

Министерство высшего и среднего специального
образования Р С Ф С Р

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. С.П.Королева

В.В.А н д р е е в а, Г.Ф.К р а с н о щ е к о в а

К О Н С Т Р У И Р О В А Н И Е
И М И К Р О М И Н И А Т Ю Р И З А Ц И Я Р Э А

Учебное пособие

Пособие предназначено для студентов радиотехнического факультета.

В пособии содержится материал по обоснованию и выбору принципов конструирования, излагается методика теплового расчета и расчета надежности, дан справочный материал, необходимый для расчета.

Методические указания к курсовому проектированию по курсу "Конструирование радиоаппаратуры" подробно изложены в работе М.С.Пурсукова "Конструирование радиоаппаратуры", "Технология радиоаппаратостроения".

Темплан 1979 г. Поз.358.

Рецензенты: И.В.Барановский,
И.С.Волков

Утверждено на редакционно-издательском совете института 16.12.77

В В Е Д Е Н И Е

Настоящее учебное пособие не исключает самостоятельного выбора студентом путей решения задач, поставленных в проекте.

Работу над курсовым проектом рекомендуется проводить в следующей последовательности:

1. Тщательное изучение задания на курсовое проектирование и исходных данных. В результате студент должен иметь ясное представление о назначении прибора, изучить технические требования, условия работы и производства данного узла или блока.

2. В результате электрического расчета должны быть получены все необходимые электрические характеристики проектируемого блока (узла):

- электрические нагрузки на радиоэлементы;
- мощности, выделяемые элементами схемы;
- токи и напряжения в различных точках схемы.

3. Определение мощности, выделяемой блоком или узлом.

В ряде конкретных случаев проектирования, электрические расчеты могут перемежаться с конструктивными расчетами. В таких случаях их искусственно разграничивать нецелесообразно и следует эти расчеты выполнять совместно, в логической последовательности.

1. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНОЙ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА

Основная задача при компоновке РЭА — это выбор форм, основных геометрических размеров, ориентировочное определение массы и расположение в пространстве (любых) элементов РЭА. Методы компоновки разбиваются на 2 группы: аналитические и модельные. Основой первого метода является представление геометрических параметров или их обобщение и операции с ними в виде чисел. Основой второго метода является та или иная физическая модель элемента, например, в виде геометрически подобного тела. Из-за большого числа разнотипных элементов, входящих в РЭА, аналитическая компоновка не получила широкого применения и чаще заменяется номографической компоновкой. Подробные сведения о каждом виде компоновки изложены в работе [1].

2. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА И ПРИНЦИПА КОНСТРУИРОВАНИЯ

В блоках радиоэлектронной аппаратуры между узлами существуют электрические, механические и другие связи. Зависимость этих связей требует различные методы конструирования (машиностроительный, геометрический).

Машиностроительный метод применяется для конструирования механизмов с большими механическими нагрузками.

Наличие в конструкции больших механических нагрузок или больших мощностей может вызвать высокие скорости перемещения отдельных частей механизмов. Для ограничения этих скоростей, уменьшения

потерь энергии и устранения быстрого износа опор машиностроительный метод предлагает замыкание форм поверхностей. В подвижных соединениях это вызывает появление зазора, а в неподвижных – большие напряжения. Кроме того, в данном методе точность движения и взаимное расположение деталей обеспечивается высокой степенью точности их изготовления.

Геометрический метод применим для жестких конструкций, в которых деформация при воздействии дестабилизирующих факторов намного меньше погрешности изготовления деталей. Этот метод с успехом может быть применен для конструирования РЭА, где требуется обеспечение точного взаимного положения деталей или перемещений.

При геометрическом методе элементы конструкции с механическими связями соединяются между собой при помощи механических контактов, которые являются точками опоры. Точки опоры должны располагаться так, чтобы каждая ограничивала перемещение элемента конструкции в одном направлении (поэтому на одной прямой не нужно применять более двух точек опоры, так как большее число точек не изменит положения тела). Основой геометрического метода является структура механических связей между элементами конструкции, представляющая систему точек, число и размещение которых зависит от степеней свободы и геометрических законов твердого тела.

Конструкции, созданные геометрическим методом, мало пригодны для работы при больших механических нагрузках, так как число точек опоры не зависит от числа и величины действующих сил в конструкциях, а выбираются в соответствии с требуемым положением тела.

Студент, прежде чем выбрать какой-либо метод конструирования, должен тщательно изучить достоинства и недостатки всех имеющихся методов конструирования, чтобы правильно отобразить структуру механических связей между элементами.

Более подробно с методами конструирования можно ознакомиться в работе [2].

Немаловажную роль при конструировании играет изучение структуры электрических связей изделия.

Наиболее перспективными в этом плане методами являются методы "печатных плат". Эти методы различают по способу получения токопроводящего покрытия и по способу нанесения печатных проводников. Для получения токопроводящих покрытий существуют следующие способы.

Электрохимический: токопроводящее покрытие получают методом химического осаждения на изоляционном основании тонкого слоя (1 - 2 мк) металла, далее этот слой наращивают до требуемой толщины.

Электролитический: создание токопроводящего покрытия происходит в такой последовательности: проводники предварительно осаждаются электролитическим методом на специальную металлическую ванну, а затем их переносят на изоляционное основание.

Фольгирование: лист медной электролитической фольги приклеивается к изоляционному основанию листа с одной или с двух сторон.

Жигание токопроводящих красок: на поверхность изоляционного основания наносится паста, в состав которой входят соединения серебра. При обжиге эти соединения восстанавливаются и соединяются с основанием.

Шоопирование - это разбрызгивание с помощью воздушного пистолета расплавленного металла на изоляционное основание.

Вакуумное распыление: металлическая пленка наносится на основание путем распыления металла в вакууме.

Запрессовка металлических порошков: осуществляется вдавливанием порошков металла в изоляционное основание с помощью предварительно нагретого штампа.

Способы нанесения изображения печатных проводников следующие.

Фотографический способ - это копирование контактным способом изображения проводников с фотодиaposитива или негатива на основание. Основание должно быть покрыто светочувствительной эмульсией.

Офсетный способ - нанесение защитной краски на основание позитивного или негативного изображения с помощью печатной формы.

Сеточнографический способ - краска наносится на основание через сетчатый трафарет.

Прессование: с помощью пресс-формы на плате создается позитивное рельефное изображение проводников в виде канавок.

Штамповка - это вырубка с помощью штампов проводников из листа фольги, наложенного на изоляционное основание.

Наряду с перечисленными существуют и другие способы нанесения изображения печатных проводников: это тиснение, ксерографический способ, гравировка, рисование, нанесение защитной краски через шаблон.

Сочетание способа получения токопроводящих покрытий и способа нанесения печатных проводников определяет метод изготовления печатных плат. Наиболее известные методы изготовления печатных плат: фотохимический, офсетохимический, сеточнохимический, метод вжигания, метод распыления по шаблону, комбинированный, метод переноса.

При мелкосерийном производстве большее применение нашли фотохимический, офсетохимический, комбинированный методы изготовления расчетных плат.

Фотохимическим способом можно получить наибольшую плотность проводников.

Комбинированный способ основан на использовании двух методов: печатные проводники получают фотохимическим методом, а для металлизации отверстий применяется метод химического осаждения металлов.

Разрешающая способность указанных методов изготовления печатных плат дана в табл. I

Т а б л и ц а I

Метод изготовления	Рекомендуемые размеры в свободных местах, мм		Допустимые размеры в узких местах, мм	
	ширина проводника	расстояние между проводниками (не менее)	ширина проводника (не менее)	расстояние между проводниками
Фотохимический	1,5	0,8	0,3	0,3
Комбинированный	1,5	0,8	0,4	0,3

Из многочисленных типов электроизоляционных материалов в производстве печатных плат в настоящее время применяются следующие:

I. Гетинакс марок ГФ-III, ГФ-2П; стеклотекстолит СФ-1, СТФФ-2; низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД-180-1. Эти материалы чаще применяются при фотохимическом методе изготовления печатных плат.

При комбинированном методе изготовления печатных плат применяют низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД-180-2, стеклотекстолит СФ-2 и материалы, используемые при фотохимическом методе.

Значения сопротивлений изоляции печатных плат с влагозащитным покрытием в различных климатических условиях для различных материалов при некоторых методах изготовления даны в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

М а р к а	Метод изготовления печатных плат	Расстояние между проводниками (не менее), мм	Сопротивление изоляции, МОм						
			Нормальные условия	После выдержки в камере влаги при относительной влажности 95-98% и температуре $40 \pm 2^\circ\text{C}$	После воздействия повышенной температуры в течение 2 часов			После воздействия пониженной температуры в течение 2 часов	
					2 суток	30 суток	$85 \pm 2^\circ\text{C}$		$100 \pm 2^\circ\text{C}$
Фольгированный гетинакс ГФ-III, ГФ-2П	Химический, комбинированный	0,2 0,3	5000	15	-	20	-	-	1000
Фольгированный диэлектрик на основе стеклоткани СФ-I, СФ-2.	Химический, комбинированный	0,2 0,3	10000	50	5	500	300	-	5000
НФД-I80-I НФД-I80-2	Химический, комбинированный	0,2 0,3	10000	50	5	500	300	100	5000

Существует несколько принципов конструирования радиоаппаратуры с применением печатного монтажа. Основные из них:

1. Моносхемный принцип (блочный): вся принципиальная схема изделия располагается на одной печатной плате. При этом методе сборки, регулировка и разборка отдельных блоков могут выполняться независимо друг от друга. Время на изготовление блоков при этом принципе затрачивается минимальное, и легко осуществляется взаимозаменяемость конструкции.

К недостаткам следует отнести усложнение соединений между блоками, а отсюда наличие дополнительных соединительных элементов и уменьшение надежности РЭА.

2. Схемно-узловой (функционально-узловой) принцип: на одной печатной плате располагается часть полной принципиальной схемы, имеющей четко выраженные входные и выходные характеристики. Этот метод тоже допускает параллельную сборку и разборку узлов. Основное преимущество его — возможность быстрой смены вышедших из строя элементов. Но для этого должны быть применены в конструкции разъемные соединения, что также снижает надежность РЭА. *

Вопросы автоматизации производства решаются с применением модульно-компонентного принципа конструирования.

В основу конструкции узлов по данному принципу положено единство размеров компонентов схем.

Модульно-компонентный и модульно-узловой принципы конструирования являются разновидностями функционально-узлового принципа конструирования РЭА, при котором полная принципиальная схема делится на отдельные участки, каждый из которых располагается на отдельной плате, выполняет минимальное число функций и не имеет самостоятельного назначения.

3. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ

Выбор метода конструирования определяется многими факторами: технологичностью конструкции; требованием надежности; количеством нормализованных, стандартизованных и унифицированных деталей и узлов; выбором метода монтажа.

Особенно обдуманно нужно подходить к выбору материалов при создании конструкций. Материалы, используемые в элементах РЭА,

можно разделить на изоляционные, проводниковые, контактные и конструкционные. С учетом влажности все материалы изменяют и механические, и электрические свойства.

Для изоляционных материалов характерно, что при длительном пребывании в условиях повышенной влажности они ухудшают свои электрические характеристики.

Для проводниковых материалов характерным является то, что в условиях повышенной влажности происходит окисление и коррозия проводника, в результате чего изменяется его сечение. У контактных конструкционных материалов под действием влаги наблюдается коррозия и окисление.

Водопроницаемость различных материалов дана в табл. 3

Т а б л и ц а 3

Материалы	Водопроницаемость при 20°C, см ³ /с см-атм
Металлы	10 ⁻¹⁷ - 10 ⁻¹⁴
Соли, стекла	10 ⁻¹⁴ - 10 ⁻¹⁰
Полимеры	10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻⁷
Жидкости	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶
Бумага, кожа	10 ⁻⁵ - 10 ¹
Ткани	10 ¹ - 10 ³

Проблема надежной влагозащиты требует для своего разрешения поисковых работ, особенно в области создания новых материалов, так как нестабильность параметров элементов, вызванная воздействием температуры, составляет 60-70%, а нестабильность, вызванная совместными действиями температуры и влаги, - 95 - 98% от общей нестабильности.

В нашей практике производства радиоаппаратуры применяется несколько способов влагозащиты полимерными материалами, а именно: пропитка, заливка, обволакивание, опрессовка и консервация. Влажностные характеристики лаков, компаундов, пластмасс даны в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Лаки	D / коэффициент диффузии, см ² /г	P - коэффициент влагонепроницаемости, г/см торр.г	h - коэффициент растворимости, г/см ³ торр.
СБ-1-С	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
УР-231	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Э -4100	$7,6 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-10}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$
К- 47	-	$3,8 \cdot 10^{-8}$	-
Компаунды	D	P	h
Эпоксидные компаунды	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Э-2200			
К-115	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
Кремний органи- ческий компаунд			
КТМ	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$
КТ - КРО	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$
Пластмассы	D	P	h
К-211-34	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
ФКП - 32	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$

Пропитка и заливка осуществляется лаками и компаундами, обволакивание и опрессовка - компаундами и пластмассами. Консервация осуществляется в основном полимерными пленками.

Более подробно влияние влаги на радиоконструкции рассматривается в работе [5].

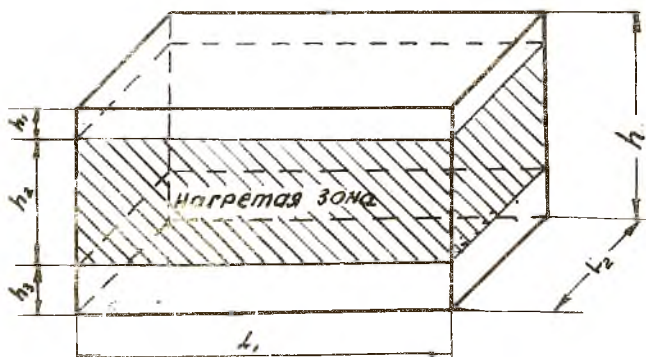
4. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ

Для расчета тепловых режимов блоков РЭА необходимо иметь сведения о конструкции, т.е. знать основные размеры блока, материалы, из которых он изготовлен и сведения об окружающей среде, т.е. условия эксплуатации. Расчет тепловых режимов включает расчет тепловой характеристики, которая представляет собой зависимость температуры блока (или его поверхности) от величины мощности, рассеиваемой блоком.

Для расчета широкое применение получили методы с использованием тепловой модели блока с нагретой зоной.

Нагретая зона — это часть объема, занятая шасси или платами и смонтированными на них элементами. Радиоаппаратура может иметь одну или несколько нагретых зон.

За нагретую зону принимают параллелепипед, площадь основания которого совпадает с площадью шасси, а высота равна средней высоте смонтированных на плате деталей (рис. 1):



Р и с. 1. Схематическая тепловая модель электронного блока

$$h_2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{l_1 l_2} ; \quad l_1 l_2 = S_{ш} , \quad (I)$$

где V_i — объем i -го элемента в нагретой зоне;
 n — число элементов в нагретой зоне;

- h - высота блока;
- h_1 - свободный объем от крышки до нагретой зоны;
- h_3 - свободный объем от нагретой зоны до дна кожуха.

В задании на курсовой проект может быть предусмотрен расчет либо герметичного, либо перфорированного аппарата. Рассмотрим расчет тепловых режимов блоков РЭА в этих случаях.

4.1. Расчет герметичных блоков

Исходные данные для расчета тепловых характеристик блока РЭА:

- t_c - температура среды, $^{\circ}\text{C}$;
- $L_1; L_2$ - длина и ширина кожуха, см;
- h - высота кожуха, см;
- $S_{кр}, S_{дн}, S_{б}$ - площади наружных поверхностей крышки, дна и боковой поверхности, см^2 ;
- $l_1; l_2$ - длина и ширина шасси, см;
- $S_1; S_3$ - площади внутренних поверхностей крышки и дна кожуха, см^2 ;
- $S_{ш}$ - площадь шасси, см^2 ;
- $h_1; h_2; h_3$ - высота от крышки до нагретой зоны, самой нагретой зоны и от зоны до дна, см;
- $\epsilon_{кр}, \epsilon_{дн}, \epsilon_{б}$ - степень черноты боковых наружных поверхностей, наружных поверхностей крышки и дна кожуха;
- $\epsilon_1; \epsilon_2$ - степень черноты внутренних поверхностей крышки и дна кожуха;
- $\epsilon_{ш1}; \epsilon_{ш2}$ - степень черноты нагретой зоны блока сверху и снизу;
- Δ - толщина материала кожуха;
- H - давление окружающей среды.

В табл. 5 и 6 даны условия работы РЭА различного назначения и степени черноты некоторых материалов, соответственно.

В табл. 5 принята следующая классификация РЭА:

Г р у п п а I - радиоаппаратура в закрытых отапливаемых помещениях.

Г р у п п а II - радиоаппаратура в закрытых наземных и надземных помещениях с повышенной относитель-

ной влажностью. Для корабельной аппаратуры - расположенной на верхней палубе.

Г р у п п а Ш - аппаратура в специально оборудованных отапливаемых во время работы помещениях.

Г р у п п а IV - аппаратура, находящаяся в неотапливаемых помещениях.

Г р у п п а V - аппаратура в танках.

Т а б л и ц а 5

Воздействующие факторы	Единицы измерения	В и д и г р у п п а Р Э А									
		наземная					самолетная		корабельная		
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	
Вибрации с частотой	Гц	-	2-80	2-80	2-80	15-120	3-400	3-400	5-35	15-120	
Ускорение не более	g	-	4-1	4-1	6-3	6-2	2-10	2-10	1,5	2,5	
Ускорение при ударе	g		10	20-75	100-120		5	10	7	12	
Центробежное ускорение	g	-	-	-	-	-	6	9	-	-	
Свободное падение на грунт с высоты	м	-	-	500	150-500	-	-	-	-	-	
Ветер со скоростью	м/с	30	30	30	30	30	-	-	10	50	
Относительная влажность	%	98	98	98	98	98	98	98	98	98	
Температура	°C	30	30	40	40	40	40	40	40	40	
Изменение температуры	°C	-45 +50	-45 +50	-50 +65	-50 +65	-50 +65	-65 +65	-60 +80	-50 +65	-50 +65	
Атмосферное давление	мм рт. ст.	-	-	460	460	460	460	200	-	-	
Слой воды	см	-	-	-	-	50	50	-	50	-	

Продолжение табл. 5

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Водяные брызги	-	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Воздушный м/с поток с пылью	-	-	-	-	10-15	10-15	10-15	-	-	-

Т а б л и ц а 6

Материал	Температура, °С	ε
<u>Алюминий</u>		
Нормально прокатанный	100	0,062
Грубо полированный	100	0,18
Листовой коммерческий	100	0,09
Шероховатый	20 - 50	0,055-0,07
<u>Алюминий литейный</u> (АЛ - 3 ÷ АЛ - 9)		
Литье в песчаную форму	100	0,23
Литье в кокиль	100	0,16
<u>Сталь</u>		
Листовая шлифованная	100	0,5 - 0,6
Листовая прокатная	20	0,66
Сталь окисленная	25	0,82
Литая гладкая	23	0,8
Никелированная неполированная	25	0,11
<u>Чугун</u>		
Полированный	200	0,21
Свежеобточенный	22	0,44
Сильно окисленный	40 - 250°С	0,95
<u>Резина</u>	23	0,96

Материал	Температура, °С	ε
<u>Латунь</u>		
Тщательно полированная	100 - 300	0,028-0,03
Прокатанная	22	0,06
Тусклая	50 - 350	0,22
Окисленное листовое железо	24	0,28
<u>Лаки, краски</u>		
Белый эмалевый лак	23	0,906
Черный лак	93	0,8-0,96
Черный матовый лак	40 - 100	0,96-0,98
Масляные краски всех цветов	100	0,92-0,96

Вследствие нелинейного характера зависимости коэффициента теплопередачи от температуры тепловая характеристика рассчитывается методом последовательного приближения.

Расчет зависимости $t = f(P)$
в первом приближении

Определяем геометрические размеры:

$$S_{кр} = S_{дн} = L_1 L_2 ;$$

$$S_{\sigma} = 2h [L_1 + L_2] ;$$

$$l_1 = L_1 - 2\Delta ;$$

$$l_2 = L_2 - 2\Delta ; \quad S_{21} = S_{23} = l_1 l_2$$

где S_{21} и S_{23} - площади поверхностей условно нагретой зоны в областях 1 и 3

$$S_1 = 2h_1 [(L_1 + L_2 - 4\Delta) + (L_1 - 2\Delta)(L_2 - 2\Delta)] ;$$

$$S_2 = 2h_2 (l_1 + l_2) ;$$

$$S_3 = 2h_3 [(L_1 + L_2 - 4\Delta) + (L_1 - 2\Delta)(L_2 - 2\Delta)] .$$

целью дальнейшего расчета является определение зависимости

$$P = \alpha S \Delta t_k,$$

где P - мощность, рассеиваемая аппаратом, Вт;
 α - коэффициент теплоотдачи, Вт/см²град;
 S - площадь поверхности кожуха, см².

Для расчета температуры в первом приближении принимаем

$$t_{кр} = t_{дн} = t_{\sigma} = t_{кожух} \quad \text{и задаемся перегревом кожуха, тогда}$$

$$\Delta t_k = t_k - t_c \text{ (град); } t_k = \Delta t_k + t_c,$$

где Δt_k - температура перегрева кожуха относительно окружающей среды, °С.

Коэффициент теплоотдачи α представляет собой сумму двух коэффициентов, значение одного из которых определяется характером конвективных потоков, а другой - излучением поверхности кожуха:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_l.$$

Коэффициент теплоотдачи излучения определяется зависимостью

$$\alpha_l = \varepsilon f(t_k, t_c),$$

где ε - степень черноты наружной поверхности кожуха;

$f(t_k, t_c)$ - функция, зависящая от температуры, вычисляется по формуле

$$f(t) = C_0 \frac{\left(\frac{t_k + 273,2}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_c + 273,2}{100}\right)^4}{t_k - t_c}.$$

Вдесь ε - степень черноты поверхности тела;

$C_0 = 5,73 \cdot 10^{-4}$ - коэффициент лучеиспускательной (поглощательной) способности абсолютно черного тела
 Вт/см² град⁴.

Для облегчения расчетов $f(t_k, t_c)$ в табл. 7 приведены значения функции $f(t_k, t_c)$.

Конвективные слагающие коэффициента теплоотдачи зависят от ориентации поверхностей в пространстве.

Для боковой поверхности

$$\alpha_{к.д} = 5,62 A \frac{\kappa}{M(h)} \sqrt{\frac{H}{H_0}}.$$

Для крышки кожуха

$$\alpha_{к.кр} = 7,3 A \frac{\kappa}{M(L)} \sqrt{\frac{H}{H_0}}.$$

Таблица 7

$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$																$t_1, ^\circ\text{C}$
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100		
10	5,03																10
15	5,16	5,32															15
20	5,31	5,45	5,59														20
25	5,45	5,59	5,76	5,90													25
30	5,59	5,76	5,90	6,05	6,20												30
35	5,76	5,90	6,05	6,20	6,35	6,51											35
40	5,90	6,06	6,20	6,35	6,51	6,60	6,82										40
45	6,05	6,20	6,35	6,51	6,66	6,83	7,00	7,14									45
50	6,20	6,35	6,51	6,67	6,83	7,00	7,17	7,35	7,50								50
60	6,65	6,70	6,87	7,04	7,19	7,33	7,51	7,69	7,87	8,05							60
70	6,90	7,06	7,21	7,39	7,55	7,72	7,86	8,05	8,24	8,42	8,80						70
80	7,27	7,44	7,59	7,75	7,80	8,07	8,26	8,45	8,65	8,83	9,20	9,62					80
90	7,63	7,82	7,98	8,13	8,31	8,49	8,67	8,86	9,04	9,25	9,65	10,03	10,46				90
100	8,03	8,19	8,37	8,57	8,72	8,91	9,09	9,28	9,46	9,66	10,08	10,49	11,91	11,36			100
110	8,45	8,60	8,79	8,97	9,15	9,33	9,51	9,71	9,90	10,10	10,51	10,93	11,38	11,82	12,30		110
120	8,85	9,02	9,20	9,40	9,56	9,77	9,98	10,17	10,35	10,56	11,01	11,42	11,87	12,31	12,80		120

Для дна кожуха

$$\alpha_{к.дн} = 3,93 \frac{K}{M(L)} \sqrt{\frac{H}{H_0}}.$$

В этих формулах обозначено:

A - коэффициент, зависящий от физических свойств воздуха и изменяющийся с изменением средней температуры $t_m = \frac{t_k + t_c}{2}$.
Отношение $(\frac{H}{H_0})^{0,5}$ участвует в определении α_k , если условия эксплуатации отличаются от нормальных условий. Условия при которых $H = 10322 \text{ кг/м}^2$ (760 мм.рт.ст.) и $t^\circ = 20^\circ\text{C}$, называют нормальными условиями.

В отношении $(\frac{H}{H_0})^{0,5}$

H - давление заданное;

H_0 - давление при нормальных условиях.

Коэффициенты $A = f(t_m)$; $M = f(L)$;

$k = f(\Delta t)$ определяются по графикам, показанным на рис. 2, 3, 4.

При расчете $\alpha_{к.д}$ за определяющий размер принимается высота блока h , а при расчете $\alpha_{к.кр}$ и $\alpha_{к.дн}$ нужно за определяющий размер принимать меньшую из сторон L_1 или L_2 .
Далее находится полный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_i = \alpha_{ik} + t_{i,l}$$

и соответствующие мощности

$$P_i = \alpha_i S_i \Delta t,$$

где $\Delta t = t_k - t_c$.

После чего можно найти суммарную мощность, выделяемую в блоке, и температуру нагретой зоны в первом приближении:

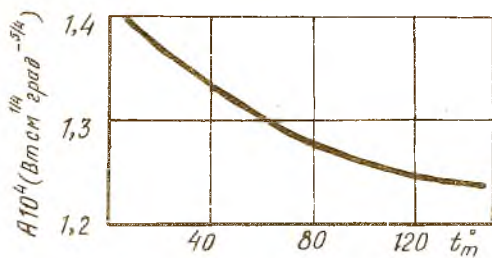
$$P = P_{кр} + P_{дн} + P_{бок};$$

$$t_{ш}^i = t_k + 2,5 \Delta t.$$

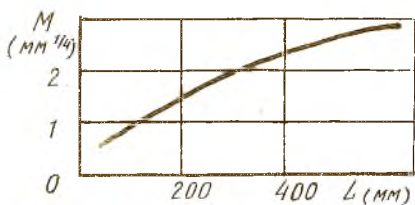
В заключении расчета первого приближения нужно отметить, что для расчета α_{ki} предварительно необходимо найти закон теплообмена, который определяется по формуле

$$\Delta t_k \ll \left[\frac{0,84}{L_{опред}} \right]^3,$$

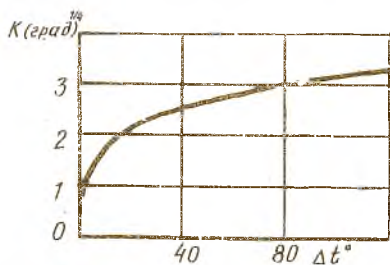
где L - определяющий размер, м.



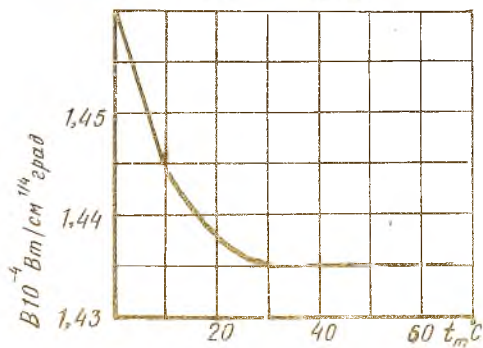
Р и с.2. Зависимость коэффициента $A = f(t_m)$



Р и с.3. Зависимость коэффициента $M = f(L)$



Р и с.4. Зависимость коэффициента $K = f(\Delta t)$



Р и с. 5. Зависимость коэффициента $B = f(t_m)$

Если это неравенство выполняется, то теплообмен подчиняется закону $I/4$, в противном случае теплообмен подчиняется закону $I/3$. Графики на рис. 2,3,4 соответствуют закону $I/4$.

Если теплообмен подчиняется закону $I/3$ степени, мощность рассеивания конвекцией определяется соотношением

$$P_k = A (S_{\sigma} + 1,3 S_{кр} + 0,7 S_{\partial H}) \Delta t^{4/3},$$

где A - коэффициент, зависящий от температуры (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

$t_m, ^\circ C$	0	20	40	60	80	100	150
A	1,69	1,61	1,53	1,45	1,39	1,33	1,23

Для определения мощности, рассеиваемой излучением, пользуются формулой

$$P_{изл} = 5,67 S_{\kappa} \left[\left(\frac{273 + t_c^2 + \Delta t_{\kappa}}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_c}{100} \right)^4 \right],$$

где

$$S_{\kappa} = 2 S_{\sigma} + 2 (1,3 S_{кр}) + 2 (0,7 S_{\partial H}).$$

Общая мощность $P = P_k + P_{изл}$.

На этом заканчивается расчет первого приближения.

Расчет зависимости $t = f(P)$
во втором приближении

В этой части расчета учитываются некоторые дополнительные условия. Теплообмен внутри блока осуществляется за счет конвекции и излучения. В справочниках даны ϵ для тех случаев, когда поверхности излучают тепло в открытое пространство, т.е. для случаев, когда отражение лучей отсутствует. В блоках же происходит отражение тепловых лучей, это эквивалентно изменению степени черноты внутренних поверхностей, это новое значение степени черноты принято называть приведенной степенью черноты ($\epsilon_{пр}$).

Найдем ε_{np} для отсеков блока:

$$\varepsilon_{np1} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon} + \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right) \frac{S_{21}}{S_1}};$$

$$\varepsilon_{np3} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon} + \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right) \frac{S_{23}}{S_2}};$$

$$\varepsilon_{np2} = \varepsilon_{np1} \cdot \varepsilon_{np3}.$$

Коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием для верхнего и нижнего отсеков вычисляется по формулам:

для верхнего отсека

$$\alpha_{л1} = \varepsilon_{np1} f_1(t_w^i, t_k);$$

для нижнего отсека

$$\alpha_{л3} = \varepsilon_{np3} f_1(t_w^i, t_k);$$

для нагретой зоны $\alpha_{л2} = \varepsilon_{np2} f_1(t_w^i, t_k)$.

Значение функции f_1 берется из табл. 7, в которой вместо температуры кожуха нужно взять температуру нагретой зоны, полученную в первом приближении; а за температуру среды принять температуру кожуха.

Рассчитаем конвективный теплообмен во втором приближении.

В верхнем отсеке, кроме теплообмена излучением, происходит конвективный теплообмен, а в нижнем отсеке конвекция практически отсутствует, так как нет перемешивания воздуха. Тогда коэффициент теплоотдачи конвекцией для верхнего отсека может быть найден формулой

$$\alpha_{к1} = B \sqrt{\frac{\Delta t}{h_1}} \sqrt{\frac{H}{H_0}},$$

где $\alpha_{к1} = \alpha_{к2}$, так как массы ориентирован горизонтально;

B — величина, характеризующая свойства воздуха в зависимости от средней температуры t_m , график зависимости $B = f(t_m)$ показан на рис. 5,

здесь

$$t_m = \frac{t_w^i + t_k}{2}; \quad \Delta t = t_w^i - t_k.$$

Для нижнего отсека $\alpha_{к\partialн} = \frac{\lambda_{воз\partial}}{h_3}$,

где λ_{∂} - коэффициент теплопроводности воздуха (см. табл. 9).

Далее находим полный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_i = \alpha_{li} + \alpha_{ki}.$$

После чего определяем тепловые проводимости кожуха и зоны по формулам:

$$\sigma_k = \sum_i \alpha_i S_{ki};$$

$$\text{где } S_{ki} = S_{kp} + S_{дн} + S_{бок};$$

$$\sigma_3 = 23(L_1 - 2\Delta)(L_2 - 2\Delta).$$

Далее находим температуру зоны во втором приближении:

$$t_w^{\pi} = t_c + \rho \left(\frac{1}{\sigma_3} + \frac{1}{\sigma_k} \right).$$

Если температура зоны t_w^{π} значительно отличается от температуры t_w^{π} , то расчет повторяется в третьем приближении по методике второго приближения. Допустимое значение отличия температур составляет 2 - 3°C.

Вторая точка тепловой характеристики находится аналогично, но при другой выбранной температуре перегрева кожуха - Δt_k . По найденным точкам строится тепловая характеристика $\Delta t_w = f(\rho)$ и $\Delta t_k = f(\rho)$ и определяется перегрев блока при определенной заданной мощности блока ρ .

Учитывая, что отдельные элементы конструкции могут находиться в зонах, температура которых может быть больше t_w , необходимо элементы выбирать на температуру $t_{дем} = 1,3 t_w$. Для снижения температуры нагретой зоны и кожуха можно применять перфорацию кожуха и шасси аппарата.

Отверстия нужно располагать при этом симметрично нагретой зоне и дальше от нее. Площадь отверстий в шасси может составлять не более 5 - 6% полной площади нагретой зоны, а общая площадь отверстий в кожухе - около 20-25% полной его поверхности.

Перфорация снижает температуру кожуха и шасси примерно на 20-30%.

4.2. Расчет температурного режима аппаратов в перфорированном кожухе

При расчете предполагаем, что шасси делит аппарат на две равные части, т.е. шасси расположено горизонтально и на высоте блока 0,5 h .

Расчет ведем по приближенной методике. Перегрев нагретой зоны $\Delta t_{н.з} = t_{н.з} - t_c$ определяется зависимостью

$$\Delta t_{н.з} = \Delta t_p K_f K_h K_s K_k K_{s_1} K_c K_z ,$$

где $\Delta t_p = \frac{\rho}{S_{н.з}}$ определяется графиком на рис. 6.

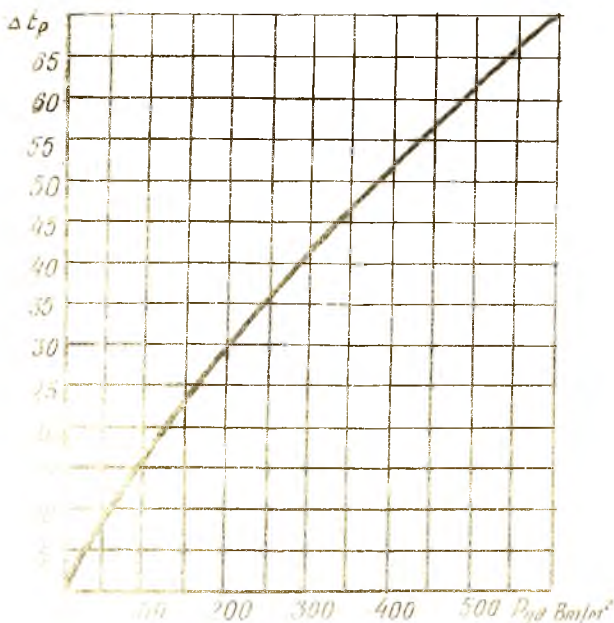
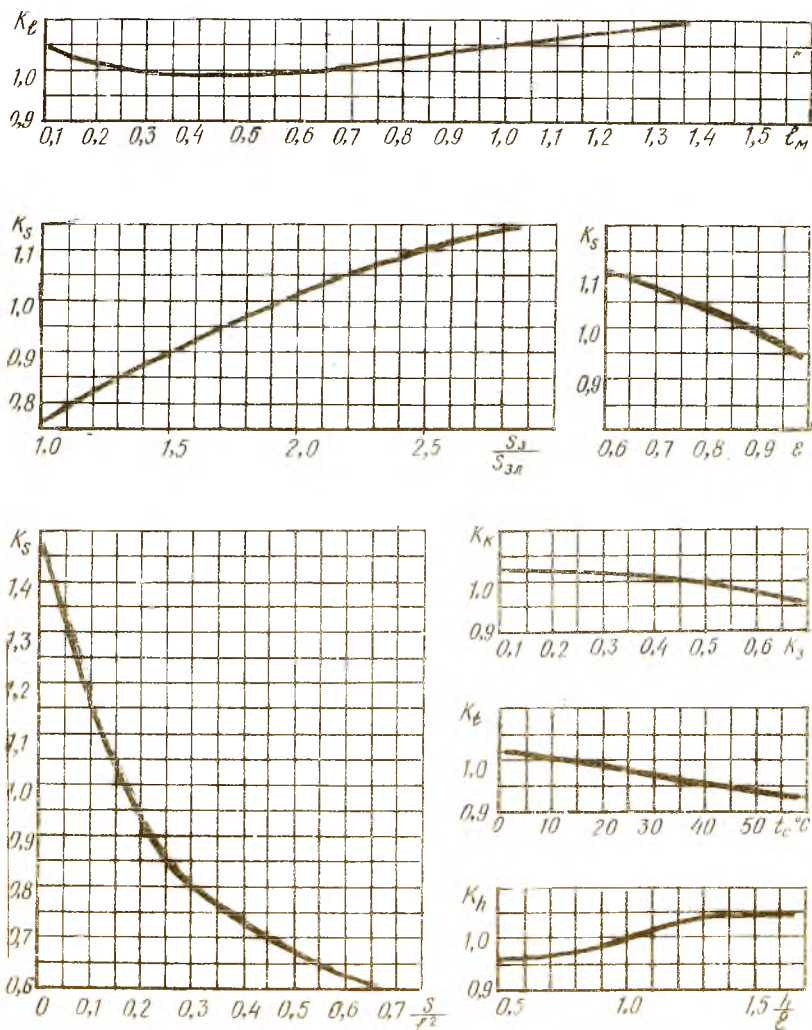


Рис. 6. Зависимость $\Delta t_p = f(P_{гд})$

Значения всех остальных коэффициентов определяются с помощью графиков на рис. 7.



Р и с. 7. Графики для расчета коэффициентов

При определении коэффициентов за определяющий размер аппарата принимаем $\ell = \sqrt{\ell_1 \ell_2}$.

Коэффициент K_S зависит от отношения $\frac{S_{Н.З.}}{S_{Н.З.Л}}$,

где $S_{Н.З.Л} = 2\ell(\ell + 3K_{зап}h)$;

$S_{Н.З.}$ — полная поверхность нагретой зоны;

K_E — является функцией степени черноты $\epsilon_{пр}$.

$$\epsilon_{пр} \approx \epsilon_B \epsilon_d,$$

где ϵ_B — степень черноты внутренней боковой поверхности;

ϵ_d — степень черноты поверхности деталей в блоке.

Коэффициент K_K является функцией коэффициента заполнения блока.

коэффициент K_S зависит от отношения S/ℓ^2 ,

где S определяется из соотношения

$$S = \sqrt{\frac{3}{\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} + \frac{1}{S_3^2}}},$$

где S_1 , S_2 , S_3 — площади отверстий в верхней, нижней части аппарата и в шасси.

Коэффициент K_h определяется отношением $\frac{h}{\ell}$.

Коэффициенты, определяемые с помощью графиков рис. 7 могут быть найдены при следующих значениях исходных данных:

$$P_{цп} = 0-600 \text{ Вт/м}^2; \quad \ell = 0,1-1 \text{ м}; \quad \frac{n}{\ell} = 0,5-2;$$

$$\frac{S}{\ell^2} = 0,05-0,7; \quad K_3 = 0,1-0,7; \quad \frac{S_{Н.З.}}{S_{Н.З.Л}} = 1-3.$$

$$\epsilon = 0,6-1; \quad t_c = 0-60^\circ \text{C}.$$

Зная $\Delta t_{Н.З.}$, можно найти температуру нагретой зоны:

$$t_{Н.З.} = t_c + \Delta t_{Н.З.}$$

На этом заканчивается расчет и строится тепловая характеристика блока $\Delta t_3 = f(P)$.

5. Расчет радиаторов

Полупроводниковые приборы большой мощности часто охлаждаются при помощи радиаторов. Для этого в настоящее время используются ребристые и игольчатые радиаторы. Игольчатые радиаторы значительно эффективнее отводят тепло, поэтому при больших мощностях они применяются чаще.

Рассмотрим методику расчета штырькового радиатора.

5.1. Порядок расчета штырькового радиатора

Для определения геометрических размеров штырькового радиатора необходимо знать теплоотдачу единичного стержня, имеющего заданные геометрические размеры. Условно принято, что все тепло, которое следует отвести от полупроводникового прибора, рассеивается штырями.

Расчет среднеповерхностной температуры радиатора

$$t_s = B \left[t_n - P (R_{nk} + R_{kp}) \right],$$

где B - коэффициент, учитывающий неравномерность температурного поля радиатора. При естественной конвекции $B=0,96$. При принудительной конвекции $B=0,94$.

t_n - температура коллекторного перехода, $^{\circ}\text{C}$;

P - мощность, рассеиваемая в п/п приборе, Вт ;

R_{nk} - тепловое сопротивление между коллекторным переходом и корпусом прибора, $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$;

R_{kp} - тепловое сопротивление контакта корпуса прибора и радиатора, $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$.

Расчет разности температур между поверхностью радиатора и окружающей средой

$$\theta = t_s - \frac{t_1 + t_2}{2},$$

- где t_1 - температура набегающего потока воздуха перед входом в радиатор, $^{\circ}\text{C}$ (для естественной конвекции $t_1 = t_c$);
- t_2 - температура воздуха за радиатором, $^{\circ}\text{C}$;
- $t_2 = t_s - 3$ - для естественной конвекции;
- $t_2 = t_s - 10$ - для принудительной конвекции.

Расчет коэффициента теплоотдачи

Значение общей величины коэффициента теплоотдачи определяется формулой $\alpha = \alpha_k + \alpha_l$,

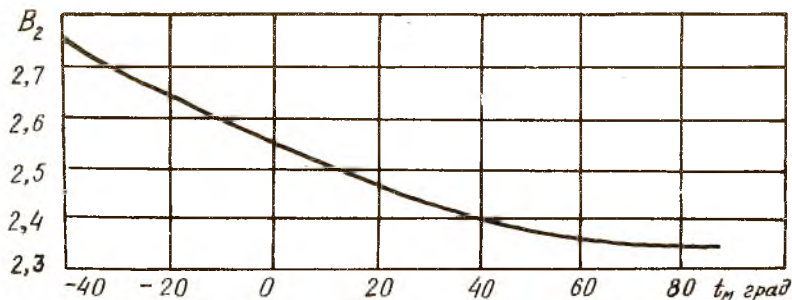
где α_k - конвективная составляющая;

α_l - лучистая составляющая;

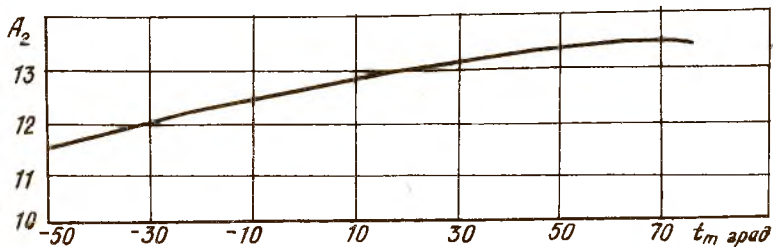
$\alpha_k = A_2 (t_m) \Delta t^{0,25}$ - для естественной конвекции;

$\alpha_k = B_2 (t_m) \frac{W_{\text{в}}^{0,58}}{D_{\text{учл}}^{0,42}}$ - для принудительной конвекции,

где A_2 , B_2 - коэффициенты учитывающие свойства среды. (берутся из графиков рис. 8,9);



Р и с. 8. График зависимости коэффициента $B_2 = f(t_m)$



Р и с. 9. График зависимости коэффициента $A_2 = f(t_m)$

для A_2 $t_m = t_0$;

для B_2 $t_m = 0,5(t_1 + t_2)$; $\Delta t = t_2 - t_0$;

W_0 - скорость набегающего потока, $\frac{M}{C}$;

$P_{\text{усл}} = 2,3 \cdot 10^{-3}$ м;

$\alpha_{\text{л}}$ - лучистая составляющая коэффициента теплопередачи

Определяется соотношением

$$\alpha_{\text{л}12} = \varepsilon_{\text{пр}12} \varphi_{12} f(t_1, t_2),$$

где $\varepsilon_{\text{пр}12}$ - приведенная степень черноты, определенным образом связанная со степенями черноты ε_1 и ε_2 поверхностей теплообмена 1 и 2.

φ_{12} - коэффициент облученности.

При излучении радиатора в неограниченное пространство

$$\varepsilon_{\text{пр}12} = \varepsilon_1; \quad \varphi_{12} = 1.$$

Если площадь поверхностей теплообмена 1 и 2 параллельны друг другу, то

$$\varepsilon_{\text{пр}12} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}; \quad \varphi_{12} = 1;$$

$f(t_1, t_2)$ - функция температур поверхностей теплообмена определяется по табл. 7 (в тепловом режиме).

Расчет теплообменной поверхности радиатора и его геометрических размеров

Теплопередача стержня переменной толщины определяется по формуле для стержня постоянной толщины, взятой с поправочным коэффициентом $k = 1,14$;

$$P_{\text{штм}} = 1,16 k \theta t h (\beta h) \sqrt{\alpha_{\text{к}} U \lambda f},$$

где $P_{\text{штм}}$ - мощность, рассеиваемая одним штыврем, Вт ;

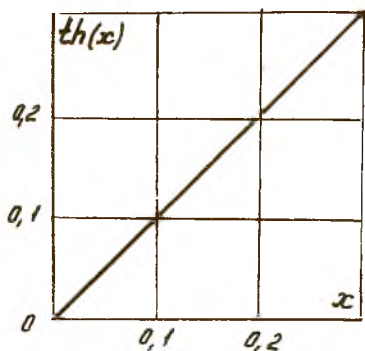
h - высота штывря, м;

U - периметр поперечного сечения штывря (среднего по высоте) м;

f - площадь поперечного сечения штывря (среднего по высоте) м²

$$\beta = \sqrt{\frac{4\alpha_{\text{к}}}{D_{\text{эк}} \lambda}}.$$

Здесь λ - коэффициент теплопроводности материала радиатора берется из таблиц [3].



$$D_{эж} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Значение $th(\beta h)$ определяется по графику рис. 10.

Общее количество штырей

$$n = \frac{P}{P_{шт}},$$

где P - мощность, рассеиваемая прибором.

Площадь плиты определяется, исходя из принятых геометрических размеров штырей: $F_{общ} = F_n h + F_{np}$,

Р и с. 10. График зависимости

$$th(x) = f(x)$$

где F_n - площадь штыря и прилегающей к нему плиты, м^2 .
 F_{np} - площадь полупроводникового прибора, м^2 .

Оптимальные размеры штыря:

D_{δ} = 1 мм - диаметр верхнего основания;

$D_{н}$ = 3 мм - диаметр нижнего основания.

Шаг штырей - 7 мм.

Высота штыря $h = 20 \pm 25$ мм.

Т а б л и ц а 9

$^{\circ}\text{C}$	γ	C_p	$\lambda 10^{-2}$	$\alpha 10^2$	μ	ν	ρ
	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг град}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м.с}^{\circ}\text{C}}$	$\text{М}^2\text{с}$	$\frac{\text{кгс}}{\text{М}^2 10^6}$	$\frac{\text{М}^2}{\text{с} 10^8}$	
0	1,293	0,240	2,10	6,77	1,75	13,28	0,707
10	1,247	0,240	2,16	7,22	1,80	14,16	0,705
20	1,205	0,240	2,23	7,71	1,85	15,06	0,703
30	1,165	0,240	2,30	8,23	1,90	16,00	0,701
40	1,128	0,240	2,37	8,75	1,95	16,96	0,699

6. ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ПРОСТЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО ВНЕЗАПНЫМ ОТКАЗАМ

Окончательный расчет надежности производится на стадии технического проектирования, когда известна принципиальная схема, электрический и тепловой режим работы каждого элемента.

Под простыми изделиями в надежности понимаются такие, которые могут находиться в двух возможных состояниях: работоспособном и отказовом, иными словами, простое изделие имеет только одно состояние работоспособности. В отличие от них, сложные изделия имеют несколько состояний работоспособности.

При окончательном расчете надежности принимаются следующие допущения [9]:

все элементы соединены последовательно в смысле надежности, т.е. отказ любого элемента приводит к полному отказу изделия; интенсивность отказов элементов постоянна во времени; все элементы работают одновременно; отказы и восстановления элементов взаимно независимы; во время ремонта изделие выключено, и другие элементы не могут отказать.

Исходными данными для расчета являются:

электрическая принципиальная схема;
типы и количество элементов, применяемых в изделии;
значения интенсивности отказов элементов в номинальном режиме (табл. П1);

значения коэффициента электрической нагрузки K_H для каждого элемента;

значения температуры окружающей среды для каждого элемента t° ;
поправочные коэффициенты $\alpha = f(K_H, t^\circ)$, учитывающие изменение интенсивности отказов от уровня теплового и электрического режима (табл. П2 - П5);

значения коэффициентов, учитывающих условия эксплуатации: действие механических нагрузок K_1 (табл. П6), действие влажности K_2 (табл. П7), действие пониженного атмосферного давления K_3 (табл. П8);

значения среднего времени восстановления одного элемента каждого типа τ (табл. П9).

Прежде чем приступать к расчету надежности необходимо определить значение коэффициентов электрической нагрузки (коэффициентов нагрузки) K_H для каждого элемента.

Коэффициент нагрузки является основным параметром, характеризующим электрический режим работы элемента, и равен отношению фактически максимальной величины контролируемого параметра (мощности рассеяния, напряжения, тока) к максимально допустимой величине этого же параметра по ТУ [6].

Определение K_H необходимо для проверки соответствия электрических режимов элементов допустимым нормам. Если элемент имеет несколько контролируемых параметров (транзистор), а следовательно, и несколько коэффициентов нагрузки, для расчета надежности берется наибольший из них.

При отсутствии в ТУ значения максимально допустимой величины контролируемого параметра, K_H по данному параметру определяется как отношение фактической величины параметра к номинальному значению по ТУ.

В табл. IIО приведены допустимые значения коэффициентов нагрузки и параметры элементов, по которым определяются коэффициенты нагрузки.

При выборе K_H необходимо учитывать тепловой режим работы элемента. На рис. Пб приведены зависимости максимально допустимого значения K_H от температуры окружающей среды для полупроводниковых диодов и триодов, резисторов, конденсаторов. Для других типов элементов в табл. IIО указаны максимально допустимые значения K_H . Температура среды, окружающей элемент, не должна превышать максимально допустимой по ТУ. Коэффициенты нагрузки элементов указываются с точностью до второго знака.

Если элементы одного типа имеют одинаковые электрический и тепловой режимы, при расчете надежности их можно объединять в группы.

Подсчет коэффициентов нагрузки различных элементов проводится по следующим формулам:

I. Полупроводниковые диоды и селеновые выпрямители.

Коэффициент нагрузки по напряжению

$$K_H = \frac{U_{обр}}{U_0},$$

где $U_{обр}$ - амплитуда обратного напряжения;

U_0 - допустимое обратное напряжение по ТУ.

Коэффициент нагрузки по току

$$K_H = \frac{I_{\text{ср. выпр}}}{I_0},$$

где $I_{\text{ср. выпр}}$ - среднее значение выпрямленного рабочего тока;
 I_0 - допустимый ток в прямом направлении по ТУ.

При повышенных температурах (выше 40°C) рекомендуется использовать кремниевые диоды.

2. Полупроводниковые триоды.

Коэффициенты нагрузки транзисторов:

$$K_H = \frac{U_{KЭ}}{U_{KЭ0}}; \quad K_H = \frac{U_{KБ}}{U_{KБ0}}; \quad K_H = \frac{U_{ЭБ}}{U_{ЭБ0}}; \quad K_H = \frac{P}{P_0},$$

где $U_{KЭ}$ - прямое напряжение между коллектором и эмиттером;
 $U_{KЭ0}$ - допустимое прямое напряжение между коллектором и эмиттером (аналогично для остальных K_H по напряжению);
 P - мощность рассеиваемая на транзисторе;
 P_0 - допустимая рассеиваемая мощность по ТУ.

Наибольшее значение того или иного K_H по напряжению зависит от схемы включения транзистора.

При определении K_H по мощности следует учитывать также режим работы транзистора. Так, в режиме синусоидального сигнала:

Для маломощных усилительных и генераторных транзисторов в режиме без насыщения

$$P = P_K,$$

где P_K - средняя рассеиваемая мощность на коллекторе; в режиме с насыщением

$$P = P_K + P_Э,$$

где $P_Э$ - средняя рассеиваемая мощность на эмиттере.

Для мощных транзисторов, включенных по схеме с общим эмиттером,

$$P = P_K + P_Б = P_{K0} - P_{\nu} + P_Б - P_{Б0},$$

где $P_K, P_Б$ - мощности, рассеиваемые на коллекторе и базе, соответственно;

$P_{K0}, P_{Б0}$ - мощности, отдаваемые источниками коллекторного напряжения и смещения, соответственно;

P_n - мощность на нагрузке;

P_B - мощность источника возбуждения.

3. Резисторы

В общем случае K_H резистора находится по формуле $K_H = \frac{P}{P_0}$,

где $P = \frac{1}{R} U^2 = J^2 R$ - Р и с. II. Режим синусоидального сигнала средняя рассеиваемая мощность;

U, J - действующие (эффективные) значения напряжения;

R - номинальное значение сопротивления резистора;

P_0 - допустимая мощность рассеяния по ТУ.

При синусоидальном режиме работы (см. рис. II)

$$P = \frac{U_0^2}{R} + \frac{U_m^2}{2R} = J_0^2 R + \frac{J_m^2}{2} R.$$

4. Потенциометры.

Коэффициент нагрузки потенциометров определяется по формулам:

$$K_H = \frac{U_{обш}^2 R_{ном}}{R_{обш}^2 P_{ном}} = J_{обш}^2 \frac{R_{ном}}{P_{ном}};$$

$$R_{обш} = \frac{U_{обш}}{J_{обш}},$$

где $R_{ном}, P_{ном}$ - номиналь-

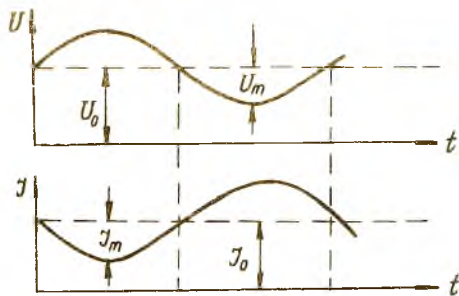
Р и с. I2. Действующие значения напряжения и тока

ное значение параметров потенциометра;

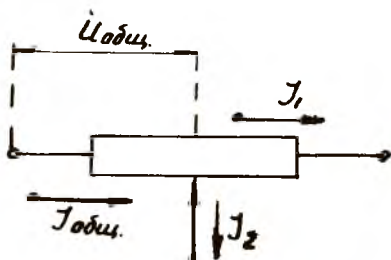
$U_{обш}, J_{обш}$ - действующие (эффективные) значения напряжения и тока (рис. I2).

5. Конденсаторы

K_H - конденсаторов определяется по формуле



Р и с. II. Режим синусоидального сигнала



Р и с. I2. Действующие значения напряжения и тока

ное значение параметров потенциометра;

$U_{обш}, J_{обш}$ - действующие (эффективные) значения напряжения и тока (рис. I2).

$$K_H = \frac{U_{\sim} + U_{\omega} + U_{\Delta}}{U_{ном}}$$

где U_{\sim} , U_{ω} , U_{Δ} - постоянное, амплитуда переменного, амплитуда импульсного напряжения на конденсаторе, соответственно.

$U_{ном}$ - номинальное напряжение по ТУ.

Для некоторых типов конденсаторов необходимо учитывать допустимое значение амплитуды переменного напряжения в зависимости от частоты (табл. III) [10].

6. Трансформаторы силовые, дроссели низкочастотные.

$$K_H = \frac{J_{раб}^2}{J_0^2}$$

где $J_{раб}$ - рабочий ток в обмотке,

J_0 - допустимый ток по ТУ.

Для остальных элементов K_H равен отношению фактически максимальной величины контролируемого параметра к максимально допустимому или номинальному значению параметра по ТУ.

В результате расчета надежности должны быть определены следующие показатели надежности:

интенсивность отказов Λ ;

среднее время безотказной работы T ;

вероятность безотказной работы $P(t)$, в течение заданного времени непрерывной работы t ;

среднее время восстановления T_B .

Интенсивность отказов вычисляется по формуле

$$\Lambda = K_1 K_2 K_3 \sum_{i=1}^z n_i \lambda_i^{1/2}$$

Здесь K_1, K_2, K_3 - поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно воздействие механических нагрузок, влажности и пониженного давления. Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3 определяются по таблицам в зависимости от условий эксплуатации (табл. II6-II8). Для лабораторных условий эксплуатации $K_1 = K_2 = K_3 = 1$.

z - число типов элементов;

n_i - число элементов i -го типа;

N - общее количество элементов в изделии $N = \sum_{i=1}^z n_i$;

λ_i - интенсивность отказов одного элемента i -го типа.

Величина λ_i определяется по формуле $\lambda_i = a_i \lambda_{oi}$,
 где a_i - поправочный коэффициент, учитывающий конкретный
 электрический и тепловой режимы работы элемента;
 значения этих коэффициентов приведены в табл.

П2-П5 для различных элементов;

λ_{oi} - номинальная интенсивность отказов одного элемента
 i -го типа (при $K_H = 1,0$ и $t^* = +20^{\circ}\text{C}$); значения
 λ_{oi} приведены в табл. П1.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение заданного
~~времени непрерывной работы t~~ вычисляется по формуле

$$P(t) = e^{-\Lambda t},$$

так как закон распределения времени работы до отказа для всех
 элементов вследствие постоянства интенсивности отказов во време-
 ни, является экспоненциальным.

Если $\Lambda t \ll 1$, то можно использовать приближенную формулу
 для расчета вероятности безотказной работы:

$$P(t) \approx 1 - \Lambda t,$$

ошибка здесь не превосходит $\frac{(\Lambda t)^2}{2}$

Среднее время безотказной работы

$$T = \frac{1}{\Lambda}.$$

Среднее время восстановления находится по формуле [8]

$$\tau_0 = \sum_{i=1}^z P_i \tau_i,$$

где τ_i - среднее время восстановления одного элемента, i -го
 типа (табл. П9);

P_i - вероятность того, что возникшая неисправность от-
 носится к элементам i -го типа;

$$P_i = \frac{n_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^z n_i \lambda_i}, \quad \sum_{i=1}^z P_i = 1.$$

Исходные данные и результаты расчета сводятся в таблицу следующего вида:

№	Наименование и тип элемента	Обозначение по принципиальной схеме	λ_i		Режим работы		ρ_i		τ_i	
			λ_i	λ_{0i}	K_H	t^*	ρ_i	ρ_i	τ_i	τ_i
			10^{-6}	$1/2$			10^{-6}	10^{-6}	$1/2$	$1/2$
1										
2										
3										
...										
z										
			$K_1 =$	$K_2 =$	$K_3 =$	$\sum_{i=1}^z \lambda_i \lambda_{0i} = ; T_f = \sum_{i=1}^z \rho_i \tau_i = ;$				

В разделе "Расчет надежности" пояснительной записки курсового проекта должны быть указаны:

- 1) условия, при которых справедлив данный расчет надежности;
- 2) формулы, используемые для определения коэффициентов электрической нагрузки и пример расчета K_H для одного из элементов каждого типа;
- 3) формулы, используемые для расчета показателей надежности, λ , $\rho(t)$, T , T_f ;
- 4) таблица расчета надежности приведенного образца;
- 5) значения вычисленных показателей надежности;
- 6) ссылки на использованную литературу.

2. НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И КОНСТРУИРОВАНИЮ РЭА

2.1. Рекомендации по проектированию и конструированию РЭА [8]

1. Все части схемы, по возможности, должны быть доступны для осмотра.

2. Все изделия должны иметь надежное крепление. Способы и конструкция креплений, прочность разъемных и неразъемных соединений и размеры крепежных деталей должны быть согласованы с размером, весом и пространственным положением закрепляемых изделий с учетом воздействия на последние механических факторов (вибрационных, ударных и линейных ускорений и т.д.), могущих иметь место при эксплуатации или транспортировке.

3. Все винты или винтовые крепления должны иметь контрольную шайбу или специальную контровку.

4. Компоновку аппаратуры рекомендуется производить функционально-узловым методом.

5. Рекомендуется широко применять фотохимические способы нанесения надписей.

6. Запрещается применение в аппаратуре следующих материалов:

а) в качестве электрической изоляции—эбонита, резин, содержащих серу, фибры, целлулоида, дерева, органического стекла;

б) в качестве конструкционного материала—эбонита, целлулоида, резин, содержащих серу.

7. В видеоусилителях на ПП-триодах с большим коэффициентом усиления необходимо обеспечивать хорошую металлизацию корпуса.

8. Не рекомендуется делать кабельные выводы на передних панелях аппаратуры.

9. Панели должны закрепляться с помощью невыпадающих болтов.

10. Шасси в условиях вибрации должно иметь:

низкое расположение центра тяжести;

жесткую конструкцию.

11. Для снижения центра тяжести аппаратуры тяжелые элементы располагают возможно ниже.

12. Съемные узлы и детали рекомендуется изготавливать взаимозаменяемыми.

13. При конструировании нужно учитывать различие температурных коэффициентов материалов.

14. Для изоляции проводов, подходящих к разъемам, следует принять фторопластовые трубки.

15. Во всех случаях при монтаже в малогабаритной аппаратуре рекомендуется применять провода с теплостойкой изоляцией и изоляционные трубки из фторопласта.

7.2. Рекомендации по обеспечению теплового режима

1. Требуемый тепловой режим должен обеспечиваться любыми мерами, даже за счет увеличения стоимости, веса или габаритов.

2. Размещение деталей внутри блоков должно обеспечивать температуру в установившемся тепловом режиме не более допустимой.

3. Рекомендуется применять массивные шасси, обеспечивающие хороший отвод тепла от элементов.

4. Силовые трансформаторы и дроссели необходимо конструировать так, чтобы тепло от обмоток отводилось к шасси. Для этого их нужно крепить к шасси массивными пластинами, плотно соединенными с сердечниками.

5. Теплочувствительные элементы (особенно конденсаторы) нельзя устанавливать вблизи греющихся деталей!

Примечание. Чувствительность конденсаторов к теплу убывает в следующей последовательности: электролитические, бумажные, герметичные, в металлическом футляре, стеклянные, слюдяные.

6. Рекомендуется применять тепловые экраны (полирванные) для защиты от тепловой радиации.

7. Тепловыделяющие элементы недопустимо устанавливать друг над другом.

7.3. Рекомендации, относящиеся к монтажу

1. Рекомендуется везде, где это только можно, применять печатный монтаж.

2. Для борьбы с помехами следует во всех необходимых случаях применять экранирование проводов. Экраны нужно заземлять с обоих концов, иначе они работают как антенны.

3. За кабельные выводы разрешается крепить при монтаже только легкие детали весом менее 20 г.

4. Для дополнительного крепления следует широко применять лаки, клеи, смолы.

5. Внутренние соединительные провода должны быть собраны в жгуты, которые следует крепить к шасси хомутиками из эластичных пластмасс.

6. Не следует натягивать гибкие проводники во избежании обрыва от тряски.

7. Схемный монтаж должен покрываться лаком.

7.4. Р е к о м е н д а ц и и п о з а щ и т е а п п а р а т у р ы о т в ы с о к о й в л а ж н о с т и

1. Самой надежной защитой является герметизация аппаратуры. Предпочтительнее герметизировать аппаратуру в целом, а не по элементам.

2. Рекомендуется применять пропитку и заливку элементов и узлов специальными составами.

3. Все металлические детали необходимо предохранять от влаги при помощи специальных гальванических и лакокрасочных покрытий: желательно применять одновременно оба вида покрытий.

4. Все неметаллические материалы, являющиеся гигроскопичными (текстолит и т.п.), следует либо заменять негигроскопичными (стеклотекстолит и т.п.), либо подвергать специальной обработке (например, бакелизации).

5. Все блоки необходимо после окончания монтажа и настройки покрывать специальными лаками.

8. Т р е б о в а н и я к о ф о р м л е н и ю г р а ф и ч е с к о г о м а т е р и а л а и п о я с н и т е л ь н о й з а п и с к и

Оформление пояснительной записки

Записка должна быть написана на листах бумаги формата А4 с обязательным оставлением полей и подшита в папку.

Все листы записки должны иметь сквозную нумерацию, кроме титульного, оформлены листы записки должны быть согласно требованиям ЕСКД.

Оформление графического материала

В состав графической части должны входить следующие чертежи:

1. Сборочный чертеж (блока, узла) со спецификацией - 1 чертеж.

2. Монтажный чертёж (блока, узла) - I чертёж.

3. Сборочные чертежи отдельных узлов - I - 2 чертежа.

4. Чертежи наиболее ответственных деталей (радиаторов, шасси, печатных плат) - 2 - 4 чертежа.

Чертежи должны быть выполнены в карандаше на ватмане определенного формата, Основные и вспомогательные форматы даны в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Основные форматы					
Обозначение	II	I2	22	24	44
Формат по ГОСТ 9327.60	A4	A3	A2	A1	A0
Размер сторон формата, мм	297x210	297x420	594x420	594x841	1189x841

Дополнительные форматы		
Обозначение формата	I3	I4
Размер сторон формата	297 x 631	297 x 841

ГОСТ 2.302-68 устанавливает рекомендуемые масштабы, которые выбираются в зависимости от габаритов чертежа.

Масштаб увеличения: 2:1, 2,5:1, 4:1, 5:1, 10:1, 20:1.

Масштаб уменьшения: 1:2, 1:2,5, 1:4, 1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25, 1:40, 1:50.

Штамп должен быть расположен вдоль большей стороны листа (кроме формата II, где штамп расположен вдоль меньшей стороны).

Сборочный чертёж выполняется в соответствии с ГОСТ 2.109-68 и должен содержать:

1. Изображение сборочной единицы с необходимым количеством видов, разрезов и сечений.

2. Присоединение и габаритные размеры, предельные отклонения, обеспечивающие сборку и контроль.

3. Номер позиций.

4. Габаритные, установочные, присоединительные размеры.

Все составные части сборочной единицы нумеруются и составляется спецификация по ГОСТ 2.108-68.

Разделы спецификации располагаются в следующем порядке: документация, комплексы, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы. Составляется спецификация на отдельных листах на каждую сборочную единицу. Исключение составляет сборочная единица, выполненная на II формате, здесь допускается помещать и спецификацию.

На детальных чертежах необходимо указать размеры, предельные отклонения, обозначение шероховатостей, т.е. чертежи должны содержать все данные для изготовления их, контроля и испытания.

9. ЗАЩИТА ПРОЕКТА

Оформленный проект сдается студентом на проверку преподавателю и после исправления ошибок предъявляется к защите.

Защита проекта производится перед комиссией. Время защиты 15-20 мин на I проект. Студент должен докладывать о задачах, которые перед ним ставились, путях их реализации, выводы и отвечать на вопросы.

Л и т е р а т у р а

1. В а р л а м о в Р.Г. Компоновка РЭА. М., Советское радио, 1975.

2. Х а р и н с к и й А.П. Основы конструирования элементов радиоаппаратуры. Л., "Энергия", 1971.

3. Д у л ь н е в Г.Н., С е м я ш к и н Э.М. Теплообмен в радиоэлектронных блоках. Л., "Энергия", 1968.

4. Д у л ь н е в Г.Н., Т а р н о в с к и й Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. Л., "Энергия", 1971.

5. Д о ц е н к о Н.С., С о б о л е в В.В. Долговечность элементов радиоэлектронной аппаратуры. Л., "Энергия", 1973.

6. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. Под ред. Р.Г.Ворламова. М., "Сов.радио", 1972.

7. Сапожников Р.А., Бессонов А.А., Шоломицкий А.К. Надежность автоматических управляющих систем. М., "Высшая школа", 1964.

8. Серафимович Л.П. Расчет надежности и конструирование радиоэлектронной аппаратуры. Томский Государственный университет, 1972.

9. Половко А.М. Сборник задач по теории надежности. М., "Советское радио", 1972.

Ю. Дущенко А.Н. Применяемость типовых радиоэлементов. М., "Советское радио", 1974.

П р и л о ж е н и е

Т а б л и ц а П I

ЗНАЧЕНИЯ НОМИНАЛЬНЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ

ОТКАЗОВ ПРИ $t^{\circ} = +20^{\circ}\text{C}$, $K_H = 1$

Тип радиоэлемента	$\lambda, 10^{-6} 1/z$
I	2
<u>Полупроводниковые приборы</u>	
Диоды импульсные точечные германиевые	3
Диоды импульсные сплавные кремниевые	0,6
Триоды маломощные низкочастотные германиевые	3
Триоды маломощные низкочастотные кремниевые	4
<u>Резисторы непроволочные, номинальная мощность рассеяния 0,25 Вт</u>	
МЛТ, металлопленочные, лакированные, теплостойкие	0,4
ТВО, теплостойкие, влагостойкие, объемные	0,4
ВС, углеродистые	0,7
УЛМ, углеродистые, лакированные, измерительные	0,6
БЛП, бороуглеродистые, лакированные, прецизионные	0,7
СПО, переменные, объемные	0,6
<u>Конденсаторы</u>	
Бумажные	1,8
Металлобумажные	2,0
Слюдяные	1,2
Керамические	1,4
Электролитические алюминиевые	2,4
Электролитические танталовые	2,2
<u>Импульсные трансформаторы</u>	0,5

Т а б л и ц а П 2

ПОПРАВочНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ $\alpha = f(K_H, t^\circ)$
 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ
 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Полупроводниковые приборы		t, °C	K _H								
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
Д и о д ы	германиевые	20	0,09	0,15	0,22	0,30	0,39	0,50	0,62	0,74	
		30	0,12	0,19	0,26	0,35	0,45	0,55	0,66	0,79	
		40	0,15	0,23	0,32	0,41	0,51	0,63	0,76	0,91	
		50	0,20	0,32	0,45	0,60	0,76	0,95	1,15	1,41	
		60	0,42	0,53	0,66	0,86	1,13	1,40	1,75	2,13	
		германиевые	20	0,77	0,77	0,78	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88
	30	0,85	0,85	0,85	0,86	0,88	0,90	0,92	0,97		
	40	0,92	0,92	0,92	0,94	0,97	1,00	1,04	1,08		
	50	0,96	0,98	1,00	1,02	1,05	1,09	1,13	1,19		
	60	1,00	1,04	1,08	1,11	1,16	1,22	1,30	1,39		
	Транзисторы	германиевые	20	0,20	0,23	0,26	0,35	0,42	0,50	0,70	0,74
			30	0,21	0,27	0,32	0,45	0,52	0,65	0,83	0,95
40			0,25	0,32	0,40	0,55	0,66	0,81	1,04	1,22	
50			0,30	0,42	0,50	0,68	0,84	1,08	1,31	1,50	
60			0,39	0,52	0,63	0,86	1,10	1,38	1,65	1,90	
германиевые			20	0,06	0,16	0,18	0,20	0,35	0,43	0,52	0,63
30		0,06	0,16	0,19	0,22	0,37	0,46	0,55	0,67		
40		0,07	0,17	0,20	0,23	0,40	0,51	0,59	0,72		
50		0,08	0,18	0,21	0,34	0,45	0,55	0,65	0,78		
60		0,08	0,19	0,22	0,26	0,50	0,61	0,71	0,85		

Т а б л и ц а П 3

ПОПРАВочНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ $\alpha = f(K_H, t^\circ)$
 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ λ РЕЗИСТОРОВ

Тип резисторов	$t^\circ C$	K_H									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
непроводочные	20	0,15	0,20	0,26	0,35	0,42	0,50	0,60	0,72	0,84	1,00
	30	0,21	0,27	0,34	0,43	0,51	0,62	0,75	0,88	1,07	1,26
	40	0,27	0,33	0,42	0,51	0,60	0,76	0,94	1,11	1,38	1,71
	50	0,34	0,40	0,50	0,59	0,71	0,92	1,17	1,38	1,76	2,22
	60	0,40	0,47	0,57	0,67	0,82	1,08	1,43	1,70	2,17	2,81
	70	0,46	0,54	0,64	0,75	0,94	1,26	1,72	2,04	2,69	3,52
	80	0,54	0,61	0,71	0,84	1,07	1,46	2,05	2,48	3,31	4,40
	90	0,60	0,70	0,79	0,92	1,20	1,66	2,40	2,99	2,04	5,40
	100	0,69	0,78	0,87	1,00	1,32	1,88	2,77	3,60	4,90	6,70

Т а б л и ц а П 4

ПОПРАВочНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ $\alpha = f(K_H, t^\circ)$
 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ λ КОНДЕНСАТОРОВ

Конденсаторы	$t^\circ C$	K_H				
		0,1±0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
I	2	3	4	5	6	7
Бумажные	20	0,06	0,08	0,10	0,18	0,23
Керамические	30	0,07	0,08	0,11	0,22	0,27
Слюдяные негерметичные	40	0,07	0,09	0,13	0,28	0,35
метичные	50	0,08	0,10	0,15	0,36	0,46
	60	0,10	0,12	0,20	0,45	0,62
	70	0,13	0,15	0,26	0,60	0,83
Металлобумажные	20	0,28	0,36	0,49	0,64	0,80
стеклянные	30	0,30	0,38	0,50	0,70	0,94
пленочные	40	0,34	0,42	0,54	0,80	1,10
	50	0,38	0,49	0,63	0,95	1,43

Продолжение табл. П4

1	2	3	4	5	6	7
	60	0,46	0,61	0,75	1,19	2,00
	70	0,58	0,76	0,96	1,58	2,30
Электролитические с алюминиевым анодом	20	0,65	0,48	0,40	0,48	0,65
	30	0,82	0,60	0,48	0,60	0,82
	40	1,24	0,90	0,64	0,90	1,24
	50	1,73	1,40	1,17	1,40	1,73
	60	2,30	2,10	1,80	2,10	2,30
	70	4,30	3,60	2,90	3,60	4,30
Электролитические с танталовым анодом	20	0,39	0,20	0,20	0,20	0,39
	30	0,41	0,22	0,22	0,22	0,41
	40	0,47	0,30	0,30	0,30	0,47
	50	0,57	0,40	0,40	0,40	0,57
	60	0,70	0,50	0,50	0,50	0,70
	70	0,86	0,65	0,65	0,65	0,86

Т а б л и ц а П5

ПОПРАВочНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ $\alpha = f(\kappa_H, t^\circ)$
 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ λ ТРАНСФОРМАТОРОВ

$t, ^\circ\text{C}$	κ_H							
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
20	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	0,8	1,0
30	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	1,0	1,4	1,6
40	0,1	0,2	0,2	0,5	1,2	1,8	2,4	3,0
50	0,2	0,2	0,3	0,8	1,8	2,8	4,0	5,2
60	0,2	0,3	0,4	1,2	2,5	4,1	6,4	8,6
70	0,3	0,4	0,6	2,0	4,2	7,2	10,7	14,0

Т а б л и ц а П 6

ПОПРАВОЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ K_I В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА
НЕАМОРТИЗИРОВАННУЮ АППАРАТУРУ

Условия эксплуатации аппаратуры	Суммарное воздействие K_I
Лабораторные	1,0
Стационарные (полевые)	1,07
Корабельные	1,37
Автофургонные	1,46
Железнодорожные	1,54
Самолетные	1,56

Т а б л и ц а П 7

ПОПРАВОЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ K_2

Влажность	Температура, °С	Поправ. коэффициент K_2
60 - 70	20 - 40	1,0
90 - 98	20 - 25	2,0
90 - 98	30 - 40	2,5

Т а б л и ц а П 8

ПОПРАВОЧНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ K_3

Высота, км	Поправ. коэффиц. K_3	Высота, км	Поправ. коэффиц. K_3
0-1	1,0	8-10	1,25
1-2	1,05	10-15	1,3
2-3	1,1	15-20	1,35
3-5	1,14	20-25	1,38
5-6	1,16	25-30	1,4
6-8	1,16	30-40	1,45

Т а б л и ц а П 9

ЗНАЧЕНИЯ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ τ
РАДИОЭЛЕМЕНТОВ

Тип радиоэлемента	τ , с
Полупроводниковые диоды	0,6
Полупроводниковые триоды маломощные	0,6
Резисторы	0,78
Потенциометры	0,8
Конденсаторы	1,1
Трансформаторы импульсные	1,2

Т а б л и ц а П 10

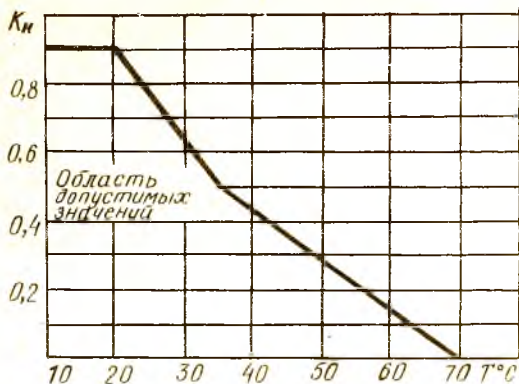
ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА НАГРУЗКИ

Наименование радиоэлементов	Параметры радиоэлементов, по которым определяются K_n	Допустимое значение K_n
Полупроводниковые диоды (выпрямительные и импульсные)	Выпрямленный ток (среднее значение)	Рис. П. 1,2
	Амплитуда обратного напряжения	0,7
Полупроводниковые триоды	Рассеиваемая мощность на триоде	Рис. П.3,4
	Между двумя электродами	Рис. П.3,4
Резисторы	Рассеиваемая мощность	Рис. П.5,6
Потенциометры	Рассеиваемая мощность	Рис. П.5,6
Конденсаторы	Амплитуда напряжения (суммарная)	Рис. П.7,8,9,10
Силовые трансформаторы и низкочастотные дроссели	Квадрат тока обмотки	0,9
Трансформаторы импульсные и высокочастотные индуктивности	Амплитуда напряжения	0,9

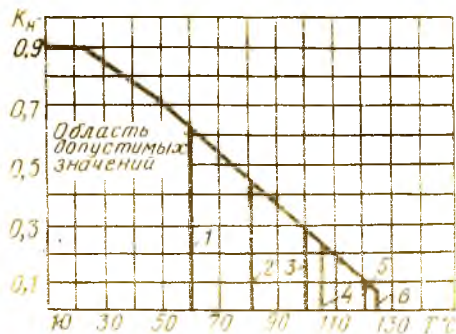
Т а б л и ц а П I I

ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ АМПЛИТУДЫ ПЕРЕМЕННОГО
НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОЦЕНТАХ К НОМИНАЛЬНОМУ В ЗА-
ВИСИМОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ

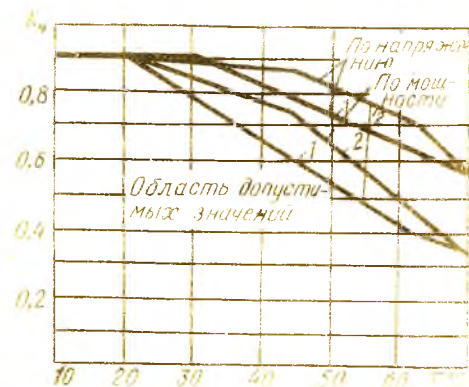
Тип конденсатора	Частота, Гц						
	50	100	300	500	1000	10^4	$2 \cdot 10^4$
Слюдяные низковольтные	-	-	-	100	60	60	20
Слюдяные высоковольтные	-	-	-	30-50	20-30	20-30	5-10
Бумажные	20	15	10	-	5	2	-
Электролитические	20	-	-	5	3,5	0,8	0,5



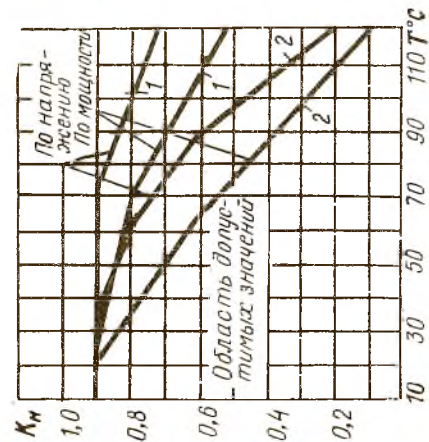
Р и с.П1. Германиевые диоды: 1-Д2; Д9; Д1001-Д10, КД503; Д20; Д302-Д305, Д311; Д312



Р и с.П2. Кремниевые диоды: 1-КЦ 401-КЦ 405; 2-Д1009-Д1011, Д226; 3-Д219-Д220, Д405, КД409, КД504, 4-Д101-Д103; 5 - Д104-Д106; Д206-Д211, Д217-Д218, Д229; 6-Д202 - Д205, Д242-Д248, КД202

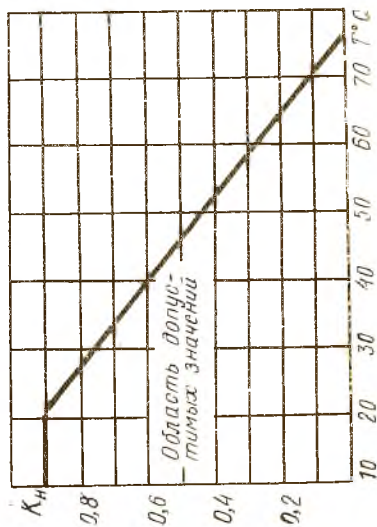


Р и с.П3. Германиевые триоды: 1-МП16, МП20, МП21, МП25, МП26, П27-П30, МП39-МП42, П40-П42, П210, П213-П217, ГТ403; 2-П401-П403, П416, П422-П423, П605-П609

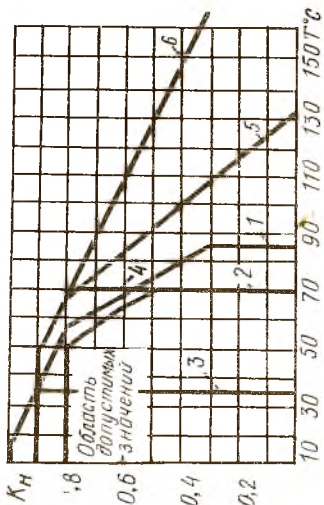


Р и с.П4. Кремниевые резисторы: 1-МП101-106, (МП111-МП116), П302-П306; 2-П701, П702, КТ301

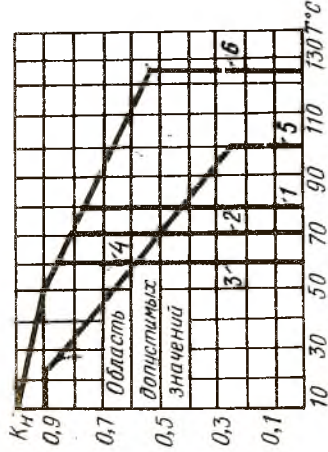
Р и с.П5. Пленочные резисторы: 1-ОВС; ВС; 2-ОМЛТ; МТ; УНУ; С2-П; МУН; ИЛТ; С2-10; С2-17; С2-1; С2-Б; МΟΥ; 3-УЛМ; 4-БЛШ; КЭВ; 5-УЛМ; 6-УНУ-Ш



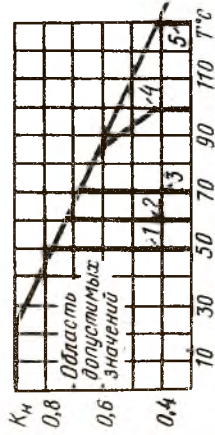
Р и с. П6. Объемные резисторы

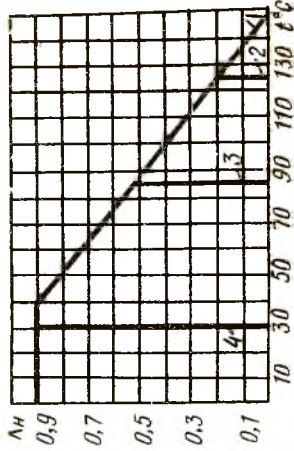


Р и с.П7. Слюдяные конденсаторы: 1-СЛМ; СЛТ; 2-КСГ; ОКСТ; 3-СГО; 4-КСО; ОКСО; 5-КСОТ; 6-КСОТ-200



Р и с. 18. Бумажные конденсаторы:
 1-К40П-1; 2-МБГ, МБГН, МБГ4, МБМ, К42У,
 МБП, КБГ, БМ; 3-МБГЦ, МБГО; 4-К40П-3;
 5-БГТ, БМТ, МБГТ, К40П-7; 6-К40У-9, К41-1





Р и с. 119. Керамические конденсаторы:

1-КМ; КТ-1, КЛМ; 2-КТ-2, КД-2; 3-КЛС, КП, КТ-3, КТ-4, КД-3, КД-4, КТП, КЛСЕ,

КТ-1Е, КТ-2Е, КД-Е, КТП-Е, КЛГ, КДУ; 4-КТИ

Р и с. 120. Электролитические конденсаторы:

1-КЭ, КЭ-2Н, ЭЦ, К50-5; 2-К50-3, К50-3Б; 3-К53-1, К50-3А; 4-ЭТО-С; 5-ЭТО

С О Д Е Р Ж А Н И Е

В в е д е н и е	3
1. Выбор и обоснование основной компоновочной схемы устройства.	4
2. Выбор и обоснование метода и принципа конструи- рования.	4
3. Обоснование выбора конструкций, применяемых ма- териалов и покрытий.	9
4. Расчет тепловых режимов радиоэлектронных бло- ков.	12
4.1. Расчет герметичных блоков.	13
4.2. Расчет температурного режима аппаратов в перфорированном кожухе.	24
5. Расчет радиаторов.	27
5.1. Порядок расчета штырькового радиатора.	27
6. Окончательный расчет надежности простых изделий по внезапным отказам.	31
7. Некоторые рекомендации по проектированию и кон- струированию РЭА.	37
7.1. Рекомендации по конструированию РЭА. [8].	37
7.2. Рекомендации по обеспечению теплового ре- жима.	39
7.3. Рекомендации, относящиеся к монтажу.	39
7.4. Рекомендации по защите аппаратуры от высокой влажности.	40
8. Требования к оформлению графического материала и пояснительной записки.	40

9. Защита проекта.	42
Л и т е р а т у р а	42
П р и л о ж е н и е	44

Валентина Владимировна А н д р е е в а
Галина Федоровна К р а с н о щ е к о в а

КОНСТРУИРОВАНИЕ И МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИЯ Р Э А

Учебное пособие

Редактор Н.В. К а с а т к и н а
Техн.редактор Н.М. К а л е н ю к
Корректоры Т.В.П о л я к о в а, С.С.Р у б а н

Подписано в печать 27.02.79 г. ЕО 00149.
Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.
Оперативная печать. Усл.п.л. 3,25. Уч.-изд.л. 3,0.
Тираж 500 экз. Заказ № 1812 Цена 10 коп.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. С.П.Королева. Куйбышев,
ул. Молодогвардейская, 151.

Областная типография им. В.П.Мяги, г. Куйбышев,
ул. Венцека, 60.