

УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Проблемы и решения



Владимир Гуревич



«Инфра-Инженерия»

В.И. ГУРЕВИЧ

**УСТРОЙСТВА
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

Проблемы и решения

Учебно-практическое пособие

**Инфра-Инженерия
Москва
2013**

УДК 621.316.925(075.8)

ББК 31.27-05

Г95

Гуревич В.И.

Г 95 Устройства электропитания релейной защиты: проблемы и решения. - М.: Инфра-Инженерия, 2013. - 288 с.

ISBN 978-5-9729-0057-2

В книге рассмотрены устройство, принцип действия и проблемы вторичных источников электропитания микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ), аккумуляторных батарей, зарядно-подзарядных агрегатов, источников бесперебойного питания, устройств резервирования систем постоянного тока. Рассматриваются также проблемы контроля изоляции в системах постоянного тока, проблемы мониторинга целостности цепи подстанционной батареи, проблемы провалов напряжения и методы борьбы с ними и многие другие вопросы, возникающие в практике эксплуатации систем оперативного тока и собственных нужд подстанций и электростанций.

Для облегчения понимания текста энергетиками, работающими с описываемым электронным оборудованием, но не являющимися специалистами в области электроники, приведено подробное описание устройства и принципов действия транзисторов, тиристоров, оптронов, реле.

Книга рассчитана на инженеров и техников, занимающихся эксплуатацией систем оперативного постоянного тока и релейной защиты, а также может быть полезна преподавателям и студентам соответствующих дисциплин средних и высших учебных заведений.

© Гуревич В.И., 2013

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2013

ISBN 978-5-9729-0057-2

АВТОР



Владимир Игоревич Гуревич родился в г. Харькове (Украина) в 1956 г.

В 1978 г. окончил факультет электрификации Харьковского национального технического университета им. П. Василенко по специальности «Электроснабжение сельского хозяйства». С 1980 по 1983 г. учился в аспирантуре.

В 1986 г. защитил кандидатскую диссертацию в Харьковском национальном техническом университете по специальности «Электрические аппараты».

Работал преподавателем, и.о. доцента Харьковского национального технического университета им. П. Василенко, главным инженером и директором научно-технического предприятия «Инвентор» (г. Харьков). Руководил несколькими проектами по разработке новых видов аппаратуры, выполняемыми по заказам министерств оборонных отраслей промышленности СССР. После распада СССР занимался разработкой и организацией производства устройств автоматики для электроэнергетики. В настоящее время работает в Электрической компании Израиля в должности инженера-специалиста, начальника сектора Центральной электрической лаборатории.

С 2006 г. почетный профессор Харьковского национального технического университета им. П. Василенко. С 2007 г. эксперт комитета ТС-94 Международной электротехнической комиссии (МЭК).

В. Гуревич автор 8 книг (4 из которых изданы в США), свыше 120 изобретений и 150 научно-технических статей.

Глава 1. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

1.1. Полупроводниковые материалы и приборы

Как известно, все вещества в природе по электропроводности делятся на три большие группы: проводники (обычно металлы) с сопротивлением 10^{-6} - 10^{-3} Ом·см; диэлектрики с сопротивлением 10^9 - 10^{20} Ом·см; полупроводники (многие природные и искусственные кристаллы), занимающие огромный промежуточный диапазон значений удельного сопротивления.

Главной особенностью кристаллических веществ является характерная упорядоченная упаковка их атомов в своеобразные кубики – кристаллы. Каждый кристалл имеет несколько плоских симметричных поверхностей, а его внутреннее строение определяется закономерным взаимным расположением атомов, которое носит название *кристаллической решетки*. Как по своему внешнему виду, так и по внутреннему строению любой кристалл подобен всем другим кристаллам этого вещества. Кристаллы разных веществ различны. Например, кристалл поваренной соли имеет форму куба. Одиночный кристалл может быть как весьма большим по своим размерам, так и настолько малым, что его можно увидеть только в микроскоп. Вещества, не имеющие кристаллической структуры, называются *аморфными*. Например, стекло является аморфным, в отличие от кварца, который имеет кристаллическую структуру.

Из числа полупроводников, имеющих практическое применение в современной электронике, следует назвать германий, кремний, селен, окись меди, сульфид меди, сульфид кадмия, арсенид галлия, карборунд. Для изготовления полупроводниковых приборов, применяющихся в электронных реле, используются главным образом два первых элемента: германий и кремний.

Для того чтобы понять процессы, происходящие в полупроводниковых приборах, необходимо рассмотреть явления, происходящие в кристаллической структуре полупроводниковых материалов, которые обусловлены тем, что их атомы удерживаются в строго определенном взаимном положении относительно друг друга благодаря слабосвязанным электронам, находящимся на их внешних оболочках. Эти электроны вместе с такими же электрона-

ми соседних атомов образуют *валентные связи* между атомами. Электроны, участвующие в этих связях, называются *валентными*. В абсолютно чистом германии или кремнии при очень низких температурах нет свободных электронов, способных создать электрический ток, так как в этих условиях все четыре валентных электрона внешних оболочек каждого атома, которые могут участвовать в процессе переноса зарядов, прочно удерживаются валентными связями. Поэтому такое вещество является изолятором (диэлектриком) в полном смысле этого слова – оно совершенно не пропускает электрический ток.

При повышении температуры, благодаря тепловому движению, некоторые валентные электроны отрываются от своих связей и могут перемещаться по кристаллической решетке. Такие электроны называются свободными. Валентная связь, от которой оторван электрон, называется дыркой. Она обладает свойствами положительного электрического заряда, в противоположность электрону, имеющему отрицательный электрический заряд. Чем выше температура, тем больше количество освобожденных электронов, способных перемещаться по кристаллической решетке, тем больше проводимость вещества.

Перемещаясь по кристаллической решетке, свободные электроны могут встретить дырки – валентные связи, в которых не хватает электронов, – и заполнить эти связи. Это явление носит название *рекомбинации*. При нормальной температуре в массе полупроводникового материала непрерывно появляются свободные электроны и происходят рекомбинации электронов и дырок.

Если кусок полупроводникового материала поместить в электрическое поле, например, приложив положительный и отрицательный потенциалы к его концам, то электроны будут двигаться через кристаллическую решетку к положительному электроду, а дырки – к отрицательному. Проводимость полупроводника можно значительно улучшить путем введения в него специально подобранных примесей, металлических или неметаллических. В кристаллической решетке атомы этих примесей будут замещать некоторое количество атомов полупроводников. Напомним, что внешние оболочки атомов германия и кремния содержат по четыре валентных электрона, а электроны могут быть вырваны только из внешней оболочки атома. В свою очередь, добавление электронов может происходить

тоже только на внешнюю оболочку, причем максимально возможное число электронов на внешней оболочке равно восьми.

Если атом примеси имеет большее число валентных электронов, чем это требуется для образования валентных связей с соседними атомами полупроводника, то в кристаллической решетке появляются дополнительные свободные электроны, которые могут по ней перемещаться. В результате электропроводность полупроводника улучшается. Такие примеси называются *донорными*, поскольку они «отдают» электроны полупроводнику. Так как германий и кремний являются элементами четвертой группы периодической таблицы химических элементов, то для них донорными примесями могут быть элементы пятой группы, у которых на внешней оболочке атомов находится по пять электронов. К таким донорным примесям относятся фосфор, мышьяк, сурьма.

Если же атомы примеси имеют меньшее число электронов, чем это необходимо для образования валентных связей с окружающими его атомами полупроводника, то некоторые из этих связей окажутся незаполненными, в них образуются дырки. Примеси такого рода называются *акцепторными*, поскольку они поглощают свободные электроны. Для германия и кремния акцепторными примесями являются элементы третьей группы периодической таблицы химических элементов, у которых внешние оболочки атомов содержат по три валентных электрона. К акцепторным примесям относятся бор, алюминий, галлий и индий.

В кристаллической структуре чистого полупроводника все валентные связи соседних атомов оказываются полностью заполненными, и появление свободных электронов и дырок возможно только благодаря деформации кристаллической решетки, возникающей под действием теплового или иного излучения. Вследствие этого при нормальных условиях проводимость чистого полупроводника весьма мала.

В случае введения даже небольшого количества донорной примеси четыре электрона атома примеси совместно с таким же количеством электронов соседних атомов полупроводника образуют с последними заполненные валентные связи. Пятый электрон каждого атома примеси оказывается «избыточным», «лишним», вследствие чего может свободно перемещаться по кристаллической решетке.

При введении акцепторной примеси между каждым атомом примеси и соседними атомами полупроводника получаются только три заполненные валентные связи. Для заполнения четвертой связи не хватает одного электрона. Эта валентная связь оказывается свободной. В результате образуется дырка. Дырки могут перемещаться по кристаллической решетке как положительные заряды. Правда, при этом происходит перемещение не самого атома примеси, который имеет фиксированное и неизменное положение в кристаллической структуре полупроводника, а незаполненной валентной связи. Происходит это следующим образом. Как известно, элементарным носителем электрического заряда является электрон. Под действием различных причин электрон может вырваться из заполненной валентной связи, оставив дырку, которая представляет собой незаполненную валентную связь и *проявляет себя как положительный заряд, численно равный отрицательному заряду электрона*. Электрон другого атома вблизи этой дырки под действием силы притяжения ее положительного заряда может «впрыгнуть» в дырку. При этом происходит рекомбинация дырки и электрона, когда их заряды взаимно нейтрализуются и валентная связь заполняется. Дырка в данном месте кристаллической решетки полупроводника перестает существовать. В свою очередь, новая дырка, возникшая в той валентной связи, откуда вырвался электрон, может быть заполнена каким-либо другим электроном, также оставившим после себя дырку. Таким образом, перемещение электронов в кристаллической решетке полупроводника с акцепторной примесью и рекомбинацию их с дырками можно рассматривать как перемещение дырок. Для наглядности можно представить себе концертный зал, в котором по какой-то причине оказалось незаполненными несколько мест в первом ряду. И вот, зрители со второго ряда перемещаются на свободные места в первом ряду. Соответственно, их места занимают зрители третьего ряда и т.д. При этом можно сказать, что свободные места как бы перемещаются к концу зрительного зала, хотя физически все кресла остаются привинченными к полу. Движение дырок в кристалле очень похоже на движение этих свободных мест.

Полупроводники, электропроводность которых улучшилась благодаря образованию избытка свободных электронов при введении примеси, называются полупроводниками с *электронной проводимостью*, или сокращенно *полупроводниками n-типа*.

Полупроводники, электропроводность которых обуславливается в основном движением дырок, называются полупроводниками с дырочной проводимостью, или сокращенно *полупроводниками р-типа*.

Практически не существует полупроводников с чисто электронной или чисто дырочной проводимостью. В полупроводнике *n-типа* электрический ток частично обуславливается движением дырок, возникающих в его кристаллической решетке вследствие выхода электронов из некоторых валентных связей, а в полупроводниках *p-типа* ток частично создается движением электронов. Вследствие этого полупроводники *n-типа* более правильно характеризовать как полупроводники, в которых *основными носителями тока* являются электроны, а полупроводники *p-типа* – как полупроводники, в которых основными носителями тока являются дырки. Следовательно, полупроводник относится к тому или другому типу в зависимости от того, какой вид носителя тока является в нем основным. Исходя из этого противоположный носитель заряда для полупроводника данного вида является *неосновным носителем*.

Следует иметь в виду, что любой полупроводник можно сделать полупроводником *n-* или *p-типа* путем добавления в него соответствующих примесей. Причем для получения необходимой проводимости достаточно ввести чрезвычайно малое количество примеси, примерно один атом примеси на 10 млн. атомов полупроводника. Все это налагает особые требования на чистоту очистки исходного полупроводникового материала и точность дозировки введения примеси. Следует учесть, что скорость движения носителей тока в полупроводнике меньше, чем в проводнике. Движение электронов замедляется встречающимися на их пути препятствиями в виде неоднородностей в кристалле. Движение дырок примерно вдвое медленнее, поскольку их перемещение связано с перескоком электронов в незаполненные валентные связи. Подвижность электронов и дырок в полупроводнике повышается с ростом температуры, что приводит к улучшению проводимости полупроводника.

В основе принципа действия подавляющего большинства полупроводниковых приборов лежат процессы, происходящие в переходном слое, образованном в полупроводнике на границе двух зон с проводимостями различного типа, *p-* и *n-типа*. Для простоты эту границу принято называть *p-n-переходом*, или *электронно-дырочным*

переходом, что характеризует вид основных носителей зарядов в двух примыкающих друг к другу зонах полупроводника.

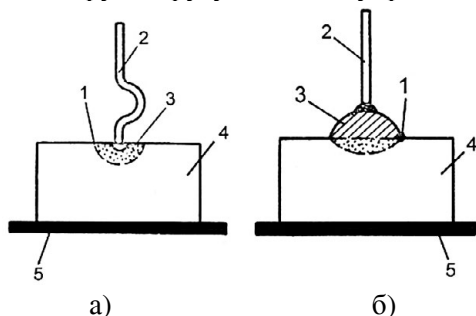


Рис. 1.1. Устройство точечного (а) и плоскостного (б) *р-п-переходов* диода:

1 – *р-п-переход*; 2 – проволочный вывод; 3 – *р-область*; 4 – кристалл *п-типа*; 5 – металлическая основа

Различают два вида *р-п-переходов*: *плоскостный* и *точечный*, схематическое условное изображение которых показано соответственно на рис. 1.1. Плоскостной переход получается путем помещения кусочка примеси, например, индия на поверхность германия *п-типа* и последующего нагревания до расплава примеси. При поддержании определенной температуры в течение определенного времени происходит диффузия части атомов примеси в пластинку полупроводника на небольшую глубину. Создается зона с проводимостью, противоположной проводимости исходного полупроводника, в данном случае *р-типа* для *п-германия*.

Точечный переход получается в результате установления плотного электрического контакта тонкого проводника, имеющего, как известно, электронную проводимость, с поверхностью полупроводника *р-типа*. Именно на этом принципе действовали первые кристаллические детекторы. Для уменьшения зависимости свойств диода от положения заостренного конца проволоочки на поверхности полупроводника и чистоты его поверхности в настоящее время точечные переходы получают путем сплавления конца тонкой металлической проволоки в поверхность полупроводника *п-типа*. Сплавление осуществляется в момент подачи кратковременного мощного импульса электрического тока. Под действием тепла, которое образуется за этот короткий промежуток времени, часть

электронов вырывается из атомов полупроводника, находящиеся вблизи точечного контакта, оставляя после себя дырки.

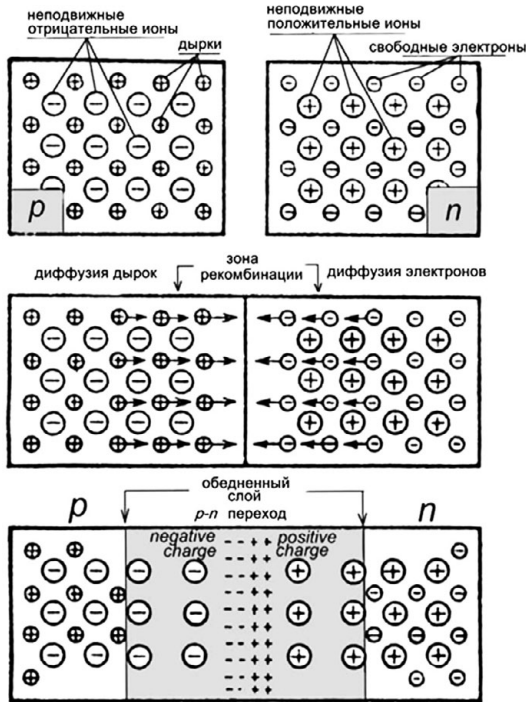


Рис. 1.2. Образование запирающего слоя при соединении полупроводников с разным типом проводимости

В результате этого небольшой объем полупроводника *n*-типа в непосредственной близости от контакта превращается в полупроводник *p*-типа (область 3 на рис. 1.1).

Каждая часть полупроводникового материала в отдельности (то есть до контактирования между собой) была нейтральной, так как имело место равновесие свободных и связанных зарядов (рис. 1.2). При этом в области *n*-типа концентрация свободных электронов велика, а дырок – мала. В области *p*-типа, наоборот, велика концентрация дырок и мала концентрация электронов. Соединение полупроводников с разной концентрацией основных носителей тока вместе вызывает *диффузию* этих основных носителей через место

соединения двух материалов: основные носители полупроводника *p-типа* – дырки – диффундируют в область *n-типа*, поскольку в ней концентрация дырок очень мала. И наоборот, электроны из полупроводника *n-типа* с высокой их концентрацией диффундируют в область *p-типа*, где их мало (рис. 1.2). При этом на границе раздела двух полупроводников с каждой стороны образуется тонкая зона с проводимостью, противоположной проводимости исходного полупроводника. В результате, на границе (которая называется *p-n-переходом*), возникает пространственный заряд, создающий электрическое поле (так называемый потенциальный барьер), препятствующий протеканию основных носителей тока после достижения состояния равновесия).

Характерной особенностью *p-n-перехода* является резко выраженная зависимость его электрической проводимости от полярности приложенного к нему внешнего напряжения, чего никогда не наблюдается в полупроводнике одной проводимости. Если приложенное извне напряжение создает электрическое поле, совпадающее с диффузионным, то переход будет оставаться в запертом положении и ток через него протекать не будет. Более того, при этом усиливается движение неосновных носителей, что ведет к расширению запирающего слоя и повышению потенциального барьера для основных носителей. В этом случае говорят, что переход *смещен в обратном направлении*. Движение неосновных носителей приводит к возникновению небольшого тока через запертый переход. Это так называемый *обратный ток* диода, или *ток утечки*. Чем он меньше, тем диод лучше. При изменении полярности приложенного к переходу напряжения растет число основных носителей заряда в зоне перехода, которые нейтрализуют пространственный заряд запирающего слоя, уменьшая его ширину и снижая потенциальный барьер, который препятствовал движению основных носителей тока через переход. При этом говорят, что переход *смещен в прямом направлении*. Напряжение, необходимое для преодоления потенциального барьера в прямом направлении, составляет для германиевых диодов около 0,2 В, а для кремниевых – 0,6-0,7 В.

Для преодоления потенциального барьера в обратном направлении требуются десятки, а иногда и тысячи вольт. Если этот барьер будет преодолен, происходит необратимое разрушение перехода, его *пробой*.

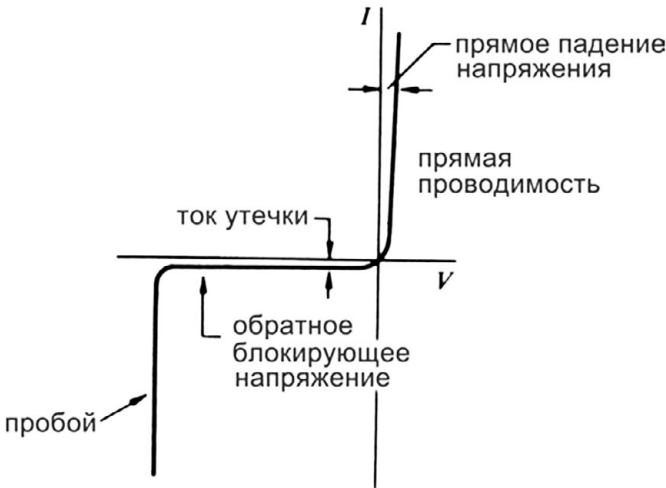


Рис. 1.3. Вольтамперная характеристика одиночного *p-n-перехода* (диода)

Поэтому обычно для переходов того или иного прибора указывается предельное значение обратного напряжения, а также прямого тока.

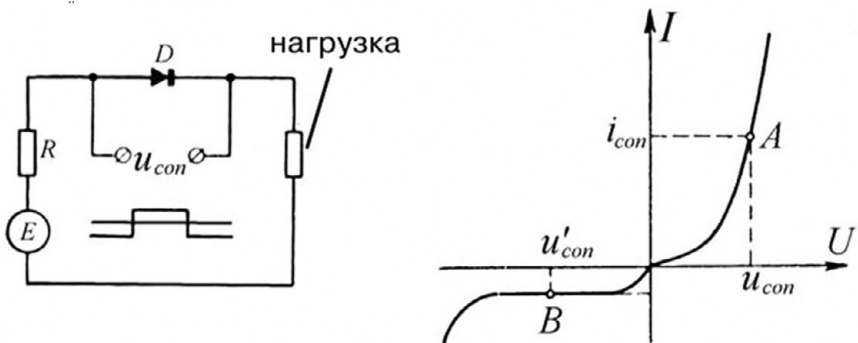


Рис.1.4. Диодный коммутатор сигналов и изменение положения рабочей точки диода на статической вольт-амперной характеристике в процессе работы

На рис. 1.3 приведена примерная вольтамперная характеристика одиночного *p-n-перехода*, то есть зависимость тока через него от

полярности и величины внешнего напряжения, которое прикладывается к переходу. Величины токов в прямом и обратном направлении (до области пробоя) отличаются между собой в десятки-сотни раз. Как правило, плоскостные переходы выдерживают большие напряжения и токи, чем точечные.

1.2. Принцип действия транзистора

Идея об использовании полупроводников была выдвинута еще перед второй мировой войной, но знания о том, как они работали, были весьма скудными, и процесс производства чистых полупроводников был очень сложным.

В 1945 г. вице-президентом известной корпорации Bell Laboratories была создана группа исследователей, которой было поручено исследование возможностей применения полупроводников в электронике. Группу в составе Уолтера Браттэйна, Джона Бардина, и других физиков, работавших в области квантовой теории в твердых телах, возглавил Уильям Шокли.

В 1947 г. Уильям Шокли с коллегами Джоном Бардином и Уолтером Браттэйном сделал первое успешное устройство из полупроводника для усиления электрического сигнала. Они назвали его *транзистором* (производное от "**трансформатора**" и "**резистора**"). Дальнейшее развитие этого устройства и технологии его производства привело к созданию кремниевого чипа, без которого сегодня немыслимо существование многих областей техники. За создание транзистора Шокли, Бардин, и Браттэйн были удостоены в 1956 г. Нобелевской премии.

Из рис. 1.5 видно, что транзистор представляет собой, по существу, два полупроводниковых диода, включенных встречно и имеющих общую область. Крайние два слоя полупроводника (один из них называется «эмиттером» а другой «коллектором») имеют проводимость *p-типа* с высокой концентрацией дырок, а средний слой (называемый «базой») – проводимость *n-типа* со слабой концентрацией электронов.

В электрических схемах к первому (эмиттерному) *p-n-переходу* приложено небольшое напряжение, поскольку этот переход включен в прямом (пропускном) направлении, а ко второму (коллектор-

ному) *n-p-переходу* приложено значительно большее напряжение в обратном (запорном) направлении.

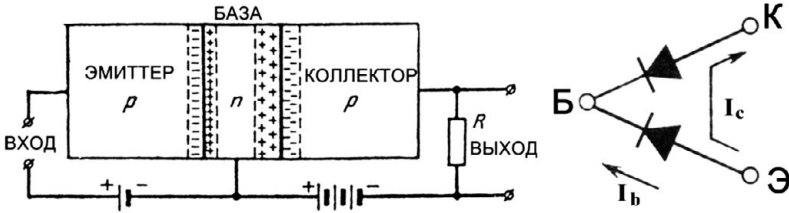
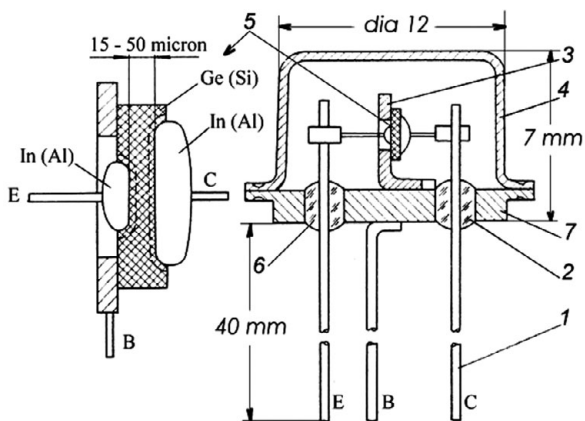
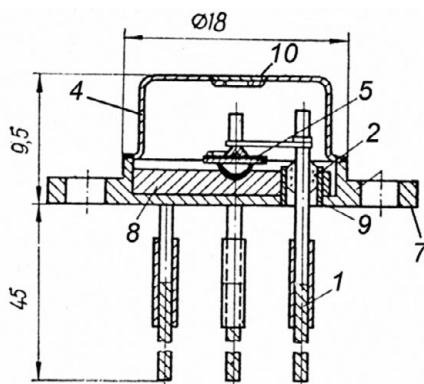


Рис. 1.5. Схема включения и принцип действия транзистора

Коллекторный переход остается запертым до тех пор, пока нет тока в цепи эмиттер – база. При этом сопротивление всего кристалла (от эмиттера до коллектора) очень высоко. Но как только входная цепь (рис. 1.5) будет замкнута, дырки из эмиттера как бы впрыскиваются («эмиттируют») в базу, быстро насыщая ее (включая область, прилегающую к коллектору). Поскольку концентрация дырок в эмиттере намного больше, чем концентрация электронов в базе, после рекомбинации в области базы остается еще очень много свободных дырок, которые под действием высокого напряжения (единицы – десятки вольт), приложенного между базой и коллектором, свободно преодолевают запирающий слой между базой и коллектором. Повышенная концентрация дырок в запертом коллекторном переходе приводит к тому, что сопротивление этого перехода резко падает, и он начинает проводить ток в обратном направлении. Высокая напряженность электрического поля в переходе «база-коллектор» обуславливает очень высокую чувствительность сопротивления этого перехода в обратном (запертом) состоянии к концентрации в нем дырок. Поэтому даже очень незначительное количество дырок, инжектированных с эмиттера под действием слабого входного тока, приводит к резким изменениям проводимости всей структуры и появлению значительного тока в цепи коллектора. Отношение тока коллектора к току базы называется коэффициентом усиления транзистора. У маломощных транзисторов этот коэффициент имеет значения десятков-сотен, а у мощных транзисторов – единиц-десятков.



а)



б)

Рис. 1.6. Транзисторы производства 70-х годов:

а) маломощный; б) мощный:

- 1 – выводы; 2 и 6 – стеклянные изоляторы;
- 3 – кристаллодержатель; 4 – защитный колпачок; 5 – кристалл кремния (германия); 7 – фланец; 8 – медный теплоотвод; 9 – коваровая втулка; 10 – отверстие для удаления газов после сварки корпуса и диск для герметизации

1.3. Некоторые другие типы транзисторов

В 70-х годах прошлого века транзисторная техника развивается очень бурно. Появляются сотни типов транзисторов, новые их разновидности (рис. 1.6), в том числе и с проводимостью обратного типа, то есть *n-p-n*, а также *однопереходные транзисторы* (из-за наличия только одного перехода такой транзистор иногда называют *двухбазовым диодом*, рис. 1.7).

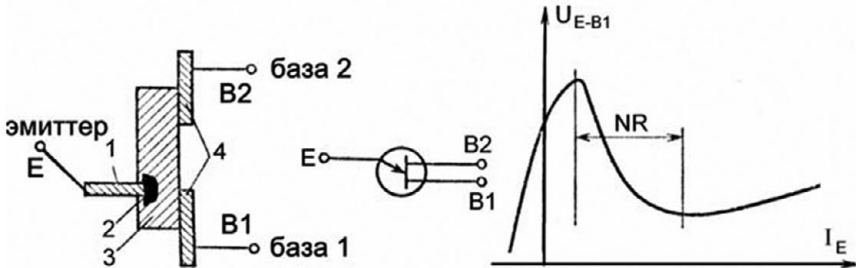
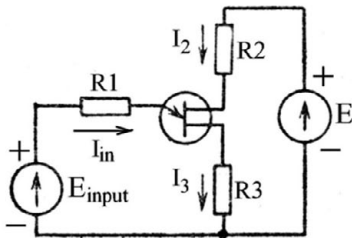


Рис. 1.7. Однопереходный транзистор (или двухбазовый диод) и схема его включения:

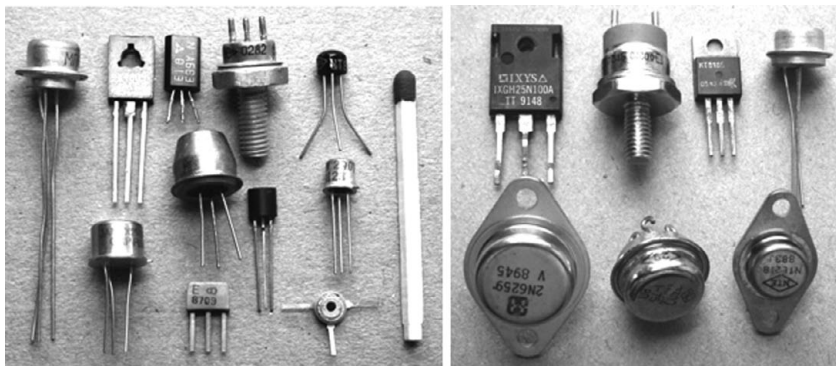


1 – стержень *p*-типа; 2 – *p-n*-переход; 3 – пластина *n*-типа; 4 – омические контакты; NR – область отрицательного сопротивления

Это транзистор с одним переходом, созданный путем сплавления стерженька из *p*-материала в монокристаллическую пластинку из материала *n*-типа (кремний). К пластинке присоединены два вывода, играющие роль баз. Стерженек, расположенный несимметрично относительно баз, называется эмиттером. Сопротивление между базами составляет около нескольких тысяч Ом. Обычно база B_2 смещена в положительную сторону относительно базы B_1 . При подведении к эмиттеру соответствующего положительного напряжения протекает большой ток эмиттера (при небольшом падении напряжения между эмиттером E и базой B_1). При этом на эмиттерной характеристике транзистора наблюдается область отрицательно-

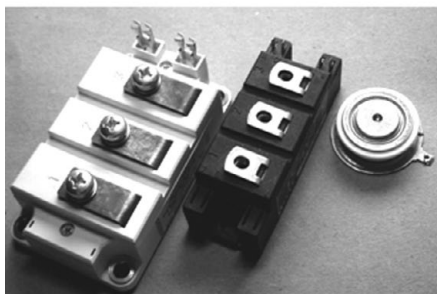
1. Элементная база

го сопротивления (NR на рис. 1.7), в которой транзистор очень быстро скачком отпирается, то есть работает как реле. Вообще-то говоря, современные транзисторы (рис. 1.8) характеризуются таким разнообразием, что описать их все в рамках данной книги, посвященной реле, просто невозможно. Придется ограничиться описанием только нескольких самых распространенных типов современных полупроводниковых приборов и реле на их основе.



а)

б)



в)

Рис. 1.8. Так выглядят современные транзисторы малой (а), средней (б) и большой (в) мощности

Помимо описанных выше транзисторов, называемых *биполярными* (рис. 1.9), большое распространение получили в последнее время так называемые Field Effect Transistors (FET) – *полевые транзисторы* (рис. 1.10). Первую попытку изготовления маломощного полевого транзистора предпринял все тот же Уильям Шокли еще в 1948 г. Но потребовались годы дополнительных исследований для того,

чтобы в 1952 г. создать работающий FET с управляющим *p-n-переходом*, который назывался в то время “unitron” (Unipolar Transistor).

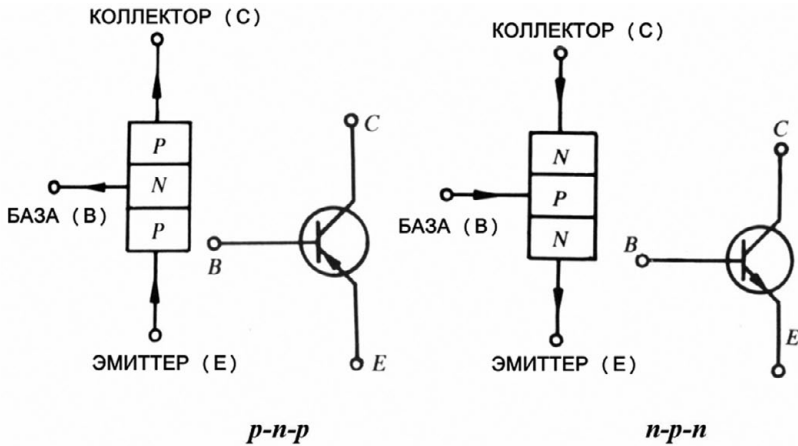


Рис. 1.9. Структура и условное обозначение на схемах биполярных транзисторов *p-n-p*- и *n-p-n*-типов

Такой транзистор представляет собой полупроводниковый трехэлектродный прибор, в котором управление током, создаваемым направленным движением носителей заряда одного знака между двумя электродами, достигается с помощью электрического поля (отсюда и название «полевые»), приложенного к третьему электроду. Электроды, между которыми протекает рабочий ток, носят название *истока* и *стока*, причем истоком считается тот электрод, через который носители втекают в прибор. Третий электрод называется *затвором*. Изменение величины рабочего тока в униполярном транзисторе осуществляется путем изменения эффективного сопротивления токопроводящего участка, полупроводникового материала между истоком и стоком, называемого *каналом*. Это изменение производится путем уменьшения или увеличения области δ (рис. 1.10). Увеличение напряжения начального смещения перехода приводит к расширению области обедненного слоя. В результате этого оставшаяся площадь сечения электропроводного канала в кремнии уменьшается и транзистор запирается. И, наоборот, при

уменьшении величины запирающего напряжения на затворе область 5, обедненная носителями тока, сжимается, превращаясь в острый клин. При этом увеличивается сечение электропроводного канала, и транзистор отпирается.

В зависимости от типа проводимости полупроводникового материала канала различаются униполярные транзисторы с p и n каналом. То обстоятельство, что управление величиной рабочего тока униполярных транзисторов осуществляется с помощью канала, дало им второе наименование – *канальные транзисторы*. Третье название того же самого полупроводникового прибора – *полевой транзистор* характеризует то, что управление рабочим током осуществляется электрическим полем (напряжением), а не электрическим током, как это имеет место в биполярном транзисторе. Эта последняя особенность униполярных транзисторов, дающая возможность получать очень высокое входное сопротивление приборов, исчисляемое десятками и сотнями мегом, и определила их основное распространенное название: полевые транзисторы.

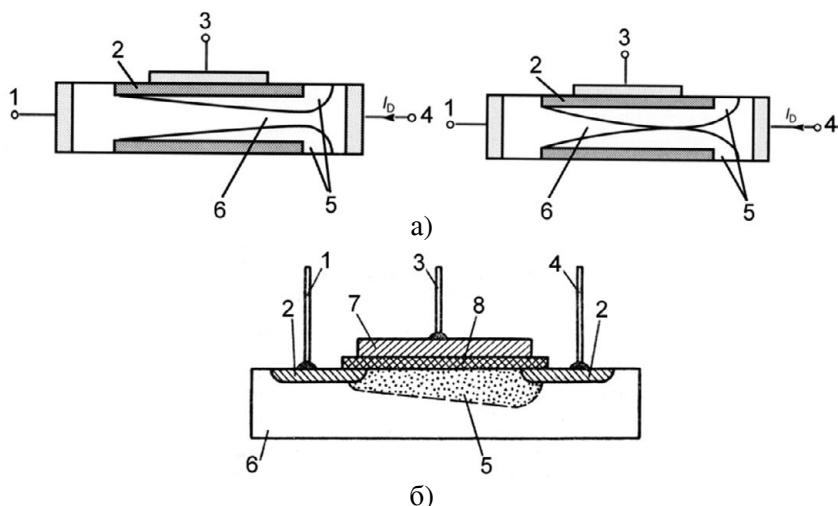


Рис. 1.10. Упрощенная структура FET (а) и MOSFET (б) транзисторов:

1 – «исток»; 2 – примесь n -типа; 3 – «gate»; 4 – «сток»; 5 – область, обедненная носителями тока; 6 – проводящий канал в кремнии p -типа; 7 – металл; 8 – двуокись кремния

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Глава 1. Элементная база	6
1.1. Полупроводниковые материалы и приборы	6
1.2. Принцип действия транзистора	15
1.3. Некоторые другие типы транзисторов	18
1.4. Основные режимы работы транзисторов	27
1.5. Логические элементы на транзисторах	35
1.6. Тиристоры	45
1.7. Оптроны	54
1.8. Электромагнитные реле	58
1.9. Полупроводниковые управляющие устройства (драйверы) для электромеханических реле	69
Глава 2. Вторичные источники электропитания	73
2.1. Сравнительная характеристика линейных и импульсных источников питания	73
2.2. Принцип действия импульсного источника питания. . .	74
2.3. Преимущества импульсных источников питания.	79
2.4. Недостатки импульсных источников питания.	81
2.5. Проблемы электролитических конденсаторов.	85
2.6. Некоторые выводы и рекомендации.	109
Литература к главе 2.	111
Глава 3. Зарядно-подзарядные агрегаты (ЗПА).	113
3.1. Назначение и режимы работы ЗПА.	113
3.2. Устройство и принцип действия классического ЗПА на тиристорах.	116
3.3. ЗПА с функцией разряда аккумуляторных батарей. . . .	124
3.4. ЗПА с двумя выходными напряжениями.	126
3.5. Принцип действия ЗПА со звеном высокой частоты. . .	129
3.6. ЗПА феррорезонансного типа.	133
3.7. Автоматическое повторное включение ЗПА.	138
3.8. Проблема большой емкости на выходе ЗПА.	144
3.9. Устройство сигнализации о выходе из строя трансформаторов цепи управления ЗПА.	147
3.10. Проблемы электромагнитных реле в ЗПА.	149
3.11. Устройство контроля исправности вентилятора в помещениях с аккумуляторами.	153
Литература к главе 3.	157

Глава 4. Источники бесперебойного питания (ИБП)	158
4.1 Разновидности источников бесперебойного питания. . .	158
4.2 Статический ключ	161
4.3 Инвертор.	163
4.4 Групповое включение ИБП	165
4.5 Проблема качества электроэнергии в сетях с ИБП	167
4.6 Электромашинные и гибридные ИБП	180
Литература к главе 4.	183
Глава 5. Аккумуляторные батареи	185
5.1 Немного истории.	185
5.2 Принцип действия свинцово-кислотных аккумуляторов.	188
5.3 Влияние сульфатации электродов на работу аккумулятора	191
5.4 Классификация свинцово-кислотных аккумуляторов. . .	193
5.5 Типы пластин свинцово-кислотных аккумуляторов. . . .	195
5.6 Типы электролитов	200
5.7 Сухозаряженные аккумуляторы.	202
5.8 Что такое емкость аккумулятора?	202
5.9 Выбор аккумуляторов	207
Литература к главе 5	209
Глава 6. Мониторинг цепи подстанционной батареи	210
6.1 Существующие методы контроля целостности цепи батареи.	210
6.2 Предлагаемый способ мониторинга целостности цепи батареи	212
6.3 Устройство для мониторинга цепи батареи на основе нелинейного шунта.	214
6.4 Использование стандартного шунта в качестве датчика контроля тока	216
6.5 Применение датчика Холла в системе контроля целостности цепи батареи.	218
6.6 Проверка системы в эксплуатации	220
Литература к главе 6	221
Глава 7. Резервирование систем оперативного постоянного тока	223
7.1 Особенности схемы резервирования с диодами	223
7.2 Защитное устройство РЗА	227

7.3	Устройство АВР для СОПТ	228
	Литература к главе 7	234
Глава 8. Проблемы с изоляцией в системах оперативного		
	постоянного тока	235
8.1	Ложные срабатывания реле при повреждении изоляции одного из полюсов системы постоянного тока	235
8.2	Проблемы контроля изоляции в СОПТ	239
	Литература к главе 8	249
Глава 9. Провалы напряжения в цепях оперативного питания		
	и собственных нужд	250
9.1	Введение	250
9.2	Провалы напряжения в сети 0,4 кВ промышленных предприятий	251
9.3	Провалы напряжения в цепях собственных нужд подстанций	260
9.4	Особенность поведения мощных контакторов в цепи переключения основного и резервного источников питания собственных нужд	261
9.5	Предлагаемое решение проблемы	264
9.6	Провалы напряжения в цепях оперативного тока	266
9.7	Особенности электропитания микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ)	271
9.8	Защита от провалов напряжения питания релейной защиты подстанции в целом	277
	Литература к главе 9	283