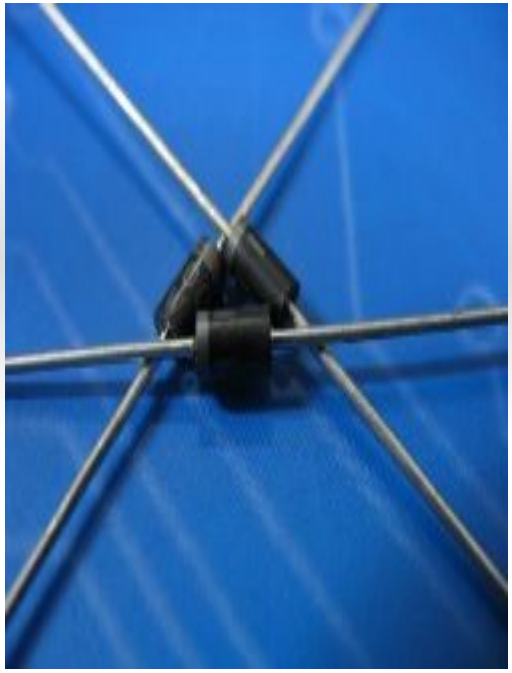
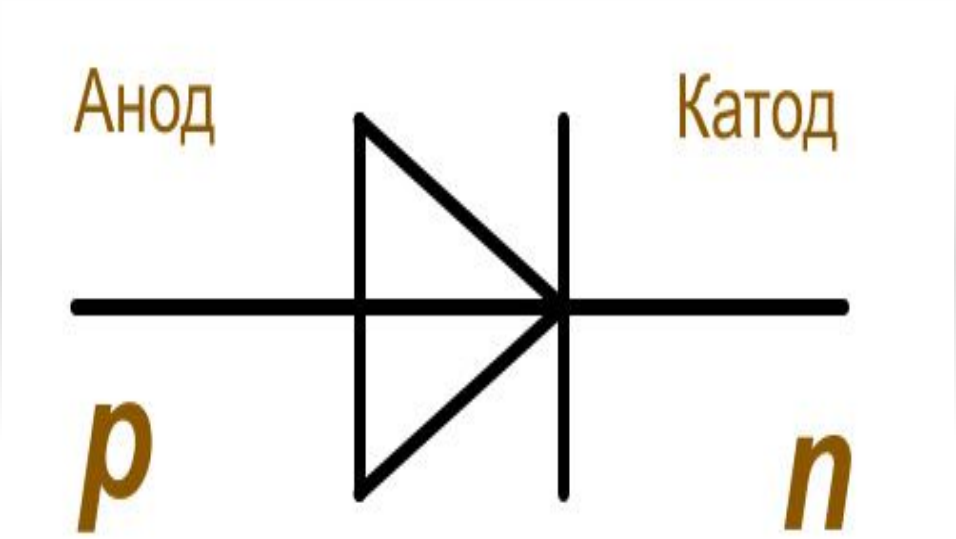
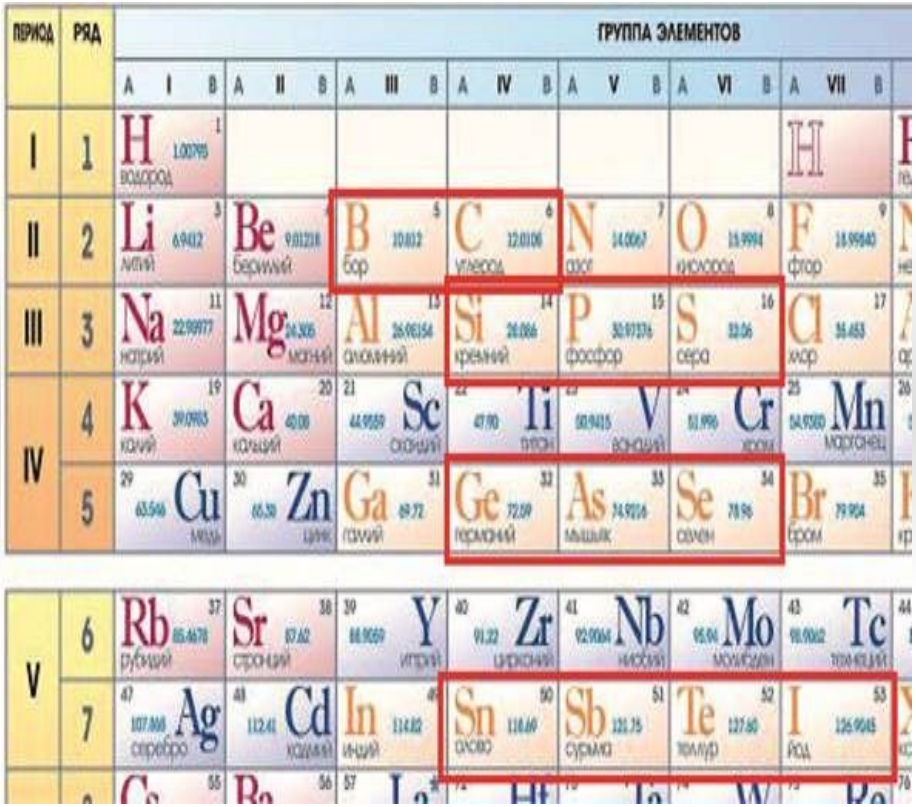
ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЙ ПЕРЕХОД, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ





Дисциплина «Электротехника и электронная техника»

Полупроводники



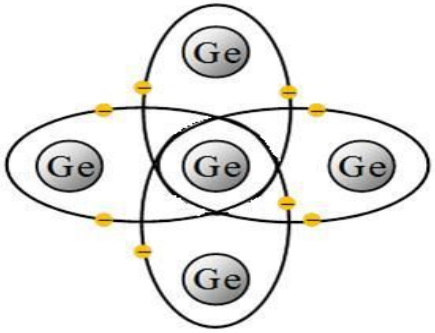
Полупроводники обладают промежу точными свойствами между проводниками и диэлектриками.

Основным свойством полупроводников является изменение их электропроводности под действием температуры, света, давления и при наличии незначительных примесей

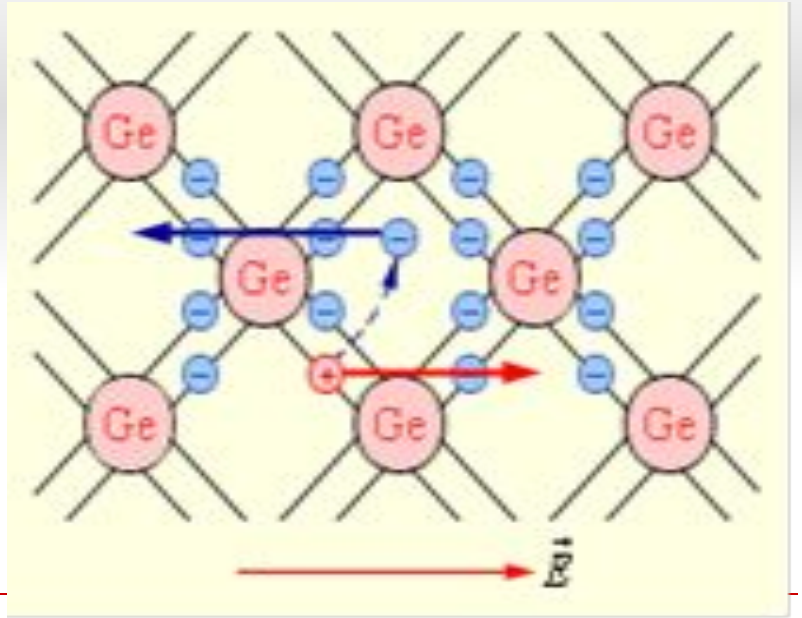
К полупроводникам принадлежат 12 химических элементов в средней части таблицы Менделеева — B, C, Si, P, S, Ge, As, Se, Sn, Sb, Te, I, соединения элементов третьей группы с элементами пятой группы, многие оксиды и сульфиды металлов, ряд других химических соединений, некоторые органические вещества.

Собственная проводимость

На внешней (валентной) оболочке кремния имеется 4 электрона, которые могут использоваться для образования связей с четырьмя соседними атомами . Такие связи называются парноэлектронными или ковалентными. В образовании этой связи от каждого атома участвует по одному валентному электрону, которые отщепляют от атомов и при своем движении большую часть времени проводят в пространстве между соседними атомами. . Дойдя до соседнего атома, он может перейти к следующему, а затем дальше вдоль всего кристалла.



С ростом температуры и освещенности кинетическая энергия валентных электронов повышается, эти связи могут разрушаться, образуя свободный электрон и "дырку". “Дырке” условно приписывается положительный заряд В электрическом поле они перемещаются между узлами решетки, образуя электрический ток

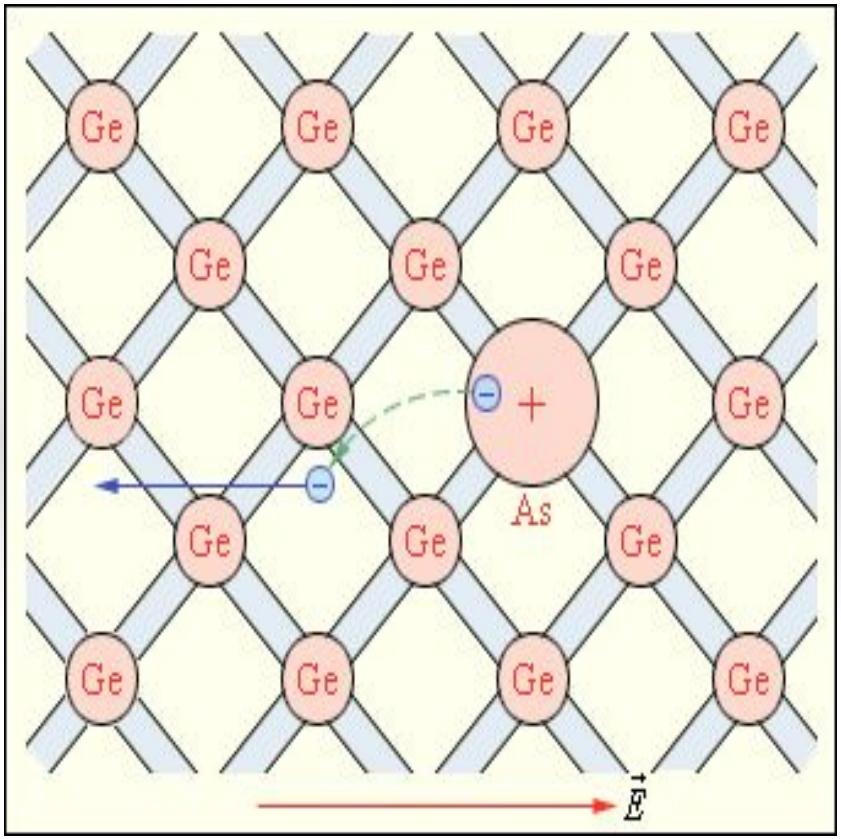


Донорные примеси

(От латинского «donare» — давать, жертвовать)

При наличии примесей в полупроводниках число свободных электронов возрастает во много раз. Атомы мышьяка имеют пять валентных электронов, четыре из них участвуют в создании ковалентной связи данного атома с окружающими, например с атомами германия. Пятый валентный электрон оказывается слабо связан с атомом, легко покидает атом мышьяка и становится свободным. Атом мышька становится приобретает положительный заряд. Концентрация свободных электронов значительно возрастает. Примеси, легко отдающие электроны, называют донорными и являются полупроводниками n-типа(от слова negative – отрицательный) .

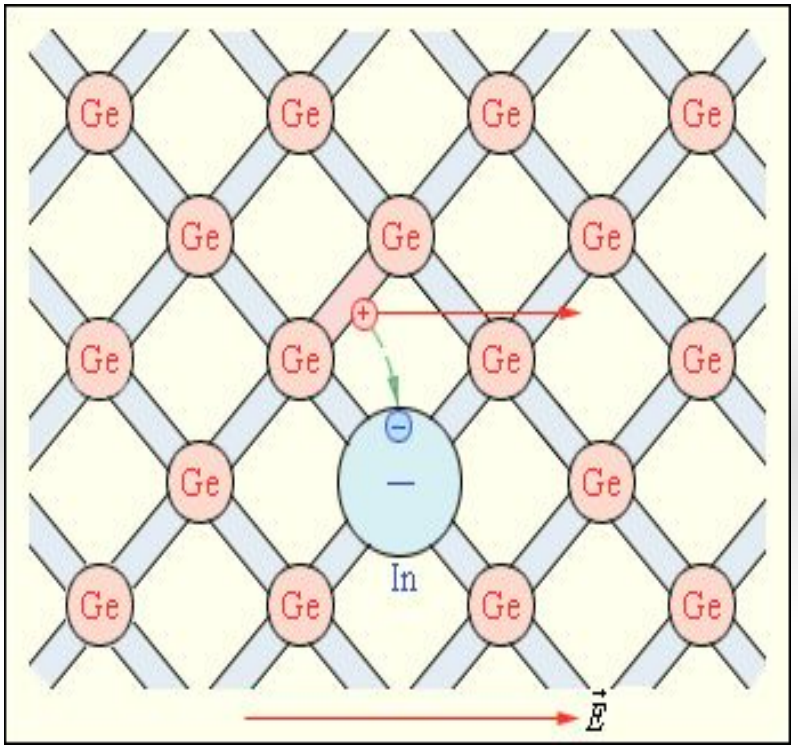
В полупроводнике n-типа электроны являются основными носителями электрического заряда , а дырки – не основными.



Акцепторные примеси

(От латинского «acceptor» — приемщик)

Если в качестве примеси использовать индий, атомы которого трехвалентны, то характер проводимости полупроводника меняется. Теперь для образования нормальных парно-электронных связей с соседями атому индия не достает электрона. В результате образуется дырка. Число дырок в кристалле равно числу атомов примеси. Такого рода примеси называют акцепторными (принимающими). При наличии электрического поля дырки перемешаются по полю и возникает дырочная проводимость. Полупроводники с преобладанием дырочкой проводимости над электронной называют полупроводниками p-типа (от слова positive — положительный).



История изобретения полупроводникового диода

В 1873 г. британский профессор Ф. Гатри открыл принцип работы ламповых вакуумных диодов с прямым накалом. В 1873 г немецкий физик К. Браун сформулировал принцип действия кристаллического диода, в 1899 г.получил патент.

В 1880 году Т. Эдисон заново открывает принцип работы лампового диода и получает патент в 1884 г.

Д. Боус , изучив открытие Брауна, предлагает использовать твердотельный диод в процессе детектирования радиосигнала в первых радиоприемниках.

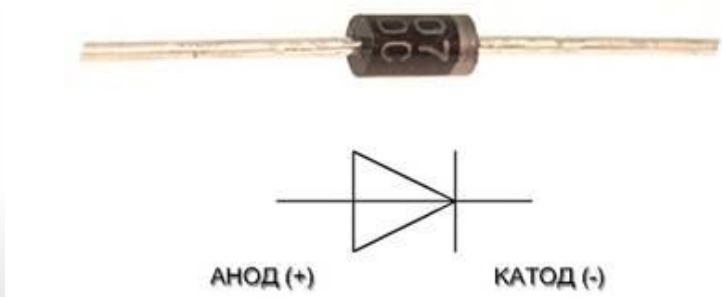
В 1990 году американский инженер-электротехник Гринлиф Пикард создает первый в мире радиоприемник на твердотельном диоде, получает патент спустя шесть лет после открытия – в 1906 году.Диод имел название «детектор»

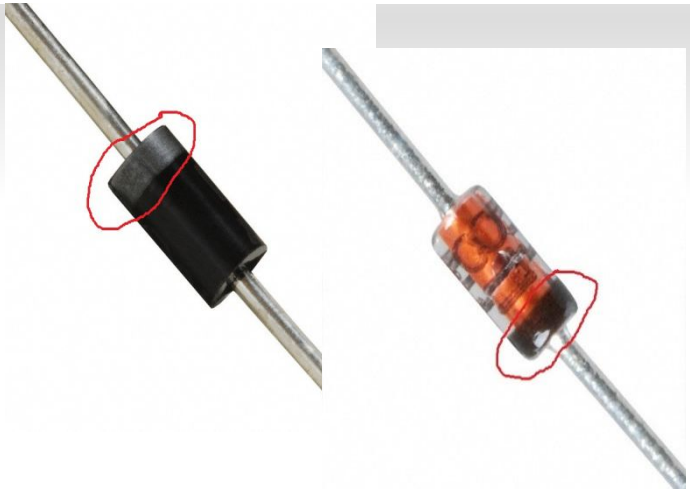
Понятие «диод» появилось в научном обиходе в 1919 году, его ввел британский физик Вильям Иксл, объединив две части греческих слов: Di (два) и odos (путь
В России разработками ламповых и полупроводниковых диодов занимался физик Бенцион Вул.

Устройство и принцип действия полупроводникового диода

Полупроводниковый диод- полупроводниковый прибор с одним электрическим p-n переходом и двумя выводами.

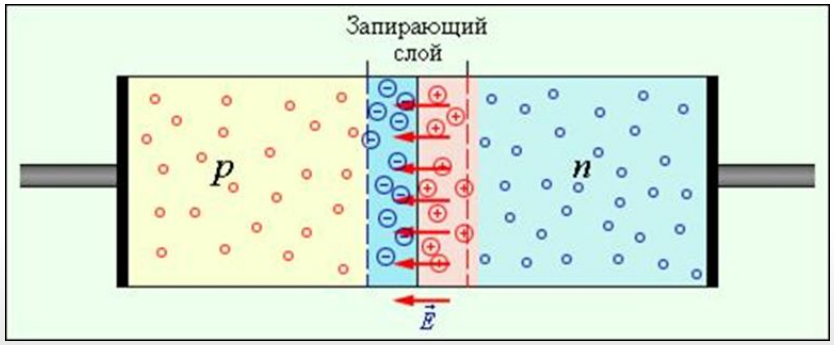
Диод имеет два вывода- анод и катод Сторона p-типа, у полупроводникового прибора
является анодом (положительным электр одом), а область n-типа—катодом (отрицательным электродом).
На некоторых диодах катод обозначают полоской, отличающейся от цвета корпуса





Устройство и принцип действия полупроводникового диода

В полупроводнике n-типа основными носителями свободного заряда являются электроны(Nn >> Np). В полупроводнике p-типа основными носитялеми являются дырки (Np >> Nn). При контакте двух полупроводников n- и p-типов начинается процесс диффузии: дырки из p-области переходят в n-область, а электроны, наоборот, из n-области в p-область. В результате в n-области вблизи зоны контакта уменьшается концентрация электронов и возникает положительно заряженный слой. В p-области уменьшается концентрация дырок и возникает отрицательно заряженный слой. Таким образом, на границе полупроводников образуется двойной электрический слой, электрическое поле которого препятствует процессу диффузии электронов и дырок навстречу друг другу (запирающий слой) обычно достигает толщины порядка десятков и сотен межатомных расстояний.

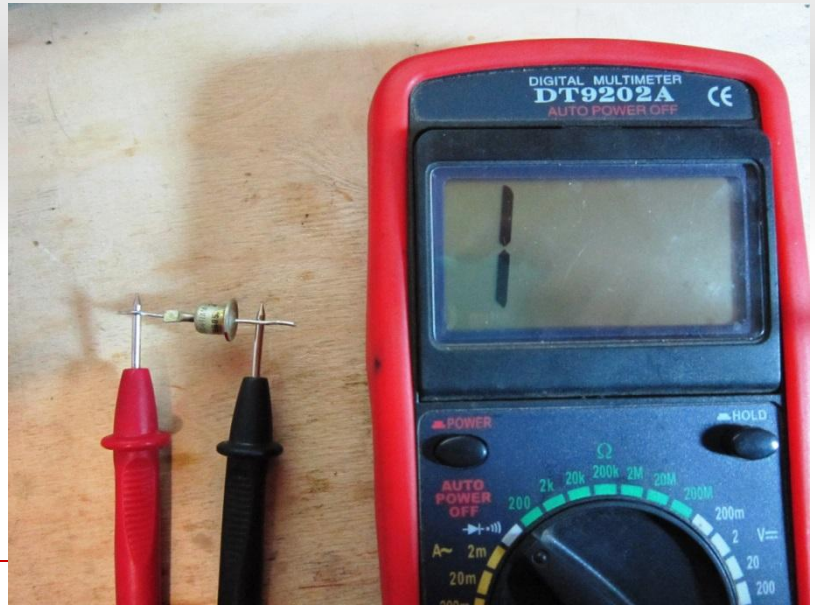


Объемные заряды этого слоя создают между p- и n-областями запирающее напряжение Uз, приблизительно равное 0,35 В для германиевых n–p-переходов и 0,6 В для кремниевых.n–p-переход обладает удивительным свойством односторонней проводимости.

Проверка односторонней проводимости диода

Мультиметр ставится в положение проверки диода. Если красный щуп касается анода, черный щуп - катода, то мультиметр покажет падение напряжения на прямом переходе диода.

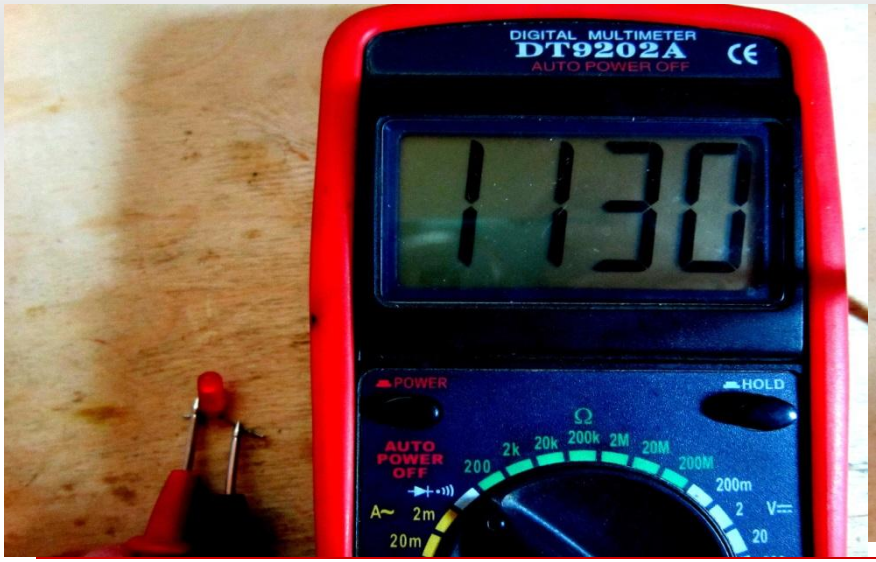
Если красный щуп касается катода, черный щуп анода «бесконечность, т.е сопротивление диода становится бесконечно большим , а сила тока равна нулю, что соответствует обратному переходу диода

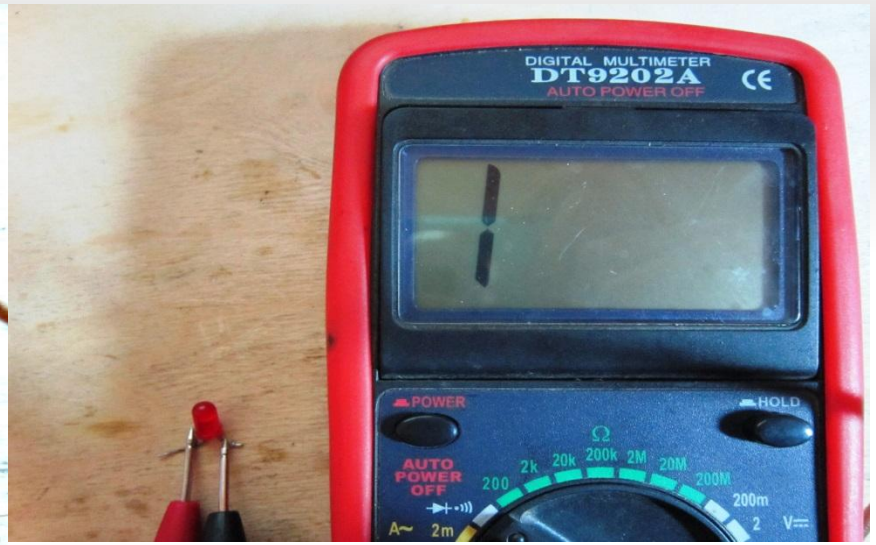


Проверка односторонней проводимости светодиода

Мультиметр ставится в положение проверки диода. Если красный щуп касается анода, черный щуп катода, то мультиметр покажет падение напряжения на прямом переходе диода. Светодиод начинает светиться

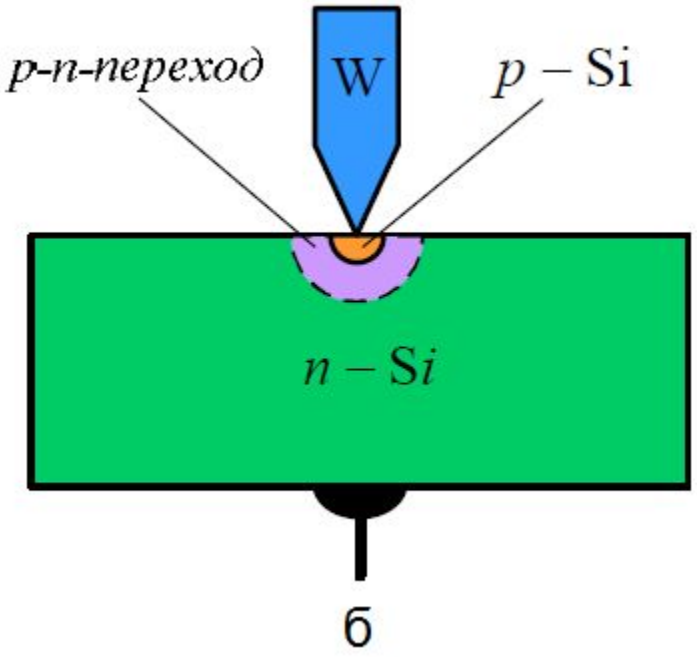
Если красный щуп касается катода, черный щуп анода «бесконечность, т.е сопротивление диода становится бесконечно большим , светодиод не светится





Технология изготовления точечных диодов

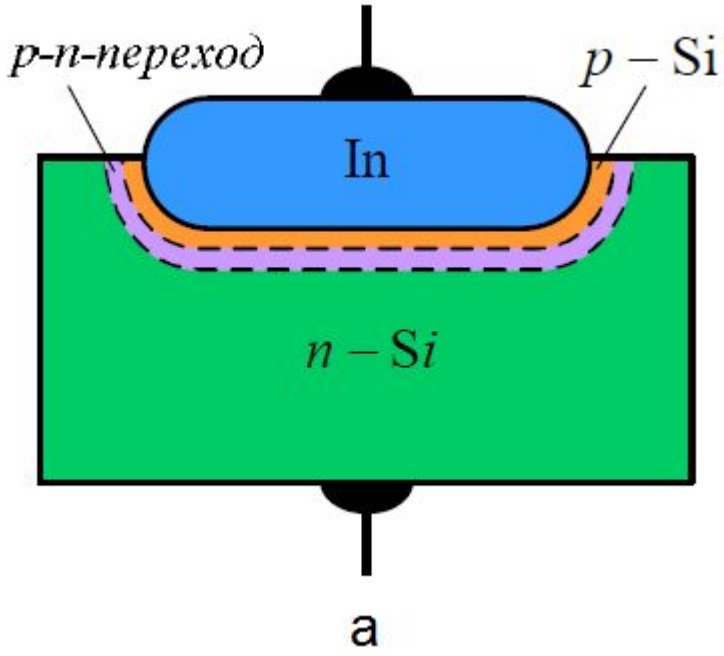
Точечные диоды имеют очень малую площадь *p–n* перехода, причем линейные размеры ее меньше толщины *p–n* перехода. Точечные *p–n*-переходы образуются в месте контакта монокристалла полупроводника и острия металлической проволочки. Для обеспечения более надежного контакта его подвергают формовке, для чего уже через собранный диод пропускают короткие импульсы тока. В результате формовки из-за сильного местного нагрева материал острия пружинки расплавляется и диффундирует в кристалл полупроводника, образуя слой иного типа электропроводности, чем полупроводник. Между этим слоем и кристаллом возникает *p–n* переход полусферической формы. Благодаря малой площади *p–n*-перехода барьерная ёмкость точечных диодов очень незначительна, что позволяет использовать их на высоких и сверхвысоких частотах.



б

Технология изготовления плоскостных диодов

Плоскостными называют такие диоды, у которых размеры, определяющие площадь *p–n* перехода, значительно больше его ширины. У таких диодов площадь *p–n* перехода может составлять от долей квадратного миллиметра до десятков квадратных сантиметров. Плоскостные диоды изготавливают методом сплавления или методом диффузии . Плоскостные диоды имеют сравнительно большую величину барьерной емкости (до десятков пикофарад), что ограничивает их предельную частоту до 10 кГц.

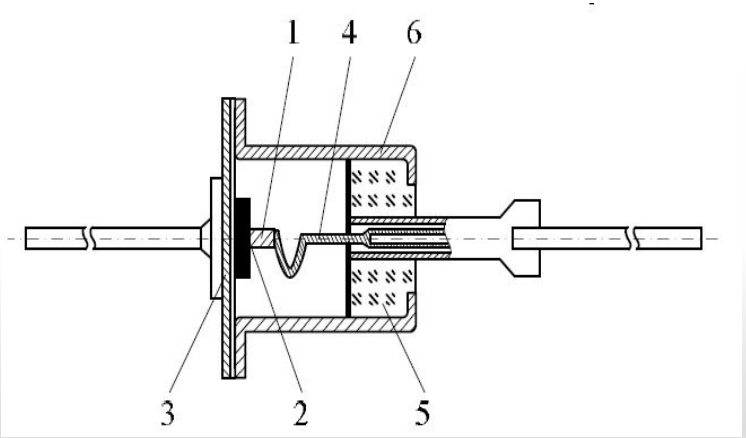


а

Виды диодов
Выпрямительный диод

Выпрямительный диод – это полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный. Выпрямительные диоды работающие с высокими напряжениями и токами называются силовыми. На рисунке приведена конструкция выпрямительного диода маломощного диода, изготовленного методом сплавления.

1 – кристалл индия; 2 - германий *n*-типа; 3 - стальной кристаллодержатель; 6 – корпус; 5 - стеклянный проходной изолятор; 4 - внутренний вывод (имеет специальный изгиб для уменьшения механических напряжений при изменении температуры).



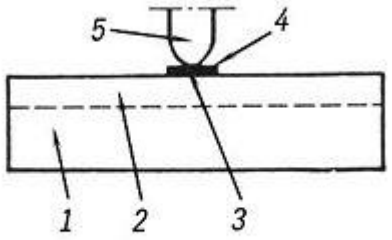
Условное графическое обозначение выпрямительного диода

Виды диодов
Диод с барьером Шоттки

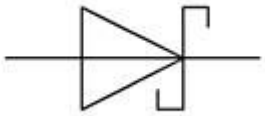
Диоды Шоттки имеют очень малое падение напряжения и обладают повышенным быстродействием по сравнению с обычными диодами. Назван в честь немецкого физика Вальтера Шоттки. В диодахв качестве барьера используется переход металл-полупроводник. Этот переход обладает рядом особенных свойств : пониженное падение напряжения при прямом включении, высокий ток утечки, очень маленький заряд обратного восстановления. Это объясняется отсутствием диффузии несновных носителей, т.е. они работают только на основных носителях, а их быстродействие определяется только барьерной емкостью.

Диоды Шоттки изготавливаются обычно на основе кремния (Si) или арсенида галлия (GaAs), в качестве металлов используются Ag, Au, Pt, Pd, W, которые наносятся на полупроводник и дают величину потенциального барьера 0,2...0,9 эВ.

Допустимое обратное напряжение выпускаемых диодов Шоттки ограничено 1200 вольт



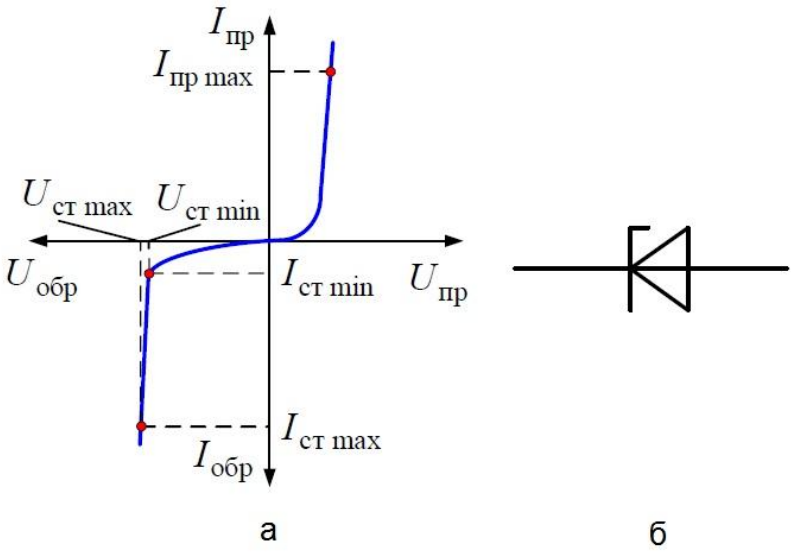
Структура детекторного Шоттки диода: 1 — полупроводниковая подложка; 2 — эпитаксиальная плёнка; 3 — контакт металл-полупроводник; 4 — металлическая плёнка; 5 — внешний контакт



Условное графическое обозначение диода Шоттки

Виды диодов
Стабилитроны

Стабилитроны – диоды, предназначенные для работы в режиме электрического пробоя, использующие особенность обратной ветви вольт-амперной характеристики на участке пробоя изменяться в широком диапазоне изменения токов при сравнительно небольшом отклонении напряжения. Конструкции стабилитронов практически не отличаются от конструкций выпрямительных диодов. Вольт-амперная характеристика стабилитрона представлена на рисунке. 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.



Вольтампернаяхарактеристика и условное графическое обозначение стабилитрона

Схема включения стабилитрона

В схемах стабилитрон включается последовательно с резистором: где Uвх - входное напряжение, Uвых.ст. - выходное стабилизированное напряжение

При последовательном соединении используется свойство делителя напряжений :

Uвх=Uвых.стаб +Uрезистора

Входное напряжение равняется сумме напряжений на стабилитроне и на резисторе.

Эта схема называется параметрический стабилизатор на одном стабилитроне

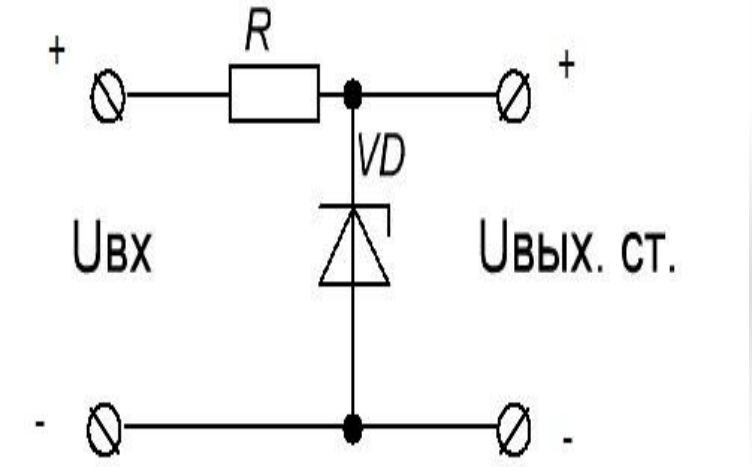
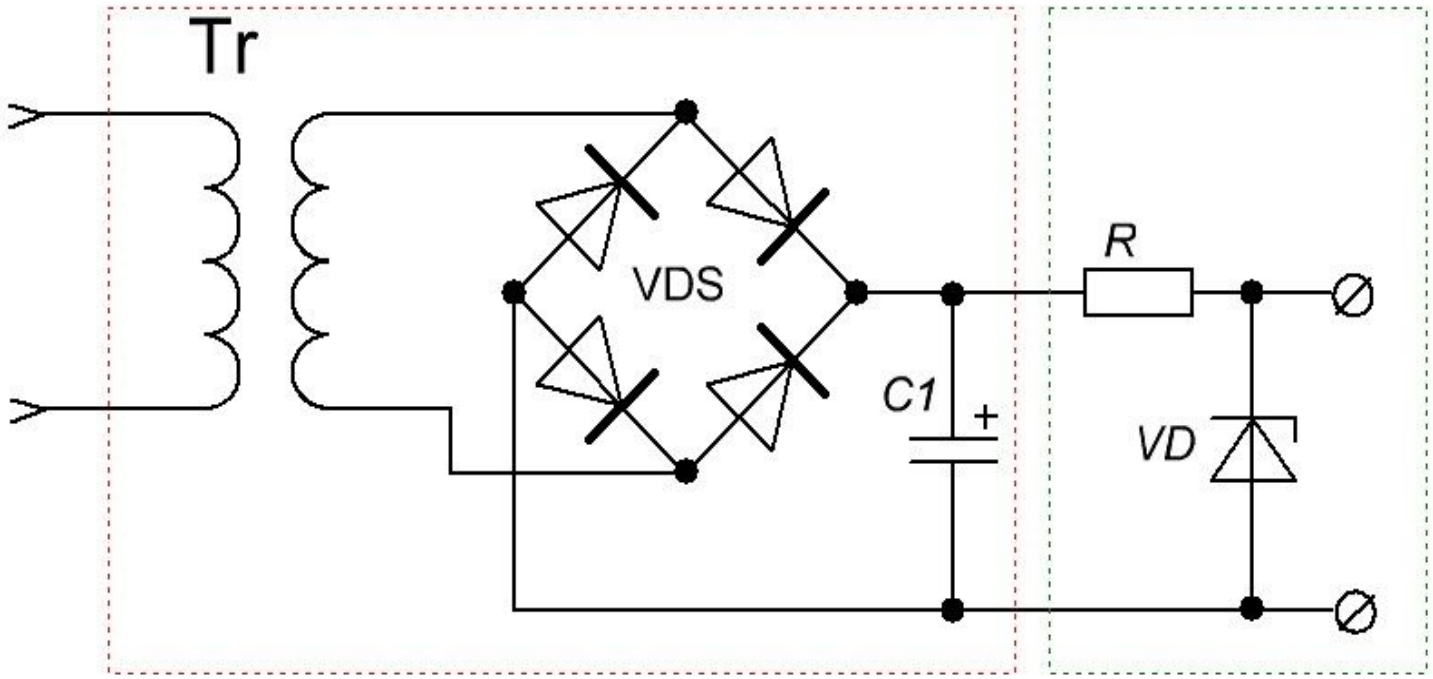
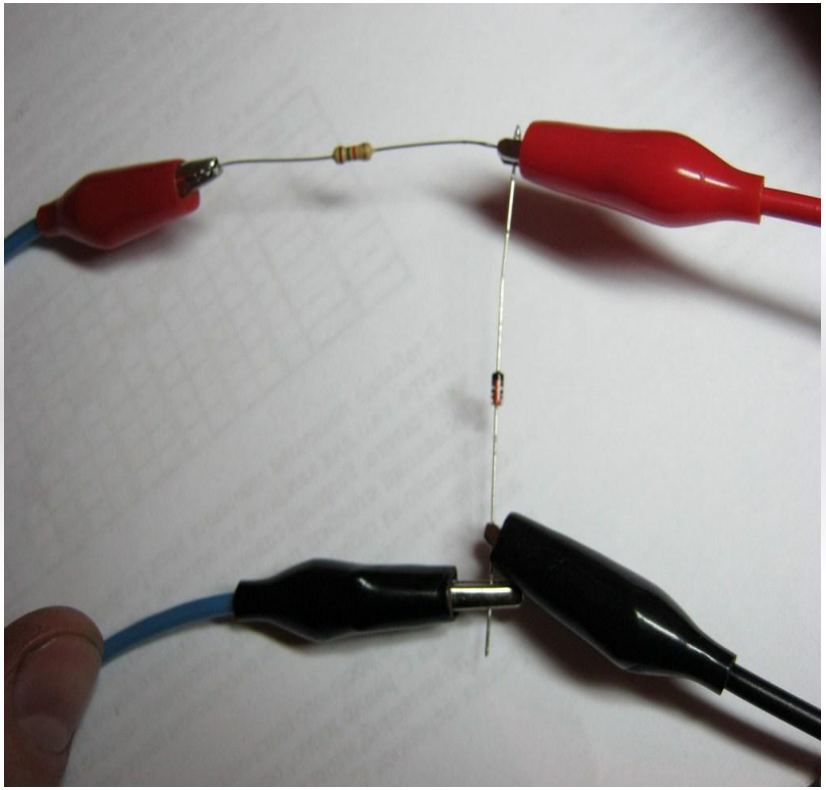


Схема включения стабилитрона



Проверка работы стабилитрона мультиметром

- Пример: Электрическая схема состоит из резистора номиналом в 1,5 КилоОм и стабилитрона напряжением стабилизации 5,1 В. Подключаем на левую часть схемы напряжение 12 вольт, справа замеряем мультиметром полученное напряжение. При изменении входного напряжения измеряемое напряжение мультиметром не изменяется и равно 5,1 В.



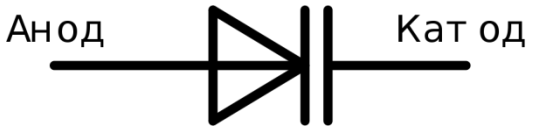
Виды диодов
Варикап

- **Электрическая емкость p-n перехода**

p-n переход, подобно конденсатору имеет электрическую емкость, к тому же зависящую от напряжения, приложенного к p-n переходу. Это свойство p-n перехода используется в специальных диодах – варикапах, применяемых для настройки колебательных контуров в приемниках. Обычно емкость оказывает мешающее воздействие, замедляет переключение диода, снижает его быстродействие. Такая емкость часто называется паразитной. Она показана на рисунке .

При обратном включении диода возрастает ширина потенциального барьера, отчего барьерная ёмкость снижается.

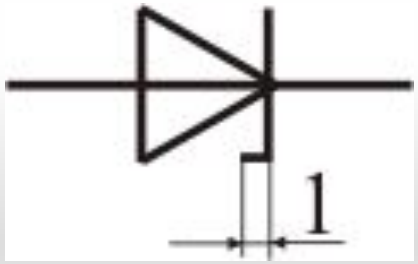
Варикап – это полупроводниковый диод, в котором используется зависимость барьерной ёмкости p–n-перехода от обратного напряжения. Таким образом, варикап можно рассматривать как конденсатор, ёмкость которого можно регулировать при помощи электрического сигнала. Максимальное значение емкости варикап имеет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



Виды диодов
Импульсный диод

Импульсными называют диоды, предназначенные для пропускания в прямом включении очень коротких импульсов, длительностью менее микросекунды, с большой амплитудой тока. Импульсные диоды, функционирующие на частоте примерно 1 ГГц, часто обладают точечной конструкцией. Когда через импульсный диод протекает электрический ток в прямом включении и резко изменить 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 вследствии 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



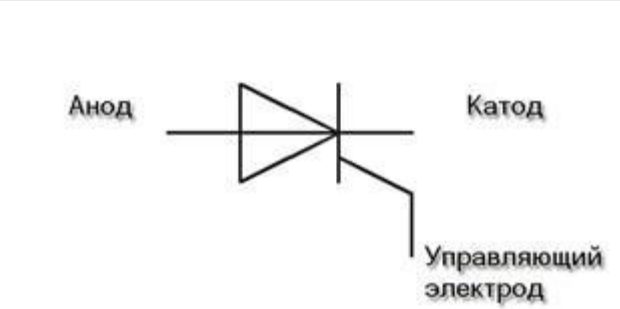
Условное графическое обозначение импульсного диода

Виды диодов
Тиристор

Тиристор имеет два устойчивых состояния: 1) закрытое, то есть состояние низкой проводимости, 2) открытое, то есть состояние высокой проводимости. Другими словами он способен под действием сигнала переходить из закрытого состояния в открытое.

Тиристор имеет три вывода, кроме Анода и Катода еще и управляющий электрод - используется для перевода тиристора во включенное состояние.

Тиристоры часто используются в схемах для регулировки мощностей, для плавного пуска двигателей или включения лампочек. Тиристоры позволяют управлять большими токами. У некоторых типов тиристоров максимальный прямой ток достигает 5000 А и более, а значение напряжений в закрытом состоянии до 5 кВ.



Условное графическое обозначение тиристора

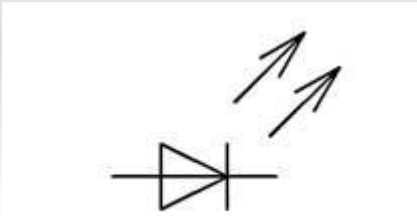
Виды диодов
Симистор

Симистор используется в системах, питающихся переменным напряжением, его можно представить как два тиристора, которые включены встречно-параллельно. Симистор пропускает ток в обоих направлениях.

Условное графическое обозначение симистра

Виды диодов
Светодиод

Светодиод излучает свет при пропускании через него электрического тока. Светодиоды применяются в устройствах индикации приборов, в электронных компонентах (оптронах), сотовых телефонах для подсветки дисплея и клавиатуры, мощные светодиоды используют как источник света в фонарях и т.д. Светодиоды бывают разного цвета свечения.Они широко применяются в цифровых, буквенных и точечных индикаторах в вычислительной и измерительной технике.

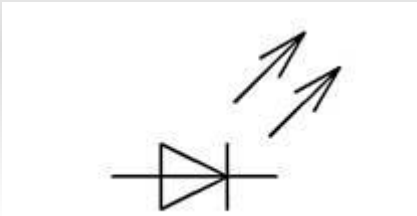


Условное графическое обозначение светодиода

.

Виды диодов
Инфракрасный диод

Инфракрасные светодиоды (сокращенно ИК диоды) излучают свет в инфракрасном диапазоне . Области применения инфракрасных светодиодов это оптические контрольно-измерительные приборы, устройства дистанционного управления, оптронные коммутационные устройства, беспроводные линии связи. ИК диоды обозначаются так же как и светодиоды. ИК диоды излучают свет вне видимого диапазона, свечение ИК диода можно увидеть через камеру сотового телефона.ИК диоды применяют в камерах видеонаблюдения, особенно на уличных камерах чтобы в темное время суток была виден объект.

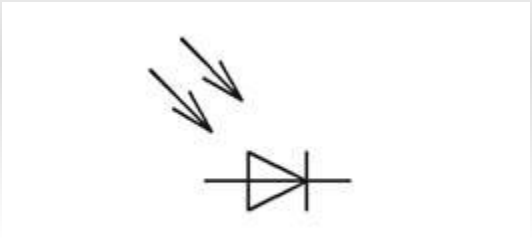


Условное графическое обозначение ИКдиода

Виды диодов
Фотодиод

Фотодиод преобразует свет попавший на его фоточувствительную область, в электрический ток, находит применение в преобразовании света в электрический сигнал.

При отсутствии светового потока сопротивление диода велико, а ток в цепи и напряжение на резисторе $U_{вых}$ практически равны нулю. При воздействии светового потока об ратное сопротивление фотодиода уменьшается, появляются ток и напряжение $U_{вых}$, зависящие от освещенности фотодиода. Фотодиоды применяют в устройствах считывания чертежей и графиков, в пылемерах, для измерения уровней жидкостей и т. д.

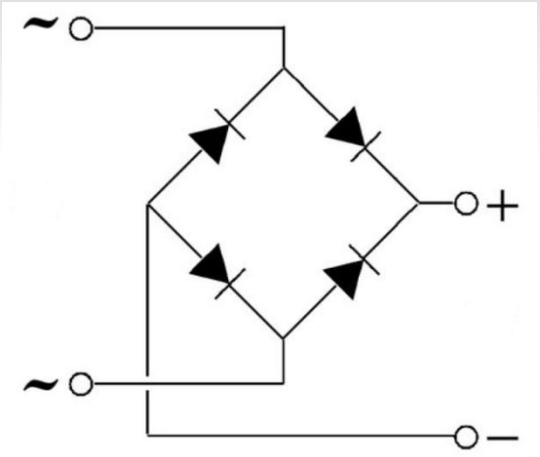


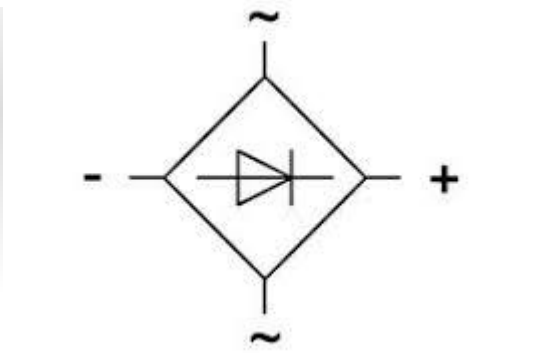
Условное графическое обозначение фотодиода

Диодный мост

Дио́дный мо́ст — электрическое устройство, предназначенное для преобразования («выпрямления») переменного тока в пульсирующий. Такое выпрямление называется двухполупериодным .

Однофазная мостовая схема(по мостовой схеме Гретца):

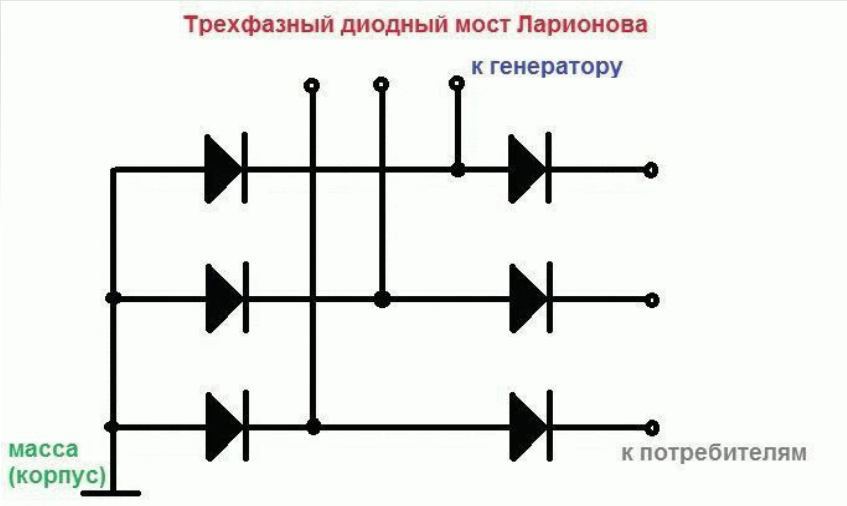




Условное графическое обозначение однофазного моста Гретца

Диодный мост

Трехполупериодная схема, образуется мостом, состоящим из шести диодов в трехфазной сети. На выходе формируются две фазы постоянного тока. Схема была разработана Ларионовым А.Н-советским учёным в области электротехники в 1923 г.



Маркировка диодов

- Для того чтобы определить вид, узнать характеристику полупроводникового диода, производители наносят специальные обозначения на корпус элемента. Она состоит из четырёх частей. На первом месте - буква или цифра, означающая материал, из которого изготовлен диод. Может принимать следующие значения:
- Г (1) — германий;
- К (2) — кремний;
- А (3) — арсенид галлия;
- И (4) — индий.

На втором - типы диода. Они тоже могут иметь разное значение:
Д — выпрямительные;
В — варикап;
А — сверхвысокочастотные;
И — туннельные;
С — стабилитроны;
Ц — выпрямительные столбы и блоки.
На третьем месте располагается цифра, указывающая на область применения элемента.
Четвёртое место — числа от 01 до 99, означающее порядковый номер разработки.

Литература и Интернет-источники

1. http://helpiks.org/3-80530.html

2.http://www.ruselectronic.com/news/kak-provjerit-diod-multimjetrom

3.http://www.physbook.ru/index.php/SA

4.http://cxem.net/beginner/beginner97.php

5.http://moskatov.narod.ru/Books/The_electronic_technics/Semiconductor_diodes.html

6. Учебник М.В. Немцов, И. И.Светлакова »Электротехника» 2004г.