

«Полупроводниковые диоды : типы, характеристики»

ЧТО ЖЕ ТАКОЕ ДИОД??

Казалось бы простая всем известная вещь, но есть нюансы.

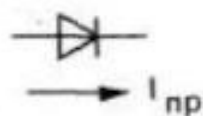
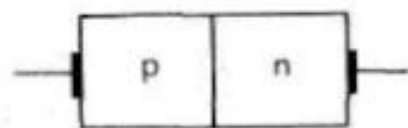
Диод - это полупроводниковый прибор:

А) пропускающий ток положительной полярности и не пропускающий отрицательной.

Б) обладающий различной проводимостью в зависимости от полярности приложенного напряжения.

Полупроводниковый диод

- это прибор, содержащий элемент с одним **p-n переходом**.



Полупроводниковый диод

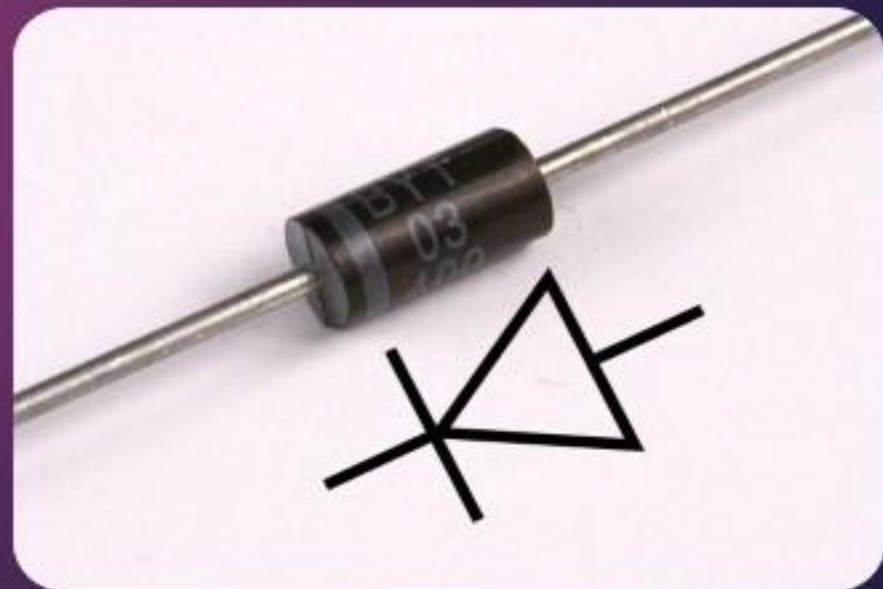


- устройство для выпрямления переменного электрического тока.
- прибор состоящий из полупроводника р и n- типа, и одного р-n перехода.
- прибор пропускающий ток в одном направлении.



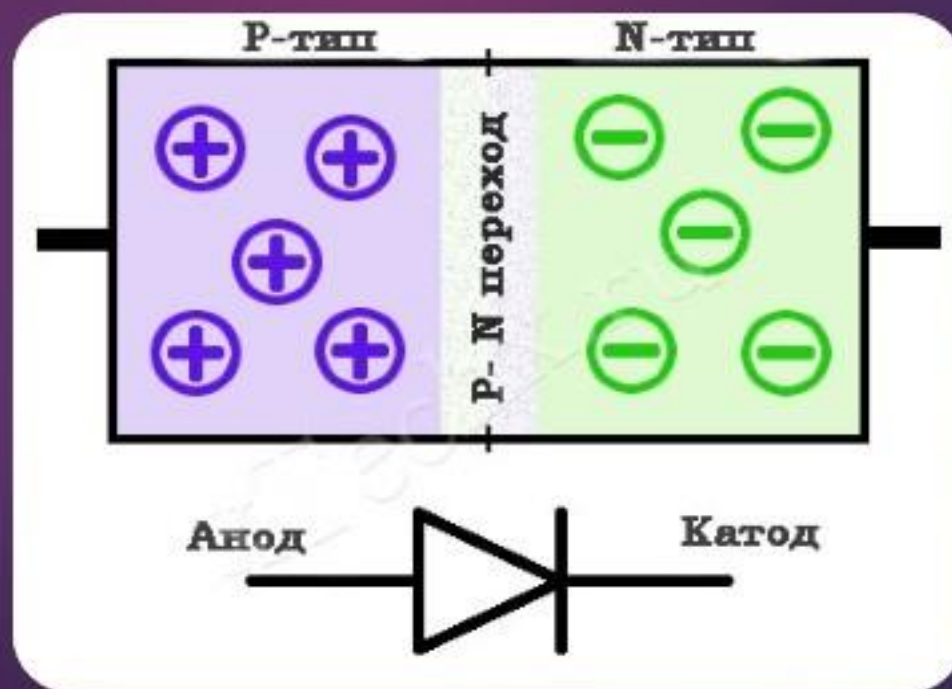
Область применения

- ▶ Основным свойством диода является то, что он хорошо пропускает ток в одну сторону, но почти не пропускает ток в другую сторону. С помощью нескольких диодов можно преобразовать переменный ток в постоянный, на котором работают большинство компактных электронных устройств



Принцип работы

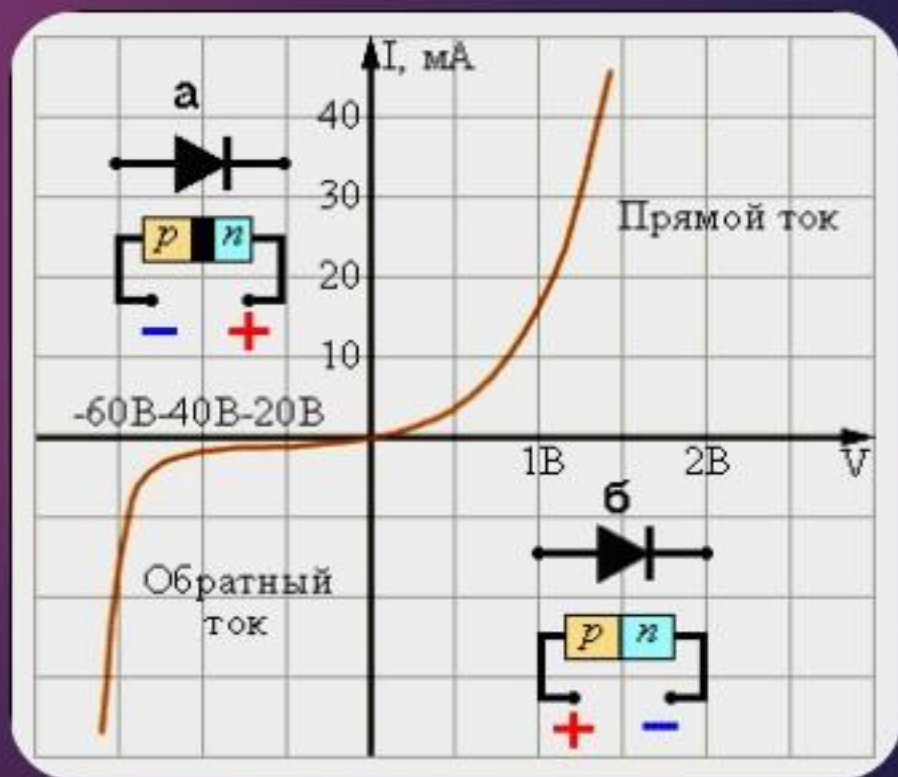
- ▶ Это полупроводниковый прибор, в котором одна область обладает проводимостью P-типа (positive +), где искусственно создан недостаток электронов, а в другом N-типа (negative -) наоборот – избыток электронов.



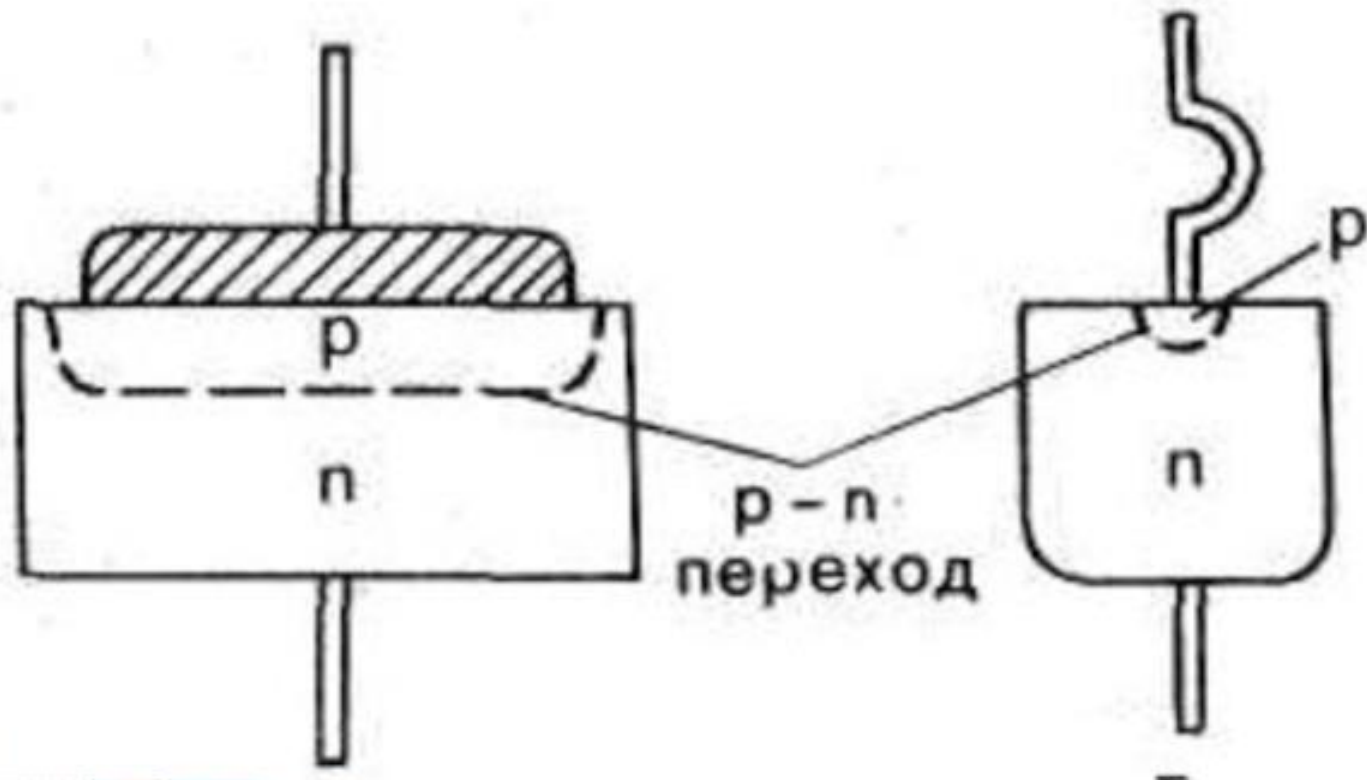
Принцип работы

- ▶ Таким образом, если к аноду (+) приложить положительное напряжение, а к катоду (-) ток будет легко проходить. Такое подключение называется *положительным включением диода*.

При обратном включении диода (т.е. если к аноду (-), а к катоду (+) ток проходить не будет.



По конструктивному выполнению р-п переходов диоды подразделяют на плоскостные и точечные.

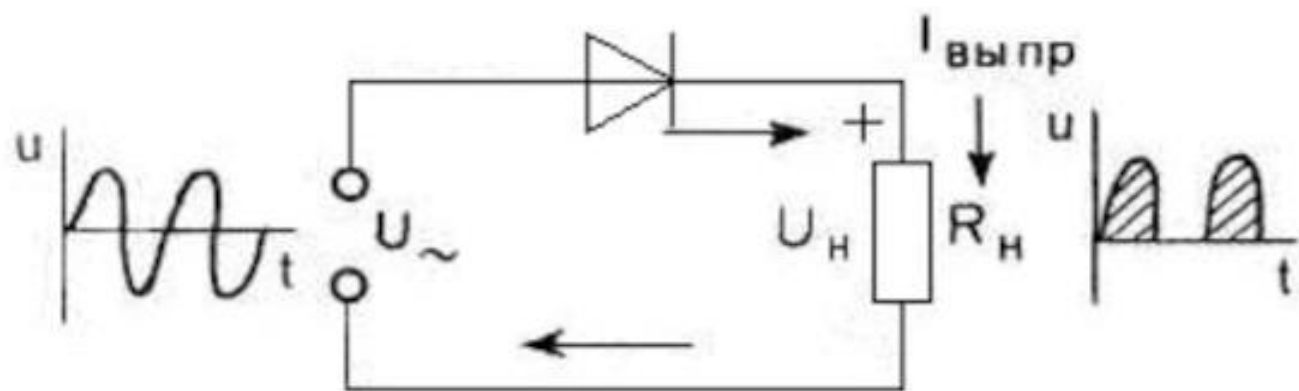


- Вывод, от которого во внешнюю цепь течет прямой ток называется катодным. Вывод, к которому прямой ток течет из внешней цепи называется анодным.

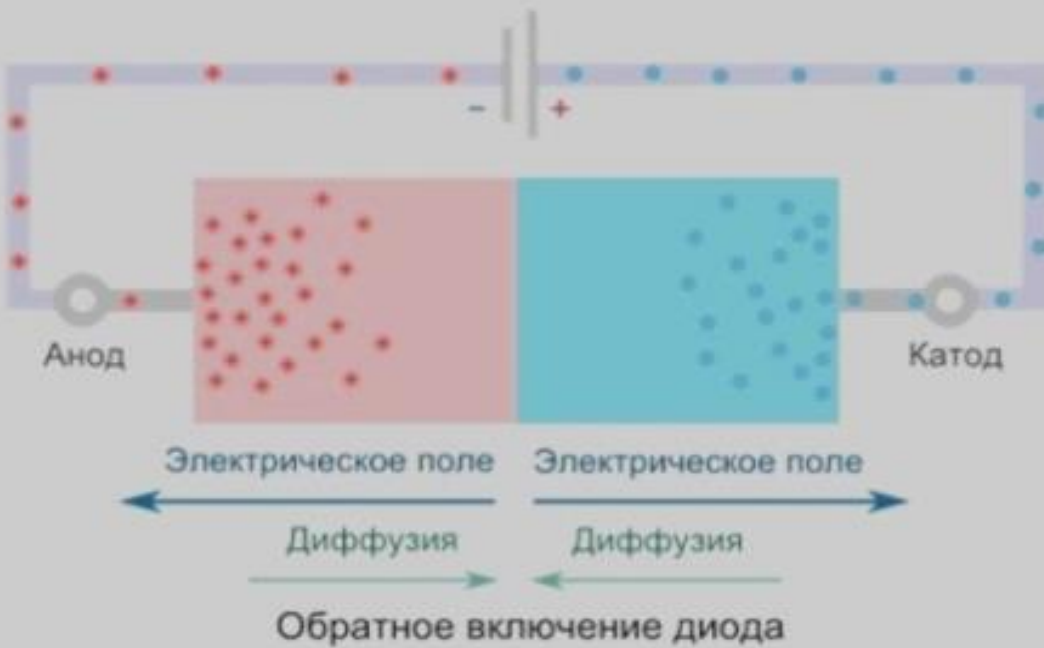
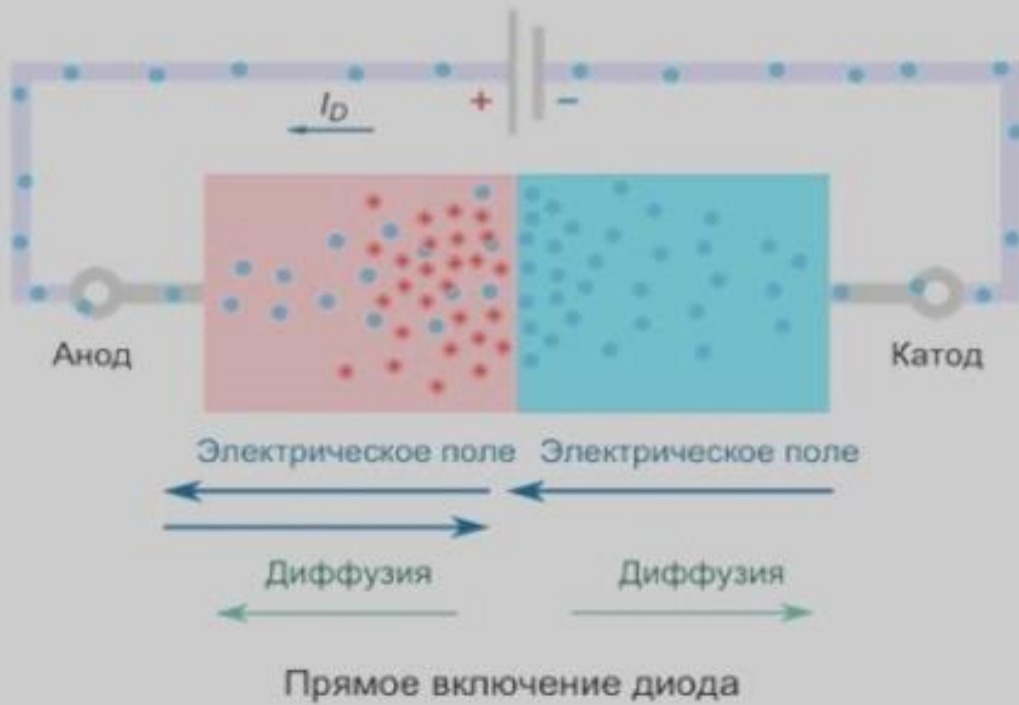
Принцип действия выпрямительных диодов

основан на свойстве односторонней электропроводности p-n перехода.

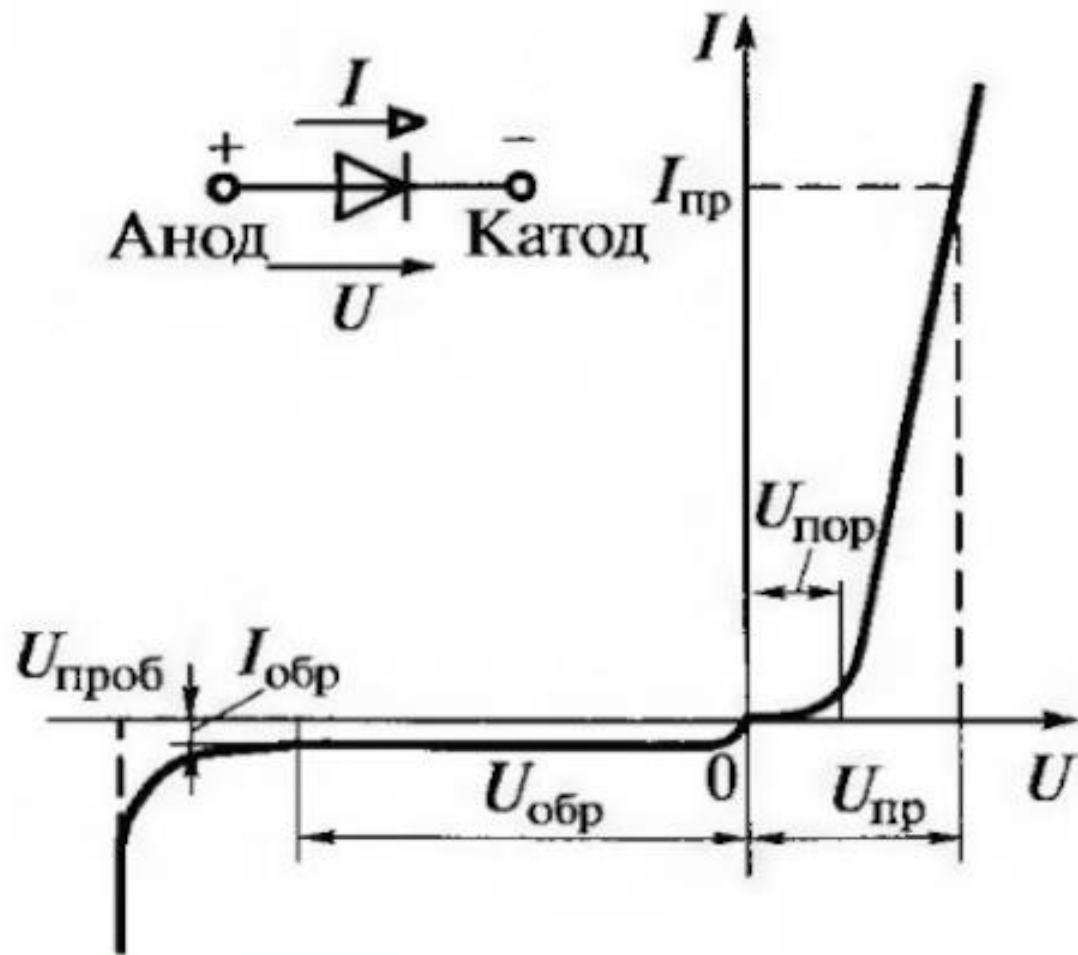
Когда на вход диода поступает полуволна положительной полярности, p-n переход включается в прямом направлении, обеспечивается протекание прямого тока в цепи.



- При появлении на диоде отрицательной полуволны разность потенциалов р- и п-областей возрастает, внутреннее электрическое поле перехода препятствует прохождению зарядов через переход, т. е. запирает его; ток в нагрузке равен небольшому обратному току *$I_{обр}$* , а напряжение на ней близко к нулю.



Вольт-амперная характеристика



Плоскостные и точечные диоды

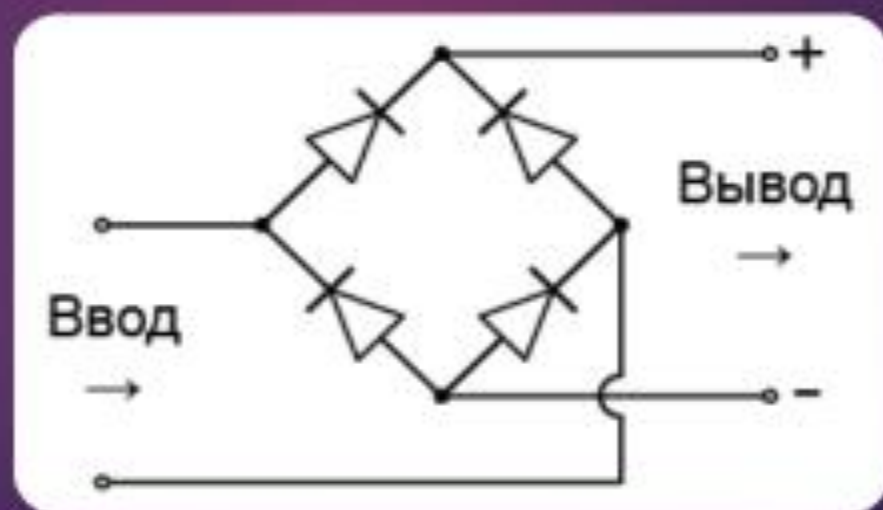
Особенностью точечного диода является конструкция его электродов, один из которых является металлической иглой. В процессе производства эта игла, содержащая примесь (донор или акцептор), вплавляется в кристалл полупроводника, в результате чего получается р-п переход требуемой проводимости. Такой переход имеет малую площадь, а, следовательно, малую паразитную емкость. Благодаря этому рабочая частота точечных диодов достигает нескольких сотен мегагерц.

Плоскостные и точечные диоды

Нетрудно видеть, что у такого диода площадь р-п перехода намного больше, чем у точечного. У мощных диодов эта площадь может достигать до 100 и более квадратных миллиметров, поэтому их прямой ток намного больше, чем у точечных. Именно плоскостные диоды используются в выпрямителях, работающих на низких частотах, как правило, не выше нескольких десятков килогерц.

Как происходит выпрямление тока

- ▶ Самым простым примером выпрямителя тока будет диодный мост. Диодный мост преобразует переменный ток в пульсирующий постоянный.

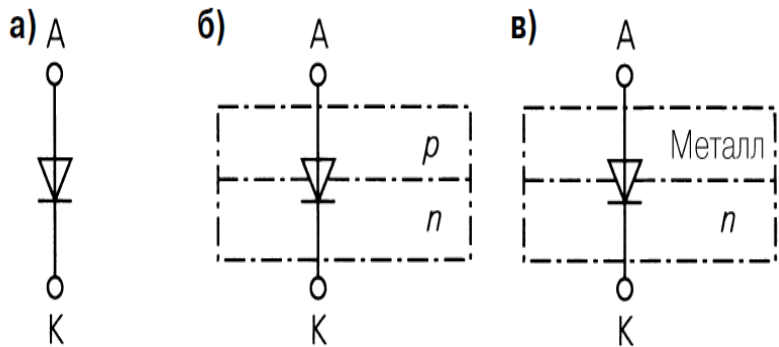


Диод представляет собой полупроводниковый прибор обладающей нелинейной вольт-амперной характеристикой, резко отличающейся в зависимости от полярности приложенного напряжения.

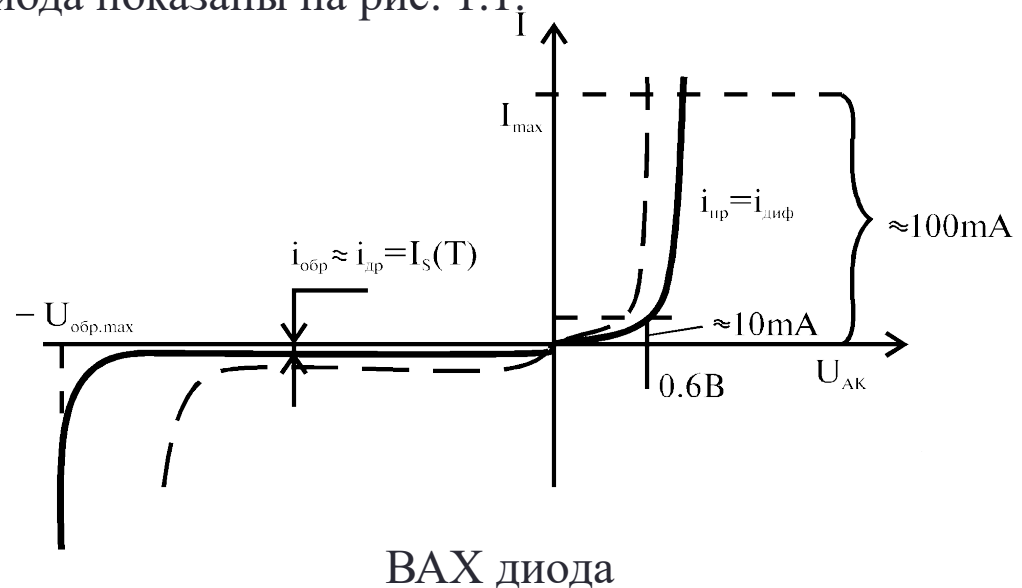
В процессе работы диод может находиться в областях *проводимости*, *запирания* и *пробоя*.

Различают **дискретные диоды** в виде отдельного элемента, предназначенного для монтажа на плате и заключенного в собственный корпус, и **интегральные диоды**, которые вместе с другими элементами схемы изготавливаются на общей полупроводниковой подложке.

Устройство. Диоды представляют собой электронно-дырочный переход p-n или переход металл-полупроводник и называются соответственно диодами с p-n переходом или диодами Шоттки. Зона *p* обогащена дырками, а зона *n* – электронами. Условное графическое обозначение и структура диода показаны на рис. 1.1.



Обозначения диодов



При монтаже диода в корпус его нижняя часть припаивается к контактной ножке, служащей катодом, или к металлической части корпуса. Анодный вывод соединяется тонкой золотой или алюминиевой проволокой (контактным проводом) с соответствующей контактной ножкой. На заключительной стадии диод заливают синтетическим компаундом или заключают в металлический корпус с резьбовым контактом.

Для диодов разных размеров и назначений существует множество типов корпусов, различающихся максимально допустимой рассеиваемой мощностью или имеющих особую форму для специальных применений. Наиболее распространенные типы корпусов показаны на рис. 1.6.

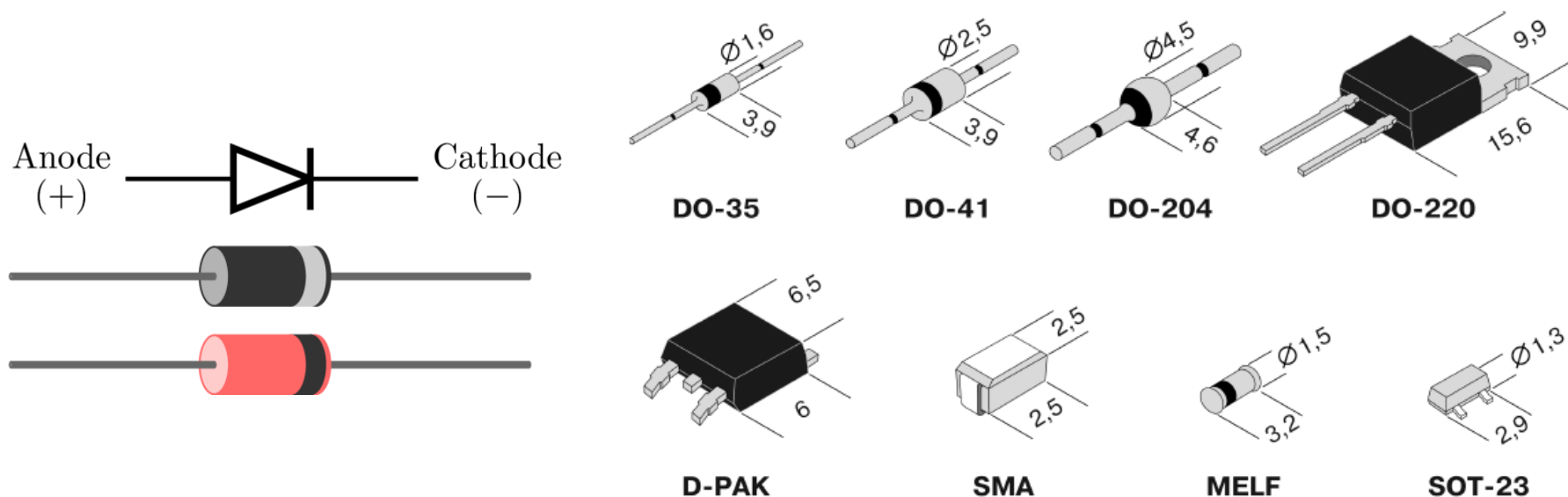


Рис. 1.6. Распространенные типы корпусов дискретных диодов

Частотные свойства диодов

Во многих устройствах диоды работают попеременно в областях проводимости и запираения, примером чему служит выпрямление переменного тока. На рис. 1.4 представлена схема, с помощью которой можно найти характеристику процесса переключения при омической ($L = 0$) и омическо-индуктивной ($L > 0$) нагрузке. Питая схему напряжением прямоугольной формы, получим изменение во времени напряжения на диоде и протекающего через него тока (рис. 1.5) при $U = 10$ В, $f = 10$ МГц, $R = 1$ кОм и $L = 0$ или $L = 5$ мкГн.

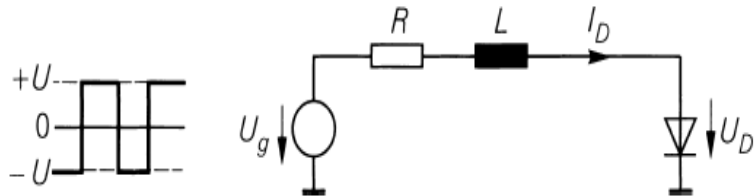


Рис. 1.4. Схема для измерения характеристики процесса переключения

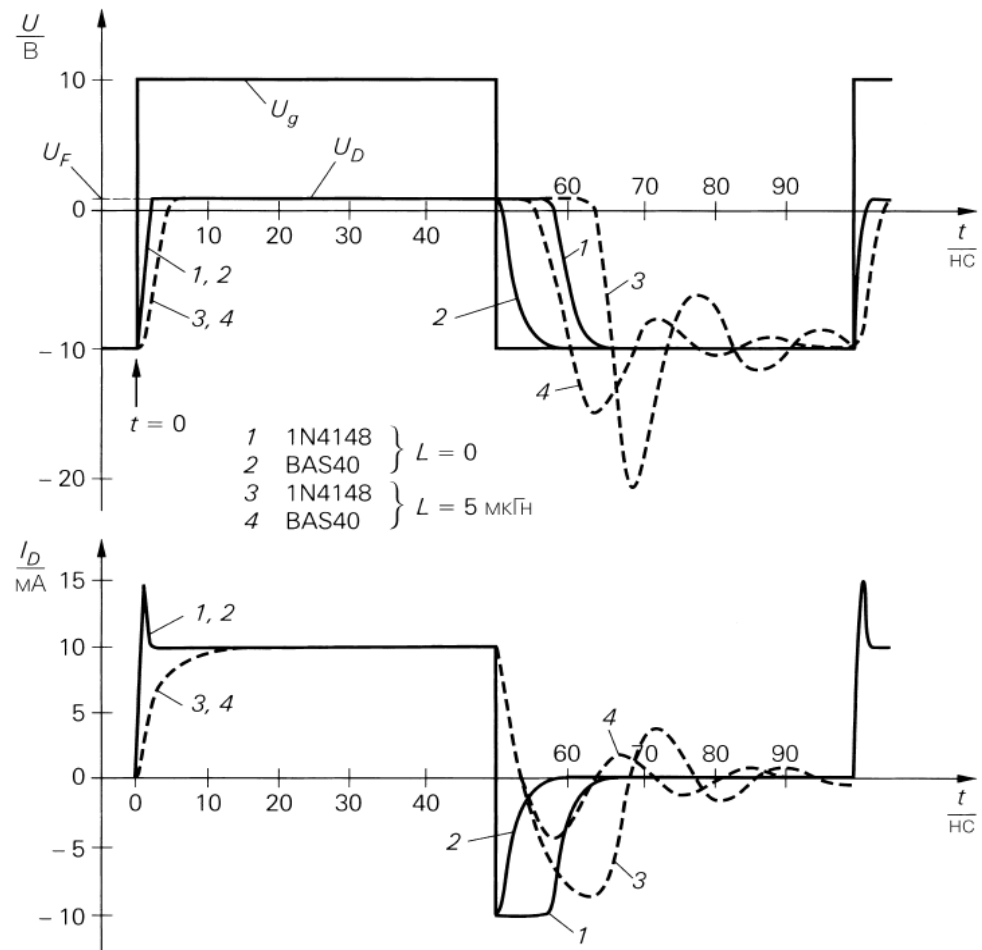


Рис. 1.5. Характеристика процесса переключения кремниевого диода 1N4148 и диода Шоттки BAS40 в схеме измерений на рис. 1.4

Классификация диодов

Типы диодов по назначению

1. Выпрямительные диоды - предназначены для преобразования переменного тока в постоянный.
2. Импульсные диоды - имеют малую длительность переходных процессов, предназначены для применения в импульсных режимах работы.
3. Детекторные диоды - предназначены для детектирования сигнала
4. Смесительные диоды - предназначены для преобразования высокочастотных сигналов в сигнал промежуточной частоты.
5. Ограничительные диоды - предназначены для защиты радио и бытовой аппаратуры от повышения сетевого напряжения.

Типы диодов по частотному диапазону

Низкочастотные

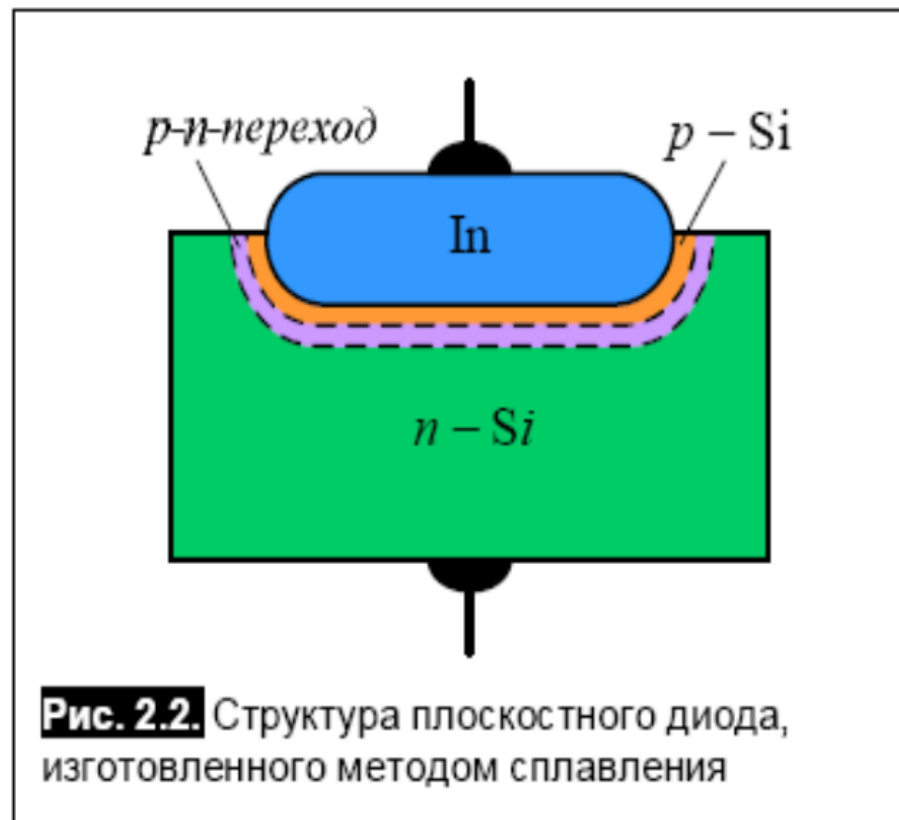
Высокочастотные

СВЧ

- **Классификация диодов**
- по типу полупроводникового материала – кремниевые, германиевые, из арсенида галлия;
- по назначению – выпрямительные, импульсные, стабилитроны, варикапы и др.;
- по технологии изготовления электронно-дырочного перехода – сплавные, диффузионные и др.;
- по типу электронно-дырочного перехода – точечные и плоскостные.

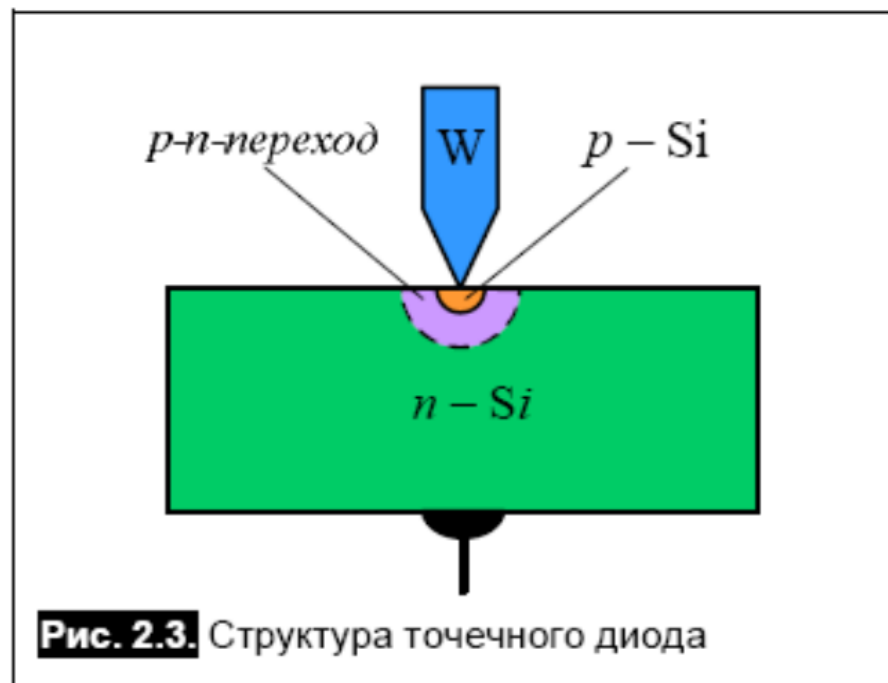
- **Плоскостными** называют такие диоды, у которых размеры, определяющие площадь $p-n$ -перехода, значительно больше его ширины.
- Площадь $p-n$ -перехода может составлять от долей квадратного миллиметра до десятков квадратных сантиметров.

Промышленностью выпускаются плоскостные диоды в широком диапазоне токов (до тысяч ампер) и напряжений (до тысяч вольт), это позволяет их использовать в установках малой, средней и большой мощности.



- **Точечные диоды** имеют очень малую площадь $p-n$ -перехода, причем линейные размеры ее меньше толщины $p-n$ -перехода.
- Точечные $p-n$ -переходы образуются в месте контакта монокристалла полупроводника и острия металлической проволоочки – пружинки.


Благодаря малой площади $p-n$ -перехода барьерная ёмкость точечных диодов очень незначительна, это позволяет использовать их на высоких и сверхвысоких частотах.





Основные виды диодов


- Классические кремниевые (выпрямительные) диоды
- Диоды Шоттки
- Стабилитроны (диоды Зеннера)
- TVS-диоды (супрессоры)
- Туннельные диоды (диоды Лео Эсаки)
- Варикапы
- Светодиоды
- Фотодиоды


выпрямительные 


обращенные 


стабилитроны 

туннельные 

варикапы 

светодиоды 

СВЧ-диоды 

фотодиоды 

Основные характеристики диодов

$U_{обр.макс.}$	максимально-допустимое постоянное обратное напряжение диода;
$U_{обр.и.макс.}$	максимально-допустимое импульсное обратное напряжение диода;
$I_{пр.макс.}$	максимальный средний прямой ток за период;
$I_{пр.и.макс.}$	максимальный импульсный прямой ток за период;
$I_{прг.}$	ток перегрузки выпрямительного диода;
$f_{макс.}$	максимально-допустимая частота переключения диода;
$f_{раб.}$	рабочая частота переключения диода;
$U_{пр. при I_{пр.}}$	постоянное прямое напряжения диода при токе $I_{пр.}$;
$I_{обр.}$	постоянный обратный ток диода;
$T_{к.макс.}$	максимально-допустимая температура корпуса диода.
$T_{п.макс.}$	максимально-допустимая температура перехода диода.
C_d	Паразитная емкость

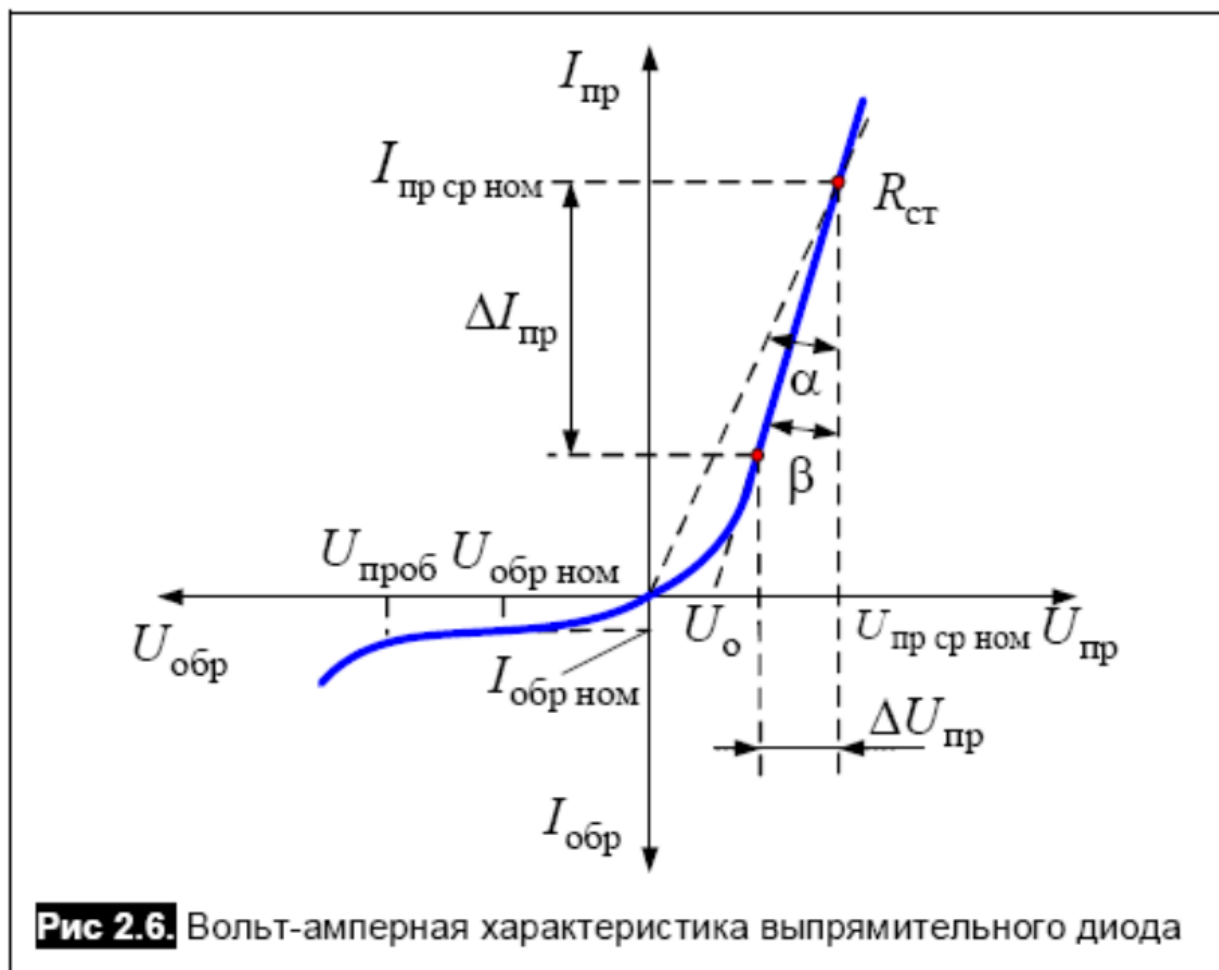
Выпрямительные диоды

- *Выпрямительный диод* – это полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный.



Выпрямительные диоды:
дискретное исполнение (а);
диодные мосты (б).

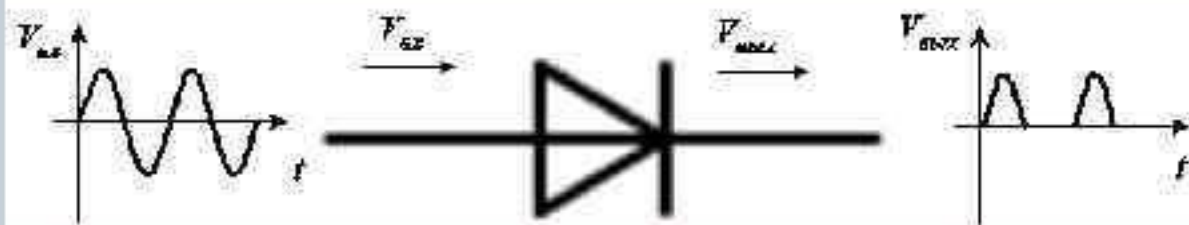
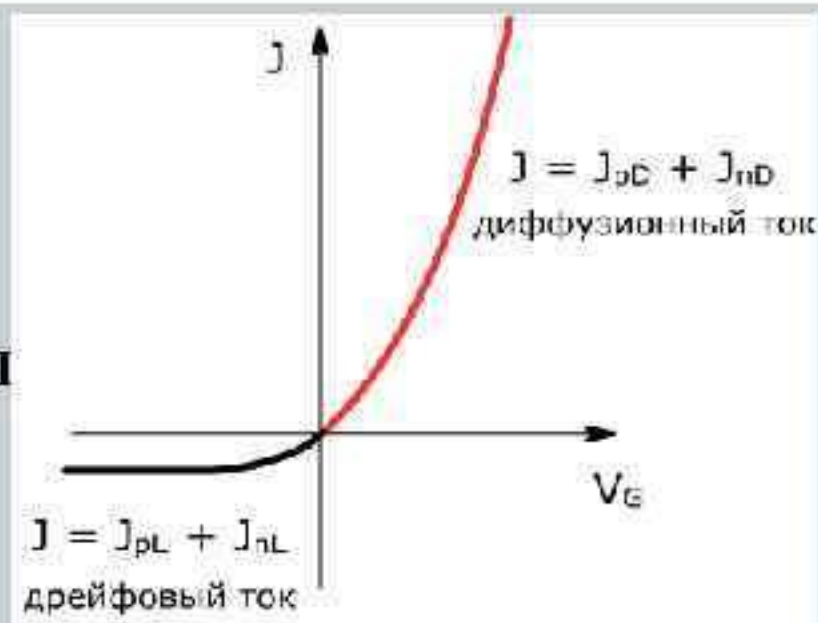
- Выпрямительные диоды должны иметь как можно меньшую величину обратного тока (определяется концентрацией неосновных носителей заряда).



Выпрямительные диоды



Основа – электронно-дырочный переход
ВАХ имеет ярко выраженную нелинейность



Импульсные диоды

- *Импульсный диод* – это полупроводниковый диод, имеющий малую длительность переходных процессов и предназначенный для применения в импульсных режимах работы.
- *Импульсные режимы* – это такие режимы, когда диоды переключаются с прямого напряжения на обратное через короткие промежутки времени, порядка долей микросекунды.

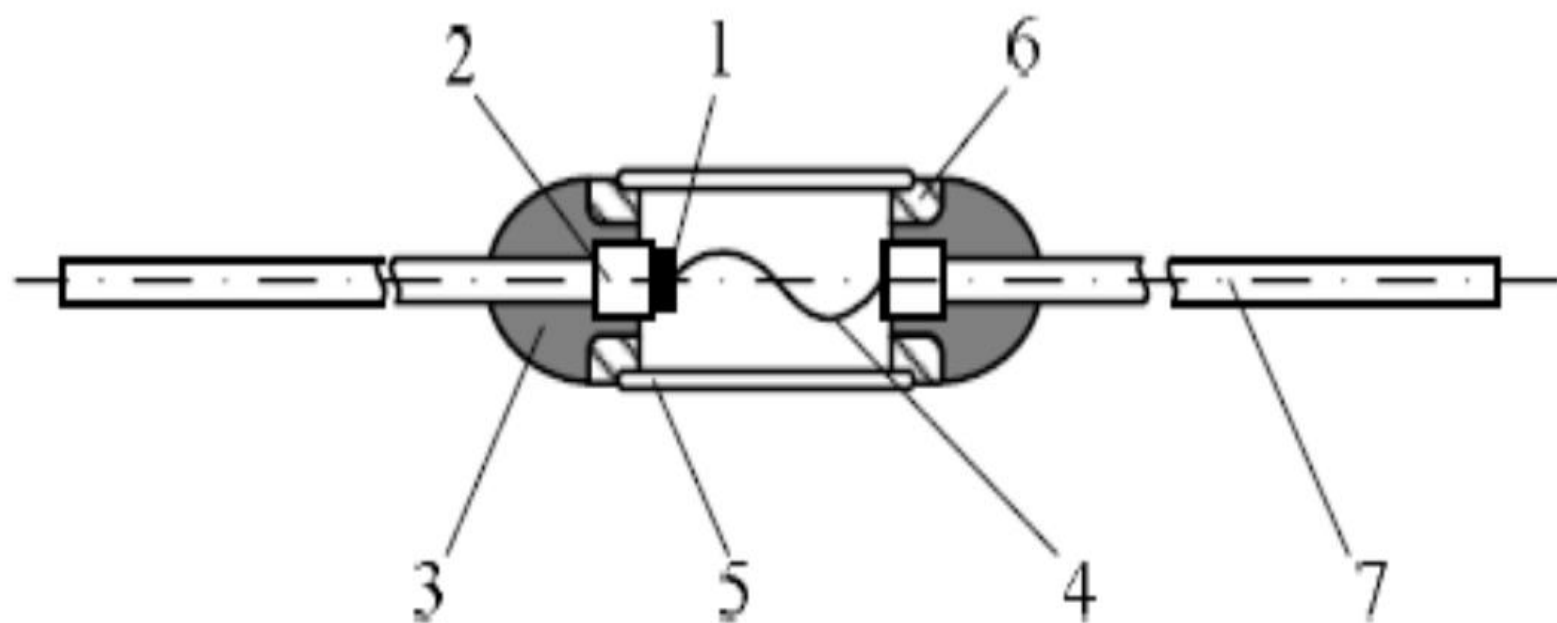


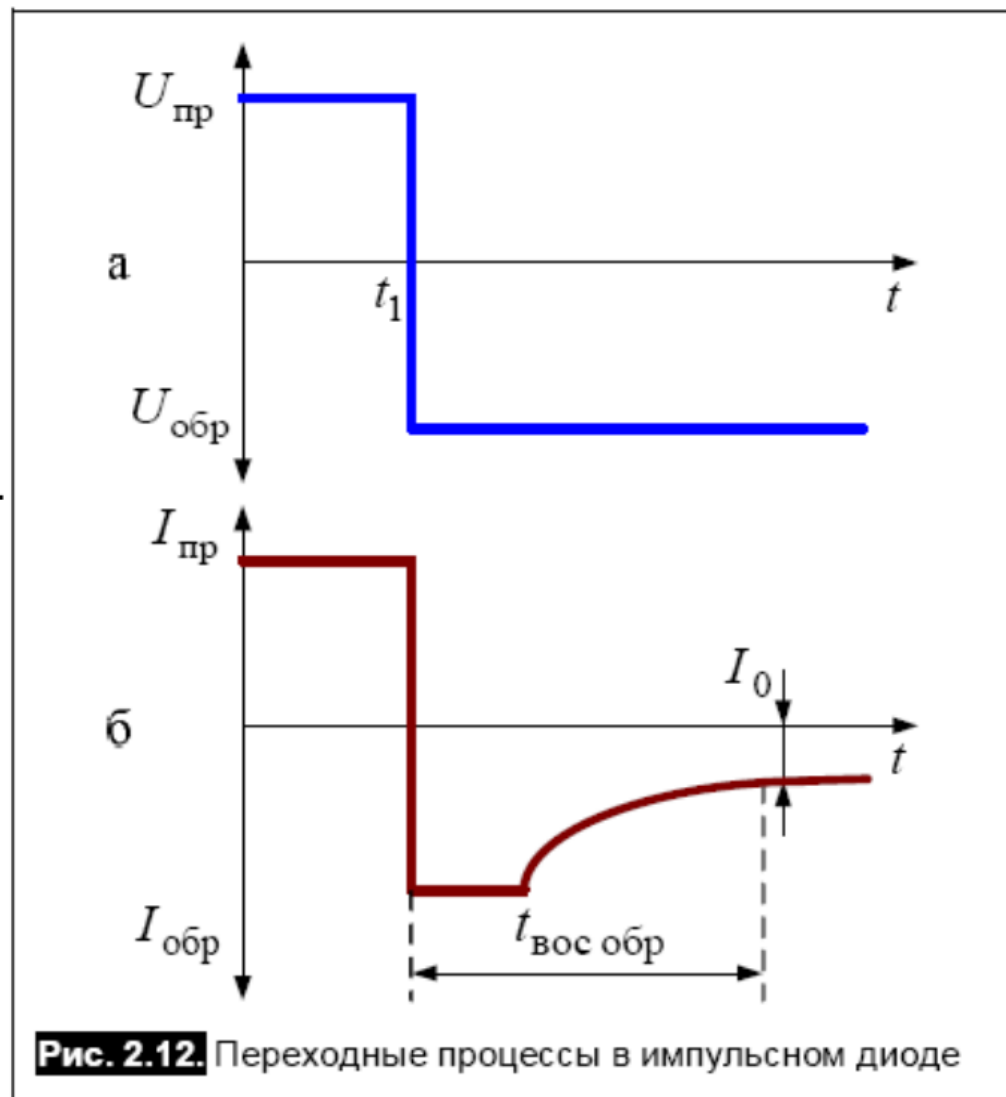
Рис. 2.11. Конструкция импульсного диода:

1 – кристалл полупроводника; 2 – кристаллодержатель; 3 – припой;
4 – контактная пружина; 5 – стеклянный корпус; 6 – коваровая трубка;
7 – внешние выводы

- При прямом напряжении ($0 - t_1$) происходит инжекция носителей из эмиттерной области в базовую и их накопление там.

- При смене полярности напряжения на обратную в первый момент величина обратного тока будет значительна, так как накопленные в базе неосновные носители начнут двигаться в сторону $p-n$ -перехода, образуя импульс обратного тока.

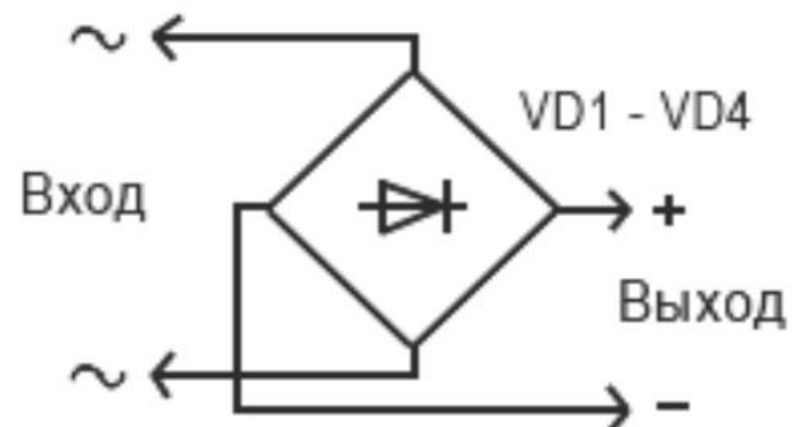
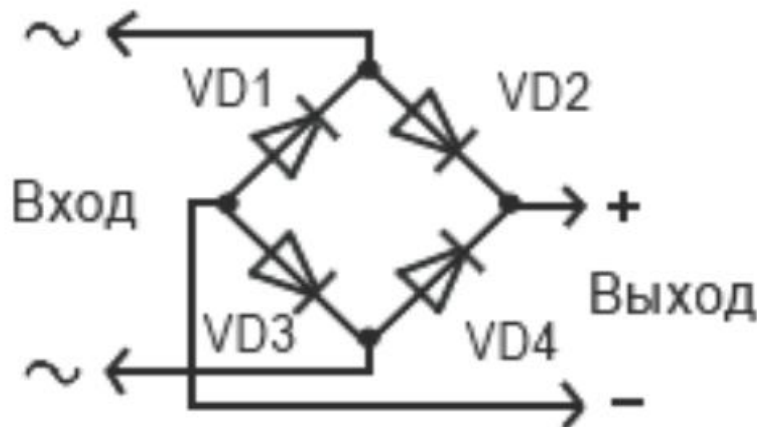
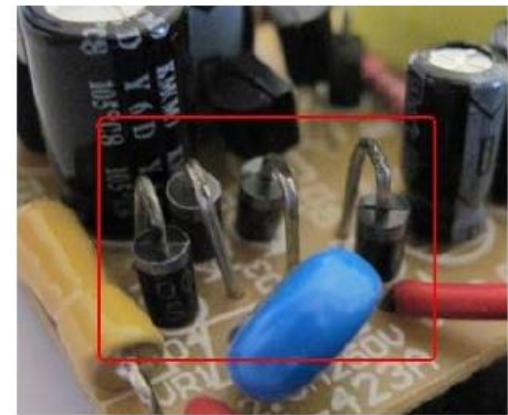
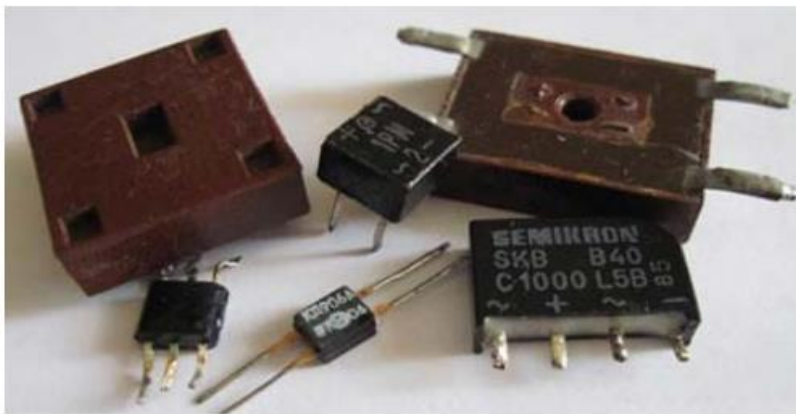
- Через некоторое время обратный ток достигнет нормального установившегося значения.



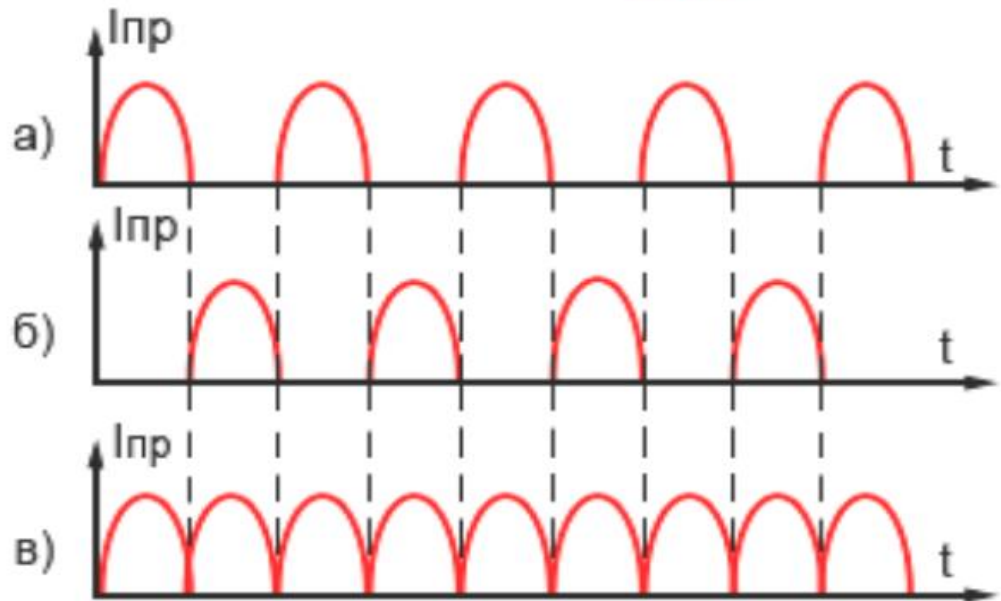
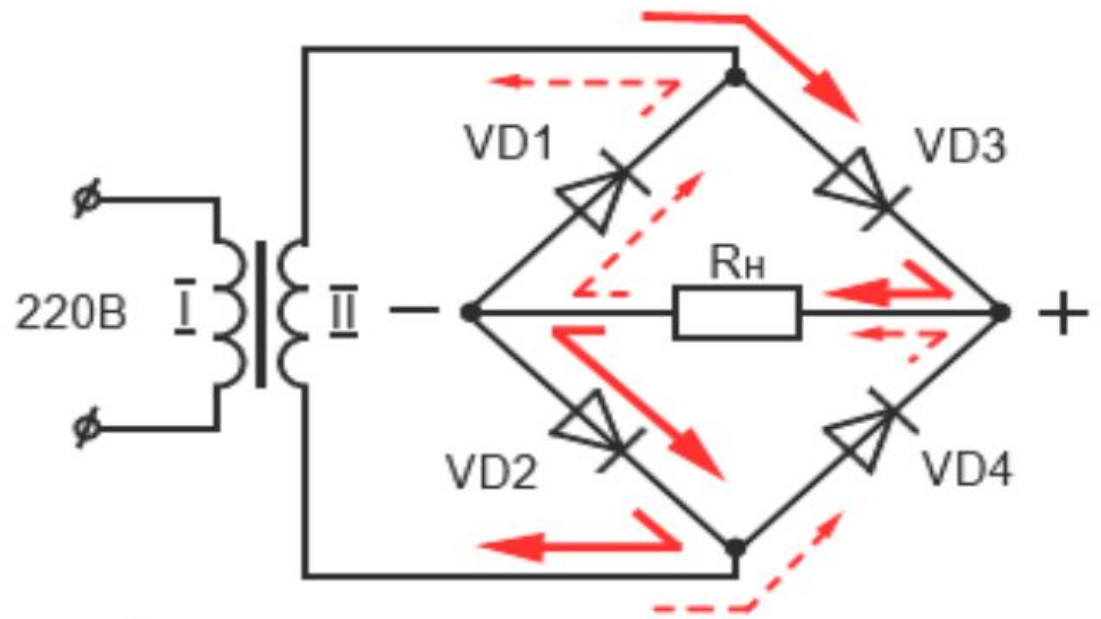
Диодный мост

Диодный мост – схема, составленная из 4-х диодов и предназначенная для преобразования переменного тока в постоянный. Позволяет пропускать ток в течение каждого полупериода.

Из корпуса сборки выходят четыре вывода напротив которых расположены знаки «+», «-» или «~», указывающие, где у моста вход, а где выход.



Двухполупериодный выпрямитель



Двухполупериодный выпрямитель

Со вторичной обмотки трансформатора переменное напряжение поступает на вход диодного моста. Когда на верхнем (по схеме) выводе вторичной обмотки возникает положительный полупериод напряжения, ток идет через диод VD3, нагрузку R_n , диод VD2 и к нижнему выводу вторичной обмотки. Диоды VD1 и VD4 в этот момент закрыты и через них ток не идет.

В течение другого полупериода переменного напряжения, когда плюс на нижнем (по схеме) выводе вторичной обмотки, ток идет через диод VD4, нагрузку R_n , диод VD1 и к верхнему выводу вторичной обмотки. В этот момент диоды VD2 и VD3 закрыты и ток через себя не пропускают.

В результате через нагрузку выпрямителя идет ток одного направления. В таком выпрямителе полезно используются оба полупериода переменного тока, поэтому подобные выпрямители называют **двухполупериодными**.

Преимущества:

- Удвоенная частота пульсаций выпрямленного тока;
- Уменьшение провалов между импульсами;
- Среднее значение напряжения постоянного тока примерно равно переменному напряжению во вторичной обмотке трансформатора.

Диоды Шоттки

- Потенциальный барьер, полученный на основе контакта «металл – полупроводник», часто называют *барьером Шоттки*, а диоды, использующие такой потенциальный барьер, – *диодами Шоттки*.

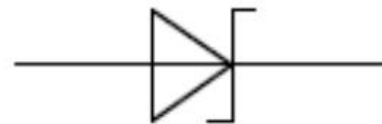


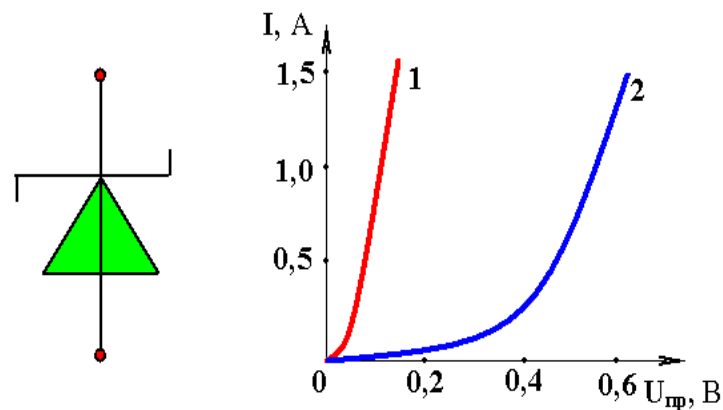
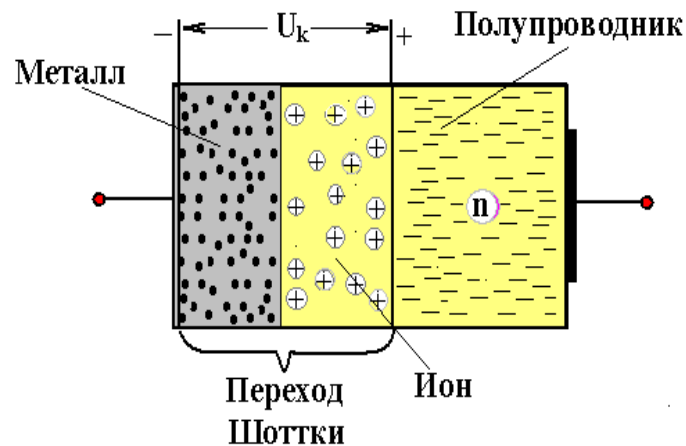
Рис. 2.16. Условное графическое обозначение диода Шоттки

Диод Шоттки

это полупроводниковый диод, выпрямительные свойства которого основаны на взаимодействии металла и обедненного слоя полупроводника.

Достоинства:

- Падение напряжения 0,2—0,4 В.
- Отсутствие р-n перехода позволяет повысить рабочую частоту. Это свойство используется в логических интегральных микросхемах, где диодами Шоттки шунтируются переходы база-коллектор транзисторов. В силовой электронике малое время восстановления позволяет строить выпрямители на частоты в сотни кГц и выше – что важно в импульсных источниках питания.
- Благодаря указанным выше достоинствам, выпрямители на диодах Шоттки отличаются от выпрямителей на обычных диодах пониженным уровнем помех, поэтому они предпочтительны в аналоговых вторичных источниках питания.



Недостатки диода Шоттки

- Даже кратковременном превышении максимально допустимого значения обратного напряжения ДШ необратимо выходит из строя (в отличие от обычных кремниевых р-п диодов, которые переходят в режим обратимого пробоя когда диод полностью восстанавливает свои свойства).
- Диоды Шоттки характеризуются повышенными (относительно обычных кремниевых р-п диодов) обратными токами, возрастающими с ростом температуры кристалла.
- Неудовлетворительные условия теплоотвода при работе диода Шоттки с высокими токами приводят к его тепловому пробую.

Стабилитроны

- *Стабилитронами* называют полупроводниковые диоды, работающие при обратном смещении в режиме пробоя.
- Это свойство широко используется при создании специальных устройств – *стабилизаторов напряжения.*

Полупроводниковые стабилитроны

Полупроводниковые стабилитроны - диоды, предназначенные для стабилизации уровня напряжения в схеме. Для этого используются приборы, у которых на вольт-амперной характеристике имеется участок со слабой зависимостью напряжения от проходящего тока. Такой участок наблюдается на обратной ветви вольт-амперной характеристики кремниевого диода в режиме лавинного туннельного пробоя. Поэтому в качестве полупроводниковых стабилитронов используются плоскостные кремниевые диоды.



KC168A
KC213B

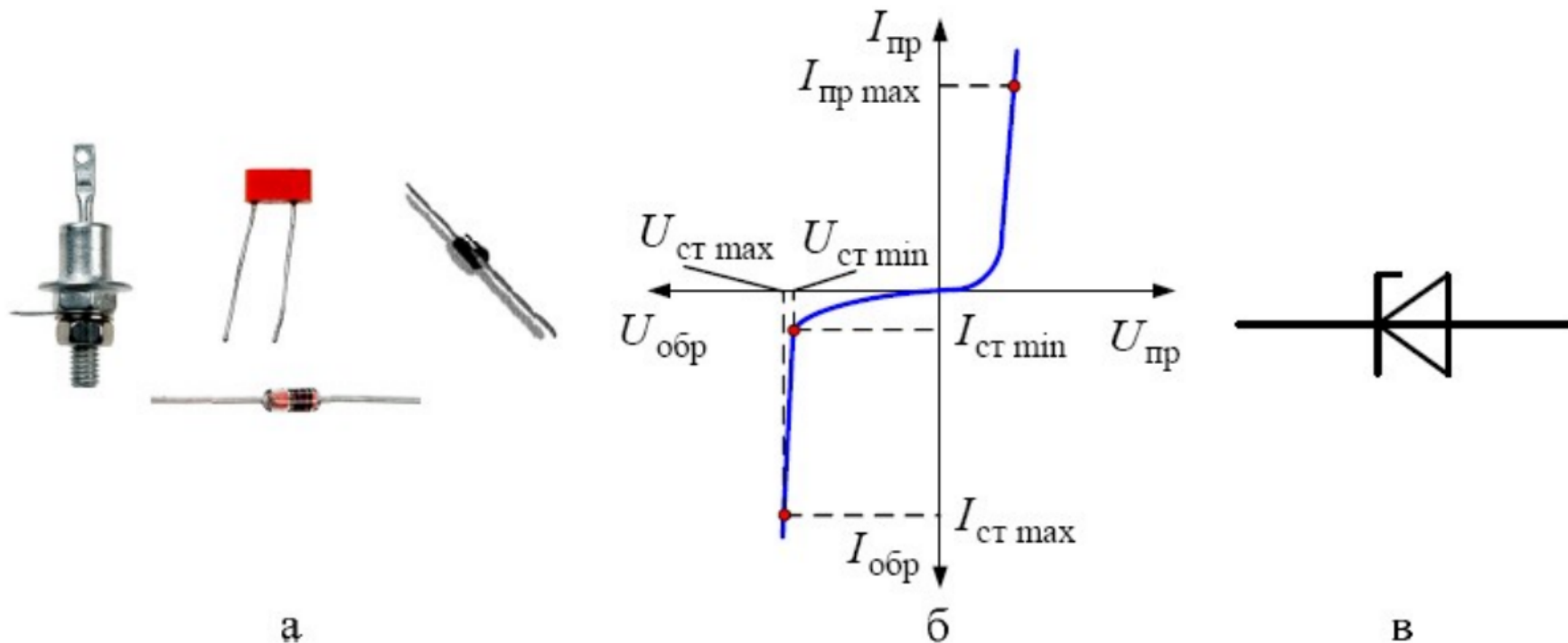


Рис. 2.18. Стабилитроны: конструкции (а), вольт-амперная характеристика (б) и условное графическое обозначение (в)

Конструкции стабилитронов практически не отличаются от конструкций выпрямительных диодов.

Рабочий ток стабилитрона (его обратный ток) не должен превышать максимально допустимое значение $I_{ст\ max}$ во избежание перегрева полупроводниковой структуры и выхода его из строя.

- Необходимое напряжение стабилизации получают выбором соответствующей концентрации примеси в базе диода.

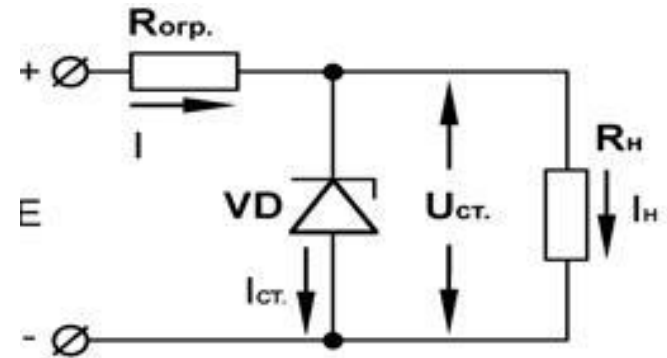
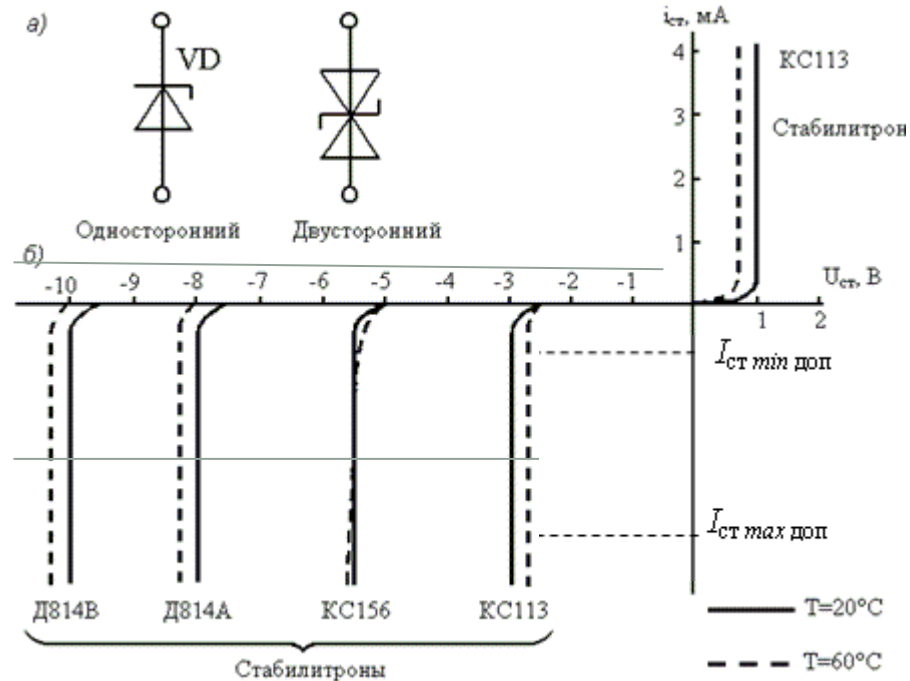
Полупроводниковый стабилитрон (диод Зенера)

Стабилитрон – это диод с точно заданным напряжением пробоя, рассчитанный на непрерывную работу в области пробоя и предназначенный для стабилизации или ограничения напряжения.

Напряжение пробоя U_{br} стабилитронов составляет $U_Z \approx 3...300$ В.

До наступления пробоя через стабилитрон протекают условно незначительные токи утечки, а его сопротивление весьма высоко.

При наступлении пробоя ток через стабилитрон резко возрастает, а его дифференциальное сопротивление падает до величины, составляющей для различных приборов от долей Ома до сотен Ом. Поэтому в режиме пробоя напряжение на стабилитроне поддерживается с заданной точностью в широком диапазоне обратных токов.

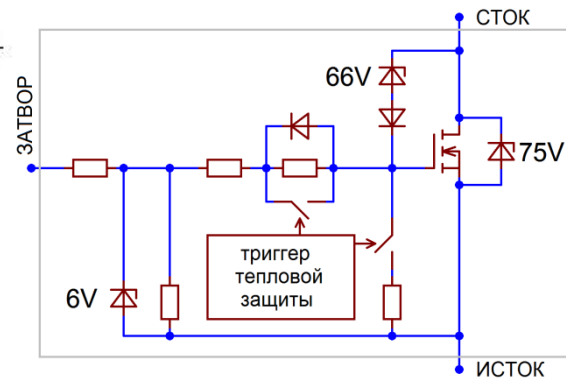
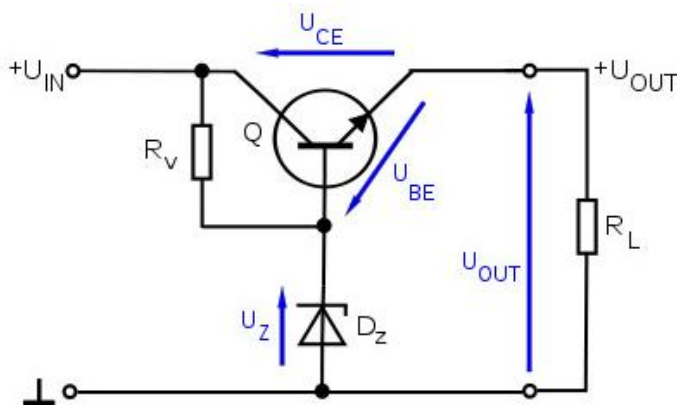
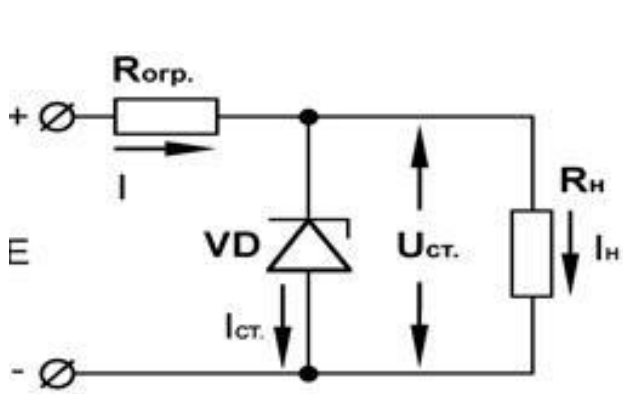


Полупроводниковый стабилитрон (диод Зенера)

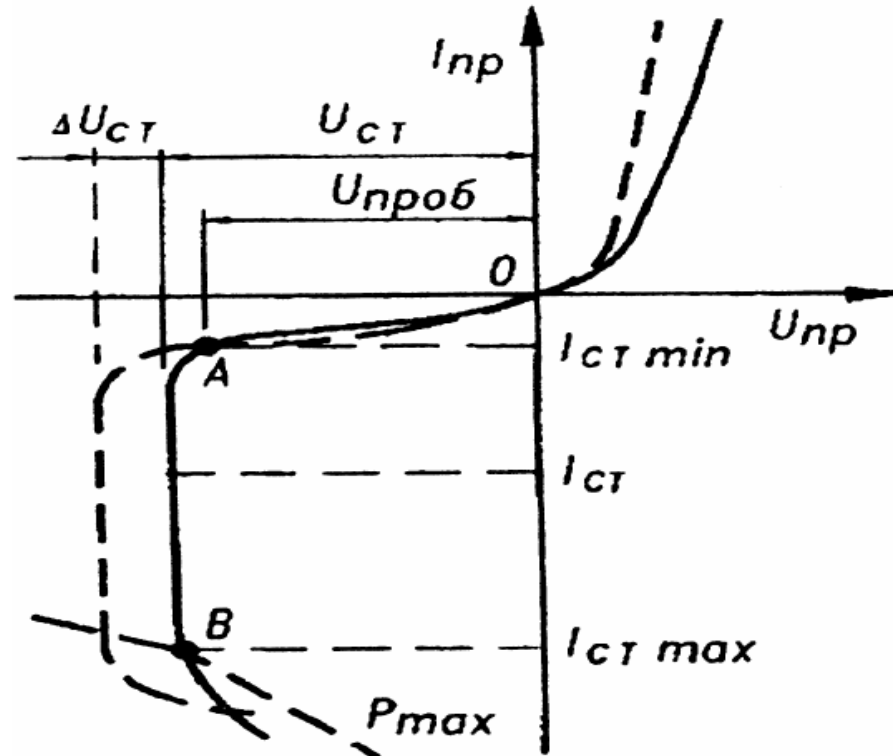
Основная область применения стабилитрона — стабилизация постоянного напряжения источников питания.

В простейшей схеме линейного параметрического стабилизатора стабилитрон выступает одновременно и источником опорного напряжения, и силовым регулирующим элементом. В более сложных схемах стабилитрону отводится только функция источника опорного напряжения, а регулирующим элементом служит внешний силовой транзистор.

Прецизионные термокомпенсированные стабилитроны и стабилитроны со скрытой структурой широко применяются в качестве дискретных и интегральных источников опорного напряжения, в том числе в наиболее требовательных к стабильности напряжения схемах измерительных аналого-цифровых преобразователей.



Полупроводниковые стабилитроны



Вольтамперная характеристика полупроводникового стабилитрона

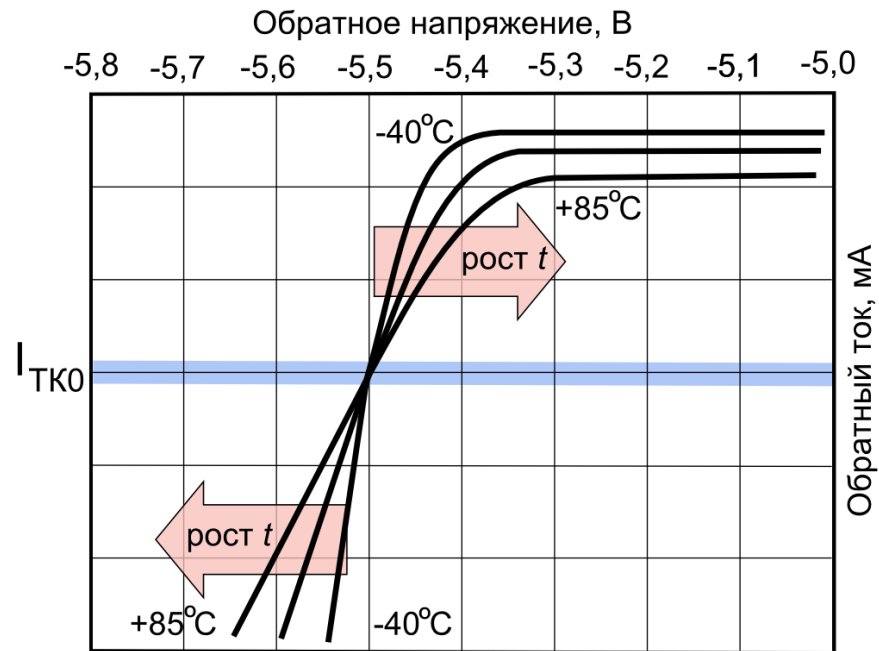
- A и B - границы рабочего участка;
- Точка A соответствует напряжению пробоя $p-n$ -перехода, которое зависит от удельного сопротивления исходного материала, определяемого концентрацией примесей;
- Точка B соответствует предельному режиму, в котором на стабилитроне рассеивается максимально допустимая мощность.

Температурный коэффициент напряжения стабилитрона

- «отношение относительного изменения напряжения стабилизации к абсолютному изменению температуры окружающей среды» при заданном постоянном токе стабилизации.

ТКН обычных, не термокомпенсированных диодов, при их номинальных токах составляет для стабилитронов туннельного пробоя (от $-0,05$ до $-0,1$ $\%/^{\circ}\text{C}$, а для стабилитронов лавинного пробоя — от $0,05$ до $0,1$ $\%/^{\circ}\text{C}$.

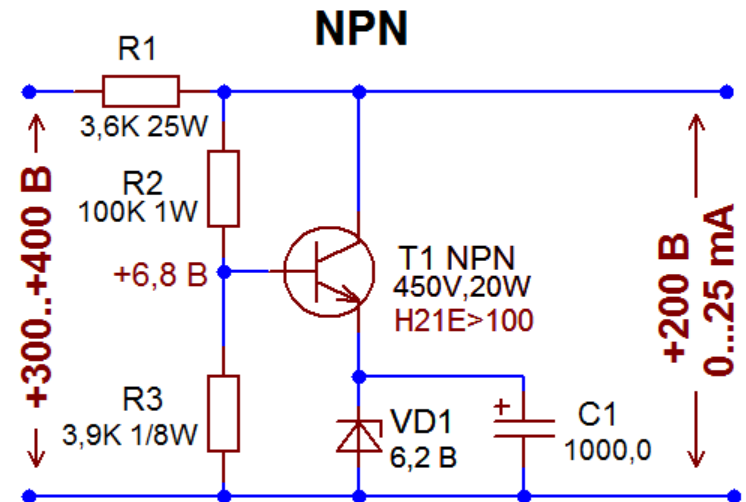
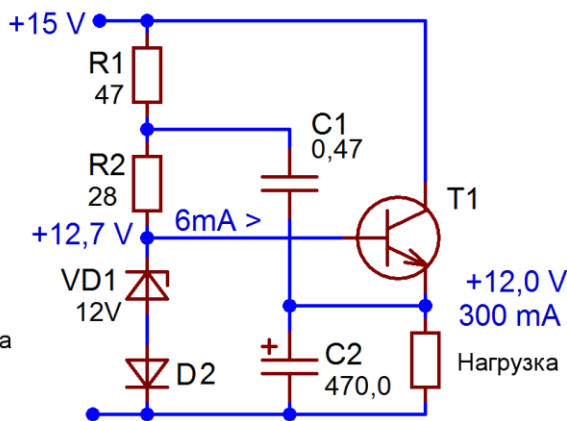
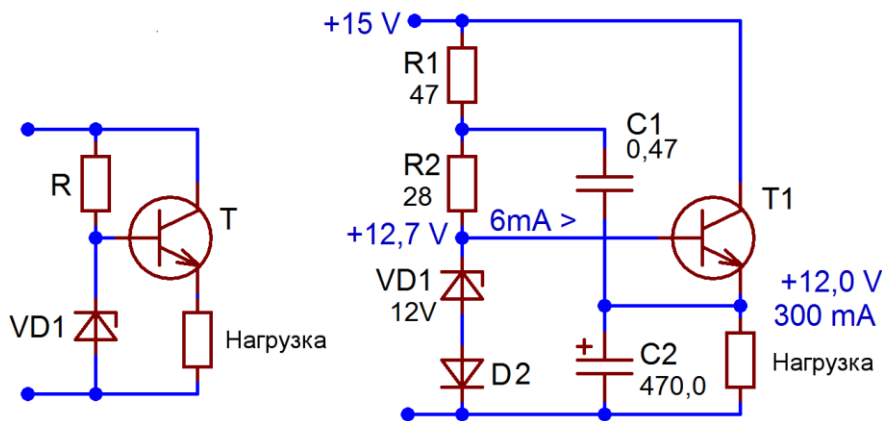
Иными словами, при нагреве стабилитрона от $+25^{\circ}\text{C}$ до $+125^{\circ}\text{C}$ сдвиг напряжения стабилизации составит от 5 до 10 % начального значения



В области малых и средних токов на ВАХ на напряжение $4,5 \dots 6,5$ В можно найти точку в которой температурный коэффициент близок к нулю. Если стабилизировать ток такого стабилитрона внешним источником тока на уровне, точно равном I_{TK0} , то напряжение на стабилитроне, равное U_{TK0} практически не зависит от температуры. Такой подход применяется в интегральных стабилитронных источниках опорного напряжения, но не применим к устройствам на дискретных стабилитронах. Точное значение I_{TK0} можно определить только опытным путём, что в условиях серийного производства неприемлемо

Параметры стабилитронов

- Дифференциальное сопротивление.
- Температурный коэффициент напряжения.
- Динамические характеристики.
- Температурная область безопасной работы.



Простейшая схема последовательного стабилизатора и пример её практического воплощения

Барьеры искрозащиты с использованием стабилитронов

Принципиальные электрические схемы блоков искрозащиты на стабилитронах.

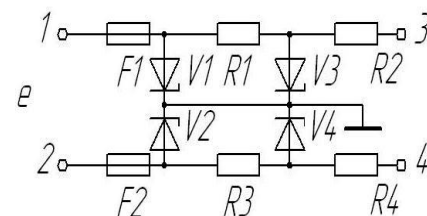
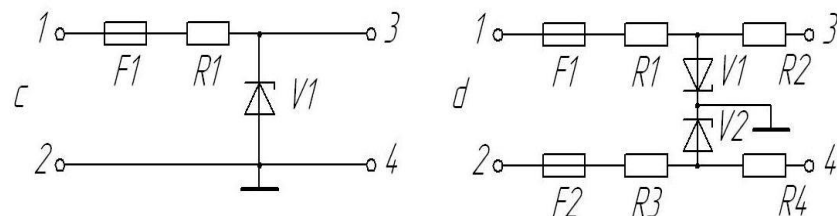
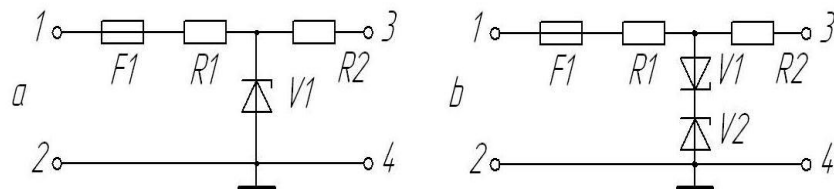
a — схема блока с балластным резистором;

b — схема блока с балластным резистором для переменного тока;

c — схема блока без балластного резистора;

d — схема блока для переменного тока с балластными резисторами и заземленной средней точкой стабилитронов;

e — схема блока для переменного тока с балластными резисторами с дублированием стабилитронов и заземленной их средней точкой.



1-2 к искроопасной цепи;
3-4 к искробезопасной цепи

Супрессор – TVS диод

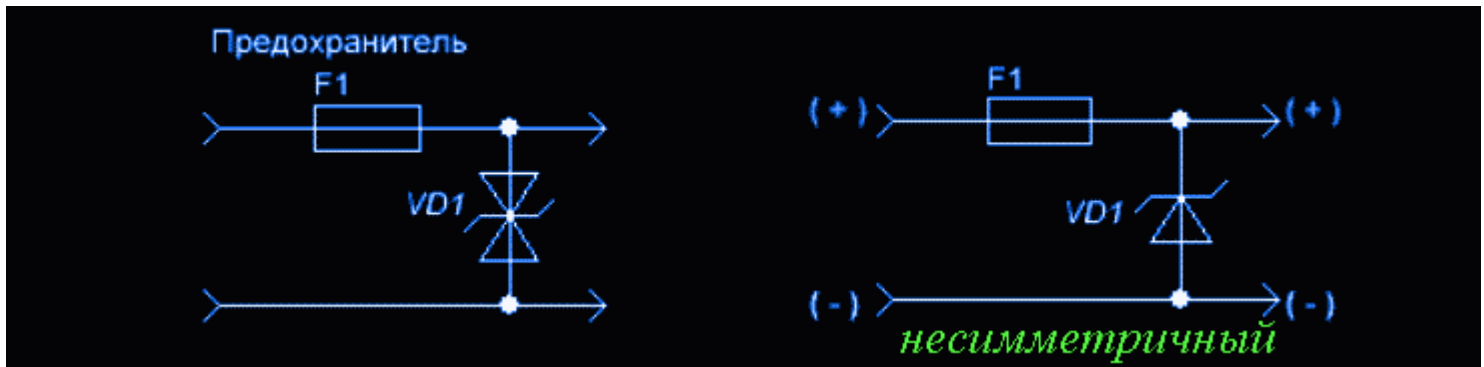
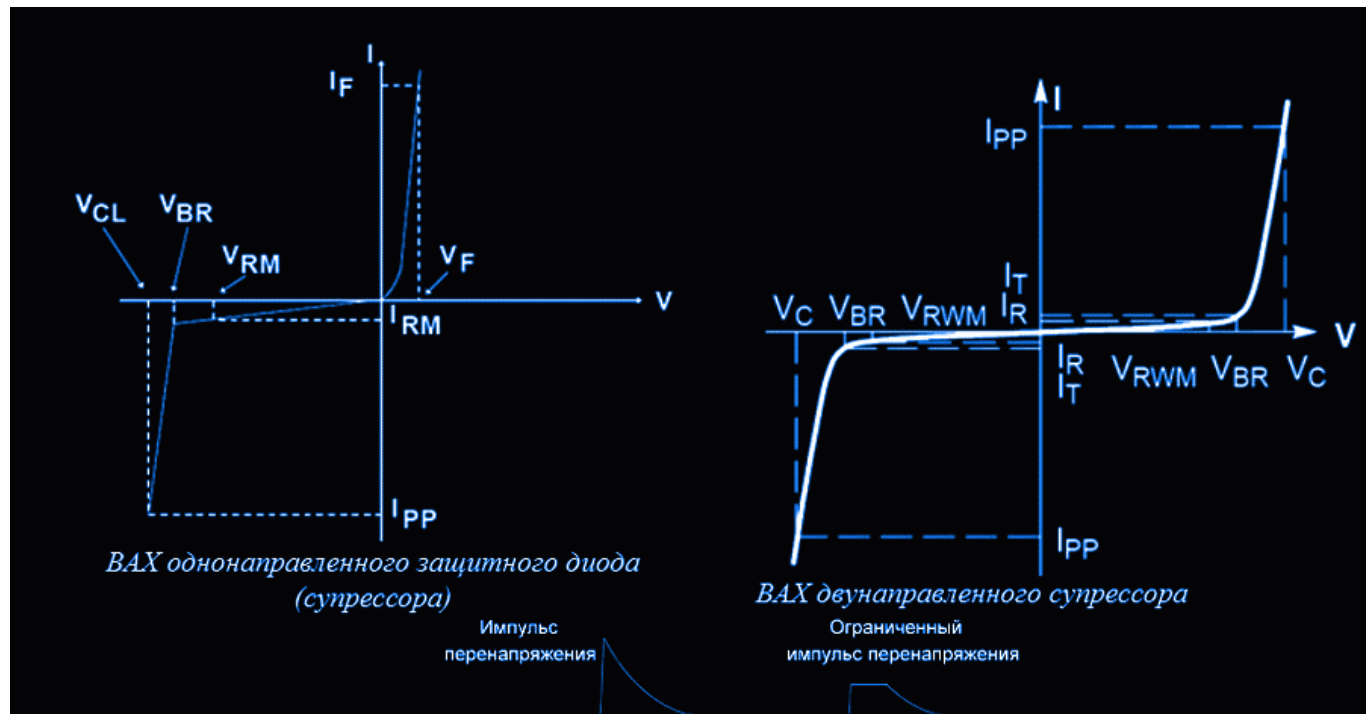
– полупроводниковое устройство, основное назначение которого – ограничивать напряжение на защищаемом участке электронной схемы до безопасных значений, при этом поглощая и рассеивая энергию импульса помехи.

TVS-диоды часто путают с кремниевыми стабилитронами (диодами Зенера). TVS-диоды разработаны и предназначены для защиты от мощных импульсов перенапряжения, в то время как кремниевые стабилитроны предназначены для регулирования напряжения и не рассчитаны на работу при значительных импульсных нагрузках.

Принцип применения TVS-диода в качестве защитного элемента заключается в том, что он закрыт до момента воздействия помехи, и не участвует в работе схемы.

Импульс перенапряжения вызывает лавинный пробой в структуре TVS-диода, через него протекает ток помехи, обусловленный эквивалентным сопротивлением источника помехи, при этом напряжение на диоде ограничивается в соответствие с его внутренней структурой. В результате защищаемый участок схемы не подвергается воздействию высокого напряжения, энергия помехи рассеивается

Transient-voltage-suppression diode



Время срабатывания у несимметричных TVS-диодов менее 10^{-12} с, а у симметричных— менее 5×10^{-9} с.

Это позволяет использовать их для защиты различных радиочастотных цепей, в состав которых входят чувствительные к переходным процессам полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы.

Огромным минусом супрессоров можно считать сильную зависимость максимальной импульсной мощности от продолжительности импульса.

TVS-диоды выпускаются с различными уровнями мощности. Однако, если этих номиналов недостаточно, то мощность можно увеличить, соединив последовательно несколько полупроводников.

Варистор

Для защиты оборудования от импульсных напряжений в разных странах применяются **наиболее эффективным (и более дешевым) средством защиты** от импульсных напряжений любого вида признано использование нелинейных полупроводниковых резисторов, называемых варисторами.

Варистор - полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление которого нелинейно зависит от приложенного напряжения, то есть обладающий нелинейной симметричной вольт-амперной характеристикой и имеющий два вывода.

Обладает свойством резко уменьшать своё сопротивление с миллиардов до десятков Ом при увеличении приложенного к нему напряжения выше пороговой величины.

При дальнейшем увеличении напряжения сопротивление уменьшается ещё сильнее. Благодаря отсутствию сопровождающих токов при скачкообразном изменении приложенного напряжения, варисторы являются основным элементом для производства устройств защиты от импульсных перенапряжений.

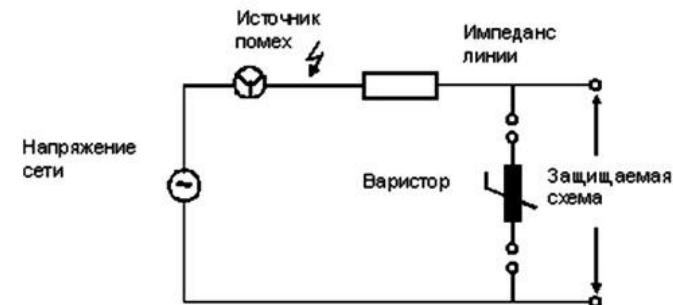
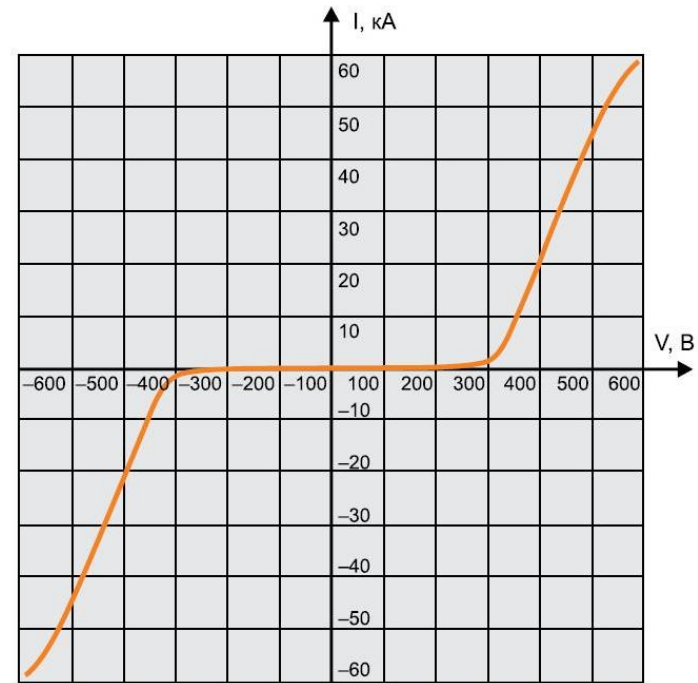


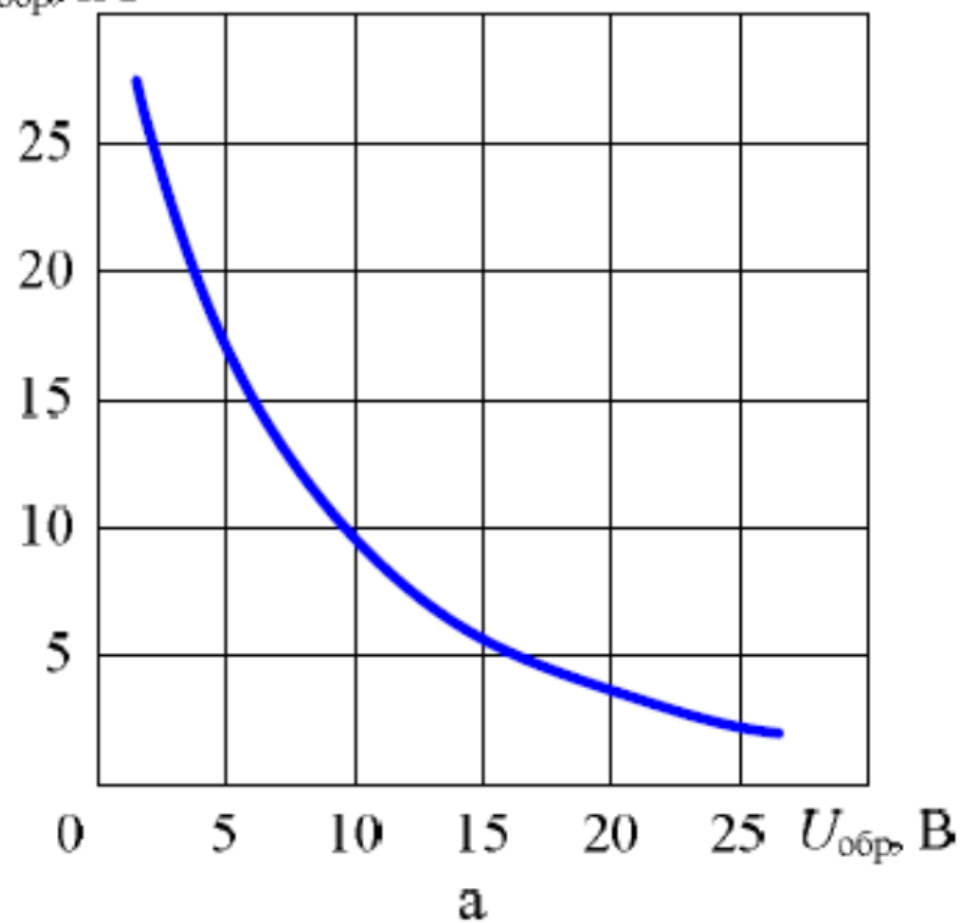
Таблица 1. Сравнение элементов защиты от перенапряжений

Элемент защиты	Преимущество	Недостатки	Примеры использования
Разрядник	Высокое значение допустимого тока. Низкая емкость. Высокое сопротивление изоляции	Высокое напряжение возникновения разряда. Низкая долговечность и надежность. Значительное время срабатывания. Защищаемая цепь шунтируется после прохождения импульса	Первичная защита телекоммуникационных и силовых цепей. Первая ступень комбинированной защиты
Варистор	Высокое значение допустимого тока. Низкая цена. Широкий диапазон рабочих токов и напряжений	Ограниченный срок службы. Высокое напряжение ограничения. Высокая собственная емкость. Затруднительность поверхностного крепления	Вторичная защита. Защита силовых цепей и автомобильной электроники. Защита электронных компонентов непосредственно на печатной плате. Первая и вторая ступень комбинированной защиты
TVS-диод	Низкие уровни напряжения ограничения. Высокая долговечность и надежность. Широкий диапазон рабочих напряжений. Высокое быстродействие. Низкая собственная емкость. Идеально подходит для поверхностного монтажа	Низкое значение номинального импульсного тока. Относительно высокая стоимость	Идеален для защиты полупроводниковых компонентов на печатной плате. Вторичная защита. Защита от ЭСР, БИН и электрических переходных процессов. Оконечная ступень в комбинированных защитных устройствах
TVS-тиристор	Не подвержен деградации. Высокое быстродействие. Высокий управляющий ток	Ограниченный диапазон рабочих напряжений. Защищаемая цепь шунтируется после прохождения импульса	Первичная и вторичная защита в телекоммуникационных цепях

Варикапы

- *Варикап* – это полупроводниковый диод, в котором используется зависимость барьерной ёмкости $p-n$ -перехода от обратного напряжения.
- Варикап можно рассматривать как конденсатор, ёмкость которого можно регулировать при помощи электрического сигнала.
- Максимальное значение емкости варикап имеет при нулевом обратном напряжении. При увеличении обратного напряжения ёмкость варикапа уменьшается.

$C_{обр}$ пФ



б



в

Рис. 2.17. Варикапы: вольт-амперная характеристика (а); конструкции (б); условное графическое изображение варикапов (в)

Варикапы

Благодаря зависимости барьерной емкости от напряжения диод может служить переменной емкостью.

Такой диод работает в области запирания, а его барьерная емкость задается обратным напряжением.

Варикапы широко используют для изменения частоты колебательных LC-контуров.

На рис. 2.3 показаны условное графическое обозначение варикапа и зависимость барьерной емкости C_s от напряжения для нескольких типовых диодов.

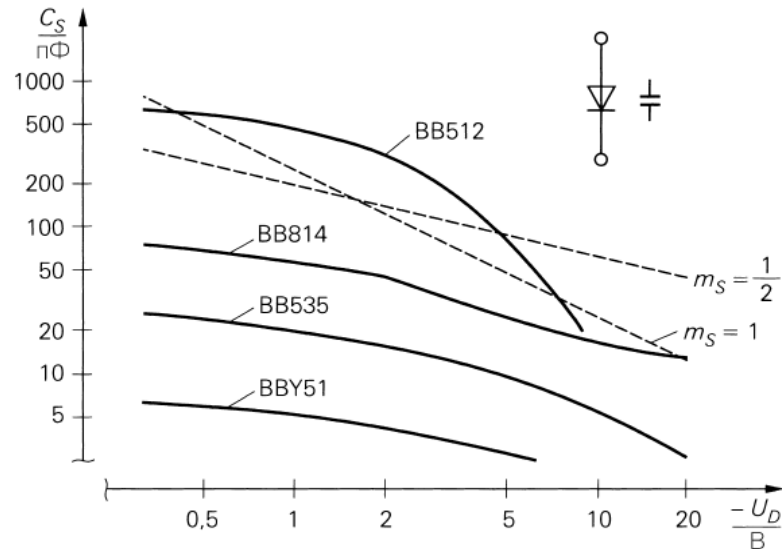


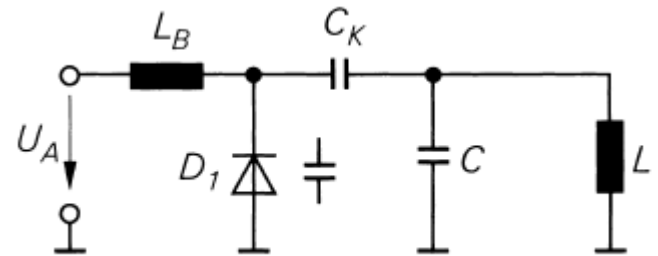
Рис. 2.3 Условное обозначение и зависимость емкости варикапа от напряжения

Важной характеристикой варикапа, наряду с зависимостью барьерной емкости C_s от напряжения, является добротность варикапа Q . При заданной частоте добротность Q обратно пропорциональна прямому сопротивлению R_B . Поэтому высокая добротность равнозначна низкому прямому сопротивлению и, следовательно, малым потерям или слабому затуханию, если диод используется в колебательном контуре. Добротность типовых диодов составляет $Q \approx 50 \dots 500$.

$$Q = \frac{1}{\omega C_s R_B}$$

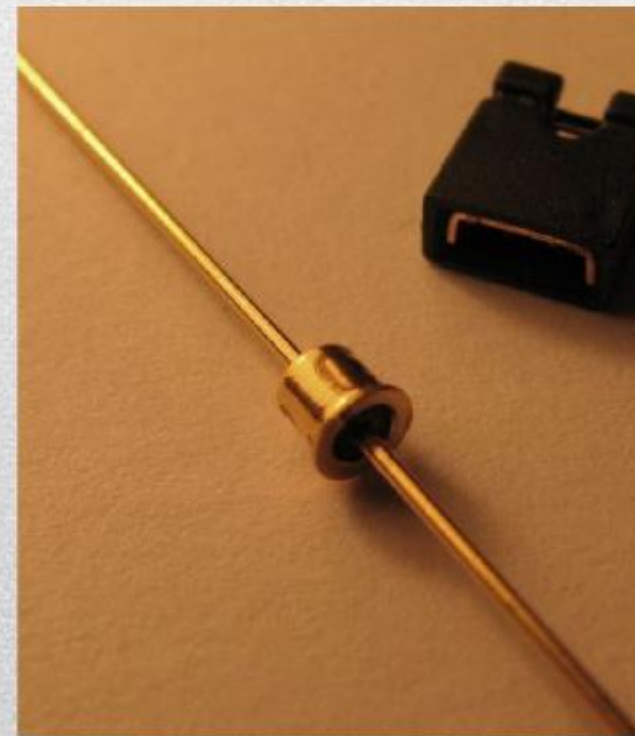
Для изменения частоты колебательных LC-контуров часто применяются схемы на основе варикапов. В схеме, приведенной на рис.2.4, последовательная цепочка из барьерной емкости C_s диода и емкости конденсатора связи C_k включена параллельно колебательному контуру из индуктивности L и емкости C . Напряжение настройки $U_a > 0$ подается через индуктивность L_B , благодаря чему колебательный контур и источник напряжения U_a развязаны по переменному напряжению и предотвращается короткое замыкание контура этим источником.

$$\omega_R = 2\pi f_R = \frac{1}{\sqrt{L \left(C + \frac{C_{S(U_a)} C_K}{C_{S(U_a)} + C_K} \right)}} \stackrel{C_K \gg C_{S(U_a)}}{\approx} \frac{1}{\sqrt{L(C + C_{S(U_a)})}}$$



Для того, чтобы L_B не влияла на резонансную частоту необходимо выбрать $L_B \gg L$. Управляющее напряжение можно подавать и через резистор, однако его сопротивление нагружает колебательный контур и приводит к снижению добротности. Емкость конденсатора связи C_k предотвращает короткое замыкание источника напряжения U_a индуктивностью колебательного контура. При соблюдении условия $L_b \gg L$ резонансная частота составляет

Туннельный диод – это полупроводниковый диод, созданный на базе вырожденного полупроводника, на ВАХ (Вольт Амперная Характеристика) которого присутствует область с отрицательным дифференциальным сопротивлением при приложении напряжения в прямом направлении, который объясняется туннельным эффектом.



внимание на следующие параметры:

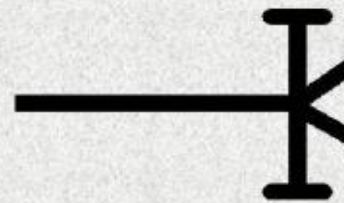
1. Ток пика – это максимально возможный ток прямого направления;
2. Пиковое напряжение, которое характерно для тока пика;
3. Минимальный ток (или как его еще называют – ток впадины) и соответствующее этому току напряжение;
4. Максимальный перепад напряжений;
5. Емкость – между выводами полупроводника при конкретной вольт-амперной характеристике смещения.



Туннельные диоды применяются в таких областях как:

1. В роли высокоскоростного выключателя.
 2. В роли усилителя, где рост напряжения провоцирует более значительное изменение силы тока чем в других полупроводниках.
 3. Для приема и усиления электромагнитных колебаний.
 4. В различных радиоэлектронных переключателях, работающих на повышенных частотах до 30-100 ГГц.
-

Диод тун



Плюсы и минусы устройства

- **К плюсам данного элемента можно отнести следующие моменты:**

- Особая ВАХ;
- высокое быстродействие в купе с минимальной инерционностью;
- повышенная устойчивость к ионизированному излучению;
- минимальное потребление энергии от источника питания (до 30 милливольт).
- Все туннельные диоды имеют компактные размеры. Часто они представляют собой изделия в герметичных корпусах цилиндрической формы диаметром 3-4 мм, высотой 2 мм и массой менее 1 грамма.

- **К минусам же относятся следующие аспекты:**

- Изделие подвержено значительному «старению», что приводит к существенному изменению заявленных характеристик с течением времени.

- ▣ **Светодиоды** - это полупроводниковые диоды, принцип действия которых основан на излучении р-п-переходом света при прохождении через него прямого тока.
- ▣ **Фотодиоды** – обратный ток зависит от освещенности р-п-перехода.

Применение светодиодов

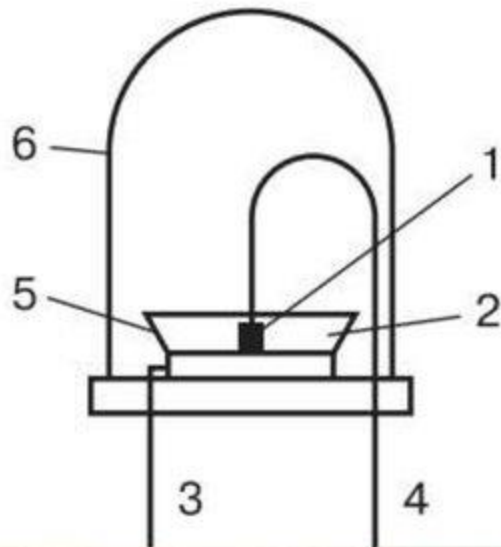


Так что же такое светодиод?

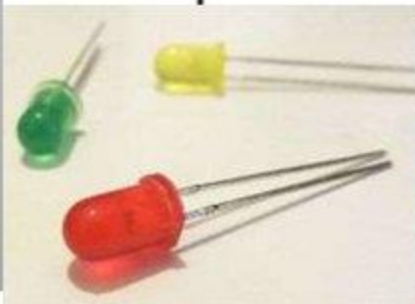
Светодиод - полупроводниковый диод, с электронно-дырочным (p-n) переходом, с односторонней проводимостью, обладающий излучающими свойствами.

В процессе эволюции полупроводниковой техники эти свойства изучались, развивались и совершенствовались

Устройство светодиода



- 1 - полупроводниковый кристалл
- 2 - проводящая подложка
- 3 - вывод отрицательной полярности (катод)
- 4 - вывод положительной полярности (анод)
- 5 - отражатель
- 6 - корпус



Условное графическое изображение на схемах

Принцип действия светодиода

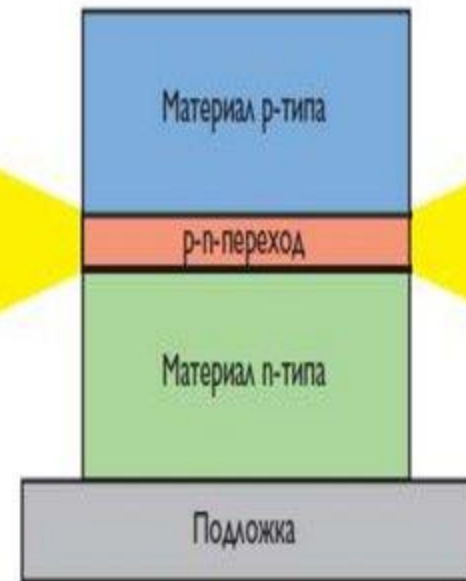
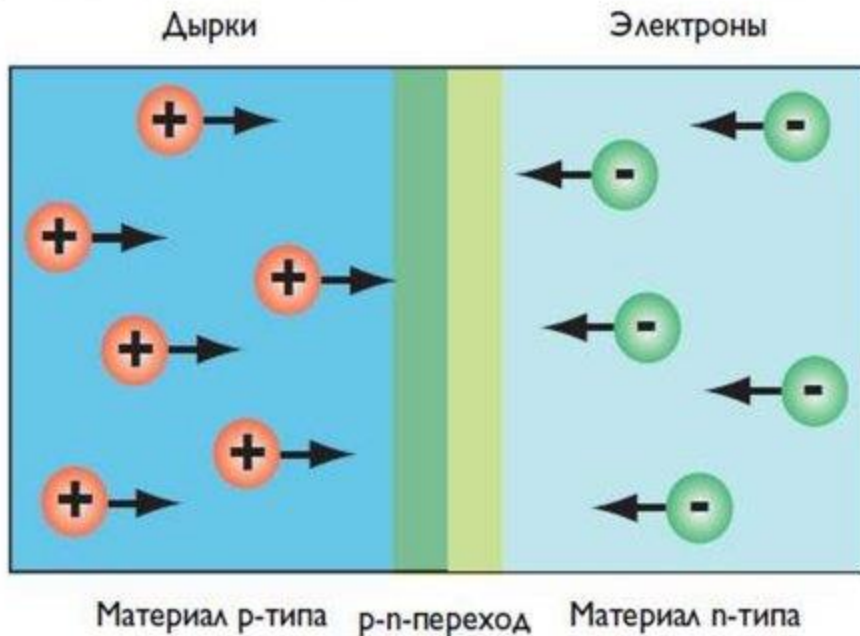
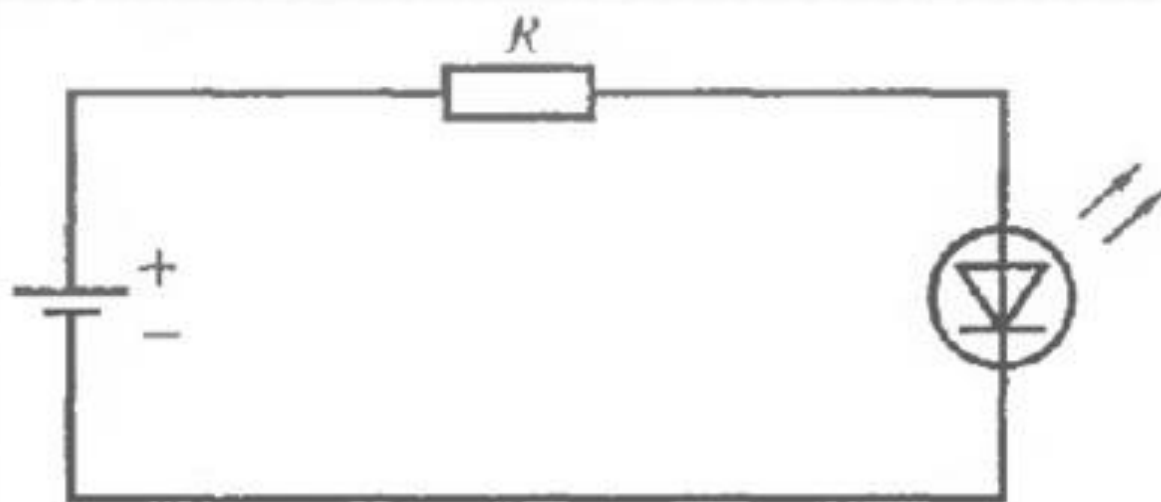


Схема подключения светодиода



Достоинства светодиоды

- **Безопасность**
- **Простота использования и обслуживания**
- **Разнообразие форм**
- **Большой срок службы**
- **Прочность**
- **Возможность комбинирования различных цветов**
- **Низкое потребление электроэнергии**

Светодиоды - в науке и технике, ЖИЗНИ





Светодиоды в промышленности

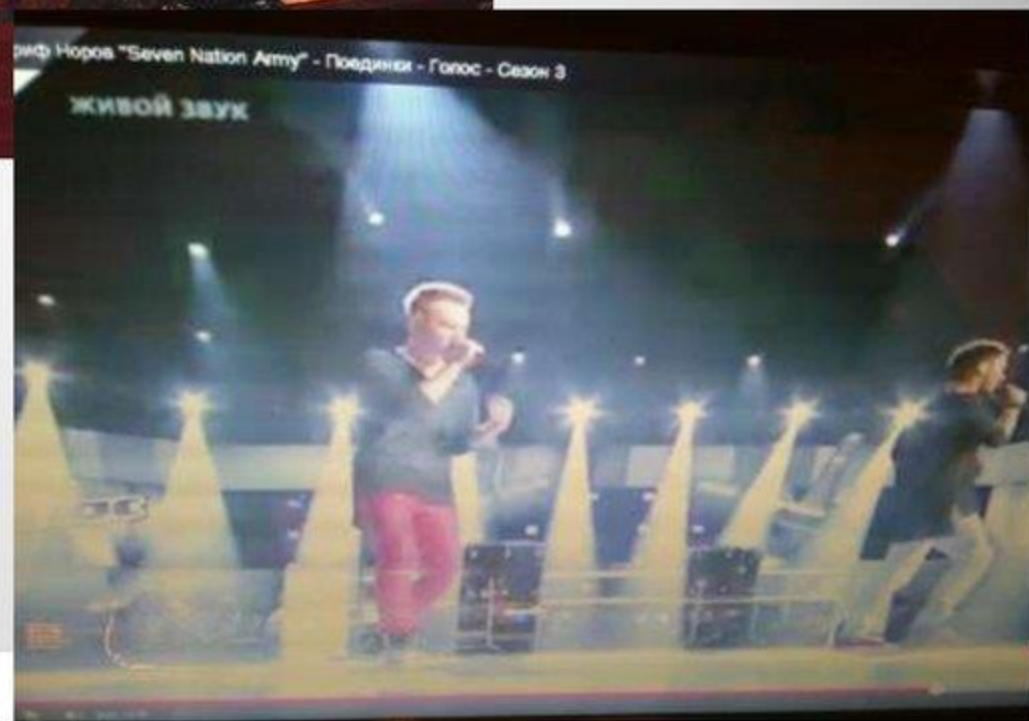


В медицине



Магнитогорск

В архитектуре



В культуре и искусстве

ФОТОДИОД

- это полупроводниковый прибор, который имеет светочувствительную поверхность. В зависимости от величины освещённости этой поверхности, меняется ток через фотодиод, если на него подано напряжение. Этот эффект используется в различных оптических датчиках. Например, пара светодиод-фотодиод используется в компьютерной мыши. Такой режим работы носит название **фотодиодный режим**.

- Фотодиод может работать и в режиме генерации электроэнергии (солнечные батареи). В этом случае напряжение на светодиоид не подаётся, а наоборот. снимается. Это называется **фотодиодом в генераторном режиме.**



Определение фотодиода

- ❑ Фотодиод — приёмник оптического излучения Фотодиод — приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет Фотодиод — приёмник оптического излучения, который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счёт процессов в р-п-переходе.
- ❑ Фотодиод - это полупроводниковый прибор, в котором

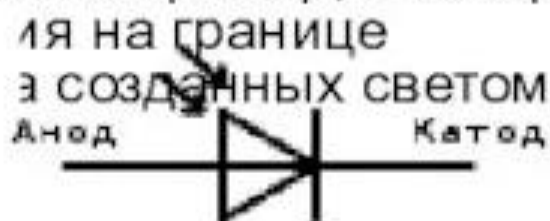
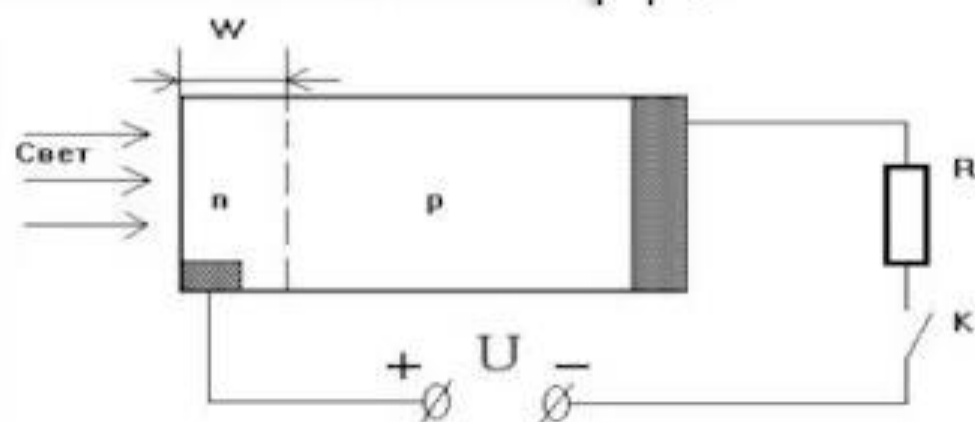


Рис.1. Схематическое изображение фотодиода и схема его включения (слева), обозначение фотодиода на схемах (справа).

- Таким образом, **принцип работы фотодиода** определяется выбранным режимом. В фотодиодном режиме фотодиод может работать как датчик освещённости. В фотогальваническом – как источник электроэнергии. Конечно, один фотодиод – это очень слабый источник электроэнергии. Для того чтобы получить хоть какую-то реальную энергию, нужно включить вместе десятки и сотни фотодиодов. Отсюда и внушительные размеры солнечных батарей.

Фотодиод Шоттки

фотодиод с Барьером Шоттки

Структура металл-полупроводник. При образовании структуры часть электронов перейдет из металла в полупроводник р-типа



Барьер Шоттки

- потенциальный барьер, образующийся в приконтактном слое полупроводника, граничащего с металлом, равный разности работ выхода (энергий, затрачиваемых на удаление электрона из твёрдого тела или жидкости в вакуум) металла и полупроводника:

Лавинные фотодиоды

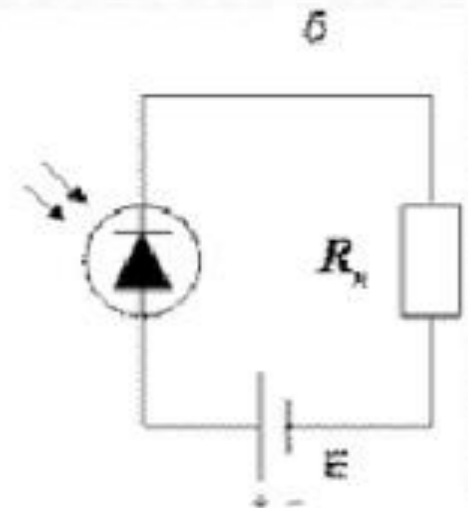
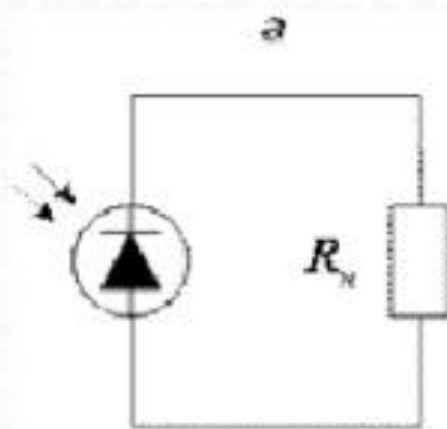
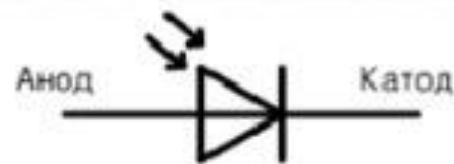
- высокочувствительные полупроводниковые приборы, преобразующие свет в электрический сигнал за счёт фотоэффекта. Их можно рассматривать в качестве фотоприемников, обеспечивающих внутреннее усиление посредством эффекта лавинного умножения. С функциональной точки зрения они являются твердотельными аналогами фотоумножителей. Лавинные фотодиоды обладают большей чувствительностью по сравнению с другими полупроводниковыми фотоприёмниками, что позволяет



Особенности фотодиодов

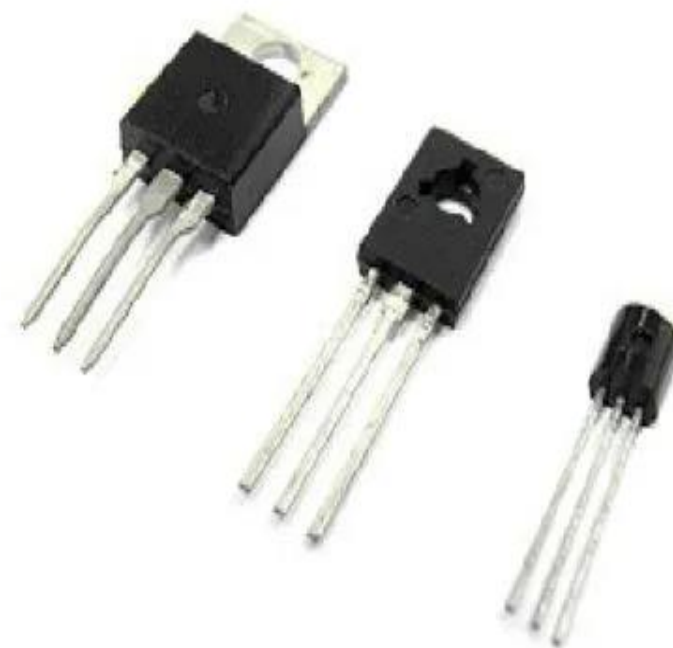
- простота технологии изготовления и структуры
- сочетание высокой фоточувствительности и быстродействия
- малое сопротивление базы
- малая инерционность

Изображение фотодиода на схеме

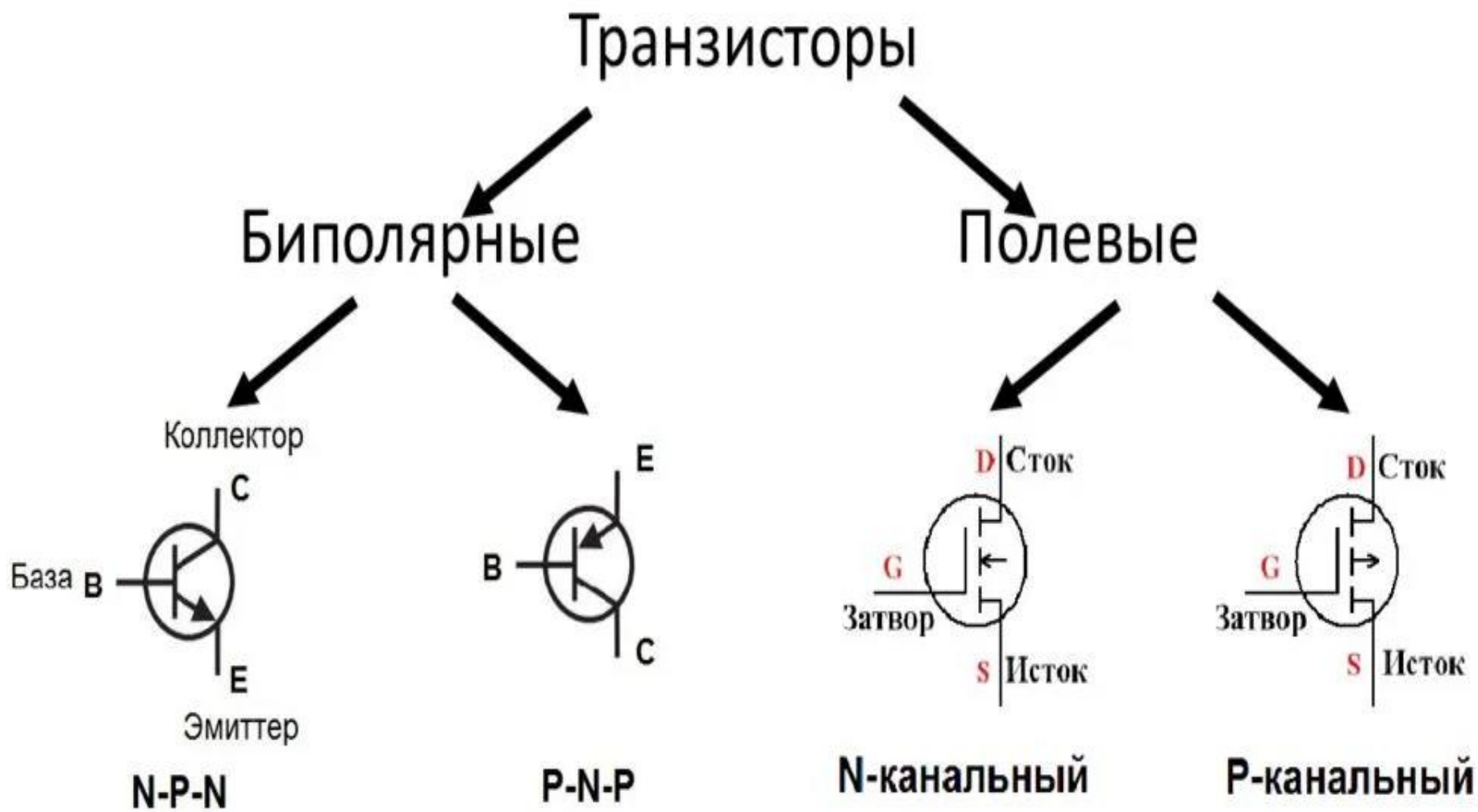


Транзистор

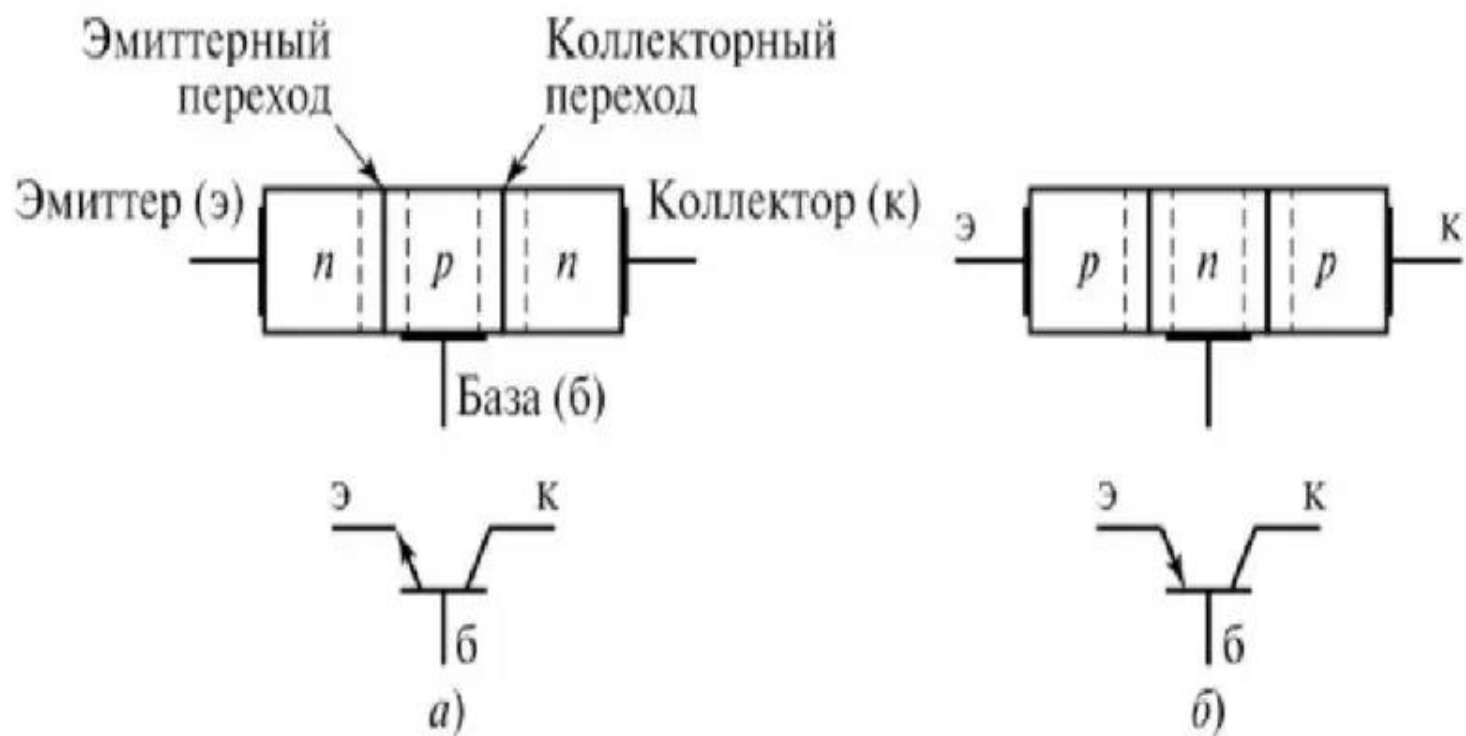
Транзистор – трёхэлектродный полупроводниковый элемент электрической цепи, предназначенный для усиления электрического сигнала и управления большим током с помощью малого.



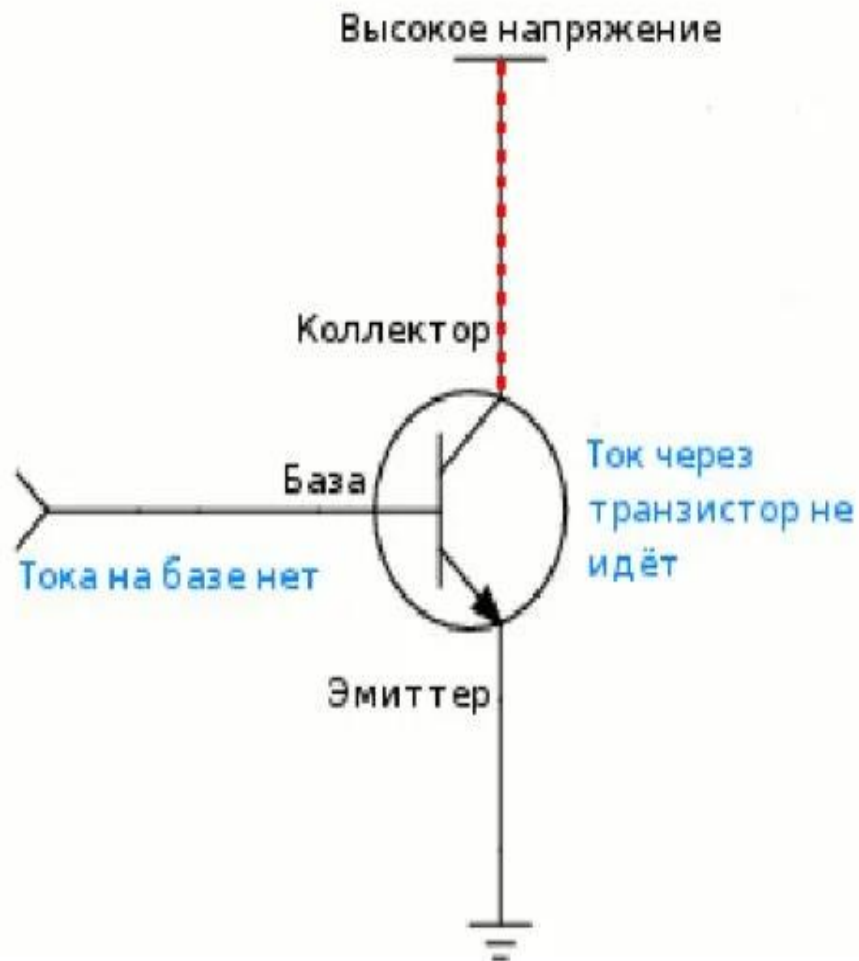
Классификация основных типов транзисторов и обозначение на схеме



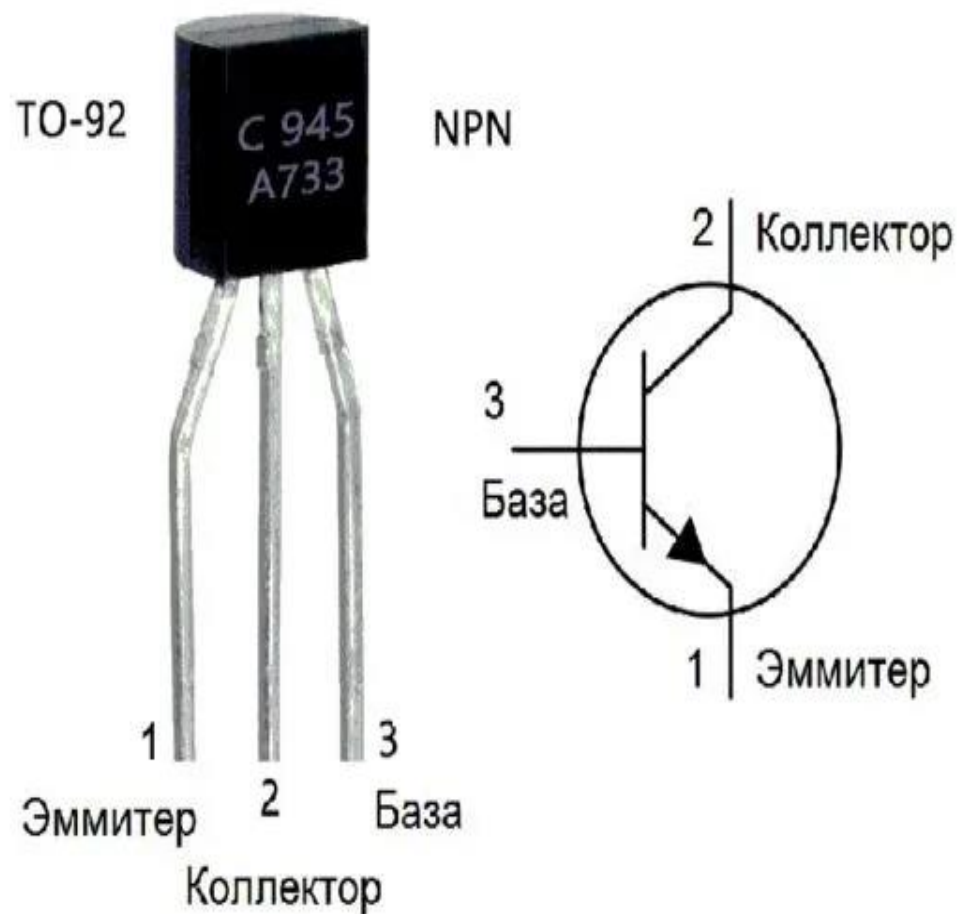
Структура транзистора



Принцип работы транзистора



Цоколёвка транзистора

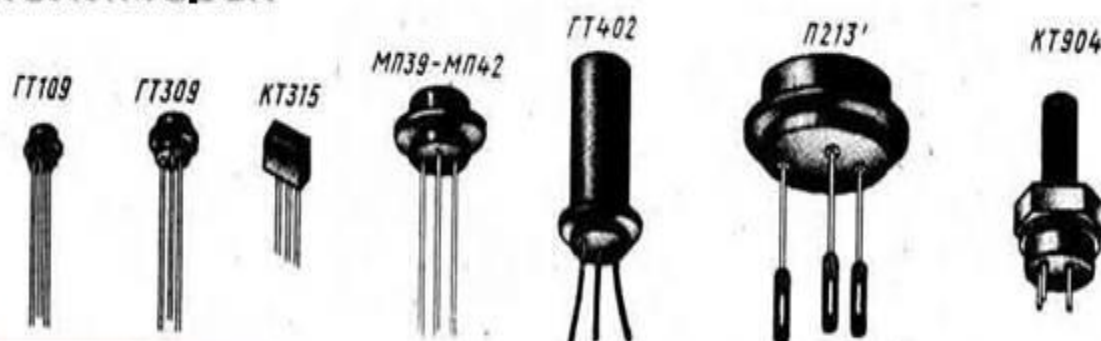


Классификация транзисторов

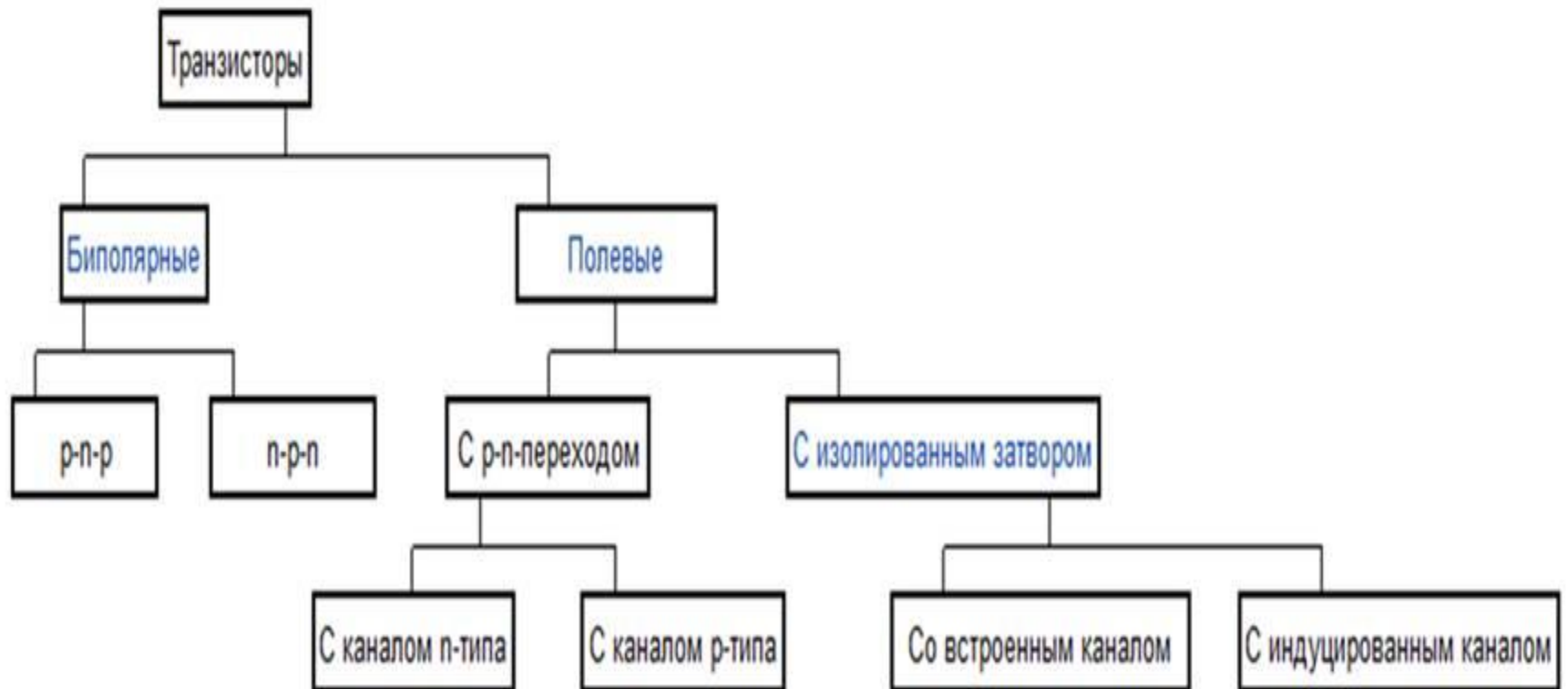
▶ По основному полупроводниковому материалу

Помимо основного полупроводникового материала, транзистор содержит в своей конструкции легирующие добавки к основному материалу, части корпуса. Транзисторы на основе кремния, германия, арсенида галлия.

В настоящее время имеются транзисторы на основе, например, прозрачных полупроводников для использования в матрицах дисплеев. Перспективный материал для транзисторов — полупроводниковые полимеры.

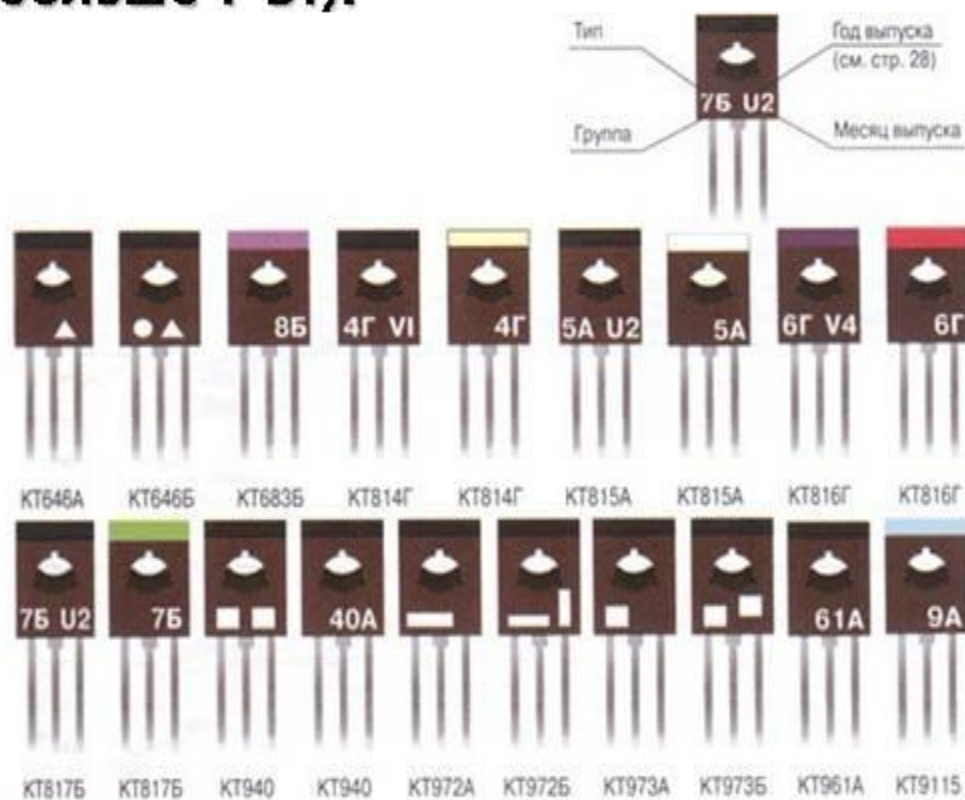


► По структуре



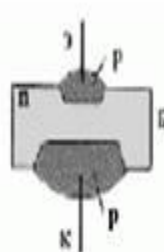
▶ По мощности

- ▶ маломощные транзисторы до 100 мВт
- ▶ транзисторы средней мощности от 0,1 до 1 Вт
- ▶ мощные транзисторы (больше 1 Вт).

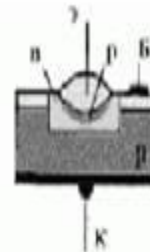


▶ По исполнению

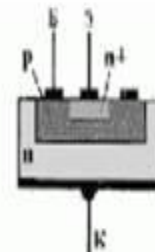
- ▶ Дискретные транзисторы
- ▶ Корпусные
- ▶ Для свободного монтажа
- ▶ Для установки на радиатор
- ▶ Для автоматизированных систем пайки
- ▶ Бескорпусные
- ▶ Транзисторы в составе интегральных схем



Сплавной транзистор



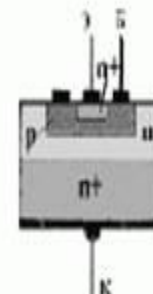
Спавно-диффузионный транзистор



Диффузионно-планарный транзистор



Мезапланарный транзистор



Эпитаксиально-планарный транзистор

▶ По материалу и конструкции корпуса

- ▶ **Металлостеклянный**
- ▶ **Металлокерамический**
- ▶ **Пластмассовый**

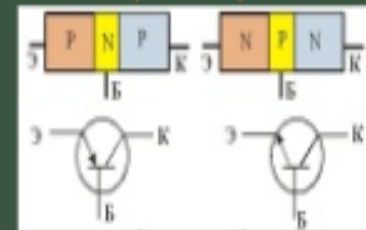


Биполярный транзистор – это полупроводниковый прибор, состоящий из двух р-п переходов и трех выводов.

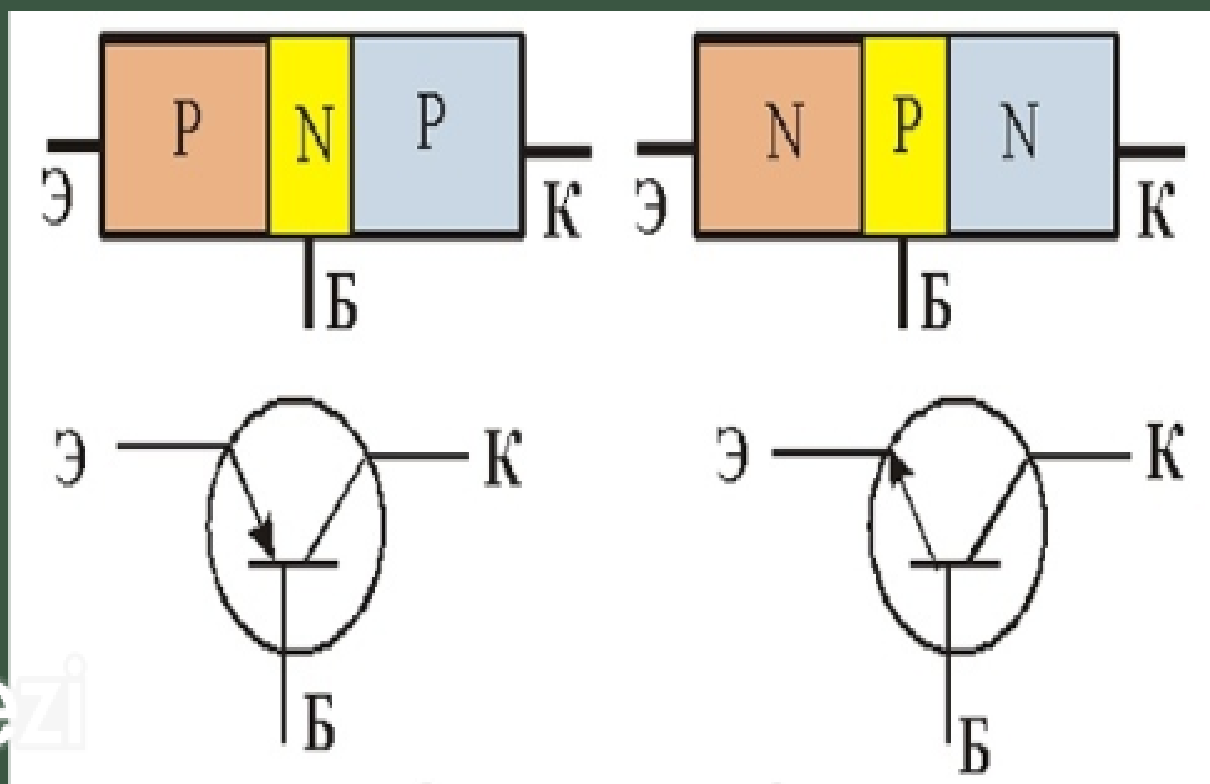
Эти переходы образуют три области с различными типами проводимости:

- Эмиттер является областью, испускающей (эмитирующей) носители зарядов.
- Коллектор – область, собирающая носители зарядов.
- База – средняя область, основание.

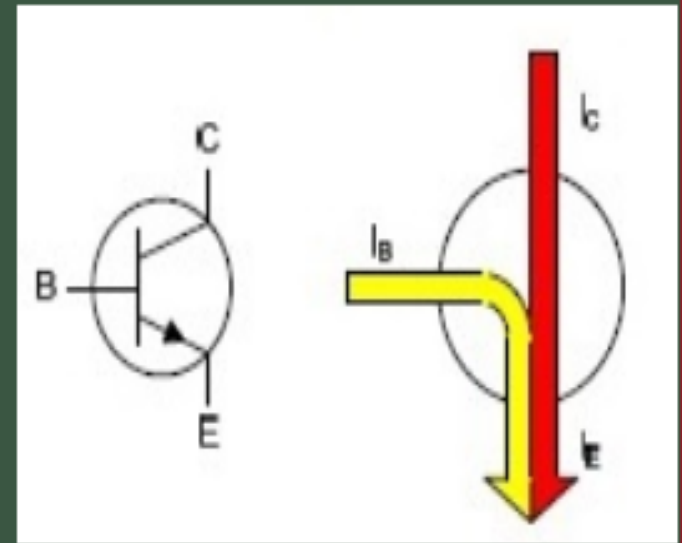
Транзисторы подразделяют на два основных типа — pnp-транзисторы и npn-транзисторы.



Транзисторы подразделяют на два основных типа — npn-транзисторы и pnp-транзисторы.



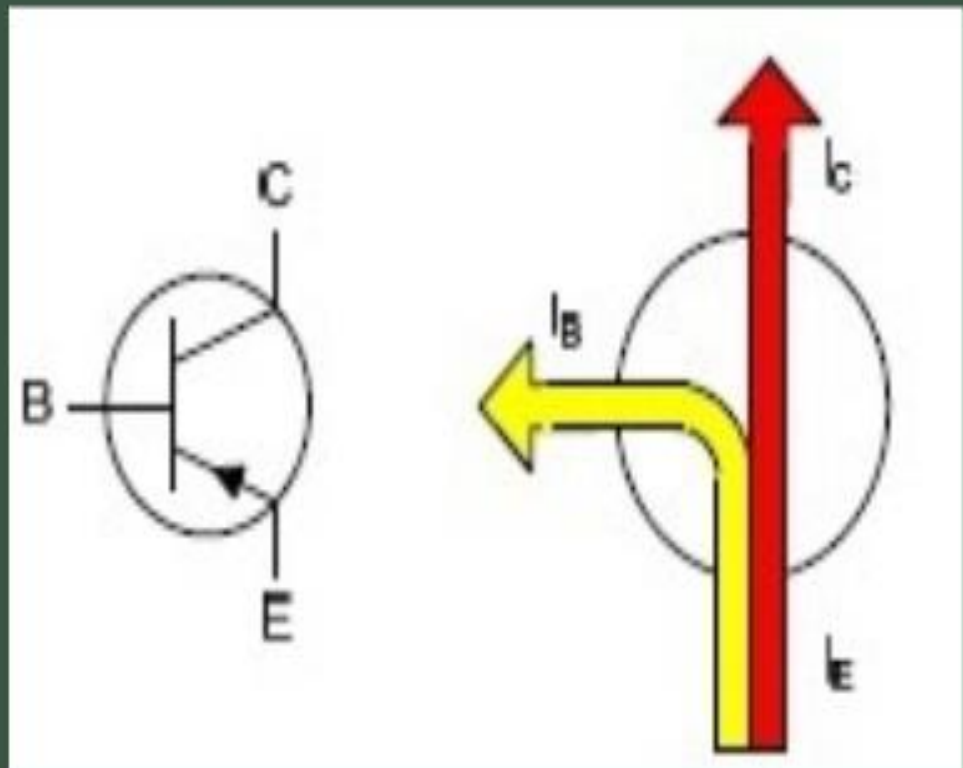
Принцип работы при транзистора:



Ток, поданный на базу, открывает транзистор и обеспечивает протекание тока в цепи коллектор-эмиттер. С помощью малого тока, поданного на базу, можно управлять током большой мощности, идущим от коллектора к эмиттеру.

Принцип работы pnp транзистора:

подача напряжения на эмиттер приводит к открытию перехода и протеканию тока через базу и коллектор



Схемы включения биполярных транзисторов

Поскольку контактов у транзистора три, то в общем случае питание на него нужно подавать от двух источников, у которых вместе получается четыре вывода. Поэтому на один из контактов транзистора приходится подавать напряжение одинакового знака от обоих источников. И в зависимости от того, что это за контакт, различают три схемы включения биполярных транзисторов:

- с общим эмиттером (ОЭ),
- с общим коллектором (ОК)
- с общей базой (ОБ).

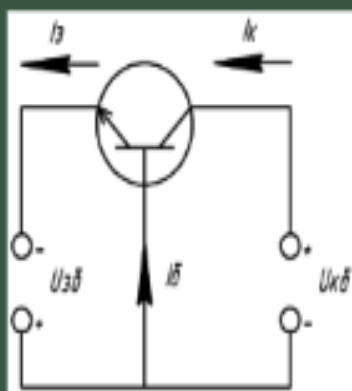
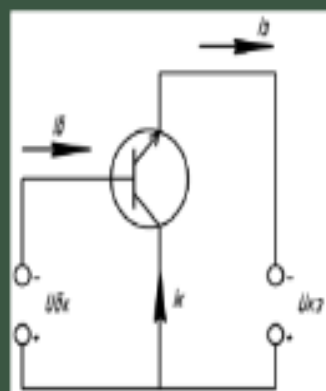
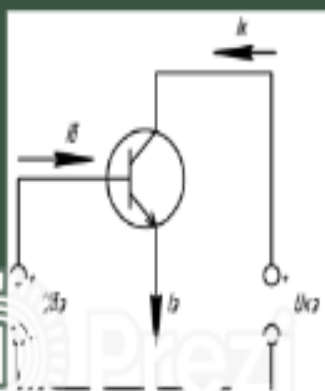


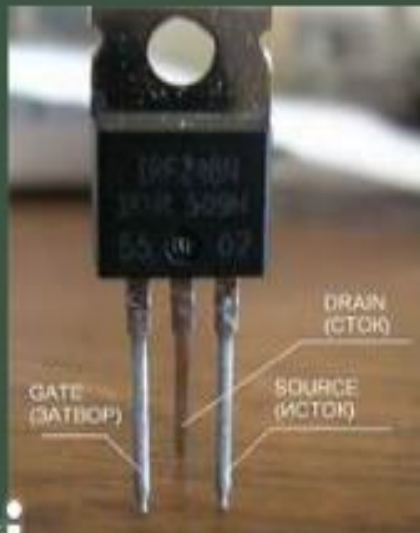
Рис. 1. Схемы включения биполярных транзисторов.

- В схеме общего эмиттера — в цепи эмиттера транзистора включен резистор.
- В схеме общего коллектора — эмиттер транзистора включен в цепь нагрузки.
- В схеме общей базы — база транзистора включена в цепь нагрузки.
- В схеме общего эмиттера — эмиттер транзистора включен в цепь нагрузки.
- В схеме общего коллектора — коллектор транзистора включен в цепь нагрузки.



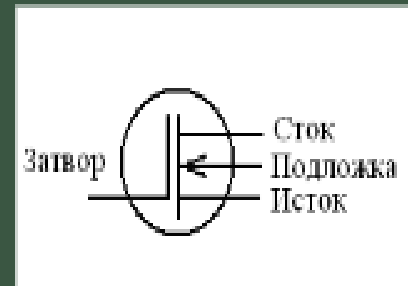
Полевые транзисторы

Полевыми транзисторами называют полупроводниковые приборы, в которых выходным током управляют с помощью электрического поля.

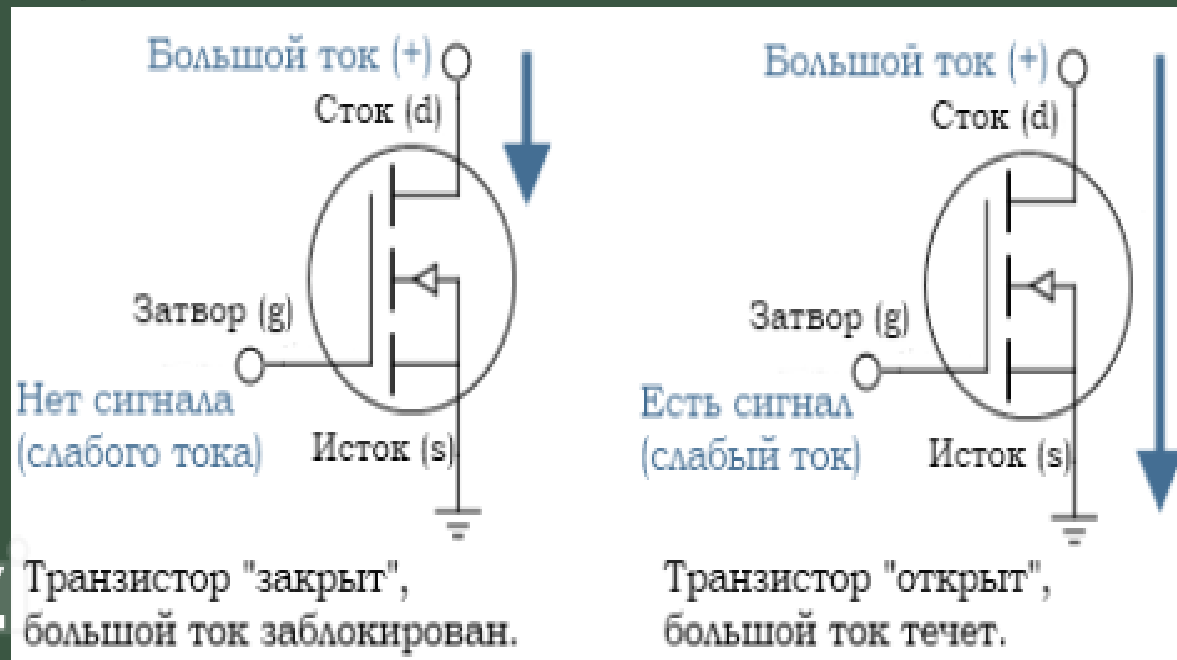


Полевые транзисторы имеют три электрода:

- исток (источник носителей тока),
- затвор (управляющий электрод)
- сток (электрод, куда стекают носители).



Принцип работы основан на изменении сопротивления участка полупроводникового материала, находящегося непосредственно под затвором, при изменении электрического поля, создаваемого затвором.



Схемы включения полевого транзистора:

- с общим истоком
- с общим стоком
- с общим затвором

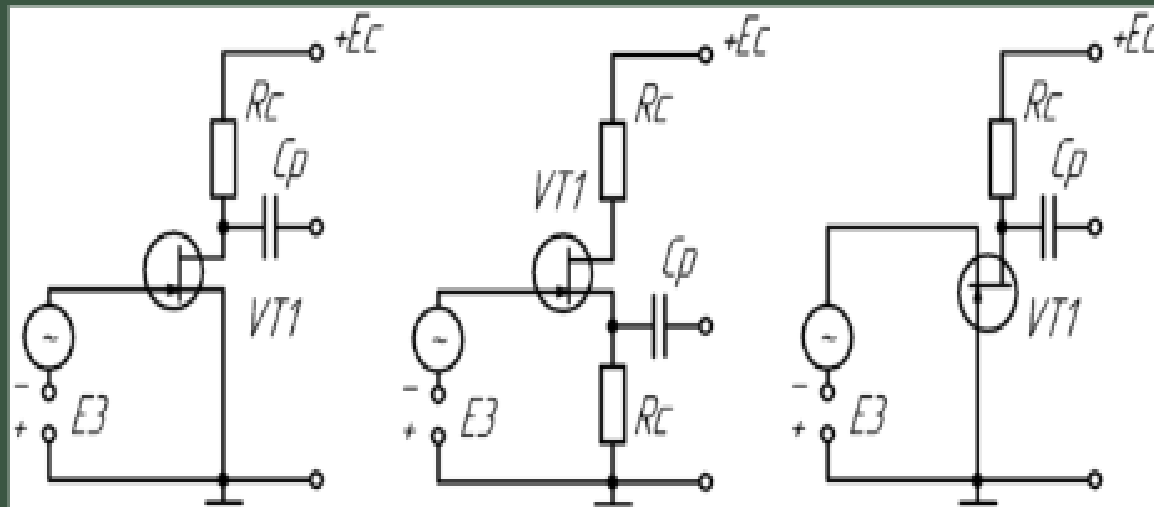


Схема включения полевого транзистора с управляющим р-п переходом с общим истоком

Схема включения полевого транзистора с управляющим р-п переходом с общим стоком

Схема включения полевого транзистора с управляющим р-п переходом с общим затвором