

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)
Волгоградский техникум железнодорожного транспорта
(ВТЖТ – филиал РГУПС)

В. М. Жирнова

Электроника и микропроцессорная техника

Раздел Электронные приборы

Учебное пособие для студентов специальности
Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог

Волгоград
2017

В.М.Жирнова, Электроника и микропроцессорная техника: учеб. пособие для студентов. /В.М.Жирнова. - Волгоград: ВТЖТ – филиал ФГБОУ ВО РГУПС, 2017. – 69с.

Предназначено для студентов специальности
Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог.

Рекомендовано УМО по среднему профессиональному образованию Волгоградской области к использованию в учебном процессе в качестве учебного пособия для учебных заведений СПО Волгоградской области.

Одобрено к изданию методическим советом ВТЖТ – филиала ФГБОУ ВО РГУПС.

Содержание

Введение	5
Тема 1.1 Физические основы полупроводниковых приборов	6
1.1.1 Собственная и примесная проводимость полупроводников.	6
1.1.2 Физические основы образования и свойства р-п перехода. Емкость р-п перехода, пробой р-п перехода	11
Тема 1.2 Полупроводниковые диоды	17
1.2.1. Конструкция диодов. Основные характеристики и параметры полупроводниковых диодов.	17
1.2.2. Классификация полупроводниковых диодов, условные обозначения. Маркировка, применение	27
Тема 1.3 Тиристоры	33
1.3.1. Конструкция тиристоров. Принцип действия тиристоров, классификация. Основные характеристики и параметры тиристоров, применение.	33
Тема 1.4 Транзисторы	39
1.4.1. Принцип действия, классификация транзисторов, условные обозначения.	39
1.4.2. Основные характеристики и параметры транзисторов	43
1.4.3. Схемы включения биполярных транзисторов. Режимы работы	48
Тема 1.5 Интегральные микросхемы	53
1.5.1. Понятие об элементах, компонентах интегральных микросхем, активные и пассивные элементы. Классификация интегральных микросхем, система обозначений.	53
Тема 1.6 Полупроводниковые фотоприборы	59

1.6.1. Фоторезисторы, фотодиоды, фототиристоры, фототранзисторы,светодиоды: их принцип действия, условные обозначения, применение. Полупроводниковые лазеры, принцип действия, применение. Оптроны, принцип действия, условные обозначения, область применения.Термисторы, принцип действия, условное обозначение, применение.	59
Список использованных источников	68

Введение

Лекции, представленные в данном учебном методическом пособии, рассчитаны для студентов второго курса специальности 23.02.06 «Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог» по дисциплине «Электроника и микропроцессорная техника». Тематика лекций составлена в соответствии с примерной программой, разработанной на основе Федерального государственного образовательного стандарта, рабочей программой и календарно-тематическим планом и включает в себя все темы раздела 1 Электронные приборы. Нумерация лекций соответствует нумерации тем в календарно-тематическом плане. Для контроля изученного материала в конце каждой лекции приведен список контрольных вопросов.

Данным учебным методическим пособием могут воспользоваться студенты и преподаватели других специальностей, изучающие раздел Электронные приборы.

Тема 1.1 Физические основы полупроводниковых приборов

1.1.1 Собственная и примесная проводимость полупроводников.

Полупроводники — это вещества, удельное сопротивление которых убывает с повышением температуры, наличием примесей, изменением освещенности. По этим свойствам они разительно отличаются от металлов. Обычно к полупроводникам относятся кристаллы, в которых для освобождения электрона требуется энергия не более 1,5 - 2 В. Типичными полупроводниками являются кристаллы германия и кремния, в которых атомы объединены ковалентной связью. Природа этой связи позволяет объяснить указанные выше характерные свойства. При нагревании полупроводников их атомы ионизируются. Освободившиеся электроны не могут быть захвачены соседними атомами, так как все их валентные связи насыщены. Свободные электроны под действием внешнего электрического поля могут перемещаться в кристалле, создавая электронный ток проводимости. Удаление электрона с внешней оболочки одного из атомов в кристаллической решетке приводит к образованию положительного иона. Этот ион может нейтрализоваться, захватив электрон. Далее, в результате переходов электронов от атомов к положительным ионам происходит процесс хаотического перемещения в кристалле места с недостающим электроном - «дырки». Внешне этот процесс хаотического перемещения воспринимается как перемещение положительного заряда. При помещении кристалла в электрическое поле возникает упорядоченное движение «дырок» - дырочный ток проводимости. В идеальном кристалле ток создается равным количеством электронов и «дырок». Такой тип проводимости называют собственной проводимостью полупроводников. При повышении температуры (или освещенности) собственная проводимость полупроводников увеличивается.

На проводимость полупроводников большое влияние оказывают примеси. Примеси бывают донорные и акцепторные. **Донорная примесь**

— это примесь с большей валентностью. При добавлении донорной примеси в полупроводнике образуются лишние электроны. Проводимость станет электронной, а полупроводник называют полупроводником n-типа. Например, для кремния с валентностью $n = 4$ донорной примесью является мышьяк с валентностью $n = 5$. Каждый атом примеси мышьяка приведет к образованию одного электрона проводимости.

Акцепторная примесь - это примесь с меньшей валентностью. При добавлении такой примеси в полупроводнике образуется лишнее количество «дырок». Проводимость будет «дырочной», а полупроводник называют полупроводником p-типа. Например, для кремния акцепторной примесью является индий с валентностью $n = 3$. Каждый атом индия приведет к образованию лишней «дырки».

При температуре выше абсолютного нуля в полупроводнике непрерывно возникают и исчезают свободные электроны и дырки даже тогда, когда нет внешних электрических полей. Но электроны и дырки движутся хаотически в разные стороны и не уходят за пределы полупроводника. В чистом полупроводнике число высвободившихся в каждый момент времени электронов равно числу образующихся при этом дырок. Общее же их число при комнатной температуре относительно невелико. Поэтому электропроводность такого полупроводника, (называемая собственной), мала. Иными словами, такой полупроводник оказывает электрическому току довольно большое сопротивление. Но если в чистый полупроводник добавить даже ничтожное количество примеси в виде атомов других элементов, электропроводность его резко повысится. При этом в зависимости от структуры атомов примесных элементов электропроводность полупроводника будет электронной или дырочной.

Чем различаются эти два вида электропроводности полупроводника? Если какой-либо атом в кристалле полупроводника заменить атомом сурьмы, имеющим во внешнем слое электронной оболочки пять валентных электронов, этот атом - «пришелец» четырьмя

электронами свяжется с четырьмя соседними атомами полупроводника. Пятый же валентный электрон атома сурьмы окажется «лишним» и станет свободным. Чем больше в полупроводник будет введено атомов сурьмы, тем больше в его массе окажется свободных электронов. Следовательно, полупроводник с примесью сурьмы приближается по своим свойствам к металлу: для того чтобы через него проходил электрический ток, в нем не обязательно должны разрушаться межатомные связи. Полупроводники, обладающие такими свойствами, называют полупроводниками с электропроводностью типа (n) или, полупроводниками (n) типа. Здесь латинская буква n - начальная буква латинского слова negativ (негатив), что значит «отрицательный». Этот термин в данном случае нужно понимать в том смысле, что в полупроводнике типа n основными носителями тока являются отрицательные заряды, т.е. электроны. Совсем иная картина получится, если в полупроводник ввести атомы с тремя валентными электронами, например атомы индия. Каждый атом металла индия своими тремя электронами заполнит связи только с тремя соседними атомами полупроводника, а для заполнения связи с четвертым атомом у него не хватает одного электрона. Образуется дырка. Она, конечно, может заполниться каким - либо электроном, вырвавшимся из валентной связи с другими атомами полупроводника. Однако независимо от того, где будут дырки, в массе полупроводника с примесью индия не будет хватать электронов для их заполнения. И чем больше будет введено в полупроводник примесных атомов индия, тем больше в нем образуется дырок. Чтобы в таком полупроводнике электроны могли перемещаться, совершенно обязательно должны разрушаться валентные связи между атомами. Вырвавшиеся из них электроны или же электроны, поступившие в полупроводник извне, движутся от дырки к дырке. А во всей массе полупроводника в любой момент времени число дырок будет больше общего числа свободных электронов. Полупроводники, обладающие таким свойством, называют полупроводниками с дырочной

электропроводностью или полупроводниками типа (p). Латинская буква p - первая буква латинского слова positiv (позитив), что значит «положительный». Этот термин в данном случае нужно понимать в том смысле, что явление электрического тока в массе полупроводника типа (p) сопровождается непрерывным возникновением и исчезновением положительных зарядов - дырок. Перемещаясь в массе полупроводника, дырки как бы являются носителями тока. Полупроводники типа p, так же как и полупроводники типа n, обладают во много раз лучшей электропроводностью по сравнению с чистыми полупроводниками. Надо сказать, что практически не существует как совершенно чистых полупроводников, так и полупроводников с абсолютной электропроводностью типов n и p. В полупроводнике с примесью индия обязательно есть небольшое количество атомов некоторых других элементов, придающих ему электронную проводимость, а в полупроводнике с примесью сурьмы есть атомы элементов, создающих в нем дырочную электропроводность. Например, в полупроводнике, имеющем в целом электропроводность типа n, есть дырки, которые могут заполняться свободными электронами примесных атомов сурьмы. Вследствие этого электропроводность полупроводника несколько ухудшится, но в целом он сохранит электронную проводимость. Аналогичное явление будет наблюдаться и в том случае, если в полупроводник с дырочным характером электропроводности попадут свободные электроны. Поэтому полупроводниками типа n принято считать такие полупроводники, в которых основными носителями тока являются электроны (преобладает электронная электропроводность), а к полупроводникам типа p - полупроводники, в которых основными носителями тока являются дырки (преобладает дырочная электропроводность).

Вопросы для самоконтроля:

1. Чем отличается полупроводник от металла и диэлектрика?
2. Какие типы носителей тока существуют в полупроводниках?
3. Что такое легирование полупроводника?
4. Приведите примеры полупроводников.
5. Для чего необходима донорная примесь?
6. Как реагируют электроны и дырки на повышение или понижение температуры?
7. Что такое собственная проводимость?

1.1.2 Физические основы образования и свойства р-п перехода.

Ёмкость р-п перехода, пробой р-п перехода

Ввиду неравномерной концентрации на границе раздела р и п полупроводника возникает диффузионный ток, за счёт которого электроны из п-области переходят в р-область, а на их месте остаются некомпенсированные заряды положительных ионов донорной примеси. Электроны, приходящие в р-область, рекомбинируют с дырками, и возникают некомпенсированные заряды отрицательных ионов акцепторной примеси. Ширина р-п перехода – десятые доли микрона. На границе раздела возникает внутреннее электрическое поле р-п перехода, которое будет тормозящим для основных носителей заряда и будет их отбрасывать от границы раздела.

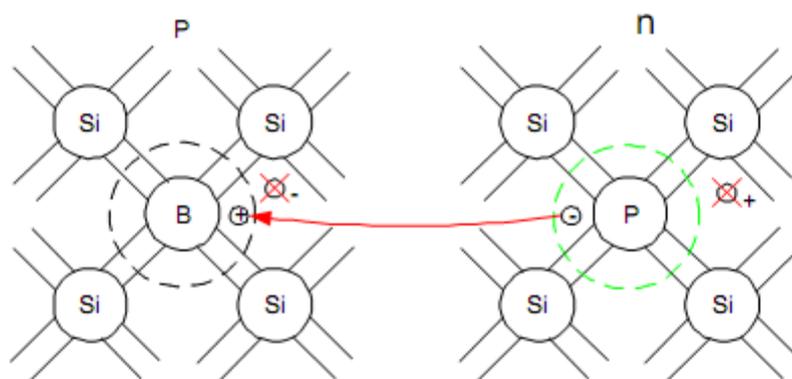


Рисунок 1 – Энергетические уровни кремния

Для неосновных носителей заряда поле будет ускоряющим и будет переносить их в область, где они будут основными. Максимум напряжённости электрического поля – на границе раздела.

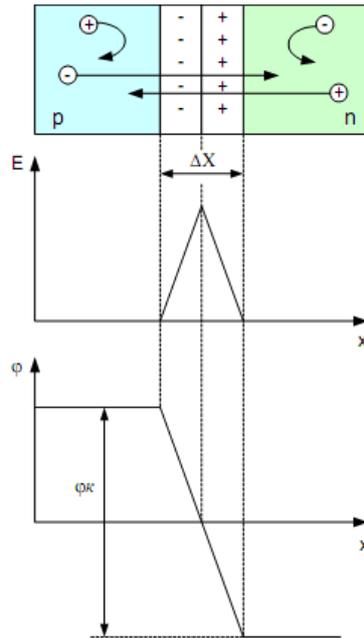


Рисунок 2 - Потенциальная диаграмма

Распределение потенциала по ширине полупроводника называется потенциальной диаграммой. Разность потенциалов на p-n переходе называется контактной разностью потенциалов или потенциальным барьером. Для того, чтобы основной носитель заряда смог преодолеть p-n переход, его энергия должна быть достаточной для преодоления потенциального барьера.

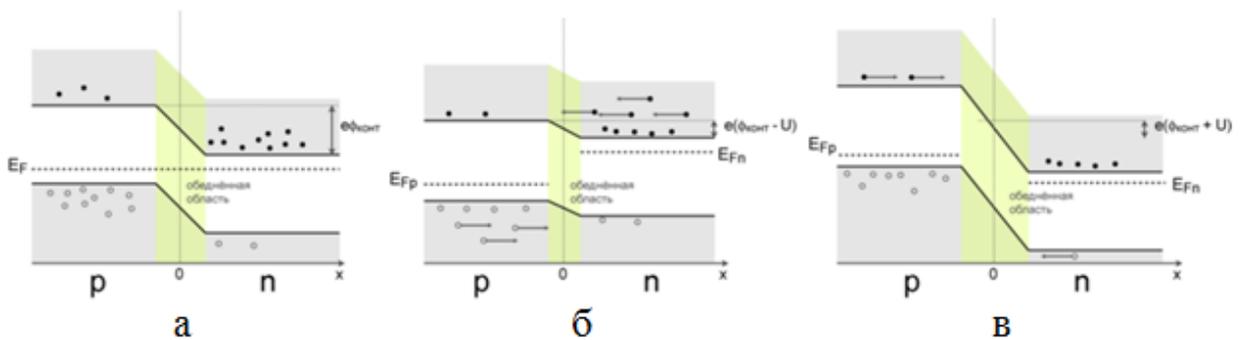


Рисунок 3 - Энергетическая диаграмма p-n-перехода.

- а) состояние равновесия б) при приложенном прямом напряжении в) при приложенном обратном напряжении

Если р-n-переход получают вплавлением примесей в монокристаллический полупроводник, то переход от n- к р-области происходит скачком (резкий переход). Если используется диффузия примесей, то образуется плавный переход.

Приложим внешнее напряжение плюсом к р-области. Внешнее электрическое поле направлено навстречу внутреннему полю р-n перехода, что приводит к уменьшению потенциального барьера. Основные носители зарядов легко смогут преодолеть потенциальный барьер, и поэтому через р-n переход будет протекать сравнительно большой ток, вызванный основными носителями заряда.

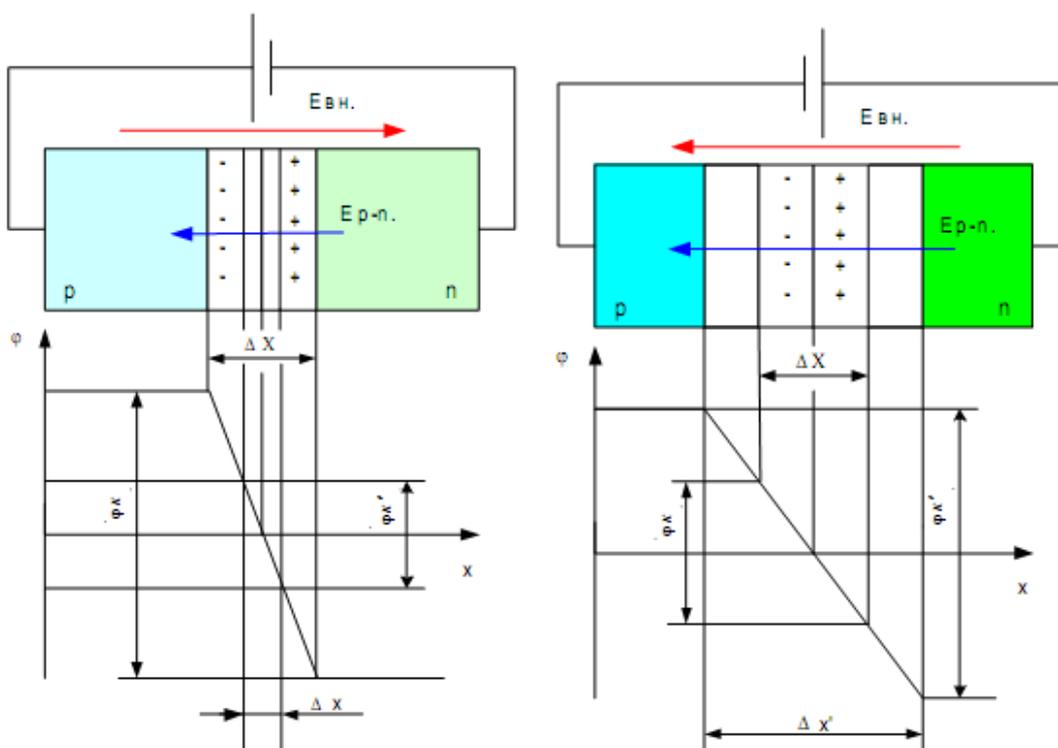


Рисунок 4 - Потенциальная диаграмма

Такое включение р-n перехода называется прямым, и ток через р-n переход, вызванный основными носителями заряда, также называется прямым током. Считается, что при прямом включении р-n переход открыт. Если подключить внешнее напряжение минусом на р-область, а плюсом на

n-область, то возникает внешнее электрическое поле, линии напряжённости которого совпадают с внутренним полем p-n перехода. В результате это приведёт к увеличению потенциального барьера и ширины p-n перехода. Основные носители заряда не смогут преодолеть p-n переход, и считается, что p-n переход закрыт. Оба поля – и внутреннее и внешнее - являются ускоряющими для неосновных носителей заряда, поэтому неосновные носители заряда будут проходить через p-n переход, образуя очень маленький ток, который называется обратным током.

Такое включение p-n перехода также называется обратным.

При контакте двух областей n- и p- типа из-за градиента концентрации носителей заряда возникает диффузия последних в области с противоположным типом электропроводности. В p-области вблизи контакта после диффузии дырок остаются нескомпенсированные ионизированные акцепторы (отрицательные неподвижные заряды), а в n-области - нескомпенсированные ионизированные доноры (положительные неподвижные заряды). Образуется область пространственного заряда (ОПЗ), состоящая из двух разноимённо заряженных слоёв. Между нескомпенсированными разноимёнными зарядами ионизированных примесей возникает электрическое поле, направленное от n-области к p-области и называемое диффузионным электрическим полем. Данное поле препятствует дальнейшей диффузии основных носителей через контакт — устанавливается равновесное состояние (при этом есть небольшой ток основных носителей из-за диффузии, и ток неосновных носителей под действием контактного поля, эти токи компенсируют друг друга). Между n- и p-областями при этом существует разность потенциалов, называемая контактной разностью потенциалов. Потенциал n-области положителен по отношению к потенциалу p-области.

Обычно контактная разность потенциала в данном случае составляет десятые доли вольта.

Внешнее электрическое поле изменяет высоту барьера и нарушает равновесие потоков носителей тока через барьер. Если положительный потенциал приложен к р-области, то потенциальный барьер понижается (прямое смещение), а ОПЗ сужается. В этом случае с ростом приложенного напряжения экспоненциально возрастает число основных носителей, способных преодолеть барьер. Как только эти носители миновали р-п-переход, они становятся неосновными. Поэтому концентрация неосновных носителей по обе стороны перехода увеличивается (инжекция неосновных носителей). Одновременно в р- и п-областях через контакты входят равные количества основных носителей, вызывающих компенсацию зарядов инжектированных носителей. В результате возрастает скорость рекомбинации и появляется отличный от нуля ток через переход, который с ростом напряжения экспоненциально возрастает.

Приложение отрицательного потенциала к р-области (обратное смещение) приводит к повышению потенциального барьера. Диффузия основных носителей через переход становится пренебрежимо малой. В то же время потоки неосновных носителей не изменяются (для них барьера не существует). Неосновные носители заряда втягиваются электрическим полем в р-п-переход и проходят через него в соседнюю область (экстракция неосновных носителей). Потоки неосновных носителей определяются скоростью тепловой генерации электронно-дырочных пар. Эти пары диффундируют к барьеру и разделяются его полем, в результате чего через р-п-переход течёт ток I_s (ток насыщения), который обычно мал и почти не зависит от напряжения. Таким образом, вольт-амперная характеристика р-п-перехода обладает резко выраженной нелинейностью. При изменении знака U значение тока через переход может изменяться в $10^5 - 10^6$ раз. Благодаря этому р-п-переход может использоваться для выпрямления переменных токов (диод).

К основным свойствам р-п перехода относятся:

- свойство односторонней проводимости;

- температурные свойства р-п перехода;
- частотные свойства р-п перехода;
- пробой р-п перехода.

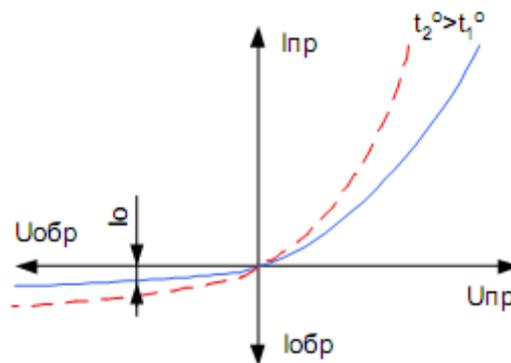


Рисунок 5 – Вольт-амперная характеристика

Так как величина обратного тока во много раз меньше, чем прямого, то обратным током можно пренебречь и считать, что р-п переход проводит ток только в одну сторону.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называется р-п переходом и каково его основное свойство?
2. Перечислите свойства р-п перехода.
3. Что определяет тип проводимости (п –тип или р-тип) легированного полупроводника?
4. Нарисуйте вольтамперную характеристику р-п перехода.
5. Опишите процесс диффузии.
6. Что такое напряжение пробоя?
7. Какие методы изготовления р-п перехода вы знаете?
8. Опишите обратное включение р-п перехода

1.2 Полупроводниковые диоды

1.2.1.Конструкция диодов.Основные характеристики и параметры полупроводниковых диодов.

Полупроводниковый диод – это обычно полупроводниковый нелинейный компонент с двумя выводами, обладающий свойством односторонней проводимости, и имеющий электронно-дырочный переход. В этом определении важно слово «обычно», так как некоторые разновидности диодов не обладают свойством односторонней проводимости (туннельные диоды) и не имеют электронно-дырочного перехода (диоды Ганна).

Идеальный полупроводниковый диод допускает протекание бесконечно большого прямого тока и выдерживает бесконечно большое обратное напряжение. Это отражено на вольт-амперной характеристике, изображённой на рисунке 6.

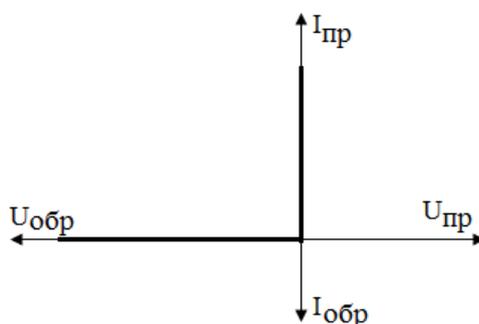


Рисунок 6 – Вольт - амперная характеристика идеального полупроводникового диода

Идеальных диодов на практике не бывает. Реальный диод всегда имеет конечную величину обратного напряжения, после чего наступит электрический пробой, и вполне определённый максимальный прямой ток, превышение которого вызовет тепловой пробой. Вольт-амперная характеристика реального диода дана на рисунке 7.

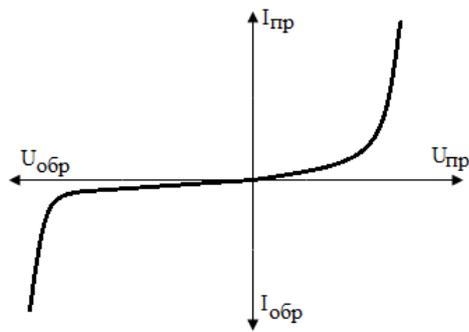


Рисунок 7 - Вольт - амперная характеристика реального диода

Диоды, выполненные на основе кремния, имеют меньшую величину обратного тока и более высокую максимально допустимую температуру кристалла, чем германиевые диоды. Однако падение напряжения на кремниевых диодах в прямом включении примерно в два раза выше, чем на германиевых диодах.

Анодом диода называют вывод от той области электронно-дырочного перехода диода в прямом включении, к которому подсоединяют положительный полюс источника питания. А вывод от области, к которой подключают отрицательный полюс источника питания, именуют **катодом**.

КПД диодов может в отдельных случаях достигать 99%, т.е. обычно он весьма велик.

Для получения простейшего **точечного диода** берут пластинку металла с прикрепленным к ней выводом и к ней приваривают кристалл полупроводника электронного типа проводимости. Этот кристалл называют базой диода. Затем берут металлическую иглу с присоединенным к ней выводом, изготавливаемую, например, из вольфрама, золота, бериллиевой бронзы, на которую нанесен легирующий материал, и её острый кончик упирают в кристалл базы диода так, чтобы игла была подпружинена. В качестве легирующего материала часто используют алюминий и индий. Все части будущего диода помещены в корпус, который, например, может быть маленьким стеклянным баллоном,

из которого откачан воздух. Далее осуществляют формовку, то есть местное нагревание участка между иглой и полупроводниковой пластиной для того, чтобы на небольшой площади их материалы друг в друга диффундировали. Для этого через диод в прямом и обратном направлениях пропускают короткие импульсы с силой тока около 1 А, что во много раз превышает максимальный постоянный ток изготавливаемого точечного диода. Материал акцепторной примеси, который находился на игле, и тот, из которого она состояла, диффундируют на небольшой почти полусферический участок в базу диода, образуя переход. Точечные диоды благодаря небольшой площади электронно-дырочного перехода обычно обладают малой ёмкостью, а, следовательно, могут работать на высокой частоте, не теряя свойства односторонней проводимости. Однако малая площадь перехода не позволяет пропускать через точечный диод большие прямые токи без разрушения компонента.

Для изготовления **плоскостного диода** берут базу диода электронного типа проводимости и кладут на неё полупроводниковую пластину, которая позже станет играть роль акцепторной примеси. Затем их нагревают примерно до 450 °С ... 550 °С в вакууме, отчего материал акцепторной примеси диффундирует в базу будущего диода. Полученный электронно-дырочный переход будет обладать большой площадью и существенной ёмкостью. Благодаря тому, что площадь плоскостного диода велика, через него можно пропускать весьма большой ток в прямом включении, однако наибольшая частота, на которой такой диод может сохранять работоспособность, будет низкой. Конструкция ряда маломощных кремниевых диодов практически не отличается от конструкции маломощных германиевых диодов. Кристаллы мощных выпрямительных диодов монтируются в массивном корпусе, который имеет стержень с резьбой для крепления диода на радиаторе для отвода, выделяющегося при работе прибора тепла

В заключение нужно отметить, что существуют и многие другие конструкции, а также способы изготовления диодов.

Выпрямительным называют диод, который предназначен для получения однополярного пульсирующего напряжения путём выпрямления переменного напряжения (рисунок 8)

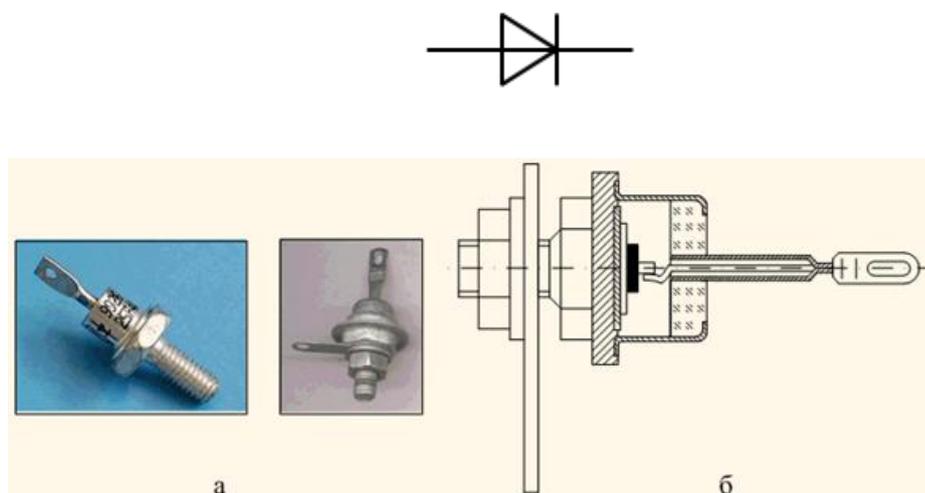


Рисунок 8 - Общий вид (а) и конструкция (б) мощного кремниевого диода

Полученное пульсирующее напряжение сглаживают, например, конденсатором, в итоге получая постоянное напряжение. Выпрямительные диоды изготавливают по технологии получения плоскостных диодов в связи с тем, что их обычно используют на низких частотах, а прямой ток через электронно-дырочный переход зачастую составляет многие амперы. Маломощные выпрямительные диоды способны успешно рассеивать выделяющееся в них тепло исключительно своим корпусом, в то время как мощные диоды иногда этого сделать не могут, по причине чего их монтируют на охладители. Выпрямительные диоды выпускают как дискретными компонентами, так и объединёнными в диодные сборки.

Если обратное напряжение, прикладываемое к выпрямительному диоду, будет больше максимально допустимого для конкретной марки компонентов, то для предупреждения развития пробоя несколько диодов соединяют последовательно. Сопротивление диодов в обратном

включении весьма различно даже для компонентов одной марки и партии. Чтобы избежать превышения допустимого значения обратного напряжения на том диоде, сопротивление которого наиболее велико, каждый из последовательно соединённых диодов шунтируют высокоомным резистором. Это позволяет выровнять обратные напряжения на всех диодах.

Импульсными называют диоды, предназначенные для пропуска в прямом включении очень коротких импульсов, длительностью менее микросекунды, с большой амплитудой тока (рисунок 9). При столь коротких импульсах основное влияние на работу диода будут оказывать барьерная ёмкость и длительность обратного восстановления, обусловленная скоростью рекомбинации носителей заряда.



Рисунок 9 - Импульсный диод

Барьерная ёмкость некоторых импульсных диодов может быть ниже 1 пФ. Импульсные диоды, функционирующие на частоте примерно 1 ГГц, часто обладают точечной конструкцией. Также импульсные диоды изготавливают планарной, сплавной и сварной конструкций. Пусть через импульсный диод протекает электрический ток в прямом включении. Если резко изменим полярность приложенного напряжения, то диод мгновенно не перейдёт в закрытое состояние, а вначале существенно возрастёт обратный ток, обусловленный наличием на участке электронно-дырочного перехода повышенной концентрации неосновных носителей заряда. Затем обратный ток начинает снижаться почти по экспоненте ввиду рекомбинации неосновных носителей зарядов и их миграции через

электронно-дырочный переход, по окончании чего обратный ток установится на определённом уровне.

Импульсные диоды применяют в электронных ключах, генераторах, модуляторах и формирователях импульсов и пр., причём длительность периода импульсов может быть даже меньше нескольких пикосекунд. Такие диоды используют, например, в демпферах и выходных выпрямителях импульсных источников питания, причём прямой ток через открытые диоды может достигать десятков ампер, а частота – сотен килогерц.

Барьерная ёмкость диодов, в противоположность диффузионной ёмкости, мало зависит от частоты сигнала и температуры электронно-дырочного перехода. Величина барьерной ёмкости зависит от зарядов ионов легирующего вещества. При обратном включении диода возрастает ширина потенциального барьера, отчего барьерная ёмкость снижается. **Варикапом** называют полупроводниковый диод, спроектированный так, чтобы была высока его добротность, а барьерная ёмкость была стабильна при изменениях частоты и температуры.

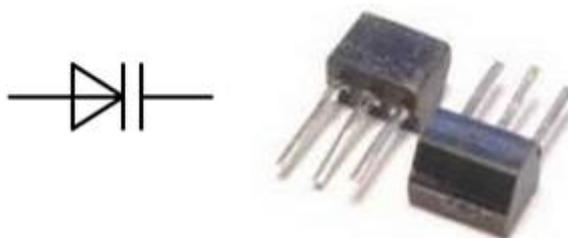


Рисунок 10 – Варикап

Чем больше постоянное обратное напряжение, приложенное к варикапу, тем меньше его барьерная ёмкость. Важнейшая характеристика варикапов – вольт-фарадная – отражает зависимость барьерных ёмкостей варикапов от обратных напряжений. Наличие такой зависимости позволяет

использовать варикапы в колебательных контурах в качестве перестраиваемой ёмкости.

Полупроводниковыми **стабилитронами** называют плоскостные диоды, которые применяют для поддержания на неизменном уровне обратного постоянного напряжения, приложенного к запертому стабилитрону (рисунок 11).



Рисунок 11 – Условное обозначение стабилитрона

Стабилитрон– это полупроводниковый диод, используемый для стабилизации постоянного напряжения на нагрузке. Примеры внешнего вида стабилитронов приведены на рисунке 12.

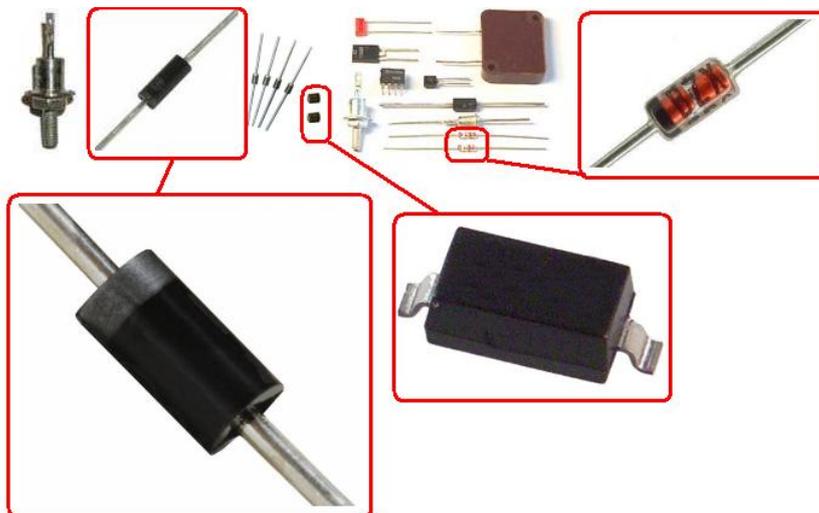


Рисунок 12 – Стабилитрон

Стабилитроны изготавливают из кремния электронного типа проводимости, который легируют акцепторной примесью. Для этого в пластинку кремния обычно вплавляют алюминий, к материалам областей электронно-дырочного перехода подсоединяют выводы, всю систему

помещают в корпус, который герметизируют. Корпуса стабилитронов обычно стеклянные, металлостеклянные или металлопластиковые.

Светодиодом называют такой полупроводниковый компонент, в котором рекомбинацию носителей зарядов сопровождает испускание квантов некогерентного света (рисунок 13). Светодиоды, или светоизлучающие диоды (СИД, в английском варианте LED — light emitting diode)— полупроводниковый прибор, излучающий некогерентный свет при пропускании через него электрического тока. Работа основана на физическом явлении возникновения светового излучения при прохождении электрического тока через р-п-переход. Цвет свечения (длина волны максимума спектра излучения) определяется типом используемых полупроводниковых материалов, образующих р-п-переход.



Рисунок 13 - Светодиоды

Светодиоды не имеют никаких стеклянных колб и нитей накаливания, что обеспечивает высокую механическую прочность и надежность (ударная и вибрационная устойчивость). Отсутствие разогрева и высоких напряжений гарантирует высокий уровень электро- и пожаробезопасности. Безынерционность делает светодиоды незаменимыми, когда требуется высокое быстродействие. Светодиоды миниатюрны и имеют долгий срок службы (долговечность), обладают высоким КПД, относительно низкие напряжения питания и потребляемые токи, низкое энергопотребление, большое количество различных цветов свечения, направленность излучения. К недостаткам светодиодов относятся относительно высокая стоимость. Отношение деньги/люмен для

обычной лампы накаливания по сравнению со светодиодами составляет примерно 100 раз, малый световой поток от одного элемента, деградация параметров светодиодов со временем, повышенные требования к питающему источнику

При протекании тока через светодиод в прямом включении электроны преодолевают электронно-дырочный переход и рекомбинируют, переходя на более низкие энергетические уровни и испуская кванты света. Для изготовления светодиодов пригодны далеко не всякие полупроводники, а только групп $A^{II}B^{VI}$ и $A^{III}B^V$, такие как арсенид галлия, фосфид индия и прочие. Подходящие полупроводники имеют достаточно широкую запрещённую зону, чтобы длина излучаемой волны лежала в заданной области спектра. К наиболее важным характеристикам светодиодов относят спектральную и яркостную характеристики. Светодиоды используют для индикации состояния аппаратуры, а мощные светодиоды применяют для освещения.

Фотодиодом называют фотогальванический приёмник с электронно-дырочным переходом, облучение которого светом вызывает увеличение силы обратного тока (рисунок 14).

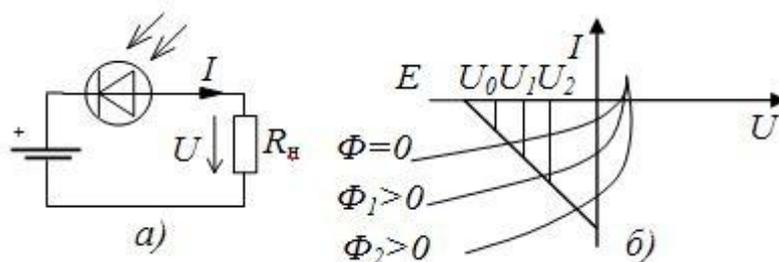


Рисунок 14 – Схема включения фотодиода и его вольт-амперная характеристика

Материалом полупроводника фотодиода обычно выступает кремний, сернистое серебро, сернистый таллий или арсенид галлия. Фотодиод устроен так же, как обычный плоскостной диод, а отличие состоит в прозрачном окне, которое организовано в корпусе фотодиода

напротив областей электронного либо дырочного типов проводимостей в полупроводниковом кристалле. Таким образом, через это окно свет попадает внутрь фотодиода и облучает одну из областей электронно-дырочного перехода. Фотодиоды могут быть использованы в одном из двух включений: вентильном или фотодиодном.

Вопросы для самоконтроля:

1. Нарисуйте схематичное обозначение выпрямительного диода и обозначьте выводы.
2. Каковы особенности работы стабилитрона?
3. Опишите устройство фотодиода.
4. Опишите принцип работы импульсного диода.
5. Зарисуйте вольтамперную характеристику полупроводникового диода.
6. Как классифицируются диоды по конструкции?
7. Опишите устройство плоскостного диода.
8. Опишите устройство точечного диода.

1.2.2. Классификация полупроводниковых диодов, условные обозначения. Маркировка, применение

К **основным параметрам** диодов относят:

- максимально допустимый постоянный прямой ток, А;
- максимально допустимый импульсный прямой ток, А;
- максимально допустимое постоянное обратное напряжение, В;
- максимально допустимое импульсное обратное напряжение, В;
- обратный ток, протекающий через диод в обратном включении при приложенном к его выводам максимально допустимом постоянном напряжении, мкА;
- статическое сопротивление диода в прямом включении, равное отношению падения напряжения на диоде в прямом включении к силе прямого тока, Ом;
- статическое сопротивление диода в обратном включении, равное отношению величины обратного напряжения к силе обратного тока, Мом;
- динамическое сопротивление диода в прямом включении, составляющее отношение изменения падающего на диоде постоянного напряжения в прямом включении к величине изменения силы прямого тока, Ом;
- динамическое сопротивление диода в обратном включении, равное отношению изменения обратного напряжения к изменению величины обратного тока, Ом;
- полная ёмкость запёртого диода, пФ;
- максимально допустимая частота протекающего по диоду переменного тока, Гц, и др.

На корпусе диода обычно указывают материал полупроводника, из которого он изготовлен (буква или цифра), тип (буква), назначение или электрические свойства прибора (цифра), букву, соответствующую разновидности прибора, и дату изготовления, а также его условное

обозначение. Условное обозначение диода (анод и катод) указывает, как нужно подключать диод на платах устройств. Диод имеет два вывода, один из которых катод (минус), а другой — анод (плюс). Условное графическое изображение на корпусе диода наносится в виде стрелки, указывающей прямое направление, если стрелки нет, то ставится знак «+». На плоских выводах некоторых диодов (например, серии Д2) прямо выштамповано условное обозначение диода и его тип. При нанесении цветового кода, цветную метку, точку или полоску наносят ближе к аноду (рисунок 15). Для некоторых типов диодов используется цветная маркировка в виде точек и полосок. Диоды старых типов, в частности точечные, выпускались в стеклянном оформлении и маркировались буквой «Д» с добавлением цифры и буквы, обозначающих подтип прибора. Германиево-индиевые плоскостные диоды имели обозначение «Д7».

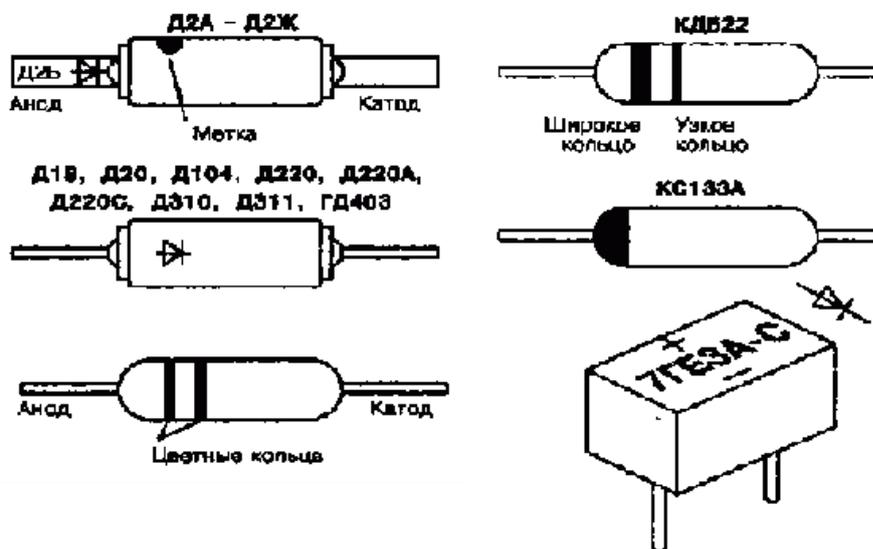


Рисунок 15 – Маркировка диодов

Система обозначений современных полупроводниковых диодов малой мощности установлена отраслевым стандартом ОСТ11336.919-81. Обозначения состоят из пяти элементов.

Первый элемент — буква или цифра — указывает полупроводниковый материал, из которого изготовлен прибор:

1 или Г — германий или соединения германия;

2 или К — кремний или соединения кремния;

3 или А — соединения галлия;

4 или И — соединения индия.

Второй элемент — буква — обозначает подкласс (или группу)

прибора:

Д — диоды выпрямительные, импульсные, диодные преобразователи (магнитодиоды, термодиоды и др.);

Ц — выпрямительные столбы и блоки;

В — варикапы;

И — диоды туннельные и обращенные;

А — диоды сверхвысокочастотные;

Ж — стабилизаторы тока;

С — стабилизаторы напряжения (стабилитроны, стабисторы, ограничители напряжения);

Г — генераторы шума;

Л — излучающие оптоэлектронные приборы;

О — оптопары;

Н — диодные тиристоры;

У — триодные тиристоры.

Третий элемент — цифра — определяет назначение или принцип действия прибора.

Диоды:

1 - выпрямительные со средним значением прямого тока $I_{пр ср} < 0,3 \text{ А}$;

2 - выпрямительные со средним значением прямого тока $I_{пр ср} > 0,3 \text{ А}$;

3 - диодные преобразователи.

Диоды импульсные:

4 - с временем восстановления обратного сопротивления более 500 нс;

5 - с временем восстановления обратного сопротивления от 150 до 500

нс;

6 - с временем восстановления обратного сопротивления от 30 до 150 нс;

7 - с временем восстановления обратного сопротивления от 5 до 30 нс;

8 - с временем восстановления обратного сопротивления от 1 до 5 нс;

9 - с эффективным временем жизни неосновных носителей заряда менее 1 нс.

Выпрямительные столбы:

1 - со средним значением прямого тока не более 0,3 А;

2 - со средним значением прямого тока от 0,3 до 10 А.

Выпрямительные блоки:

3 - со средним значением прямого тока не более 0,3 А;

4 - со средним значением прямого тока более 0,3 А.

Варикапы:

1 - подстроечные;

2 - умножительные.

Диоды туннельные и обращенные:

1 - усилительные;

2 - генераторные;

3 - переключательные;

4 - обращенные.

Диоды сверхвысокочастотные:

1 - смесительные;

2 - детекторные;

3 - усилительные;

4 - параметрические;

5 - переключательные и ограничительные;

6 - умножительные и настроечные;

7 - генераторные;

8 - импульсные;

9 - выпрямительные.

Стабилизаторы напряжения (стабилитроны, стабисторы, ограничители напряжения):

мощность не более 0,3 Вт:

- 1 — с напряжением стабилизации (ограничения) менее 10 В;
- 2 — с напряжением стабилизации (ограничения) от 10 до 100 В;
- 3 — с напряжением стабилизации (ограничения) более 100 В;

мощность от 0,3 до 5 Вт:

- 4 — с напряжением стабилизации (ограничения) менее 10 В;
- 5 — с напряжением стабилизации (ограничения) от 10 до 100 В;
- 6 — с напряжением стабилизации (ограничения) более 100 В;

мощность более 5 Вт, но не более 10 Вт:

- 7 — с напряжением стабилизации (ограничения) менее 10 В;
- 8 — с напряжением стабилизации (ограничения) от 10 до 100 В;
- 9 — с напряжением стабилизации (ограничения) более 100 В.

Четвертый элемент — двухзначные числа от 01 до 99 — указывают порядковый номер разработки. Допускается использование трехзначных чисел от 101 до 999 при условии, что порядковый номер разработки превышает число 99.

Пятый элемент — буква — определяет классификацию (разбраковку по параметрам) приборов, изготовленных по единой технологии. В качестве классификационной литеры применяются буквы русского алфавита (за исключением З, О, Ч, Ы, Ш, Щ, Ю, Я, Ъ, Ь, Э).

Дополнительными элементами обозначения могут быть следующие символы.

Цифры 1...9 — для обозначения модификаций прибора, приводящих к изменению его конструкции или электрических параметров.

Буква “С” после третьего элемента обозначения — для собранных в одном корпусе одностипных приборов, не соединенных электрически или соединенных одноименными выводами.

Цифра, написанная через дефис после пятого элемента обозначения — для бескорпусных приборов:

- 1 — с гибкими выводами без кристаллодержателя (подложки);
- 2 — с гибкими выводами на кристаллодержателе;
- 3 — с жесткими выводами без кристаллодержателя;
- 4 — с жесткими выводами на кристаллодержателе;
- 5 — с контактными площадками без кристаллодержателя и без выводов (кристалл).

Вопросы для самоконтроля:

1. Где наносится маркировка диода?
2. Какие параметры характеризуют диоды?
3. В каких схемах применяется выпрямительный диод.
4. Чем обусловлено влияние изменения температуры на характеристики и параметры диода.
5. Какие химические элементы относятся к полупроводникам?
6. Движением каких частиц создается электрический ток в полупроводниках?
7. Укажите основное достоинство точечного диода
8. Какие диоды применяют для сигнализации и освещения?

Тема 1.3 Тиристоры

1.3.1. Конструкция тиристоров. Принцип действия тиристоров, классификация. Основные характеристики и параметры тиристоров, применение.

Тиристор— полупроводниковый прибор с двумя устойчивыми состояниями, имеющий три или более p-n переходов, который может переключаться из закрытого состояния в открытое и наоборот.

В зависимости от количества электродов и формы ВАХ тиристоры называются:

- динисторы;
- тринисторы;
- симмисторы.

На рисунке 16 приведено схематическое изображение тиристоров, имеющих p-n-p-n структуру. С двумя электродами — диодные тиристоры (динисторы) (рисунок 16, а, б), с тремя электродами — триодные тиристоры (тринисторы) (рисунок 16, в).

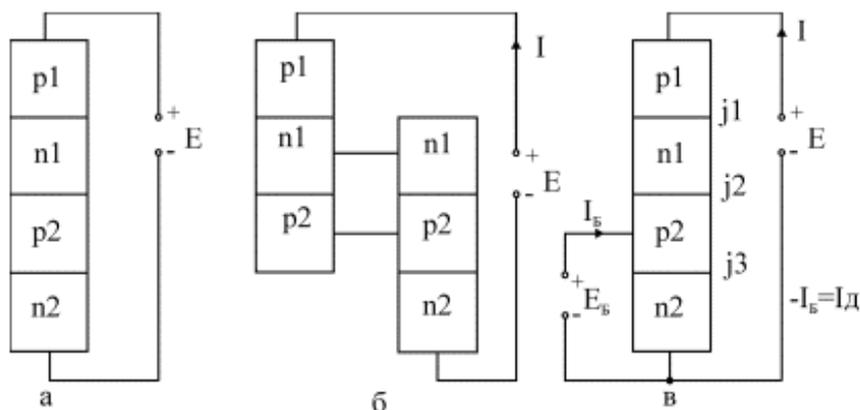


Рисунок 16- Схематическое обозначение тиристоров: а - динистор;
б - динистор, изображенный в виде сочетания 2-х транзисторов;
в - тринистор

Крайние p-n переходы называют эмиттерными, а средний — коллекторным (соответственно области p1 и n2 называют эмиттерными, а области n1 и p2 — базами). Выводы от крайних областей называют эмиттерными, а от одной из средних базовым или управляющим. Вывод, от которого прямой ток течет во внешнюю цепь, называют катодным, а к которому ток течет из цепи — анодным. Анализ процессов, происходящих в тиристоре, упрощается, если представить его в виде сочетания двух транзисторов типа p-n-p и n-p-n

Тиристоры и симисторы являются полупроводниковыми приборами. Основным отличием тиристора от диода, является возможность управления пропускной способностью. Если диод пропускает только в одном направлении, то тиристор может пропускать напряжение, как в прямом направлении, так и в обратном. Когда тиристор находится в открытом состоянии, он ведет себя как обычный диод. Если изменить полярность подаваемого тока, то тиристор будет работать в обратном направлении.

Для того чтобы запереть тиристор необходимо подать управляющий ток другой полярности при этом который должен быть равен тому току который был подан для того чтобы его отпереть. Современные тиристоры имеют куда более сложную конструкцию. Преимущество тиристора перед транзистором является возможность переключения тока, тем самым увеличивая свою универсальность.

Тиристоры и симисторы применяются, как правило, для управления подачей на какой-либо прибор напряжения, осуществляется это следующим образом: скажем, нам дана схема, состоящая из генератора, тиристора и резистора. Для того чтобы отпереть тиристор и подать напряжение на резистор необходимо подать управляющий ток, который как правило имеет форму управляющего импульса. Он должен протекать лишь до тех пор, пока тиристор не переключится в проводящее

состояние и механизм внутреннего усиления не сможет поддерживать его в этом состоянии.

Тиристор является силовым электронным не полностью управляемым ключом. Поэтому иногда в технической литературе его называют однооперационным тиристором, который может сигналом управления переводиться только в проводящее состояние, т. е. включаться. Для его выключения (при работе на постоянном токе) необходимо принимать специальные меры, обеспечивающие спадание прямого тока до нуля.

Тиристорный ключ может проводить ток только в одном направлении, а в закрытом состоянии способен выдержать как прямое, так и обратное напряжение.

Тиристор имеет четырехслойную p-n-p-n-структуру с тремя выводами: анод (A), катод (C) и управляющий электрод (G) (рисунок 17).

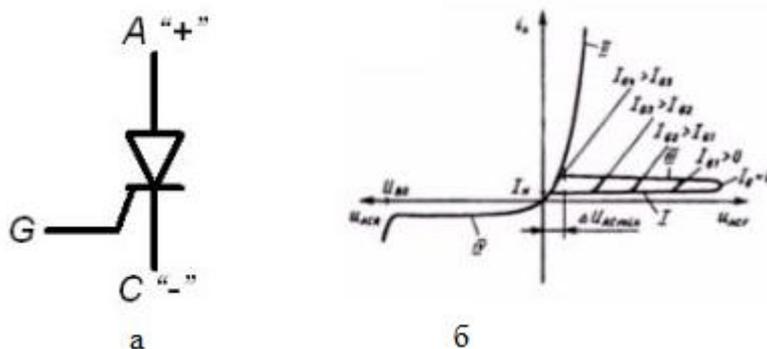


Рисунок 17 - Условно-графическое обозначение; б) – вольтамперная характеристика.

Тиристоры являются наиболее мощными электронными ключами, способными коммутировать цепи с напряжением до 5 кВ и токами до 5 кА при частоте не более 1 кГц.



Рисунок 18 - Тиристоры

Тиристоры имеют широкий диапазон применений (регуляторы мощности, управляемые выпрямители, генераторы импульсов и др.), выпускаются с рабочими токами от долей ампера до тысяч ампер и с напряжениями включения от единиц до тысяч вольт.

Регулировка выходного напряжения выпрямителя может осуществляться разными способами. Регулируемый трансформатор или автотрансформатор, включенный в схему выпрямителя, дает возможность изменять амплитуду переменного напряжения, подводимого к вентилям, и тем самым устанавливать желаемое выпрямленное напряжение.

Однако такие трансформаторы громоздки и имеют малую надежность из-за переключаемых или скользящих контактов.

Регулировка постоянного напряжения на нагрузке, достигаемая делителем напряжения или реостатом, включенным между выходом выпрямителя и нагрузкой, связана с большими потерями мощности.

Тринистором, или, иначе, триодным тиристором, называют переключательный компонент с тремя электронно-дырочными переходами, и тремя выводами – анодом, катодом и управляющим электродом. Тринисторы обладают аналогичной динисторам структурой, а отличие состоит в наличии управляющего электрода – дополнительного вывода, подключённого к одной из баз.

Тринисторы широко применяют в регуляторах мощности, контакторах, ключевых преобразователях и инверторах и пр. Некоторое ограничение на внедрение тринисторов накладывает их частичная управляемость.

Запираемые тиристоры, в отличие от тринисторов, которые были рассмотрены ранее, – это полностью управляемые компоненты, и под воздействием тока управляющего электрода они могут переходить из закрытого состояния в открытое состояние, и наоборот. Чтобы выключить запираемый тиристор, нужно пропустить через управляющий электрод ток противоположной полярности, чем полярность, вызывавшая отпирание компонента. Для закрывания изначально открытого запираемого тиристора необходимо уменьшить сумму коэффициентов передачи эмиттерных токов ниже единицы и обеднить базы носителями зарядов, для чего управляющий электрод должен быть распределён по полупроводниковому кристаллу. Для этого управляющий электрод запираемого тиристора, как и катод, выполняют из множества однотипных ячеек, распределённых определённым образом по площади кристалла. Важным параметром рассматриваемых тиристоров выступает коэффициент запираения, который равен отношению тока анода к необходимому для выключения компонента обратному току управляющего электрода.

Запираемые тиристоры обычно используют в преобразовательной технике в качестве электронных ключей.

Симисторы, в отличие от обычных тиристоров, проводят ток анод-катод при протекании тока по управляющему электроду, как в прямом направлении, так и в обратном.

Вопросы для самоконтроля:

1. Опишите структуру тиристора.
2. Нарисуйте вольтамперную характеристику неуправляемого тиристора и опишите его работу.
3. Для чего используются тиристоры?
4. Каким способом тиристор переводят в открытое состояние?
5. Где используют триаки?
6. На какие виды подразделяются тиристоры?
7. В чем заключается отличие тиристора от диода?

Тема 1.4 Транзисторы

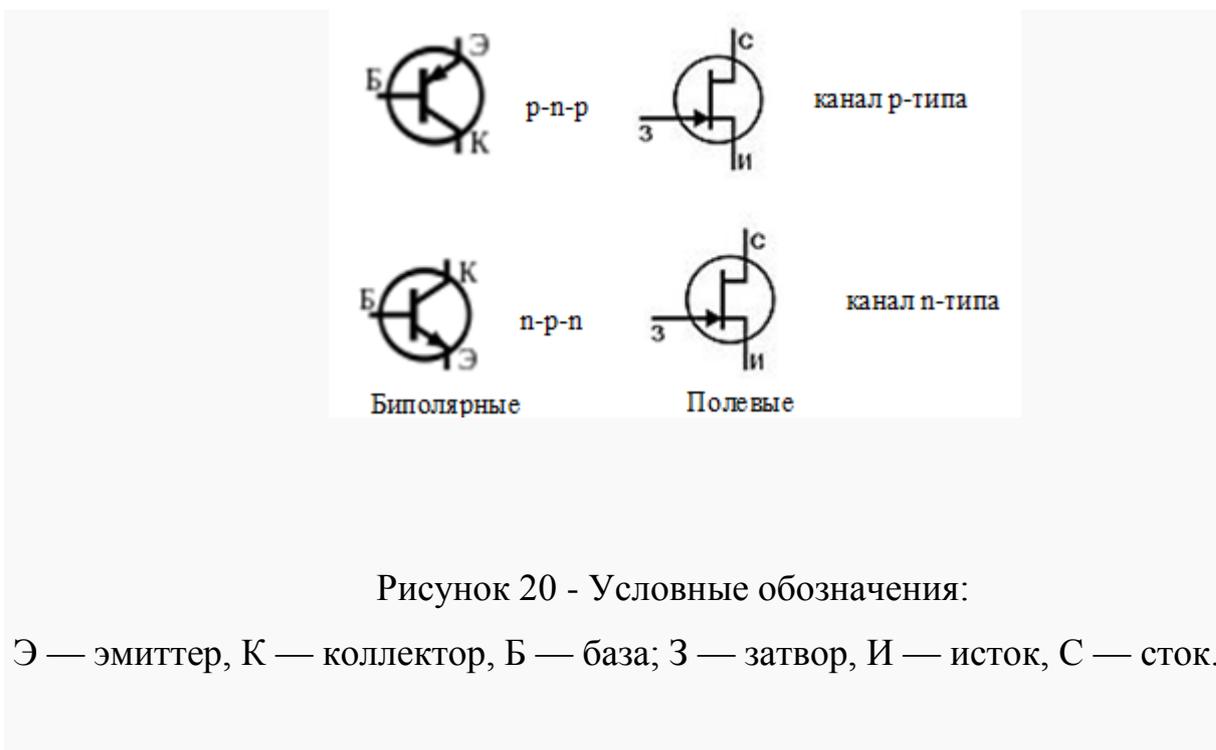
1.4.1. Принцип действия, классификация транзисторов, условные обозначения.

Транзистором называется полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления и генерирования электрических колебаний. Он представляет собой кристалл, помещенный в корпус, снабженный выводами (рисунок 19). Кристалл изготавливают из полупроводникового материала. По своим электрическим свойствам полупроводники занимают некоторое промежуточное положение между проводниками и непроводниками тока (изоляторами). Небольшой кристалл полупроводникового материала (полупроводника) после соответствующей технологической обработки становится способным менять свою электропроводность в очень широких пределах при подведении к нему слабых электрических колебаний и постоянного напряжения смещения. Кристалл помещают в металлический или пластмассовый корпус и снабжают тремя выводами, жесткими или мягкими, присоединенными к соответствующим зонам кристалла. Металлический корпус иногда имеет собственный вывод, но чаще с корпусом соединяют один из трех электродов транзистора.



Рисунок 19 - Транзисторы

В настоящее время находят применение транзисторы двух видов — **биполярные и полевые**. Биполярные транзисторы появились первыми и получили наибольшее распространение. Поэтому обычно их называют просто транзисторами. Полевые транзисторы появились позже и пока используются реже биполярных.



В **биполярном транзисторе** носители заряда движутся от эмиттера через тонкую базу к коллектору. База отделена от эмиттера и коллектора р–п переходами. Ток протекает через транзистор лишь тогда, когда носители заряда инжектируются из эмиттера в базу через р–п переход. В базе они являются неосновными носителями заряда и легко проникают через другой р-п переход между базой и коллектором, ускоряясь при этом. В самой базе носители заряда движутся за счет диффузионного механизма, поэтому база должна быть достаточно тонкой. Управления током между эмиттером и коллектором осуществляется изменением напряжения между базой и эмиттером, от которой зависят условия инжекции носителей заряда в базу.

В **полевом транзисторе** ток протекает от истока до стока через канал под затвором. Канал существует в легированном полупроводнике в

промежутке между затвором и нелегированной подложкой, в которой нет носителей заряда, и она не может проводить ток. Преимущественно под затвором существует область обеднения, в которой тоже нет носителей заряда благодаря образованию между легированным полупроводником и металлическим затвором контакта Шоттки. Таким образом, ширина канала ограничена пространством между подложкой и областью обеднения. Приложенное к затвору напряжение увеличивает или уменьшает ширину области обеднения и, тем самым, ширину канала, контролируя ток.

Биполярными транзисторы называют потому, что электрический ток в них образуют электрические заряды положительной и отрицательной полярности. Носители положительных зарядов принято называть дырками, отрицательные заряды переносятся электронами. В биполярном транзисторе используют кристалл из германия или кремния — основных полупроводниковых материалов, применяемых для изготовления транзисторов и диодов. Поэтому и транзисторы называют одни **кремниевыми**, другие - **германиевыми**. Для обеих разновидностей биполярных транзисторов характерны свои особенности, которые обычно учитывают при проектировании устройств.

Для изготовления кристалла используют сверхчистый материал, в который добавляют специальные строго дозированные примеси. Они и определяют появление в кристалле проводимости, обусловленной дырками (р-проводимость) или электронами (n-проводимость). Таким образом, формируют один из электродов транзистора, называемый базой. Если теперь в поверхность кристалла базы ввести тем или иным технологическим способом специальные примеси, изменяющие тип проводимости базы на обратную так, чтобы образовались близлежащие зоны n-p-или p-n-р,и к каждой зоне подключить выводы, образуется транзистор. Одну из крайних зон называют эмиттером, т. е. источником носителей заряда, а вторую — коллектором, собирателем этих носителей. Зона между эмиттером и коллектором называется базой. Выводам

транзистора обычно присваивают названия, аналогичные его электродам. Усилительные свойства транзистора проявляются в том, что если теперь к эмиттеру и базе приложить малое электрическое напряжение — входной сигнал, то в цепи коллектор — эмиттер потечет ток, по форме повторяющий входной ток входного сигнала между базой и эмиттером, но во много раз больший по значению.

Для нормальной работы транзистора в первую очередь необходимо подать на его электроды напряжение питания. При этом напряжение на базе относительно эмиттера (это напряжение часто называют напряжением смещения) должно быть равно нескольким десятым долям вольта, а на коллекторе относительно эмиттера — несколько вольт.

Включение в цепь *n-p-n* и *p-n-p* транзисторов отличается только полярностью напряжения на коллекторе и смещения. Кремниевые и германиевые транзисторы одной и той же структуры отличаются между собой лишь значением напряжения смещения. У кремниевых оно примерно на 0,45 В больше, чем у германиевых.

Вопросы для самоконтроля:

1. Как устроен транзистор?
2. Как называются электроды биполярного транзистора?
3. Для чего используются транзисторы?
4. Сколько *p-n* переходов имеет транзистор?
5. Условное обозначение транзистора структуры *p-n-p*.

1.4.2. Основные характеристики и параметры транзисторов

Основная классификация транзисторов ведется по исходному материалу, на основе которого они сделаны, максимальной допустимой мощности, рассеиваемой на коллекторе и частотным свойствам. Эти параметры определяют их основные области применения. По мощности транзисторы делят на транзисторы малой, средней и большой мощности, а по частоте — низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные и сверхвысокочастотные. По исходному полупроводниковому материалу — германиевые и кремниевые.

Основными параметрами биполярных транзисторов являются:

- статический коэффициент усиления по току в схеме с общей базой;
- статический коэффициент усиления по току β в схеме с общим эмиттером.
- обратный ток коллектора I_k ;
- граничная $f_{гр}$ и предельная f_{h21} частоты коэффициента передачи тока.

Основными параметрами полевых транзисторов являются:

- напряжение отсечки U_o — приложенное к затвору напряжение, при котором перекрывается сечение канала;
- максимальный ток стока $I_{с. макс}$;
- напряжения: между затвором и стоком $U_{зс}$, между стоком и истоком $U_{си}$ и между затвором и истоком $U_{зи}$;
- входная $C_{вх}$, проходная $C_{пр}$ и выходная $C_{вых}$ емкости.



Рисунок 21 – Классификация транзисторов

Транзистор, или полупроводниковый триод, являясь управляемым элементом, нашел широкое применение в схемах усиления, а также в импульсных схемах. Отсутствие накала, малые габариты и стоимость, высокая надежность - таковы преимущества, благодаря которым транзистор вытеснил из большинства областей техники электронный лампы.

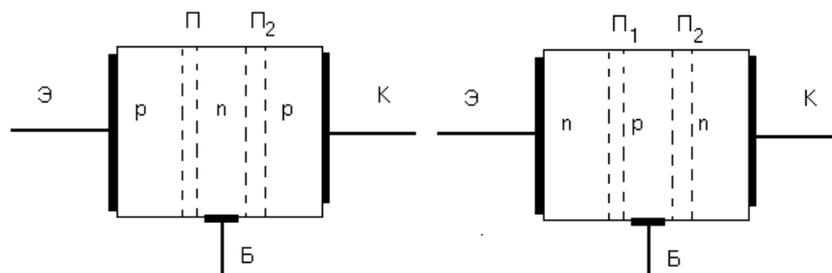


Рисунок 22 - Трехслойная транзисторная структура

Трехслойная транзисторная структура создается по сплавной или диффузионной технологии, по которой выполняется и двухслойная структура проводниковых диодов. Трехслойная транзисторная структура типа р-п-р, выполненная по сплавной технологии. Пластина полупроводника n-типа является основанием, базой конструкции. Два наружных р-слоя создаются в результате диффузии в них акцепторной примеси при сплавлении с соответствующим материалом. Один из слоев называется эмиттерным, а другой - коллекторным. Так же называются и р-п-переходы создаваемые этими слоями со слоем базы, а также внешние выводы от этих слоев.

Принцип действия транзистора заключается в том, что 2 р-п перехода расположены настолько близко друг к другу, что происходит взаимное их влияние, вследствие чего они усиливают электрические сигналы.

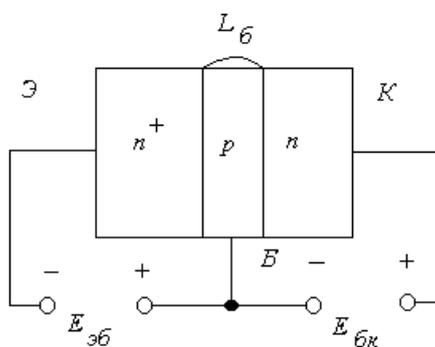


Рисунок 23 - Принцип действия транзистора

Как показано на рисунке 23, это три области – n-, p- и n-. (В принципе может быть и наоборот: p-, n-, p-; все рассуждения относительно такого транзистора будут одинаковы, различие только в полярностях напряжений, такой транзистор называется p-n-p, а мы для простоты будем рассматривать n-p-n, изображённый на рисунке 23).

Итак, на рисунке 23 изображены три слоя: с электронной электропроводностью, причём сильной, что обозначает плюс - эмиттер,

дырочной - база, и снова электронной, но более слабо легированной (концентрация электронов самая малая) – коллектор. Толщина базы, т.е. расстояние между двумя р-п переходами, равно L_b , очень мала. Она должна быть меньше диффузионной длины электронов в базе. Это от единиц до десятка мкм. Толщина базы должна быть не более единиц мкм. (Толщина человеческого волоса 20-50 мкм. Отметим также, что это близко к пределу разрешения человеческого глаза, так как мы не можем видеть ничего меньшего, чем длина волны света, т.е. примерно 0,5 мкм). Все остальные размеры транзистора не более примерно 1 мм.

К слоям прикладывают внешнее напряжение так, что эмиттерный р-п переход смещён в прямом направлении, и через него протекает большой ток, а коллекторный р-п переход смещён в противоположную сторону, так что через него не должен протекать ток. Однако вследствие того, что р-п переходы расположены близко, они влияют друг на друга, и картина меняется: ток электронов, прошедший из эмиттерного р-п перехода, протекает дальше, доходит до коллекторного р-п перехода и электрическим полем последнего электроны втягиваются в коллектор. В результате у хороших транзисторов практически весь ток коллектора равен току эмиттера. Потери тока очень незначительны: проценты и даже доли процента.

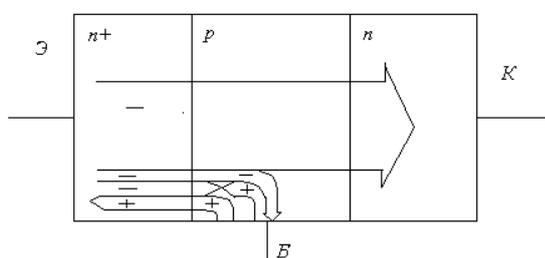


Рисунок 24 – Диаграмма транзистора

Рассмотрим более внимательно составляющие токов в биполярном транзисторе n-p-n типа (рисунок 24).

Верхний ток (большая толстая стрелка с минусом) – это ток электронов из эмиттера в коллектор. В эмиттере электронов много, поэтому этот ток большой. Когда электроны входят в базу, то дальше они движутся за счёт диффузии (электрического поля в базе нет) – слева электронов много, а справа – мало. Значит, они движутся слева направо. А в конце базы они попадают в область электрического поля коллекторного p - n перехода, которое вытягивает электроны из базы в коллектор. Так как это поле велико, концентрация электронов в базе непосредственно у коллекторного p - n перехода практически равна нулю. Поэтому градиент концентрации электронов в базе очень велик – слева их очень много, справа – почти нуль, а длина базы очень мала.

Вопросы для самоконтроля:

1. Как классифицируются транзисторы?
2. Какие преимущества имеют транзисторы по сравнению с радиолампами?
3. Нарисуйте схему включения транзистора с общим эмиттером и поясните его работу.
4. Как устроен полевой транзистор, и как он работает?
5. Чем определяется толщина канала в полевом транзисторе с управляющим p - n -переходом.
6. Опишите устройство и работу полевого транзистора с встроенным каналом.
7. Опишите устройство и работу транзистора с индуцированным каналом.

1.4.3.Схемы включения биполярных транзисторов.

Режимы работы

Существует три основные схемы включения транзисторов. При этом один из электродов транзистора является общей точкой входа и выхода каскада. Надо помнить, что под входом (выходом) понимают точки, между которыми действует входное (выходное) переменное напряжение. Основные схемы включения называются схемами с общим эмиттером (ОЭ), общей базой (ОБ) и общим коллектором (ОК).

Схема с общим эмиттером (ОЭ). Такая схема изображена на рисунке 25. Во всех книжках написано, что эта схема является наиболее распространенной, т. к. дает наибольшее усиление по мощности.

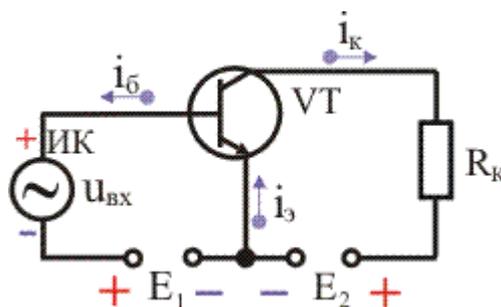


Рисунок 25 - Схема включения транзистора с общим эмиттером

К достоинствам схемы ОЭ можно отнести удобство питания ее от одного источника, поскольку на базу и коллектор подаются питающие напряжения одного знака. К недостаткам относят худшие частотные и температурные свойства (например, в сравнении со схемой ОБ). С повышением частоты усиление в схеме ОЭ снижается. К тому же, каскад по схеме ОЭ при усилении вносит значительные искажения.

Схема с общей базой (ОБ). Схема ОБ изображена на рисунке 26.

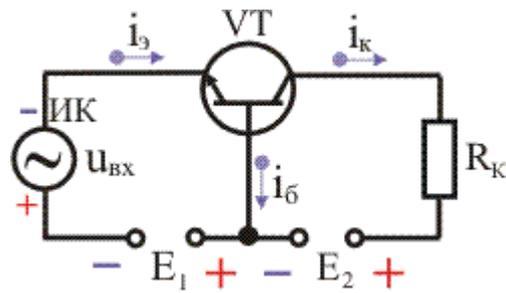


Рисунок 26 - Схема включения транзистора с общей базой

Такая схема включения не дает значительного усиления, но обладает хорошими частотными и температурными свойствами. Применяется она не так часто, как схема ОЭ.

Для схемы ОБ фазовый сдвиг между входным и выходным напряжением отсутствует, то есть фаза напряжения при усилении не переворачивается. Кроме того, при усилении схема ОБ вносит гораздо меньшие искажения, нежели схема ОЭ.

Схема с общим коллектором (ОК). Схема включения с общим коллектором показана на рисунке 27. Такая схема чаще называется эмиттерным повторителем.

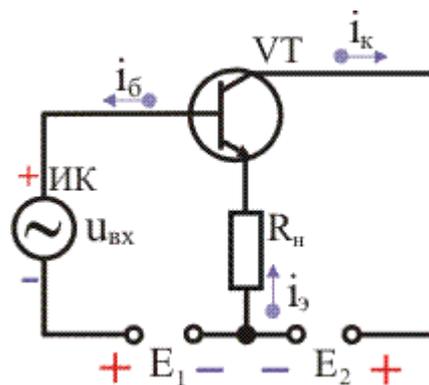


Рисунок 27 - Схема включения транзистора с общим коллектором

Особенность этой схемы в том, что входное напряжение полностью передается обратно на вход, т. е. очень сильна отрицательная обратная связь. Коэффициент усиления по току почти такой же, как и в схеме ОЭ.

Коэффициент усиления по напряжению приближается к единице, но всегда меньше ее. В итоге коэффициент усиления по мощности примерно равен k_i , т. е. нескольким десяткам.

В схеме ОК фазовый сдвиг между входным и выходным напряжением отсутствует. Поскольку коэффициент усиления по напряжению близок к единице, выходное напряжение по фазе и амплитуде совпадает со входным, т. е. повторяет его. Именно поэтому такая схема называется эмиттерным повторителем. Эмиттерным - потому, что выходное напряжение снимается с эмиттера относительно общего провода.

Входное сопротивление схемы ОК довольно высокое (десятки килоом), а выходное - сравнительно небольшое. Это является немаловажным достоинством схемы.

Режимы работы биполярного транзистора

В соответствии уровням напряжения на электродах транзистора, различают четыре режима его работы:

- Режим отсечки (cut off mode).
- Активный режим (active mode).
- Режим насыщения (saturation mode).
- Инверсный режим (reverse mode).

Режим отсечки

Когда напряжение база-эмиттер ниже, чем $0.6V - 0.7V$, PN-переход между базой и эмиттером закрыт. В таком состоянии у транзистора отсутствует ток базы. В результате тока коллектора тоже не будет, поскольку в базе нет свободных электронов, готовых двигаться в сторону напряжения на коллекторе. Получается, что транзистор как бы заперт, и говорят, что он находится в *режиме отсечки*.

Активный режим

В *активном режиме* напряжение на базе достаточное, для того чтобы PN-переход между базой и эмиттером открылся. В этом состоянии у транзистора присутствуют токи базы и коллектора. Ток коллектора

равняется току базы, умноженном на коэффициент усиления. Т.е активным режимом называют нормальный рабочий режим транзистора, который используют для усиления.

Режим насыщения

Иногда ток базы может оказаться слишком большим. В результате мощности питания просто не хватит для обеспечения такой величины тока коллектора, которая бы соответствовала коэффициенту усиления транзистора. В режиме насыщения ток коллектора будет максимальным, который может обеспечить источник питания, и не будет зависеть от тока базы. В таком состоянии транзистор не способен усиливать сигнал, поскольку ток коллектора не реагирует на изменения тока базы.

В режиме насыщения проводимость транзистора максимальна, и он больше подходит для функции переключателя (ключа) в состоянии «включен». Аналогично, в режиме отсечки проводимость транзистора минимальна, и это соответствует переключателю в состоянии «выключен».

Инверсный режим

В данном режиме коллектор и эмиттер меняются ролями: коллекторный PN-переход смещен в прямом направлении, а эмиттерный – в обратном. В результате ток из базы течет в коллектор. Область полупроводника коллектора несимметрична эмиттеру, и коэффициент усиления в инверсном режиме получается ниже, чем в нормальном активном режиме. Конструкция транзистора выполнена таким образом, чтобы он максимально эффективно работал в активном режиме. Поэтому в инверсном режиме транзистор практически не используют.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие параметры характеризуют биполярные транзисторы?
2. Какие параметры характеризуют полевые транзисторы?
3. Поясните, что произойдет, если у биполярного транзистора поменять местами выводы коллектора и эмиттера.
4. Как связаны между собой ток коллектора, ток эмиттера и ток базы?
5. В чем заключается управляющее свойство транзистора?
6. Как влияет температура транзисторной структуры на ВАХ и почему?
7. В чем причина отличий статических ВАХ идеализированного транзистора от ВАХ реального?
8. Какие режимы работы транзисторов вам известны. Опишите каждый из них.

Тема 1.5 Интегральные микросхемы

1.5.1. Понятие об элементах, компонентах интегральных микросхем, активные и пассивные элементы. Классификация интегральных микросхем, система обозначений.

В зависимости от технологии изготовления интегральные микросхемы могут быть **полупроводниковыми, пленочными или гибридными.**

Полупроводниковая микросхема - микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в объеме и на поверхности полупроводника.

Пленочная микросхема - микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены только в виде пленок проводящих и диэлектрических материалов. Вариантами пленочных являются тонкопленочные и толстопленочные микросхемы.

Различие между тонкопленочными и толстопленочными микросхемами может быть количественным и качественным. К тонкопленочным условно относят микросхемы с толщиной пленок менее 1 мкм, а к толстопленочным - микросхемы с толщиной пленок свыше 1 мкм.

Гибридная микросхема - микросхема, содержащая кроме элементов простые и сложные компоненты (например, кристаллы микросхемы полупроводниковых микросхем). Одним из видов гибридной микросхемы является многокристальная микросхема.

В зависимости от функционального назначения интегральные микросхемы делятся **на аналоговые и цифровые.** Аналоговые микросхемы предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции. Частным случаем этих микросхем является микросхема с линейной характеристикой, линейная микросхема. С помощью **цифровых микросхем** преобразуются, обрабатываются сигналы, изменяющиеся по закону дискретной функции.

Частным случаем цифровых микросхем являются логические микросхемы, выполняющие операции с двоичным кодом, которые описываются законами логической алгебры.

Минимальный состав комплекта интегральных микросхем, необходимый для решения определенного круга аппаратурных задач, называется **базовым**.

После появления микропроцессоров были введены дополнительные термины. Микропроцессор определен как программно-управляемое устройство, осуществляющее процесс обработки цифровой информации и управления им. Это устройство изготовлено на основе одной или нескольких больших интегральных схем (БИС).

Микропроцессорной названа микросхема, выполняющая функцию МП или его часть. Совокупность этих и других микросхем, совместимых по архитектуре, конструктивному исполнению и электрическим параметрам, называется **микропроцессорным комплектом**.

В последние годы в классификацию ИС вводятся новые понятия: микросхемы **общего назначения, заказные и полузаказные**.

Заказная микросхема - микросхема, разработанная на основе стандартных и (или) специально созданных элементов узлов по функциональной схеме заказчика предназначена для определенной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Полузаказная интегральная микросхема - микросхема, разработанная на основе базовых кристаллов (в том числе матричных).

Система условных обозначений микросхем. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы разрабатываются и выпускаются предприятиями - изготовителями в виде серий. Каждая серия отличается степенью комплектности и содержит несколько микросхем, которые, в свою очередь, подразделяются на типонаминалы. К серии микросхем относят совокупность типов микросхем, которые могут выполнять различные функции, но имеют единое конструктивно-технологическое

исполнение и предназначены для совместного применения. Как правило, с течением времени состав перспективных серий расширяется.

Тип интегральной микросхемы - интегральная микросхема конкретного функционального назначения и определенного конструктивно-технологического и схемотехнического решения, имеющая свое условное обозначение. **Под типоминималом интегральной микросхемы** понимается микросхема конкретного типа, отличающаяся от других микросхем того же типа одним или несколькими параметрами.

Группа типов микросхем - совокупность типов микросхем в пределах одной серии, имеющих аналогичное функциональное назначение и принцип действия, свойства которых описываются одинаковым или же близким составом электрических параметров.

Условные обозначения микросхем

Все многообразие выпускаемых серий микросхем согласно принятой системе условных обозначений по конструктивно-технологическому исполнению делится на три группы: **полупроводниковые, гибридные, прочие**. К последней группе относят пленочные микросхемы, которые в настоящее время выпускаются в ограниченном количестве, а также вакуумные и керамические. Указанным группам микросхем в системе условных обозначений присвоены следующие цифры: 1, 5, 7 - полупроводниковые (обозначение 7 присвоено бескорпусным микросхемам); 2, 4, 8 - гибридные; 3 - прочие микросхемы.

По характеру выполняемых функций микросхемы подразделяются на подгруппы (генераторы, модуляторы, триггеры, усилители, логические схемы и др.) и виды (преобразователи частоты, фазы, длительности, напряжения и др.).

По принятой системе, обозначение микросхемы должно состоять из четырех элементов. **Первый элемент** - цифра, соответствующая конструктивно-технологической группе. **Второй элемент** - две-три цифры, присвоенные данной серии как порядковый номер разработки. Таким

образом, первые два элемента составляют три-четыре цифры, определяющие полный номер серии микросхемы. **Третий элемент** - две буквы, соответствующие подгруппе и виду. **Четвертый элемент** - порядковый номер разработки микросхемы в данной серии, в которой может быть несколько одинаковых по функциональному признаку микросхем. Он может состоять как из одной цифры, так и из нескольких.

В качестве примера рассмотрим условное обозначение полупроводниковой микросхемы серии 1554ИР22. Из условного обозначения следует, что эта микросхема - регистр с порядковым номером 554 и номером разработки микросхемы в данной серии по функциональному признаку 22 выполнена по полупроводниковой технологии.

Перед номером серии, может быть приведено условное обозначение корпуса, в котором изготовлена ИМС:

Б - бескорпусной вариант ИМС;

Р - обозначают соответственно пластмассовый тип 2;

М - металлокерамический корпус тип 2;

А - пластмассовый тип 4;

Л - металлокерамический корпус тип 4;

Н - керамический безвыводной тип 5.

Для бескорпусных ИС в условное обозначение через дефис вводится цифра, соответствующая конструктивному исполнению:

с гибкими выводами - **1**;

с паучковыми, в том числе на полиимидной пленке - **2**;

с жесткими выводами - **3**;

неразделенные на пластине - **4**;

разделенные без потери ориентации (например, наклеенные на пленку) - **5**;

без выводов - **6**. Например, **КБ151НТ1-6**.

При 4-значном номере серии вторую цифру серии устанавливают в зависимости от функционального назначения ИМС, входящих в серию:

0 - для комплектации бытовой РЭА;

1 - аналоговым ИМС;

4 - операционным усилителям;

5 - цифровым ИМС

6 - ИМС памяти;

8 - микропроцессорам.

Буква Э перед К обозначает экспортное исполнение (с шагом выводов корпуса 2,54 мм).

Функциональное назначение:

А – формирователи;

Б - схемы задержки (БМ - пассивные, БР - активные);

В - схемы вычислительных средств;

ВВ - управление вводом/выводом (интерфейс);

ВГ - контроллеры;

ВЕ – микро-ЭВМ;

ВМ - микропроцессоры;

ВФ - функциональные преобразователи (арифметические, тригонометрические);

ВХ – микрокалькуляторы; **Г** - генераторы.

Д - детекторы (ДА – амплитудные; ДИ - импульсные; ДС - частотные, ДФ - фазовые);

Е - схемы источников питания (ЕН – стабилизаторы напряжения; ЕТ – стабилизаторы тока);

И - схемы цифровых устройств (ИВ - шифраторы, ИД - дешифраторы, ИЕ - счетчики);

К - коммутаторы и ключи (КН - напряжения, КТ - тока);

Л - логические схемы;

М - модуляторы (МА - амплитудные, МИ - импульсные, МС - частотные, МФ - фазовые, МП-прочие);

Н - набор элементов (НД - диодов, НТ - транзисторов, НР - резисторов, НП - прочие);

П - преобразователи (ПК - делители частоты; ПЕ - умножители частоты);

Р - схемы ЗУ;

С - схемы сравнения (СА - по напряжению-компараторы, СВ - по времени, СС - частотные);

Т - триггеры (ТК - комбинированные, ТТ - счетные и т.д.);

У - усилители (УД - операционные);

Ф - фильтры (ФВ - верхних, ФН - нижних, ФЕ - полосовые, ФП - прочие);

Х - многофункциональные схемы (ХА - аналоговые, ХЛ - цифровые, ХК - комбинированные);

Ц - фоточувствительные схемы с зарядовой связью (ЦЛ - линейные, ЦМ - матричные).

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите виды изготовления интегральных микросхем.
2. В каких областях техники применение ИМС особенно эффективно?
3. Как различают ИМС по названию?
4. Что такое интегральная микросхема?
5. Какие компоненты могут быть включены в интегральные микросхемы?
6. Какие методы используются для изготовления интегральных микросхем?
7. Какие материалы используются для корпусов интегральных микросхем?

Тема 1.6 Полупроводниковые фотоприборы

1.6.1. Фоторезисторы, фотодиоды, фототиристоры, фототранзисторы, светодиоды: их принцип действия, условные обозначения, применение. Полупроводниковые лазеры, принцип действия, применение. Оптроны, принцип действия, условные обозначения, область применения. Термисторы, принцип действия, условное обозначение, применение.

Фоторезисторами называют полупроводниковые приборы, проводимость которых меняется под действием света.

Фоторезисторы используют в своей работе эффект фотопроводимости. Фоторезисторы выполняются в самых различных конструктивных вариантах, различного назначения, по различным технологиям и с различными параметрами, но в общем виде это - чувствительный к излучению слой полупроводника, прикреплённый к изоляционной подложке, по краям которого смонтированы токоведущие электроды. Принципиально возможно две конструкции фоторезисторов: **поперечная и продольная.**

В первом случае электрическое поле, прикладываемое к фоторезистору, и возбуждающий свет действуют во взаимно перпендикулярных плоскостях, во втором - в одной плоскости. В продольном фоторезисторе возбуждение осуществляется через электрод прозрачный для светового излучения. Поперечный фоторезистор представляет собой почти омическое сопротивление до частот порядка десятков - сотен мегагерц. Продольный фоторезистор из-за конструктивных особенностей имеет значительную электрическую ёмкость, которая не позволяет считать фоторезистор чисто омическим сопротивлением на частотах сотни - тысячи герц.

В качестве исходного материала фоторезистора чаще всего используется теллуристый кадмий, селенистый теллур, сернистый висмут, сернистый кадмий и др.

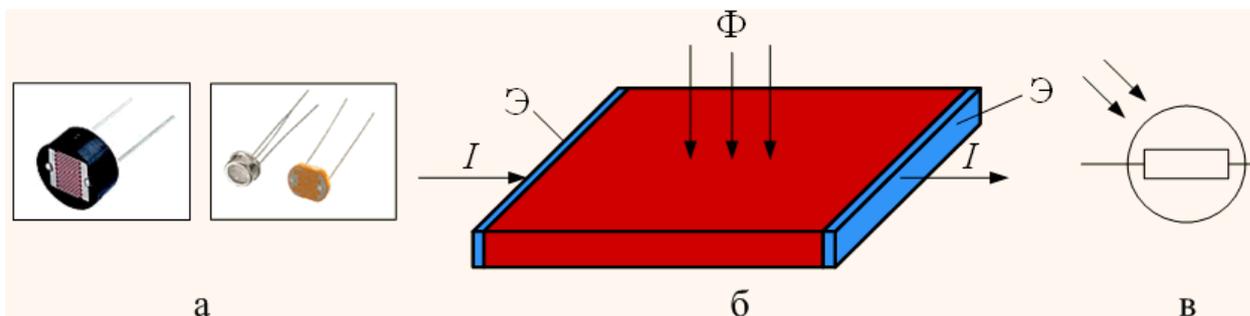


Рисунок 28 - Фоторезистор (а), поперечная конструкция фоторезистора (б); условное графическое обозначение (в)

Для защиты от атмосферных воздействий верхняя поверхность фотослоя покрыта прозрачным лаком. Вся сборка может быть помещена в защитный корпус, в котором сделано окно для прохождения излучения. Он может включаться как в цепь постоянного тока, так и переменного.

При облучении фоторезистора возрастает его проводимость, и соответственно возрастает ток. Выходное напряжение, пропорциональное потоку излучения, снимается с сопротивления нагрузки R_H .

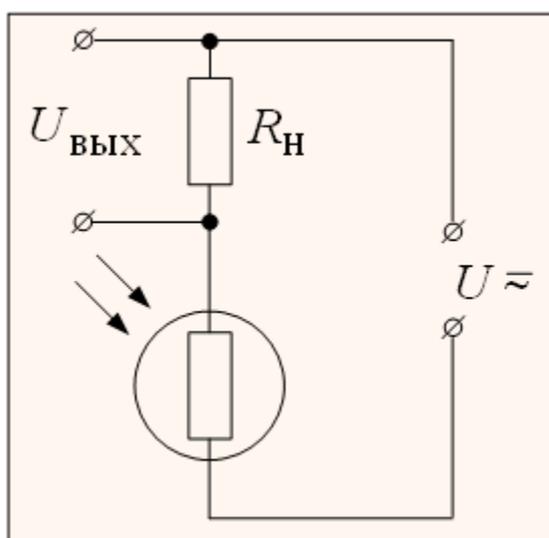


Рисунок 29- Схема включения фоторезистора

Сегодня фоторезисторы широко применяются во многих отраслях науки и техники. Это объясняется их высокой чувствительностью, простотой конструкции, малыми габаритами и значительной допустимой мощностью рассеяния. Значительный интерес представляет использование фоторезисторов в оптоэлектронике. В радиолюбительских конструкциях фоторезисторы применяются как световые датчики в устройствах слежения и автоматики, автоматических и фотореле в быту, в охранных системах.

Из диодов, изменяющих свои параметры под действием внешних факторов, наиболее широко применяют **фотодиоды**. Чтобы показать такой полупроводниковый прибор на схеме, базовый символ диода помещают в кружок, а рядом с ним (слева вверху, независимо от положения) помещают знак фотоэлектрического эффекта — две наклонные параллельные стрелки, направленные в сторону символа. Подобным образом строятся обозначения любого другого полупроводникового диода, управляемого оптическим излучением.

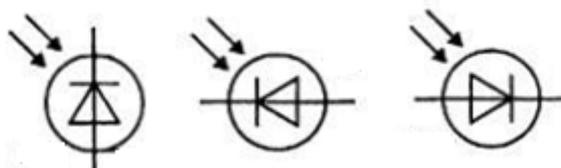


Рисунок 30 - Условное обозначение фотодиодов

Фотодиод представляет собой полупроводниковый фотоэлектрический прибор, содержащий *p-n*-переход, и использующий явление внутреннего фотоэффекта. Фотодиоды имеют различную конструкцию, различное назначение и различные параметры, но в большинстве случаев структура фотодиода бывает такой, как показано на рисунке 31. На принципиальных схемах фотодиод изображается символом, показанным на рисунке 31, в.

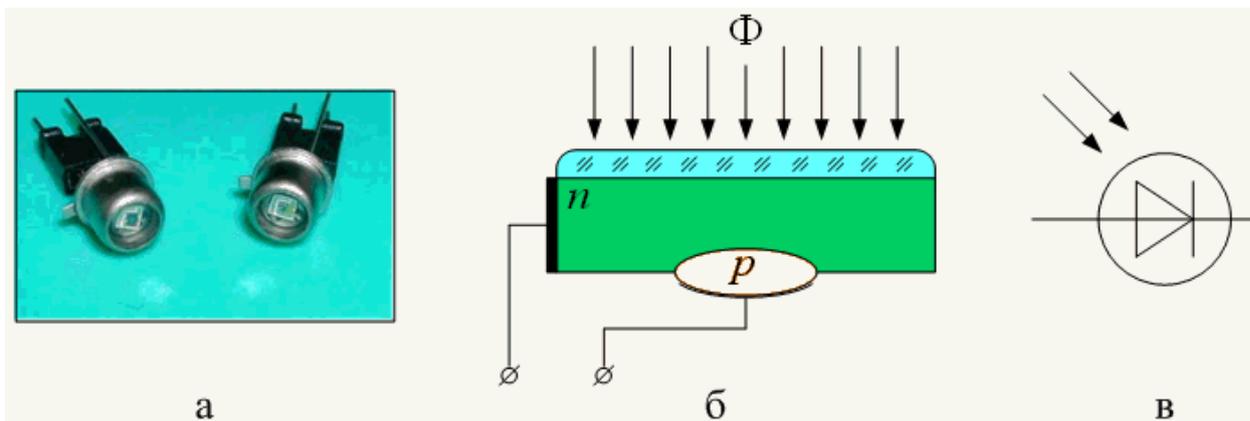


Рисунок 31 - Конструкция фотодиода (а), структура (б) и условное графическое обозначение фотодиода (в)

Фотодиод можно использовать в двух различных включениях: фотодиодном и фотогальваническом. Фотогальваническое включение (рисунок 32) предполагает использование фотодиода как источника фотоЭДС, поэтому в настоящее время его называют полупроводниковый фотоэлемент.

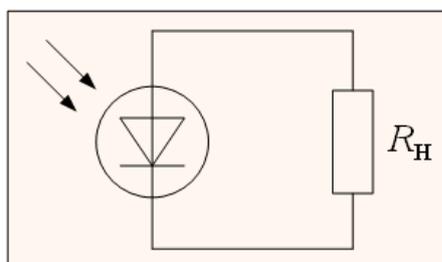


Рисунок 32 - Фотогальваническое включение

Фототранзистор- это полупроводниковый фотоэлектрический прибор с двумя *p-n*-переходами. Устройство и принцип действия фототранзистора такие же, как и биполярного транзистора. Отличие же заключается в том, что внешняя часть базы является фоточувствительной поверхностью, а в корпусе имеется окно для пропускания света (рисунок 33).

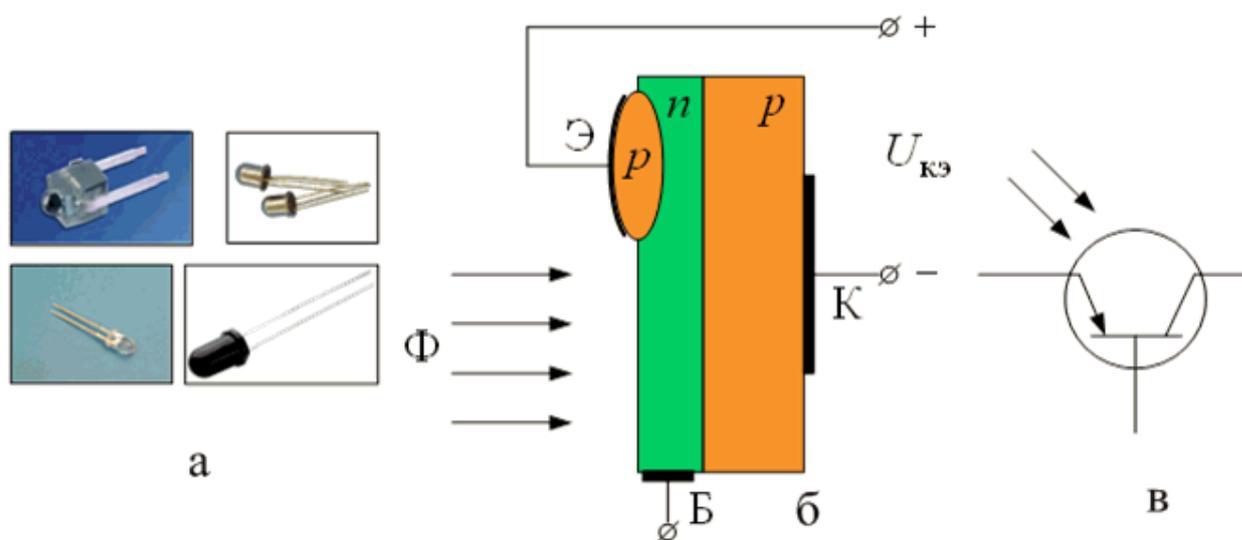


Рисунок 33 - Конструкции фототранзисторов (а); структура (б) и условное графическое обозначение фототранзистора

Иногда фототранзистор имеет только два вывода: эмиттерный и коллекторный.

Принцип действия фототранзистора заключается в следующем. В затемнённом состоянии и отсутствии входного сигнала на базе транзистор закрыт и в его коллекторной цепи протекает небольшой обратный ток коллекторного перехода. При освещении базовой области лучами света там происходит возникновение пар «электрон – дырка». Неосновные носители (в нашем случае дырки) подхватываются полем коллекторного перехода и перебрасываются в область коллектора, а в базе остаётся нескомпенсированный заряд электронов – основных носителей – который приводит к снижению потенциального барьера эмиттерного перехода и к инжекции дырок из эмиттера в базу. Это приведёт к увеличению коллекторного тока, как если бы на вход транзистора был бы подан входной сигнал, вызвавший такую же инжекцию носителей. Но здесь вместо входного электрического сигнала был использован световой сигнал.

Схемы включения фототранзистора могут быть с общей базой, общим эмиттером, с общим коллектором. В качестве примера на рисунке 34 приведена схема включения с общим эмиттером.

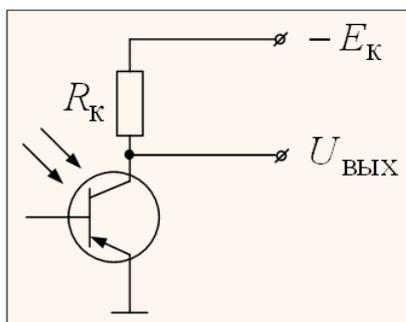


Рисунок 34 - Включение фототранзистора по схеме с общим эмиттером

По такому же принципу, как и управление фототранзистором, можно управлять и тиристором. Такой прибор называется **фототиристором**.

Вместо управляющего электрода сигнал управления в виде потока лучистой энергии (рисунок 35) подаётся в специальное окно в корпусе прибора, что приводит к тем же явлениям, как если бы был подан электрический сигнал управления на управляющий электрод. Все остальные характеристики такого тиристора аналогичны характеристикам обычного тиристора с электрическим управлением.

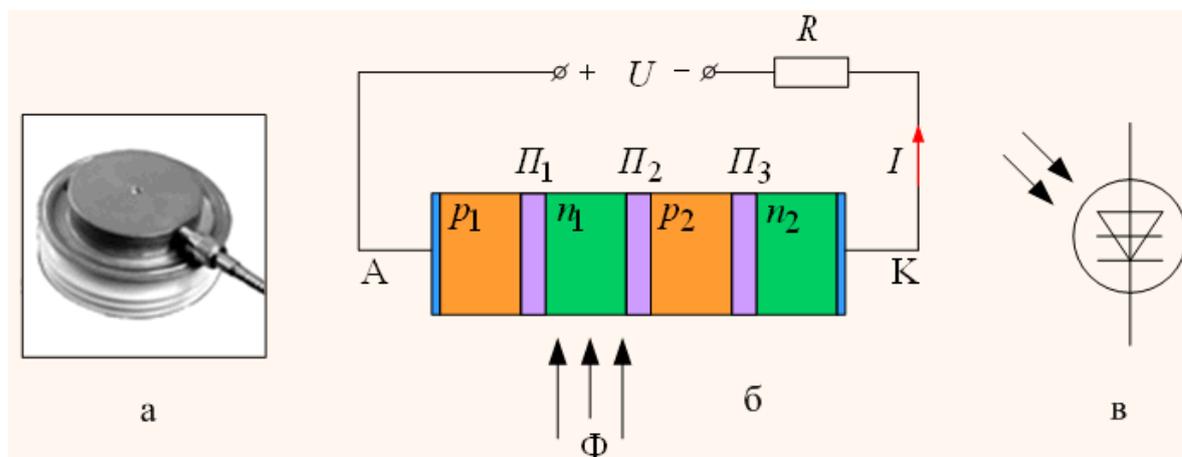


Рисунок 35 - Конструкция фототиристора (а); структура фототиристора (б) и его условное графическое обозначение (в)

Фототиристоры используются для коммутации световым сигналом электрических сигналов большой мощности. Сопротивление фототиристора изменяется от 10^8 Ом (в запертом состоянии) до 10^{-1} Ом в открытом состоянии. Время переключения тиристоров лежит в пределах 10^{-5} 10^{-6} с.

Термисторы - это термометры сопротивления, выполненные на основе смешанных оксидов переходных металлов (рисунок 36). Два основных типа термисторов – NTC (с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления) и PTC (с положительным коэффициентом). Наиболее распространенный тип – NTC. PTC термисторы используются только в очень узких диапазонах температур, в несколько градусов, в основном в системах сигнализации и контроля.

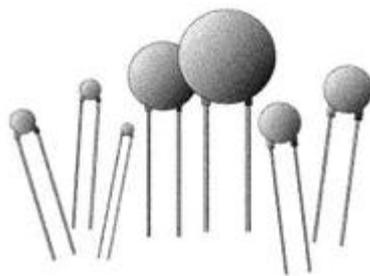


Рисунок 36 - Термисторы

Термисторы находят применение во многих областях. Практически ни одна сложная печатная плата не обходится без термисторов. Они используются в температурных датчиках, термометрах, практически в любой, связанной с температурными режимами, электронике. В противопожарной технике существуют стандартные температурные датчики. Подобный датчик содержит два термистора с отрицательным температурным коэффициентом, которые установлены на печатной плате в белом поликарбонатном корпусе. Один выведен наружу – открытый термистор, он быстро реагирует на изменение температуры воздуха.

Другой термистор находится в корпусе и реагирует на изменение температуры медленнее.

Оптронами называются такие оптоэлектронные приборы, в которых имеются излучатели и фотоприемники, используются оптические и электрические связи, а также конструктивно созданные друг с другом элементы. Некоторые разновидности оптронов называются оптопарами, или оптоизоляторами.

Принцип действия любого оптрона основан на двойном преобразовании энергии. В излучателях энергия электрического сигнала преобразуется в оптическое излучение, а в фотоприемниках, наоборот, оптический сигнал вызывает электрический ток или напряжение или приводит к изменению его сопротивления.

Наибольшее распространение получили оптроны с внешними электрическими выходами и выходными сигналами и внутренними оптическими сигналами (рисунок 37).



Рисунок 37 - Структурная схема оптрона с внутренней оптической связью

Конструкция такого оптрона имеет вид, показанный на рисунке 38.

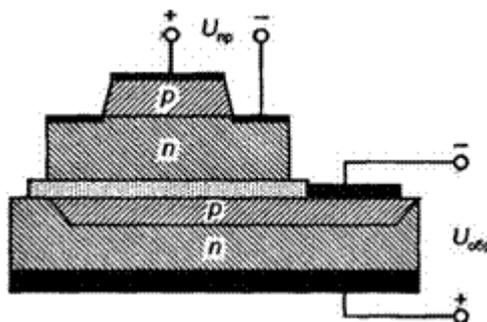


Рисунок 38 - Пример конструкции диодно-диодного оптрона с внутренней оптической связью

В электрической схеме такой прибор выполняет функцию выходного элемента — фотоприемника с одновременной электрической изоляцией (гальванической развязкой) входа и выхода. Излучатель является источником фотонов, в качестве которого может быть использован светодиод или миниатюрная лампа накаливания. Оптической средой может служить воздух, стекло, пластмасса или волоконный световод. В качестве фотоприемников используются фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры и фоторезисторы. Очень часто применяются интегральные фотодиодно-транзисторные структуры. Различные комбинации этих элементов позволяют получить весьма разнообразные входные, выходные и передаточные характеристики.

На практике применяется и другая разновидность оптронов: использующая внешние входные и выходные оптические сигналы и внутренние электрические сигналы (рисунок 39). Как правило, такие приборы содержат усилители фототока.

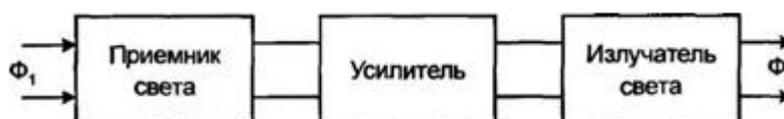


Рисунок 39 - Оptron с внешней оптической связью

Вопросы для самоконтроля:

1. Как устроен и как работает фоторезистор?
2. В чем разница между двумя типами фотодиодов?
3. В чем достоинство фототранзистора по сравнению с фотодиодом?
4. Дайте определения и классификацию приборов оптоэлектроники.
5. Дайте определение фотопроводимости полупроводников.
6. На чем основана работа фототранзисторов и фототиристоров?
7. Какими параметрами характеризуется работа терморезистора?

Список использованных источников

Основная

1. Кузин, А.В. Микропроцессорная техника [Текст]: учеб. для студ. СПО/ А.В.Кузин, М.А.Жаворонков.- М.: Академия, 2013.- 304с.

2. Синдеев, Ю.Г. Электротехника с основами электроники [Текст]: учеб. пособ.- Ростов н/Д.: Феникс, 2014. - 407с.

3. Гальперин, М.В. Электротехника и электроника [Текст]: учеб.- М.: Форум, 2013. - 480с

4. Электротехника и электроника [Электронный ресурс]/ О.Г. Шипачева// Сборник программно-методической документации №3 (2014 год).- М.: УМЦ ЖДТ, 2014.- 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

5. Вычислительная техника [Электронный ресурс]/ М.Н. Бабич // Сборник программно-методической документации №4 (2014 год).- М.: УМЦ ЖДТ, 2014.- 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

6. Богомолов, С. А. Основы электроники и цифровой схемотехники [Текст] : учебник для СПО.- М.: Академия, 2015. – 208 с.

7. Чижма, С.Н. Электроника и микросхемотехника [Электронный ресурс]: ЭАПИ.-М.: ФГБОУ УМЦ, 2012.-1 электрон. оптич. диск (CD-ROM)

8. Покотило, С.А. Справочник по электротехнике и электронике [Текст].- Ростов н /Д: Феникс, 2012.-282с.: ил.

9. Гальперин, М.В. Электронная техника [Текст]: учеб. для студ. СПО.- М.: Форум, 2013. – 352с.

10. Иванов, В. Н. Электроника и микропроцессорная техника [Текст]: учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования / В. Н. Иванов, И. О. Мартынова. - М.: Академия, 2016. - 288 с. - (Профессиональное образование).

11.Морозова, Н. Ю. Электротехника и электроника [Текст]: учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования. - М.: Академия, 2014. - 288 с. - (Профессиональное образование)

12.Немцов, М. В. Электротехника и электроника [Текст]: учеб. / М. В. Немцов, М. Л. Немцова. - М.: Академия, 2015. - 480 с. - (Профессиональное образование)

13.Полещук, В. И. Задачник по электротехнике и электронике [Текст]: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В. И. Полещук. - М.: Академия, 2014. - 256 с. - (Профессиональное образование).

Дополнительная

14.Барыбин, А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы [Электронный ресурс], 2011.- Режим доступа:// www.knigafund.ru.

15.Волков, Ю.С. Электротехника и электроника [Электронный ресурс], 2010.- Режим доступа:// www.knigafund.ru.