

Н. А. МИТРЕЙКИН, А. И. ОЗЕРСКИЙ

**НАДЕЖНОСТЬ  
И ИСПЫТАНИЯ  
РАДИОДЕТАЛЕЙ  
И РАДИО-  
КОМПОНЕНТОВ**



Н. А. МИТРЕЙКИН, А. И. ОЗЕРСКИЙ

# НАДЕЖНОСТЬ И ИСПЫТАНИЯ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИО- КОМПОНЕНТОВ

*Допущено Министерством  
высшего и среднего специального образования СССР  
в качестве учебника  
для средних специальных учебных заведений  
по специальности  
«Производство радиодеталей и радиокомпонентов»*

МОСКВА «РАДИО И СВЯЗЬ» 1981

ББК 30.14  
М57  
УДК 621.3.019.3:621.385.832

**Митрейкин Н. А., Озерский А. И.**  
М57 Надежность и испытания радиодеталей и радиокомпонентов: Учебник для техникумов. — М.: Радио и связь, 1981. — 272 с., ил.

60 к.

В учебнике изложены основы теории надежности, испытаний и стандартизации радиодеталей и радиокомпонентов.

Учебник предназначен для учащихся техникумов приборостроительных специальностей; он также может быть полезен инженерно-техническим работникам, занимающимся вопросами надежности и испытания радиодеталей и радиокомпонентов.

М  $\frac{30405-103}{046(01)-81}$  25—81 2107000000

ББК 30.14  
6Ф03

Рецензенты: Золотовский В. Х., Горячева Г. А.

Редакция литературы по электронной технике

НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ МИТРЕЙКИН  
АРКАДИЙ ИВАНОВИЧ ОЗЕРСКИЙ

Надежность и испытания радиодеталей и радиокомпонентов

Редактор Л. В. Голованова  
Художественный редактор Н. А. Игнатьев  
Художник Л. Г. Рабенау  
Технический редактор И. В. Орлова  
Корректор Н. Л. Жукова  
ИБ № 278

Сдано в набор 05.05.80 Подписано в печать 04.12.80 Т-20452  
Формат 84×108/32 Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная  
Печать высокая Усл. п. л. 14,28 Уч.-изд. л. 14,92 Тираж 30 000 экз.  
Зак. 671 Цена 60 к.

Издательство «Радио и связь» Москва, Главпочтамт, а/я 693  
Московская типография № 10 «Союзполиграфпрома»  
Государственного Комитета СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Москва, М-114, Шлязовая наб., 10

© Издательство «Радио и связь», 1981 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Решение грандиозной задачи создания материально-технической базы коммунизма в СССР невозможно без широкого использования радиоэлектронных устройств. В настоящее время практически нет такой области науки и техники, где бы не использовалась радиоэлектронная аппаратура (РЭА).

XXV съезд КПСС отмечал, что одной из узловых проблем современного развития было и остается ускорение научно-технического прогресса. Научно-технический прогресс неразрывно связан с широким внедрением РЭА во все отрасли народного хозяйства страны.

Радиоэлектронное устройство состоит из большого числа элементов, выполняющих различные функции. Часть элементов выполняет только механические функции, например обеспечивает крепление (винты и гайки, скобы, хомутики, шпильки) или передачу движения (зубчатые и червячные передаточные устройства, муфты сцепления). Другая часть — электрические функции. Это резисторы, конденсаторы, полупроводниковые приборы. Третья — одновременно выполняет и электрические, и механические функции. Это, например, разъемы, соединительные платы, монтажные стойки, переключатели.

В данном учебнике предметом рассмотрения служат элементы, образующие электрическую схему РЭА. Элементы электрических схем принято называть радиодеталями и радиокомпонентами.

*Радиодеталь* — это элемент электрической схемы, предназначенный для ее построения, имеющий законченную конструктивную форму и выполняющий простые электрические функции (увеличение сопротивления протекающему току, накопление заряда, концентрация электромагнитной энергии и т. п.). Радиодеталь не может усилить, генерировать и преобразовывать радиосигналы.

В РЭА применяют большое число радиодеталей, являющихся конструктивно-элементной базой радиоэлектроники. Такие радиодетали часто называют *радиоком-*

*понентами*. К ним относят: установочные изделия (ручки управления, держатели предохранителей, штепсели и т. п.); коммутационные изделия (переключатели, кнопки и т. п.); соединительные изделия (разъемы, соединительные платы, монтажные стойки и т. п.); трансформаторы, дроссели, катушки индуктивности и т. п.

Практически все радиодетали и радиокомпоненты относятся к сборочным единицам, так как они собираются из отдельных деталей, соединенных между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, клепкой, сваркой, пайкой, опрессовкой, развальцовкой, склеиванием и т. п.). Радиодетали и радиокомпоненты входят в состав комплектации любого радиотехнического изделия, поэтому их принято называть комплектующими изделиями.

Современная РЭА эксплуатируется в самых различных условиях и должна отвечать следующим важнейшим требованиям: нормально работать в заданных условиях, иметь высокую надежность, минимальный объем регулировочных и доводочных работ, обеспечивать взаимозаменяемость радиодеталей и радиокомпонентов и т. д. Однако на практике такие требования в полной мере не всегда удается выполнить. Одной из причин такого положения являются трудности изготовления радиодеталей и радиокомпонентов с высокими стабильностью и надежностью. Здесь большую помощь производству и эксплуатационникам оказывает широкая стандартизация радиодеталей и радиокомпонентов.

На радиодетали и радиокомпоненты, как и любые изделия всех отраслей промышленности, распространено действие *государственных стандартов СССР, стандартов отрасли или стандартов предприятий-изготовителей*. Целью стандартизации является создание изделий, обладающих технической и экономической эффективностью, заданной надежностью и обеспечивающих безопасность в эксплуатации. XXV съезд партии поставил перед стандартизацией следующую задачу: «Поднять роль стандартов в ускорении научно-технического прогресса и улучшении качества готовой продукции, сырья, материалов и комплектующих изделий. Совершенствовать стандарты и технические условия, повысить ответственность хозяйственных органов, предприятий и объединений за их соблюдением. Укреплять службу технического контроля». Большие возможности

повышения качества РЭА открывает использование стандартизованных функциональных узлов и микроэлементов, формируемых в модули, микромодули и интегральные схемы, что позволяет значительно уменьшить габаритные размеры, массу и стоимость РЭА, резко повысить ее надежность, уровень механизации и автоматизации производства.

Радиодетали и радиокомпоненты и изделия, изготовленные из них, подвергаются различным испытаниям: приемо-сдаточным, периодическим, типовым и испытаниям на надежность. Цель испытаний — контроль за качеством продукции, определение возможности использования изделий в заданных эксплуатационных условиях и определение единых требований к изделиям, предназначенным для работы в различных эксплуатационных условиях. Указанные испытания проводят в соответствии с нормативно-технической документацией (НТД) на изделия конкретных типов. Выполнение требований этой документации при выпуске изделий на предприятиях радиоэлектронной промышленности дает возможность создавать радиодетали и радиокомпоненты высокого качества.

## Раздел I

# УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

### Глава I

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

##### 1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Под условиями эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов понимают совокупность внешних факторов, оказывающих влияние на их работоспособность. К таким факторам относят температуру и влажность окружающей среды, атмосферное давление, вибрации, удары и т. д. Под их влиянием происходит изменение электрических и механических параметров радиодеталей и радиокомпонентов. Факторы, способные изменить электрические и механические характеристики радиодеталей и радиокомпонентов или вызвать их разрушение, называют *дестабилизирующими*.

Все многообразие различных воздействий внешних факторов на радиодетали и радиокомпоненты можно свести к следующим видам: климатические, температурные и механические.

*Климатические воздействия* связаны с состоянием атмосферы: ее температурой, влажностью, давлением, радиацией, загрязненностью газами, солями, пылью, радиоактивными веществами и микроорганизмами.

*Температурные воздействия* вызываются внутренними источниками тепла РЭА и дополнительным ее нагревом, например за счет больших скоростей в плотных слоях атмосферы.

*Механические воздействия* оказывают силы тяжести, инерции и ускорения, а также силы, вызванные вибра-

цией и ударами при эксплуатации и транспортировании радиодеталей и радиокомпонентов.

Радиодетали и радиокомпоненты являются основными составными частями различных радиоэлектронных устройств, широко применяемых в самых различных областях народного хозяйства. Условия эксплуатации этих устройств, а следовательно, и радиодеталей и радиокомпонентов могут значительно различаться. По условиям эксплуатации радиодетали и радиокомпоненты делят на три группы: 1) работающие в нормальных условиях; 2) работающие в наземных естественных климатических условиях; 3) работающие на борту скоростных самолетов, ракет, космических аппаратов и т. п.

*Нормальными условиями* считают условия эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов в закрытых отапливаемых помещениях при отсутствии в воздухе пыли, паров, газов, кислот, растворов солей, микроорганизмов, а также механических воздействий. Нормальными считают: температуру  $+20 \pm 5^\circ\text{C}$ , относительную влажность 50—80% и атмосферное давление  $(9,5-10) \cdot 10^4$  Па (т. е. 720—780 мм рт. ст.) без резких изменений. Нормальные условия обычно соблюдаются в процессе изготовления и настройки РЭА. В нормальных условиях работает большинство радиодеталей и радиокомпонентов стационарной радиовещательной и телевизионной, медицинской и измерительной аппаратуры, аппаратуры, работающей в лабораториях и специальных аппаратных залах. Дестабилизирующими факторами для радиодеталей и радиокомпонентов, работающих в нормальных условиях, обычно являются собственные перегревы и влажность. Следует также учитывать, что при нормальных условиях эксплуатации РЭА может подвергаться перевозке и хранению в условиях, резко отличающихся от нормальных.

*Наземными естественными климатическими условиями* считают условия эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов, установленных в стационарной и подвижной (переносной, автомобильной, танковой, судовой) аппаратуре, эксплуатируемой на открытом воздухе средних широт, в пустыне, горных районах, в условиях арктического и тропического климата. Дестабилизирующими факторами для радиодеталей и радиокомпонентов, работающих в наземных естественных климатических условиях, являются климат данной местности,

флора и фауна, плотность воздуха, его засоренность и влажность, осадки, возможность обледенения, абразивность пыли, солнечная радиация и инсоляция (освещение солнечными лучами). Радиодетали и радиокомпоненты, установленные в наземной перевозимой аппаратуре, могут также испытывать механические нагрузки, резкие перепады температур при переходе от рабочего состояния к нерабочему и воздействию испарений горюче-смазочных материалов. Радиодетали и радиокомпоненты, входящие в состав корабельной аппаратуры, работают в условиях повышенной влажности, которая может доходить до 98% при +50°C, и наличии солей в окружающей среде.

*Радиодетали и радиокомпоненты бортовой аппаратуры самолетов, ракет и космических кораблей* работают в особенно трудных условиях. Дестабилизирующие факторы: очень большие и быстрые изменения температуры, влажности и атмосферного давления, интенсивная солнечная и космическая радиация, большие линейные ускорения, акустические шумы и т. д.

Обычно для радиодеталей и радиокомпонентов и для РЭА, в которой они установлены, не создают особых условий хранения и транспортирования. Нередко их хранят в неотапливаемых складах, защищенных лишь от резких климатических воздействий и непосредственного проникновения дождя, снега, пыли. Условия транспортирования радиодеталей и радиокомпонентов к месту назначения и РЭА, в которой они установлены, к месту эксплуатации могут быть самыми разнообразными: перевозка автотранспортом, по железной дороге, по воде, на самолетах, на лошадях, ручная переноска и т. д. При транспортировании радиодетали и радиокомпоненты могут быть подвержены как климатическим, так и механическим воздействиям. Например, при транспортировании по железной дороге возникают периодические удары о стыки рельсов, сильные толчки в начале движения, при торможении и сортировке вагонов. При погрузке, разгрузке и перевозке возможны, например, удары, которые характеризуются высотой свободного падения на грунт. Климатические изменения при транспортировании происходят быстрее, чем в стационарных условиях.

Условия транспортирования и хранения могут существенно повлиять на работоспособность радиодеталей

и радиокомпонентов. Поэтому, кроме условий эксплуатации и прочих условий, в технических условиях (ТУ) на изготовление радиодеталей и радиокомпонентов оговаривают условия хранения и транспортирования.

## 1.2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Основная часть внешних воздействий, при которых приходится работать радиодеталям и радиокомпонентам, в значительной степени зависит от климатических условий.

Климат — это характерный метеорологический режим данной местности за продолжительный (20—30 лет) период времени. Климатические условия в различных зонах Земного шара очень разнообразны. Более того, в пределах данной местности происходят суточные и сезонные изменения температуры, влажности и атмосферного давления. Климатическая обстановка действует на радиодетали и радиокомпоненты не только прямыми климатическими факторами, как, например, температура, влажность, давление и разнообразные их сочетания. Серьезное влияние на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов могут оказать также и дополнительные факторы, характерные для той или иной местности: загрязненность воздуха солями, пылью и микроорганизмами.

**Характеристика климатической обстановки.** Закономерность связи между климатом и изменением свойств материалов позволяет все многообразие климатических условий свести к четырем разновидностям климата: жаркий сухой, жаркий влажный (тропический), холодный и умеренный.

*Жаркий сухой климат* охватывает области, где продолжительное время наблюдается высокая температура воздуха. Температура может изменяться от +60°C днем до —10°C ночью. Максимальный суточный перепад температуры 70°C. Температура корпуса аппаратуры под прямыми лучами солнца достигает +75°C и более. Возможны песчаные бури, пыль, роса и соли в воздухе, поражение радиодеталей и радиокомпонентов насекомыми, грызунами, пресмыкающимися. Жаркий сухой климат характерен для пустынь и степей.

*Жаркий влажный климат* имеет место в областях, где температура воздуха повышается до +40°C в течение

ние дня и резко падает ниже  $+25^{\circ}\text{C}$  ночью. Средний суточный перепад температуры составляет  $10^{\circ}\text{C}$ . Относительная влажность высокая и достигает 90—100%. Влага легко конденсируется. Часты сильные ливни и грозы. При грозовых разрядах в воздухе образуется повышенное содержание озона, азота и аммиака, влияющих на старение изоляционных материалов. В этих условиях увеличивается возможность поражения радиодеталей и радиокомпонентов грибковой плесенью, насекомыми, грызунами и пресмыкающимися. Жаркий влажный климат характерен для тропиков.

*Холодный климат* охватывает области, где температура воздуха понижается на длительное время до  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже. Для областей холодного климата характерны частые переходы через  $0^{\circ}\text{C}$ , что обычно сопровождается образованием тумана, инея, обледенения. Скорость ветра достигает 40 м/с и более. Холодный климат характерен для Арктики и Антарктики, тундры и высокогорных районов. Он предполагает тяжелые условия для работы радиодеталей и радиокомпонентов.

*Умеренный климат* соответствует средним географическим широтам, где сезонные изменения температуры обычно колеблются в пределах от  $-30$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ . Относительная влажность может достигать до 80—90% при температуре окружающей среды  $20^{\circ}\text{C}$ . Наиболее низкая температура (кратковременно)  $-40^{\circ}\text{C}$ , наивысшая  $+40^{\circ}\text{C}$ . Средний суточный перепад температуры составляет  $11^{\circ}\text{C}$ . Скорость ветра до 30 м/с. В разное время года и суток могут возникать условия, близкие к условиям тропического или холодного климата: высокая влажность и высокая концентрация солей в атмосфере, наличие в ней пыли и песка, сильный мороз.

Ухудшение параметров и работоспособности радиодеталей и радиокомпонентов в зоне умеренного климата незначительно. Однако заметное ухудшение может наступить при сильном загрязнении воздуха промышленными отходами.

**Характеристика атмосферы.** При анализе климатических условий эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов учитывают и состояние атмосферы, которое характеризуется температурой, влажностью, давлением, наличием пыли, песка, промышленных газов и т. д. Состояние атмосферы в зависимости от климата может быть весьма разнообразным.

Атмосферное давление над поверхностью Земли равняется  $(9,5-10) \cdot 10^4$  Па (т. е. 720—780 мм рт. ст.) и непрерывно изменяется в зависимости от метеорологических условий. С увеличением высоты атмосферное давление падает. В среднем можно считать, что на небольших высотах оно на каждые 1000 м подъема падает на  $1,33 \cdot 10^4$  Па, а на больших высотах убывает в геометрической прогрессии. На высоте 20—30 км атмосферное давление снижается до  $(0,133-0,399) \cdot 10^4$  Па, а на высоте 100 км оно приблизительно равно 0,17 Па.

Температура воздуха также изменяется в зависимости от высоты над земной поверхностью. В тропосфере она уменьшается на  $4-8^{\circ}\text{C}$  на каждый километр высоты. Если летом у земли температура  $+25^{\circ}\text{C}$ , то на высоте 3—4 км она составляет  $0^{\circ}\text{C}$ , а на высоте 12 км — около  $-40^{\circ}\text{C}$ . На высотах более 25 км температура с увеличением высоты повышается.

Степень влажности воздуха характеризуется *относительной влажностью*, выраженной в процентах. Нормальная относительная влажность воздуха составляет 50—80%. В зоне влажных субтропиков и на побережье Ледовитого океана влажность достигает 85—90%, а в зоне пустынь лежит в пределах 50—60%. Наибольшая влажность, достигающая 100%, может быть при температуре воздуха от  $+20$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ . В этом случае небольшое понижение температуры, как правило, вызывает появление росы, выпадающей в первую очередь на предметы, обладающие низкой температурой. При повышении температуры воздуха металлические предметы некоторое время сохраняют более низкую температуру, что также вызывает появление росы. Наиболее опасна относительная влажность 80—90%, так как в этом случае влага в воздухе находится в газообразном состоянии и легче поглощается материалом, проникая сквозь тонкие щели и мелкие поры. При температурах ниже  $0^{\circ}\text{C}$  влага обычно конденсируется и выпадает в виде инея, поэтому в атмосфере количество влаги становится незначительным. Влага на радиодетали и радиокомпоненты попадает не только из воздуха. Источником их увлажнения может быть снег, дождь, ливни, морские брызги и т. п.

Низкая влажность при высоких температурах (климат пустыни) характеризуется большим содержанием в атмосфере органической и минеральной пыли.

*Пыль, посторонние газы и песок* в атмосфере представляют серьезную опасность для работоспособности радиодеталей и радиокомпонентов. Наземная пыль состоит из мельчайших обломков горных пород, почвы, металлов, мельчайших растительных и животных организмов, поднимаемых в атмосферу восходящими воздушными течениями. Частицы пыли обычно шероховаты и часто гигроскопичны. Их размеры составляют 0,1—20 мкм. По мере подъема на высоту количество пыли резко убывает. На высоте 5 км воздух практически не содержит пыли.

В атмосфере может содержаться и соленая пыль, возникшая в результате испарения морской воды, наличия дыма от заводских труб и лесных пожаров, а также выхлопа газов транспортом. В больших городах и промышленных центрах, а также в заболоченных местностях атмосфера содержит различные газы: углекислый газ, сероводород, аммиак и др. Являясь сильными окислителями, они вызывают коррозию многих металлов. Например, сильное окисление серебра под влиянием сероводорода вынуждает применять для контактов коммутационных устройств золото, платину или специальные сплавы.

Песок обычно состоит из округленных зерен кварца размером 0,06—0,8 мм. Вследствие сравнительно большой массы частиц песчаные вихри редко поднимаются выше нескольких десятков сантиметров над поверхностью Земли, даже при наличии сильных устойчивых ветров. Некоторые песчаные районы содержат в качестве примесей к песку значительное количество солей, растворимых в воде. Под действием ветра соли попадают в атмосферу, переносятся на значительные расстояния и могут оседать на радиодеталях и радиокомпонентах, вызывая их разрушение.

*Солнечная радиация* приводит к тепловому воздействию за счет длинноволновой части спектра солнечных лучей (инфракрасные и красные) и воздействию ультрафиолетовых лучей. Самое сильное тепловое воздействие на материалы оказывают солнечные лучи, перпендикулярно падающие на поверхность предмета. В зонах умеренного климата это наблюдается преимущественно с марта месяца по сентябрь. В условиях малых широт, а также больших высот усиливается влияние ультрафиолетовых лучей. В тропиках солнечный свет действует

на материалы и за счет большого теплового эффекта и значительного содержания ультрафиолетовых лучей. Здесь металлические предметы под воздействием солнечных лучей могут нагреваться до 80—90°C. Максимальная интенсивность прямой солнечной радиации, получаемой поверхностью Земли летом в тундре, не меньше, чем в тропиках.

Повреждения от солнечной радиации радиодеталей и радиокомпонентов нехарактерны, так как они редко подвергаются непосредственному облучению солнечными лучами.

*Биологические факторы.* Биологическая среда, окружающая радиодетали и радиокомпоненты, зачастую сильно влияет на их работоспособность и сохраняемость. Наиболее распространенными представителями биологической среды являются грибковые образования (плесени), относящиеся к низшим растениям, не имеющим фотосинтеза. Лишенные хлорофилла, они покрывают свою потребность в питании за счет органических веществ, на которых находятся.

Расщепление и синтез сложных соединений питательной среды производится содержащимися в них ферментами. В процессе жизнедеятельности грибковые образования выделяют продукт обмена веществ — метаболиты. Некоторые метаболиты состоят преимущественно из различного вида кислот, вызывающих коррозию металлов и разложение изоляционных материалов. Известно до  $4 \cdot 10^4$  разновидностей грибковых образований. Оптимальными условиями развития для большинства их видов являются высокая относительная влажность воздуха (более 85%), температура от +20 до +30°C и неподвижность воздуха. Влажность и температура тропического климата особенно благоприятна для интенсивного роста плесени. В умеренном климате также часто создаются условия, способствующие их обильному размножению. Например, плесени образуются в сыром и теплом складском помещении с плохим обменом воздуха, под брезентом в теплом и влажном месте, в трюме корабля.

Из насекомых наиболее опасны для радиодеталей и радиокомпонентов *термиты*. Прожорливость и неразборчивость в пище делают термитов одними из наиболее вредных насекомых для радиодеталей и радиокомпонентов, работающих в условиях влажного тропического

климата. На территории СССР термиты встречаются преимущественно в Средней Азии, в Молдавии, на юго-западе Украины и на Кавказе.

### 1.3. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Тепловые характеристики РЭА имеют исключительно важное значение. Выделяемая аппаратурой тепловая энергия отдается окружающей среде и вызывает повышение ее температуры. Причиной выделения большого количества тепла внутри электронной аппаратуры обычно является ее низкий к. п. д. Лишь относительно небольшой процент потребляемой мощности преобразуется в полезную выходную мощность. Остальная мощность расходуется на нежелательные потери, в результате которых выделяется тепло. Если аппаратура работает в условиях высокой температуры окружающей среды, то в нее может поступить дополнительное тепло извне.

В общем случае установившаяся температура поверхности радиодеталей и радиокомпонентов, находящихся внутри аппаратуры, зависит от их физических особенностей (цвета, формы, состояния поверхности и т. п.), от нагрева расположенных рядом тел и от условий теплообмена внутри аппаратуры.

Температура внутри аппаратуры может достигать значений, при которых материалы с низкой точкой плавления размягчаются или даже начинают испаряться. Например, для большинства термореактивных пластмасс температура, при которой резко уменьшается их механическая прочность, лежит ниже  $95^{\circ}\text{C}$ . Разрушение изоляции из целлюлозы начинается примерно при температуре  $100^{\circ}\text{C}$ . При температуре выше  $100^{\circ}\text{C}$  у многих изоляционных материалов уменьшается электрическая прочность, возрастает тангенс угла потерь.

Температурное воздействие может быть непрерывным (стационарным), периодическим и аperiodическим.

*Непрерывное температурное воздействие* создается при установившемся температурном режиме как внутри аппаратуры, так и при соприкосновении ее с внешней средой, имеющей постоянную температуру. Такой режим устанавливается в РЭА, работающей в нормальных условиях. Нормальная работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов в этих условиях нарушается главным образом из-за температуры, которая превышает

предельно допустимую для материалов, из которых они изготовлены. Нарушение нормальной работы может быть вызвано и старением материалов.

*Периодическое температурное воздействие* создается при нестационарных тепловых воздействиях: при повторно-кратковременных включениях аппаратуры, суточных изменениях температуры окружающей среды, при повторно-переменном солнечном облучении и других нестационарных тепловых воздействиях. Такой режим характерен для радиодеталей и радиокомпонентов, работающих в наземных естественных климатических условиях, в составе бортовой аппаратуры самолетов, ракет и космических кораблей. Нарушение работоспособности радиодеталей и радиокомпонентов в этих условиях происходит от многократных деформаций элементов изделия, возникающих за счет быстрых изменений температуры (причем наиболее опасными являются переходы температуры через  $0^{\circ}\text{C}$ ).

*Аperiodическое температурное воздействие* вызывается единичными, сравнительно редкими действиями тепла и холода на радиодетали и радиокомпоненты, например, когда аппарат выносятся зимой из теплого помещения наружу. Нарушения работоспособности радиодеталей и радиокомпонентов при аperiodических температурных воздействиях связаны со скоростью изменения их температуры (тепловой удар).

Создание оптимального теплового режима для радиодеталей и радиокомпонентов в современной РЭА становится особенно трудным при увеличении плотности монтажа и коэффициента использования объема аппаратуры. Уменьшение объема аппаратуры вызывает увеличение концентрации тепла, если мощность, потребляемая ею, остается неизменной. В то же время уменьшение поверхности аппаратуры вызывает уменьшение скорости теплообмена с окружающей средой. Использование микромодульных конструкций дало возможность в 4—10 раз уменьшить объем электронной части аппаратуры по сравнению с миниатюрными конструкциями, в которых применены малогабаритные радиодетали и радиокомпоненты. Несмотря на то, что потребляемые микромодульными конструкциями мощности относительно невелики, концентрация тепла в аппаратуре остается значительной. Применение интегральных микросхем существенно снизило концентрацию тепла в РЭА.

Удаление тепла из блоков РЭА и изоляция аппаратуры от источников внешнего нагрева все еще являются необходимыми условиями для повышения надежности радиодеталей и радиокомпонентов и увеличения их срока службы.

#### 1.4. МЕХАНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

В условиях эксплуатации или при транспортировании на радиодетали и радиокомпоненты могут воздействовать механические нагрузки, имеющие, как правило, сложный комплексный характер. Чтобы облегчить изучение действия сложных механических нагрузок на радиодетали и радиокомпоненты, их сводят к эквивалентным воздействиям: к действию удара, вибрации и постоянно действующего ускорения.

Радиидетали и радиокомпоненты аппаратуры, эксплуатируемой в нормальных условиях, подвергаются главным образом ударным нагрузкам и тряске при упаковке, погрузке, транспортировании и перевозке. Радиидетали и радиокомпоненты, установленные на передвижной аппаратуре, испытывают воздействие линейных ускорений, вибрационных и ударных нагрузок. Они возникают, например, при взлете и посадке летательных аппаратов, при движении объектов по дорогам, резком изменении скорости движения и в других случаях. При этом на каждый элемент конструкции действует сила  $F$ , величина которой определяется первым законом Ньютона.

Отношение силы механического воздействия  $F$  к силе тяжести изделия  $P$  называют коэффициентом перегрузки  $\gamma_{пер}$  и определяют по формуле

$$\gamma_{пер} = F/P = a/g,$$

где  $a$  — ускорение, действующее на изделие,  $m/c^2$ ,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $m/c^2$ .

Коэффициент перегрузки показывает, во сколько раз ускорение, действующее на изделие, больше ускорения силы тяжести. Механические нагрузки обычно задают в значениях амплитуды ускорения (10g, 20g, 40g и т. д.), где числа 10, 20, 40 — коэффициенты перегрузки. Кроме амплитуды ускорения, в ТУ на изделие указывают частоту и амплитуду вибраций.

**Вибрация** — это периодическое колебательное движение радиодеталей и радиокомпонентов, различных механизмов и их составляющих. Вызываются вибрации работающими двигателями и винтами судов и самолетов, тряской на сухопутном транспорте и т. п. Изменение положения точек колеблющегося тела называют смещением или амплитудой колебаний, изменение смещения во времени — скоростью вибрации, а изменение скорости — ускорением вибрации. Кроме того, вибрационные колебания характеризуются частотой. Возникающие при вибрации ускорения увеличивают массу изделия, а следовательно, перегрузки.

В технических расчетах величину коэффициента перегрузки обычно определяют по формуле  $\gamma_{пер} \approx 4 \times 10^{-3} A_m f^2$ , где  $A_m$  — амплитуда колебаний, мм;  $f$  — частота вибрации, Гц.

Известно, что радиодетали и радиокомпоненты, установленные в автомобильной РЭА, работают в условиях вибрации с частотой  $f=2-80$  Гц и ускорением до 6g, в корабельной — с  $f=35-150$  Гц и ускорением до 4g, в самолетной — с  $f=10-200$  Гц и ускорением до 10g. Вибрации особенно опасны, если собственная (резонансная) частота механических колебаний каких-либо радиодеталей или радиокомпонентов совпадает с частотой вибраций. Например, резонансные частоты навесных радиодеталей массой 0,3—12 г с проволочными выводами длиной 30 мм и диаметром 0,6—1,0 мм находятся в пределах от 200 до 450 Гц. Резонансные частоты резисторов переменного сопротивления диаметром 45 мм, в зависимости от длины оси и массы ручки, лежат в пределах от 0,1 до 1 кГц. Длительное совпадение собственной частоты колебаний изделия или его элементов с частотой вынужденных колебаний создает явление механического резонанса, которое может привести к поломкам креплений, обрыву проводов, разрушению паяк и другим опасным последствиям. Свойство радиодеталей и радиокомпонентов противостоять разрушающему действию вибрации и сохранять свою работоспособность как во время, так и после действия вибрации называют **вибростойкостью**.

**Удары** — это резкие изменения или внезапные перемены режима движения. Радиидетали и радиокомпоненты, установленные в наземной передвижной РЭА, могут испытывать в минуту от 10 до 80 ударов, созда-

ющих ускорение до 20g, в самолетной — 40—80 ударов, создающих ускорение до 10g, в судовой — 40—80 ударов, создающих ускорение до 12g. Способность радиодеталей и радиокомпонентов противостоять разрушающему действию ударов и сохранять свою работоспособность называют *ударной прочностью*.

Серьезное влияние на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов, установленных на реактивных самолетах, космических кораблях и управляемых снарядах, может оказать акустический шум. Этот шум создает разрушительные вибрации, возбуждая каждую деталь изделия с помощью распределенного усилия. Величина такого усилия является функцией звукового давления и площади каждой детали изделия. Поэтому, например, амортизаторы вибраций, являющиеся эффективными при механических вибрациях, могут оказаться совершенно неэффективными для вибраций, обусловленных акустическими шумами.

#### 1.5. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К РАДИОДЕТАЛЯМ И РАДИОКОМПОНЕНТАМ, РАБОТАЮЩИМ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Все разрабатываемые и выпускаемые предприятиями радиодетали и радиокомпоненты должны удовлетворять эксплуатационным, конструктивно-технологическим, экономическим и специальным требованиям. Эти требования взаимосвязаны, но рассмотрение их возможно и в отдельности.

**Эксплуатационные требования.** При разработке и производстве радиодеталей и радиокомпонентов в первую очередь учитывают условия их эксплуатации. Исходя из условий эксплуатации выбирают материалы и детали для изготовления радиодеталей и радиокомпонентов и технологию их изготовления.

Комплекс эксплуатационных требований направлен на то, чтобы в процессе эксплуатации обеспечить заданный срок службы; устойчивость к воздействию климатических факторов; механическую прочность и жесткость; удобство сборки, регулировки и ремонта; защищенность от внешних помех и предотвращение излучения помех во внешнее пространство.

*Заданный срок службы при определенных условиях эксплуатации.* Это требование обеспечивают главным

образом на стадии конструирования, так как на этой стадии выбирают и задают все детали и материалы элемента. От правильного их выбора и сочетаний зависит работоспособность и долговечность радиодеталей и радиокомпонентов.

*Устойчивость к воздействию климатических факторов.* Многообразие климатических воздействий определяет необходимость тщательного анализа и учета их при разработке, изготовлении и эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов. С учетом возможного применения в различных климатических условиях радиодетали и радиокомпоненты выпускают в тропическом исполнении, морозостойкие, влагостойкие, термостойкие и т. д. Для защиты от климатических воздействий их покрывают эмалями, лаками, асбоцементами, пропитывают различными маслами, смолами, битумами, компаундами, восками; заливают компаундами на основе терморезистивных смол; опрессовывают термопластичными материалами; герметизируют и т. п.

*Механическая прочность и жесткость.* Радиодетали и радиокомпоненты должны быть рассчитаны на воздействие вибраций, ударов и ускорений, которые возникают при эксплуатации и транспортировании. Для этого на стадии конструирования и производства принимают меры для обеспечения необходимой механической прочности и жесткости. Эти меры включают в себя выбор рациональной формы, материала, применение различных амортизационных приспособлений. Покрытие лаками, пропитка, заливка, опрессовка и герметизация также повышают механическую прочность и жесткость радиодеталей и радиокомпонентов.

*Удобство сборки, регулировки и ремонта.* Габаритные размеры, объем и геометрическую форму радиодеталей и радиокомпонентов выбирают с учетом возможности их рационального размещения в заданном пространстве. Конструкция радиодеталей и радиокомпонентов должна обеспечивать быстрое отключение из схемы, снятие с мест установки и обратное включение при проведении профилактических и ремонтных работ. Например, в интегральных микросхемах и разъемах предусмотрены специальные ключи, обеспечивающие быстрое и правильное включение и отключение этих элементов.

*Защищенность от внешних помех и предотвращение излучения помех во внешнее пространство.* Это требова-

ние предполагает разработку и выпуск радиодеталей и радиокомпонентов, создающих и воспринимающих минимум помех.

**Конструктивно-технологические требования:** обеспечение взаимозаменяемости радиодеталей и радиокомпонентов, максимальная типизация и унификация, максимальное сокращение их номенклатуры, технологичность, прочность и долговечность и возможность изготовления их малой серией на универсальном оборудовании.

**Обеспечение взаимозаменяемости радиодеталей и радиокомпонентов.** Под взаимозаменяемостью понимают возможность замены одного элемента другим без дополнительной подгонки и регулировки. Для этого элементы одного типа должны иметь одинаковые конструктивные (посадочные) размеры, присоединительные разъемы и электрические параметры. Вообще-то невозможно изготовить два абсолютно одинаковых элемента по геометрическим размерам и электрическим параметрам. Поэтому для выполнения условия взаимозаменяемости задают производственные допуски. Чем больше допуск, тем легче изготовить элемент, а следовательно, и стоимость его будет меньше. Поэтому при разработке радиодеталей и радиокомпонентов целесообразно применять максимально широкий допуск (однако он не должен нарушать взаимозаменяемости).

**Максимальная типизация и унификация радиодеталей и радиокомпонентов.** Применение нормализованных, унифицированных и стандартизованных радиодеталей и радиокомпонентов позволяет автоматизировать процесс их изготовления, а следовательно, обеспечить высокую надежность и минимальную стоимость.

**Максимальное сокращение номенклатуры радиодеталей и радиокомпонентов.** Номенклатура радиодеталей и радиокомпонентов (резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов, микромодулей, интегральных схем и др.) должна быть по возможности минимальной. Невыполнение этого требования ведет к осложнениям в снабжении, создает дополнительные технологические трудности для предприятий-изготовителей.

**Технологичность радиодеталей и радиокомпонентов** — характеристика изделия, определяющая возможность изготовления его в производственных условиях с минимальными отклонениями и минимальным браком при минимальных затратах на технологические приспособ-

ления и максимальном использовании механизации и автоматизации.

**Прочность и долговечность радиодеталей и радиокомпонентов.** Это требование имеет особое значение для радиодеталей и радиокомпонентов, содержащих механически перемещающиеся детали. Поэтому их разработка предполагает применение более качественных материалов, термообработки и защитных покрытий.

**Возможность изготовления радиодеталей и радиокомпонентов малой серией на универсальном оборудовании.** Данное требование в основном относится к опытным партиям радиодеталей и радиокомпонентов, и его учитывают только тогда, когда заранее известно, что они будут выпускаться малой серией. В этом случае разработка новой технологической оснастки экономически не оправдывается.

**Экономические требования** предполагают проведение оценки качественного уровня радиодеталей и радиокомпонентов с точки зрения их экономичности.

Готовя радиодетали и радиокомпоненты к запуску в производство, необходимо обеспечить их изготовление с наименьшими затратами трудовых, материальных и финансовых ресурсов. Понятно, что одна и та же радиодеталь (или радиокомпонент) в зависимости от масштаба ее производства, квалификации рабочих, технической оснащенности производства может характеризоваться различной трудо- и материалоемкостью, разными длительностью производственного цикла и величиной затрат на производство. Главная задача заключается в нахождении правильного соответствия между закладываемыми в изделие конструктивно-технологическими требованиями (класс точности, чистота обработки, степень взаимозаменяемости, степень технологичности и др.) и реальными условиями производства (размеры, цикличность, техническая обеспеченность, наличие нужных кадров и др.). Конструкция радиодеталей и радиокомпонентов должна быть максимально экономичной в отношении расходов на нее материалов, труда и средств, но при обязательном условии экономической оправданности тех путей, которые были использованы для достижения поставленной цели.

Важнейшими показателями оценки конструкций радиодеталей и радиокомпонентов являются трудоемкость, материалоемкость, масса и себестоимость.

**Специальные требования.** К специальным требованиям относят требования, определяемые спецификой радиодеталей и радиокомпонентов, областью их применения и условиями эксплуатации. Например, радиодетали и радиокомпоненты, используемые в самолетной аппаратуре, должны иметь малые габаритные размеры и массу, надежную защиту от механических воздействий, резких перепадов температуры, давления, влажности и ускорений. Радиодетали и радиокомпоненты, работающие в космической аппаратуре, требуют особо высокой надежности при малых массах, габаритах и энергопотреблении.

К специальным требованиям относят также требования, вытекающие из особенностей эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов в подземных шахтах под водой, в космосе и т. д. Особое место в специальных требованиях занимают требования к патентоспособности и патентной чистоте радиодеталей и радиокомпонентов. Патентоспособными называют устройства, способы или вещества, которые могут быть признаны изобретениями. (Устройства — это аппараты, приборы, машины и т. п., а также их детали и узлы; способы — это технологические процессы, приемы и т. п., вещества — это сплавы, пластмассы, керамика и другие материалы.) Патенточистой для страны, куда экспортируется продукция, называют продукцию, которая не попадает под действие патентов на изобретения и промышленные образцы, выданные в этой стране. Экспорт в какую-либо страну патентонечистых для нее изделий недопустим, так как это нарушает патентное право и вызывает санкции, наносящие значительный экономический ущерб экспортерам.

Требования, предъявляемые к радиодеталям и радиокомпонентам, регламентируются государственными стандартами (ГОСТ), отраслевыми стандартами (ОСТ), нормами и ТУ.

## ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

### 2.1 СУБЪЕКТИВНЫЕ И ОБЪЕКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ. ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Повреждения радиодеталей и радиокомпонентов могут быть обусловлены неправильным конструированием, нарушениями ТУ при производстве и условиями эксплуатации. Все многообразие дестабилизирующих факторов условно разделяют на две большие категории: субъективные и объективные факторы.

**Субъективные факторы.** Эта категория факторов определяется действиями отдельных людей, оказывающих существенное влияние на надежность изделий на всех этапах, начиная от конструирования и изготовления и кончая их эксплуатацией. Однако степень влияния субъективных факторов на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов различна для различных этапов. Ошибки, допущенные при конструировании, исправляются, как правило, усилиями всего коллектива. Ошибки, допущенные при изготовлении, выявляются во время многочисленных испытаний. Ошибка же одного техника-эксплуатационника может оказать решающее влияние на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов и на их готовность к выполнению основной задачи. Поэтому в основе значительной доли отказов радиодеталей и радиокомпонентов лежат неправильные действия обслуживающего персонала во время контроля функционирования, регулировки, ремонта и эксплуатации РЭА.

Основные субъективные факторы могут быть сведены к следующему: а) небрежность в обращении с радиодеталями и радиокомпонентами при их производстве и в эксплуатации; б) отсутствие необходимых знаний и опыта, определяющих правильные действия в условиях эксплуатации (при выборе режимов работы, контроле функционирования, регулировке и ремонте). Так, например, неточная установка режимов питания для транзисторов ведет к их быстрому выходу из строя. Коммутация необесточенных цепей РЭА, во время которой

появляются опасные переходные процессы, вызывает преждевременное разрушение радиодеталей и радиокомпонентов или даже появление аварийных ситуаций. В такие моменты возникают перенапряжения и броски тока, создающие пробой, искрение, механические перегрузки и т. п. Незнание режима работы или особенностей, привносимых в работу схемы отдельными элементами, неумение использовать эти особенности при регулировке, настройке или контроле может привести к выходу из строя РЭА. Незнание признаков нормальной работы элементов, неправильная оценка отдельных ненормальных явлений в работе аппаратуры и в связи с этим несвоевременное устранение мелких неисправностей приводят к выходу из строя других, нормально функционирующих радиодеталей и радиокомпонентов.

К вынужденному выходу из строя радиодеталей и радиокомпонентов приводят также использование предохранителей, не соответствующих номиналу, небрежное обращение или неумение пользоваться органами регулировки, бессистемный поиск неисправностей РЭА и незнание возможных неисправностей радиодеталей и радиокомпонентов.

Несоблюдение инструкции по эксплуатации, нарушение объема и методики профилактических или ремонтных работ, связанных с предупреждением неисправностей, приводит к ускорению износа радиодеталей и радиокомпонентов и РЭА в целом. Небрежно составленная инструкция по эксплуатации также может быть причиной повреждения радиодеталей и радиокомпонентов.

Установлено, что из общего количества повреждений РЭА примерно 43% происходит от ошибок при конструировании, 20% зависят от изготовления радиодеталей и радиокомпонентов и РЭА, 30% относятся к условиям эксплуатации, а остальные 7% определяются износом, старением и недоброкачественным сырьем. Причем неправильный режим эксплуатации, неправильное и неумелое обслуживание дает около 18% повреждений. Более строгий контроль при конструировании и производстве мог бы сократить выпуск дефектных радиодеталей и радиокомпонентов. Полное же исключение субъективных факторов, конечно, невозможно, они всегда имеются. Но их можно свести к минимуму. Для чего от специалистов, связанных с конструированием, изготовлением и эксплуатацией радиодеталей и радиокомпонентов, требуются

высокая дисциплинированность, добросовестность и постоянное совершенствование своей квалификации.

**Объективные факторы.** Эти факторы связаны с внешними воздействиями на радиодетали и радиокомпоненты, с особенностями их применения, с внутренними процессами в материалах, определяющими износ и старение. Известно, что изделия из одних и тех же материалов в одних условиях эксплуатации и хранения теряют работоспособности несколько десятков или даже сотен лет, в других — разрушаются в течение нескольких дней. Следовательно, в изделиях могут происходить те или иные процессы, с различной скоростью изменяющие их свойства. Знание этих процессов и степени влияния объективных факторов на их ход дает возможность принять меры для замедления или полного устранения их. Это позволяет на многие годы сохранить работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов. К объективным факторам относят климатические, механические и температурные воздействия.

## 2.2. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Температурные воздействия являются одним из наиболее активных дестабилизирующих факторов. Повышение или понижение температуры почти всегда вызывает ухудшение работы РЭА, так как изменение температуры даже в формально допустимых пределах вызывает изменение параметров радиодеталей и радиокомпонентов. Это связано с изменением физических и химических свойств материалов, из которых изготовлены радиодетали и радиокомпоненты. Изменение температуры вызывает появление деформаций, изменение твердости и упругости, электрических и магнитных свойств материалов. При этом могут произойти недопустимые изменения параметров радиодеталей и радиокомпонентов или их разрушение.

*Температурная деформация материалов и конструкций.* Все материалы при изменении температуры в некоторой степени претерпевают деформацию, величина которой зависит от их физических свойств и характера воздействия температуры.

Изменение линейных размеров однородного тела  $\Delta l$  определяется известной зависимостью

$$\Delta l = \alpha l (t_2 - t_1), \quad (2.1)$$

где  $\alpha$  — температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР);  $t_1$  и  $t_2$  — начальная и конечная температуры соответственно;  $l$  — линейный размер тела, например, его длина.

Из формулы (2.1) видно, что на деформацию тела в одинаковой степени оказывает влияние как температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), так и разность температур. Если конструкция однородна и у всех ее частей температура изменилась на одну и ту же величину, то внутренних напряжений в ней не возникает — форма конструкции не искажается. Если же температура отдельных частей однородной конструкции не одинаковая, то она деформируется. В конструкции, состоящей из двух или более элементов, при изменении температуры геометрические размеры элементов изменяются не в одинаковой степени. Это приводит к деформации конструкции. Причем деформация конструкции тем больше, чем больше разность температур в отдельных ее частях и чем больше различаются ТКЛР ее элементов.

На величину деформации конструкции сильное влияние оказывает теплопроводность материалов. При нагреве части конструкции, обладающие лучшей теплопроводностью, будут нагреваться быстрее и их температура будет выше температуры других частей. При охлаждении же эти части будут охлаждаться быстрее и их температура будет ниже, чем у других частей, обладающих худшей теплопроводностью. Таким образом, материалы с плохой теплопроводностью способствуют получению больших деформаций, обусловленных большой разностью температур отдельных частей конструкции.

Деформация неоднородной конструкции, состоящей из нескольких связанных между собой элементов с различными ТКЛР, может значительно отличаться от подсчитанной по формуле (2.1) и достигать больших или очень малых значений. Это говорит о том, что путем продуманного подбора материала элементов конструкции (с учетом их ТКЛР и теплопроводности) можно создавать радиодетали и радиокомпоненты, не подвергающиеся разрушительным деформациям.

У большинства материалов, используемых в радиодеталях и радиокомпонентах,  $\alpha = (1-300) \cdot 10^{-6}$ . У металлов  $\alpha = (1-40) \cdot 10^{-6}$ , у неорганических диэлектриков (керамика, стекло, кварц, слюда и др.)  $\alpha$  как правило,

не превышает  $10 \cdot 10^{-6}$ . Наибольшее значение  $\alpha$ , достигающее до  $300 \cdot 10^{-6}$ , имеют различные органические диэлектрики.

Различие ТКЛР, например у металлов и пластмасс, приводит к образованию каналов между этими материалами. Эти каналы создают пути для проникновения влаги. При низкой температуре вода замерзает и, расширяясь примерно на 10% в объеме, вызывает дальнейшее увеличение каналов, трещин, зазоров. При действии тепла и холода на припой, скрепляющий одну деталь с другой, в нем могут возникнуть такие усилия, которые нарушат связь припоя с материалом. В результате может нарушиться герметизация радиодетали или радиокомпонента, а также и электрический контакт. Разница в ТКЛР различных материалов может вызвать деформацию узлов в сборе, разрыв уплотняющих элементов и заедание движущихся частей.

*Влияние температуры на свойства материалов.* Температурные воздействия оказывают заметное влияние на свойства материалов. Так, например, при повышении температуры увеличивается электрическое сопротивление металлов и сплавов. При температуре от 200 до 500°C заметными становятся уменьшение модуля упругости и предела прочности материалов. При понижении температуры у всех материалов понижается пластичность, а при достаточно низких температурах пластичность практически исчезает и материалы становятся хрупкими.

От температуры в значительной степени зависят электрические свойства диэлектриков. При повышении температуры сопротивление изоляции резко падает, растут диэлектрические потери, изменяется диэлектрическая проницаемость, некоторые диэлектрики размягчаются. Электрическая прочность большинства диэлектриков при действии тепла вначале увеличивается, а механическая прочность уменьшается вследствие удаления влаги. Затем начинается уменьшение электрической прочности. Конечным результатом является физическое разрушение диэлектрика. Изоляционные материалы под действием тепла и холода растрескиваются, что способствует усиленному проникновению влаги и потере диэлектрических свойств.

Под старением понимают явления, связанные с изменением электрических и физических свойств материалов

при длительном воздействии окружающей среды. Больше всего подвержены старению органические изоляционные материалы: повышение рабочей температуры на каждые 8—10°C вдвое сокращает их срок службы. Воздействие времени и температуры уменьшает механическую прочность органических материалов. Они становятся более хрупкими и в конечном счете могут быть разрушены под действием даже небольшого удара или вибрации.

В металлических конструкциях старение проявляется в постепенном исчезновении внутренних напряжений, образовавшихся при изготовлении. В итоге заданная форма конструкции может в значительной степени изменяться (деформироваться).

Воздействие высоких или низких температур может также привести к обратимому или необратимому изменению физико-химических свойств материала. При обратимых изменениях свойств материала геометрические размеры и значения параметров радиодеталей и радиокомпонентов восстанавливаются после того, как прекращается воздействие высоких или низких температур. При необратимом изменении физико-химических свойств материалов изменившиеся электрические и механические параметры радиодеталей и радиокомпонентов не восстанавливаются.

Повышение температуры сверх допустимого уровня вызывает ускоренное старение и разрушение элементов. Чрезмерное снижение температуры — катастрофическое ухудшение характеристик и отказы радиодеталей и радиокомпонентов. Изменение температуры ведет к изменению емкости, сопротивления изоляции и тангенса угла диэлектрических потерь конденсаторов, индуктивности высокочастотных катушек и дросселей, сопротивления резисторов. Например, емкость конденсаторов типа КСО (рис. 2.1) при отрицательных температурах уменьшается, а при положительных возрастает. Сопротивление изоляции (рис. 2.2) с увеличением температуры уменьшается. У электролитических конденсаторов наблюдается более сильная зависимость изменения емкости от температуры и особенно резкое ее уменьшение при предельно допустимых отрицательных температурах. Повышение рабочей температуры электролитических конденсаторов всего лишь на 10—15°C выше номинального значения снижает их срок службы в 8—10 раз.

Изменения электрического сопротивления поверхностных и композиционных резисторов от температуры являются обратимыми, если температура в наиболее нагретом месте тела резистора не превышает предельно допустимую, в противном случае происходит необратимое изменение электрического сопротивления резистора. Для резисторов типов ВС, КВМ, КИМ, КЛМ, КЛИ и УЛМ предельная температура равна 125°C, для МЛТ, МТ и ОМЛТ она равна

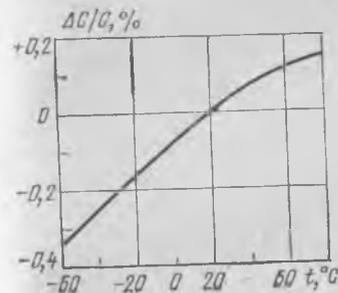


РИС. 2.1. Зависимость относительного изменения емкости конденсатора КСО-2-500-Г-3000 пФ ± 5% от температуры



РИС. 2.2. Зависимость сопротивления изоляции  $R_{из}$  конденсатора КСО-2-500-Г-3000 пФ ± 5% от температуры

155°C, а для СЧ-1 равна 350°C. Повреждения проволочных резисторов часто происходят из-за снижения сопротивления материала каркаса при его нагреве. А большое различие ТКЛР провода и каркаса является причиной смещения витков и их замыкания.

Температура нагрева трансформаторов при эксплуатации повышается вследствие потерь в обмотках и железе и меняется в широких пределах. Из-за различия ТКЛР примененных материалов изменяются геометрические размеры всего трансформатора и, в частности, его обмоток. Витки обмоток смещаются один относительно другого, а это приводит к появлению короткозамкнутых витков. Трансформаторы нагреваются во время работы или при повышении температуры окружающей среды, а при выключении аппаратуры охлаждаются. При нагреве заливочный материал трансформаторов расширяется, при охлаждении сжимается. Это приводит к образованию внутри заливочной массы вакуумных или воздушных включений, которые постепенно перемещаются вверх. В том случае, когда на верхней части кожуха трансформатора расположена клеммная

плата и кожух негерметичен, влага, проникающая в кожух, приводит к электрическому пробое платы.

При колебаниях температуры в катушках индуктивности возникают деформации, приводящие к изменению их индуктивности. Повышение температуры катушек реле вызывает увеличение их сопротивления. Это в некоторых случаях приводит к уменьшению тока в обмотках до величины, недостаточной для четкого срабатывания реле. При нагревании катушек реле летучие продукты лаков и компаундов, осаждаются на поверхности контактов, нарушают контакты, что ведет к нечеткому срабатыванию реле.

Наиболее чувствительны к изменению температуры полупроводниковые приборы. Например, для германиевых транзисторов обратный ток через коллекторный переход  $I_{co}$  с увеличением температуры увеличивается примерно в 2 раза на каждые  $10^\circ\text{C}$ . Температурная зависимость параметров полупроводниковых приборов является одним из наиболее важных факторов, ограничивающих возможность их использования. В прямой зависимости от температуры находится и их срок службы.

Микромодули широкого применения могут работать в интервале температур от  $-60$  до  $+70^\circ\text{C}$ . Длительное воздействие высоких температур, близких к предельным, в некоторых случаях приводит к необратимым изменениям электрических параметров микромодулей. Отрицательные температуры оказывают меньшее влияние на старение большинства материалов, но сильнее влияют на изменение параметров микромодулей, чем положительные. Кроме изменения электрических параметров, при переменном воздействии отрицательных и положительных температур в ряде случаев могут наблюдаться разрушения отдельных элементов конструкции микромодулей.

Основными параметрами, от которых зависит работоспособность печатных схем, являются сопротивление изоляции, тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическая проницаемость. С увеличением температуры уменьшается сопротивление изоляции печатных схем (рис. 2.3), возрастают тангенс угла диэлектрических потерь и паразитная емкость. Это приводит к увеличению уровня потерь и ухудшению стабильности работы схем. Воздействие температур приводит к старению

материалов, используемых для изготовления печатных схем и, следовательно, к необратимому изменению их основных параметров.

Вышеизложенные соображения в значительной мере относятся и к интегральным схемам. Интегральные схемы высоконадежны, однако, как и другие радиодетали и радиокомпоненты, чувствительны к колебаниям температуры. Так, повышенные температуры вызывают фор-

мирование интерметаллических фаз в местах соединений, увеличение сопротивления контактов, миграцию ионов щелочных металлов и адсорбцию (поглощение) молекул воды, что может вызвать появление отказов. Более 90% отказов полупроводниковых интегральных схем в пластмассовых корпусах при высокотемпературных воздействиях происходит в результате обрыва и коротких замыканий внутренних проволочных соединений. Основная причина таких отказов определяется различием температурных коэффициентов линейного расширения металла и обволакивающего материала, что вызывает возникновение термомеханических напряжений и ускорение процессов отказов при термоударах и термоциклировании. Температурные воздействия на интегральные схемы в керамических корпусах таких видов отказов практически не вызывают.

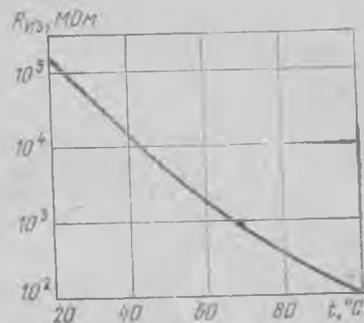


РИС. 2.3. Зависимость сопротивления изоляции  $R_{из}$  печатной платы на гетинаксе, изготовленной комбинированным методом, от температуры

### 2.3. ВЛИЯНИЕ ВЛАГИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Воздействие климатических факторов вызывает изменение физико-химических свойств материалов, из которых изготовлены радиодетали и радиокомпоненты. Это может привести к изменению их параметров или к потере работоспособности. Степень изменения параметров тем значительнее, чем больше интенсивность и время воздействия различных климатических факторов. Изменение свойств материалов обычно возрастает, если одно-

временно действуют два или более возмущающих факторов. Например, холод, периодически чередующийся с положительной температурой (зона пустынь, где дневная жара сменяется заморозками), вызывает конденсацию влаги на поверхности радиодеталей и радиокомпонентов. Вследствие малых молекул воды и небольшой вязкости влага проникает через поры, трещины и зазоры в материал или внутрь изделия. При низкой температуре вода в порах и трещинах замерзает и, расширяясь, вызывает их увеличение, при высоких температурах влага, испаряясь, также вызывает их увеличение. В итоге может произойти разрушение поверхности тела или его покрытия.

Влага ускоряет коррозию металлов, изменяет электрические характеристики диэлектриков, способствует тепловому распаду материалов и росту плесени.

Влага постоянно содержится в воздухе атмосферы. Даже при нормальной относительной влажности атмосферы (65%) все тела, находящиеся в ней, покрыты тончайшей (0,001—0,01 мкм) пленкой воды. Пленка воды ионизируется окисью углерода атмосферы, солнечным светом и солями. Ионизация увеличивает ее проводимость. Если поместить образец материала с очень малым объемным поглощением воды в атмосферу, имеющую 100%-ную относительную влажность при нормальной температуре, на нем в течение нескольких секунд образуется ионизированная проводящая пленка. Образование пленок на поверхностях изоляционных материалов уменьшает их поверхностное сопротивление, а проникновение влаги внутрь материала уменьшает объемное сопротивление. Причем степень изменения сопротивления изоляции зависит от влажности и температуры, от способности материала диэлектрика впитывать влагу и загрязненности его поверхности. Например, при изменении относительной влажности с 50 до 90% поверхностное сопротивление изоляции чистой керамической детали изменится на 2 порядка (кривая 1 на рис. 2.4), а загрязненной — на 5 порядков (кривая 2).

Влага в атмосфере содержит не только пары воды, но и растворы солей и кислот. Осаждаясь на поверхности металла, влага образует пленку электролита. Возникающая при этом химическая реакция приводит к быстрому разрушению поверхности металла — коррозии. Коррозия уменьшает механическую прочность ме-

талла, вызывает нарушение контактов или обрыв тонких проводов.

При поглощении диэлектриком более чем 0,1% воды от его массы параметры большинства типов конденсаторов выходят за пределы допустимого. В негерметизированных конденсаторах, опрессованных в пластмассу или залитых компаундом, снижается сопротивление изоляции и увеличивается тангенс угла диэлектрических потерь. Возрастает также вероятность пробоя конденсаторов.

Сопротивление изоляции конденсатора с диэлектриком из слюды, включающим небольшое количество влаги, резко уменьшается при нагреве конденсатора до 80°C, при этом значительно возрастает тангенс угла диэлектрических потерь. В керамических негерметизированных конденсаторах в условиях тропического климата наблюдаются заметное уменьшение сопротивления изоляции и емкости, а тангенс угла диэлектрических потерь при этом увеличивается в 2—3 раза. Чрезмерное проникновение влаги в электролитические конденсаторы с плохим уплотнением приводит к возрастанию емкости, тока утечки и снижению удельного сопротивления электролита и тангенса угла диэлектрических потерь. При этом с течением времени возрастает проводимость, что приводит к нарушению теплового равновесия конденсатора и он выходит из строя.

Величина электрического сопротивления, например, композиционных резисторов типа КЛМ выходит за пределы допустимого, если масса поглощенной воды больше 0,2% от массы резистора. При этом у нагруженного резистора под действием влаги происходит разрушение токопроводящего слоя. Оно вызвано перемещением проводящих частиц и разбрызгиванием их в набухшей во влажной среде лаковой пленке. Интенсивность разрушения токопроводящего слоя тем больше, чем больше влагопроницаемость пленки и чем меньше количество частиц

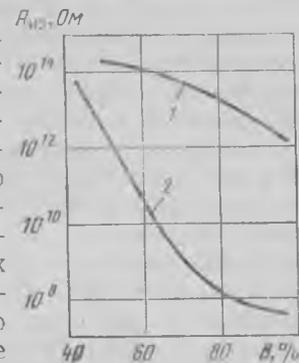


РИС. 2.4. Зависимость сопротивления изоляции  $R_{из}$  чистой (1) и загрязненной (2) керамических поверхностей деталей от относительной влажности воздуха  $H$

токопроводящего слоя, приходящихся на единицу поверхности, прочность их сцепления между собой, с керамическим основанием и защитной лаковой пленкой. Влага, попавшая на токопроводящий слой нагруженного резистора, является причиной возникновения электрохимического процесса. В результате этого процесса выделяется кислород, который окисляет токопроводящий слой и разрушает его.

Для предотвращения проникновения влаги в область проводящего слоя непроволочные резисторы покрывают несколькими слоями (3—4 слоя) лака или эмали с последующей сушкой каждого слоя. Для сильно нагруженных резисторов используют кремнийорганическую эмаль. На поверхности резисторов недопустимы дефекты, нарушающие целостность эмалевого или лакового покрытия. Незаметные на первый взгляд раковины, пузырьки воздуха или точечные наколы защитного слоя являются причиной возникновения каналов, по которым к токопроводящему слою проникает влага. Повреждения защитного слоя нередко возникают в результате небрежного обращения с резисторами.

Из наиболее часто встречающихся повреждений постоянных и переменных проволочных резисторов, вызванных действием влаги, являются обрывы проволоки, нарушение контакта проволоки с выводом, нарушение контакта между движком и контактной дорожкой.

У трансформаторов, дросселей и катушек индуктивности влага, попавшая внутрь обмоток, снижает сопротивление изоляции между витками до такой величины, при которой появляются значительные утечки, облегчающие пробой изоляции и образование короткозамкнутых витков. В катушках индуктивности под действием высокой влажности наблюдается снижение добротности на 10—40%. Оно происходит, главным образом, из-за шунтирующего действия сопротивления водяной пленки. В трансформаторах, дросселях, катушках индуктивности и катушках реле соли, растворенные в воде, обуславливают появление электрохимических процессов. При этом медь проводов, проникая в изоляцию, разрушает ее.

В печатных схемах между токоведущими частями схемы с разными потенциалами возникают токи утечки, шунтирующие электрические цепи. С повышением влажности воздуха вероятность возникновения шунтов и поверхностного перекрытия сильно возрастает. Продол-

жительное нахождение печатных плат в условиях повышенной влажности приводит к возникновению необратимых явлений, вызывающих резкое уменьшение сопротивления изоляции. Покрытие печатных схем влагозащитными лаками, герметизация, заливка компаундами повышают их долговечность и стабильность работы.

Все виды конструкций интегральных схем, а также микромодулей и входящих в них элементов обеспечивают (благодаря надежной герметизации) устойчивость к воздействию повышенной влажности. У некоторых типов интегральных схем и микромодулей может наблюдаться незначительное изменение параметров, не превышающее установленные нормы.

Морской туман, иней, роса, являясь молекулярными разновидностями воды, оказывают на радиодетали и радиокомпоненты аналогичное воздействие.

#### 2.4. ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ПЫЛИ И ПЕСКА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

**Действие биологической среды.** Воздействия биологических факторов (например, таких как плесень, муравьи) могут повлиять на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов более значительно, чем может показаться с первого взгляда.

Под действием плесени изменяются электрические характеристики и повышается хрупкость пластмассы. Плесень поражается бумага, картон, натуральный и синтетический каучук. Плесень поражает даже такие материалы, которые не являются для нее питательной средой, как, например, стекло. Питательной средой для плесени в этом случае являются органическая пыль, микроорганизмы, мелкие насекомые, цементирующие составы, воск и т. п. Плесневые грибки при благоприятных для их роста условиях разрастаются на клеммных колодках, платах переключателей, изоляционной оболочке проводов, канифоли и других материалах, являющихся питательной средой для плесени. В процессе жизнедеятельности грибковые образования выделяют на лакокрасочных покрытиях, компаундах и пластмассах органические кислоты: лимонную, уксусную, щавелевую и др. Эти кислоты ускоряют процесс коррозии металли-

ческих частей радиодеталей и радиокомпонентов и разлагают изоляционные материалы.

Различные виды плесени, живущие за счет разрушения органического вещества, весьма распространены в природе. Процесс разрушения органических материалов плесенью очень сложен. На него оказывает влияние не только температура и влага, но и солнечный свет, подвижность воздуха и различные атмосферные включения.

Радииодетали и радиокомпоненты, имеющие в своем составе органические материалы, могут быть повреждены муравьями. Например, красные муравьи поедают изоляции кабелей, проводов и другие подобные материалы. Белые муравьи, или термиты, приводят в негодность изоляционные лаки, ткань, дерево, кожу и даже мягкие металлы. Мокрые выделения термитов на токонесущие части в РЭА создают пути утечке токов, что способствует появлению нежелательных цепей.

**Действие пыли и песка.** Пыль, оседая на металлические части радиодеталей и радиокомпонентов, может быть причиной потери их нормальной работоспособности. Содержащиеся в пыли углекислые, сернистые, хлористые и другие растворимые соли поглощают влагу из окружающего воздуха. Пыль многих материалов, например угля, поглощает из атмосферы активные газы и переносит их на поверхность металла. В обоих случаях пыль является причиной ускорения коррозии металлических частей радиодеталей и радиокомпонентов. Пыль может содержать также грибковые споры. Попадая на изделие вместе с пылью, они при благоприятных условиях быстро размножаются и поражают изделие.

Диэлектрическая проницаемость пыли больше, чем проницаемость воздуха. Поэтому пыль на пластинках воздушного конденсатора увеличивает его емкость. В высоковольтных конденсаторах переменной емкости с воздушным диэлектриком частицы пыли и волокна под действием электростатического притяжения увлекаются в зазоры между пластинами и образуют участки с пониженной электрической прочностью. Пыль, проникающая в реле, выключатели, переключатели и другие коммутационные изделия, может привести к увеличению переходного сопротивления между контактами и повышенному их нагреву, к дугообразованию, трескам и шумам в схемах с большим усилением. Слой пыли, обра-

зовавшийся на поверхности диэлектрика, снижает его поверхностное сопротивление (см. рис. 2.4).

На лакокрасочных покрытиях увлажненная пыль вызывает медленную химическую реакцию, ухудшая их физико-химические свойства и внешний вид. Если печатные платы, не очищенные тщательно от пыли, покрыть лаком, то при увлажнении пыли под слоем лака сопротивление изоляции катастрофически снижается. Чтобы представить опасность пыли в производстве, достаточно вспомнить, что у некоторых миниатюрных радиодеталей и радиокомпонентов расстояния между токонесущими частями измеряются сотыми и тысячными долями миллиметра. Металлическая частица пыли, осев между ними, может создать ненужную электрическую цепь и нарушить нормальную работу радиодетали или радиокомпонента.

Для изготовления электролитического конденсатора с достаточным сроком службы необходимо использовать анодную фольгу с чистотой лучшей, чем 99,99%. Очень высокие требования к чистоте материалов предъявляются в производстве полупроводниковых приборов. Нежелательные примеси здесь не должны превышать миллиардных долей процента. Благодаря исключительной чистоте и высокой культуре производства изготавливаемые нашей промышленностью интегральные микросхемы имеют значительно большую потенциальную надежность элементов, чем обычные радиодетали, в которых используются загрязненные материалы.

Песок оказывает влияние на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов главным образом за счет абразивного эффекта. Попав между движущимися частями, песок ускоряет их износ, он может быть также причиной заедания движущихся частей. Например, у резисторов переменного сопротивления ускоряется износ контактной дорожки и контактной щетки, нарушается плавность перемещения движка, которая обычно сопровождается прерыванием контакта.

## 2.5. ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Радииодеталям и радиокомпонентам часто приходится работать при очень высоких или при очень низких атмосферных давлениях. Низкое атмосферное давление ха-

рактрно для условий работы на большой высоте. С понижением атмосферного давления уменьшается электрическая прочность воздуха. Действительно, проводимость воздуха обусловлена движением носителей электрических зарядов — свободных электронов и положительно заряженных ионов, образованных его ионизацией. Носители зарядов под действием электрического поля движутся, создавая ток. При большой напряженности электрического поля образование носителей тока происходит лавинообразно. Возникновение лавинообразного процесса при пониженном давлении воздуха облегчается, так как увеличивается длина среднего пути свободного пробега электронов и возрастает вероятность ионизации молекул газа свободными электронами.

Таким образом, с уменьшением атмосферного давления увеличивается опасность возникновения газовых пробоев (разрядов), образующихся благодаря ионизации воздуха. Пробой начинается с коронного разряда. Коронный разряд в атмосфере, содержащей кислород, сопровождается выделением высокореактивного оксидирующего газа — озона и некоторых агрессивных азотных соединений. В присутствии влаги из этих соединений образуются азотистая и азотная кислоты, вызывающие коррозию металлов и повреждение изоляции. Корона не только вызывает непосредственное повреждение изоляции и коррозию металлов: высокие температуры, возникающие вследствие действия короны, ускоряют процесс старения изоляции.

Пробивное напряжение  $U_{пр}$  газового промежутка является функцией давления газа  $p$  и расстояния  $d$  между электродами:

$$U_{пр} = f(p, d).$$

На рис. 2.5 приведена зависимость напряжения пробоя газового изоляционного промежутка между плоскими электродами от произведения длины промежутка  $d$  на величину атмосферного давления  $p$ . Из графиков видно, что при уменьшении давления электрическая прочность газовых изоляционных промежутков вначале снижается, а затем, достигнув минимума при некотором давлении, снова растет. В связи с этим, оценивая характеристики радиодеталей и радиокомпонентов при пониженных давлениях, испытания проводят во всем диапазоне возможных изменений давления, а не в нескольких, произвольных выбранных точках.

Появление коронного разряда наиболее вероятно между электродами, имеющими острые углы. Поэтому при конструировании следует помнить, что острые углы у радиодеталей и радиокомпонентов не желательны. Увеличение электрической прочности воздушных промежутков между токоведущими частями путем увеличения расстояния между ними с уменьшением давления становится все менее и менее эффективным. Поэтому для предотвращения возникновения коронного электрического разряда предусматривают специальные меры.

При пониженном атмосферном давлении теплопроводность воздуха уменьшается, следовательно, отвод тепла от радиодеталей и радиокомпонентов ухудшается. С изменением атмосферного давления изменяется и диэлектрическая проницаемость воздуха, что вызывает, например, изменение емкости воздушных конденсаторов. Снижение атмосферного давления, кроме того, может вызвать дополнительные механические нагрузки, в особенности на кожухи герметичных элементов и уплотненных (элементов не герметичных, но с использованием уплотнительных прокладок или опрессовки). При понижении давления окружающей атмосферы стенки корпуса герметичных элементов испытывают воздействие перепада давления. Усилия, возникающие при этом, достигают больших значений. Если в конструкции элемента не приняты специальные меры (например, установка клапана, создание «слабого места»), снижение атмосферного давления ведет к деформации или даже разрушению корпуса.

После длительного пребывания уплотненных элементов под пониженным давлением и с последующим быстрым повышением давления до атмосферного могут возникнуть механические нагрузки, способные вызвать сдавливание корпуса. С такими явлениями встречаются, например, при транспортировании уплотненных элемен-

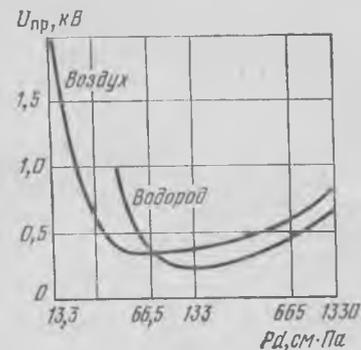


РИС. 2.5. Зависимость напряжения пробоя  $U_{пр}$  от произведения  $p d$

тов в негерметичных отсеках самолетов. При заходе на посадку самолет быстро теряет высоту, давление в отсеке возрастает и не рассчитанный на такие нагрузки корпус элемента может быть раздавлен.

Если элементы не герметизированы, то при резком понижении давления возможно «вскипание» имеющихся в них жидкостей. Это происходит из-за быстрого выделения при атмосферном давлении растворенных в жидкостях газов.

## 2.6. ВЛИЯНИЕ ЯДЕРНОЙ, КОСМИЧЕСКОЙ И СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ [2]

Радиацию разделяют на естественную и искусственную. К естественной радиации относят: космические излучения, корпускулярное и рентгеновское излучения Солнца, радиационные пояса Земли. Искусственная радиация возникает в результате ядерных реакций: при эксплуатации РЭА в зонах излучений на атомных электростанциях; на подводных лодках и кораблях с атомными двигателями; на самолетах, несущих на борту бомбы с атомными и термоядерными головками; в зонах излучений различных устройств, использующих атомную энергию в мирных целях и т. д.

Способность радиационных излучений проникать в толщу вещества и вызывать в нем ионизацию называют *ионизирующей радиацией*. Можно указать два элемента ядерной радиации, вызывающие повреждение радиодеталей и радиокомпонентов: поток нейтронов и гамма-излучение ( $\gamma$ -излучение). Воздействие радиации на вещество зависит от вида радиации, мощности потока (дозы) облучения, распределения энергии радиации по спектру, природы облучаемого вещества и окружающих климатических условий. Воздействие радиации на материалы и радиоэлементы может привести к обратимым и необратимым изменениям их электрических, физических и химических параметров. Обратимые изменения, вызываемые преимущественно  $\gamma$ -излучением, исчезают после прекращения действия радиации или при ее резком ослаблении. Необратимые изменения, связанные с нарушением структуры вещества, сохраняются и после прекращения излучения.

Заметное изменение свойств металлов происходит при плотности потока нейтронов более  $10^8$  нейтр./ $(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ .

При облучении таким потоком нейтронов на 10—20% увеличивается сопротивление меди, молибдена и ряда других металлов. Кроме того, под воздействием радиации большинство металлов упрочняется. Так, при облучении большими дозами быстрых нейтронов твердость углеродистой стали увеличивается на 40%, нержавеющей стали на 100%, никеля на 140%.

Воздействие нейтронного излучения вызывает структурные изменения, влияющие на такие параметры, как коэрцитивная сила, магнитная проницаемость, остаточное намагничивание, удельное сопротивление, диэлектрическая проницаемость. Радиационное излучение способствует также процессу коррозии металлов.

Наиболее радиационностойкими являются неорганические материалы: стекло, кварц и особенно керамика. При облучении органических материалов в основном изменяются их механические свойства. Это ограничивает применение органических материалов в радиодеталях и радиокомпонентах. Особенно чувствительны к действию радиации пластмассы. Для них предельная плотность потока облучения составляет  $10^{14}$  нейтр./ $(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ . У большинства диэлектриков под воздействием радиации уменьшается механическая прочность, а в местах контактов органических материалов образуются металлоорганические соединения.

Воздействие ионизирующего излучения на резисторы может изменить свойства основного материала резистора, что приведет к изменению его сопротивления. Величина и знак изменения сопротивления резистора зависят от его номинального значения, величины приложенного напряжения, типа основного материала резистора и особенностей технологии изготовления. Чем больше сопротивление резистора, тем большие изменения вызывает облучение. Резисторы с сопротивлением порядка  $10^9$  Ом, работающие в условиях радиации, ненадежны.

Облучение резисторов потоком быстрых нейтронов вызывает как обратимые, так и необратимые изменения, что определяется величиной потока. Так, при плотности нейтронного потока, превышающей  $10^{11}$  нейтр./ $(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ , сопротивление резисторов изменяется необратимо. Гамма-излучение вызывает только обратимые изменения. Импульсное  $\gamma$ -излучение (длительность импульса 0,1 мс) дозой  $0,258$  Кл/кг при мощности дозы  $2,58 \cdot 10^3$  А/кг в резисторах с номиналами от 1 до 10 000 кОм вызывает

обратимые уменьшения сопротивления на 1—85%. При малых дозах импульсных нейтронного и  $\gamma$ -излучений, воздействующих одновременно, изменения параметров резисторов обратимы. Характеристики резисторов полностью восстанавливаются через 1—6 мс после облучения.

Ионизирующее излучение вызывает обратимые и необратимые изменения характеристик конденсаторов и, как правило, обратимые изменения величины утечки и тангенса угла диэлектрических потерь. Причем нейтронная радиация дает обратимые и необратимые изменения характеристик конденсаторов (в зависимости от дозы), а  $\gamma$ -излучение — обратимые изменения. Причина — изменение электрических характеристик диэлектрика (его диэлектрической постоянной и сопротивления изоляции). Кроме того, при воздействии радиации выделяются газы в электролитических конденсаторах, что может привести к их разрушению.

Особый интерес представляет рассмотрение влияния радиации на полупроводниковые приборы. Установлено, что  $\gamma$ -излучение вызывает нагрев полупроводниковых материалов, их ионизацию (появление свободных электронов), превращение  $\gamma$ -квантов в пары электрон — позитрон и возникновение под действием указанных эффектов электронно-дырочных пар. Степень проявления перечисленных эффектов зависит от величины энергии и интенсивности излучения, величины интегральной дозы и свойств поглотителя (облучаемого материала). Так, кремний и германий обнаруживают значительные изменения своих свойств при облучении потоков плотностью  $10^9$  нейтр./ $(\text{с}\cdot\text{м}^2)$  или при  $\gamma$ -излучении дозой  $10^3$ — $10^4$  Дж/кг.

Минимальная энергия  $\gamma$ -кванта, необходимая для образования пары электрон — позитрон, равна 1,02 МэВ. Возникновение многочисленных электронно-дырочных пар в обедненных слоях и вблизи их приводит к тому, что транзисторы и диоды ведут себя в схеме как дополнительный миниатюрный источник мощности. Электронно-дырочные пары, представляя собой избыточные носители, образуют первичный ионизационный ток  $I_{1п}$  в диффузионных переходах. При работе транзистора в нормальном режиме часть первичного ионизационного тока усиливается и появляется вторичный ионизационный ток  $I_{2п}$ . Отношение токов  $I_{2п}$  и  $I_{1п}$  примерно равно

коэффициенту усиления транзистора  $\beta$ , когда схема работает в линейном режиме. Появление ионизационных токов увеличивает рабочие токи транзистора. Интенсивные ионизирующие излучения приводят к насыщению транзистора и к работе его в нелинейном режиме. Таким образом, появление переходных токов ведет к полному или частичному нарушению работы схемы за счет появления паразитных сигналов, к возникновению пробоя перехода из-за насыщения транзистора при соответствующем усилении, к появлению обратной связи, приводящей к паразитной генерации.

При облучении интегральных полупроводниковых схем возможно появление их перегрева, сопровождающееся разрушением из-за значительного увеличения переходных токов. Избыточные переходные токи вызывают переходные процессы в диодах. При значительных дозах облучений германий *n*-типа превращается в германий *p*-типа. В зависимости от мощности радиации возможно возникновение таких дефектов в кристаллической структуре решетки, при которых изменение усиления транзистора может быть обратимым или необратимым. Если поток не обладает достаточной мощностью, то нарушение работы транзистора состоит в значительном уменьшении усиления, которое через некоторое время после восстановления равновесия в структуре решетки вновь увеличивается. Иногда под действием нейтронов происходит необратимое уменьшение предельного тока коллектора, напряжения коллектор — эмиттер, напряжения насыщения коллектора и эквивалентных сопротивлений базы.

Повреждения от солнечной радиации для большинства радиодеталей и радиокомпонентов нехарактерны, так как они редко подвергаются непосредственному облучению солнечными лучами.

## 2.7. ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

В условиях эксплуатации могут возникнуть воздействия механического характера в виде ударов, линейных ускорений, вибраций, а также опасные механические воздействия, связанные с отгрузкой и транспортированием радиодеталей и радиокомпонентов к месту назначения в упаковке или в составе РЭА. Вибрации, линей-

ные ускорения и удары могут вызвать как механические повреждения, так и изменение электрических параметров радиодеталей и радиокомпонентов.

На основе анализа воздействий механических нагрузок и напряжений можно выделить шесть основных причин, вызывающих механические повреждения радиодеталей и радиокомпонентов или изменение их электрических параметров: статический отказ, хрупкий излом, нестабильность конструкции, ползучесть и усталость материала, коррозия.

*Статический отказ* — это поломка или полное разрушение радиодетали и радиокомпонента, или их деформация сверх допустимых пределов во время единичного приложения постепенно нарастающей нагрузки. *Хрупкий излом* также возникает в условиях статической нагрузки, но в отличие от статического отказа характерен внезапностью наступления. Хрупкий излом в пластичном материале может возникнуть при наличии дефектов в сильно напряженных участках. Механические повреждения и изменения электрических параметров радиодеталей и радиокомпонентов за счет *ползучести* и *усталости* материалов относятся к явлениям, зависящим от времени, так как деформации этого типа увеличиваются со временем. Механические повреждения, связанные с *нестабильностью конструкции*, вызываются скачкообразным увеличением деформации элемента конструкции при достижении нагрузкой критического значения. Причиной механических повреждений и изменений электрических параметров радиодеталей и радиокомпонентов часто является *коррозия*. Коррозия уменьшает прочность конструкции, причем она протекает быстрее у материалов, которые находятся под механическим напряжением.

Перечисленные причины механических повреждений радиодеталей и радиокомпонентов и изменений их электрических параметров редко возникают отдельно одна от другой (в чистом виде). Обычно они действуют в сочетании.

Механические воздействия, особенно ударные, могут вызвать различные поломки, которые приводят к отказу РЭА. У крупных радиодеталей и радиокомпонентов, например трансформаторов, дросселей низкой частоты и больших конденсаторов и т. д. под влиянием ударов создается опасная поломка креплений, а для керамических и других хрупких деталей — опасность их рас-

трескивания. В результате механических воздействий возможно нарушение плохих паек, появление трещин и сколов на поверхности остеклованных резисторов, рас-трескивание и отслаивание лакокрасочных покрытий, нарушение контактов реле и переключателей, обрыв тонких проводов и т. п.

Вибрации могут привести к самоотвинчиванию винтов и гаек креплений, облому выводов радиодеталей и радиокомпонентов, замыканию проводов с поврежденной изоляцией. Вибрации и акустические шумы могут вызвать взаимное перемещение деталей элементов РЭА, что изменяет их электрические параметры. Например, взаимное перемещение пластин конденсатора переменной емкости приводит к появлению паразитной модуляции (частотной, фазовой, амплитудной), что искажает передаваемую информацию.

Под воздействием сильных акустических шумов наблюдаются отказы некоторых электромеханических и электронных устройств, например источников питания, реле, переключателей. Типичным примером такого отказа является прерывистый контакт движка резистора переменного сопротивления с резистивным элементом. Микроминиатюрные радиодетали и радиокомпоненты менее подвержены опасному воздействию акустических шумов. Объясняется это тем, что они имеют небольшую площадь поверхности и высокую плотность массы, и шум не оказывает заметного влияния на них, так как вибрации, обусловленные акустическим шумом, имеют относительно малый уровень.

Радиодетали и радиокомпоненты, которые могут оказаться в условиях механических воздействий, должны иметь не только необходимую механическую прочность, но и обладать свойствами, не допускающими нежелательных изменений электрических параметров.

Основным способом защиты радиодеталей и радиокомпонентов РЭА от различного рода механических воздействий является применение амортизаторов и вибропоглощающих материалов (покрытий). Однако амортизаторы, эффективные при механических вибрациях, могут оказаться неэффективными для вибраций, обусловленных акустическим шумом, что объясняется различием в возбуждающих силах этих воздействий. Механические вибрации передаются через точки крепления, и любая изоляция вибраций, обеспечиваемая амортизи-

рующими устройствами или конструктивными особенностями элемента, будет ослаблять высокочастотное возбуждение до того, как оно дойдет до деталей элемента. Акустический же шум возбуждает корпус радиодетали или радиокомпонента и их каждую деталь с помощью распределенного усилия, являющегося функцией уровня звукового давления и площади каждой детали элемента.

Для уменьшения влияния акустического шума опорные элементы конструкций и кожухи элементов и РЭА изготавливают из материалов, имеющих высокие демпфирующие свойства. Все малогабаритные радиодетали должны иметь жесткое крепление. Уменьшение числа объемных проводников достигается использованием многослойного печатного монтажа. Хорошие результаты по уменьшению интенсивности воздействия акустического шума дает заливка компаундами отдельных групп элементов.

## 2.8. ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА, КОНСТРУКЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ВЫПОЛНЕНИЯ ТУ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Повреждения радиодеталей и радиокомпонентов могут возникать из-за ошибок при конструировании, нарушении ТУ при их изготовлении или условий эксплуатации.

На основе исследований установлено, что примерно 40% общего количества повреждений РЭА происходят от ошибок при конструировании. Конструирование — это процесс изыскания наиболее рациональной геометрической формы конструкции, обеспечивающей заданные параметры при наилучшем использовании материалов. Геометрическая форма конструкции зависит от выполняемых ею функций, используемого материала и технологии изготовления. От конфигурации конструкции зависят ее многие электрические и механические характеристики. Чем сложнее конфигурация детали, тем вероятнее появление в ней деформации под воздействием тепла и холода.

Неравные толщины стенок детали и различные утолщения (приливы) часто приводят к возникновению больших внутренних напряжений, в результате которых возникают коробление и трещины. Поэтому деталям по

возможности придают форму простейших геометрических фигур или их сочетаний с плавными переходами плоскостей. Узкие щели между плоскостями или приливами недоступны для обработки и становятся всегда очагами коррозии. Небольшие изменения конфигурации конструкции могут ухудшить или, наоборот, улучшить характеристики радиодеталей или радиокомпонентов. Например, у резистора распределение температуры вдоль его тела при нарезке равномерным шагом или без нарезки имеет вид, показанный на рис. 2.6. Объясняется это тем, что концы резистора охлаждаются быстрее за счет контактного узла. Использование неравномерной нарезки резистора выравнивает температуру вдоль тела и тем самым увеличивает его надежность.

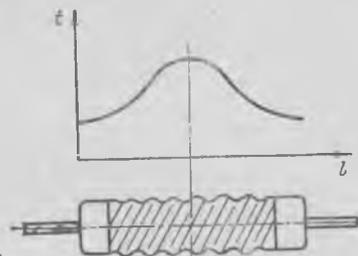


РИС. 2.6. Распределение температуры вдоль тела резистора

Правильный выбор материалов улучшает механические и электрические характеристики радиодеталей и радиокомпонентов и, следовательно, обеспечивает их длительную работоспособность. При выборе материала конструктор учитывает зависимость его физических и химических свойств от действия внешней среды. Непродуманный выбор материала конструкции ведет к преждевременному выходу изделия из строя. Например, у проволоочных резисторов типа ВС часто наблюдалось растрескивание колпачков выводов, сделанных из латуни марки Л60. Этот дефект особенно часто проявлялся в условиях повышенной влажности. Он был полностью ликвидирован, когда для изготовления колпачков стали использовать латунь марки Л190. Пористость материала каркаса проволоочного резистора переменного сопротивления (например, шамотная керамика) и недостаточная влагостойкость внешнего покрытия приводят к проникновению влаги к проволоке и коррозии. Неправильно подобранный ТКЛР элементов конструкции проволоочного резистора при температурном ударе вызывает большие натяжения проволоки и ее обрыв.

Надежность радиодеталей и радиокомпонентов в значительной мере зависит от технологичности конструкции.

Технологичность конструкции характеризуется возможностью применения в новом изделии стандартных и нормализованных деталей, наименьшей трудоемкостью при изготовлении, наименьшими затратами средств и времени на организацию производства к выпуску, возможностью применения автоматизации и механизации при изготовлении. Технологический процесс считается оптимальным, если он использует прогрессивные приемы работ, высокопроизводительное оборудование, совершенные средства контроля, типовые и нормализованные технологические процессы.

Известно, что надежность промышленных изделий в значительной степени определяется процессом их производства. Около 30% отказов изделий радиотехнической промышленности являются следствием нарушений, допускаемых в технологическом процессе, или результатом использования недоброкачественного сырья и полуфабрикатов, недостаточной тщательности в изготовлении и контроле продукции. Сложность современной РЭА и расширение объема ее выпуска с особой остротой выдвигают на передний план культуру производства. Уровень культуры производства характеризуется степенью совершенства технологического процесса и условий труда.

На каждое изделие составляются технические условия (ТУ) на изготовление, которые содержат все требования к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке. При производстве радиодеталей и радиокомпонентов выполнение ТУ обязательно, так как только в этом случае может быть гарантирована их работоспособность.

Готовое изделие должно не только соответствовать своему назначению и техническим условиям, но и быть надежным, долговечным и красивым.

## Раздел II

### ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

#### Глава 3

#### ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

##### 3.1. ПРЕДМЕТ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

При производстве и эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов сталкиваются с ситуациями, исход которых не поддается точному прогнозированию. Так, например, изделие РЭА может выйти из строя вследствие отказа интегральной микросхемы, транзистора, конденсатора, резистора или любого другого элемента. Но нельзя заранее точно предсказать, когда это произойдет и произойдет ли вообще. Дело в том, что изделия могут содержать значительное количество радиодеталей и радиокомпонентов с разными сроками службы и надежностью даже для однотипных элементов. Следовательно, работоспособность изделий РЭА определяют качественные показатели радиодеталей и радиокомпонентов, на которых они построены.

Срок службы, разброс параметров и их зависимость от условий эксплуатации относят к качественным показателям радиодеталей и радиокомпонентов. Эти показатели зависят от многих случайных величин, которые проявляются как в процессе производства, так и в эксплуатации. Это, например, случайные изменения температуры воздуха или его влажности, механического воздействия в процессе производства или эксплуатации, свойств материалов, температурно-влажностного режима производственного помещения, а также случайное отклонение от технологического режима. В результате действия многих случайных факторов параметры радиодеталей и радиокомпонентов, а следовательно, и РЭА имеют значительный разброс. Отличаются, например, чувствительность и полоса пропускания однотипных

осциллографов, выходная мощность однотипных передатчиков, выпущенных одним и тем же заводом. Поэтому параметры радиодеталей и радиокомпонентов, а также и параметры РЭА являются случайными величинами.

Может показаться, что случайные величины не поддаются количественному анализу. Однако это не так. Существуют вполне определенные законы, которые можно выявить при длительных наблюдениях за случайными явлениями. Так, например, многократно бросая монету, можно выяснить, что герб появляется в среднем так же часто, как и цифра. Это объективный закон природы, действующий в данных условиях.

Количественным учетом массовых случайных явлений и обработкой числовых результатов наблюдений в научных и практических целях занимается математическая статистика. Значение математической статистики для производства и эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов очень велико. Например, используя методы математической статистики для анализа предыдущих партий изделий, можно выявить недостатки конструкции, технологического процесса, нарушения правил эксплуатации и указать возможные пути их устранения. Особую важность приобретают статистические методы контроля в условиях широкой механизации и автоматизации современного производства радиодеталей и радиокомпонентов.

Математическая статистика изучает также закономерности редких событий, что позволяет в теории надежности анализировать отказы радиодеталей и радиокомпонентов, а следовательно, и РЭА в целом. Известно, что однотипные изделия РЭА, выпущенные одним и тем же заводом, выходят из строя в различные сроки. Можно услышать хорошие и плохие отзывы о работе какого-либо изделия. Но по этим отзывам невозможно точно определить, какое изделие более надежно. Это можно сделать с определенной точностью, только сравнивая статистические данные об их отказах в работе. Статистика отказов отдельных радиодеталей и радиокомпонентов позволяет определить надежность изделия в целом. Всесторонний анализ выявленных малонадежных радиодеталей и радиокомпонентов обнаруживает «слабое место конструкции». Устранение этого слабого места обеспечивает надежность РЭА.

Статистические методы анализа и контроля основаны на теории вероятностей, которая обосновывает математическую статистику, широко используемую при планировании и организации производства, при анализе технологических процессов, предупредительном и приемочном контроле качества изделий и в других целях.

### 3.2. СОБЫТИЕ, ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ВЕРОЯТНОСТЬ ПОЯВЛЕНИЯ

#### События достоверные, невозможные и случайные.

*Любой опыт, который производится в определенных условиях, в теории вероятностей называют испытанием.* Результаты испытаний представляют собой события: выигрыш, проигрыш, годность, брак, безотказная работа, отказ в работе и т. п.

*Событием в теории случайных величин называют всякий факт, который в результате испытаний может произойти или не произойти.* Испытанию при этом придается самый широкий смысл — это все то (не обязательно выполненное руками человека), что может привести к появлению того или иного события. Например, стрелок стреляет по мишени. Выстрел — это испытание. Попадание в определенную область мишени — событие.

События подразделяют на достоверные, невозможные и случайные (возможные). Событие называют *достоверным*, если оно при заданных условиях испытания непременно должно произойти. Достоверное событие обязательно произойдет, если будут выполнены вполне определенные условия. Причины достоверного события немногочисленны, очевидны и поддаются точному учету. Например, совершенно достоверным является факт появления напряжения во вторичной обмотке трансформатора, если обмотки исправны и на первичную обмотку подано переменное напряжение.

Событие называют *невозможным*, если оно при заданных условиях испытания не может произойти, так как отсутствуют причины для его возникновения. Эти причины можно полностью учесть и на основе их анализа сделать вывод о невозможности данного события. Например, если в электрической сети отсутствует напряжение, то работа магнитофона, питающегося от сети, является событием невозможным.

Событие называют *случайным* или *возможным*, если оно при заданных условиях испытания может произойти, но может и не произойти. Например, появление на выходе радиоприемника атмосферной помехи за некоторый отрезок времени является событием случайным. Случайные события не беспричинны. Они имеют множество причин, но нельзя заранее точно предсказать, возникнет ли такая совокупность причин, которая приведет к данному событию. Изучая причины случайных событий и действующие между ними взаимные связи, предсказывают, например, погоду, условия распространения радиоволн.

Производство радиодеталей и радиокомпонентов можно рассматривать как серию опытов (испытаний), а параметры изделий — как случайные события, полученные в результате опытов. В условиях данного производства при данном оборудовании и технологическом процессе существует множество случайных факторов, влияющих на качество изделий, которые заранее не могут быть определены.

**Вероятность события.** Предметом теории вероятностей является выявление и изучение закономерностей массовых однородных случайных событий.

Приведем несколько примеров случайных событий: выпадение герба при однократном бросании монеты (событие *A*); выпадение трех гербов при трехкратном бросании монеты (событие *B*); выпадение двадцати гербов при двадцатикратном бросании монеты (событие *C*). Рассматривая вышеперечисленные события, мы видим, что каждое из них обладает какой-то степенью возможности (большей или меньшей). Событие *A* более возможно, чем события *B* и *C*. Событие *B* более возможно, чем событие *C*. Чтобы количественно сравнивать между собой события по степени их возможности, нужно с каждым из них связать определенное число, которое тем больше, чем более возможно событие. Такое число называют вероятностью события.

*Вероятность события есть численная мера, характеризующая степень возможности появления события при заданных условиях испытания.* Вероятность достоверного события принимают за 1. Например, вероятность появления напряжения во вторичной обмотке трансформатора, если обмотки исправны и на первичную обмотку подано напряжение, равна 1. Вероятность невозможного

события равна 0. Вероятность всех других событий лежит в диапазоне чисел от 0 до 1. Чем ближе вероятность события к единице, тем больше объективная возможность появления его в испытании, и наоборот, чем она ближе к нулю, тем такая возможность меньше.

### 3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ

Все события в данном испытании образуют полную группу событий, если в результате испытания непременно должно появиться хотя бы одно из них. Например, события «появился герб» и «появилась цифра» при бросании монеты образуют полную группу событий, так как другие события при этом испытании невозможны.

События называют *несовместными*, если появление одного из них исключает появление других событий в одном и том же испытании. Например, выпадение герба при одном бросании монеты исключает выпадение цифры и наоборот. Следовательно, события «появился герб» и «появилась цифра» — несовместны. Другой пример. Пусть в ящик помещены исправный и неисправный конденсаторы, имеющие одинаковую форму и номинал. В испытании из ящика наугад извлечен один конденсатор. При этом появление исправного конденсатора исключает появление неисправного. События «появился исправный конденсатор» и «появился неисправный конденсатор» — несовместны.

События называют *равновозможными*, если есть основание считать, что возможность появления каждого из этих событий одинакова. Например, появление герба и появление цифры при бросании монеты есть события равновозможные. При этом предполагается, что монета изготовлена из однородного материала, имеет правильную цилиндрическую форму и наличие чеканки не оказывает влияния на выпадение герба или цифры.

Группы событий, обладающие всеми тремя свойствами, образуют полную группу несовместных и равновозможных событий. Их называют *случаями*. Например, появление герба и цифры при бросании монеты образуют полную группу событий несовместных и равновозможных.

Рассмотрим пример, заключающийся в бросании игральной кости, т. е. симметричного кубика, на гранях которого нанесено различное число очков (от 1 до 6).

Все события в данном испытании (появление грани с очками 1, 2, 3, 4, 5 и 6) образуют полную группу событий и являются несовместными и равновероятными. Действительно, при появлении, например, грани 1 появление других граней при проведении испытаний невозможно. Одновременное появление 2-й, 3-й и т. д. граней при бросании кубика также невозможно. В силу же симметрии кубика есть основание считать, что все шесть возможных событий при испытании равновероятны. Это дает нам право предполагать, что при многократном бросании кубика каждая его грань выпадает примерно одинаково часто. Рассмотренное испытание по своей структуре обладает искусственно организованной симметрией возможных событий, где заранее и сознательно обеспечена одинаковая возможность появления каждого из шести событий (случаев). О таком испытании говорят, что оно «сводится к схеме случаев». Для испытаний такого типа возможен непосредственный подсчет вероятностей, основанный на оценке доли «благоприятствующих» случаев в общем числе случаев.

Случай называется *благоприятствующим* (или *благоприятным*) некоторому событию, если его появление влечет за собой появление данного события. Если испытание сводится к схеме случаев, то вероятность появления события  $A$  подсчитывается как отношение числа случаев  $m$ , благоприятствующих данному событию, к общему числу  $n$  всех равновероятных событий

$$P(A) = m/n. \quad (3.1)$$

Например, требуется определить вероятность появления граней с четным числом очков при бросании кубика. В этом испытании три случая, благоприятствующих выпадению граней с очками 2, 4, 6, и три неблагоприятствующих, т. е.  $m=3$ ,  $n=6$ . Вероятность появления граней с четным числом очков равна

$$P(A) = m/n = 3/6 = 0,5.$$

Определяемая таким образом вероятность является *математической*. Формулу (3.1) называют классической. Она подтверждает вышесказанное о численной мере вероятности, а именно:

$$0 \leq P(A) \leq 1,$$

так как всегда выполняется условие  $0 \leq m \leq n$ .

**Пример 1.** В партии из 10 резисторов 3 бракованных. Найти вероятность появления двух бракованных резисторов, взятых наугад.

**Решение.** Поскольку появление любых двух резисторов равновероятно, то общее число равновероятных событий равно числу сочетаний из общего числа резисторов по два  $n = C_{10}^2$ . Число благоприятствующих случаев событию  $A$  равно числу сочетаний из числа бракованных резисторов по два  $m_A = C_3^2$ , ибо только такие сочетания удовлетворяют требованию появления двух бракованных резисторов. Следовательно, по (3.1)

$$P(A) = \frac{C_3^2}{C_{10}^2} = \frac{3!}{2!(3-2)!} : \frac{10!}{2!(10-2)!} = \frac{3!8!}{10!} \approx 6,67 \cdot 10^{-2}.$$

### Задачи

1. В партии из 10 конденсаторов 4 бракованных. Найти вероятность появления бракованного, исправного и двух бракованных конденсаторов, взятых наугад.

Ответ: 0,4; 0,6; 0,133.

2. В партии из 10 интегральных микросхем 4 бракованные. Найти вероятность одновременного появления одной исправной и одной бракованной микросхемы.

Ответ:  $24/45 \approx 0,533$ .

3. В усилителе, содержащем 24 транзистора, один транзистор неисправен. Его отыскивают поочередной заменой исправным. Найти вероятность обнаружения неисправного транзистора при первых трех попытках.

Ответ: 0,125.

**Статистическое определение вероятности.** Непосредственный подсчет вероятности по формуле (3.1) возможен только тогда, когда испытание сводится к схеме случаев, т. е. обладает симметрией возможных событий. Схема случаев преимущественно имеет место в искусственно организованных испытаниях. На практике же не всегда возможно свести испытания к такой схеме. Более того, существуют категории случайных событий, вероятности которых вообще нельзя определить теоретически. Так, при производстве полупроводниковых приборов невозможно по формуле (3.1) определить, сколько из них окажется неисправными при контрольных испытаниях. Формула (3.1) не дает также ответа, когда изделие РЭА при эксплуатации выйдет из строя за счет возникновения неисправности резисторов, конденсаторов, транзисторов или других радиодеталей. В таких случаях вероятность определяют статистически, продолжительно наблюдая за работой аппаратуры или специально производя испытания. В качестве вероятности при этом принимают относительное число проявления отказов.

Пусть проведено испытание 100 транзисторов ( $n=100$ ) и при этом установлено, что 3 из них неисправны ( $m=3$ ). Отношение  $3/100=0,03$  называют «частотой» (относительной частотой появления) неисправных транзисторов. В общем случае под частотой некоторого события  $A$  понимают отношение числа его появления ( $m$ ) к числу всех произведенных испытаний ( $n$ ) и вычисляют по формуле

$$P^*(A) = m/n. \quad (3.2)$$

Найденная величина  $P^*(A)$  носит название статистической вероятности. Из определения ясно, что величина  $P^*(A)$  лежит в пределах  $0 \leq P^*(A) \leq 1$ .

Следует отметить, что в испытаниях с небольшим числом транзисторов, например 100, частота (число неисправных транзисторов) носит случайный характер и может заметно изменяться от одной группы опытов к другой. Однако при увеличении числа опытов в испытании частота событий все более теряет свой случайный характер и стабилизируется, приближаясь к незначительным колебаниями к некоторой средней постоянной величине. Таким постоянным значением является количественная мера степени объективной возможности появления событий, называемая вероятностью. Поэтому при большом числе опытов частота событий можно принять за приближенное значение вероятности, т. е.  $P^*(A) = P(A)$ . С учетом этого выражения (3.2) приближенно имеем

$$m = nP(A), \quad (3.3)$$

где  $P(A)$  — математическая вероятность ожидаемого события.

Пользуясь выражением (3.3) при большом числе опытов  $n$  и известной вероятности события  $A$ , можно с достаточной точностью определить ожидаемое число появлений  $m$  события  $A$ .

**Пример 2.** РЭА содержит 100 конденсаторов. Вероятность выхода из строя конденсаторов за счет пробоя и обрыва составляет 0,05. Определить число отказов РЭА за счет конденсаторов.

**Решение.**  $m = nP(A) = 100 \cdot 0,05 = 5$ .

### 3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ СЛОЖНЫХ СОБЫТИЙ

На практике часто встречаются задачи более сложные, чем рассмотренные в предыдущем параграфе. В таких случаях использование выражений (3.1) и (3.2)

затруднено, так как расчет становится очень громоздким, а непосредственное экспериментальное определение частоты отказов (и оценка по ней, вероятности события) является нерациональным, а иногда и невозможным. Для решения таких задач используют правила, которые основаны на теоремах. Теоремы позволяют при известных вероятностях простых событий находить вероятности сложных событий.

Рассмотрим две наиболее часто применяемые теоремы теории вероятностей: теорему сложения и теорему умножения вероятностей.

#### Теорема сложения вероятностей.

Вероятность суммы несовместных событий равна сумме вероятности этих событий:

$$P(A+B) = P(A) + P(B). \quad (3.4)$$

**Доказательство.** Пусть имеется  $n$  возможных исходов, из них  $m$  благоприятствуют событию  $A$ , а  $k$  — событию  $B$ , т. е.  $P(A) = m/n$  и  $P(B) = k/n$ . Заметим, что события  $A$  и  $B$  несовместны, так как в результате опыта может появиться событие  $A$  или  $B$ , но вместе они появиться не могут. Следовательно, событию  $A+B$  благоприятствуют  $m+k$  случаев

$$P(A+B) = (m+k)/n = m/n + k/n = P(A) + P(B).$$

Для любого числа несовместных событий согласно (3.4) теорему сложения вероятностей можно записать так:

$$P\left(\sum_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i). \quad (3.5)$$

**Пример 1.** Пусть в партии, состоящей из 200 микромодулей, 10 не соответствуют ТУ по влагоустойчивости, 10 — по неправильной комплектации микроэлементов в микромодуле, а 8 — по заданным размерам. Найти вероятность появления бракованного микромодуля, взятого наугад.

**Решение.** События  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  — взятый наугад микромодуль, который не соответствует ТУ по влагоустойчивости, комплектации и заданным размерам соответственно. Очевидно, что

$$P(A_1) = 10/200 = 0,05; \quad P(A_2) = 10/200 = 0,05;$$

$$P(A_3) = 8/200 = 0,04.$$

Из выражения (3.5) имеем

$$P(A) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) = 0,05 + 0,05 + 0,04 = 0,14.$$

**Пример 2.** В партии из 10 деталей 2 детали нестандартны. Найти вероятность того, что среди 6 деталей, взятых наугад, окажется не более одной нестандартной детали.

Ответ: 0,666.

### Следствие 1.

*Сумма вероятностей полной группы несовместных событий равна 1, т. е.  $P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + \dots + P(A_n) = 1$ .*

### Следствие 2.

*Сумма вероятностей противоположных событий равна 1, т. е.*

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1, \quad (3.6)$$

где событие  $\bar{A}$  противоположно событию  $A$ .

**Зависимые и независимые события.** Событие, которое заключается в совпадении (совместном наступлении) нескольких простых событий, называют *сложным*. Простые события, составляющие сложное событие, подразделяют на независимые и зависимые. Два или несколько событий называют *независимыми*, если вероятность появления каждого из них не зависит от того, произошли другие события или нет. События называют *зависимыми*, если вероятность появления каждого из них зависит от того, произошли другие события или нет. Подтвердим эти положения примером.

**Пример 3.** Испытывается партия дросселей из 10 штук, в которой 8 исправных, а 2 неисправных. Найти вероятности появления неисправного и исправного дросселей.

**Решение.** Рассмотрим два случая.

*Случай 1.* После опыта проверенный дроссель возвращается в партию. Обозначим события:  $B_1$  — появление неисправного дросселя при первом испытании;  $A_1$  — появление неисправного дросселя при втором испытании. Тогда  $P(B_1) = P(A_1) = 2/10 = 0,2$ .

*Случай 2.* После опыта проверенный дроссель не возвращается в партию. Обозначим события:  $B$  — появление неисправного дросселя при первом испытании;  $A$  — появление неисправного дросселя при втором испытании. Тогда  $P(B) = 2/10 = 0,2$ ;  $P(A) = 1/10 = 0,1$ .

Следовательно, вероятность события  $A$  зависит от того, произошло событие  $B$  или нет. События  $A$  и  $B$  зависимы. Причем вероятность события  $A$ , вычисленную при условии состоявшегося события  $B$ , называют *условной вероятностью* и обозначают  $P(A|B) = 0,1$ . Здесь в скобках на первом месте стоит событие, к которому относится значение вероятности, а на втором — условие, при котором ее вычисляют.

В случае 1 вероятности событий  $A_1$  и  $B_1$  не зависят от того, произошло другое событие или нет. События  $A_1$  и  $B_1$  независимы. Если событие  $A_1$  не зависит от события  $B_1$ , то условная вероятность события  $A_1$  (вычисленная в предположении, что событие  $B_1$  имело

место) равна просто вероятности события  $A_1$ . Следовательно, можно записать

$$P(A_1|B_1) = P(A_1). \quad (3.7)$$

### Теорема умножения вероятностей.

*Вероятность произведения двух событий равна произведению вероятности первого события  $A$  на вероятность второго события  $B$ , вычисленную при условии состоявшегося первого события  $A$ , т. е.*

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B|A). \quad (3.8)$$

Заметим, что с учетом (3.7) формула (3.8) может применяться и для нахождения вероятности совместного наступления независимых событий, т. е.

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B). \quad (3.9)$$

Вероятность совместного наступления независимых событий в общем случае определяется из выражения

$$P = \left( \prod_{i=1}^n A_i \right) = \prod_{i=1}^n P(A_i),$$

где  $\Pi$  — знак произведения.

**Пример 4.** Проверяется партия резисторов из 25 штук, в которой 23 исправных, а 2 — неисправных. Найти вероятность появления двух исправных, последовательно испытанных резисторов.

**Решение.** Обозначим события:  $A$  — появление двух исправных резисторов при последовательных испытаниях;  $A_1$  — появление исправного резистора при первом испытании;  $A_2$  — появление исправного резистора при втором испытании. Рассмотрим два случая.

*Случай 1.* Первый резистор не возвращается в партию. Из формулы (3.8) имеем  $P(A) = P(A_1) \cdot P(A_2|A_1) = 2/25 \cdot 1/24 \approx 3,3 \cdot 10^{-3}$ .

*Случай 2.* Первый резистор возвращается в партию. Из формулы (3.9) имеем  $P(A) = P(A_1) \cdot P(A_2) = 2/25 \cdot 2/25 = 6,4 \cdot 10^{-3}$ .

Следствием, вытекающим из рассмотренных теорем, является формула полной вероятности

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P(A|H_i), \quad (3.10)$$

где  $P(H_i)$  — вероятность гипотез.

**Пример 5.** На сборку с трех различных предприятий поступают диоды. Установлено, что на первом предприятии частота изготовления дефектных диодов составляет 0,02, на втором — 0,03, на третьем — 0,04. В партию вошли 300 диодов, изготовленных первым

предприятием, 700 — вторым и 1100 — третьим. Найти вероятность того, что взятый наугад диод исправен (событие  $A$ ). Всего в партию вошло  $300+700+1100=2100$  диодов.

**Решение.** Вероятность того, что выбранный наугад диод изготовлен на первом, втором и третьем предприятии (вероятности гипотез), соответственно равна  $P(H_1)=300/2100=0,14$ ;  $P(H_2)=700/2100=0,33$ ;  $P(H_3)=1100/2100=0,52$ .

Условные вероятности того, что взятый наугад диод неисправен (событие  $B$ ), при полученных гипотезах равны:  $P(B|H_1)=0,02$ ;  $P(B|H_2)=0,03$ ;  $P(B|H_3)=0,04$ .

Используя формулу (3.10), получаем вероятность события  $B$ ,  $P(B)=0,14 \cdot 0,02 + 0,33 \cdot 0,03 + 0,52 \cdot 0,04 = 0,031$ . Поскольку события  $A$  и  $B$  составляют полную группу событий и являются несовместными, то  $P(A)=1-P(B)$ , т. е. вероятность того, что взятый наугад диод исправен, будет равна  $P(A)=1-0,031=0,969$ .

Часто требуется определить условную вероятность гипотезы, используя известные вероятности гипотез, условные вероятности событий при данных гипотезах, а также вероятности событий. В этих случаях применяют формулу Байеса и так называемую теорему гипотез. В общем виде эта теорема запишется так:

$$P(H_i|A) = \frac{P(H_i)P(A|H_i)}{\sum_{i=2}^n P(H_i)P(A|H_i)}, \quad (3.11)$$

где  $i=1, 2, 3, \dots, n$ .

Формула (3.11) справедлива, если  $H_1, H_2, \dots, H_n$  составляют полную группу несовместных гипотез.

**Пример 6.** Детали, изготовленные цехом, попадают для проверки их на стандартность к одному из двух контролеров. Вероятность того, что деталь попадет к первому контролеру, равна 0,65, а ко второму — 0,35. Вероятность того, что деталь будет признана стандартной первым контролером, равна 0,97, а вторым — 0,98. Годная деталь при проверке была признана стандартной. Найти вероятность того, что эту деталь проверил первый контролер.

**Решение.** Обозначим через  $A$  событие, состоящее в том, что годная деталь признана стандартной. Можно сделать два предположения: деталь проверил первый контролер (гипотеза  $B_1$ ); деталь проверил второй контролер (гипотеза  $B_2$ ). Искомую вероятность того, что деталь проверил первый контролер, найдем по формуле (3.11). По условию задачи,  $P(B_1)=0,65$ ;  $P(B_2)=0,35$ ;  $P_{B_1}(A)=0,97$ ;  $P_{B_2}(A)=0,98$ . Искомая вероятность

$$P_{A}(B_1)=0,65 \cdot 0,97 / (0,65 \cdot 0,97 + 0,35 \cdot 0,98) \approx 0,66.$$

#### Задачи

1. У сборщика имеется 16 деталей, изготовленных заводом № 1, и 4 — заводом № 2. Наугад взяты 2 детали. Найти вероятность того, что хотя бы одна из них окажется изготовленной заводом № 1.

Ответ: 0,968.

2. Радиозавод изготавливает 95% радиодеталей кондиционных, причем 86% из них в тропическом исполнении. Найти вероятность появления радиодетали в тропическом исполнении, взятой наугад.

Ответ: 0,817.

### 3.5. ДИСКРЕТНЫЕ И НЕПРЕРЫВНЫЕ СЛУЧАЙНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Теория вероятностей предпочитает, если это возможно, оперировать со случайными величинами. *Случайной величиной* называют величину, которая в результате опыта может принять то или иное, заранее неизвестное значение. Случайные величины обозначают прописными буквами  $X, Y, Z$ , а их возможные значения — соответствующими строчными  $x, y, z$ .

**Примеры случайных величин.** Введем обозначения:  $X$  — число очков, выпадающих при бросании игральной кости. Случайная величина  $X$  имеет шесть возможных значений:  $x_1=1$ ;  $x_2=2$ ;  $x_3=3$ ;  $x_4=4$ ;  $x_5=5$  и  $x_6=6$ .  $Y$  — количество дефектных транзисторов в партии. Случайная величина  $Y$  может принимать различные значения: 1, 2, 3, ...,  $n$ . В этих двух примерах случайная величина принимает отдельные и изолированные друг от друга значения.  $Z$  — расстояние, которое пролетит снаряд при выстреле из орудия. Возможные значения этой величины принадлежат некоторому промежутку  $(a, b)$ . Действительно, расстояние полета снаряда зависит от многих причин (от силы заряда, установки прицела, скорости и направления ветра, температуры и т. д.), которые не могут быть полностью учтены.  $W$  — время исправной работы транзистора. Возможные значения этой величины также принадлежат некоторому промежутку  $(a, b)$ . В последних двух примерах значения случайных величин не отделены друг от друга, а непрерывно заполняют некоторый промежуток.

Из приведенных примеров можно сделать заключение о целесообразности различения случайных величин, принимающих лишь отдельные и изолированные значения, и случайных величин, возможные значения которых сплошь заполняют некоторый промежуток. Исходя из этого, случайные величины подразделяют на дискретные (прерывные) и непрерывные.

*Дискретной случайной величиной* называют величину, возможные значения которой отделены друг от друга и поддаются счету (их можно пронумеровать). Число

возможных значений дискретной случайной величины может быть конечным или бесконечным.

*Непрерывной случайной величиной называют величину, возможные значения которой неотделимы друг от друга и непрерывно заполняют некоторый конечный или бесконечный промежуток.* Непрерывная случайная величина даже в любом конечном промежутке имеет бесконечное множество возможных значений, «вплотную» примыкающих друг к другу.

Случайную величину можно рассматривать как определенное обобщение понятия о случайном событии. С другой стороны, принятие случайной величиной некоторого конкретного значения является событием. Следовательно, теоремы, выведенные для случайных событий, можно применять и для случайных величин.

### 3.6. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСКРЕТНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

**Вероятностные характеристики.** Для полного определения случайной величины недостаточно знать все ее возможные значения, нужно еще указывать и вероятности их появления.

Рассмотрим дискретную случайную величину  $X$  с возможными ее значениями  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , причем она может принять каждое из них с некоторой вероятностью  $p_i$ , т. е.  $P(X=x_1)=p_1; P(X=x_2)=p_2; \dots; P(X=x_n)=p_n$ . Значения  $x_i$ , которые может принять случайная величина, являются событиями несовместными (в одном опыте может выпасть только одно какое-либо значение) и в совокупности составляют полную группу событий, поэтому сумма их вероятностей равна 1:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1. \quad (3.12)$$

Эта суммарная вероятность всех возможных значений  $x_i$  каким-то образом распределена между отдельными возможными значениями случайной величины.

*Случайная величина  $X$  будет полностью охарактеризована с вероятностной точки зрения, если в точности указать вероятность появления каждого ее возможного значения.* Этим устанавливается закон распределения случайной величины.

*Вероятности, с которыми данная случайная величина принимает различные значения, определяют собой в совокупности закон распределения вероятностей данной случайной величины.*

Закон распределения вероятностей может быть представлен в виде аналитической зависимости, в форме таблицы или графика.

Пусть  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — возможные значения случайной величины  $X$ , а  $p_1, p_2, \dots, p_n$  — соответственно вероятности их появления. Закон распределения вероятностей случайной величины  $X$  будет иметь вид

$X_i$	$x_1$	$x_2$	...	$x_n$
$P(x_i)$	$p_1$	$p_2$	...	$p_n$

**Пример 1.** В денежной лотерее выпущено 150 билетов. Разыгрывается два выигрыша по 20 рублей и 20 выигрышей по 1 рублю. Найти закон распределения случайной величины  $X$  — стоимости возможного выигрыша для владельца одного билета.

**Решение.** Возможные значения  $X$ :  $x_1=20; x_2=1; x_3=0$ . Вероятности этих возможных значений следующие:  $p_1=0,013; p_2=0,133; p_3=1-(p_1+p_2)=0,854$ .

Теперь искомым закон распределения примет вид

$X_i$	20	1	0
$P(x_i)$	0,013	0,133	0,854

Проверка. Согласно (3.12) имеем:  $0,013+0,133+0,854=1$ .

Закон распределения вероятностей дискретной случайной величины, заданный в виде таблицы, называют *рядом распределения*. Чтобы придать ряду распределения более наглядный вид, прибегают к его графическому изображению. Для этого в прямоугольной системе координат строят точки  $(x_i, p_i)$ , а затем соединяют их отрезками прямых (рис. 3.1). Полученную фигуру называют *многоугольником распределения*, который (так же, как и ряд распределения) полностью характеризует случайную величину.

Аналитически закон распределения задают обычно в виде функции  $P(x_i)=F(x_i)$  и называют *функцией распределения*. Функция распределения

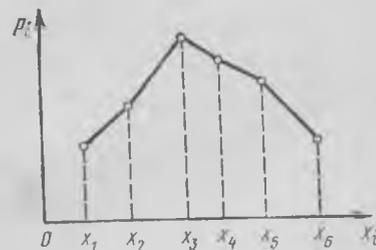


РИС. 3.1. Многоугольник распределения

является универсальной характеристикой случайной величины. Она существует для всех случайных величин: дискретных и непрерывных. Функция распределения подробно будет рассмотрена в § 3.8.

**Числовые характеристики.** Часто на практике определение законов распределения связано с большими трудностями: получение большого количества статистического материала, проведение многочисленных и громоздких экспериментальных исследований и аналитических расчетов. Поэтому используют числовые характеристики случайных величин: *среднее значение, математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и дисперсию дискретной случайной величины.*

Пусть произведено  $n$  испытаний, в которых случайная величина  $X$  приняла  $m_1$  раз значение  $x_1$ ,  $m_2$  раз значение  $x_2$ , ...,  $m_k$  раз значение  $x_k$ , причем  $m_1 + m_2 + \dots + m_k = n$ . Тогда *среднее значение* случайной величины определится как среднее арифметическое этих значений:

$$X_{\text{cp}} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + \dots + x_k m_k}{n}$$

или

$$X_{\text{cp}} = x_1 \frac{m_1}{n} + x_2 \frac{m_2}{n} + \dots + x_k \frac{m_k}{n}.$$

Заметив, что отношение  $m_i/n$  есть частота появления значения  $x_i$  (статистическая вероятность) и обозначив каждое из них через  $p_i^*$ , имеем

$$X_{\text{cp}} = x_1 p_1^* + x_2 p_2^* + \dots + x_k p_k^* = \sum_{i=1}^{k=n} x_i p_i^*. \quad (3.13)$$

При достаточно большом числе испытаний

$$p_1^* \approx p_1; \quad p_2^* \approx p_2; \quad \dots; \quad p_n^* \approx p_n,$$

где  $p_i$  — значение математической вероятности. С учетом этого выражения (3.13) примет вид

$$M(X) = \sum_{i=1}^n x_i p_i. \quad (3.14)$$

Среднее значение дискретной случайной величины, полученное суммированием произведений всех ее возможных значений на их вероятности, называют *математическим*

*ожиданием* и обозначают  $M(X)$ . Среднее значение случайной величины, вычисленное по формуле (3.13), будет тем меньше отличаться от математического ожидания  $M(X)$ , чем больше число испытаний в серии. *Математическое ожидание* — это такая величина, около которой колеблется среднее значение случайной величины, найденное для каждой серии испытаний.

Математическое ожидание и среднее значение случайную величину характеризуют не полностью. Рассмотрим, например, случайные дискретные величины  $X$  и  $Y$ , заданные следующими законами распределения:

$X_i$	— 0,02	0,02;	$Y$	— 50	50
$P(x_i)$	0,4	0,4;	$P$	0,4	0,4

Найдем математические ожидания этих величин:

$$M(X) = -0,02 \cdot 0,4 + 0,02 \cdot 0,4 = 0,$$

$$M(Y) = -50 \cdot 0,4 + 50 \cdot 0,4 = 0.$$

Здесь математическое ожидание обеих случайных величин одинаково, а возможные значения различны, причем  $X$  имеет возможные значения, близкие к математическому ожиданию, а  $Y$  — далекие от своего математического ожидания. Таким образом, зная лишь математическое ожидание случайной величины, еще нельзя судить о возможных ее значениях и о том, как они отличаются друг от друга и как они рассеяны вокруг своего математического ожидания или среднего значения. Для более полной характеристики случайной величины используют такие характеристики, как дисперсия  $D(X)$  и среднее квадратическое отклонение  $\sigma(X)$  случайной величины.

*Дисперсия*  $D(X)$  определяет величину рассеивания дискретной случайной величины от ее математического ожидания. Для непосредственного вычисления дисперсии используют формулу

$$D(X) = \sum_{i=1}^n [x_i - M(X)]^2 p_i. \quad (3.15)$$

Дисперсия случайной величины имеет размерность квадрата случайной величины, а поэтому не дает желаемой наглядности.

Среднеквадратическое отклонение случайной величины  $X$  находят, извлекая квадратный корень из дисперсии

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}. \quad (3.16)$$

Эта характеристика имеет размерность, совпадающую с размерностью случайной величины, и является более наглядной.

**Пример 2.** Случайная величина  $X$  задана законом распределения:

$X_i$	2	5	6	8
$P_i$	0,1	0,2	0,5	0,2.

Найти среднеквадратическое отклонение  $\sigma(X)$ .

**Решение.** По формуле (3.14) математическое ожидание  $M(X) = 2 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,5 + 8 \cdot 0,2 = 5,8$ . По формуле (3.15) дисперсия  $D(X) = (2-5,8)^2 \cdot 0,1 + (5-5,8)^2 \cdot 0,2 + (6-5,8)^2 \cdot 0,5 + (8-5,8)^2 \cdot 0,2 = 2,556$ . По формуле (3.16) среднеквадратическое отклонение  $\sigma(X) = \sqrt{2,556} = 1,6$ .

#### Задачи

1. Случайная величина задана законом распределения:

$X_i$	0	-2	-5	6	8
$P_i$	0,1	0,2	0,4	0,2	0,1.

Найти среднеквадратическое отклонение.

Ответ:  $\sigma(X) = 4,9$ .

2. Вероятность того, что микромодуль при испытании окажется неисправным, равна 0,3. Найти среднеквадратическое отклонение для случайной величины  $X$ , возможные значения которой 0 и 1.

Ответ:  $\sigma(X) = 0,459$ .

### 3.7. ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Мы хорошо представляем, что значительное число явлений природы, а также производственных процессов протекают с участием случайной величины. Исследования показали, что в большинстве случаев с достаточным основанием можно ожидать законов распределения совершенно определенного типа, называемых нормальными законами. Рассмотрим законы распределения дискретных случайных величин, наиболее часто используемые при определении характеристик надежности радиодеталей и радиокомпонентов и аппаратуры на них.

**Биномиальное распределение (распределение Бернулли).** Это распределение используют в случаях, когда

из партии на выбор берут изделие, определяют его работоспособность, а затем возвращают обратно в партию. Затем берут второе изделие, испытывают его и также возвращают в партию и т. д. Вероятность того, что из  $n$  испытанных изделий работоспособными окажутся  $m$  изделий, подсчитывают по формуле

$$P_n(m) = C_n^m p^m q^{n-m}, \quad (3.17)$$

где  $p$  и  $q$  — вероятности извлечения из партии при одном испытании исправного и неисправного изделий соответственно. Легко заметить, что вероятность  $P_n(m)$  равна коэффициенту при  $x^m$  в разложении бинома  $(q + px)^n$  по степеням  $x$ . В силу этого свойства совокупности вероятностей  $P_n(m)$  называют *биномиальным законом распределения вероятностей*.

Основные параметры этого распределения следующие:

$$M(m) = np, \quad (3.18)$$

$$D(m) = npq. \quad (3.19)$$

$$\sigma(m) = \sqrt{npq}. \quad (3.20)$$

Биномиальное распределение справедливо при ряде независимых испытаний, в каждом из которых вероятность появления события неизменна и равна  $p$ . Оно применяется при статистическом контроле, когда объем выборок не превышает десяти части объема всей партии. Биномиальное распределение имеет два постоянных параметра и переменную величину  $m$ .

**Пример 1.** Проверяется партия трансформаторов, причем после испытания трансформатор возвращается в партию. Вероятность выхода из цеха исправного трансформатора равна 0,8. Определить  $P_n(m)$ ,  $M(m)$ ,  $D(m)$  и  $\sigma(m)$  одновременного появления двух исправных трансформаторов из пяти.

**Решение.** Вероятность появления исправного трансформатора  $p = 0,8$ , следовательно, вероятность противоположного события (появление неисправного трансформатора)  $q = 1 - 0,8 = 0,2$ . По формуле (3.17) определяем вероятность того, что из  $n = 5$  испытанных трансформаторов работоспособными окажутся  $m = 2$ .

$$P_n(m) = C_n^m p^m q^{n-m} = \frac{5!}{2!(5-2)!} \cdot 0,8^2 \cdot 0,2^3 = 0,05 = 5 \cdot 10^{-2}.$$

$P_n(m)$ ,  $D(m)$  и  $\sigma(m)$  легко определить из формул (3.18) — (3.20).

**Распределение Пуассона.** Биномиальное распределение является весьма сложным для вычислений. Выражение (3.17) с некоторыми допущениями может быть преобразовано в более простое, называемое законом Пуассона:

$$P(m) = (1/m!) a^m e^{-a}, \quad (3.21)$$

где  $e$  — основание натурального логарифма;  $a = np$  — математическое ожидание числа появления интересующего нас события.

Формулы, определяющие характеристики распределения Пуассона, имеют вид

$$M(m) = a, \quad (3.22)$$

$$D(m) = a, \quad (3.23)$$

$$\sigma(m) = \sqrt{a}. \quad (3.24)$$

Закону Пуассона подчинены многие случайные величины, подчиняющиеся и биномиальному закону. Кроме того, этот закон имеет и самостоятельное применение в тех случаях, когда вероятность появления событий в малом промежутке времени  $\Delta t$  пропорциональна времени  $t$  и события независимы. Это распределение используют в расчетах нормативов приемочно-статистического контроля, при определении показателей надежности изделий для малых  $p$  (для  $p > 0,1$  пользуются биномиальным распределением). По закону Пуассона распределяются отказы восстанавливаемых изделий (в частности, РЭА), что дает возможность широко использовать это распределение в расчетах надежности восстанавливаемых изделий.

**Пример 2.** Изделие РЭА содержит  $5 \cdot 10^3$  транзисторов. Вероятность отказа одного транзистора в данном изделии равна  $2 \cdot 10^{-4}$ . Найти вероятность отказа трех транзисторов одновременно.

**Решение.** По условию  $n = 5 \cdot 10^3$ ,  $p = 2 \cdot 10^{-4}$ ,  $m = 3$  найдем  $a = np = 5 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 1$ . Искомая вероятность по формуле (3.21) равна  $P(m) = (1/3!) \cdot 1^3 \cdot e^{-1} \approx 6 \cdot 10^{-2}$ . Значения  $M(m)$ ,  $D(m)$  и  $\sigma(m)$  легко определяются из формул (3.22) — (3.24).

### 3.8. ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЛОТНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Закон распределения, введенный для характеристики дискретной случайной величины, не пригоден для непрерывной случайной величины. Действительно, непре-

рывная случайная величина имеет бесконечное число возможных значений. Поэтому для нее невозможно составить ряд распределения или построить многоугольник распределения. В то же время при решении практических задач необходимо такое представление закона распределения, которое распространялось бы и на непрерывную случайную величину.

**Интегральная функция распределения.** При рассмотрении законов распределения дискретной случайной величины мы имели дело с вероятностью события  $X = x$ . Для получения функции распределения, применимой для характеристики как дискретных, так и непрерывных случайных величин удобно пользоваться вероятностью события  $X < x$ , где  $x$  — некоторая текущая переменная. Вероятность этого события есть некоторая функция от  $x$ . Эта функция называется *функцией распределения случайной величины  $X$*  и имеет вид

$$F(x) = P(X < x).$$

Ее также называют *интегральной функцией распределения или интегральным законом распределения*. Интегральный закон распределения является универсальной характеристикой случайной величины, так как он характеризует как непрерывную, так и дискретную случайные величины.

Функция распределения  $F(x)$  определяет вероятность того, что случайная величина  $X$  примет значение, не превосходящее некоторой переменной  $x$ . Из этого можно сделать следующие выводы: функция распределения есть неубывающая функция своего аргумента, т. е. при  $x_2 \geq x_1$  функция  $F(x_2) \geq F(x_1)$ ; при  $x = -\infty$  функция распределения равна 0, т. е.  $F(-\infty) = 0$ ; при  $x = +\infty$  функция распределения равна 1, т. е.  $F(+\infty) = 1$ .

В общем случае график интегральной функции распределения непрерывной случайной величины представляет собой неубывающую функцию (рис. 3.2, а), значения которой лежат в пределах от 0 до 1.

**Плотность вероятности.** Для описания вероятностных свойств непрерывной случайной величины пользуются понятием плотности вероятности. *Плотностью вероятности  $p(x)$  непрерывной случайной величины  $X$  называют предел отношения вероятности попадания этой величины в бесконечно малый интервал ее возможных значений*

к величине этого интервала:

$$p(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P[x < X < (x + \Delta x)]}{\Delta x} \quad (3.25)$$

Плотность вероятности называют еще *плотностью распределения вероятности* или *плотностью распределения случайной величины*. Она показывает, с какой плотностью (насколько часто) данная случайная величина принимает значения вблизи рассматриваемой точки (в интервале  $\Delta x \rightarrow 0$ ).

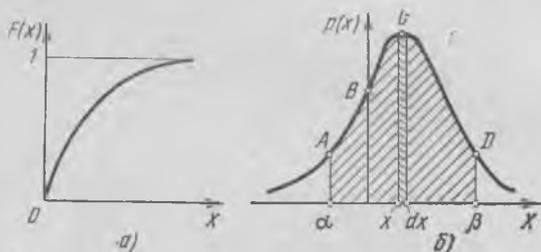


РИС. 3.2. Интегральная (а) и дифференциальная (б) функции распределения

Обозначим  $\Delta x$  при его стремлении к нулю через  $dx$  (дифференциал  $x$ ), тогда (3.25) запишется в виде:

$$P[x < X < (x + dx)] = p(x) dx, \quad (3.26)$$

где  $p(x) dx$  — элемент вероятности, обозначающий вероятность попадания случайной величины в участок между  $x$  и  $x + dx$ . К элементу вероятности применимы все теоремы, справедливые для вероятностей событий. Однако элемент вероятности — величина бесконечно малая, поэтому операцию суммирования заменяют операцией интегрирования.

**Дифференциальная функция распределения.** Из выражения (3.25) ясно, что плотность вероятности  $p(x)$  есть производная функции распределения. Поэтому *зависимость плотности вероятности  $p(x)$  от независимой переменной  $x$  называют дифференциальной функцией распределения или дифференциальным законом распределения*. Эта функция распределения (рис. 3.2, б) в отличие от интегральной, существует только для непрерывной случайной величины. Кривая, изображающая плотность распределения случайной величины, называется

*кривой распределения*. Она всегда располагается над осью абсцисс, так как возможные значения плотности вероятности лежат в пределах от 0 до  $+\infty$ .

Если известен закон распределения, можно определить вероятность того, что случайная величина  $X$  примет значение, лежащее в пределах некоторого интервала, например между  $\alpha$  и  $\beta$  (рис. 3.2, б). Возьмем элементарный участок  $dx$ , примыкающий к точке  $x$ . Вероятность того, что случайная величина попадет в  $dx$  в соответствии с (3.26), равна  $p(x) dx$ . Геометрически это есть площадь элементарного прямоугольника, опирающегося на отрезок  $dx$ . На основании теоремы сложения вероятностей несовместных событий вероятность того, что случайная величина  $X$  попадет в пределы между  $\alpha$  и  $\beta$ , равна сумме вероятностей попадания во все отдельные участки  $dx$ , т. е.

$$P(\alpha \leq X \leq \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} p(x) dx. \quad (3.27)$$

Геометрически вероятность попадания случайной величины  $X$  на участок  $(\alpha - \beta)$  равна площади кривой распределения, опирающейся на этот участок (на рис. 3.2, б — площадь фигуры  $\alpha ABCD\beta$ ). Таким образом, пользуясь кривой распределения, можно производить графические расчеты вероятностей.

Вероятность попадания случайной величины  $X$  в интервал от  $-\infty$  до  $+\infty$  равна 1, так как попадание в столь неограниченный интервал — событие достоверное:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx = 1. \quad (3.28)$$

Это заключение аналогично полученному для многоугольника распределения (3.12) и имеет ту же природу.

**Числовые характеристики непрерывной случайной величины.** Для описания частных свойств непрерывной случайной величины используют такие же числовые характеристики, как и для дискретных величин: математическое ожидание, дисперсию и среднее квадратическое отклонение.

*Математическим ожиданием непрерывной случайной величины* называют величину, определяемую по

формуле

$$M(X) = \int_{\alpha}^{\beta} xp(x) dx. \quad (3.29)$$

Дисперсией называют величину, определяемую по формуле

$$D(X) = \int_{\alpha}^{\beta} [x - M(X)]^2 p(x) dx. \quad (3.30)$$

Корень квадратный из дисперсии называют *средне-квадратическим отклонением*

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}. \quad (3.31)$$

Формулы (3.29)–(3.31) соответствуют формулам (3.14)–(3.16) для дискретных случайных величин, но вероятность  $p_i$  здесь заменяется элементом вероятности  $p(x)dx$ , а сумма — интегралом. Если возможные значения случайной величины принадлежат всей оси  $x$ , то в формулах (3.29)–(3.31) подставляют  $-\infty$  вместо  $\alpha$  и  $+\infty$  вместо  $\beta$ .

**Пример 1.** Непрерывная случайная величина  $X$  задана дифференциальной функцией  $p(x) = \frac{2}{3} \sin 3x$  в интервале  $(0 - \pi/3)$ ; вне этого интервала  $p(x) = 0$ . Найти вероятность того, что  $X$  примет значения, принадлежащие интервалу  $(\pi/6 - \pi/4)$ .

**Решение.** Воспользуемся формулой (3.27)

$$P(\alpha \leq X \leq \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} p(x) dx.$$

По условию,  $\alpha = \pi/6$ ;  $\beta = \pi/4$ ,  $p(x) = \frac{2}{3} \sin 3x$ . Следовательно, искомая вероятность равна

$$P\left(\frac{\pi}{6} < X < \frac{\pi}{4}\right) = \frac{2}{3} \int_{\pi/6}^{\pi/4} \sin 3x dx = \frac{\sqrt{2}}{9}.$$

### 3.9. ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Чтобы построить кривую распределения какой-либо случайной величины на основании экспериментальных данных, нужно провести большое число опытов. На практике часто случайная величина подчиняется определенному закону распределения. При этом для полного

представления случайной величины достаточно определить  $M(X)$ ,  $D(X)$  и  $\sigma(X)$ . В производстве радиодеталей и радиокомпонентов наиболее часто приходится сталкиваться со случайными величинами, которые подчиняются равномерному, экспоненциальному и нормальному законам распределения.

**Равномерное распределение.** Если заранее известно, что возможные значения случайной величины лежат в определенном интервале, например, в интервале  $(\alpha - \beta, \alpha + \beta)$  и обладают одной и той же плотностью вероятности, то говорят, что такие случайные величины подчиняются *равномерному закону распределения или закону равномерной плотности*.

Дифференциальный закон распределения вероятностей такой случайной величины выражается равенством

$$p(x) = p = \text{const} \quad \text{при} \quad (\alpha - \beta) \leq x \leq (\alpha + \beta), \\ p(x) = 0 \quad \text{при} \quad x < (\alpha - \beta), \quad x > (\alpha + \beta). \quad (3.32)$$

График равномерного распределения показан на рис. 3.3,а. Он имеет вид прямоугольника с основанием  $(\alpha - \beta) - (\alpha + \beta) = 2\beta$ , высота которого равна плотности вероятностей  $p$ .

Все возможные значения  $X$  находятся в интервале  $2\beta$ , следовательно, попадание случайной величины в этот интервал есть событие достоверное, и его вероятность равна 1. Площадь этой кривой распределения, вычисленная по формуле (3.27), есть вероятность попадания случайной величины  $X$  в заданный интервал  $2\beta$ , т. е.

$$P[(\alpha - \beta) \leq X \leq (\alpha + \beta)] = \int_{\alpha - \beta}^{\alpha + \beta} p(x) dx = 2\beta p = 1.$$

Отсюда имеем  $p(x) = \frac{1}{2\beta}$ .

Математическое ожидание с учетом формулы (3.29) выразится так:

$$M(X) = \int_{\alpha - \beta}^{\alpha + \beta} x \frac{1}{2\beta} dx = \alpha. \quad (3.33)$$

Дисперсия с учетом формулы (3.30) находится из выражения

$$D(X) = \int_{\alpha-\beta}^{\alpha+\beta} (x-\alpha)^2 \frac{1}{2\beta} dx = \frac{\beta^2}{3}, \quad (3.34)$$

а среднее квадратическое отклонение с учетом формулы (3.31)

$$\sigma(X) = \beta/\sqrt{3}. \quad (3.35)$$

Примером непрерывной случайной величины с равномерным распределением может служить разность фаз  $\varphi$  колебаний двух независимых источников синусоидального напряжения. В этом случае любое значение  $\varphi$  в пределах от 0 до  $2\pi$  равновероятно. Плотность вероятности имеет в этих пределах значение  $p=1/2\pi$  [1/рад]. Другим примером случайной величины с равномерным распределением являются ошибки отсчета между соседними делениями шкалы прибора. Здесь интервалу  $2\beta$  соответствует цена деления шкалы.

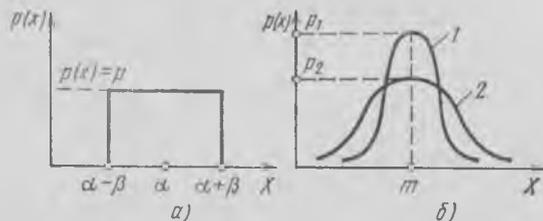


РИС. 3.3. Графики равномерного (а) и нормального (б) распределения плотности вероятностей случайной величины

**Нормальное распределение.** Распределению этого вида подчиняется большое число различных случайных величин: отклонение параметров изделий от среднего значения в серийном производстве, стабильность технологических процессов, срок службы некоторых радиодеталей и радиокомпонентов, случайные ошибки измерений и т. д.

Нормальный закон является предельным для других законов распределения. Ему подчиняются (с определенной степенью точности) непрерывные случайные величины, распределенные по любому другому закону и тем точнее, чем больше число отклонений данной случайной

величины. Необходимым ограничением при этом является равномерно малое значение отдельных случайных величин. При невыполнении этого условия (если значения одной или нескольких случайных величин будут резко превышать другие) изменится характер распределения. Другими словами, непрерывная случайная величина подчиняется нормальному закону распределения, если ее отклонения вызваны большим числом независимых случайных факторов и каждый фактор создает небольшое отклонение.

Нормальным называют распределение вероятностей непрерывной случайной величины, которое характеризуется плотностью вероятности вида

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[-(x-m)^2/2\sigma^2], \quad (3.36)$$

где  $m$  — математическое ожидание случайной величины;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение случайной величины;  $x$  — независимая переменная ( $-\infty < x < +\infty$ ).

Из уравнения (3.36) ясно, что нормальное распределение определяется двумя параметрами:  $m$  и  $\sigma$ . Достаточно знать эти параметры, чтобы задать нормальное распределение. Основные формулы, определяющие это распределение:  $M(X) = m$  и  $D(X) = \sigma^2$ .

Кривые распределения нормального закона имеют симметричный колоколообразный вид (рис. 3.3, б). Максимальная ордината кривой 1 равна  $p_1 = 1/\sigma_1 \sqrt{2\pi}$ , а кривой 2 —  $p_2 = 1/\sigma_2 \sqrt{2\pi}$ . Эти ординаты соответствуют точке  $x = m$ . Точка  $m$  является центром симметрии кривых распределения и называется *центром рассеивания*. По мере удаления от точки  $m$  плотность распределения уменьшается и при  $x \rightarrow \pm\infty$  кривая асимптотически приближается к оси абсцисс. Если изменить положение точки  $m$ , кривая распределения сместится вдоль оси абсцисс, не изменив своей формы. Таким образом, центр рассеивания характеризует положение кривой распределения на оси абсцисс. Размерность  $m$  та же, что и размерность случайной величины  $X$ .

Параметр  $\sigma$  есть характеристика рассеивания. Он характеризует форму кривой распределения. Так как площадь кривой распределения всегда остается равной 1, то при увеличении  $\sigma$  кривая распределения становится более плоской (рис. 3.3, б, кривая 2), а при уменьшении  $\sigma$  — вытягивается (кривая 1). Размерность

параметра  $\sigma$  та же, что и размерность случайной величины  $X$ .

Нормальное распределение с произвольными параметрами  $m$  и  $\sigma$  ( $\sigma > 0$ ) называют общим, а распределение с параметрами  $m=0$  и  $\sigma=1$  — нормированным. С учетом последнего формула (3.36) примет вид

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right).$$

Эта функция табулирована.

Интегральная функция общего нормального распределения имеет вид

$$F(x) = 1/2 \{1 + \Phi[(x-m)/\sigma]\},$$

где  $\Phi[(x-m)/\sigma]$  — функция Лапласа, которая табулирована.

Функции распределения для нормального закона имеют вид, показанный на рис. 3.2.

**Экспоненциальное (показательное) распределение.** Экспоненциальным называют такое распределение вероятностей, для которого плотность вероятности описывается так:

$$\begin{aligned} p(x) &= \lambda e^{-\lambda x} & \text{при } x > 0, \\ p(x) &= 0 & \text{при } x \leq 0. \end{aligned} \quad (3.37)$$

Интегральная функция показательного распределения

$$F(x) = \int_{-\infty}^x p(x) dx = \int_{-\infty}^0 0 dx + \lambda \int_0^x e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda x}. \quad (3.38)$$

В формулах (3.37) и (3.38)  $\lambda$  — постоянная положительная величина (в теории надежности — интенсивность отказов). Ясно, что экспоненциальное распределение определяется одним параметром  $\lambda$ , что говорит о его явном преимуществе по сравнению с другими распределениями, зависящими от большого числа параметров. Графики дифференциальной  $p(x)$  и интегральной  $F(x)$  функций распределения показаны на рис. 3.4.

Примером непрерывной случайной величины с экспоненциальным распределением может служить функция надежности  $P(t)$  при показательном распределении вре-

мени безотказной работы элемента. Эта функция имеет вид

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-t/T_{\text{ср}}}, \quad (3.39)$$

где  $\lambda$  — интенсивность отказов;  $t$  — интервал времени;  $T_{\text{ср}}$  — средняя наработка на отказ.

Выражение (3.39) показывает, что в период нормальной работы надежность элементов со временем убывает по экспоненте. За время  $t = T_{\text{ср}}$  вероятность безотказной работы элементов уменьшается от 1 до  $P(t) = 1/e = 0,37$ . Это означает, что из 100 элементов в течение времени  $T_{\text{ср}}$  безотказно продолжают работать только 37 элементов, а 63 отказывают. Это учитывают при расчетах надежности графическим способом.

Числовые характеристики показательного распределения имеют вид

$$M(X) = \sigma(X) = 1/\lambda; \quad D(X) = 1/\lambda^2.$$

**Пример 2.** Время безотказной работы радиодетали распределено по экспоненциальному закону  $p(x) = \lambda e^{-\lambda t} = 0,02e^{-0,02t}$  при  $t > 0$  ( $t$  — время в часах). Найти вероятность того, что радиодеталь проработает безотказно 100 ч.

**Решение.** По условию, постоянная интенсивность отказов  $\lambda = 0,02$ . Из формулы (3.39)  $P(100) = \exp(-0,02 \cdot 100) = 0,1352$ .

#### Задачи

1. Написать дифференциальный закон равномерного распределения для разности фаз колебаний двух источников синусоидального напряжения, включаемых независимо друг от друга; построить кривую распределения; определить  $M(\varphi)$ ,  $D(\varphi)$  и  $\sigma(\varphi)$ .
2. Написать дифференциальную функцию нормально распределенной случайной величины  $X$ , зная, что  $M(X) = 3$ ,  $D(X) = 25$ .
3. Написать дифференциальную и интегральную функции показательного распределения, если  $\lambda = 7$ .

### 3.10. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ. ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАЛЬНОЙ И ВЫБОРОЧНОЙ СОВОКУПНОСТЕЙ

Статистические методы контроля широко применяют в приемочном и текущем контроле при производстве радиодеталей и радиокомпонентов. В приемочном конт-

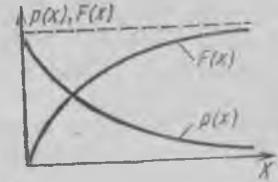


РИС. 3.4. Кривые дифференциальной  $p(x)$  и интегральной  $F(x)$  функций экспоненциального распределения

роле эти методы фиксируют брак, а в текущем дают возможность предсказать его появление и определить устойчивость технологического процесса. Для внедрения статистических методов текущего контроля необходимо задать следующее: параметры изделия, подлежащие контролю; объем выборок; условия и методы контроля; порядок и последовательность выборок; форму документации для регистрации основных параметров изделия.

В зависимости от объема выборки применяют методы больших, средних и малых выборок. Метод больших выборок (100—200 изделий) трудоемок и дает низкую оперативность контроля, поэтому применять его в большинстве случаев нецелесообразно. Метод средних выборок (25—50 изделий) используют для контроля изделий, получаемых при высокопроизводительных технологических процессах (при выпуске свыше 50 изделий в час). В том случае, когда производительность менее 50 изделий в час, применяют метод малых выборок. Объем малых выборок (до 15 изделий) составляет 5—10% от программы выпуска при массовом производстве и 15—20% при серийном.

Периодичность контроля определяют режимы производственного процесса и работа оборудования, длительность процесса производства и контроль качества. Если технологический процесс непрерывен, выборки берут через равные промежутки времени. Интервалы между выборками уменьшают в периоды наибольшего утомления производственного персонала, перед профилактикой, при настройке технологического оборудования и уходе за ним, а также после проведения настроечных и ремонтных работ. При введении новых технологических процессов и нового технологического оборудования выборку ведут через равные промежутки времени. Это дает возможность определить межнастроечный и межремонтный периоды работы оборудования. Анализируя данные, полученные при контроле, изменяют периодичность и объемность контроля, приближая его к оптимальному.

Производство радиодеталей и радиокомпонентов имеет массовый характер, а это определяет необходимость использования выборочных методов контроля качества. Сплошной, т. е. 100%-ный контроль, с экономической точки зрения не оправдывается, так как отнимает много времени и средств. Поэтому контролируют только

определенную часть изделий или, как ее называют, выборку. *Выборка (выборочная совокупность) — это совокупность случайно отобранных изделий. Генеральной совокупностью называют совокупность изделий, из которых производят выборку. Объемом совокупности (генеральной или выборочной) называют число изделий этой совокупности.*

При оценке качества с помощью статистических методов контроля приходится решать три типа задач: 1) определение достоверных границ и доверительных интервалов, в которых лежит действительное значение исследуемой величины в генеральной совокупности по ограниченному числу опытных данных; 2) установление объема выборок контролируемой партии; 3) нахождение зависимости между техническими характеристиками изделий опытной и серийной партий, методами их контроля и методами управления качеством изделий. Для решения этих задач используют различные методы математической статистики и теории вероятностей, позволяющие применять законы распределения.

При оценке надежности и качества изделия, как уже указывалось, важную роль играют дисперсия и среднеквадратическое отклонение. При этом различают дисперсию и среднеквадратическое отклонение генеральной совокупности ( $\sigma^2_0$  и  $\sigma_0$ ) и выборочной совокупности ( $\sigma^2$  и  $\sigma$ ).

Введем следующие обозначения:  $\bar{x}_0$  и  $\bar{x}$  — средние генеральное и выборочное значения контролируемого параметра;  $N$ ,  $n$  — соответственно объемы генеральной и выборочной совокупностей.

При статистической обработке экспериментального материала (или данных контроля партии изделий) важнейшими понятиями служат доверительные границы и доверительный интервал. Точность определения генеральных параметров по выборочным данным характеризуют доверительными границами.

Верхней доверительной границей называют величину  $X_{\max}$ , большую, чем параметр  $\bar{x}$ , найденный по выборочным данным. Ее устанавливают так, что при многократном извлечении выборки одного и того же объема определенная часть ( $\alpha$ ) установленных доверительных границ будет меньше истинного значения параметра  $\bar{x}_0$ , найденного по генеральной совокупности:  $P(X_{\max} > \bar{x}_0) = \alpha$ .

Нижнюю доверительную границу находят аналогично:  $P(X_{\min} < \bar{x}_0) = \alpha$ . Величину  $\alpha$  называют доверительной вероятностью. Интервал между  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$  называют доверительным интервалом. Он характеризует точность оценки генеральных параметров. Вероятность того, что истинное значение параметра попадает внутрь доверительного интервала, называют *доверительной вероятностью*. Она характеризует достоверность оценки.

Имеем  $n$  измерений, которые необходимо разбить на  $k$  интервалов. Тогда длина интервала определится формулой

$$\Delta X = (X_{\max} - X_{\min}) / (k - 1),$$

где  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$  — наибольшее и наименьшее значения измерения соответственно.

Значения  $\Delta X$  округляют до ближайшего целого числа. Если  $X_i$  будет середина  $i$ -го интервала, то верхнюю и нижнюю его границы можно найти по формулам:

$$X_i - 0,5\Delta X = X_{\min} + (i - 1,5)\Delta X;$$

$$X_i + 0,5\Delta X = X_{\max} - (k - i - 0,5)\Delta X.$$

При оценке надежности радиоэлектронных изделий критерием служит наработка на отказ, которую при опытной партии определяет формула

$$T_{\text{оп}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n t_i,$$

где  $m$  — суммарное число отказов;  $t_i$  — наработка  $i$ -го изделия. В этом случае доверительные границы определяют по формулам Я. Б. Шора:  $T_{\text{ниж}} = r_2 T_{\text{оп}}$ ;  $T_{\text{верх}} = r_1 T_{\text{оп}}$ , где  $r_1$  и  $r_2$  — табличные коэффициенты, зависящие от суммарного числа отказов  $m$  и величины доверительной вероятности  $\alpha$ . Если  $m = 0$ , то

$$T_{\text{ниж}} = \frac{1}{r_0} \sum_{i=1}^n t_i; \quad T_{\text{верх}} = \infty.$$

Встречаются три случая наработки на отказ:

$$T_{\text{ниж}} \geq T_{\text{тех}}, \quad (3.40)$$

$$T_{\text{верх}} \leq T_{\text{тех}}, \quad (3.41)$$

$$T_{\text{ниж}} < T_{\text{тех}} < T_{\text{верх}}, \quad (3.42)$$

где  $T_{\text{тех}}$  — наработка изделия на отказ, приведенная в технических требованиях.

На рис. 3.5 приведено графическое изображение этих трех случаев. По этому рисунку и формулам (3.40)–(3.42) определяют соответствие качества изделия техническим требованиям. В первом случае выполняется условие (3.40) и можно сказать, что генеральная наработка на отказ  $T_{\text{ниж}} > T_{\text{тех}}$  (с вероятностью, не меньшей  $\alpha$ ). Это значит, что технические требования выполняются с риском ошибки  $1 - \alpha$ . Во втором случае выполнение технических требований неосуществимо, так как  $T_{\text{верх}} < T_{\text{тех}}$  (с риском ошибки  $1 - \alpha$ ). В третьем случае нельзя определить, что больше  $T_{\text{тех}}$  или  $T_{\text{оп}}$ , так как обе эти величины лежат внутри одного и того же интервала. Поэтому испытания продолжают до принятия решения о безотказности испытываемых изделий.

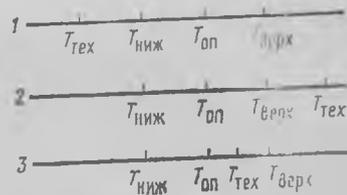


РИС. 3.5. Графическое изображение трех случаев наработки изделия на отказ

## Глава 4

### НАДЕЖНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

#### 4.1. КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Под *изделием* в теории надежности подразумевают элемент или систему, состоящую из элементов. *Элемент* — это часть системы, не имеющая самостоятельного эксплуатационного назначения и выполняющая определенные функции. *Системой* называют совокупность совместно действующих элементов, обеспечивающих выполнение определенных задач. Например, радиоприемник — система, предназначенная для приема радиоволн и преобразования их в звуковой сигнал.

Каждое изделие обладает вполне определенными свойствами. *Свойство изделия* — объективная особенность изделия, проявляющаяся при его создании и эксплуатации. Одним из важнейших свойств изделия является его качество. *Качеством изделия называют сово-*

купность свойств, определяющих степень его пригодности для использования по назначению. Иными словами, качество изделия представляет собой совокупность показателей, определяющих его соответствие современным требованиям техники и быта. К показателям качества изделия относят надежность, эксплуатационные характеристики, технологичность, экономичность, безопасность эксплуатации и др. Все показатели имеют численное значение и по существу определяют эффективность применения любого изделия. Каждый показатель качества выявляет определенные свойства продукции.

Важнейшим из качественных показателей является надежность. *Надежностью называют свойство изделия выполнять заданные функции в течение требуемого интервала времени при определенных условиях эксплуатации.* Надежность — физическое свойство изделия, которое зависит от принципа его построения, количества и качества содержащихся в нем элементов, от условий эксплуатации и т. д. Надежность — требование, которому должны отвечать изделия всех видов. На надежность изделий влияет целый ряд случайных факторов, поэтому теория надежности основана на теории вероятностей и математической статистике. Целью теории надежности является разработка методов расчета и обеспечения надежности изделий.

С точки зрения надежности, изделия бывают ремонтируемые и неремонтируемые. *Ремонтируемые изделия* при выходе их из строя ремонтируют на месте без привлечения работников специальных ремонтных заводов. *Неремонтируемые изделия* при выходе из строя или не могут быть восстановлены совсем, или восстанавливаются только на специальном ремонтном заводе.

Изделия, с точки зрения теории надежности, могут находиться в двух состояниях: работоспособном или неисправном. *Работоспособность* — состояние изделия, при котором оно выполняет заданные функции с параметрами, оговоренными требованиями технической документации. Эти параметры обеспечивают эксплуатационные показатели изделия: производительность, рентабельность, экономичность, точность, чувствительность, мощность, коэффициент полезного действия и другие параметры, определяющие целевое применение изделия. *Неисправность* — состояние изделия, при котором оно не соответствует хотя бы одному параметру, определяемо-

му технической документацией. Работоспособность и неисправность — термины, определяющие противоположные состояния изделия.

## 4.2. ВИДЫ ОТКАЗОВ. СВОЙСТВА И ПЕРИОДЫ РАБОТЫ ИЗДЕЛИЙ

### Виды отказов.

*Отказом* называют событие, заключающееся в нарушении работоспособности изделия. Отказ является одним из частных случаев неисправности изделия. Однако не всякая неисправность может быть отнесена к отказам. Существует много таких неисправностей, при наличии которых изделие еще может продолжать выполнять свои функции без принятия немедленных мер по их устранению. Эти неисправности могут быть устранены при наступлении первого перерыва в работе или очередном ремонте. К таким неисправностям, не являющимся отказом, относятся, например, перегорание ламп, освещающих шкалу настройки, или неисправности контрольных измерительных приборов, не участвующих непосредственно в работе изделия. Однако многие из этих кажущихся второстепенными неисправностей, если их долгое время не устранять и дать им возможность нарастать, рано или поздно могут вызвать отказ.

Причины отказов различны. Они могут возникнуть вследствие: неправильного конструирования изделия; неправильной разработки технологического процесса, его нарушения или ошибки при выборе и использовании технологической оснастки; несоблюдении правил и режимов эксплуатации изделия; повышенных воздействий внешних дестабилизирующих факторов. Отказы, возникшие в результате указанных причин (независимо от исправного состояния других элементов), называют *независимыми*. *Зависимые отказы* возникают только в результате другого отказа. Так, если в транзисторной схеме из-за некачественной пайки нарушился контакт базового вывода транзистора со схемой, то и сам транзистор может выйти из строя, так как он работает с отключенной базой. На практике очень важно определить, зависим или независим отказ.

Отказы по своей природе делят на *внезапные* и *постепенные*. При внезапных отказах происходит скачкообразное изменение одного или нескольких параметров

до величины, при которой нарушается нормальная работа изделия. К внезапным отказам относят, например, повреждение паяк и обрыв проводов, перегорание резисторов, пробой полупроводниковых приборов, конденсаторов и т. д. Внезапные отказы носят, как правило, случайный характер и практически не зависят от других элементов в РЭА. Эти отказы чаще всего обусловлены скрытыми конструктивными или технологическими дефектами. Внезапный отказ может возникнуть и при перегрузке элемента, например тепловой, механической, электрической. Чем тяжелее условия работы радиодетали и радиокомпонента, тем больший процент из всех отказов падает на внезапные отказы.

Постепенные отказы возникают при плавном изменении параметра (параметров) в результате развития процессов износа и старения, например износ трущихся частей, деформация под влиянием механической нагрузки, изменение свойств под влиянием тепла, холода, влаги, света, электрической нагрузки. Следовательно, постепенные отказы носят не случайный, а закономерный характер, и их появление можно заранее прогнозировать и предотвратить, своевременно проводя профилактические работы.

Постепенные отказы приводят к медленному ухудшению качества изделия: снижению сопротивления изоляции, увеличению электрических потерь, уменьшению мощности или ухудшению чувствительности и т. п.

По степени воздействия на изделия отказы могут быть *полные* и *частичные*. При возникновении полного отказа эксплуатация изделия невозможна. При возникновении же частичного отказа полного нарушения работоспособности изделия не происходит и его можно эксплуатировать.

По характеру воздействия отказы бывают устойчивые и самоустраняющиеся. *Устойчивые отказы* появляются в результате необратимых процессов. Для их устранения необходим ремонт изделия. *Самоустраняющиеся отказы* или *сбои* возникают однократно в результате воздействия шумов, помех и т. п., а затем самоустраняются. Продолжительность сбоев мала, и они не ведут к выходу изделия из строя. Разновидностью самоустраняющихся отказов являются *перебегающие отказы*. Такие отказы, как и сбои, появляются внезапно и также самоустраняются. Продолжительность пере-

бегающих отказов значительно больше, чем продолжительность сбоев, что может привести к устойчивому отказу. Примером перебегающих отказов являются пробои и искрение в высоковольтном изделии при попадании влаги на изолятор, прерывающиеся контакты в переключающихся устройствах и разъемах.

### Свойства изделий.

*Безотказность* — свойство изделия сохранять работоспособность в течение определенной наработки (число часов работы между двумя соседними отказами) без вынужденных простоев.

*Ремонтопригодность* — свойство изделия, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Данное свойство учитывают при определении надежности ремонтируемых изделий.

*Долговечность* — свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта. Предельное состояние изделия определяется невозможностью его дальнейшей эксплуатации обусловленным снижением эффективности либо требованиями безопасности. Это оговаривают в НТД.

Понятие долговечности очень близко к понятию надежности. Однако они не тождественны. Одни изделия могут быть достаточно долговечными, но ненадежными, другие — наоборот. Каждое изделие должно обладать оптимальной долговечностью. Оптимальная долговечность определяется наиболее эффективным использованием изделий, своевременным их обновлением, а также рациональным, предусмотренным при конструировании износом всех элементов изделия.

*Сохраняемость* — свойство изделия сохранять обусловленные эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортирования. Данные по сохраняемости приводят в НТД.

*Периоды работы изделий.* Работу изделий характеризуют тремя периодами.

*Первый — начальный.* В этом периоде из строя выходит относительно большое число элементов, причем отказывают наименее надежные, т. е. те, в которых есть скрытые производственные дефекты. Помимо этого, в го-

товых изделиях выявляются ошибки сборки и монтажа. Желательно, чтобы начальный период (период приработки) закончился на предприятии — изготовителе изделия. Это достигается длительным прогоном изделий и тренировкой элементов перед их поступлением на сборку и монтаж.

*Второй — нормальной работы.* Это наиболее продолжительный период, в котором процесс приработки закончен, а износа и старения еще не наступило. Задача конструкторов, производственников и эксплуатационников состоит в продлении периода нормальной работы.

*Третий — период износа и старения.* Даже при тщательном конструировании изделия, образцовом его изготовлении и надежной эксплуатации наступает период, когда отказы происходят все чаще — сказываются неизбежные процессы износа и старения элементов. На этом этапе возникает необходимость в среднем или капитальном ремонте.

#### 4.3. ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

Приведенное ранее определение надежности как свойства изделия выполнять заданные функции при определенных условиях эксплуатации является только качественным. Оно дает полное понятие о надежности, но не может служить показателем, устанавливающим количественную величину надежности изделия. При анализе и сравнении качества изделий, при расчете надежности, при определении вероятности исправного действия системы и сроков ремонта, при определении запаса комплектующих деталей, а также при некоторых других технических и экономических расчетах необходима количественная оценка надежности.

Для удобства рассмотрения показатели надежности подразделяют на четыре группы.

1. *Показатели для расчетов и характеристик безотказности изделий.* Общим показателем, применяемым как для ремонтируемых, так и для неремонтируемых изделий, служит *вероятность безотказной работы*. Под вероятностью безотказной работы  $P(t)$  понимают вероятность того, что в заданном интервале времени  $t$  или объеме работы изделия отказа не произойдет. Ее определяют соотношением

$$P(t) \approx N(t)/N_0, \quad (4.1)$$

где  $N(t)$  — число исправных изделий, работающих в конце интервала времени  $t$ ;  $N_0$  — количество изделий, работавших в начале интервала времени  $t$ .

**Пример 1.** Дано:  $t=1500$  ч,  $N_0=200$ ,  $N(t)=190$ . Определить вероятность безотказной работы изделия.

**Решение.** Из выражения (4.1) имеем  $P(1500) \approx 190/200 = 0,95$ .

При расчетах и характеристике безотказности неремонтируемых изделий используют еще два показателя: интенсивность отказов и среднюю наработку до первого отказа.

*Интенсивность (опасность) отказов ( $\lambda$ )* — вероятность отказа неремонтируемого изделия в единицу времени при условии, что до этого момента отказа не было. Она определяется из выражения

$$\lambda \approx \Delta n / N(t) \Delta t, \quad (4.2)$$

где  $\Delta n$  — число изделий, отказавших за время  $\Delta t$ ;  $N(t)$  — количество исправных изделий, работавших в конце интервала времени  $t$ ;  $\Delta t$  — интервал времени, следующий после  $t$ , на котором определяется  $\lambda$ .

**Пример 2.** В конце интервала времени были исправны 1500 изделий, за время  $\Delta t=200$  ч вышли из строя 100 из них. Определить интенсивность отказов.

**Решение.** Из выражения (4.2) имеем  $\lambda \approx 100 / (1500 \cdot 200) = 3,3 \cdot 10^{-4}$  1/ч.

Интенсивность отказов достаточно полно характеризует качество элементов и определяется либо путем испытаний их, либо по данным эксплуатации.

*Средняя наработка до первого отказа ( $T_{cp}$ )* — среднее значение наработки неремонтируемых изделий в партии до первого отказа. Она определяется выражением

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n},$$

где  $T_i$  — время работы  $i$ -го изделия до первого отказа;  $n$  — число изделий в партии, для которой находят  $T_{cp}$ .

На практике для определения вероятности безотказной работы (с учетом  $T_{cp}$ ) часто используют уравнение

$$P(t) = e^{-t/T_{cp}}, \quad (4.3)$$

где  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $t_p$  — время работы (в часах), в течение которого изделие данного типа должно исправно выполнять свои функции (исправно работать).

Уравнение (4.3) называют экспоненциальным законом надежности (распределение Пуассона). Оно показывает, что вероятность исправной работы убывает с течением времени по логарифмической кривой.

**Пример 3.** Дано:  $t_p=160$  ч,  $T_{cp}=2000$  ч. Определить вероятность безотказной работы изделия.

**Решение.** Из выражения (4.3) имеем  $P(t)=e^{-160/2000}=0,9231$ .

При расчете и характеристике безотказности ремонтируемых изделий, кроме вероятности безотказной работы, используют следующие показатели: параметр потока отказов и наработку на отказ.

**Параметр потока отказов ( $\Omega$ )** — среднее количество отказов ремонтируемого изделия в единицу времени, взятое для рассматриваемого момента времени. Он определяется из выражения  $\Omega=\Delta n/N_0\Delta t$ . При определении  $\Omega$  учитывают, что изделия, отказавшие в течение времени  $t$ , ремонтируют. Тогда  $N_0=N(t)$ .

**Нарботка на отказ ( $T$ )** — среднее значение наработки ремонтируемого изделия между отказами. Она определяется из выражения

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_{cp i}}{n}, \quad (4.4)$$

где  $T_{cp i}$  — среднее значение наработки на отказ  $i$ -го изделия;  $n$  — число изделий в испытываемой партии.  $T_{cp i}$  находят по формуле

$$T_{cp i} = \frac{\sum_{j=1}^m T_{ij}}{m}, \quad (4.5)$$

где  $T_{ij}$  — среднее время исправной работы  $i$ -го изделия между  $j-1$  и  $j+1$  отказами;  $m$  — число отказов  $i$ -го изделия.

**Пример 4.** Определить наработку на отказ для двух изделий. Пусть первое изделие исправно работало первые 200 ч, затем отказало и ремонтировалось. До второго отказа оно работало 100 ч, до третьего 80 ч, до четвертого 100 ч. Второе изделие работало до первого отказа 250 ч, до второго 120 ч, до третьего 150 ч и до четвертого 100 ч.

**Решение.** Среднее время наработки на отказ каждого изделия по (4.5) будет равно  $T_{cp1}=(200+100+80+100)/4=120$  ч;  $T_{cp2}=(250+120+150+100)/4=155$  ч. Искомая наработка на отказ по (4.4) равна  $T=(120+155)/2=137,5$  ч.

**2. Показатели, характеризующие долговечность.** Наиболее употребительными показателями этой группы являются срок службы, срок гарантии и гарантийная наработка.

**Срок службы** — календарная продолжительность эксплуатации изделия до момента возникновения предельного состояния. Срок службы изделия нельзя отождествлять с его надежностью. Сложная система может иметь большое число отказов в течение срока службы, т. е. может иметь низкую надежность, а срок службы будет большой. Это объясняется тем, что при установлении срока службы нет абсолютной гарантии, что в течение этого срока не будет ни одного отказа, а устанавливается лишь вероятность этого события. Срок службы системы не определяется только сроком службы элементов, из которых состоит система, а зависит также от сложности системы, условий эксплуатации, технологии изготовления и т. п. Справедливым является только утверждение, что чем выше срок службы элементов, тем (при прочих равных условиях) выше срок службы системы.

**Срок гарантии и гарантийная наработка** — это соответственно период и наработка, в течение и по завершении которых изготовитель обеспечивает выполнение установленных требований к изделию при условии соблюдения потребителем правил транспортирования, хранения и эксплуатации.

Гарантийный срок службы всегда меньше действительного срока службы. Он не характеризует надежность аппаратуры, а лишь устанавливает взаимоотношения между потребителем и поставщиком. Если в течение гарантийного срока произойдет отказ, то не потребитель, а предприятие, установившее этот срок, несет юридическую ответственность, в частности, оно выполняет ремонт отказавшего изделия или, если это невозможно, заменяет его исправным. Если срок гарантии истек, то

это не означает, что изделие эксплуатировать нельзя. Оно еще может обладать достаточным запасом надежности и быть технически пригодным. Дальнейшая его эксплуатация возможна, однако вся ответственность за последствия отказов ложится на потребителя.

**3. Показатели, характеризующие сохранемость и ремонтпригодность.** Ремонтпригодность характеризуется значением среднего времени восстановления изделия ( $T_{\text{в}}$ ). Это время определяется длительностью ремонтов в процессе эксплуатации. Сохраняемость характеризуют *средним временем безотказного хранения* ( $T_{\text{хр}}$ ), определяемого по формуле

$$T_{\text{хр}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{хр}i}}{n},$$

где  $T_{\text{хр}i}$  — время безотказного хранения  $i$ -го изделия;  $n$  — число изделий, для которых определяется  $T_{\text{хр}}$ .

**4. Комплексные показатели, характеризующие безотказность и ремонтпригодность изделий.** К этой группе показателей относят коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности и коэффициент технического использования.

**Коэффициент готовности ( $K_{\text{г}}$ )** — вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени в промежутках между выполнением планового технического обслуживания.

**Коэффициент оперативной готовности ( $K_{\text{ог}}$ )** — вероятность того, что изделие, начав в произвольный момент времени выполнение задачи, проработает безотказно в течение требуемого времени. Он равен  $K_{\text{ог}} = K_{\text{г}}P(t)$ , где  $P(t)$  — вероятность безотказной работы в течение времени  $t$ .

**Коэффициент технического использования ( $K_{\text{ти}}$ )** показывает, какую часть от суммарного времени работы и простоя изделия (при техническом обслуживании и ремонтах) составляет время его работы:

$$K_{\text{ти}} = \frac{\Sigma T_{\text{р}}}{(\Sigma T_{\text{р}} + \Sigma T_{\text{рем}} + \Sigma T_{\text{то}})},$$

где  $\Sigma T_{\text{р}}$ ,  $\Sigma T_{\text{рем}}$  и  $\Sigma T_{\text{то}}$  — суммарное время работы изделия, ремонтов и технического обслуживания,

**РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ**

**5.1. ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ И МЕРЫ ДЛЯ ЕЕ УМЕНЬШЕНИЯ**

Надежность РЭА в значительной степени определяется безотказностью работы элементов, на которых она построена. Следовательно, задача обеспечения надежности РЭА сводится главным образом к обеспечению безотказной работы этих элементов.

Наиболее удобной количественной характеристикой надежности элементов, как указывалось выше, является интенсивность (опасность) отказов. В табл. 5.1 приведены данные по интенсивности отказов  $\lambda_0$  распространенных элементов, полученные на основе статистического анализа данных в периоде нормальной работы аппаратуры определенного типа и назначения. В этом периоде интенсивность отказов элементов данного типа можно считать постоянной, т. е.  $\lambda_0 = \text{const}$ .

Таблица 5.1

Наименование элементов	$\lambda_0 \times 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$
Резисторы . . . . .	0,00001—0,015
Конденсаторы . . . . .	0,00001—0,164
Электровакуумные приборы . . . . .	0,001—0,345
Трансформаторы . . . . .	0,00002—0,064
Дроссели, катушки индуктивности . . . . .	0,00002—0,044
Реле . . . . .	0,0005—1,01
Сельсины, электродвигатели . . . . .	0,001—0,33
Полупроводниковые диоды . . . . .	0,00012—0,5
Транзисторы . . . . .	0,0001—0,9
Коммутационные устройства . . . . .	0,000003—0,028
Штепсельные разъемы . . . . .	0,00001—0,01
Соединения пайкой и проводами . . . . .	0,0001—0,01
Плавкие предохранители . . . . .	0,01
Микромодули . . . . .	0,0018

Интенсивность отказов элементов зависит от многих факторов: от качества исходных материалов, конструкции, технологии изготовления и культуры производства, от условий эксплуатации и режима работы элемента. При определении интенсивности отказов по табл. 5.1

нужно учитывать уровень надежности элементов, условия эксплуатации, режим работы и окружающую температуру. Учет этих факторов производится с помощью соответствующих коэффициентов.

**Уровень надежности элементов.** Элементы одного и того же назначения изготавливают с различными уровнями надежности: верхний (В), средний (С) и низкий (Н). Максимальные значения, указанные в табл. 5.1, относятся к элементам уровня В. Интенсивность отказов элементов среднего и низкого уровней надежности увеличивается в  $K_{ун}$  раз по сравнению с элементами верхнего уровня надежности:  $\lambda = \lambda_0 K_{ун}$ , где  $K_{ун}$  — коэффициент уровня надежности. Для элементов среднего уровня надежности он равен 10, а для элементов низкого уровня 100;  $\lambda_0$  определяют по табл. 5.1.

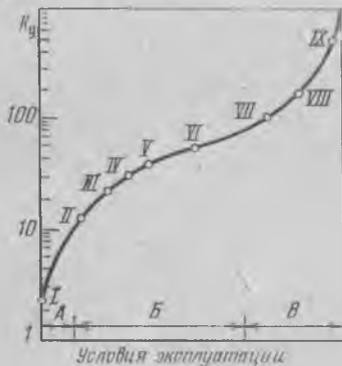


РИС. 5.1. График для определения коэффициента условий эксплуатации:

А — нормальные (I — лабораторные условия); Б — наземные естественные (II — наземная аппаратура, III — корабль, IV — автомобиль, V — поезд, VI — аппаратура для высокогорной местности); В — в летательных аппаратах (VII — самолет, VIII — ранние образцы ракет, IX — современные образцы ракет)

Уровень надежности элементов закладывается при конструировании и зависит от того, насколько учитываются при этом возможные условия эксплуатации. Значительное количество отказов элементов связано с воздействием на них механических возмущений и климатических факторов: холода, тепла, влаги и т. д. Влияние условий эксплуатации на опасность отказов элементов можно приближенно учесть с помощью рис. 5.1. При этом опасность отказов элементов с учетом уровня их надежности  $\lambda = \lambda_0 K_{у} K_{ун}$ , где  $\lambda_0$  — минимальное значение опасности отказов, взятое из табл. 5.1;  $K_{у}$  — коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (определяется из рис. 5.1).

**Пример.** Определить интенсивность отказов резисторов, установленных в наземной аппаратуре, если они имеют уровень надежности С ( $K_{ун} = 10$ ).

Решение. По табл. 5.1 находим  $\lambda_0 = 0,0001 \cdot 10^{-3}$ , по рис. 5.1 определяем  $K_{ун} \approx 13$ . Следовательно,  $\lambda = 0,0001 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 13 = 0,013 \times 10^{-3}$  отказов/ч.

**Режим работы и окружающая температура.** Каждый работающий элемент РЭА испытывает электрическую, тепловую и механическую нагрузки, которые существенно влияют на величину опасности отказов. Существуют номинальные величины электрической, тепловой и механической нагрузок, при которых допустима работа элементов. Для учета влияния нагрузки на величину опасности отказов используют коэффициент нагрузки  $K_{н}$ . Если опасность отказов при номинальной нагрузке равна  $\lambda_0$ , то при нагрузке, отличающейся от номинальной, она будет равна  $\lambda = \lambda_0 K_{н}$ .

Коэффициент нагрузки определяют как отношение рабочего (расчетного или фактического) значения контролируемого параметра  $K_{р}$  к номинальному значению соответствующего параметра элемента  $K_{ном}$ , взятого из ИТД, т. е.  $K_{н} = K_{р} / K_{ном}$ .

Контролируемым параметром элемента называют такой, который в наибольшей мере, чем другие, определяет режим, характер и надежность его работы. Так, для конденсатора контролируемый параметр — приложенное к нему напряжение, для резистора — рассеиваемая мощность. Некоторые элементы имеют два и более контролируемых параметров. Например, для реле контролируемыми параметрами являются: ток или напряжение обмотки возбуждения, напряжение переключающей цепи; ток, проходящий через контакты переключаемой цепи.

Использование элементов в перегруженном режиме ( $K_{н} > 1$ ) резко сокращает срок их службы. Наоборот, использование их в недогруженном режиме ( $K_{н} < 1$ ) уменьшает среднюю частоту отказов аппаратуры и значительно увеличивает продолжительность ее нормальной работы. Исходя из этого, в большинстве современных образцов РЭА большая часть элементов работает в недогруженном режиме. Практика показывает, что свыше 50% используемых в РЭА резисторов работают с  $K_{н} < 0,1$ , а с  $K_{н} > 0,5$  — менее 5% всех используемых резисторов. Основная часть используемых в РЭА конденсаторов также имеет  $K_{н} < 0,1$ , а в режиме, превышающем допустимую нагрузку ( $K_{н} > 1$ ), работает лишь около 2% используемых конденсаторов.

Допустимые значения коэффициентов нагрузки элементов зависят от характера и условий работы аппаратуры. На основе опыта разработки и эксплуатации данного вида изделия устанавливают оптимальные значения коэффициентов нагрузки.

С учетом коэффициента нагрузки экспоненциальный закон надежности элементов будет иметь вид  $P(t) = \exp(-K_n \lambda_0 t)$ , где  $\lambda_0$  — опасность отказов при номинальной нагрузке.

Температура является одним из наиболее активных факторов, влияющих на отказы элементов. Под действием тепла и холода изменяются как физические, так и химические свойства материалов, из которых сделаны радиодетали и радиокомпоненты. Чрезмерное изменение свойств материалов может привести к недопустимым изменениям геометрических размеров, электрических и механических параметров элементов, т. е. к их отказу.

## 5.2. НАДЕЖНОСТЬ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

Надежность резисторов и конденсаторов обычно характеризуется интенсивностью отказов  $\lambda$  и средней наработкой до первого отказа  $T_{ср}$ . Резисторы являются наиболее массовыми типовыми элементами РЭА. Их надежность по сравнению с другими элементами относительно велика. Однако отказы аппаратуры, вызываемые выходом резисторов и конденсаторов из строя, наблюдаются довольно часто в связи с тем, что в аппаратуре их в несколько раз больше, чем остальных элементов (иногда они составляют 50% от всех элементов).

**Резисторы.** Статистические данные показывают, что обрыв токопроводящего слоя и нарушение контакта резистора — наиболее типичный вид отказа (свыше 50%). Значительный процент отказов (35—40%) относят за счет перегорания токопроводящего слоя. Около 5% отказов вызывается резким изменением величины сопротивления резистора (в 10—100 раз и более). Количество отказов резисторов меняется с течением времени и зависит в основном от условий применения, технологии производства, качества материалов.

Нагрев резистивного слоя за счет мощности, рассеиваемой на резисторе в рабочем режиме, и резкие изменения температуры окружающей среды вызывают необратимые накапливающиеся изменения в резисторе.

Такие изменения нередко приводят к внезапному отказу. Снижение электрической нагрузки резистора, создание условий работы, исключающих резкие изменения температуры, повышают его надежность.

Электрическую нагрузку непроволочных и проволочных резисторов постоянного сопротивления удобно характеризовать коэффициентом нагрузки резистора — отношением фактической мощности  $P_{ф}$ , рассеиваемой на резисторе, к номинальной  $P_{ном}$

$$K_n = P_{ф} / P_{ном}$$

Чем больше это отношение, тем в более тяжелом режиме используется резистор и, следовательно, можно ожидать меньшего срока его службы и наступления отказа.

Зависимость интенсивности отказов пленочных (1), проволочных (2) и углеродистых (3) резисторов от температуры  $t$  окружающей среды при номинальной нагрузке дана на рис. 5.2, а на рис. 5.3 — зависимость интенсивности отказов объемного резистора с номинальной мощностью рассеяния в 1 Вт от окружающей темпера-

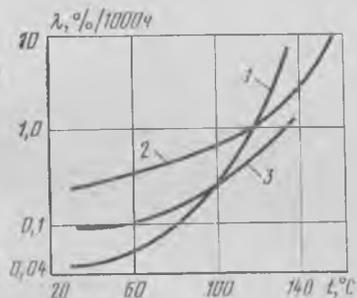


РИС. 5.2. Зависимости интенсивности отказов резисторов от температуры окружающей среды при номинальной нагрузке

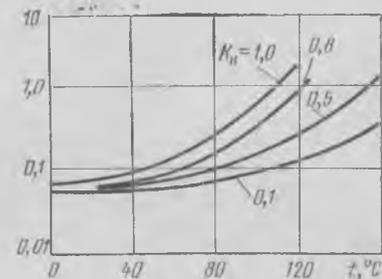


РИС. 5.3. Зависимости интенсивности отказов объемного резистора от окружающей температуры при разных коэффициентах нагрузки (по оси  $y$  значения  $\lambda$  в %/1000 ч)

туры  $t$  при разных коэффициентах нагрузки  $K_n$ . Из приведенных кривых  $\lambda = f(t, K_n)$  видно, что резисторы целесообразно использовать в облегченных режимах. Загружать резисторы номинальной нагрузкой можно только при определенной температуре. Например, 40°C для резисторов типа ВС и 70°C — для МЛТ (данные приводят в НТД на конкретные типы резисторов).

На надежность резисторов отрицательно влияет влага. Она ускоряет коррозию контактных выводов, что нередко приводит к их обрыву, и способствует растрескиванию защитных эмалей. Проникающая через трещины влага разрушает резистивный слой или проволоку.

При длительных механических воздействиях происходят усталостные изменения в материалах, используемых в конструкции резисторов, что в конечном итоге приводит к скачкообразному изменению свойств резисторов, т. е. к их внезапному отказу.

С конструктивной точки зрения, надежность резисторов существенно зависит от качества проводящего слоя и его геометрических размеров. Чем меньше сечение проводящего слоя и чем больше его длина, тем ниже надежность. Этим объясняется сравнительно низкая надежность поверхностных резисторов со спиральной нарезкой и резисторов с номиналами более 0,5 МОм. Наиболее надежными являются резисторы композиционного типа, так как отказать они могут только при механических повреждениях тела резистора, что в нормальных условиях эксплуатации бывает очень редко. Мгновенные отказы резисторов возможны из-за нарушения целостности контактного узла. Наиболее частые отказы этого вида наблюдаются у поверхностных резисторов из-за возникающих механических перенапряжений. У объемных резисторов таких отказов нет, так как у них контактный вывод работает на сжатие.

При работе резисторов иногда появляются необратимые изменения величины активного сопротивления, что ведет к уходу параметров изделия за допустимые пределы (у объемных резисторов чаще, у поверхностных — реже). Необратимые изменения величины активного сопротивления наиболее вероятны у резисторов, работающих в цепях постоянного тока. Это объясняется возникновением электролитических процессов в керамическом стержне, приводящих к разрушению краев витков проводящего слоя. Электролитические процессы усиливаются при недопустимо высоких влажности и температуре. Снижение влажности и температуры уменьшает их. У нарезных резисторов, работающих при импульсных нагрузках, также имеют место необратимые изменения величины активного сопротивления. Это можно объяснить неравномерным распределением потенциала на витках токопроводящего слоя и, как следствие,

образованием большой плотности тока у канавки. При прохождении через резистор импульсных токов в местах максимальной плотности возникают значительные перегревы, вызывающие тепловое разрушение проводящего слоя. Снижение рассеиваемой на резисторе мощности в этом случае повышает его надежность.

Большинство резисторов имеют в начальный период работы такую же надежность, как и в период нормальной работы. Характерной особенностью резисторов при их работе в схемах является то, что их отказы более чем в 50% случаев вызывают отказы других элементов, например, пробой конденсаторов, короткие замыкания в электровакуумных и полупроводниковых приборах. Это обстоятельство заставляет обращать серьезное внимание на надежность резисторов при их конструировании, изготовлении и испытаниях.

**Конденсаторы.** Наиболее частым видом отказов конденсатора является пробой диэлектрика и перекрытие изоляции между обкладками (поверхностный разряд). Эти отказы составляют около 80% всех отказов и возникают из-за наличия слабых мест в диэлектрике и технологических дефектов, допущенных при производстве. Довольно часто конденсаторы выходят из строя из-за обрывов выводов. Около 15% отказов конденсаторов вызваны уменьшением их емкости ниже допустимой. Чаще это наблюдается у электролитических конденсаторов. Из-за уменьшения сопротивления изоляции выходят из строя около 5% конденсаторов. Количество отказов конденсаторов зависит и от их назначения в схеме. Наибольшая опасность отказов наблюдается у разделительных и блокировочных конденсаторов, наименьшая — у контурных и накопительных. Это объясняется различием режимов их работы. На надежность конденсаторов существенное влияние оказывает температура, влажность и частота питающего напряжения. Конденсаторы с большой электрической и тепловой нагрузкой имеют повышенное число отказов.

Электрическая нагрузка конденсаторов постоянной емкости характеризуется коэффициентом нагрузки  $K_n$ , равным отношению рабочего напряжения  $U_p$  к номинальному  $U_{ном}$ :

$$K_n = U_p / U_{ном}$$

Из формулы ясно, что увеличение  $K_n$  означает увеличение рабочего напряжения  $U_p$  на конденсаторе, а это

всегда снижает сопротивление изоляции, нередко вызывает появление внутренней короны и пробой диэлектрика. Например, повышение рабочего напряжения электролитических конденсаторов на 30% от номинального обычно приводит к их пробую.

Нагрев конденсатора снижает электрическую прочность диэлектрика и сопротивление изоляции, увеличивает тангенс угла диэлектрических потерь. Причем

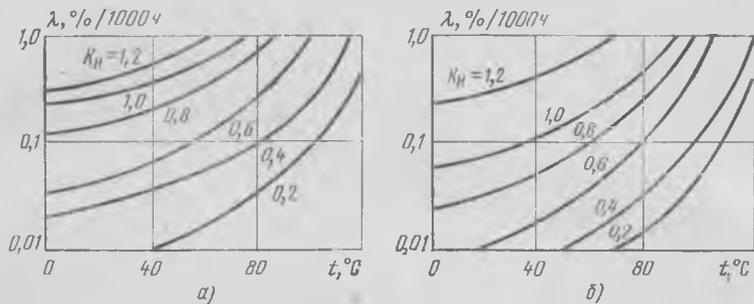


РИС. 5.4. Зависимости интенсивности отказов керамических (а) и слюдяных (б) конденсаторов от окружающей температуры при различных коэффициентах нагрузки

местное уменьшение сопротивления изоляции вызывает повышение температуры конденсатора и, как следствие, еще большее возрастание потерь и снижение сопротивления изоляции. Развитие этих процессов приводит к пробую конденсатора. Особенно опасно для возникновения этого процесса место, занимаемое контактным выводом. Пропиточные и заливочные составы, используемые в конденсаторах, могут служить причиной их разрушения. При нагреве давление в корпусе герметизированного конденсатора достигает значительной величины, что может привести к деформации корпуса. При низкой температуре происходит усадка заливочного материала, а это может вызвать перекрывание или пробой оголенной секции. Зависимости интенсивности отказов от температуры при разных коэффициентах нагрузки для керамических конденсаторов приведены на рис. 5.4, а для слюдяных — на рис. 5.4, б. Из графиков видно, что надежность конденсаторов с уменьшением температуры и  $K_n$  заметно повышается.

Влажность окружающей среды является причиной увеличения тангенса угла диэлектрических потерь, сни-

жения электрической прочности и сопротивления изоляции, что ведет к снижению пробивного напряжения. Это особенно сильно заметно в негерметизированных конденсаторах. У керамических конденсаторов, предназначенных для работы при высоком напряжении, повышенная влажность окружающей среды может привести к снижению пробивного напряжения, и оно может оказаться ниже испытательного. При набухании эмалевого покрытия керамического конденсатора под действием влаги и проникновении ее на межразрядный участок резко увеличивается проводимость на этом участке из-за электролиза и миграции серебра, что может послужить причиной замыкания электродов. Замыкание по поверхности разрушает керамическое основание конденсатора. Аналогичное явление происходит в слюдяных и стеклоэмалевых конденсаторах с обкладками из серебра. Надежное влагозащитное покрытие замедляет протекание нежелательных процессов под действием влаги.

Среди керамических наиболее надежны низковольтные конденсаторы КГК и КДК, однако при относительно высокой влажности они менее надежны, чем, например, КТК. На высоких частотах (500—700 МГц) используют конденсаторы КДУ. Наименее тепло- и влагостойкими являются конденсаторы КПК. В высоконадежной аппаратуре их применение нецелесообразно.

В противоположность резисторам основное количество отказов у конденсаторов наблюдается в начальный период эксплуатации. Так, около 70% всех пробоев происходит до наступления нормального периода работы, где действует условие  $\lambda = \text{const}$ . Это обстоятельство дает возможность значительно повысить надежность конденсаторов путем отбраковки малонадежных образцов.

### 5.3. НАДЕЖНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Полупроводниковые приборы, обладая целым рядом преимуществ, нашли большое применение в РЭА. Одним из важнейших их преимуществ является более высокая надежность, чем у электровакуумных приборов, повышенная устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам и малые значения рассеиваемой мощности.

В проблеме надежности полупроводниковых приборов сложность заключается в получении их стабильных параметров при воздействии внешних факторов. Дело

в том, что электрические свойства полупроводникового материала сильно зависят от внешних воздействий и главным образом от влияния температуры. Высшая температура для полупроводникового прибора определяется переходом базы в область собственной проводимости. Для германия эта температура лежит в пределах 80—100°C, для кремния 150—200°C, для карбида кремния 300—400°C. Полупроводниковые приборы очень чувствительны к перегрузкам по току и по напряжению и выходят из строя даже при кратковременных перегрузках.

Основной причиной внезапных отказов полупроводниковых приборов является перенапряжение между коллектором и базой, возникающее во время переходных процессов. Иногда отказы могут быть обусловлены обратными импульсными выбросами на участке база — эмиттер. Частым видом внезапных отказов является также обрыв электрической цепи, короткое замыкание и недопустимые отклонения параметров элемента от номинала.

Постепенные отказы полупроводниковых приборов возникают большей частью из-за изменения их параметров, причем наиболее интенсивное изменение параметров отмечается в начальный период эксплуатации, составляющий несколько сотен часов. В дальнейшем скорость изменения параметров уменьшается и с наступлением периода старения снова растет. Изменения параметров полупроводниковых приборов большей частью наблюдаются при повышенных напряжениях на коллекторе или из-за проникновения влаги в прибор при нарушении герметичности. Такое нарушение обычно вызывается различием коэффициентов линейного расширения металлов и проходных изоляторов.

Отказы полупроводниковых приборов могут появляться в результате изменения структуры полупроводникового материала за счет случайного проникновения посторонних веществ в прибор при его сборке и герметизации.

Надежность полупроводниковых приборов, главным образом, зависит от температуры перехода, определяемой по формуле:  $t_{пер} = t_{окр} + \theta P_{ср}$ , где  $t_{пер}$  — температура перехода (для транзисторов температура коллекторного перехода);  $t_{окр}$  — температура окружающей среды или температура корпуса (приборы с жесткими выводами);

$P_{ср}$  — средняя мощность рассеяния при температуре перехода (для транзисторов — температура коллекторного перехода);  $\theta$  — тепловое сопротивление между переходом и окружающей средой (для приборов с мягкими выводами) или между переходом и корпусом (для приборов с жесткими выводами).

Для наиболее употребительных транзисторов тепловое сопротивление между переходом и корпусом  $\theta = 0,11^\circ\text{C}/\text{мВт}$ , а между переходом и окружающей средой  $\theta = 0,25^\circ\text{C}/\text{мВт}$ .

Опасность отказов полупроводниковых приборов зависит от температуры окружающей среды и от коэффициента нагрузки. Причем опасность отказов транзисторов выше, чем опасность отказов диодов, так как транзисторы имеют два перехода, более сложную конструкцию и большее число выводов.

Коэффициент нагрузки полупроводниковых приборов в общем случае определяют по формуле

$$K_H = P_p / P_{ном},$$

где  $P_p$  и  $P_{ном}$  — рабочая и номинальная мощности рассеяния.

Характеристики кремниевых и германиевых приборов показывают, что во всем интервале снижения номинальных параметров опасность отказов их меняется непрерывно от какой-то определенной установленной величины приблизительно в одинаковой пропорции. Однако кремниевые полупроводниковые приборы работают без снижения номинальных параметров до более высоких температур, чем германиевые, а поэтому опасность отказов кремниевых полупроводниковых приборов при той же температуре будет ниже. Особенно сильное влияние температуры на опасность отказов полупроводниковых приборов начинается после достижения некоторого критического значения  $K_{Hкр}$ , связанного с температурой окружающей среды следующим соотношением:

$$K_{Hкр} = \exp \left[ -3(T_0 - 25) / (T_{max} - 25) \right],$$

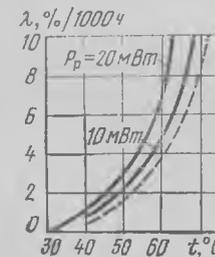


РИС. 5.5. Расчетные кривые интенсивности отказов точечных транзисторов

где  $T_0$  — температура окружающей среды, °С;  $T_{\max}$  — максимально допустимое значение температуры окружающей среды, °С, оговоренное в НТД.

На основе оценки опасности отказов точечных транзисторов установлено, что влияние температуры и мощности рассеяния на надежность этих транзисторов можно определить из уравнения

$$\lambda = 4,445 \cdot 10^{-4} \exp [-1,336(1/T_0 - 1/358,16) + 0,046P_p],$$

где  $T_0$  — окружающая температура (в градусах Кельвина К); 358,16 К = 85°С — максимально допустимая температура электронно-дырочного перехода;  $P_p$  — рабочая мощность рассеяния, мВт.

На рис. 5.5 даны расчетные зависимости интенсивности отказов точечных транзисторов от температуры окружающей среды и мощности рассеяния (штриховая кривая — для хранения), полученные по этому уравнению.

#### 5.4. НАДЕЖНОСТЬ РЕЛЕ И КОММУТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Реле и коммутирующие устройства довольно широко используют в РЭА. Их относят к электромеханическим элементам, для которых характерны постепенные отказы. При оценке интенсивности отказов этих элементов обязательно указывают период времени, к которому относится эта интенсивность. Около 25% отказов реле, контакторов, выключателей и различного рода соединителей возникает в конце заданного срока службы и только около 2,5% в период, соответствующий 70% заданного срока службы. Причем для реле, контакторов и выключателей интенсивность отказов принято относить к одному циклу включения, а для соединителей — к одному контакту.

Надежность реле обычно достаточно высокая (одно неверное срабатывание на  $10^7$  включений). Для реле типичны следующие отказы: неисправности в контактных системах (около 56% отказов), в обмотках реле (около 20% отказов), нарушение паек и механические повреждения.

Наиболее часто встречающимися отказами являются: обгорание, загрязнение и замыкание контактов, регулировка, поломка и ослабление контактных пружин,

пробой изоляции обмотки на корпус. Реже встречаются отказы из-за обрывов и межвитковых замыканий обмоток, отказы из-за ухода параметров за пределы допусков, плохого центрирования контактов и снижения упругости пружин. Все эти отказы частично можно предотвратить при соответствующей культуре производства и эксплуатации.

Отказ контактов может быть вызван большим током включений, большой величиной установившегося тока или скачком напряжения при размыкании индуктивной цепи. Контакты реле и переключателей в ряде случаев испытывают значительные кратковременные перегрузки в результате переходных процессов в коммутируемых цепях. Например, контакты, стоящие в цепях питания электродвигателей, испытывают десятикратные перегрузки из-за больших пусковых токов. Способность к свариванию контактов тем больше, чем ниже температура плавления металла контакта, больше его удельное сопротивление и твердость. Ложные срабатывания реле возникают при недостаточном контактном давлении, вибрации или вследствие усталости материала.

При нагревании катушек реле летучие продукты лаков и компаундов осаждаются на контактные поверхности. Это приводит к отказам в контактах, по которым проходят малые токи. Повышение температуры катушек реле вызывает увеличение их сопротивления, и ток в обмотке реле может уменьшиться до величины, недостаточной для срабатывания реле. При длительном пребывании реле, контакторов, выключателей, разъемов и других электромеханических элементов во влажной атмосфере сопротивление изоляции между токонесущими частями сильно снижается, что может служить причиной их отказа. При работе электромеханических элементов в условиях пониженного давления облегчается образование дуги и коронного разряда. Отказы по этой причине особенно часто возникают у реле, микровыключателей и штепсельных разъемов, не приспособленных для работы при низком давлении.

При оценке надежности реле, переключателей и других коммутирующих устройств, как было указано выше, часто вместо показателей, связанных со временем их работы, используют показатели, связанные с числом их срабатываний (циклов). В этом случае наработка на отказ выражается средним числом срабатываний, прихо-

дющихся на один отказ, опасность отказов — числом отказов, приходящихся на одно срабатывание, а вероятность безотказной работы оценивают за определенное число срабатываний. Известная средняя скорость срабатывания устройства позволяет легко перейти к временным параметрам. Так, для реле, имеющего наработку на отказ 120 000 циклов при средней скорости переключения 15 циклов/ч, наработка на отказ равна  $120\,000/15 = 8000$  ч.

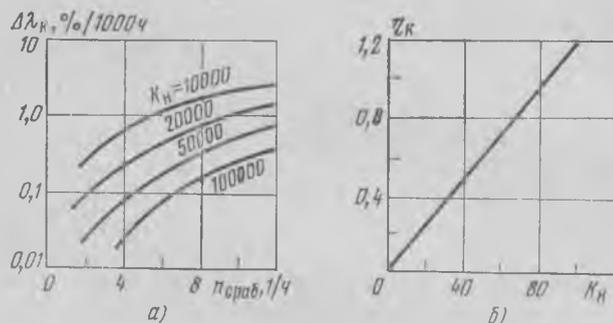


РИС. 5.6. Зависимости  $\Delta\lambda_k$  от числа срабатываний реле (а) и  $\eta_k$  от коэффициента нагрузки контакта (б)

Надежность реле и коммутирующих устройств зависит в значительной степени и от числа контактов, плотности тока и числа срабатываний. Зависимость интенсивности отказов от указанных характеристик можно записать в виде  $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda_k \eta_k N_k$ , где  $\lambda_0$  — интенсивность отказов реле данного назначения и конструкции;  $\Delta\lambda_k$  — дополнительная доля интенсивности отказов одной пары контактов, зависящая от числа срабатываний в час и от предельного числа срабатываний;  $\eta_k$  — коэффициент, учитывающий плотность тока контакта;  $N_k$  — число действующих контактов. Зависимости  $\Delta\lambda_k$  от числа срабатывания реле, рассчитанных на различное предельное число срабатываний, и  $\eta_k$  от коэффициента нагрузки контакта приведены на рис. 5.6.

Большое влияние на надежность реле и коммутирующих устройств оказывают вибрации. При определенной амплитуде и частоте вибраций возникают временные сбои в работе вследствие беспорядочного размыкания и замыкания контактов.

## 5.5. НАДЕЖНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРОВ, ДРОССЕЛЕЙ И КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ

Опасность отказов трансформаторов, дросселей и катушек индуктивности имеет примерно тот же порядок, что и резисторы, если эти элементы применяют в соответствии с ТУ на них. Характерными для этих элементов являются отказы: перегорание и обрыв обмоток, пробой изоляции обмоток на корпус, замыкания между обмотками и между витками.

Основное влияние на надежность трансформаторов, дросселей и катушек индуктивности оказывают электрические режимы (плотность тока в обмотках и напряжение между обмотками), а также влага и температура окружающей среды. К основным причинам отказов этих изделий относят: повышенное напряжение первичной обмотки; повышенный ток вторичных обмоток; флюктуацию частоты входного сигнала. Если напряжение первичной обмотки будет превышать номинальное напряжение на 20%, то произойдет преждевременный пробой. Если же это напряжение будет значительно выше, то произойдет мгновенный пробой изоляции. Повышенный ток вторичных обмоток ведет к перегреву трансформатора, что уменьшает электрическую прочность изоляции, к обрыву или короткому замыканию обмотки, деформации или разрушению корпуса в результате расширения заливочного материала. Работа на частотах ниже допустимых снижает реактивное сопротивление и повышает ток, а работа на частотах выше допустимых увеличивает потери в сердечнике. В обоих случаях температура трансформатора (дросселя) превышает номинальную и электрическая прочность изоляции уменьшается, так как между этими величинами существует обратная зависимость.

Причиной значительного числа повреждений трансформаторов, дросселей и катушек индуктивности является влага. С изменением температуры влага проникает внутрь обмотки или, наоборот, испаряется. Помимо непосредственного проникновения через заливочный материал, влага впитывается и через выводы обмоток. Попавшая внутрь обмоток влага снижает сопротивление изоляции между витками обмоток, способствует пробоем изоляции и возникновению электролитического процесса за счет растворенных в воде солей — все это снижает надежность. Поэтому очень важная роль в повышении

Надежности трансформаторов, дросселей и катушек индуктивности принадлежит пропитке обмоток влагостойкими материалами и герметизации.

Повышение температуры окружающей среды на 8—10°C снижает срок службы изоляции. Окраска внутренней и внешней поверхностей защитного кожуха черной матовой краской способствует снижению температуры магнитопровода трансформатора (дросселя) на 5—7°C.

Для оценки свойств трансформаторов при длительном функционировании используют интенсивность отказов  $\lambda$ . При этом для трансформаторов питания при температуре окружающей среды +20°C и номинальной нагрузке значение  $\lambda$  лежит в интервале  $(0,00005—0,002) \cdot 10^{-3}$ , а при температуре +85°C — ухудшается примерно в 30 раз. Отказы трансформаторов в основном обусловлены процессами старения изоляции под действием высокой температуры и не носят случайного характера. Поэтому  $\lambda$  неточно отражает закономерности отказов трансформаторов. Однако в трансформаторах наблюдаются также внезапные отказы по чисто случайным причинам, которые можно описывать, используя  $\lambda$  и экспоненциальный закон надежности. При этом для определения  $\lambda$  при испытаниях трансформаторов учитывают только те отказы, которые не обусловлены старением материалов.

Высокостабильные и крупногабаритные дроссели и катушки индуктивности с использованием проводов диаметром более 0,5 мм, рассчитанные на большие рассеиваемые мощности, имеют хорошую механическую прочность. Поэтому внезапные отказы у них наблюдаются чрезвычайно редко. Для повышения механической прочности и влагостойкости, миниатюрные катушки индуктивности и дроссели на тороидальных и броневых сердечниках с использованием проводов диаметром меньше 0,1 мм пропитывают, обволакивают или заливают компаундами или смолами. При затвердевании их в катушках индуктивности и дросселях возникают значительные механические напряжения, приводящие при термоциклах и механических воздействиях к увеличению числа внезапных отказов в виде обрыва проводов обмоток. Из вышесказанного ясно, что  $\lambda$  разных катушек индуктивности и дросселей имеют разную величину. Этим объясняется значительное различие  $\lambda$ , приводимых в разных источниках.

## 5.6. НАДЕЖНОСТЬ МИКРОМОДУЛЕЙ И ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

**Надежность микромодулей.** Микромодули в процессе эксплуатации могут подвергаться воздействию электрических и механических нагрузок, высоких и низких температур, повышенной влажности, морского тумана, инея, росы.

При любых условиях эксплуатации аппаратуры на микромодулях на них воздействуют электрические нагрузки, определяемые схемами микромодулей. Как правило, воздействие электрических нагрузок приводит к повышению температуры в микромодуле, что ускоряет химические реакции и способствует появлению отказов. Предельные или близкие к предельным электрические нагрузки вызывают пробой или перегорание наиболее уязвимых частей микромодулей.

Одним из важнейших требований к микромодулям является обеспечение заданной надежности. Микромодули относятся к группе невосстанавливаемых изделий, так как они после герметизации представляют собой монолитное тело и в теории надежности рассматриваются как отдельные элементы аппаратуры РЭА, хотя и содержат несколько элементов.

Наиболее удобными числовыми критериями для оценки надежности микромодулей являются интенсивность отказов и вероятность безотказной работы. Для микромодулей характерны отказы трех типов: приработочные, постепенные и внезапные, которые могут быть полными, частичными, устойчивыми и перемежающимися.

*Приработочные отказы* наблюдаются в период приработки. Полные отказы в период приработки вызываются, как правило, грубыми дефектами в микроэлементах и элементах конструкции микромодуля. Частичные отказы вызываются ухудшением электрических параметров микромодуля, которые изменяются наиболее интенсивно в период приработки. Приработочные отказы могут быть сведены к минимуму, даже исключены совсем предварительной приработкой и отбраковкой, которые по существу сводятся к тренировке аппаратуры, собранной на микромодулях, в условиях, наиболее неблагоприятных для микромодулей. Практика показывает, что микромодули наименее устойчивы к комплексному воздействию электрических нагрузок и повышенной температуры. *Постепенные отказы*, связанные с периодом старения, у микромодулей не наблюдаются в течение вре-

мени наработки более 1000 ч. *Внезапные отказы* являются наиболее опасными для микромодульной аппаратуры. При эксплуатации аппаратуры происходят незначительные количественные изменения физического состояния элементов. В результате накопления этих изменений в некоторый момент времени происходит скачкообразное изменение свойств элемента и микромодуля в целом. Такие отказы происходят внезапно, случайно, и они подчиняются определенным общим закономерностям теории вероятностей. Так как у микромодулей, прошедших тренировку, не наблюдается зависимости интенсивности отказов от времени наработки, вероятность безотказной работы микроэлементов описывается выражением  $P_{эл} = e^{-\lambda_{эл}t}$ , где  $\lambda_{эл}$  — интенсивность отказов микроэлементов;  $t$  — интервал времени работы.

Зная величины интенсивности отказов отдельных микроэлементов, можно определить интенсивность отказов микромодулей:  $\lambda_m = \lambda_{эл1} + \lambda_{эл2} + \dots + \lambda_{элk}$ , а также вероятность безотказной работы его за время  $t$  по внезапным отказам:  $P_{вм} = \exp\{-(\lambda_{эл1} + \lambda_{эл2} + \dots + \lambda_{элk})t\}$ .

Интенсивность внезапных отказов микроэлементов зависит от их конструкции и условий эксплуатации и определяется прежде всего отказами полупроводниковых приборов. На долю пассивных элементов всех типов приходится в среднем примерно 10—20% отказов.

Требования по надежности к микромодулям зависят от требований, предъявляемых к аппаратуре, в составе которой работают эти микромодули, и колеблются в пределах от  $5 \cdot 10^{-5}$  до  $8 \cdot 10^{-8}$  отказов/ч. Конструкция микромодулей обеспечивает высокую надежность, которую можно еще повысить проведением комплекса мероприятий на всех стадиях проектирования и производства микроэлементов и микромодулей.

**Надежность печатных плат.** Основными параметрами, определяющими надежность печатных плат, являются тангенс угла диэлектрических потерь, диэлектрическая проницаемость, удельные объемное и поверхностное сопротивление, сопротивление изоляции между печатными проводниками. К факторам, наиболее влияющим на величину этих параметров, относят температуру окружающей среды и влажность. Продолжительное на-

хождение печатных плат в условиях повышенной температуры или влажности, а особенно при одновременном их сочетании приводит к возникновению в платах необратимых явлений, вызывающих резкое уменьшение сопротивления изоляции. А это зачастую ведет к их отказу. Влага служит причиной образования плесени и коррозии металлов, которые могут вызвать разрыв электрической цепи.

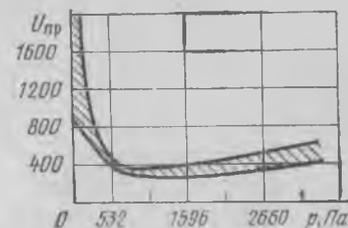


РИС. 5.7. Зависимость пробивного напряжения  $U_{пр}$  поверхностного перекрытия печатных плат от атмосферного давления  $p$

Одной из причин, вызывающих отказы печатных плат, является перекрытие по поверхности платы. Это явление возникает в результате увеличения относительной влажности воздуха вблизи поверхности платы по следующим причинам: из-за неоднородности поверхностного сопротивления печатных плат и их покрытий, образования поверхностных трещин на плате и на покрытии, уменьшения давления окружающей атмосферы. При уменьшении атмосферного давления напряжение поверхностного перекрытия твердых диэлектриков уменьшается и становится минимальным при давлении 798—931 Па, а затем снова возрастает (рис. 5.7). Повышенная температура окружающей среды снижает напряжение поверхностного перекрытия печатных плат при всех значениях атмосферного давления от  $0,408 \cdot 10^3$  до  $103 \cdot 10^3$  Па. При понижении температуры напряжение поверхностного перекрытия возрастает. Область, заключенная между кривыми, характеризуется разбросом параметров при испытаниях различных плат. Старение материала изоляционного основания печатной платы приводит к значительному увеличению тангенса угла диэлектрических потерь, в результате чего происходит резкое возрастание уровня потерь и нередко отказ печатной платы.

Надежность печатных плат зависит также от количества соединений, нанесенных на нес. С увеличением

количества соединений  $n$  увеличивается опасность отказов  $\lambda$  печатных плат:

$n$ , шт.	10	20	30	50	80	100	300	500	1000
$\lambda$ , $10^{-6}$ 1/ч	0,07	0,15	0,22	0,36	0,58	0,72	2,2	3,6	7,2

Количество соединений определяется подсчетом всех паек, выполненных на печатной плате.

### 5.7. НАДЕЖНОСТЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

В настоящее время имеются системы, содержащие  $10^6$  и более элементов. При значении интенсивности отказов составных элементов  $\lambda=10^{-6}$  1/ч средняя наработка на отказ для такой аппаратуры составила бы 1 ч, т. е. аппарата была бы практически не работоспособна. Требуемая величина  $\lambda$  для обеспечения эффективного безотказного режима эксплуатации сложной аппаратуры в течение  $10^3-10^4$  ч должна быть порядка  $10^{-9}-10^{-10}$  1/ч, а с учетом снижения надежности за счет междусхемных и междублочных соединений — еще выше. Применение интегральных микросхем (ИМС) решает эту задачу. Если исходить из числа элементов, то ИМС дают выигрыш в надежности в 10—30 раз. Возможность создания высоконадежной РЭА за счет применения ИМС заложена в самой природе пленочной и полупроводниковой технологии.

С точки зрения обеспечения надежности, трудно отдать предпочтение тому или иному типу ИМС. Бесспорным преимуществом гибридных ИМС перед полупроводниковыми является меньший разброс параметров пассивных элементов, лучшие возможности реализации требуемых электрических характеристик, возможности создания мощных схем, несомненное превосходство в СВЧ диапазоне, где у полупроводниковых ИМС недопустимо возрастают паразитные связи. Наконец, гибридные схемы содержат менее сложные активные элементы, от которых легче получить более высокие и стабильные значения электрических параметров. Важным преимуществом полупроводниковых ИМС по сравнению с гибридными являются меньшие масса и габаритные размеры.

Экспериментальные значения интенсивностей отказов составных элементов гибридных ИМС (в 1/ч) для условий эксплуатации при  $t=65^\circ\text{C}$  и  $K_n=0,7$  от номинального значения следующие:

Навесные транзисторы и диоды . . . . .	$5 \cdot 10^{-8}$
Тонко- и толстопленочные резисторы . . . . .	$1 \cdot 10^{-9}$
Тонкопленочные $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -конденсаторы . . . . .	$8 \cdot 10^{-9}$
Тонкопленочные $\text{SiO}_2$ -конденсаторы . . . . .	$1 \cdot 10^{-8}$
Навесные керамические конденсаторы . . . . .	$5 \cdot 10^{-10}$
Навесные полистироловые конденсаторы . . . . .	$7 \cdot 10^{-10}$
Керамические подложки . . . . .	$5 \cdot 10^{-10}$

Интенсивности отказов тонкопленочных элементов имеют значительный разброс, определяемый различиями в технологии изготовления ИС, а также в методике статических испытаний. Так, для тонкопленочных резисторов значение интенсивности отказов меняется от  $\lambda=1 \cdot 10^{-7}$  1/ч (нихромовые пленки) до  $\lambda=7 \cdot 10^{-12}$  1/ч (пленки нитрида тантала). Однако надежность тонкопленочных резисторов на порядок превосходит наивысший уровень надежности дискретных резисторов. Максимальный уровень надежности тонкопленочных конденсаторов примерно эквивалентен уровню миниатюрных дискретных керамических конденсаторов. Например, для пленочных конденсаторов, полученных электролитическим анодированием пленок нитрида тантала, опасность отказов  $\lambda=5 \cdot 10^{-10}$  1/ч.

Интенсивность отказов современных ИМС лежит в пределах  $10^{-6}-10^{-9}$  1/ч, приближаясь к уровню высоконадежных дискретных элементов. Сравнение интенсивности отказов отдельных элементов ИМС и ИМС в целом показывает, что они практически равнозначны. Преимуществом является то, что степень функциональной сложности ИМС с малым и средним уровнем интеграции слабо отражается на их надежности.

Из опыта эксплуатации и испытаний установлено, что для ИМС прежде всего характерны внезапные отказы, обусловленные качеством изготовления (технологическими дефектами): разрывы соединений между контактной зоной на поверхности подложки (кристалла) и выводами корпуса, обрывы и короткие замыкания внутренних соединений. Внезапные отказы полупроводниковых ИМС составляют 80% от общего числа отказов. Причем свыше 50% отказов гибридных линейных ИМС связано с дефектами встроенных транзисторов и паяных

соединений. Изучение распределения отказов контактов золотых проволочных выводов показало, что отказы чаще всего происходят из-за обрыва проволочки около шарика ковара. Очень редко разрушаются сами соединения, причем контакты Au—Al, полученные ультразвуковой сваркой, менее надежны, чем термокомпрессионные.

Наиболее слабым звеном полупроводниковых ИМС транзисторно-транзисторной логики в пластмассовых

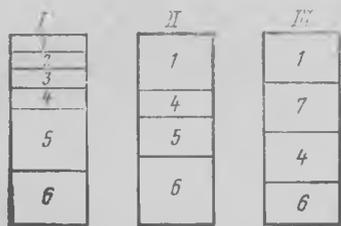


РИС. 5.8. Распределение по видам отказов кремниевых планарных транзисторов до (I) и после (II) отборочных испытаний под нагрузкой, а также после изменения технологии (III):

1 — разные отказы; 2 — дефекты металлизации; 3 — уходы электрических параметров; 4 — плохая герметизация; 5 — дефекты проволочных выводов и сварки; 6 — поверхностные явления; 7 — дефекты фотолитографии

корпусах являются внутренние проволочные соединения, дающие обрывы и короткие замыкания (более 90% отказов вызвано обрывами соединительных проводов). Основная причина таких отказов определяется различием температурных коэффициентов линейного расширения металла и обволакивающего материала, что приводит к возникновению термомеханических напряжений. Около 10% отказов полупроводниковых ИМС в пластмассовых корпусах происходит по причине электрической коррозии алюминиевой металлизации из-за недостаточной влагостойкости пластмасс и загрязнения поверхности окисла при герметизации. Типичные для таких ИМС являются и отказы из-за образования шунтирующих утечек и коротких замыканий, так как влага вызывает перенос ионов металла и загрязнений, а также образование проводящих мостиков между разнопотенциальными точками схемы. Для ИМС в пластмассовых корпусах характерны и перемежающиеся отказы по вышеуказанным причинам. Более надежны ИМС с керамическими корпусами.

Распределение отказов по видам сильно меняется после проведения испытаний и совершенствования технологического процесса. На рис. 5.8 представлено видоизменение распределения отказов кремниевых планар-

ных транзисторов. Из рисунка видно, что в результате отборочных испытаний нарушения работоспособности транзисторов из-за уходов электрических параметров и из-за дефектов металлизации ликвидированы, а доля отказов из-за дефектов сварки и проволочных выводов уменьшилась вдвое. При этом возрос процент отказов, обусловленных поверхностными явлениями, герметизацией и другими причинами. После внедрения нового технологического процесса (защищенные  $p-n$ -переходы, балочные выводы) полностью исключены обрывы металлизации контактов и проволочных выводов, а также уходы электрических параметров, однако увеличилось влияние недостаточной герметизации и возник новый вид отказов из-за дефектов фотолитографии.

#### 5.8. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Мероприятия по повышению и сохранению надежности радиодеталей и радиокомпонентов проводятся при конструировании, производстве, хранении, а также в процессе их эксплуатации в составе РЭА. Вообще говоря, уровень надежности радиодеталей и радиокомпонентов закладывается при проектировании и производстве. Процесс хранения и эксплуатации связан в основном с требованиями поддержания достигнутого при конструировании и производстве уровня надежности. Однако определенными мероприятиями, выполняемыми в процессе эксплуатации, надежность радиодеталей и радиокомпонентов может быть не только сохранена, но и повышена по сравнению с ее промышленным уровнем. Это достигается прежде всего проведением доработок на аппаратуре, направленных на устранение систематически возникающих отказов тех или иных элементов.

Надежность радиодеталей и радиокомпонентов при их конструировании может обеспечиваться различными способами, основными из которых являются: выбор оптимальной формы изделия; правильный подбор материалов для их изготовления; использование эффективных защитных покрытий и технологичность конструкции изделия; использование элементов в условиях эксплуатации, с учетом которых они изготовлены; создание электрических схем, малокритичных к уходу параметров элементов; создание облегченных электрических и тепловых

режимов, в которых работают элементы; защита элементов в РЭА от неблагоприятного воздействия высоких и низких температур, влажности, ударов, вибраций и других эксплуатационных факторов.

Надежность радиодеталей и радиокомпонентов в значительной степени зависит от процесса их производства. Около 30% отказов элементов являются следствием нарушений, допущенных в технологическом процессе, или результатом использования недоброкачественного сырья и полуфабрикатов, недостаточной точности изготовления и контроля продукции. Применение новых, более совершенных технологических приемов повышает надежность выпускаемой продукции. Например, замена ручной пайки электрических соединений пайкой методом погружения печатных плат в ванну с расплавленным припоем обеспечивает более высокое качество электрических соединений.

Надежность выпускаемой продукции значительно повышается при использовании автоматизированного производства, основанного на новейших достижениях науки и техники. Главным направлением в развитии автоматизации производства радиодеталей и радиокомпонентов является комплексная автоматизация, при которой автоматизируется весь процесс изготовления изделий: производство заготовок, изготовление деталей, сборка изделий, контроль и упаковка.

Большую роль в деле повышения надежности выпускаемой продукции играет применение современных методов контроля ее качества (и прежде всего статистических методов контроля). Причем работники этой службы должны хорошо знать теоретические и практические вопросы надежности, особенно методику испытаний и методику оценки результатов этих испытаний. Грамотное проведение этих мероприятий позволяет вовремя обнаружить несовершенство технологического процесса, ошибки проектирования и устранить их.

Незаменимым помощником в деле повышения надежности радиодеталей и радиокомпонентов является электронная вычислительная машина (ЭВМ). С помощью ЭВМ в производстве решают самые разнообразные задачи: выбор наиболее рационального способа раскроя материала, технические и технологические расчеты, планирование, бухгалтерский и материальный учет. С помощью ЭВМ обрабатывают результаты испытаний и на

их основе сопоставляют разнообразные технологические решения и выбирают наиболее эффективные.

Надежность радиодеталей, радиокомпонентов и РЭА, собранной на них, в процессе эксплуатации обеспечиваются следующими способами: высококачественным выполнением всех профилактических мероприятий на основе научно обоснованных методов; широким применением прогнозирования отказов изделий; обязательной инструментальной проверкой и тренировкой в условиях, близких к эксплуатационным, тех комплектующих изделий, которые устанавливают взамен вышедших из строя; хорошей подготовкой обслуживающего персонала, а также повышением уровня организации процесса эксплуатации.

Прогнозирование отказов можно подразделить на *инструментальное* и *статистическое*. Инструментальное прогнозирование позволяет выявить постепенные отказы изделий. При этом эффективность прогнозирования зависит от точности применяемых для контроля приборов и глубины «проникновения контроля» в физико-химическую структуру материалов, из которых изготовлены изделия. Статистические методы прогнозирования служат для выявления внезапных отказов тех элементов, у которых распределение времени безотказной работы не подчиняется экспоненциальному закону надежности. Это элементы, которые работают в тяжелом режиме. Несмотря на их немногочисленность в РЭА (1—2%) они дают большой процент отказов (иногда до 50%). Промежутки времени между отказами этих элементов с достаточной для практики точностью распределяются по нормальному закону. Для элементов этой группы по результатам эксплуатации можно определить статистически среднее время безотказной работы элементов и среднеквадратическое отклонение

$$\sigma_i^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(T_i - T^*_{0})^2}{n-1}},$$

где  $T_i$  — время работы элемента до отказа в  $i$ -м опыте;  $T^*_{0}$  — статистическое значение среднего времени безотказной работы (наработки на отказ) по результатам  $n$  опытов.

Предупредительную замену элементов можно было бы проводить по истечении времени наработки  $T^*_{0}$ , если

бы отсутствовал разброс значений времени безотказной работы. С учетом такого разброса предупредительную замену данных элементов при известном  $\sigma^*_t$  следует производить после времени наработки  $t_{зам}$ , определяемого по формуле  $t_{зам} = T^*_o - K_{пр} \sigma^*_t$ , где  $K_{пр} = 1-3$  — коэффициент прогнозирования, определяющий степень уверенности, что замена элемента будет произведена до того, как он откажет (в большинстве случаев коэффициент прогнозирования можно брать равным 1).

Надежность радиодеталей и радиокомпонентов может значительно уменьшиться при транспортировании и хранении. Это зависит не только от небрежного обращения, но и от эффективности используемых средств предохранения от неблагоприятных воздействий. Повреждения от коррозии зависят от продолжительности транспортирования и хранения и особенно увеличиваются при перевозках морем и хранении на складах, расположенных в жарком влажном климате. Во время хранения и транспортирования изделий применяют специальные средства защиты от действия неблагоприятной обстановки. Одним из наиболее часто применяемых средств защиты является упаковка. Упаковку разделяют на внешнюю, служащую преимущественно для защиты от механических воздействий при транспортировании, и внутреннюю — для защиты от воздействия повышенной влажности. В зависимости от условий перевозки и хранения изделия могут быть упакованы различным образом. При этом используют, например, такие упаковочные материалы: бумагу, шпагат, картон, войлок, стружку, доски. Хорошую упаковку можно получить, применяя стеклянно-волоконный пластик и подобные ему искусственные материалы, не выделяющие влаги при температурных колебаниях и не чувствительные к воздействию морской воды. Хорошими упаковочными качествами обладают полимерные материалы. Высокая механическая прочность полимеров позволяет делать тонкие (от 10 мкм) пленки и выполнять упаковку с малым паробменом между упакованным изделием и окружающей средой. Пропитка упаковочных материалов так называемыми ингибиторами коррозии значительно снижает скорость коррозионных процессов в коррозионно-агрессивной среде.

## 5.9. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ РАДИОДЕТАЛЕЙ, РАДИОКОМПОНЕНТОВ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ, СОБРАННОЙ НА НИХ

Существующие методы расчета надежности радиодеталей и радиокомпонентов и РЭА, собранной на них, позволяют получить ориентировочную оценку ожидаемой надежности на стадии конструирования. Эта оценка дает возможность сопоставить полученные расчетным путем количественные характеристики надежности с заданными характеристиками и принять решение об их соответствии или несоответствии ожидаемым значениям критериев надежности. Если расчетная надежность ниже требуемой, принимают меры схемного, конструктивного или технологического характера для ее повышения.

Расчет надежности всех радиодеталей и радиокомпонентов сводится обычно к определению количественных значений наработки на отказ  $T_o$  и вероятности безотказной работы  $P(t)$  по известным интенсивностям отказов  $\lambda$ .

**Пример 1.** Определить среднюю наработку на отказ  $T_{ср}$  резистора, имеющего  $\lambda = 0,002 \cdot 10^{-3}$  1/ч (см. табл. 5.1).

**Решение:**  $T_{ср} = T_o = 1/\lambda = 1/0,002 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^5$  ч.

**Пример 2.** Определить вероятность безотказной работы конденсатора, имеющего  $\lambda = 0,05 \cdot 10^{-3}$  1/ч за 50 ч.

**Решение:**  $P(50) = e^{-\lambda T} = e^{-0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 50} = e^{-0,0025} = 0,9975$ .

Расчет надежности РЭА подразделяют на два вида: *приближенный* (ориентировочный) и *полный* (окончательный).

Для приближенного расчета исходными данными служат усредненные значения интенсивностей отказов  $\lambda_i$  типовых элементов и число  $N_i$  элементов определенного типа в каждой группе. В группу объединяют элементы, имеющие достаточно близкую интенсивность отказов. В отдельных случаях для ориентировочного расчета надежности конструируемой РЭА достаточно знать общее число элементов в системе и данные о надежности аналогичной аппаратуры, полученные из опыта эксплуатации. Приближенный расчет, как правило, выполняют на стадии эскизного проектирования, когда идет анализ различных вариантов электрической схемы (с целью выбора наиболее оптимального).

Полный расчет выполняется для отработанной схемы с учетом данных о реальных электрических, механиче-

ских и климатических условиях эксплуатации и зависимостей интенсивности отказов от них.

В практике приближенный и полный расчет надежности обычно выполняют для периода нормальной эксплуатации аппаратуры, т. е. предполагают, что интенсивности отказов элементов и системы постоянны во времени.

**Расчет вероятности безотказной работы.** Для определения вероятности безотказной работы системы необходимо знать вероятности исправной работы всех входящих в нее элементов, которые вычисляют с помощью экспоненциального закона надежности по известным значениям опасностей отказов.

Допустим, что система включает в себя элементы  $m$  типов в количестве  $n_1, n_2, \dots, n_m$  с опасностью отказов  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  соответственно. Вероятность безотказной работы с учетом выражения (3.39) элемента первого типа:  $P_1(t) = e^{-\lambda_1 t}$ ; элемента второго типа:  $P_2(t) = e^{-\lambda_2 t}$ ; элемента  $m$ -го типа:  $P_m(t) = e^{-\lambda_m t}$ . Вероятности безотказной работы всей системы

$$P(t) = P_1^{n_1}(t) P_2^{n_2}(t) \dots P_m^{n_m}(t) = \exp[-n_1 \lambda_1 t] \exp[-n_2 \lambda_2 t] \dots \exp[-n_m \lambda_m t] = \exp[-(n_1 \lambda_1 + n_2 \lambda_2 + \dots + n_m \lambda_m) t] = \exp\left[-\sum_1^m n_i \lambda_i t\right]. \quad (5.1)$$

Сумму произведения числа элементов  $n_i$  на опасность отказов  $\lambda_i$  называют *опасностью отказов системы*  $\Lambda_c$ , т. е.

$$\Lambda_c = \sum_1^m n_i \lambda_i.$$

Следовательно, экспоненциальный закон надежности для системы имеет вид

$$P(t) = e^{-\Lambda_c t} \quad \text{или} \quad P(t) = e^{-t/T_{ср с}},$$

где  $T_{ср с}$  — среднее время исправной работы системы.

**Приближенный расчет надежности по среднегрупповым интенсивностям опасности отказов изделий.** При

расчете надежности аппаратуры по среднегрупповым интенсивностям в качестве исходных данных используют значения интенсивностей отказов  $\lambda_i$  элементов различных групп из  $N_i$  элементов каждой группы, входящей в систему. Сущность расчета надежности состоит в нахождении основных критериев, характеризующих надежность аппаратуры: времени наработки на отказ  $T_0$  и вероятности безотказной работы  $P(t)$ .

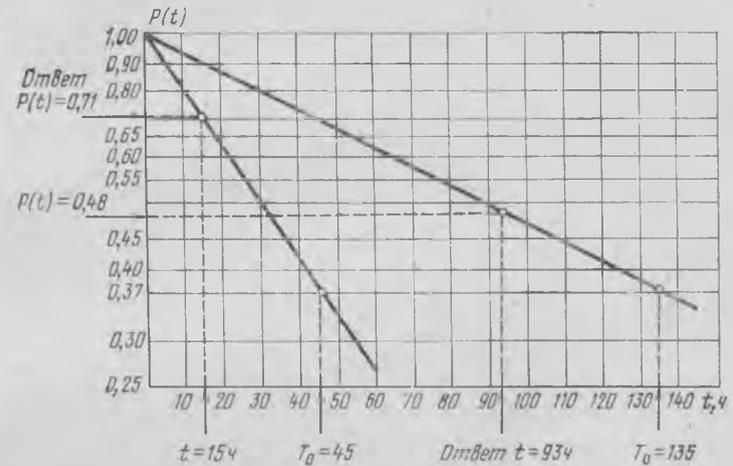


РИС. 5.9. Номограмма для определения критериев надежности.  $P(t) = f(T_0)$ ;  $T_0 = \varphi[P(t)]$

Расчет можно производить в следующем порядке. Элементы системы разбить на группы с примерно одинаковыми интенсивностями отказов внутри групп с подсчетом ориентировочного числа  $N_i$  элементов в каждой группе; по табл. 5.1 установить значения интенсивностей отказов  $\lambda_i$  элементов каждой группы; вычислить произведения  $N_i \lambda_i$ , характеризующие долю отказов, вносимых элементами каждой группы в общую интенсивность отказов системы; определить общую интенсивность отка-

зов системы по формуле  $\Lambda_c = \sum_{i=1}^k N_i \lambda_i$ ; вычислить наработку на отказ  $T_0 = 1/\Lambda_c$ . Тогда вероятность безотказной работы  $P(t) = e^{-\Lambda_c t}$ .

При расчетах надежности значения  $P(t)$  для заданного интервала времени  $t$  можно определять графическим методом с помощью номограммы (рис. 5.9). Пользоваться номограммой следует так. На горизонтальной линии  $P(t)=0,37$  (линия определена экспоненциальным законом) откладывают величину наработки на отказ (например,  $T_0=45$ ). Полученную точку соединяют прямой линией с точкой  $P(t)=1$  на оси ординат. Эта линия является функцией надежности, по которой легко определить значение  $P(t)$  для любого интервала времени, например для  $t=15$  ч  $P(t)=0,71$ .

Номограмма дает возможность определить:

1) по заданной наработке на отказ  $T_0$  ( $T_0=135$ ) и длительности работы  $t$  ( $t=93$  ч) — вероятность безотказной работы [ $P(t)=0,48$ ];

2) по заданной вероятности безотказной работы [ $P(t)=0,71$ ] и необходимой длительности работы ( $t=15$  ч) — значение наработки на отказ ( $T_0=45$ );

3) по известной наработке на отказ ( $T_0=135$  ч) и вероятности безотказной работы [ $P(t)=0,48$ ] — время исправной работы ( $t=93$  ч).

Таблица 5.2

Номер группы	Элементы	$N_i$	$\lambda_i \cdot 10^{-3}$ 1/ч	$N_i \lambda_i \cdot 10^{-3}$ 1/ч
1	Резисторы	300	0,0007	0,21
2	Конденсаторы	260	0,00073	0,19
3	Транзисторы	77	0,0018	0,14
4	Полупроводниковые диоды	83	0,009	0,75
5	Реле	18	0,0003	0,005
6	Коммутационные устройства	21	0,00007	0,002
7	Штепсельные разъемы	12	0,0002	0,002
8	Соединения пайкой	913	0,01	9,13

**Пример приближенного расчета.** Пусть требуется рассчитать критерии надежности системы  $T_0$  и  $P(t)$  по данным, представленным в табл. 5.2.

Все элементы системы разбиты на 8 групп. Число элементов в каждой группе и интенсивности их отказов известны. Находим значения произведений  $N_i \lambda_i$  и заносим их в таблицу.

По данным таблицы определяем  $\Lambda_c = \sum_{i=1}^8 N_i \lambda_i = 10,45 \times$

$\times 10^{-3}$  1/ч,  $T_0 = 1/\Lambda_c = 10^3/10,45 = 96$  ч. Вероятность исправной работы системы по номограмме рис. 5.9  $P(t) = 0,475$ .

**Пример полного расчета надежности с учетом условий эксплуатации.** Пусть требуется рассчитать вероятность  $P(t)$  и среднее время безотказной работы системы. Система должна непрерывно работать в течение 100 ч. Данные для расчета и условия эксплуатации приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Элементы	Количество элементов	Режимы работы		Опасность отказов $\lambda_i \cdot 10^{-3}$ 1/ч	Среднее время безотказной работы, ч
		температура, °С	коэффициент нагрузки		
Резисторы	150	65	1,0	0,0015	666 666
	127	65	0,8	0,0011	909 090
	131	65	0,6	0,00087	1 149 425
Конденсаторы	73	65	0,6	0,00045	2 222 222
	62	65	0,4	0,0002	5 000 000
Полупроводниковые диоды	38	65	0,6	0,001	1 000 000
Транзисторы	19	65	0,4	0,002	500 000
Соединения пайкой и проводами	500	65	—	0,001	1 000 000

По графикам рис. 5.10 и 5.11 определяем опасности отказов резисторов и конденсаторов. Принимаем опасность отказов полупроводниковых диодов  $0,001 \cdot 10^{-3}$  и транзисторов  $0,002 \cdot 10^{-3}$  и соединений пайкой и проводами  $0,001 \cdot 10^{-3}$  (по табл. 5.1).

Среднее время безотказной работы диодов  $T_{ср д} = 1/\lambda_d = 1/0,001 \cdot 10^{-3} = 1 000 000$  ч; транзисторов  $T_{ср тр} = 1/\lambda_{тр} = 1/0,002 \cdot 10^{-3} = 500 000$  ч; соединений пайкой и проводами  $T_{ср п} = 1/\lambda_p = 1/0,001 \cdot 10^{-3} = 1 000 000$  ч; резисторов  $T_{ср р1} = 1/\lambda_{р1} = 1/0,0015 \cdot 10^{-3} = 666 666$  ч;  $T_{ср р2} = 1/\lambda_{р2} = 1/0,0011 \cdot 10^{-3} = 909 090$  ч;  $T_{ср р3} = 1/\lambda_{р3} =$

$\approx 1/0,00087 \cdot 10^{-3} = 1\,149\,425$  ч; конденсаторов  $T_{ср\,к1} = 1/\lambda_{к1} = 1/0,00045 \cdot 10^{-3} = 2\,222\,222$  ч;  $T_{ср\,к2} = 1/\lambda_{к2} = 1/0,0002 \cdot 10^{-3} = 5\,000\,000$  ч.

Полученные результаты заносим в табл. 5.3 и, пользуясь ими, определяем вероятность безотказной работы всей системы по формуле (5.1)

$$P(100) = \exp[-(150 \cdot 0,0015 + 127 \times \\ \times 0,0011 + 131 \cdot 0,00087 + 73 \cdot 0,0045 + \\ + 62 \cdot 0,0002 + 38 \cdot 0,001 + 19 \cdot 0,002 + \\ + 500 \cdot 0,001) \cdot 100 \cdot 10^{-3}] = \exp[-1,099 \cdot 100 \times \\ \times 10^{-3}] = \exp[-0,1099] = 0,9891.$$

Тогда среднее время исправной работы системы  $T_{ср} = 1/1,099 \cdot 10^{-3} = 920$  ч.

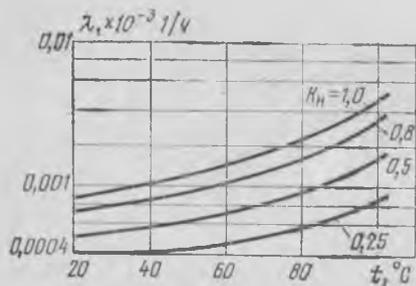


РИС. 5.10. Зависимости опасности отказов резисторов от температуры окружающей среды при различных коэффициентах нагрузки

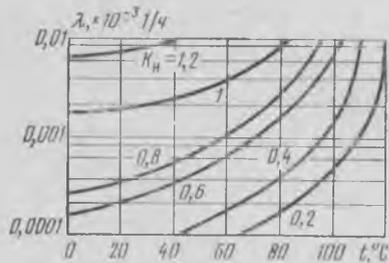


РИС. 5.11. Зависимости опасности отказов конденсаторов от температуры окружающей среды при различных коэффициентах нагрузки

Определим число запасных транзисторов, необходимых для нормальной работы 100 систем в течение одного года, считая, что время работы каждого транзистора

равно 8000 ч. Для обеспечения надежной эксплуатации одного устройства в течение года потребуется  $m_{тр} = t_p N_{тр} / T_{ср\,тр} = 8000 \cdot 19 / 1\,000\,000 = 0,152$  запасных транзисторов. Следовательно, для эксплуатации 100 систем необходимо иметь  $0,152 \cdot 100 = 16$  запасных транзисторов.

Аналогично можно вычислить необходимое число запасных элементов других групп.

#### 5.10. ЭКОНОМИКА НАДЕЖНОСТИ РАДИОДЕТАЛЕЙ, РАДИОКОМПОНЕНТОВ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ, СОБРАННОЙ НА НИХ

Повышение надежности и долговечности радиодеталей и радиокомпонентов все еще остается одной из насущных задач современного электронного приборостроения. Целью всех мероприятий по повышению надежности изделий является получение экономического эффекта от их внедрения и, в конечном счете, повышение производительности общественного труда.

Увеличение надежности РЭА часто достигается без дополнительных затрат и даже сопровождается одновременным ее удешевлением. Например, применение микроминиатюрных радиодеталей и радиокомпонентов в РЭА приводит к повышению ее надежности и снижению стоимости. Сокращаются и эксплуатационные расходы. Однако чаще увеличение надежности изделий вызывает возрастание затрат на их проектирование, изготовление и испытание, а иногда и на транспортирование. Поэтому каждое мероприятие, направленное на повышение надежности изделий, должно быть экономически обосновано. Надо отобрать наиболее рациональные варианты повышения надежности изделия, определить дополнительные затраты, которые они вызовут, сопоставить их с экономией от эксплуатации и, наконец, рассчитать экономически оптимальные параметры надежности.

При внедрении в производство и эксплуатацию изделий повышенной надежности экономия может быть получена от снижения брака, ликвидации или сокращения доделочных и доводочных работ, ликвидации расходов, вызванных рекламациями потребителей, на заработной плате и оснастке, от сокращения числа отказов изделий в процессе эксплуатации, затрат на текущий ремонт

РЭА, построенной на радиодеталях и радиокомпонентах повышенной надежности.

Работа по экономической оценке мероприятий, обеспечивающих повышение надежности изделий, включает следующие основные этапы:

1. Определение действительного повышения надежности изделий.

2. Расчет величины изменения единовременных и текущих затрат на производство, вызванных созданием изделия повышенной надежности, а также подсчет приведенных затрат на повышение надежности изделий.

3. Выделение статей эксплуатационных расходов у потребителя, являющихся функцией надежности, определение величины изменения единовременных и текущих затрат, обусловленных внедрением и эксплуатацией изделий повышенной надежности.

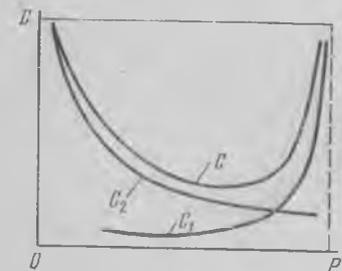


РИС. 5.12. Зависимость стоимости изготовления и эксплуатации изделий  $C$  от вероятности безотказной работы  $P$

4. Определение экономического эффекта в народном хозяйстве от создания и применения изделий повышенной надежности.

5. Расчет эффективности и выбор экономически оптимальных показателей надежности.

На рис. 5.12 показаны зависимости стоимости изготовления и эксплуатации  $C$  от вероятности безотказной работы  $P$ . Из графика видно, что стоимость проектирования и изготовления  $C_1$  тем выше, чем больше требуемое значение безотказности. Для построения идеально безотказного изделия необходимы бесконечно большие затраты. Стоимость эксплуатационных расходов  $C_2$ , наоборот, тем меньше, чем выше безотказность изделия.

Из рассмотрения графиков рис. 5.12 следует также, что существует оптимальное значение безотказности, обеспечивающее минимальную стоимость проектирования, изготовления и эксплуатации изделия. В простейшем случае эффективность надежности изделия  $E$

$$E = C_{10}/(1-P) + C_{21}/P,$$

где  $P$  — вероятность безотказной работы изделия;  $C_{10}$  —

стоимость проектирования и изготовления при  $P=0$ ;  $C_{21}$  — стоимость эксплуатации при  $P=1$ .

Значение безотказности изделия находят из уравнения

$$(K-1)P^2 + 2P - 1 = 0, \quad (5.2)$$

где  $K = C_{10}/C_{21}$ . В качестве оптимальной безотказности изделий  $P_{\text{опт}}$  используют положительные значения корней уравнения (5.2), из которого видно, что при равенстве граничных значений стоимости создания и стоимости эксплуатации изделия, т. е. при  $K=1$ , оптимальная безотказность  $P_{\text{опт}} = 0,5$ . Обычно создаваемые изделия даже без принятия специальных мер улучшения качества изделия имеют безотказность большую, чем 0,5. Поэтому в рассматриваемом случае следует говорить о степени приближения к оптимальному значению безотказности.

## Раздел III

### ОСНОВЫ ИСПЫТАНИЙ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

#### Глава 6

#### ВИДЫ И ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

##### 6.1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Создание высококачественных и надежных в работе изделий способствует ускорению темпов расширенного социалистического воспроизводства и является одним из факторов повышения эффективности народного хозяйства. В борьбе за повышение качества продукции значительную роль играет хорошо организованный технический контроль. *Контролем называют процесс получения и обработки информации, оценивающей соответствие изделия нормативно-технической документации.*

Классификация по видам технического контроля, применяемого на производстве, выпускающем радиодетали и радиокомпоненты, приведена в табл. 6.1.

*Пооперационному* контролю подвергаются отдельные детали и сборочные единицы в ходе технологического процесса их изготовления после выполнения наиболее ответственных операций. *Выходному* контролю подвергаются полностью изготовленные изделия,

*Визуальный* контроль позволяет выявить поверхностные дефекты и несоответствие изделий чертежам. Такой контроль осуществляют внешним осмотром, в процессе которого проверяют качество паек, наличие изломов проводов, плавность хода переменных резисторов, конденсаторов, вариометров и т. д. При этом способе контроля используют зеркало, лупу и микроскоп. В процессе геометрического контроля проверяют соответствие размеров и форм деталей и сборочных единиц образцам или чертежам. *Механический* контроль проводят для проверки прочности крепления деталей, различных соединений электрического монтажа и их устойчивость к воздействию растягивающих, сжимающих, ударных и

других механических нагрузок. *Электрический* контроль является основным при проверке радиодеталей и радиокомпонентов. Он предназначен для проверки качества работы элементов. С помощью электрического контроля также устанавливают качество изоляции и определяют

Таблица 6.1

Признак классификации контроля	Вид контроля
По отношению к производственному процессу	Пооперационный, выходной
По способам контроля	Визуальный, геометрический, механический, электрический, физико-химический, технологический
По степени охвата контролем	Сплошной, выборочный
По периодичности	Непрерывный, периодический, инспекторский
По степени участия человека в процессе контроля	Ручной, полуавтоматический, автоматический
По способу оценки результатов контроля	Допусковый, количественный
По использованию результатов контроля	Пассивный, активный

соответствие выходных электрических параметров заданным. *Физико-химический* контроль осуществляется с целью проверки свойств материалов (пластмасс, реактивов, керамики и т. д.), применяемых для изготовления радиодеталей и радиокомпонентов. *Технологический* контроль проводится для проверки правильности выполнения как отдельных технологических операций, так и всего хода технологического процесса. Этот вид контроля является эффективным средством управления, направленным главным образом на предотвращение возможных нарушений технологического процесса.

*Сплошной* (100%-ный) контроль применяется как при операционной, так и при окончательной проверке всех

изготовленных деталей и изделий. Этот метод целесообразно применять только при окончательном контроле готовых изделий с проверкой наиболее ответственных параметров. Однако при массовом характере современного производства сплошной контроль всех изделий практически невозможен. *Выборочный* контроль, т. е. контроль только некоторой части изготовленных изделий, является наиболее распространенным методом операционного контроля. Он может также применяться и при окончательном контроле готовых деталей и изделий. Основным недостатком этого метода контроля является то, что о качестве всех партий изготовленных изделий судят по небольшим выборкам, взятым от каждой партии. Он дает хороший результат при наличии стабильного и отработанного технологического процесса изготовления радиодеталей и радиокомпонентов. Выборочный контроль с использованием теории вероятностей и математической статистики называют статистическим. Статистический контроль бывает двух видов: контроль в процессе производства, так называемый текущий предупредительный контроль и контроль по окончании производства, так называемый приемочный контроль.

*При непрерывном* контроле все изделия подвергаются контролю систематически, *при периодическом* — проверяется качество части изделий через определенное время; *инспекторский* контроль осуществляется при участившихся случаях брака или обнаружении нарушения технологического процесса.

*Ручной* контроль наиболее трудоемок и дорог. Он применяется при мелкосерийном и единичном производстве. *При полуавтоматическом* контроле установка контролируемого изделия, включение и выключение контролирующего устройства осуществляется вручную, а процесс контроля производится автоматически. Полуавтоматический контроль целесообразно применять в серийном и массовом производствах. *Автоматический* контроль обеспечивает установку контролируемого изделия, измерение его параметров, сортировку по группам качества и определение вида брака. Использовать его целесообразно только при массовом производстве, так как его разработка, изготовление, установка и эксплуатация чрезвычайно дороги.

Целью *допускового* контроля является отбраковка негодных изделий. При этом контроле устанавливают

соответствие или несоответствие параметров изделия допуску и делают вывод: изделие годно или негодно. При *количественном* контроле определяют конкретные числовые значения важнейших параметров изделия.

Результаты *пассивного* контроля не используются для анализа технологического процесса, так как при этом получают только допусковую оценку. Результаты *активного* контроля подвергают математической обработке и используют для воздействия на технологический процесс производства с целью предупреждения брака.

Все виды контроля делятся на контроль неразрушающих и разрушающих. После *неразрушающего* контроля качество изделий не ухудшается, изделия годны к эксплуатации. В результате *разрушающего* контроля, наоборот, качество изделий ухудшается, а в ряде случаев они разрушаются. Такого рода контроль используют при испытании изделий на прочность и надежность. В остальных случаях, как правило, проводят неразрушающий контроль.

## 6.2. ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

*Испытанием* радиодеталей и радиокомпонентов называют проверку их соответствия заданным ТУ. Радииодетали и радиокомпоненты в процессе разработки и производства подвергают различным испытаниям.

В ходе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ основное внимание при испытаниях уделяют изучению определенных свойств объекта (*исследовательские испытания*). Объектами испытаний в этом случае могут быть макеты, модели и сами образцы копируемых изделий. Кроме того, на этом этапе оценивают влияние вносимых изменений для достижения требуемых показателей качества (*доводочные испытания*). Цель доводочных испытаний — проверить правильность основных конструкторских решений и отработать исходные данные для разработки рабочей документации.

При разработке опытных образцов (опытных партий) и производстве серийной продукции проводят разнообразные контрольные испытания, виды и число которых зависят от необходимости решения конкретных задач, однако комплекс контрольных испытаний должен быть не меньше перечня, установленного ГОСТ 15.001-73. Контрольные испытания начинаются с момента предъявле-

ния отработанного опытного образца (опытной партии) на **предварительные испытания**. Предварительные испытания включают в себя техническую экспертизу, а также оценку показателей назначения, надежности и различных специальных показателей. По результатам предварительных испытаний составляют протокол, в котором сообщается о прекращении испытания (при явном несоответствии опытному образцу требованиям технического задания) либо о доработке конструкции, либо, наконец, о разрешении представить опытный образец на приемочные испытания.

**Приемочные испытания** проводят для того, чтобы определить соответствие данной продукции ТУ и возможности запуска ее в производство или передачи образцов в эксплуатацию. По уровню проведения приемочные испытания подразделяют на *ведомственные, межведомственные и государственные*. Выбор одного из этих испытаний зависит от ряда факторов: важности продукции для народного хозяйства, характера связей между разработчиками, изготовителями и потребителями, действующих положений, постановлений и т. д. В приемочных испытаниях определяют соответствие фактических характеристик изделия требованиям НТД. При этом оценивают показатели назначения, надежности, экономические, эргономические (показатели, обуславливающие эффективность деятельности человека в системе «человек — изделие — среда») и специальные. По результатам приемочных испытаний составляют протокол испытаний, на основе которого оформляется акт приемки продукции, содержащий одно из следующих решений: прекратить разработку данной продукции, доработать конструкцию, рекомендовать постановку продукции на производство.

**Квалификационные испытания** проводят для того, чтобы выяснить, может ли применяемая технология изготовления продукции обеспечить требуемый уровень ее качества. При этих испытаниях проверяют внешний вид изделий и маркировку, размеры и массу, а также заданные электрические параметры и упаковку. Квалификационные испытания предполагают также испытания на воздействие механических и климатических факторов.

Окончательно технологию изготовления изделия корректируют при выпуске головной (контрольной) серии, за которой устанавливают специальное наблюдение, что-

бы выявить возможные дефекты и устранить их в серийном или массовом производстве. Изделия серийного или массового производства подвергают контрольным испытаниям с целью определения соответствия их качества требованиям стандартов или технических условий. При этом в процессе производства испытаниям подвергают не только готовые изделия, но и их элементы на различ-

Таблица 6.2

Вид испытаний	Цель испытаний	Состав испытаний	Периодичность испытаний
Приемодаточные	Соответствие качества изделий требованиям НТД	Проверка внешнего вида, правильности маркировки, основных размеров и электрических параметров, а также герметичности*)	По мере выпуска
Периодические	Соответствие качества изделия требованиям НТД, стабильность качества и технологического процесса	Проверка массы, прочности выводов и маркировки, пригодности выводов к пайке и стойкости к воздействию повышенной температуры при пайке; контактных узлов растяжением и скручиванием, испытания на воздействие климатических и механических факторов	Один раз в квартал или один раз в полугодие при положительных квартальных испытаниях прошедшего года
Типовые	Определить эффект внесенных изменений в конструкцию изделия или технологию его изготовления	Проверка характеристик и параметров изделия, на которые могли повлиять внесенные изменения	После изменения конструкции или технологии изготовления
Испытания на надежность	Проверка соответствия уровня надежности требованиям НТД	На безотказность и долговечность	Один раз в год

\*) Проверка герметичности производится только для герметичных радиодеталей и радиокомпонентов.

ных стадиях формирования такого изделия. Материалы, полуфабрикаты, комплектующие элементы могут проходить испытания при входном контроле, некоторые сборные единицы подвергают испытаниям перед установкой их на изделие.

Готовые изделия всех видов подвергают приемодаточным, периодическим и типовым испытаниям, а также испытаниям на надежность (табл. 6.2). *Приемодаточные* испытания изделий производят при приемочном контроле. Испытаниям подвергают каждое изделие или пар-

тию, определяемую в зависимости от вида, назначения и объема выпуска продукции.

*Периодические* испытания принципиально отличаются от других видов контрольных испытаний. В самом деле, целью предварительных и приемочных испытаний опытного образца является выявление возможности представить отработанное изделие как прототип данной продукции для последующего производства, а приемосдаточные испытания служат своего рода фильтром для недоброкачественной продукции, которая не должна попасть к потребителю. Периодические же испытания проводятся в то время, когда продукция уже поставляется потребителю. Поэтому основная задача подобных испытаний — оценить стабильность уровня качества продукции за период между двумя испытаниями и выявить необходимость совершенствования конструкции изделия и технологии. Периодическим испытаниям подвергаются изделия, выдержавшие приемосдаточные испытания.

Методика *типовых* испытаний должна предусматривать проверку тех характеристик и параметров изделий, на которые могли повлиять внесенные изменения, и обеспечить сопоставимость результатов испытания изделия до и после внесения изменений. К типовым испытаниям допускают изделия, прошедшие приемосдаточные испытания, по методике, учитывающей внесенные изменения. По результатам типовых испытаний составляют протокол, который содержит решение либо выпускать усовершенствованное изделие, либо считать нецелесообразным внедрение предполагаемых изменений в серийную продукцию.

Испытанию на надежность (безотказность) подвергают выборочно изделия текущего выпуска, прошедшие приемосдаточные испытания. Размер выборки задает НТД. По результатам испытаний принимают решение о проведении повторных испытаний или о возможности приемки партии. Испытания на долговечность являются продолжением испытаний на безотказность. Время и режимы испытаний этих испытаний определяет НТД.

### 6.3. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Организация и осуществление технического контроля качества выпускаемой продукции в процессе производства возложено на службу контроля предприятия- изгото-

вителя. Служба контроля должна обеспечить заданный уровень качества выпускаемой продукции, который установлен технической документацией на изделия, с одновременным обеспечением минимального уровня брака в процессе изготовления. Кроме того, служба контроля осуществляет контроль качества поступающего на предприятие сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и инструмента. В задачи службы кон-

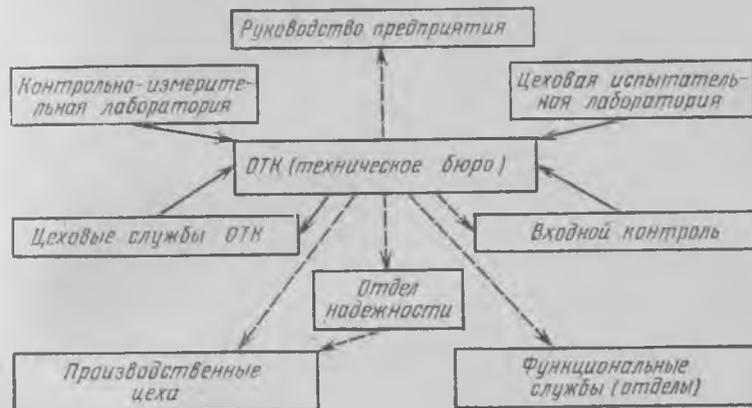


РИС. 6.1. Структура службы предприятия по контролю качества продукции

троля входит также контроль технологического оборудования, производственной оснастки, контроль за консервацией и упаковкой готовых изделий.

На рис. 6.1 показана структура и взаимодействие служб завода по контролю и анализу качества выпускаемой продукции. В состав службы контроля входят техническое бюро (ОТК — отдел технического контроля), цеховая испытательная и контрольно-измерительная лаборатории. Техническое бюро собирает информацию о качестве и надежности изготавливаемой цехами продукции, осуществляет разработку оперативно-технической информации. Испытательная лаборатория (ее иногда называют лабораторией типовых испытаний) проводит климатические, механические и электрические испытания. Контрольно-измерительная лаборатория осуществляет особо точные измерения и проверку измерительного инструмента.

Основная и главная цель ОТК производственного предприятия состоит в том, чтобы не допустить выпуск

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

## 7.1. ОРГАНИЗАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

некачественной продукции и обеспечить высокие надежность, качество и однородность изделий. Это осуществляется в строгом соответствии с государственными и отраслевыми стандартами, ТУ, чертежами, утвержденными эталонами и технологическими процессами.

Отдел надежности по материалам контрольных и типовых испытаний, информации от цехов и рекламаций выявляет причины, вызывающие снижение надежности изделий и рекомендует мероприятия по ее повышению, производит подробный анализ изготовленной продукции, технологических процессов и обеспечивает оперативную обратную связь между потребителем, производителем и разработчиками с целью получения полной, непрерывной и достоверной информации об отказах изделий. На отдел надежности возлагают проведение испытаний на надежность с разработкой плана испытаний.

Разработка технологии испытаний состоит из составления перечня контрольных операций, разработки методики испытаний, выбора универсальной измерительной и испытательной аппаратуры, разработки (при необходимости) нестандартной испытательной аппаратуры и оборудования, проектирования рабочих мест для проведения испытаний. Исходными данными для разработки технологического процесса испытаний являются: ТУ, схемы принципиальные электрические, сборочные чертежи, статистические данные об отказах предыдущих партий изделий, данные о стандартной измерительной и испытательной аппаратуре. Технологию испытаний отрабатывают разработчики и производственники на всех этапах конструирования изделий от эскизного проекта до выпуска головной серии. Процессы конструирования и подготовки производства смыкаются. Технологическая подготовка производства идет параллельно с конструированием, а улучшение качественных показателей изделий продолжают в процессе производства.

При разработке технологии испытаний обеспечивают как надежную проверку партии изделий, так и возможно меньшую стоимость контрольно-испытательных работ. С увеличением объема испытаний и числа контрольных операций повышается надежность испытаний, но возрастает их стоимость. Учитывая оба фактора (надежность и стоимость), определяют оптимальный вариант, обеспечивающий достаточно надежную проверку партии изделий при минимальных затратах.

Цель климатических испытаний — проверка работоспособности радиодеталей и радиокомпонентов в условиях воздействия климатических факторов: температуры, влажности, атмосферного давления. Программу и методику климатических испытаний составляют так, чтобы возможно полнее воспроизвести наиболее тяжелые условия эксплуатации. При этом имеют в виду, что воздействие климатических факторов определяется не только абсолютными значениями температуры, влажности и давления, но и скоростью их изменения. Ввиду сложности реализации таких условий испытания и высокой стоимости оборудования, рассчитанного на регулирование одновременно нескольких климатических факторов, на практике обычно ограничиваются отдельными испытаниями (при воздействии отдельных климатических факторов).

К типичным климатическим испытаниям относят испытания на *теплоустойчивость*, *влагоустойчивость* и *холодоустойчивость*. Наиболее обширной и разнообразной областью испытаний являются так называемые *специальные испытания*. К этой группе относят испытания на воздействие повышенного атмосферного давления, на высоту, на воздействие соляного (морского) тумана, на грибоустойчивость, на воздействие пыли, на устойчивость к воздействию инея и росы. Однако такая классификация условна, так как некоторые испытания, отнесенные к специальным, могут быть включены в климатические.

Нормы испытательных режимов (температура, относительная влажность, давление и т. п.) и продолжительность их воздействия определяются НТД. Для изделий может быть указано несколько значений (степеней жесткости) одного и того же воздействующего климатического фактора. Так, для верхнего значения температуры воздуха при эксплуатации изделия ГОСТ 16962-71 устанавливает 15 степеней жесткости, а для нижнего 9. Например, для степени жесткости I максимально допустимое значение температуры +40°C, минимально допустимое

мое  $+1^{\circ}\text{C}$ , для степени жесткости XV максимальное значение температуры равно  $+500^{\circ}\text{C}$ .

Большое значение для получения правильных данных имеет последовательность различных видов испытаний. Климатические испытания проводят, как правило, после механических испытаний. Это объясняется тем, что после механических испытаний может произойти увеличение числа капилляров в изоляции, появление трещин и зазоров. Воздействие же климатических факторов усугубляет эти явления.

Разрушающее действие различных климатических факторов зависит от последовательности их воздействия. Наиболее тяжелая последовательность — это испытание на теплоустойчивость (Т), на влагуустойчивость (В), а затем на холодоустойчивость (Х), которая сокращенно обозначается Т—В—Х. Возможны и другие последовательности: Т—Х—В, В—Т—Х, В—Х—Т, Х—В—Т и Х—Т—В. Последовательность проведения испытаний указывается в НТД. Если нет специальных указаний, то испытания ведут в такой последовательности: механические, смена температур, на теплоустойчивость, на влагуустойчивость, на холодоустойчивость.

Методы климатических испытаний регламентируются стандартом, полный ассортимент которого содержит методы, начиная от 201 до 220 включительно (ГОСТ 16962-71). Каждый метод может иметь модификации. Например, метод 201 (испытание на теплоустойчивость при эксплуатации) имеет две модификации: 201-1 и 201-2. Первая модификация устанавливает методику испытания изделий без электрической нагрузки, а вторая — под электрической нагрузкой. Стандартом определена и цель каждого метода испытания. Например, испытания методом 201 проводят с целью проверки степени влияния температуры на параметры изделия и проверки сохранения внешнего вида изделий в условиях и после воздействия верхнего значения температуры.

## 7.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

**Камеры для испытаний на теплоустойчивость.** Для испытаний на теплоустойчивость применяют специальные камеры тепла или комбинированные камеры — термокамеры и термовлажкокамеры. Конструктивно простей-

шая камера тепла представляет собой шкаф с двойными стенками (рис. 7.1), между которыми размещен подогреватель 2. Подогретый воздух засасывается вентилятором 1 во внутренний объем камеры (рабочий объем). Отдав часть тепла испытуемым изделиям, воздух возвращается к подогревателю через свободное пространство между стенками и, снова подогревшись, поступает опять в камеру. Такая циркуляция воздуха обеспечи-

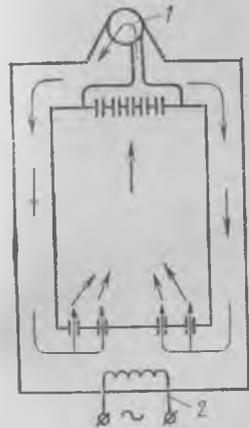


РИС. 7.1. Схема устройства камеры тепла

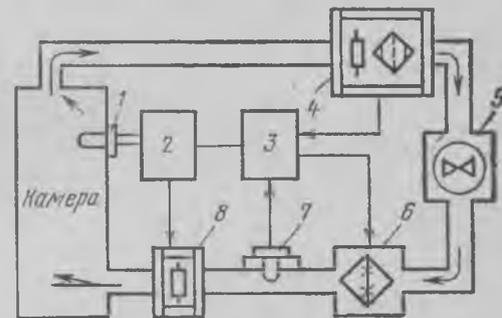


РИС. 7.2. Высокотемпературная камера с внешним нагревом воздуха

вает его перемешивание, а следовательно, и одинаковую температуру во всех точках камеры. Обеспечение равномерной температуры в рабочем объеме камеры достигается размещением нагревательных элементов на дне, стенках и двери камеры. Питательное напряжение и контрольно-измерительные приборы к испытуемым изделиям подключаются через специальные изолированные выходы.

В некоторых случаях предпочтительнее применять испытательные установки, в которых используются внешние нагреватели. Установка такого типа (рис. 7.2) содержит хорошо изолированную камеру и систему замкнутой вентиляции. Воздух заданной температуры прогоняется через рабочее пространство с помощью циркуляционного вентилятора 5. Датчик температуры 1 контролирует температуру в камере. На основании показаний этого датчика регулятор температуры 2 задает программу электротермическому устройству 8, которое по-

догревает воздух, поступающий в камеру, до нужной температуры. Из камеры воздух поступает на устройство предварительного нагрева и очистки 4, где установлен датчик влажности. Сигналы с этого датчика поступают на регулятор относительной влажности 3. Сюда же поступают и сигналы с другого датчика влажности 7. Сравнивая эти сигналы, регулятор с помощью устройства увлажнения воздуха 6 доводит воздух до нужной относительной влажности.

**Камеры для испытаний на холодоустойчивость.** Получение низких температур достигается двумя способами: непосредственным охлаждением с помощью охлаждающего агента (жидкого азота, твердого углекислого ангидрида — сухого льда, кислорода) и косвенным охлаждением с помощью компрессорной установки.

При непосредственном охлаждении небольших камер наибольшее применение получила двуокись углерода. Нагрев твердой углекислоты приводит к превращению ее в безвредный и практически не вызывающий коррозию газ. Углекислоту в твердом состоянии целесообразно применять при редких и кратковременных испытаниях. Камера для таких испытаний представлена на рис. 7.3.

Недостатки данного способа: непостоянство температуры в камере из-за плохой теплопередачи путем конвекции, так как холодный воздух обычно опускается вниз камеры; зависимость температуры в камере от количества загруженных в нее изделий; ограниченные размеры камеры. Перемешивание воздуха с помощью вентилятора несколько уменьшает два первых указанных выше недостатка. Достоинства данного способа: быстрая установка температуры, экономичность, простота обслуживания, бесшумность.

**Косвенный способ охлаждения** основан на свойстве жидкости при испарении поглощать тепло из окружающей среды. Техническое осуществление данного способа основано на использовании компрессионной испарительной системы охлаждения. Принцип действия этой системы заключается в следующем: газообразный хладагент сжимается компрессором до давления, обеспечивающего конденсацию. Жидкий хладагент, проходя по радиаторам, испаряется и охлаждает окружающую среду. Конструктивная схема такой камеры холода приведена на рис. 7.4. В установке создается замкнутая цепь, по ко-

торой циркулирует газ фреон. Из конденсатора 1 жидкий фреон под большим давлением подается в испаритель 2, где он расширяется и испаряется, поглощая при этом тепло и охлаждая тем самым рабочее пространство камеры. Пары фреона из испарителя отсасывает компрессор низкого давления 3 и нагнетает их в охладитель 4. Здесь газ охлаждается и сжимается. Из охладителя фреон отсасывается компрессором среднего давле-

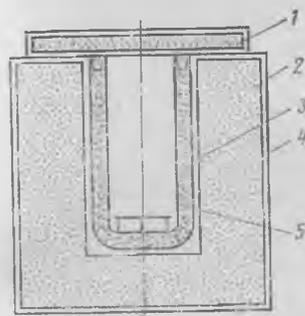


Рис. 7.3. Камера холода с использованием твердой углекислоты

1 — крышка; 2 — теплоизоляционный материал; 3 — твердый  $\text{CO}_2$ ; 4 — металлический контейнер; 5 — тонкая металлическая внутренняя обшивка

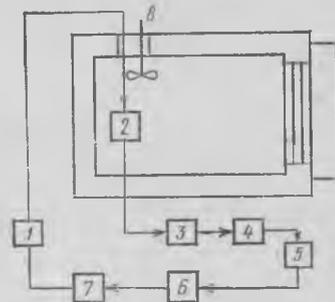


Рис. 7.4. Схема холодильной установки с косвенным охлаждением

ния 5 и подается в охладитель 6. Компрессор высокого давления 7 нагнетает газ в конденсатор 1.

Для перемешивания воздуха в рабочем объеме камеры предусмотрен вентилятор 8.

Для питания испытуемого изделия и подключения к нему измерительной и испытательной аппаратуры в камере предусмотрены изолированные выводы. Автоматическое регулирование температуры в камере холода аналогично автоматическому регулированию температуры в камере тепла.

Для испытаний на холодоустойчивость, помимо термокамер, могут применяться описанные выше термокамеры типа МПС, а также различные специальные низкотемпературные камеры типа ТКС. Так, низкотемпературная камера ТКС-0,15-70 косвенного охлаждения представляет собой единую установку совместно с холодильной двухступенчатой машиной ФДС-0,15М, работающей на фреоне-22, и пульта управления. Температурный

режим в камере от  $-20$  до  $-70^{\circ}\text{C}$  поддерживается автоматически с точностью  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

**Комбинированные камеры промышленного изготовления.** Современными установками, позволяющими получить низкие и высокие температуры с одновременным понижением давления в рабочем объеме, являются термобарокамеры МПС 500У и МПС 1000У. Число, стоящее вслед за обозначением типа, означает полезный объем камеры в литрах, а индекс У — что в данной камере, кроме тепла и холода, можно получить пониженное давление (т. е. универсальная камера).

Испытательные камеры этого типа имеют форму лежащего цилиндра. На торцевой стороне имеется одностворчатая дверь с запорами, через которую загружают испытуемые изделия. В двери установлено многослойное стеклянное окно для наблюдения рабочего пространства камеры. Между стеклами окна в двери помещают силикагель для исключения запотевания. Влага из самой камеры удаляется также с помощью силикагеля. Для подключения электрических проводов на внешнем кожухе расположены два кабельных прохода. Внутри рабочего пространства расположена буксовая плата для подключения 32 измерительных проводов. В камере имеется освещение.

Повышение температуры в камере достигается с помощью электрокалориферов, расположенных под полом рабочей камеры. Температуру контролируют и регистрируют два датчика температуры. Равномерная температура достигается в установке за счет принудительной циркуляции, обеспечиваемой вентилятором.

Другим видом комбинированных камер являются тепловлагокамеры типа ТВК (рис. 7.5), выполненные в виде прямоугольного шкафа. Для подводки электрических проводов на левой стенке расположено 36 электродов. Получение необходимой температуры в камере 1 достигается с помощью безынерционного электронагревателя 3, а калорифер 2 служит для снижения температуры окружающей среды на  $10-20^{\circ}\text{C}$  (за счет пропускания охлаждающей воды или сжиженного газа). Максимальная температура нагрева камеры  $+100^{\circ}\text{C}$ . Скорость повышения температуры  $1-2^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ . Неравномерность нагрева не более  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Равномерное распределение тепла по всему объему камеры достигается циркуляцией и перемешиванием с помощью осевого венти-

лятора 9. Увлажнение воздуха в камере достигается испарителем влаги 4 с нагревателем 5, расположенным вне камеры. Определенный режим влажности достигается принудительной циркуляцией воздуха вентилятором 6 через испаритель 4.

Относительная влажность может достигать 98% при температуре воздуха от  $+15$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . Скорость повышения относительной влажности  $0,25\%/\text{мин}$ . Возможная неравномерность  $\pm 2\%$ . Контроль, регулирование и автоматическое поддержание температуры и влажности обеспечивается «сухим» 7 и «влажным» 8 контактными термометрами.

Народным предприятием «НЕМА» в ГДР выпускаются термокамеры TV1000 и TV2000, предназначенные для испытания изделий в диапазоне температур от  $+120$  до  $-70^{\circ}\text{C}$ , и термобарокамеры ТВВ1000 и ТВВ2000, в которых, кроме испытаний на тепло- и холодоустойчивость, можно проводить испытания на воздействие давления в диапазоне от атмосферного до 133 Па. Температура поддерживается с точностью  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , а постоянство давления с точностью от 66,5 до 266 Па (от 0,5 до 2 мм рт. ст.).

**Контрольно-измерительная и регулирующая аппаратура.** В камерах тепла и холода, используемых для испытаний радиодеталей и радиокомпонентов, должен воспроизводиться температурный режим с точностью не ниже  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  для диапазона температур от  $-85$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  для диапазона температур от  $+100$  до  $+200^{\circ}\text{C}$  и  $\pm 10^{\circ}\text{C}$  для температур свыше  $+200^{\circ}\text{C}$ . Для регулирования температуры внутри камеры используют различные устройства автоматического регулирования

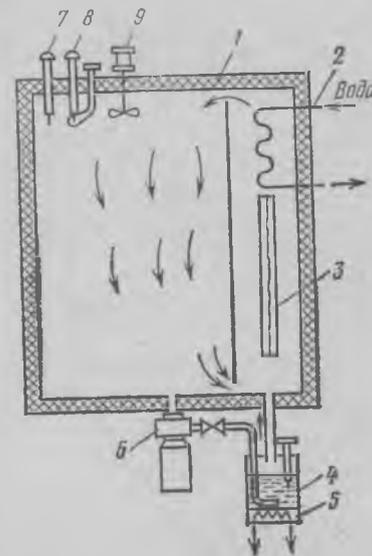


РИС. 7.5. Схема устройства тепловлагокамеры ТВК-1

температуры. Эти устройства состоят из трех основных частей: чувствительный элемент с необходимыми преобразователями, регулятор и устройство записи или индикации. Каждая из этих частей выполняет свою функцию, подчиненную общей задаче контроля и регулирования.

Чувствительный элемент воспринимает величину переменного параметра, которую он контролирует.

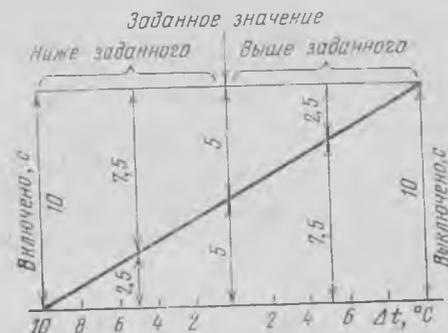
В качестве чувствительных элементов при контроле температуры используют термопары, термисторы, терморезисторы, ртутно-контактные термометры, биметаллические реле. Преобразователи служат для усиления или преобразования сигнала, вырабатываемого чувствительным элементом, в вид, удобный для дальнейшего использования. В функцию регулятора входит поддержание заданных условий испытания на основе анализа сигналов, получаемых от чувствительного элемента. В регуляторах могут использоваться автоматические программирующие устройства, позволяющие создавать сложные режимы испытания. Устройства записи обеспечивают автоматическую регистрацию воздействующих параметров и их изменение во времени. Для визуальной индикации воздействующих параметров и правильности функционирования испытательной установки служат различные устройства индикации.

**Чувствительный элемент.** Выбор чувствительного элемента зависит в основном от перекрываемого диапазона температур, заданной точности измерения и его инерционности. Перекрываемый термопарами температурный диапазон лежит в пределах от  $-180$  до  $+2500^{\circ}\text{C}$ , что является более чем достаточным для большинства испытаний на воздействие окружающей среды. Термисторы имеют ограниченный температурный диапазон (от  $-70$  до  $200^{\circ}\text{C}$ ), поэтому они по сравнению с термопарами реже используются для контроля температуры в испытательных камерах.

Системы для измерения температуры с использованием в качестве чувствительных элементов термопар и терморезисторов обеспечивают измерение с точностью  $0,25\%$  от измеряемой величины, а применение термометров (ртутных, газонаполненных, наполненных легкокипящей жидкостью) — с точностью не менее  $1\%$ . Следовательно, по этому показателю термопары и термисторы имеют явное преимущество.

Другой характеристикой чувствительного элемента, которую необходимо учитывать, является его тепловая инерция. Термометры с наполнением имеют большую тепловую инерцию, чем термопары, состоящие из двух тонких проводов, или термисторы, состоящие из небольшой катушки с прецизионным легким калиброванным проводом.

РИС. 7.6. Принцип работы время-импульсного регулятора



Регулятор предназначен для приема сигнала от преобразователя или непосредственно от чувствительного элемента и преобразования его в полезный выходной сигнал, который может быть использован для регулирования температуры. Простейшим является автоматический релейный регулятор с попеременным включением и выключением нагревательного элемента. В общем случае это достигается с помощью ртутного выключателя, микропереключателя или реле. Более сложными являются пропорциональные регуляторы, обладающие способностью вырабатывать выходной сигнал, величина которого является функцией интенсивности сигнала, поступающего на вход регулятора. Примером системы такого типа, получившей широкое распространение, является время-импульсный регулятор. Рис. 7.6 иллюстрирует принцип действия такого регулятора.

Диапазон пропорционального регулирования равен  $20^{\circ}\text{C}$  (по  $10^{\circ}\text{C}$  влево и вправо от заданного значения), что соответствует нескольким процентам полной шкалы прибора. В начале диапазона регулирования нагреватель включен в течение всего десятисекундного периода времени, являющегося длительностью импульсного цикла. При приближении к заданному (номинальному) значению температуры продолжительность включенного

состояния нагревателя уменьшается, а время выключенного состояния увеличивается. При этом общая продолжительность цикла все время составляет 10 с. При достижении заданного значения температуры время включенного и выключенного состояний нагревателя одинаково и составляет 5 с. При переходе за заданное значение температуры продолжительность включенного состояния становится меньше 5 с и уменьшается до тех пор, пока не станет равным 0 в конце диапазона регулирования.

**Регистрация и регулирование температуры.** Из многочисленных типов приборов для измерения температуры наиболее часто применяют термопары. Это объясняется их простотой, прочностью и приемлемой точностью.

В качестве примера рассмотрим схему измерительного потенциометра (рис. 7.7), широко используемого в качестве регистрирующего и регулирующего устройств. Температура в камере контролируется термопарой ТП. Э. д. с.  $U_T$ , возникающая в термопаре, компенсируется напряжением  $U_n$ , снимаемым с потенциометра R. Сигнал рассогласования  $\Delta U$ , равный разности этих напряжений ( $\Delta U = U_T - U_n$ ), преобразуется вибропреобразователем из постоянного тока в переменный. Фаза сигнала, вырабатываемого вибропреобразователем, определяется знаком  $\Delta U$ . Полученное переменное напряжение усиливается и подается в обмотку управления ОУ электродвигателя М. Направление вращения электродвигателя определяется фазой этого сигнала и таково, что движок а потенциометра перемещается в сторону уменьшения сигнала рассогласования  $\Delta U$ . Когда  $\Delta U$  станет равным нулю ( $\Delta U = U_T - U_n = 0$ ), двигатель остановится и указатель б на шкале отметит измеренную температуру.

Из схемы рис. 7.7 ясно, что энергия для перемещения движка аб не потребляется от компенсирующего эталонного источника питания  $E_a$ , а берется от сети переменного напряжения. Поэтому измерительный потенциометр может одновременно с регистрацией температуры выполнять функции регулирующего устройства.

Другим, также широко используемым устройством регистрации и регулирования является автоматический мост. Устройство моста имеет много общего с автоматическим потенциометром. На рис. 7.8 показана схема электронного автоматического моста с использованием параметрического датчика Д ( $R_4$ ), включенного в одно

из плеч мостовой схемы тремя проводками (для температурной компенсации). Питание моста осуществляется переменным напряжением. Напряжение разбалансируется движком потенциометра, усиливается фазочувствительным усилителем и подается в обмотку управления двухфазного асинхронного электродвигателя М. Двигатель, вращаясь, перемещает движок потенцио-

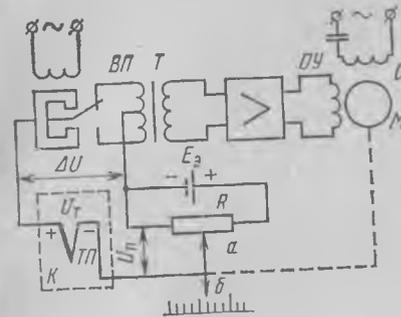


РИС. 7.7. Схема электронного автоматического потенциометра

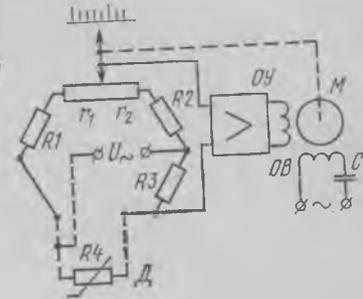


РИС. 7.8. Схема электронного автоматического моста

метра до тех пор, пока мост не сбалансируется. Указатель движка на шкале отмечает величину измеряемого параметра.

**Испытания на теплоустойчивость и холодоустойчивость.** Различают испытания на теплоустойчивость и холодоустойчивость при эксплуатации, при транспортировании и хранении.

*Испытание на теплоустойчивость при эксплуатации* проводят с целью проверки параметров и проверки сохранения внешнего вида изделий в условиях и после воздействия максимально допустимой температуры. Испытания изделий проводят без электрической нагрузки, а греющихся изделий — под электрической нагрузкой. Перед испытаниями производят визуальный контроль и проверку механических свойств изделий (механический контроль), а также измерение их электрических параметров. Затем проверяют контрольно-измерительную аппаратуру и надежность поддержания в камере заданного значения температуры с требуемой точностью. Изделие помещают в камеру тепла. Затем устанавливают в ней нужную температуру, при которой вы-

держивают изделия в течение времени, достаточного для достижения теплового равновесия.

Измерение контролируемых параметров производят после того, как испытуемые изделия будут иметь заданную температуру. По истечении времени испытаний изделие извлекают из камеры. Далее следует период восстановления, когда изделие выдерживается в нормальных атмосферных условиях. Период восстановления определяется временем, необходимым для приобретения изделием нормальной температуры. Он может быть от 1 до 6 ч. В заключение проверяют внешний вид, механические свойства изделия и измеряют электрические параметры. При проверке внешнего вида обращают внимание на изменение цвета и целостность защитного покрытия, состояние сопрягаемых деталей.

Испытания на холодоустойчивость при эксплуатации проводят для проверки параметров изделия в условиях воздействия и после воздействия минимально допустимой температуры окружающей среды. Последовательность выполнения операций в методике проведения испытаний на холодоустойчивость аналогична последовательности испытаний на теплоустойчивость.

*Испытания на теплоустойчивость и холодоустойчивость при транспортировании и хранении* проводят с целью проверки способности изделий выдерживать воздействие максимально допустимой температуры при транспортировании и хранении. Данное испытание обычно совмещают с испытанием на теплоустойчивость и холодоустойчивость при эксплуатации.

С испытаниями на холодоустойчивость обычно совмещают испытания на воздействие инея и росы. При этом изделия помещают в камеру холода и выдерживают в выключенном состоянии при заданной низкой температуре в течение определенного времени, после чего их извлекают из камеры и помещают в нормальные климатические условия. Во включенном состоянии изделия выдерживают в течение заданного времени (около 3 ч) и периодически (каждые 30—60 мин) проверяют их параметры, которые должны соответствовать нормам, оговоренным в НТД.

**Испытание на воздействие смен температур (циклическое воздействие температур).** Важным видом температурных испытаний являются испытания на циклическое воздействие температур, при которых изделие подвер-

гается воздействиям 3—5 температурных циклов в определенной последовательности. Испытание проводят для определения способности изделий выдерживать изменения температуры внешней среды и сохранять свои параметры после этого воздействия. Испытания на циклическое воздействие проводят по следующей методике: установив в камере холода температуру, оговоренную в НТД, помещают в нее испытуемые изделия и выдерживают в течение установленного времени; после этого изделие быстро переносят в камеру тепла (время переноса не более 5 мин), температура в которой предварительно была доведена до установленного значения; по истечении времени выдержки изделий в камере тепла цикл повторяется.

При всех рассмотренных испытаниях отсчет выдержки в камерах производят с момента установления температурного режима. Обеспечение одинакового воздействия температуры на несколько расположенных в камере изделий достигается правильным их расположением. В методике НТД указывают допустимые расстояния между изделиями и между изделиями и стенками камеры. Располагать изделия на расстоянии менее 5 см от стенок камеры нельзя.

### 7.3. ИСПЫТАНИЯ НА ВЛАГОУСТОЙЧИВОСТЬ, НА ВОЗДЕЙСТВИЕ МОРСКОГО ТУМАНА И АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

**Оборудование для испытаний на влагоустойчивость.** Необходимая влажность воздуха для этих испытаний может быть получена следующими способами: открытым, когда воздух соприкасается с открытой свободной поверхностью; закрытым, когда циркуляция воздуха происходит через закрытое увлажнительное устройство. Открытый способ воспроизводит природное увлажнение воздуха. Этот способ прост, но практическое его использование ограничивается необходимостью строго поддерживать постоянно разности температур воздуха и воды, а также точности регулирования температуры в пределах психометрической разности. Уменьшение температуры более чем на  $0,5^{\circ}\text{C}$  при высокой относительной влажности ( $95 \pm 3\%$ ) и повышенной температуре (от  $40$  до  $70^{\circ}\text{C}$ ) может вызвать выпадение росы, что является

недостатком. Устройство такой камеры тепла и влаги показано на рис. 7.9,а.

Между двойными стенками шкафа 1 проложена теплоизоляция 2. Внутри камеры установлен подогреватель 3. Подогреватель 4, размещенный в ванне с водой 8, подогревает воду, которая увлажняет воздух внутри камеры. Принудительную циркуляцию воздуха создает вентилятор 6. Контактный термометр 7 включен

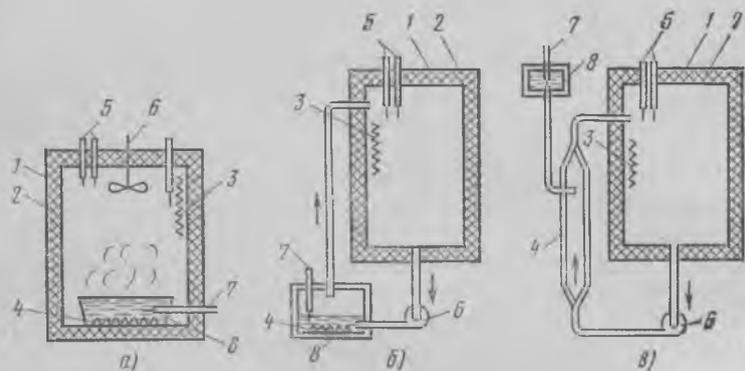


РИС. 7.9. Увлажнение воздуха открытым и закрытым способами: а — испарение влаги с открытой поверхности; б — барботирование (продавливание через жидкость) воздуха; в — распыление воды

в схему автоматического регулирования температуры воды увлажнителя. В ту же схему включен подогреватель увлажнителя 4. Система регулирования температуры в камере не отличается от рассмотренных выше, а поэтому на рисунке не показана. Измерение влажности в камере производят психрометром 5.

Закрытый способ характерен наличием циркуляции воздуха через увлажнительное устройство, он дает возможность регулировать содержание влаги и температуру атмосферы камеры за счет изменения количества циркулирующего воздуха в замкнутом цикле и степени его прогрева. В увлажнителе воздух либо увлажняется через слой воды (рис. 7.9,б), либо смешивается с распыленной водой (рис. 7.9,в). В камере, показанной на рис. 7.9,б, центробежный насос 6 создает принудительную циркуляцию воздуха через слой воды увлажнителя 8 и рабочее пространство камеры. В камере, показанной на рис. 7.9,в, центробежный насос 6 создает принудительную циркуляцию через устройство 4, в котором

распыляется вода, подаваемая в рабочее пространство камеры.

**Испытания на влагоустойчивость.** Различают длительное, кратковременное и ускоренное испытания, с выпадением и без выпадения росы. Испытания при длительном воздействии повышенной влажности проводят для определения устойчивости параметров изделий и выявления реальных дефектов (коррозии, повреждения изоляции). Испытания при кратковременном воздействии проводят для выявления дефектов, которые могут возникнуть из-за нарушения технологии производства изделий в качестве применяемых в производстве материалов.

**Циклическим испытаниям** подвергают изделия, предназначенные для работы на открытом воздухе, на которые непосредственно воздействуют все атмосферные факторы, а также изделия, не подвергающиеся непосредственному воздействию дождя и солнечной радиации и предназначенные для работы в открытых помещениях, под навесами, в крытых транспортных средствах. Циклические испытания, как правило, осуществляют с выпадением росы, т. е. в режиме с конденсацией влаги.

**Непрерывным испытаниям** подвергают изделия, предназначенные для работы в помещениях, где нет резких перепадов температуры, солнечной радиации и дождя. При непрерывных испытаниях температуру и влажность в камере поддерживают постоянными в течение всего времени испытаний. Непрерывные испытания, как правило, осуществляют без выпадения росы. Конкретный метод испытаний устанавливают в зависимости от назначения и условий эксплуатации изделий, а также их конструктивных особенностей. Например, изделия с пропитанными обмотками (трансформаторы, реле, дроссели, пускатели) рекомендуется испытывать в циклическом режиме. Изделия электронной техники общепромышленного и бытового назначения испытывают в непрерывном режиме при относительной влажности  $93 \pm 3\%$  и температуре  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  или при относительной влажности  $83 \pm 3\%$  и температуре  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . Продолжительность испытаний устанавливает НТД на конкретные виды изделий, но она не должна быть менее 48 ч для влажности  $93\%$  и 96 ч для влажности  $83\%$ .

**Испытания в циклическом режиме (режим с конденсацией влаги).** Изделия помещают в камеру влажности

и подвергают воздействию непрерывно следующих друг за другом циклов. Количество циклов должно соответствовать табл. 7.1. Продолжительность одного цикла составляет 24 ч. Каждый цикл состоит из двух частей. В первой части цикла изделия в течение 16 ч подвергают относительной влажности  $95 \pm 3\%$  при максимально допустимом, для данной степени жесткости, значении температуры. Время испытаний при максимально допустимой температуре отсчитывают с момента включения

Таблица 7.1

Регламент испытаний	Испытание для степеней жесткости							
	III, IV, VI	V, VII	VIII	—	V, VII	VIII	—	
	Длительное				Ускоренное			
Количество испытательных циклов	4	9	21	42	4	9	18	
Верхнее значение температуры воздуха в первой части цикла, °C	$40 \pm 2$	$40 \pm 2$	$40 \pm 2$	$40 \pm 2$	$55 \pm 2$	$55 \pm 2$	$55 \pm 2$	

камеры. Повышение температуры и влажности должно быть достаточно быстрым, чтобы обеспечить конденсацию влаги на изделиях. Во второй части цикла камеру с изделиями охлаждают в течение 8 ч при относительной влажности 94—100% до температуры не менее, чем на 5°C ниже максимально допустимого значения для любой степени жесткости. Испытания производят под нагрузкой или без приложения электрического напряжения. Измерение параметров и другие проверки производят в последнем цикле, в конце последнего часа выдержки при максимально допустимом значении температуры, без извлечения изделий из камеры влажности. Если измерение параметров без извлечения изделий из камеры нецелесообразно или технически трудно, то изделия извлекают из камеры и производят замеры, но не позднее чем через 15 мин после извлечения.

*Испытания в непрерывном режиме (режим без конденсации влаги).* Изделия помещают в камеру влажности и выдерживают при температуре согласно табл. 7.2 и влажности до  $95 \pm 3\%$ . После отключения источников

тепла и влаги испытуемые изделия не извлекают из камеры, а подвергают выдержке. Время выдержки зависит от вида испытаний и характера изделия. По окончании выдержки изделие извлекают из камеры и выдерживают еще определенное время в нормальных климатических условиях. При испытании на длительное воздействие выдержка должна быть не менее 24 ч, а при испытаниях на кратковременные воздействия — 1—2 ч. После выдержки производится визуальный осмотр и измерение параметров.

Таблица 7.2

Регламент испытаний	Испытание для степеней жесткости							
	II	III, IV, VI	V, VII	VIII	III, IV, VI	V, VII	VIII	
	Длительное				Ускоренное			
Общая продолжительность испытаний, сутки	4	10	21	56	4	7	14	
Температура воздуха, °C	$25 \pm 2$	$40 \pm 2$	$40 \pm 2$	$40 \pm 2$	$55 \pm 2$	$55 \pm 2$	$55 \pm 2$	

**Испытания на воздействие морского тумана.** Целью испытаний на воздействие морского (соляного) тумана является выявление коррозионной устойчивости изделий. Изделия, подлежащие испытаниям, помещают в специальную камеру, в которой устанавливается температура  $+27 \pm 2^\circ\text{C}$  и разбрызгивается соляной раствор определенного состава, имитирующий воздействие морского тумана. Разбрызгивание раствора производят в течение всей продолжительности испытаний (2, 7 или 10 суток) по 15 мин через каждые 45 мин. В процессе испытаний попадание капель соляного раствора на изделия не допускается. По истечении времени испытаний изделия вынимают из камеры и осматривают, а затем выдерживают в течение 6—12 ч в нормальных условиях и проверяют на работоспособность.

Камера морского (соляного) тумана должна обеспечивать возможность поддержания температуры от  $+25$  до  $+60^\circ\text{C}$  при относительной влажности до 100%. Кроме того, камера должна иметь автоматическое программирующее устройство, обеспечивающее суточную перио-

дичность введения соляного раствора и температурного режима.

Распыляемый в камере раствор солей готовят на дистиллированной воде по следующему рецепту: хлористый натрий 27 г/л; хлористый магний 6 г/л; хлористый калий 1 г/л; хлористый кальций 1 г/л. Распыление раствора производят пульверизатором или центрифугой аэрозольного аппарата. Основными показателями тумана, получаемого в камере, служат дисперсность и водность. Водность нормального тумана 2—3 г/м<sup>3</sup>, дисперсность — 90% капле-размером от 1 до 5 мкм.

**Испытания на воздействие атмосферного давления.** Особые условия эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов на летательных аппаратах и аппаратуре, эксплуатируемой в высокогорных районах, требуют испытаний их на высотность, т. е. при пониженном атмосферном давлении с нормальной, повышенной и пониженной температурой.

Испытания на воздействие атмосферного давления

при нормальной температуре ведут в барокамерах типа КБ (рис. 7.10), давление в рабочем пространстве которых снижают с помощью вакуумных насосов. Камера 1 представляет собой герметизированный шкаф, застекленная дверь которого дает возможность наблюдать за испытуемыми изделиями. На передней стенке камеры установлены: вентиль впуска воздуха 5 в камеру, кнопки управления электродвигателем насоса 2 и освещением камеры. Поворотом вентиля 4 влево соединяют систему камера — манометр — насос, а поворотом вентиля вправо перекрывают эту систему. Впуск атмосферного воздуха в камеру производят поворотом влево вентиля 5. Скорость изменения давления регулируют с помощью вентиля. Замер давления внутри камеры выполняет манометр 3, измеряющий разность между давлением в камере и наружным давлением. Камеры КБ имеют не-

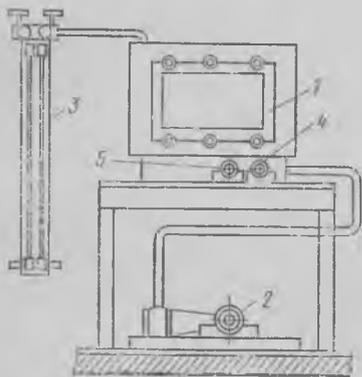


РИС. 7.10. Схема барокамеры с дифференциальным манометром

сколько модификаций, различающихся полезным объемом. Так, например, камера КБ-0,07 имеет полезный объем 0,07 м<sup>3</sup>.

При испытании изделий в рабочем состоянии на высотность при повышенной температуре окружающего воздуха устанавливают необходимое давление воздуха в камере с учетом поправки на рабочую температуру изделия (табл. 7.3). Перед помещением в камеру изделия

Таблица 7.3

Рабочее давление, $\times 10^5$ Па	Испытательное давление, $\times 10^5$ Па, при температуре, °С						
	70	85	100	125	155	200	250
530	450	430	418	390	362	330	295
85	72	70	67	63	59	59	48
40	37	36	35	32	31	31	24
20	17	16	16	15	13	13	10
6,5	4	4	4	4	4	4	4

осматривают и проверяют их основные параметры в нормальных условиях. Давление воздуха  $3 \cdot 10^5$  Па в барокамере должно быть постоянным. По окончании выдержки в камере измеряют оговоренные в программе испытаний (ПИ) параметры изделий. Затем уравновешивают внешнее давление с давлением внутри камеры и открывают дверь. При визуальном осмотре изделий после испытаний обращают внимание на наличие трещин в покрытиях и изоляционных материалах, на сохранение герметичности, а также на состояние контактов переключающих элементов.

Испытания при пониженной температуре проводят аналогично, с учетом НТД.

Для проведения испытаний на высотность с одновременным воздействием повышенной или пониженной температуры применяют комбинированные термобарокамеры или термовлагокамеры КТХБ и КТХВБ. Для испытания изделий в условиях холода и пониженного атмосферного давления применяют камеру низких давлений и низких температур типа КНТ-2М. Ее характеристики: температура от  $+25 \pm 10^\circ\text{C}$  до  $-60^\circ\text{C}$ , время изменения температуры в этих пределах равно 2,5 ч, остаточное давление — до 665 Па.

#### 7.4. ИСПЫТАНИЯ НА ГРИБОУСТОЙЧИВОСТЬ, ПЫЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ И ПЫЛЕЗАЩИЩЕННОСТЬ

**Испытания на грибоустойчивость.** Целью таких испытаний является определение устойчивости параметров изделия и способности противостоять развитию и разрушающему действию плесневых грибов, которыми заражена окружающая влажная среда. Перед испытаниями изделия подвергают специальной температурной обработке в камере при  $+60 \pm 2^\circ\text{C}$ . Время выдержки задается в ТУ, ПИ или в методике (2—6 ч). Извлеченные из камеры изделия в течение 1—6 ч содержатся в нормальных условиях, затем производится визуальный осмотр и измерение заданных параметров. Далее изделия помещают в камеру грибообразования, где устанавливают также контрольные чашки Петри с питательной средой, служащие для определения жизнеспособности спор. Изделия и чашки Петри опрыскивают из пульверизатора водной споровой суспензией. Затем в камере повышают относительную влажность до 95—98% в течение 2 ч и выдерживают изделия в установленном режиме при нормальной температуре. Через 48 ч проверяют рост плесени в контрольных чашках. При обнаружении плесени вновь устанавливают относительную влажность 95—98% при температуре  $+30 \pm 3^\circ\text{C}$  и выдерживают в заданном режиме 30 суток. При этом камера затемняется и исключается подвижность воздуха в ней. Если это предусмотрено ТУ, ПИ или методикой, то допускается периодическое (через 1—2 суток) измерение параметров изделий. Последнее измерение параметров производят в конце испытаний. Затем изделия извлекают из камеры и осматривают.

Оценка роста грибов производится по пятибалльной системе: 0 — нет роста, 1 — очень слабый, 2 — слабый, 3 — умеренный, 4 — обильный рост грибов. Изделия считают выдержавшими испытания, если параметры их не выходят за пределы установленных допусков, степень обрастания грибами не превышает 2-х баллов, отсутствует коррозия металлов и гальванических покрытий и нет набухания и отслаивания лакокрасочных покрытий. При получении оценки 2 балла и удовлетворительных других показателей проводят повторные испытания на новых образцах. Изделия признают негрибоустойчивыми, если вторичная оценка будет опять 2 балла. По

окончании испытаний изделия дезинфицируют или уничтожают.

Для испытаний применяют водную суспензию из смеси спор десяти грибов, колонии которых имеют окраску: черная, ярко-желтая, зеленая, от белой до розовой и бурой, серо-коричневая, сине-желтая, зеленая, серая, черная и желто-бурая. Количество видов плесневых гри-

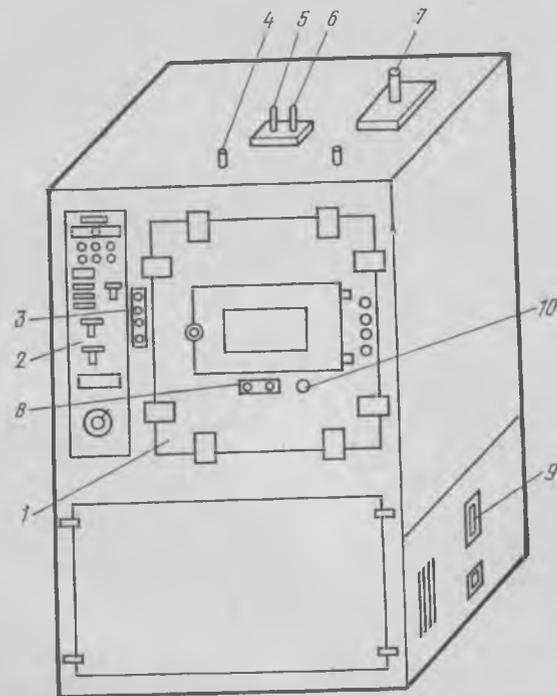


РИС. 7.11. Внешний вид камеры грибообразования

бов должно быть не менее семи. Заражение испытуемых изделий ведется путем опрыскивания их водной суспензией спор грибов из пульверизатора с диаметром выходного отверстия не менее 1 мм из расчета 50 мм суспензии на 1 м<sup>3</sup> полезного объема камеры. Суспензия может быть использована в течение 2—4 ч с момента ее изготовления.

Для испытаний на грибоустойчивость используют камеры грибообразования типа КВТ/Г-1М. Внешний вид

камеры приведен на рис. 7.11. Собственно испытательная камера 1 расположена в верхней правой части шкафа. Под камерой установлены два центробежных вентилятора, нагреватель и регулятор влажности. Слева от двери камеры размещена панель сигнализации и управления 2. Испытательная камера имеет двойные стенки, образующие воздушную рубашку, в которой циркулирует нагретый воздух (обогрев включают тумблером 8). Для притока свежего воздуха, необходимого для развития грибковых культур, в нижней части двери камеры сделано отверстие 10, в верхней части — два температурных фильтра 4, обеспечивающих обезвреживание выходящего воздуха. На передней панели 3 — разъемы для кабелей.

Регулирование и автоматическое поддержание режима тепла и влаги осуществляют с помощью термометров 5 («сухой») и 6 («мокрый»). На потолке камеры установлен осевой вентилятор 7, перемешивающий воздух. Влажность в камере создается закрытым способом путем увлажнения воздуха в увлажнителе. Циркуляцию воздуха в замкнутой системе создает центробежный вентилятор. Температурный режим обеспечивается циркуляцией воздуха в рубашке камеры с помощью второго центробежного вентилятора. Температуру воздуха внутри рубашки камеры контролирует контактный термометр 9.

**Испытания на пылеустойчивость и пылезащищенность.** Изделия, предназначенные для работы в среде с повышенной концентрацией пыли, подвергают испытаниям на пылезащищенность, а те изделия у которых нет специальной защиты от проникновения пыли, кроме того, испытывают на пылеустойчивость. Испытания проводят так. После внешнего осмотра и измерений параметров изделия помещают в камеру, где производят их обдувание просушенной пылевой смесью, содержащей 60—70% песка, 15—20% мела и 15—20% каолина. Величина частиц пылевой смеси должна быть не более 50 мкм. Количество смеси — примерно 0,1% от объема камеры. Скорость циркуляции воздуха, обдувающего изделия в камере, равна 0,5—1 м/с. В состав пылевой смеси добавляют флюоресцирующий порошок (сульфид цинка).

По окончании заданной продолжительности воздействия пыли измеряют параметры изделий, не извлекая их из камеры, затем извлекают их, удаляют пыль с по-

верхности и осматривают, обращая особое внимание на состояние покрытий. После этого изделия переносят в затемненное помещение, где с помощью ультрафиолетового света выявляют степень проникновения пыли. О результатах испытаний судят по степени удовлетворения изделиями требований НТД. Испытания на пылеустойчивость проводят при рабочей температуре.

Для проведения испытания на воздействие пыли применяют камеры КПЗ (для испытаний на пылезащищенность), КПУ (для испытаний на пылеустойчивость) и КП-ЗУ (для комбинированных испытаний). Камера КП-ЗУ-0,5 (рис. 7.12) представляет собой прямоугольный каркас 1 из стали. Внутри камеры установлен замкнутый воздухопровод 4. Собственно испытательной камерой служит средняя верхняя секция трубопровода 7, соединенная правым фланцем из плотной ткани с вентилятором 2. Вентилятор вращает электродвигатель 9, связанный с ним клиноременной передачей. Левым фланцем испытательная камера соединена с секцией, в которой размещен направляющий щит 6, создающий равномерный воздушный поток. В нижней части воздухопровода установлена заслонка 3 для регулирования воздушного потока.

Испытуемые изделия устанавливают на стол 5, закрепленный на вращающемся валу редуктора 8, что обеспечивает равномерный обдув изделий. Редуктор с помощью муфты соединен с электродвигателем 10. На передней стенке камеры имеется дверь со смотровым окном. Под дверью размещен щит управления с выключателями сети и подогрева, переключателями освещения камеры, кнопками пуска и остановки электродвигателей. Заданную концентрацию пыли в камере получают вводом в камеру пылевой смеси и циркуляцией воздуха. После установки испытуемых изделий пылевая смесь насыпается в количестве 0,5 л на плоскость стола, дверь плотно закрывается и запускается вентилятор.

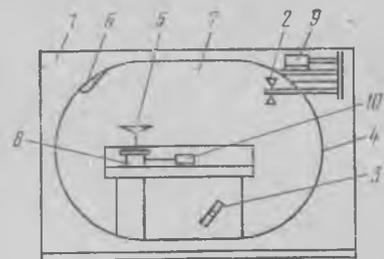


РИС. 7.12. Схема камеры для испытаний на пылезащищенность

## МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

## 8.1. ОРГАНИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Целью механических испытаний является определение способности радиодеталей и радиокомпонентов выполнять свои функции и сохранять электрические параметры в пределах норм при воздействии механических факторов и противостоять их разрушающему действию. Программа и методика механических испытаний составляются так, чтобы возможно полнее воспроизвести наиболее тяжелые условия эксплуатации. На практике, ввиду сложности искусственной реализации этих условий, обычно проводят отдельные испытания, при которых изделие последовательно проверяют на воздействие отдельных механических факторов.

К типичным механическим испытаниям относятся испытания на *обнаружение резонансных частот, на виброустойчивость, вибропрочность, ударную устойчивость и ударную прочность, воздействие линейных (центробежных) нагрузок и акустических шумов, испытания выводов радиодеталей и радиокомпонентов на воздействие растягивающей силы и крутящего момента, на изгиб и скручивание*. Перечень видов испытаний устанавливает ГОСТ 16962—71, содержащий методы 101—113. Каждый метод может иметь несколько модификаций. Например, метод 103 («Испытание на вибропрочность») имеет в общей сложности десять модификаций. Стандартом определена и цель каждого метода испытания. Нормы испытательных режимов (величина вибраций, ударов, акустических шумов, величины сил и моментов и их продолжительность) определяет НТД.

ГОСТ 16962—71 устанавливает несколько степеней жесткости одного и того же воздействующего механического фактора. Например, вибрационные нагрузки и ускорения подразделены на 20 степеней жесткости, включающие диапазон вибраций от 1 до 5000 Гц и ускорения от 0,5 до 40g. Причем степени жесткости XVI—XX установлены для миниатюрных и сверхминиатюрных изделий: микроэлементов, микросхем, полупроводниковых приборов. Ударные нагрузки подразделены: многократные на 4 степени жесткости (15, 40, 75 и 150g), одиночные на 8 степеней жесткости (4, 20, 75, 150, 500, 1000,

1500 и 3000g). Линейные (центробежные) нагрузки подразделены на 7 степеней жесткости (10, 25, 50, 100, 150, 200 и 500g). Для изделий, работающих в условиях воздействия акустического шума, установлено 5 степеней жесткости (130, 140, 150, 160 и 170 дБ) в диапазоне частот 50—10000 Гц.

Механические испытания проводят при нормальных климатических условиях. Крепление испытуемых изделий должно быть надежным и удобным. Приспособления (например, хомуты, стойки, платы) обеспечивающие крепление изделий к платформе испытательного стенда, должны быть жесткими.

Параметры режимов при механических испытаниях определяются в контрольных точках, указанных в НТД. При испытаниях на вибрационные и ударные воздействия контрольную точку выбирают на платформе стенда рядом с одной из точек крепления изделия (если изделие крепят непосредственно на платформе), на крепежном приспособлении или рядом с точкой крепления амортизатора (если изделия крепят на собственных амортизаторах). При испытаниях на воздействие линейных нагрузок контрольную точку, для которой вычисляют величину ускорения, выбирают в центре тяжести изделия.

Для ускорения проведения комплекса механических испытаний, установленного для данного вида изделий, возможно совмещение некоторых видов испытаний. Например, испытание на обнаружение резонансных частот допускается совмещать с испытанием на виброустойчивость и вибропрочность. Совмещают также испытания на ударную устойчивость и ударную прочность.

Изделия, имеющие монолитную конструкцию и не изменяющие свои параметры в процессе воздействия механических нагрузок (постоянные резисторы и конденсаторы, трансформаторы, дроссели, модули и микромодули, залитые компаундом, провода и кабели со сплошной изоляцией и т. п.), не подвергают испытаниям на вибрационную и ударную устойчивость, на воздействие акустических шумов.

Перед началом и после каждого испытания, а в необходимых случаях также в процессе испытаний, производят внешний осмотр изделий и измерение их параметров. Время испытаний при заданном режиме отсчитывают с момента достижения параметров испытатель-

ного режима, если в НТД не содержатся другие указания.

Для проведения механических испытаний применяется специальное испытательное оборудование, позволяющее искусственно воспроизводить различные механические воздействия, а также измерять их параметры. Для создания вибраций используют вибрационные стенды (вибростенды), для воспроизведения ударов — ударные стенды, ускорения создают обычно с помощью центрифуги.

## 8.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

**Оборудование для испытаний на вибрационные нагрузки.** Испытания на вибрационные нагрузки проводят на вибростендах, отличающихся друг от друга по следующим показателям: видом создаваемой вибрации (линейная или угловая), направлением действия вибрации (однокомпонентная — прямолинейная вибрация в вертикальном или горизонтальном направлении, двухкомпонентная — круговая вибрация в вертикальной или горизонтальной плоскости, трехкомпонентная), формой создаваемой вибрации (гармонические синусоидальные колебания, бигармонические — два синусоидальных колебания разной частоты, импульсные, по специальной программе). По принципу действия испытательные вибростенды подразделяют на механические, электродинамические, электромагнитные, пьезоэлектрические и электрогидравлические. Наиболее распространены механические и электродинамические стенды. У большинства виброустановок стол с изделием совершает гармонические колебания в горизонтальной или вертикальной плоскостях. Испытательные вибростенды характеризуются параметрами, определяющими их воздействие на изделия (частота колебаний или ударов, амплитуда, ускорение), и грузоподъемностью, т. е. предельным значением массы испытуемого изделия, допустимой для данной установки. Установки для испытаний на прочность имитируют условия транспортной тряски.

**Механические вибрационные стенды.** Принцип действия простейшего механического вибростенда показан на рис. 8.1. Кривошип 1 вращается двигателем с угловой скоростью  $\omega$ . Тяга 2 шарнирно соединена как с кривошипом, так и с направляющим стержнем стола 3, кото-

рый вместе с изделием совершает поступательное движение в вертикальной плоскости. Скорость движения стола меняется по синусоидальному закону.

На рис. 8.2 показана схема вибростенда типа ВУ-15. Колебательную систему установки составляют две массы, связанные между собой пружинами 4 и 5. В первую массу входит стол 1 с испытуемыми изделиями, а во

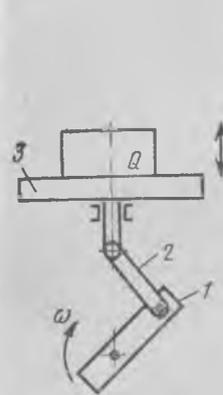


РИС. 8.1. Схема эксцентрикового вибростенда, поясняющая принцип его действия

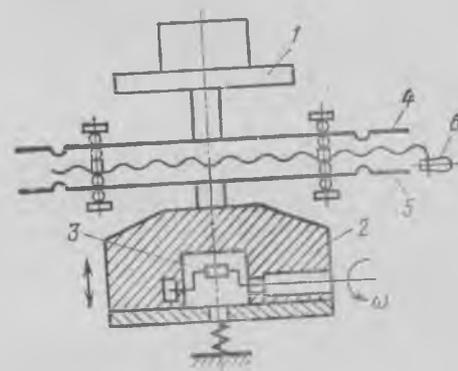


РИС. 8.2. Схема вибростенда ВУ-15

вторую — реактивная масса 2 с эксцентриковым возбуждающим устройством 3. При вращении эксцентрика центробежная сила заставляет массу 2 совершать поступательное движение в вертикальной плоскости. Это движение передается столу 1 через систему пружин 4 и 5. Частоту колебаний стола регулируют изменением числа оборотов двигателя, вращающего эксцентрик, а амплитуду колебаний — изменением рабочей длины пружин 4 и 5 с помощью ручки 6. Эксцентриковые стенды потребляют малую мощность, но имеют низкий диапазон частот вибрации (до 100 Гц).

Конструктивная схема центробежного вибростенда с неуравновешенными массами в виде смещающихся стальных секторов приведена на рис. 8.3. Неуравновешенные массы 1 насажены на вал, связанный с двигателем системой шестерен, и вращаются в противоположные стороны. Горизонтальные составляющие результирующих центробежных сил  $F_1$  и  $F_2$  взаимно уничтожаются, а вертикальные — складываются и вызывают пря-

молинейное синусоидальное колебание стола 2, подвешенного на пружине 3, в вертикальной плоскости. При изменении относительного положения секторов меняется результирующая вертикальная составляющая центробежных сил, а следовательно, и амплитуда колебаний стола. Частота колебаний зависит от числа оборотов двигателя. Центробежные стенды широко применяют для испытаний в диапазоне частот до 500 Гц.

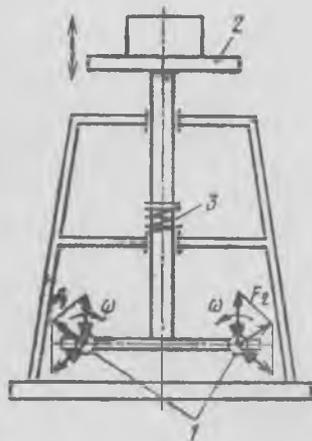


РИС. 8.3. Схема центробежно-го вибростенда

**Электродинамические вибростенды** обеспечивают получение колебаний в широком диапазоне частот (от де-

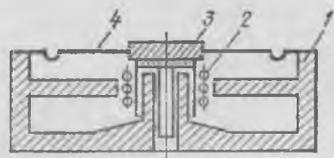


РИС. 8.4. Схема электродинамического вибростенда

сятков до тысяч герц). Конструктивная схема вибростенда показана на рис. 8.4. Вибростенд содержит постоянный магнит 1, в воздушный зазор которого установлена подвижная катушка 2, жестко связанная со столом 3, закрепленным на приливах магнита пружинами 4. Через катушку пропускают переменный ток, который взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита. Синусоидальное изменение тока вызывает синусоидальные колебания стола с испытуемым изделием. Недостаток стенда — возможное потребление электроэнергии, а достоинство — возможность получения большой частоты колебания (до 10000 Гц).

Значительно более экономичны электродинамические вибростенды с регулируемой упругостью пружин, в которых при настройке собственной частоты подвижной системы на частоту переменного тока, питающего подвижную катушку, амплитуда колебаний возрастает в несколько раз при той же затрате энергии переменного

тока. Принцип действия такого стенда аналогичен принципу действия вибростенда, изображенного на рис. 8.4.

#### Оборудование для испытаний на ударные нагрузки.

Испытания на ударные нагрузки производят на механических и электродинамических стендах. Наиболее просты по конструкции механические стенды. Принцип действия таких стендов основан на создании ударных ускорений в вертикальном направлении при ударе свободно падающего стола об упругие наковальни.

На рис. 8.5 представлена конструктивная схема механического ударного стенда для испытаний на ударную прочность и на ударную устойчивость. Стол 1 с испытуемыми изделиями периодически поднимается эксцентриком 2 и падает на амортизаторы 3. Эксцентрик вращается двигателем 4 с угловой скоростью  $\omega$ . Стол укреплен на направляющих штоках 5, которые перемещаются в отверстиях подставки 6 и придают столу вертикальное направление движения. Коэффициент перегрузки при ударе зависит от высоты свободного падения и упругих свойств амортизатора.

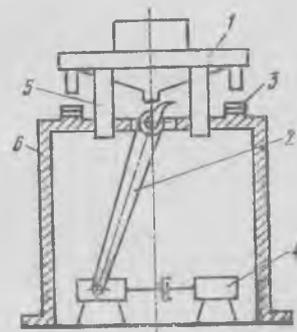


РИС. 8.5. Схема электродинамического вибростенда

Импульсы ускорения различных форм получают за счет применения гидравлических и механических средств торможения, а также выполнения упругих элементов из резины, фетра, свинца, пружин. Измерение параметров ударных воздействий производят с помощью тензометрического акселерометра, установленного на столе.

**Оборудование для испытаний на воздействие линейного (центробежного) ускорения.** Испытания на воздействие линейных (центробежных) ускорений проводят на центрифугах, создающих в горизонтальной плоскости радиально-направленные ускорения. На рис. 8.6 показана конструктивная схема малогабаритной центрифуги, развивающей ускорение до 25g при максимальной массе испытуемых изделий до 12 кг. Основание 4 центрифуги представляет собой литую плиту с приливами, на которой установлены электродвигатель 3 и тахогенератор 5,

служащий для определения числа оборотов центрифуги. Эта система связана редуктором с платформой 1. Для подведения к испытуемым изделиям необходимого питания и подключения контрольно-испытательной аппаратуры предназначен специальный щиток 6. Испытуемые изделия подключаются к клеммной колодке 2, имеющей электрическую связь с щитком 6 через коллектор, расположенный на валу центрифуги.

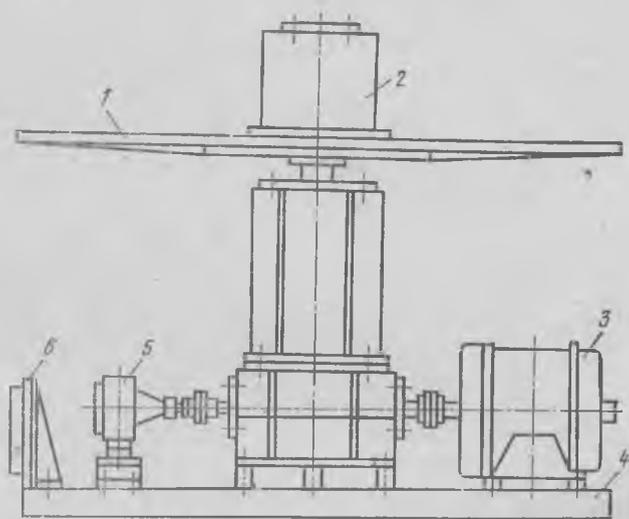


РИС. 8.6. Малогабаритная центрифуга

**Устройство и принцип работы акселерометров.** При механических испытаниях для фиксации параметров механических воздействий используют акселерометры пьезоэлектрические, тензометрические струнные и потенциометрические.

Пьезоэлектрические акселерометры бывают двух типов: работающие на сжатие (рис. 8.7,а) и на изгиб (рис. 8.7,б). В качестве пьезоэлектрика чаще всего используют кристаллы титаната бария. Верхнюю и нижнюю поверхности кристалла 4 в акселерометре, работающем на сжатие (акселерометр компрессионного типа), покрывают серебром, после чего к этим поверхностям припаивают выходные клеммы. Кристалл приклеивают к корпусу 1, прикрепленному к испытательному стенду. Ускорение корпуса акселерометра и груза 3 вызывают

силы сжатия, действующие на пьезоэлектрик, в результате чего на противоположных гранях его возникает разность потенциалов, пропорциональная ускорению корпуса. Пружина 2 предотвращает разрушение кристалла при больших ускорениях.

В акселерометре, работающем на изгиб, используется балка 5 с приклеенными к ней одним или двумя пьезокристаллами. Балка, в качестве материала которой служит обычно фосфористая бронза, жестко закрепляется к основанию 6 на одном или обоих концах, или в середине. Силы уско-



РИС. 8.7. Конструктивные схемы пьезоэлектрических акселерометров

РИС. 8.8. Схемы тензометрического акселерометра:

а — конструктивная, б — электрическая

рения вызывают деформацию балки, а следовательно, и пьезокристаллов. В результате на выходе появляется разность потенциалов, пропорциональная ускорению. Акселерометры, работающие на изгиб, могут быть использованы при более высоких значениях  $g$ , чем акселерометры компрессионного типа.

Широко применяется тензометрический акселерометр (рис. 8.8,а). На балку приклеивают измерительный тензодатчик  $R_{И}$ . На конец балки помещают груз массой  $m$ . Под действием ускорений сила  $F$ , изгибающая балку, изменяется пропорционально величине ускорений ( $F = mg$ ). Тензодатчик включен в одно из плеч моста (рис. 8.8,б), условие равновесия которого  $R_{И}/R_{К} = R_1/R_2$ . Сопротивление измерительного тензодатчика  $R_{И}$  изменяется под действием сил деформации балки.

Величина деформации балки линейно связана с величиной деформирующего усилия  $F$ , а следовательно, и с величиной ускорения. Поэтому показания прибора  $P$

пропорциональны действующим ускорениям. Второй тензодатчик  $R_k$  приклеивается к балке так, что его сопротивление не изменяется при деформациях балки и служит для компенсации температурных изменений сопротивления измерительного тензодатчика. Основным преимуществом акселерометра этого типа по сравнению с пьезоэлектрическим является возможность измерения большого диапазона ускорений (от долей  $g$  до  $1000g$ ).

Сигналы, вырабатываемые рассмотренными акселерометрами, малы и требуют усиления. Для устранения высокочастотных помех, воздействующих на считываемые результаты вследствие удара при испытании, используют фильтры.

**Определение резонансных частот.** На практике используют несколько методов определения резонансных частот: пьезоэлектрический, электретный, емкостный.

При пьезоэлектрическом методе резонансных частоты испытуемых изделий определяют по сигналу с малого пьезодатчика 2 (рис. 8.9), прикрепленного гермозамазкой к изделию 1. Малый пьезодатчик представляет собой пьезоэлемент из керамики ЦТС-19 в форме диска с посеребренными поверхностями диаметром до 10 мм, толщиной 0,3—1 мм и массой 2—500 мг. Чувствительность таких пьезодатчиков равна 0,05—1 мВ/г, а частота собственных колебаний более 100 кГц. К посеребренным поверхностям дисков легкоплавким припоем припаяны выводы из провода ПЛШО диаметром 0,13 мм, с помощью которых сигнал с пьезодатчика 2 через катодный повторитель 3 подается на ламповый вольтметр 4 и осциллограф 5. На другой вход осциллографа и на ламповый вольтметр 6 через катодный повторитель 7 подается сигнал с контрольного пьезодатчика 8, прикрепленного гермозамазкой к столу вибростенда 9.

В результате сложения сигналов от малого и контрольного пьезодатчиков на экране осциллографа высвечивается эллипс. При плавном изменении частоты колебаний вибростенда и при поддержании постоянства ускорения на резонансной частоте испытуемого изделия наблюдается увеличение напряжения на малом пьезодатчике и поворот на  $90^\circ$  эллипса на экране осциллографа. Для согласования высокоомного выхода пьезодатчиков с малым входным сопротивлением осциллографа используют катодные повторители (3 и 7), имеющие входное сопротивление  $R_{вх} \geq 300$  МОм. Во избежание наводок

применяют экранированные соединительные провода. Экраны проводов заземляют.

При определении резонансных частот емкостным методом используют увеличение сигнала емкостного датчика при резонансе, которое происходит в результате изменения емкости между неподвижно установленным электродом (одна пластина конденсатора) и вибрирующим испытуемым образцом (другая пластина конденсатора).

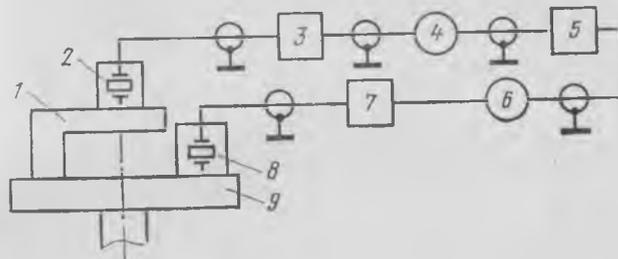


РИС. 8.9. Схема для определения резонансных частот

Определение резонансных частот изделий электретным методом производят с помощью электретных датчиков (электретов), представляющих собой поляризованный диэлектрик.

**Измерение параметров удара.** При измерении параметров удара регистрируют ускорение (амплитуду), длительность, форму ударного импульса и время нарастания ударного ускорения. На рис. 8.10 приведена структурная схема измерительной установки. Для преобразования ускорения в электрический сигнал используется пьезоэлектрический преобразователь ускорения ПУ — пьезоэлектрический акселерометр. Электрический сигнал регистрируется электронным осциллографом ЭО с ждущей разверткой и длительным подсвечиванием. Для согласования выходного сопротивления ПУ с входным сопротивлением ЭО используют согласующий усилитель СУ (например, катодный повторитель). Фильтр Ф служит для снижения уровня шумов СУ и исключения влияния резонанса измерительного преобразователя ускорения ПУ.



РИС. 8.10. Структурная схема измерительной установки для определения параметров удара

Определение величины ускорения, длительности и времени нарастания ускорения ударного импульса производят по осциллограмме ударного импульса с учетом коэффициента преобразования ПУ. Форму ударного импульса находят сравнением формы импульса с экрана осциллографа, снятого на кальку или фотобумагу, с трафаретами по методике, определяемой НТД.

### 8.3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

**Испытания на вибрационные нагрузки.** Испытание радиодеталей и радиокомпонентов на вибрационные нагрузки — это один из основных и наиболее широко применяемых видов механических испытаний. При испытаниях на обнаружение резонансных частот изделия, имеющие собственные амортизаторы, испытывают без амортизаторов при жестком креплении. Испытание проводят при воздействии вибрации в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений по отношению к изделию (если в НТД не указано иное). Испытание на определение резонансных частот рекомендуется проводить на электродинамических вибростендах, так как они обеспечивают проверку изделия в широком диапазоне частот (10—5000 Гц) при малых нелинейных искажениях.

Поиск резонансных частот и *испытание на виброустойчивость* производят плавным изменением частоты вибрации вибростенда при постоянных амплитуде и ускорении. Скорость изменения частоты при этом должна быть такой, чтобы обеспечить возможность проверки и регистрации необходимых параметров испытываемого изделия, а также обнаружения и регистрации резонансов. При обнаружении резонансных частот или частот, на которых параметры ухудшаются, изделие дополнительно выдерживают при вибрации на данной частоте. Признаком совпадения собственной частоты изделия с частотой возмущающей силы, при которых наступает резонанс, является увеличение амплитуды колебаний изделия и изменение фазы колебаний на 90°.

*Испытание на вибропрочность* проводят непрерывным изменением частоты вибрации во всем диапазоне (для данной степени жесткости) от нижнего значения до верхнего и обратно (или в поддиапазонах): методом ка-

чающейся частоты; методом фиксированных частот или комбинированным методом. При испытании методом качающейся частоты частоту вибрации вибростенда плавно изменяют в определенном диапазоне, включающем резонансные частоты изделия. При испытаниях методом фиксированных частот устанавливают определенную частоту вибрации вибростенда и на этой частоте выполняют все контрольно-измерительные работы, предусмотренные НТД. Испытания проводят на одной или нескольких частотах, а также на резонансных частотах изделия.

**Испытания на ударные нагрузки.** Большинство радиодеталей и радиокомпонентов подвергают испытаниям на воздействие ударных нагрузок. Цель испытаний заключается в том, чтобы проверить способность изделия выдерживать разрушающее воздействие ударов и продолжать нормально функционировать после их прекращения (испытания на ударную прочность), а также способность изделий выполнять свои функции при воздействии ударных нагрузок (испытания на ударную устойчивость). Испытания на ударную прочность могут производиться под электрической нагрузкой или без нее, а на ударную устойчивость — только под электрической нагрузкой. Величина ускорения и длительность импульса при ударе, а также общее количество ударов задают в НТД. После проведения испытаний изделия осматривают и измеряют их параметры (изделие должно полностью выполнять свои функции и сохранять электрические параметры в пределах требований НТД). Испытания на ударную устойчивость проводят после испытаний на ударную прочность. Иногда эти испытания совмещают.

**Испытания на устойчивость к воздействию ускорения.** Целью этих испытаний является проверка способности радиодеталей и радиокомпонентов противостоять разрушающему действию линейного (центробежного) ускорения и выполнять при этом свои функции. Изделия жестко крепят к рабочему столу стенда последовательно в вертикальном, горизонтальном или любом другом положении, допускаемом при эксплуатации. После чего с помощью специальных балансов устанавливают динамическое равновесие стола. Перед включением стенда стол поворачивают на 360° и проверяют плавность его хода. После включения стенда (центрифуги) «разгоня-

ют» стол. Скорость разгона стола должна лежать в пределах от 0,5 до 50g. С такой же скоростью происходит и торможение стэнда после его выключения.

**Испытания на воздействие звукового давления.** Радиодетали и радиокомпоненты, на которые в процессе эксплуатации воздействуют звуковые давления, подвергают специальным испытаниям. Цель испытаний — проверка способности изделий противостоять разрушающему действию акустического шума и выполнять свои функции, сохраняя неизменность электрических параметров. Изделия крепятся на специальном столе с учетом допускаемых эксплуатационных положений. Механически нагружаемые изделия испытывают с реальными нагрузками или их эквивалентами. Испытания ведут под электрической нагрузкой или без нее, при воздействии на изделие равномерного звукового давления заданной величины в определенном спектре частот. При испытаниях стремятся обнаружить у изделий резонансные частоты, на которых амплитуда колебаний изделия возрастает в два и более раза или наблюдаются ухудшения их параметров.

В качестве источников звукового давления используют электродинамические преобразователи, реактивные струи воздуха, маломощные прямоточные двигатели и специальные сирены. Они обеспечивают получение звуковых колебаний в диапазоне частот от 60 до 10000 Гц с допустимой погрешностью по частоте колебаний  $\pm 10\%$  и с плавной регулировкой ширины полосы частот. Уровень силы звука, создаваемого установками, достигает 170 дБ с плавной регулировкой в пределах от 90 до 170 дБ при допустимой погрешности по величине звукового давления  $\pm 5\%$ . Звуковые давления с помощью специальных микрофонов записывают магнитофонами или измеряют специальной аппаратурой. Для анализа спектра сигналы подают на специальные анализаторы.

## Глава 9

### ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ

#### 9.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ

*Испытания на надежность, в результате которых устанавливаются показатели надежности изделий, называют определительными.* Эти показатели включают

в НТД. Определительные испытания проводят выборочно. Большое экономическое значение при этом имеет правильный выбор электрических параметров, по которым проверяют изделие. Чтобы максимально уменьшить объем испытаний, выбирают минимальное количество комплексных параметров, проверка которых дает возможность убедиться в нормальной работе изделия. Каждый из комплексных параметров должен обеспечивать проверку работы многих элементов. Так, например, измерение тока в режиме холостого хода трансформатора обнаруживает многие дефекты материалов и сборки трансформатора. Другой важной задачей является определение условий испытаний, которые должны быть близки к реальным условиям эксплуатации испытуемых изделий.

*Испытания, проводящиеся для контроля уровня надежности, называют контрольными.* В процессе этих испытаний выявляют, не ухудшалась ли надежность контролируемой партии изделий по сравнению с той, по которой были установлены показатели надежности. Контрольные испытания на надежность проводят однократной выборкой или последовательным анализом.

Существует несколько способов получения статистических данных об отказах, по которым можно дать количественную характеристику надежности изделий. Для определения показателей надежности резисторов, конденсаторов, транзисторов, катушек индуктивности, дросселей и других неремонтируемых изделий проводят испытание одновременно многих изделий до отказа каждого из них и фиксируют наработку. Пусть на испытание поставлены  $N_0$  изделий данного типа и наработка до отказа каждого элемента  $t_i$  зафиксирована. По полученным данным можно определить среднюю наработку до отказа и интенсивность отказов  $\lambda$ :

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i, \quad \lambda = \frac{1}{T_{\text{ср}}}.$$

Информацию об отказах радиодеталей и радиокомпонентов получают от предприятий, которые изготавливают РЭА, эксплуатируют или ремонтируют ее, от организаций, которым поручена опытная эксплуатация, а также из сведений об отказах (рекламаций), которые

присылают потребители заводам-изготовителям. Для оценки надежности изделий широко используют специальные испытания на надежность, к которым относятся: *испытания на срок службы, ускоренные испытания на срок службы и испытания на разрушение.*

При испытаниях на срок службы группа изделий работает до выхода из строя в условиях, близких к условиям эксплуатации. При ускоренных испытаниях на срок службы изделие работает при повышенных нагрузках: механических, электрических и тепловых. Например, при повышенных ускорениях, повышенной или пониженной температуре, повышенной электрической нагрузке. Ускоренные испытания дают большой выигрыш времени, затрачиваемого на проведение испытаний. Но они имеют существенный недостаток — трудно найти зависимость между результатами испытаний и показателями надежности в реальных условиях эксплуатации.

При испытаниях на разрушение нагрузка на изделие (например, электрическая нагрузка) увеличивается до тех пор, пока не произойдет отказ. Эти испытания используют только для сравнительной оценки надежности элементов (компонентов) одного и того же изделия. Они не позволяют определить показатели надежности изделий.

## 9.2. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

**Оборудование рабочих мест для электрических испытаний.** Испытательные работы проводят на специальных рабочих местах. Рабочие места для испытаний должны удовлетворять следующим требованиям.

1. Содержать измерительную и испытательную аппаратуру, позволяющую проверять все параметры, предусмотренные НТД.

2. Применяемая аппаратура должна быть надежной, обладать стабильными параметрами и обеспечивать: высокую производительность испытания, простоту, безопасность и экономичность испытаний, однообразие результатов замеров одинаковых параметров на разных рабочих местах, минимальную зависимость результатов испытаний от внешних факторов.

3. Измерительная и испытательная аппаратура должна проверяться в установленные сроки и иметь паспорт

с указанием даты проверки на соответствие техническим требованиям.

4. Выполнение требований техники безопасности.

Проверка параметров изделия включает следующие операции: подключение к испытываемому изделию источников питания, источников входных сигналов и измерительной аппаратуры, установку заданных параметров входных сигналов, отсчет по измерительным приборам параметров изделия.

В серийном производстве значительное снижение трудоемкости контрольно-испытательных работ достигается использованием специальных стендов. Наибольший экономический эффект получают при использовании автоматических стендов для комплексной проверки изделия по всем параметрам. Такие стенды дают возможность производить автоматическую проверку параметров и автоматическое разделение изделия по сортам или другим признакам. Полуавтоматические стенды и стенды с ручным управлением применяют как в крупносерийном, так и в мелкосерийном производстве. Они широко применяются для проверки параметров резисторов, конденсаторов, полупроводниковых приборов и других радиодеталей и радиокомпонентов.

При проектировании рабочего места для испытаний используют следующую документацию: функциональную схему рабочего места с указанием стандартной и нестандартной измерительной аппаратуры и оборудования; принципиальные схемы и чертежи нестандартных приборов и оборудования; схемы размещения аппаратуры и испытываемого изделия на рабочем месте; схему соединений рабочего места; инструкцию по проведению испытаний; калькуляцию стоимости оборудования рабочего места; паспорт на каждое рабочее место с указанием сроков проверки приборов и перечня документации, прилагаемой к рабочему месту.

**Выбор и подключение измерительной аппаратуры.**

В экспериментальном и мелкосерийном производстве измерительную аппаратуру подбирают, как правило, из числа стандартных универсальных измерительных приборов. После успешных испытаний опытных образцов изделий массового применения разрабатывают специальную аппаратуру, повышающую производительность труда регулировщиков и испытателей. Разработка этой аппаратуры и ее изготовление входят в технологиче-

скую подготовку крупносерийного и массового производства.

Одно из главных требований к измерительной и испытательной аппаратуре заключается в том, что подключение ее не должно существенно влиять на режим работы испытуемого изделия. Для оценки этого влияния сравнивают внутреннее сопротивление подключаемого прибора с сопротивлением изделия. В большинстве случаев можно считать допустимым включение прибора в цепь последовательно, если выполняется равенство  $Z_{вн} \leq 10Z_{ц}$ , где  $Z_{вн}$  — внутреннее сопротивление прибора;  $Z_{ц}$  — сопротивление цепи, измеренное между точками подключения прибора. При включении прибора в цепь параллельно необходимо выполнение неравенства:  $Z_{вн} \geq 10Z_{ц}$ .

**Оценка погрешностей измерений.** Точность измерительных приборов в общем случае существенно зависит от частоты, на которой производятся измерения, от температуры окружающей среды, напряжения сети и диапазона измеряемых величин. Требования к точности измерений параметров задают ТУ на испытуемое изделие. Отклонение параметров прибора или системы от его номинального значения — величина случайная и подчиняется, как правило, нормальному закону распределения. Поэтому допустимое среднеквадратическое отклонение параметра  $\sigma_{общ}$  определяют по формуле

$$\sigma_{общ} = \sqrt{\sigma_{сист}^2 + \sigma_{пр}^2}$$

где  $\sigma_{сист}$  — среднеквадратическое отклонение параметра системы;  $\sigma_{пр}$  — среднеквадратическая ошибка измерений параметра (погрешность прибора).

Допуск на параметр должен соответствовать величине  $3\sigma_{общ}$ . Если  $\sigma_{пр} \leq 0,1\sigma_{сист}$ , то практически  $\sigma_{общ} = \sigma_{сист}$  и при рассмотрении причин отклонения параметра от номинального значения ошибкой его измерения пренебрегают.

К погрешностям измерительных приборов относят систематические и случайные ошибки. Причинами систематических ошибок могут быть: изменение параметров различных элементов схемы прибора; изменения температуры, напряжения питающей сети или частоты по сравнению с теми значениями, при которых производилась градуировка прибора; погрешность самой гра-

дуировки и др. Величину и знак систематической ошибки определяют сравнением показаний проверяемого и образцового приборов. Систематические ошибки, обусловленные старением элементов прибора и неточностью градуировки шкалы, можно уменьшить с помощью поправочного графика.

К случайным ошибкам относят: ошибки из-за параллакса, глазомерные погрешности при отсчете долей деления шкалы, ошибки, вызванные случайными колебаниями напряжения сети, частоты, температуры и т. д. Случайные ошибки подчиняются нормальному закону распределения. Оценку их производят многократным измерением (не менее 10 раз) одной и той же величины. Пусть прибором измерена  $n$  раз в одинаковых условиях одна и та же величина  $A$ . Результаты измерений  $A_1, A_2, \dots, A_n$  отличаются друг от друга. Среднее арифметическое результатов измерений равно  $A_{ср} = (A_1 + A_2 + \dots + A_n) / n$ . При отсутствии систематических ошибок среднее арифметическое ряда измерений тем ближе к истинному значению  $A_{ист}$ , чем больше число измерений  $n$ .

Случайные ошибки измерений называют остаточными погрешностями  $\rho_i$  и определяют как разность результата данного измерения  $A_i$  и среднего арифметического ряда измерений:  $\rho_i = A_i - A_{ср}$ . Среднеквадратическую ошибку определяют как выборочное среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = \pm \sqrt{1/(n-1)(\rho_1^2 + \rho_2^2 + \dots + \rho_n^2)}$$

Максимальная ошибка отдельного измерения  $\Delta_{max} = 3\sigma$ . Результаты измерений величины  $A$  сводят в таблицу. Полученные данные дают возможность оценить случайные погрешности испытуемого прибора.

**Методы измерения параметров.** При подключении измерительного прибора к испытуемому изделию образуется схема с новыми параметрами. В результате изменяются токи и напряжения и измеряемый параметр определяется неточно даже при абсолютной точности измерительного прибора. Значительное влияние на параметры измеряемой цепи оказывает внутреннее сопротивление прибора. Другим источником дополнительных погрешностей служат ошибки, возникающие вследствие того, что измеряемая величина не полностью подводит-

ся к входу измерительного прибора из-за паразитных связей, индуктивности и емкости монтажа измерительной схемы.

На рис. 9.1 приведены электрические схемы, поясняющие влияние паразитных связей. Через амперметр  $A$  протекает только часть измеряемого тока  $I'$ , так как ток  $I''$  уходит через паразитные емкости (рис. 9.1,а). К вольтметру  $V$  (рис. 9.1,б) подводится только часть

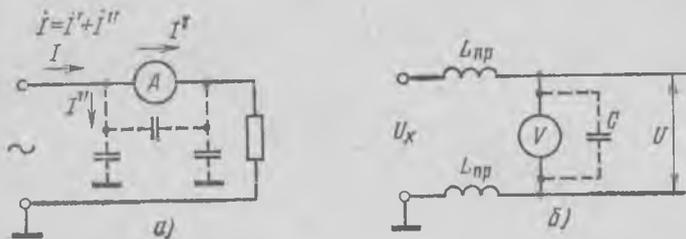


РИС. 9.1. Схемы, поясняющие влияние паразитных емкостей амперметра (а) и индуктивностей соединительных проводов вольтметра (б)

измеряемого напряжения  $U_x$ , так как другая его часть теряется на индуктивности проводов  $L_{пр}$ . Иногда значения параметра определяют методом расчета по результатам измерений других величин.

Рассмотрим некоторые типовые примеры.

**Пример 1.** Параметр  $x$  равен алгебраической сумме измеренных величин:  $x = A_1 \pm A_2$ . Обозначив среднеквадратические ошибки измерений величин  $A_1$  и  $A_2$  соответственно через  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , имеем среднеквадратическую ошибку измерения параметра  $x$

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}.$$

**Пример 2.** Параметр  $x$  равен произведению или отношению величин  $A_1$  и  $A_2$ :  $x = A_1 A_2$  или  $x = A_1 / A_2$ . Обозначив относительные ошибки измерений величин  $A_1$  и  $A_2$  соответственно через  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ , имеем относительную ошибку измерения  $x$ :

$$\gamma_x = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2}.$$

На практике проведение расчетов снижает производительность труда, требует более высокой квалификации работников и приводит к дополнительным ошибкам. Поэтому желательно обеспечить непосредственный отсчет измеряемого параметра по шкале прибора.

### 9.3. ОСНОВЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПЫТАНИЙ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ НА НАДЕЖНОСТЬ

Основной целью испытаний, как указывалось выше, является получение ответа на вопрос, удовлетворяет ли данная партия изделий техническим требованиям, в частности надежности. Рассмотрим некоторые вопросы, связанные с планированием и проведением выборочных испытаний.

Пусть задано граничное значение некоторого показателя надежности  $\theta$ :  $\theta_m \geq \theta$ , где  $\theta_m$  — истинное значение показателя надежности. Испытания должны либо подтвердить справедливость этого неравенства, либо опровергнуть его и тем самым забраковать партию. Однако результат выборочных испытаний случаен. Это означает, что при сколь угодно высоком значении  $\theta_m$  всегда существует отличная от нуля вероятность получения отрицательного результата, точно так же, как и сколь угодно низкое его значение может дать положительный результат. Следовательно, существует возможность ошибки как при положительном, так и при отрицательном исходе испытаний. Одной из задач планирования испытаний как раз и является обеспечение малой вероятности этих ошибок.

Заказчика, понятно, в первую очередь, интересует обеспечение малой вероятности ошибки при положительном исходе испытаний. В случае, когда партия принимается, для заказчика необходима высокая степень уверенности в том, что это решение правильно. С этой целью устанавливают максимальное значение возможности приемки партии при  $\theta_m < \theta$ . Эту вероятность обозначают  $\beta$  и называют риском заказчика. Величина  $\beta$  лежит в пределах 0,05—0,2 и служит гарантией того, что «плохая» партия изделий не будет принята.

Испытания планируются так, чтобы при любом  $\theta_m < \theta$  вероятность приемки партии не превышала  $\beta$ . Планирование испытаний в этом случае называют планированием по одному уровню. Такой подход к планированию испытаний, учитывающий только интересы заказчика, широко распространен. Но это неприемлемо для изготовителя. Чтобы обеспечить благоприятные условия сдачи готовой продукции, изготовитель добивается при выпуске изделий значительно более высокого уровня надежности, чем требуемый по техническим условиям и

стандартам ( $\theta_n > \theta$ ). Поэтому исходные данные для планирования испытаний лучше задавать в виде двух уровней надежности. Устанавливают два значения показателя надежности партии: приемочный  $\theta_\alpha$  и браковочный  $\theta_\beta$ , причем должно выдерживаться соотношение  $\theta_\alpha > \theta_\beta$ .

Устанавливают и два показателя достоверности испытаний:  $\alpha$  — вероятность, браковки партии с надежностью  $\theta_n = \theta_\alpha$  (риск изготовителя) и  $\beta$  — вероятность приемки партии с надежностью  $\theta_n = \theta_\beta$  (риск заказчика). Эти вероятности выбирают в пределах 0,05—0,2. Такой подход гарантирует, с одной стороны, успешную сдачу «хороших» партий (с показателем надежности  $\theta_\alpha$  и выше), а с другой — уверенность в браковке «плохих» партий (с показателем надежности  $\theta_\beta$  и ниже), что отвечает интересам изготовителя партии и заказчика. В этом случае планирование контрольных испытаний называют *планированием по двум уровням*.

Контроль надежности партии изделий проводят по любому из показателей, дающих количественную оценку надежности. Если закон распределения времени безотказной работы экспоненциальный, то задают либо  $\lambda$  ( $\lambda_\alpha$  и  $\lambda_\beta$ ), либо  $T_{ср}$  ( $T_{ср\alpha}$  и  $T_{ср\beta}$ ), либо  $P$  ( $\tau_1$ ) [ $P_\alpha(\tau_1)$  и  $P_\beta(\tau_1)$ ]. При нормальном законе распределения задают  $T_{ср}$  ( $T_{ср\alpha}$  и  $T_{ср\beta}$ ) и  $P$  ( $\tau_1$ ) [ $P_\alpha(\tau_1)$  и  $P_\beta(\tau_1)$ ]. Наконец, когда закон распределения  $T$  неизвестен, контролируемые показателями являются  $P$  ( $\tau_1$ ) [ $P_\alpha(\tau_1)$  и  $P_\beta(\tau_1)$ ] и  $P$  ( $\tau_2$ ) [ $P_\alpha(\tau_2)$  и  $P_\beta(\tau_2)$ ].

Для каждого из используемых показателей надежности и для каждого из рассматриваемых законов распределения  $T$  производят отдельные исследования и планирование, испытания и их обработку. При планировании испытаний рассматривают и экономические вопросы. Существенную экономию при проведении испытаний можно получить в затратах труда, материалов, средств и времени, рационально выбирая программы испытаний и системы обслуживания испытательной аппаратуры.

Для подсчета экономии при выборе той или иной программы испытаний и упрощения обслуживания аппаратуры в процессе испытаний используют следующую методику. Основные предложения по рациональному проведению испытаний и внесению в их процессе изменений

в конструкцию изделия сводят в таблицу (в качестве образца приведена табл. 9.1). Затем подсчитывают экономию от реализации этих предложений. Каждый из показателей производства и испытаний (затраты средств труда, времени, обслуживающего персонала и т. д.) оценивают на стадии макетных испытаний опытного или серийного образца. Далее подсчитывают экономию от внедрения рекомендаций по рациональному проведению испытаний. Следовательно, еще до окончания разработки изделия каждая рекомендация по проведению испытаний экономически оценена как для заказчика, так и для поставщика.

Заполнение таблицы и соответствующий подсчет позволяют определить сравнительные достоинства той или иной программы испытаний, совершенство системы обслуживания и экономические показатели. В колонке 1 приводится краткое описание рекомендаций по изменению проведения испытаний или изменений, вносимых в образец для повышения надежности и улучшения обслуживания в процессе испытаний. В колонке 2 записывают количество образцов изделия, поставляемых заказчику на испытания. В колонке 3 указывают количество изменений в программе испытаний или предлагаемых изменений в образцах изделий. Произведение чисел, стоящих в колонках 2 и 3, характеризует выигрыш или проигрыш от изменения конструкции изделий и выполнения рассматриваемой программы испытаний. Данные колонок 4—9 используют для нахождения суммарной экономии или потерь поставщика, которые получают от внедрения рекомендаций по проведению испытаний.

Любое увеличение времени на изменение конструкции образца или изменение программы испытаний является однократным. Выигрыш или потери в процессе производства испытаний повторяются в соответствии с числом рекомендаций за время выполнения всей программы испытаний. В колонке 7 записывают стоимость проведения испытаний до принятия рекомендаций, а в колонке 8 — после внедрения рекомендаций. Суммарную экономию или убытки, являющиеся результатом внесения изменений в изделие или программу испытаний, записывают для каждого отдельного образца в колонку 9 в числитель, а общее суммарное изменение стоимости испытаний всех выпущенных образцов — в знаменатель.

Таблица 9.1

Рекомендации по изменению конструкции образца для повышения надежности	Количество		Поставщик					
			Человеко-часы			Затраты средств		
	образцов	изменений в программе испытаний и в образце	первоначальные	предлагаемые	суммарные	первоначальные	предлагаемые	суммарные
1	2	3	4	5	6	7	8	9

В колонках 10—15 помещают данные, позволяющие заказчику выбрать программу испытаний и количество испытуемых образцов. Суммарные экономия или потери заказчика при испытаниях изделия являются функцией его надежности, правильности выбора программ испытаний, наработки изделия в процессе испытаний, количества образцов.

Общий экономический эффект от внедрения рекомендаций, выраженный в человеко-часах или стоимости, связанный с количеством пунктов программы испытаний или количеством плановых проверок и профилактических работ, подсчитывают путем умножения цифр колонок 2, 3 и 9 для поставщика и 2, 3 и 15 для заказчика.

#### 9.4. УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ И ИХ АВТОМАТИЗАЦИЯ

**Ускоренные испытания.** Как было показано ранее, на надежность работы изделий в реальных условиях эксплуатации влияют различные факторы, поэтому для правильной оценки реальной надежности изделие испытывают при воздействии тех факторов, которые наиболее сильно на нее влияют. Но проведение экспериментального исследования в реальных условиях требует длительного времени и существенных экономических затрат. Если же известны закономерности влияния различных факторов на работоспособность изделий, то можно, увеличивая амплитуду воздействия, определять надежность изделий в сжатые сроки. Испытания, при которых изделия подвергаются воздействию определенных факторов, позволяющих выявить характер изменения работоспособности изделий за счет направленного

Заказчик					
Человеко-часы			Затраты средств		
первоначальные	предлагаемые	суммарные	первоначальные	предлагаемые	сум-
10	11	12	13	14	15

изменения условий работы, называют ускоренными испытаниями. В процессе ускоренных испытаний повышенная нагрузка на изделия ведет к сравнительно быстрому их изнашиванию и старению.

При ускоренных испытаниях значения воздействующих на изделия факторов (температура, электрическое на-

пряжение, ток, рассеиваемая мощность) должны, как правило, превышать предельные значения, при которых еще сохраняется нормальная работа изделий. Испытания должны проводиться по относительно простой методике и с незначительными экономическими затратами. Действительное ускорение появления отказов достигается выбором такого режима работы изделий, когда отказы появляются в той же последовательности, что и при эксплуатации в реальных условиях. В этом и заключается основная трудность широкого применения метода ускоренных испытаний. Положительное решение может быть достигнуто экспериментальным определением условий проведения ускоренных испытаний, например сравнением законов распределения времени наступления отказов в реальных условиях и при эксперименте.

Характеристиками ускоренных испытаний служат временной и нагрузочный коэффициенты. *Временной коэффициент*  $K_t$  определяют отношением времени  $t_n$ , в течение которого при номинальной нагрузке было выявлено определенное количество отказов, к времени  $t_p$ , в течение которого было выявлено то же количество отказов при повышенных нагрузках:  $K_t = t_n / t_p$ . *Нагрузочный коэффициент*  $K_n$  определяют из отношения количества отказов  $N_p$ , выявленных после определенного времени работы (в часах) при повышенных нагрузках, к количеству отказов  $N_n$ , полученных после определенного времени работы при номинальных нагрузках:  $K_n = N_p / N_n$ . Для определения относительного влияния характера различных рабочих условий, которым подвергаются изделия в процессе испытаний, наиболее удобен нагрузочный коэффициент.

При проведении ускоренных испытаний главная задача состоит в выборе критерия, с помощью которого можно было бы добиться соответствия характеристик надежности, полученных при ускоренных испытаниях, характеристикам при работе в реальных условиях. Таким критерием является коэффициент подобия  $K = T_0/T_{0y}$ , где  $T_0$  и  $T_{0y}$  — количественное значение наработки на отказ в реальных условиях и при ускоренных испытаниях соответственно.

Таблица 9.2

Вид радиодетали	Коэффициенты подобия при $K_H$ :			
	1	1,3	1,7	2
Резисторы	2,2	3,8	5	1,5
Конденсаторы	3	8,2	27	67
Кристаллические диоды	27	45	89	134

Коэффициенты  $K$  при  $K_H=1-2$  для некоторых радиодеталей, работающих в режиме, соответствующем 60% номинальной нагрузки, температуре 30°C (при реальных условиях) или +75°C (при ускоренных испытаниях), приведены в табл. 9.2.

Длительность ускоренных испытаний  $t_y$  определяют по формуле  $t_y = t_p/K$ , где  $t_p$  — заданный интервал работы в реальных условиях.

**Автоматизация испытаний.** Полноценный контроль работоспособности и надежности изделий зависит от средств, которыми он осуществляется. В соответствии со степенью участия человека в процессе контроля различают три вида средств контроля: *ручные, полуавтоматические и автоматические*. К ручным средствам контроля относят электро- и радиоизмерительные приборы, а также предельные калибры, измерительные инструменты и приспособления. Ручные и полуавтоматические средства контроля целесообразно применять при единичном производстве, в лабораториях и при типовых испытаниях. При массовом и серийном производстве рост числа операций контроля приводит к применению автоматических средств контроля.

Особый интерес представляет использование автоматических унифицированных систем контроля, позволяющих контролировать различные изделия. Внедрение

таких систем контроля, несмотря на их высокую начальную стоимость, оправдывается за счет снижения расходов на обслуживающий персонал (сокращение его численности), уменьшения количества различных средств контроля и увеличения скорости контроля (последнее сокращает износ и старение изделий во время контроля). Автоматические системы контроля (АСК) обеспечивают: контроль работоспособности и надежность изделий, поиск неисправностей, количественную оценку выходных параметров и обработку результатов измерений с помощью вычислительных устройств, выдачу информации в виде команд, сигналов или цифр для принятия контролером (оператором) определенных решений.

## Глава 10

### ИСПЫТАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

#### 10.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

В проблеме надежности полупроводниковых приборов наиболее сложная научная и техническая задача заключается в получении их стабильных параметров при различных внешних воздействиях. Одним из наиболее важных факторов, ограничивающих использование полупроводниковых приборов, является сильная зависимость их параметров от температуры, поэтому в НТД указываются предельно допустимые температуры окружающей среды. Существенное влияние на характеристики полупроводниковых приборов оказывают также механические и климатические воздействия.

**Полупроводниковые диоды.** Основные предельно допустимые эксплуатационные данные полупроводниковых диодов: наибольший выпрямленный ток и амплитуда обратного напряжения. Оба эти параметра существенно зависят от температуры окружающей среды, поэтому в НТД обычно приводят данные для различных температур. Так, например, для диодов КД209А наибольшая амплитуда обратного напряжения составляет 400 В в диапазоне температур от -60 до +100°C, а наибольший допустимый выпрямленный ток 700 мА в диапазоне температур от -60° до +55°C. Амплитуда обратного напряжения (в целях повышения надежности) во всех

случаях не должна превышать 80% от наибольшего (предельно допустимого) значения.

Существенным недостатком всех полупроводниковых диодов является большой разброс прямого и обратного сопротивлений разных диодов одного и того же типа. Это затрудняет последовательное и параллельное соединение диодов, применяемое для увеличения предельно допустимых значений амплитуды обратного напряжения и наибольшего выпрямленного тока. При последовательном соединении обратное напряжение на диодах распределяется пропорционально обратным сопротивлениям диодов. А это нередко приводит к выходу из строя диода, который обладает наибольшим значением обратного сопротивления. При параллельном соединении протекающий через диоды ток распределится не равномерно, а обратно пропорционально прямым сопротивлениям диодов. Это может привести к выходу из строя (из-за перегрева слишком большим током) того из параллельно включенных диодов, который обладает наименьшим значением прямого сопротивления.

Для обеспечения приблизительно одинаковых условий работы последовательно и параллельно включенных диодов их подбирают по прямому и обратному сопротивлениям. Однако такой подбор связан не только с производственными и эксплуатационными трудностями. Он недостаточно эффективен, так как температурные зависимости прямого и обратного сопротивлений различны для разных диодов. Диоды, подобранные в нормальных условиях, оказываются непригодными для использования в РЭА в других (изменившихся) условиях. Поэтому правильнее не подбирать диоды, а подключать резисторы (параллельно диодам при последовательном их соединении и последовательно с диодами при их параллельном соединении). Рекомендуемые величины сопротивлений резисторов для последовательного и параллельного соединений диодов проводятся в НТД. Применение шунтирующих и добавочных резисторов вызывает дополнительный расход мощности, однако это с экономической точки зрения целесообразнее, чем подбор диодов.

**Транзисторы.** К основным предельно допустимым эксплуатационным данным транзисторов относят: наибольшую мощность, рассеиваемую коллектором; наибольшие напряжения коллектор — эмиттер, коллектор — база и

эмиттер — база; наибольшее значение токов коллектора и эмиттера.

*Наибольшая мощность, рассеиваемая коллектором.* В НТД обычно приводят значение наибольшей мощности  $P_{\max}$ , рассеиваемой коллектором при температуре  $+25^{\circ}\text{C}$ , и указывают, на сколько снижается эта мощность при повышении температуры на каждые  $10^{\circ}\text{C}$ . В интервале температур от  $25$  до  $100^{\circ}\text{C}$  рассеиваемую мощность определяют по формуле

$$P_T = P_{\max} (t_{п\max} - t_{окр}) / (t_{п\max} - 25^{\circ}\text{C}), \quad (10.1)$$

где  $t_{п\max}$  — наибольшая температура перехода.

*Наибольшие напряжения коллектор — эмиттер, коллектор — база и эмиттер — база.* Наибольшие напряжения между электродами транзистора зависят от температуры (в НТД приводятся наибольшие их значения для различных температур). Так, например, для транзисторов КТ604А максимально допустимое постоянное напряжение коллектор — эмиттер при температурах перехода от  $-40$  до  $+100^{\circ}\text{C}$  равно  $250$  В, а при температуре перехода  $+150^{\circ}\text{C}$  равно  $125$  В. В интервале температур от  $+100$  до  $+150^{\circ}\text{C}$  напряжение снижается на 10% на каждые  $10^{\circ}\text{C}$ .

**Испытания полупроводниковых приборов.** Для проверки полупроводниковых приборов на соответствие требованиям НТД изготовитель проводит приемо-сдаточные и периодические испытания, а также испытания на гарантийную наработку.

При *приемо-сдаточных испытаниях* партиями предъявляют на приемку приборы одного типа, изготовленные в течение последних трех месяцев в количестве до 22000. Их подвергают двум видам проверки: проверка основных габаритных размеров и внешнего вида (состояние защитных покрытий, расположение выводов относительно корпуса прибора, качество маркировки и другие требования, проверяемые визуальным осмотром) и проверка электрических параметров, которые отнесены к приемо-сдаточным испытаниям. Приемо-сдаточные испытания проводят методом двукратной выборки или методом сплошного контроля (если количество приборов в партии не более 300).

Приемлемый уровень качества  $P$  (процент дефектных приборов на партию) устанавливается НТД на приборы конкретных типов. В табл. 10.1 приведены параметры

планов выборочного и сплошного контроля качества приборов при приемо-сдаточных испытаниях для четырех уровней качества (0,65; 1,0; 1,5 и 2,5). Например, при  $P=0,65\%$ , объеме партии  $N=301-500$  и выборке № 1 испытывается 35 приборов. При этом  $c=0$ ,  $r=3$ . Если  $c=0$ , партию принимают, если  $r=3$ , — бракуют.

Таблица 10.1

Объем партии $N$ , шт.	Номер выборки	Размер выборки $n$	Приемлемый уровень качества $P$							
			0,65		1,00		1,50		2,50	
			$c$	$r$	$c$	$r$	$c$	$r$	$c$	$r$
1—300	1	—	Сплошной (100%) контроль То же							
	2	—								
301—500	1	35	0	3	0	3	1	3	1	5
	2	70	2	3	2	3	2	3	4	5
501—800	1	50	0	3	1	4	1	6	2	7
	2	100	2	3	3	4	5	6	6	7
801—1 300	1	75	1	3	1	6	2	8	4	9
	2	150	2	3	5	6	7	8	8	9
1 301—3 200	1	100	1	6	2	6	3	8	5	12
	2	200	5	6	5	6	7	18	11	12
3 201—8 000	1	150	2	7	3	8	5	14	7	19
	2	300	6	7	7	8	13	14	18	19
8 001—22 000	1	200	3	8	4	10	6	17	9	25
	2	400	7	8	9	10	16	17	24	25

Примечание.  $c$  и  $r$  приемное и браковочное числа.

При  $c=1$  или  $c=2$  проводят испытания по выборке № 2, т. е. испытывают 70 приборов. Если после испытаний суммарное число бракованных приборов меньше двух, партию принимают, если больше, — бракуют.

При периодических испытаниях приборы подвергают контролю по следующим показателям: на смачиваемость выводов припоем и неповреждаемость приборов при пайке; на механическую прочность выводов; измерение электрических параметров, проверка которых в НТД на приборы конкретных типов отнесена к периодическим испытаниям; на отсутствие коротких замыканий и обрывов; на теплоустойчивость; на холодоустойчивость; на устойчивость к циклическим изменениям температуры; на ударную прочность; на вибропрочность; на устойчи-

вость к постоянному ускорению; на влагоустойчивость и герметичность; на стабильность работы.

Испытаниям подвергают 20 образцов приборов в каждой группе (всего три группы испытаний). При этом в каждой группе должно быть не более одного испытываемого прибора конкретного типа, не удовлетворяющего требованиям НТД.

Испытания на гарантийную наработку проводят один раз в 12 месяцев. Испытаниям подвергают 100 образцов приборов конкретного типа, выпускаемых по одной НТД. При этом ежеквартально на испытание отбирают не менее 20 приборов, прошедших приемо-сдаточные испытания. Результаты испытаний оценивают ежегодно по суммарной наработке приборов.

## 10.2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Все испытания полупроводниковых приборов, если это не оговорено в НТД на приборы конкретных типов, проводят при температуре  $25 \pm 10^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха  $65 \pm 15\%$  и атмосферном давлении  $(0,1-0,96) \cdot 10^5$  Па. Внешний вид, размеры, защитные покрытия, качество сварных соединений, лужение выводов и качество маркировки проверяют визуальным осмотром и при помощи мерительных инструментов или специальных калибров. Качество покрытий проверяют после испытания приборов на влагоустойчивость. Термическую стойкость стекла (керамики) и спая стекла (керамики) с металлом проверяют при испытании приборов на циклическое воздействие температуры. Массу прибора определяют без упаковки взвешиванием его на весах (допустимая погрешность  $\pm 5\%$  от номинальной массы прибора). Электрические параметры приборов проверяют в объеме, последовательности и по методике, указанной в НТД на приборы конкретного типа.

Испытания приборов на длительное воздействие влаги, морского тумана и грибоустойчивость проводят один раз при освоении производства, а также при изменениях конструкции и защитных покрытий приборов, которые могут повлиять на устойчивость к воздействию тропического климата.

*Смачиваемость выводов припоем и неповреждаемость приборов при пайке* проверяют погружением на 2—3 с луженых частей выводов, предварительно смоченных флюсом, в ванну с расплавленным припоем (температура припоя  $250 \pm 10^\circ\text{C}$ ). Признаком пригодности выводов к пайке является свободное растекание припоя по поверхности вывода.

*Механическую прочность выводов* проверяют так. При испытании выводов на растяжение корпус прибора должен закрепляться, а выводы находиться в нормальном положении относительно корпуса. К выводам поочередно в направлении их осей прикладывают нагрузку, постепенно увеличивая ее. Время выдержки не более 2 мин. При испытании гибких выводов на изгиб каждый вывод прибора подвергают натяжению относительно корпуса и изгибают относительно опоры с радиусом закругления 1,5—2 мм на расстоянии 3 мм относительно корпуса или от начала гибкой части составных выводов. Каждый вывод должен выдерживать не менее трех изгибов. Под изгибом вывода понимают отклонение его на  $90^\circ$  от нормального положения и последующего приведения его в первоначальное положение.

*При испытании выводов на воздействие скручивающего момента* к выводу прикладывают усилие так, чтобы скручивающему усилию подвергались места соединений вывода с основанием прибора. Усилия прикладывают плавно, без толчков. При всех испытаниях механической прочности выводов принимают меры, обеспечивающие неповреждаемость спая стекла (керамики) с металлом, так как механические напряжения в местах спая стекла (керамики) с металлом вызывают разрушение вывода.

*Отсутствие в приборах обрывов* проверяют, подвергая их 40 ударам (частотой не менее 15 ударов в минуту с ускорением  $75 \pm 20g$ ) под электрической нагрузкой. Одновременно с помощью индикаторов ведется контроль отсутствия обрывов. Испытания *на отсутствие коротких замыканий* проводят, подвергая приборы вибрации с частотой  $50 \pm 10$  Гц с ускорением  $10 \pm 3 g$  в течение 20 мин под электрической нагрузкой. Отсутствие в приборах коротких замыканий контролируют с помощью специальных индикаторов.

*Теплоустойчивость* приборов проверяют следующим образом. Приборы помещают в камеру тепла, темпера-

туру в которой доводят до предельно допустимой температуры окружающей среды или корпуса прибора, и выдерживают при этой температуре под электрической нагрузкой в течение 30 мин. По истечении времени испытания, не извлекая приборы из камеры, измеряют их электрические параметры. После извлечения из камеры приборы выдерживают 2 ч в нормальных условиях. Затем осматривают и вновь измеряют электрические параметры.

*Устойчивость приборов к воздействию циклических изменений температуры* проверяют в такой последовательности. Приборы помещают в камеру тепла, испытательная температура в которой заранее установлена, и выдерживают в течение 30 мин, затем переносят в камеру холода с заданной температурой и также выдерживают 30 мин. Время переноса приборов из камеры в камеру не должно превышать 1 мин. По истечении времени выдержки в камере холода приборы переносят в камеру тепла. Цикл повторяют три раза, а затем производят внешний осмотр и измерения.

*Устойчивость приборов к механическим нагрузкам* (вибропрочность, ударная прочность, постоянное ускорение) проверяют без электрической нагрузки при жестком креплении приборов (без амортизаторов) к платформе испытательных стендов. Испытания проводят поочередно в двух наиболее опасных положениях. Общее время испытаний распределяют поровну между испытаниями в каждом положении. До начала испытания и после него приборы осматривают и измеряют их электрические параметры.

*Ударную прочность* приборов проверяют на ударном стенде, подвергая приборы 750 ударам в каждом положении с ускорением  $75 \pm 20g$  и частотой 20—80 ударов в минуту.

*Вибропрочность* приборов проверяют на вибростенде, дающем колебания гармонического характера. Испытания проводят в диапазоне частот 10—600 Гц при плавном изменении частот в следующих поддиапазонах (Гц): 10—20; 20—30; 30—50; 50—70; 70—100; 100—150; 150—200; 200—300; 300—400; 400—600. При этом амплитуда колебаний в поддиапазонах должна быть равна 1,5 мм, а ускорение вибраций  $10 \pm 1g$ . Время прохождения поддиапазона — 1 мин. На высшей частоте каждого поддиапазона прибор выдерживают 2 мин. Один раз в год

приборы выдерживают на высшей частоте каждого поддиапазона 1 ч.

Устойчивость приборов к воздействию постоянного ускорения проверяют на центрифуге. Испытания проводят в течение 30 мин при ускорении  $25 \pm 5g$ .

Влагоустойчивость приборов проверяют в камере влаги с относительной влажностью воздуха 95—98% и температурой  $+40 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 96 ч без электрической нагрузки. После извлечения из камеры и двухчасовой выдержки в нормальных условиях прибор осматривают и измеряют его электрические параметры. Причем маркировка испытанных приборов должна оставаться разборчивой, не должно наблюдаться повреждение защитного покрытия и появления коррозии на металлических деталях приборов. Приборы считаются герметичными, если при испытании на влагоустойчивость электрические параметры соответствуют нормам.

Проверку приборов на стабильность работы производят в течение 100 ч под электрической нагрузкой. Перед установкой приборов на испытания измеряют их электрические параметры. По окончании испытаний приборы выдерживают в нормальных условиях, т. е. при температуре  $25 \pm 10^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха  $65 \pm 15\%$  и атмосферном давлении  $(100 \pm 4) \cdot 10^3$  Па, осматривают и снова измеряют их электрические параметры, а также проверяют дрейф при включении приборов. Необходимость проведения такой проверки, ее методика и перечень проверяемых параметров оговаривают в НТД на приборы конкретных типов. Проведение проверки на стабильность можно совмещать с проведением испытаний на *гарантийную наработку*. В этом случае испытания продолжают в течение времени гарантийной наработки с учетом времени проведенной проверки на стабильность в режимах и условиях, указанных в НТД на приборы конкретных типов, но не менее 5000 ч. В течение одного месяца время работы приборов должно быть не менее 400 ч. Электрические параметры для этого вида испытаний измеряют через 100, 500, 1000 и далее через каждые 1000 ч после выдержки в нормальных условиях. Обобщение результатов испытаний производят один раз в год.

Интенсивность отказов  $\lambda$  за время гарантийной наработки  $T$  вычисляют по формуле  $\lambda = (1 - P_{\text{ст}}) / T$ , где  $P_{\text{ст}}$  — среднестатистическое значение вероятности без-

отказной работы, равное

$$P_{\text{ст}} = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - d_i)}{\sum_{i=1}^k n_i},$$

где  $n_i$  — размер  $i$ -й выборки ( $i=1, 2, 3, \dots$ );  $d_i$  — число дефектных приборов в выборке;  $k$  — число приборов.

### 10.3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

**Измерение электрических параметров полупроводниковых диодов.** При различных видах испытаний полупроводниковых диодов в общем случае измеряют их постоянный обратный ток и прямое напряжение. Для конкретных типов диодов добавочно измеряют и другие параметры. Например, при испытаниях стабилитронов и стабилиторов измеряют дифференциальное сопротивление и напряжение стабилизации. При испытаниях полу-

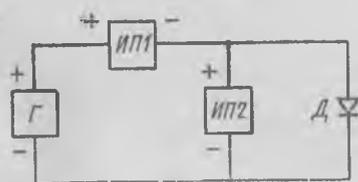


РИС. 10.1. Схема измерения постоянного обратного тока:  $G$  — генератор напряжений; ИП1 — измеритель постоянного тока; ИП2 — измеритель постоянного напряжения;  $D$  — испытуемый диод

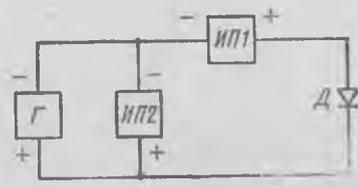


РИС. 10.2. Схема измерения постоянного прямого напряжения

проводниковых туннельных диодов измеряют, например, параметры вольт-амперной характеристики (ток пика и впадины, напряжение пика и др.) и отрицательную проводимость перехода.

Электрическая схема установки для измерения постоянного обратного тока приведена на рис. 10.1. Измерение производят так: на испытуемый диод  $D$  подают нужное постоянное напряжение от источника  $G$ , которое фиксируется измерительным прибором ИП2; по при-

бору ИП1 определяют обратный ток диода. Погрешность измерений при использовании стрелочных приборов должна быть не более  $\pm 15\%$  в пределах рабочей части шкалы, а при использовании приборов с цифровым отсчетом — не более  $\pm 5\%$  от измерительного значения.

Электрическая схема установки для измерения постоянного прямого напряжения диода приведена на рис. 10.2. Измерение производят так: через испытуемый диод Д пропускают постоянный прямой ток заданной величины, который фиксируется прибором ИП1, прибор ИП2 при этом покажет прямое напряжение диода. Погрешность измерений при использовании стрелочных приборов и приборов с цифровым отсчетом должна быть не более  $\pm 5\%$ . Падение напряжения на соединительных проводах и контактах измерительной схемы не должно превышать  $\pm 2\%$  от рабочей части шкалы прибора.

**Измерение параметров транзисторов.** При различных видах испытаний транзисторов в общем случае измеряют: начальный ток коллектора, обратный ток эмиттера, коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером, емкость р-п-переходов и др.

**Измерение начального тока коллектора.** Электрическая схема установки приведена на рис. 10.3. Измерение производят так: от источника постоянного тока на коллектор транзистора подают заданные НТД напряжения  $U_K$  и  $U_{бэ}$  и с помощью ИП1 измеряют  $I_{кэс}$ . Падение напряжения на внутреннем сопротивлении прибора ИП1 при измерениях не должно превышать  $\pm 5\%$  от показаний ИП2. Если оно выше, то увеличивают напряжение источника питания  $U_K$  на значение, равное падению напряжения на внутреннем сопротивлении прибора ИП1. Пульсация напряжения питания  $U_K$  не должна превышать  $\pm 2\%$ . Погрешность измерений допускается такой же, как при измерениях параметров полупроводниковых диодов.

По схеме рис. 10.3 можно испытывать и мощные высоковольтные транзисторы импульсным методом. При этом источник постоянного тока заменяют генератором импульсов. Длительность импульса выбирают из соотношения  $\tau_{и} \geq 10\tau$ , где  $\tau = R_{\Sigma}C_{\Sigma}$ ;  $R_{\Sigma}$  — суммарное сопротивление внешней цепи (в том числе внутреннее сопротивление генератора импульсов);  $C_{\Sigma}$  — емкость коллекторного перехода испытуемого транзистора, значение

которой указано в НТД на транзисторы конкретных типов.

**Измерение обратного тока эмиттера.** Электрическая схема установки для измерения обратного тока эмиттера приведена на рис. 10.4. Измерения производят так: от источника постоянного тока на эмиттер подают обратное

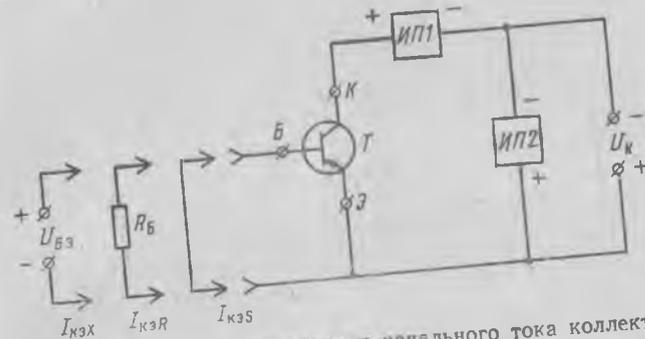


РИС. 10.3. Схема для измерения начального тока коллектора: ИП1 — измеритель постоянного тока; ИП2 — измеритель постоянного напряжения;  $U_{и}$  — напряжение источника питания коллектора;  $R_{б}$  — резистор в цепи базы;  $T$  — испытуемый транзистор;  $U_{бэ}$  — напряжение источника питания эмиттера — база;  $I_{кэс}$  — ток в цепи коллектор — эмиттер при заданном обратном напряжении коллектор — эмиттер и короткозамкнутых выводах эмиттера и базы;  $I_{кэх}$  — при заданном обратном напряжении эмиттер — база

напряжение  $U_{э}$  и считывают значение обратного тока эмиттера по прибору ИП1. Падение напряжения на внутреннем сопротивлении измерителя постоянного тока ИП1 не должно быть более  $\pm 5\%$  от показаний измерителя постоянного напряжения ИП2. Если падение напряжения на внутреннем сопротивлении ИП1 более  $\pm 5\%$ , то напряжение  $U_{э}$  увеличивают на значение, равное падению напряжения на внутреннем сопротивлении прибора ИП1. Пульсация напряжения  $U_{э}$  не должна превышать  $2\%$ .

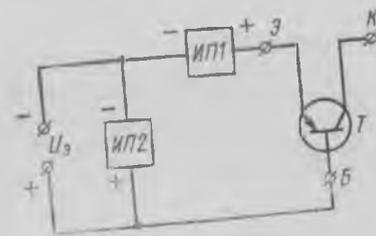


РИС. 10.4. Схема для измерения обратного тока эмиттера: ИП1 — измеритель постоянного тока; ИП2 — измеритель постоянного напряжения;  $U_{э}$  — напряжение источника питания эмиттера;  $T$  — испытуемый транзистор

## ИСПЫТАНИЯ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

## 11.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ДАННЫЕ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

Резисторы и конденсаторы являются наиболее массовыми элементами РЭА. Снижение опасности отказов резисторов даже на небольшую величину существенно влияет на повышение надежности аппаратуры. Поэтому при конструировании РЭА тщательно анализируют режимы и условия, в которых резисторы и конденсаторы будут работать, чтобы не допустить превышения предельно допустимых значений мощностей, напряжений и токов, а также использование их в условиях, на которые они не рассчитаны. К предельно допустимым эксплуатационным параметрам резисторов относят: номинальное значение рассеиваемой мощности  $P_{ном}$  и предельно допустимое рабочее напряжение  $U_{пред}$ .

*Номинальное значение мощности, рассеиваемой резистором — наибольшая мощность постоянного или пере-*

менного тока, которую резистор может длительное время рассеивать, не изменяя существенно величины своего сопротивления. Эта величина зависит от температуры окружающей среды и режима работы резистора. Так, например, для постоянных углеродистых непроволочных резисторов типа ВС, выпускаемых на номинальные рассеиваемые мощности от 0,125 до 10 Вт, номинальное значение рассеиваемой мощности может принимать-

ся в качестве предельно допустимого только для постоянного и синусоидального напряжений в интервале температур от  $-60$  до  $+40^\circ\text{C}$ . При температуре выше  $40^\circ\text{C}$  предельно допустимое значение рассеиваемой мощности резко падает, составляя при  $100^\circ\text{C}$  только 15% от номинального. Это значит, что при температуре  $100^\circ\text{C}$  на

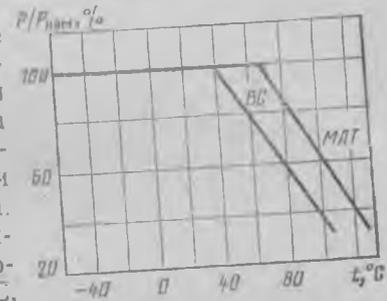


РИС. 11.1. Зависимость предельно допустимой нагрузки резисторов ВС и МЛТ от температуры окружающей среды

Измерение коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером. На практике измерить параметр  $h_{21э}$  можно различными методами. Например, на постоянном токе, на импульсном токе без нуль-органа или с нуль-органом. Для примера рассмотрим измерение параметра  $h_{21э}$  на постоянном токе. Электрическая схема измерительной установки показана на рис. 10.5. Измерение параметра  $h_{21э}$  производят так: испытуемый тран-

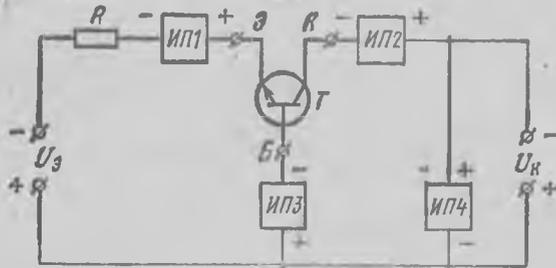


РИС. 10.5. Схема измерения  $h_{21э}$  на постоянном токе:

ИП1, ИП2, ИП3 — измерители постоянного тока (при измерении  $h_{21э}$  задают  $I_к$  и ИП1 отсутствует, при измерении  $(h_{21э} + 1)$  задают  $I_э$  и ИП2 отсутствует); ИП4 — измеритель постоянного напряжения; R — токозадающий резистор;  $U_к$ ,  $U_э$  — источники постоянного напряжения; Т — испытуемый транзистор

зистор Т подключают к схеме. Устанавливают заданный в НТД режим по постоянному току. По приборам ИП1—ИП3 определяют токи эмиттера, коллектора и базы. Значение параметра  $h_{21э}$  находят по формуле  $h_{21э} = I_к/I_э$  или  $h_{21э} = (I_э/I_э) - 1$ . При измерениях  $h_{21э}$  на постоянном токе соблюдают условие

$$I_{к6} \leq I_к/50 \quad h_{21э \max} = I_э/50(1 + h_{21э \max}),$$

где  $I_{к6}$  и  $I_к(I_э)$  — значения обратного тока коллектора, найденного при заданном напряжении  $U_к$ , и тока коллектора (эмиттера), взятого из НТД на транзисторы конкретных типов. Источники  $U_к$  и  $U_э$  должны обеспечивать значение токов коллектора и эмиттера, заданных в технической документации на транзисторы конкретных типов. Падение напряжения на ИП2 и ИП3 должно быть меньше или равно  $0,1 U_к$ . Падение напряжения в цепи базы должно быть менее  $50 \text{ мВ}$ .

резисторе ВС-2 (номинальная мощность 2 Вт) можно рассеивать не более 0,3 Вт.

Для определения допустимой нагрузки на резистор (в процентах от номинальной) в зависимости от температуры окружающей среды для резисторов типа ВС используются графиком рис. 11.1. Средняя допустимая электрическая нагрузка при действии импульсного напряжения снижается вдвое. Для резисторов постоянных металлопленочных лакированных теплостойких типа МЛТ, выпускаемых на номинальные рассеиваемые мощности от 0,125 до 2 Вт, номинальная рассеиваемая мощность считается предельно допустимой, если температура окружающей среды не превышает 70°C и резистор работает при непрерывной нагрузке. При температуре свыше 70°C предельно допустимая мощность рассеяния снижается по сравнению с номинальным значением в соответствии с рис. 11.1.

*Предельно допустимое рабочее напряжение резистора* — напряжение, превышение которого при любых условиях недопустимо ( $U_{\text{раб}} \leq U_{\text{пред}}$ ). Величина  $U_{\text{пред}}$  определяется опасностью электрического пробоя. Рабочее напряжение  $U_{\text{раб}}$ , при котором резистор может работать достаточно долго, определяют по формуле

$$U_{\text{раб}} = U_{\text{ном}} = \sqrt{P_{\text{ном}} R}, \quad (11.1)$$

где  $P_{\text{ном}}$  — номинальная (предельно допустимая) мощность рассеяния;  $R$  — сопротивление резистора.

Непроволочные резисторы широкого применения выпускают на предельное рабочее напряжение 100—1500 В. Чем больше длина непроволочного резистора, тем обычно больше и предельно допустимое напряжение. Например, предельно допустимые рабочие напряжения резисторов типа МЛТ, работающих при постоянном (и синусоидальном) и импульсном токах, следующие:

200 и 350 В для МЛТ-0,125;

250 и 450 В для МЛТ-0,25;

350 и 750 В для МЛТ-0,5;

500 и 1000 В для МЛТ-1;

700 и 1200 В для МЛТ-2 соответственно.

Рассмотрим условия применения некоторых типов резисторов. Резисторы типа МЛТ предназначены для работы в условиях непрерывной и импульсной нагрузок в интервале температур от -60 до +125°C, относитель-

ной влажности воздуха до 98% при температуре окружающей среды 35°C, давлении воздуха  $5,3 \cdot 10^3$ — $1,04 \cdot 10^5$  и вибрации в диапазоне частот от 10 до 2000 Гц с ускорением до 15 g. Резисторы типа ВС предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов в непрерывных импульсных режимах устройств широкого применения. Интервал рабочих температур этих резисторов от -60 до +125°C. Они рассчитаны для работы при относительной влажности воздуха 98%, при температуре 35°C и атмосферном давлении от 0,133 до  $12 \cdot 10^4$  Па. Резисторы ВС выдерживают: вибрационные нагрузки в диапазоне от 1 до 2000 Гц с ускорением от 5 до 10 g, ударные нагрузки с ускорением от 15 до 75 g с длительностью удара от 2 до 15 мс и линейные нагрузки с ускорением от 25 до 150 g.

Для конденсаторов предельно допустимыми эксплуатационными данными являются номинальное рабочее напряжение постоянного тока, наибольшая амплитуда напряжения переменного тока и наибольшее значение реактивной мощности.

*Номинальное рабочее напряжение конденсатора* — максимальное напряжение постоянного тока, при котором конденсатор может работать, не выходя из строя достаточно долгое время (более 10 тыс. ч). Наибольшая амплитуда напряжения переменного тока для конденсаторов обычно приводится в документации для различных частот. Если конденсаторы предназначены для работы в цепях пульсирующего тока, то документация на них задает отношение, в котором могут находиться амплитуда напряжения переменного тока и величина рабочего напряжения постоянного тока. Наибольшее значение реактивной мощности рассчитывают по формуле:  $P_q = U^2 \omega C$ , где  $U$  — эффективное значение напряжения переменной составляющей;  $\omega$  — частота;  $C$  — емкость.

Свойства конденсаторов характеризуются следующими основными параметрами: номинальной емкостью и допустимыми отклонениями ее фактической величины от номинальной; электрической прочностью; сопротивлением изоляции; потерями; собственной индуктивностью; параметрами, характеризующими стабильность емкости при воздействии температуры (температурный коэффициент емкости — ТКЕ); влажностью, климатическими и механическими факторами, размерами и массой. По

этим параметрам производится подбор нужных конденсаторов для конкретных режимов работы и условий эксплуатации.

Каждый тип конденсатора предназначен для работы при определенных условиях эксплуатации. Например, конденсаторы малогабаритные металобумажные постоянной емкости типа МБМ предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего то-

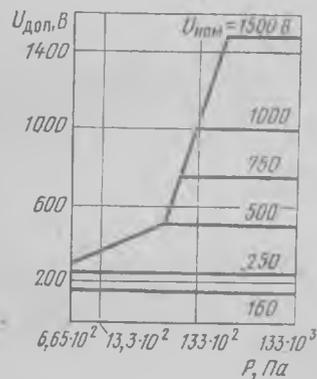


РИС. 11.2. Зависимость допустимого напряжения  $U_{доп}$  от атмосферного давления для конденсаторов типа МБМ

ков при номинальных рабочих напряжениях 160, 250, 500, 750, 1000 и 1500 В. Допустимое напряжение конденсатора  $U_{доп}$  в рабочем интервале атмосферных давлений не должно превышать значений, определяемых по рис. 11.2.

При работе конденсаторов типа МБМ в цепях синусоидального переменного тока частотой до 100 Гц эффективное значение напряжения должно быть: не более 60 В при  $U_{ном} = 160-250$  В, не более 100 В при  $U_{ном} = 500-750$  В, не более 150 В при  $U_{ном} = 1000-1500$  В. Конденсаторы обычного исполнения работают в интервале температур от  $-60$  до  $+70^\circ\text{C}$  при относительной

влажности воздуха до 98% при температуре  $25^\circ\text{C}$ , а конденсаторы внеклиматического исполнения — при влажности воздуха до 98% и температуре  $35^\circ\text{C}$ . Конденсаторы типа МБМ выдерживают вибрационные нагрузки в диапазоне частот от 1 до 2000 Гц при ускорении до 15 g, многократные удары с ускорением до 15 g длительностью от 2 до 15 мс и линейные ускорения до 50 g. Конденсаторы работают в условиях пониженного атмосферного давления до 665 Па (5 мм рт. ст.).

Конденсаторы керамические литые секционные типа КЛС на номинальное напряжение от 35 до 200 В предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов, а также в импульсном режиме в качестве контурных, разделительных и блокировочных. Конденсаторы работают при температуре окружающего возду-

ха от  $-60$  до  $+85^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха до 98% при температуре  $40^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении не ниже 665 Па. Конденсаторы выдерживают вибрации в диапазоне частот от 1 до 600 Гц с ускорением до 10 g, линейные нагрузки с ускорением до 50 g, одиночные удары с ускорением до 150 g при длительности удара 1—3 мс и многократные удары с ускорением до 15 g при длительности удара 2—15 мс.

Для проверки соответствия резисторов и конденсаторов требованиям НТД предприятие-изготовитель проводит приемосдаточные (контрольные), периодические, квалификационные, типовые испытания и испытания на надежность. В состав этих испытаний входят электрические, механические и климатические испытания, а также проверка конструкции, маркировки и упаковки.

## 11.2. ИСПЫТАНИЯ РЕЗИСТОРОВ

**Электрические испытания.** К электрическим испытаниям постоянных резисторов относят: измерение сопротивления и э.д.с. шумов, определение зависимости сопротивления от напряжения и измерение его под непрерывной электрической нагрузкой, проверку импульсной электрической нагрузкой, определение электрической прочности изоляции и сопротивления изоляции (для изолированных резисторов). Для переменных резисторов дополнительно производят контроль: минимального сопротивления и начального скачка сопротивления, непрерывности контактирования проволочных резисторов и плавности изменения сопротивления непроволочных резисторов, функциональной характеристики изменения сопротивления (А, Б и В), переходного сопротивления контакта выключателя и э.д.с. шумов вращения.

Измерение сопротивления постоянных и переменных резисторов можно осуществить с помощью измерительного моста постоянного или переменного тока частотой 50 Гц. Возможно применение и вольт-амперного метода. Напряжение на измеряемом резисторе не должно превышать 30% напряжения, соответствующего его номинальной мощности рассеяния, и 10% его предельного рабочего напряжения. Измерительное напряжение включают кратковременно (не более 1 с) с необходимым для отсчета числом повторений. Интервалы между включениями должны быть не менее 5 с.

Напряжение  $U_{ном}$ , соответствующее номинальной мощности рассеяния резистора, в вольтах вычисляют по формуле (11.1).

Относительное отклонение сопротивления от номинального определяют по формуле

$$\delta_o = \frac{R_{ф} - R_{ном}}{R_{ном}} \cdot 100 [\%],$$

где  $R_{ном}$  и  $R_{ф}$  — номинальное и фактическое (измеренное) сопротивления резистора соответственно (Ом, кОм, МОм, ГОм, ТОм).

Относительное изменение сопротивления в результате воздействия на резистор различных факторов находят из формулы  $\delta_{п} = (R_2 - R_1) / R_1$ , где  $R_1$  и  $R_2$  — сопротивления, измеренные до испытания и во время или после испытания (Ом, кОм, МОм, ГОм, ТОм).

*Измерение э. д. с. шумов* постоянных и переменных резисторов осуществляют с помощью шумометра. При отсутствии шумометра применяют установку, приведенную на рис. 11.3, с первой отсчетной точкой шкалы вольтметра  $V$  не более 5 мкВ. Напряжение постоянного тока  $U_R$  на испытуемом резисторе должно соответствовать его номинальной мощности и быть не более предельного рабочего напряжения. Сопротивление разделительного резистора  $R_p$  должно быть того же порядка, что и сопротивление  $R$  проверяемого резистора.

Напряжение источника питания  $U$  (в вольтах) вычисляют по формуле  $U = U_R(R + R_p) / R$ , где  $R$  и  $R_p$  — сопротивления проверяемого и разделительного резисторов, Ом;  $U_R$  — напряжение на проверяемом резисторе, В.

Электродвижущую силу шумов  $E$  (в микровольтах) находят по формуле

$$E = U_{ш} \left( 1 + \frac{R_{вх} + R_p}{R_{вх} \cdot R_p} \right),$$

где  $R_{вх}$  — входное сопротивление шумомера (усилителя) в заданной полосе частот, Ом;  $U_{ш}$  — напряжение шума (на входе усилителя), мкВ.

Уровень шумов (в мкВ/В) определяют по формуле  $D = E / U_R$ .

*Зависимость сопротивления от напряжения* определяют, пользуясь методикой измерения сопротивления резистора при испытательных напряжениях, соответст-

вующих 10 и 100% его номинальной мощности рассеяния. Время выдержки резисторов под напряжением, соответствующим 100% номинальной мощности рассеяния или предельному рабочему напряжению, должно быть не более 1 с. При вычислении относительного изменения сопротивления принимают: за сопротивление, измеренное до испытания, — сопротивление при напряжении, соответствующем 10% номинальной мощности рассеяния резистора или его предельного рабочего на-

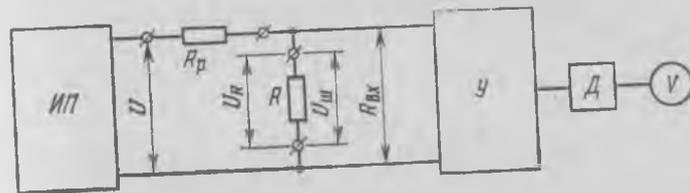


РИС. 11.3. Схема для измерения электродвижущей силы шумов: ИП — источник питания; У — усилитель; Д — квадратичный детектор; V — вольтметр;  $R_p$  и  $R$  — разделительный и проверяемый резисторы соответственно

пряжения; за сопротивление, измеренное во время испытания, — сопротивление при напряжении, соответствующем 100% номинальной мощности рассеяния резистора или его предельного рабочего напряжения.

*Электрическую прочность изоляции постоянных и переменных резисторов* определяют приложением заданного испытательного напряжения в течение 1 мин  $\pm 5$  с к соединенным выводам и корпусу резистора или специальному испытательному электроду. Испытательный электрод из металлической фольги обертывают вокруг средней части корпуса резисторов с радиальными выводами и вокруг всего корпуса резистора с осевыми выводами. Между испытательным электродом и выводами резистора должен быть зазор не менее 1 мм на 1 кВ испытательного напряжения. Испытательное напряжение подают плавно, повышая его от нуля до заданной величины в течение 3—5 с. Обнаружение электрического пробоя и поверхностного разряда производят визуально или с помощью акустического, оптического или другого безынерционного индикатора.

*Измерение минимального сопротивления и начального скачка сопротивления переменного резистора* производят омметром или другим прибором для измерения сопротивления. Подвижную систему проверяемого ре-

Зистора поочередно подводят к упорам, ограничивающим угол поворота резисторов без выключателей, или устанавливают в положение «Включено» у резисторов с выключателем. Минимальное сопротивление измеряют между выводами: 1 и 2, а затем 2 и 3 у линейных резисторов, 2 и 3 у логарифмических резисторов, 1 и 2 у обратнологарифмических резисторов. Величину сопротивления, начиная с которой оно изменяется, фиксируют.

Проверку непрерывности контактирования производят передвижением подвижного контакта резистора, подключения средним и одним из крайних выводов к осциллографу, позволяющему регистрировать нарушение контакта.

Проверку плавности изменения сопротивления производят поочередно между выводами 1—2 и 2—3 омметром с погрешностью не более  $\pm 10\%$  при вращении подвижной системы резистора от упора до упора и обратно (цикл) с помощью электропривода или вручную. Один цикл проводят за 8—16 с.

Проверку функциональной характеристики изменения сопротивления переменного резистора производят с помощью устройства с осциллографом и образцовым переменным резистором по схеме, приведенной на рис. 11.4. На экране осциллографа укрепляется специальная наклейка из прозрачного органического стекла с отмеченными границами допускаемых отклонений характеристики от заданной. При синхронном вращении подвижной системы от упора до упора (один поворот) проверяемого  $R$  и образцового  $R_{обр}$  резисторов луч на экране осциллографа не должен выходить из этих границ. Вращение подвижной системы резистора производят с помощью электропривода или вручную со скоростью один поворот за 4—8 с.

**Механические испытания резисторов.** К механическим испытаниям постоянных резисторов относят проверки: прочности выводов и контактных узлов растяжением; гибкости выводов; контактных узлов скручиванием, пайкой; испытания на вибропрочность и ударную прочность. Для переменных резисторов дополнительно проверяют: резьбовые втулки и резьбовые выводы, вибрационную ударную устойчивость, плавность хода и моменты вращения подвижной системы, полный угол поворота подвижной системы и угол срабатывания выключателя,

износоустойчивость резистора и выключателя. Методика этих испытаний аналогична рассмотренной выше. Дополнительно к этому рассмотрим методику проверки плавности хода, износоустойчивости и определение момента вращения переменных резисторов.

Проверку плавности хода и определение моментов вращения подвижной системы переменных резисторов проводят вращением подвижной системы непосредственно за ось резистора или

ручкой диаметром 20—30 мм, насаженной на ось резистора, или отверткой,

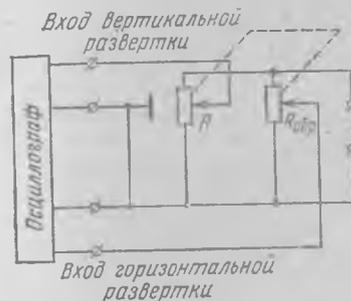


РИС. 11.4. Схема для проверки функциональной характеристики изменения напряжения сопротивления

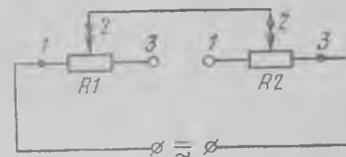


РИС. 11.5. Схема проверки резисторов на износоустойчивость

вставленной в шлиц оси резистора. Подвижную систему вращают от упора до упора и обратно. Время вращения 5—10 с в одном направлении. Определение момента вращения незаосторожной подвижной системы производят при различных углах поворота с помощью динамометра или уравновешенного рычага с грузом. Проверяемый резистор при этом крепят на панели в канге. Погрешность метода проверки не более  $\pm 15\%$ .

Проверку износоустойчивости переменных резисторов ведут на специальном стенде путем вращающей подвижной системы в пределах полного угла поворота со скоростью 15—80 циклов/мин при подаче на резисторы напряжения постоянного или переменного тока. Напряжение подводят в каждой паре проверяемых резисторов  $R1$  и  $R2$ , соединенных по схеме рис. 11.5. Подаваемое на резисторы напряжение, соответствующее номинальной мощности рассеяния, не должно превышать предельного рабочего напряжения, указанного в НТД. Номинальное сопротивление, номинальная мощность рассеяния и характеристика изменения сопротивления

попарно соединенных резисторов должны быть одинаковыми. В процессе испытания с помощью омметра контролируют наличие электрического контакта между движком и проводящим элементом. До и после испытаний измеряют сопротивление, определяют относительное изменение сопротивления, измеряют э. д. с. шумов, проверяют непрерывность контактирования и плавность изменения сопротивления, а также производят визуальный осмотр.

**Климатические испытания, проверка конструкции, маркировки и упаковки резисторов.** Постоянные резисторы подвергают следующим климатическим испытаниям: определяют ТКС, измеряют электрическую прочность при пониженном атмосферном давлении, испытывают на влагостойчивость и циклическое воздействие температур, на холодо- и теплоустойчивость (для проволочных резисторов). Переменные резисторы дополнительно подвергают ускоренной проверке старения.

Проверку конструкции, внешнего вида и маркировки производят визуальным осмотром и сопоставлением резисторов с чертежами и образцами. Прочность маркировки проверяют после проверки влагостойкости двукратным протиранием резисторов мягким влажным тампоном ваты (с легким нажимом). Размеры измеряют любым мерительным инструментом, обеспечивающим точность, требуемую чертежом. Проверку массы производят не менее чем на трех образцах резисторов равного размера. Погрешность измерения не более 2%. Проверку упаковки резисторов и маркировку их тары производят визуальным осмотром не менее 10% тарных мест от партии.

### 11.3. ИСПЫТАНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ

Методика проведения испытаний конденсаторов, за исключением электрических испытаний, мало отличается от методики испытаний резисторов, поэтому рассмотрим только методику проведения электрических испытаний. При электрических испытаниях конденсаторов измеряют емкость, тангенс угла потерь, сопротивление изоляции, ток утечки, электрическую прочность, ТКЕ, температуру перегрева при нагрузке реактивной мощностью и допустимым высокочастотным напряжением, отсутствие мерцания емкости, собственную индуктив-

ность, полное электрическое сопротивление и испытание перенапряжением.

*Измерение емкости и тангенса угла потерь* производят следующими методами: мостовым, резонансным, сравнением напряжений и токов на частотах: 50 и 100 Гц; 1, 10, 100 и 300 кГц; 1 и 5 МГц. При необходимости измерения на частотах свыше 5 МГц значение частоты выбирают из ряда, полученного умножением чисел 1, 3 и 5 на  $10^n$ , где  $n$  — целое положительное число. Частота измерения указана в НТД на конденсаторы конкретных типов.

Для измерения емкости и тангенса угла потерь используют, например, цифровые автоматические мосты переменного тока типа Р570 и Р5010, микрофаралометры типа Д524М и Д525, мосты типа МЕ, МИЕ, МЕР, МИЕР, МИЕ-1, МИЕ-3, МИЕ-8, МИЕ-10. При разбраковке конденсаторов по допускам при приемо-сдаточных и климатических испытаниях, исследовании их стабильности, надежности и долговечности используют процентную приставку типа Р5011 в комплекте с автоматическим мостом Р589 и допусковый контролер типа Р5041 в комплекте с автоматическими мостами переменного тока с цифровым отсчетом Р589 или Р591.

*Сопротивление изоляции  $R_{из}$*  проверяют мегомметром или методом амперметра-вольтметра. Оно должно быть в зависимости от типа конденсаторов от  $10^2$  до  $10^5$  МОм. Измерение производят между выводами конденсатора или между выводами, соединенными вместе, и корпусом (для конденсаторов в металлических корпусах) или специальным электродом (для изолированных конденсаторов и конденсаторов в неметаллических корпусах). Для конденсаторов в изолированных с помощью изолирующей трубки металлических корпусах  $R_{из}$  измеряют между корпусом и специальным испытательным электродом. При проверке многосекционных конденсаторов  $R_{из}$  измеряют между каждым выводом и общим выводом (для конденсаторов с общим для всех секций выводом) и между выводами каждой секции (для конденсаторов без общего вывода).

Для конденсаторов с органическим диэлектриком результаты измерения  $R_{из}$  между выводами приводят к температуре 20°C по формуле  $\lg R_{20} = \lg R_T + \alpha_c(t - 20)$ , где  $R_{20}$  — сопротивление изоляции, приведенное к температуре 20°C;  $R_T$  — сопротивление изоляции, изме-

ренное при температуре  $t$ ;  $\alpha_c$  — коэффициент, обусловленный свойствами диэлектрика;  $t$  — конкретная температура, при которой измерено сопротивление изоляции, находящаяся в пределах  $25 \pm 10^\circ\text{C}$ . После испытания конденсатор разряжают.

Электрическую прочность конденсатора проверяют на высоковольтной установке. Испытательное напряжение выбирают согласно ГОСТ 16962—71 и прикладывают

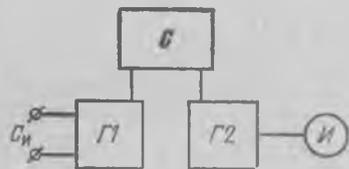


РИС. 11.6. Установка для измерения температурного коэффициента емкости

его между выводами или соединенными выводами и корпусом и выдерживают 10 с. Конденсаторы считают выдержавшими испытание, если в процессе проверки отсутствует электрический пробой и поверхностный разряд. При проверке вакуумных конденсаторов и конденсаторов с органическим диэлектриком

с металлизированными обкладками, обладающих свойством самовосстановления, допускают отдельные пробои диэлектрика, не выводящие конденсатор из строя.

Измерение температурного коэффициента емкости можно осуществить с помощью установки, показанной на рис. 11.6. Принцип измерения приращения емкости, используемый в данной установке, заключается в следующем. В установке имеется два генератора: Г2 — генерирует напряжение фиксированной частоты, а Г1 — частоты, определяемой емкостью  $C_n$  и конденсаторами переменной емкости, включенными в его контур. Если частоты напряжений, вырабатываемых генераторами Г1 и Г2, не совпадают, то в контуре второго генератора возникают биения с частотой, равной разности частот этих двух генераторов, регистрируемые измерителем И. Свести разность частот к нулю, т. е. добиться исчезновения биений, можно регулировкой конденсаторов переменной емкости, находящихся в контуре генератора Г1.

Испытуемый конденсатор помещают в камеру при температуре  $25 \pm 10^\circ\text{C}$ , подключают к клеммам  $C_n$  и, вращая ручку конденсаторов переменной емкости, устраняют биения. Затем температуру в камере плавно повышают до заданной положительной температуры и выдерживают определенное время. Причем разность

температур при определении ТКЕ в интервале положительных температур должна быть не менее  $30^\circ\text{C}$  для конденсаторов с максимально допустимым значением температуры при эксплуатации до  $60^\circ\text{C}$  и не менее  $40^\circ\text{C}$  — для остальных конденсаторов. Длительность выдержки при температуре измерения должна быть достаточной для достижения теплового равновесия конденсаторов (показание прибора перестанет изменяться в одном направлении и будет незначительно колебаться около одной точки). По окончании выдержки устраняют биения конденсатором переменной емкости. Этот конденсатор имеет шкалу, проградуированную в единицах измеряемого приращения  $\Delta C$ , по которой производят отсчет. ТКЕ испытуемого конденсатора  $C_n$  в относительных единицах на  $1^\circ\text{C}$  вычисляют по формуле

$$\text{ТКЕ} = \Delta C / C_n \Delta t,$$

где  $\Delta t$  — алгебраическая разность первоначальной и испытательной температур. Затем измерение производят для заданной отрицательной температуры.

Все типы конденсаторов испытывают на вибропрочность, ударную прочность, на воздействие линейных (центробежных) ускорений и акустические шумы; переменные и подстроечные конденсаторы испытывают на виброустойчивость.

При проверке на вибропрочность конденсаторы крепят на платформе вибростенда за выводы или крепежные детали, имеющиеся на корпусе, и ставят в горизонтальном и вертикальном положении. Диапазон частот при испытаниях на вибропрочность для конденсаторов разных типов лежит в пределах от 10 до 3000 Гц при ускорениях до  $10g$ . Испытание на ударную прочность производится без электрической нагрузки при частоте ударов от 40 до 80 в минуту. Конденсаторы закрепляют так же, как при испытании на вибропрочность. В результате испытаний на вибропрочность и ударную прочность у конденсаторов не должно быть механических повреждений. Диапазон частот и ускорений, частота ударов и продолжительность испытаний для конкретных типов конденсаторов оговариваются в НТД.

Конденсаторы в герметических корпусах проверяют на герметичность. Проверка на герметичность может производиться по разным методикам. Например, герме-

## ИСПЫТАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ, КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ, ДРОССЕЛЕЙ И ВАРИОМЕТРОВ

### 12.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ И ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ, КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ, ДРОССЕЛЕЙ И ВАРИОМЕТРОВ

тичность конденсаторов типа КСГ проверяют погружением в масло, нагретое до  $95 \pm 5^\circ\text{C}$ . При этом наличие воздушных пузырьков свидетельствует о плохой герметизации изделия. Пропитанные конденсаторы проверяют на герметичность в камере тепла, укладывая их на чистую фильтровальную бумагу. После выдержки в течение определенного времени на бумаге не должно быть масляных пятен. В противном случае герметичность конденсаторов неудовлетворительная.

На высотность конденсаторы проверяют в барокамере. Давление в барокамере устанавливают в зависимости от условий эксплуатации конденсаторов. После установления нужного давления подают напряжение на выводы и корпус. Испытательное напряжение выдерживают  $60 \pm 5$  с. При этом не должно быть поверхностного разряда или пробоя.

**Измерения электрических параметров конденсаторов** производят при строгом соблюдении всех требований безопасности, установленных действующими правилами и нормами. На каждом рабочем месте должна быть инструкция по технике безопасности и журнал инструктажа измерителей. Сопротивление изоляции всех токоведущих цепей в установках для измерения конденсаторов должно быть не менее чем на порядок выше сопротивления изоляции измеряемых конденсаторов, но не менее 10 МОм. Конструкция аппаратуры для измерения электрических параметров конденсаторов должна обеспечивать: разрядку конденсатора после измерения, если на конденсатор подавалось напряжение свыше 30 В; защиту от перегрузок и коротких замыканий; освещение органов управления и контроля.

При измерениях вывод конденсатора, соединенный с его корпусом, и внешний электрод трубчатых и цилиндрических конденсаторов подключают к зажиму, соединенному с корпусом прибора, или зажиму, имеющему меньший потенциал относительно земли. Конденсаторы с органическим диэлектриком, отличающиеся повышенной абсорбцией, после подачи между выводами напряжения более 2 кВ электроопасны. Поэтому перед последующими измерениями с целью исключения появления на выводах разряженного конденсатора напряжения, обусловленного остаточным зарядом, их необходимо выдержать в течение заданного в НТД времени с замкнутыми накоротко выводами.

Трансформаторы, катушки индуктивности, дроссели и вариометры широко применяют в РЭА. Они имеют достаточно высокую надежность при условии правильного их применения. При эксплуатации трансформаторов, катушек индуктивности, дросселей и вариометров особое внимание обращают на обеспечение правильного электрического и теплового режимов и защиту от проникновения влаги.

Пределы рабочих температур, максимальное значение относительной влажности воздуха, минимальную величину атмосферного давления и допустимую вибрацию определяет НТД на конкретные типы трансформаторов, катушек индуктивности, дросселей и вариометров. Так, например, трансформаторы питания, применяемые в радиовещательных и телевизионных приемниках, электрофонах, магнитофонах и комбинированных радиоустройствах, рассчитаны для работы в следующих условиях: температура окружающей среды  $+55^\circ\text{C}$  (степень жесткости IV по ГОСТ 16962—71) и  $+70^\circ\text{C}$  (степень жесткости VI по ГОСТ 16962—71); относительная влажность воздуха для трансформаторов с обычной влагостойкостью до 80% при температуре до  $25^\circ\text{C}$  и для трансформаторов с повышенной влагостойкостью до 95% при температуре до  $35^\circ\text{C}$ ; воздействия многократных ударов с ускорением до 15g.

Трансформаторы, применяемые в РЭА, по назначению делят на силовые (или питающие), межкаскадные, входные, выходные и специальные. К числу последних относят, например, импульсные и высокочастотные трансформаторы.

Для всех трансформаторов можно выделить следующие предельно допустимые эксплуатационные параметры: наибольшее напряжение первичной обмотки, наибольший ток вторичных обмоток и флюктуация частоты входного сигнала. Превышение этих параметров в процессе эксплуатации недопустимо. Так, превышение наи-

большого напряжения первичной обмотки вызывает пробой изоляции. Превышение наибольшего тока вторичной обмотки ведет к перегреву, что вызывает уменьшение сопротивления изоляции, обрыв или короткое замыкание обмоток, деформацию и разрушение корпуса. Уменьшение частоты снижает реактивное сопротивление и повышает ток. Увеличение частоты увеличивает потери в сердечниках. Оба эти случая ведут к повышению температуры трансформатора (дросселя, катушки индуктивности и других изделий, имеющих обмотки), а следовательно, к уменьшению электрической прочности изоляции.

Основными техническими параметрами трансформаторов являются: омическое сопротивление обмоток, индуктивность обмоток, рабочее и испытательное напряжения, сопротивление изоляции между выводами обмоток и между выводами и магнитопроводом (массой), электрическая прочность изоляции, коэффициент трансформации, интервал рабочих температур, влагоустойчивость.

Рассмотрим условия применения некоторых типов трансформаторов. Трансформаторы питания типа ТПП мощностью 1,65—210 ВА с выходным напряжением 1,26—90 В на токи нагрузки 0,03—31 А предназначены для питания полупроводниковых схем. В них использованы ленточные Ш-образные пластины ШЛ (от ШЛ6 до ШЛ16). Трансформаторы питаются от сети переменного тока 220 В частотой 400 Гц и работают: при температуре окружающей среды от  $-60$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности воздуха до 98% при температуре  $+40^{\circ}\text{C}$  и атмосферном давлении не ниже 665 Па (5 мм рт. ст.). Они выдерживают вибрации в диапазоне частот 5—2500 Гц с ускорением до 30g, многократные удары с ускорением до 150g, одиночные удары с ускорением до 1000g и линейные нагрузки с ускорением до 50g.

Трансформаторы входные для транзисторных схем предназначены для согласования внутреннего сопротивления источника сигнала с входным сопротивлением каскадов усилителей низкой частоты, собранных на транзисторах, в диапазоне воспроизводимых частот 300—10 000 Гц при неравномерности частотной характеристики 2 дБ. Они работают при температуре окружающей среды от  $-60$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ , относительной влажно-

сти воздуха до 98% при температуре  $+40^{\circ}\text{C}$ . Трансформаторы выдерживают атмосферное пониженное давление до 665 Па, вибрации в диапазоне частоты 5—2000 Гц с ускорением до 10g, многократные удары с ускорением до 150g, одиночные удары с ускорением до 1000g и линейные нагрузки с ускорением до 50g.

Трансформаторы накопительные микромодульные с сердечником из ленточного пермаллоя предназначены для работы в специальных схемах накопления и преобразования информации. Они работают при температуре окружающей среды от  $-60$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности воздуха до 98% при температуре  $+40^{\circ}\text{C}$ , пониженном атмосферном давлении до 665 Па. Трансформаторы выдерживают вибрации в диапазоне частот от 5 до 2000 Гц с ускорением до 10g, многократные удары с ускорением до 35g, одиночные удары с ускорением до 150g и линейные нагрузки с ускорением до 50g, а также повышенное давление  $3 \cdot 10^6$  Па (3 атм), воздействие инея, росы, морского тумана и плесневых грибов.

Дроссели низкой частоты широко применяют в фильтрах выпрямителей для сглаживания пульсаций выпрямленного тока. Конструктивно они отличаются от трансформаторов наличием только одной обмотки, величина индуктивности которой определяет степень фильтрации напряжения пульсации выпрямителя. К предельно допустимым эксплуатационным параметрам дросселей низкой частоты относят: наибольшее напряжение, наибольший ток, допустимую температуру окружающей среды и температуру перегрева обмотки. К числу других показателей, определяющих эксплуатационные качества дросселей низкой частоты, относят: качество междувитковой и междуслойной изоляции, обусловленное установленной величиной пробивного напряжения; сопротивление изоляции и установленный диапазон атмосферного давления, относительной влажности и механических перегрузок. Аналогичными параметрами характеризуют и дроссели высокой частоты, основное назначение которых — иметь большое сопротивление для переменного тока и в то же время малое сопротивление для постоянного тока.

Параметры дросселей, как и других радиодеталей и радиокомпонентов, определяют НТД на конкретные их типы. Например, дроссели фильтров типа Д предназначены для работы в РЭА с частотой напряжения 50—1000 Гц, при температуре окружающей среды от  $-60$

до  $+85^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности до 98% при температуре  $+40^{\circ}\text{C}$ , пониженном атмосферном давлении до 665 Па. Дроссели выдерживают вибрации в диапазоне частот 5—2500 Гц с ускорением до 30g, многократные удары с ускорением до 150g, одиночные удары с ускорением до 1000g, линейные нагрузки с ускорением до 50g, а также воздействие морского тумана и плесневых грибов.

Катушки индуктивности в зависимости от назначения делят на контурные (образующие совместно с конденсаторами колебательный контур), катушки связи (передающие высокочастотные колебания из одной цепи в другую), разделительные и катушки различных фильтров. Контурные катушки с переменной индуктивностью называют вариометрами. Основными параметрами катушек индуктивности являются: индуктивность и добротность. Вариометры характеризуются максимальной и минимальной индуктивностью или их отношением (коэффициентом перекрытия), добротностью при различной индуктивности, плавностью изменения индуктивности и ее стабильностью в различных фиксированных положениях.

Объем и последовательность приемо-сдаточных испытаний трансформаторов, дросселей и катушек индуктивности: проверка конструкции, размеров, внешнего вида, маркировки. У трансформаторов и дросселей низкой частоты при этом виде испытаний определяют коэффициент трансформации, сопротивление обмоток постоянному току, потери и ток холостого хода, потери и напряжение короткого замыкания, сопротивление и прочность изоляции, испытание на нагрев, а также необходимые климатические и механические испытания. Испытание катушек индуктивности на соответствие НТД включает измерение индуктивности, определение добротности, измерение сопротивления изоляции. Кроме того, катушки индуктивности испытывают на тепло-, морозо- и влагоустойчивость, вибропрочность и срок службы.

Объем и последовательность периодических испытаний: проверка прочности выводов, способности выводов к пайке, массы изделия, сопротивления изоляции, ударной прочности, теплоустойчивости, влагоустойчивости.

*Механическую прочность выводов* проверяют, плавно прикладывая статическую силу вдоль оси вывода, а для вывода, закрепленного на изоляторе,— вдоль оси изоля-

тора. Величину растягивающей силы  $F_p$  определяют, исходя из сечения вывода  $S_v$ :  $F_p=4,9$  Н при  $S_v=0,1-0,2$  мм<sup>2</sup>,  $F_p=9,8$  Н при  $S_v=0,2-0,5$  мм<sup>2</sup>,  $F_p=19,6$  Н при  $S_v=1-2$  мм<sup>2</sup>; при сечении выводов свыше 2 мм<sup>2</sup> требования к растягивающей силе не предъявляются. Силу прикладывают к каждому выводу изделия и выдерживают в течение 10 с. Допустимое отклонение силы  $\pm 10\%$ . Для изделий с двумя осевыми противоположно направленными выводами силу прикладывают к одному выводу при закреплении другого.

*Испытание гибких проволочных и ленточных выводов на изгиб* проводят так. К каждому выводу изделия в направлении его оси поочередно подвешивают груз в два раза меньший, чем при испытании на воздействие растягивающей силы. Затем корпус изделия медленно наклоняют под углом  $90^{\circ}$  и постепенно возвращают в прежнее положение. Сгибание вывода и разгибание считают одним изгибом. Всего выполняют три изгиба. Изделие считают выдержавшим испытания, если оно удовлетворяет требованиям НТД и не имеет обрывов выводов.

*Проверку способности выводов к пайке* производят при помощи паяльной ванны при температуре припоя:  $230\pm 10^{\circ}\text{C}$  для изделий, используемых для печатного монтажа, и  $270\pm 10^{\circ}\text{C}$  для изделий общего назначения. Вывод изделия погружают в направлении его продольной оси в паяльную ванну, наполненную припоем ПОСб1 по ГОСТ 1499—70. Проволочные выводы должны быть погружены со стороны свободных концов не ближе 6 мм от корпуса. Лепестковые выводы погружают до половины их длины. Продолжительность погружения  $2\pm 0,5$  с. Способность выводов к пайке определяют по свободному стеканию припоя при смачивании выводов. Способность к пайке выводов изделий для печатного монтажа проверяют при пайке их в макетах печатных плат.

*На ударную прочность* изделия проверяют в обесточенном состоянии при воздействии ударной нагрузки поочередно в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений по отношению к изделию. При этом количество ударов распределяют поровну между положениями, при которых проводят испытания. Величину ускорения и длительность удара, а также общее количество ударов с допускаемыми отклонениями указывают в НТД на изделия конкретных типов. Форма ударов рекомендуется близкой к полусинусоиде.

Проверку влагоустойчивости изделий производят в циклическом режиме без электрической нагрузки. Измерения параметров или другие проверки изделий, установленные для данного вида испытаний, проводят в конце последнего часа выдержки при максимально допустимом значении температуры без извлечения изделий из камеры влажности. Испытания проводят так. Изделия подвергают воздействию непрерывно следующих друг за другом циклов. Общую продолжительность испытания устанавливает НТД на изделия конкретных типов, продолжительность одного цикла составляет 24 ч. Каждый цикл состоит из двух частей. В первой части цикла изделия в течение 16 ч подвергают воздействию относительной влажности  $95 \pm 3\%$  при максимально допустимом значении температуры  $+40 \pm 2^\circ\text{C}$  (при длительных испытаниях) и  $+55^\circ\text{C}$  (при ускоренных испытаниях). Во второй части цикла камеру с изделиями охлаждают в течение 8 ч при относительной влажности 94—100% до температуры на  $5^\circ\text{C}$  ниже указанного максимального значения.

Если требуется проверка сопротивления электрической изоляции, то в последнем цикле испытаний изделия увлажняют в течение 24 ч при верхнем значении температуры, приведенном выше, и относительной влажности  $95 \pm 3\%$  без конденсации влаги. Затем измеряют сопротивление изоляции. Если в процессе испытания ведут периодический контроль параметров для определения соответствия изделия заданным нормам, измерение производят в конце периода увлажнения при верхнем значении температуры. Если изделие в условиях выпадания инея с последующим его оттаиванием проверяют при испытании на влагоустойчивость, то в последнем цикле в конце первого часа выдержки при верхнем значении температуры на изделие в течение 5 мин подают номинальное рабочее напряжение, характер, величина и место приложения которого задана в НТД.

Объем и последовательность конструктивных испытаний: проверка прочности выводов, способности выводов к пайке, массы, сопротивления изоляции, ударной прочности, тепло-, влаго- и холодоустойчивости при транспортировании и проверка устойчивости к воздействию плесневых грибов (для изделий в тропическом исполнении). Методика проведения испытаний аналогична рассмотренной выше.

## 12.2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ, ДРОССЕЛЕЙ, КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ И ВАРИОМЕТРОВ

В состав электрических испытаний трансформаторов, дросселей, катушек индуктивностей и вариометров входят: определение коэффициента трансформации, измерение сопротивления обмоток постоянному току (для трансформаторов, дросселей, катушек индуктивности и вариометров), проверка потерь и тока холостого хода (для силовых трансформаторов, трансформаторов напряжения), проверка потерь и напряжения короткого замыкания (для силовых трансформаторов), определение параметров изоляции (для трансформаторов, дросселей, катушек индуктивности и вариометров), испытания на нагрев (для всех изделий), определение индуктивности обмоток и др.

Коэффициент трансформации определяют методом моста или двух вольтметров. Измерения методом моста производят специальными мостами, обеспечивающими отсчет коэффициента трансформации с точностью не менее четырех значащих цифр, а при непосредственном измерении погрешности коэффициента трансформации — с точностью не менее двух значащих цифр.

С помощью двух вольтметров измерение производят так. К одной из обмоток трансформатора подводят напряжение и измеряют его одним из вольтметров. Одновременно другим вольтметром измеряют напряжение на другой обмотке трансформатора. Коэффициент трансформации определяют как отношение измеренных напряжений. При измерениях подводимое напряжение к трансформатору не должно превышать номинального напряжения трансформатора, но и не должно быть менее 1% от него. Класс точности вольтметров должен быть не менее 0,2. Сопротивление проводов цепи измерения не должно быть более 0,001 внутреннего сопротивления вольтметра.

Сопротивления обмоток трансформатора постоянному току измеряют методом моста или методом падения напряжения. Величину тока при измерении устанавливают не более 0,2 от номинального тока обмотки. При измерении методом падения напряжения в соответствии со значением измеряемого сопротивления используют одну из схем рис. 12.1. При измерении сопротивлений менее 1 Ом вольтметр присоединяют непосредственно

к зажимам изделия (рис. 12.1,а). Если расчетное значение измеряемого сопротивления составляет 0,5% и более от сопротивления вольтметра, то значение определяемого сопротивления находят по формуле

$$R' = R \frac{1}{1 - (R/R_V)},$$

где  $R$  — сопротивление, вычисленное по измеренным значениям тока и напряжения, Ом;  $R_V$  — сопротивление вольтметра, Ом.

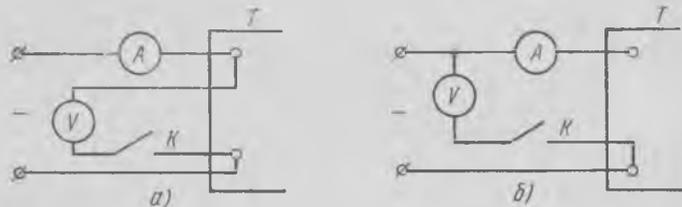


РИС. 12.1. Схемы для измерения сопротивления обмоток по постоянному току:  
Т — испытуемое изделие; А — амперметр; V — вольтметр; К — выключатель

Сопротивления более 1 Ом измеряют по схеме рис. 12.1,б. Если сопротивление амперметра и подводющего провода, соединяющего зажимы амперметра и изделия, более 0,5% от значения измеряемого сопротивления, то после определения общего сопротивления цепи

из него вычитают сопротивление амперметра и подводющего провода. При измерениях вольтметр включают при установившемся значении тока, а отключают до отключения тока.

Проверку потерь и тока холостого хода (хх) трансформатора производят при номинальном напряжении и иногда дополнительно проверяют потери холостого хода при малом напряжении. При измерении тока холостого хода, как правило, к обмотке низкого напряжения

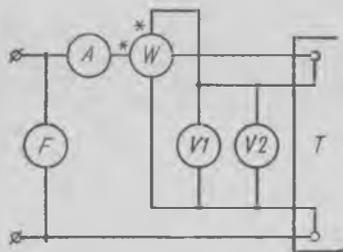


РИС. 12.2. Схема для измерения потерь и тока холостого хода однофазных трансформаторов:

Т — испытуемый трансформатор; А — амперметр; V1 и V2 — вольтметры действующих и средних значений; W — ваттметр; F — частотомер

подводят номинальное напряжение номинальной частоты синусоидальной формы, а при испытаниях трехфазных трансформаторов — симметричной формы.

Потери и ток холостого хода измеряют с помощью установок, схемы которых приведены на рис. 12.2 (для однофазных трансформаторов) и 12.3 (для трехфазных трансформаторов). На рис. 12.3 не показаны вольтметры V1 и V2 и частотомер F, включаемые между одной

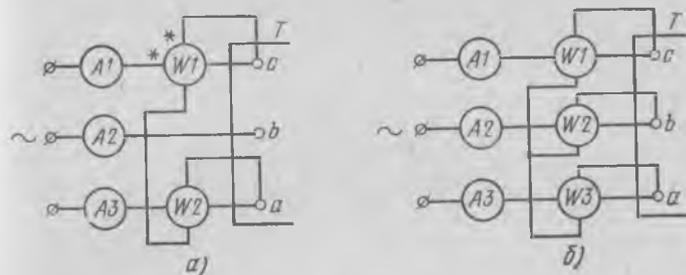


РИС. 12.3. Схемы для измерения потерь и тока холостого хода трехфазных трансформаторов:  
а — с двумя ваттметрами; б — с тремя ваттметрами

из пар зажимов по схеме рис. 12.2. Значение тока холостого хода определяют по амперметру А, а потери — по ваттметру W. При измерениях частоту питающего напряжения контролируют с помощью частотомера F.

Суммарную мощность, потребляемую измерительными приборами в схеме рис. 12.2, находят по формуле

$$P_{\Sigma} = U^2/R_{V_d} + U^2/R_{V_c} + U^2/R_F + U^2/R_W,$$

где  $U$  — напряжение, подведенное к приборам, В;  $R_{V_d}$  и  $R_{V_c}$ ,  $R_F$  и  $R_W$  — внутренние сопротивления вольтметра действующих и средних значений, частотомера и параллельной обмотки ваттметра соответственно, Ом. Тогда потери холостого хода  $P_{xx} = P_W - P_{\Sigma}$ , где  $P_W$  — потери, найденные по показаниям ваттметра, Вт.

Измерение потерь и тока холостого хода при типовых испытаниях производят не менее чем в пяти точках в диапазоне напряжений от 80 до 110% номинального.

Проверка потерь и напряжения короткого замыкания (кз) трансформатора. При опыте КЗ накоротко замыкают вторичную обмотку, а первичную питают пониженным напряжением переменного тока. Величина пониженного напряжения должна быть такой, чтобы токи в обмотках не превышали номинальных.

Для измерения тока, потерь и напряжения короткого замыкания используют схемы рис. 12.2 с отключением вольтметра средних значений и рис. 12.3. При испытаниях в качестве подводящих проводов и для выполнения короткого замыкания применяют медные или алюминиевые провода. Плотности токов в подводящих проводах, а также в проводах для выполнения короткого замыкания обмоток должны быть не более 1,8 А/мм<sup>2</sup> (для медных) и 1,2 А/мм<sup>2</sup> (для алюминиевых). Опыт КЗ производят при токе не менее 0,25 от номинального.

Потери  $P_{кз}$  и напряжение короткого замыкания  $U_{кз}$ , соответствующие номинальному току обмотки, находят по формулам

$$P_{кз} = P'_{кз} (I_{ном1}/I')^2 \text{ и } U_{кз} = (U'_{кз} I_{ном2}/U_{ном} I') 100\%,$$

где  $P'_{кз}$  и  $U'_{кз}$  — потери и напряжение короткого замыкания, при которых производят опыт, Вт и В;  $I_{ном1}$  и  $I_{ном2}$  — номинальные значения токов в обмотках наименьшей и наибольшей мощности соответственно, А;  $U_{ном}$  — номинальное значение напряжения первичной обмотки, В;  $I'$  — ток, при котором производят опыт, А.

Испытание на нагрев обмоток производят при длительной работе трансформатора (дросселя) на номинальную нагрузку. Температуру перегрева обмоток определяют, измеряя сопротивление обмотки до включения и после двухчасовой работы трансформатора (дросселя) на номинальную нагрузку с наибольшей плотностью тока. Перегрев обмоток вычисляют по формуле

$$\Delta t = (R_t - R_n) 0,004 R_n,$$

где  $\Delta t$  — перегрев обмоток, °С;  $R_n$  — сопротивление испытуемой обмотки до ее включения на нагрузку при температуре окружающей среды  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ;  $R_t$  — сопротивление обмотки после работы в течение 2 ч; 0,004 — температурный коэффициент меди.

## ИСПЫТАНИЯ УСТАНОВОЧНЫХ, СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ, КОММУТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ, МОДУЛЕЙ, МИКРОМОДУЛЕЙ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

### 13.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ, РАЗЪЕМОВ, РЕЛЕ, МОНТАЖНЫХ СТОЕК, РАСШИВОЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

**Переключатели.** Для коммутации сигнальных, силовых и других электрических цепей в РЭА широко применяют электромеханические переключатели. В электрической схеме переключатели должны оказывать минимальное воздействие на сигналы, передаваемые по коммутирующим линиям. Для этого они должны иметь: необходимую схему коммутации, которая оценивается числом направлений и положений каждого направления; низкое и стабильное переходное сопротивление; малую емкость между контактами и малые потери в ней; максимальное сопротивление изоляции между соседними контактами. Контакты не должны создавать гальванической пары, должны обеспечивать коммутацию заданных токов без их перегрева и разрушения изоляции.

На переходное сопротивление контактов большое влияние оказывает наличие кислорода или других газов, вызывающих окисление их поверхности. Окисленная пленка имеет большое удельное сопротивление (больше, чем материал контакта), а во многих случаях вообще не является проводником. Переходное сопротивление контактов существенно зависит и от приложенного напряжения. Это особенно заметно при коммутации сигналов малых уровней, так как при малых напряжениях окисная пленка контактов не пробивается.

Для предотвращения перегрева и быстрого разрушения контакта падение напряжения на нем не должно превышать допустимого  $U_{доп}$ , которое связано с напряжением размягчения соотношением  $U_{доп} = (0,3 - 0,5) U_{разм}$ . Напряжение размягчения  $U_{разм}$  для золота составляет 0,08—0,14 В, для серебра 0,08—0,1 В, для платины 0,22—0,40 В, для вольфрама 0,4 В.

Механическое устройство переключателей должно обеспечивать его работоспособность в течение определенного числа переключений или заданного срока эксплуатации. Для этого оно должно обеспечивать ста-

бильное контактное усилие, необходимое для создания достаточной площади касания контактов, разрушения окисной пленки и удаления твердых посторонних частиц с поверхности контактов; четкую фиксацию положений; повторяемость геометрического положения контактов (неповторяемость ведет к нестабильности реактивных параметров контактного устройства); высокую износостойчивость контактов и несущих элементов; достаточную виброустойчивость. Контакты должны иметь высокую теплопроводность, коррозионную стойкость на воздухе и в коррозионных средах.

Переключатели рассчитаны на определенные условия применения. Так, например, переключатели модульные кнопочные и клавишные предназначены для коммутации электрических цепей постоянного и переменного токов напряжением до 400 В, силой тока до 5 А и частотой до 20 МГц. Усилия переключения в зависимости от назначения лежат в пределах от 1 до 25 Н. Переключатели под электрической нагрузкой, указанной в НТД, выдерживают 25 000 переключений без механических повреждений и нарушения электрического контакта; вибрационные нагрузки в диапазоне частот от 1 до 2000 Гц с ускорением от 2 до 20g; многократные ударные нагрузки с ускорением от 15 до 75g и длительностью удара от 2 до 15 мс; температуру воздуха от  $-60$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ ; пониженное атмосферное давление до 665 Па; относительную влажность 98% при температуре  $35^{\circ}\text{C}$ . Контакты переключателей выдерживают ток, равный  $1,5I_{\text{ном}}$ , при напряжении  $1,1U_{\text{ном}}$  и активной нагрузке.

Переключатели, предназначенные для эксплуатации на открытом воздухе, при выпадении инея с последующим оттаиванием выдерживают без пробоа и поверхностного перекрытия напряжение  $U_{\text{ном}}$ . Переключатели, предназначенные для эксплуатации в условиях тропического климата, устойчивы к поражению плесневыми грибами и к морскому туману.

**Разъемы, монтажные стойки и расшивочные панели.** Эти изделия предназначены для электрического соединения между собой узлов, блоков, приборов и кабелей. Электрическое соединение цепей в разъемах осуществляется контактными парами, состоящими из гнезда и штыря, а в монтажных стойках и расшивочных панелях с помощью пайки или различных резьбовых соединений.

К разъемам, монтажным стойкам и расшивочным панелям предъявляют следующие требования: малое переходное сопротивление, высокая надежность, низкое усилие и удобство сочленения, высокая износостойчивость, герметичность (при необходимости), технологичность изготовления.

Разъемы штепсельные низкочастотные круглые серий ШР, СШР, 2РМ и 2РМД имеют износостойчивость 500 сочленений, работают в условиях вибраций в диапазоне частот 5—2000 Гц с ускорением до 30g, при относительной влажности воздуха 98% при температуре  $+40^{\circ}\text{C}$ . Разъемы серии 2РМ пыле- и брызгонепроницаемы. Разъемы серии ШР и СШР имеют 1—50 контактов. При большом числе контактов в разъеме допустимый ток через контакты уменьшают: на 10% (более 20 контактов), на 20% (более 30) и на 30% (более 40). Эти разъемы работают при температуре окружающей среды от  $-60$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . Параметры коммутируемой среды: напряжение 850 В, частота 3 МГц, допустимый ток для контактов в зависимости от их диаметра от 10 до 400 А.

Монтажные стойки типа СМ12 и СМТ12 и расшивочные платы ПМ18-22 и ПМ19-22 применяют для монтажа мелких радиодеталей. Они рассчитаны на рабочее напряжение до 500 В постоянного тока. Максимальный диаметр подпаиваемого провода 0,8 мм. Монтажные стойки и расшивочные платы работают при температуре окружающей среды от  $-60$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности воздуха 98% при температуре  $+40^{\circ}\text{C}$  и выдерживают вибрации в диапазоне частот 10—20 Гц с ускорением до 6g, ударные нагрузки с ускорением до 25g.

**Реле.** Предназначены для скачкообразного управления электрическими цепями и характеризуются следующими параметрами: ток срабатывания, чувствительность, время срабатывания, рабочий ток, коэффициент запаса, потребляемая мощность, коммутируемая мощность, коэффициент управления и износостойчивость контактов. Параметры контактов реле аналогичны параметрам контактов переключателей, однако они работают при меньших контактных усилиях. Замыкание контактов из-за пружинящих свойств сопровождается несколькими соударениями (дребезгом). Удары контактов друг о друга приводят к сдвигу и сжатию поверхностных слоев металла. В результате возникает механический перенос

металлов — механическая эрозия. Реле рассчитаны на определенные условия применения.

Реле типа РМУГ по ТУ РС4.523.420 имеет один контакт на замыкание, сопротивление обмотки 76 Ом, ток срабатывания 4,5 мА, время срабатывания 30 мс, коммутирует напряжение 27 В при токе до 1 А и рассчитано на 1 000 000 срабатываний. Реле этого типа используют при температуре окружающей среды от  $-60$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности воздуха 98% при температуре  $+45 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , атмосферном давлении до  $20 \cdot 10^2$  Па, вибрациях в диапазоне частот 16—80 Гц с ускорением до 4g. Реле выдерживает 10 000 ударов с ускорением до 4g и линейное ускорение до 8g.

Реле типа РЭС-22 по ТУ РФ4.500.130 имеет четыре переходных контакта, сопротивление катушки 2500 Ом, ток отпускания 10,5 мА, ток срабатывания 2,5 мА, время срабатывания 15 мс, коммутирует напряжение 30 В при токе до 1 А и рассчитано на 300 000 срабатываний. Реле этого типа используют при температуре окружающей среды от  $-60$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности воздуха 98% при температуре  $+45 \pm 2$ , атмосферном давлении до 665 Па, вибрациях в диапазоне частот 20—50 Гц с амплитудой до 1 мм. Реле выдерживает 10 000 ударов с ускорением до 25g и линейное ускорение до 15g.

**Плавкие предохранители.** Предназначены для защиты РЭА от токов перегрузки и коротких замыканий в цепях постоянного и переменного токов. Основными показателями защитной способности плавких предохранителей являются: время до расплавления при удвоенном номинальном токе, малое активное сопротивление и незначительный перегрев при прохождении номинального тока. Рассмотрим условия применения предохранителя типа ПК-30 с коническими наконечниками с плавкой вставкой из проволоки в виде прямой нити. Предохранители этого типа работают при номинальном токе 0,15, 0,25, 0,50, 1 и 2 А. Плавающие токи равны удвоенным номинальным токам. Время расплавления (разрыва) плавкой вставки 10 с. Предохранитель соответственно номинальным токам имеет активное сопротивление 11, 5, 2, 1,2 и 0,3 Ом. Предохранитель ПК-30 используют в цепях с напряжением не свыше 250 В. Механическая прочность стеклянной трубки, плавкой вставки и прочность крепления наконечников к стеклянной трубке не нарушаются от пребывания в атмосфере с относительной влаж-

ностью до 65% при температуре от  $-60$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ ; при вибрации с ускорением 9g, при ударах с предельным ускорением 50g.

### 13.2. ИСПЫТАНИЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ, РЕЛЕ, РАЗЪЕМОВ, МОНТАЖНЫХ СТОЕК, РАСШИВОЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

**Испытания переключателей.** В связи с высокими эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к переключателям, после изготовления они подвергаются различным испытаниям. Состав и последовательность испытаний: проверка на соответствие требованиям к конструкции, электрическим параметрам, устойчивости при механических и климатических воздействиях и надежности.

*Проверка на соответствие требованиям к конструкции* включает контроль внешнего вида и размеров, проверку приводного или фиксирующего механизмов работы контактов при переключении, проверку усилия переключения, отсутствия устойчивой электрической дуги, механической прочности выводов и устойчивости их к тепловому воздействию при пайке, проверку устойчивости катушки электромагнитного спуска к перегрузке и износоустойчивость переключателей.

*Проверка на соответствие требованиям к электрическим параметрам* включает в себя измерение сопротивления контактов и проверку устойчивости их к перегрузкам, определение величины минимальных зазоров, сопротивления изоляции, емкости между контактами, тангенса угла диэлектрических потерь и температуры контактов.

*Проверку на соответствие требованиям к устойчивости при механических воздействиях* осуществляют испытаниями на обнаружение резонансных частот, виброустойчивость, вибропрочность, ударную прочность и ударную стойкость.

*При климатических испытаниях* переключатели проверяют на тепло- и холодоустойчивость при эксплуатации и транспортировании, устойчивость к воздействию смены температур, влагоустойчивость, на воздействие пониженного атмосферного давления, инея с последующим его оттаиванием, соляного тумана, грибоустойчивость и воздействие солнечной радиации.

**Испытания реле.** В связи с высокими эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к электромагнит-

ным реле, необходимо тщательно проверять все параметры реле. В особо ответственных случаях проводится 100%-ная проверка реле по всем требованиям ТУ. Предприятие-изготовитель подвергает реле приемо-сдаточным, периодическим и типовым испытаниям.

При приемо-сдаточных испытаниях производят внешний осмотр, проверяют параметры срабатывания, возврата и времени замедления реле, а также измеряют электрическую прочность изоляции. Периодические испытания проводят на двух образцах один раз в два года в такой последовательности: внешний осмотр, проверка габаритных, установочных и присоединительных размеров и массы реле; проверка параметров срабатывания и возврата (напряжения, тока, времени) и проверка потребляемой мощности; проверка сопротивления и электрической прочности изоляции в холодном состоянии и проверка влагоустойчивости; проверка параметров срабатывания и сопротивления изоляции в горячем состоянии, проверка теплоустойчивости; проверка холодоустойчивости, термической и динамической стойкости реле, виброустойчивости и ударной прочности; проверка коммутационной способности контактов, испытания на коммутационную и механическую износостойкость, надежность контактирования и испытания на надежность реле. Состав типовых испытаний аналогичен составу периодических испытаний; проводятся они в полном или сокращенном объеме. Число образцов реле — не менее четырех.

**Испытания разъемов, монтажных стоек и расшивочных панелей.** При контрольной проверке разъемов монтажных стоек и расшивочных панелей проверяют: внешний вид, размеры, маркировку; усилие разъема (для разъемов); переходное сопротивление; электрическую прочность; сопротивление изоляции. Контрольным испытаниям подвергают 2% изделий, но не менее 10 образцов каждого типа от проверяемой партии. При получении неудовлетворительных результатов контрольных испытаний хотя бы по одному из показателей проводят по нему повторные испытания удвоенного количества изделий, взятых от той же партии. Результаты повторных испытаний окончательны.

**Испытания предохранителей.** Предохранители подвергают приемо-сдаточным и периодическим испытаниям. При приемо-сдаточных испытаниях проверяют внешний

вид, основные размеры и активное сопротивление (испытаниям подвергают 0,5% предохранителей из партии, но не менее 20 шт.). При этих испытаниях проверяют номинальный и плавящий токи (0,1% предохранителей от партии). Проверяют также способность предохранителей выдерживать без расплавления плавкой вставки заданного количества разрядов с энергией, определяемой НТД. При неудовлетворительных результатах проверки хотя бы по одному из пунктов производят повторную проверку двойного количества предохранителей. Повторные результаты окончательны. Для определения качества предохранителей по всем показателям и требованиям НТД предприятие-изготовитель не реже одного раза в 3 месяца проводит периодические испытания. Испытывают не менее 10 предохранителей каждого номинала. Методика испытаний предохранителей следующая.

*Испытание предохранителей на номинальный и плавящий токи* производят по схеме, приведенной на рис. 13.1. Требуемый ток устанавливают реостатом  $R$ , причем сопротивление действующей части реостата должно превышать сопротивление испытуемого предохранителя в 10 раз. Испытание на номинальный ток производят в течение 1 ч. Время плавления предохранителя под действием плавящего тока определяют по секундомеру (начало отсчета от момента установления плавящего тока).

*Измерение активного сопротивления предохранителей* производят любым методом с погрешностью измерения не более 5%. Ток, протекающий через предохранитель, не должен превышать 0,05 А. Плавкую вставку и наконечники проверяют на стойкость противокоррозийного покрытия, выдерживая предохранитель в течение 48 ч в атмосфере с относительной влажностью  $95 \pm 3\%$  при температуре  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . После испытания плавкая вставка и наконечники не должны иметь следов коррозии. Испытания на вибрацию ведут на вибрационном стенде при частоте вибрации 50 Гц с ускорением  $9g$  в течение 30 мин. При этом предохранители жестко крепят на столе стенда в горизонтальном положении. На удар-

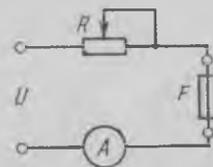


РИС. 13.1. Схема для испытаний предохранителей:

$U$  — напряжение питания;  $A$  — измеритель тока;  $F$  — испытуемый предохранитель;  $R$  — реостат

ную прочность предохранители испытывают на ударном стенде при предельном ускорении 50g. Число ударов 500 с амплитудой свободного падения 10 мм. Предохранители крепят в горизонтальном положении. После испытательный проверяют целостность стеклянной трубки, плавкой вставки и прочность крепления наконечников. Прочность крепления наконечников проверяют действием растягивающего усилия в 1 кг в течение 1 мин.

### 13.3. ИСПЫТАНИЯ МОДУЛЕЙ, МИКРОМОДУЛЕЙ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

В НТД на модули, микромодули и интегральные микросхемы (ИМС), помимо электрических параметров, регламентируют требования к конструкции, устойчивости к механическим и климатическим воздействиям, надежности, долговечности, сроку службы, а также гарантированные условия эксплуатации. При установке модулей, микромодулей и ИМС в РЭА тщательно анализируют режимы и условия, в которых они будут работать. Превышение предельно допустимых значений мощности, напряжения и тока недопустимо. Также недопустима их эксплуатация в механических и климатических условиях, на которые изделия не рассчитаны.

Модули, микромодули и ИМС серийного выпуска подвергают приемо-сдаточным и периодическим испытаниям. В состав приемо-сдаточных испытаний входят: проверка внешнего вида и правильности маркировки; проверка основных размеров и основных электрических параметров. Периодические испытания ведут по шести испытательным группам, в которые входят: проверка прочности выводов, проверка герметичности, проверка вспомогательных электрических параметров, испытание на сухое тепло, проверка способности выводов к пайке, испытание на воздействие ускорения, на ударную тряску и синусоидальную вибрацию, испытание на неповреждаемость при пайке, на воздействие смены температур и на влажное тепло, испытание на надежность. Все виды испытаний проводят в строгом соответствии с НТД, методика их проведения, за исключением измерения электрических параметров, одна и та же и не требует дополнительного рассмотрения.

**Электрические испытания модулей и микромодулей.** Качественные показатели модулей и микромодулей опре-

деляют в процессе электрических испытаний путем измерения их электрических параметров, имеющих размерности напряжения, тока, мощности, частоты, времени, сопротивления, а также определение их относительных параметров, например, коэффициента нелинейности амплитудной характеристики, коэффициента пульсации. Для примера рассмотрим методику измерений наиболее

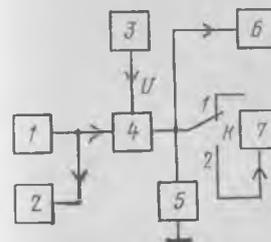


РИС. 13.2. Схема для измерения входного напряжения:

1 — генератор синусоидальных сигналов; 2 — входной измеритель параметров синусоидальных сигналов; 3 — источник питания; 4 — испытательное изделие; 5 — эквивалентная нагрузка; 6 — выходной измеритель параметров синусоидальных сигналов; 7 — измеритель нелинейных искажений или анализатор гармоник

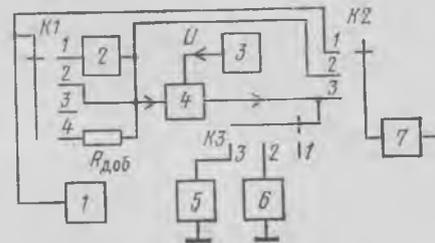


РИС. 13.3. Схема для измерения входного сопротивления:

1 — генератор; 2 — магазин сопротивлений; 3 — источник питания; 4 — испытательное изделие; 5 — магазин сопротивлений; 6 — нагрузка; 7 — измеритель напряжения

характерных электрических параметров модулей и микромодулей.

**Определение минимального  $U_{вх\ min}$  и максимального**

$U_{вх\ max}$  входных напряжений. Эти параметры определяют с помощью установки, схема которой приведена на рис. 13.2. Испытание проводят так. Задают режим работы изделия. Затем сигнал, подаваемый с генератора 1, уменьшают от номинального до наименьшего значения. С помощью выходных измерителей 6 и 7 определяют параметры, характеризующие искажения выходного сигнала. Наименьшее значение входного напряжения, при котором искажения выходного сигнала лежат в пределах допустимого, является  $U_{вх\ min}$ . Затем, увеличивая напряжение на входе изделия от номинального значения до наибольшего, при котором искажения выходного сигнала еще не выходят за пределы допустимых, определяют  $U_{вх\ max}$ .

**Измерение входного сопротивления** производят по схеме рис. 13.3. На частотах до 1000 Гц переключатель К3 устанавливают в положение 2. Напряжение

$U_r$  от генератора 1 с заданной частотой подают на вход изделия 4 через магазин сопротивлений (переключатель  $K1$  в положении 1). Изменяя сопротивление магазина, добиваются равенства  $U_{вх} = U_r/2$ , где  $U_{вх}$  — напряжение, измеренное на входе изделия (переключатель  $K2$  в положении 2);  $U_r$  — напряжение, измеренное на выходе генератора (переключатель  $K2$  в положении 1). При достижении указанного равенства отсчитывают величину сопротивления магазина, которое и равно  $R_{вх}$ .

Входное сопротивление на частотах порядка 1000 Гц, соизмеримое с внутренним сопротивлением генератора, определяют так. Переключатель  $K3$  устанавливают в положение 2. На вход изделия с генератора подают напряжение  $U_{вх}$  с определенной частотой (переключатели  $K1$  и  $K2$  в положении 2). Изделие отключают (переключатель  $K1$  в положении 3) и измеряют напряжение на выходе генератора при холостом ходе (переключатель  $K2$  в положении 1). Входное сопротивление равно

$$R_{вх} = U_{вх} R_r / (U_{г хх} - U_{вх}),$$

где  $R_r$  — внутреннее сопротивление генератора, задаваемое в НТД;  $U_{г хх}$  — напряжение на выходе генератора при холостом ходе.

Входное сопротивление на частотах порядка 1000 Гц, не соизмеримое с внутренним сопротивлением генератора, определяют по следующей методике. Добавочное сопротивление выбирают из расчета, чтобы сумма  $R_r + R_{доб}$  была соизмерима с  $R_{вх}$ . Переключатель  $K3$  устанавливают в положение 2. На вход изделия с выхода генератора подают напряжение  $U_r$  с определенной частотой через  $R_{доб}$  (переключатель  $K1$  в положении 4, переключатель  $K2$  в положении 1). Измеряют напряжение на входе схемы (переключатель  $K2$  в положении 2). Теперь входное сопротивление равно

$$R_{вх} = U_{вх} R_{доб} / (U_r - U_{вх}).$$

*Выходное сопротивление на низких частотах* (до 1000 Гц)  $R_{вых}$  также определяют по схеме рис. 13.3 (переключатель  $K1$  в положении 2, переключатели  $K2$  и  $K3$  в положении 1). С выхода генератора подают на вход изделия напряжение заданной в НТД частоты и величины. Затем переключатель  $K2$  устанавливают в положение 3 и измеряют напряжение на выходе изде-

лия при отключенной нагрузке  $U_{вых хх}$ . На вход схемы подключают магазин сопротивлений (переключатель  $K3$  в положении 3). Изменяя сопротивление магазина, добиваются получения  $U_m = U_{вых хх}/2$ , где  $U_m$  — напряжение на магазине сопротивлений. Величина сопротивления магазина при этом равна  $R_{вых}$ .

Выходное сопротивление на частотах порядка 1000 Гц определяют так (см. рис. 13.3). Переключатель  $K1$  устанавливают в положение 2, а переключатели  $K2$  и  $K3$  в положение 1. На вход изделия подают с генератора напряжение заданной в НТД величины и частоты. Затем переключатель  $K2$  устанавливают в положение 3 и измеряют напряжение на выходе изделия при отключенной нагрузке  $R_{вых хх}$ . Подключают на выход изделия нагрузочное сопротивление (переключатель  $K3$  в положении 2) и измеряют напряжение на выходе изделия  $R_{вых н}$ . Теперь

$$R_{вых} = (U_{вых хх} - U_{вых н}) R_n / U_{вых н}.$$

Многообразие модулей и микромодулей и схем предполагает и другие виды электрических испытаний. Методика таких испытаний приводится в НТД на модули и микромодули конкретных типов.

#### Электрические испытания ИМС.

*Максимальное входное напряжение  $U_{вх max}$  для ИМС с одним входом* определяют по схеме, приведенной на рис. 13.4. С генератора сигналов 1 на вход ИМС 4 подают заданное напряжение и контролируют напряжение на выходе ИМС с помощью измерителя переменного напряжения 5 или осциллографа 7. Затем входное напряжение на ИМС устанавливают равным заданному в НТД и измерителем переменного напряжения 2 определяют  $U_{вх max}$ .

*Минимальное входное напряжение  $U_{вх min}$*  определяют, используя ту же схему. На ИМС подают заданное входное напряжение и затем уменьшают его до значения, указанного в НТД. Измерителем напряжения определяют  $U_{вх min}$ .

*Максимальное входное напряжение  $U_{вх max}$  для ИМС с двумя входами* производят по схеме, приведенной на рис. 13.5. Основные параметры схемы должны соответствовать требованиям:  $R_1 = R_2 \leq 0,01 R_{вх}$ ;  $R_3 = R_4 \gg R_2$ ;  $C_1 = C_2$ ;  $X_{C1} \leq 0,01 R_{вх}$ .

При измерении  $U_{\text{вх max}}$  для ИМС с двумя выходами положение переключателей показано на рис. 13.5, а для ИМС с одним выходом переключатель  $K3$  ставят в положение 2. Схему балансируют, т. е. изменяют напряжение  $U_1$ , а при необходимости и его полярность до такого значения, когда постоянное напряжение на нагрузке

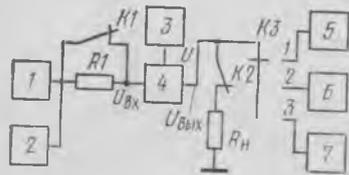


РИС. 13.4. Схема для измерения электрических параметров ИМС с одним входом:

1 — генератор сигналов; 2 — измеритель входного (переменного) напряжения; 3 — источник питания; 4 — ИМС; 5 — измеритель выходного напряжения; 6 — измеритель нелинейных искажений; 7 — осциллограф

Возможно определение  $U_{\text{вх max}}$  по формуле  $U_{\text{вх max}} = kU_r$ . Здесь и далее  $k$  — вспомогательный коэффициент, равный

$$k = R_1 / (R_1 + R_2) = R_2' / (R_2 + R_4).$$

Минимальное входное напряжение  $U_{\text{вх min}}$  для ИМС с двумя входами выполняют также по схеме рис. 13.5. Вначале ИМС балансируют. Затем подают входное напряжение с заданными параметрами. Устанавливают переключатель  $K5$  в положение 2. Уменьшая напряжение входного сигнала, устанавливают допустимое напряжение выходного сигнала и измеряют  $U_{\text{вх min}}$  измерителем переменного напряжения, включенным между входом ИМС и общим выводом. Возможно определение  $U_{\text{вх min}}$  по формуле  $U_{\text{вх min}} = kU_r$ .

Диапазон входных напряжений  $\Delta U_{\text{вх}}$  определяют по формуле  $\Delta U_{\text{вх}} = U_{\text{вх max}} - U_{\text{вх min}}$ .

Чувствительность  $S$  для ИМС определяют так. На ИМС подают заданное НТД входное напряжение (рис. 13.4 и 13.5), а затем уменьшают его до значения, при котором параметры ИМС не выходят еще за пределы допустимых. Измеряют напряжение входного сигнала, которое численно равно  $S$ .

Максимальное выходное напряжение  $U_{\text{вых max}}$  для ИМС с одним входом определяют по схеме, приведенной на рис. 13.4. На ИМС подают заданное входное напряжение. Увеличивают напряжение входного сигнала до значения, при котором параметры ИМС примут значения, заданные в технической документации. Измеряют напряжение на выходе ИМС  $U_{\text{вых max}}$ .

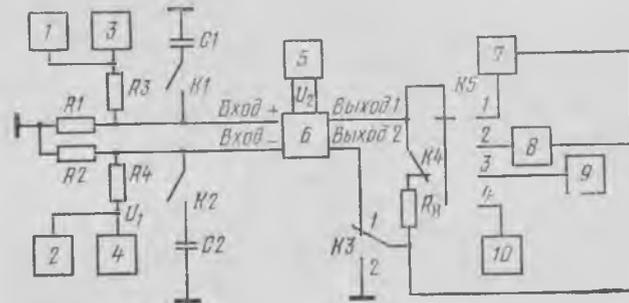


РИС. 13.5. Схема для измерения электрических параметров ИМС с двумя входами:

1 — измеритель входного (переменного) напряжения; 2 — измеритель входного (постоянного) напряжения; 3 — генератор сигналов; 4 и 5 — источники питания; 6 — ИМС; 7 — измеритель выходного (постоянного) напряжения; 8 — измеритель выходного (переменного) напряжения; 9 — осциллограф; 10 — измеритель нелинейных искажений

Максимальное выходное напряжение  $U_{\text{вых max}}$  для ИМС с двумя входами определяют по схеме, приведенной на рис. 13.5. На ИМС подают входное напряжение с заданными параметрами. Увеличивают напряжение входного сигнала (переключатель  $K5$  в положении 2) до такого значения, при котором параметры ИМС примут значения, заданные в технической документации. Измеряют  $U_{\text{вых max}}$ .

Минимальные выходные напряжения измеряют аналогично.

Относительный динамический диапазон по напряжению  $\Delta U_{\text{дин отн}}$  определяют по формуле

$$\Delta U_{\text{дин отн}} = 20 \lg U_{\text{вых max}} / U_{\text{вых min}}.$$

Максимальный выходной ток  $I_{\text{вых max}}$  для ИМС с одним входом измеряют по схеме, приведенной на рис. 13.4. Изменяя напряжение входного синусоидального сигнала при заданном номинальном значении нагрузки, устанавливают на выходе напряжение  $U_{\text{вых max}}$ . Пос-

ле чего сопротивление нагрузки заменяют резистором  $R'_н$ , величина которого задается НТД, и измеряют  $U'_{вых}$ . Максимальный выходной ток определяют по формуле  $I_{вых\ max} = U'_{вых} / R'_н$ .

Максимальный выходной ток  $I_{вых\ max}$  для ИМС с двумя входами измеряют по схеме, приведенной на рис. 13.5. Балансируют ИМС с заданной точностью, переключатель  $K5$  ставят в положение 2. Изменяя напряжение входного синусоидального сигнала при заданном номинальном значении сопротивления нагрузки, устанавливают на выходе напряжение  $U_{вых\ max}$ . Сопротивление нагрузки заменяют резистором  $R'_н$  и измеряют выходное напряжение  $U'_{вых}$ . Максимальный выходной ток находят по формуле  $I_{вых\ max} = U'_{вых} / R'_н$ .

Коэффициент усиления по напряжению  $K_{ув}$  для ИМС с одним входом определяют по схеме, приведенной на рис. 13.4. На вход ИМС подают синусоидальный сигнал  $U_{вх}$ , задаваемый в НТД, и измеряют переменное напряжение на выходе  $U_{вых}$ . Коэффициент усиления находят по формуле  $K_{ув} = U_{вых} / U_{вх}$ .

## Раздел IV

### СТАНДАРТИЗАЦИЯ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

#### Глава 14

#### КАТЕГОРИИ И ВИДЫ СТАНДАРТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

##### 14.1. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В СССР И ЕЕ РОЛЬ В СОЗДАНИИ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ КОММУНИЗМА

В решении задач дальнейшего подъема народного хозяйства и создания материальной базы коммунизма большое значение приобретает стандартизация как одно из важнейших средств ускорения технического прогресса, повышения качества продукции и создания основы для широкого развития специализации производства и внедрения комплексной механизации и автоматизации производственных процессов.

Сложность управления современным хозяйством, развитие новых отраслей промышленности, усложнение машин, оборудования и приборов, освоение и внедрение в производство новых материалов, широкое межотраслевое кооперирование, повышение требований к качеству, надежности и долговечности изделий, необходимость быстрой переналадки производства и мобильности в освоении новой техники — все это объективно требует более широкого и быстрого развития стандартизации.

Главным направлением работы по стандартизации в настоящее время является выполнение решений XXV съезда КПСС, пленумов ЦК и специальных Постановлений правительства об улучшении работы по стандартизации в стране. Эти решения требуют от стандартизации повышения научно-технического уровня стандартов и их роли в улучшении качества продукции, обновления действующих стандартов и технических условий, обеспечения замены устаревших показателей и своевременного отражения требований народного хозяйства, гарантирующих высокий технический уровень и качество продукции. При этом предлагается считать

важнейшей задачей унификацию и стандартизацию конструкций выпускаемой техники, узлов и деталей машин и механизмов межотраслевого применения, инструментов и технологической оснастки, типизацию технологии их изготовления, обеспечение взаимозаменяемости в процессе производства. Поэтому развитие и широкое использование стандартизации как многогранного средства повышения эффективности производства — задача каждого инженера и техника, каждого работника промышленности.

В постановлении Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР от 10 ноября 1970 г. № 937 «О повышении роли стандартов в улучшении качества выпускаемой продукции» указано, что вопрос качества продукции на современном этапе развития общественно-го производства — проблема сложная и является одной из важнейших экономических и политических задач. Проблема повышения качества продукции не может быть решена отдельными конструктивными и техническими мероприятиями. Разрешение ее возможно на основе системы управления качеством, основные положения которой заложены в ГОСТ 15467-70 «Качество продукции. Термины».

Система управления качеством охватывает все этапы создания изделий (проектирование, изготовление, эксплуатацию и ремонт) и увязывает в комплексе показатели качества сырья, материалов, полуфабрикатов и готовых изделий. Она базируется на стандартизации. Стандарты регламентируют требования к продукции, сырью, материалам и комплектующим ее элементам; определяют работы по управлению качеством; устанавливают методы и средства оценки контроля качества и систему аттестации качества; определяют технологические процессы производства и ремонта продукции; устанавливают режимы и правила эксплуатации продукции; предусматривают госнадзор и ведомственный контроль за качеством продукции.

Успешному решению задач, поставленных перед стандартизацией, способствует создание в СССР единых систем стандартов и технической документации. Основополагающими стандартами являются.

ГОСТ 1 — Государственная система стандартизации (ГСС).

ГОСТ 2 — Единая система конструкторской документации (ЕСКД).

ГОСТ 3 — Единая система технологической документации (ЕСТД).

ГОСТ 4 — Система показателей качества продукции.

ГОСТ 5 — Единая система аттестации качества продукции (ЕСАКП).

ГОСТ 8 — Государственная система единства измерений (ГСИ).

ГОСТ 14 — Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП).

ГОСТ 15 — Система постановки на производство новой продукции в СССР.

#### 14.2. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СТАНДАРТИЗАЦИИ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Основные функции стандартизации.** Стандартизация является полноправной наукой, имеющей свою теорию и практику, свои цели, принципы и методы. Она охватывает все стороны человеческой деятельности. Это наука о рациональных формах и способах организации деятельности, направленной на установление единых оптимальных средств культурной и экономической общности людей.

**Стандартизация** — установление и применение правил для упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон и, в частности, для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении условий эксплуатации (использования) и требований безопасности. Она основывается на объединенных достижениях науки, техники и практического опыта, определяет основу не только настоящего, но и будущего развития и должна осуществляться неразрывно с прогрессом.

**Стандарт** — результат конкретной работы по стандартизации, полученной на основе достижений науки, техники и практического опыта и утвержденный компетентным органом. Стандарт является нормативно-техническим документом, регламентирующим нормы, правила, требования, понятия и обозначения. Стандарт формулирует определенные свойства конкретного изделия, устанавливает предел качества продукции, ниже которого

го она бракуется. Кроме того, стандарт облегчает контроль за качеством продукции как со стороны ОТК, так и со стороны потребителя.

Основные аспекты стандартизации как целенаправленной деятельности общества — техническая и экономическая эффективность, качество и безопасность. Стандартизация дает возможность рассматривать любую человеческую деятельность с указанных выше точек зрения, поэтому она должна выполнять и определенные функции. К ним относятся функции, позволяющие рассматривать стандартизацию как средство экономического и общественного процесса, рационализации и оптимизации хозяйственной деятельности, управления качеством продукции и обеспечения оптимального качества. Объектами стандартизации являются в основном элементы материального производства (средства, технологии и организация производства), а также элементы нематериальной сферы (например, термины, величины, системы документации, нормы техники безопасности).

Стандартизация — в первую очередь наука прикладного характера. Тем не менее принципы и методы стандартизации используют во всех отраслях науки и техники. Точка зрения о том, что конечным результатом стандартизации должна являться разработка стандарта, неправильна, так как ограничивает возможности стандартизации. Работа по стандартизации должна завершаться составлением стандарта только в том случае, когда это необходимо, целесообразно и выгодно для народного хозяйства.

Таким образом, можно говорить о двух формах проявления стандартизации: прямой и косвенной. Прямая форма стандартизации состоит в разработке и принятии обязательного стандарта (государственного, отраслевого или стандарта предприятия). Косвенная форма стандартизации состоит в широком использовании принципов и методов стандартизации. Она способствует ускорению развития стандартизации, повышению качества продукции, снижению себестоимости, повышению производительности труда и получению экономического эффекта, независимого от того, завершилось ли данное мероприятие разработкой стандарта или нет.

Стандартизация в радиоэлектронной промышленности. Очень велико значение стандартизации для радиоэлектронной промышленности, характеризующейся весь-

ма широкой номенклатурой используемых материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий. Кроме того, радиоэлектроника отличается быстрой сменяемостью (моральным старением) объектов производства и вместе с тем большими сроками подготовки и освоения производства новых изделий, что объясняется их технической сложностью и физической сущностью процессов, происходящих в изделиях радиоэлектроники. И, наконец, весьма существенным свойством радиоэлектроники является ее широкая сфера распространения.

Достаточно четко определяют основные направления стандартизации ГОСТ 1.0-68—ГОСТ 1.5-68. Основные направления следующие:

- ускорение технического прогресса, повышение эффективности производства и производительности труда;
- улучшение качества продукции и обеспечение его оптимального уровня;
- обеспечение увязки требований к продукции с потребностями обороны страны;
- создание условий для широкого развития экспорта товаров высокого качества, отвечающих требованиям мирового рынка;
- совершенствование организации управления народным хозяйством страны и установление рациональной номенклатуры выпускаемой им продукции;
- развитие специализации в области проектирования и производства продукции;
- рациональное использование производственных фондов и экономия материальных и трудовых ресурсов;
- обеспечение охраны здоровья населения и безопасности труда работающих;
- развитие международного экономического, технического и культурного сотрудничества.

В соответствии с планом развития народного хозяйства работы по стандартизации в радиоэлектронной промышленности проводят в следующих направлениях.

В области электронной техники — установление технико-экономических показателей качества для радиодеталей и радиокомпонентов на уровне лучших мировых образцов; стандартизация технических требований к радиотехническим материалам; разработка комплекса стандартов, устанавливающих общие технические требования, ряды параметров, методы их измерения, габариты

ритные и присоединительные размеры радиодеталей и радиокомпонентов при одновременном повышении их надежности, долговечности и сохраняемости; унификация и стандартизация аппаратуры электронно-ионной техники для различных технологических процессов.

*В области радиовещания и телевидения* — установление научно обоснованных требований и единых технических показателей (обеспечивающих высококачественное изображение и надежность системы цветного телевидения), технических требований и методов испытаний основного оборудования трактов черно-белого телевидения, технических требований, методов испытаний, способов хранения и транспортирования радио- и телеаппаратуры, а также повышения ее качества и надежности.

*В области связи* — разработка единых требований на аппаратуру вторичного уплотнения телеграфных и фототелеграфных каналов, разработка норм на тракты междугородной сети единой автоматизированной системы связи (ЕАСС) для повышения качества передачи всех видов информации, установление общих технических требований и методов испытаний, унификация узлов, деталей и блоков комплекса ЕАСС, создание наиболее рациональных параметрических и размерных рядов, типов, марок, видов аппаратуры радиотелефонной связи, общих требований на аппаратуру узлов связи проводной радиосвязи для повышения качества радиовещания.

*В области систем управления и средств вычислительной техники* — создание автоматизированных систем управления и средств вычислительной техники на базе стандартных микросхем, комплекса стандартов на микроблоки и микросхемы в части единых требований к конструкции, параметрам, сопряжению, методам испытаний, правилам эксплуатации, хранения, транспортирования и приемки, механизация и автоматизация работ по конструированию ЭВМ.

*В области радиоизмерений* — стандартизация параметров и методов измерений, унификация автоматических и полуавтоматических приборов с цифровым отсчетом для измерения основных параметров РЭА в процессе ее регулирования, испытаний и контроля, стандартизация и унификация общих требований, методов расчета и испытаний на надежность, установление критериев

оценки качества РЭА при ее разработке, изготовлении, эксплуатации, хранении и консервации, комплексная микроминиатюризация радиоизмерительной аппаратуры.

*В области унификации узлов, блоков и приборов общего применения* — разработка комплекса стандартов, определяющих требования, правила и нормы по конструированию, испытанию, изготовлению и эксплуатации узлов, блоков и приборов в модульном, микромодульном и микроминиатюрном исполнениях.

*В области общих норм, правил и требований* — разработка комплекса стандартов, устанавливающих методы и организацию управления наукой и производством, а также по унификации и стандартизации. Большое внимание будет уделено разработке общих норм и требований к расчету и испытанию изделий на надежность, к консервации, упаковке и длительному хранению, отраслевым стандартам, обеспечивающим внедрение Единой системы конструкторской и технологической документации.

**Международная стандартизация.** Прогресс науки и техники и рост промышленного производства сопровождаются ростом международного товарооборота. Для обеспечения взаимопонимания изготовителя и потребителя, а также для возможности сравнения товаров разных стран требуется широкая и всесторонняя международная стандартизация. Наиболее крупными организациями по международной стандартизации являются Международная организация по стандартизации (ИСО) и Международная электротехническая комиссия (МЭК). Кроме этого, существуют другие организации, связанные со стандартизацией. Например, Международный союз электросвязи (решает вопросы распределения частот, градации мощности радиопередатчиков, условных телеграфных кодов). Вопросами радиосвязи и радионавигации занимается Международная комиссия по гражданской авиации. В области контроля качества работает Европейская организация по контролю качества.

Составной частью международной стандартизации является стандартизация в странах — членах СЭВ. Сейчас страны — члены СЭВ производят более одной трети мировой промышленной продукции. Во многом таким темпам развития производства способствовала национальная стандартизация и стандартизация, проводимая

в рамках СЭВ. Страны — члены СЭВ ведут большие работы по ускорению технического прогресса, снижению трудоемкости, увеличению объема промышленной продукции и повышению ее качества, экономии материальных ресурсов, улучшению условий труда, а также созданию условий для социалистического кооперирования и специализации производства, расширению международных экономических связей. Характерной чертой стандартизации в странах — членах СЭВ является тесное взаимовыгодное сотрудничество.

Для проведения работы по экономическому и научно-техническому сотрудничеству в СЭВ созданы Постоянные комиссии, которые выполняют работы по стандартизации. Большое практическое значение имеет работа Постоянной комиссии СЭВ по радиотехнической и электронной промышленности (КРЭП). Сотрудничество в рамках КРЭП проводится в области полупроводниковой техники, интегральных микросхем, электровакуумных приборов, радиодеталей и радиокомпонентов.

В настоящее время взаимное сотрудничество стран — членов СЭВ вступило в новую фазу. В соответствии с решением XXIII сессии СЭВ разработан проект комплексной программы стандартизации. В проекте предусмотрено более эффективное использование стандартизации в процессе развития социалистической экономической интеграции. Комплексной программой предусмотрена разработка ряда новых рекомендаций по стандартизации с целью корректировки национальных стандартов и разработки новых НТД — стандартов СЭВ. Международное научно-техническое сотрудничество, проводимое в рамках СЭВ, особенно плодотворно и перспективно в области радиоэлектроники.

#### 14.3. КАТЕГОРИИ И ВИДЫ СТАНДАРТОВ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Государственная система стандартизации (ГСС), принятая в нашей стране, имеет исключительно важное значение. ГСС устанавливает категории и виды стандартов, а также порядок их разработки, определяет объекты, на которые должны утверждаться государственные, отраслевые стандарты и стандарты предприятий. Исходя из принятого в промышленности деления предприятий и организаций на отрасли и подотрасли (на-

правления техники), в табл. 14.1 приведены наиболее характерные группы объектов стандартизации (по ГОСТ 1.0—68) и соответствующие им категории стандартов. В этой таблице знаком «+» отмечена сфера обязательного применения.

Таблица 14.1

Объекты стандартизации	ГОСТ (народное хозяйство)	ОСТ (отрасли)	ОСТ (подотрасли)	СТП (предприятия)
Общетеchnические и организационно-методические правила, нормы и требования	+	+	+	+
Системы документаций	+	—	—	—
Системы классификаций, кодирования, информации и организации	+	+	+	—
Единицы измерения, эталоны, термины, обозначения, методы и средства измерения	+	+	+	—
Поставляемая продукция	+	+	+	—
Требования к изделиям общего применения	+	+	+	+
Технологическая оснастка и инструмент	+	+	+	+
Технологические процессы, нормы и требования	—	+	+	+

Показатели, нормы и требования, установленные в стандартах, должны соответствовать передовому уровню науки, техники и производства. Одно из главных требований ГСС — обязательное включение в стандарты показателей надежности и долговечности, что особо важно для радиоэлектроники, где постоянно растущая сложность изделий находится в противоречии с надежностью и долговечностью.

Отраслевые стандарты (ОСТ) обязательны для всех предприятий и организаций одной отрасли, а также для предприятий и заказчиков других отраслей, применяющих продукцию этой отрасли. Эти стандарты устанавливаются на продукцию, не отнесенную к объектам государственной стандартизации, а также на нормы, правила и регламентации, необходимые для обеспечения оптимального качества продукции, обеспечения взаимосвязи в производстве.

*Стандарты предприятий (СТП)* обязательны только для данного предприятия. Они утверждаются руководством предприятия и устанавливаются на объекты в области организации и управления производством, технологические нормы, типовые и унифицированные детали данного предприятия. СТП разрабатывают на основе ГОСТ и ОСТ. На поставляемую предприятием продукцию СТП не распространяются.

При определении категории стандартов рассматривают непосредственное влияние показателей, устанавливаемых в стандарте, на объект стандартизации. Если в этих показателях заинтересовано несколько министерств или ведомств, то такой стандарт относят к категории государственного. Если же объекты стандартизации новы и показатели стандарта не стабильны, то такие объекты относят к объектам отраслевой стандартизации. Если в показателях стандарта заинтересовано одно министерство или ведомство, то его рассматривают в рамках данного министерства или ведомства. Если данный стандарт будут применять многие предприятия одной отрасли, то стандарт относят к отраслевым. Часто встречаются объекты, в стандартизации которых заинтересовано несколько предприятий не только одного Главного управления. Такие объекты относят к подотраслевой стандартизации.

**Виды стандартов.** Вид стандарта определяется в зависимости от его назначения, содержания, построения и взаимной связи с другими НТД. В радиоэлектронике стандарты по их видам подразделяют на две группы: стандарты, распространяющиеся на определенную продукцию или относящиеся к определенным видам изделий и их качественным параметрам, и стандарты на общие нормы и требования.

К стандартам первой группы относят: стандарты технических условий; стандарты параметров (размеров); стандарты типов и основных параметров (размеров); стандарты технических требований; стандарты методов испытаний; стандарты правил приемки, маркировки, упаковки, хранения, транспортирования, а также стандарты правил эксплуатации и ремонта.

*Стандарты технических условий* разрабатывают на детали и узлы конструктивно-элементной базы радиотехнических устройств, радиоизмерительных приборов и массовых изделий электронной техники.

*Стандарты общих технических условий* разрабатывают на группу однотипных изделий, для которых установлены единые нормы показателей качества, например на резисторы, конденсаторы, функциональные узлы и т. д.

*Стандарты параметров (размеров)* устанавливают параметрические или размерные ряды изделий по основным потребительским показателям качества, на базе которых разрабатывают конкретные виды и типы изделий данной группы, например ГОСТ 4907—62 приводит ряды номинальных сопротивлений переменных резисторов.

*Стандарты типов изделий и их основных параметров (размеров)* устанавливают типы продукции по основным параметрам и другим эксплуатационным показателям и объединяют группу однотипных изделий, например ГОСТ 18472—73 дает габаритные и присоединительные размеры корпусов полупроводниковых приборов.

*Стандарты технических требований* устанавливают требования и нормы, определяющие эксплуатационные и производственные показатели качества и свойства изделия, например ГОСТ 17195—76 приводит общие технические требования к автоматизированным системам управления технологическими процессами.

*Стандарты методов испытаний.* Эти стандарты устанавливают методы испытаний (контроля, анализа, измерений) эксплуатационных характеристик, определяющих показатели качества изделий. Например ГОСТ 19799—74 посвящен методам измерения электрических параметров аналоговых интегральных схем.

К стандартам второй группы относят: стандарты типовых технологических процессов и организационно-методические, стандарты на общетехнические нормы и ограничительные стандарты.

*Стандарты типовых технологических процессов* получили в радиоэлектронике широкое распространение. Это, например, стандарты на пайку, герметизацию, сварку, влагозащиту, радиомонтаж и другие сборочные работы. Стандартизация типовых технологических процессов опирается на соответствующие исследования, их оптимизацию по качественным и типовым признакам и исключает необходимость разработки таких процессов каждым предприятием. Стандарты этого типа могут быть отраслевые, подотраслевые и предприятий.

*Стандарты организационно-методические* устанавливают нормы, требования и правила, регламентирующие организацию проведения работы на всех стадиях создания продукции. Стандарты этого вида (отраслевые и предприятий) широко применяют в радиоэлектронике. Например, внедряются стандарты, определяющие организацию работ отдельных служб, организацию производства микромодулей частного применения.

*Стандарты на общетехнические нормы* устанавливают термины, обозначения, единицы измерения, системы документаций, применяемых в промышленности.

*Стандарты на проектно-конструкторские нормы* содержат общие и специальные конструкторские нормы, общие нормы на параметры и размеры изделий и материалов. К этой группе стандартов относят, например, стандарты на предпочтительные числа, размеры, допуски и посадки, а также на методики расчета, ряды напряжений и токов, требования к надежности, долговечности, устойчивости к механическим и климатическим воздействиям.

К стандартам этого вида относят также ограничительные стандарты всех категорий, предназначенные, в частности, для сокращения номенклатуры используемых материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, размеров, параметров.

#### 14.4. ОТРАСЛЕВАЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ

С введением ГСС значительно возросла роль отраслевых стандартов в определении качества продукции, дающих возможность министерствам, научно-производственным объединениям и предприятиям решать многие задачи, связанные с развитием отрасли и повышением эффективности производства.

Под системой отраслевой стандартизации понимают комплекс взаимосвязанных положений и правил, определяющих цели и задачи стандартизации, организацию и методику проведения работы по стандартизации в отраслях, подотраслях, научно-исследовательских институтах, на опытно-конструкторских и промышленных предприятиях, их подразделениях и службах. Система отраслевой стандартизации задает объекты стандартизации, категории и виды стандартов, а также порядок разработки и утверждения стандартов. Целью отраслевой стандартизации является обеспечение высокого ка-

чества и заданного уровня надежности и долговечности изделий, а также повышение производительности труда и снижение себестоимости продукции.

В настоящее время в радиоэлектронной промышленности ведутся работы над созданием отраслевой единой комплексной организационно-правовой и технико-экономической системы. Однако имеются отраслевые стандарты, определяющие исходную отраслевую систему и ее влияние на научно-техническую и производственную деятельность в радиоэлектронике.

*Стандарты на систему стандартизации* — органы и службы стандартизации в отрасли; система планирования, учета и отчетности по работам в области стандартизации; порядок разработки, утверждения и создания отраслевых стандартов и стандартов объединений и предприятий; порядок построения, содержания и изложения стандартов; порядок внедрения стандартов на предприятиях отрасли; контроль за внедрением и соблюдением стандартов; порядок проведения работ по определению уровня стандартизации и унификации изделий; методика оптимизации в стандартах типоразмерных и параметрических рядов.

*Стандарты на методы организации работ* — порядок проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; положение о взаимоотношениях разработчиков и изготовителей изделий; порядок разработки и выдачи технических заданий на работы, выполняемые подразделениями предприятий; методика стандартизации и порядок использования типовых технологических процессов; автоматизированные системы управления проектированием и производством; порядок разработки, утверждения и регистрации технических условий на продукцию отрасли.

*Стандарты по вопросам качества и надежности* — система высококачественного проектирования изделий; система организации бездефектного труда на предприятии; порядок подготовки и проведения государственной аттестации качества изделия; порядок подготовки и проведения отраслевой аттестации качества продукции; методика сбора и обработки данных о надежности изделий; методика организации входного контроля и тренировки комплектующих изделий и элементов.

*Стандарты на техническую документацию и контроль качества* — положение о порядке контроля технической

документации подразделениями надежности предприятия; унификационный контроль конструкторской документации; технологический контроль конструкторской документации; методические рекомендации по внедрению единой конструкторской и технологической документации в отрасли.

*Стандарты по оценке технико-экономической эффективности* — методики определения экономической эффективности разработки и внедрения стандартов, экономического эффекта унификации и стандартизации на предприятиях отрасли, эффекта от типизации и ограничения применимости технико-экономической эффективности повышения качества и надежности изделий, фактической экономической эффективности от внедрения стандартов и др.

*Основные направления работы по отраслевой стандартизации.* Изделия радиоэлектронной промышленности включают в себя большое число комплектующих элементов, деталей, узлов и приборов, используемых для создания функционально самостоятельных устройств. Это обстоятельство требует широкого применения принципов и методов стандартизации. В последние годы для радиоэлектронной промышленности характерны следующие направления работ по стандартизации:

1. Унификация действующей НТД. Вместо действующих в 1965 г. 23 тыс. стандартов и нормалей, в значительной степени дублирующих друг друга, сейчас на предприятиях используется только около 3 тыс. [1]. Сокращение числа действующих НТД — одна из главных задач органов и служб стандартизации.

2. Стандартизация требований, норм и параметров на основные виды радиоэлектронных изделий.

3. Стандартизация конструктивно-элементной базы радиоэлектронной промышленности. Внедряются большое количество стандартов на модули, микромодули, микросхемы, установочные и соединительные детали, трансформаторы, дроссели и другие радиодетали и радиокомпоненты.

4. Стандартизация технологической базы. Внедряются стандарты на типовые технологические процессы сборки, печатного монтажа, герметизации, металлизации, микроминиатюризации.

5. Стандартизация в области НТД, используемой при проектировании новых изделий. Внедряются современ-

ные методы расчета механических конструкций, надежности, тепловых режимов.

Продолжится также работа по разработке, совершенствованию и внедрению Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), Единой системы технической подготовки производства (ЕСТПП), системы допусков и посадок элементов конструкций деталей изделий широкого применения, системы классификации и кодирования всей продукции народного хозяйства, единой терминологии во всех отраслях и подотраслях.

#### 14.5. ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ СТАНДАРТИЗАЦИИ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Основными методами стандартизации являются методы ограничения, типизации, агрегатирования и унификации.

**Метод ограничения** заключается в отборе из существующей совокупности номенклатуры объектов, разрешенных для использования в данной отрасли, на данном предприятии или в каком-либо изделии. Основные направления работ по рациональному ограничению в радиоэлектронике следующие:

1) ограничение номенклатуры покупных комплектующих изделий, разрешенных для применения на предприятии отрасли, например перечень радиодеталей, разрешенных при разработке РЭА (НО.005.038);

2) ограничение номенклатуры разрешенных для применения материалов и полуфабрикатов для данной отрасли промышленности, например перечень материалов, разрешенных для применения при новом проектировании радиоизмерительных приборов (Насо.002.007);

3) ограничение видов используемых технологических процессов. Например, существует много технологических процессов изготовления печатных плат, а на предприятиях отрасли допускают только шесть видов процессов (ограничительный стандарт «Платы печатные. Технология»);

4) ограничение применения элементов конструкций — линейных размеров, диаметров, резьб, допусков, посадок и др. Например, перечень диаметров и шагов метрических резьб, разрешенных к применению на предприятиях отрасли вычислительной техники (НО.010.010);

5) ограничение номиналов электрических, физиче-

ских и других основных параметров изделий (например, ГОСТ 2519—67 устанавливает ряды номинальных емкостей конденсаторов);

б) ограничение номенклатуры комплектующих изделий и материалов для конкретных видов изделий (например ОСТ ОКО.005.042 приводит перечень электрорадиоэлементов, разрешенных к применению в бытовой аппаратуре магнитной записи).

**Метод типизации** заключается в рациональном сокращении видов объектов для установления отдельных типовых (выполняющих целый ряд функций) объектов данной совокупности и принимаемых за базу для создания других объектов, аналогичных или близких по функциональному назначению.

Типизация как эффективный метод стандартизации широко используется в промышленности для стандартизации типовых изделий общего назначения, а также для стандартизации типовых технологических процессов изготовления изделий и методов их испытаний.

Получение большого технико-экономического эффекта метод типизации дает при проектировании нового изделия, так как при этом используют проверенные решения и конструкцию, исключая поиск и возможные ошибки. Кроме того, технико-экономический эффект получается из-за обеспечения преемственности в производстве, ускорения его подготовки и снижения расходов на ее выполнение, а также облегчения условий эксплуатации и ремонта изделий.

Важной особенностью метода типизации является то, что он позволяет вокруг базовых изделий легко создавать новые модификации с некоторым изменением типового изделия.

Работы по методу типизации завершают обычно созданием стандартов соответствующей категории.

**Метод агрегатирования** заключается в создании изделий частного функционального назначения на основе размерной или (и) функциональной взаимозаменяемости их составных частей.

Признаки агрегатирования: функциональная законченность составных частей, конструктивная обратимость, изменение функциональных свойств изделия при перестановке составных частей.

Агрегатирование широко используется в радиоэлектронике при применении функционально-узловых мето-

да проектирования РЭА из модулей, микромодулей, микросхем и других унифицированных функциональных узлов. Ряды этих узлов строго нормированы, имеют одинаковые или кратные присоединительные размеры и электрические параметры и дают возможность создавать большое число устройств. Технико-экономическая эффективность агрегатирования заключается в резком снижении проектирования новых изделий, улучшении условий ремонта, увеличении серийности производства стандартизированных составных частей и в повышении их качества.

**Унификация** заключается в рациональном сокращении существующей номенклатуры объектов отбором или созданием новых объектов широкого применения (в этом ее отличие от агрегатирования), выполняющих большинство функций объектов данной совокупности, но не исключающих использование других объектов аналогичного назначения. Признаки унификации: единообразие в конструктивном оформлении изделий, функциональная законченность изделий, подчинение основных параметров изделий общим требованиям или подчинение основных параметров ряда определенному закону, возможность использования унифицированных изделий в составе различных изделий.

Унификация обеспечивает снижение стоимости и трудоемкости, повышение качества, улучшение использования оборудования, применение прогрессивных технологических процессов, сокращение сроков и объемов работ при проектировании и производстве новых изделий. Использование унифицированных изделий облегчает эксплуатацию и ремонт.

Большая технико-экономическая эффективность стандартизации ясна, но чтобы получить эту эффективность, необходимо хорошо знать и понимать основные методы стандартизации.

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### 15.1. ТИПОРАЗМЕРНЫЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ РЯДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ СОЗДАНИИ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Радиодетали и радиокомпоненты находят широкое применение в аппаратуре различного назначения и выпускаются в больших количествах. Поэтому экономически целесообразно разрабатывать и изготавливать их на специализированных предприятиях. Однако такие радиодетали и радиокомпоненты по параметрам и конструкции не связаны с конструкцией и схемой какой-либо РЭА. Чтобы упростить проблему взаимного согласования параметров и конструкций радиоэлементов и РЭА, используют их широкую нормализацию, унификацию и стандартизацию.

К числу важнейших общих конструкторских норм, используемых при создании радиодеталей и радиокомпонентов, относятся ряды предпочтительных чисел, установленные ГОСТ 8032—56, имеющим общепромышленное применение. В соответствии с этим ГОСТ ведется разработка государственных и отраслевых стандартов на ряды параметров (размеров), показателей качества, основных габаритных размеров сопрягаемых поверхностей деталей. В соответствии с ГОСТ 8032—56 определяют также типы, виды и классы радиодеталей и радиокомпонентов. Примером использования стандарта на ряды предпочтительных чисел в радиоэлектронной промышленности могут служить, например, ГОСТ на ряды номинальных сопротивлений резисторов, емкостей конденсаторов, выходных напряжений трансформаторов и их мощностей, габаритные размеры печатных плат.

Наиболее широкое применение ряды нашли в стандартах на резисторы и конденсаторы. В СССР согласно ГОСТ 2825—67 для резисторов установлено шесть рядов МЭК номинальных величин сопротивлений: E6, E12, E24, E48, E96, E192. Цифра после буквы E указывает количество номинальных величин в ряду. Например, ряд E6 номинальных величин сопротивлений резисторов общего применения имеет шесть числовых коэффициен-

тов: 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7 и 6,8. Значение сопротивления резистора в ряду должно соответствовать одному из этих коэффициентов, умноженному на  $10^n$  ( $n$  — целое положительное или отрицательное число). Допустимое отклонение сопротивления от номинала  $\pm 20\%$ .

Широкое использование при разработке конструкций имеют ряды размеров, которые устанавливает ГОСТ 6636—69. Благодаря этому ГОСТ можно унифицировать и ограничить все основные и базовые линейные размеры радиодеталей и радиокомпонентов.

Использование рядов предпочтительных чисел дает хороший практический и методологический результат. Он является основой для унификации продукции, обеспечивающей установление рациональной и минимально необходимой номенклатуры видов, марок и типоразмеров изделий. Применение предпочтительных чисел ускоряет разработку изделий, так как упрощает расчеты и облегчает выбор рациональных параметров и числовых характеристик.

Следует отметить, что пока еще не все стандартизированные и унифицированные изделия попадают под действие рядов предпочтительных чисел. Так, например, большинство стандартов на размеры крепежных изделий, широко применяемых в РЭА (болты, винты, шпильки и др.), построено на ступенчато-арифметической прогрессии. Это обстоятельство сдерживает широкое и однозначное применение рядов предпочтительных чисел. Внедрение рядов предпочтительных чисел при производстве радиодеталей и радиокомпонентов сдерживается также сложностью ломки установившихся многих исходных параметров и размерных характеристик, а также сложностью многих функциональных зависимостей и физических процессов.

Радиокомпоненты в большинстве своем образуют типоразмерные и параметрические ряды, которые, как правило, не соответствуют по числовым значениям ряда предпочтительных чисел. Типоразмерные ряды модулей и микромодулей строятся по соответствующим отраслевым стандартам. Однако и здесь применение предпочтительных чисел встречается редко. В то же время нет практически ни одного направления радиоэлектроники, где бы не использовались стандарты, содержащие требования к типоразмерам и параметрическим рядам.

## 15.2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

Все действующие стандарты помещены в указатель «Государственные стандарты СССР», который выходит ежегодно. В указателе все стандарты размещены по разделам, классам и группам в соответствии с Классификатором государственных стандартов СССР. Наименования документов внутри групп расположены в алфавитном порядке, а стандарты на аттестованную продукцию — в порядке возрастания номеров.

Указатель состоит из пяти частей. Часть I дает государственные стандарты СССР, часть II — стандарты СЭВ, введенные в действие непосредственно в качестве государственных стандартов СССР, часть III — номера государственных стандартов СССР, часть IV — номера стандартов СЭВ, введенных в действие в качестве государственных стандартов СССР, и часть V — предметный указатель, дающий наименования стандартизируемых объектов с указанием групп по классификатору государственных стандартов СССР.

При поиске, если известен только номер документа, по частям III и IV устанавливают группу, а наименование документа находят в частях I и II указателя.

Если ГОСТ заменен новым, действие которого начинается после 1 января текущего года, то в частях I и II публикуют только новый стандарт. В части III помещены номера утвержденного стандарта, срок действия которого еще не наступил. В графе «Для отметок» указывают сроки введения и прекращения действия этих стандартов, например:

13699 — 74 Э00 до 01.07.80,  
14611 — 78 Э02 с 01.07.79 до 01.07.84.

Для стандартов СЭВ (СТ СЭВ) в графе «Для отметок» в числителе указывают срок применения СТ СЭВ в договорно правовом отношении, а в знаменателе — в народном хозяйстве СССР, например:

300 — 76 Э23  $\frac{01.09.77}{01.06.79}$ .

В случае введения СТ СЭВ в государственный стандарт СССР под его обозначением указывают обозначение

СТ СЭВ, например:

ГОСТ 19157—73  
(СТ СЭВ 501—77).

Одной звездочкой отмечают номер измененного стандарта. В графе «Для отметок» в скобках дают номер изменения, номер и год издания информационного указателя, в котором оно опубликовано, например:

19524—74\* Э22 (1-V-77)

В соответствии с изменением № 2 к ГОСТ 1.21—75 содержание предыдущих изменений не включается в последующие (каждое изменение действует отдельно). В этом случае в графе «Для отметок» помещают все сведения об изменениях, принятых к стандарту, например:

8106 — 70 Э29 до 01.01.84  
(2-V-77)  
(3-XII-78).

Двумя звездочками отмечают номера стандартов, замененных или отмененных в частях, например:

6580—63\*\*.

С 1969 г. утверждаются стандарты, имеющие номера ранее отмененных. Такие стандарты отмечают тремя звездочками, например:

3858—73\*\*\*.

Указатель имеет основные деления по разделам, например: Раздел А. Горное дело. Полезные ископаемые; Раздел Э. Электронная техника, радиоэлектроника и связь. Радиодетали и радиокомпоненты в основном относятся к разделу Э. Отдельные радиодетали и радиокомпоненты могут входить в раздел Е.

Разделы Указателя в свою очередь делятся на классы, а последние на группы. В разделе Э, например, есть класс Э0, устанавливающий общие правила и нормы по электронной технике, радиоэлектронике и связи. Группа этого класса Э00 определяет термины и обозначения. Так, например, ГОСТ 13453—68, приводит систему сокращенных обозначений для конденсаторов, резисторов и болометров, а ГОСТ 18682—73 — классификацию и си-

стему обозначений интегральных микросхем. Группа Э02 включает нормы расчета и проектирования. В эту группу входит, например, ГОСТ 19613—74, дающий габаритные и присоединительные размеры корпусов выпрямительных диодов и выпрямительных столбов и блоков.

В классе Э2 помещены элементы радиоэлектронной аппаратуры, а в группе Э20 этого класса — классификация, номенклатура и общие нормы. Пример: ГОСТ 16962—71. Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний. В группе Э21 класса Э2 приводятся конкретные стандарты на резисторы и конденсаторы. Пример: ГОСТ 9087—73. Конденсаторы бумажные видов БМ-2 и БМТ-2. В группе Э24 класса Э2 содержатся конкретные стандарты на радиокомпоненты. Пример: ГОСТ 17049—71. Вставки плавкие на номинальные токи до 10 А. Габаритные размеры. В группе Э29 класса Э2 приводятся методы испытаний радиодеталей и радиокомпонентов. Пример: ГОСТ 18986—73. Диоды полупроводниковые. Метод измерения постоянно обратного тока.

Многие радиодетали и радиокомпоненты изготавливаются не по ГОСТ, а в соответствии с отраслевыми стандартами. Эти стандарты устанавливает Указатель отраслевых стандартов СССР, построенный по тому же принципу, что и Указатель государственных стандартов СССР. Следовательно, и здесь радиодетали и радиокомпоненты относятся к разделу Э. В частности, группа Э01 класса Э0 раздела Э содержит техническую документацию на радиодетали и радиокомпоненты. Пример: ОСТ 4 Г0.073.002. Микросхемы специализированные гибридные серий 247 и 248. Руководство по выбору.

Группа Э02 класса Э0 раздела Э устанавливает нормы расчета и проектирования. Сюда входят, например, стандарты: ОСТ 4 Г0.010.011. Платы печатные. Конструирование; ОСТ 4 Г0.221.004. Микромодули плоскостной конструкции. Конструирование. Группа Э03 класса Э0 раздела Э распространяется на надежность РЭА и ее элементов. Например, ОСТ 4. Г0.012.015 знакомит с методикой выбора параметров схем по критерию надежности. Группа Э08 класса Э0 раздела Э приводит стандарты на применение и эксплуатацию радиодеталей и радиокомпонентов. Группа Э09 класса Э0 раздела Э приводит методы испытаний.

### 15.3. КЛАССИФИКАЦИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

К настоящему времени для многих радиодеталей и радиокомпонентов разработана и применяется стройная система их классификации и условных обозначений. К таким радиодеталям и радиокомпонентам можно отнести полупроводниковые приборы, резисторы, конденсаторы и другие радиодетали и радиокомпоненты. А для таких, как дроссели, трансформаторы, установочные и соединительные устройства, намечается провести соответствующую работу по упорядочению классификации и условных обозначений. В качестве примера рассмотрим классификацию и систему условных обозначений некоторых радиодеталей и радиокомпонентов.

**Резисторы.** По типу проводящего элемента резисторы разделяют на проволочные и непроволочные. Как те, так и другие могут быть постоянными и переменными. Постоянные резисторы в зависимости от назначения делятся на резисторы: общего применения, прецизионные, высокочастотные и импульсные, высоковольтные (свыше 2 кВ), высокоомные (свыше 10 МОм).

Переменные резисторы бывают подстроечные и регулировочные. Подстроечные предназначены для периодической подстройки аппаратуры, а регулировочные используют для многократных оперативных настроек. По характеру изменения сопротивления от угла поворота подвижной оси переменные резисторы подразделяют на линейные и нелинейные (функциональные).

В РЭА используют резисторы с сопротивлением от долей ома до десятков мегом. Для удобства изготовления и применения резисторов номинальные значения их сопротивлений стандартизованы в соответствии с ГОСТ 2825—67 (для резисторов постоянного сопротивления) и ГОСТ 10318—74 (для резисторов переменного сопротивления). Номинальное значение сопротивления обычно указывают на корпусе резистора.

Допустимое отклонение сопротивления от номинального определяется классом точности резистора, установленным ГОСТ 9664—74. Наиболее часто применяют резисторы с допустимым отклонением сопротивления от номинального  $\pm 5\%$  (1-й класс точности),  $\pm 10\%$  (2-й класс точности),  $\pm 20\%$  (3-й класс точности). В случае необходимости применяют резисторы более высокого класса точности (прецизионные) с допустимым отклоне-

нием от номинала  $\pm 0,1$ ;  $\pm 0,2$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1,0$ ,  $\pm 2,0\%$ . Допустимые отклонения от номинала для резисторов постоянного сопротивления указывают на его корпусе: буква Ж соответствует допустимому отклонению  $\pm 0,1\%$ ; У —  $\pm 0,2\%$ ; Д —  $\pm 0,5\%$ ; Р —  $\pm 1\%$ ; А —  $\pm 2\%$ ; И —  $\pm 5\%$ ; С —  $\pm 10\%$ ; В —  $\pm 20\%$  и Ф —  $\pm 30\%$ . Допустимые отклонения сопротивления от номинала на переменных и подстроечных резисторах широкого применения не проставляют, так как все резисторы с номинальным сопротивлением до 220 кОм изготавливают с допуском  $\pm 20\%$ , а резисторы с большими номиналами — с допуском  $\pm 30\%$ .

Номинальную мощность рассеяния резисторов устанавливают ГОСТ 9663—75. Наиболее часто применяемые постоянные резисторы имеют номинальную мощность рассеяния 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 и 10 Вт, а переменного сопротивления — 0,5; 1,0 и 2,0 Вт.

Каждый тип резистора характеризуют номинальным напряжением. Стандарт устанавливает следующие значения номинальных напряжений: 100, 250, 350, 500, 700, 1000, 1500, 3000 и 5000 В.

Обозначение резисторов новых типов в соответствии с ГОСТ 13453—68 начинается буквой С. Следующие за ней цифры характеризуют вид токопроводящего материала и основную конструктивную особенность резистора (1 — пленочный углеродистый или бороуглеродистый; 2 — металлопленочный, 3 — пленочный композиционный, 4 — объемный, 5 — проволочный). Например, С5-3 — резистор проволочный постоянного сопротивления третьего варианта.

Принятые ранее типовые обозначения для непроволочных постоянных резисторов отображают их основные свойства и особенности. Первая буква, входящая в обозначение типа резистора, указывает вид материала резистивного элемента (Б — бороуглеродистые, К — композиционные, М — металлопленочные, У — углеродистые), вторая — вид защиты (В — вакуумные, Г — герметичные, И — изолированные, А — легированные, Н — незащищенные, Э — экранированные), третья — характеризует особые свойства или назначение резистора (В — высоковольтные, И — измерительные, М — малагабаритные, П — прецизионные, С — специальные, Т — теплоустойчивые, У — ультравысоковольтные). Например, БЛП — резистор постоянный бороуглеродистый лакированный

прецизионный. В обозначении резисторов указывают (кроме типа) мощность рассеяния, номинал и класс точности. Например, металло-пленочный лакированный теплостойкий резистор типа МЛТ, имеющий мощность рассеяния 0,5 Вт, сопротивление 220 кОм и класс точности  $\pm 10\%$ , обозначают так: МЛТ-0,5-220 кОм  $\pm 10\%$ .

Резисторы переменные непроволочные обозначают буквами СП (пленочные) и СПО (объемные). Далее указывают конструктивный вариант (для резисторов СП) или номинальную мощность рассеяния (для резисторов СПО), вид конца оси (ОС-3 — шлиц под отвертку, ОС-5 — лыска для крепления ручки управления), длину выступающего конца оси в миллиметрах, буквенное обозначение закона изменения величины сопротивления от угла поворота оси (А — линейный, Б — логарифмический, В — обратнологарифмический), номинальную мощность рассеяния, номинальное сопротивление, допустимое отклонение от номинала. Так, например, запись СПО-0,5-1-Б-33 кОм  $\pm 30\%$ -ОС-3-25 означает: непроволочный резистор переменного сопротивления, объемный, номинальная мощность рассеяния 0,5 Вт, конструктивный вариант 1, логарифмическая характеристика, номинальное сопротивление 33 кОм с допустимым отклонением от номинала  $\pm 30\%$ , шлиц под отвертку с осью длиной 25 мм.

Резисторы могут быть обозначены в виде кода по ГОСТ 11076—69. Приведем несколько примеров: резистор, имеющий номинальное сопротивление 100 Ом, получил кодовое обозначение К10; 470 Ом — К47; 1 кОм — К10; 4,7 кОм — 4К7; 47,5 кОм — 47К5; 100 кОм — М10; 470 кОм — М47; 1 МОм — 1М0; 47 МОм — 47М.

**Конденсаторы.** По характеру изменения напряжения конденсаторы подразделяют на постоянные, переменные и подстроечные. Конденсаторы классифицируют:

1) по напряжению — низковольтные (рабочее напряжение  $U_{\text{раб}} < 1600$  В) и высоковольтные ( $U_{\text{раб}} > 1600$  В);

2) по мощности — малой и большой мощности;

3) по области применения — при слабых токах и низких напряжениях и при сильных токах и высоких напряжениях;

4) по виду используемого диэлектрика — с газообразным диэлектриком (воздушные, вакуумные), с жидким диэлектриком (наполненные маслом, синтетической жидкостью или жидким диэлектриком, переходящим

в твердое состояние), с твердым неорганическим диэлектриком (стеклокерамические, слюдяные, керамические), с твердым органическим диэлектриком (бумажные, пленочные), с оксидным диэлектриком (жидкостные, сухие и твердые), оксидно-полупроводниковые электролитические конденсаторы;

5) по диапазону рабочих частот — для постоянного или пульсирующего напряжения, для напряжений звуковых частот (10—10 000 Гц), для напряжений радиочастотного диапазона (0,1—100 МГц),

6) по назначению — широкого применения и специальные.

В РЭА применяют конденсаторы с емкостью от нескольких пикофард до тысяч микрофард. Для удобства изготовления и применения конденсаторов величины емкости их стандартизованы.

Ряды номинальных величин емкости конденсаторов устанавливают ГОСТ 14611—69 (для конденсаторов постоянной и переменной емкости) и ГОСТ 2519—67 (для постоянных конденсаторов). Номинальное значение емкости обычно указывают на корпусе конденсатора в соответствии с ГОСТ 11076—69. Допустимое отклонение емкости от номинальной определяется классом точности конденсатора по ГОСТ 9661—73. Наиболее часто конденсаторы постоянной емкости изготавливают со следующей точностью:  $\pm 2\%$  (0-й класс точности),  $\pm 5\%$  (1-й класс точности),  $\pm 10\%$  (2-й класс точности),  $\pm 20\%$  (3-й класс точности).

Электролитические конденсаторы изготавливают с номинальными емкостями в 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 1000, 2000 и 5000 мкФ. Номинальные емкости электролитических конденсаторов и величину отклонения емкости от номинальной задают в стандартах предприятий на конденсаторы конкретных типов. Конденсаторы в РЭА работают при номинальных напряжениях от нескольких вольт до сотен вольт при различных токах. Значения номинальных величин напряжений и токов устанавливает ГОСТ 14661—69.

Условное обозначение конденсаторов состоит из трех элементов. *Элемент первый* обозначает группу изделий, например, К — конденсатор. *Второй элемент* состоит из двух цифр — числа, обозначающего разновидность конденсатора: 10 — керамические на номинальное напряжение ниже 1500 В, 15 — керамические на номинальное

напряжение 1600 В и выше, 20 — кварцевые, 21 — стеклянные, 22 — стеклокерамические, 23 — стеклокерамические, 31 — слюдяные малой мощности, 32 — слюдяные большой мощности, 40 — бумажные на номинальное напряжение ниже 2 кВ и с обкладками из фольги на напряжение выше 2 кВ, 42 — бумажные с металлизированными обкладками, 50 — электролитические фольговые алюминевые и др. *Третий элемент* обозначает порядковый номер изделия. Пример обозначения электролитического конденсатора на номинальное напряжение 150 В и номинальную емкость 100 мкФ: К50-12-150-100.

Конденсаторам подстроечным присвоены буквы КТ и КП и цифры: 1 — вакуумные, 2 — воздушные, 3 — с газообразным диэлектриком, 4 — с твердым диэлектриком. Например, КТ4-10 — подстроечный конденсатор с твердым диэлектриком с порядковым номером 10.

На практике ряд конденсаторов имеет условные обозначения, принятые до 1964 г., отображающие их основные свойства и особенности. Так, например, электролитические конденсаторы имеют на первом месте, как правило, букву Э, что означает электролитические. Вторая буква обычно указывает на материал, из которого изготовлены обкладки конденсатора, а третья — на различные особенности электрического и физического вида. В условные обозначения таких конденсаторов входят номинальное напряжение и емкость, а также класс точности. Например, обозначение ЭТО-1-25-30 $\pm 20\%$  — электролитический танталовый объемно-пористый, первого конструктивного варианта, имеющий номинальное напряжение 25 В, номинальную емкость 30 мкФ и 3-й класс точности.

Пленочные конденсаторы в своих обозначениях на первом месте имеют букву, указывающую на вид обкладок: МП (металлопленочные), П (полистирольные) и Ф (фторопластовые). Остальные буквы указывают на вид защиты и свойства и назначение конденсаторов. Так, конденсатор типа ПОВ (пленочный открытый высоковольтный) на напряжение 15 В и емкость 390 пФ — ПОВ-15-390, а конденсатор ФР (фторопластовый термостойкий) первого конструктивного варианта на напряжение 600 В и емкость 0,01 мкФ 1-го класса точности — ФТ-1-600-0,001 $\pm 10\%$ .

Конденсаторы слюдяные обозначаются аналогично пленочным. Пример обозначения: конденсатор типа КСО

(конденсатор слюдяной опрессованный) второго конструктивного варианта на 500 В, с группой ТКЕ-Б, на 180 пФ с 0-м классом точности запишется так: КСО-2-500-Б-180±50%. Слюдяные конденсаторы имеют четыре группы ТКЕ: для группы А температурный коэффициент емкости на 1°C не нормируется, для группы Б он составляет  $\pm 200 \cdot 10^{-6}$ , для группы В —  $\pm 100 \cdot 10^{-6}$ , для группы Г —  $\pm 50 \cdot 10^{-6}$ .

Керамические конденсаторы имеют буквенные обозначения, указывающие на материал диэлектрика, назначение и конструктивные особенности. ТКЕ керамических конденсаторов соответствует табл. 15.1. В этой же таблице указаны отличительные цвета покрытия конденсаторов и цвет маркировочной точки. Пример: конденсатор КЛС (керамический литой секционный) первого конструктивного варианта группы ТКЕ М47 на номинальное напряжение 50 В, емкость 3,9 пФ и отклонение емкости  $\pm 20\%$  записывают так: КЛС-1-М47-3,9±20%.

Таблица 15.1

Группа ТКЕ	ТКЕ $\cdot 10^{-6}$ , при 20—85°C (на 1°C)	Отличительный цвет покрытия конденсаторов	Цвет маркиро- вочной точки
МПО	(0±30)	Серый	—
П33	+ (33±30)	"	—
П120	+ (120±30)	Синий	—
М47	— (47±30)	Голубой	—
М75	— (75±30)	"	Красный
М330	— (330±100)	Красный	—
М700	— (700±100)	"	—
М750	— (750±100)	"	—
М1300	— (1300±200)	Зеленый	—
М1500	— (1500±200)	"	—
М2200	— (2200±500)	"	Серый
Н30	—	Оранжевый	Зеленый
Н50	—	"	Синий
Н70	—	"	—
Н90	—	"	Белый

Конденсаторы бумажные и металлобумажные имеют буквенные обозначения, указывающие на материал обкладок, назначение и конструктивные особенности. Пример: конденсатор МБМ (металлобумажный малогабаритный) на напряжение 150 В, емкость 0,1 мкФ и 1-й класс точности запишется так: МБМ-160-0,1±10%.

Полные обозначения конденсаторов могут быть представлены в виде кода (ГОСТ 11076—69). Например, конденсатор с номинальной емкостью 1,5 пФ имеет кодовое обозначение 1П5; 15 пФ — 15П; 150 пФ — Н15; 1500 пФ — 1Н5; 0,015 мкФ — 15 Н; 0,1 мкФ — М10; 1,5 мкФ — 1М5; 15 мкФ — 15 МП и т. д.

**Полупроводниковые приборы.** Классификация их осуществляется по функциональному назначению, по величине предельно допустимых мощности рассеяния и частоте. По функциональному назначению их делят на полупроводниковые приборы с одним переходом (различного типа диоды, например выпрямительные, высокочастотные, туннельные, стабилитроны, стабисторы, варикапы, фотодиоды, светодиоды), с двумя переходами (биполярные транзисторы, например усилительные, импульсные и маломощные, фототранзисторы), с тремя переходами (например, тиристоры), полевые (транзисторы с изолированным затвором, с затвором в виде перехода).

По предельно допустимой мощности транзисторы, например, подразделены на маломощные ( $P_{\text{доп}} < 0,3$  Вт), средней мощности ( $0,3 < P_{\text{доп}} < 1,5$  Вт). Они могут быть низкой ( $f < 3$  МГц), средней ( $3 < f < 30$  МГц), высокой ( $30 < f < 300$  МГц) и СВЧ ( $f > 300$  МГц) частоты.

Условные обозначения на полупроводниковые приборы состоят из четырех элементов.

*Первый элемент* определяет исходный полупроводниковый материал, из которого изготовлен прибор. Обозначение исходного материала для приборов широкого применения буквенное (Г — германий или его соединения, К — кремний или его соединения, А — соединения галлия), а для приборов специального назначения — цифровое (1 — германий или его соединения, 2 — кремний или его соединения, 3 — соединения галлия).

*Второй элемент* — обозначение подкласса в классе полупроводниковых приборов: Т — транзисторы (за исключением полевых транзисторов), П — транзисторы полевые, Д — диоды выпрямительные, универсальные и импульсные, С — стабилитроны и стабисторы, А — диоды СВЧ, Ц — выпрямительные столбы и блоки, И — туннельные диоды, В — варикапы.

*Третий элемент* — трехзначное число. В этом числе первая цифра устанавливает основные классификационные признаки: диапазон рабочих частот и предельно до-

пустимой мощности рассеяния для транзисторов и назначение для диодов. Две последние цифры являются порядковым номером разработки прибора в данной группе. Порядок определения третьего элемента для диодов приведен в табл. 15.2, а для транзисторов — в табл. 15.3.

Таблица 15.2

Группа по назначению	Подгруппа	Номер
Выпрямительные	Малой мощности	101—199
	Средней мощности	201—299
	Большой мощности	301—399
Высокочастотные	—	401—499
Переключающие	—	101—399
Стабилитроны	Малой мощности	101—399
	Средней мощности	401—609
	Большой мощности	701—999
Туннельные	Усилительные	101—199
	Генераторные	201—299
	Переключающие	301—399
Варикапы	—	101—199
Диоды СВЧ	Смесительные	101—199
	Видеодетекторы	201—299
	Модуляторные	301—399
	Параметрические	401—499
	Переключающие	501—599
	Умножительные	601—699

Четвертый элемент обозначения полупроводниковых приборов определяет деление технологического типа на параметрические группы, а для стабилитронов и стабилитронов — последовательность разработки и обозначается буквами русского алфавита от А до Я.

Приведем примеры обозначения полупроводниковых приборов. ГТ605А — транзистор, предназначенный для устройств широкого применения, германиевый, средней мощности, высокочастотный, номер разработки 05, группа А. КП102А — транзистор полевой, предназначенный для устройств широкого применения, кремниевый, малой мощности, номер разработки 02, группа А.

КД215А — диод полупроводниковый, предназначенный для устройств широкого применения, кремниевый, средней мощности, низкочастотный, номер разработки 15, группа А. ГИ304Б — диод полупроводниковый туннельный, переключающий, предназначенный для устройств широкого применения, германиевый, номер разработки 04, группа Б.

Таблица 15.3

Группа по мощности (Р <sub>доп.</sub> Вт)	Подгруппа по частоте	f <sub>гц</sub> МГц	Номер
Маломощные (< 0,3)	Низкочастотные	< 3	101—199
	Среднечастотные	3—30	201—299
	Высокочастотные	30—300	301—399
Средней мощности (0,3—1,5)	Низкочастотные	< 3	401—499
	Среднечастотные	3—30	501—599
	Высокочастотные	30—300	601—699
Мощные (> 1,5)	Низкочастотные	< 3	701—799
	Среднечастотные	3—30	801—899
	Высокочастотные	30—300	901—999

Полупроводниковым приборам, разработанным ранее 1964 г., присваивали обозначения из двух или трех элементов. Первый элемент — буква Д для диодов и буква П для транзисторов. Второй элемент — порядковый номер типа прибора и третий — буква, соответствующая делению технологического типа на группы.

Примеры условных обозначений некоторых радиодеталей и радиокомпонентов. Условные обозначения большинства радиодеталей и радиокомпонентов, как правило, носят мнемонический характер и указывают основные конструктивные особенности и электрические характеристики. Так, например, НШРГ48П20НГ14 означает: низковольтный штепсельный разъем, герметичный, с диаметром блочной части 48 мм, прямым корпусом, имеет 20 контактов, используется для неэкранированного кабеля, диаметр контактов соответствует условному индексу 14. В обозначениях разъемов, буквы и цифры означают: 1 — тип разъема, 2 — посадочный диаметр блочной части, 3 — вариант исполнения разъема: блочный (П — без патрубка, ПК — прямой патрубок, СК —

угловой патрубков), кабельный (П — прямой, У — угловой), 4 — число контактов, 5 — вид присоединяемого кабеля (Э — экранированный, Н — неэкранированный), 6 — вид контактов, расположенных в колодке (Ш — штыри, Г — гнезда), 7 — сочетание контактов по диаметру, задаваемое в НТД на разъемы конкретных типов.

В обозначениях галетных переключателей буквы и цифры означают: 1 — тип переключателя (ПГ), 2 — материал платы (Г — гетинакс, К — керамика), 3 — число рабочих положений, 4 — число направлений, 5 — расстояние между платами (8, 13 или 16 мм), 6 — вариант конструктивного исполнения оси (К — с косою лыской, А — с прямой, Б — с накаткой). Так, запись ПГКЗП6Н-Б означает: переключатель галетный, с керамической платой, на 3 рабочих положения, на 6 направлений, ось с накаткой.

Установочное изделие — клемма приборная с навинчиваемой головкой и гнездом для штепселя — имеет обозначение КП1а. Здесь буквы и цифра означают: К — клемма, П — приборная, 1 — порядковый номер разработки, а — вариант исполнения (с изоляционной шайбой). Однополюсный штеккер для контроля электрических цепей имеет обозначение МШ-1, что означает: М — малогабаритный, Ш — штеккер, 1 — конструктивное исполнение.

Трансформатор ММТИ-25: ММ — микромодульный, Т — трансформатор, И — импульсный, 25 — конструктивный вариант. Дроссель Д1-0,08-0,32, Д — дроссель, 1 — конструктивный вариант, 0,08 — индуктивность (Гн) при номинальном токе, 0,32 — номинальный ток подкачки (А).

**Интегральные микросхемы.** Классификацию и систему условных обозначений интегральных микросхем устанавливает ГОСТ 18682—73. В соответствии с этим стандартом по конструктивно-технологическому исполнению интегральные микросхемы подразделяют на три группы, которым присвоены следующие обозначения: 1, 5 и 7 — полупроводниковые; 2, 4, 6 и 8 — гибридные; 3 — прочие (пленочные, вакуумные, керамические и т. д.).

По функциональному назначению интегральные микросхемы подразделяют на подгруппы и виды, приведенные в табл. 15.4.

Обозначение интегральных схем состоит из следующих элементов: *первый* — цифра, означающая группу

Подгруппа	Вид	Буквенное обозначение
Генераторы	Гармонических сигналов Прямоугольных сигналов Линейно изменяющихся сигналов Сигналов специальной формы Шума Прочие	ГС ГГ ГЛ ГФ ГМ ГП
Детекторы	Амплитудные Импульсные Частотные Фазовые Прочие	ДА ДИ ДС ДФ ДП
Коммутаторы и ключи	Тока Напряжения Прочие	КТ КИ КП
Логические элементы	Элемент И ИЛИ НЕ И—ИЛИ И—НЕ/ИЛИ—НЕ И—ИЛИ—НЕ И—ИЛИ—НЕ/И—ИЛИ ИЛИ—НЕ/ИЛИ Расширители Прочие	ЛИ ЛЛ ЛН ЛС ЛБ ЛР ЛЕ ЛМ ЛД ЛП
Многфункциональные схемы	Аналоговые Цифровые Комбинированные Прочие	ХА ХЛ ХК ХП
Модуляторы	Амплитудные Частотные Фазовые Импульсные Прочие	МА МС МФ МИ МП
Наборы элементов	Диодов Транзисторов Резисторов Конденсаторов Комбинированные Прочие	НД НТ НР НЕ НК НП

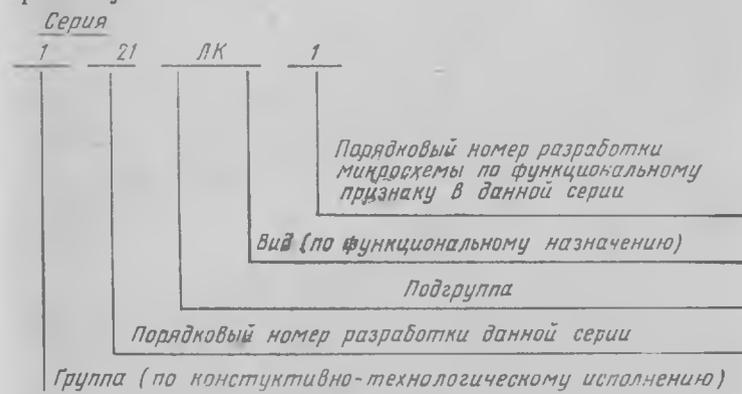
Продолжение табл. 15.4

Подгруппа	Вид	Буквенное обозначение
Преобразователи	Частоты Фазы Длительности Напряжения Мощности Уровня Код—аналог Аналог—код Код—код Прочие	ПС ПФ ПД ПН ПМ ПЧ ПА ПВ ПР ПП
Схемы вторичных источников питания	Выпрямители Преобразователи Стабилизаторы напряжения Стабилизаторы тока Прочие	ЕВ ЕМ ЕИ ЕТ ЕП
Схемы задержки	Пассивные Активные Прочие	ВМ БР ВП
Схемы селекции и сравнения	Амплитудные Временные Частотные Фазовые Прочие	СА СВ СС СФ СП
Триггеры	Типа $j-K$ Типа $R-S$ Типа $d$ Типа $T$ Динамические Шмидта Комбинированные Прочие	ТВ ТР ТМ ТТ ТД ТЛ ТК ТП
Усилители	Высокой частоты Промежуточной частоты Низкой частоты Импульсных сигналов Повторители Считывания и воспроизведения Индикации Постоянного тока Операционные и дифференциальные Прочие	УВ УР УН УИ УЕ УЛ УМ УТ УД УП

микросхемы; *второй* — две цифры, означающие порядковый номер разработки серии микросхемы (от 0 до 99); *третий* — две буквы, означающие подгруппу и вид микросхемы; *четвертый* — порядковый номер разработки микросхемы по функциональному признаку в данной серии.

Два первых элемента обозначают серию микросхемы.

Пример условного обозначения интегральной логической микросхемы И—ИЛИ—НЕ/И—ИЛИ с порядковым номером разработки серии — 21, порядковым номером разработки данной схемы в серии по функциональному признаку — 1:



Знание и использование стандартов в разработке и изготовлении радиодеталей и радиокомпонентов является эффективным средством управления качеством выпускаемой РЭА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристов О. В., Шебанов В. И. Основы стандартизации и контроль качества в радиоэлектронике. — М.: Издательство стандартов, 1975.
2. Краткий справочник конструктора РЭА/ Под ред. Р. Г. Варламова. — М.: Сов. радио, 1972.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятности. — М.: Наука, 1969.
4. Видершайн М. Н. Производственный контроль параметров элементов цифровой автоматики. — М.: Машиностроение, 1974.

5. Гмурман В. С. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Высшая школа, 1972.
6. Горячева Г. А. Детали и узлы аппаратуры связи. — М.: Связь, 1973.
7. ГОСТ 3223—67. Резисторы постоянные. Методы испытаний.
8. ГОСТ 3484—77. Трансформаторы силовые. Общие технические требования.
9. ГОСТ 8250—71. Реле управления электромагнитные. Общие технические условия.
10. ГОСТ 11630—70. Приборы полупроводниковые для устройств широкого применения. Общие технические требования.
11. ГОСТ 15150—69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
12. ГОСТ 16962—17. Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний.
13. ГОСТ 18604.2—73. Транзисторы. Методы измерения статического коэффициента передачи тока.
14. ГОСТ 18604.3—73. Транзисторы. Методы измерения емкостей коллекторного и эмиттерного переходов.
15. ГОСТ 18604.5—74. Транзисторы. Методы измерения начального тока.
16. ГОСТ 18604.6—74. Транзисторы. Методы измерения обратного тока эмиттера.
17. ГОСТ 18683—76. Микросхемы интегральные логические. Методы измерения электрических параметров.
18. ГОСТ 18986.1—73 и др. Диоды полупроводниковые. Методы измерения электрических параметров: Сборник. — Содерж. ГОСТ 18986.1—73—18986.9—73.
19. ГОСТ 21315.0—75 и др. Конденсаторы. Методы измерения электрических параметров: Сборник. — Содерж. ГОСТ 21315.0—75—21315.10—75.
20. Государственные стандарты Союза ССР. Государственная система стандартизации. — М.: Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1975.
21. Груничев А. С., Кузнецов В. А., Шипов Е. В. Испытания радиоэлектронной аппаратуры на надежность. — М.: Сов. радио, 1969.
22. Карпушин В. Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. — М.: Сов. радио, 1971.
23. Кузнецов В. А. Основные вопросы надежности радиоэлектронной аппаратуры. — М.—Л.: Энергия, 1965.
24. Рычина Т. А. Электрорадиоэлементы. — М.: Сов. радио, 1976.
25. Фролов А. Д. Радиодетали и узлы. — М.: Высшая школа, 1975.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
--------------------	---

## РАЗДЕЛ I

### УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

#### Глава I

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

1.1. Классификация условий эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	6
1.2. Климатические условия эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	9
1.3. Температурные условия эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	14
1.4. Механические условия эксплуатации радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	16
1.5. Требования, предъявляемые к радиодеталям и радиокомпонентам, работающим в различных условиях . . . . .	18

#### Глава 2

#### ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

2.1. Субъективные и объективные факторы. Их влияние на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	23
2.2. Влияние температуры на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	25
2.3. Влияние влаги на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	31
2.4. Влияние биологических факторов, пыли и песка на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	35
2.5. Влияние атмосферного давления на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	37
2.6. Влияние ядерной, космической и солнечной радиации на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	40
2.7. Влияние механических воздействий на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	43
2.8. Влияние материала, конструкции, технологии изготовления и выполнения ТУ на работоспособность радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	46

## РАЗДЕЛ II

### ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

#### Глава 3

#### ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

3.1. Предмет теории вероятностей и математической статистики . . . . .	49
3.2. Событие, его определение и вероятность появления . . . . .	51
3.3. Определение вероятности. Математическое определение вероятности . . . . .	53
3.4. Определение вероятностей сложных событий . . . . .	56
3.5. Дискретные и непрерывные случайные величины . . . . .	61
3.6. Характеристики дискретной случайной величины . . . . .	62
3.7. Законы распределения дискретной случайной величины . . . . .	66
3.8. Функция распределения и плотность распределения непрерывной случайной величины . . . . .	68
3.9. Законы распределения непрерывной случайной величины . . . . .	72
3.10. Статистические методы контроля. Характеристики генеральной и выборочной совокупностей . . . . .	77

#### Глава 4

#### НАДЕЖНОСТЬ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

4.1. Качество и надежность. Основные термины и определения . . . . .	81
4.2. Виды отказов. Свойства и периоды работы изделий . . . . .	83
4.3. Показатели надежности . . . . .	86

#### Глава 5

#### РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

5.1. Интенсивность отказов радиодеталей и радиокомпонентов и меры для ее уменьшения . . . . .	91
5.2. Надежность резисторов и конденсаторов . . . . .	94
5.3. Надежность полупроводниковых приборов . . . . .	99
5.4. Надежность реле и коммутирующих устройств . . . . .	102
5.5. Надежность трансформаторов, дросселей и катушек индуктивности . . . . .	105
5.6. Надежность микромодулей и печатных плат . . . . .	107
5.7. Надежность интегральных схем . . . . .	110
5.8. Способы обеспечения и повышения надежности радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	113
5.9. Расчет надежности радиодеталей, радиокомпонентов и радиоэлектронной аппаратуры, собранной на них . . . . .	117
5.10. Экономика надежности радиодеталей, радиокомпонентов и радиоэлектронной аппаратуры, собранной на них . . . . .	123

## РАЗДЕЛ III

### ОСНОВЫ ИСПЫТАНИЙ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

#### Глава 6

#### ВИДЫ И ЗАДАЧИ КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

6.1. Назначение и классификация технического контроля . . . . .	126
6.2. Виды испытаний радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .	129
6.3. Организация технического контроля выпускаемой продукции на предприятиях радиотехнической промышленности . . . . .	132

#### Глава 7

#### КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

7.1. Организация климатических испытаний . . . . .	135
7.2. Оборудование для температурных испытаний и проведение испытаний . . . . .	136
7.3. Испытания на влагуустойчивость, на воздействие морского тумана и атмосферного давления . . . . .	147
7.4. Испытания на грибоустойчивость, плеснеустойчивость и пылезащищенность . . . . .	154

#### Глава 8

#### МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

8.1. Организация механических испытаний . . . . .	158
8.2. Оборудование для механических испытаний . . . . .	160
8.3. Методика проведения механических испытаний . . . . .	168

#### Глава 9

#### ИСПЫТАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ

9.1. Общие вопросы испытаний на надежность . . . . .	170
9.2. Основные вопросы организации электрических испытаний . . . . .	172
9.3. Основы планирования испытаний радиодеталей и радиокомпонентов на надежность . . . . .	177
9.4. Ускоренные испытания радиодеталей и радиокомпонентов и их автоматизация . . . . .	180

#### Глава 10

#### ИСПЫТАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

10.1. Условия применения и виды испытаний полупроводниковых приборов . . . . .	183
10.2. Методика проведения испытаний полупроводниковых приборов . . . . .	187
10.3. Методы измерения электрических параметров полупроводниковых приборов . . . . .	191

#### Глава 11

#### ИСПЫТАНИЯ РЕЗИСТОРОВ И КОНДЕНСАТОРОВ

11.1. Условия применения и предельно допустимые данные резисторов и конденсаторов . . . . .	195
11.2. Испытания резисторов . . . . .	199
11.3. Испытания конденсаторов . . . . .	204

## Глава 12

### ИСПЫТАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ, КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ, ДРОССЕЛЕЙ И ВАРИОМЕТРОВ

- |   |    |
|---|----|
| 12.1. Условия применения и виды испытаний трансформаторов, катушек индуктивности, дросселей и вариометров . . . . . | 20 |
| 12.2. Электрические испытания трансформаторов, дросселей, катушек индуктивности и вариометров . . . . .             | 21 |

## Глава 13

### ИСПЫТАНИЯ УСТАНОВОЧНЫХ, СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ, КОММУТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ, МОДУЛЕЙ, МИКРОМОДУЛЕЙ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

- |   |     |
|---|-----|
| 13.1. Условия применения переключателей, разъемов, реле, монтажных стоек, расшивочных панелей и предохранителей . . . . . | 219 |
| 13.2. Испытания переключателей, реле, разъемов, монтажных стоек, расшивочных панелей и предохранителей . . . . .          | 223 |
| 13.3. Испытания модулей, микромодулей и интегральных микросхем . . . . .  | 226 |

## РАЗДЕЛ IV

### СТАНДАРТИЗАЦИЯ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ

## Глава 14

### КАТЕГОРИИ И ВИДЫ СТАНДАРТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- |  |     |
|--|-----|
| 14.1. Стандартизация в СССР и ее роль в создании материально-технической базы коммунизма . . . . . | 233 |
| 14.2. Основные направления развития стандартизации в радиоэлектронной промышленности . . . . .     | 235 |
| 14.3. Категории и виды стандартов в радиоэлектронике . . . . .                                     | 240 |
| 14.4. Отраслевая стандартизация . . . . .  | 244 |
| 14.5. Применение основных методов стандартизации в радиоэлектронике . . . . .                      | 247 |

## Глава 15

### СТАНДАРТИЗАЦИЯ РАДИОДЕТАЛЕЙ И РАДИОКОМПОНЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

- |  |     |
|--|-----|
| 15.1. Типоразмерные и параметрические ряды, применяемые при создании радиодеталей и радиокомпонентов . . . . . | 250 |
| 15.2. Стандартизация радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .   | 252 |
| 15.3. Классификация и условные обозначения радиодеталей и радиокомпонентов . . . . .                           | 255 |
| Список литературы . . . . .  | 267 |

60 к.

10163

15

66421

«РАДИО И СВЯЗЬ»