

Урок-7.

ДИОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Продолжаем изучать полупроводниковые приборы, им хочется уделить более пристальное внимание, потому как их значимость в радиоэлектронике трудно переоценить. В этом уроке будет предложена несложная практическая работа для закрепления материала. Во всем остальном этот урок по значимости ни чем не отличается от предыдущих. Если вы заметили во всех уроках, я стараюсь выкладывать основные мысли по теме, чтобы не перегружать юных радиолюбителей непонятными математическими выкладками и т.д., за исключением подробных пояснений, если это необходимо. И так; как и в предыдущих уроках, что выделено красным курсивом, зазубриваем, - черным, - принимаем к сведению. Приступайте!

Сегодня в «семейство» диодов входит не один десяток полупроводниковых приборов, носящих название «диод». Здесь речь пойдет лишь о некоторых приборах, с которыми вам в первую очередь придется иметь дело. Схематично диод можно представить, как две пластинки полупроводника, одна из которых обладает электропроводностью **типа p**, а другая - **n** типа. На (рис. 1, а) дырки, преобладающие в пластинке типа p, условно изображены кружками, а электроны, преобладающие в пластинке типа n - черными шариками таких же размеров. Эти две области - два электрода диода: **анод** и **катод**.

Анодом, т.е. положительным электродом, является область типа p, а катодом, т.е. отрицательным электродом,- область типа n.

На внешние поверхности пластин нанесены контактные металлические слои, к которым припаяны проволочные выводы электродов диода. Такой полупроводниковый прибор может находиться в одном из двух состояний: открытом, когда он хорошо проводит ток, и закрытом, когда он плохо проводит ток. Если к его электродам подключить источник постоянного тока, например, гальванический элемент, но так, чтобы его положительный полюс был соединен с анодом диода, т.е. с областью типа p, а отрицательный - с катодом, т.е. с областью типа, n (рис. 1, б), то диод окажется в открытом состоянии и в образовавшейся цепи потечет ток, значение которого зависит от приложенного к нему напряжения и свойств диода. При такой полярности подключения батареи электроны в области типа n перемещаются от минуса к плюсу, т. е. в сторону области типа p, а дырки в области типа p движутся навстречу электронам - от плюса к минусу. Встречаясь на границе областей, называемой **электронно - дырочным** переходом или, короче, **p - n** переходом, электроны как бы «впрыгивают» в дырки, в результате и те, и другие при встрече прекращают свое существование. Металлический контакт, соединенный с отрицательным полюсом элемента, может отдать области типа n практически неограниченное количество электронов, пополняя недостаток электронов в этой области, а контакт, соединенный с положительным полюсом элемента, может принять из области типа p такое же количество электронов, что равнозначно введению в него соответствующего количества дырок.

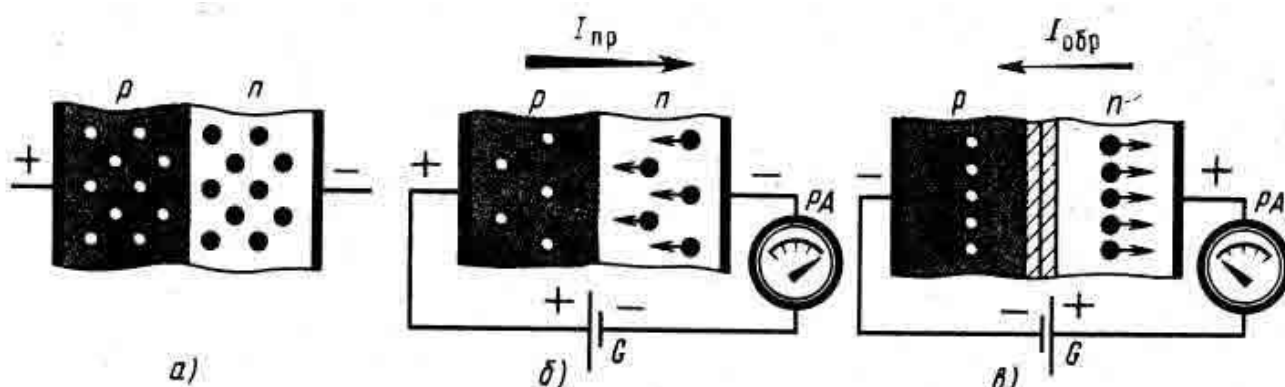


Рис. 1 Схематическое устройство и работа полупроводникового диода.

В этом случае сопротивление p - n перехода мало, вследствие чего через диод течет ток, называемый прямым током. Чем больше площадь p - n перехода и напряжение источника питания, тем больше этот прямой ток. Если полюсы элемента поменять местами, как это показано на (рис. 1, в), диод окажется в закрытом состоянии. В этом случае электрические заряды на диоде поведут себя иначе. Теперь, удаляясь от p - n перехода, электроны в области типа n будут перемещаться к положительному, а дырки в области типа p - к отрицательному контактам диода. В результате граница областей с различными типами электропроводности как бы расширится, образуя зону, объединенную электронами и дырками (на рис. 1, (в) она заштрихована и, следовательно, оказывающую току очень большое сопротивление. Однако в этой зоне небольшой обмен носителями тока между областями диода все же будет происходить. Поэтому через диод пойдет ток, но во много раз меньший, чем прямой. Этот ток называют обратным током диода. На графиках, характеризующих работу диода, прямой ток обозначают $I_{пр.}$, а обратный $I_{обр.}$. А если диод включить в цепь с переменным током? Он будет открываться при положительных полупериодах на аноде, свободно пропуская ток одного направления - **прямой ток $I_{пр.}$** , и закрываться при отрицательных полупериодах на аноде, почти не пропуская ток противоположного направления - **обратный ток $I_{обр.}$** . Эти свойства диодов и используют в выпрямителях для **преобразования переменного тока в постоянный**. Напряжение, при котором диод открывается и через него идет прямой ток, называют **прямым (пишут $U_{пр.}$)** или пропускным, а напряжение обратной полярности, при котором диод закрывается и через него идет обратный ток, называют **обратным (пишут $U_{обр.}$)** или непропускным.

При прямом напряжении сопротивление диода хорошего качества не превышает нескольких десятков ом, при обратном же напряжении его сопротивление достигнет десятков, сотен килоом и даже мегаом.

В этом нетрудно убедиться, если обратное сопротивление диода измерить омметром. Внутреннее сопротивление открытого диода - величина непостоянная и зависит от прямого напряжения, приложенного к диоду: чем больше это напряжение, тем больше прямой ток через диод, тем меньше его пропускное сопротивление. **Судить о сопротивлении диода можно по падению напряжения на нем и току через него.** Так, например, если через диод идет прямой ток $I_{пр.} = 100$ мА (0,1 А) и при этом на нем падает напряжение 1В, то (по закону Ома) прямое сопротивление диода будет: $R = 1 / 0,1 = 10$ Ом. В закрытом состоянии на диоде падает почти все прикладываемое к нему напряжение, обратный ток через него чрезвычайно мал, а сопротивление, следовательно, велико.

Зависимость тока через диод от значения и полярности приложенного к нему напряжения изображают в виде кривой, называемой вольт - амперной характеристикой диода (ВАХ).

Такую характеристику вы видите на (рис. 2). Здесь по вертикальной оси вверх отложены значения прямого тока $I_{пр.}$, а внизу - обратного тока $I_{обр.}$. По горизонтальной оси вправо обозначены значения прямого напряжения $U_{пр.}$, влево - обратного напряжения. На такой вольт - амперной характеристике различают **прямую ветвь** (в правой верхней части), соответствующую прямому току через диод, и **обратную ветвь** вольт - амперной характеристики, соответствующую обратному току. Из нее видно, что ток $I_{пр.}$ диода в сотни раз больше тока $I_{обр.}$. Так, например, уже при прямом напряжении $U_{пр.} = 0,5$ В ток $I_{пр.}$ равен 50 мА (точка (а) на характеристике), при $U_{пр.} = 1$ В он возрастает до 150 мА (точка (б) на характеристике), а при обратном напряжении $U_{обр.} = 100$ В обратный ток $I_{обр.}$ не превышает 0,5 мА (500 мкА). Подсчитайте, во сколько раз при одном и том же прямом и обратном напряжении прямой ток больше обратного.

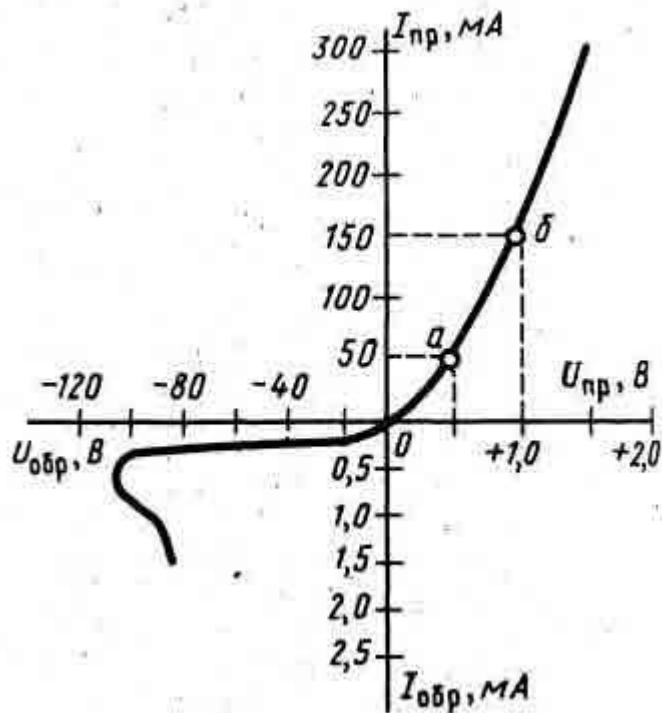


Рис. 2 Вольт - амперная характеристика полупроводникового диода.

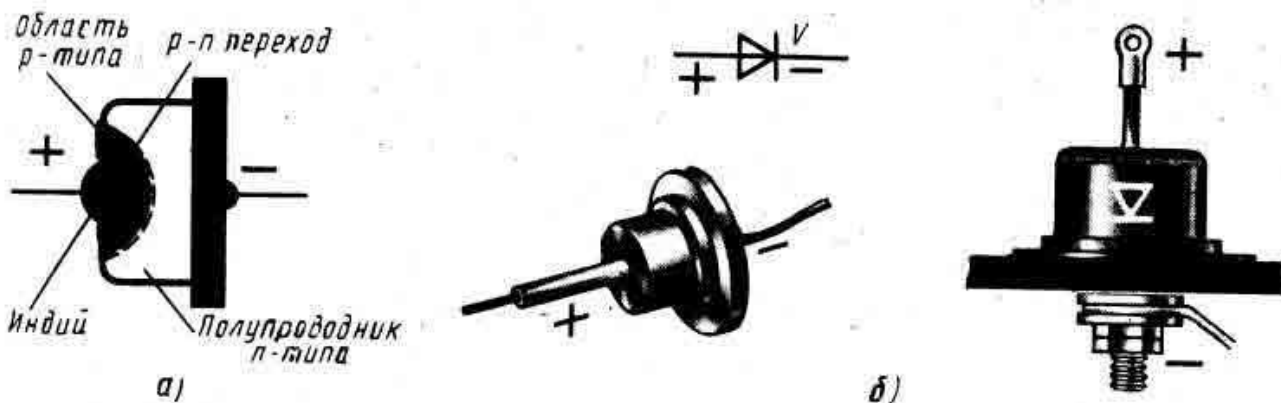


Рис. 3 Схематическое устройство (а) и внешний вид некоторых плоскостных диодов (б).

Прямая ветвь идет круто вверх, как бы прижимаясь к вертикальной оси. Она характеризует быстрый рост прямого тока через диод с увеличением прямого напряжения. Обратная же ветвь, как видите, идет почти параллельно горизонтальной оси, характеризуя медленный рост обратного тока. Наличие заметного обратного тока - недостаток диодов. Примерно такие вольт - амперные характеристики имеют все германиевые диоды. Вольт - амперные характеристики кремниевых диодов чуть сдвинуты вправо. Объясняется это тем, что **германиевый диод открывается и начинает проводить ток при прямом напряжении 0,1-0,2 В, а кремниевый при 0,5-0,6 В**. Прибор, на примере которого я рассказывал вам о свойствах диода, состоял из двух пластин полупроводников разной электропроводности, соединенных между собой плоскостями. Подобные диоды называют **плоскостными**. В действительности же плоскостной диод представляет собой одну пластину полупроводника, в объеме которой созданы две области разной электропроводности. Технология изготовления таких диодов заключается в следующем. На поверхности квадратной пластины площадью 2 - 4 мм квадратных и толщиной в несколько долей миллиметра, вырезанной из кристалла полупроводника с электронной электропроводностью, расплавляют маленький кусочек индия. Индий крепко сплавляется с пластинкой. При этом атомы индия проникают (диффундируют) в толщу пластинки, образуя в ней область с преобладанием дырочной электропроводности (рис. 3, а). Получается полупроводниковый прибор с двумя областями различного типа электропроводности, а между ними р - п переход. Kontakтами электродов диода служат капелька индия и металлический

диск или стержень с выводными проводниками. Так устроены наиболее распространенные плоскостные германиевые и кремниевые диоды. Внешний вид некоторых из них показан на (рис. 3, б). Приборы заключены в цельнометаллические или стеклянные корпуса со стеклянными изоляторами, что позволяет использовать их для работы в условиях повышенной влажности. Диоды, рассчитанные на значительные прямые токи, имеют винты для крепления их на монтажных панелях или шасси радиотехнических устройств. Плоскостные диоды маркируются буквами и цифрами, например: Д226А, Д242. Буква Д в маркировке прибора означает «диод», цифры, следующие за нею, заводской порядковый номер конструкции. Буквы, стоящие в конце обозначения диодов, указывают на разновидности групп приборов. **Плоскостные диоды предназначены в основном для работы в выпрямителях переменного тока блоков питания радиоаппаратуры, поэтому их называют еще выпрямительными Диодами.** Теперь познакомимся с принципом преобразования переменного тока в ток постоянный. Схему простейшего выпрямителя переменного тока вы видите на (рис. 4, а). На вход выпрямителя подается переменное напряжение электроосветительной сети. К выходу выпрямителя подключен резистор R_n , **символизирующий нагрузку**, питающуюся от **выпрямителя**. Функцию выпрямительного элемента выполняет диод V. Сущность работы такого выпрямителя иллюстрируют графики, помещенные на том же рисунке. При положительных полупериодах напряжения на аноде диод открывается. В эти моменты времени через диод, а значит, и через нагрузку, подключенную к выпрямителю, течет прямой ток диода $I_{пр}$. При отрицательных полупериодах напряжения на аноде диода закрывается и во всей цепи, в которую он включен, течет незначительный обратный ток диода $I_{обр}$. Диод как бы отсекает большую часть отрицательных полуволн переменного тока (на рис. 4, а показано штриховыми линиями). И вот результат: через нагрузку R_n , подключенную к сети через диод V, течет уже не переменный, а **пульсирующий ток** - ток одного направления, но изменяющийся по значению с частотой 50 Гц. Это и есть форма выпрямленного переменного тока. Таким образом, диод является прибором, обладающим резко выраженной односторонней проводимостью электрического тока. И если пренебречь малым обратным током (что и делают на практике), который у исправных диодов не превышает малые доли миллиампера, можно считать, что диод является односторонним проводником тока. Можно ли таким током питать нагрузку? Можно, он ведь выпрямленный. Но не каждую. Лампу накаливания, например, можно, если, конечно, выходное напряжение не будет превышать то напряжение, на которое лампа рассчитана. Ее нить будет накаливаться не постоянно, а импульсами, следующими с частотой 50 Гц. Из-за тепловой инертности нить не будет успевать остывать в промежутках между импульсами, поэтому мерцания света будут едва заметными. А вот приемник питать таким током нельзя. Потому что в цепях его усилителей ток тоже будет пульсировать с такой же частотой. В результате в телефонах или головке громкоговорителя на выходе приемника будет прослушиваться гул низкого тона с частотой 50 Гц, называемый **фоном переменного тока**. Этот недостаток можно частично устранить, если на выходе выпрямителя параллельно нагрузке подключить **фильтрующий электролитический конденсатор** (Сф) большой емкости, это показано на (рис. 4, б). Заряжаясь: от импульсов тока, конденсатор (Сф) в момент спада тока или его исчезновения (между импульсами) разряжается через нагрузку R_n . Если конденсатор достаточно большой емкости, то за время между импульсами тока он не будет успевать полностью разряжаться и в нагрузке будет непрерывно поддерживаться ток. Ток, поддерживаемый за счет зарядки конденсатора, показан на (рис. 4, б) сплошной волнистой линией. Но и таким, несколько сглаженным током тоже нельзя питать приемник или усилитель: он будет «фонить», так как пульсации пока еще очень ощутимы. В выпрямителе, с работой которого мы сейчас разбираемся, полезно используется энергия только половины волн переменного тока. Такое выпрямление переменного тока называют **однополупериодными**, а выпрямители - **однополупериодными выпрямителями**. Однако выпрямителям, построенным по таким схемам, присущи два существенных недостатка. Первый из них заключается в том, что напряжение выпрямленного тока равно примерно напряжению сети, в то время как для питания транзисторных конструкций необходимо более низкое напряжение, а для ламповых часто более высокое напряжение. Второй недостаток - недопустимость присоединения заземления к приемнику, питаемому от такого выпрямителя. Если приемник заземлить, ток из электросети пойдет через приемник в землю - могут перегореть предохранители. Кроме того, приемник или усилитель, питаемые от такого выпрямителя и, таким образом, имеющие прямой контакт с электросетью, опасны - можно получить электрический удар.

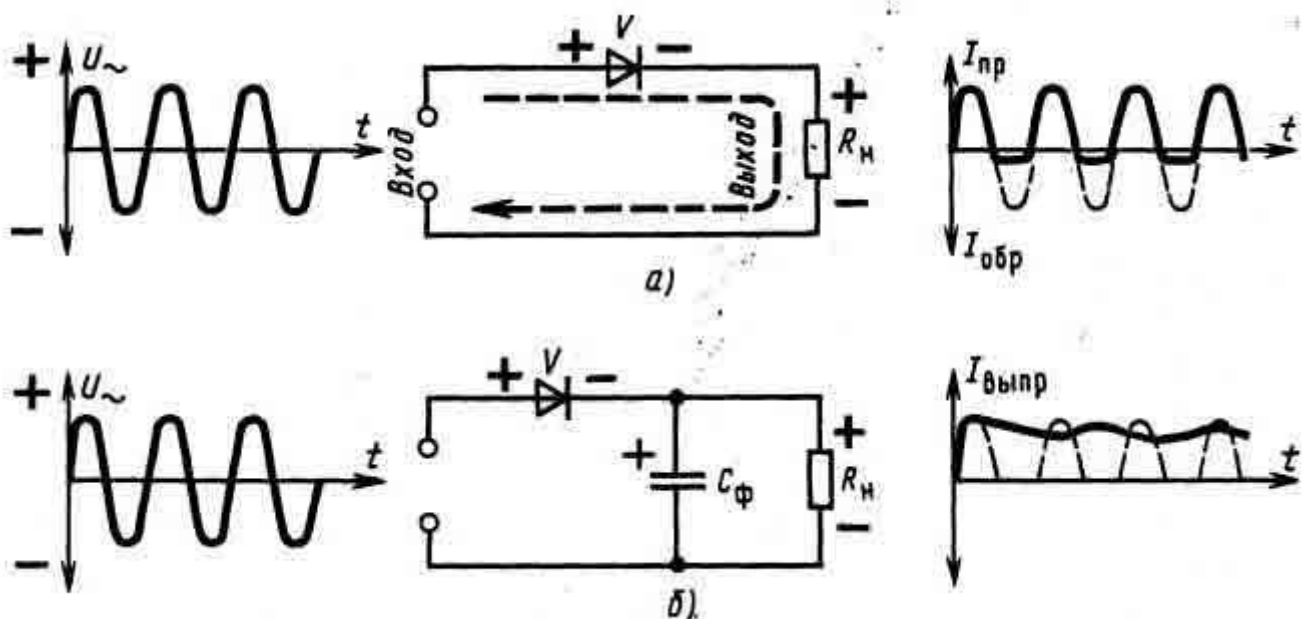


Рис. 4 Схемы однополупериодного выпрямителя.

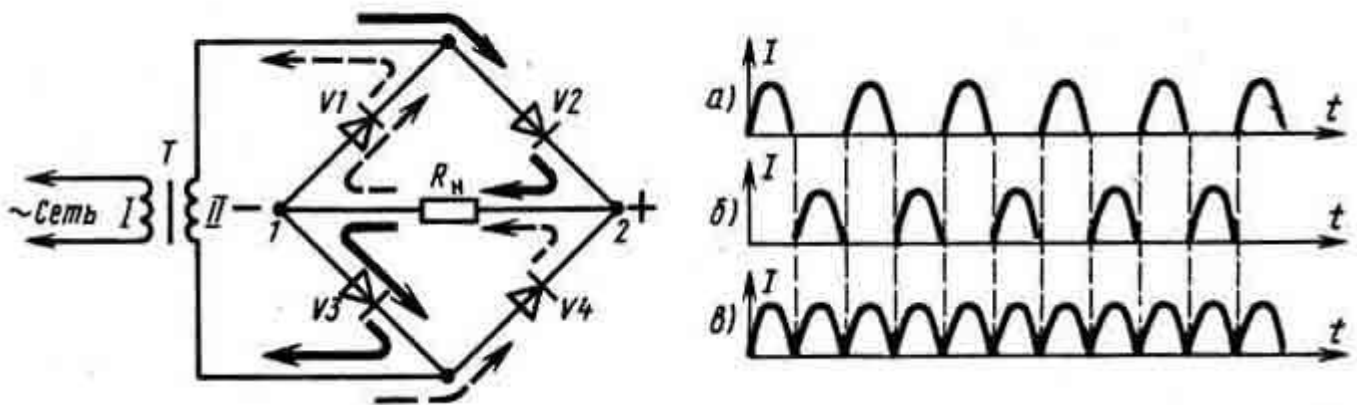


Рис. 5 Двухполупериодный выпрямитель с трансформатором.

Оба эти недостатка устранены в выпрямителе с трансформатором (рис. 5). Здесь выпрямляется не напряжение электросети, а напряжение вторичной (II) обмотки сетевого трансформатора Т. Поскольку эта обмотка изолирована от первичной сетевой обмотки I, радиоконструкция не имеет контакта с сетью и к ней можно подключать заземление. В выпрямителе на (рис. 5) четыре диода, включенные по так называемой **мостовой схеме**. Диоды являются **плечами выпрямительного моста**. Нагрузка R_n включена в диагональ 1 - 2 моста. В таком выпрямителе в течение каждого полупериода работают поочередно два диода противоположных плеч моста, включенных между собой последовательно, но встречно по отношению ко второй паре диодов.

Постарайтесь вникнуть и запомнить классическую схему диодного моста! Когда на верхнем (по схеме) выводе вторичной обмотки положительный полупериод напряжения, ток идет через диод V2, нагрузку R_n , диод V3 к нижнему выводу обмотки II (график а). Диоды V1 и V4 в это время закрыты. В течение другого полупериода переменного напряжения, когда плюс на нижнем выводе обмотки II, ток идет через диод V4, нагрузку R_n , диод V1 к верхнему выводу обмотки (график б). В это время диоды V2 и V3 закрыты и, естественно, ток через себя не пропускают. И вот результаты: меняются знаки напряжения на выводах вторичной обмотки трансформатора, а через нагрузку выпрямителя идет ток одного направления (график в). В таком выпрямителе полезно используются оба полупериода переменного тока, поэтому подобные выпрямители называют двухполупериодными.

Эффективность работы двухполупериодного выпрямителя по сравнению с однополупериодным налицо: частота пульсаций выпрямленного тока удвоилась, «провалы» между импульсами уменьшились. Среднее значение напряжения постоянного тока на выходе такого выпрямителя равно примерно переменному напряжению, действующему во всей вторичной обмотке трансформатора. А если выпрямитель дополнить фильтром, сглаживающим пульсации выпрямленного тока, выходное напряжение увеличится в 1,4 раза, т. е. примерно на 40%. Именно такой выпрямитель я позже буду рекомендовать вам для питания транзисторных конструкций. Теперь о **точечном диоде**. Внешний вид одного из таких приборов и его устройство (в значительно увеличенном виде) показаны на (рис. 6). Это диод серии Д9. Буква «Д» в его маркировке означает диод, а цифра 9 - порядковый заводской номер конструкции. Выпрямительным элементом диода служат тонкая и очень маленькая (площадью около 1 мм квадратных) пластина полупроводника германия или кремния типа n и вольфрамовая проволочка, упирающаяся острым концом в пластину. Они припаяны к отрезкам посеребренной проволоки длиной примерно по 50 мм, являющимися выводами диода. Вся конструкция находится внутри стеклянной трубочки диаметром около 3 и длиной меньше 10 мм, запаянной с концов. После сборки диод формируют - пропускают через контакт между пластиной полупроводника и острием вольфрамовой проволочки ток определенного значения. При этом под острием проволочки в кристалле полупроводника образуется небольшая область с дырочной электропроводностью. Получается **электронно - дырочный переход**, обладающий односторонней проводимостью тока. Пластина полупроводника является катодом, а вольфрамовая проволочка - анодом точечного диода.

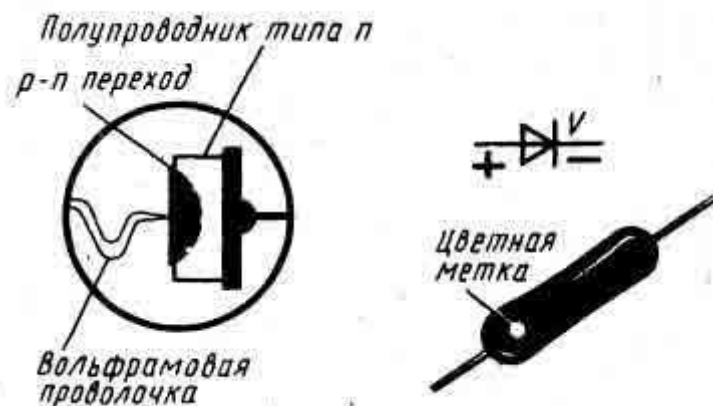


Рис. 6 Схематическое устройство и внешний вид точечного диода серии Д9.

Вывод анода диодов серии Д9 обозначают цветными метками на их корпусах. Электроды точечного диода серии Д2 обозначают символом диода на одном из его ленточных выводов. У точечного диода площадь соприкосновения острого проволочки с поверхностью пластины полупроводника чрезвычайно мала - не более 50мкм. Поэтому токи, которые точечные диоды могут выпрямлять в течение продолжительного времени, малы. Точечные диоды радиолюбители

используют в основном для детектирования модулированных колебаний высокой частоты, поэтому их часто называют высокочастотными диодами. Как для плоскостных, так и для точечных диодов существуют максимально допустимые значения прямого и обратного токов, зависящие от прямого и обратного напряжений и определяющие их выпрямительные свойства и электрическую прочность. Это их основные параметры. Плоскостной диод Д226В, например, может продолжительное время выпрямлять ток до 300 мА. Но если его включить в цепь, потребляющую ток более 300 мА, он будет нагреваться, что неизбежно приведет к тепловому пробое р - n перехода и выходу диода из строя. Диод будет пробит и в том случае, если он окажется в цепи, в которой на него будет подаваться обратное напряжение более чем 400 В. Допустимый выпрямленный ток для точечного диода Д9А 65 мА, а допустимое обратное напряжение 10 В. Основные параметры полупроводниковых диодов указывают в их паспортах и справочных таблицах. Превышение предельных значений приводит к выходу приборов из строя. Основные параметры наиболее распространенных точечных и плоскостных полупроводниковых диодов можно найти [здесь](#).

Стабилитрон и его применение

Стабилитрон это тоже диод, но предназначен он не для выпрямления переменного тока, хотя и может выполнять такую функцию, а для стабилизации, т.е. поддержания постоянства напряжения в цепях питания радиоэлектронной аппаратуры.

Внешний вид одной из конструкций наиболее распространенных среди радиолюбителей стабилитронов и его графическое обозначение показаны на (рис. 8). По устройству и принципу работы кремниевые стабилитроны широкого применения аналогичны плоскостным выпрямительным диодам. Но работает стабилитрон не на прямом участке вольт - амперной характеристики, как выпрямительные или высокочастотные диоды, а на обратной ветви вольт - амперной характеристики, где незначительное обратное напряжение вызывает значительное увеличение обратного тока через прибор. Разобраться в сущности действия стабилитрона вам поможет его вольт - амперная характеристика, показанная на (рис. 8, а). Здесь (как и на рис. 2) по горизонтальной оси отложены в некотором масштабе обратное напряжение $U_{обр.}$, а по вертикальной оси вниз - обратный ток $I_{обр.}$. **Напряжение на стабилитрон подают в обратной полярности**, т. е. включают так, чтобы его **анод был соединен с отрицательным полюсом** источника питания. При таком включении через стабилитрон течет обратный ток $I_{обр.}$. По мере увеличения обратного напряжения обратный ток растет очень медленно - характеристика идет почти параллельно оси $U_{обр.}$. Но при некотором напряжении $U_{обр.}$ (на рис. 8, а - около 8 В) р - n переход стабилитрона пробивается и через него начинает течь значительный обратный ток. Теперь вольт - амперная характеристика резко поворачивается и идет вниз почти параллельно оси $I_{обр.}$. Этот участок и является для стабилитрона рабочим. Пробой же р - n перехода не ведет к порче прибора, если ток через него не превышает некоторого допустимого значения.



Рис. 8 Стабилитрон и его графическое обозначение на схемах.

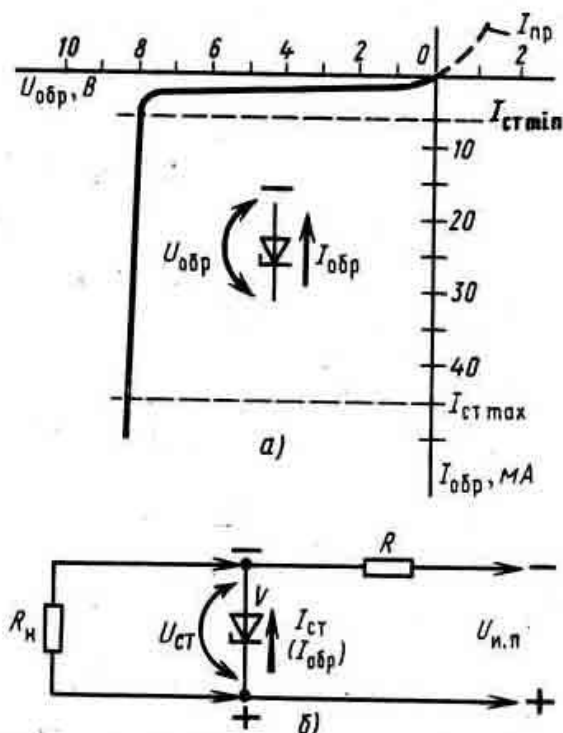
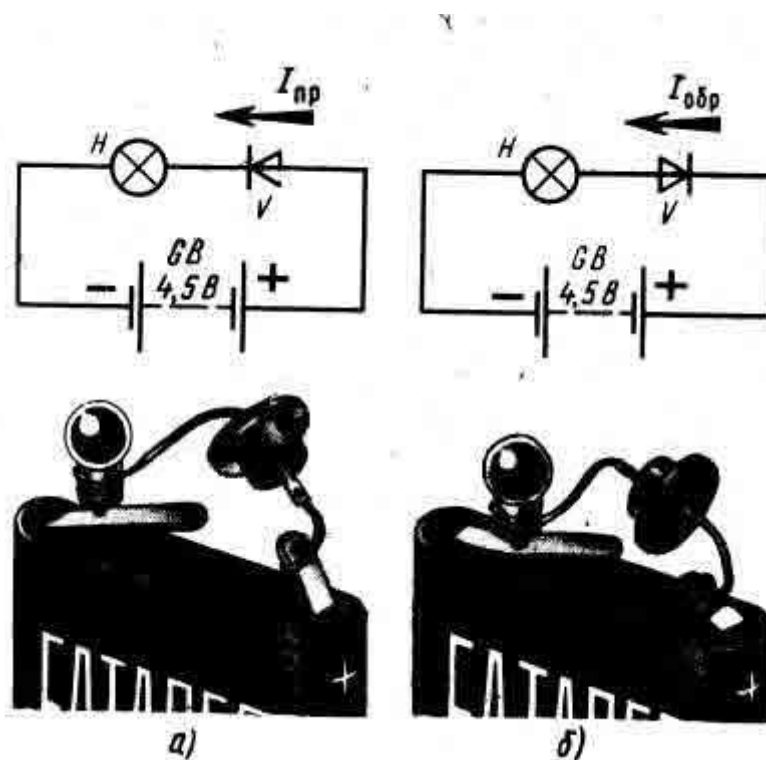


Рис. 9 Вольт - амперная характеристика стабилитрона (а) и схема параметрического стабилизатора напряжения (б).

На (рис. 8, б) приведена схема возможного практического применения стабилитрона. Это так называемый **параметрический стабилизатор напряжения**. При таком включении через стабилизатор V течет обратный ток $I_{обр.}$, создающийся источником питания, напряжение которого может изменяться в значительных пределах. Под действием этого напряжения ток $I_{обр.}$, текущий через стабилитрон, тоже изменяется, а напряжение на нем, а значит, и на подключенной к нему нагрузке R_n остается практически неизменным - стабильным. Резистор R ограничивает максимально допустимый ток, текущий через стабилитрон. Со стабилизаторами напряжения вам неоднократно придется иметь дело на практике. Вот наиболее важные параметры стабилитрона: **напряжение стабилизации $U_{ст.}$, ток стабилизации $I_{ст.}$, минимальный ток стабилизации $I_{ст. min}$ и максимальный ток стабилизации $I_{ст. max}$** . Параметр $U_{ст.}$ - это то напряжение, которое создается между выводами стабилизатора в рабочем режиме. Наша промышленность выпускает кремниевые стабилитроны на напряжение стабилизации от нескольких вольт до 180 В.

Минимальный ток стабилизации $I_{ст. min}$ - это наименьший ток через прибор, при котором начинается устойчивая работа в режиме пробоя (на рис. 8, а - штриховая линия $I_{ст. min}$), с уменьшением этого тока прибор перестает стабилизировать напряжение. Максимально допустимый ток стабилизации $I_{ст. max}$ - это наибольший ток через прибор (не путайте с током, текущим в цепи, питающейся от стабилизатора напряжения), при котором температура его $p - n$ перехода не превышает допустимой (на рис. 8, а - штриховая линия $I_{ст. max}$) - Превышение тока $I_{ст. max}$ ведёт к тепловому пробую $p - n$ перехода и, естественно, к выходу прибора из строя.

Для лучшего понимания материала данного урока и чтобы лучше закрепить в памяти ваше представление о свойствах диодов, предлагаю провести такой опыт. В электрическую цепь, составленную из батареи 3336Л (в народе называю квадратной батареей) или кроны, лампочки накаливания, рассчитанной на напряжение 3,5 В или 6.3 В если это крона и ток накала 0,28 А, включите любой Диод из серии Д7, Д226, КД226, КД220, и др. так, чтобы анод диода был соединен непосредственно или через лампочку с положительным выводом батареи, а катод - с отрицательным выводом (рис. а). Лампочка должна гореть почти так же, как если бы диода не было в цепи. Измените порядок включения электродов диода в цепь на обратный (рис. б). Теперь лампочка гореть не должна. А если горит, значит, диод оказался с пробитым $p - n$ переходом. Такой диод можно разломать, чтобы посмотреть, как он устроен, - для работы как выпрямитель он все равно непригоден. Но, надеюсь, диод был хорошим и опыт удался. Почему при первом включении диода в цепь лампочка горела, а при втором не горела? В первом случае диод был открыт, так как на него подавалось прямое напряжение $U_{пр.}$, сопротивление диода было мало и через него протекал прямой ток $I_{пр.}$, значение которого определялось нагрузкой цепи - лампочкой. Во втором случае диод был закрыт, так как к нему прикладывалось обратное напряжение $U_{обр.}$, равное напряжению батареи. Сопротивление диода было очень большое, и в цепи тек лишь незначительный обратный ток $I_{обр.}$, который не мог накаливать нить лампочки. В этом опыте лампочка выполняла двоякую функцию. Она, во - первых, была индикатором наличия тока в цепи, а во - вторых, ограничивала ток в цепи до 0,28 А и таким образом защищала диод от перегрузки.



Опыт с диодом.