аппаратура</p>	Изделия класса Б должны быть готовы к использованию в любой момент, т. е. должны находиться в работоспособном состоянии в режиме ожидания

Окончание таблицы 9.1

Класс	Характеристика группы (подкласса) изделия	Вид изделия	Примечание
В	Изделия, входящие в систему комплексного диагностического обследования	Диагностическая аппаратура: кардиографы, приборы для обследования нервной системы, дыхания, ультразвуковая диагностическая аппаратура, эндоскопическая, приборы для лабораторного анализа; аппараты физиотерапевтические; коагуляторы; столы операционные; рентгенодиагностические; радиодиагностическая	Функциональная задача изделий класса В ограничивается циклом использования, а состоит в обеспечении обслуживания наибольшего числа пациентов при снижении общих затрат на единицу выполненной работы
Г	Г ₁ – оборудование, применяемое в отделениях больниц и поликлиник. Г ₂ – средства механизации труда вспомогательного персонала. Г ₃ – инструменты активные. Г ₄ – изделия пассивные. Г ₅ – изделия вспомогательные	Функциональные кровати, перевязочные столы, стерилизационное и дезинфекционное оборудование. Каталки, подъемники. Общехирургические шприцы одноразового применения. Для проведения лечебно-диагностических манипуляций, одноразовые изделия службы крови. Специальные медицинские изделия (материалы, приспособления и др.)	

9.1.2 Указание класса изделия является обязательным для включения в нормативно-техническую документацию (НТД) на это изделие.

9.1.3 Классификация изделий в медико-технических требованиях (техническом задании) (МТТ (ТЗ)) должна осуществляться по наиболее опасным последствиям отказов, независимо от других видов отказов, если иные требования не оговорены заказчиком.

9.1.4. Отнесение изделий к тому или иному классу может быть скорректировано по согласованию с заказчиком с учетом классификации изделий или их составных частей по отказоопасности.

9.2 Требования надежности

9.2.1 Общие требования.

9.2.1.1 Требования к надежности изделий должны быть установлены в стандартах вида общих технических условий (технических требований), МТТ (ТЗ)

и технических условий на изделия конкретного типа в форме нормируемых показателей надежности.

Требования к надежности, включаемые в НТД, приведены:

– в разделе «Технические требования» должны быть указаны: класс изделия по последствиям отказов, номенклатура и нормы показателей надежности, критерии отказа или предельного состояния;

– в разделе «Правила приемки» должны быть указаны: этап, на котором осуществляют контроль показателей надежности, периодичность контроля этих показателей, исходные данные для планирования испытаний и параметры плана испытаний;

– в разделе «Методы испытаний» должны быть указаны: условия и режим испытаний; периодичность и порядок контроля параметров, характеризующих состояние изделия исходя из критериев отказа или предельного состояния; содержание испытательного цикла и методы имитации реальных условий использования изделия (при необходимости); средства и оборудование для проведения испытаний или общие технические требования к ним; правила оценки результатов испытаний;

– в разделах «Правила приемки» и «Методы испытаний» стандартов и технических условий на конкретные типы изделия допускается приводить ссылки на нормативно-технические документы, однозначно определяющие план и метод испытаний.

9.2.1.2 При нормировании показателей надежности в НТД одновременно с нормами указывают критерии отказа и (или) предельного состояния, применительно к которым задают требования к надежности в соответствии с РД 50-699–90.

9.2.1.3 Для комплексов, комплектов и отдельных изделий наряду с показателями надежности объекта в целом или вместо них допускается нормировать показатели надежности составных частей, имеющих самостоятельное функциональное назначение и конструктивное исполнение.

9.2.1.4 Показатели надежности готовых (покупных) изделий, включенных в состав комплексов, комплектов или наборов, определяют по НТД на эти изделия.

9.2.1.5 Показатели надежности многоканальных или многофункциональных изделий допускается нормировать отдельно для каждого конструктивно независимого канала и самостоятельной функции. При наличии взаимосвязи некоторых или всех каналов или функций следует нормировать также общие показатели надежности изделия в целом.

9.2.2 *Номенклатура показателей надежности.*

9.2.2.1 Показатели безотказности. Показателями безотказности являются: вероятность безотказной работы $P(t)$; средняя наработка на отказ T_o (для восстанавливаемых изделий); средняя наработка до отказа T_{cp} (для невосстанавливаемых изделий).

9.2.2.2 Показатели долговечности. Показателями долговечности являются: средний срок службы до списания или до ремонта $T_{сл}$; средний ресурс до списания или до ремонта T_p ; назначенный срок службы $T_{сл.н}$; назначенный ресурс $T_{р.н}$.

Назначенный срок службы или назначенный ресурс устанавливают для изделий, у которых достижение предельного состояния может сопровождаться

особо тяжелыми последствиями, а также при отсутствии надежных средств и методов контроля технического состояния изделий.

9.2.2.3 Показатель ремонтпригодности. Показателем ремонтпригодности является среднее время восстановления $T_в$.

9.2.2.4 Показатели сохраняемости. Показателями сохраняемости являются: средний срок сохраняемости T_c ; гамма-процентный срок сохраняемости $T_{c,\gamma}$ %.

9.2.2.5 Общее количество нормируемых показателей надежности должно быть минимальным, но при этом должно характеризовать все этапы эксплуатации изделия.

9.3 Правила контроля

9.3.1 Контроль надежности заключается в проверке соответствия изделий нормируемым показателям надежности в МТТ (ТЗ), стандартах и технических условиях на изделия конкретного типа расчетно-экспериментальными и экспериментальными методами в соответствии с ГОСТ 27.410–87.

9.3.2 Контроль надежности осуществляют в процессе самостоятельных испытаний или в составе других видов испытаний.

9.3.2.1 Контроль безотказности на стадии опытных образцов проводят на этапе приемочных (технических и медицинских) испытаний экспериментальными методами. В экономически обоснованных случаях по согласованию с заказчиком допускается контролировать показатели безотказности расчетными или расчетно-экспериментальными методами. При планировании испытаний на безотказность опытных образцов и образцов установочной серии в качестве приемочного уровня (P_α , T_α) принимают уровень, заданный в МТТ (ТЗ).

9.3.2.2 Контроль безотказности на стадии постановки на производство проводят на этапе квалификационных испытаний первой промышленной партии (установочной серии) экспериментальными методами.

9.3.2.3 Контроль безотказности на стадии серийного производства проводят на этапе периодических и типовых испытаний экспериментальными методами, испытаниями в эксплуатации (подконтрольная эксплуатация) или путем сбора и обработки информации, полученной в процессе эксплуатации, в соответствии с НТД, утвержденной в установленном порядке.

9.3.2.4 Планирование испытаний изделий серийного производства проводят при условии, что заданный в технических условиях уровень показателя R принимается за браковочный R_β .

9.3.3 Периодичность контроля показателей безотказности изделий серийного производства устанавливается в стандартах и технических условиях на изделие конкретного типа и должна быть не реже одного раза в три года.

9.3.4 Контроль показателей долговечности и сохраняемости, если эти показатели являются определяющими, проводят не позднее этапа изготовления опытных образцов. Периодичность контроля показателей долговечности и сохраняемости изделий данного вида на этапе серийного производства устанавливается в стандартах и технических условиях на изделие конкретного типа и должна быть не реже одного раза в три года.

9.3.5 Контроль показателей долговечности и сохраняемости, не являющихся определяющими, проводится на образцах серийного производства не позднее

первого года выпуска. Повторный контроль этих показателей проводят при изменении конструкции, материалов, комплектующих в случаях, когда эти изменения влияют на надежность изделия.

9.3.6 Контроль показателей ремонтпригодности, нормируемых в МТТ (ТЗ), проводят на этапе изготовления опытных образцов.

9.3.7 В процессе серийного производства в зависимости от результатов предыдущих испытаний изделий на надежность, анализа данных эксплуатации (рекламаций, отзывов потребителей, ремонтных организаций) по согласованию с заказчиком (потребителем) допускается корректировать методы контроля нормируемых показателей.

9.4 Методы контроля показателей надежности

9.4.1 Общие требования. Контроль показателей надежности проводят методами и по планам, установленным ГОСТ 27.410–87.

9.4.2 Испытания на надежность включают: испытания на безотказность, испытания на долговечность, испытания на сохраняемость и испытания на ремонтпригодность.

9.4.3 Допускается для контроля показателей надежности применение методов ускоренных испытаний.

9.4.4 Испытания на надежность медицинских инструментов и других изделий крупносерийного и массового производства, имеющих ряд типоразмеров, допускается по согласованию с заказчиком проводить на базовых образцах (моделях) изделий.

9.4.5 Испытания на надежность проводят в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации изделий.

9.4.6 Во время испытаний на безотказность должно быть обеспечено функционирование и техническое обслуживание изделий в соответствии с эксплуатационной документацией.

9.4.7 Испытания на безотказность изделий проводят в соответствии с требованиями пп. 9.3.2.2–9.3.25, 9.3.3.

9.4.8 Для сложных и дорогостоящих изделий, выпускаемых малыми партиями, допускается контролировать безотказность методом подконтрольной эксплуатации по согласованию с заказчиком.

9.4.9 Если постановка на испытания требуемого количества образцов невозможна по техническим или экономическим причинам, то допускается в обоснованных случаях по согласованию с заказчиком контролировать показатели безотказности по результатам объединенной информации, получаемой при испытаниях, с данными эксплуатации в соответствии с ГОСТ 27.410–87.

9.4.10 Испытания на долговечность.

9.4.11 Испытания на долговечность проводят методом подконтрольной эксплуатации или путем сбора и обработки статистической информации в соответствии с РД 50-204–87.

9.4.12 Испытаниям на долговечность подвергают изделия в целом и (или) его составные части. При необходимости проводятся испытания на долговеч-

ность наиболее ответственных, максимально нагруженных и наиболее подверженных износу составных частей изделия.

9.4.13 Испытания на сохраняемость.

9.4.14 Испытания на сохраняемость проводят путем закладки выборки изделий на опытное хранение в условиях, предусмотренных стандартами или техническими условиями на конкретные изделия.

9.4.15 Контроль параметров – критериев отказа и предельного состояния изделий должен проводиться по окончании испытаний на сохраняемость, а также в процессе плановых технических обслуживаний, если они предусмотрены эксплуатационной документацией.

9.4.16 Контроль показателей сохраняемости допускается осуществлять методами ускоренных испытаний.

9.5 Заданная наработка

Величина наработки или периода использования изделий по назначению, за которые или относительно которых устанавливаются нормы показателей надежности изделий, определяется в зависимости от медицинских либо технико-экономических (эксплуатационных) критериев.

Для изделий классов А и Б показатели надежности нормируют, как правило, по медицинским критериям. При невозможности нормирования показателей надежности классов А и Б по медицинским критериям их наработку следует устанавливать по эксплуатационным критериям.

Медицинским критерием является законченный медицинский функциональный цикл (МФЦ), который определяется как наработка, в течение которой осуществляются законченные по результатам хирургические, терапевтические воздействия, диагностика или медицинская помощь одному или группе пациентов.

Основным показателем безотказности за наработку МФЦ является вероятность безотказной работы. Например, $P(t) = 0,99$ за среднее время операции на сердце $t = 4$ ч. В дополнение или взамен допускается использование показателей средней наработки на отказ для восстанавливаемых и средней наработки до отказа для невосстанавливаемых изделий.

Для отказов и изделий классов В и Г нормирование показателей надежности проводится по эксплуатационным критериям.

К эксплуатационным критериям относятся: наработка за период между плановыми техническими обслуживаниями (ПТО); межповерочный интервал (МПИ) для средств измерения медицинского назначения (СИМН); наработка за гарантийный срок эксплуатации; наработка за период между средними и капитальными ремонтами и срок службы.

Основными показателями безотказности за наработку, определяемую эксплуатационными критериями, являются:

- средняя наработка на отказ – для восстанавливаемых изделий;
- средняя наработка до отказа – для невосстанавливаемых изделий.

В дополнение или взамен допускается использовать показатель вероятности безотказной работы (в первую очередь для изделий, характеризующихся износом и старением составных частей).

Наработку, для которой нормируют вероятность безотказной работы, следует устанавливать с учетом назначения, сложности изделия, режима и условий его использования, данных системы технического обслуживания и ремонта и принимать:

а) для невосстанавливаемых изделий и изделий однократного применения – за период назначенного срока службы или ресурса;

б) для восстанавливаемых изделий, содержащих контрольные тест-программы, устройства технической диагностики, встроенные системы контроля основных параметров – не менее наработки

$$t = k T_u,$$

где T_u – наработка за один законченный МФЦ;

k – количество МФЦ за некоторое сменное суточное время либо период между ПТО, МПИ для СИМН; $k = 1, 2, 3, \dots$;

в) для восстанавливаемых изделий, не содержащих контрольных тест-программ, устройств технической диагностики, встроенных систем контроля основных параметров, – не менее наработки за период между ПТО, МПИ для СИМН или гарантийного срока эксплуатации.

Наработка на отказ или средняя наработка до отказа изделий классов В и Г должна быть:

– для изделий, подлежащих техническому обслуживанию, – не менее удвоенной наработки за период, определяемый эксплуатационными критериями, – при экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы изделия;

– не менее наработки за период, определяемый эксплуатационными критериями, – при нормальном законе распределения времени безотказной работы изделия.

9.6 Критерии отказов и (или) критерии предельных состояний

Критерии отказов и (или) предельных состояний должны назначаться в соответствии с требованиями РД 50-699–90 и указываться в технических условиях и стандартах.

Критерии записываются в виде:

– качественных признаков – прекращения (полного или частичного) выполнения объектом заданных функций; потери работоспособности блока; невозможности или технико-экономической нецелесообразности восстановления аппарата средним ремонтом; невыработки электрокардиостимулятором назначенного ресурса;

– количественных признаков либо ссылок на пункты ТУ и стандартов, в которых указаны: снижения выходной мощности аппарата более чем на 10 % от номинального значения; несоответствия прибора требованиям определенных

пунктов ТУ; несоответствия аппарата требованиям электробезопасности по классу ГОСТ 12.2.025–76; снижения пропускной способности комплекса более чем на 25 %;

– совокупности признаков – нарушения функции перфузии аппарата и невозможность ее в процессе с вероятностью $P_e(t) = 0,99$ за время восстановления $t_e = 1$ мин; невозможность прибора по постепенным отказам класса Б с вероятностью $P_e(t) = 0,9$ за время $t_e = 40$ мин или истощение деталей в ЗИП, необходимых для проведения этого восстановления; невозможность работоспособности наркозно-дыхательного аппарата после назначенного срока хранения с вероятностью $P_e(t) = 0,8$ за время $t = 1,5$ ч проведением перечня регламентных работ; расконсервирования, промывки контактов, замены резиновых деталей, контроля и регулировки параметров.

Если в ТУ и стандартах указаны производственные допуски на выходные параметры и не приведены коэффициенты запаса или методики расчета их допустимых значений в условиях эксплуатации, критерии отказа должны устанавливаться по согласованию с заказчиком (потребителем) в виде предельно допустимых значений параметров.

По согласованию с заказчиком (потребителем) критерий отказа функции может включать комплекс всех технических средств и утвержденных методик ее функции поддержания. Например, в аппарате искусственного кровообращения функция кардиоплегии не будет реализована при отказе основного и резервных насосов, отказе их ручного привода, неисправности дополнительных инструментов и (или) нарушении методик ввода кардиоплегического раствора в сердечную мышцу.

В тех случаях, когда одни и те же отказы могут иметь различные последствия в зависимости от области применения изделий, например, операции на различных органах, систему критериев отказа следует устанавливать или уточнять с учетом результатов клинических испытаний и подконтрольной эксплуатации.

Если по результатам лабораторных и (или) клинических испытаний не подтверждена отказоопасность изделий по классам А и Б, указанная в ТЗ (МТТ), то по согласованию с заказчиком допускается уточнение их классификации в ТУ (например, следует относить изделия, соответственно, к классам Б и В) в следующих случаях:

- резервирования или дублирования составных частей и функций;
- использования дополнительных средств и методик, обеспечивающих выполнение медицинских функций;
- применения встроенных систем контроля параметров и средств технической диагностики.

9.7 Испытания на безотказность

Для изделий классов А и Б отказ в процессе испытаний следует контролировать по предшествующим его возникновению прогнозирующим параметрам, которые в любой момент характеризуют изменения физико-химической или конструктивной структуры изделия (составных частей), либо функциональных

свойств в процессе эксплуатации или хранения и определяют запас надежности изделия до опасного для пациента его отказа.

Допустимое число отказов планируют по согласованию с заказчиком по отклонению от значений прогнозирующих параметров, предупреждающих полный отказ.

Например, если опасно постепенное отклонение параметра прибора на 10 %, следует установить в качестве прогнозирующего параметра значение 8 %.

В случае внезапного отказа функции аппарата с допустимым временем восстановления $t_6 = 1$ мин в качестве прогнозирующего параметра следует принимать только внезапный отказ.

Контроль по прогнозирующим параметрам должен обеспечиваться возможностью визуальной его регистрации или применением средств технической диагностики и встроенного контроля параметров.

Проверку изделий с самоустраняющимися отказами (сбоями) классов А и Б следует осуществлять методами непрерывного контроля.

Оценку или определение показателей надежности изделий класса Г в обоснованных случаях допускается проводить расчетно-экспериментальными методами либо по результатам подконтрольной эксплуатации с возможностью зачета данных расчета или эксплуатации аналогов. Характеристики и этап контроля этих изделий (стадия разработки, производства, эксплуатации) устанавливаются по согласованию с заказчиком.

В качестве задания студентам выдаются технические условия на конкретное изделие медицинской техники, в соответствии с которым им необходимо определить группу изделия по последствиям от отказа, проанализировать те разделы технических условий, в которых оговорены требования к надежности, и проанализировать критерии надежности.

Для закрепления материала необходимо ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Какие медицинские изделия относятся к группе А последствиям отказа?
- 2 Какие медицинские изделия относятся к группе Б последствиям отказа?
- 3 Какие медицинские изделия относятся к группе В последствиям отказа?
- 4 Какие медицинские изделия относятся к группе Г последствиям отказа?
- 5 В каких разделах технических условий должны быть указаны требования надежности?
- 6 Каковы основные показатели надежности?
- 7 Что такое отказ?
- 8 Что такое наработка на отказ?
- 9 Каким образом проводят испытания на долговечность?
- 10 Каким образом проводят испытания на сохраняемость?

Список литературы

- 1 Конструирование блоков радиоэлектронных средств: учебное пособие / Д. Ю. Муромцев [и др.]. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 228 с.
- 2 Надежность радиоэлектронных средств: учебное пособие / Д. Ю. Муромцев [и др.]. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 88 с.
- 3 Проектирование функциональных узлов и модулей радиоэлектронных средств: учебное пособие / Д. Ю. Муромцев [и др.]. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 252 с.