

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
имени С. П. КОРОЛЕВА

В. В. Андреева
Г. Ф. Краснощекова

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ

*Утверждено редакционным советом института
в качестве учебного пособия*

Андреева В. В., Краснощекова Г. Ф. *Расчет конструкции радиоэлектронной аппаратуры. Учебное пособие.* Куйбышев: Куйбышевский авиационный институт, 1984. — 54 с.

В пособии дана методика проведения ряда основных конструкторских расчетов, которые студенты выполняют в ходе проектирования радиоэлектронной аппаратуры. Формулы приводятся в виде, удобном для инженерных расчетов. Все разделы проиллюстрированы примерами.

В книге также содержатся материалы по обоснованию и выбору принципов конструирования, излагается методика моделирования, дан справочный материал, необходимый для расчета.

Пособие предназначено для студентов радиотехнического факультета, обучающихся по специальности 0705. Приведенный материал может быть использован ими при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также для самостоятельной работы в области конструирования.

Разделы 1—6, 8 и 9 подготовлены Г. Ф. Краснощековой, раздел 7 подготовлен В. В. Андреевой. Авторы будут благодарны за критические замечания, способствующие улучшению данной работы.

Ил. 23, табл. 22, библиогр. — 15 назв.

Рецензенты: доц. В. В. Крухмалев, доц. В. В. Рудь

ВВЕДЕНИЕ

Центральной проблемой конструирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и конструирования в целом является проблема оптимизации. Особенностью современного конструирования является не только необходимость получения оптимального варианта конструкции, но и нахождение такого оптимального варианта оптимальным образом за минимальное время и при минимальных затратах.

В настоящее время системный подход к решению проблемы внедряется во все разделы современной радиотехники, в том числе и в разделы, изучающие вопросы конструирования РЭА, и требует нового взгляда на уже сложившиеся вопросы конструирования, связанные с оптимизацией, и самого объекта конструирования. Значительное усложнение последних требует пристального внимания к вопросам моделирования процессов и систем. Кроме того, развитие вычислительной техники открывает широкие перспективы автоматизации конструирования, предпосылкой для которой является изучение современных математических методов оптимизации, приспособленных к использованию ЭВМ.

Ввиду большого разнообразия изучаемого материала усвоение курса представляет сложную задачу и должно сопровождаться самостоятельной работой с литературой. Пособие не исключает выбора студентом других путей решения задач, поставленных в проекте.

Работу над курсовым проектом рекомендуется проводить в следующей последовательности:

тщательное изучение задания на курсовое проектирование и исходных данных, в результате которого студент должен иметь ясное представление о назначении прибора, усвоить технические требования, условия работы и производства данного узла или блока;

электрический расчет, в результате чего 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;

определение мощности, выделяемой блоком или узлом.

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

1. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящее время значительно усложнились объекты проектирования, повысились требования, предъявляемые к ним, что заставило отказаться от традиционных методов проектирования и перейти к новым методам — *системным*. Системное проектирование невозможно без научной основы, без обобщения известных ранее методов проектирования, их анализа.

Проектирование включает в себя три основных стадии [1]:
дивергенция (анализ),
трансформация (синтез),
конвергенция (оценка).

Дивергенция — подготовительный этап, который включает в себя исследование проектной ситуации, сбор информации об объекте исследования. *Трансформация* — этап принятия решений. *Конвергенция* — совокупность логических и математических методов, носящих формальный характер. Это единственная стадия, которая поддается логическому анализу и может быть выполнена при помощи средств вычислительной техники.

Процесс инженерного проектирования содержит ряд этапов:

1. Изучение цели и задачи: на этом этапе задача формируется в общем виде, производится дивергентный поиск, необходимый для конкретизации задачи.

2. Выбор пути решения — это этап трансформации.

3. Формирование цели: на этом этапе выбирается идея, формируется способ решения.

4. Инженерный анализ — это этап конвергенции. Его основа — создание модели, ее анализ, оптимизация, обобщение результатов.

5. Конкретизация решения для определенных условий.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И УСТРОЙСТВ

Разработка модели процесса или устройства — ключевой этап инженерного проектирования.

Моделирование — исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения и изучения их моделей. Моделирование — одна из основных категорий теории познания. На идее моделирования базируется любой метод научного исследования, — как теоретический, так и экспериментальный. Любое явление можно считать понятным, когда, во-первых, найдено его математическое описание, т. е. то, что мы называем *математической моделью*, а во-вторых, эта математическая модель исследована, т. е. найдено решение уравнений.

Модель выражает количественные и качественные закономерности, свойственные рассматриваемым процессам или устройствам. Модель — это идеализация, она никогда не может быть точной копией объекта исследования, но между ними должны быть соблюдены некоторые соотношения подобия, которые гарантировали бы возможность использования сведений, полученных в результате моделирования, для оценки свойств реального объекта — оригинала.

В общем случае исходные данные для проектирования конструкции, а значит и для построения ее модели, включают такие основные компоненты [2], как:

- условия функционирования системы или явления;
- ограничения на структуру и параметры системы;
- совокупность показателей качества — некоторых параметров системы, определяющих ее качество и варьируемых в процессе проектирования;
- ограничения на показатели качества, определяемые возможностями реализации системы.

Система, которая удовлетворяет всей совокупности условий и ограничений на параметры и структуру, называется *допустимой*.

Допустимая система, которая удовлетворяет ограничениям на показатели качества, называется *строго допустимой*.

Таким образом, задачей проектирования является создание строго допустимой системы, обладающей наилучшей по заранее выбранному критерию совокупностью значений показателей качества. Такая система может быть названа *оптимальной*. Чтобы получить такую систему, необходимо найти экстремальные значения показателей качества. Их зависимость от параметров системы носит название *целевой функции*.

В целом совокупность целевых функций и ограничений представляет математическую формулировку задачи проектирования систем или явлений, т. е. является математической моделью объекта исследования. Математическая модель может быть названа универсальным инструментом проектирования и используется в инженерном проектировании.

В проектировании используют следующие виды моделей:
графические и описательные: схемы, графики, которые иллюстрируют процессы, происходящие в устройствах, описания алгоритмов и т. д.;

физические — они полностью повторяют объект исследования — могут быть масштабными, повторяющимися в определенном масштабе форму объекта;

математические — это наиболее совершенные модели. Математические модели могут быть динамическими и статическими (стационарными), кроме того, интерполяционными (частными) и экстраполяционными (обобщенными). К интерполяционным обычно относят эмпирические модели, а к экстраполяционным — аналитические модели.

3. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА И ПРИНЦИПА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В блоках РЭА между узлами существуют электрические, механические и другие связи. В зависимости от их взаимодействия различают методы конструирования (машиностроительный, геометрический).

Машиностроительный метод применяют 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, которое в подвижных соединениях вызывает появление зазора, а в неподвижных — большие напряжения. Кроме того, точность движения и взаимное расположение деталей обеспечиваются 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. 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 на основе геометрического метода, мало пригодны для работы при больших механических нагруз-

ках, так как число точек опоры не зависит от числа и величины действующих сил в конструкциях, а выбирается 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 [3].

Немаловажную роль при конструировании играет изучение структуры электрических связей изделия. Наиболее перспективными в этом плане являются методы «печатных плат». Их различают по способу получения токопроводящего покрытия и по способу нанесения печатных проводников. Токопроводящие покрытия получают следующими способами:

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

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

фольгированием: лист медной электролитической фольги приклеивается к изоляционному основанию листа с одной или с двух сторон;

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

шоопированием: разбрызгивание с помощью воздушного пистолета расплавленного металла на изоляционное основание;

вакуумным распылением: металлическая пленка наносится на основание путем распыления металла в вакууме;

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

Способы нанесения изображения печатных проводников следующие:

фотографический — копирование контактным способом изображения проводника с фотодианозитива или негатива на основание. Основание должно быть покрыто светочувствительной эмульсией;

офсетный — нанесение защитной краски на основание пози-

тивного или негативного изображения с помощью печатной формы;

сеточнографический — краска наносится на основание через сетчатый трафарет;

прессование — с помощью пресс-формы на плате создается позитивное рельефное изображение проводников в виде канавок;

штамповка — вырубка с помощью штампа проводников из листа фольги, наложенного на изоляционное основание.

Наряду с перечисленными существуют и другие способы нанесения изображения печатных проводников — такие как 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 известны методы изготовления печатных плат: фотохимический, офсетохимический, сеточно-химический, метод вжигания, метод распыления по шаблону, комбинированный, метод переноса.

При мелкосерийном производстве большее применение нашли фотохимический, офсетохимический, комбинированный методы изготовления печатных 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 металла. Разрешающая способность методов изготовления плат дана в табл. 1.

Таблица 1

Разрешающая способность основных методов изготовления печатных плат

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

Из многочисленных электроизоляционных материалов в производстве печатных плат в настоящее время применяются: гети-

также марок ГФ-1П, 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 материалы, используемые при фотохимическом методе, а также низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД-180-2 и стеклотекстолит СФ-2.

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

Таблица 2

Сопротивления изоляции плат в различных климатических условиях

Марка	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...42°C	после воздействия повышенной температуры в течение 2 ч	после воздействия пониженной температуры в течение 2 ч
Фольгированный гетинакс ГФ-1П, ГФ-2П	Химический, комбинированный	0,2	5000	15	20	1000
		0,3				
Фольгированный диэлектрик на основе стеклотекстолита СФ-1, СФ-2	Химический, комбинированный	0,2				
		0,3	10000	50	500	5000
НФД-180-1	Химический	0,2	10000	50	500	5000
НФД-180-2	Комбинированный	0,3	10000	50	500	5000

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

моноосхемный (блочный): вся принципиальная схема изделия располагается на одной печатной плате. При этом сборка, регулировка и разборка отдельных блоков могут выполняться независимо друг от друга. Время на изготовление блоков затрачивается минимальное, и легко осуществляется взаимозаменя-

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

схемно-узловой (функционально-узловой): 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 его преимущество — возможность быстрой смены вышедших из строя элементов. Но для этого в конструкции должны быть применены разъемные соединения, что также снижает надежность РЭА.

Вопросы автоматизации конструирования решаются с применением *модульно-компонентного* принципа конструирования. В основу конструкции узлов по данному методу положено единство размеров компонентов схемы.

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.

4. **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИИ**

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 конструкции. Материалы, используемые в элементах РЭА, можно разделить на изоляционные, проводниковые, контактные и конструкционные. Под воздействием влажности все материалы изменяют и механические, и электрические свойства. Так 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 и конструкционных материалов под воздействием влаги наблюдается окисление и коррозия.

Водопроницаемость различных материалов дана в табл. 3.

Таблица 3

Водопроницаемость материалов

Материалы	Водопроницаемость при 20°C, см ² /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 проведения поисковых работ, особенно в области создания новых материалов, так как нестабильность параметров элементов, вызванная воздействием температуры, составляет 60—70%, а нестабильность, вызванная совместным действием температуры и влаги, составляет 95—98% от общей нестабильности.

В практике производства радиоаппаратуры применяют несколько способов влагозащиты полимерными материалами: пропитка, заливка, обволакивание, опрессовка и консервация.

Пропитка и заливка осуществляются лаками и компаундами, обволакивание и опрессовка производятся с помощью компаундов и пластмасс. Консервация осуществляется в основном поли-

Таблица 4

Влажностные характеристики полимерных материалов

Полимерные материалы	Коэффициент диффузии, см ² /г	Коэффициент влагопроницаемости, г/см · торр	Коэффициент растворимости, г/см ³ · торр
Лаки			
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 эпоксидные:			
Э-2200	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
К-115	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
кремнийорганические:			
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:			
К-211-34	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
ФКП-32	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$

мерными пленками. Более подробно влияние влаги на радио-конструкцию рассматривается в работе [4].

Влажностные характеристики лаков, компаундов, пластмасс даны в табл. 4.

5. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ

Для расчета тепловых режимов блоков РЭА необходимы сведения о конструкции, т. е. значения основных размеров блока, материалов, из которых он изготовлен, и сведения об окружающей среде (условия эксплуатации). В табл. 5 даны условия работы РЭА различного назначения и принята следующая классификация РЭА:

группа I — радиоаппаратура в закрытых отапливаемых помещениях;

группа II — радиоаппаратура в закрытых наземных и надземных помещениях с повышенной относительной влажностью. Для корабельной аппаратуры, расположенной на верхней палубе;

группа III — аппаратура в специально оборудованных, отапливаемых во время работы помещениях;

группа IV — аппаратура, находящаяся в неотапливаемых помещениях;

группа V — аппаратура в танках.

Расчет тепловых режимов включает расчет тепловой характеристики, которая представляет собой зависимость температуры блока (или его поверхности) от величины мощности, рассеиваемой блоком. Тепловой режим РЭА зависит от многих факторов, поэтому точный его расчет возможен только для тел, имеющих простые геометрические формы.

Наиболее распространенными методами расчета теплового режима конструкции являются методы с использованием модели устройства с нагретой зоной [5,6]. 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).

На основании коэффициентного метода расчета [5] зависимость между перегревом нагретой зоны и влияющими на него параметрами имеет вид
$$V_3 = \prod_{i=1}^n k_i,$$

где V_3 — перегрев нагретой зоны относительно температуры окружающей среды, °С; k_i — коэффициент, зависящий от n -го

Условия работы РЭА различного назначения

Воздействующие факторы	Единицы измерения	Виды и группа РЭА										
		наземная					самолетная					корабельная
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV		
Вибрация с частотой	Гц	—	2—80	2—80	2—80	15—120	3—400	3—400	3—400	5—35	15—120	
Ускорение, не более	g	—	4—1	4—1	6—3	6—2	2—10	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	—	—	—	20	50	
Относительная влажность	%	93	98	98	98	98	98	98	98	98	98	
Температура	°C	30	30	40	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	—50+65	
Атмосферное давление	мм. рт. ст.	760	760	460	460	460	460	200	760	760		
Слой воды	см	—	—	—	—	50	50	—	50	—		
Водяные брызги	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5		
Воздушный поток с пылью	м/с	—	—	—	—	10—15	10—15	10—15	10—15	—		

параметра; n — общее число параметров, влияющих на величину V_3 .

В работе приводится инженерная методика расчета тепловых режимов блоков РЭА при воздушном охлаждении [7], выведенная на базе эксперимента для РЭА в герметичном и перфорированном корпусе.

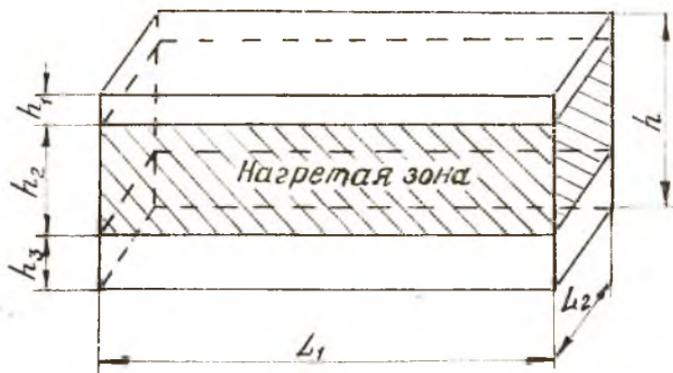


Рис. 1. Схематическая тепловая модель электронного блока

В результате расчета получено значение температуры нагретой зоны в установившемся режиме.

При отсутствии наружного обдува корпуса и перемешивания воздуха внутри устройства за счет вентилятора выражение для перегрева нагретой зоны имеет вид

$$V_{3I} = k_{q_3} k_n, \quad (1)$$

где k_{q_3} — коэффициент, зависящий от удельной мощности q_3 нагретой зоны, °С;

$$q_3 = \frac{P_3}{S_3}, \quad (2)$$

где P_3 — мощность, рассеиваемая нагретой зоной, Вт;
 S_3 — условная поверхность нагретой зоны, м².

$$S_3 = 2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2) \cdot hk], \quad (3)$$

где l_1, l_2 — стороны основания нагретой зоны, м;

h — высота нагретой зоны, м;

k — коэффициент заполнения блока, т. е. отношение реального объема нагретой зоны к полному объему блока.

В выражение (1) входит коэффициент k_n , зависящий от коэффициента перфорации, который, в свою очередь, может быть определен как

$$\Pi = \frac{S_n}{2 \cdot l_1 \cdot l_2}, \quad (4)$$

здесь S_n — площадь отверстий в блоке,

$$S_n = \sqrt{\frac{3}{\frac{1}{s_1^2} + \frac{1}{s_2^2} + \frac{1}{s_3^2}}}, \quad (5)$$

где s_1, s_2, s_3 — площади отверстий в нижней части корпуса (под шасси), в верхней части корпуса (над шасси) и в шасси.

Так как методика, на основании которой проводится расчет [7], базируется на экспериментальных исследованиях, то значения k_{q_3} и k_n определяются из математических выражений

$$k_{q_3} = 0,1390 \cdot q_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3} \cdot q_3^2 + 0,0688 \cdot 10^{-6} \cdot q_3^3, \quad (6)$$

$$k_n = 0,29 + \frac{1}{1,3 + 4,95 \Pi}. \quad (7)$$

Для удобства нахождения k_{q_3} и k_n пользуются зависимостями, показанными на рис. 2 и 3.

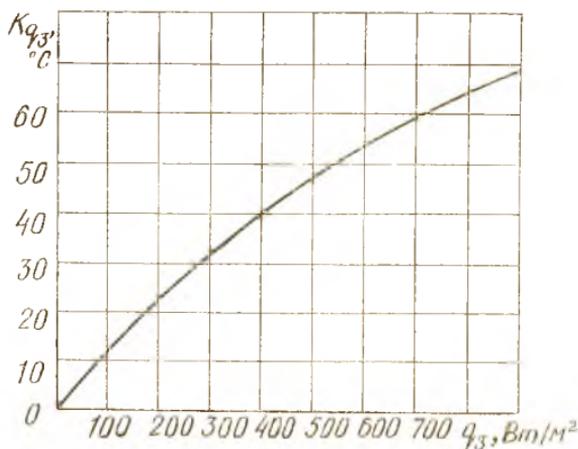


Рис. 2. Зависимость коэффициента $k_{q_3} = f(q_3)$

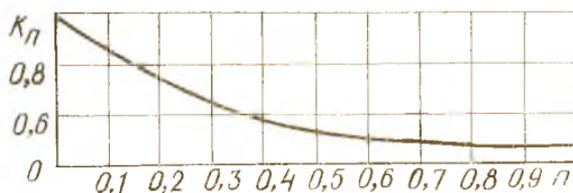


Рис. 3. Зависимость коэффициента $k_n = f(\Pi)$

Если корпус устройства герметичный, то $k_n = 0$ и

$$V_k = k_{q_3}, \quad (8)$$

т. е. перегрев корпуса зависит только от удельной мощности q_k , рассеиваемой корпусом прибора,

$$\text{где } q_k = \frac{P_k}{S_k}, \quad (9)$$

$$S_k = 2[L_1 L_2 + (L_1 + L_2)h], \quad (10)$$

в формуле (10) L_1, L_2 — длина и ширина корпуса, h — высота корпуса.

Подставляя значение (10), приводим выражение (8) к виду

$$V_k = 0,1472 q_k - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot q_k^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot q_k^3. \quad (11)$$

Эта аналитическая зависимость может быть представлена графически (рис. 4).

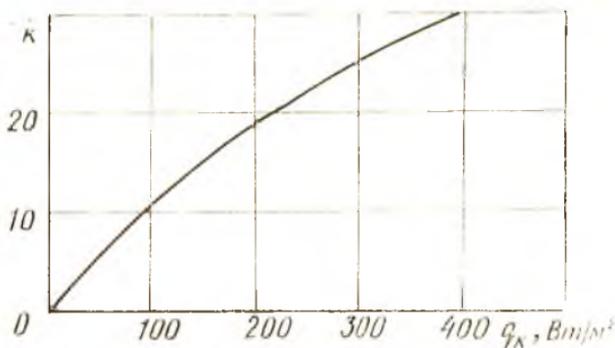


Рис. 4. Зависимость перегрева от удельной мощности

Если корпус устройства находится в условиях вынужденной конвекции (имеется обдув корпуса) и при атмосферном давлении, отличном от нормального, то

$$V_3 = V_k k_{H1} k_V + (V_{31} - V_k) k_{H2} k_W, \quad (12)$$

где k_{H1} — коэффициент, который зависит от величины атмосферного давления снаружи корпуса устройства — H_1 , мм рт. ст.;

k_V — коэффициент, который зависит от скорости наружного обдува корпуса рассчитываемого устройства — V , м/с;

k_{H2} — коэффициент, который зависит от величины атмосферного давления внутри корпуса устройства — H_2 , мм рт. ст.;

k_W — коэффициент, который зависит от скорости перемещения воздуха внутри устройства — W , м/с;

$$W = a \frac{G_b}{V_b}, \quad (13)$$

где $a = 0,6 \text{ м}^4/\text{кг}$;

$G_{\text{в}}$ — производительность вентилятора, кг/с;

$V_{\text{в}}$ — объем воздуха в устройстве или модели, м^3 .

Указанные коэффициенты могут быть определены по графикам, приведенным на рис. 5—8.

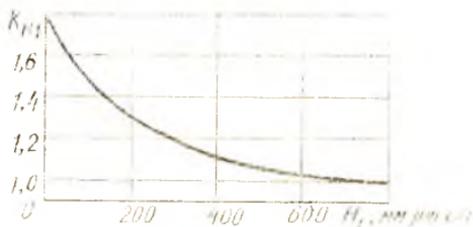


Рис. 5. Зависимость $k_{H1} = f(H_1)$

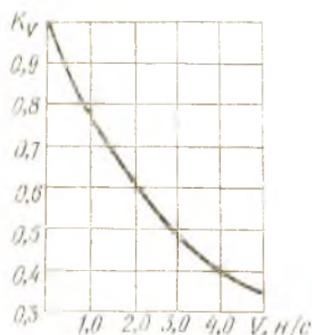


Рис. 6. Зависимость $k_V = f(V)$

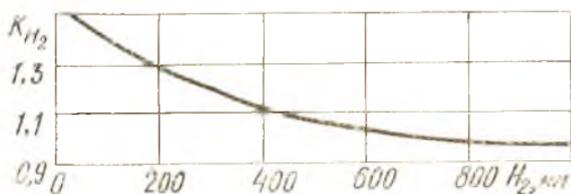


Рис. 7. Зависимость $k_{H2} = f(H_2)$

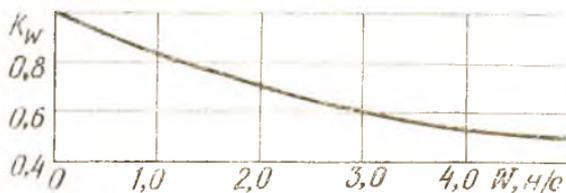


Рис. 8. Зависимость $k_W = f(W)$

Коэффициенты k_{H1} , k_V , k_{H2} , k_W могут быть найдены по формулам

$$k_{H1} = 0,82 + \frac{1}{0,925 + 0,61 \cdot 10^{-2} \cdot H_1}, \quad (14)$$

$$k_V = \frac{1}{1 + 0,347 V}, \quad (15)$$

$$k_{H2} = 0,8 + \frac{1}{1,25 + 0,5 \cdot 10^{-2} \cdot H_2}, \quad (16)$$

$$k_w = 0.08 + \frac{1}{1.09 + 0.27 \cdot W} \quad (17)$$

Таким образом, расчет ведется в следующей последовательности. По известным габаритным размерам устройства и коэффициенту заполнения определяется S_3 — условная поверхность нагретой зоны и S_k — поверхность корпуса.

По расчетному значению мощности, рассеиваемой нагретой зоной (из электрического расчета схемы) определяются удельные мощности q_n и q_k . Рассчитав площадь перфорации S_n и зная размеры площади корпуса, определяют коэффициент перфорации и по графикам, указанным выше, находят коэффициенты k_{q_3} и k_n , после чего — значение перегрева нагретой зоны $V_{3г}$, по соответствующим графикам устанавливают величину перегрева герметичного корпуса V_k в зависимости от мощности при нормальных условиях эксплуатации.

Далее, если необходимо, определяется величина перегрева зоны относительно среды при наличии вынужденной конвекции и атмосферном давлении, отличном от нормального — V_3 , для чего по предложенным выше графикам находятся коэффициенты k_{H1} , k_{H2} , k_v , k_w и подставляются в выведенное выражение для определения V_3 . И, наконец, определяется температура зоны с учетом температуры окружающей среды:

$$t_3 = t_c + V_3 \quad (18)$$

На этом расчет заканчивается, тепловая характеристика, т. е. зависимость перегрева или температуры от рассеиваемой аппаратом мощности, может быть построена.

Пример расчета температурного поля показан в приложении.

6. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Целью расчета является определение собственных частот колебаний конструкции, определение основных параметров вынужденных колебаний амортизируемого блока и установление эффективной виброизоляции рассчитываемой системы амортизации.

Исходными данными для расчета должны быть: вес устройства, геометрические размеры устройства, воздействующие факторы, взятые из табл. 5 разд. 5 (диапазон частот источника возмущающей силы, амплитуда ускорения и т. д.).

Конструирование системы амортизации РЭА начинают с вы-

бора типа амортизаторов и схемы их расположения на объекте исследования. Характеристики наиболее распространенных амортизаторов типа АД приведены в табл. 6.

Таблица 6

Характеристики амортизаторов

Тип амортизатора	Нагрузка на амортизатор, кг	Прогиб, мм	Статическая жесткость, кг/мм
АД-6	0,3— 0,6	2,5—5,5 ± 1,0	0,17
АД-1,0	0,6— 1,0	3,0—5,0 ± 1,0	0,20
АД-1,5	1,0— 1,5	5,5—7,5 ± 1,0	0,25
АД-3,0	1,5— 3,0	4,0—7,0 ± 1,0	0,5
АД-5	3,0— 5,0	5,0—7,5 ± 1,0	0,8
АД-7	5,0— 7,0	5,5—7,5 ± 1,0	1,0
АД-10	7,0—10,0	5,5—8,0 ± 1,0	1,2
АД-15	10,0—15,0	5,5—8,0 ± 1,0	1,6

Выбор амортизаторов осуществляется с учетом нагрузок на них.

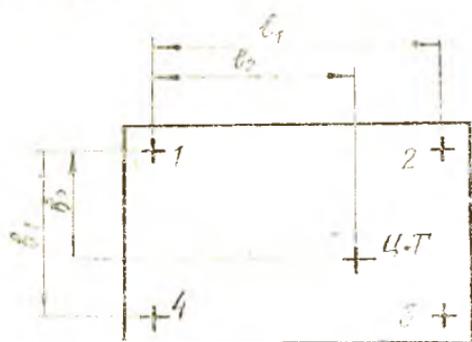


Рис. 9. Несимметричное расположение амортизаторов относительно центра тяжести

Если амортизаторы расположены симметрично относительно центра тяжести прибора, то их нагруженность определится из соотношения [8]

$$G_1 = G/n, \quad (19)$$

где G — вес прибора;
 n — число амортизаторов.

Если амортизаторы расположены не симметрично относительно центра тяжести, как показано на рис. 9, то нагрузки могут

быть определены из соотношений

$$G_1 = \frac{G(l_1 - l_2) \cdot (b_1 - b_2)}{l_1 \cdot b_1}, \quad (20)$$

$$G_2 = \frac{G(b_1 - b_2) l_2}{l_1 \cdot b_1}, \quad (21)$$

$$G_3 = \frac{G(l_1 - l_2) b_2}{l_1 \cdot b_1}, \quad (22)$$

$$G_4 = \frac{G \cdot l_2 b_2}{l_1 \cdot b_1}, \quad (23)$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4. \quad (24)$$

Принципиальная схема системы амортизации зависит от характера расположения объекта исследования на рабочем месте и условий эксплуатации, а также от условий динамического воздействия.

По величине реакций $G_1 \dots G_4$ выбирается типоразмер амортизатора (табл. 6) с соответствующими коэффициентами статической жесткости

$$k = \frac{P_i}{\delta}, \quad (25)$$

где δ — статический прогиб амортизатора.

По известным реакциям и жесткости этот статический прогиб определяется по формуле

$$\delta_{i \text{ ст}} = \frac{P_i}{k_i}. \quad (26)$$

Разницу в прогибах при конструировании обычно компенсируют шайбами или прокладками.

Для определения собственной частоты колебаний амортизируемой аппаратуры f_0 необходимо знать массу прибора, суммарный коэффициент жесткости

$$k_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n k_i \quad (27)$$

или статические прогибы всех амортизаторов при статической нагрузке [9].

Тогда

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n k_i g}{G}}, \quad (28)$$

$$f_0 = \frac{15,8}{\sqrt{\delta_{\Sigma \text{ ст}}}}, \quad (29)$$

где k_i — коэффициент жесткости i -го амортизатора,

g — $9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, ускорение силы тяжести,

G — вес устройства.

Далее производится оценка динамических характеристик системы при заданных условиях вибрации (частота вибрации — f , амплитуда вибрации — ε).

Амплитуда вынужденных колебаний при кинематическом возбуждении определяется по формуле [9]:

$$A = \frac{\varepsilon}{|1 - \Omega^2/\omega_0^2|}, \quad (30)$$

где ε — максимальное значение амплитуды перемещения основания,

Ω — частота возмущающих колебаний основания,

ω_0 — угловая частота собственных колебаний.

На практике часто пользуются величиной перегрузки — зависимостью амплитуды ускорения:

$$n = \frac{f^2 A}{250}, \quad (31)$$

Эффективность виброизоляции прибора в направлении осей координат для каждой частоты собственных колебаний может быть определена с помощью коэффициента динамичности

$$1/\gamma = \frac{1}{1 - \eta^2}, \quad (32)$$

где $\eta = \Omega/\omega_0$ — настройка — отношение возбуждающей частоты к собственной частоте колебаний. Это выражение справедливо при малом демпфировании $k_d = 0,2 \dots 0,5$.

Под коэффициентом динамичности $1/\gamma$ понимается величина, показывающая, во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний больше (или меньше) амплитуды возмущающих колебаний основания системы.

Запас по частоте для самой близкой частоты вибрации f по отношению к f_0 определяется по формуле

$$z = \frac{1}{f_0 \sqrt{2}}, \quad (33)$$

график зависимости коэффициента динамичности от настройки имеет вид, показанный на рис. 10. Его анализ позволяет сделать следующие выводы:

если частота возбуждения мала по сравнению с частотой колебаний f_0 системы, то коэффициент $1/\gamma$ незначительно отличается от единицы и применение амортизаторов в таком случае бесполезно;

когда величина η приближается к единице, коэффициент $1/\gamma$ возрастает и при малом демпфировании амплитуда колебаний массы m принимает большие значения (резонанс);

для всех величин демпфирования изоляция колебаний выполняется при $\eta > 1,2$. В большинстве случаев достаточно, чтобы $\eta = 2,5 \dots 5$;

при $\eta > \sqrt{2}$ величина $1/\gamma$ тем меньше, чем меньше демпфирование, т. е. коэффициент демпфирования на таком участке оказывает невыгодное влияние. Однако его повышение отрицательно сказывается при резонансе. Поэтому при расчете виброизоляции идут на некоторое искусственное увеличение демпфирования подвески даже за счет увеличения $1/\gamma$ в области высоких частот.

Пример расчета конструкции, находящейся под действием механических нагрузок, показан в приложении.

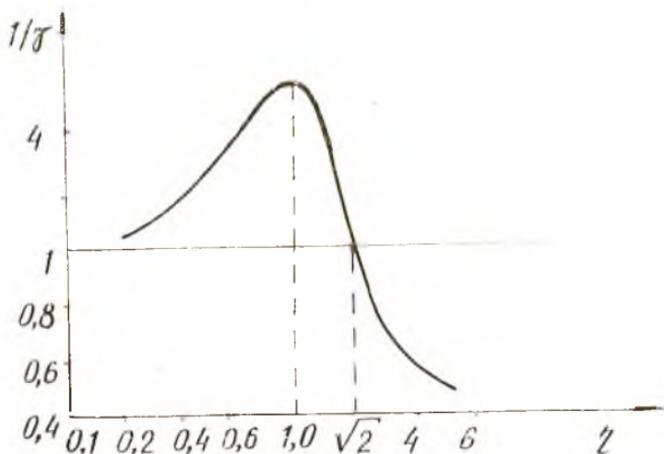


Рис. 10. Зависимость коэффициента динамичности от частоты

7. ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ПРОСТЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО ВНЕЗАПНЫМ ОТКАЗАМ

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

Под простыми изделиями с точки зрения 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 [10]:

все элементы с точки зрения надежности соединены последовательно, т. е. отказ одного любого элемента приводит к полному отказу изделия;

интенсивность отказов элементов постоянна во времени, т. е. старение и износ элементов отсутствуют и наблюдаются лишь внезапные отказы;

отказы и восстановления элементов взаимно независимы; во время ремонта изделие выключено, и поэтому элементы не могут вызвать отказа.

Исходными данными для расчета надежности являются: типы и количество элементов, применяемых в изделии; значения интенсивности отказов элементов в номинальном режиме (табл. П1); значения коэффициента электрической нагрузки k_n для каждого элемента; значение t° — температуры окружающей среды для каждого элемента; поправочные коэффициенты $a = f(k_n, t^\circ)$, 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), значение среднего времени восстановления одного элемента каждого типа τ (табл. П9).

Прежде чем приступить к расчету надежности, необходимо определить значение коэффициентов электрической нагрузки (коэффициентов нагрузки) k_n 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 [1]. Определение k_n 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_n по данному параметру определяется как отношение фактической величины параметра к номинальному значению по ТУ. В табл. П10 приведены допустимые значения коэффициентов нагрузки, параметры элементов, по которым определяются коэффициенты нагрузки.

При выборе k_n необходимо учитывать тепловой режим работы элемента. На рис. П1-П10 приведены зависимости максимально допустимого значения $k_{нд}$ от температуры окружающей среды для полупроводниковых диодов и триодов, резисторов, конденсаторов. Для других типов элементов в табл. П10 указаны максимально допустимые значения k_n . Температура среды, окружающей элемент, не должна превышать максимально

допустимую температуру 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 объединить в группы.

Подсчет коэффициентов нагрузки различных элементов проводится по следующим формулам:

1. Полупроводниковые диоды и селеновые выпрямители.

Коэффициент нагрузки по напряжению

$$k_{\text{н}} = \frac{U_{\text{обр}}}{U_0},$$

где $U_{\text{обр}}$ — амплитуда обратного напряжения,

U_0 — допустимое обратное напряжение по ТУ.

Коэффициент нагрузки по току

$$k_{\text{н}} = \frac{I_{\text{ср выпр}}}{I_0},$$

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:

$$k_{\text{н}} = \frac{U_{\text{кэ}}}{U_{\text{кэ0}}}; \quad k_{\text{н}} = \frac{U_{\text{кб}}}{U_{\text{кб0}}}; \quad k_{\text{н}} = \frac{U_{\text{эб}}}{U_{\text{эб0}}}; \quad k_{\text{н}} = \frac{P}{P_0},$$

где $U_{\text{кэ}}$ — прямое напряжение между коллектором и эмиттером, $U_{\text{кэ0}}$ — допустимое прямое напряжение между коллектором и эмиттером (аналогично для остальных $k_{\text{н}}$ по напряжению),

P — мощность, рассеиваемая на транзисторе,

P_0 — допустимая рассеиваемая мощность по ТУ.

Наибольшее значение того или иного $k_{\text{н}}$ по напряжению зависит от схемы включения транзистора.

При определении $k_{\text{н}}$ по мощности следует учитывать также режим работы транзистора. Так, в режиме синусоидального сигнала:

для маломощных усилительных и генераторных транзисторов в режиме без насыщения $P = P_{\text{к}}$, где $P_{\text{к}}$ — средняя рассеиваемая мощность на коллекторе; в режиме с насыщением $P = P_{\text{к}} + P_{\text{э}}$, где $P_{\text{э}}$ — средняя рассеиваемая мощность на эмиттере;

для мощных транзисторов, включенных по схеме с общим эмиттером, $P = P_{\text{к}} + P_{\text{б}} = P_{\text{кб}} = P_{\text{к}} + P_{\text{в}} = P_{\text{бв}}$, где $P_{\text{к}}$, $P_{\text{б}}$ — мощности, рассеиваемые на коллекторе и базе, соответственно;

$P_{к0}$, P_{00} — мощности, отдаваемые источниками коллекторного напряжения и смещения, соответственно; P — мощность на нагрузку; $P_{в}$ — мощность источника возбуждения.

3. Резисторы. В общем случае $k_{п}$ резистора находится по формуле

$$k_{п} = \frac{P}{P_0},$$

где $P = \frac{1}{R} U^2 = I^2 R$ — средняя рассеиваемая мощность;

U, I — действующие (эффективные) значения напряжения;

R — номинальное значение сопротивления резистора;

P_0 — допустимая мощность рассеяния по ТУ.

При синусоидальном режиме работы (рис. 11)

$$P = \frac{U_0^2}{R} + \frac{U_m^2}{2R} = I_0^2 R + \frac{I_m^2}{2} R.$$

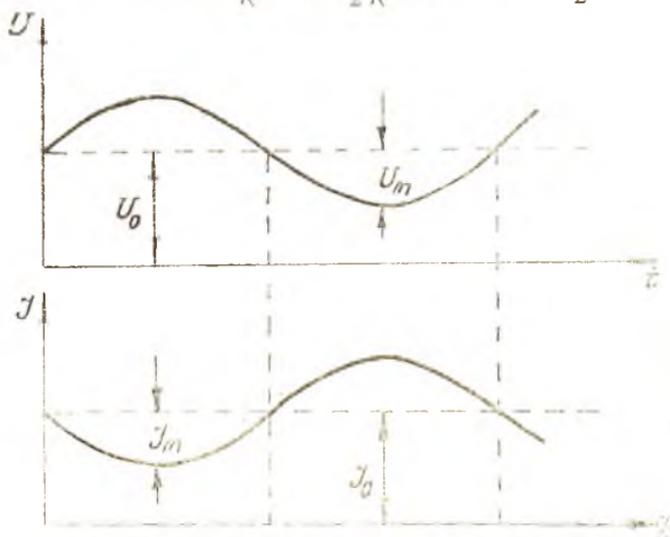


Рис. 11. Режим синусоидального сигнала

4. Потенциометры. Коэффициент нагрузки потенциометров определяется по формулам:

$$k_{п} = \frac{U_{общ}^2 R_{ном}}{R_{общ}^2 P_{ном}} = I_{общ}^2 \frac{R_{ном}}{P_{ном}}; \quad R_{общ} = \frac{U_{общ}}{I_{общ}},$$

где $R_{ном}$, $P_{ном}$ — номинальное значение параметров потенциометра;

$U_{общ}$, $I_{общ}$ — действующие (эффективные) значения напряжения и тока (рис. 12).

5. Конденсаторы. k_n конденсаторов определяется по формуле

$$k_n = \frac{U_{=} + U_{\sim} + U_{\lambda}}{U_{\text{ном}}},$$

где $U_{=}$, U_{\sim} , U_{λ} — постоянное, амплитуда переменного, амплитуда импульсного напряжения на конденсаторе, соответственно;

$U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение по ТУ.

Для некоторых типов конденсаторов необходимо учитывать допустимое значение амплитуды переменного напряжения в зависимости от частоты (табл. П11) [12].

6. Трансформаторы силовые, дроссели низкочастотные.

$$k_n = \frac{I_{\text{раб}}^2}{I_0^2},$$

где $I_{\text{раб}}$ — рабочий ток в обмотке,

I_0 — допустимый ток по ТУ.

Для остальных элементов k_n 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 $T_{\text{в}}$.

Интенсивность отказов вычисляется по формуле

$$\Lambda = k_1 k_2 k_3 \sum_{i=1}^r n_i \lambda_i,$$

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 (см. табл. П6-П8). Для лабораторных условий эксплуатации $k_1 = k_2 = k_3 = 1$;

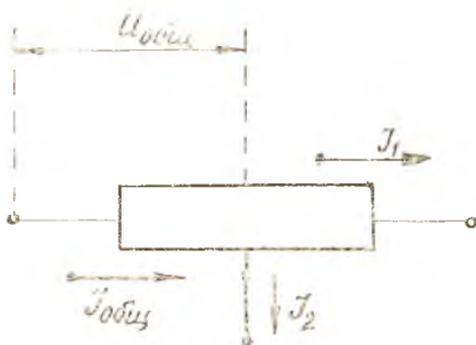


Рис. 12. Действующие значения напряжения и тока

r — число типов элементов;

n_i — число элементов i -го типа;

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

λ_i — интенсивность отказов одного элемента i -го типа.

Величина λ_i определяется по формуле

$$\lambda_i = a_i \lambda_{0i},$$

где a_i — поправочный коэффициент, учитывающий конкретный электрический и тепловой режимы работы элемента (см. табл. П2-П5);

λ_{0i} — номинальная интенсивность отказов одного элемента i -го типа (при $k_{\text{н}} = 1,0$ и $t^\circ = 20^\circ\text{C}$) (см. 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 времени является экспоненциальным. При расчете $P(t)$ в качестве t часто берется общее требуемое время эксплуатации изделия. Это неверно, так как упускается из вида природа внезапных отказов, вызванных случайными концентрациями нагрузок внутри и вне элемента (скачки электрической, тепловой, механической и других видов нагрузки). Необходимость определения t как заданного времени непрерывной работы изделия (от включения до выключения) теоретически обосновывается характеристическим свойством экспоненциального закона распределения: вероятность безотказной работы на данном интервале ($i, t + \tau$) не зависит от времени предшествующей работы, а зависит только от длины интервала τ [13].

Обычно $\Lambda t \ll 1$, поэтому для расчета вероятности безотказной работы можно использовать приближенную формулу: $P(t) \approx 1 - \Lambda t$, ошибка здесь не превосходит $1/2 (\Lambda t)^2$.

Среднее время безотказной работы $T = 1/\Lambda$. Следует иметь в виду, что фактическое среднее время работы до отказа, т. е. средняя долговечность, в большинстве случаев меньше T . Это объясняется тем, что интенсивность отказов, постоянная в период нормальной эксплуатации, далее, в третьем периоде использования элементов (старении), возрастает, так как на любом элементе в конце концов начинает сказываться старение и износ. Поэтому T — это среднее время безотказной работы такого элемента, интенсивность отказов которого постоянна на всем бесконечном интервале времени. Для современных дискретных радиоэлементов величина T составляет в среднем 10^6 ч, средняя долговечность — $5 \cdot 10^5$ ч [10]. Исходя из этого, в каче-

таблица расчета надежности приведенного образца;
 значения вычисленных показателей надежности;
 ссылки на использованную литературу.
 Пример расчета надежности дан в приложении.

8. РАСЧЕТ УРОВНЯ УНИФИКАЦИИ КОНСТРУКЦИИ

Под уровнем унификации конструкции понимается насыщенность ее стандартными и заимствованными составными частями [14]. Составной частью может быть деталь, сборочная единица и т. д. Уровень унификации конструкции характеризуется следующими показателями:

$k_{\text{пр к}}$ — коэффициент применяемости конструкции;

$k_{\text{п к}}$ — коэффициент повторяемости конструкции:

$$k_{\text{пр к}} = \frac{n_{\text{с}} + n_{\text{з}}}{n_{\text{с}} + n_{\text{з}} + n_{\text{о}}} 100\% = \frac{n_{\text{к}} - n_{\text{о}}}{n_{\text{к}}} 100\% ,$$

где $n_{\text{к}}$ — общее количество типоразмеров конструкции без учета покупных типоразмеров;

$n_{\text{с}}$ — количество стандартных типоразмеров;

$n_{\text{з}}$ — количество заимствованных типоразмеров;

$n_{\text{о}}$ — количество оригинальных типоразмеров.

$$k_{\text{п к}} = \frac{N_{\text{к}} - n_{\text{к}}}{N_{\text{к}}} 100\% ,$$

где $N_{\text{к}}$ — общее количество составных частей изделия в штуках без учета покупных составных частей, $N_{\text{к}} = N_{\text{с}} + N_{\text{з}} + N_{\text{о}}$;

$n_{\text{к}}$ — общее количество типоразмеров без учета покупных составных частей, $n_{\text{к}} = n_{\text{с}} + n_{\text{з}} + n_{\text{о}}$.

Под типоразмером понимается составная часть конструкции, которая может быть записана отдельной позицией в спецификацию.

К числу *стандартных* относятся части конструкции, изготавливаемые по государственным и отраслевым стандартам и по нормам. Из расчета исключаются: крепежные детали, электромонтажные детали (скобы, наконечники и т. д.).

К *заимствованным* относятся составные части конструкции, ранее спроектированные как оригинальные для одной конструкции и используемые в другой, к таким относятся: детали и узлы, выбранные по перечням (ТЭЗЫ, модули и т. д.), нормалам (стандартам) предприятия. Кабели и моточные изделия тоже относятся к заимствованным.

К числу *оригинальных* следует отнести части конструкции, разработанные и изготовленные впервые для данного изделия.

Коэффициенты $k_{прк}$ и $k_{пк}$ подсчитываются по спецификациям без учета входящих в них составных частей (сборочных единиц, деталей).

Количество оригинальных подсчитывается по спецификации с учетом входящих в них составных частей. В этом случае сборочные единицы должны быть раскрыты до деталей.

Оформляется расчет уровня унификации в виде таблиц, одна из которых позволяет определить коэффициент применяемости конструкции (табл. 8), а вторая — коэффициент повторяемости (табл. 9).

Таблица 8

Коэффициент применяемости конструкции

Условное обозначение составной части конструкции	Количество типоразмеров в ед.						$k_{прк}$
	n_c	n_z	n_o	n_{Σ}	n_k	$n_k - n_o$	

Таблица 9

Коэффициент повторяемости конструкции

Условное обозначение составной части конструкции	Количество составных частей, шт.						$k_{пк}$
	N_c	N_z	$N_{п}$	N_o	N_{Σ}	$N_{\Sigma} - n_{\Sigma}$	

Расчет уровня унификации изделия производится аналогично, только добавляется еще одна составляющая — насыщенность покупными составными частями n_n или $N_{п}$, к таковым относятся составные части изделия, не изготовленные на данном предприятии, а получаемые в готовом виде от других предприятий-изготовителей. Результаты расчета округляются до целого числа. Конкретный пример расчета уровня унификации конструкции приведен в приложении.

9. НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И КОНСТРУИРОВАНИЮ РЭА

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ РЭА

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 [15].

3. Все винты и винтовые крепления должны выполняться со специальной контровкой или иметь контровочную шайбу.

4. Компоновку аппаратуры рекомендуется производить функционально-узловым методом.

5. Рекомендуется широко применять фотохимические способы нанесения надписей.

6. Запрещается применение в аппаратуре следующих материалов:

в качестве электрической изоляции — эбонита, резины, содержащих серу, фибры, целлулонда, дерева, органического стекла;
в качестве конструкционного материала — эбонита, целлулонда, резины, 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 располагаются как можно ниже.

12. Съемные узлы и детали рекомендуется изготавливать взаимозаменяемыми.

13. Необходимо учитывать различие температурных коэффициентов материалов.

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

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

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

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

2. Размещение деталей внутри блоков должно обеспечивать допустимую температуру в установленном тепловом режиме.

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 сердечником.

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

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

6. Рекомендуется применять тепловые экраны (полированные) для защиты от тепловой изоляции.

7. Тепловыделяющие элементы недопустимо устанавливать друг над другом.

РЕКОМЕНДАЦИИ К МОНТАЖУ

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

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

3. За кабельные выводы при монтаже разрешается крепить 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 избежание обрыва от тряски.

7. Схемный монтаж должен покрываться лаком.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ АППАРАТУРЫ ОТ ВЫСОКОЙ ВЛАЖНОСТИ

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: желательнее применять одновременно оба вида покрытий.

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

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

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА И ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Записка должна быть написана на листах бумаги формата А1 с обязательным оставлением полей, со штампом согласно ЕСКД и подшита в папку. Все листы записки, кроме титульного, должны иметь сквозную нумерацию.

В состав графической части входят следующие чертежи: сборочный чертеж (блока, узла) со спецификацией — 1 чертеж;

монтажный чертеж (блока, узла) — 1 чертеж;

сборочный чертеж отдельных узлов — 1—2 чертежа;

чертежи наиболее ответственных деталей (радиаторов, шасси, печатных плат) — 2—4 чертежа.

Чертежи выполняются в карандаше на ватмане определенного формата. Основные и вспомогательные форматы приведены в табл. 10.

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, 1:25, 1:40, 1:50.

Штамп помещают вдоль большей стороны листа (кроме формата А1, где штамп расположен вдоль меньшей стороны).

Сборочный чертеж выполняется в соответствии с ГОСТ 2.109-68 и содержит:

Таблица 10

Основные и дополнительные форматы

Основные форматы					
Обозначения	11	12	22	24	44
Формат по ГОСТ 9327.60	A4	A3	A2	A1	A0
Размер сторон формата, мм	297	297	594	594	1189
	210	420	420	841	841
Дополнительные форматы					
Обозначение формата	13			14	
Размер сторон формата	297/631			297/841	

изображение сборочной единицы с необходимым количеством видов, разрезов и сечений;

присоединительные и габаритные размеры, предельные отклонения, обеспечивающие сборку и контроль;

номер позиций;

габаритные, установочные, присоединительные размеры. Все составные части сборочной единицы нумеруют и составляется спецификация по ГОСТ 2.108-68. Разделы спецификации располагают в следующей последовательности: документация, комплексы, сборочные единицы, детали, стандартные изделия, прочие изделия, материалы. Спецификация составляется на отдельных листах на каждую сборочную единицу. Исключение составляет сборочная единица, выполненная на формате 11 — здесь допускается помещать и спецификацию.

На детальных чертежах необходимо указать размеры, предельные отклонения, обозначение шероховатостей, т. е. все данные для изготовления, контроля, испытания изделий.

10. ЗАЩИТА ПРОЕКТА

Оформленный проект студент сдает на проверку преподавателю и после исправления ошибок предъявляет его к защите. Защита проекта производится перед комиссией. Время защиты одного проекта 15—20 мин. В докладе необходимо осветить задачи, которые ставились, и пути их реализации; сделать выводы о результатах работы; кратко пояснить графический материал. Далее студент должен ответить на вопросы членов комиссии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Джонс*. Инженерное и художественное конструирование. М.: Мир, 1976.
2. *Гудкин Л. С.* Оптимизация радиоэлектронных устройств. М.: Сов. радио, 1975.
3. *Харинский А. П.* Основы конструирования элементов радиоаппаратуры. Л.: Энергия, 1971.
4. *Доценко Н. С., Соболев В. В.* Долговечность элементов радиоэлектронной аппаратуры. Л.: Энергия, 1973.
5. *Дульнев Г. Н., Семяшкин Э. М.* Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. Л.: Энергия, 1968.
6. *Дульнев Г. Н., Тарновский Н. Н.* Тепловые режимы электронной аппаратуры. Л.: Энергия, 1971.
7. *Роткоп Л. Л., Спокойный С. М.* Расчет тепловых режимов радиоэлектронных аппаратов при естественном воздушном охлаждении. — Вопросы радиоэлектроники, 1972, вып. 2, сер. 18.
8. *Карпушин В. Б.* Вибрации и удары в радиоаппаратуре. М.: Сов. радио, 1971.
9. *Суровцев Ю. А.* Амортизация радиоэлектронной аппаратуры. М.: Сов. радио, 1974.
10. *Половко А. М.* Сборник задач по теории надежности. М.: Сов. радио, 1972.
11. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры/Под ред. *Р. Г. Варламова*. М.: Сов. радио, 1972.
12. *Дущенко А. Н.* Применяемость типовых радиоэлементов. М.: Сов. радио, 1974.
13. *Сапожников Р. А., Бессонов А. А., Шоломицкий А. К.* Надежность автоматических управляющих систем. М.: Сов. радио, 1974.
14. Стандарт предприятия. Расчет уровня унификации.
15. *Серафинович Л. П.* Расчет надежности и конструирование радиоэлектронной аппаратуры. Томск: Томский государственный университет, 1972.

Приложение

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ

Таблица III

Значения номинальных интенсивностей отказов при $t = +20^\circ\text{C}$, $k_n = 1$

Тип радиоэлемента	$\lambda_0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$
<i>Полупроводниковые приборы</i>	
Диоды импульсные точечные германиевые	3
Диоды импульсные сплавные кремниевые	0,6
Триоды маломощные низкочастотные германиевые	3
Триоды маломощные низкочастотные кремниевые	4
<i>Резисторы непроволочные, номинальная мощность рассеяния 0,25 Вт</i>	
МЛТ, металлоплёночные, лакированные, термостойкие	0,4
ТВО, термостойкие, влагостойкие, объёмные	0,4
ВС, углеродистые	0,7
ЭЛИ, углеродистые, лакированные, измерительные	0,6
БЛП, бороуглеродистые, лакированные, прецизионные	0,7
СПО, переменные, объёмные	0,6
<i>Конденсаторы</i>	
Бумажные	1,8
Металлобумажные	2,0
Слюдяные	1,2
Керамические	1,4
Электролитические алюминиевые	2,4
Электролитические танталовые	2,2
<i>Импульсные трансформаторы</i>	0,5

Таблица П2

Поправочные коэффициенты $a = f(k_H, t \text{ } ^\circ\text{C})$ для определения интенсивности отказов полупроводниковых приборов

Полупроводниковые приборы	$t, \text{ } ^\circ\text{C}$	k_H								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
ДИОДЫ	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
	кремниевые	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
	кремниевые	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

Таблица П3

Поправочные коэффициенты $a = f(k_H, t \text{ } ^\circ\text{C})$ для определения λ резисторов

Тип резисторов	$t, \text{ } ^\circ\text{C}$	k_H									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Непроволочные	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	3,04	5,40
	100	0,69	0,78	0,87	1,00	1,32	1,88	2,77	3,60	4,90	6,70

Таблица П4

Поправочные коэффициенты $a = f(k_H, t^{\circ}\text{C})$
для определения λ конденсаторов

Конденсаторы	$t, ^{\circ}\text{C}$	k_H				
		0,1-0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Бумажные	20	0,06	0,08	0,10	0,18	0,23
	30	0,07	0,08	0,11	0,22	0,27
	40	0,07	0,09	0,13	0,28	0,35
	50	0,08	0,10	0,15	0,36	0,46
Керамические	60	0,10	0,12	0,20	0,45	0,62
	70	0,13	0,15	0,26	0,60	0,83
Слюдяные негерметичные	20	0,28	0,36	0,49	0,64	0,80
	30	0,30	0,38	0,50	0,70	0,94
Металлобумажные	40	0,34	0,42	0,54	0,80	1,10
	50	0,38	0,49	0,63	0,95	1,43
	60	0,46	0,61	0,75	1,19	2,00
	70	0,58	0,76	0,96	1,58	2,30
Стекланые	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
Пленочные	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	0,47
	60	0,70	0,50	0,50	0,50	0,70
	70	0,86	0,65	0,65	0,65	0,86
Электrolитические с алюминиевым 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	0,47
	60	0,70	0,50	0,50	0,50	0,70
	70	0,86	0,65	0,65	0,65	0,86
Электrolитические 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	0,47
	60	0,70	0,50	0,50	0,50	0,70
	70	0,86	0,65	0,65	0,65	0,86

Таблица П5

Поправочные коэффициенты $a = f(k_H, t^{\circ}\text{C})$
для определения λ трансформаторов

$t, ^{\circ}\text{C}$	k_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

Таблица П6

Поправочные коэффициенты k_1 в зависимости от воздействия механических факторов на неамортизированную аппаратуру

Условия эксплуатации аппаратуры	Суммарное воздействие, k_1
Лабораторные	1,0
Стационарные (полевые)	1,07
Корабельные	1,37
Автофургонные	1,46
Железнодорожные	1,54
Самолетные	1,56

Таблица П7

Поправочные коэффициенты k_2

Влажность, %	Температура, °С	Поправочный коэффициент k_2
60—70	20—40	1,0
90—98	20—25	2,0
90—98	30—40	2,5

Таблица П8

Поправочные коэффициенты k_3

Высота, км	Поправочный коэффициент k_3	Высота, км	Поправочный коэффициент k_3
0—1	1,0	8—10	1,25
1—2	1,05	10—15	1,30
2—3	1,1	15—20	1,35
3—5	1,14	20—25	1,38
5—6	1,16	25—30	1,40
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
Полупроводниковые диоды	0,6
Полупроводниковые триоды мало- мощные	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 $k_{н}$	Допустимое значение $k_{н}$
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.7-10
Силовые трансформаторы и низкочастотные дроссели	Квадрат тока обмотки	0,9
Трансформаторы импульсные и высокочастотные индуктивности	Амплитуда напряжения	0,9

Таблица III

Допустимые значения амплитуды переменного напряжения в процентах к номинальному в зависимости от частоты

Тип конденсатора	Частота, Гц						
	50	100	300	500	1000	10 ⁴	2·10 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

ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ k_{II}

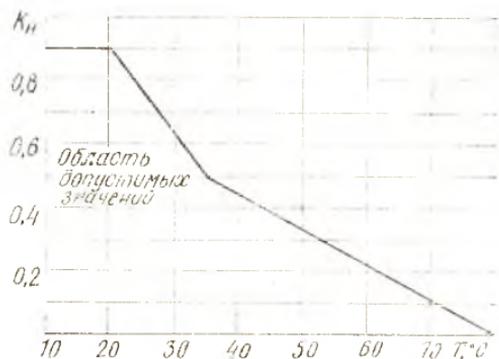


Рис. П1. Германиевые диоды: 1-Д2, Д9, Д-1001-Д10, КД503, Д20, Д302—Д305, Д311, Д312

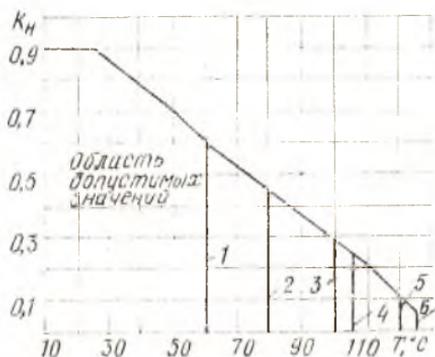


Рис. П2. Кремниевые диоды: 1-КЦ 401-КЦ 405; 2-Д1009-Д1011, Д226; 3-Д219-Д220, Д405, КД409, КД504; 4-Д101-Д103; 5-Д104-Д106, Д206-Д211, Д217-Д218, Д229; 6-Д202-Д205, Д242-Д248, КД202

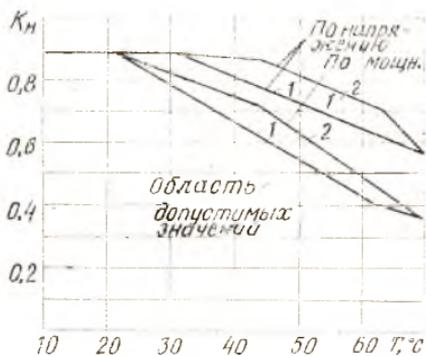


Рис. П3. Германиевые триоды: 1-МП16, МП20, МП21, МП25, МП26, П27-П30, МП39-МП42, П40-П42, П210, П213-П217, ГТ403; 2-П401-П403, П416, П422-П423, П605-П609, ГТ308

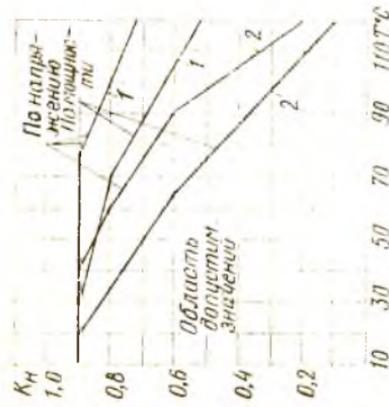


Рис. П6. Объемные резисторы

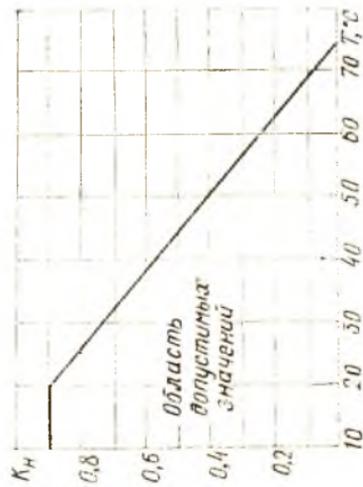


Рис. П7. Слюдяные конденсаторы: 1-СГМ, ОСГ; 2-КСГ, ОКСГ; 3-СГО; К-КСО, ОКСО; 5-КСОТ; 6-КСОТ-200

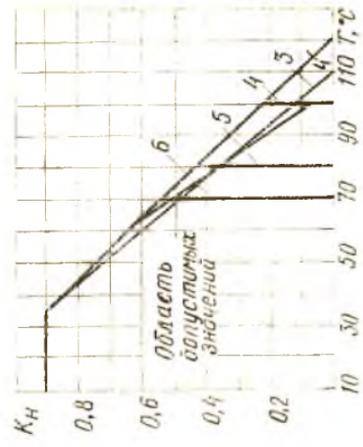
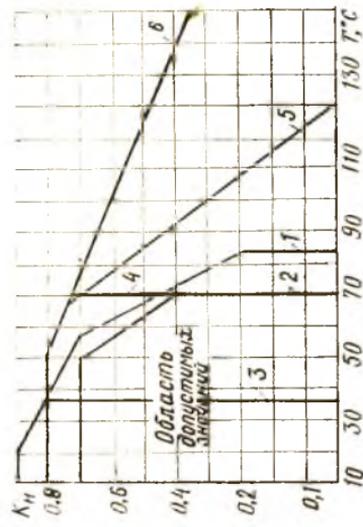


Рис. П4. Кремниевые триоды: 1-МП101-106, (МП111-МП116), П302-П306; 2-П701, П702, КТ301

Рис. П5. Пленочные резисторы: 1-ОВС, ВС; 2-ОМЛТ, МТ, УНУ, С2-11, МУН, МЛТ, С2-10, С2-17, С2-1, С2-Б, МОУ; 3-УЛМ, 4-БЛП, КЭВ; 5-УЛН; 6-УНУ-Ш



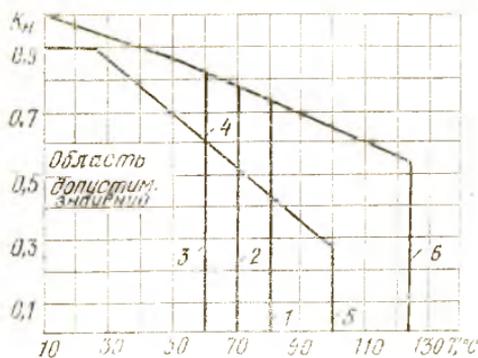


Рис. П8. Бумажные конденсаторы: 1-К40П-1; 2-МБГ, МБГН, МБ14, МБМ, К42У, МБП, КБГ, БМ; 3-МБГЦ, МБГО; 4-К40П-3; 5-БГТ, БМТ, МБГТ, К40П-7; 6-К40У-9, К41-1

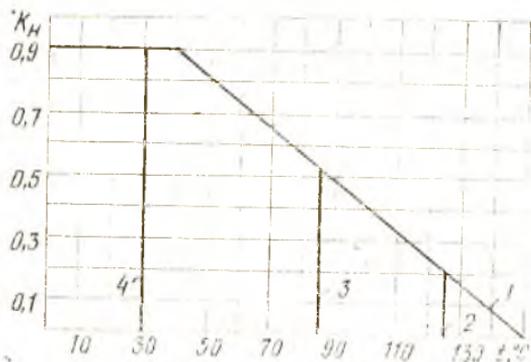


Рис. П9. Керамические конденсаторы: 1-КМ, КТ-1, КЛМ; 2-КТ-2, ДК-2; 3-КЛС, КП, КТ-3, КТ-4, КД-3, КД-4, КТП, КЛСЕ, КТ-1Е, КТ-2Е, КД-Е, КТП-Е, КЛГ, КДУ, 4-КТИ

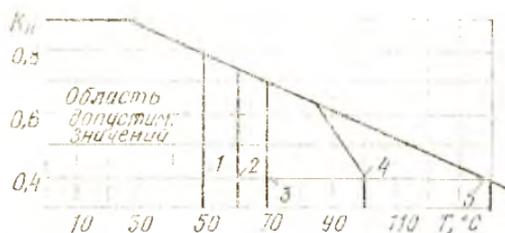


Рис. П10. Электролитические конденсаторы: 1-КЭ, КЭ-2Н, ЭГЦ, К50-5, 2-К50-3, К50-3Б, 3-К53-1, К50-3А, 4-ЭТО-С, 5-ЭТО

ПРИМЕР РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ

Согласно первым разделам пособия пусть выбрана модель конструкции со своими показателями качества и ограничениями при моделировании, выбраны и обоснованы метод и принцип конструирования, основные материалы и покрытия, кроме того известны размеры объекта исследования, его вес, условия эксплуатации.

Необходимо провести для данного объекта исследования следующие расчетные работы: тепловой расчет, расчет конструкции при механических воздействиях, расчет надежности, расчет уровня унификации.

Тепловой расчет конструкции

Определить температуру нагретой зоны блока питания в перфорированном корпусе. Мощность, выделяемая в блоке, $P_n = 50$ Вт, $l_1 = 0,2$ м, $l_2 = 0,5$ м, $h = 0,4$ м, $k = 0,7$, $H_1 = 760$ мм рт. ст., $t_c = 50^\circ\text{C}$, $S_n = 0,01$ м².

Решение.

1. Определяется S_3 по формуле (3):

$$S_3 = 2[0,2 \cdot 0,5 + (0,2 + 0,5) \cdot 0,4 \cdot 0,7] = 0,592 \text{ м}^2.$$

2. Определяется S_k по формуле (10):

$$S_k = 2[0,2 \cdot 0,5 + (0,2 + 0,5) \cdot 0,4] = 0,76 \text{ м}^2.$$

3. Согласно формуле (2) определяется q_3 :

$$q_3 = \frac{50}{0,592} = 84,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

4. По формуле (9) определяем q_k :

$$q_k = \frac{50}{0,76} = 65,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

5. Из рис. 2 следует, что $k_{q_3} = 12$.

6. Согласно формуле (4) определяем Π :

$$\Pi = \frac{0,01}{2 \cdot 0,2 \cdot 0,5} = 0,05.$$

7. Из рис. 3 следует, что $k_n = 0,9$.

8. Определяем V_{31} по формуле (1):

$$V_{31} = 12 \cdot 0,9 = 10,8^\circ\text{C}.$$

9. По рис. 4 определяем V_k :

$$V_k = k_{qk} = 9.$$

10. Согласно рис. 5—8 можем определить

$$k_{H_1} = k_{H_2} = k_V = k_W = 1,0.$$

11. По формуле (12) определяется перегрев зоны V_3 :

$$V_3 = 9 \cdot 1 \cdot 1 + (10,8 - 9) \cdot 1 \cdot 1 = 9 + 1,8 = 10,8^\circ\text{C}.$$

12. Определяем температуру зоны блока:

$$t_{3\text{ бл}} = t_c + V_3 = 50 + 10,8 = 60,8^\circ\text{C}.$$

Полученное в результате расчета значение температуры нагретой зоны соответствует установившемуся значению последней.

*Расчет конструкции
при механических воздействиях*

Скомпонованный блок установлен на трех амортизаторах (рис. П11), координаты двух из них выбраны конструктивно: $x_1 = 10$, $x_2 = -8$, $z_1 = 10$, $z_2 = 5$. Третий амортизатор может быть установлен на расстоянии $z_3 = -8$ мм

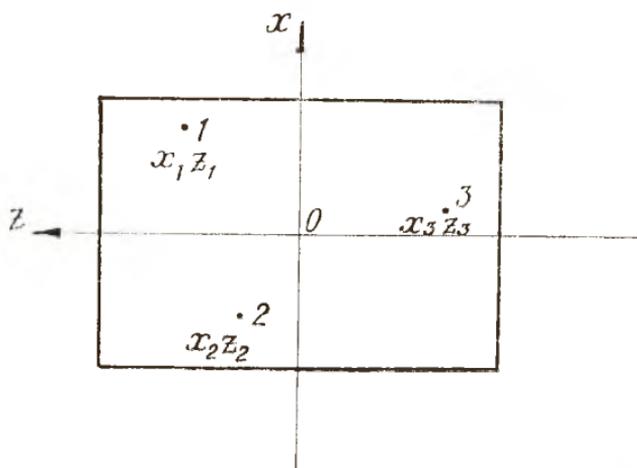


Рис. П11. Расположение амортизаторов

от оси, проходящей через центр тяжести блока. Необходимо определить: нагрузки на амортизаторы; положения третьего амортизатора так, чтобы были обеспечены условия рационального монтажа системы; собственную частоту системы, а также динамическую характеристику системы при следующих условиях:

Частота f , Гц	20	30	50	100	150	200
Амплитуда ϵ , мм	1,2	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05

Вес блока $G = 2,1$ кг, тип амортизаторов — АД.

Решение.

Определяется искомая координата x_3 . Для этого составляется уравнение статики:

$$\begin{aligned} P_1 + P_2 + P_3 &= G, \\ x_1 P_1 + x_2 P_2 + x_3 P_3 &= 0, \\ z_1 P_1 + z_2 P_2 + z_3 P_3 &= 0, \\ z_1 x_1 P_1 + z_2 x_2 P_2 + z_3 x_3 P_3 &= 0, \end{aligned}$$

здесь P_1, P_2, P_3 — нагрузки на амортизаторы.

Отсюда

$$x_3 = \frac{z_1 x_2 z_3 (z_1 - z_2)}{z_1 x_2 (z_3 - z_2) - x_1 z_2 (z_3 - z_1)} = \frac{10 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 5}{10 \cdot 8 \cdot 13 + 10 \cdot 5 \cdot 18} = 1,65 \text{ см},$$

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{(z_1 x_3 - x_1 z_3) G}{(z_3 - z_1) (x_2 - x_1) - (x_3 - x_1) (z_2 - z_1)} = \\ &= \frac{10 \cdot 1,65 - 10 (-8) \cdot 2,1}{(-18) (-18) - (1,65 - 10) (-5)} = 0,720 \text{ кг}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= \frac{(z_2 x_1 - x_2 z_1) \cdot G}{(z_3 - z_1) (x_2 - x_1) - (x_3 - x_1) (z_2 - z_1)} = \\ &= \frac{(50 - 80) \cdot 2,1}{(-18) (-18) - (1,65 - 10) (-5)} = 0,965 \text{ кг}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{(z_3 x_2 - x_3 z_2) G}{(z_3 - z_1) (x_2 - x_1) - (x_3 - x_1) (z_2 - z_1)} = \\ &= \frac{(64 - 8,22) \cdot 2,1}{(-18) (-18) - (1,65 - 10) (-5)} = 0,415 \text{ кг}. \end{aligned}$$

С учетом нагрузки на каждый амортизатор в точке 1 устанавливается амортизатор АД-1,0 (см. табл. 6).

Определяются статические прогибы амортизаторов:

$$\delta_{1 \text{ ст}} = \frac{P_i}{k_i} = \frac{0,415}{0,17} = 2,45 \text{ мм},$$

$$\delta_{2 \text{ ст}} = \frac{0,720}{0,2} = 3,6 \text{ мм},$$

$$\delta_{3 \text{ ст}} = \frac{0,965}{0,2} = 4,82 \text{ мм}.$$

Разницу в прогибах необходимо компенсировать соответствующими шайбами или прокладками.

Суммарная жесткость системы определится как

$$k_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n k_i = 0,17 + 2 \cdot 0,2 = 0,57 \frac{\text{кг}}{\text{мм}}.$$

Собственная частота системы

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{0,57 \cdot 9,8}{2,1}} = 8,2 \text{ Гц}.$$

Далее проводится оценка динамических характеристик системы. Учитывая исходные данные для каждой конкретной задачи, например, для частоты 20 Гц, определяем

$$A = \frac{\varepsilon}{\left|1 - \frac{\Omega^2}{\omega_0^2}\right|} = \frac{1,2}{1 - \frac{20^2}{8,2^2}} = \frac{1,2}{3,95} = 0,242 \text{ мм},$$

при этом выбирается ускорение

$$n = f^2 A / 250 = \frac{20^2 \cdot 0,242}{250} = 3,9 \text{ g}.$$

Далее рассчитывается коэффициент динамичности

$$1/\gamma = \frac{1}{1 - \eta^2} = \frac{1}{1 - \frac{20^2}{8,2^2}} = 0,242.$$

Для всего заданного диапазона данные сведены в таблицу.

f	20	30	50	100	150	200
$1/\gamma$	0,242	0,081	0,028	0,007	0,003	0,002
$\eta = \Omega/\omega_0$	2,44	3,66	6,12	12,4	18,3	24,5
A	0,242	0,083	0,014	0,001	0,002	0,0001

При этом для самой близкой частоты вибрации $f = 20$ Гц (по отношению к $f_0 = 8,2$ Гц) получен запас по частоте, равный $\frac{f}{\sqrt{2 \cdot f_0}} = 1,7$.

Расчет уравнения унификации

Рассчитать коэффициент применяемости $k_{прк}$ и коэффициент повторяемости $k_{пк}$ конструкции, скомпонованной выше. Исходные данные для расчета приведены в спецификации, представленной ниже.

Спецификация

Обозначение	Наименование	Количество
<i>Документация</i>		
АИ5 xxxxxxСБ	Сборочный чертёж	
АИ5 xxxxxxЭЗ	Схема электрическая принципиальная	
АИ5 xxxxxxВП	Ведомость покупных изделий	
АИ5 xxxxxxТБ	Таблица соединений проводов	
<i>Детали</i>		
АИ7 xxxxxx	Плата	1
То же	Планка	1

Обозначение	Наименование	Количество
<i>Стандартные изделия</i>		
	Винт 2М3х10 ГОСТ 1491-72	2
	Гайка М3 ГОСТ 5915-70	2
	Шайба 2,3 ГОСТ 11371-68	2
	Резисторы МЛТ ГОСІ 7113-66	
	МЛТ-0,125-100 Ом	9
	МЛТ-0,125-1,5 кОм	1
	МЛТ 0,125-4,7 кОм	1
	МЛТ-0,125-5,1 кОм	4
	МЛТ-0,125-7,5 кОм	3
	МЛТ-0,125-4,7 кОм	1
	МЛТ-0,125-5,1 кОм	4
	МЛТ-0,125-7,5 кОм	3
	МЛТ-0,125-10 кОм	3
	МЛТ-0,125-43 кОм	1
	МЛТ-0,125-75 кОм	1
	МЛТ-0,125-220 кОм	1
<i>Прочие изделия</i>		
	Микросхема К 140УД1Б БКО 348 095 ТУ	3
	Микросхема К153УД1Б БКО 348 030 ТУ	1
	Микросхема К159НТ1А ХМЗ 456 006 ТУ	3
	Конденсатор КМ-6-200 пф ОЖО 460 171 ТУ	1
	Конденсатор КМ-6-4700 пф ОЖО 460 171 ТУ	4
	Конденсатор КМ-6-0,033 мкф ОЖО 460 171 ТУ	1
	Стабилитрон КС 147А СМЗ 362 812 ТУ	3
	Стабилитрон КС 210Б ХЫЗ 369 001 ТУ	6
	Вилка МРН-22-1 ОЮО 364 003 ТУ	1
<i>Материалы</i>		
	Припой ПОС-61 ГОСТ 21931-76	

Из спецификации следует, что число типоразмеров стандартных изделий равно 9, число покупных — 9, количество оригинальных — 2. Тогда $n_k = n_c - n_1 + n_0 = 9 + 2 = 11$, при $n_3 = 0$.
Отсюда

$$k_{\text{прк}} = \frac{11 - 2}{11} = 0,8.$$

Аналогично определяем $k_{\text{ПК}}$. Из спецификации $N_c = 24$, $N_3 = 0$, $N_0 = 2$.

Т а б л и ц а П 12
Расчет надежности

Наименование и тип элемента	Обозначения по схеме	n_i	λ_{oi} $10^{-6} 1/ч$	Режим работы			a_i	λ_i $10^{-6} 1/ч$	$n_i \lambda_i$ $10^{-6} 1/ч$	P_i	τ_i ч	$P_i \tau_i$ ч
				$k_{нi}$	$k_{из}$	$t_i, ^\circ C$						
Резисторы МЛТ-0,125	R1-R9	9	0,4	0,35	0,6	65	0,65	0,26	2,34	0,035	0,78	0,027
Резисторы МЛТ-0,125	R10-R24	15	0,4	0,25	0,6	65	0,55	0,22	3,3	0,05	0,78	0,039
Конденсат. КМ-6		6	1,4	0,3	0,7	65	0,11	0,15	0,92	0,014	1,1	0,015
М/схемы		7	2,0	0,15	0,6	65	0,5	1,0	7,0	0,105	0,6	0,063
Стабилитр. КС		9	5,0	0,1	0,6	65	1,0	5,0	45,0	0,677	0,6	0,406
Вилка МРН-22-1		1	6,0	—	—	65	—	6,0	6,0	0,091	1,5	0,137
Пайки		180	0,01	—	—	65	—	0,01	1,8	0,027	0,1	0,003

$$k_1 = 1,56; \quad k_2 = 2,5; \quad k_3 = 1,25; \quad \sum_{i=1}^7 n_i \lambda_i = 66,36 \cdot 10^{-6} 1/ч; \quad T_n = \sum_{i=1}^7 P_i \tau_i = 0,69 ч$$

Тогда

$$N_k = N_c + N_3 + N_o = 24 + 0 + 2 = 26 \text{ шт.}$$

$$k_{\text{нк}} = \frac{26-2}{26} = 0,92.$$

Расчет надежности источника питания по внезапным отказам

Из анализа принципа действия источника питания следует, что все элементы соединены последовательно с точки зрения надежности, так как отказ любого из них (резистора, конденсатора, микросхемы и т. д.) приводит к полному отказу источника питания. Все элементы источника питания работают одновременно.

При расчете надежности по внезапным отказам полагаем, что интенсивность отказов постоянна во времени, отказы и восстановления элементов взаимно независимы, во время ремонта источника питания другие (не отказавшие) элементы не могут отказать.

Исходные данные и результаты расчета приведены в табл. П12.

Значения номинальной интенсивности отказов λ_{oi} элементов взяты из табл. П1 настоящего пособия и таблиц, приведенных в литературе [10].

Величина $k_{\text{нд}}$ элементов определена из графиков (см. рис. П2, П4, П5, П9).

Поправочные коэффициенты k взяты из таблиц [10] (микросхем и стабилизаторов соответственно как керамических диодов и транзисторов) и табл. П3, П4 (резисторов и конденсаторов).

Интенсивность отказа каждого элемента с учетом режима его работы вычислена по формуле $\lambda_i = a_i \lambda_{oi}$.

Величина вероятности P_i , определяющей долю отказов, вызванных элементами i -го типа, вычислена по формуле

$$P_i = \frac{n_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^7 n_i \lambda_i}.$$

Значения среднего времени восстановления τ_i взяты из табл. П9.

Коэффициенты k_1, k_2, k_3 определены по табл. П6-П8 в соответствии с условиями эксплуатации бортового источника питания: температура окружающей среды с учетом результатов теплового расчета — 65°C; относительная влажность — 98%; пониженное давление — 200 мм рт. ст.

Интенсивность отказов источника питания с учетом его условий эксплуатации составляет

$$\Lambda = k_1 k_2 k_3 \sum_{i=1}^7 n_i \lambda_i = 1,56 \cdot 2,5 \cdot 1,25 \cdot 66,36 \cdot 10^{-6} = 32,4 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Среднее время безотказной работы (при условии, что интенсивность отказов постоянна)

$$T = \frac{1}{\Lambda} = 3100 \text{ ч.}$$

Пусть заданное время непрерывной работы бортового источника питания — 3 ч. Тогда вероятность безотказной работы источника питания в течение $t = 3$ ч

$$P(t) \approx 1 - \Lambda t = 1 - 3 \cdot 32,4 \cdot 10^{-5} = 0,99903.$$

Среднее время ремонта источника питания равно $T_{\text{в}} = 0,69$ ч.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Методология проектирования	5
2. Моделирование процессов и устройств	5
3. Выбор и обоснование метода и принципа проектирования	7
4. Обоснование выбора конструкций, применяемых материалов и покрытий	11
5. Расчет тепловых режимов радиоэлектронных блоков	13
6. Расчет конструкции при механических воздействиях	19
7. Окончательный расчет надежности простых изделий по внезапным отказам	23
8. Расчет уровня унификации конструкции	30
9. Некоторые рекомендации по проектированию и конструированию РЭА	32
10. Защита проекта	35
Литература	36
Приложение	37

Св. план 1984, поз. 835

Валентина Владимировна Андреева
Галина Федоровна Краснощекова

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Учебное пособие

Редактор Е. Д. Антонова
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 27.12.83. Подписано в печать 26.03.84. ЕО 00138.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная белая.
Высокая печать. Литературная гарнитура.
Усл. п. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,0. Т. 500 экз. Заказ 142. Цена 15 к.

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

Типография УЭЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.