

Электроника

Темы рефератов

1. История развития электроники
2. Перспективы развития электроники
3. Общие сведения о полупроводниках . Собственные полупроводники , полупроводники р и n типа . Виды проводимости п\п. Зонные диаграммы.
4. П\п приборы. Диоды, биполярные транзисторы, полевые транзисторы устройство, основные характеристики , принцип работы области применения. Способы изготовления. Основные схемы включения ВАХ
5. Оптоэлектронные приборы устройство, основные характеристики , принцип работы области применения. Способы изготовления
6. Вторичные источники питания . Выпрямители основные характеристики , принцип работы области применения. Основные схемы включения (однофазные , трехфазные)
7. Операционные усилители устройство принцип работы , основные схемы включения,
8. Аналоговые. усилители. основные характеристики , принцип работы области применения. Основные схемы включения . Обратные связи
9. Электронные фильтры, основные характеристики , принцип работы области применения. Основные схемы включения .
0. Генераторы гармонических сигналов , основные характеристики , принцип работы области применения. Основные схемы включения
1. Логические элементы , основные характеристики , принцип работы области применения. Основные схемы включения

Электроника — область науки и техники, занимающаяся использованием явлений, связанных с движением заряженных частиц в вакууме, газах и твёрдых телах.

Электроника включает в себя изучение физических процессов, разработку конструкций и технологию изготовления электронных приборов (ламп, транзисторов, интегральных микросхем), а также устройств, в которых эти приборы применяют.

1. Основные сведения о проводимости полупроводников.

Физические принципы работы полупроводниковых приборов основаны на явлениях электропроводности в твёрдых телах.

По способности проводить электрический ток все вещества делятся на три класса:

Для металлов

$$\sigma_{мет} = 10^7 \div 10^3 \frac{1}{Ом \cdot м}$$

Для полупроводников

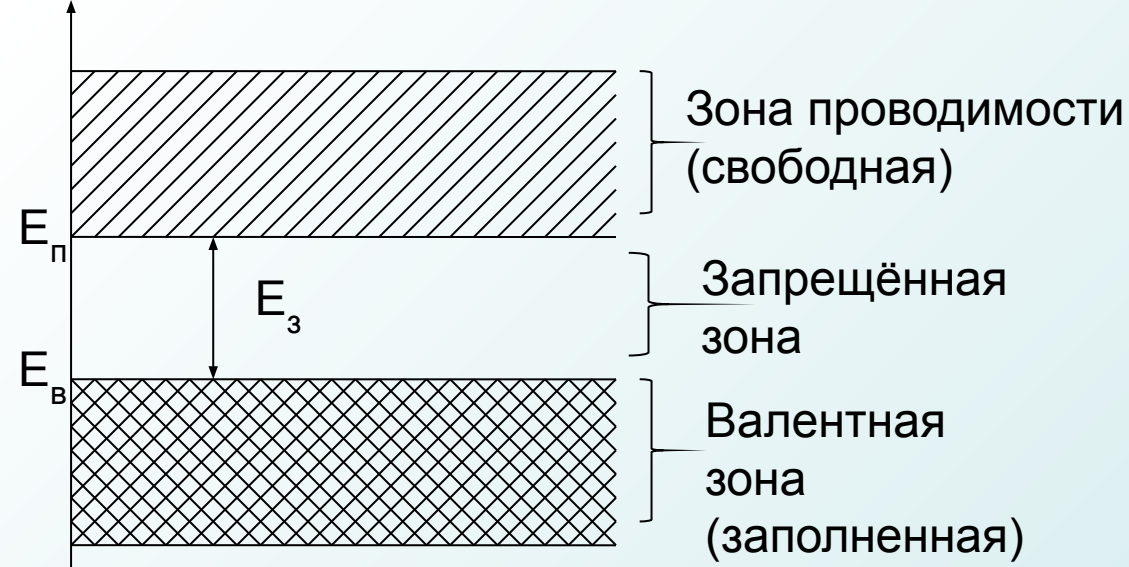
$$\sigma_{n/n} = 10^3 \div 10^{-8} \frac{1}{Ом \cdot м}$$

Для диэлектриков

$$\sigma_{диэл} = 10^{-8} \div 10^{-15} \frac{1}{Ом \cdot м}$$

Характерными свойствами полупроводников являются резко выраженная зависимость удельной проводимости от:

- Изменения температуры;
- Количества и природы введённых примесей;
- Наличия электрического поля;
- Светового воздействия;
- Ионизирующего излучения и др.



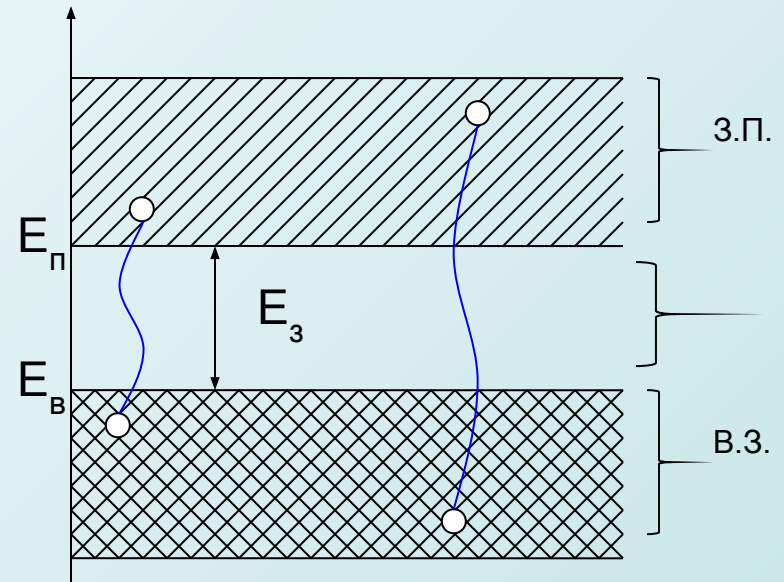
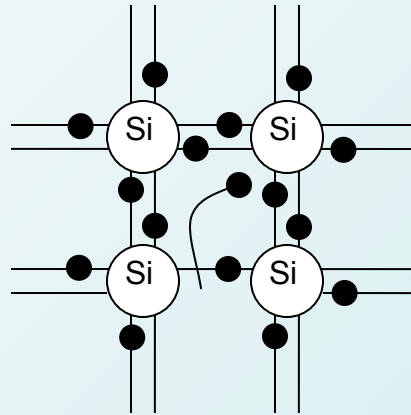
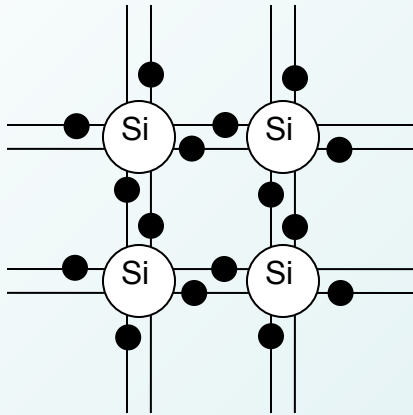
Разрешённая зона, в которой при абсолютном нуле температуры все энергетические зоны заняты электронами, называется *валентной*.

Разрешённая зона, в которой при абсолютном нуле температуры электроны отсутствуют, называется *зоной проводимости*.

Между валентной зоной и зоной проводимости расположена *запрещённая зона*.

Ширина запрещенной зоны
для германия – 0,7эВ, для кремния -1,1эВ,
для арсенида галлия – 1,4эВ.

Механизм собственной электропроводности полупроводника



Дырка – единичный положительный заряд.

Собственная электрическая проводимость полупроводника обусловлена появлением пары носителей заряда «электрон-дырка» при нагревании.

После своего образования пары «электрон-дырка» существуют в течении некоторого времени, называемого **временем жизни носителей** заряда.

Электроны, находящиеся в зоне проводимости, обладают довольно большой энергией и могут её изменять под действием электрического поля, перемещаясь в объёме полупроводника.

Этими электронами и определяется электропроводность полупроводника.

Энергетические уровни *валентной зоны* обычно заполнены электронами внешней оболочки атомов – внешних устойчивых орбит (валентными электронами). При наличии свободных уровней в валентной зоне электроны могут изменять свою энергию под воздействием электрического поля. Если же все уровни зоны заполнены, то валентные электроны не могут принять участие в проявлении электропроводности полупроводника.

По мере нагревания полупроводника происходит нарушение связей, т.е. некоторые валентные электроны получают необходимую дополнительную энергию для перехода в зону проводимости.

Такой переход соответствует выходу электрона из связи.

Появляющиеся свободные электроны будут принимать участие в образовании тока в полупроводнике (при приложении напряжения).

Появление свободных уровней в валентной зоне свидетельствует о том, что для валентных электронов появляется возможность изменить свою энергию, а следовательно, участвовать в процессе протекания тока через полупроводник. С повышением температуры возникает большее число свободных электронов в зоне проводимости и вакантных уровней в валентной зоне.

Вакантный энергетический уровень в валентной зоне и соответственно свободную валентную связь называют **дыркой**, которая является подвижным носителем положительного заряда, равного по абсолютной величине заряду электрона. Перемещение дырки соответствует встречному перемещению валентного электрона (из связи в связь). Движение дырки – это поочерёдная ионизация валентных связей.

Процесс образования свободного электрона и дырки принято называть **генерацией**. Появление электрона в зоне проводимости и дырки в валентной зоне на энергетической диаграмме представлено в виде кружков с соответствующими знаками зарядом. Стрелкой обозначен переход электрона из валентной зоны в зону проводимости.

Таким образом, за счёт термогенерации в собственном полупроводнике, который принято обозначать буквой i , образуется два типа подвижных носителей заряда: свободные **электроны** n и **дырки** p , причём их количество одинаково. Эти носители заряда называют **собственными**, а электропроводность, ими обусловленную, - **собственной электропроводностью полупроводника**.

В обычных условиях число переходов электронов в зону проводимости и обратно в кристаллах одинаково мало, поэтому кристаллы полупроводников легируют, т.е. добавляют примеси.

1 тип примеси – пятивалентные материалы (мышьяк As, сурьма ит.д.).

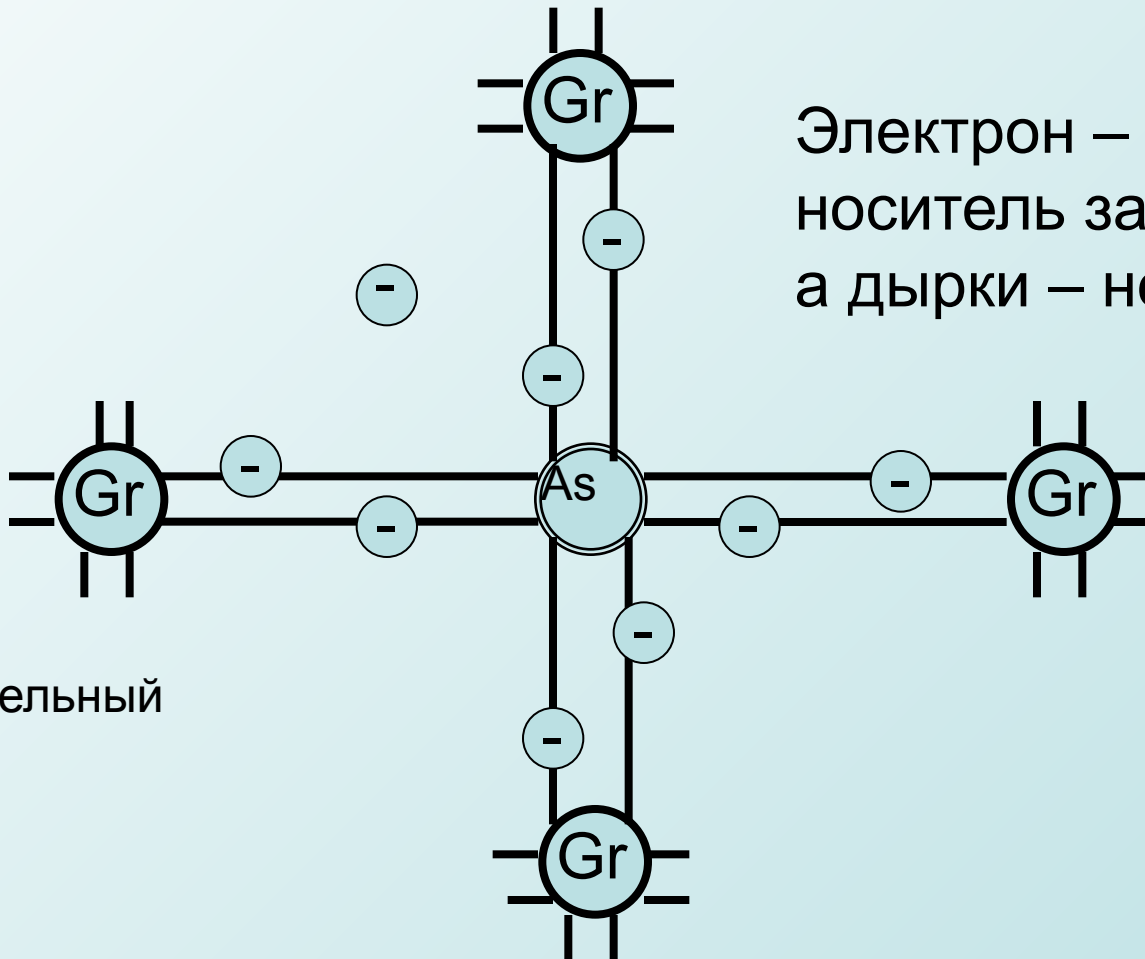
2 тип примеси – трехвалентные материалы (индий In, галлий).

1 тип- донорный полупроводник (n – типа)

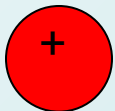
Легирование As (5 электронов в валентной зоне)

Один электрон лишний

Электрон – основной
носитель заряда,
а дырки – не основной



As – положительный
ион



Носители заряда в n– типе полупроводников

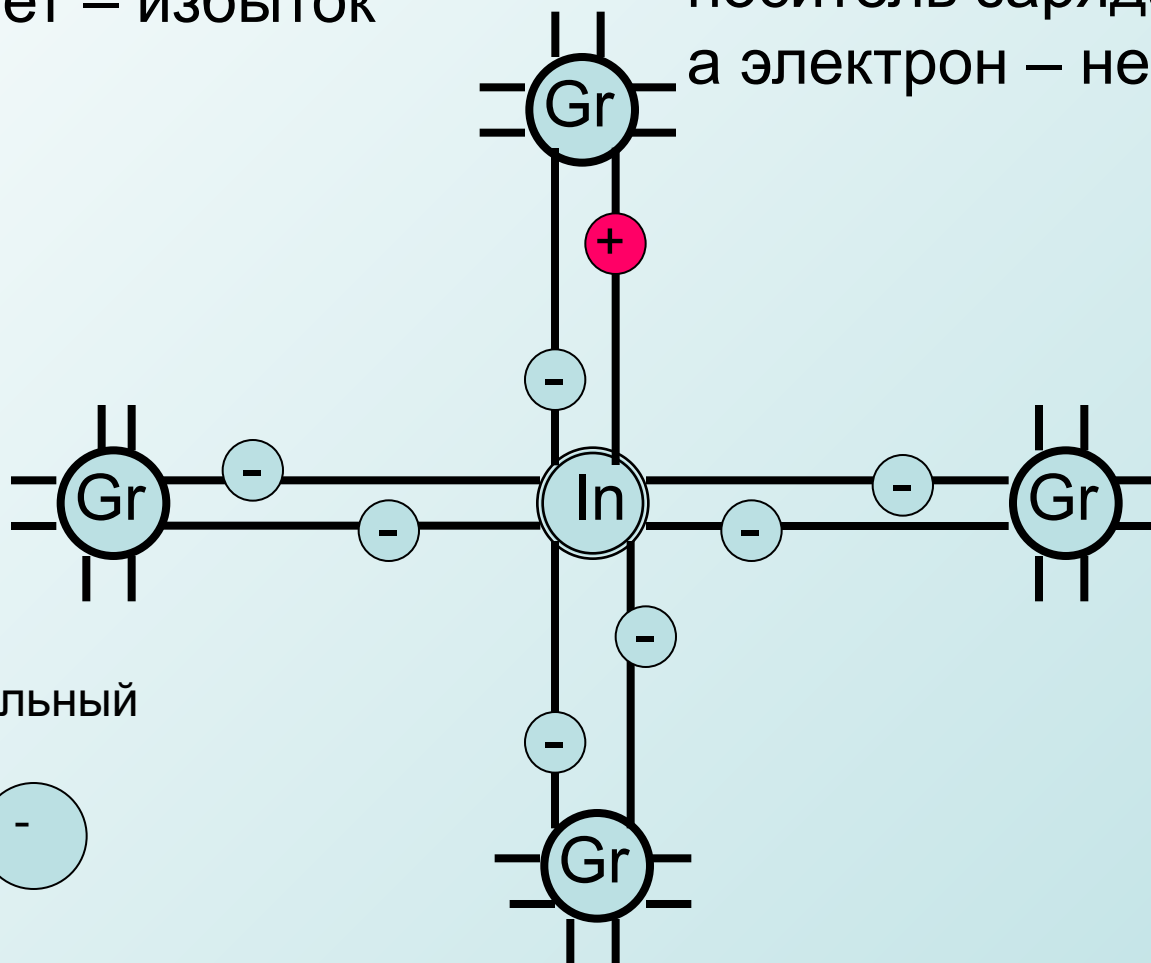
- В **n-типе** полупроводников основными носителями зарядов являются **электроны «-»**, не основными – дырки «+».
- В полупроводнике n-типа имеются положительные ионы (потерявшие электроны атомы примеси), которые находятся в узлах решетки и имеют практически нулевую подвижность.

2 тип – акцепторный полупроводник p-типа

Легирование In (3 электрона в валентной зоне)

Одина валентная связь
отсутствует – избыток
дырок.

Дырка – основной
носитель заряда,
а электрон – не основной



In – отрицательный
ион

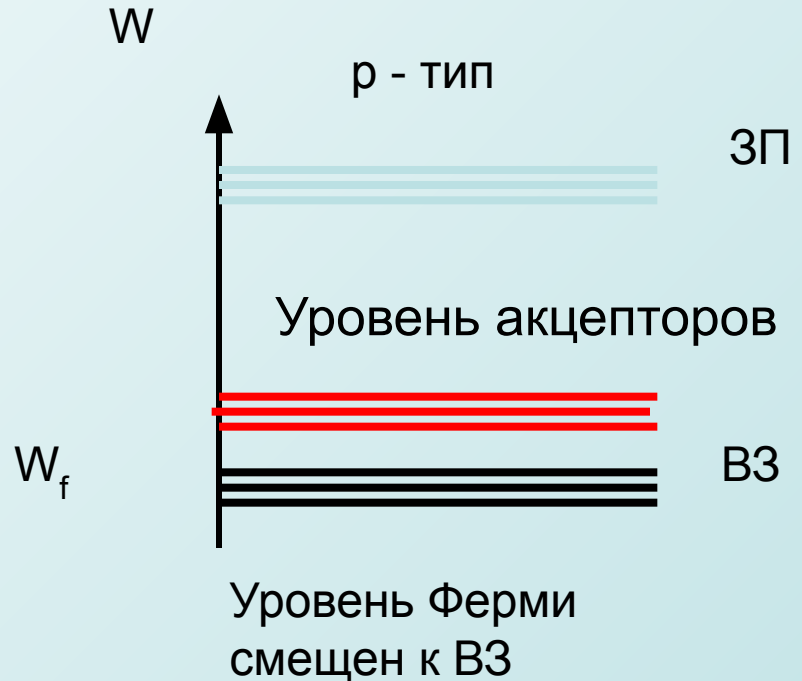
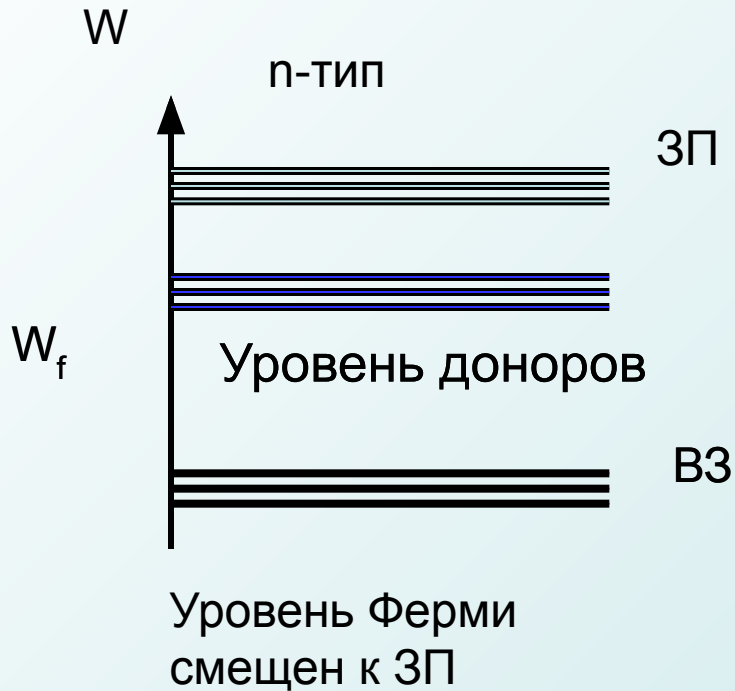
Носители заряда в р – типе полупроводников

В **р -типе** полупроводников основными носителями зарядов являются **дырки «+»**, не основными – электроны «-».

В полупроводнике р-типа имеются отрицательные ионы (присоединившие электрон)

Если полупроводники отделены друг от друга, то кристаллы нейтральны (движение заряженных частиц хаотическое)

Зонные диаграммы полупроводников



Параметры полупроводников

Одним из основных параметров полупроводника является **подвижность носителей заряда μ** .

Подвижность носителей – их средняя направленная скорость в полупроводнике при напряжённости электрического поля $E=1$ В/см.

Подвижность электронов μ_n всегда больше подвижности дырок μ_p . Это объясняется большей инерционностью дырок (соответствующей инерционности валентного электрона), чем свободных электронов. Наибольшая подвижность наблюдается у электронов в арсениде галлия.

Чем больше μ , тем выше скорость движения носителей и тем выше быстродействие полупроводникового прибора. Отсюда становится ясным преимущество высокочастотных элементов, изготовленных из электронного арсенида галлия.

Параметры полупроводников

Подвижность носителей заряда связана с другим параметром полупроводника – *коэффициентом диффузии* D

$$D = \varphi_T \mu$$

где $\varphi_T = kT/q$ – тепловой потенциал, который при комнатной температуре приближённо равен 26 мВ;

Коэффициенты диффузии, так же как и подвижности, имеют разные значения для электронов и дырок, причём $D_n > D_p$.

Ещё одним важным параметром полупроводника является время жизни t .

Временем жизни носителя заряда называется время от его генерации до рекомбинации, которое во многом определяет длительность переходных процессов в некоторых полупроводниковых приборах.

В общем случае движение носителей заряда в полупроводниках обусловлено двумя физическими процессами: **диффузией и дрейфом**.

Составляющая электрического тока под действием внешнего электрического поля называется **дрейфовым током** и определяется

$$j = q \cdot (\mu_n \cdot n + \mu_p \cdot p) \cdot E,$$

где q – заряд электрона,

n , p - концентрация электронов и дырок соответственно,

μ_n и μ_p – подвижность электронов и дырок.

Составляющая электрического тока, обусловленная направленным перемещением носителей электрического заряда из мест с большей концентрацией в места, где их концентрация меньше, называется **диффузионным током** и определяется

$$j_{\text{диф}} = q \cdot \left(D_n \cdot \frac{dn}{dx} + D_p \cdot \frac{dp}{dx} \right),$$

где q – заряд электрона,
 D_n , D_p – коэффициенты диффузии электронов и дырок (количество носителей, проходящих через единичную площадку за 1с при единичном градиенте концентрации)
 dn/dx и dp/dx – градиенты концентрации электронов и дырок

2. Электронно – дырочный переход (р-n-переход)

В большинстве полупроводниковых приборов используются монокристаллы полупроводника с двумя и более участками (слоями) с различным типом проводимости (р- и n-).

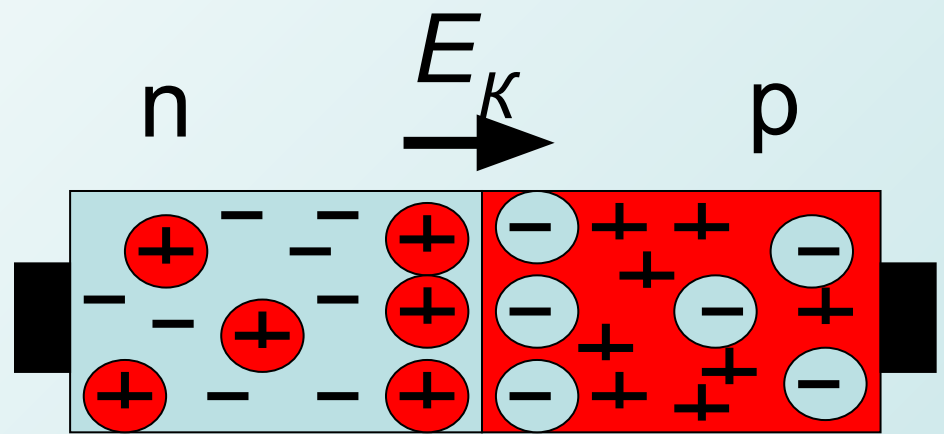
Слой, имеющий более высокую концентрацию носителей, имеет более высокую электропроводность.

Плотный контакт(соединение) между отдельными полупроводниками с различными типами проводимости называется р-п переходом.

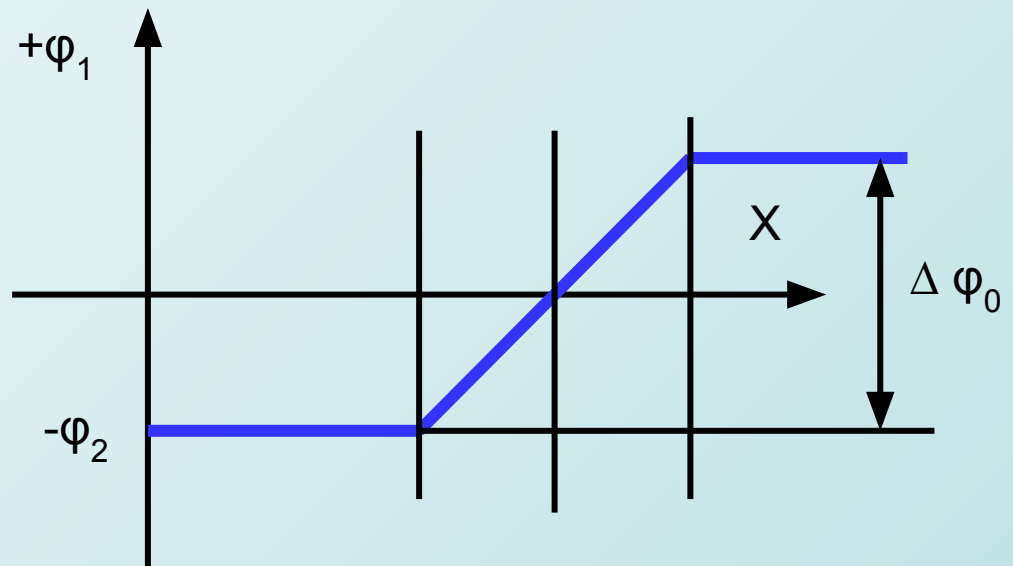
Этот контакт имеет важную характеристику:

его сопротивление зависит от направления приложенного к нему напряжения.

Возникает диффузионный ток и образуется контактное электрическое поле (барьер), ограничивающий диффузионный ток.



Для перемещения основных носителей заряда через потенциальный барьер необходима дополнительная энергия. А не основные носители заряда из этой зоны будут выбрасываться с ускорением в свои зоны – это дрейфовый ток.



По закону диффузии электроны из n-области будут перемещаться в p-область, а дырки - наоборот. Встречаясь на границе p- и n-областей, дырки и электроны рекомбинируют.

Следовательно, в этой пограничной области обнажаются некомпенсированные заряды неподвижных ионов. Эта область и есть область p-n-перехода, которую называют обеднённым слоем или i-областью.

Этот двойной электрический слой создаёт электрическое поле с напряжённостью E_0 и приводит к появлению внутри проводника потенциального барьера ϕ_0 . Это поле вызывает направленное движение носителей заряда через переход – дрейфовый ток, направленный навстречу диффузному току

$$I_{\partial p} = I_{\text{др } p} + I_{\partial p \text{ п}}$$

Увеличение диффузного тока приводит к росту электрического поля и увеличению потенциала ϕ_0 . При этом растёт и дрейфовый ток.

В конце концов эти токи сравниваются

$$I_{\text{дифр}} = I_{\text{дифн}}$$

наступит равновесное состояние и результирующий ток

$$I_{\text{рез}} = I_{\partial n \phi} - I_{\partial p} = I_{\partial n \phi p} + I_{\partial n \phi n} - I_{\partial p p} - I_{\partial p n} = 0$$

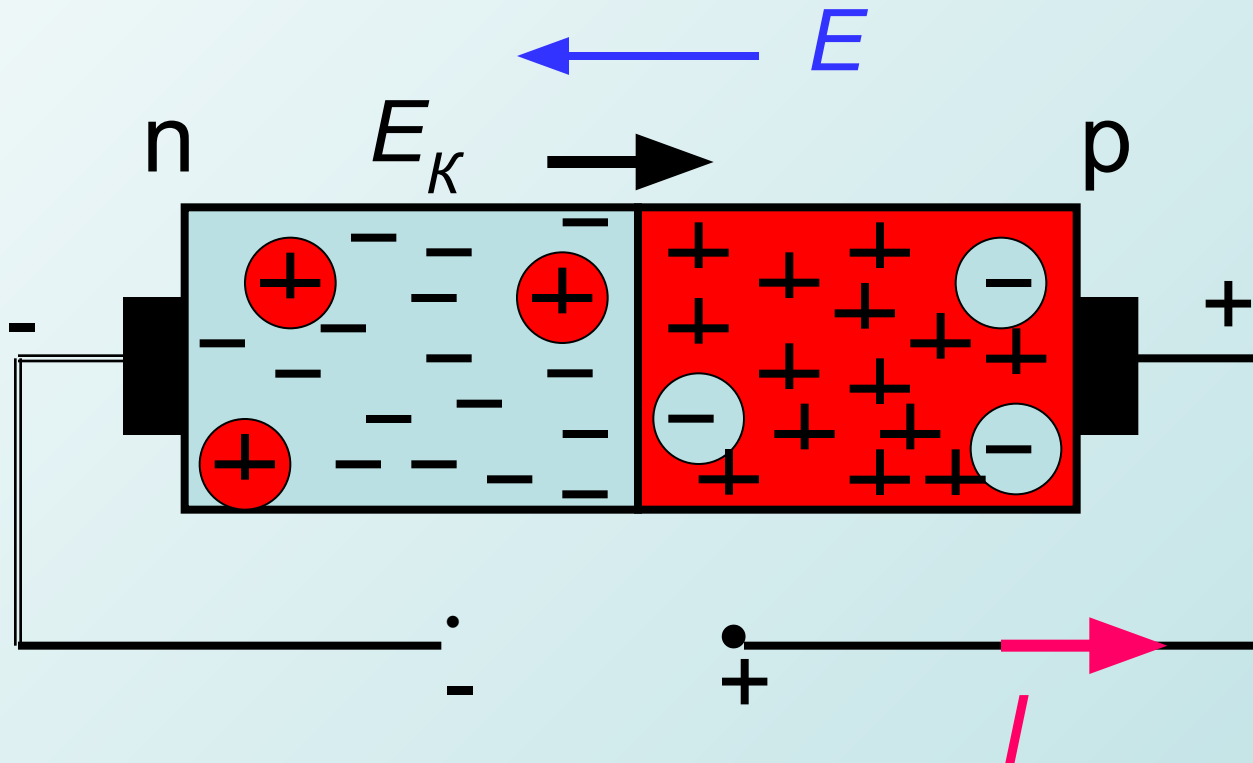
Одним из основных параметров р-п-перехода является равновесная ширина i -области l_0 .

Другим параметром равновесного состояния является высота потенциального барьера (контактная разность потенциалов) $\Delta\varphi_0$, которую выражают в единицах напряжения – вольтах (В). Этот параметр показан на зонной энергетической диаграмме р-п-перехода.

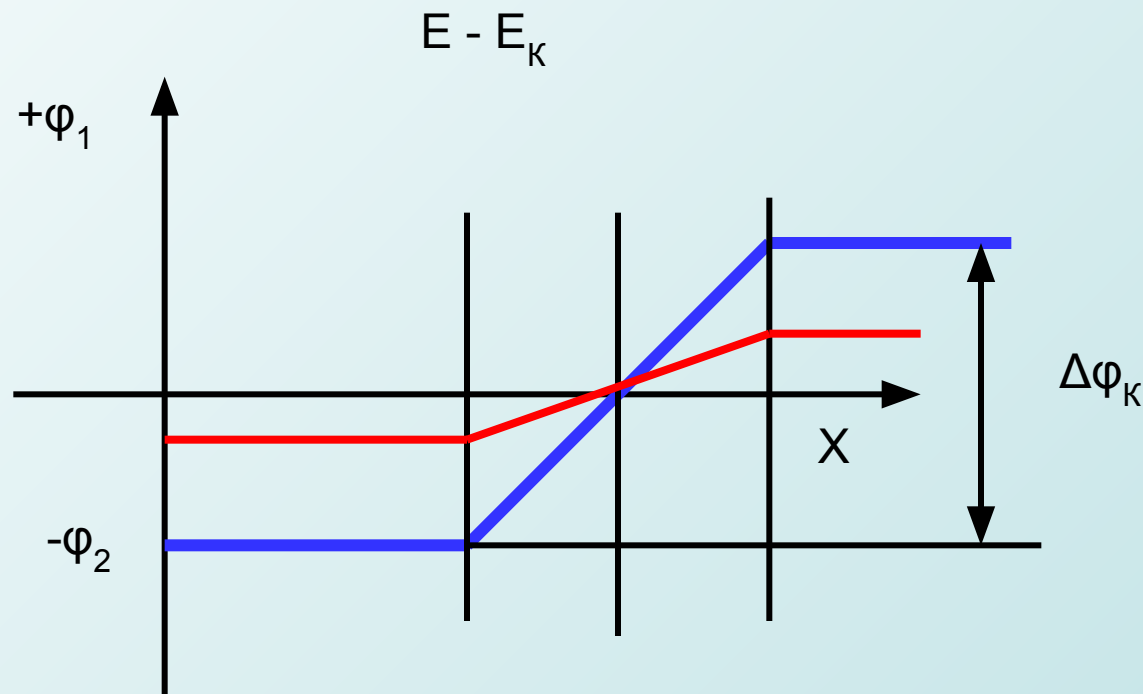
Сильное влияние на $\Delta\varphi_0$ оказывает ширина запрещённой зоны исходного полупроводника: чем больше ε_z , тем больше $\Delta\varphi_0$. Так, для большинства р-п-переходов из германия $\Delta\varphi_0 = 0,35\text{В}$, а из кремния – $0,7\text{В}$.

Прямое включение

Подключая внешнее поле, не совпадающее с направлением контактного поля, барьер уменьшается и ток в цепи течет.

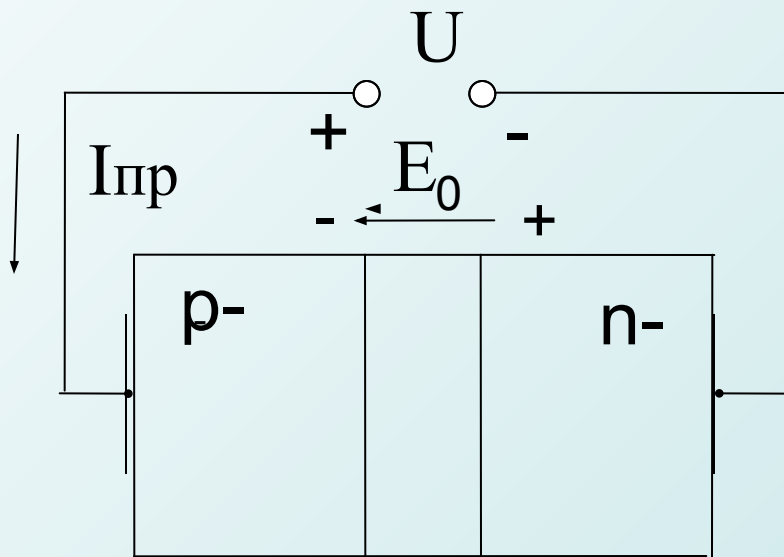


Потенциальная диаграмма прямого включения n-p перехода

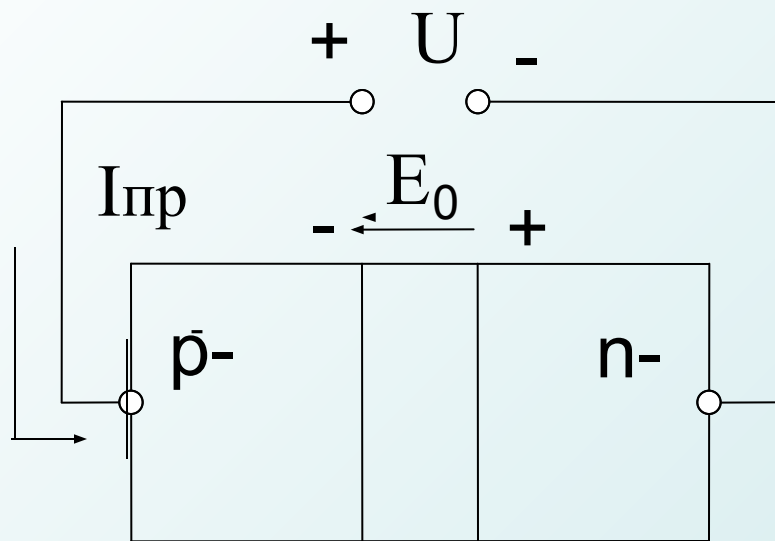


Прямое включение р-п-перехода

Подключим к р-п-переходу источник напряжения U плюсом (+) к р-, а (-) к п-слою. При этом нарушается условие равновесия и будет протекать ток.



Изменится высота потенциального барьера ϕ_0 и соответственно ширина р-п-перехода. Внешнее напряжение окажется приложенным в основном к запирающему слою как к участку с наибольшим сопротивлением.



Напряжение U оказалось включенным встречно с внутренним электрическим полем E_0 .

В результате высота потенциального барьера снижается на величину U .

$$\varphi = \varphi_0 - U$$

Количество носителей, обладающих энергией, достаточной для преодоления потенциального барьера, увеличивается.

Увеличивается диффузионная составляющая $I_{\text{диф}}$ тока через p-n-переход.

Дырки из р-области начнут переходить в n-область, а электроны из n-области в р-область. В каждой области появляются избыточные концентрации неосновных носителей. Они по прежнему перемещаются под действием поля.

Учитывая, что концентрации неосновных много меньше концентрации основных носителей, можно отметить, что дрейфовый ток $I_{др}$ этих носителей от приложенного напряжения зависит очень слабо. Таким образом, результирующий ток через р-n-переход

$$I_{рез} = I_{диф} - I_{др} > 0$$

Этот ток далее будем называть прямым током.
Внешнее напряжение при таком включении
– прямым $U_{\text{пр}}$.

Высота потенциального барьера ϕ_0 составляет доли вольта. Поэтому достаточно приложить напряжение $U_{\text{пр}}$ доли вольта, чтобы р-п-переход начал открываться.

Уменьшение результирующего поля у р-п-перехода приводит к уменьшению объёмного заряда и сцеплению запирающего слоя l_0 .

Процесс внедрения носителей заряда в какую-либо область полупроводника, для которой они являются неосновными, называется **инжекцией**.

Он характеризуется коэффициентом инжекции

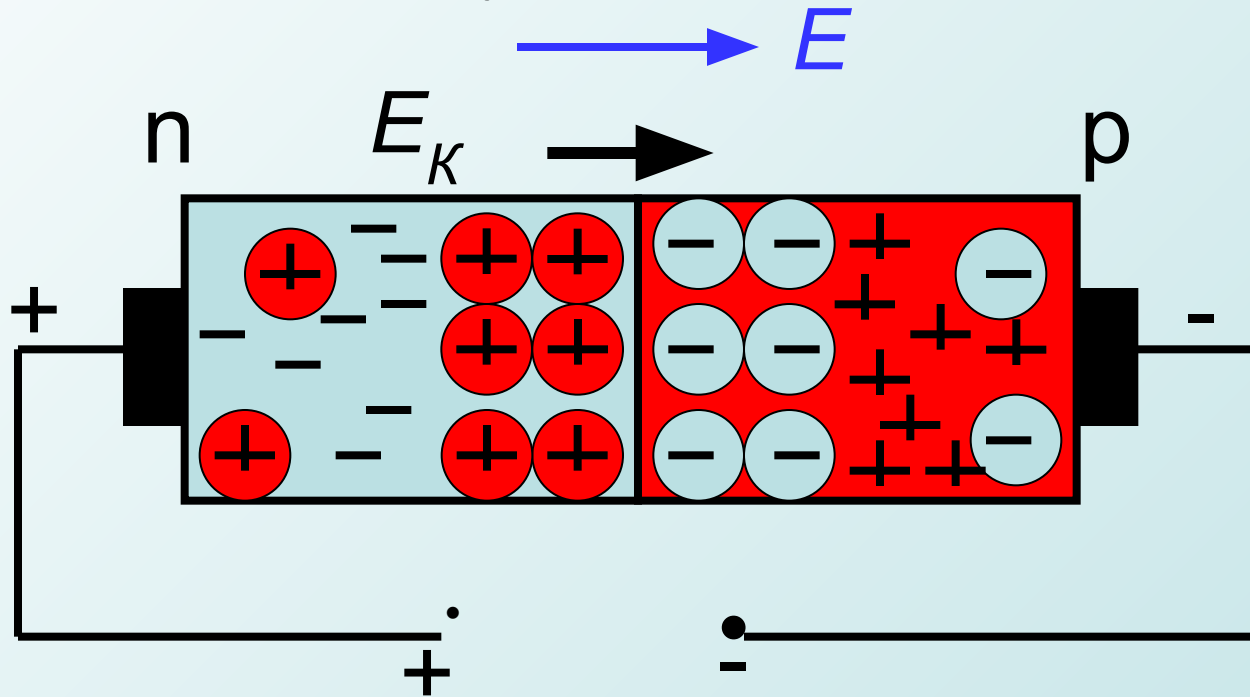
$$\gamma = I_p / (I_p + I_n)$$

где I_p и I_n – токи инжекции дырок и электронов соответственно.

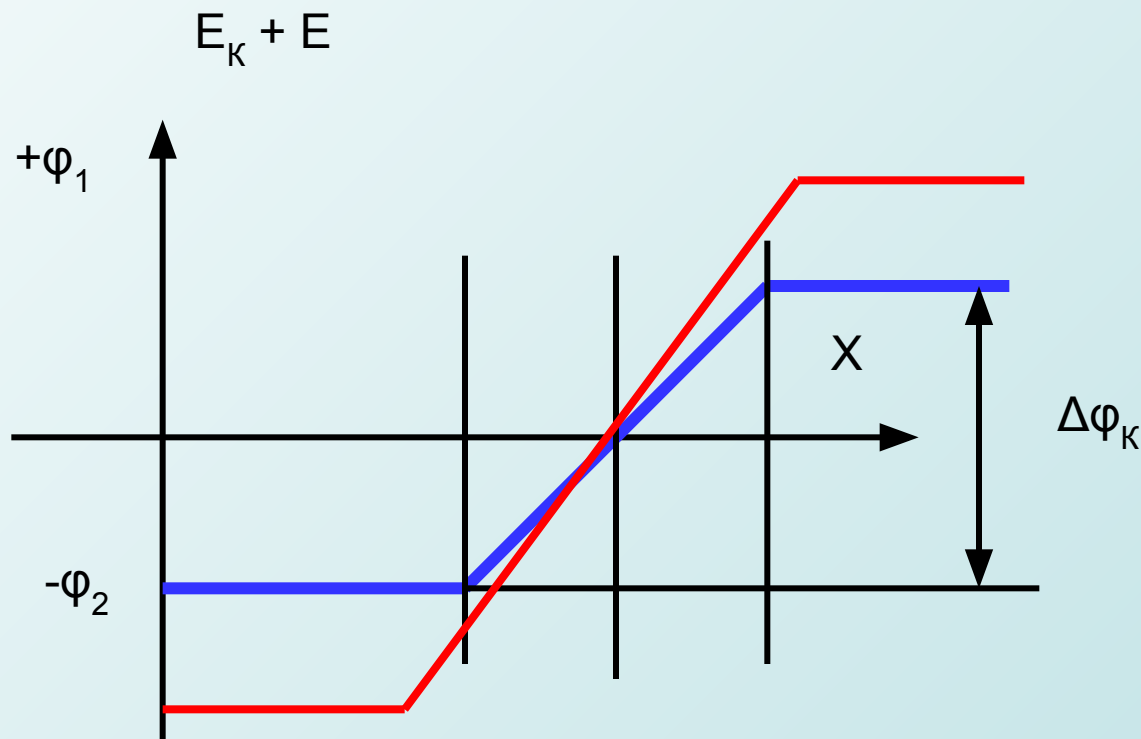
В большинстве случаев $I_p \gg I_n$ и $\gamma = 1$.

Обратное включение

Подключая внешнее поле, совпадающее с направлением контактного поля, барьер увеличивается, ток не течет.



Потенциальная диаграмма обратного включения n-p перехода



2.2 Включение р-п-перехода в обратном направлении

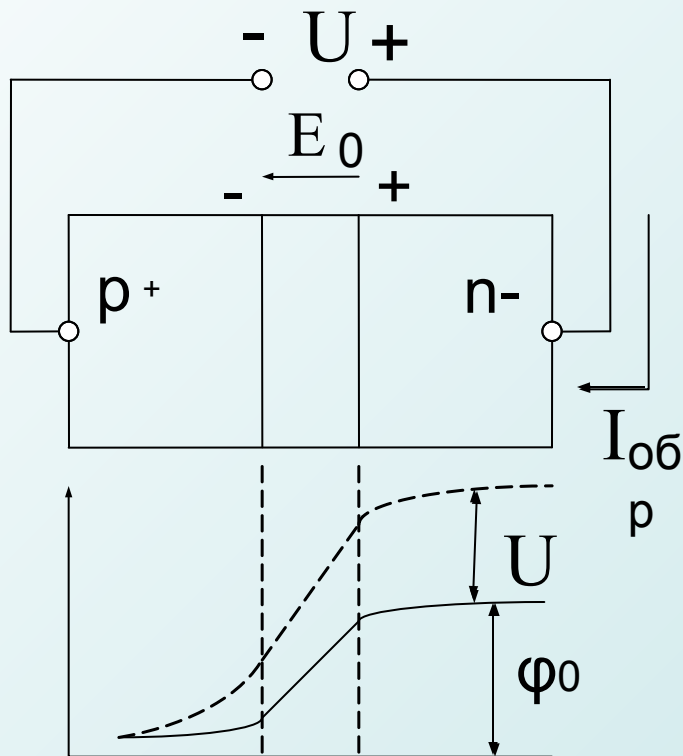
Включим внешнее напряжение U (+) к n-области. При этом увеличивается высота потенциального барьера на величину U

$$\varphi = \varphi_0 + |U|$$

что приведёт к уменьшению диффузионной составляющей тока через р-п-переход

$$I_{рез} = I_{диф} - I_{др} = -I_{др}$$

Поле р-п-перехода втягивает все подошедшие к нему неосновные носители независимо от высоты потенциального барьера.



Через переход потечёт ток неосновных носителей. Ток дырок из n-области в p-слой и электронов из p-слоя в n-слой.

Ток неосновных носителей через p-n-переход называется **обратным**.

Внешнее напряжение при таком подключении далее будем называть обратным и обозначать $U_{обр}$. Используется так же термин «обратное смещение p-n-перехода».

Обратный ток называют ещё тепловым током, т.к. он очень сильно зависит от температуры p-n-перехода. Процесс втягивания неосновных носителей заряда при обратном включении называется **экстракцией**.

В связи с тем, что прямой ток много больше обратного тока $I_{пр} \gg I_{обр}$ можно говорить об однонаправленной проводимости р-п-перехода.

При обратном включении р-п-перехода суммарная напряжённость электрического поля возрастает.

Поэтому возрастает заряд электрического слоя, а также ширина перехода l_0 . Причём возрастает в основном за счёт п-слоя.

Таким образом

Идеализированный р-п-переход обладает свойством изменять электропроводность при подключении внешнего напряжения разной полярности.

При $U > 0$ переход включен в прямом направлении и ток возрастает

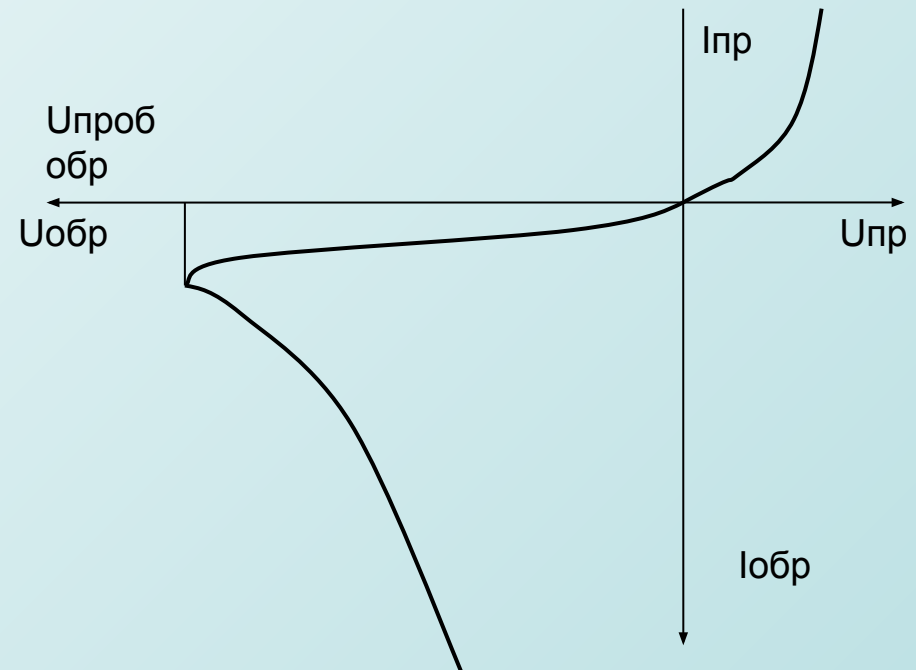
При $U < 0$ переход включен в обратном направлении и течёт незначительный ток, слабо зависящий от U , но сильно зависящий от температуры.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) p-n перехода

ВАХ p-n перехода может быть описана функцией

$$I_{P \div N} = I_0 \cdot \left(e^{\frac{U \cdot g}{K \cdot T}} + 1 \right),$$

где I_{pn} – суммарный ток носителей электрического заряда через границу раздела;
 I_0 – обратный ток p-n перехода;
 U – приложенное к переходу напряжение внешнего источника;
 $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град – постоянная Больцмана;
 T – температура в Кельвинах;
 g – заряд электрона.



ВАХ р-п-перехода

При прямом включении и $U_{пр} > 0,1\text{В}$ $e^{\frac{U}{\varphi_T}} \gg 1$

$$I_{пр} \approx I_0 \cdot e^{\frac{U}{\varphi_T}}$$

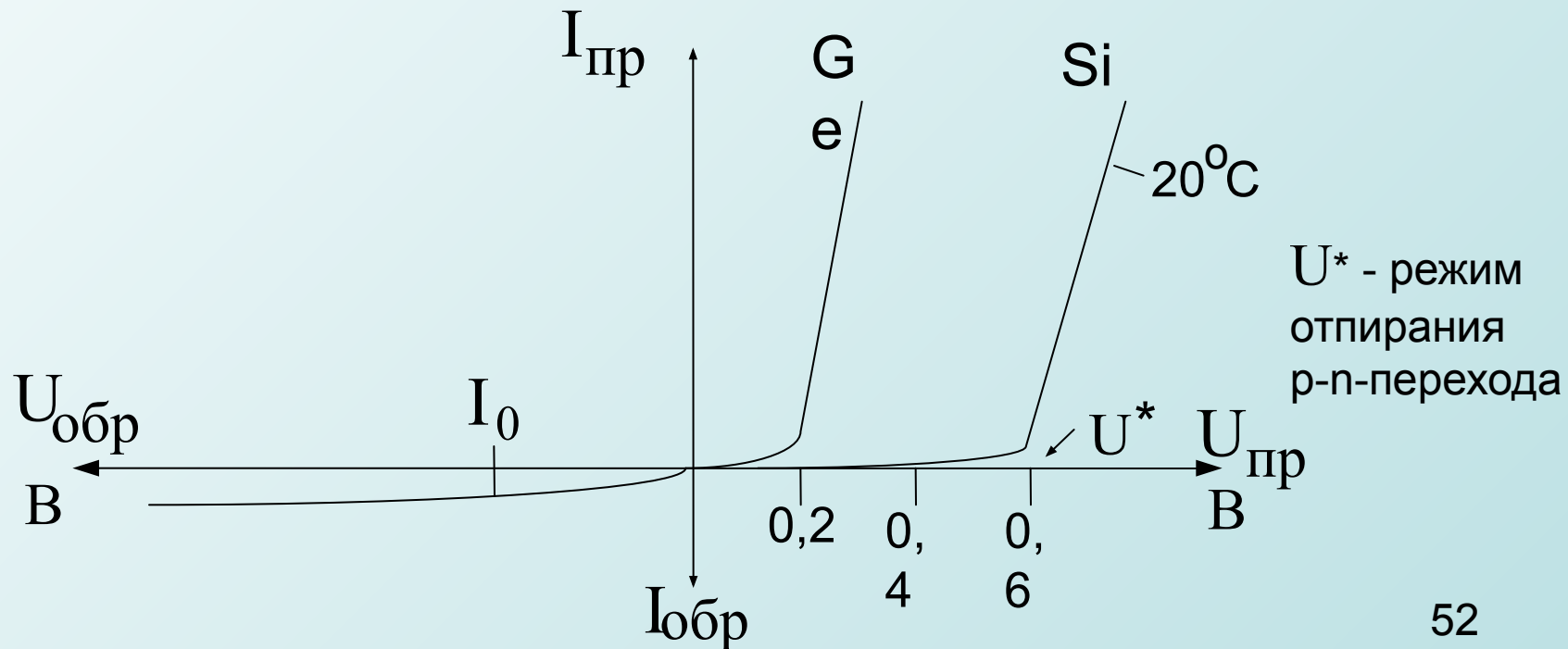
При обратном включении
 $U_{обр} > (0,1-0,2)\text{В}$ $e^{\frac{-U}{\varphi_T}} \ll 1$

$$I_{обр} \approx -I_0$$

Зависимость тока через р-п-переход от приложенного к нему напряжения называется вольт-амперной характеристикой (ВАХ).

$$I_{\text{p-n}} = I_0 \cdot \left(e^{\frac{u}{\varphi_T}} - 1 \right)$$

На основании выражения можно построить ВАХ р-п-перехода



Таким образом

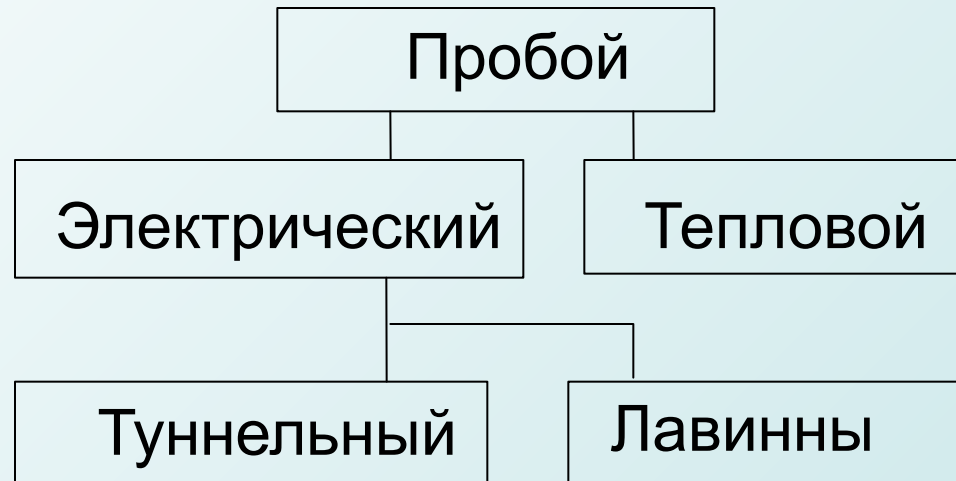
Свойство односторонней электропроводности р-п-перехода отражено в вольт-амперной характеристике.

Прямое падение напряжения составляет доли вольта, (для Si 0.64-0.69 В),
прямой ток – десятки-сотни миллиампер.

Обратное напряжение – сотни вольт,
обратный ток – единицы-десятки микроампер.

2.6 Пробой p-n-перехода

Пробой p-n-перехода – это явление резкого увеличения обратного тока I_0 при увеличении обратного напряжения $U_{обр}$



Все разновидности пробоя p-n-перехода можно разделить на две группы: электрические и тепловые. Электрические пробои связаны с увеличением напряжённости электрического поля в запиорном слое, а тепловые – с увеличением рассеиваемой мощности и соответственно температуры.

Различают два основных вида пробоя : **электрический** и **тепловой**.

Электрический пробой, в свою очередь, может быть **туннельным** и **лавинным**.

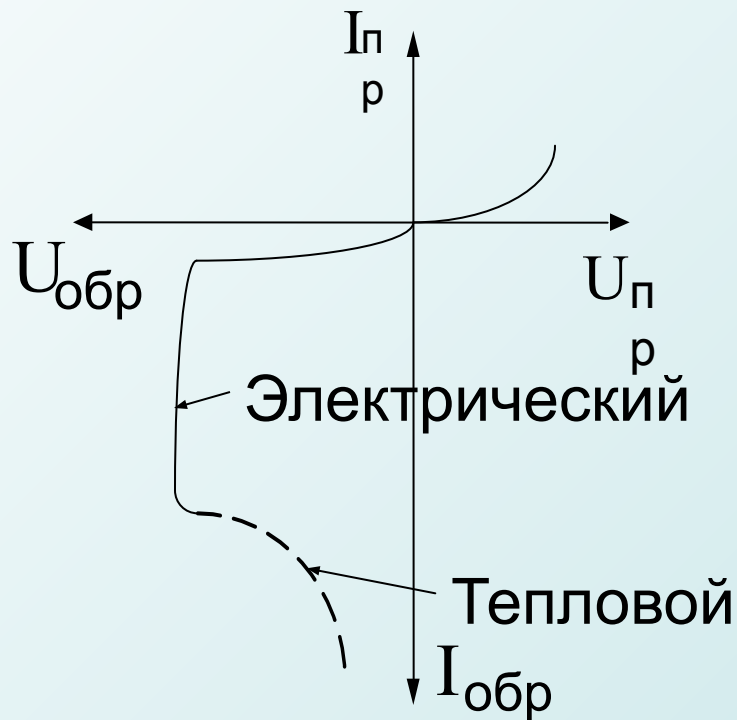
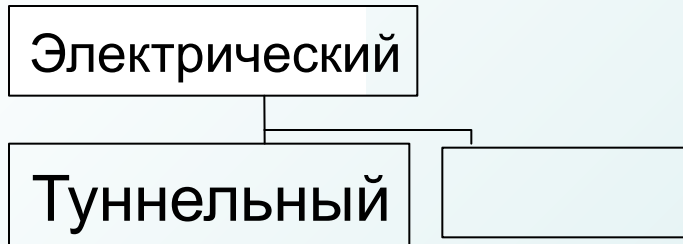
Туннельный пробой происходит в очень тонких р-п переходах и при небольших значениях обратного напряжения (несколько вольт), когда возникает большой градиент электрического поля. При этом валентные электроны приконтактного слоя р - области отрываются от своих атомов и перебрасываются в n-область.

Лавинный пробой свойственен полупроводникам со значительной толщиной р-п перехода, но происходит также под действием сильного электрического поля. В лавинном пробое основная роль принадлежит неосновным носителям, образующимся под действием тепла в р-п переходе.

Тепловым называется пробой р-п перехода, обусловленный ростом количества носителей заряда при повышении температуры кристалла.

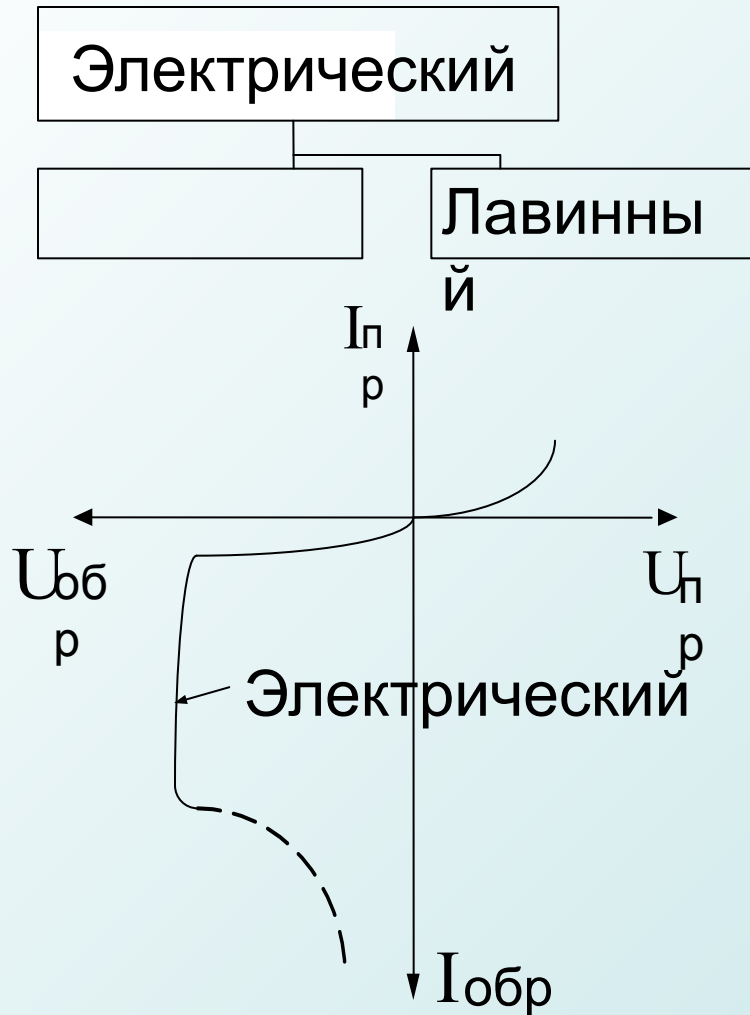
Поверхностный пробой обусловлен чрезмерным накоплением поверхностного заряда и уменьшением толщины перехода.

Пробой р-n-перехода



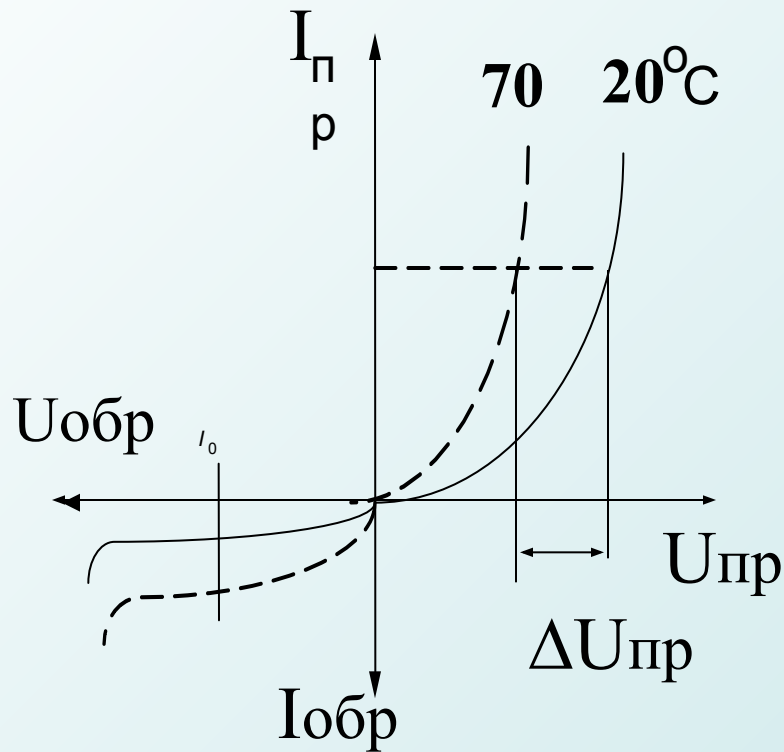
В узких р-n-переходах при относительно небольших обратных напряжениях обычно возникает полевой пробой, в основе которого могут лежать несколько эффектов, основным из которых является туннельный эффект.

Пробой p-n-перехода



В относительно широких p-n-переходах при обратном напряжении более 15 В возникает лавинный пробой. Механизм лавинного пробоя заключается в лавинном размножении носителей заряда в сильном электрическом поле под действием ударной ионизации. При лавинном пробое сопротивление p-n-перехода уменьшается, а ток резко возрастает.

2.7 Влияние температуры на вольт-амперную характеристику р-п-перехода



Температурная зависимость прямой ветви ВАХ, согласно (1), определяется изменениями I_0 и φ_T .

Влияние этих температурозависимых параметров приводит к тому, что ВАХ смещается в область меньших напряжений. Принято оценивать влияние температуры на ВАХ р-п-перехода, определяя изменение напряжения при постоянном токе.

Влияние температуры

Для определения этого изменения вводится параметр, называемый **температурным коэффициентом напряжения (ТКН)**, который характеризует сдвиг ВАХ по оси напряжений.

ТКН имеет отрицательный знак, что свидетельствует об уменьшении напряжения на р-п-переходе с ростом температуры при постоянном токе.

Для р-п-переходов из кремния ТКН достигает - 3 мВ/град.

$$\text{ТКН} = - \Delta U_{\text{пр}} / \Delta T \text{ [мВ/град]}$$

2.8 Контакты и переходы в полупроводниках

Контакты и переходы могут быть организованы различными средствами и способами.

Электрический переход – это граничный слой между двумя областями вещества, физические свойства которых существенно различны.

p - n -переход – это электронно-дырочный переход;

p - p^+ , n - n^+ - электронно-электронный переход;

p - p_i , n - n_i – переход между электронным и собственным полупроводником;

M - p , M - n – переход металл-полупроводник;

M - p^+ - p^- , M - n^+ - n – переход металл - обогащённый полупроводник – полупроводник;

n^+ – обогащенный полупроводник по отношению к n -

$\epsilon_{31} \neq \epsilon_{32}$ - гетеропереходы,

где ϵ_{31} и ϵ_{32} – материалы с различной шириной запрещённой зоны.

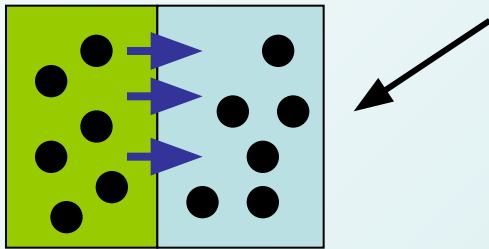
Российский академик Ж.Алферов за разработки в области гетеропереходов получил Нобелевскую премию.

Современные сверхбыстродействующие структуры работают именно на этом эффекте.

Переход Шоттки -

переход на основе контакта металл-полупроводник.

М полупроводник р-типа



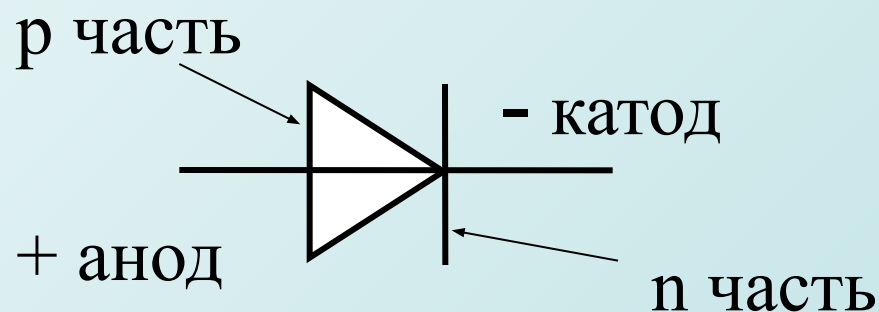
Свободные электроны из металла переходят в полупроводник, часть электронов рекомбинируют с дырками и в приграничном слое возникает эл. поле, препятствующее дальнейшему переходу электронов. Обедненный основными носителями (дырками) приконтактный слой полупроводника обладает большим сопротивлением.

Если к переходу приложить прямое напряжение (минус к металлу), то обедненный слой уменьшается и течет прямой ток (прямое напряжение в 3 раза меньше чем в обычном р-п переходе). При обратном напряжении в цепи существует обратный ток (10^{-8} - 10^{-9} А), обусловленный неосновными носителями полупроводника (электронами).

Время восстановления высокого сопротивления перехода при смене полярности приложенного напряжения, значительно меньше чем в обычном р-п переходе (доли наносекунд). Переход М-П используется для создания быстродействующих и экономичных полупроводниковых приборов

Полупроводниковый диод - полупроводниковый прибор с одним р-п переходом и двумя выводами для включения в электрическую цепь

Условное графическое
обозначение

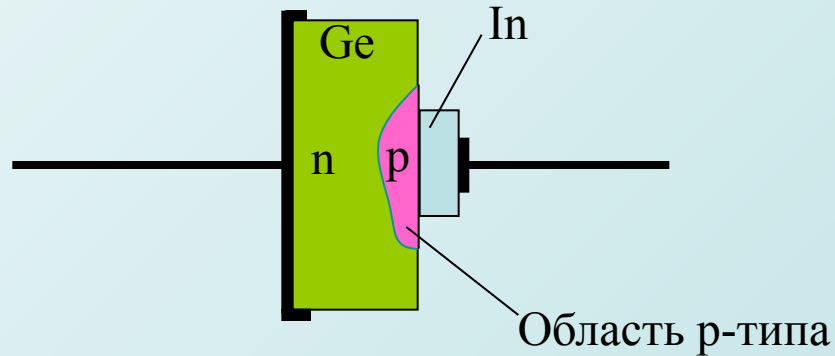


**В зависимости от технологии изготовления диоды
разделяются на точечные и плоскостные**

Точечные диоды

Пластинка германия или кремния с электропроводностью n-типа (толщина 0.1-0.6 мм, площадь 0.5-1.5 мм²), в которую вплавляется заостренная игла металла или сплава с добавлением примесей (в области контакта образуется слой p-типа). Прямой ток – десятки миллиампер (площадь перехода мала).

Плоскостные



P-n переход образуется двумя полупроводниками с разными типами электропроводности. Площадь перехода лежит в пределах от сотых долей квадратного микрометра (микроплоскостные диоды) до нескольких квадратных сантиметров (силовые диоды)

Благодаря большой площади р-п перехода прямой ток плоскостных диодов составляет от 1-100 А. Для сохранения работоспособности германиевого диода его температура не должна превышать 85° , кремниевого – 150° .

Германиевый диод имеет большой обратный ток и более чувствителен к температуре, но у него невысокий потенциальный барьер

Выпрямительные диоды – это полупроводниковые диоды (вентили), предназначенные для выпрямления переменного тока (плоскостные диоды средней и большой мощности).

Широко применяются в электроизмерительных приборах, устройствах автоматики, электронных вычислительных машинах, а также в различных мощных установках – в электрическом транспорте, на электротехнических предприятиях и т.д.

Пригодность диодов определяется его параметрами и вольт-амперной характеристикой – ВАХ.

Параметры диода

- Номинальный прямой ток – это ток ($I_{\text{пр}}$), протекающий через открытый диод при допустимом нагреве и нормальных условиях.
- Напряжение пробоя – обратное напряжение, соответствующее началу пробоя ($U_{\text{проб}}$).
- Номинальное обратное напряжение – $U_{\text{ноб}} = 0.5U_{\text{пр}}$
- Номинальное прямое напряжение – это напряжение на диоде при протекании $I_{\text{пр}}$
- Номинальный обратный ток – это ток при $U_{\text{ноб}}$

Выпрямительные диоды



дискретное исполнение

диодные мосты

маломощные



дискретное исполнение

диодный силовой модуль

мощные

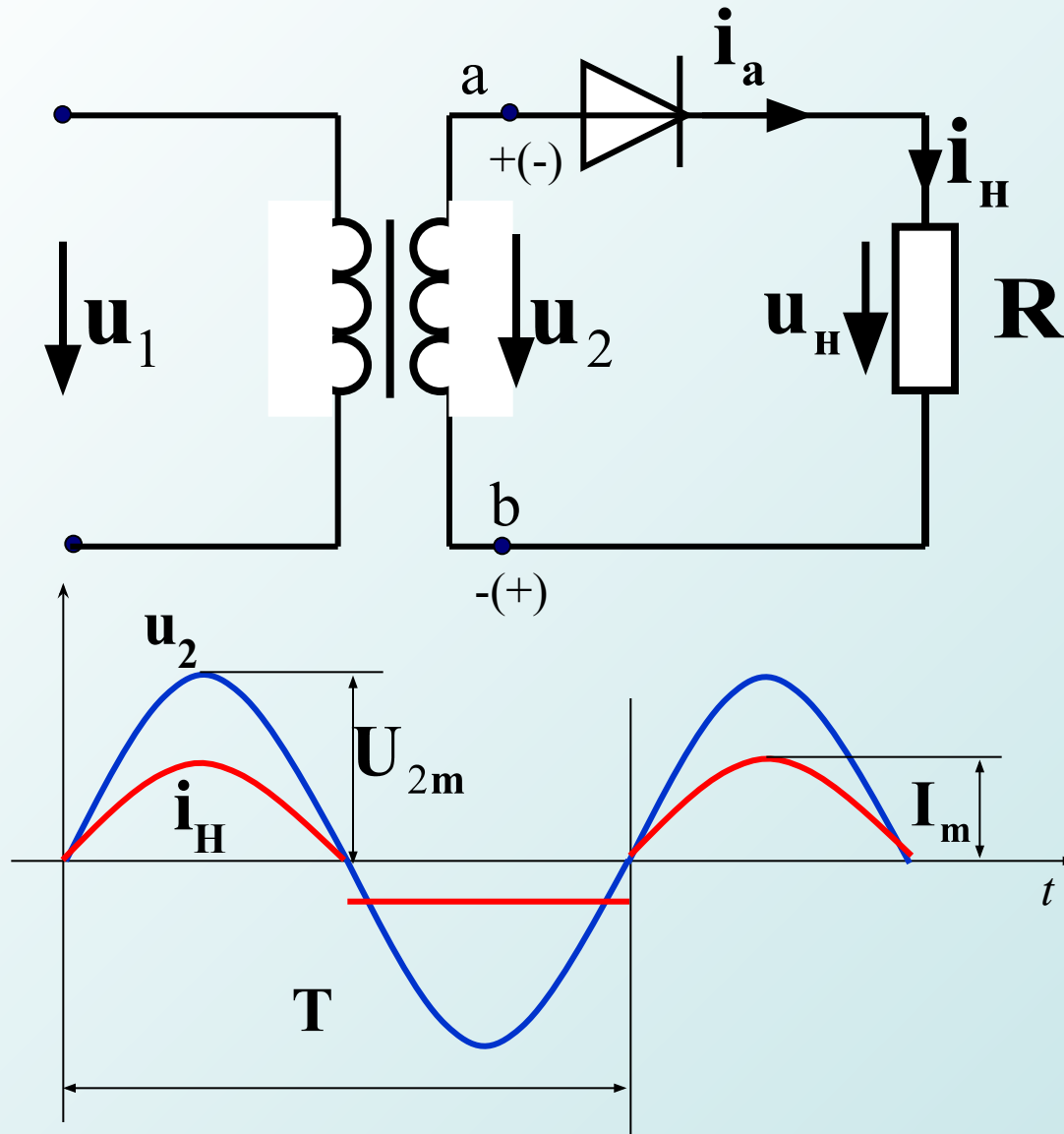
Значения параметров выпрямительных диодов

Тип диода	$I_{\text{пр, макс}}$ А	$U_{\text{обр, макс}}$ В	$I_{\text{обр, макс}}$ мкА
Низкочастотный маломощный	0.1-1	200-1000	1-200
Низкочастотный мощный	1-2000	200-4000	400-5000
Высокочастотный	0.01-0.5	10-100	0.1-50

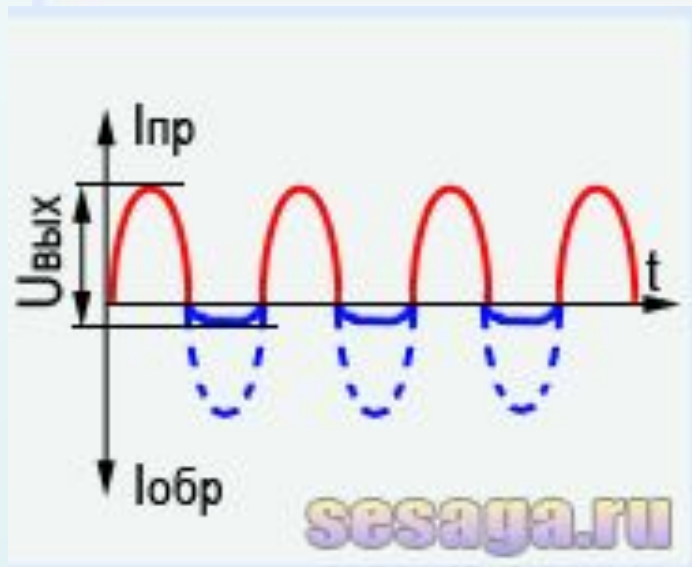
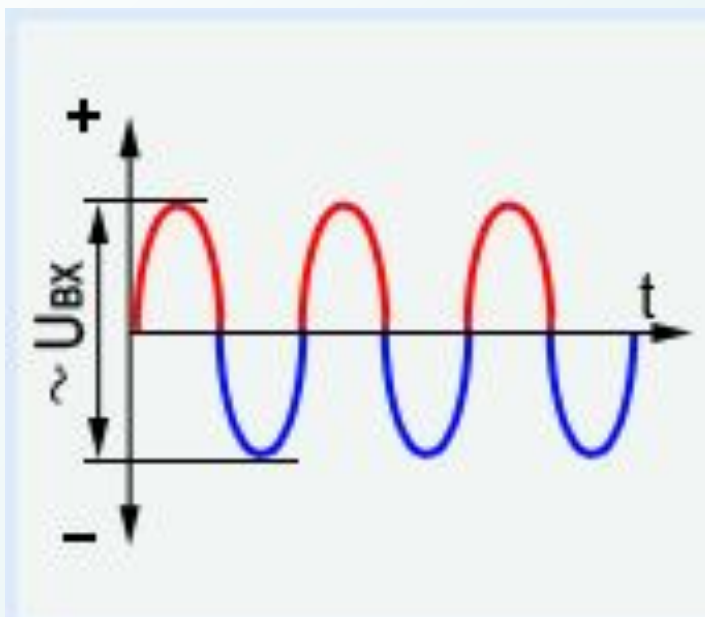
Выпрямитель – устройство для преобразования переменного тока в постоянный. Состоит из электрических вентилях и вспомогательных устройств (трансформатора, фильтров и т.д.)

- Однополупериодный выпрямитель;
- Двухполупериодный мостовой выпрямитель;
- Двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора;
- Трехфазный выпрямитель с нейтральным выводом;
- Трехфазный мостовой выпрямитель.

а) однополупериодный выпрямитель

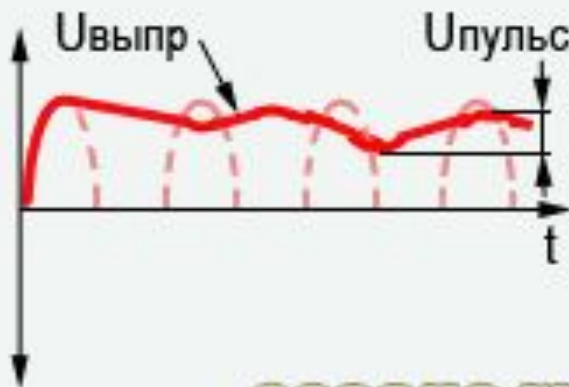
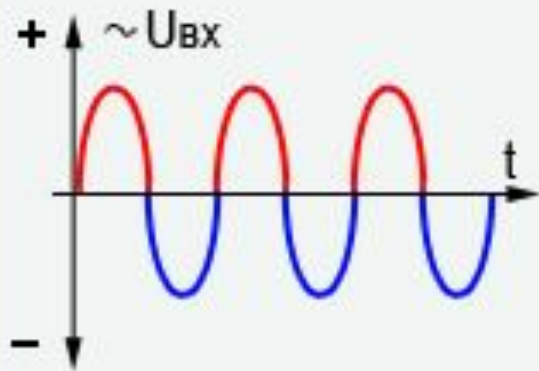
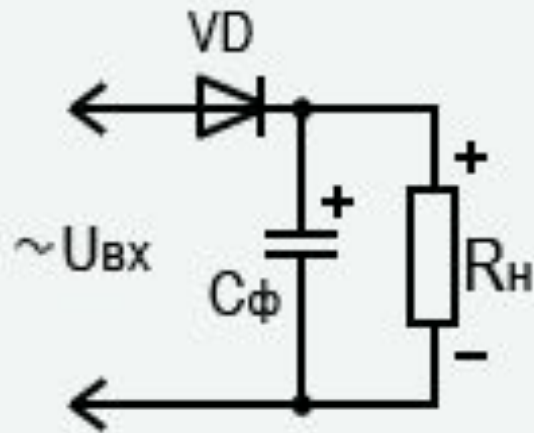


В первый полупериод, когда потенциал точки а выше потенциала точки б к диоду приложено прямое напряжение, он открыт и в нагрузку течет ток. Во второй половине периода к диоду приложено обратное напряжение, диод закрыт, ток в цепи равен нулю, а к запертому диоду прикладывается обратное напряжение u_2



Напряжение через лампу будет проходить только во время положительных полуволн (импульсов), поэтому лампа будет слабо мерцать с частотой 50 Гц. Однако, за счет тепловой инертности нить не будет успевать остывать в промежутках между импульсами, и поэтому мерцание будет слабо заметным.

Если же запитать таким напряжением приемник или усилитель мощности, то в громкоговорителе или колонках мы будем слышать гул низкого тона с частотой 50 Гц, называемый **фоном переменного тока**. Это будет происходить потому, что пульсирующий ток, проходя через нагрузку, создает в ней пульсирующее напряжение, которое и является источником фона.



Заряжаясь импульсами тока во время положительных полупериодов, конденсатор (**C_{ϕ}**) во время отрицательных полупериодов **разряжается** через нагрузку (**R_H**). Если конденсатор будет достаточно большой емкости, то за время между импульсами тока он не будет успевать полностью разрядиться, а значит, на нагрузке (**R_H**) будет непрерывно поддерживаться ток как во время положительных, так и во время отрицательных полупериодов.

Средние значения выпрямленных напряжения и тока в приемнике с сопротивлением R_n :

$$U_{н.ср} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 \approx 0,45 U_2$$

$$I_{н.ср} = \frac{U_{н.ср}}{R_n} = 0,45 \frac{U_2}{R_n}$$

Ток $I_{н.ср}$ является прямым током диода, т.е. $I_{аср} = I_{н.ср}$;
максимальное обратное напряжение $U_{обр.макс} = U_{2m}$.

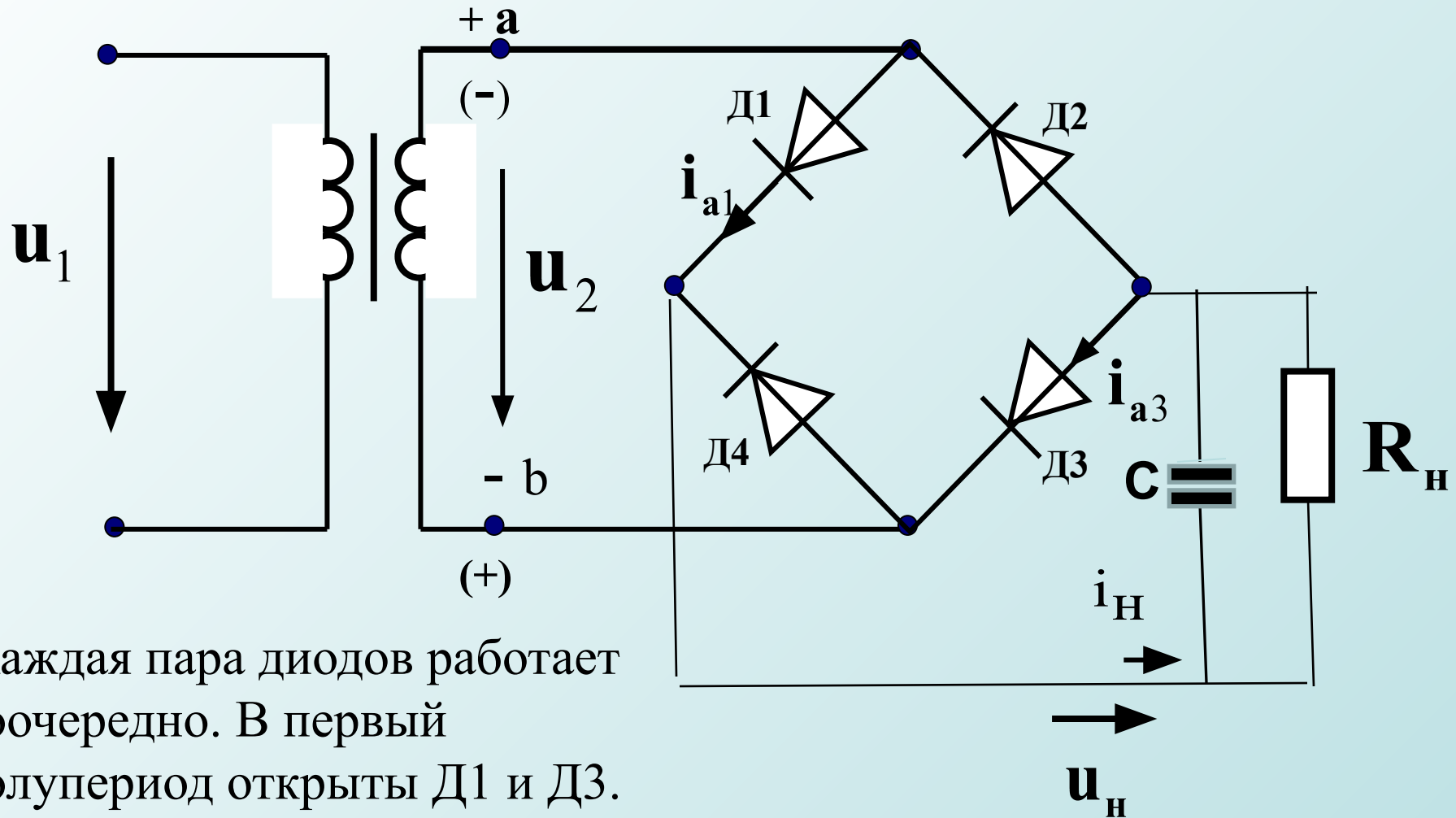
Для оценки качества выпрямленного напряжения вводят коэффициент пульсаций, равный отношению амплитуды основной гармоники выпрямленного напряжения к его среднему значению

$$k = \frac{U_{\text{мосн}}}{U_{\text{н.ср}}} = 1.57$$

- **Преимущество: простота**
- **Недостатки: большой k, малые значения выпрямленных тока и напряжения.**

Обычно применяют для питания высокоомных нагрузочных устройств, допускающих повышенную пульсацию, мощностью до 15 Вт.

б) двухполупериодный мостовой выпрямитель

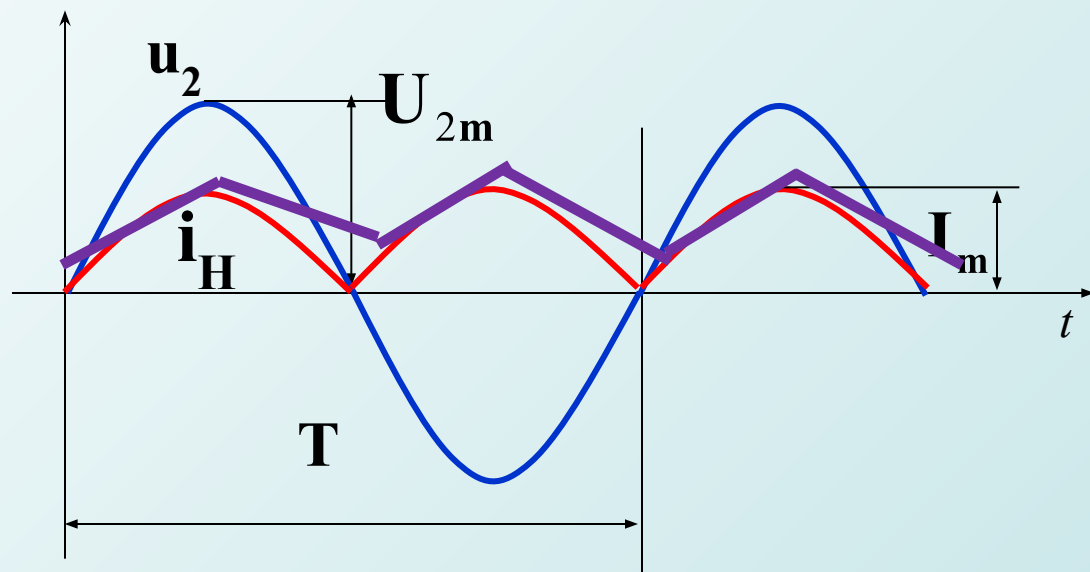
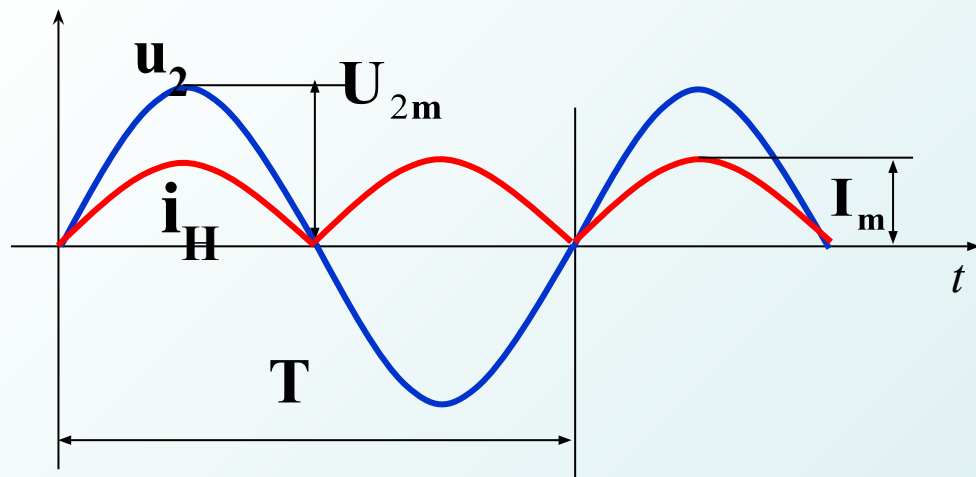


Каждая пара диодов работает поочередно. В первый полупериод открыты Д1 и Д3. Во второй – Д2 и Д4.

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 **VD1**, нагрузку **R_н**, диод **VD3** и к **нижнему** выводу вторичной обмотки. Диоды **VD2** 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_н**, диод **VD2** и к **верхнему** выводу вторичной обмотки. В этот момент диоды **VD1** и **VD3** закрыты и ток через себя не пропускают.

В результате мы видим, что меняются знаки напряжения на вторичной обмотке трансформатора, а через нагрузку выпрямителя идет ток **одного направления**. В таком выпрямителе полезно используются оба полупериода переменного тока, поэтому подобные выпрямители называют **двухполупериодными**.



Средние значения выпрямленных напряжения и тока в приемнике с сопротивлением R_n :

$$U_{н.ср} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = \frac{2U_{2m}}{\pi} \approx 0,9U_2$$

$$I_{н.ср} = \frac{U_{н.ср}}{R_n}$$

- **Максимальное обратное напряжение**

$$U_{\text{обр.макс}} = U_{2m} = 1,57U_{\text{н.ср}}$$

- **Средний прямой ток каждого диода**

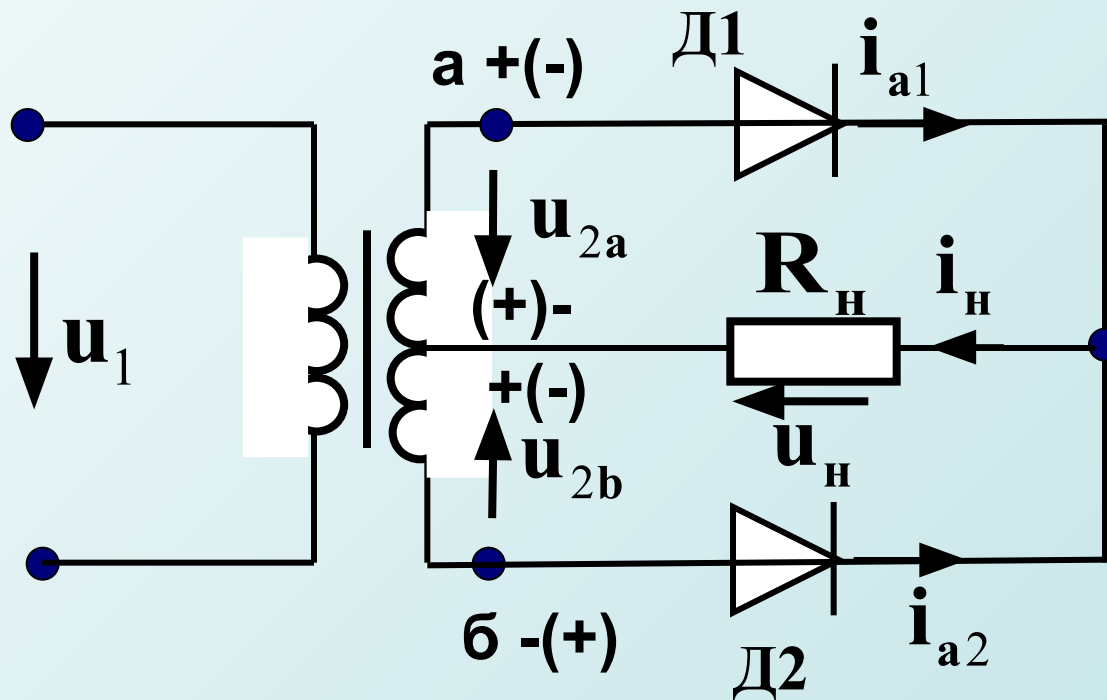
$$I_{\text{аср}} = 0,5 \cdot I_{\text{н.ср}}$$

$$k = 0,67$$

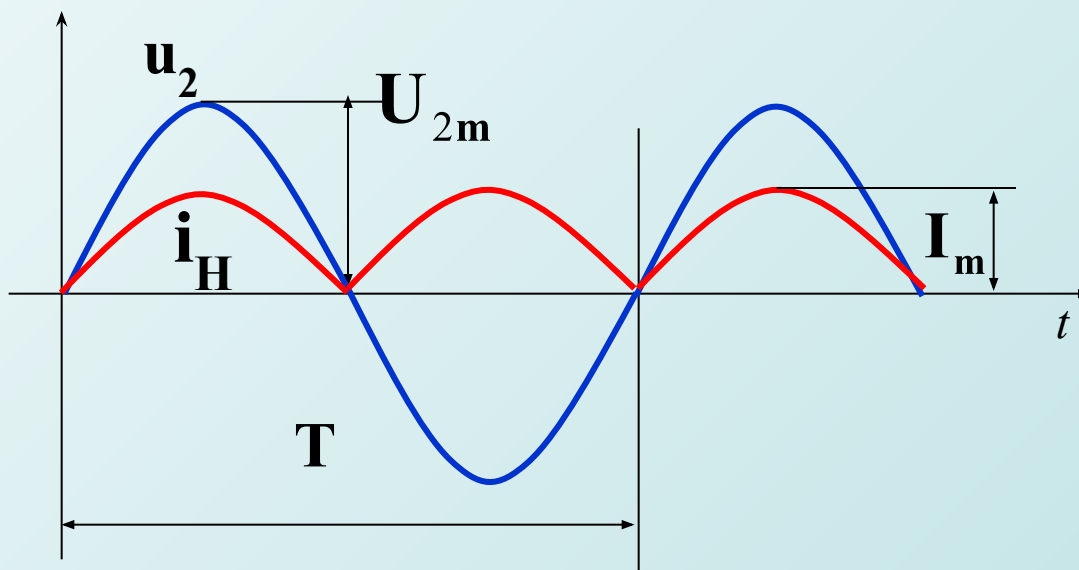
Преимущества: меньше k , средние значения выпрямленных тока и напряжения в 2 раза больше.

Но максимальное обратное напряжение как в однополупериодной схеме, число диодов увеличено в 4 раза.

**в) двухполупериодный выпрямитель с
выводом средней точки вторичной обмотки
трансформатора**



Когда потенциал точки а выше потенциала средней точки (первый полупериод) открыт первый диод, а второй закрыт, так как потенциал точки б ниже потенциала точки а. Во второй полупериод открыт второй диод, а первый закрыт.



Имеет те же преимущества, что и мостовой выпрямитель, те же соотношения для токов и напряжений (при меньшем числе диодов), кроме

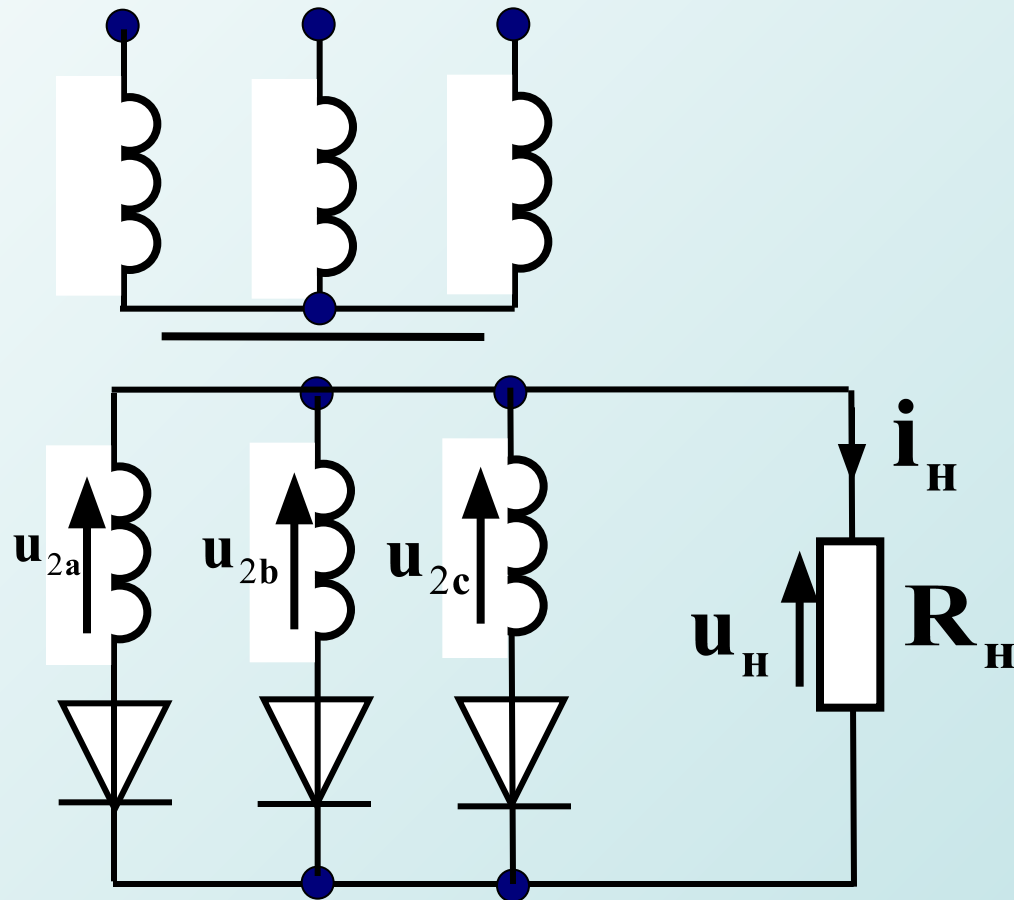
$$U_{\text{обр.макс}} = \pi \cdot U_{\text{н.ср}}$$

$$k = 0,67$$

Недостатки: вторичная обмотка имеет в 2 раза больше витков и требуется вывод от средней точки.

Двухполупериодные выпрямители применяют для питания нагрузочных устройств малой и средней мощности

Трёхфазный выпрямитель с нейтральным выводом



- Средние значения выпрямленных напряжения и тока в приемнике с сопротивлением R_H :

$$U_{H.c.p} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} U_{2\phi} \approx 1,17 U_{2\phi}$$

$$I_{H.c.p} = \frac{U_{H.c.p}}{R_H}$$

- Амплитудное фазное напряжение источника

$$U_{\text{фm}} = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} \cdot U_{\text{н.ср}}$$

- Средний прямой ток диодов

$$I_{\text{пр.ср}} = \frac{I_{\text{н.ср}}}{3}$$

- Максимальный прямой ток диода в данной схеме

$$I_{\text{пр.мах}} = \frac{U_{\text{фm}}}{R_{\text{H}}} = \frac{U_{\text{н.ср}}}{0.827 \cdot R_{\text{H}}} \approx 1.21 \cdot I_{\text{н.ср}}$$

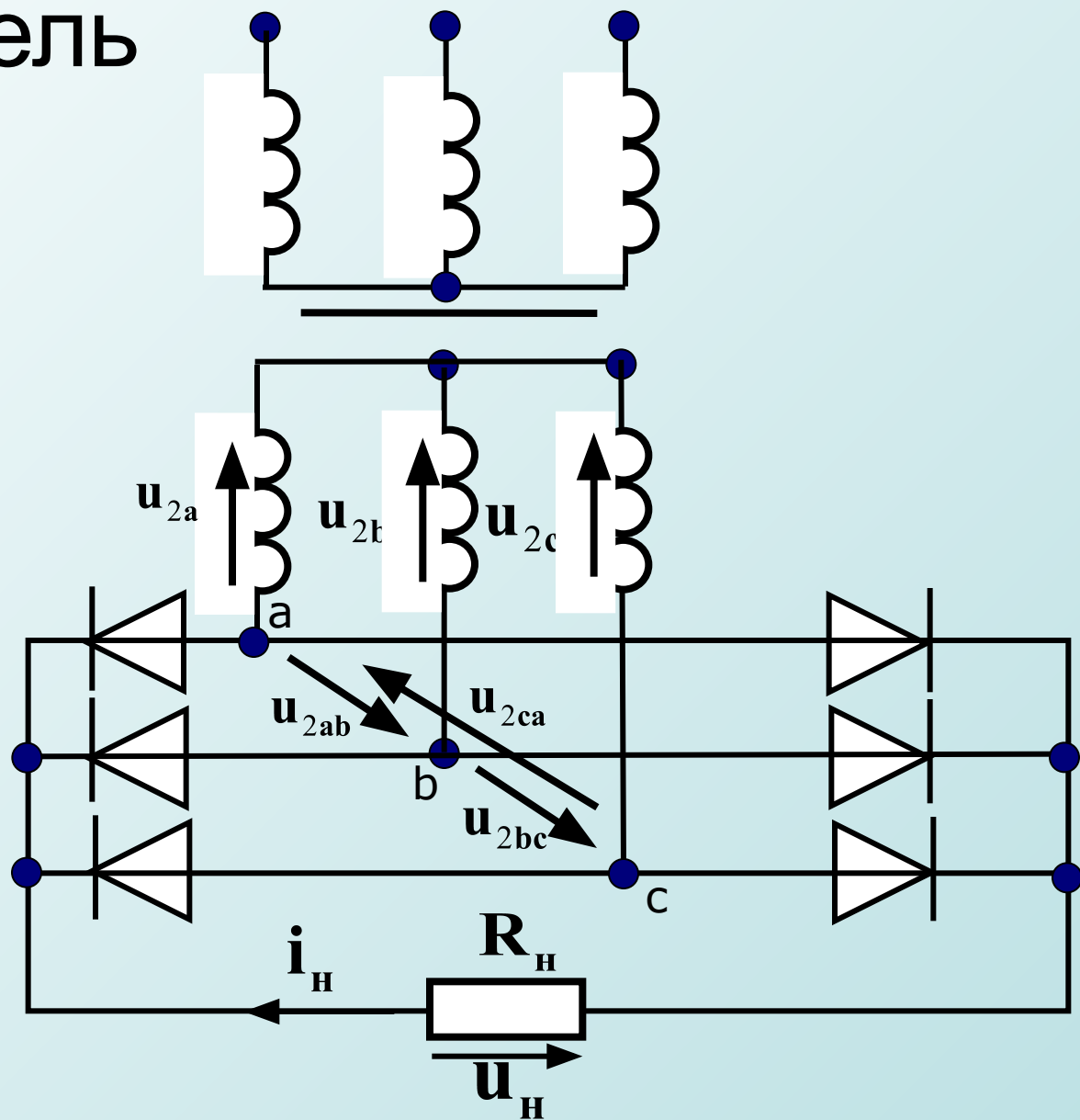
- Максимальное обратное напряжение на каждом закрытом диоде

$$U_{\text{обр.мах}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{2\phi} = \frac{2\pi}{3} \cdot U_{\text{н.ср}} \approx 2.09 \cdot U_{\text{н.ср}}$$

- где $U_{2\phi} = U_{2a} = U_{2b} = U_{2c}$

- действующее значение фазного напряжения

д) Трехфазный мостовой выпрямитель



- Средние значения выпрямленного напряжения в приемнике с сопротивлением R_n :

$$U_{н.ср} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_{2л} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_{2ф} \approx 2.34 U_{2ф}$$

$U_{2л} = U_{2ab} = U_{2bc} = U_{2ca}$
- действующее значение линейного напряжения

- Амплитудное фазное напряжение источника

$$U_{\text{фм}} = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} \cdot U_{\text{н.ср}}$$

- Средний прямой ток диодов

$$I_{\text{пр.ср}} = \frac{I_{\text{н.ср}}}{3}$$

- Максимальный прямой ток диода в данной схеме

$$I_{\text{пр.мах}} = \frac{U_{\text{фм}}}{R_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{н.ср}}}{0.827 \cdot R_{\text{н}}} \approx 1.21 \cdot I_{\text{н.ср}}$$

- Максимальное обратное напряжение на каждом закрытом диоде

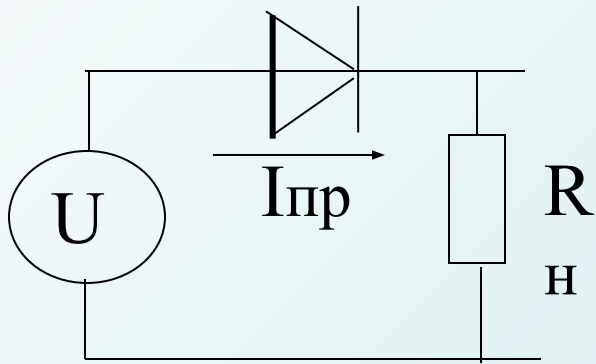
$$U_{\text{обр.мах}} = \sqrt{2} \cdot U_{2\text{л}} = \frac{\pi}{3} \cdot U_{\text{н.ср}} \approx 1.047 \cdot U_{\text{н.ср}}$$

- Максимальный прямой ток

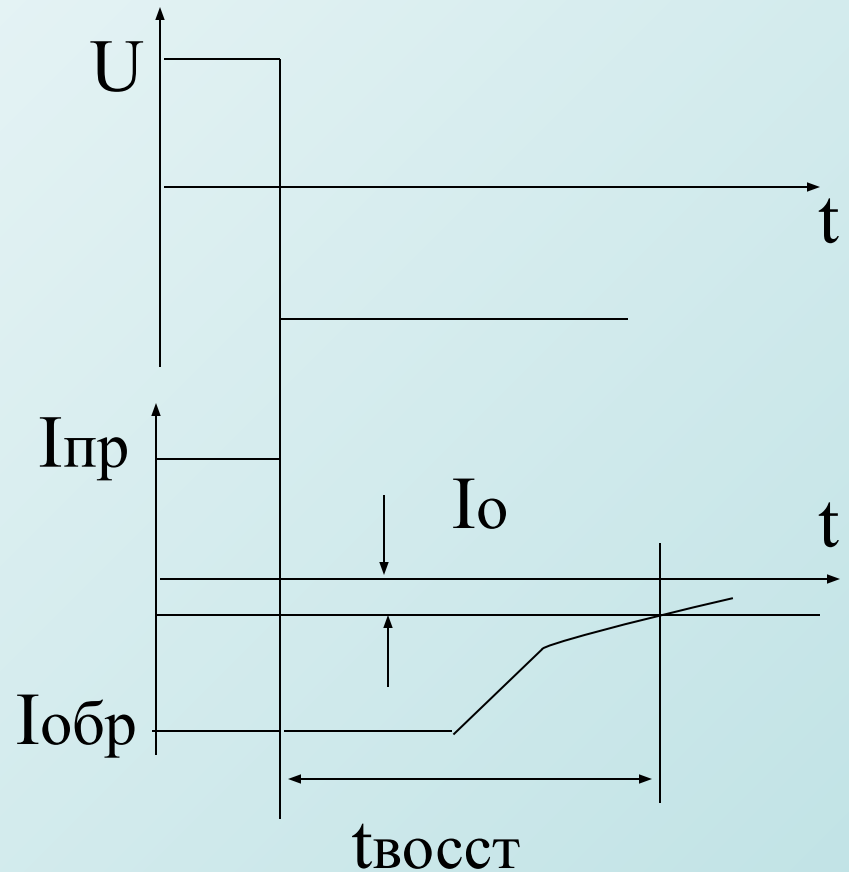
$$I_{\text{пр.мах}} = \frac{\pi U_{\text{н.ср}}}{3 R_{\text{н}}}$$

Импульсные диоды

Предназначены для работы в импульсных устройствах.
Диоды относятся к универсальным.



$t_{восст}$ – время
рассасывания неосновных
носителей в базе.



Специальные диоды

Стабилитроны (опорные диоды)

Стабилитрон предназначен для уменьшения изменения напряжения на нагрузке, вызванные изменениями напряжения сети и изменениями тока, потребляемого нагрузкой.

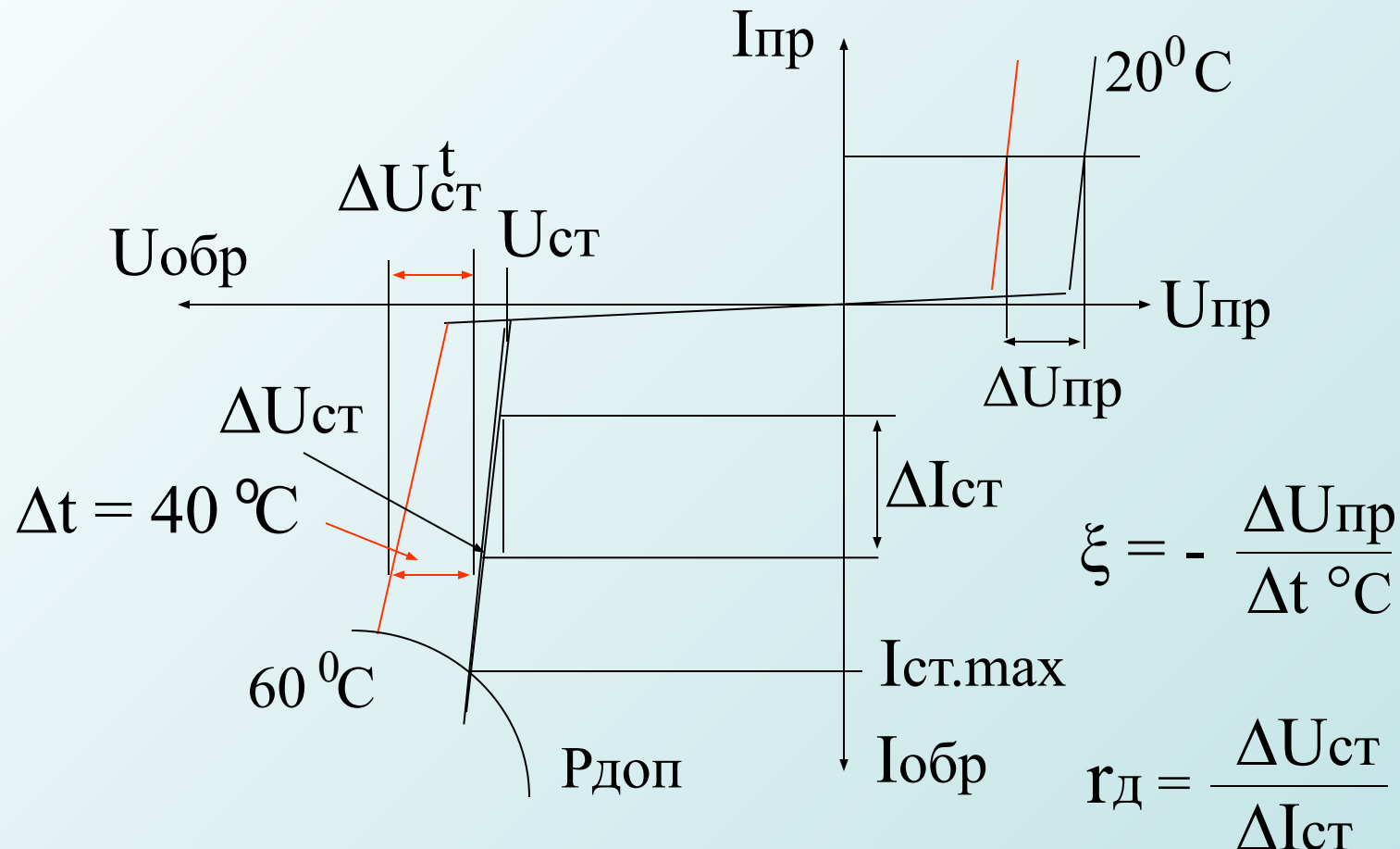
Стабилитроны используются также в качестве фиксаторов и ограничителей напряжения.

В стабилитроне используются свойства электрического пробоя р-п-перехода.

В режиме электрического пробоя обратная ветвь ВАХ практически параллельна оси тока.

Стабилитроны

вольт-амперная характеристика



Стабилитроны

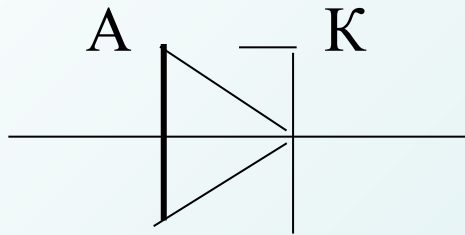
Основные параметры стабилитронов:

- $U_{ст}$ - напряжение стабилизации,
- $I_{ст}$ - средний ток стабилизации,
- $I_{ст.мах}$ – максимальный ток стабилизации,
- $P_{доп}$ – допустимая мощность рассеяния анода,
- $r_d = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}}$ -дифференциальное сопротивление стабилитрона в режиме стабилизации,
- **ТКН** стабилитрона в режиме стабилизации

$$ТКН = \frac{\Delta U_{ст}^t}{U_{ст}} \cdot \frac{1}{\Delta t} 100\% \text{ [°/Град]}$$

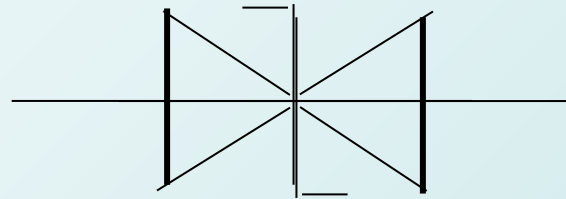
Стабилитроны

Обозначение стабилитронов



Односторонний

КС168А



Двусторонний

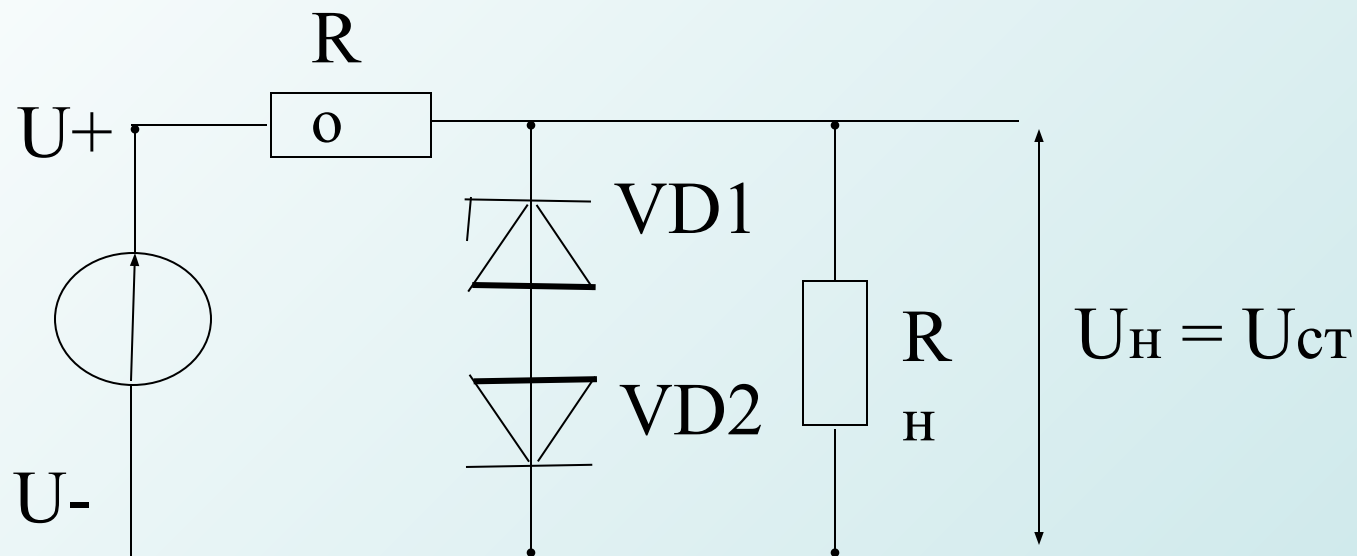
КС210Б

Кремниевый стабилитрон, серии 100, напряжение стабилизации равно 6,8 В, разновидности А.

Диод, включенный в прямом направлении и используемый в качестве стабилизатора напряжения, называют **стабистор**.

Применение стабилитронов

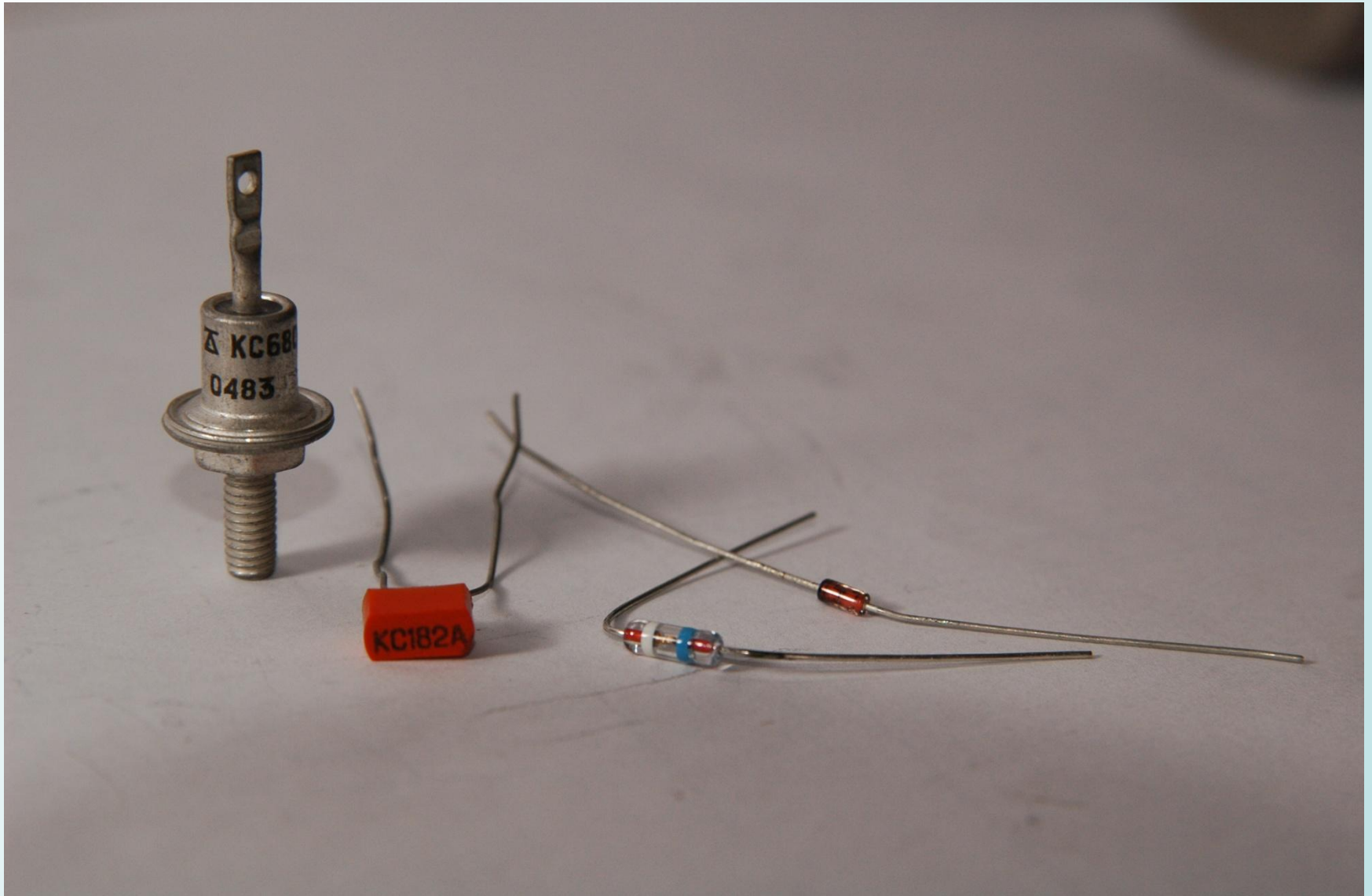
Стабилитроны применяются в схемах стабилизаторов напряжения.



$VD1$ - стабилитрон с положительным ТКН,
 $VD2$ – термокомпенсирующий диод с отрицательным
ТКН.

R_o - сопротивление, ограничивающее ток стабилитрона.

стабилитроны



СПЕЦИАЛЬНЫЕ ДИОДЫ

2.13 Туннельные диоды

В туннельных диодах используется туннельный эффект, заключающийся в туннельном прохождении зарядов через р-п-переход.

Он возникает в тонком переходе в условиях высокой напряженности электрического поля.

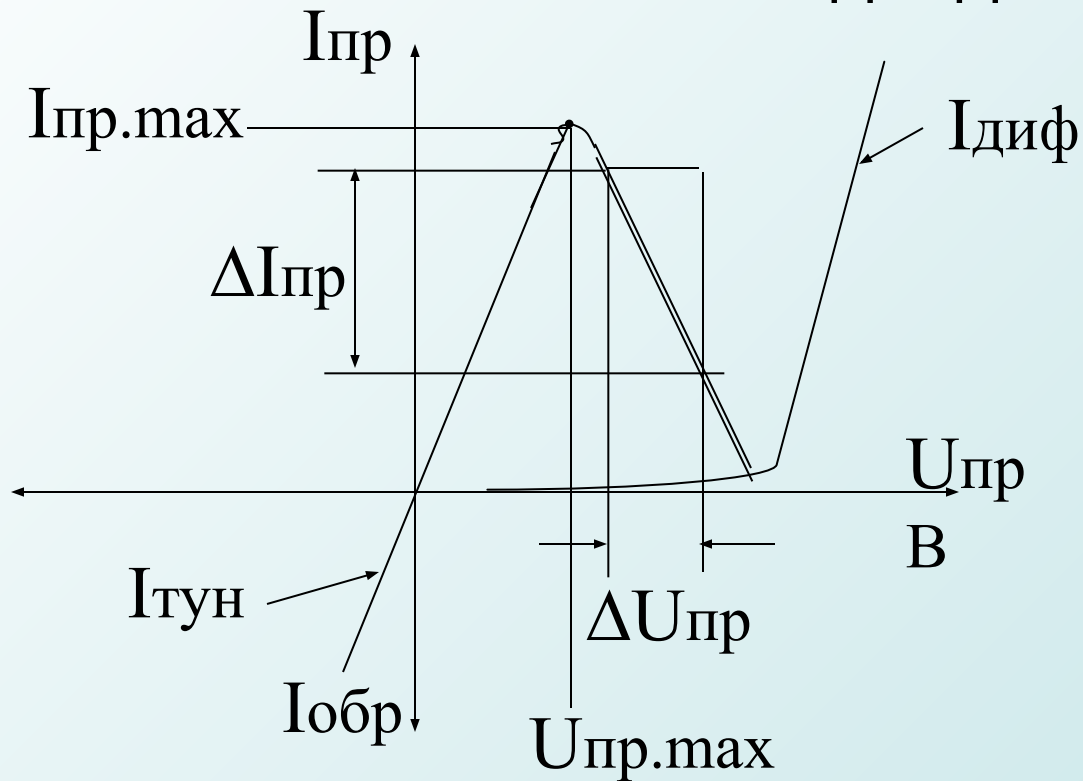
Заряды проходят в обоих направлениях, создавая ток диода.

В прямом включении при некотором напряжении ток достигает максимального значения, а затем начинает убывать.

При дальнейшем увеличении прямого напряжения ток опять начинает увеличиваться теперь уже за счет диффузионных процессов.

Туннельные диоды

Вольт-амперная характеристика туннельного диода



Параметры

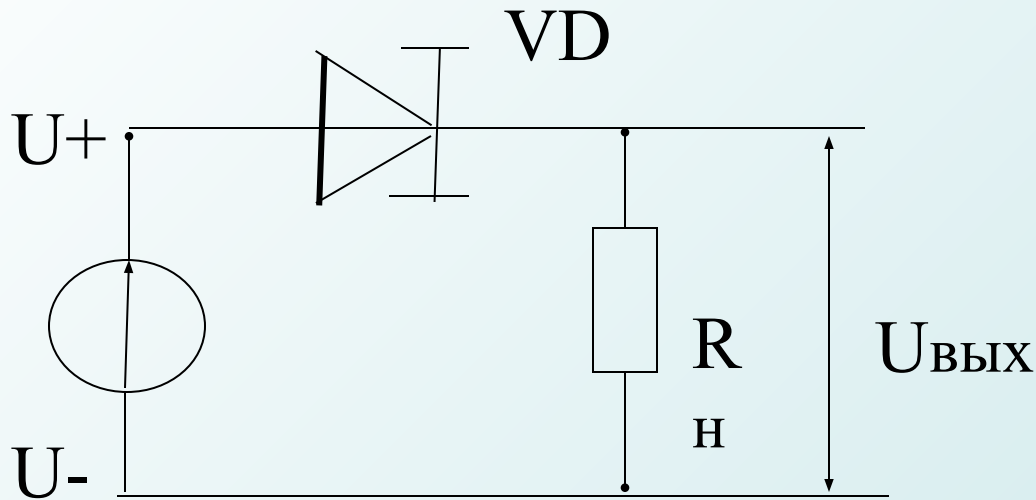
$$r_d = \frac{\Delta U_{пр}}{\Delta I_{пр}}$$

$I_{пр.мах}$, $I_{пр.мин.}$

$U_{пр.мах}$, $U_{пр.мин.}$

Туннельные диоды

Применение туннельного диода



$$r_{\partial} = \frac{\Delta U_{\text{пр}}}{\Delta I_{\text{пр}}}$$

В зависимости от напряжения U и величины нагрузки $R_{\text{н}}$ диод может работать в генераторном или переключательном режимах.

3И202А - Предназначен для работы в генераторном режиме.

3И302А - Предназначен для работы в переключательном режиме.

И — принадлежность прибора к туннельным диодам.

Туннельные диоды

Применение туннельного диода

диод может работать в генераторном или переключательном режимах.



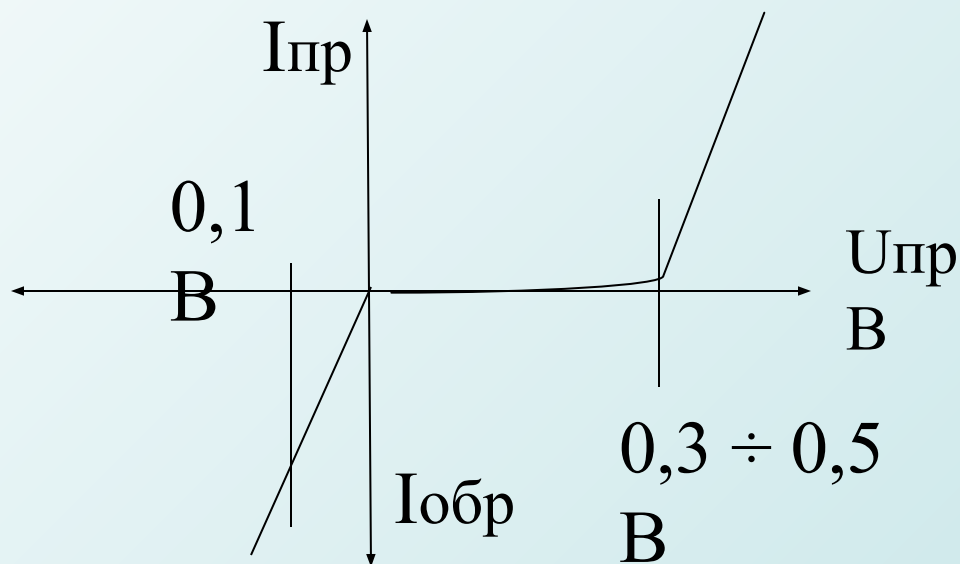
В переключательном режиме рабочая точка может находиться либо в точке **1**, либо в точке **2**.

2.14 Обращенные диоды

Такие диоды строятся на вырожденном полупроводнике. У них отсутствует максимум на прямой ветви ВАХ.

Прямой ток обусловлен диффузионным механизмом, а обратный – туннельным.

Применяется для детектирования СВЧ сигналов.

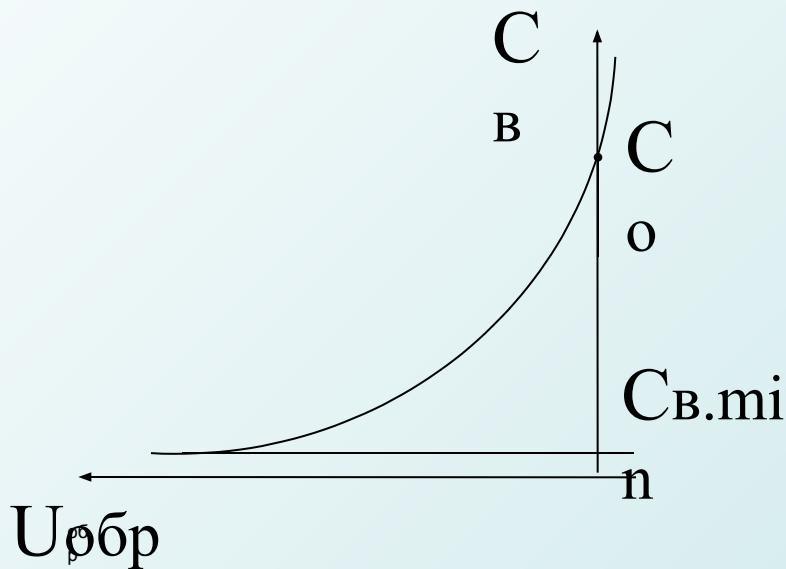


АИ402Д

А – арсенид-галлиевый,
И – туннельный,
4 – обращенный.

2.15 Варикап

Диод, в котором используется емкость р-п-перехода. Применяется в основном барьерная емкость. Величина емкости зависит от приложенного к диоду обратного напряжения.



Параметры:

- $C_{v.min}$, $C_{v.max}$,
- коэффициент перекрытия по емкости K_c

$$K_c = \frac{C_{v.ma}}{C_{v.mi}}$$

- добротность варикапа Q_v

$$Q_v = \frac{X_c}{r_{\Pi}}$$

X_c – реактивное сопротивление варикапа, r_{Π} – сопротивление потерь.

Варикап

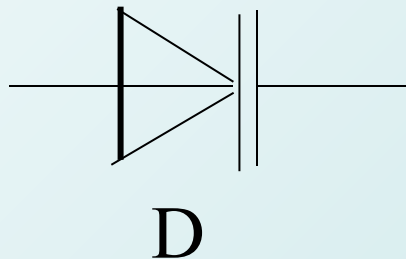
Емкость варикапа можно оценить

$$C_B = \frac{C}{\sqrt{1 - U_B / \psi_K}}$$

C_0 – начальная емкость варикапа при $U_B = 0$,

ψ_K – контактная разность потенциалов p-n-перехода.

Обозначение варикапов



KB107A

К – на основе кремния,

В – варикап,

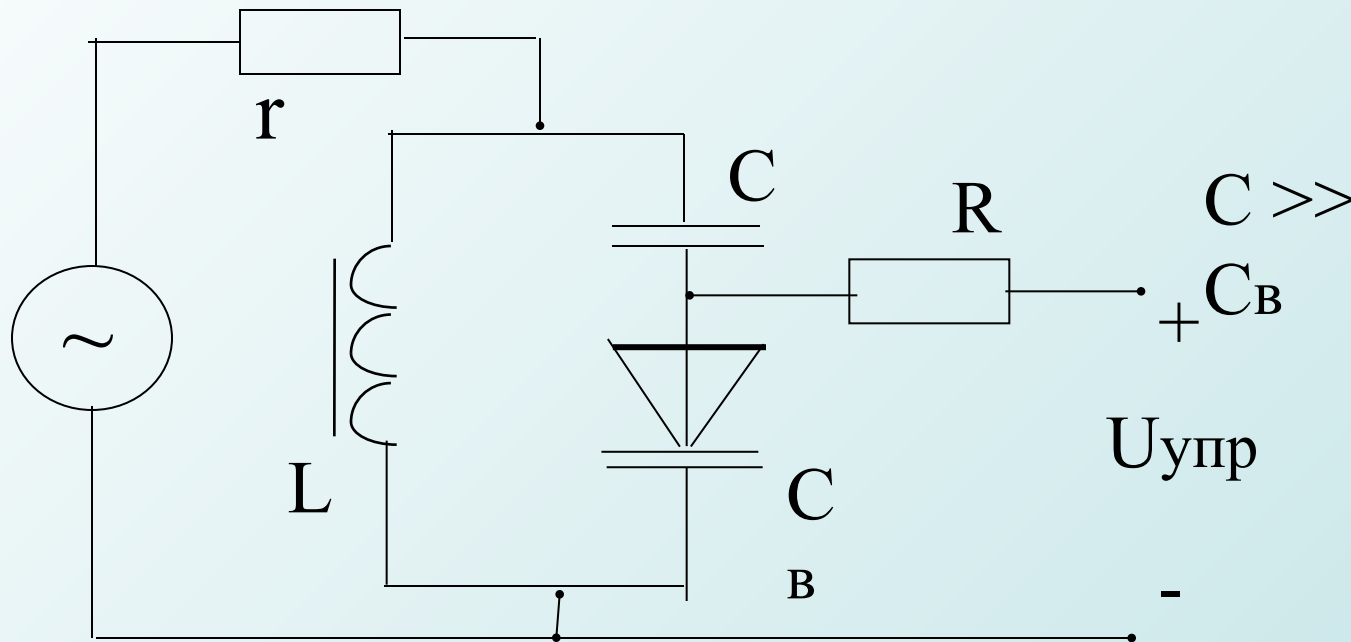
1 – подстроечный,

(2) – умножительный.

$$C_B = (10 \div 50) \text{ пФ}, U_{\text{обр}} = (2 \div 10) \text{ В}.$$

Варикап

Варикап используется в качестве электрически управляемой емкости.

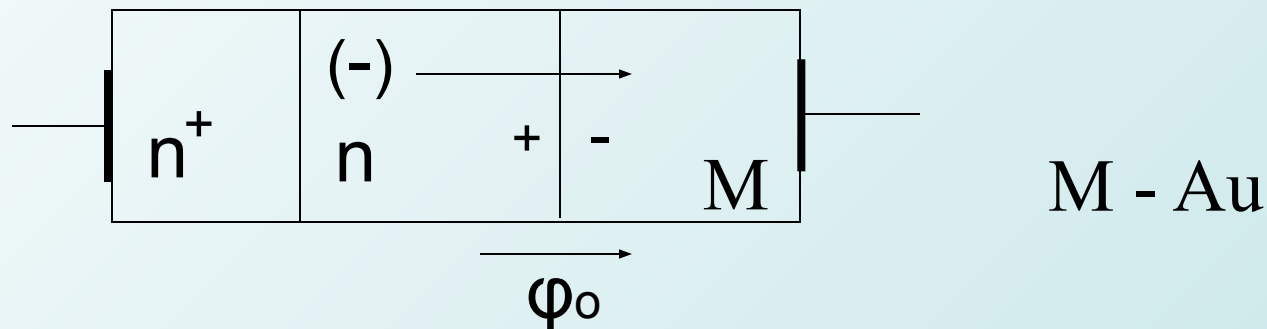


L и C образуют колебательный контур.

Резонансная частота контура изменяется под действием управляющего напряжения.

2.16 Диод с барьером Шоттки ДШ

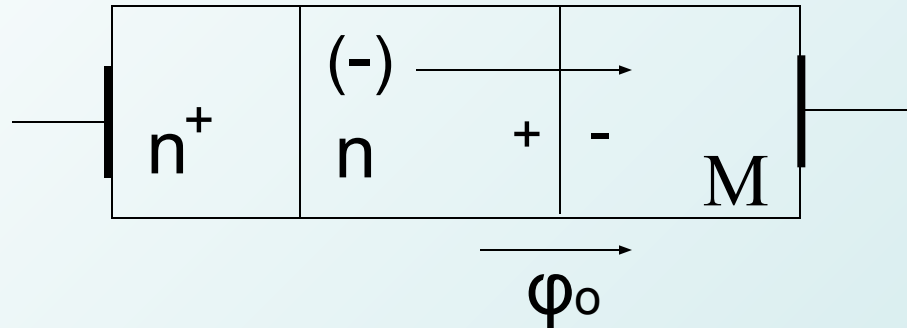
Диод основан на структуре $n^+ - n - M$.



Работа выхода электрона из полупроводника n -типа меньше, чем из металла.

Поэтому электроны из полупроводника переходят в металл и он заряжается отрицательно, появляется потенциальный барьер аналогичный структуре p - n -перехода.

Диод Шоттки



Из-за резкого различия концентраций свободных электронов инжекция неосновных носителей в базу отсутствует.

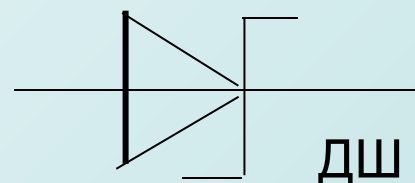
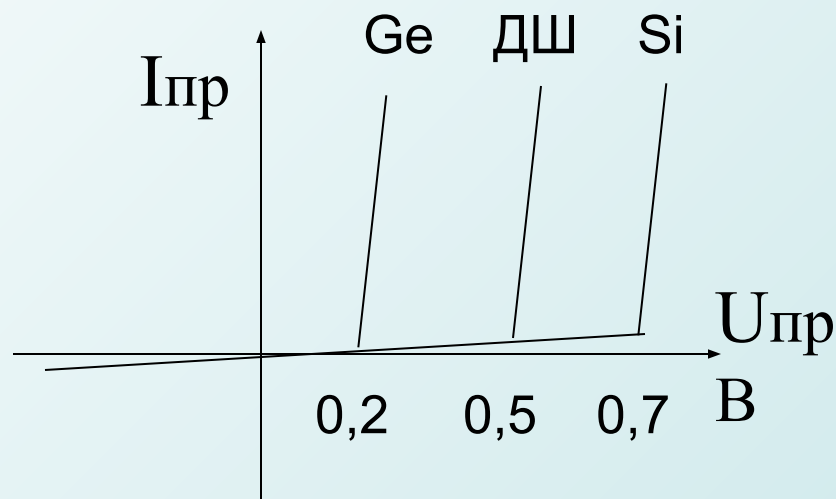
При прямом включении высота барьера уменьшается, число электронов увеличивается, увеличивается прямой ток.

При обратном смещении число электронов уменьшается уменьшается и ток.

Диод Шоттки

Преимущества ДШ.

- Малая инерционность, нет процессов накопления и рассасывания зарядов,
- Малое сопротивление базы r_b .
- Хорошая теплопроводность – один из электродов – металл.
- Малые шумы прибора нет процессов рекомбинации.



ЗИ401А

2.17 Классификация и система обозначений ДИОДОВ

Диоды классифицируются по их:

- исходному полупроводниковому материалу.
- назначению.
- физическим свойствам.
- электрическим параметрам.
- конструктивно-технологическим признакам.

В основу положен буквенно-цифровой код.

1-й элемент – исходный материал:

- **Г** или **1** – германий Ge,
- **К** или **2** – кремний Si,
- **А** или **3** – арсенид галлия GaAs,
- **И** или **4** – соединения индия.

В основу классификации положен буквенно-цифровой код.

2-й элемент – буква – подкласс прибора:

- **Д** - **диоды** выпрямительные универсальные приборы,
- **Ц** – выпрямительные столбы и блоки,
- **С** – стабилитроны,
- **А** – СВЧ диоды,
- **В** – варикапы,
- **И** – туннельные диоды,
- **Л** – излучающие оптоэлектрические приборы,
- **О** – оптроны.

В основу классификации положен буквенно-цифровой код.

3-й элемент – число – основные функциональные возможности прибора:

- **1** - **диоды** выпрямительные $I_{cp} < 0.3 \text{ А}$,
- **2** – выпрямительные $I_{cp} < 10 \text{ А}$,
- **4** – импульсные,

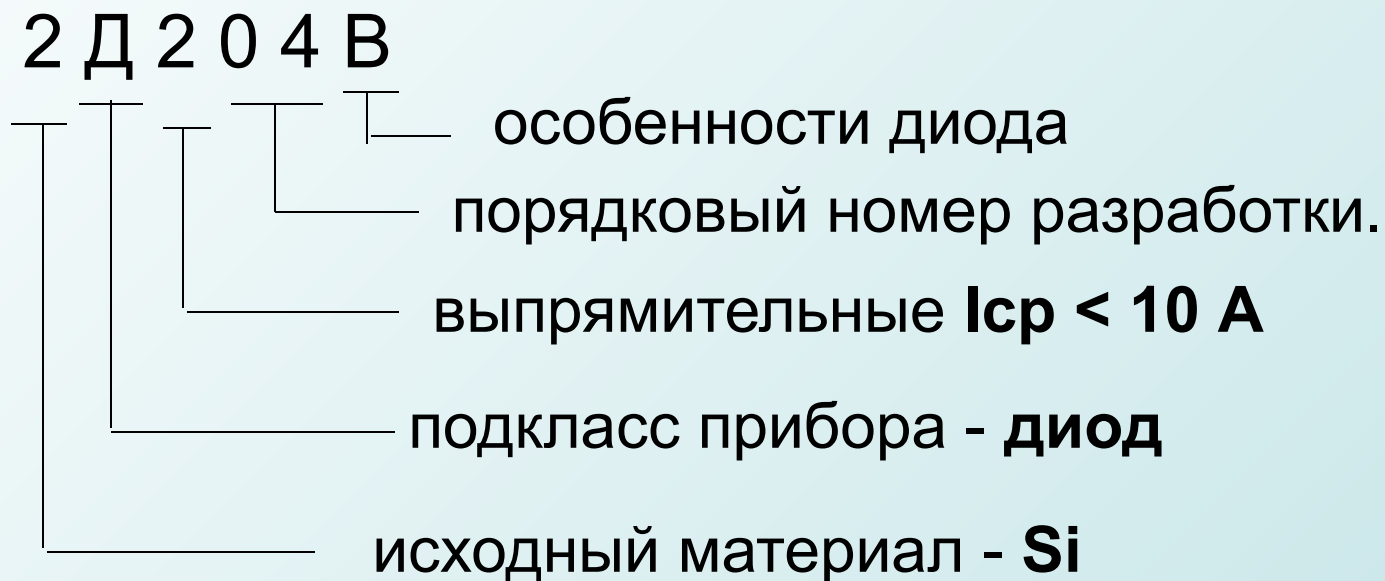
4-й и 5-й элементы – порядковый номер разработки.

6-й – особенности диода в данной серии.

дополнительный – буква

- С** – сборка диодов в одном корпусе,
- **цифра** – обозначение конструкции выводов.

Классификация и система обозначений диодов



2 С 1 5 6 А

Кремниевый, стабилитрон, малой мощности (100),
 $U_{ст} = 5,6 \text{ В}$, разновидности А.

Диодная сборка

