Министерство образования и науки Российской Федерации
Вологодский государственный технический университет

А.В. Ударатин, О.И. Степанов

УСТРОЙСТВО И РЕМОНТ БЫТОВОГО И ОФИСНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

I ЧАСТЬ

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГТУ
в качестве учебного пособия

Вологда
2011

УДК 621.315.592.9
ББК 32.843.2.32.843.3
У 28

Рецензенты:
Орлов В.В., канд. техн. наук, доцент, ведущий инженер отдела балансов электроэнергии, департамента транспорта электроэнергии ОАО «МРСК Северо-Запада» «Вологдаэнерго»

Вахнина В.В., канд. техн. наук, доцент, зав.кафедрой «Электроснабжение и электротехника» Тольяттинского государственного университета

Ударатин А.В.
У 28 **Устройство и ремонт бытового и офисного электрооборудования:** В 2-х частях. Часть 1: учебное пособие / А.В. Ударатин, О.И. Степанов. – Вологда: ВоГТУ, 2011 – 100 с.

В учебном пособии изложены краткая характеристика устройств бытовой и офисной техники, её состав и принципы построения. Отмечены возможные неисправности техники, характер их проявления и пути распространения. Изложены общие сведения об электроизмерениях и методики измерения основных электрических величин. Приведены наиболее характерные методы и способы работы с электрорадиоэлементами в процессе их проверки и замены.

Особое внимание уделено вопросам обслуживания и ремонта компьютерной техники и техники телефонной и беспроводной связи.

Рекомендовано для студентов, обучающихся по специальности 140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений», для подготовки бакалавров и магистров по направлениям 140600 «Электротехника, электромеханика, электротехнологии» и 140400 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»).

УДК 621.315.592.9
ББК 32.843.2.32.843.3

© ВоГТУ, 2011
© А.В. Ударатин, О.И. Степанов, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем пособии приведена краткая классификация бытовой и офисной техники, рассмотрены основные материалы, электронные элементы и устройства, а также инструменты и оборудование для её сборки и ремонта. Предпочтительными при этом являются современные полупроводниковые элементы и устройства.

Поскольку довольно значительное количество техники имеет двоякое предназначение и, соответственно, может быть отнесено к категории как бытовой, так и офисной, в пособии не проводится чёткой границы между ними. Значительное место и особое внимание уделяется компьютерам со всеми периферийными устройствами и средствам проводной и беспроводной связи.

Кроме того, учитывая, что любой ремонт не может обойтись без проведения электрорадиоизмерений, в пособии содержится информация об основах измерений, измерительной технике и методике измерений и проверки исправности основных элементов.

В первой части пособия дана характеристика бытового и офисного электрооборудования, его элементная база, дан обзор возможных причин отказов. Представлены основы электрорадиоизмерений, способы измерений, некоторые измерительные схемы. Рассмотрены вопросы питания электрооборудования от резервных (аккумуляторов) источников.

Учебное пособие может быть использовано студентами различных специальностей для ознакомления с широким спектром видов современной бытовой и офисной техники.

ВВЕДЕНИЕ

Начало электронной техники можно отнести к 1883 году, когда знаменитый Томас Альфа Эдисон, пытаясь продлить срок службы осветительной лампы с угольной нитью накаливания, ввел в баллон лампы, из которой откачан воздух, металлический электрод. Это явление впоследствии получило название термоэлектронной эмиссии и легло в основу всех электронных ламп и всей электроники дотранзисторного периода.

Это открытие было подробно изучено в 1887 г. профессором Московского университета А. Г. Столетовым, что привело уже в конце прошлого столетия к появлению фотоэлементов – электронных приборов, нашедших широкое применение в технике связи.

Главным недостатком электронных ламп, которые широко использовались для усиления и генерации электрических сигналов было то, что устройства на их основе были довольно громоздкими.

Для питания ламп необходимо было подводить дополнительную энергию для нагрева катода (именно он испускает электроны, необходимые для тока в лампе), а образованное ими тепло отводить.

В зависимости от того, сколько электродов содержится в лампе, они получили соответствующее название (два электрода – диод, три – триод, четыре – тетрод, пять – пентод и др.).

В области телевидения следует отметить научные идеи проф. Б. Л. Розинга, который еще в 1907 г. разработал значительную часть телевизионных систем, нашедших применение впоследствии и используемых в наше время.

Электронно-лучевые трубки для осциллографирования, т.е. записи быстропеременных электрических явлений, были впервые задействованы в начале прошлого столетия, и одной из первых таких трубок была разработанная проф. Д. А. Рожанским в 1910-1911 гг.

Из ионных приборов первым был внедрен ртутный выпрямитель (1908 г.), современный вид которому еще при его создании придал В. П. Вологдин. Позже были разработаны газотрон (1928-1929 гг.), тиратрон (1931 г.), стабилитрон, неоновые лампы и т. д.

Очень давно техника полупроводниковых приборов стала самостоятельной областью электроники. Замена электронных ламп полупроводниковыми приборами успешно осуществлена практически во всех радиотехнических устройствах.

На всем протяжении развития радиотехники широко применялись кристаллические детекторы, представляющие собой полупроводниковые выпрямители для токов высокой частоты. Для выпрямления постоянного тока электрической сети используют купроксные и селеновые полупроводниковые выпрямители. Однако они непригодны для высоких частот.

Ещё в 1922 г. сотрудник Нижегородской радиолаборатории О.В. Лосев получил генерирование электрических колебаний с помощью кристаллического детектора и сконструировал приёмник “Кристадин”, в котором за счет генерации собственных колебаний получалось усиление принимаемых сигналов. Он имел значительно большую чувствительность, нежели обычные приемники с кристаллическими детекторами. Открытие Лосева, к сожалению, не получило должного развития в последующие годы. Полупроводниковые триоды, получившие названия транзисторов, предложили в 1948 г. американские ученые Бардин, Браттейн и Шокли.

По сравнению с электронными лампами у полупроводниковых приборов имеются существенные достоинства:

1. Малый вес и малые размеры.
2. Отсутствие затраты энергии на накал.
3. Большой срок службы (до десятков тысяч часов).
4. Большая механическая прочность (стойкость к тряске, ударам и другим видам механических перегрузок).
5. Различные устройства (выпрямители, усилители, генераторы) с полупроводниковыми приборами имеют высокий КПД, так как потери энергии в самих приборах незначительны.
6. Маломощные устройства с транзисторами могут работать при очень низких питающих напряжениях.

Вместе с тем полупроводниковые приборы в настоящее время обладают следующими недостатками:

1. Параметры и характеристики отдельных экземпляров приборов данного типа имеют значительный разброс.
2. Свойства приборов сильно зависят от температуры.
3. Работа полупроводниковых приборов резко ухудшается под действием радиоактивного излучения и т.д.

Несмотря на значительные возможности современной твердотельной электронной базы, процесс усложнения электронных ламп продолжается и до настоящего времени, некоторые типы ламп до сих пор не утратили своего значения и используются сегодня в некоторых типах мониторов, мощных радиопередатчиках, в аудиоаппаратуре класса Hi-Fi. Следует также отметить, что разработки в области вакуумной радиотехники продолжаются и поныне, и сейчас можно говорить о появлении новых направлений электроники, таких как иллотропные структуры и лампы бегущей волны с конфигурацией в виде куба.

ГЛАВА 1 ХАРАКТЕРИСТИКА БЫТОВОГО И ОФИСНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА, ПРИЧИНЫ ВОЗМОЖНЫХ ОТКАЗОВ

1.1. Общие сведения об офисной и бытовой технике

Необходимо отметить, что принципиального различия между офисной и бытовой техникой не существует, поскольку многие приборы находят довольно широкое применение, как в бытовых условиях, так и в офисных помещениях.

В современных условиях невозможно представить любую квартиру без бытовой техники. Телевизоры, пылесосы, музыкальные центры, стиральные машины, холодильники, кухонные комбайны и пр. давно стали для человека незаменимыми. Кроме перечисленных, к основным устройствам бытовой техники могут быть также отнесены:

1. Приборы для приготовления и подогрева пищи;
2. Приборы для оздоровления микроклимата;
3. Отопительные приборы и приборы для обогрева и вентиляции помещений;
4. Кухонные машины различного назначения;
5. Машины чистоты и машины для обработки тканей;
6. Системы охранно-пожарной сигнализации;
7. Различные приборы личной гигиены и пр.

Бытовые приборы обеспечивают комфорт и помогают выполнять самую неприятную и трудную работу по дому.

Большинство из бытовых приборов в свой состав включают электронагревательные элементы, т.е. их работа основана на использовании электрической энергии.

Электрический нагрев по сравнению с другими видами нагрева (газ, жидкое и твёрдое топливо) имеет целый ряд существенных преимуществ, заключающихся в том, что:

- отсутствуют вредные выделения;
- обеспечивается взрывобезопасность;
- имеют высокий КПД (55-95 %); (твёрдое топливо -15-20%; жидкое топливо 30-40%; газ – 50-60%).

Принцип работы электронагревательных приборов заключается в том, что при прохождении тока по проводникам с высоким сопротивлением осуществляется их нагрев. Согласно закону сохранения энергии, вся работа, совершённая током превращается в тепло. Работа, совершаемая током при прохождении его через участок цепи, определяется в виде $A = U \cdot I \cdot t$.

Количество тепла, выделяемое в проводнике при прохождении по нему тока на основании закона Джоуля-Ленца, будет равно: $Q = I^2 R t$.

Например: *Необходимо рассчитать количество теплоты и времени, необходимых для того, чтобы вскипятить воду в чайнике объёмом 2 литра (m=2кг) при напряжении сети 220В, силе тока для электрочайника 4А, КПД чайника 0,8, начальной температуре воды 20^0.*

Решение:

1) определим количество теплоты, необходимое для нагрева воды до температуры кипения:

$$Q_{нагр.} = c\ m\ (t_{кип.} - t_н) = 4200 \text{ дж/кг.град.} \cdot 2 \cdot (100\text{-}20) = 672000 \text{ дж.}$$

2) определим общее количество теплоты, которое должна выделять спираль чайника с учётом всех потерь:

$$Q_{нагр.\Sigma} = Q_{нагр.} / \text{КПД} = 672000 / 0{,}8 = 840000 \text{ дж.}$$

3) определим время закипания воды в чайнике с учётом того, что $Q_{нагр.} = A = UIt$, в виде: $t = Q_{нагр.\Sigma} / U\ I = 840000 / (220 \cdot 4) = 954$ сек.

Тепло от нагревательного элемента к нагреваемому телу может передаваться посредством теплопроводности, конвекции и лучеиспускания.

Теплопроводность – это передача тепла непосредственно от более нагретого тела к менее нагретому.

Конвекция – это распространение тепла путём передвижения самих нагретых частиц.

Лучеиспускание – это перенос тепла от более нагретого тела к менее нагретому.

В электронагревательных приборах используется один из этих способов или их совокупность. Конструктивно все электронагревательные приборы состоят из корпуса, нагревательного элемента, контактных штифтов, электроизолирующих и теплоизолирующих материалов.

Для нагревательных элементов применяют сплавы, обладающие более высоким удельным сопротивлением, чем медь и др. проводники, что обеспечивает компактность конструкции и малую зависимость от температуры.

Для изоляции нагревательных элементов применяют фарфор, натуральную слюду, жароупорный миканит (кусочки слюды, склеенные жидким стеклом или борной кислотой) для $t \le 600^0$; алунд (почти чистая окись алюминия), жжёную магнезию (порошок окиси магния) для $t = 700 - 900^0$; шамот (огнеупорная глина), кварцевый песок для $t \ge 900^{0.}$.

Нагревательные элементы могут быть открытого или закрытого типа – трубчатые электронагреватели (ТЭНы).

Расчёт нагревательных элементов производят с учётом напряжения сети и их заданной мощности. Величина тока при этом равняется $I = P/U$, величина омического сопротивления $R = U/I$. Зная, можно найти диаметр и сечение проволоки по формуле:

$$l = (S\,R) / \rho,$$

где S – сечение проволоки (мм); R – сопротивление проволоки (Ом); ρ - удельное сопротивление проволоки (нихром – 1,1; фехраль -1,3).

Ориентировочные справочные данные для расчёта нагревательных элементов приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1

Допускаемая величина тока, А	1	2	3	4	5	6	7
Диаметр нихромовой проволоки при t = 700^{0}C	0,17	0,30	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85
Сечение проволоки, мм^2	0,0227	0,0707	0,159	0,238	0,332	0,442	0,570

Например: *требуется определить длину проволоки из нихрома для нагрева элемента мощностью P = 600 Вт при напряжении сети U = 220 В.*

Решение:

1) I = P/U = 600 / 220 = 2,72 А

2) R = U/I = 220 / 2,72 = 81 Ом

3) l = (S·R)/ρ = (0,159 · 81) /1,1 = 11,6 м

Все нагреватели подразделяются на: инфракрасные, индукционные и высокочастотные.

К инфракрасным относятся те, у которых максимум излучения приходится на инфракрасную область спектра с длинами волн 0,76-3 мкм. Они бывают светлые и тёмные. Первые помимо инфракрасных волн излучают видимые лучи, а вторые излучают преимущественно инфракрасные лучи.

Индукционные нагреватели представляют собой трансформаторы броневого типа с первичной обмоткой и короткозамкнутым вторичным витком. Нагрев в них происходит за счёт потерь в стали на гистерезис, вихревые токи и джоулевые потери, выделяемые в первичной обмотке и короткозамкнутом вторичном витке.

Высокочастотные нагреватели – это приборы, в которых используются диэлектрические свойства пищевых продуктов. В таких приборах нагревается только продукт, помещённый в камеру-резонатор, а посуда, окружающий воздух и сам аппарат остаются холодными. Так, в СВЧ-печах электрическая энергия преобразуется в электромагнитное излучение с очень короткой длиной волны, а микроволны являются ничем иным как радиоволнами с частотными пределами от 1000 до 100000 МГц. Для подогрева пищи устанавливается частота 2450 МГц.

Ремонт электронагревательных приборов заключается в замене и ремонте соединительного шнура, замене нагревательного элемента, за-

мене и ремонте пластмассовых ручек и корпуса, пайке неразъёмных соединений, реставрации внутренних и наружных поверхностей.

Основными средствами офисной техники можно считать те, которые позволяют персоналу эффективно и качественно выполнять свои должностные обязанности и обеспечивают комфорт и безопасность рабочих мест. К ним можно отнести:

- средства вычислительной техники;
- множительные и копировальные аппараты;
- средства проводной и беспроводной связи;
- средства контроля доступа, видеонаблюдения и охранно-пожарной сигнализации.

Поскольку основными видами офисной техники являются компьютеры и средства связи различного назначения, то в дальнейшем более подробно остановимся именно на них.

Кроме привычных для каждого из нас настольных компьютеров в пределах офиса (организации) создаются локальные вычислительные сети, для нормального функционирования которых необходимы серверы или серверные станции (кластеры). *Серверы* представляют собой мощные компьютеры, предназначенные для выполнения сетевых операционных систем и обеспечивающие администрирование, выполнение программ и хранение данных для персональных компьютеров, объединённых в сеть. *Кластеры* представляют собой систему из двух и более серверов, работающих как один сервер, и используемую для повышения производительности и надёжности.

Локальные вычислительные сети (ЛВС;Local Area Network, LAN) при их разумном планировании помогают оптимально распределить вычислительные мощности. Для подключения компьютера к ЛВС используются сетевые адаптеры. Наиболее простыми являются *одноранговые* сети, с помощью которых операторы нескольких компьютеров могут использовать общие диски, принтеры и другие устройства, хранить общие данные и программы, передавать друг другу сообщения и т.д. *Локальные сети с централизованным управлением* отличаются более сложной структурой с иерархическим подчинением и возможностью обособления одних групп компьютеров от других при централизованном управлении. При этом, для обеспечения большей производительности дисков, надёжности системы и защиты информации от несанкционированного доступа на серверах таких сетей применяют специальное системное программное обеспечение.

При работе с компьютером необходимо соблюдать некоторые правила, а именно:

– отключать компьютер и оборудование от сети при необходимости открыть системный блок;

– выключать компьютер при подсоединении или отсоединении устройств ввода-вывода (функция безопасного удаления устройства);

– при необходимости выключить и включить компьютер при аварийной остановке системы пользуйтесь комбинацией клавиш Ctrl – Alt – Del или кнопкой Reset. Если кнопки заблокированы или отсутствуют, то, выключив питание, повторное его включение производите не ранее, чем через 10 секунд.

В случае, если в работе компьютера возник какой-либо сбой – «зависла» программа, на экране появился «мусор», перестали работать периферийные устройства и т.д., нужно, прежде всего, попытаться покинуть и вновь загрузить нестабильно работающую программу или отключить и вновь включить устройство.

Эффективная и качественная работа любого учреждения невозможна без современных средств связи и управления. Так, практически все телефонные станции перешли на «цифру», созданы и успешно функционируют сети подвижной радиосвзи и сети сотовой связи, активно развиваются и внедряются в жизнь системы спутниковой связи и навигации (например, ГЛОНАСС). В настоящее время не существует проблем с организацией связи с удалёнными и труднодоступными территориями.

1.2. Материалы, используемые в бытовой и офисной технике

Металлы и сплавы с низким удельным сопротивлением

Сталь обладает высокой механической прочностью на разрыв, но сильно подвержена коррозии, для предотвращения которой её покрывают защитным слоем другого металла (никелирование, цинкование, кадмирование). Сталь бывает прутковая и мягкая листовая. Первая используется для изготовления винтов, гаек, осей, втулок, шпилек и пр. Из второй изготовляют шасси, каркасы, стойки и пр. Хорошие магнитные свойства стали являются причиной её широкого применения в качестве магнитных материалов.

Алюминий – это мягкий и лёгкий металл из сплава дюралюминия и силумина. Применяется в виде проволоки, листов и фольги.

Бронза – это твёрдый сплав, состоящий из меди, олова, марганца, фарфора, бериллия и др. Фосфористая и бериллиевая бронза используются для производства скользящих и пружинящих контактов.

Латунь представляет собой сплав меди, цинка и небольшого количества свинца. Она значительно легче меди и легче поддаётся обработке. Применяется для изготовления осей, контактов, лепестков и крепёжных деталей.

Медь является наиболее широко используемым материалом и подразделяется по механическим свойствам на мягкую и твёрдую в зависимости от способа её термической обработки. Твёрдая медь имеет

большую прочность на разрыв и повышенное удельное сопротивление, а мягкая (отожжённая) – даёт значительное удлинение при разрыве и обладает меньшим удельным сопротивлением. Медь применяется в виде проводов, трубок и листов.

Сплавы с высоким удельным сопротивлением

Они в основном используются для изготовления проволочных резисторов, реостатов и элементов нагревательных приборов.

К ним относятся:

Манганин (86% меди, 12% марганца, 2% никеля) применяется из-за очень малого температурного коэффициента для изготовления добавочных резисторов и шунтов к измерительным приборам.

Константан (60% меди, 40% никеля, около 1% марганца) применяется для изготовления резисторов и реостатов, работающих при $t \leq 500^0$. Также находит применение при изготовлении термопар.

Никелин (сплав меди и никеля) используется при изготовлении резисторов, работающих при $t \leq 200^0$.

Нихром (67% никеля, 16% железа, 15% хрома, 1,5% марганца); Фехраль (82% железа, 15% хрома, 3% алюминия); Хромаль (65% железа, 30% хрома, 5% алюминия) используются для изготовления обмоток нагревательных приборов и резисторов, работающих при $t \leq 1000^0$.

Провода и кабели

Провода и кабели разделяются по их использованию на обмоточные, монтажные и радиочастотные.

Обмоточные провода изготавливаются из меди и используются в катушках индуктивности, обмотках трансформаторов, дросселей, электродвигателей и реле.

Монтажные провода служат для осуществления электрических соединений между контактными выводами схем, межблочных соединений в сложной аппаратуре в соответствии с монтажными или принципиальными схемами. Они могут быть жёсткими одножильными или мягкими многожильными. В качестве изоляции в них используют полихлорвинил, резину, хлопчатобумажные и шёлковые оплётки покрытые специальным влагостойким лаком, стекловолокно, фторопласт и плёночные диэлектрики.

Для защиты от электрических полей и механических воздействий их экранируют металлом в виде плетёнки из медных проволок, луженых припоем.

Радиочастотные кабели обеспечивают соединение узлов и блоков в аппаратуре. Наиболее широко используются кабели РК (радиочастотный, концентрический), в которых внутренняя токопроводящая жила

экранирована высокочастотной изоляцией, к которой плотно прилегает внешний проводник в виде экранирующей оплётки из медных проволок.

Основной характеристикой таких кабелей служит волновое сопротивление, равное

$$\rho = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{D}{d},$$

где D – диаметр изоляции (внутренний); d – диаметр внутреннего провода; ε – диэлектрическая проницаемость изоляции.

Изоляционные материалы

Изоляционные материалы бывают органические и неорганические. К первым относят вещества животного (шёлк, воск) и растительного (бумага, резина, канифоль, лаки, смолы и пр.) происхождения, а также искусственные синтетические продукты (полистирол, баконит, полихлорвинил).

Бумага и лакобумага используются в качестве изолирующего материала в катушках трансформаторов и дросселей, изоляции проводов и изготовления конденсаторов.

Электрокартон представляет собой картон, пропитанный парафином или специальными лаками толщиной 0,1 – 3 мм. Он используется для изготовления каркасов трансформаторов, катушек реле и прокладок.

Лакоткани – это хлопчатобумажные, шёлковые и стеклянные ткани, пропитанные изоляционными лаками толщиной 0,04 – 0,3 мм и используемые для изоляции обмоток трансформаторов и изоляции монтажных проводов.

Эбонит – это материал, вырабатываемый из каучука и обладающий низкой теплостойкостью. С течением времени его свойства могут изменяться.

Гетинакс – это слоистая пластмасса на бумажной основе, выпускаемая в виде листов 0,2 – 30 мм толщиной с гладкой поверхностью от светло до тёмно-коричневого цвета, хорошо поддающейся механической обработке.

Текстолит представляет собой слоистую пластмассу на текстильной основе 0,5 – 50 мм толщиной. Имеет меньшую хрупкость, чем гетинакс и более высокие механические свойства. Он хорошо обрабатывается режущими инструментами и применяется для изготовления каркасов, кулачков, прокладок. Стеклотекстолит обладает высокими диэлектрическими свойствами и пригоден для изоляции ВЧ цепей.

Кроме перечисленных материалов, применяемых для изоляции, ещё используются: полихлорвинил, полистирол, полиэтилен, фторопласт, капрон, органическое стекло и т.д.

Неорганические изолирующие материалы отличаются огнестойкостью и твёрдостью. К ним относят слюду, кварц, стекло, стеклоэмали и большое количество сортов керамики.

1.3. Простейшие полупроводниковые приборы и устройства

Полупроводники представляют собой вещества, которые по своей удельной электрической проводимости занимают среднее место между проводниками и диэлектриками. Типичными полупроводниками являются углерод (C), германий (Ge), кремний (Si), селен, арсенид галлия и пр. Кремний является наиболее широко используемым полупроводниковым материалом. Чистые полупроводники являются объектом, главным образом, теоретического интереса, поскольку они содержат при комнатной температуре небольшое количество электронно-дырочных пар и поэтому могут проводить очень маленький ток. Для увеличения проводимости чистых материалов используется легирование, т.е. добавление примесей в полупроводниковые материалы. Для полупроводников характерен отрицательный температурный коэффициент электрического сопротивления. При возрастании температуры сопротивление полупроводников уменьшается, а не увеличивается, как у большинства твердых проводников.

В полупроводниках присутствуют подвижные носители заряда двух типов: отрицательные (электроны) и положительные (дырки). Концентрация основных носителей определяется концентрацией примеси и практически не зависит от температуры. Концентрация неосновных носителей мала и сильно зависит от температуры, увеличиваясь в 2-3 раза при увеличении температуры на каждые 10^0C.

Область на границе двух полупроводников с различными типами электропроводности называется электронно-дырочным или p-n переходом. Электронно-дырочный переход обладает свойством несимметричной проводимости, т.е. представляет собой нелинейное сопротивление. Работа почти всех полупроводниковых приборов, применимых в радиоэлектронике, основана на использовании свойств одного или нескольких p-n переходов.

При отсутствии внешнего напряжения носители заряда в каждом полупроводнике совершают беспорядочное тепловое движение, т.е. имеют некоторые тепловые скорости, вследствие чего происходит их диффузия (проникновение) из одного полупроводника в другой. Носители перемещаются оттуда, где их концентрация велика, туда, где их концентрация мала. Таким образом, из полупроводника n-типа в полупроводник p-типа диффундируют электроны, а в обратном направлении из полупроводника p-типа в полупроводник n-типа диффундируют дырки.

В результате диффузии носителей по обе стороны границы раздела двух проводников с различным типом электропроводности создаются объемные заряды различных знаков. В области n возникает положительный объемный заряд. Он образован положительно заряженными атомами донорной примеси и прошедшими в эту область дырками. Подобно этому в области p возникает отрицательный объемный заряд, образованный отрицательно заряженными атомами акцепторной примеси и пришедшими сюда электронами.

Между образовавшимися объемными зарядами возникают так называемая контактная разность потенциалов и электрическое поле. Каждую секунду через границу в противоположных направлениях диффундирует определенное количество электронов и дырок, а под действием поля такое же их количество дрейфует в обратном направлении. Перемещение носителей за счет диффузии называют диффузным током, а движение носителей под действием поля представляет собой ток проводимости. В установившемся режиме, т.е. при динамическом равновесии перехода, эти токи противоположны по направлению. Поэтому полный ток через переход равен нулю, что и должно быть при отсутствии внешнего напряжения.

а) Полупроводниковые резисторы

Они представляют собой обширный класс полупроводниковых приборов, принцип действия которых основан на свойствах полупроводников изменять своё сопротивление под действием температуры, электромагнитного излучения, приложенного напряжения и других факторов. К ним относятся:

Терморезисторы *– это приборы, сопротивление которых значительно изменяется при изменении температуры.*

Конструкция их весьма разнообразна. Выполняют их в виде стержней, дисков, миниатюрных бусинок, шайб. Работа терморезистора характеризуется вольт-амперной характеристикой (ВАХ) (рис.1.1), на которой можно выделить 3 участка: на участке ОА характеристика линейна, так как при малых токах мощность, выделяемая в терморезисторе, мала и заметно не влияет на его температуру. Следовательно, сопротивление на этом участке постоянно. Уже на участке АВ линейность нарушается. С ростом тока температура терморезистора повышается, а его сопротивление, вследствие увеличения количества электронов и дырок, уменьшается. При дальнейшем увеличении тока на участке ВС уменьшение сопротивления оказывается настолько значительным, что рост тока ведет к уменьшению падения напряжения на терморезисторе.

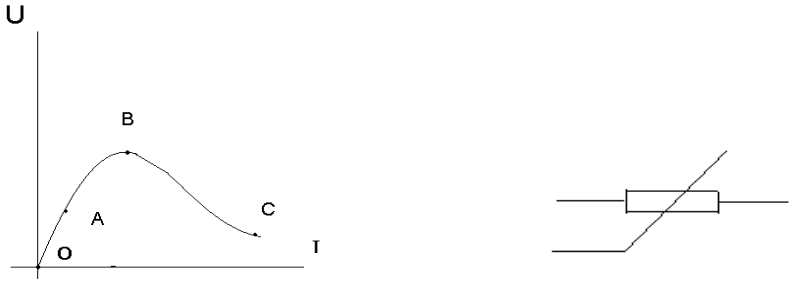


Рис.1.1. ВАХ и условно-графическое Обозначение (УГО) терморезистора

Терморезисторы применяются:

1. Для измерения и регулирования температуры.
2. Для термокомпенсации различных элементов электрических цепей.
3. Для измерения мощности высокочастотных колебаний и индикации лучистой энергии.
4. Для стабилизации напряжения и тока в цепях.

Варисторы *– это приборы, работа которых основана на эффекте уменьшения сопротивления полупроводникового материала при увеличении приложенного напряжения.*

Они представляют собой полупроводниковые резисторы, выполненные из карбида кремния (SiC) и связующего керамического материала в виде стержней, дисков (рис 1.2), а варисторы типа СН1-3 применяются в ИМС.

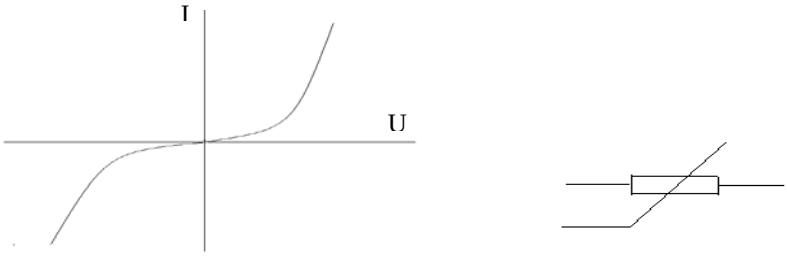


Рис.1.2. ВАХ и УГО варистора

При повышении напряжения, приложенного к варистору, возрастает напряженность электрического поля между кристаллами, а это вызывает электростатическую эмиссию с острых зубцов и граней кристал-

лов SiC. Одновременно происходит пробой оксидных пленок на поверхности кристалла, а также микронагрев отдельных точек между кристаллами. Всё это приводит к повышению проводимости варистора, причем полярность напряжения роли не играет. Рост тока через прибор наблюдается при повышении напряжения любой полярности (рис.1.2).

Применение варисторов:

1. Для защиты приборов и элементов схем от перенапряжений.
2. Для стабилизации тока и напряжения.
3. Для регулирования электрических величин.
4. Для преобразования электрических сигналов.

Фоторезистор *– это прибор, принцип действия которого основан на фоторезистивном эффекте, т.е. на изменении сопротивления материала полупроводника под действием электромагнитного излучения.*

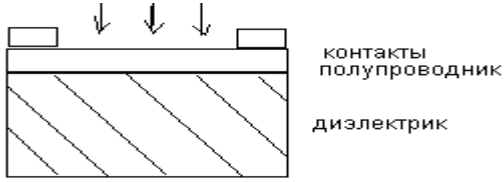


Рис.1.3. Устройство фоторезистора

Фоторезисторы (рис.1.3) изготавливаются на основе сульфида кадмия, селенида кадмия, сернистого свинца и др., конструкции их разнообразны. Светочувствительные элементы помещаются в пластмассовый или металлический корпус.

При отсутствии облучения фоторезистор имеет некоторое большое сопротивление R_T, называемое темновым, которое является одним из параметров фоторезистора, и составляет от 10000 до 10000000 Ом. Соответствующий ток через него называют темновым током I_T. При действии излучения на фоторезистор в нём происходит генерация пар носителей заряда (электронов и дырок) и его сопротивление уменьшается с образованием в цепи светового тока I_C. Разность между световым и темновым токами составляет фототок $I_Ф$.

Фоторезисторы имеют линейную ВАХ (рис.1.4) и нелинейную энергетическую характеристику.

Недостатки фоторезисторов заключаются в зависимости сопротивления от температуры, большой инерционности, значительных собственных шумах. Тем не менее, они находят широкое применение.

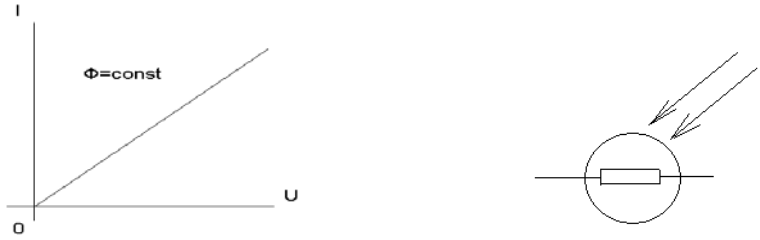


Рис.1.4. ВАХ и УГО фоторезистора

б) Конденсаторы

Конденсаторы предназначаются для разделения переменной и постоянной составляющих тока и сглаживания пульсаций напряжения. Они бывают постоянной ёмкости, полупеременные (подстроечные) и переменной ёмкости. С точки зрения конструктивного исполнения конденсаторы разделяются на металлобумажные, слюдяные, стеклоэмалевые и электролитические.

Наиболее широкое применение нашли электролитические конденсаторы, которые обладают достаточно большой удельной ёмкостью и используются в цепях с пульсирующим током для отфильтрования переменных напряжений. В качестве диэлектрика в них применяется тонкий слой окиси металла, отложенный электрохимическим способом на алюминиевую или танталовую фольгу. Они состоят из двух лент фольги (оксидированной и неоксидированной), между которыми помещают прокладку из бумаги или ткани, пропитанную электролитом. Электролитические конденсаторы имеют полярность. Существенный недостаток этих конденсаторов заключается в большом токе утечки, который может значительно возрастать при нагреве и сильной зависимости величины ёмкости от температуры, а также ограниченном сроке службы.

в) Полупроводниковые диоды

Полупроводниковый диод *– это прибор с двумя выводами, содержащий один p-n переход.* В зависимости от получения p-n перехода они делятся на плоскостные и точечные.

Наибольшее применение получили кремниевые и германиевые диоды, а также диоды, выполненные на основе соединений галлия.

Зависимость тока *I*, протекающего через диод, от напряжения *U*, приложенного к диоду, называется ВАХ полупроводникового диода. ВАХ диода с линейной аппроксимацией прямой и обратной ветвей, эк-

вивалентные схемы диодов для прямого и обратного включений и УГО показаны на рис.1.5

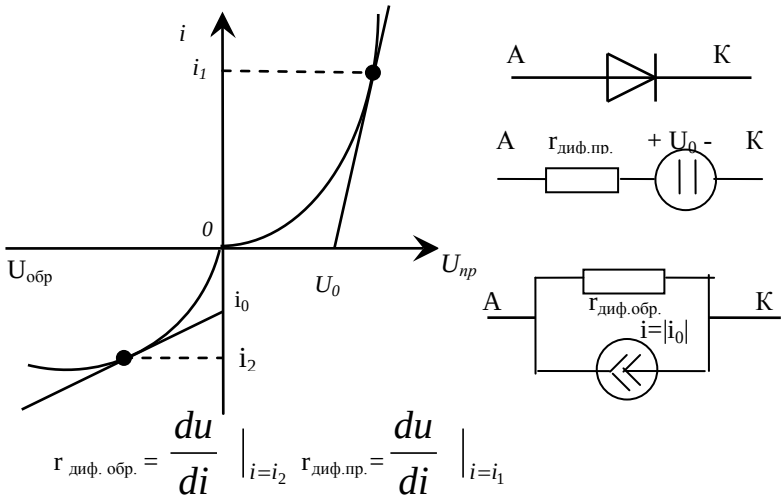


Рис.1.5. ВАХ и УГО диода

Из данного графика следует, что в прямом включении (анодом к плюсу), после превышения некоторого напряжения ($U_д$), прямой ток через диод $I_{пр.}$ растёт неограниченно и будет лимитироваться только мощностью источника.

В обратном же включении (катодом к плюсу), ток через диод *($I_{обр.}$)* пренебрежимо мал и составляет несколько микро или даже наноампер для обычных маломощных диодов или до единиц миллиампер для мощных выпрямительных диодов. Этот ток сильно зависит от температуры и может возрасти на несколько порядков при повышении температуры от -50^0 до $+50^0$. В отличие от обратного тока, прямое падение напряжения $U_д$ гораздо меньше зависит как от типа и конструкции, так и от температуры. Для кремниевых диодов прямое падение напряжения $U_д$ всегда можно считать равным примерно *0,6 – 0,7 В*, а для германиевых диодов и диодов Шоттки – порядка *0,2 – 0,4 В*.

Для кремниевых диодов, при изменении температуры, $U_д$ падает примерно на *2-3 мВ* на один градус.

Кремниевые диоды имеют во много раз меньшие обратные токи при одинаковом напряжении, а допустимое обратное напряжение кремниевых

диодов может достигать 1000-1500 В. Кремниевые диоды могут работать при температурах от -60 ^{o}C до +150 ^{o}C.

Кремниевые стабилитроны

Стабилитрон - это полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации постоянного напряжения.

Исходным материалом для создания стабилитрона служит пластинка кремния «n»-типа. В неё вплавляется алюминий, являющийся акцепторной примесью для кремния. Кристалл с p-n переходом помещается в металлический корпус. Нормальным режимом работы является работа при обратном напряжении, соответствующем электрическому пробою p-n перехода, когда при значительном изменении тока стабилитрона напряжение изменяется незначительно. УГО и пример ВАХ кремниевого стабилитрона приведены на рис. 1.6

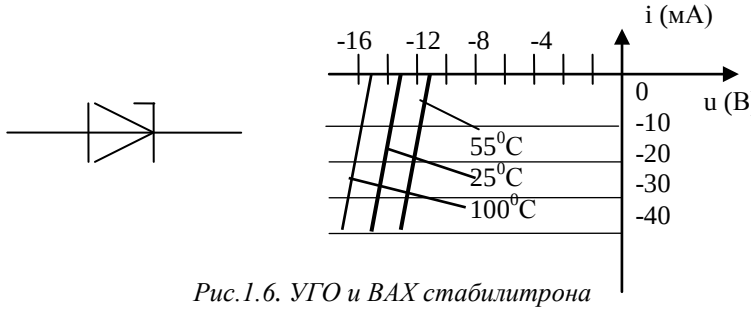


Рис.1.6. УГО и ВАХ стабилитрона

Стабилитроны применяются для стабилизации напряжения на сопротивлении нагрузки в параметрических стабилизаторах постоянного напряжения и т.д.

Варикапы

Варикап – это полупроводниковый диод, предназначенный для работы в качестве конденсатора, ёмкость которого управляется напряжением, т.е. он включается только на обратное напряжение.

По устройству он представляет собой плоскостной полупроводниковый диод, у которого используется барьерная ёмкость запертого p-n перехода, зависящая от величины приложенного к диоду обратного напряжения (рис.1.7). Основное применение варикапа – это электронная настройка колебательных контуров.

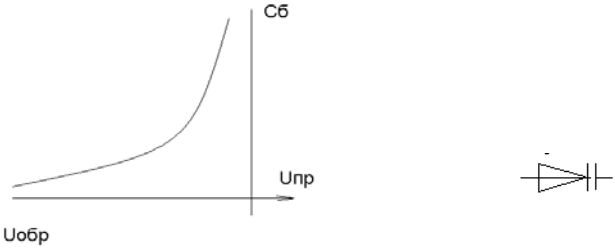


Рис.1.7. Вольт-фарадная характеристика и УГО варикапа

Туннельные диоды

Туннельным называется полупроводниковый диод, в котором используется туннельный механизм переноса носителей заряда через p-n переход, в характеристике которого имеется участок АБ (рис.1.8) с отрицательным сопротивлением.

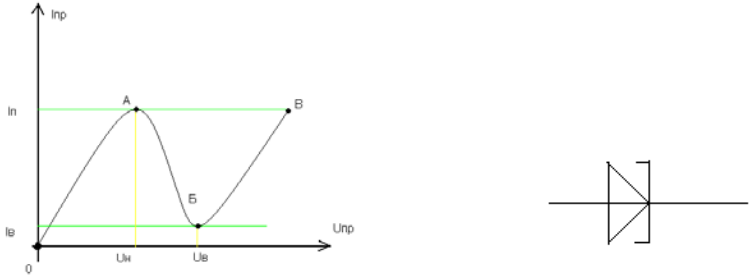


Рис.1.8. ВАХ и УГО туннельного диода

Туннельный эффект заключается в том, что электроны проходят узкий потенциальный барьер, в котором очень высокая напряженность электрического поля, т.е. они проходят через p-n переход, не изменяя своей энергии. Электрон, движущийся в сторону очень узкого барьера, пройдёт сквозь него как через «туннель» и займёт свободное состояние с такой же энергией по другую сторону барьерного слоя.

По сути, туннельные диоды являются бесконтактными переключателями, что позволяет использовать их в быстродействующих переключающих схемах с малым временем переключения, равным единицам наносекунд.

Фотодиоды

Фотодиод может работать в одном из двух режимов – фотодиодном и фотогенераторном, т.е. работать как источник ЭДС.

В фотодиодном режиме он представляет собой полупроводниковый диод, обратный ток которого зависит от освещённости p-n перехода.

Фотодиод включается на обратное напряжение и устроен так же как обычный полупроводниковый диод, но его p-n переход обращён к стеклянному окну, через которое поступает свет. При освещении фотодиода появляется дополнительное число электронов и дырок, т.е. резко увеличивается число неосновных носителей заряда и возрастает обратный ток, и чем больше световой поток, тем больше ток.

ВАХ и УГО фотодиода показаны на рис.1.9.

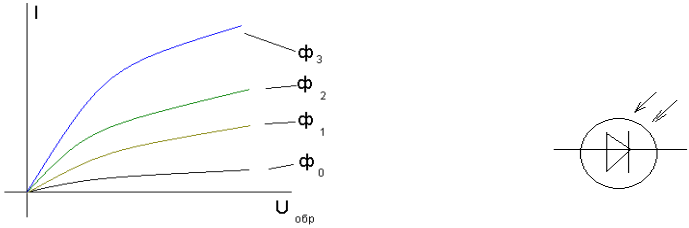


Рис.1.9. ВАХ и УГО фотодиода

В фотогенераторном режиме при попадании светового потока на фотодиод фотоны, проходя толщу полупроводника, сообщают части валентных электронов энергию, достаточную для их перехода в зону проводимости. Это приводит в обеих областях к увеличению числа пар свободных носителей заряда: основных и неосновных, т.е. дырок и электронов, которые под действием контактной разности потенциалов в барьере p-n перехода диффундируют из одной области в другую, что ведет к созданию на зажимах фотодиода фотоЭДС, и если замкнуть зажимы через резистор, то в цепи появится ток. Из таких элементов путём последовательного и параллельного соединения создаются солнечные батареи – основной источник питания на космических аппаратах.

Светоизлучающие диоды (светодиоды)

Светодиоды работают при прямом напряжении. При этом в светодиоде происходит инжекция носителей заряда. Если концентрация электронов в «n» области больше, чем дырок в «p» области, то происходит в основном инжекция электронов из «n» в «p». Рекомбинированные электроны переходят с более высоких энергетических уровней зоны проводимости, близких к её нижней границе, на более низкие уровни, расположенные вблизи верхней границы валентной зоны. При этом выделяется фотон, энергия которого равна ширине запрещённой зоны ΔW (рис.1.10).

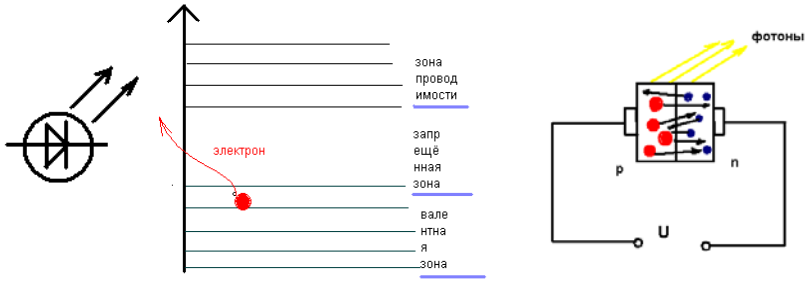


Рис.1.10. Зонная модель, УГО и схема работы светодиода

Для изготовления светодиодов в основном применяются карбид кремния и фосфид галлия.

Стабистор

Стабистор – это полупроводниковый диод, напряжение на котором при прямом включении (около 0,7 В) мало зависит от тока.

Он предназначен для стабилизации малых напряжений.

Диод Шоттки

Диод Шоттки – это устройство, в котором используется не p-n переход, а выпрямляющий контакт металл-полупроводник.

При работе диода Шоттки отсутствуют инжекция неосновных носителей и соответствующие явления накопления и рассасывания, поэтому они являются очень быстродействующими приборами и могут работать на частотах до десятков ГГц. УГО и пример ВАХ кремниевого диода КД923А с барьером Шоттки приведены на рис.1.11.

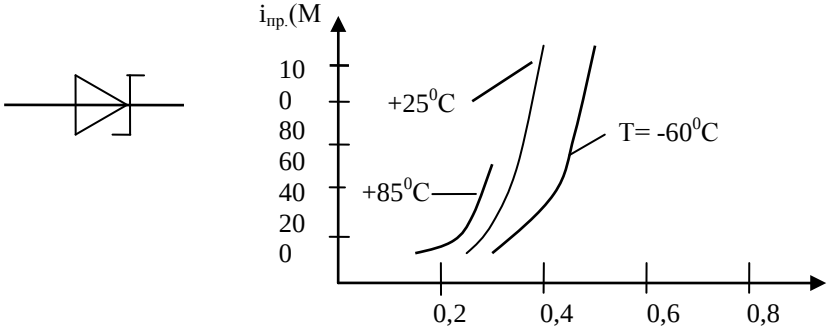


Рис.1.11. УГО и ВАХ диода Шоттки

У диода Шоттки может быть малый обратный ток и малое прямое напряжение (при малых прямых токах) – около 0,5В, что меньше, чем у кремниевых приборов. Максимально допустимый прямой ток может составлять десятки и сотни ампер, а максимально допустимое напряжение – сотни вольт.

г) Биполярные транзисторы

Транзистор *– это преобразовательный полупроводниковый прибор с двумя p-n переходами, имеющий не менее трёх выводов, пригодных для усиления мощности.*

Биполярным он называется, потому что токи его электродов образуются движением двух типов заряда – электронов и дырок. Биполярные транзисторы по своей структуре делятся на 2 типа: p-n-p и n-p-n. Крайние области транзистора типа p-n-p обладают дырочной проводимостью, а средняя область – противоположной проводимостью (электронной). Средняя область называется базой, а крайние – одна эмиттером, а вторая коллектором. У транзистора имеются 2 p-n перехода – эммитерный и коллекторный (рис. 1.12.).

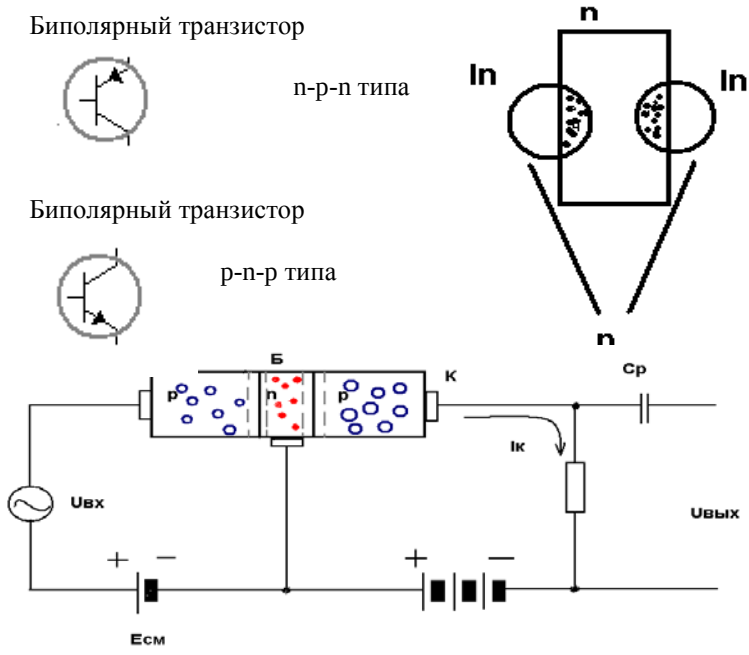


Рис.1.12. Структура, УГО и схема включения биполярного транзистора с общей базой

Биполярный транзистор (типа n-p-n) является наиболее распространённым активным полупроводниковым прибором.

Схема включения транзистора с ОЭ и его вольт-амперные характеристики показаны на рисунке 1.13.

На выходной характеристике можно выделить три характерных участка. Первый участок лежит в области малых значений $U_{кэ} \le U_{бэ}$. При таком напряжении переход коллектор – база оказывается открытым. Транзистор работает в *режиме насыщения*. Ток коллектора резко изменяется с изменением напряжения $U_{кэ}$. Напряжение, отсекающее крутой участок, лежит в пределах $U_{кэн} = (0{,}2 – 1)$ *В*. Первый участок используется в импульсной технике при реализации ключевого режима транзистора.

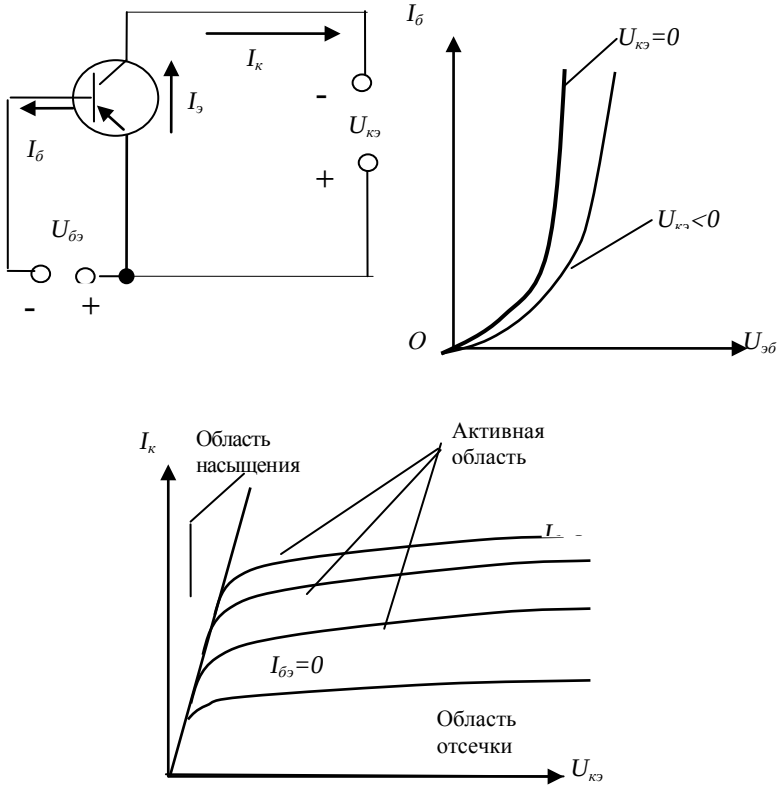


Рис.1.13. Схема включения транзистора с ОЭ, входные и выходные ВАХ

Большую часть характеристики занимает II, пологий участок. На этом участке ток коллектора почти не зависит от напряжения $U_{кэ}$, и его значение практически полностью определяется током базы. Транзистор работает в *активном режиме*, обеспечивая усиление сигнала. Небольшой наклон пологого участка обусловлен тем, что с ростом $U_{кэ}$ увеличивается потенциальный барьер закрытого *p-n* перехода коллектор – база, расширяется его запирающий слой за счет толщины базы. В более тонкой базе меньше вероятность рекомбинации, поэтому значение β, а значит и $I_к$, увеличивается.

Резкое увеличение тока $I_к$ на участке III характеристики вызывается явлением электрического пробоя.

д) Полевые транзисторы

Полевым транзистором называется электропреобразовательный прибор, в котором ток канала управляется поперечным электрическим полем, возникающим с приложением напряжения между «стоком» и «истоком» и который предназначен для усиления мощности электромагнитных колебаний.

Они являются униполярными, так как протекание тока обуславливается движением носителей одного заряда в продольном электрическом поле через управляемый канал «р» или «n» типа. Принцип работы, в общих чертах, основан на изменении напряженности поперечного поля, что вызывает изменение проводимости канала а, следовательно, и тока. Структура, УГО и выходные (стоковые) характеристики полевого транзистора показаны на рис.1.14.

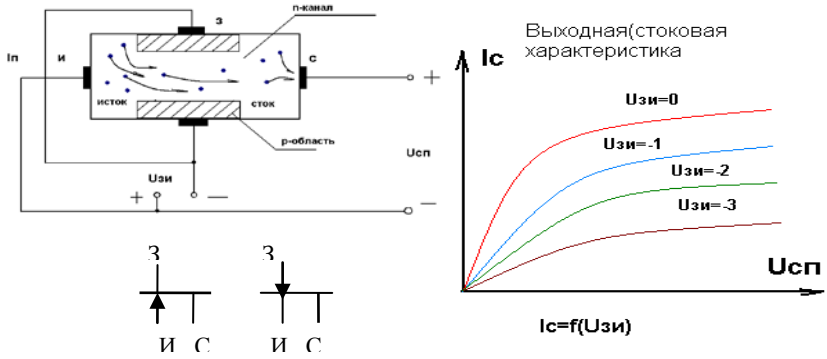


Рис.1.14. Структура, УГО и выходные характеристики полевого транзистора

Различают два вида полевых транзисторов: с управляющим переходом и изолированным затвором. В рабочем (не аварийном) режиме p-n переход должен находиться под обратным или нулевым напряжением, и в этом случае ток затвора примерно равен нулю, а ток стока примерно равен току истока. Идеи, заложенные в полевых транзисторах, находят достаточно широкое применение в более сложных электронных устройствах.

На основе полевого транзистора с изолированным затвором построены ячейки памяти (флэш-память), являющиеся современными быстродействующими программируемыми постоянными запоминающими устройствами (ППЗУ) с электрической записью и электрическим стиранием информации, выдерживающие не менее 100000 циклов записи/стирания. Являются энергонезависимыми, т.к. информация не стирается при отключении питания.

е) Тиристоры

Тиристором называется полупроводниковый прибор с тремя и более p-n переходами, двумя устойчивыми состояниями, ВАХ которого имеет участок с отрицательным сопротивлением и используется для переключения.

При включении тиристора в цепь переменного тока тиристор открывается при достижении определённого уровня мгновенного напряжения, либо при подаче на управляющий электрод отпирающего напряжения.

По числу электродов тиристоры делятся на двухэлектродные тиристоры (диниcторы), называемые ещё переключающими диодами, и на трехэлектродные тиристоры (тринисторы), у которых кроме анода и катода имеется третий – управляющий электрод. Тринисторы называют ещё управляемыми диодами (рис. 1.15).

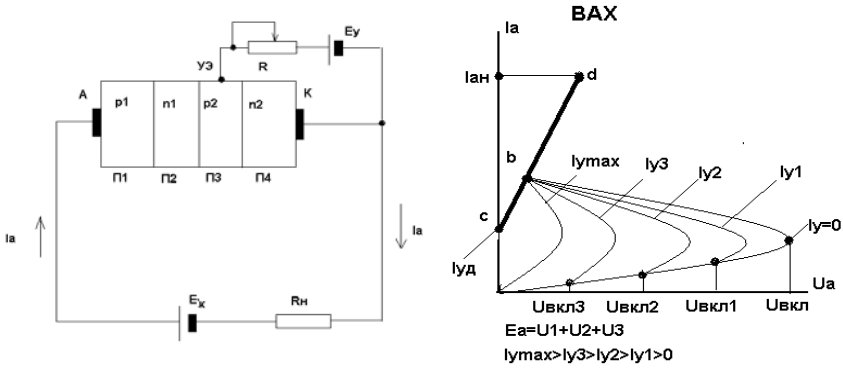


Рис.1.15. Устройство тиристора, УГО и ВАХ

Характерной особенностью незапираемого тиристора является то, что его нельзя выключить с помощью тока управления. Для выключения тиристора на практике на него подают обратное напряжение и поддерживают его в течение времени, большего так называемого времени выключения. Тиристор выключается также в случае, когда обратное напряжение не подаётся, но ток i_a уменьшается до некоторой малой величины, называемой током удержания $i_{уд.}$.

Из анализа структуры и ВАХ следует, что, регулируя ток управления с помощью переменного резистора R, можно изменять уровень напряжения включения, при котором тиристор открывается. Например, если увеличить I_y, то тиристор открывается при меньшем напряжении включения $U_{вкл}$. С помощью тока управления тиристор также может быть выключен – это так называемые запираемые тиристоры.

Тиристоры являются основными элементами в силовых устройствах электроники, которые называются также устройствами преобразовательной техники и применяются в схемах автогенераторов пилообразного напряжения, в усилительных схемах, а также в бесконтактных переключающих схемах.

ж) Логические элементы

В устройствах цифровой электроники в большинстве случаев используются сигналы двух уровней – высокого и низкого. При этом имеются в виду уровни напряжения, а не тока и предполагается, что каждый сигнал характеризуется «разумным» уровнем напряжения. Высокому и низкому уровням сигналов ставятся в соответствие логические состояния 1 («истина») и 0 («ложь»). Если высокому уровню сигналов ставится в соответствие состояние 1, а низкому – состояние 0, то говорят о позитивной (положительной) логике. Если высокому уровню соответствует состояние 0, а низкому – 1, то говорят о негативной (отрицательной) логике.

В устройствах цифровой электроники используются элементы, входные и выходные сигналы которых могут принимать лишь два значения: логической «1» и логического нуля «0». Они называются логическими и предназначаются для выполнения простейших операций с такими двоичными числами.

Обработка цифровой информации логическими элементами производится по законам и правилам алгебры логики, разработанной в XIX веке английским ученым Дж. Булем и называемой булевой алгеброй.

Логические преобразования двоичных сигналов включают три элементарные операции:

логическое сложение (дизъюнкцию) или операцию ИЛИ

$$F=x_1+x_2+\ldots+x_n;$$

логическое умножение (конъюнкцию) или операцию И

$$F= x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_n;$$

логическое отрицание (инверсию) или операцию НЕ

$$F = \overline{x}.$$

Определение этих операций дается с помощью таблиц истинности, содержащих перечисление всех возможных сочетаний (наборов) входных переменных (входных слов) (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Таблица истинности

Наименование функции	Выражение функции	Таблицы истинности				
		x_1	0	0	1	1
		x_2	0	1	0	1
ИЛИ	y= x1+x2	y	0	1	1	1
И	y= x1 ·x2	y	0	0	0	1
НЕ	$y= \overline{x1}$	y	1	1	1	0
ИЛИ-НЕ	$y= \overline{x1+x2}$	y	1	0	0	0
И-НЕ	$y= \overline{x1 \cdot x2}$	y	1	1	1	0

Каждая простая логическая функция может быть технически реализована простыми элементами, к которым относятся элементы И, ИЛИ, НЕ и их комбинации.

Из простых элементов можно составить сколь угодно сложные логические устройства, например, счетчики импульсов, регистры, сумматоры, блоки памяти и т.п.

На практике применяют комбинированные элементы, реализующие две логические операции, например, элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ. Они называются функционально полными, т.к. позволяют реализовать любую логическую функцию. Например, имея набор элементов И-НЕ можно построить схему ИЛИ.

Элемент И-НЕ (штрих Шеффера) выполняет операцию

$$F= x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \ldots \cdot x_n .$$

Элемент ИЛИ-НЕ (стрелка Пирса) выполняет операцию

$$F=x_1+x_2+ x_3+\ldots+x_n .$$

К основным параметрам логических элементов относятся:

1) средняя потребляемая мощность – $P_{ср}$

$$P_{ср} = 0{,}5(P^o + P^1),$$

где P^o – мощность, потребляемая логическим элементом, находящимся в состоянии "0", P^1 – в состоянии "1";

2) коэффициент объединения по входу $К_{об}$ – определяет максимальное число входов логического элемента. Основные логические элементы имеют $К_{об} = 2 – 4$ (до $К_{об} >10$);

3) коэффициент разветвления по выходу (нагруз. способн.) $К_{разв}$, т.е. максимальное число аналогичных элементов, которое можно подключить к выходу данного логического элемента без нарушения его нормальной работы. $К_{разв} = 4 – 10$;

4) быстродействие, определяющее быстроту реакции логического элемента при воздействии входного напряжения;

5) помехоустойчивость, характеризующая невосприимчивость к изменению своих состояний при воздействии напряжения помех и оцениваемая наибольшим напряжением помехи, которая не вызывает ложного срабатывания логического элемента.

Логические и запоминающие элементы составляют основу устройств цифровой обработки информации – вычислительных машин, цифровых измерительных приборов и устройств автоматики.

Комбинационные и последовательностные цифровые устройства

Все логические устройства разделяют на два класса:

– комбинационные, в которых выходные сигналы в некоторый момент времени однозначно определяются входными сигналами, имеющими место в этот момент времени;

– последовательностные, в составе которых обязательно имеются элементы памяти, а выходные сигналы определяются не только входными сигналами, но и состоянием элементов памяти, т.е.реакция последовательностного устройства на определённые входные сигналы зависит от предыстории его работы.

Наиболее широко применяемыми на практике типовыми логическими устройствами являются:

1) комбинационные:

– шифраторы (кодеры);
– дешифраторы (декодеры);
– мультиплексоры;
– демультиплексоры;
– сумматоры;
– цифровые компараторы.

2) последовательностные:

– триггеры;
– счётчики импульсов;
– регистры.

Базовыми элементами при построении устройств импульсной и цифровой техники, в т.ч. счетчиков, регистров, дешифраторов, устройств

памяти и др. являются триггеры, характерной особенностью которых является способность сохранять двоичную информацию (состояние "0" или "1") после окончания действия входных импульсов. Они обладают двумя состояниями устойчивого равновесия и способностью скачком переходить из одного состояния в другое.

з) Интегральные микросхемы (ИМС)

В настоящее время ЭВМ и другая электроника создаются на основе микроэлектроники, т.е. с применением интегральных микросхем, называемых «микросхемами». Интегральные микросхемы представляют собой микроэлектронные устройства с высокой плотностью компоновки элементов: транзисторов, диодов, резисторов, конденсаторов и пр. По технологии изготовления различают полупроводниковые, плёночные и гибридные ИМС.

По числу элементов (степени интеграции) микросхемы делятся на несколько типов: простые - имеют не более 10 элементов; средние - имеют от 10 до 100 элементов; большие (БИС) - от 100 до 1000. В настоящее время появились сверхбольшие микросхемы (СБИС), они насчитывают более 1000 элементов, а микросхемы, применяемые в процессоростроении, содержат десятки миллионов элементов. По характеру выполняемой ими функции ИС делятся на цифровые (логические элементы, триггеры и им подобные) и аналоговые (усилители, источники вторичного электропитания и пр.).

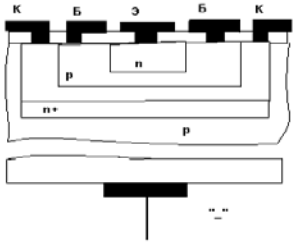


Рис.1.16. Пример создания в ИМС биполярных транзисторов

Все элементы в ИС выполнены внутри и на поверхности полупроводниковой подложки, называемой кристаллом, которая, обычно, представляет собой пластинку кремния толщиной не более 200-300 мкм.

Поскольку все элементы делаются в едином полупроводниковом кристалле (рис.1.16), то важно обеспечить изоляцию элементов от кристалла и друг от друга, для чего применяются несколько способов, одним из которых является метод диффузии.

При этом методе в кристалле создаются области коллектора, базы и эммитера. Структура транзисторов углубляется в кристалл не более чем на 15 мкм, а линейные размеры транзистора на поверхности не превышают нескольких десятков мкм. Как правило, в ИМС изготовляются транзисторы типа n-p-n. Таким же образом в ИМС можно изготовить любые дискретные элементы: полупроводниковые диоды, резисторы, конденсаторы, транзисторы и различные схемы с их использованием.

Достоинства микросхем – это малые размеры и масса, малая потребляемая мощность, высокая надёжность за счёт уменьшения числа паяных соединений, высокое быстродействие, так как при очень коротких соединительных линиях между элементами время пробега сигналов по этим линиям уменьшается.

и) Операционные усилители

Операционный усилитель (ОУ) – универсальный функциональный элемент, широко используемый в современных схемах формирования и преобразования информационных сигналов различного назначения, как в аналоговой, так и в цифровой технике.

Наименование «операционный усилитель» обусловлено тем, что, прежде всего, такие усилители получили применение для выполнения операций суммирования сигналов, их дифференцирования, интегрирования, инвертирования и т. д.

ОУ представляют собой усилители медленно изменяющихся сигналов с низкими значениями напряжения смещения нуля и входных токов и с высоким коэффициентом усиления. Преобразование сигнала схемой на ОУ почти исключительно определяется свойствами цепей обратных связей усилителя и отличается высокой стабильностью и воспроизводимостью. Благодаря практически идеальным характеристикам ОУ, реализация различных электронных схем на их основе оказывается значительно проще, чем на дискретных элементах. На рис.1.17 приведена схема ОУи принцип реализации ООС.

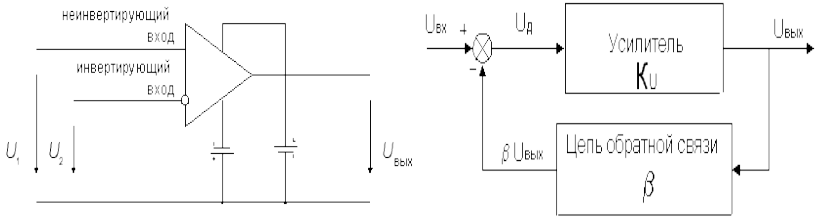


Рис.1.17. Обозначение ОУ и принцип реализации ООС

Входной каскад выполняется в виде дифференциального усилителя, так что операционный усилитель имеет два входа: неинвертирующий вход, обозначаемый буквой *p* (positive - положительный) и инвертирующий, обозначаемый буквой *n* (negative).

Выходное напряжение $U_{вых}$ находится в одной фазе с разностью входных напряжений: $U_{вых} = U_1 - U_2$. Чтобы обеспечить возможность работы ОУ как с положительными, так и с отрицательными входными сигналами, следует использовать двухполярное питающее напряжение (как правило. +/-15 В.)

Коэффициент усиления ОУ с обратной связью определяется почти исключительно только обратной связью и мало зависит от параметров самого усилителя. Выходное напряжение ОУ будет равно:

$$U_{вых} = K_U U_д = K_U(U_{вх} - U_{вых}),$$ откуда получим:

$$K = U_{вых} / U_{вх} = K_U / (1 + K_U).$$

Из этих соотношений следует, что в простейшем случае цепь обратной связи представляет собой резистивный делитель напряжения, а схема с ОУ работает как линейный усилитель, коэффициент усиления которого определяется только коэффициентом ослабления цепи обратной связи. Если в качестве цепи обратной связи применяется RC-цепь, то образуется активный фильтр. Включение в цепь обратной связи ОУ диодов и транзисторов позволяет реализовать нелинейные преобразования сигналов с высокой точностью.

Для уяснения принципов действия схем на ОУ и приближенного их анализа вводится понятие идеального операционного усилителя, под которым понимается усилитель постоянного тока, имеющий:

а) дифференциальный вход с усилением по напряжению дифференциального сигнала K_u и полным входным сопротивлением $Z_{вх.}$ столь большими, что их можно считать бесконечными на всех частотах;

б) бесконечный коэффициент ослабления синфазных сигналов (КОСС) при допустимых уровнях входных сигналов, равных шкале выходных напряжений;

в) нулевой дрейф, шум и сдвиг нуля;

г) нулевые входные токи смещения и сдвига;

д) нулевое выходное сопротивление;

е) выходной сигнал напряжения, могущий одинаково изменяться в сторону как положительного, так и отрицательного напряжения относительно потенциала точки покоя выхода (потенциала шины земли).

На рис.1.18 показаны схемы включения ОУ в режиме масштабного усилителя, т.е. усилителя с одинаковым фиксированным усилением во всей полосе частот. Схема (рис.1.18,а) есть инвертирующий усилитель с параллельной обратной связью. Т.к. $K_U \to \infty$, то разность напряжений между входами $U_\Sigma \to 0$ и тогда для этой схемы получим: $K_{ос} = - R_2 / R_1$.

Выходное напряжение усилителя в инвертирующем включении находится в противофазе по отношению ко входному. Коэффициент усиления входного сигнала по напряжению этой схемы в зависимости от соотношения сопротивлений резисторов может быть как больше, так и меньше единицы.

Если входной сигнал задан на вход «+» (рис.1.18, б), то $K_{ос} = 1 + R_2 / R_1$.

В этой схеме действует последовательная обратная связь, т.к. сигнал обратной связи $u_{ос} = u_\Sigma = u_{вх.}$ образует последовательный контур вместе с входными клеммами усилителя и источником сигнала $u_{вх.}$ Особенностью

этой схемы является очень высокое входное сопротивление, поскольку в ней образуется контур, подобный следящей связи. Т.к. $u_{\Sigma} = u_{вх}\ \beta\ K_u / (1+\beta\ K_u)$, то $u_{вх} - u_{\Sigma} = u_{вх} / (1+\beta K_u)$. Ток сигнала, протекающий через $R_{вх.}$ усилителя, будет равен $I_{вх} = u_{вх} - u_{\Sigma} / R_{вх} = u_{вх} / R_{вх} (1+\beta K_u)$, а входное сопротивление всей схемы определится в виде:

$$R_{вх.ос} = R_{вх} (1+\beta K_u) = R_{вх}\ R_1\ K_u / (R_1+R_2).$$

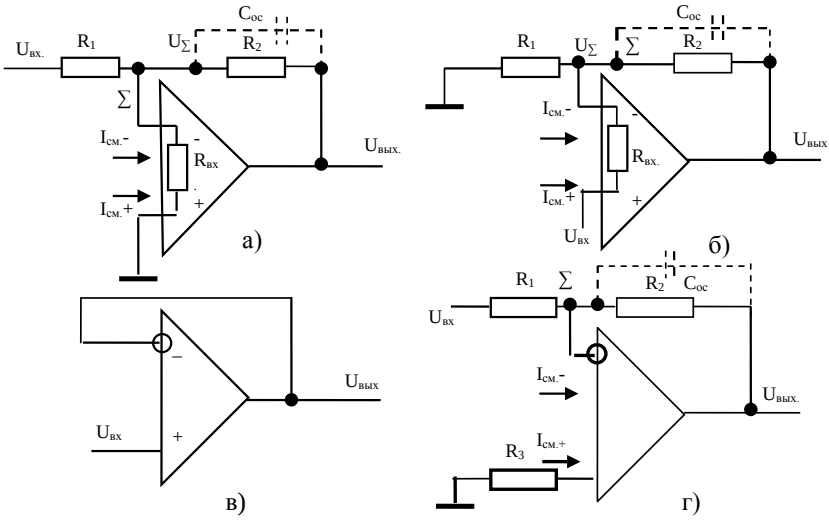


Рис. 1.18. Схемы включения ОУ в режиме масштабного усилителя

В данной схеме значительную роль могут играть параметры усилителя по синфазному сигналу – КОСС и входное сопротивление синфазному сигналу.

У идеального ОУ КОСС $\rightarrow \infty$ и $R_{вх.синф.} \rightarrow \infty$, а в реальной схеме ограниченное значение КОСС эквивалентно незначительному уменьшению K_u, а $R_{вз.синф.}$ шунтирует R_1, уменьшая β.

Если в схеме (рис.1.18,б) убрать R_1 и взять $R_0 = 0$, то получим *повторитель напряжения*, часто используемый как буферный каскад, отделяющий высокоомный источник напряжения от сравнительно низкоомной нагрузки.

Наличие у усилителя напряжения смещения нуля или сдвига $U_{сдв.0}$ и входных токов $I_{см.-}$ и $I_{см.+}$ приводит к появлению погрешностей выхода. При этом напряжение сдвига $U_{сдв.0}$ есть приведённое по входу напряжение небаланса усилительных каскадов ОУ, действующее как постоянная составляющая внутренних помех и создающая напряжение ошибки,

равное $U_{вых.сдв.} = U_{сдв.0} / \beta$. Токи $I_{см.-}$ и $I_{см.+}$ это режимные токи смещения входного каскада усилителя. Они практически не зависят от $U_{вх.}$ и $U_{\sum}$, - на них влияет только синфазная составляющая $U_{вх.синф}$. В реальных усилителях токи смещения могут различаться и поэтому отдельно задаётся среднее значение тока смещения и тока сдвига:

$$I_{см.} = (I_{см.-} + I_{см.+}) / 2$$

$$I_{сдв.} = | (I_{см.-} - I_{см.+}) |.$$

Если в схеме (рис.1.18,а) предусмотреть несколько входных резисторов, то можно построить суммирующий усилитель, приведённый на рис.1.19, а.

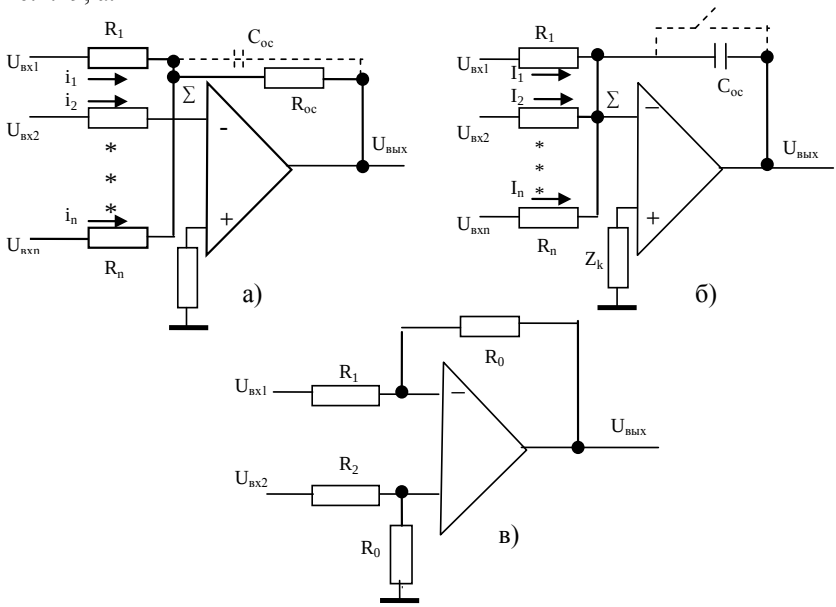


Рис.1.19. Типовые схемы усилителей на ОУ
а) суммирующий усилитель;
б) интегрирующий усилитель;
в) дифференциальный усилитель

Для этого усилителя $U_{вых}=R_{ос}(i_1+i_2+ i_3+\ldots.+i_n)= \sum_{i=1}^{n} U_{вх1} R_{ос} / R_1$.

Величина β в этой схеме определяется параллельным соединением $R_1 \| R_2 \| R_3 \| \ldots. \| R_n$ и поэтому может оказаться величиной весьма малой при сравнительно небольших значениях коэффициентов усиления по каждому i-му входу.

Заменив $R_{ос}$ на конденсатор $C_{ос}$, получим сумматор – интегратор (рис. 1.19,б). В этой схеме изменения $U_{вых}$ будут таковы, что $U_{\Sigma} = 0$ и поэтому:

$$dU_{вых} / dt = -\sum_{l=1}^{n} i_l / C_{ос} \text{ , откуда найдём}$$

$$U_{вых} = -\int_0^t \sum_{l=1}^{n} [U_{вх} /(\lambda) / R_1 C_{ос}] d\lambda .$$

Величина $R_1 C_{ос} = T_{и\,1}$ называется постоянной времени интегрирования. В этой схеме необходимо позаботиться о перезаряде $C_{ос}$ или о периодическом его разряде, например, с помощью ключа или контакта.

Использование ОУ как дифференциального усилителя показано на рис1.19,в.

В этой схеме при $R_1=R_2$ выходное напряжение будет равно:

$U_{вых} = (U_{вх.2} – U_{вх.1}) R_0 / R_1$

Однако, точность выполнения этого равенства существенно ограничивают влияние КОСС усилителя и разброс сопротивлений резисторов.

Для достаточной устойчивости и выполнения математических операций над сигналами с высокой точностью реальный ОУ должен обладать следующими свойствами:

1) высоким коэффициентом усиления по напряжению, в том числе и по постоянному;
2) малым напряжением смещения нуля;
3) малыми входными токами;
4) высоким входным и низким выходным сопротивлением;
5) высоким коэффициентом ослабления синфазной составляющей (КОСС);
6) амплитудно-частотной характеристикой с наклоном в области высоких частот -20дБ/дек.

Блок-схема ОУ, максимально удовлетворяющего предъявляемым к нему требованиям, приведена на рис.1.20.

Рис. 1.20. Типовая трёхкаскадная структура ОУ

На входе – дифференциальный каскад с усилением K_1, имеющий малые шумы, $U_{сдв.0}$, $I_{см.}$, $I_{сдв}$ и, что существенно, малый коэффициент

нелинейных искажений (гармоник) $К_г$. Сдвиги, шумы и искажения, возникающие в последующих каскадах, будут подавляться в $К_1$ раз, поэтому желательно иметь $К_1$ как можно большим. Входной каскад также должен иметь большие $R_{вх}$, $R_{вх.синф.}$, КОСС, допускать большие значения $U_{вз.синф.}$ и выдерживать перегрузки при больших значениях $|u_+ - u_-|$.

Следующий каскад усиления напряжения с усилением $К_2$ обычно служит для получения большого общего $К_{u0}$ и часто именно он используется для формирования частотной характеристики всего усилителя. Кроме того, он является буферным усилителем между слаботочным входным каскадом и выходным каскадом усиления мощности с его относительно высокими уровнями токов и умеренным усилением по напряжению $К_3$ (иногда это просто повторитель). Для улучшения характеристик усилителя часто второй каскад также выполняют по дифференциальной схеме (рис.1.21).

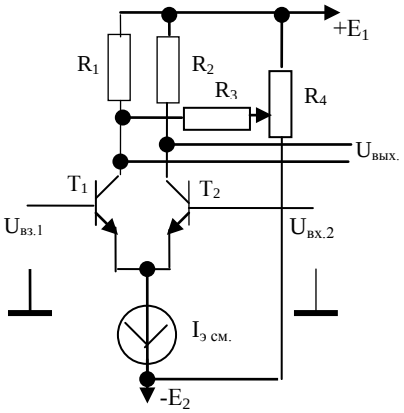


Рис. 1.21. Схема биполярного дифференциального каскада

Здесь два идентичных транзистора имеют общий источник «вытекающего» эмиттерного тока смещения и одинаковые коллекторные нагрузки $R_1 = R_2$, разность падений напряжения на которых и является выходным сигналом. Входной сигнал задаётся как напряжение между входами $U_{вх} = U_{вх.1} – U_{вх.2}$. Если $U_{вх.1} = U_{вх.2} = U_{вх.синф.}$, т.е. на оба входа подано одинаковое синфазное напряжение, то идентичные транзисторы будут иметь равные напряжения $U_{б-э}$ и равные токи $I_{э1} = I_{э2} = I_{э\ см.}/2$. В силу равенства токов $I_{к1} = _{к2}$ и выходное напряжение $U_{вых.} = I_{к1} R_1 – I_{к2} R_2$, будет равно нулю во всём допустимом диапазоне синфазных напряжений., который снизу ограничен значением $E_2 + U_{б-э} + U_{см.мин.}$, где $U_{см.мин.}$ – минимальное падение напряжения, необходимое источнику тока $I_{э\ см.}$ для функционирования с высоким $R_{вых.}$. Если источником тока является токовое зеркало, то обычно $U_{см.мин.} = 2U_{б-э}$.

Более того, другие виды синфазных (т.е. действующих на оба плеча каскада одновременно и одинаково) воздействий также не будут приводить к изменениям $U_{вых.}$ Это относится к изменению напряжений питания нестабильности $I_{э\ см.}$ температурному дрейфу $U_{б-э}$ транзисторов и сопротивлений резисторов R_1 и R_2 при условии точного равенства температур и характеристик компонентов.

Таким образом, для определения коэффициента усиления синфазного сигнала, на оба входа усилителя нужно подать одно и то же напряжение $u_{вх}$. В этом случае оба транзистора со своими коллекторными нагрузками включены по существу параллельно и через резистор $R_э$ протекают оба эмиттерных тока.

Коэффициент усиления в этом случае будет равняться:

$K_{синф.} = - [R_к / (2R_э + r_э)]$, где - $R_k = R_1 = R_2$ для симметричной схемы; - $r_э$-динамическое сопротивление эмиттера транзистора.

Предположим теперь, что на вход схемы воздействует дифференциальный входной сигнал, т.е. $U_{вх.} = U_{.1} – U_{вх.2} \neq 0$.

Коэффициент усиления по дифференциальному напряжению каскада определяется выражением: $K_{диф.}=R_к/2r_э$.

Дифференциальное напряжение обычно усиливается таким каскадом не более чем в 100 раз.

Сопротивление $r_э$ обычно много меньше Rэ и им пренебрегают. Коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС) определяется отношением: $КОСС = K_{диф.}/ K_{синф.} = R_э/ r_э$.

Эффективный путь улучшения характеристик усилителя состоит в замене линейных резисторов источниками тока, обладающими высоким динамическим сопротивлением при достаточно больших токах. В частности, в качестве динамической нагрузки в цепи коллекторов транзисторов дифференциального усилителя широко используются так называемое *токовое зеркало и источники неизменного тока*, схемы которых показаны на рис.1.22, а и б соответственно.

Большая часть номенклатуры ОУ относится к *усилителям общего назначения,* имеющим среднее быстродействие, невысокую точность и малую выходную мощность (K_U = 20 000 - 200 000; $U_{см}$ = 0,1 - 20 мВ; $f_т$ = 0,1 - 10 МГц.) Типичные примеры: 140УД6, 140УД8, 153УД6, LF411.

Быстродействующие усилители при средних точностных параметрах имеют высокие динамические характеристики ($f_т$ = 20 - 1000 МГц, r = 10 - 1000 В/мкс). Однако, быстродействующие ОУ склонны к неустойчивости. Типичные примеры: 140УД10, 574УД3, 154УД4, ОРА634.

Прецизионные усилители имеют высокий дифференциальный коэффициент усиления по напряжению, малое напряжение смещения нуля и малый входной ток обычно при низком или среднем быстродействии. К ним относятся 140УД26, MAX400M, ОРА227 (без прерывания), ICL7652, 140УД24, MAX430 (с прерыванием).

Мощные и высоковольтные операционные усилители. Большинство типов ОУ рассчитаны на напряжение питания +/-15 В. Некоторые допускают питание от источников вплоть до +/-22 В.

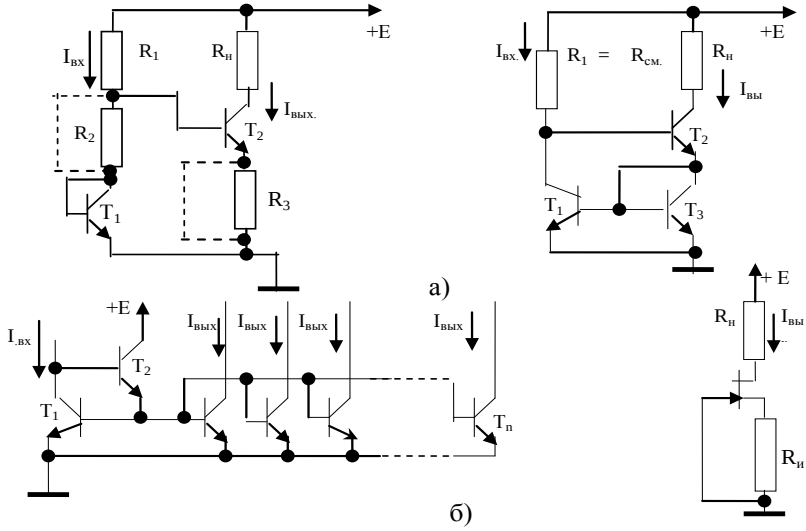


Рис.1.22. Схемы токовых зеркал и источников неизменного тока

Микромощные усилители используются в приборах, получающих питание от гальванических или аккумуляторных батарей. Эти усилители потребляют очень малый ток от источников питания. Типичные примеры: 140УД12, 1407УД2, OP22, MAX480, MAX406, MAX495, LMV321.

ИМС типа 140УД20 имеет в своем составе два ОУ 140УД7, MAX406/407/409 и OPA227/2227/4227 включают, соответственно, один, два и четыре однотипных усилителя.

Операционные усилители общего применения обычно допускают выходной ток до 5 мА. Для управления мощной нагрузкой применяются *мощные ОУ*. К мощным обычно относят усилители, допускающие выходной ток свыше 500 мА. Примером полупроводникового интегрального мощного ОУ может служить LM12 с выходным током до 10 А и рассеиваемой мощностью до 90 Вт. Фирма Apex Microtechnology выпускает сверхмощный гибридный ОУ PA30, допускающий выходной ток до 100 А и способный отдать в нагрузку мощность до 2000 Вт при жидкостном охлаждении. Дальнейшее увеличение выходной мощности усилителей возможно путем использования режима класса D. Рекордными являются характеристики гибридного усилителя фирмы Apex SA08 с широтно-импульсной модуляцией на частоте 22 кГц: 10 кВт при напряжении до 500 В и токе до 20 А. При этом КПД усилителя достигает 98%.

1.4. Причины возникновения и проявления множественных отказов и неисправностей

Применение бытовой и офисной техники по прямому предназначению тесно связано с обеспечением безотказности живучести и устойчивости по отношению к внешним разрушающим воздействиям. Наряду с конструктивными методами защиты техники от повреждений и повышением качества элементной базы существует совокупность мероприятий по поддержанию техники в исправном состоянии и её восстановлению при отказах и повреждениях. Сведения, касающиеся анализа причин возникновения отказов и неисправностей техники и их проявления, как правило, не упорядочены и ограничены субъективным опытом и личными пристрастиями разработчиков. Поэтому в технических описаниях аппаратуры и машин зачастую основное внимание уделяется изложению принципов действия исправных схем. В отдельных случаях, особенно актуальных для настоящего времени, техническими описаниями и принципиальными схемами снабжаются в основном сервисные центры и/или учреждения, занимающиеся обслуживанием и ремонтом. Всё это свидетельствует о том, что повышение уровня знаний и расширение круга умений в области организации и технологии эксплуатации и ремонта техники являются важной составной частью обучения инженеров. Стержнем решения всех задач восстановления отказавшей и повреждённой техники служит распознавание отказавших элементов и участков.

Ординарность потока отказов современной электрической аппаратуры есть явление, характерное только для нормальных условий эксплуатации при точно срабатывающих схемах защиты от аварий и повреждений.

Множественные неисправности могут быть следствием параллельного независимого возникновения отказов в нескольких участках аппаратуры либо являться следствием одного первичного отказа, который повлёк за собой цепь разрушений, распространяющихся к схемам защиты или к границам объёма, занимаемого аппаратурой. Явление последовательного (распространяющегося) возникновения множественных неисправностей, исходящих из одного или нескольких источников, в большой мере связано с переходами в режимы перегрузки или с замыканиями в цепях аппаратуры, которые могут стать зародышами катастроф. Можно полагать, что множественные неисправности в общем случае распределяются по схемам аппаратуры случайно. Различают две разновидности множественных неисправностей:

- совокупность неисправностей, возникших мгновенно, после чего аппаратура переходит в устойчивое неисправное состояние без дальнейшего распространения разрушений;

- разрастающаяся совокупность неисправностей в случаях, когда наблюдается относительно медленное её расширение и повышение опасности – полному либо опасному для персонала или объекта-носителя аппаратуры разрушению.

Первая разновидность встречается при бездействии аппаратуры во время хранения в выключенном состоянии либо при точно и устойчиво работающих схемах (устройствах) защиты от самопроизвольного распространения разрушений. Такие неисправности могут быть обрывами и перегрузками. Распространение их влияния на энергетические цепи и источники энергии ограничивается либо тем, что перегрузки отсутствуют (при обрывах), либо правильным и быстрым срабатыванием схем защиты (при перегрузках). В обоих случаях неисправности такого вида приводят к прекращению действия аппаратуры в целом или некоторого её участка, причём бездействующие элементы исправны и готовы к действию, но не работают вследствие отсутствия сигналов или питания на их входах. Это явление эквивалентно выключению аппаратуры. Следовательно, первая разновидность неисправностей приводит к распространению эффекта выключения ряда участков аппаратуры. При этом волна выключения распространяется от отказавших элементов к схемам защиты и затем к выходам аппаратуры.

Вторая разновидность неисправностей возникает в основном при повреждениях аппаратуры во время действия, при плохо работающих схемах защиты или при их разрушении.

Действенность устройств защиты может быть приближённо оценена временем их срабатывания T_c, которое отсчитывается от момента начала разрушения.

Если в аппаратуре возможны аварийные явления, для которых не предусмотрены схемы защиты, то обслуживающий персонал и операторы должны быть заранее проинструктированы и насторожены по отношению к таким явлениям.

Аппаратура обычно строится на основании принципа равной прочности по большинству показателей. Поэтому, можно предположить, что, например, при коротком замыкании в одном элементе длительное протекание тока короткого замыкания через промежуточные элементы приведёт к разрушению каждого или некоторых из них. Это даёт основание говорить о дальности распространения неисправности по цепям схем (рис.1.23).

В самом простом случае можно считать, что дальность распространения повреждений прямо пропорциональна времени срабатывания всех ступеней защиты: $D_c = f(\sum_{i=1}^{d_n} T_{c1}$.

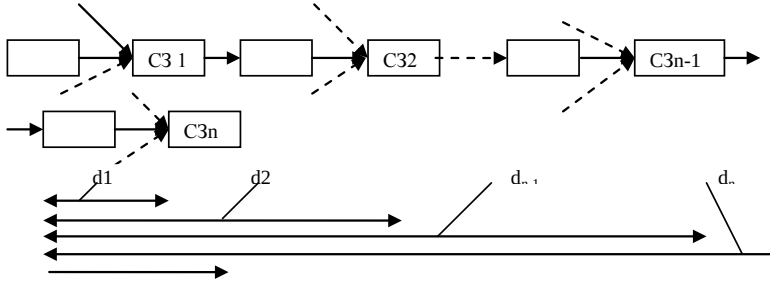
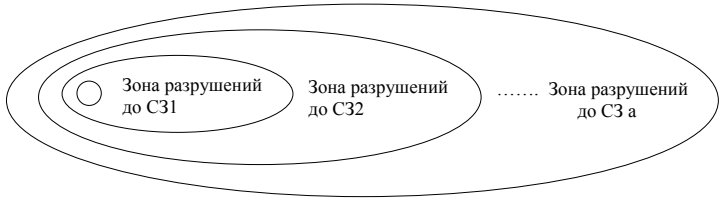


Рис.1.23. Дальность распространения разрушений

Возможные зоны распространения перегрузок, а также ситуации, возникающие при несрабатывании схем защиты, приведены на рис.1.24.



1) f (∑T_c) - растёт;
2) f (∑T_c) – постоянна;
3) f (∑T_c) – уменьшается.

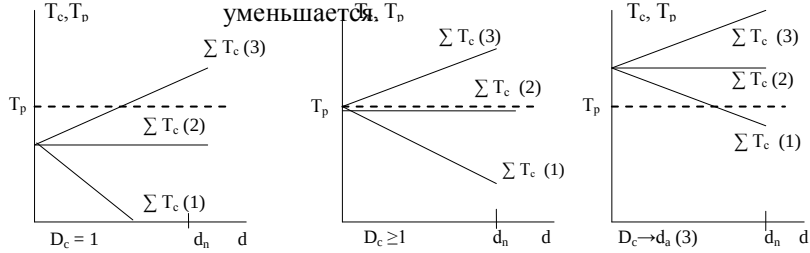


Рис. 1.24. Зоны распространения перегрузок и ситуации, возникающие при несрабатывании схем защиты

Если время до начала разрушения элементов $T_p > T_{c1}$, то $D_{c1} = 1$ во всех случаях. Если $T_p \approx T_{c1}$, то при первой и второй ситуациях возможно $D_c \geq 1$, а при третьей ситуации $D_c = 1$. Если $T_p < T_{c1}$, то в первой и второй ситуациях D_c растёт без ограничений до d_a, а в третьей ситуации возникает ограничение D_c на той ступени, у которой $T_c < T_p$.

Следует обратить внимание на обычное в электрической аппаратуре увеличение T_c у приближающихся ко входным клеммам аппаратуры схем

защиты вследствие дивергенции цепей раздачи питания. Поэтому несрабатывание наиболее близкой к источнику замыкания схемы защиты не всегда вызывает немедленное срабатывание следующей схемы защиты, что влечёт за собой большую вероятность разрушения двух участков цепей.

Вторая разновидность неисправностей приводит к повышению нагрузки на источники энергии и к превращению промежуточных элементов, проводящих недопустимые в исправном состоянии токи, в нагревательные элементы.

Если отказавший элемент в течение долгого времени перегревается или горит, взрывается либо выделяет агрессивные вещества, а монтаж аппаратуры достаточно плотный и дальность действия разрушающих факторов достаточно велика, то возникают разрушения других даже не связанных электрически между собой элементов.

В зависимости от силы действия разрушающего фактора возможны несколько зон разрушения:

- собственно отказавший элемент;
- элементы, расположенные в непосредственной близости к отказавшему;
- элементы в конструктивно (физически) замкнутом блоке;
- элементы в физически замкнутом приборе;
- элементы в объёме аппаратуры в целом;
- разрушения в рамках объекта-носителя аппаратуры;
- разрушения в окрестностях объекта;
- разрушения на неограниченных расстояниях или на расстояниях, которые ограничиваются предельной мощностью, выделяемой при аварии.

Персонал, впервые приступающий к решению задач поиска и устранения неисправностей в электронной, электрической и электромеханической аппаратуре редко имеет сведения о том, что например симптомы обрывов и перегрузок различаются. В результате этого поиск неисправностей обычно осуществляется в предположении, что в аппаратуре есть только обрыв энергетических или информационных (сигнальных) связей. После того как обнаруживается, что, в самом деле, имеет место стойкий обрыв схемы защиты от перегрузок (её устойчивое срабатывание и отключение от источника питания), делается предположение о том, что это явление связано с перегрузкой или коротким замыканием в аппаратуре. Возникает неопределённость относительно того, как построить процедуру поиска причины короткого замыкания или перегрузки. Появляется необходимость новой проверки всех или, по крайней мере, некоторых элементов, участвующих в преобразовании энергии или потребляющих её. Но способы проверки, реализующиеся при поиске обрывов, здесь неприемлемы, т.к. аппаратура в целом или её часть оказывается отключенной от источника энергии и попытки включения её остаются

безрезультатными. В этом случае обычная логика взаимодействия элементов аппаратуры при нормальном её действии и логика проявления обрывов для анализа схем с короткими замыканиями непригодна.

Логика действий коротких замыканий предполагает, что явление замыкания или сильной перегрузки в одной из точек аппаратуры вызывает резкое возрастание проводимости в схеме. Цепи, связывающие место замыкания с источником питания шунтируются. Если в этих цепях отсутствуют элементы, имеющие высокие электрические сопротивления, то шунтируется выход источника питания. Это явление происходит практически мгновенно. Передача влияния короткого замыкания на источник питания и схемы защиты происходит в направлении от замкнутой точки к схеме защиты. Эта передача происходит в форме скачка или волны повышения проводимости, распространяющихся с большой скоростью. Возможны также ситуации, когда имеет место промежуток времени между началом перегрузки и срабатыванием схемы защиты. Обычно это наблюдается при постепенном разогреве, изменении формы и пр. сопровождающих понижение прочности изоляции или касание оголённых проводников и контактов, находящихся под разными потенциалами. Случаи, в которых схема защиты неправильно отрегулирована или плавкая вставка имеет нештатный характер, из рассмотрения не должны исключаться, поскольку при этом нарушается логика поиска, и она выводит искателя к неисправной схеме защиты.

Сведения о процентах отказов из-за обрывов или перегрузок приведены в таблице 1.3

Таблица 1.3

Сведения об отказах устройств

№ п/п	Виды деталей и устройств	Вид неисправности, %	
		Обрыв	Перегрузка
1	Силовые трансформаторы	31	69
2	Импульсные трансформаторы	75	25
3	Высоковольтные трансформаторы	-	100
4	Лампы	80	20
5	Резисторы	44	56
6	Конденсаторы	23	72
7	Катушки индуктивности	82	18
8	Полупроводниковые приборы	32	64
9	Микросхемы	60	40

Однако не следует ожидать, что в современной аппаратуре будет иметь место большое различие между вероятностями отказов, вызванных обрывами и перегрузками, если поток отказов будет близок к простей-

шему. Поток считается простейшим, если он обладает свойствами ординарности, стационарности и отсутствия последействия.

Исключение составляют лишь некоторые мощные каскады генераторов, которые по своему внутреннему устройству и в связи с возможными изменениями нагрузки имеют тенденции к пробоям, а также высоковольтные выпрямители и питаемые ими схемы.

Представляется целесообразным с самого начала изучить физическую схему объекта, выявить элементы, которые влияют на срабатывание схем защиты при замыканиях и перегрузках, и установить связи элементов по обрывам и замыканиям. Это позволит построить пространство состояний аппаратуры и осуществить его декомпозицию с минимизацией длины процедуры поиска по всему пространству состояний.

Помимо устойчивых замыканий и перегрузок в аппаратуре возможны кратковременные необратимые замыкания. Они в отличие от перемежающихся пробоев за время действия разрушают определённый участок схемы, а затем прекращают своё действие за счёт обрыва, возникшего при разрушении. Такой вид отказов обычно сопровождается срабатыванием схем защиты. Однако после замены плавкой вставки или включения автомата защиты наблюдаются одновременно два явления: схема защиты повторно не срабатывает, действие аппаратуры не возобновляется. Эти явления соответствуют обрыву, который есть следствие кратковременного необратимого замыкания. В таком случае следует возобновить поиск обрыва и при этом будет локализован тот участок, в котором сначала было замыкание, потом перешедшее в обрыв.

Если же кратковременное разрушающее замыкание не приводит к срабатыванию схемы защиты, но успевает так разрушить замкнутый участок схемы, что он перестаёт работать, то это воспринимается как обрыв и не требуется повторений процедур поиска.

При поиске причин коротких замыканий применяют несколько приёмов декомпозиции схем, различающихся в зависимости от особенностей цепей аппаратуры. Если элементы цепей, подверженных замыканиям, имеют индуктивные связи, то при наличии омметров аппаратура выключается и производится разделение цепей с одновременным измерением их сопротивлений. Однако в энергетических цепях весьма часто применяются трансформаторы и другие устройства, затрудняющие прямое измерение сопротивлений. Кроме того, возможны ситуации, в которых замыкание проявляется только под напряжением во время действия аппаратуры. В таких случаях целесообразно использовать внутреннюю схему защиты в качестве сигнализатора о прекращении действия замыкания при постепенном рассоединении цепей проверяемой аппаратуры. Отсоединение участка схемы производится после выключения аппаратуры. Затем в схеме защиты заменяется чувствительный элемент и аппаратура включается. Если после включения схема защиты не срабатывает, то это есть признак того, что источник замыкания находится в отключенном

участке схемы. При срабатывании схемы защиты аппаратура вновь выключается, выбирается новый участок для отсоединения и проверка продолжается.

При работах, связанных с поиском неисправностей в энергетических цепях, необходимо строго соблюдать правила техники безопасности (исключать касание к токоведущим проводникам и схемам, находящимся под напряжением.). Все рассоединения схем при поиске неисправностей типа короткое замыкание (или перегрузка) производить только после выключения аппаратуры и разряда емкостей в схемах. Во время проверок, в которых используется явление срабатывания схем защиты нужно следить за тем, чтобы цепи и детали проверяемых устройств не перегревались. Для исключения перегрева после каждой проверки следует выдерживать паузу в целях охлаждения этих цепей.

Установка нештатных плавких вставок и намеренное изменение порогов срабатывания чувствительных элементов при поиске причин коротких замыканий должно быть исключено.

Особое внимание в процессе поиска следует уделять электролитическим конденсаторам, применяемым в фильтрах и схемах стабилизации напряжения, т.к. эти конденсаторы при резких изменениях режимов и внутренних разрушениях могут взрываться и служить причинами распространения аварийных повреждений.

Характер возникающих в технических средствах неисправностей определяется в основном условиями их применения, и в стандартных условиях при правильно организованном обслуживании поток отказов чаще всего бывает ординарным. Накопление неисправностей происходит при длительном хранении в неблагоприятных условиях и при многократном резервировании. В экстремальных условиях возможно появление одновременно многих неисправностей в одном экземпляре аппаратуры.

При однофакторном разрушающем воздействии дифференциальная функция распределения числа неисправностей близка к биноминальной зависимости:

$$f(q,k) = \binom{k}{q}\left(1 - p^{L}\right)^{q} p^{L(k-q)} \quad ,$$

где p – вероятность того, что одна простейшая деталь объекта не откажет при условии, что все детали равнонадёжны; L –число простейших деталей в блоке; k – число блоков в техническом устройстве.

Рассмотренные причины возникновения, проявления и распространения неисправностей в технических устройствах (на объектах техники) показывают, что необходимо проведение предварительных работ в целях специальной переработки схем, выявления логики взаимодействия их элементов, выбора подлежащих проверке параметров, определения рациональных путей поиска и устранения неисправностей.

ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЙ, СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

2.1. Сущность измерений, основные понятия и определения

Измерение – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Это определение отражает следующие признаки понятия «измерение»:

1) измерять можно свойства реально существующих объектов, т.е. *физические величины*;
2) измерение требует проведения опытов;
3) для проведения опытов нужны технические средства измерений;
4) результатом измерений является *значение физической величины*.

Физическая величина – одно из свойств физического объекта (системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Размер физической величины – количественное содержание физической величины в объекте. Размер величины существует реально, независимо от того, знаем мы его или нет. Выразить размер можно при помощи любой из единиц данной величины, т. е. при помощи числового значения.

Значение физической величины - это количественная оценка, т.е. число, выраженное в определенных единицах, принятых для данной величины.

Единица измерения физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин.

Под *истинным*, понимают значение, которое идеальным образом характеризует в количественном и качественном отношении физическую величину. Поскольку истинное значение физической величины неизвестно, то вместо него пользуются *действительным* значением.

Отклонение результата измерения от истинного значения физической величины называют *погрешностью измерения*

$$\Delta = A - A_0,$$

где A – измеренное значение, A_0 – *истинное*.

Средства измерений - это технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики.

Классификация средств измерений и измерительных приборов показана на рис.2.1.

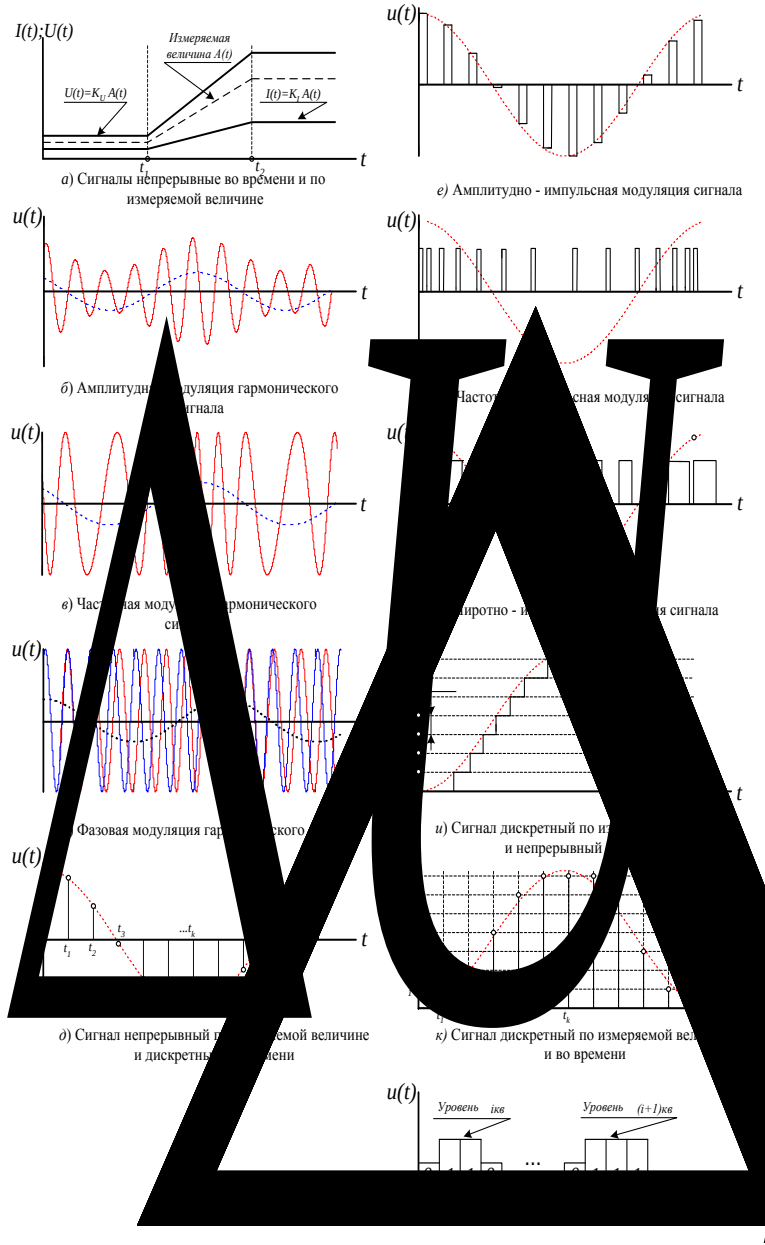
Рис.2.1. Классификация средств измерений

В средствах измерений передача, хранение и отображение информации о значениях измеряемых величин осуществляется посредством сигналов, называемых сигналами измерительной информации (рис.2.2).

Любой сигнал определяется рядом параметров, один из которых функционально связан с измеряемой величиной и называется *информативным*. На рис.2.2, *а* пунктирной линией показан график изменения во времени измеряемой величины *А.* Сплошными линиями показан закон изменения сигналов измерительной информации. На остальных графиках пунктирная линия показывает закон изменения первичного электрического сигнала.

1. Сигналы, непрерывные (аналоговые) по информативному параметру и во времени. К таким сигналам относятся постоянные (рис.2.2,*а*) или гармонические (рис.2.2, *б, в, г*) токи и напряжения.

Для постоянных токов и напряжений информативными параметрами являются их мгновенные значения *I(t), U(t),* функционально связанные с измеряемой величиной *А* зависимостью $I(t) = K_I \cdot A(t)$ или $U(t) = K_U \cdot A(t)$,где K_I, K_U – коэффициенты преобразования (рис.2.2, *а*).



а) Сигналы непрерывные во времени и по измеряемой величине

б) Амплитудная модуляция гармонического сигнала

в) Частотная модуляция гармонического сигнала

Фазовая модуляция гармонического

д) Сигнал непрерывный по измеряемой величине и дискретный во времени

е) Амплитудно - импульсная модуляция сигнала

Частотно-импульсная модуляция сигнала

Широтно - импульсная модуляция сигнала

и) Сигнал дискретный по измеряемой величине и непрерывный

к) Сигнал дискретный по измеряемой величине и во времени

Рис. 2.2. Сигналы измерительной информации

В гармонических сигналах информативными параметрами могут быть максимальная амплитуда U_m (амплитудное значение), угловая частота ω или начальная фаза φ. Изменение информативного параметра в соответствии с измеряемой величиной называют модуляцией сигнала. Соответственно информативным параметрам, различают амплитудную, частотную или фазовую модуляции (рис.2.2, *б, в, г*).

2. *Сигналы непрерывные по информативному параметру и дискретные во времени* (рис.2.2, *д*) представляют собой последовательность значений информативного параметра, определяемых в моменты t_i.

В реальных средствах это периодическая последовательность импульсов, у которых информативным параметром может быть амплитуда (рис.2.2, *е*), частота (рис.2.2, *ж*) или длительность (рис.2.2, *з*) импульсов.

В соответствии с этим различают амплитудно-импульсную (АИМ), частотно-импульсную (ЧИМ) и широтно-импульсную (ШИМ) модуляции.

3. *Сигналы, непрерывные во времени и квантованные (дискретные) по информативному параметру (уровню)* приведены на рис.2.2, *и*. Такие сигналы формируются на выходе ЦАП. Информативный параметр этих сигналов может принимать только разрешенные уровни (кванты) Δ_i.

4. *Сигналы, дискретные во времени и по информативному параметру* (рис.2.2, *к).*

Если каждому уровню такого сигнала поставить в соответствие кодовую комбинацию, то получим кодово-импульсную модуляцию (КИМ). Такие сигналы формируются на выходе АЦП (рис.2.2, *л*).

а) ***измерение тока и напряжения***

Измерение тока и напряжения осуществляется в цепях постоянного, переменного токов широкого диапазона частот и импульсных цепях.

Измерители тока и напряжения независимо от их назначения должны при включении не нарушать режима работы цепи измеряемого объекта; обеспечивать малую погрешность измерений, исключив при этом влияние внешних факторов на работу прибора, высокую чувствительность измерения на оптимальном пределе, быструю готовность к работе и высокую надёжность.

Измерение *напряжения* выполняют методами непосредственной оценки и сравнения. Измерение тока возможно прямое – методом непосредственной оценки аналоговыми и цифровыми амперметрами и косвенное.

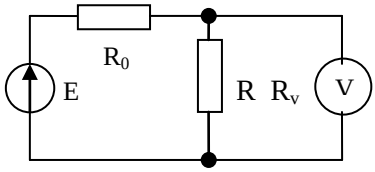


Рис. 2.3. Схема подключения вольтметра

Измерение напряжения в цепях постоянного тока *методом непосредственной оценки.* Вольтметр подключают параллельно тому участку цепи, на котором необходимо измерить напряжение (рис.2.3).

При измерении напряжения на нагрузке R в цепи с источником энергии, ЭДС которого E и внутреннее сопротивление R_0, вольтметр включается параллельно нагрузке.

Методы сравнения разделяются на компенсационный и дифференциальный.

Компенсационный метод (метод противопоставления) заключается в уравновешивании, осуществляемом включением на индикатор равновесия либо двух электрически не связанных между собой, но противоположных по знаку напряжений или ЭДС, либо двух раздельно регулируемых токов. Этот метод используют для непосредственного сравнения напряжений или ЭДС, тока и косвенного – для измерения других электрических, а также неэлектрических величин, преобразуемых в электрические.

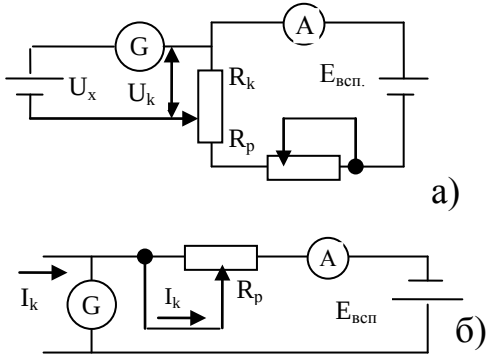


Рис.2.4. Схемы компенсации напряжений (ЭДС) и токов

Применяют схемы компенсации напряжений или ЭДС и токов (рис.2.4, а, б соответственно).

Схема (рис. 2.4, а) наиболее распространена, и в ней измеряемое напряжение U_x компенсируется равным, но противоположным по знаку известным напряжением $U_{k.}$.

Дифференциальный метод основан на измерении разности между измеряемым и известным напряжением при их неполной компенсации (рис.2.5).

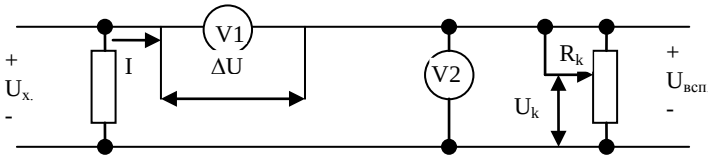


Рис. 2.5. Схема дифференциального метода измерения

Высокоомный электронный вольтметр V1 с чувствительным пределом служит для измерения разностного напряжения между измеряемым U_x и известным U_k напряжениями. Магнитоэлектрический аналоговый или цифровой вольтметр V2 используется для измерения напряжения U_k.

Измерение постоянного тока бывает прямое и косвенное.

Амперметр при прямом измерении подключается последовательно в разрыв исследуемой цепи.

Косвенное измерение осуществляется с помощью резисторов с известным сопротивлением R_0, включаемых в разрыв цепи, и высокочувствительных измерителей напряжения. Измеряемый ток определяется как $I_x = U_0/R_0$, где U_0 – падение напряжения на резисторе R_0., измеренное вольтметром.

Измерение напряжения и тока на промышленной частоте можно выполнить любыми вольтметрами и амперметрами, работающими на частоте 50 Гц. Для измерения напряжения на промышленной частоте используют компенсаторы переменного тока. Чтобы уравновесить измеряемое напряжение компенсирующим напряжением необходимо выполнить следующие условия:

- равенство напряжений $U_x=U_k$ по модулю;
- противоположность фаз $\varphi_{x=}\varphi_k=180^0$;
- равенство частот;
- одинаковая форма измеряемого и компенсирующего напряжений.

б) измерение мощности

Мощность в цепях постоянного тока можно определить косвенным путём по показаниям вольтметра и амперметра (рис.2.6).

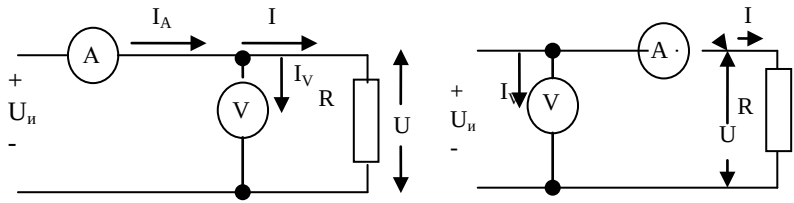


Рис.2.6. Схемы измерения мощности в цепях постоянного тока

Мощность потребления нагрузки равняется: P = I U, а мощность P_x можно определить по формуле:

$P_x = U_v I_A = U(I_V + I) = U I_V + U I + P_V + P$

или $P_x = U_V I_A = (U_A + U) I = U_{A\,I} + UI = P_A + P$.

Для измерения мощности неподвижную катушку ваттметра включают последовательно с нагрузкой, мощность которой необходимо измерить, а подвижную катушку - параллельно к нагрузке (рис.2.7).

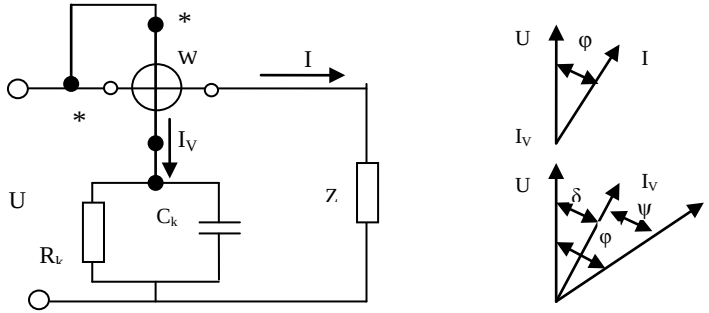


Рис. 2.7. Схема включения ваттметра

Включение неподвижной катушки ваттметра последовательно с нагрузкой возможно только при токах нагрузки 10 – 20 А, а при больших токах её включают через трансформатор тока.

При измерении мощности в цепях высокого напряжения (более 600В) подвижную катушку ваттметра включают не непосредственно в измеряемую цепь, а через трансформатор напряжения, а неподвижную катушку ваттметра – через измерительный трансформатор тока (независимо от тока нагрузки) (рис.2.8).

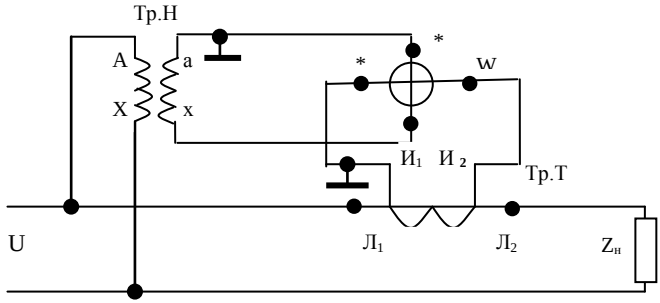


Рис. 2.8. Включение ваттметра в измеряемую цепь высокого напряжения

Значение измеряемой мощности определяется по формуле:

$$P_x = P_W \, K_{U\,ном.} \, K_{I\,ном},$$

где P_x – измеренное значение активной мощности в цепи нагрузки; P_w – показание ваттметра; $K_{u\,ном;}$ $K_{i\,ном}$ – номинальные коэффициенты трансформации соответственно трансформаторов напряжения и тока.

Основными параметрами элементов и цепей с сосредоточенными постоянными являются сопротивления резисторов; ёмкость конденсаторов; тангенс угла потерь конденсаторов; индуктивность и добротность катушек; взаимоиндуктивность двух катушек; сопротивление колебательного контура. Для их измерения в основном применяются омметры.

2.2 Общие сведения об электроизмерительных приборах

Классификация электроизмерительных приборов приведена на рис. 2.9.

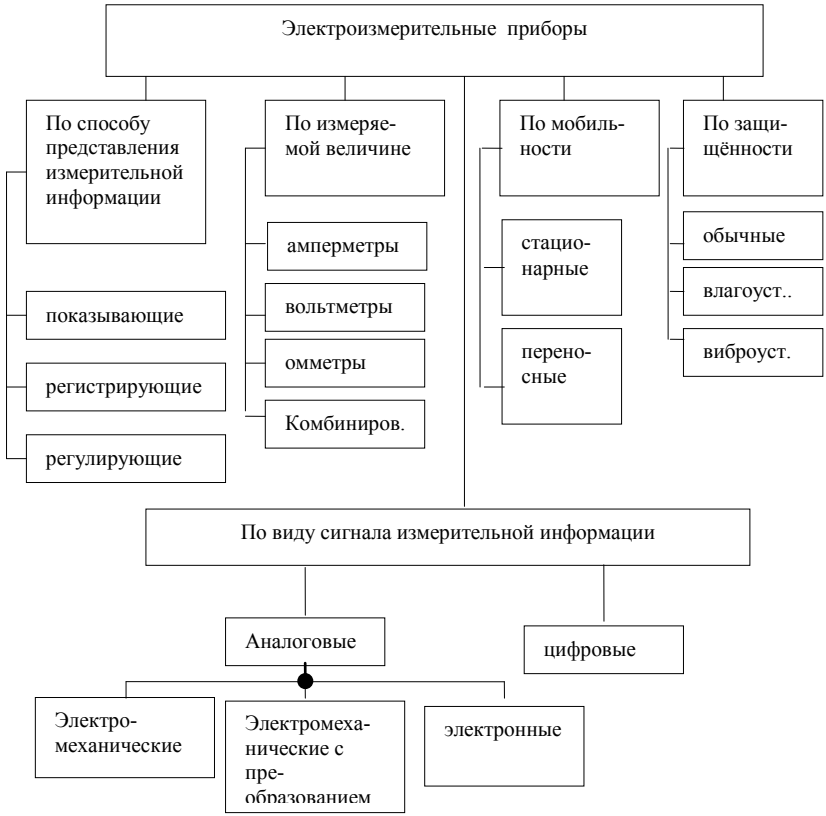


Рис. 2.9. Классификация измерительных приборов

Условные обозначения, определяющие назначение приборов, сведены в таблицу 2.1.

Наиболее высокой чувствительностью, точностью и малым потреблением энергии обладают электромеханические приборы с преобразователями. Поэтому их стремятся использовать для измерений на переменном токе, путем преобразования переменного тока в постоянный выпрямителями и термоэлектрическими преобразователями, а также преобразователями на электронных элементах (выпрямительные, термоэлектрические и электронные приборы). Выпрямительные приборы представляют комбинацию выпрямителя, магнитоэлектрического измерительного механизма и отсчетного устройства (рис. 2.10, 2.11).

Таблица 2.1

Условные обозначения приборов

Род измеряемой величины	Наименование прибора	Условное обозначение
Сила тока	Амперметр	A
Напряжение	Вольтметр	V
Мощность	Ваттметр	W
Энергия	Счетчик киловатт-часов	KWh
Количество электрич.	Счетчик ампер-часов	Ah
Сдвиг фаз	Фазометр	φ
Частота	Частотомер	Hz
Сопротивление	Омметр	Ω
Индуктивность	Генриметр	H
Емкость	Фарадометр	F

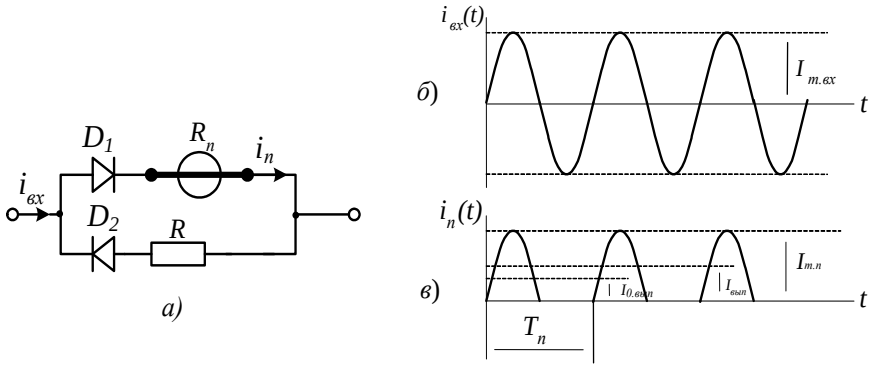


Рис. 2.10. Схема амперметра с однополупериодным выпрямителем

Схемы выпрямительных вольтметров и амперметров соответственно приведены на рис. 2.12.

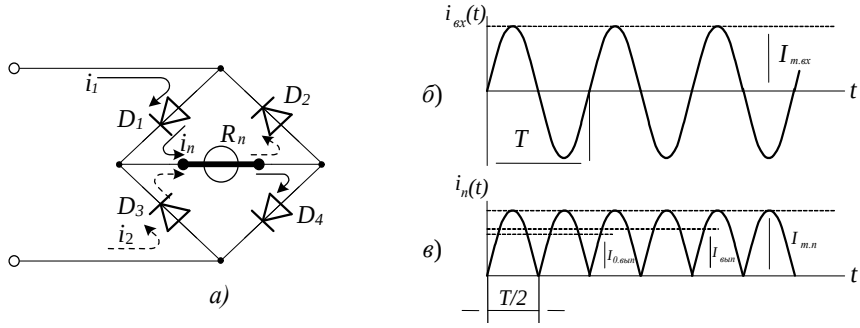


Рис. 2.11. Схема амперметра с двухполупериодным выпрямителем

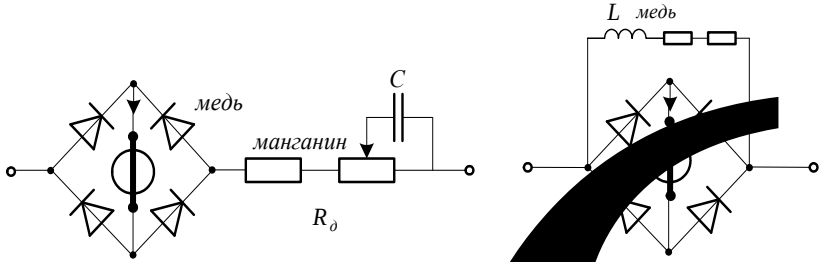


Рис. 2.12. Схемы выпрямительного вольтметра и амперметра

Они имеют высокую чувствительность, малое потребление мощности, широкий частотный диапазон (до *10-20 кГц*), наименьшие пределы измерения переменных токов *0,25 ÷ 0,3 мА*, напряжений *0,25 ÷ 0,3 В,* невысокую точность (класс точности *1,0 ÷ 2,5*), зависимость показаний от формы измеряемой величины.

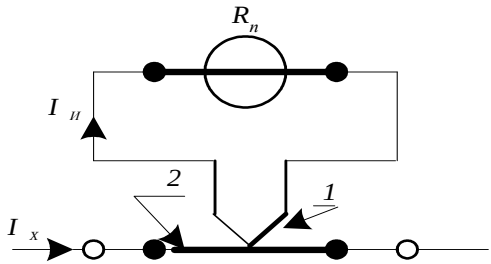


Рис. 2.13. Схема измерительного прибора термоэлектрической системы

Амперметры и вольтметры термоэлектрической системы представляют собой сочетание магнитоэлектрического измерительного механизма и термоэлектрического преобразователя (рис.2.13) где *1* – термопара, *2* – нагреватель.

Температура нагревателя определяется силой тока, протекающего через него, и с её увеличением на выходе термопары *1* возникает термо - ЭДС, а в цепи измерительного механизма – ток I_u.

Для измерения сопротивления, индуктивности, емкости, добротности и угла потерь широко применяются мосты, а для измерения напряжений и ЭДС постоянного и переменного тока – компенсаторы, которые строятся на основе метода сравнения с мерой. На рис. 2.14 приведена схема одинарного моста переменного тока.

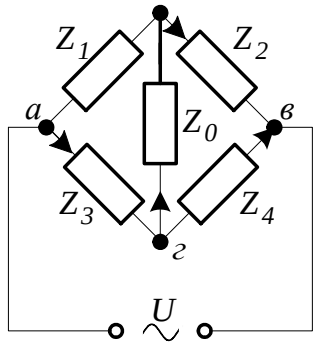


Рис.2.14. Схема одинарного моста переменного тока

В диагональ *ав* включен источник питания. Ее называют входной. Другая диагональ – *бг* содержит нагрузку Z_0. Ее называют выходной. Режим работы моста, при котором ток выходной диагонали I_0 равен нулю, называют уравновешенным. Условие равновесия моста запишется в виде: $R_1R_4 = R_2R_3$.

Принято считать R_2 и R_4 плечами отношения, R_3 – плечом сравнения.

Мосты, в которых измеряемую величину определяют из условия равновесия, называют уравновешенными. Мосты, в которых измеряемую величину определяют по значению тока или напряжения выходной диагонали, называют неуравновешенными.

Для измерения сопротивлений применяют мосты постоянного тока, а для измерения сопротивлений в диапазоне от 10^{-8} до *100 Ом* применяют двойные мосты (рис. 2.15).

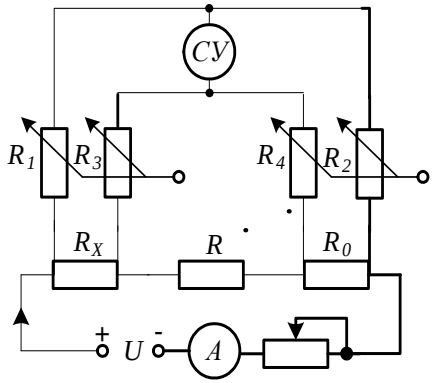


Рис. 2.15. Схема двойного измерительного моста

Измеряемое сопротивление R_X включается последовательно с образцовым R_0. Образцовое сопротивление выбирают одного порядка с R_X. Сопротивление проводников, соединяющих R_X и R_0, обозначено R. Чтобы уменьшить влияние R на результат измерений, проводник выполняют предельно коротким, с большим сечением.

В общем случае:

$$R_X = \frac{R_0}{R_2} \cdot R_1 + \\ + \frac{R}{R + R_3 + R_4}\left(\frac{R_4}{R_2} \cdot R_1 - R_3\right)$$

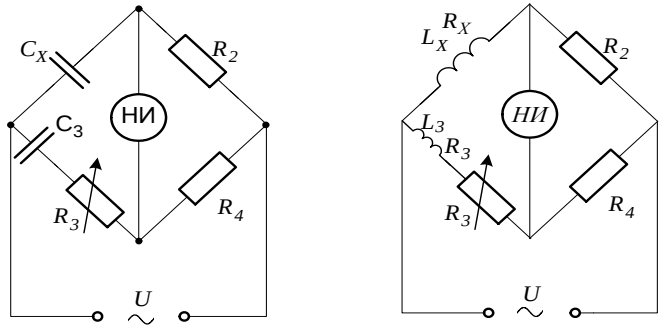
Чтобы исключить R, принимают $R_1 = R_3; R_2 = R_4$ и тогда $R_X = \frac{R_0}{R_2} \cdot R_1$, т.е. мост превращается в 4-плечий.

Уравновешивается мост регулировкой *R1*, а выбор нужного предела производится изменением *R2* одновременно с *R4*.

Промышленностью выпускается ряд типов мостов (*Р-39, Р-329, Р-3009*), схемы которых с помощью простых переключений преобразуются из одинарного моста в двойной. Диапазон измеряемых сопротивлений мостами *Р-39* и *Р-3009* от 10^{-8} до 10^{10} Ом.

Точность измерений по схеме двойного моста *0,02%* (*102 ÷ 10-4*) *Ом*, а по схеме одинарного моста *0,1 ÷ 1%*.

Мосты переменного тока широко применяются для измерения емкости, угла потерь, индуктивности и добротности. Схема моста для измерения емкости конденсаторов с малыми потерями приведена на рис.2.16, а, для измерения индуктивности LX - на рис.2.16, б.



а) б)

Рис. 2.16. Схемы моста для измерения ёмкости и индуктивности

Для сравнения нулевым методом двух независимых токов, напряжений или ЭДС предназначаются компенсаторы (рис.2.17), схема которых содержит двухполюсник *А* с параметрами *EX* и *R*, причем *E* – измеряемая величина; двухполюсник *Б*, на выводах которого *в* и *г* действует регулируемое в пределах от нуля до некоторого заданного значения компенсирующее напряжение *UK*, величина которого известна с высокой точностью *RK* – внутреннее сопротивление источника *UK*; СУ- сравнивающее устройство.

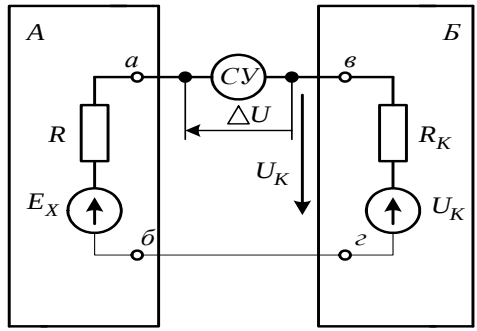


Рис. 2.17. Схема компенсационной цепи

В процессе измерения компенсирующее напряжение регулируется до достижения равновесия *UK=EX*, что устанавливается по показанию *СУ*. Компенсационные цепи на переменном токе должны содержать источники напряжения со строго одинаковыми частотами, поскольку только в этом случае возможно уравновешивание схемы.

В электронных измерительных устройствах (вольтметры, генераторы, осциллографы, частотомеры, приборы для измерения параметров схем). Основными функциональными узлами являются усилители, преобразователи и другие электронные устройства.

Электронные вольтметры (рис. 2.18) имеют высокую чувствительность при большом диапазоне измерений (30 мкВ - 300 В); слабую зависимость показаний от частоты (*20 Гц - 1 ГГц*); малое потребление мощности от объекта измерения; способность выдерживать значительные перегрузки.

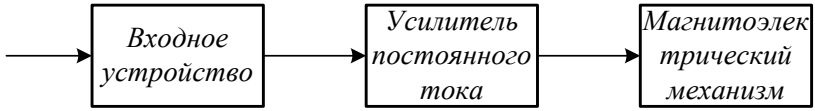


Рис. 2.18. Обобщённая структурная схема стрелочного вольтметра

Приборы, предназначенные для измерения переменного напряжения, могут быть построены по трём вариантам структурных схем (рис. 2.19).

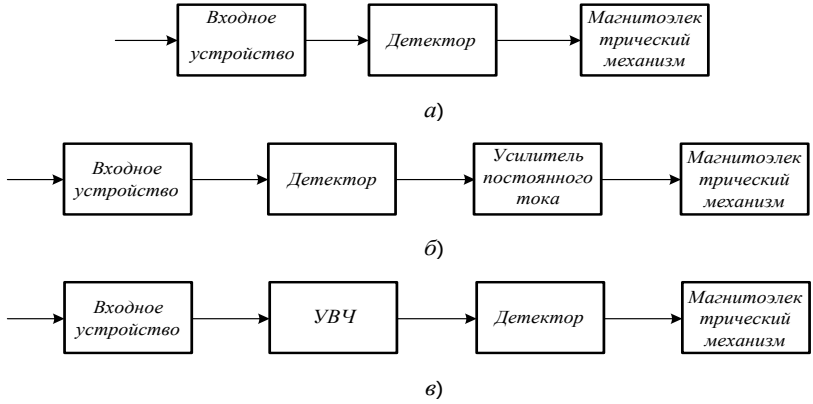


Рис. 2.19. Схемы вольтметров переменного напряжения

В микровольтметрах постоянного напряжения, где требуется усиление весьма малых сигналов, применяют усилители с преобразованием постоянного напряжения в переменное. В них последовательно выполняется модуляция – усиление – демодуляция сигнала. Поэтому их называют *усилители* типа MDM или с конвертированием.

В основе большинства электронных омметров лежат схемы, показанные на рис. 2.20.

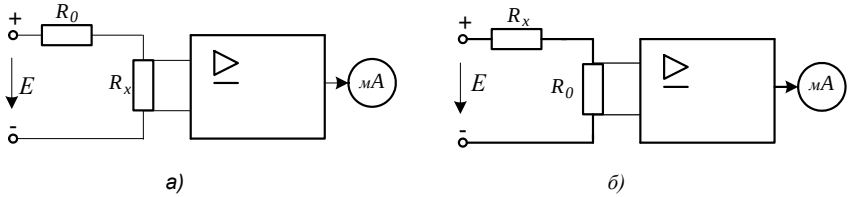


Рис. 2.20. Схемы электронных омметров

Способы измерения L и C базируются на явлении резонанса в LC контуре и на сравнении частот двух генераторов (рис.2.21).

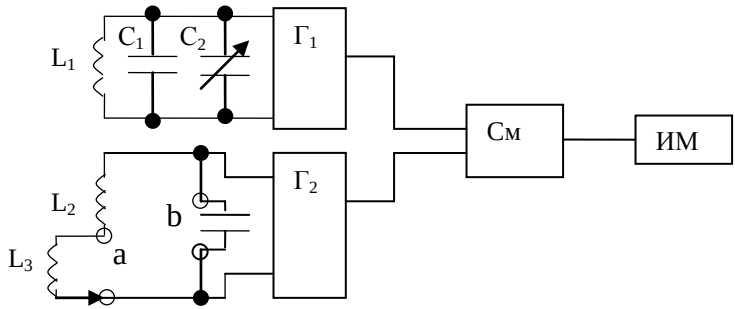


Рис. 2.21. Схема измерения индуктивностей и ёмкостей

На этой схеме $Г_1$ – генератор, перестраиваемый образцовым конденсатором C_0; $Г_2$ – генератор, в колебательный контур которого включаются измеряемые L_x или C_x; C_M – смеситель, выделяющий разностную частоту $F = f_{Г1} - f_{Г2}$; *ИМ* – индикатор. Параметры контуров выбираются одинаковыми, т.е. $L_1 = L_2$; $C_1 = C_2$.

При подготовке к измерениям зажимы «аб» замыкаются, «вг» – размыкаются. Генераторы настраиваются на одну частоту конденсатором C_0.

Совпадение частот фиксируется индикатором (нуль – индикатором) по нулевым биениям на выходе смесителя.

Измеряемая емкость C_x включается к зажимам «вг». При этом равенство частот генераторов нарушается. Оно вновь восстанавливается измерением емкости образцового конденсатора на ΔC_0. При этом $C_x = \Delta C_0$.

Измеряемая индуктивность подключается к контактам «аб». При равенстве частот имеем $(C_0 + C_1)L_1 = C_2(L_2 + L_x)$.

Поэтому $L_x = L_1 C_0 / C_2 = K \cdot C_0$.

Следовательно, шкала конденсатора C_0 может быть проградуирована в единицах индуктивности.

Электронные ваттметры могут быть построены на основе измерительного преобразователя мощности в напряжение. В основе работы преобразователей активной мощности лежит реализация зависимости: $P = \frac{1}{T}\int_0^T u \cdot i dt$.

Наиболее точными являются модуляционные множительные устройства, работа которых основана на двойной модуляции импульсных сигналов. Чаще других применяют модуляцию *ШИМ – АМ*. Структурная

схема такого преобразователя приведена на рис.2.22, *а*, а временная диаграмма, поясняющая принцип работы - на рис. 2.22, *б*.

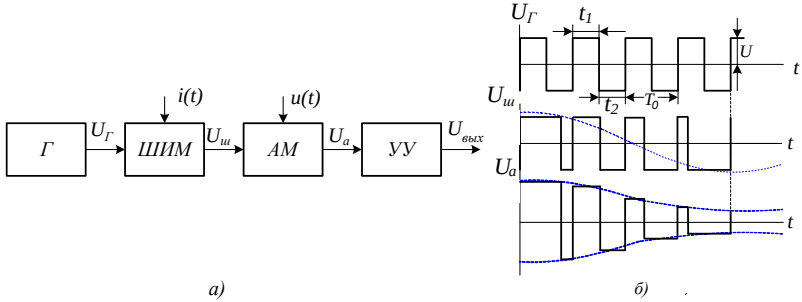


Рис. 2.22. Схема преобразователя ШИМ - АМ

Генератор вырабатывает прямоугольные двухполярные импульсы постоянной амплитуды U и длительности, причем $t_1 = t_2$. Период импульсов $T_0 << T_{Ė}$. В широтно-импульсном модуляторе длительность импульсов под воздействием тока изменяется по зависимости

$$\tau_u = \left(\left(t_1 - t_2 \right) / T_0 \right) i = \left(\Delta t / T_0 \right) i = K_ø i,$$

где $K_ø$ – коэффициент *ШИМ*.

В амплитудном модуляторе амплитуда импульсов модулируется пропорционально входному напряжению, т.е. $U_{à} = K_a \cdot u$, где K_a – коэффициент *АМ* и среднее за период T_0 значение напряжения на выходе *АМ* равно $U_{0_{T_0}} = K_a \cdot K_ø \cdot i \cdot u$, т.е. оно пропорционально мгновенной мощности.

На выходе *УУ* выполняется операция интегрирования:

$$U_{вых} = \frac{1}{T}\int_0^T U_{0_{T_0}}\, dt = \frac{K_a K_ш}{T}\int_0^T u \cdot i dt = K_a \cdot K_ш \cdot P,$$

где T – период тока i.

Основным прибором для исследования формы напряжения является электронно-лучевой осциллограф (рис. 2.23), позволяющий визуально наблюдать форму сигналов в координатах амплитуда – время, измерять их параметры с помощью ЭЛТ. Он отличается высокой чувствительностью, большим входным сопротивлением, пренебрежимо малой инерционностью и универсальностью.

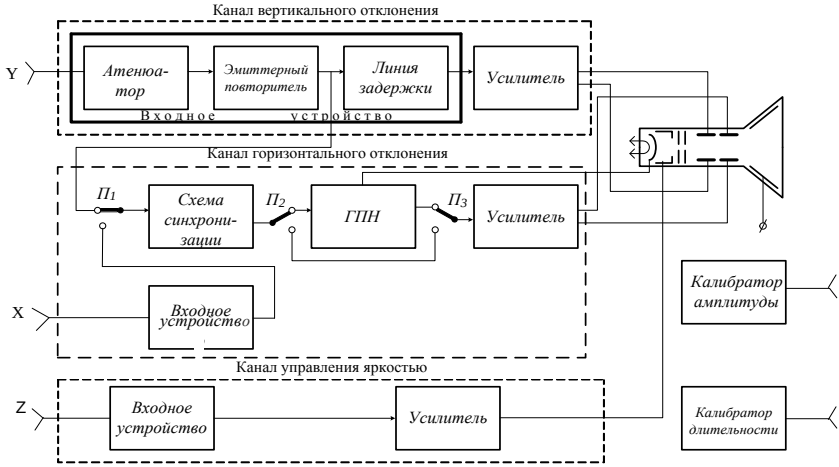


Рис. 2.23. Структурная схема осциллографа

Для наблюдения на экране *ЭЛТ* исследуемого напряжения необходимо, чтобы луч отклонялся по горизонтальной оси пропорционально времени, а по вертикальной оси пропорционально значению исследуемого напряжения. Поэтому на *ГОП* подают пилообразное напряжение, а на *ВОП* – исследуемое. При этом положение луча в каждый момент времени однозначно соответствует значению сигнала в этот момент. Наблюдаемое изображение называют осциллограммой.

Для получения качественного изображения сигнала на экране ЭЛТ необходимо:

1. Правильно выбрать развертку. Для периодических сигналов применяют линейную периодическую развертку. Длительность развертки должна быть кратной длительности периода сигнала. Минимальная частота развертки должна быть такой, чтобы изображение не мерцало на экране трубки с коротким или средним послесвечением.

2. При наблюдении периодических сигналов наиболее целесообразно применять внутреннюю синхронизацию, т.е. синхронизацию исследуемым сигналом. Синхронизация от сети удобна при наблюдении напряжений, частоты которых кратны частоте сети, например выходных напряжений трансформаторов, питаемых от сети; пульсаций выпрямителей и т.п.

Внешнюю синхронизацию используют в том случае, когда исследуемый сигнал не пригоден по форме для синхронизации или слишком мал по амплитуде.

3. Вертикальный размер изображения должен быть удобным для наблюдения, но не выходить за рамки масштабной сетки. Размер регулируют с помощью аттенюатора и изменением коэффициента усиления канала вертикального отклонения.

4. При наблюдении однократных импульсных сигналов или импульсных периодических сигналов с большой скважностью применяется ждущая развертка. Скорость выбирают так, чтобы изображение сигнала растягивалось на весь экран.

Измерительные приборы, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации и представляющие показания в цифровой форме, называются цифровыми (ЦИП).

В ЦИП происходит автоматическое преобразование входной измеряемой величины в цифровой код, в соответствии с которым на цифровом отсчетном устройстве индуцируется значение входной величины. При этом каждой цифре ставится в соответствие определенное сочетание единиц и нулей – кодовых комбинаций. Например: (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Примеры соответствия кодовых комбинаций

0 – 0000	3 – 0011	6 – 0110	9 – 1001
1 - 0001	4 – 0100	7 – 0111	
2 – 0010	5 – 0101	8 – 1000	

В ЦИП код физически представляется электрическими сигналами. Например, символ *0* отображается уровнем напряжения, близким к нулю, а символ *1* – уровнем, близким к *+2,5 В*.

Схема *ЦИП*, в общем случае, включает последовательно соединенные аналоговый преобразователь *АП*, *АЦП* и *ЦОУ* (рис. 2.24).

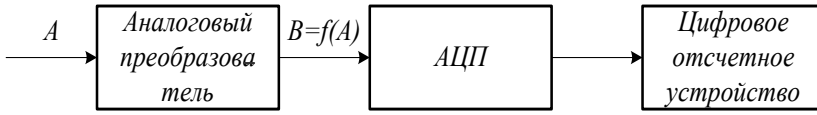


Рис. 2.24. Схема ЦИП

К основным техническим характеристикам ЦИП относятся: диапазон измерений; чувствительность; разрешающая способность; входное сопротивление; входной ток; точность, помехоустойчивость и быстродействие. ЦИП (рис.2.25), предназначенные для измерения частоты, называются электронно-счетными частотомерами. Они считают число импульсов *n* (число периодов) исследуемого сигнала за строго калибро-

ванный интервал времени (например 1*c*): $f_{\text{ÈÇ}} = \frac{n}{\Delta t_k}$. Когда

$\Delta t_k = 1\tilde{n}, f_{\text{ÈÇ}} = \ddot{i}\,[\,\tilde{A}\ddot{o}\,]$.

Результаты измерений фиксируются в цифровой форме.

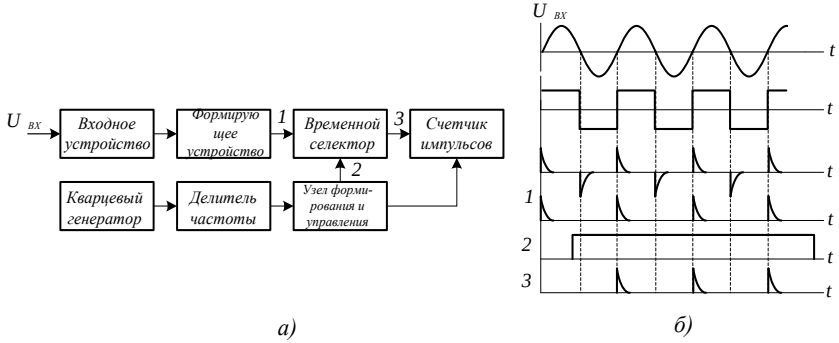


Рис. 2.25. Структурная схема частотомера и временные диаграммы, поясняющие его работу

Сигнал, частоту которого необходимо измерить, поступает на *входное устройство* прибора. *Формирующее устройство* преобразует синусоидальное напряжение сигнала в последовательность однополярных импульсов, период следования которых равен периоду измеряемого сигнала (рис 2.25, *б*$_1$).

На вход *2* селектора подаётся стробирующий импульс (прямоугольный импульс заданной длительности) (рис. 2.25, *б*$_3$), длительность которого задаётся кварцевым генератором и делителем частоты, с выхода которого могут сниматься импульсы с различными частотами следования. Так при f_{KB} *= 10 МГц* эти частоты равны *1 МГц*; *100, 10, 1 кГц*; *100, 10, 1* и *0,1 Гц*. Периоды следования этих импульсов и определяют длительность стробирующего импульса (рис.2.25, *б*$_2$)(т.е. интервала счета $\Delta t_{\hat{E}}$) т.е. *0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10 с.*

Узел формирования и управления содержит схему формирования прямоугольного стробирующего импульса, реле времени индикации и сброса показаний счетчика.

Измерение периода сводится к подсчету импульсов *n* за некоторый интервал времени Δt , при условии, что частота следования импульсов является известной (мера, калиброванная частота), а интервал времени Δt - измеряемая величина – период (рис.2.26).

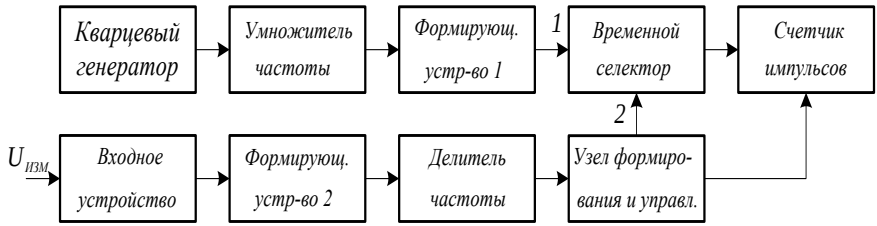


Рис. 2.26. Схема измерения периода следования импульсов

Измеряемый период определяются числом периодов кварцевого генератора *m* на интервале $T_{ИЗМ}$,: $\dot{O}_{\dot{E}\ddot{C}} = \frac{m}{f_{\hat{e}\hat{a}}}$.

Среди разнообразных *ЦИП* большой удельный вес занимают цифровые вольтметры, отличающиеся высокой точностью, широким диапазоном измерения, возможностью сопряжения с цифровыми печатающими устройствами и ЭВМ (рис.2.27).

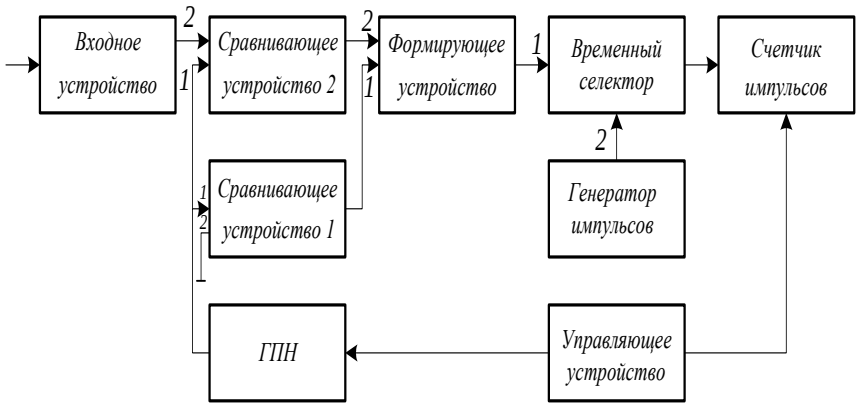


Рис. 2.27. Схема цифрового вольтметра с ВИП

Измеряемое постоянное напряжение преобразуется в интервал, который определяется путем заполнения счетными импульсами, число которых пропорционально напряжению и поэтому *ЦОУ* отображает результат в вольтах. Напряжение измеряется циклами, задаваемыми управляющим устройством. В начале цикла импульс с управляющего устройства сбрасывает предыдущие показания счетчика и запускает генератор

пилообразного напряжения, с выхода которого напряжение поступает на входы 1 двух сравнивающих устройств (СУ).

Первое СУ предназначено для фиксации нулевого уровня и его вход *2* заземлен, а второе - для фиксации уровня измеряемого напряжения. Импульсы с выходов СУ1 и СУ2 поступают на входы *1* и 2 формирующего устройства. Формирующее устройство вырабатывает прямоугольный импульс длительностью $\Delta t = t_2 - t_1$, воздействующий на вход *1* временного селектора, на вход *2* которого непрерывно подаются счетные импульсы генератора.

Кроме рассмотренного широкое применение находят вольтметры с двухтактным интегрированием, вольтметры поразрядного уравновешивания, с преобразованием напряжения в частоту, а также вольтметры для измерения переменных и импульсных напряжений.

Современные регистрирующие приборы позволяют не только отсчитывать значение измеряемой величины, но и получать график её изменения во времени. Все они разделяются на две группы: регистрирующие приборы прямого действия и приборы сравнения.

Если регистрация производится с помощью специального устройства на носителе (чаще всего это бумажная лента с нанесенной диаграммой), то приборы называются самопишущими измерительными приборами.

В самопишущих приборах прямого действия применяют электромеханические или магнитоэлектрические измерительные механизмы, оснащенные устройствами регистрации показаний.

Естественная физиологическая ограниченность возможностей человека в восприятии и переработке больших объемов информации привела к возникновению такого вида средств измерений, как измерительные информационные системы (ИИС).

Основными функциями ИИС являются:

- получение измерительной информации от объекта исследования;
- обработка;
- представление информации оператору или ЭВМ;
- формирование управляющих воздействий на объект исследования.

Обобщенная структурная схема ИИС приведена на рис. 2.28.

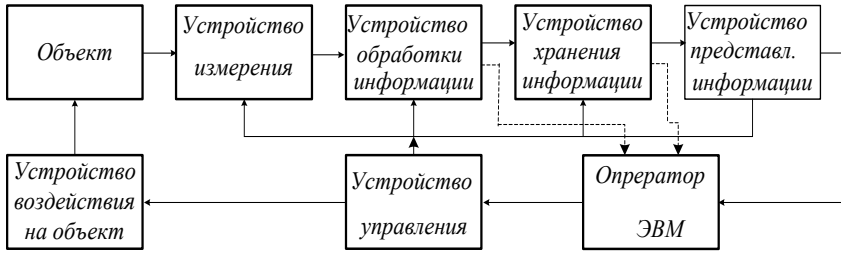


Рис. 2.28. Схема ИИС

Устройство измерения включает в свой состав первичные и вторичные измерительные преобразователи и собственно измерительное устройство. Здесь выполняются операции сравнения с мерой, квантование, кодирование. В устройство измерения могут входить и коммутаторы сигналов.

Информация от ИИС может выдаваться оператору или поступать в ЭВМ. Оператор и ЭВМ могут воздействовать на устройство управления, меняя программу работы ИИС.

Приведенная схема ИИС не является строгой. В зависимости от функционального назначения некоторые связи и функциональные узлы схемы могут меняться или отсутствовать. В результате возможно большое количество схемных решений.

Физические величины, измеряемые с помощью ИИС, разнообразны. С целью расширения возможностей ИИС физические величины унифицируют, т.е. представляют унифицированными электрическими сигналами. Унификация заключается в установлении линейной зависимости информативного параметра сигнала от значения физической величины, а также в приведении максимального и минимального размера информативного параметра к заданным значениям.

В ИИС применяют следующие унифицированные сигналы:

- непрерывные сигналы в виде постоянных и переменных токов и напряжений;
- импульсные сигналы в виде серии импульсов постоянного тока, амплитуда, частота или длительность которых могут являться информативными параметрами;
- кодово-импульсные сигналы, комбинации которых передают значения измеряемых величин.

Современное развитие измерительных систем пошло по пути создания измерительно-вычислительных комплексов (ИВК).

ИВК – это совокупность программно-управляемых измерительных, вычислительных и вспомогательных технических средств. Комплексы обеспечивают:

- первичную обработку результатов измерений;
- управление функциональными узлами (организацию запросов, очередей, установление приоритетов и т.д.);
- контроль работоспособности трактов комплекса;
- сервисную обработку получаемой информации (представление таблиц, графиков и т.п.);
- хранение получаемой информации;
- выработку управляющих воздействий.

ИВК строятся на основе технических средств, имеющих блочно-модульный принцип исполнения. Это позволяет создавать ИВК с перестраиваемой структурой. Такие ИВК предназначены для создания автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), для автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). Для управления сложными объектами (космические корабли, морские суда и др.).

В зависимости от назначения различают ИВК:

- универсальные (для испытаний различных изделий и материалов);
- проблемно-ориентированные (для ограниченного набора однотипных задач АСНИ и АСУПТ);
- уникальные (для специфических исследований).

Работоспособность ИВК определяют техническое, математическое и метрологическое обеспечение. В состав технического обеспечения входят измерительные, вычислительные и вспомогательные устройства.

Основные функции ИВК:

- первичная обработка получаемых результатов;
- сервисная обработка измерительной информации;
- управление функционированием отдельных блоков и узлов.

2.3 Способы проверки электрорадиоэлементов с помощью омметра

Омметром можно проверять практически все электрорадиоэлементы: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы, диоды, транзисторы, тиристоры и некоторые микросхемы.

При проверке исправности того или иного элемента возможны две различные ситуации: либо проверке подлежит изолированный, отдельный элемент, либо элемент, впаянный в какое-либо устройство.

Для исключения ошибок измерения во втором случае следует отпаять от остальной схемы хотя бы один из двух выводов контролируемого элемента и только после этого производить его проверку. Также не

следует забывать о том, что тело человека обладает некоторым сопротивлением и поэтому при пользовании омметром во избежание появления ошибки измерения нельзя касаться пальцами обоих выводов проверяемого элемента.

а) проверка резисторов

Проверка постоянных резисторов производится омметром путём измерения их сопротивления и сравнения с номинальным значением, которое указано на самом резисторе и на принципиальной схеме устройства.

При измерении полярность подключения не имеет значения.

При проверке переменных резисторов измеряется сопротивление между крайними выводами и сопротивления между каждым из крайних и средним выводами. Эти сопротивления при вращении оси из одного крайнего положения в другое должны плавно изменяться от нуля до номинального значения. При проверке переменного резистора, впаянного в схему, два из его трёх выводов необходимо выпаивать.

Неисправные резисторы при отсутствии такого же номинала и мощности можно заменить несколькими параллельно или последовательно соединёнными.

При последовательном соединении величины сопротивлений складываются, т.е. $R_{\Sigma\ посл.} = R_1 + R_2 + \ldots$

При параллельном соединении общее сопротивление будет равняться:

$$R_{\Sigma\ парал.} = \frac{R \cdot R_{21} \cdot \ldots}{R_1 + R_2 + \ldots}.$$

Мощность, рассеиваемая на каждом резисторе, не должна превышать предельно допустимую величину и рассчитывается по формуле:

- для последовательного соединения:

$$P_1 = P\frac{R_1}{R_{\Sigma посл}};\ P_2 = P\ \frac{R_2}{R_{\Sigma посл}}\ \text{и т.д.}$$

- для параллельного соединения:

$$P_1 = P\frac{R_{парал.}}{R_1};\ P_2 = P\frac{R_{парал.}}{R_2}\ \text{и т.д.}$$

б) проверка конденсаторов

Конденсаторы в основном могут иметь следующие дефекты: обрыв, пробой и повышенная утечка.

Пробой конденсатора характеризуется наличием между его выводами короткого замыкания, т.е. нулевого сопротивления. Поэтому пробитый конденсатор любого типа легко обнаруживается омметром путём

проверки сопротивления между его выводами. Конденсатор не пропускает постоянного тока, его сопротивление постоянному току, которое измеряется омметром, должно быть бесконечно велико. Это справедливо в основном для идеального конденсатора, а в действительности же между обкладками всегда имеется какой-то диэлектрик, обладающий конечным значением сопротивления, которое называется сопротивлением утечки. Его измеряют омметром, а в зависимости от используемого диэлектрика устанавливаются критерии исправности по величине сопротивления утечки. Слюдяные, керамические, плёночные, бумажные, стеклянные и воздушные конденсаторы имеют очень большое сопротивление утечки и при их проверке омметр должен показывать бесконечно большое сопротивление.

Электролитические конденсаторы и оксидно-полупроводниковые конденсаторы являются полярными и при их проверке следует соблюдать полярность подключения.

При проверке конденсаторов большой ёмкости нужно учитывать, что при подключении омметра, если он не был заряжен, начинается его зарядка и стрелка омметра делает бросок в сторону нулевого значения шкалы. По мере зарядки стрелка движется в сторону увеличения сопротивлений. Чем больше ёмкость конденсатора, тем медленнее движется стрелка. Отсчёт сопротивления утечки следует производить только после того, как она практически остановится. При проверке конденсаторов ёмкостью порядка 1000 мкф на это может потребоваться несколько минут. Внутренний обрыв или частичная потеря ёмкости конденсатором не могут быть обнаружены омметром, для этого необходим прибор, позволяющий измерять ёмкость конденсатора. В случае, если ёмкость превышает 0,2 мкф, обрыв можно обнаружить омметром по отсутствию скачка стрелки во время зарядки. Повторная проверка конденсатора на обрыв по отсутствию начального скачка стрелки может производиться только после того, как снят заряд, для чего выводы конденсатора замыкаются на короткое время.

Конденсаторы переменной ёмкости проверяют на отсутствие замыкания, подключая омметр к каждой секции агрегата и медленно поворачивая ось из одного крайнего положения в другое. Омметр в этом случае показывает бесконечно большое сопротивление в любом положении оси.

При замене конденсаторов можно использовать несколько типов меньшей ёмкости, и при этом общая ёмкость будет равняться:

$$C_{посл.} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot \ldots}{C_1 + C_2 + \ldots}; \; C_{парал.} = C_1 + C_2 + \ldots\ldots$$

У электролитических конденсаторов часто наблюдается уменьшение ёмкости из-за высыхания электролита.

Место замыкания пластин подстроечных и переменных конденсаторов определяют омметром или электрической лампочкой. При проверке омметром один щуп прибора присоединяют к подвижным пластинам, а другой – к неподвижным. Затем медленно вращают ротор и, если стрелка прибора отклоняется, то пластины статора и ротора касаются. При проверке электролампочкой конденсатор включается последовательно с лампой небольшой мощности в электрическую цепь напряжением 36 В. Поворачивая ротор, места замыкания пластин определяют по свечению лампы и искрению.

в) проверка катушек индуктивности

При проверке катушек индуктивности омметром контролируется только отсутствие в них обрыва. При этом сопротивление однослойных катушек должно быть равно нулю, а сопротивление многослойных – близким к нулю.

При обрыве катушки прибор показывает бесконечно большое сопротивление. Если катушка индуктивности имеет отвод, то нужно проверить обе секции, подключая омметр сначала к одному из крайних выводов и к её отводу, а затем – ко второму крайнему выводу и отводу.

г) *проверка дросселей и трансформаторов*

Обрыв обмоток фиксируется по бесконечно большому сопротивлению между её выводами. Если же сопротивление значительно меньше номинального, это может указывать на наличие короткозамкнутых витков. Однако, чаще всего короткозамкнутые витки возникают в небольшом количестве, когда происходит замыкание между соседними витками и сопротивление обмотки изменяется незначительно. Для проверки отсутствия короткозамкнутых витков можно поступить следующим образом. У трансформатора выбирается обмотка с наибольшим количеством витков, к одному из выводов которой подключается омметр с помощью зажима «крокодил». Ко второму выводу этой обмотки прикасаются слегка влажным пальцем левой руки. Держа металлический наконечник второго щупа омметра правой рукой, подключают его ко второму выводу обмотки, не отрывая от него пальца левой руки. Стрелка омметра отклоняется от своего начального положения, показывая сопротивление обмотки. Когда стрелка остановится, отводят правую руку с щупом от второго вывода обмотки. В момент разрыва цепи при исправном трансформаторе чувствуется лёгкий удар электрическим током за счёт ЭДС самоиндукции, возникающей при разрыве цепи. При наличии короткозамкнутых витков в проверяемой обмотке или в других обмотках трансформатора, ЭДС самоиндукции резко падает и электрического удара не ощущается. Омметр при этом нужно использовать на самом меньшем пределе измерений, который соответствует наибольшему току измерения.

Наличие короткозамкнутых витков в обмотках трансформаторов можно также определить по температуре нагрева. Если трансформатор через 2-3 мин. после включения сильно нагреется, это свидетельствует о наличии короткозамкнутых витков.

д) проверка диодов

Полупроводниковые диоды характеризуются резко нелинейной ВАХ и поэтому их прямой и обратный токи при одинаковом приложенном напряжении различны. Прямое сопротивление диода измеряется при подключении плюсового вывода омметра к аноду, а минусового – к катоду. У пробитого диода прямое и обратное сопротивления равны нулю. Если диод оборван, оба сопротивления бесконечно велики. У исправного диода обратное сопротивление должно быть больше прямого.

Схемы измерения прямой и обратной ветвей вольт-амперной характеристики диода показаны на рис. 2.29, а, б, в и схема измерения частотной характеристики диода – на рис. 2.29, г.

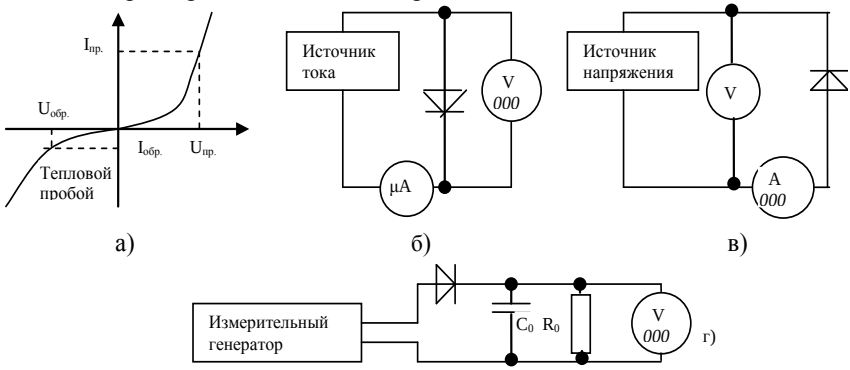


Рис. 2.29. Схемы измерения прямой и обратной ветвей ВАХ и частотной характеристики диода

е) проверка тиристоров

Неуправляемые тиристоры (динисторы) могут быть проверены таким же образом как диоды, если напряжение отпирания динистора меньше напряжения на клеммах омметра. Если же оно больше, динистор при подключении омметра не отпирается, и омметр в обоих направлениях показывает очень большое сопротивление. Тем не менее, если динистор пробит, омметр это регистрирует нулевыми показаниями прямого и обратного сопротивлений. Для проверки управляемых тиристоров плюсовый вывод омметра подключается к аноду, а минусовый к катоду. Омметр при этом должен показывать очень большое сопротивление, почти равное бесконечности. Затем замыкают выводы анода и управляющего

электрода, что должно приводить к резкому уменьшению сопротивления, т.к. тринистор отпирается. Если после этого отключить управляющий электрод от анода, не разрывая цепи, соединяющей анод тиристора с омметром, для многих типов тринисторов омметр будет продолжать показывать низкое сопротивление открытого тринистора. Это происходит в тех случаях, когда анодный ток тринистора оказывается больше так называемого тока удержания. Тринистор остаётся открытым обязательно, если анодный ток больше гарантированного тока удержания. Это требование является достаточным, но не обязательным.

ж) проверка транзисторов

Эквивалентная схема биполярного транзистора представляет собой два диода, включённых навстречу один другому. Для p-n-p транзисторов эти эквивалентные диоды соединены катодами, а для n-p-n – анодами. Таким образом, проверка транзисторов омметром сводится к проверке обоих p-n переходов: коллектор-база и эмиттер-база. Для проверки прямого сопротивления переходов p-n-p транзистора минусовый вывод омметра подключается к базе, а плюсовый вывод омметра подключается поочерёдно к коллектору и эмиттеру. Для проверки обратного сопротивления переходов к базе подключается плюсовый вывод омметра. При проверке n-p-n транзистора подключение производится наоборот: прямое сопротивление измеряется при подключении к базе плюсового вывода омметра, а обратное сопротивление – при подключении к базе минусового вывода. При пробое перехода его прямое и обратное сопротивления оказываются равными нулю. При обрыве перехода его прямое сопротивление бесконечно велико. У исправных маломощных транзисторов обратные сопротивления переходов во много раз больше их прямых сопротивлений. У мощных транзисторов это отношение не столь велико, тем не менее, омметр позволяет их различить. Из эквивалентной схемы биполярного транзистора вытекает, что с помощью омметра можно определить тип проводимости транзистора и назначение его выводов (цоколёвку). Сначала определяют тип проводимости и находят вывод базы транзистора. Для этого один вывод омметра подключают к одному выводу транзистора, а другим выводом омметра касаются поочерёдно двух других выводов транзистора. Затем первый вывод омметра подключают к другому выводу транзистора, а другим выводом омметра касаются свободных выводов транзистора.

Затем первый вывод омметра подключают к третьему выводу транзистора, а другим выводом касаются остальных. После этого меняют местами выводы омметра и повторяют указанные измерения. В результате нужно найти такое подключение омметра, при котором подключение второго вывода омметра к каждому из двух выводов транзистора, не подключённых к перво-

му выводу омметра, соответствует небольшому сопротивлению (оба перехода открыты).

Тогда вывод транзистора, к которому подключён первый вывод омметра, является выводом базы. Если первый вывод омметра является плюсовым, значит транзистор относится к n-p-n проводимости, если минусовым – p-n-p проводимости. Для определения, какой из двух оставшихся выводов является коллектором, омметр подключается к этим двум выводам, база соединяется с плюсовым выводом омметра при n-p-n транзисторе или с минусовым выводом омметра при p-n-p транзисторе и замечается сопротивление, которое измеряется омметром. Затем выводы омметра меняются местами (кроме базы) и вновь замечается сопротивление по омметру. В том случае, когда сопротивление оказывается меньше, база была соединена с коллектором.

Полевые транзисторы проверять не рекомендуется.

з) проверка микросхем

С помощью омметра можно производить проверку тех микросхем, которые представляют собой набор диодов или биполярных транзисторов.

Проверка диодов и транзисторов проводится по описанной выше методике. Если неизвестно назначение выводов сборки или микросхемы, оно также может быть определено, хотя из-за наличия нескольких транзисторов в одном корпусе приходится проводить более громоздкие измерения. При этом нужно установить систему подключения омметра к выводам, чтобы выполнить все возможные комбинации.

Существуют три основных метода испытаний интегральных схем: статические, динамические и стендовые (функциональные).

Статические испытания проводят на постоянном токе и при этом измеряют статические параметры ИС.

Динамические (импульсные) испытания выполняют в импульсных режимах, при которых измеряются динамические параметры.

Стендовые испытания – это такие, при которых максимально имитируются реальные рабочие режимы.

Схемы измерения статических параметров на базе измерения наиболее распространённых ЦИС типа ТТЛ и ДТЛ приведены на рис. 2.30, а – схема измерения входной характеристики ЦИС; б, - схема измерения передаточной характеристики ЦИС; в – схема измерения выходных характеристик ЦИС.

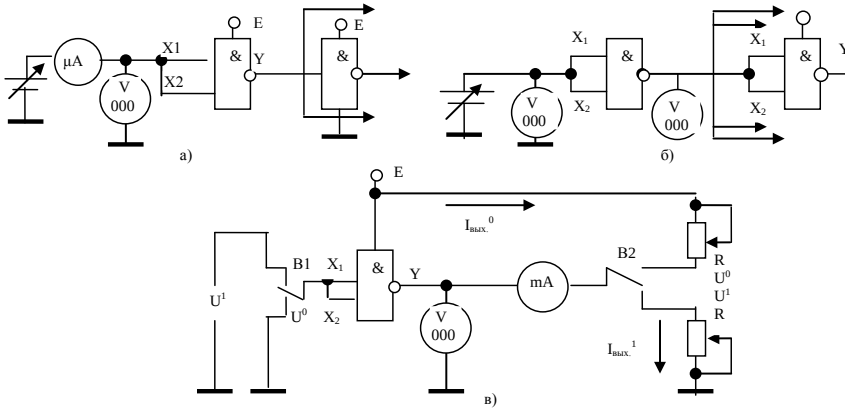


Рис. 2.30. Схемы измерения статических параметров ЦИС

Любой сигнал, несущий информацию, практически можно рассматривать как случайный, ибо при его распространении имеют место случайные искажения, различные помехи, несовершенство применяемых измерительных систем. Методы и средства измерения случайных сигналов базируются на теории вероятностей и математической статистике, ибо случайный сигнал может принять в результате эксперимента любую неизвестную заранее совокупность значений. Измерение вероятностных характеристик случайных сигналов называется статическими измерениями. Любая из статических вероятностных характеристик случайных сигналов определяется либо усреднением по совокупности реализаций, либо усреднением по времени одной реализации. Измерение характеристик случайных сигналов сводится к обработке реализаций этих сигналов по определённому алгоритму. Особенность задачи состоит во вводе в оперативную память ЭВМ большого объёма исходных данных и возможность их обработки. Существуют специальные измерители характеристик случайных сигналов, позволяющие измерять математическое ожидание, мощность, дисперсию, корреляционную и спектральную функции.

ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ БЫТОВОГО И ОФИСНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Для питания бытовой техники в основном используется промышленная сеть напряжением 220/380 В частотой 50Гц с применением различного вида преобразователей электрической энергии.

Питание офисной техники в основном осуществляется от химических элементов или аккумуляторов.

3.1. Общие сведения о химических источниках тока и краткая характеристика аккумуляторных батарей

Аккумуляторы – это химические источники тока с обратимым процессом: они могут отдавать энергию, преобразуя химическую энергию в электрическую, или могут накапливать энергию, преобразуя электрическую энергию в химическую. Таким образом аккумулятор попеременно то разряжается, отдавая электрическую энергию, то заряжается от какого-либо соответствующего источника постоянного тока. Аккумулятор состоит из двух электродов (блоков пластин), погруженных в раствор электролита. Положительные и отрицательные пластины изолируются друг от друга сепарацией. По составу электролита аккумуляторы делятся на две группы: щелочные и кислотные. К группе щелочных относятся: никель-кадмиевые; никель-цинковые; серебряно-цинковые. К группе кислотных относятся свинцовые. В таблице 3.1 приведены сравнительные характеристики различных типов аккумуляторов.

Таблица 3.1

Сравнительные характеристики аккумуляторов

Тип	Напряжение (банки), В	Максимальная плотность тока, А/М	Срок службы (циклы)
Свинцовые	2,0 - 1,7	1000	200-500
Никель-кадмиевые	1,3 – 1,0	50 - 200	1000-3000
Никель-металлгибридные	0,9-1,5	50 - 200	500-3000
Никель-железные	1,3 – 1,0	50	800-1000
Серебряно-цинковые	1,5-1,3	100 - 200	20 - 150
Серебряно-кадмиевые	1,1 – 0,9	30 - 50	50 - 500
Литий-ионные	3,5 – 3,7	1000	500-1000
Литий-полимерные	3,5-3,7	1000	500-1000

Аккумуляторы имеют следующие основные электрические характеристики:

Ёмкость Q – количество электричества, которое может отдать аккумулятор при разряде в питаемую сеть до минимально допустимого

напряжения на нём. Ёмкость измеряется в А/ч и определяется по формуле:

$$Q = I_p t_p,$$

где I_p – ток разряда, А; t_p – время разряда, ч;

Если напряжения одного аккумулятора недостаточно для данной установки, то необходимое число аккумуляторов соединяется последовательно и только если они рассчитаны на одну и ту же разрядную силу тока.

Если разрядный ток недостаточен, то применяют параллельное соединение нескольких одинаковых аккумуляторов.

а) кислотные аккумуляторы

Кислотные (свинцовые) аккумуляторы подразделяются на стационарные (типов С, СК, СН), радиоанодные (типов РА), авиационные (типов СА, А), стартерные (типов СТ). Свинцово-кислотные стартерные (автомобильные) батареи состоят из трёх или шести последовательно соединённых аккумуляторов, имеющих каждый номинальное напряжение 2,2 В. В качестве электролита используется водный раствор серной кислоты.

Кислотные аккумуляторы (одна банка) обладают следующими основными техническими характеристиками:

- номинальное напряжение 2,2 В;
- напряжение в конце разряда 1,7 В;
- напряжение в конце заряда 2,65 – 2,78 В;
- ток нормального заряда (разряда) Q/10 А;
- максимальный ток разряда 200 – 400 А;
- саморазряд за месяц 15-30% при температуре 20^0С;
- срок службы 200-500 циклов.

Кислотные аккумуляторы не боятся короткого замыкания и обладают значительной ёмкостью на единицу веса.

В маркировке данных аккумуляторов цифры и буквы означают следующее: например, 6СТ – 60 ЭМЗ – 6 –количество аккумуляторов в батарее; СТ – стартерная; 60 – электрическая ёмкость в А/ч; Э – эбонитовый корпус; М минипласт (материал сепараторов); З – сухозаряженная.

Для ввода новых сухозаряженных аккумуляторов в эксплуатацию необходимо приготовить электролит. Плотность электролита выбирается в соответствии с климатическими условиями. Для приготовления электролита используется аккумуляторная серная кислота, имеющая плотность 1, 83 г/см. Техническую серную кислоту использовать запрещается, т.к. она содержит примеси. Процесс приготовления электролита сводится к вливанию концентрированной кислоты в дистиллированную воду при непрерывном помешивании. Вливать воду в кислоту запрещается. Для приготовления электролита используется стойкая против действия серной кислоты посуда – керамическая, эбонитовая, фаянсовая, эмалиро-

ванная (не имеющая повреждения эмали). Металлическую или стеклянную посуду применять запрещается. Количество электролита, заливаемого в батарею, приведено в таблице 3.2

Таблица 3.2

Количество электролита для батарей

Тип аккумулятора	6 СТ-45	6СТ – 55 6СТ - 60	6СТ- 75	6СТ - 90	6СТ - 128	6СТ -140
Количество (л)	3	3,8	5	6	7,2	9

Плотность электролита измеряется ареометром, а так как она изменяется в зависимости от температуры, её необходимо привести к температуре $+25^0$, пользуясь температурными поправками.

После заливки электролита нужно пропитать пластины и не менее чем через 20 мин. и не позже чем через 2 часа произвести контроль его плотности. Если плотность электролита понизится не более чем на 0,03 г/см от плотности заливаемого электролита, то батарею можно брать в эксплуатацию без заряда. Если же плотность электролита понизится более чем на 0,03 г/см, то батарею необходимо подвергнуть первичному заряду. Сухозаряженность батарей гарантируется в течение одного года со дня изготовления.

Первый заряд аккумуляторов производится при вводе в строй новых или находившихся на хранении. Первый заряд сухозаряженных АКБ производится током, указанным в инструкции по эксплуатации, который составляет 0,1 номинальной ёмкости, т.е. $I = Q/10$ А. Для сухозаряженных батарей, хранившихся не более одного года, время первого заряда может колебаться в пределах 5-8 часов, а для батарей, хранившихся более одного года, он значительно увеличивается (до 25 часов) при заряде батареи по постоянству силы тока. Гарантийный срок хранения не залитых электролитом батарей составляет не более 3-х лет. Заряд продолжается до признаков конца заряда, а именно:

- кипение электролита (обильное газовыделение);
- плотность электролита стала максимальной и не изменяется в течение 2-3 часов;
- постоянство напряжения на каждом аккумуляторе (у исправного 2,65-2,78В).

Батарею можно зарядить от любого источника постоянного тока с напряжением большим, чем напряжение батареи. Существуют два способа заряда: при постоянстве силы тока и при постоянстве напряжения. При заряде батареи при постоянстве силы тока необходимо систематиче-

ски контролировать силу тока и при необходимости регулировать её, поддерживая на постоянном уровне Q/10, т.к. в процессе заряда напряжение на каждом аккумуляторе увеличивается, а ток в цепи заряда уменьшается. В конце заряда ёмкость АКБ составляет не менее 150% от номинала.

Заряд по методу постоянства напряжения требует меньше времени (2-3 часа) и при этом на батарею подаётся постоянное напряжение 13,5 В, а сила тока будет уменьшаться по мере заряда и когда она станет настолько малой, что стрелка амперметра ЗУ будет находиться у нулевой отметки, заряд можно прекратить. Второй способ не позволяет зарядить батарею полностью и, с точки зрения глубины и полноты заряда, первый способ лучше.

Эксплуатация АКБ включает: первый заряд; нормальный заряд; тренировочный цикл.

Степень разряженности кислотных аккумуляторов может быть определена двумя способами: по плотности электролита и по напряжению.

Основной неисправностью кислотных АКБ является сульфатация пластин – это образование крупных кристаллов сульфата свинца на пластинах, что приводит к уменьшению ёмкости и увеличению внутреннего сопротивления аккумулятора.

При работе с кислотой необходимо соблюдать следующие правила:

1. Кислоту хранить в стеклянных оплетённых бутылях с плотно притёртыми пробками в отдельных помещениях, нишах или под навесом, чтобы на них не падали прямые солнечные лучи;
2. На всех сосудах с электролитом, дистиллированной водой, растворами кислот должны быть сделаны чёткие надписи с наименованием содержимого;
3. Все работы с кислотой, её хранение, составление растворов должны проводиться обученными лицами с квалификационной группой по правилам техники безопасности не ниже третьей;
4. Перед приёмом пищи и после работы необходимо вымыть руки и лицо тёплой водой с мылом и тщательно прополоскать рот;
5. При составлении раствора кислоту нужно медленно с остановками во избежание интенсивного нагрева раствора тонкой струйкой из кружки вместимостью 1,5-2 литра вливать в сосуд с дистиллированной водой, постоянно помешивая;
6. Работа с кислотой должна производиться в специальном шерстяном костюме, резиновых сапогах и перчатках, причём брюки костюма одеваются поверх голенищ сапог. Вблизи работ должен находиться сосуд с нейтрализующей жидкостью (10% раствор нашатырного спирта или кальцинированной соды).

Методы выявления дефектов свинцово- кислотных аккумуляторных батарей:

1. Снижение уровня электролита — свидетельство работы батареи в условиях постоянного перезаряда.
2. Повышенная плотность при нормальном уровне электролита — признак доливки кислоты или электролита вместо дистиллированной воды.
3. Пониженная плотность при нормальном уровне электролита — свидетельство:

- эксплуатации батареи в состоянии глубокого разряда;
- низкого уровня зарядного напряжения, ниже 13,9 В;
- утечек тока в системе электрооборудования, приводящих к хроническим глубоким разрядам при ночных стоянках;
- присутствия примесей солей металлов и органики, которые загрязняют электролит, приводят к отравлению (экранированию) части поверхности электродов (пластин), снижению ёмкости и энергоотдачи, повышенному саморазряду во всех аккумуляторах, где загрязнён электролит.

4. Доливка кислоты или электролита ведёт к:

- ускорению коррозии решёток;
- ухудшению работоспособности (экранированию) отрицательного электрода;
- усилению сульфитации.

5. Содержание в электролите осадка бурого, коричневого, чёрного цветов — свидетельство разрушения положительных пластин (электродов).

а) Положительные пластины подвержены двум разрушающим воздействиям:

- коррозия решётки (токоотвода);
- оплывание (оползание, деструкция) активной массы.

б) Причины разрушения положительных пластин:

- эксплуатация батареи в условиях постоянного перезаряда, т.е. при зарядном напряжении выше 14,5 В;
- повышенная температура электролита;
- повышенная плотность электролита;
- токовые перегрузки при разряде и частые разряды.

6. Содержание в электролите осадка серого цвета - свидетельство разрушения отрицательных пластин (электродов). Причины разрушения отрицательных пластин:

- длительная эксплуатация батареи в состоянии глубокого разряда;
- низкий уровень зарядного напряжения, ниже 13,9 В и, как следствие, разрыхление активной массы;
- утечка тока в системе электрооборудования при ночных стоянках;

- присутствие примесей солей металлов и органики, которые загрязняют электролит, приводят к отравлению (экранированию) части поверхности электродов (пластин), снижению ёмкости и энергоотдачи, повышенному саморазряду во всех аккумуляторах, где загрязнён электролит.

7. Повышенный саморазряд. Следует различать два случая:

- повышенный саморазряд в одном аккумуляторе является признаком внутреннего короткого замыкания (КЗ);
- повышенный саморазряд в нескольких или во всех аккумуляторах батареи—следствие попадания в них примесей, отравляющих (экранирующих) отрицательный электрод при заливке некачественного электролита с примесями или при доливке недистиллированной воды.

8. Обрыв цепи.

Проявляется в невозможности заряда батареи от выпрямителя и её разряда на нагрузочную вилку. Величина напряжения разомкнутой цепи (НРЦ) незначительно отличается от нормальной.

9. Короткое замыкание.

Проявляется в значительно заниженной величине НРЦ полностью заряженной батареи и интенсивном газовыделении («кипении» электролита) в одном или нескольких аккумуляторах при разряде на нагрузочную вилку.

10. Переполюсовка пластин (электродов)—изменение полярности.

Следует различать два случая:

- переполюсовка в отстающем аккумуляторе при разряде неисправной батареи;
- переполюсовка, возникающая при сборке батареи—проявляется в заниженной величине НРЦ полностью заряженной батареи.

11. Перезаряд и его последствия.

Признаки перезаряда.

При длительном перезаряде (более одной недели), т.е. при зарядном напряжении выше 14,5 В, на пробках и горловинах в местах сочленения, на поверхности крышки около вентиляционных каналов, на верхней части стенок моноблока образуется плотный слой бурой двуокиси свинца, которая выносится из раствора электролита аэрозолем (обильное газовыделение, «кипение» электролита). Кроме того, положительные решетки могут быть частично или полностью прокорродированны.

Это и служит доказательством работы в условиях перезаряда при вскрытии батареи для экспертизы.

12. Сульфатация пластин в одном или всех аккумуляторах.

Причины сульфатации:

- недоформирование пластин при изготовлении. Устраняется выравнивающим зарядом. Гарантийный случай;

- наличие примесей в электролите. Не устраняется. Не является гарантийным случаем;
- внутреннее КЗ. Гарантийный случай. Подлежит замене после точной диагностики;
- длительная эксплуатация батареи в разряженном состоянии. Не является гарантийным случаем. Определяется осмотром при вскрытии по состоянию (цвет и консистенция) активной массы.

13. Коррозия решёток (токоотводов) ведёт к:

- разбуханию активной массы;
- увеличению линейных размеров токоотводов;
- разрыву жилок и рамок токоотводов;
- деформации (короблению) токоотводов;
- снижению ёмкости ниже допустимой.

14. Деформация (коробление) пластин—свидетельство работы в условиях, как перезаряда, так и в глубоких запредельных разрядах, в тяжёлых стартерных режимах.

Причины деформации:

- увеличение силы зарядного тока;
- короткое замыкание;
- пониженный уровень электролита;
- частые и продолжительные включения стартёра;
- глубокие запредельные разряды в тяжёлых стартерных режимах (неисправность стартера, несоответствие батареи типу автомобиля и т.д.).

15. Выпадение активной массы из решётки.

Причины:

- образование трещин в активной массе вследствие коррозии решёток и деформации (короблении) пластин;
- нештатное крепление аккумулятора, когда он начинает испытывать дополнительные удары и вибрации;
- замерзание воды в электролите глубоко разряженного аккумулятора.

16. Виды взрывов и определение их причин.

Причины взрыва:

- возникновение искры внутри батареи;
- возникновение внешней искры;
- избыточное давление газов, не успевающее сброситься через газоотводные (вентиляционные) каналы при перезаряде;
- засорение газоотводных каналов.

Виды взрывов:

- если цепь батареи не нарушена и при вскрытии не обнаружено поломки мостов или пластин—это доказывает отсутствие внутри неё причины, спровоцировавшей взрыв, и свидетельствует о нарушении

условий эксплуатации. Это правило не зависит от размеров и степени разрушения при взрыве.

- если цепь разорвана, а в месте разрыва большая часть сечения покрыта бурой двуокисью свинца, это следует признать дефектом производства, т.е. гарантийным случаем. Определяется осмотром при вскрытии.

17. Ресурс батареи выработан ранее гарантийного срока— свидетельство постоянных разрядов до 50% с последующими зарядами.

При таком режиме работы батарея может потерять более 60% ёмкости за 4- 5 месяцев, что, например, объясняет быструю выработку ресурса батареи, эксплуатирующейся на автомобилях, работающих в режиме «ТАКСИ».

б) щелочные аккумуляторы

Это аккумуляторы, в которых электролитом служит водный раствор щёлочи. К группе щелочных относятся: никель-кадмиевые, никель-железные, никель-металлогидридные, никель-цинковые, серебряно-цинковые и серебряно-кадмиевые аккумуляторы.

Щелочной аккумулятор состоит из полублока положительных и полублока отрицательных электродных пластин, помещённых в сварной никелированный корпус с электролитом. Между собой электродные пластины разделяются изолирующими прокладками из эбонита или специальными щёлочностойкими тканями и бумагой. В качестве электролита используют водные растворы щелочей едкого калия КОН или едкого натрия NaOH в чистом виде или с добавкой моногидрата лития LiOH.

Буквы и цифры в маркировке щелочных аккумуляторов (напр. 10 НКП-6С) означают следующее:

-10 – количество аккумуляторов в батарее;

- НК- никель-кадмиевый;
- П-конструкция пластин (прессованные, безламельные);
- 6 – номинальная ёмкость в А/ч;
- С – сухозаряженный.

Щелочные АКБ в отличие от кислотных боятся короткого замыкания, но допускают глубокий разряд.

Основу АКБ составляют две группы по 5 никель-кадмиевых аккумуляторов НКП-6с, соединённых последовательно посредством гибких изолированных проводов (перемычек).

Длительное хранение аккумуляторов (АКБ) осуществляется при комнатной температуре, в сухом месте и в заряженном состоянии.

Перед использованием батарею необходимо зарядить, т.к. она обладает свойством саморазряда. Новые и долго хранившиеся батареи требуют длительной зарядки и до начала их использования следует прове-

сти несколько циклов заряд/разряд. Батарею следует заряжать полностью, т.к. частые поверхностные подзарядки могут привести к возникновению «эффекта памяти». Зарядка производится при комнатной температуре с использованием штатных ЗУ. Новая батарея перед использованием должна пройти не менее 5-ти циклов заряд/разряд. Средний срок службы щелочных аккумуляторов 1-3 года или до 1000 циклов заряд/разряд. АКБ поставляется отформованной, т.е. на ней проведён контрольно-тренировочный цикл и слит электролит. В комплект поставки обязательно входит готовый электролит плотности 1,28-1,3 г/см. Для получения электролита нужной плотности необходимо развести исходный в дистиллированной воде. Плотность электролита измеряется денсиметром. При вводе в эксплуатацию новой АКБ в каждый аккумулятор необходимо налить, пользуясь специальным приспособлением, по 6 см электролита плотности 1,18-1,19 г/см и выдержать батарею в течение 2-3 часов для пропитки. Затем протереть горловины аккумуляторов и ввернуть пробки. Измерить напряжение ненагруженной батареи и каждого аккумулятора, которое должно быть больше нуля. Если на каком-либо аккумуляторе напряжение окажется меньше или равным нулю, её нужно заменить.

При эксплуатации АКБ, а также при хранении в постоянной готовности к использованию нужно периодически контролировать степень её разряженности. Для этого измеряют напряжение ненагруженной батареи и если оно окажется менее 12В, то батарею надо разрядить и затем зарядить током 2 А в течение 5 часов. Поскольку перезаряд щелочных аккумуляторов не оказывает на них вредного воздействия лучше выдержать полное время заряда, т.е. 5 часов. Об окончании заряда щелочных аккумуляторов нельзя судить по «кипению» электролита, поскольку у них обильное газовыделение начинается практически сразу после включения на заряд. Периодически через каждые 10 зарядно-разрядных циклов нужно в каждый аккумулятор доливать по 3 см электролита плотности 1,08-1,10 г/см. Через 50 зарядно-разрядных циклов производится смена электролита.

Провести два зарядно-разрядных цикла и рабочий заряд для применения, используя сетевое ЗУ. Заряд и разряд проводятся в соответствии с таблицей, при ввёрнутых пробках, т.к. они имеют отверстия для выхода газов.

При этом второй цикл заряд/разряд является контрольным и проводится для проверки ёмкости. Например: мы разряжали пояс 10 НКП – 6с в течение 2,4 часа до напряжения 10В. Следовательно, фактическая ёмкость пояса до разряда была: $Q_ф = 2{,}5А \cdot 2{,}4ч = 6А/ч$.

При работе со щёлочью необходимо:

1) растворы щёлочи готовить растворением твёрдой щёлочи или концентрированного раствора в дистиллированной воде;

2) при работе со щёлочью должны применяться индивидуальные средства защиты: очки, фартук или спецкостюм, резиновые перчатки;
3) дробление кусков сухой едкой щёлочи должно проводиться с применением специальных совков и мешковины, при обязательном использовании средств защиты;
4) в качестве нейтрализующего раствора для щёлочи применять 5% раствор борной кислоты или уксусной эссенции, для промывания глаз – 1,5% раствор борной кислоты;
5) раствор щёлочи готовится вливанием концентрированного раствора в дистиллированную воду с постоянным помешиванием эбонитовой или стеклянной палочкой. Посуда должна быть стальная, чугунная, эмалированная, из щелочностойких пластмасс (полистирол). Нельзя использовать посуду из меди, цинка и др. цветных металлов.
6) при попадании электролита на одежду или кожу немедленно промыть поражённый участок водой, а затем обработать нейтрализующим раствором.

Можно выделить отдельные виды аккумуляторов, применяемых в узких секторах техники:

Серебряно-цинковые и серебряно-кадмиевые аккумуляторы. Активными материалами служат оксид серебра на положительном и цинк или кадмий - на отрицательном электродах соответственно, электролитом является раствор щелочи. Характеризуются высокими удельными энергиями и мощностью, низким саморазрядом, но весьма дороги. Серебряно-цинковые аккумуляторы имеют незначительный ресурс. Выпускаются в призматической и дисковой формах, применяются для питания портативных приборов и аппаратов, в военной технике.

Никель-водородные аккумуляторы. Отрицательным электродом служит пористый газодиффузионный электрод с платиновым катализатором, на котором обратимо реагирует газообразный водород. Характеризуются высокой удельной энергией и очень высоким ресурсом, но значительным саморазрядом и очень дороги. Применялись в космической технике.

Перезаряжаемые марганцево-цинковые источники тока. Первичные цилиндрические марганцево-цинковые источники тока с щелочным электролитом определенного состава, изготовленные по специальной технологии, могут электрически перезаряжаться. Они характеризуются высокой удельной энергией, малым саморазрядом и невысокой стоимостью, выпускаются в герметичном исполнении, однако имеют очень малый ресурс (до 25-50 циклов), небольшую скорость разряда и наклонную разрядную кривую. Возможность перезаряда такого марганцево-цинкового источника тока отдельно оговаривается производителем.

3.2 Элементы питания для мобильных телефонов

NiCd аккумулятор - ветеран на рынке мобильных устройств связи. Отлаженная технология и надежная работа обеспечили ему широкое распространение для питания портативной техники и оборудования. Его основные достоинства:

- ❑ превосходная работоспособность в широком диапазоне температур, в том числе возможность заряда при отрицательных температурах;
- ❑ способность отдавать в нагрузку большой ток;
- ❑ длительный срок службы - свыше тысячи циклов заряда / разряда при правильной эксплуатации и обслуживании;
- ❑ слабая чувствительность к неправильной эксплуатации;
- ❑ легкое восстановление при понижении емкости и после длительного хранения;
- ❑ низкая цена.

Недостатки:

- необходимость периодического полного разряда для сохранения эксплуатационных свойств (устранение эффекта «памяти»);
- высокий саморазряд (до 10% в течение первых 24 часов);
- сравнительно большие габариты;
- необходимость специальной утилизации, поскольку в их состав входит кадмий.

NiMH аккумулятор - пришел на смену NiCd. Но надо заметить, что его шумно разрекламированные преимущества на деле не оправдали ожиданий потребителей из-за сокращенного срока службы. Эта ситуация только-только сейчас начинает выправляться в связи с технологическим прогрессом в их производстве. Отличительные преимущества сегодняшних NiMH аккумуляторов:

- примерно на 30 % большая емкость по сравнению со стандартными NiCd аккумуляторами при тех же габаритах;
- меньшая склонность к эффекту памяти, чем у NiCd. Периодические циклы восстановления должны выполняться реже;
- меньшая токсичность. NiMH технология считается экологически чистой.

К сожалению, NiMH аккумуляторы имеют недостатки и по некоторым параметрам проигрывают NiCd. Это меньшее число циклов заряда / разряда (около 500), более высокий саморазряд (выше в 1,5 - 2 раза) и более высокая цена.

Li-ion аккумулятор - все более широко начинает применяться в мобильной технике связи, что обусловлено:

- высокой плотностью электрической энергии, по крайней мере, вдвое большей, чем у NiCd того же размера, а значит и вдвое меньшими габаритами при той же самой емкости;
- низким саморазрядом (примерно 2-5% в месяц плюс около 3 % на питание встроенной электронной схемы защиты);
- отсутствием каких либо требований к обслуживанию, за исключением необходимости длительного хранения в заряженном состоянии.

Но есть и отрицательные моменты: для аккумуляторов некоторых производителей работа только при положительных температурах, высокая цена и подверженность процессу старения, даже если аккумулятор не используется. Ухудшение емкости наблюдается примерно после одного года. После двух лет аккумулятор часто становится неисправным. Поэтому не рекомендуется хранить Li-ion аккумуляторы в течение длительного времени.

Li-Pol аккумулятор - только-только начинает появляться на рынке сотовых телефонов и портативных компьютеров. Имея примерно такую же плотность энергии, как и Li-ion аккумулятор, литий-полимерные допускают изготовление в пластичных разнообразных геометрических формах, нетрадиционных для обычных аккумуляторов, в том числе достаточно тонких по толщине, и способных заполнять любое свободное место.

В последнее время новые сотовые телефоны NiCd аккумуляторами уже не комплектуются. Поэтому при приобретении нового телефона или аккумулятора приходится выбирать только между NiMH и Li-ion.

Производители комплектуют свои телефоны оригинальными (фирменными) аккумуляторами, произведенными с соблюдением всех требований технологического процесса изготовления и контроля качества. Единственное требование, налагаемое на потребителя, - это проконтролировать наличие в комплекте фирменного нового аккумулятора и правильно ввести его в эксплуатацию. Последовательность действий, совершаемых при этом, всегда приводится в инструкции по эксплуатации телефона, которая, безусловно, должна быть на русском языке. Но беда в том, что потребители инструкцию часто не читают, поэтому кратко приведем эти сведения:

- **полностью зарядите новый аккумулятор;**
- **оставьте телефон включенным и дождитесь его автоматического выключения. Теперь аккумулятор полностью разряжен;**
- **повторите вышеприведенные процедуры полного заряда и разряда три раза.**

Потребителю, чтобы не ошибиться при покупке аккумулятора, надо знать параметры, по которым можно оценить его состояние: номинальная емкость (та, которая должна быть), реальная емкость и внутреннее сопротивление.

Надежная работа любого мобильного устройства напрямую зависит от состояния его аккумулятора, в соблюдении "здорового образа жизни" которого не последнюю роль играют зарядные устройства. Попробуем на примере зарядных устройств аккумуляторов сотовых телефонов разобраться в их характеристиках и возможностях, поскольку правильно выбранное зарядное устройство - залог успешной работы вашего аккумулятора.

Зарядные устройства могут быть:

- по конструктивному исполнению - встроенными в телефон или в выносной блок питания, предназначенные для заряда аккумулятора непосредственно в телефоне, и настольными;
- по типу обслуживаемых аккумуляторов - для аккумуляторов на основе никеля: никель-кадмиевых (NiCd) и никель-металлогидридных (NiMH), для литий-ионных (Li-ion) аккумуляторов и комбинированные;
- по времени заряда - медленными и быстрыми;
- по методу заряда - устройства, осуществляющие заряд постоянным током, и устройства с импульсным методом заряда;
- по входному напряжению питания - устройства, подключаемые к сети напряжения переменного тока и к бортовой сети автомобиля;
- по функциональным возможностям - устройства широкого применения и профессиональные зарядные устройства.

Наименьшие проблемы доставляют пользователям зарядные устройства, предназначенные для заряда аккумулятора непосредственно в сотовом телефоне.

Основные проблемы с аккумуляторами заключаются в том, что в один прекрасный момент вы начинаете замечать, что время работы вашего полностью заряженного аккумулятора становится меньше, чем это было ранее.

Как известно, по окончании заряда аккумулятора в обычном зарядном устройстве на нем загорается зеленый свет индикатора, указывая на то, что аккумулятор полностью заряжен и готов к работе. Или, если аккумулятор заряжается в телефоне, то он присущим ему способом просигнализирует об том. На основе этого вы полагаете, что ваш аккумулятор обладает полной емкостью и ему можно доверять на все 100 %.

Однако "зеленый свет" обычного зарядного устройства никоим образом не гарантирует достаточную (номинальную) емкость и исправность аккумулятора. Дело в том, что зарядное устройство заряжает

(наполняет) аккумулятор энергией только до тех пор, пока есть куда наполнять, а количество закаченной в аккумулятор энергии при этом никак не оценивается. В этом и состоит недостаток обычных зарядных устройств - они не определяют реальную емкость аккумулятора. Почему же аккумулятор постепенно становится неспособным принять во время заряда то количество энергии, на хранение которого он рассчитан?

Причина в том, что в процессе эксплуатации рабочее вещество внутри никель-кадмиевых (NiCd) и никель-металлогидридных (NiMH) аккумуляторов постепенно меняет свою структуру в сторону уменьшения площади своей активной поверхности. Рабочее вещество аккумулятора со 100 % емкостью имеет однородную, мелкодисперсную структуру и как следствие - максимальную площадь активной поверхности. У аккумулятора с недостаточной емкостью рабочее вещество частично кристаллизовалось, и площадь его активной поверхности значительно уменьшилась.

Снижение емкости у литий-ионных аккумуляторов необратимо, так как используемые в их элементах металлы, предназначены для работы только в течение определенного времени. Этим и обусловлен процесс их старения.

К общим правилам эксплуатации аккумуляторов можно отнести следующие:

Во-первых, на этикетке нужно найти сведения о его электрохимической системе (типе) и запомнить ее. Возможны пять вариантов:

- SEALED LEAD ASID BATTERY – (или сокращенно SLA) герметичный свинцово-кислотный аккумулятор - используется в переносных сотовых телефонах типа Attashe с выходной мощностью 3 Вт;
- NICKEL-CADMIUM BATTERY - (или сокращенно NiCd) никель-кадмиевый аккумулятор – используется в портативных сотовых телефонах;
- NICKEL METAL-HYDRIDE BATTERY - (или сокращенно NiMH) никель-металлогидридный аккумулятор – используется в портативных сотовых телефонах;
- LITHIUM ION BATTERY - (или сокращенно Li-ion) литий-ионный аккумулятор – используется в портативных сотовых телефонах;
- LITHIUM POLIMER BATTERY - (или сокращенно Li-Pol) литий-полимерный аккумулятор – используется в последних новинках на рынке сотовых телефонов.

Основные правила обращения с аккумуляторами:

- Для увеличения срока службы новые никель-кадмиевые (NiCd) и никель-металлогидридные (NiMH) аккумуляторы поставляются в разряженном состоянии, поэтому необходимо провести полный заряд аккумулятора перед его использованием. Как правило, первый заряд должен

быть длительным, несмотря на зеленый свет зарядного устройства. Аккумулятор достигнет максимальной емкости заряда через 2-3 цикла полного разряда / заряда. Это правило справедливо и для Li-ion аккумуляторов, но поставляются они в полузаряженном состоянии (по информации о Li-ion аккумуляторах фирмы Motorola).

- Для увеличения срока службы и электрической емкости NiCd или NiMH аккумулятора рекомендуется полностью его разрядить (в телефоне или зарядном устройстве) перед последующим зарядом. Хорошим правилом будет оставление телефона включенным до тех пор, пока он сам не отключится из-за разряда аккумулятора. После этого произведите полный заряд аккумулятора. Не пытайтесь разряжать аккумулятор другими способами.
- Если у Вас по той или иной причине нет возможности полностью разрядить NiCd или NiMH аккумулятор перед зарядом, то сделайте это позднее. Рекомендуется хотя бы раз в неделю производить циклы полной разрядки - зарядки, например в выходные дни.
- Всегда носите с собой запасной аккумулятор. Это позволит Вам постоянно доводить аккумулятор, находящийся в телефоне до полного разряда и тем самым увеличить срок его эксплуатации.
- Время заряда зависит от типа аккумулятора и типа зарядного устройства (обратитесь за более подробными сведениями к руководству по эксплуатации своего телефона). Время заряда также зависит от температуры окружающего воздуха, оптимальная температура от 15°C до 25°C градусов. Никогда не заряжайте теплый или холодный аккумулятор. Сделайте выдержку времени для достижения аккумулятором комнатной температуры.

Время работы с заряженным аккумулятором зависит от многих факторов: реальной емкости аккумулятора, интенсивности разговоров, расстояния, на котором телефон находится от базовой станции, режима работы телефона, температуры окружающей среды.

- Используйте аккумулятор только для питания телефона, но не для каких-либо других целей.
- Никогда не используйте других зарядных устройств, кроме как из комплекта поставки телефона, или купленных у оператора сотовой связи.
- Для увеличения срока службы и сохранения электрической емкости аккумулятора не рекомендуется оставлять его в холодных или теплых местах, например, в автомобилях - летом и зимой, около радиаторов отопления. Всегда храните аккумулятор при температуре от 15°C до 25°C градусов (предельное значение температуры, как правило, от -10°C до 45°C). Телефон с холодным аккумулятором временно может не работать, даже, если он полностью заряжен.

- Не допускайте соприкосновения и замыкания электрических контактов аккумулятора с металлическими предметами. Это огнеопасно и приведет к его повреждению. Храните аккумулятор в защитной упаковке.
- Для надежной работы контакты аккумулятора и соответствующие контакты в телефоне должны быть чистыми и не иметь следов окисления. При необходимости удалите следы окисления ластиком.
- Не бросайте использованный аккумулятор в огонь, т.к. он может взорваться.

Библиографический список

1. Аккумуляторы, батарейки и другие источники питания [Электронный ресурс] - Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.powerinfo.ru
2. Москатов, Е. А. Электронная техника. Начало. [Электронный ресурс] / Е.А. Москатов. - Электрон. дан. - Таганрог, 3-е изд., перераб. и доп., 2010. - 204 с. – Режим доступа: http://moskatov.narod.ru/Books/Electronic_technics_3.zip
3. Смирнов, А.В. Цифровое телевидение от теории к практике. [Электронный ресурс] / А.В. Смирнов, А.Е. Пескин. - Электрон. дан. -М.: Горячая линия - Телеком 2005. - 352 с. – Режим доступа: http://radiolib.70mb.ru/other.html
4. Хрусталев, Д. А. Аккумуляторы. [Электронный ресурс] / Д.А Хрусталев. - Электрон. дан. - М: Изумруд, 2003. — 224 с. – Режим доступа: http://e-books14.narod.ru/books/Hrustalev.doc
5. Шишмарев, В.Ю. Электрорадиоизмерения. - М.: Академия, 2009. – 240 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

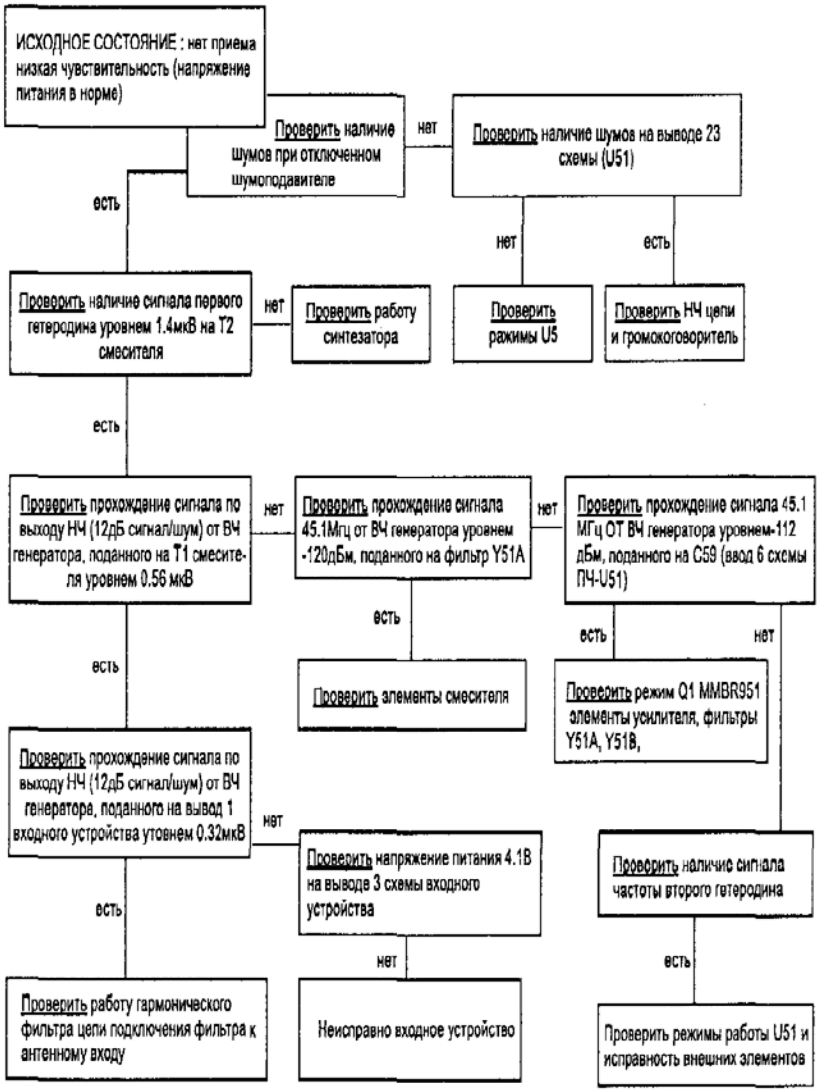


Рис. П1.1. Методика обнаружения неисправностей приёмника

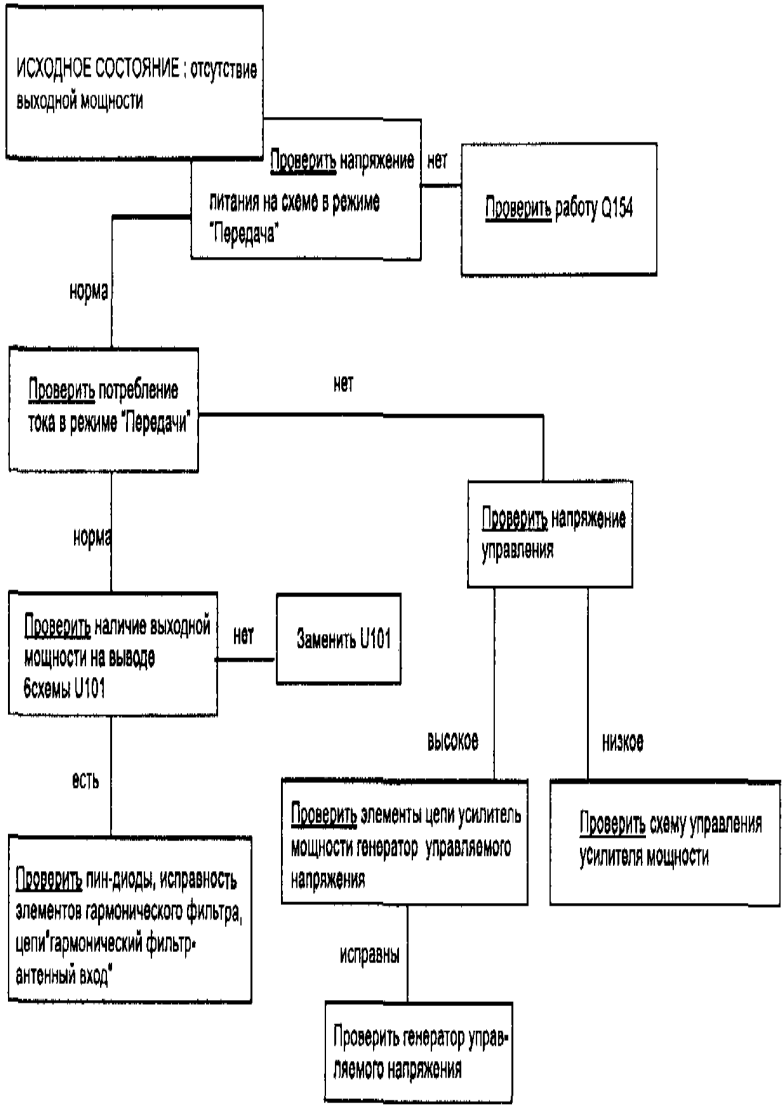


Рис. П1.2. Методика обнаружения неисправностей передатчика при отсутствии выходной мощности

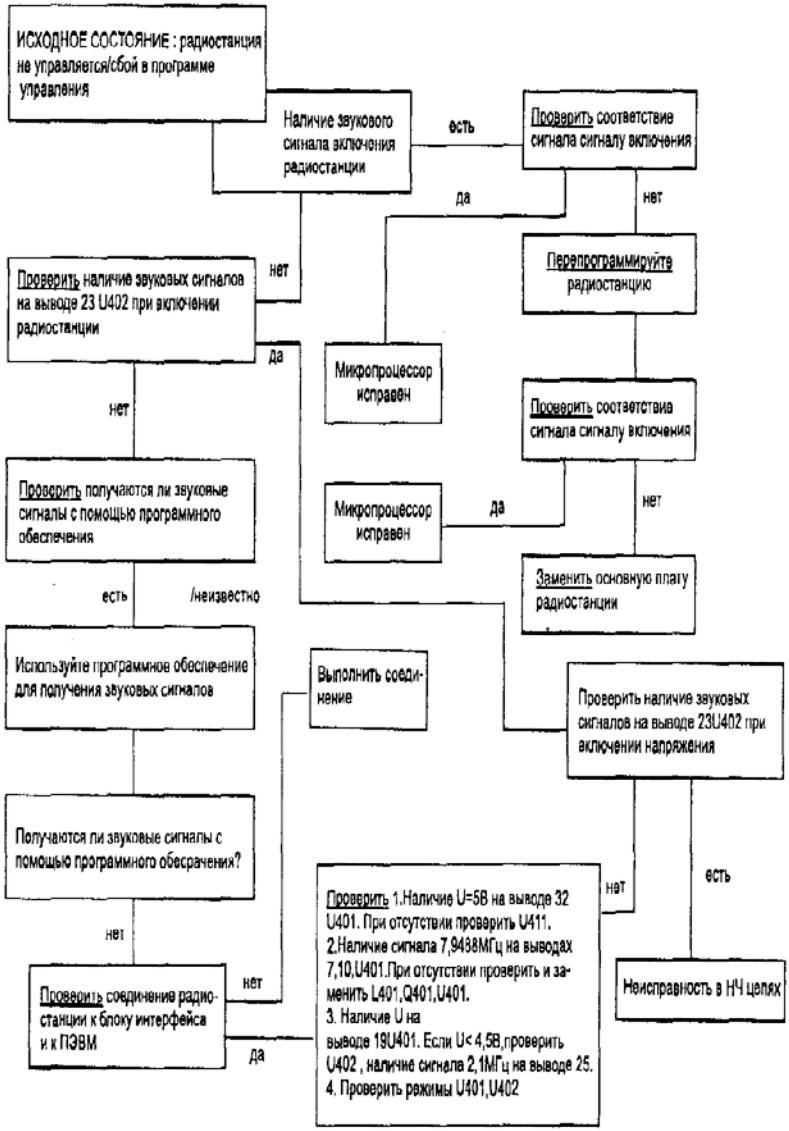


Рис. П1.3. Методика обнаружения неисправностей микропроцессора

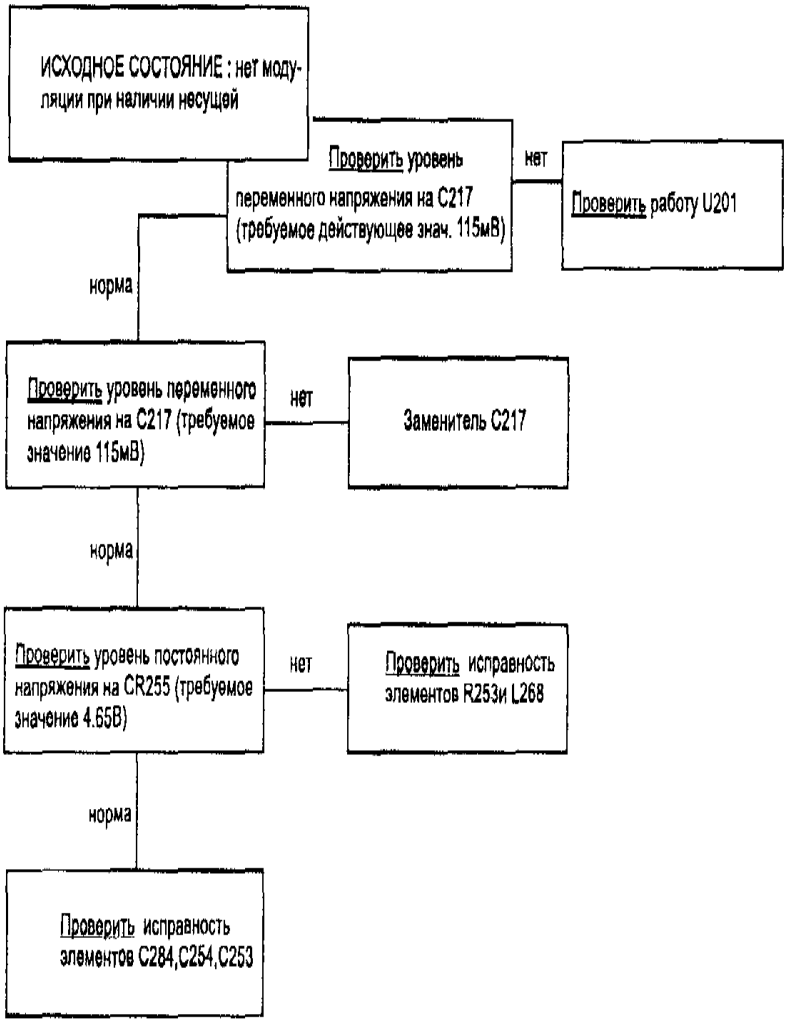


Рис. П1.4. Методика обнаружения неисправностей передатчика при отсутствии модуляции и наличии несущей

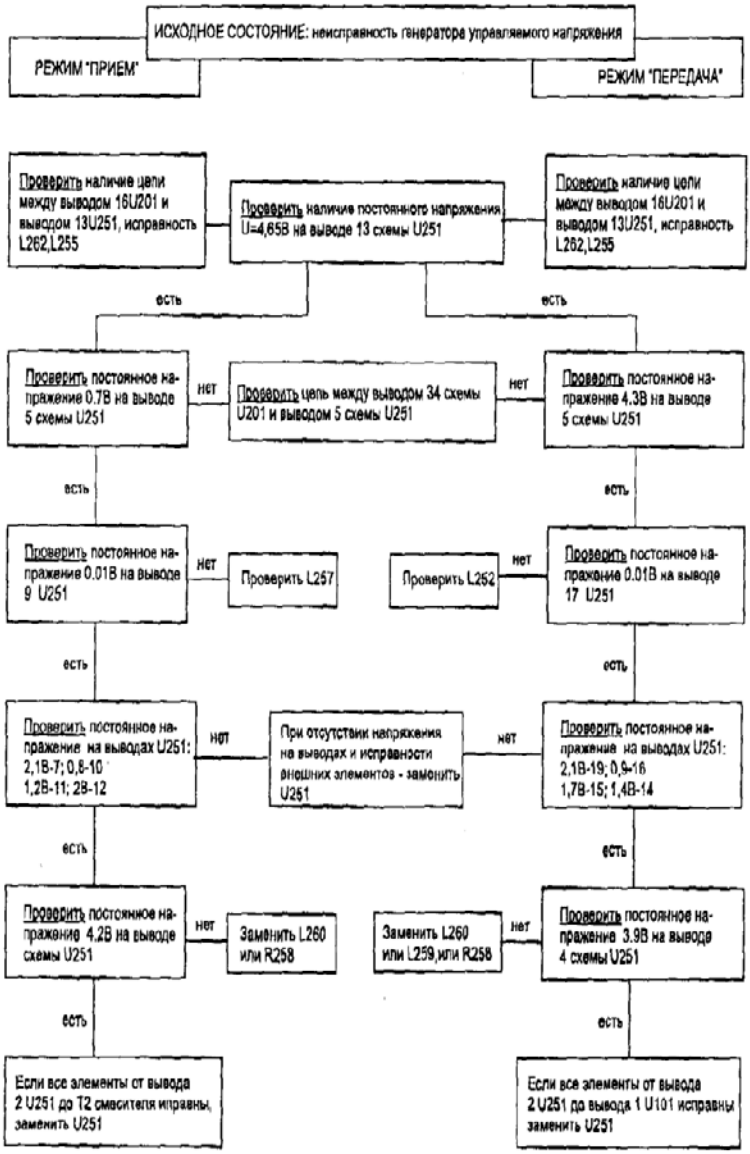


Рис. П1.5. Методика обнаружения неисправностей в генераторе управляемого напряжения

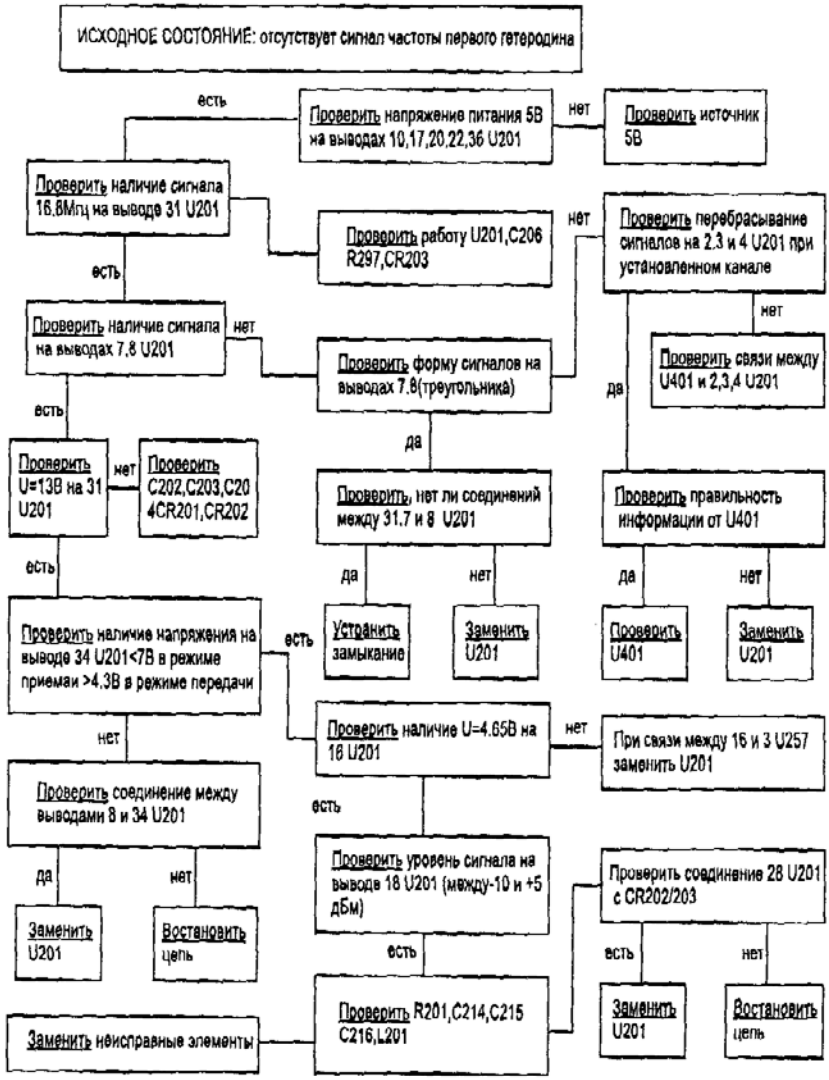


Рис. П1.6. Методика обнаружения неисправностей синтезатора

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2.1

Режимы по постоянному току микросхемы U_{51}

Схема второй промежуточной частоты												
Выводы микросхемы	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Постоянное U, В	⊥	5	2,5	4,6	1,5	0,75	4,4	3,0	3,4	2,6	0,5…3	5
Выводы микросхемы	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
Постоянное U, В	7,5	7,5	5/0	3…5	5	5/0	3…5	2,4	2,5	0	2,4	1,8
Выводы микросхемы	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**
Постоянное U, В	3,7	0,65	5	2,5	2,4	0,5	2,0	4,3	4,3	5	2,5	3,8

Таблица П2.2

Режимы транзисторов по постоянному току

Транзистор	**Постоянное напряжение, В, на выводах транзисторов**					
	Q51	Q151	Q152	Q154	Q155	Q156
	MMBR941	MMBT3904	MYD2955	M41L03	MMBT3904	MMBT3904
Эмиттер	0	1,65 (В) 0,75 (Н)	$U_{пит}$	$U_{пит}$	0	2,91 (В) 1,11 (Н)
Коллектор	2,9	—	4,52 (В) 2,0 (Н)	2,97 (В) 1,85 (Н)	2,97 (В) 1,85 (Н)	$U_{пит}$
База	0,7	2,31 (В) 1,4 (Н)	—	—	—	—

Таблица П2.3

Режимы по постоянному току микросхемы U_{201}

Схема синтезатора частоты												
Выводы микросхемы	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Постоянное U, В	⊥	1,5	1,5	—	2,5	Н.И.	—	—	2,5	5	2,0	1,2
Выводы микросхемы	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
Постоянное U, В	0,9…3,2	4,65	Н.И.	4,65	5	1,5	⊥	5	1,5	5	Н.И.	Н.И.
Выводы микросхемы	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**
Постоянное U, В	4,65	4,65	2,5	3…10	3…10	Н.И.	12,6	Н.И.	Н.И.	0,7/4	—	5

Таблица П2.4

Режимы по постоянному току микросхемы U_{251}

Схема генератора управляемого напряжения												
Выводы микросхемы	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Постоянное U, В	⊥	4,2	5	4,2 ПРД	0,7/4	5	2,1	⊥	0,01	0,08	2,0	1,2
Выводы микросхемы	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
Постоянное U, В	4,65	1,4 ПРД	1,7 ПРД	4,65	0,01 ПРД	⊥	—	⊥	—	⊥	—	⊥

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
ВВЕДЕНИЕ 4
ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА БЫТОВОГО И ОФИСНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА, ПРИЧИНЫ ВОЗМОЖНЫХ ОТКАЗОВ 6
1.1. Общие сведения об офисной и бытовой технике 6
1.2. Материалы, используемые в бытовой и офисной технике 10
1.3. Простейшие полупроводниковые приборы и устройства 13
1.4. Причины возникновения и проявления множественных отказов и неисправностей 39
ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЙ, СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ 46
2.1. Сущность измерений, основные понятия и определения 46
2.2 Общие сведения об электроизмерительных приборах 53
2.3 Способы проверки электрорадиоэлементов с помощью омметра 68
ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ БЫТОВОГО И ОФИСНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ 76
3.1. Общие сведения о химических источниках тока и краткая характеристика аккумуляторных батарей 76
3.2 Элементы питания для мобильных телефонов 86
Библиографический список 91
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 92
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 98

Учебное издание

Алексей Валентинович Ударатин
Олег Иванович Степанов

УСТРОЙСТВО И РЕМОНТ БЫТОВОГО И ОФИСНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

I часть

Учебное пособие

Редактор Л.А. Перерукова

Подписано в печать 4.05.2011 г.
Формат 60x90/16. Бумага офисная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,2.
Тираж экз. Заказ .

Отпечатано: РИО ВоГТУ
160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15.