

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

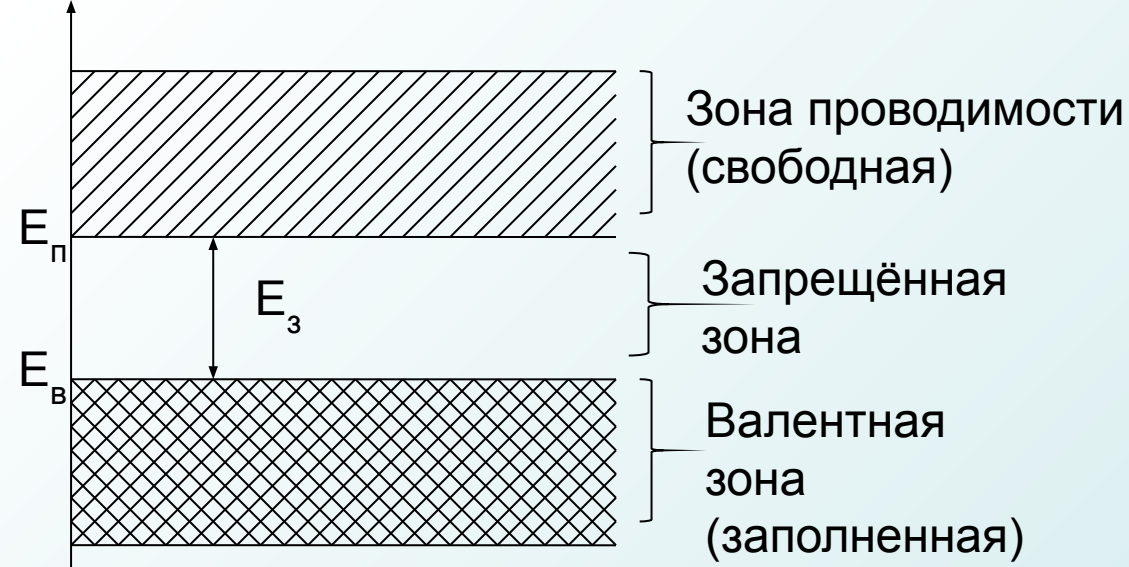
$$\sigma_{n/n} = 10^3 \div 10^{-8} \frac{1}{Ом \cdot м}$$

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.



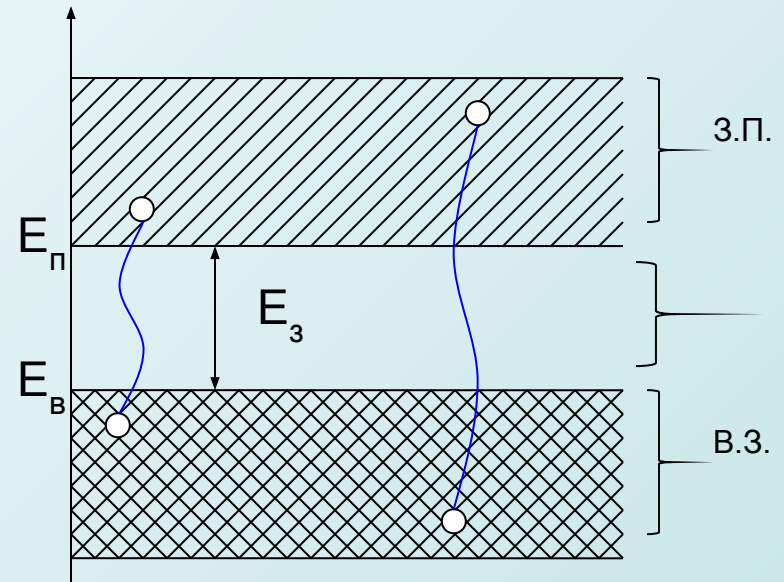
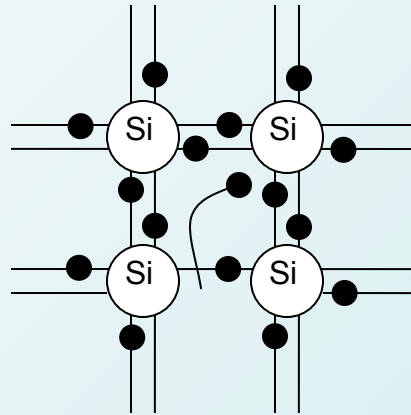
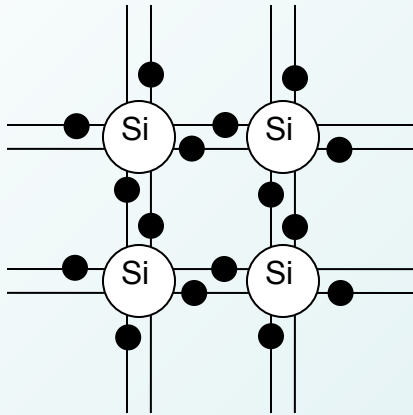
Разрешённая зона, в которой при абсолютном нуле температуры все энергетические зоны заняты электронами, называется *валентной*.

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 – пентавалентные материалы (мышьяк As, сурьма ит.д.).

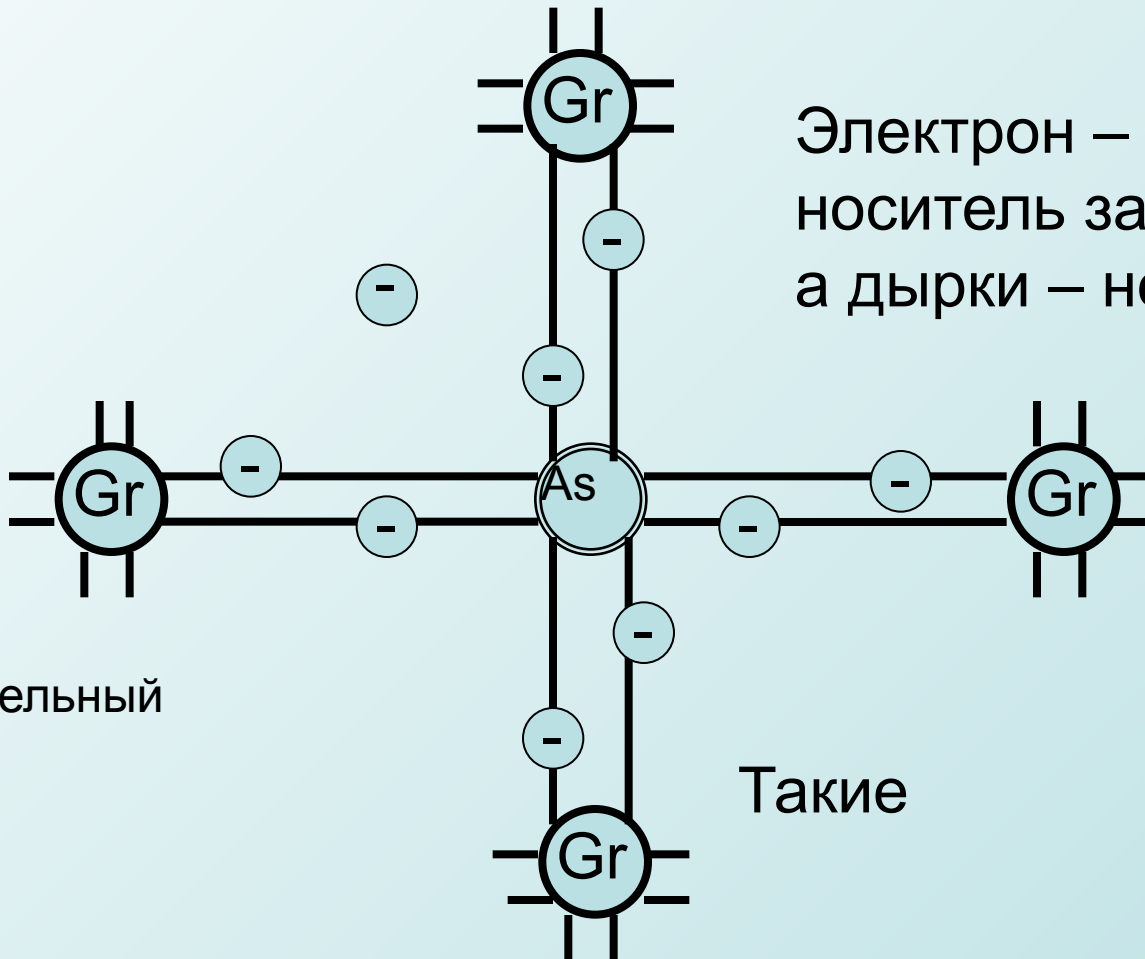
2 тип примеси – тривалентные материалы (индий In, галлий).

1 тип- донорный полупроводник (n – типа)

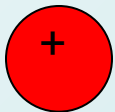
Легирование As (5 электронов в валентной зоне)

Один электрон лишний

Электрон – основной
носитель заряда,
а дырки – не основной



As – положительный
ион



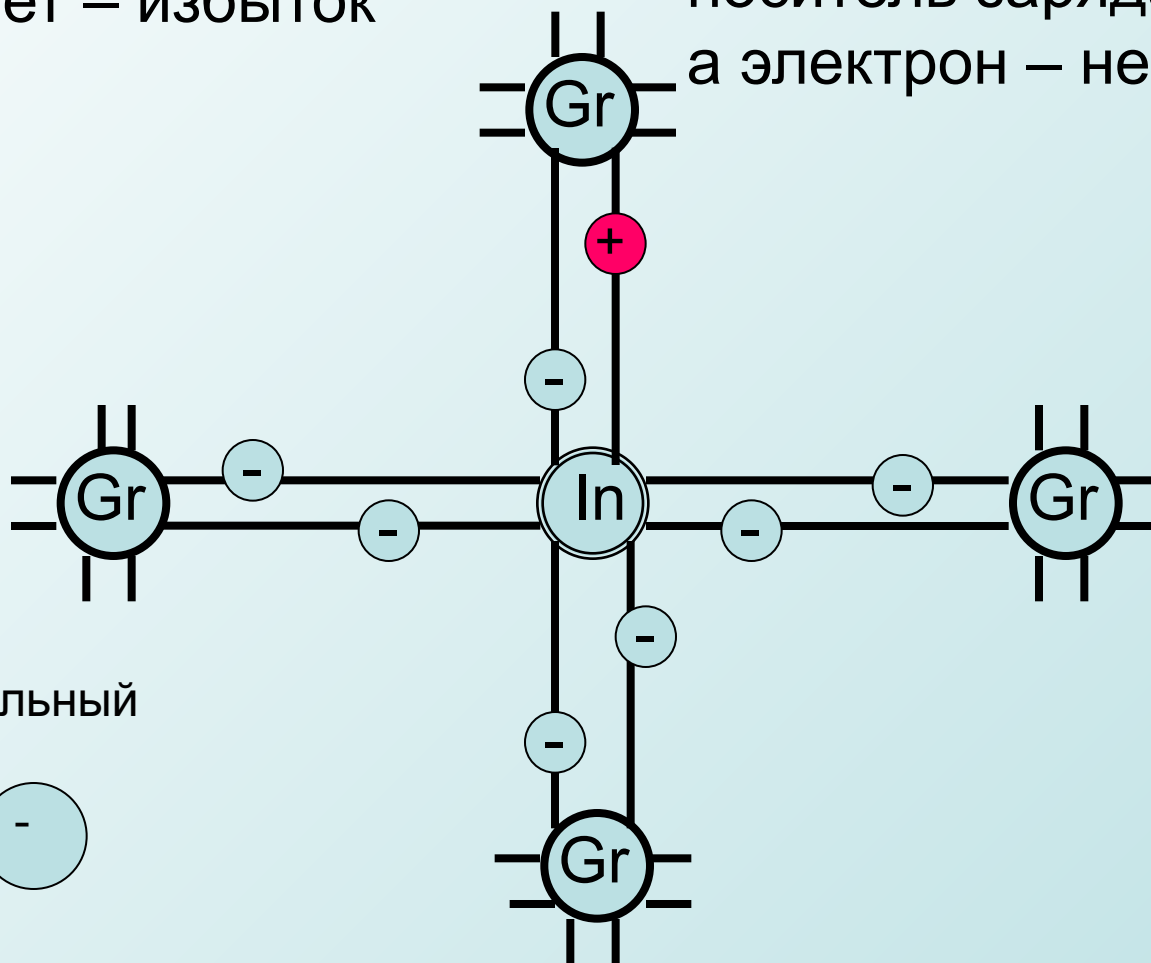
Такие

2 тип – акцепторный полупроводник p-типа

Легирование In (3 электрона в валентной зоне)

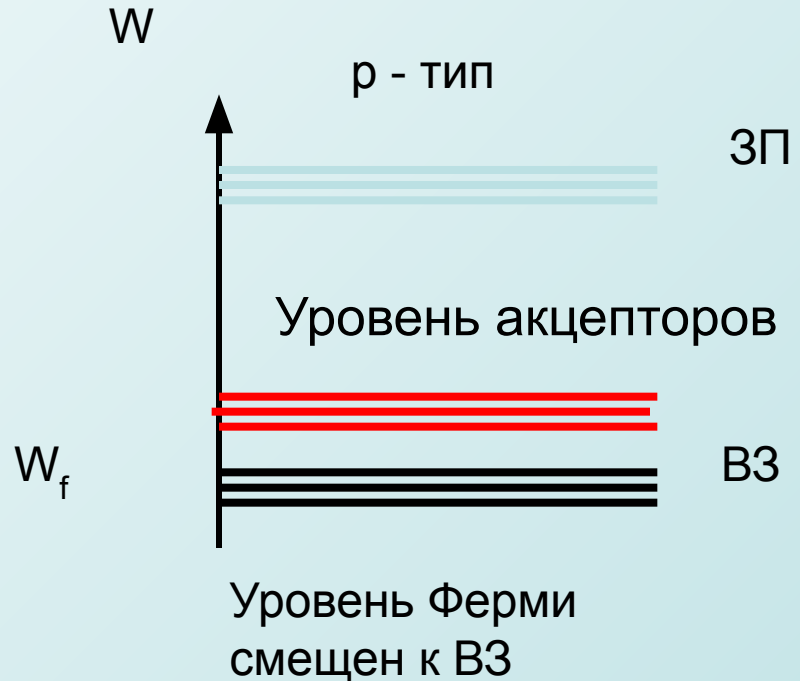
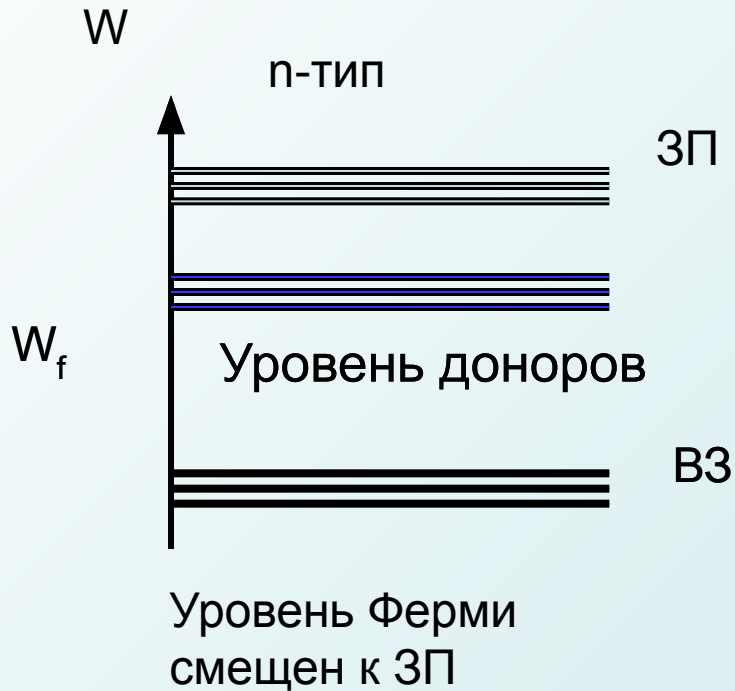
Одина валентная связь
отсутствует – избыток
дырок.

Дырка – основной
носитель заряда,
а электрон – не основной



In – отрицательный
ион

Зонные диаграммы полупроводников



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.

Носители заряда в p – типе полупроводников

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

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

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

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-).

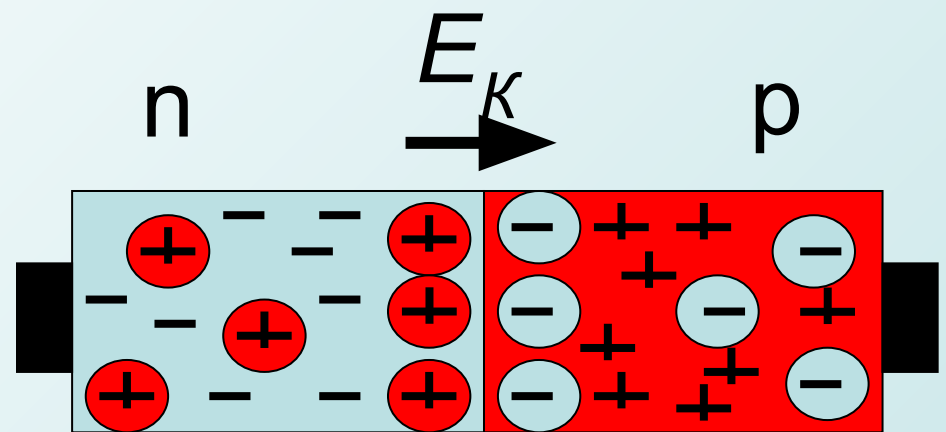
Слой, имеющий более высокую концентрацию носителей, имеет более высокую электропроводность.

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

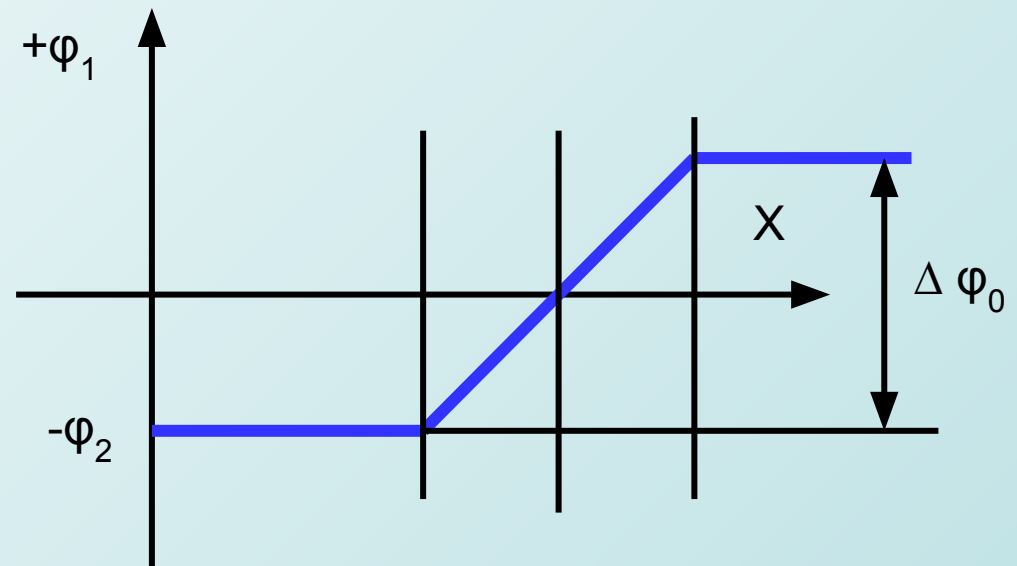
Этот контакт имеет важную характеристику:

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

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

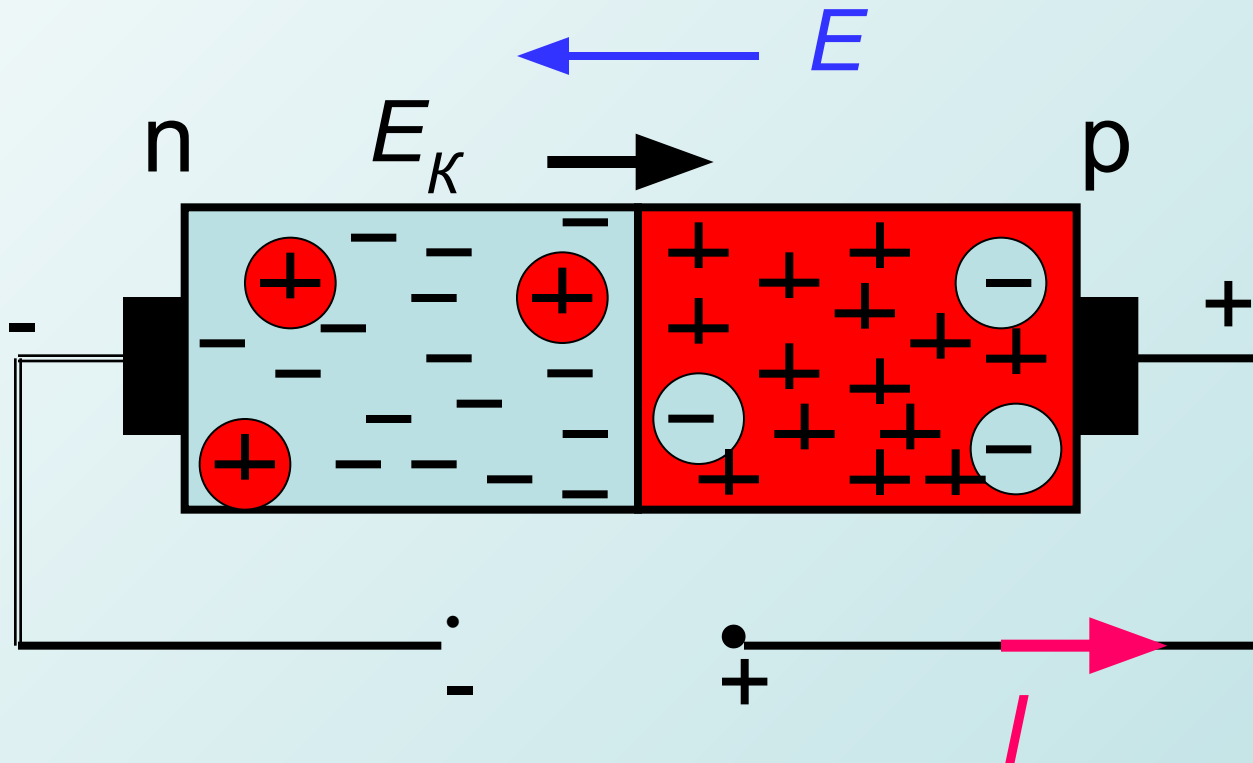
Одним из основных параметров р-п-перехода является равновесная ширина i -области l_0 .

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.

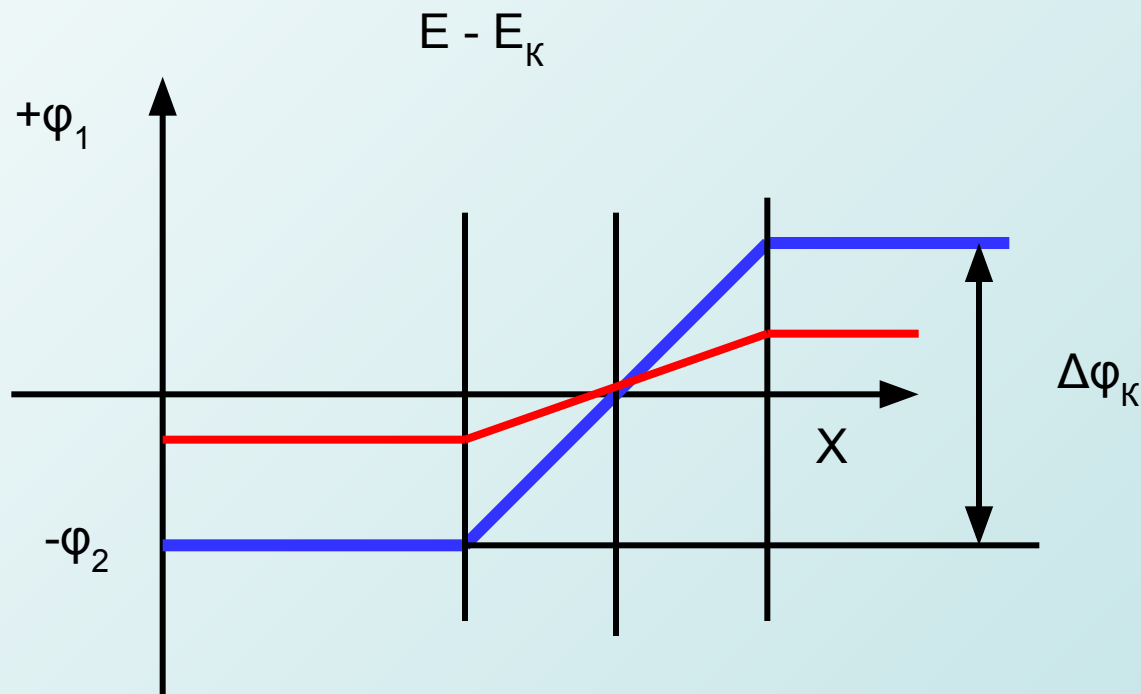
Сильное влияние на $\Delta\varphi_0$ оказывает ширина запрещённой зоны исходного полупроводника: чем больше ε_z , тем больше $\Delta\varphi_0$. Так, для большинства р-п-переходов из германия $\Delta\varphi_0 = 0,35\text{В}$, а из кремния – $0,7\text{В}$.

Прямое включение

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

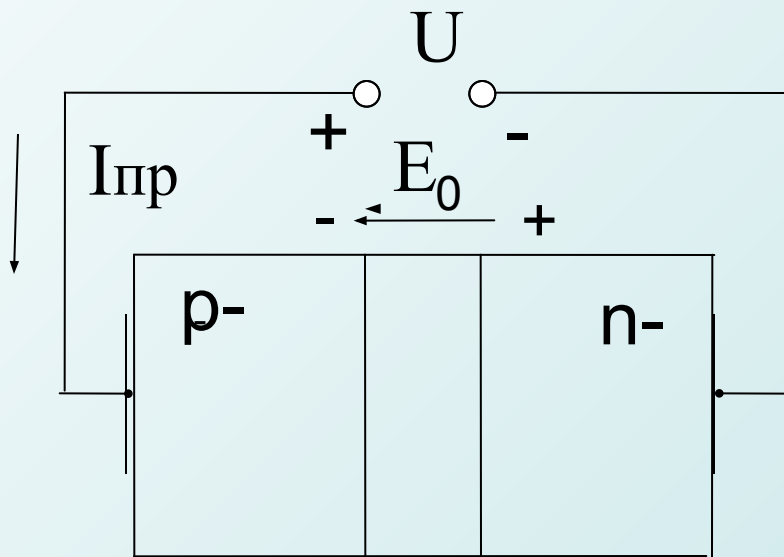


Потенциальная диаграмма прямого включения n-p перехода

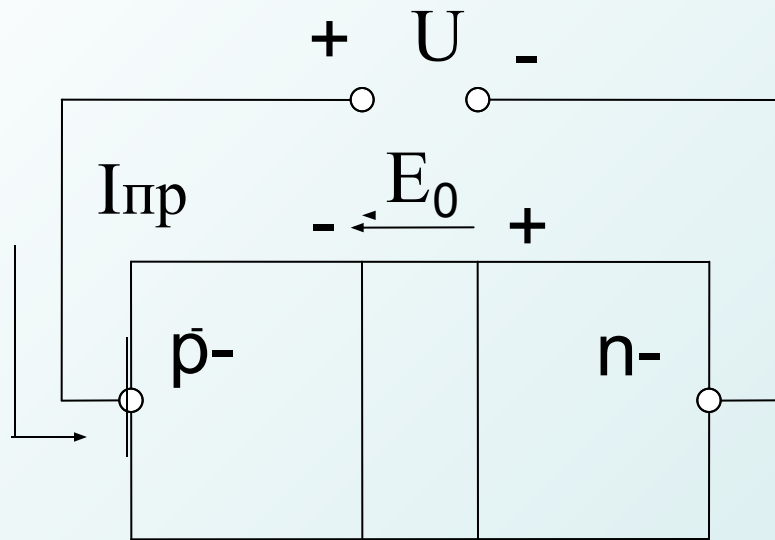


Прямое включение р-п-перехода

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

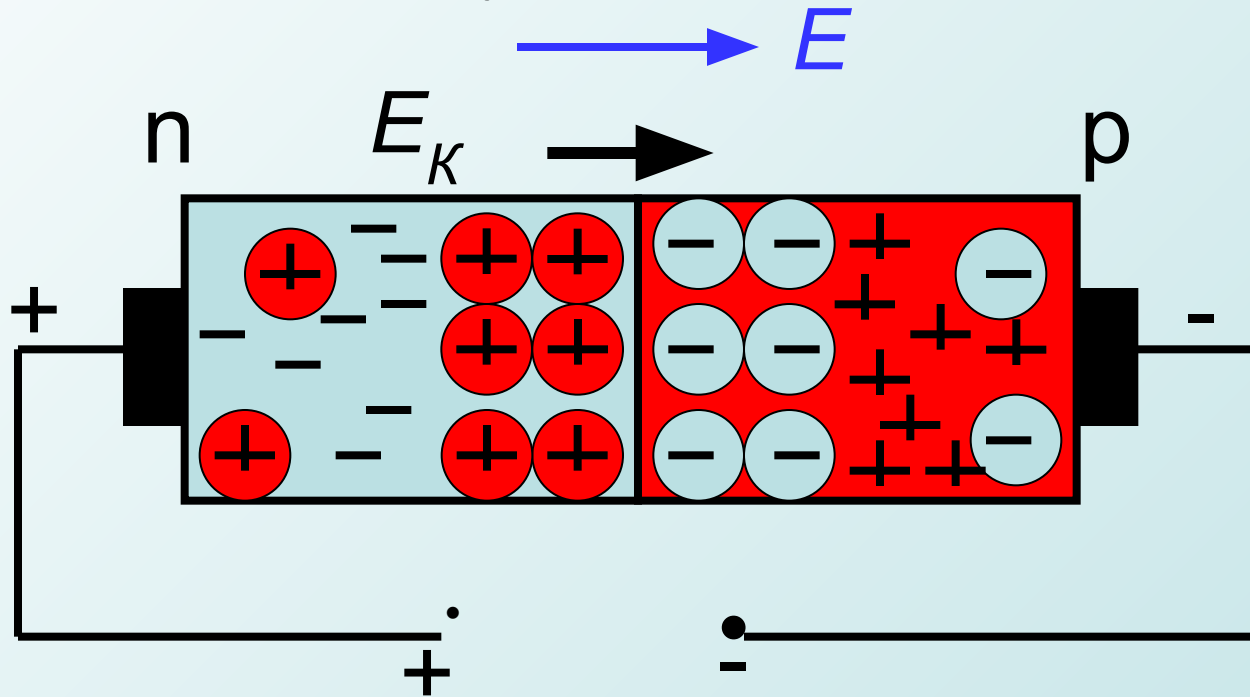
$$\gamma = I_p / (I_p + I_n)$$

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

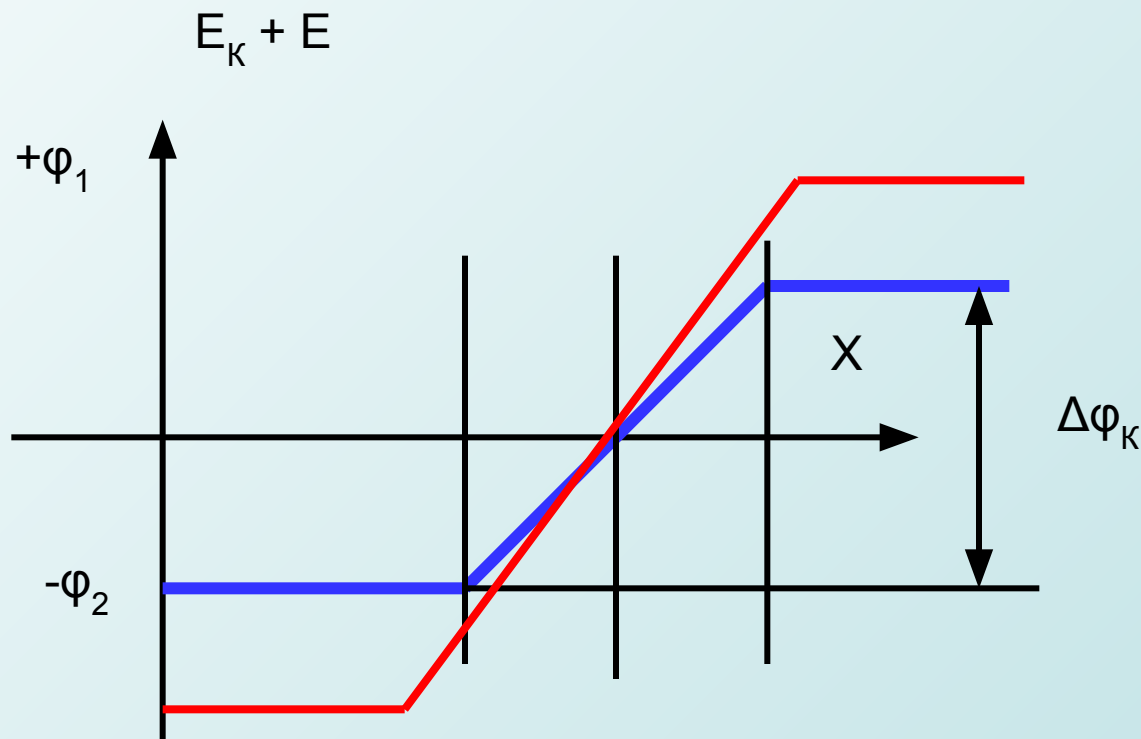
В большинстве случаев $I_p \gg I_n$ и $\gamma = 1$.

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

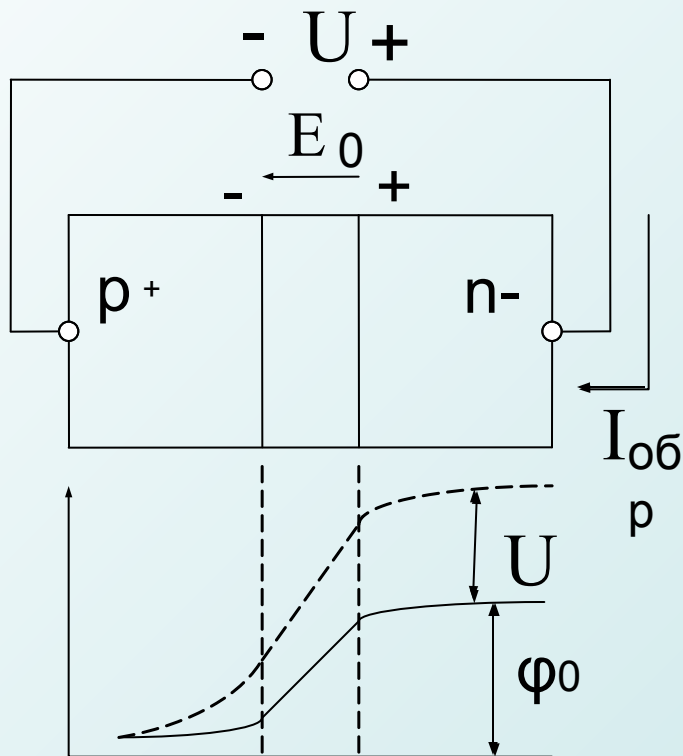
Включим внешнее напряжение U (+) к n-области. При этом увеличивается высота потенциального барьера на величину U

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

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

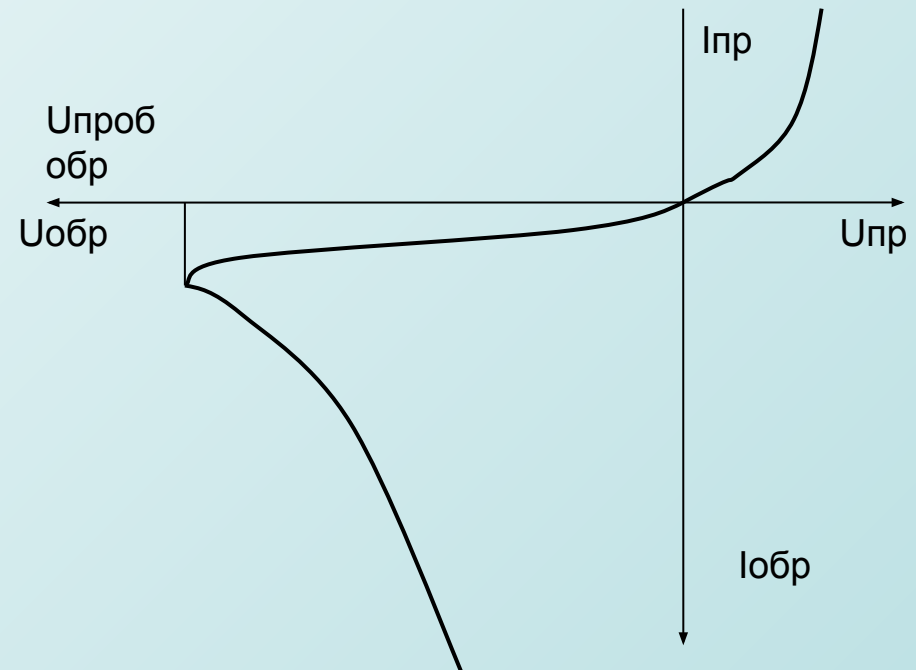
При $U < 0$ переход включен в обратном направлении и течёт незначительный ток, слабо зависящий от U , но сильно зависящий от температуры.

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

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

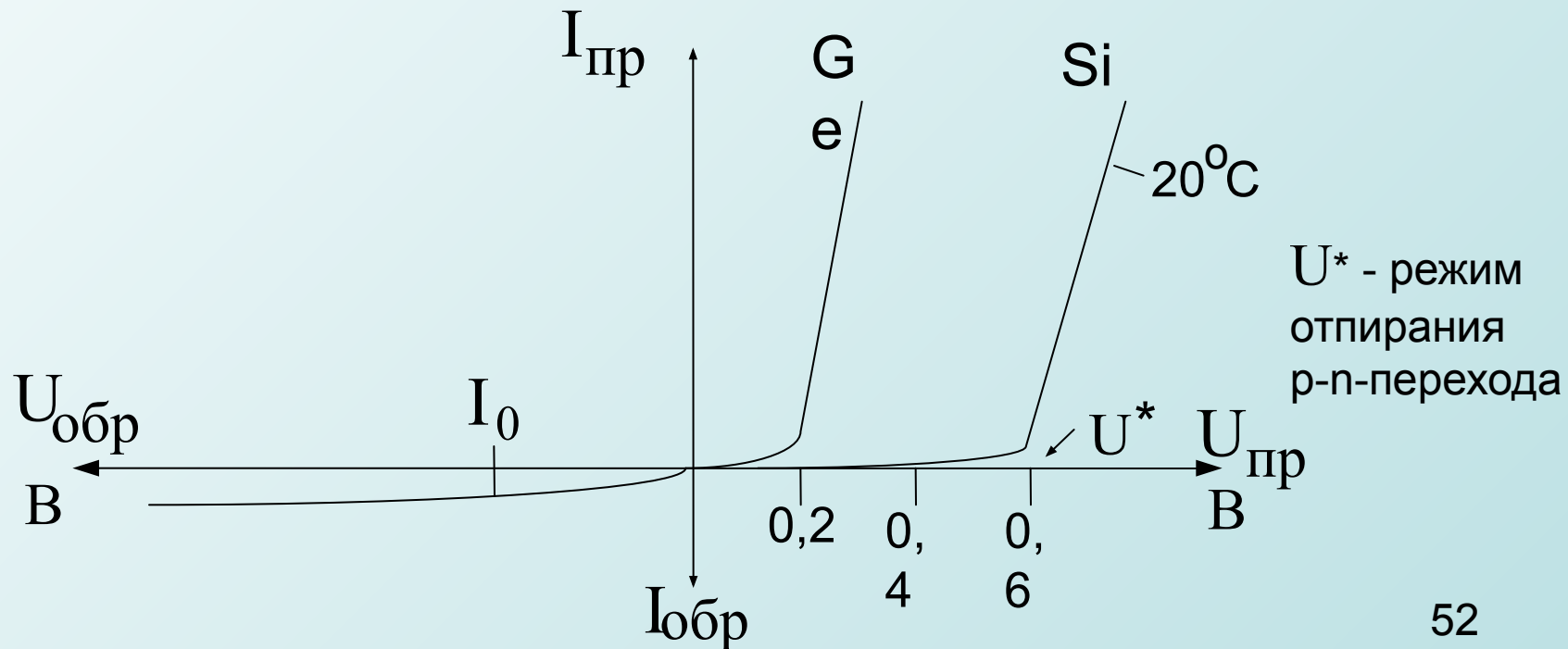
При обратном включении
 $U_{обр} > (0,1-0,2)\text{В}$ $e^{\frac{-U}{\varphi_T}} \ll 1$

$$I_{обр} \approx -I_0$$

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

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

На основании выражения можно построить ВАХ р-п-перехода



Таким образом

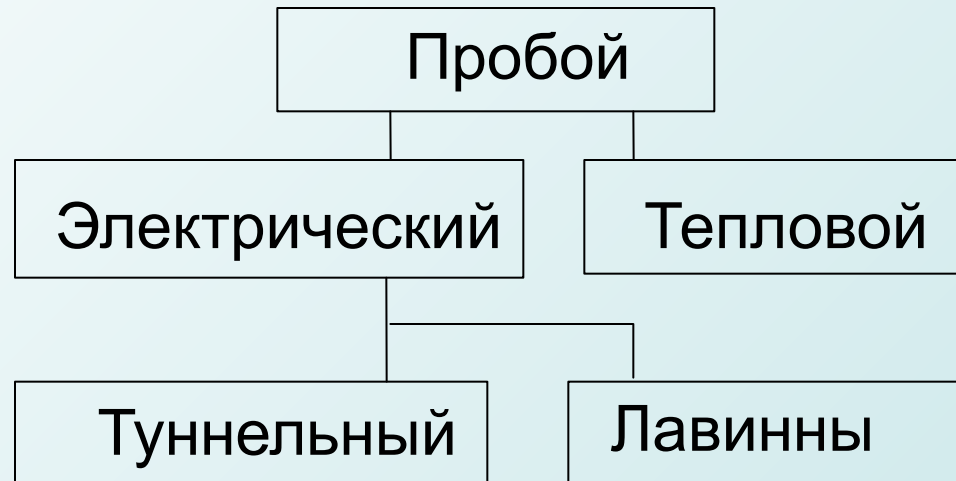
Свойство односторонней электропроводности р-п-перехода отражено в вольт-амперной характеристике.

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 пробойи 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**.

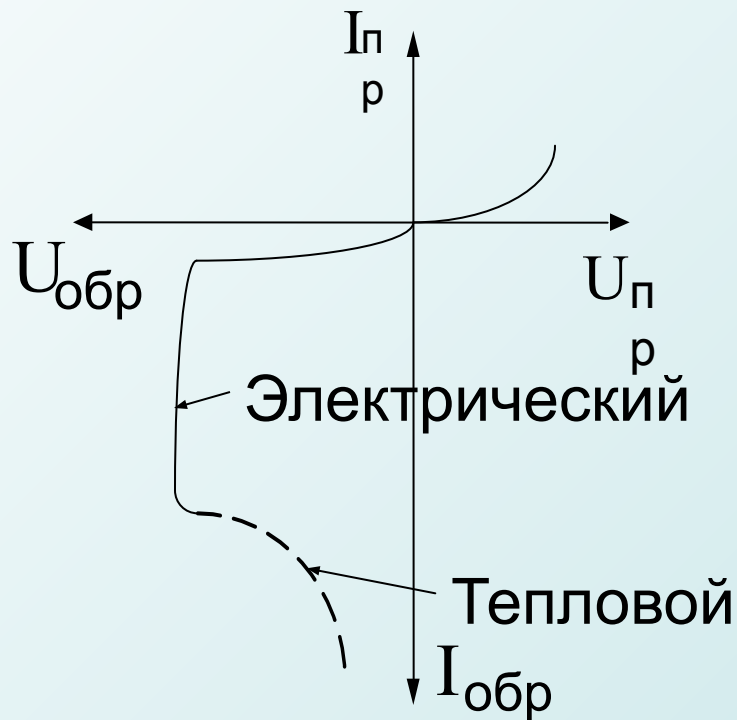
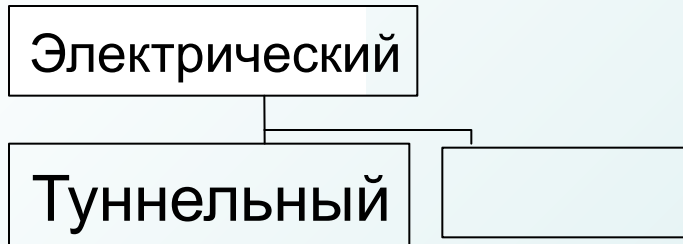
Туннельный пробой происходит в очень тонких р-п переходах и при небольших значениях обратного напряжения (несколько вольт), когда возникает большой градиент электрического поля. При этом валентные электроны приконтактного слоя р - области отрываются от своих атомов и перебрасываются в n-область.

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.

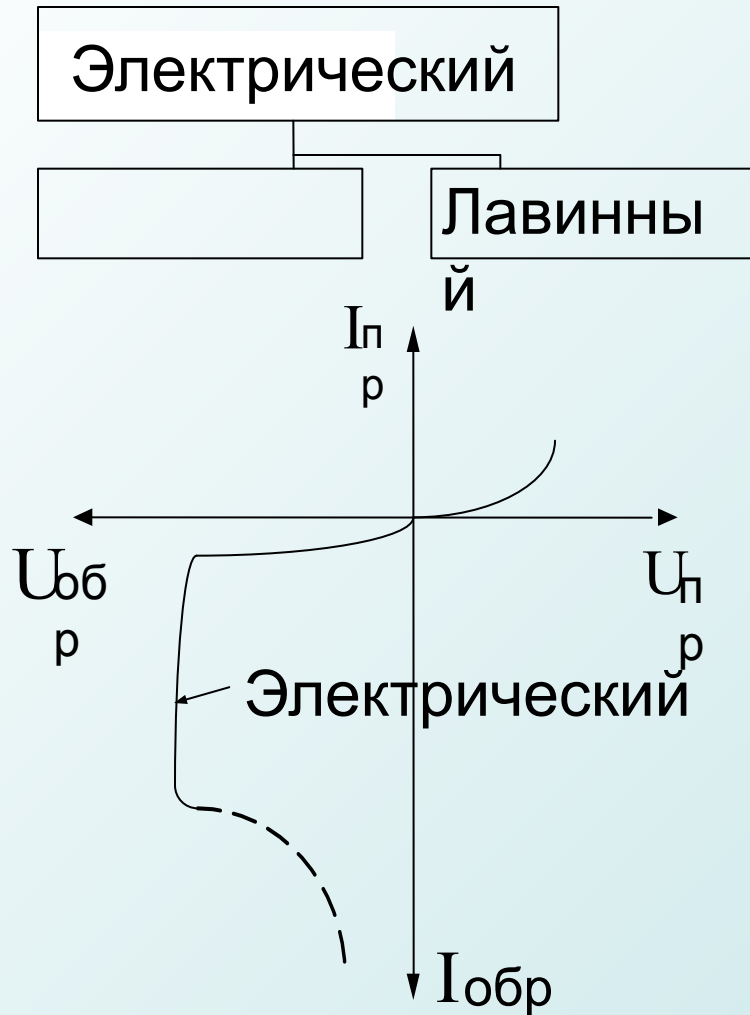
Поверхностный пробой обусловлен чрезмерным накоплением поверхностного заряда и уменьшением толщины перехода.

Пробой р-п-перехода



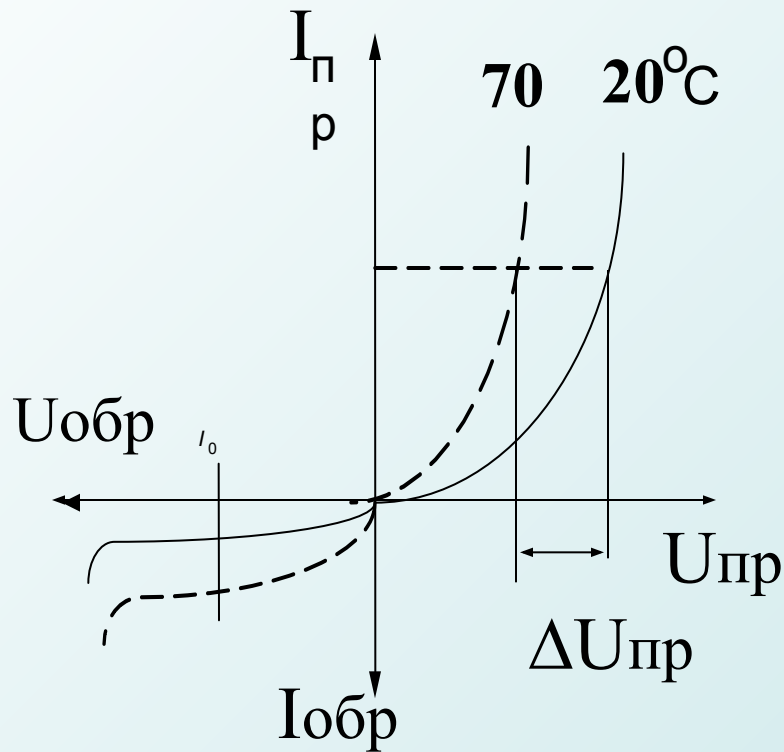
В узких р-п-переходах при относительно небольших обратных напряжениях обычно возникает полевой пробой, в основе которого могут лежать несколько эффектов, основным из которых является туннельный эффект.

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.

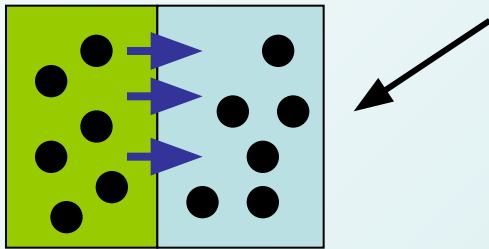
Российский академик Ж.Алферов за разработки в области гетеропереходов получил Нобелевскую премию.

Современные сверхбыстродействующие структуры работают именно на этом эффекте.

Переход Шоттки -

переход на основе контакта металл-полупроводник.

М полупроводник р-типа



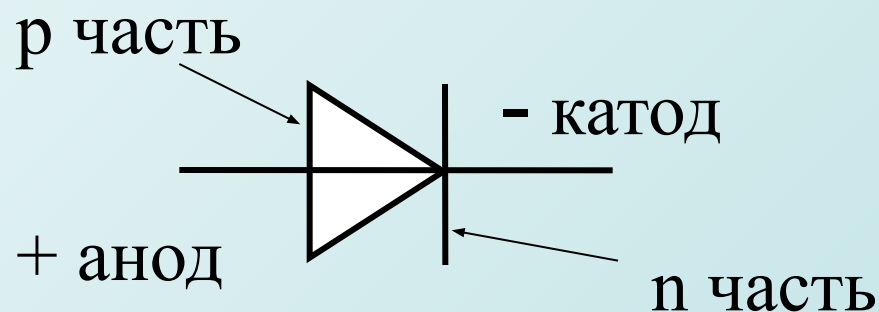
Свободные электроны из металла переходят в полупроводник, часть электронов рекомбинируют с дырками и в приграничном слое возникает эл. поле, препятствующее дальнейшему переходу электронов. Обедненный основными носителями (дырками) приконтактный слой полупроводника обладает большим сопротивлением.

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

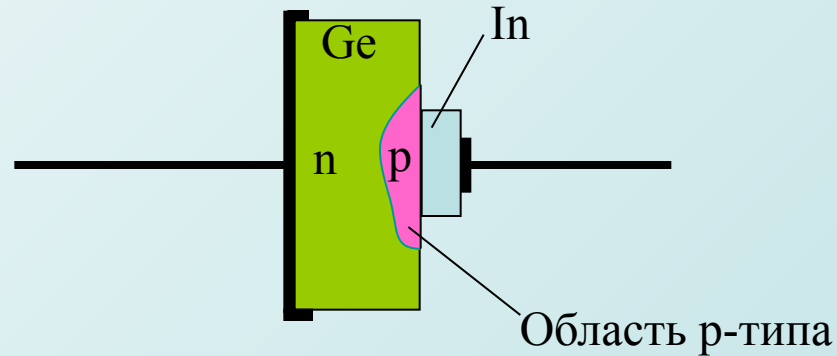


**В зависимости от технологии изготовления диоды
разделяются на точечные и плоскостные**

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

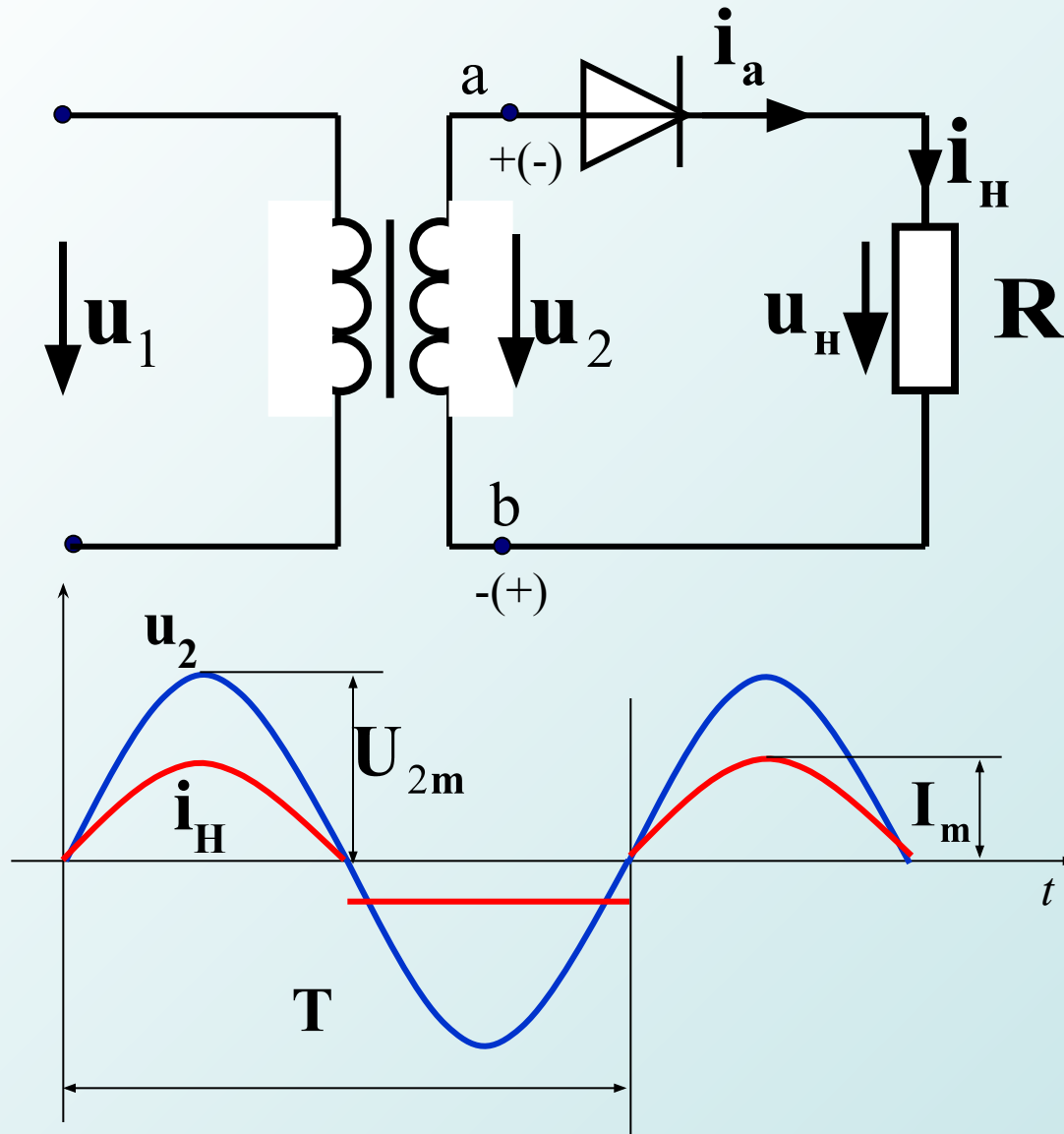
Значения параметров выпрямительных диодов

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

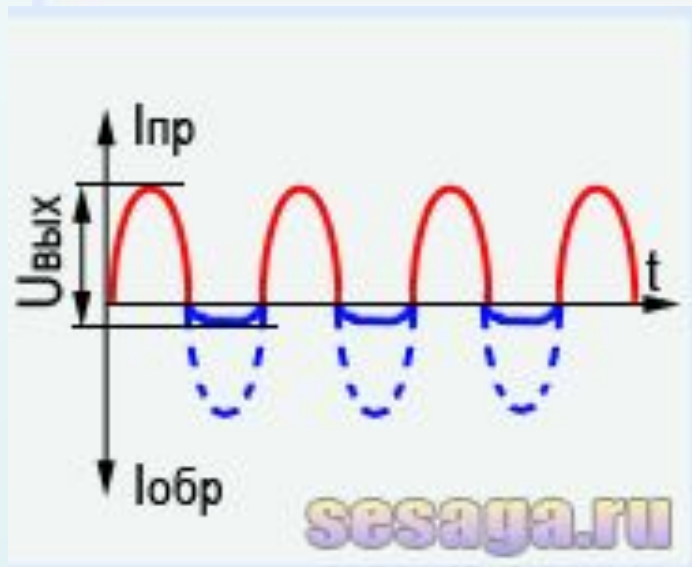
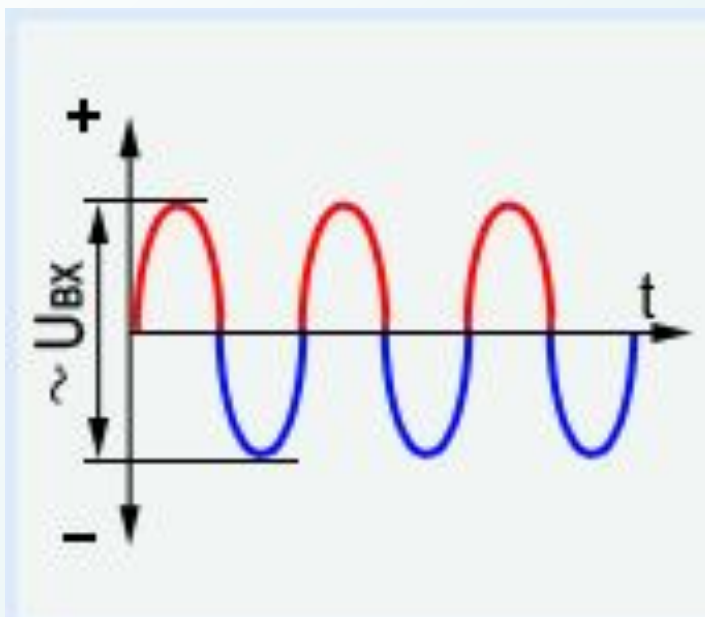
Выпрямитель – устройство для преобразования переменного тока в постоянный. Состоит из электрических вентилях и вспомогательных устройств (трансформатора, фильтров и т.д.)

- 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

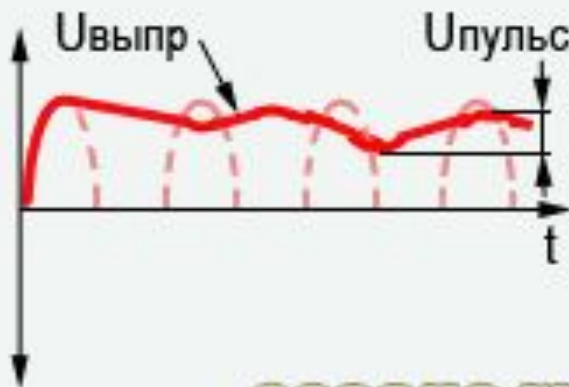
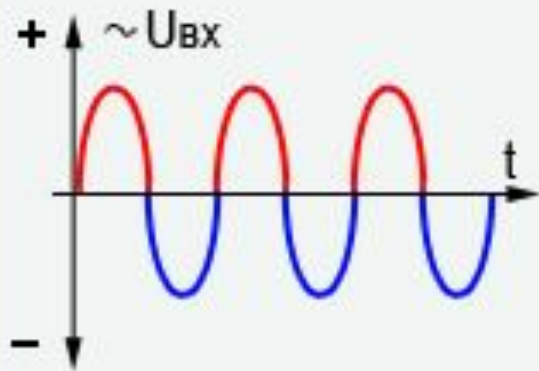
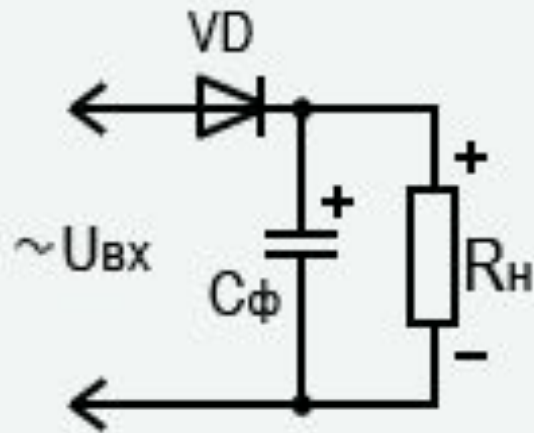


В первый полупериод, когда потенциал точки а выше потенциала точки б к диоду приложено прямое напряжение, он открыт и в нагрузку течет ток. Во второй половине периода к диоду приложено обратное напряжение, диод закрыт, ток в цепи равен нулю, а к запертому диоду прикладывается обратное напряжение u_2



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 $U_{обр.макс} = U_{2m}$.

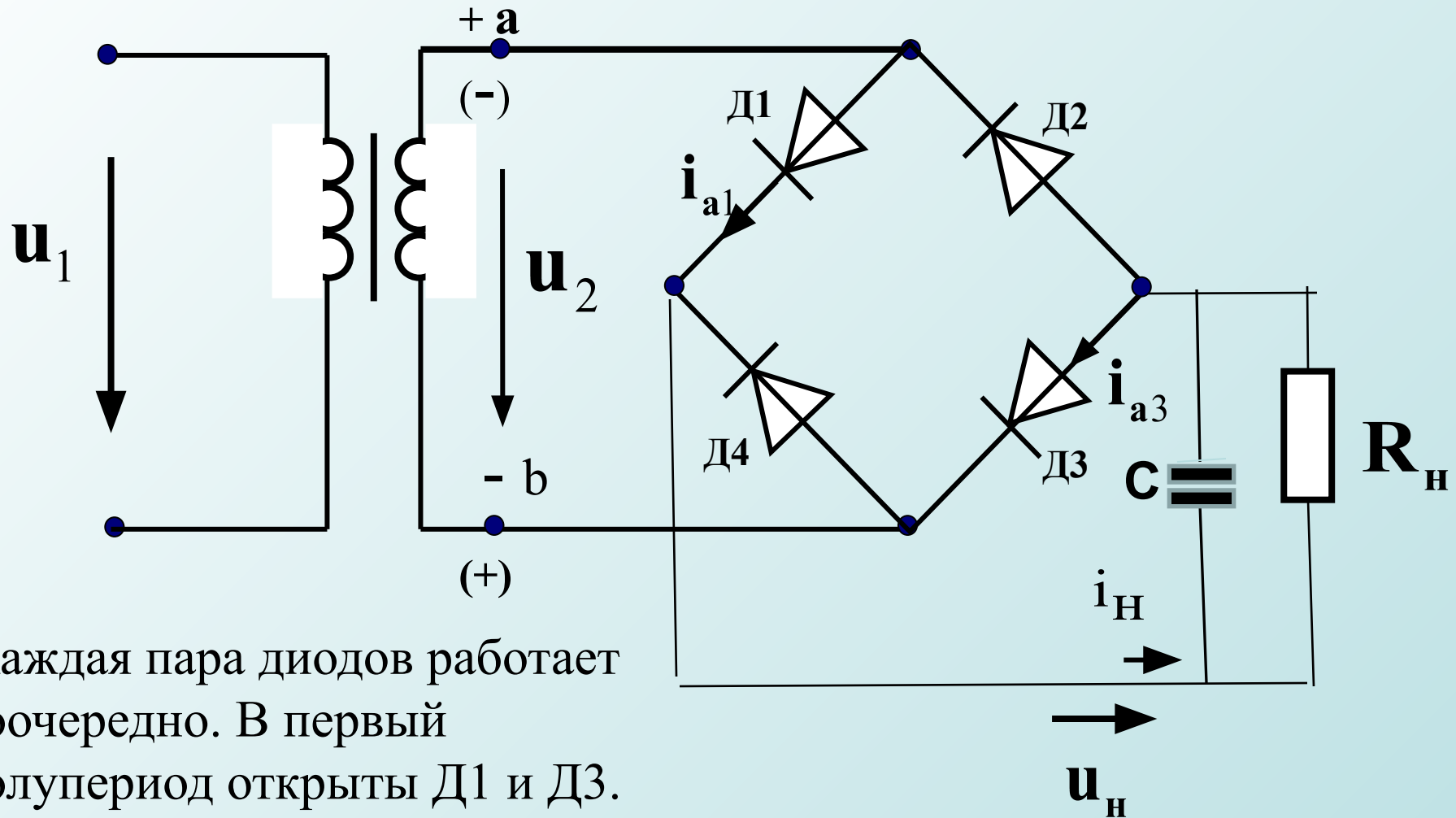
Для оценки качества выпрямленного напряжения вводят коэффициент пульсаций, равный отношению амплитуды основной гармоники выпрямленного напряжения к его среднему значению

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

- **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

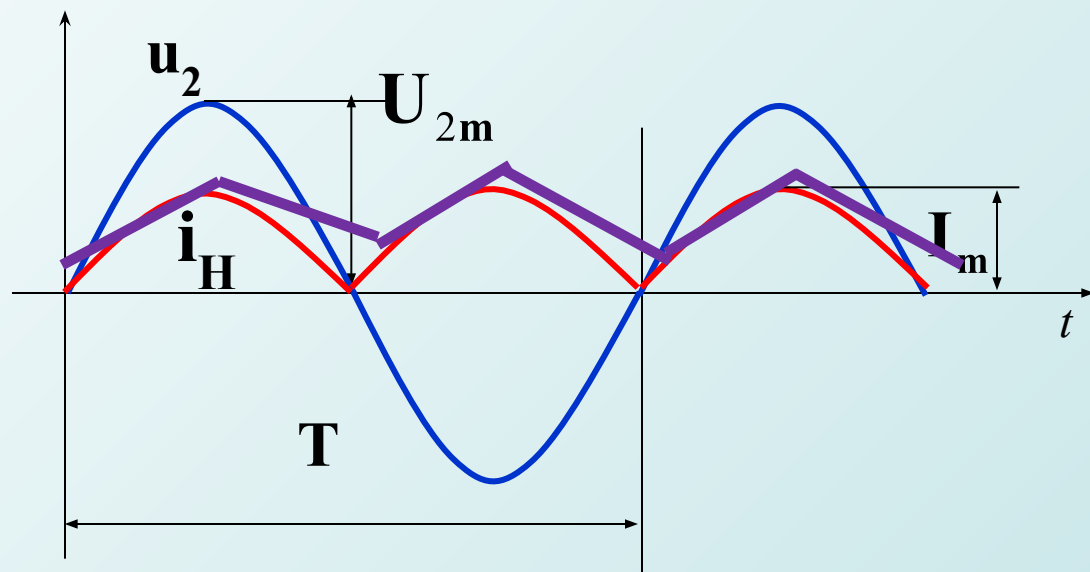
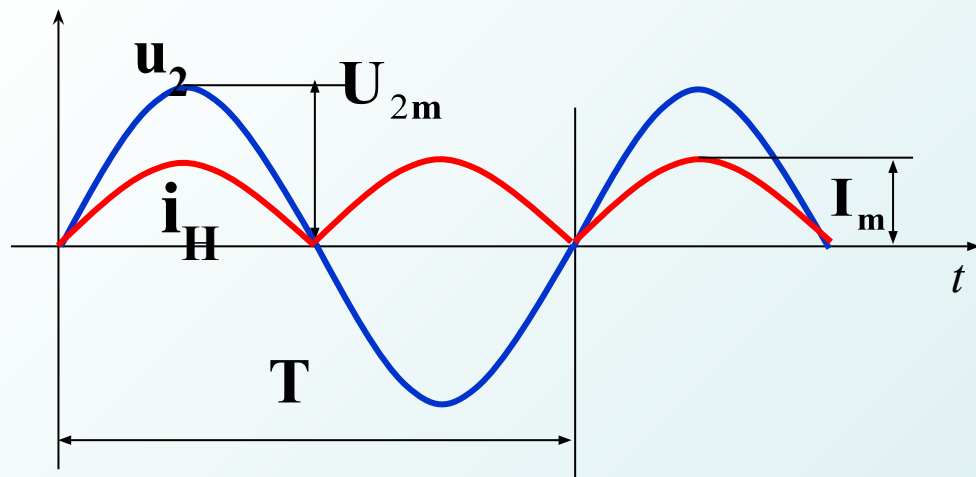


Каждая пара диодов работает поочередно. В первый полупериод открыты Д1 и Д3. Во второй – Д2 и Д4.

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**

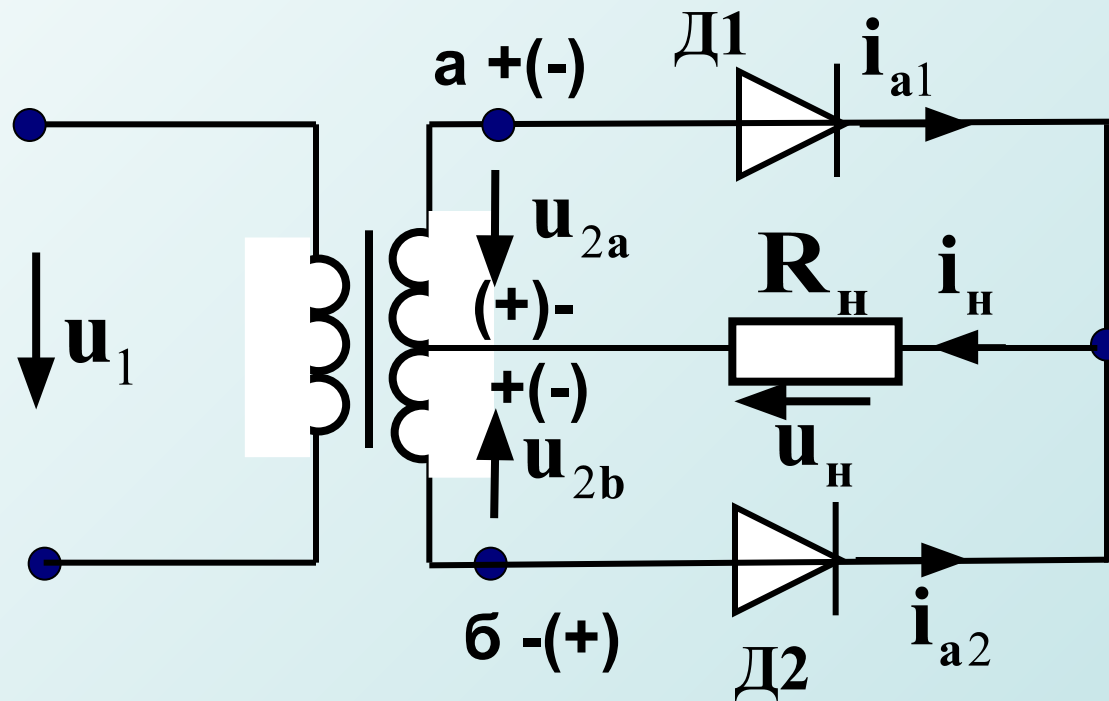
$$I_{\text{аср}} = 0,5 \cdot I_{\text{н.ср}}$$

$$k = 0,67$$

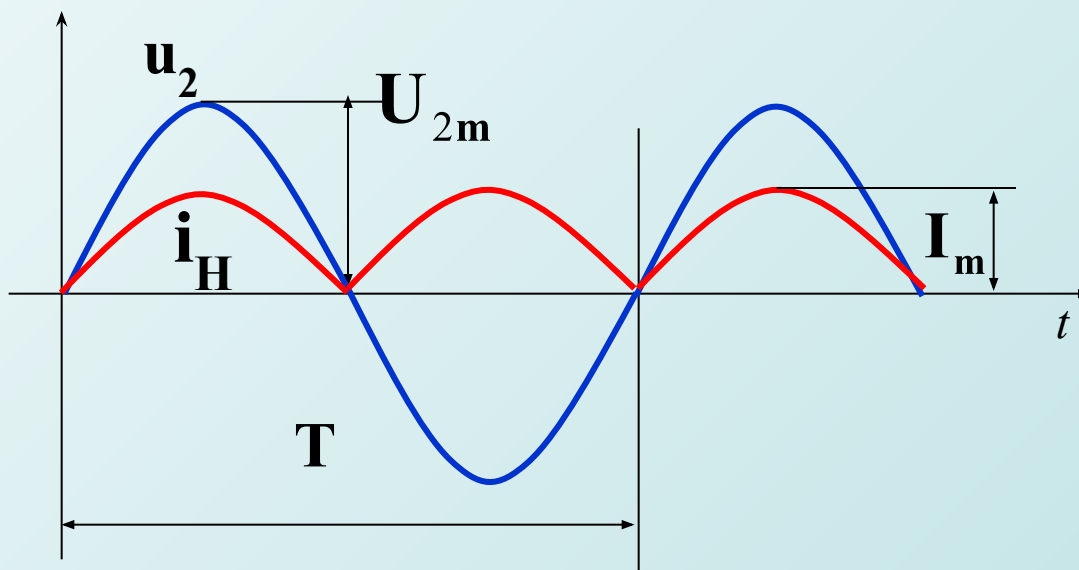
Преимущества: меньше k , средние значения выпрямленных тока и напряжения в 2 раза больше.

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

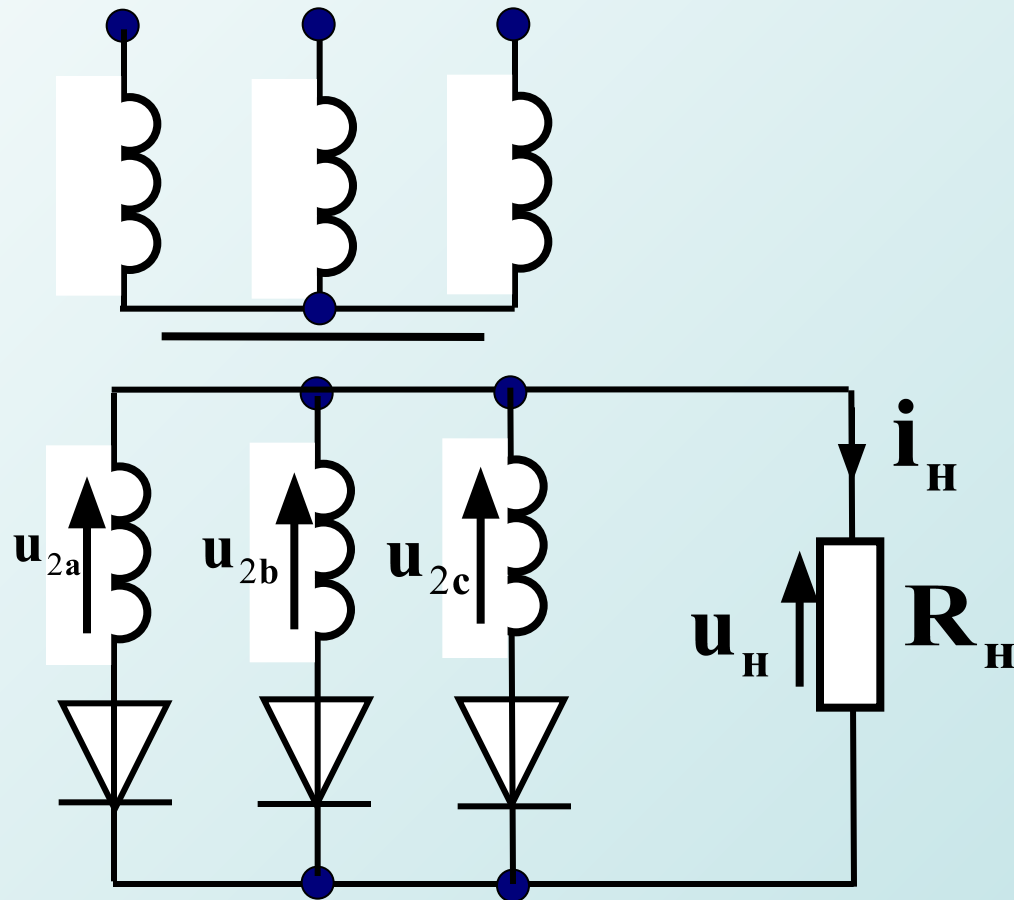
$$U_{\text{обр.макс}} = \pi \cdot U_{\text{н.ср}}$$

$$k = 0,67$$

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 :

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

$$I_{H.cp} = \frac{U_{H.cp}}{R_H}$$

- 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

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

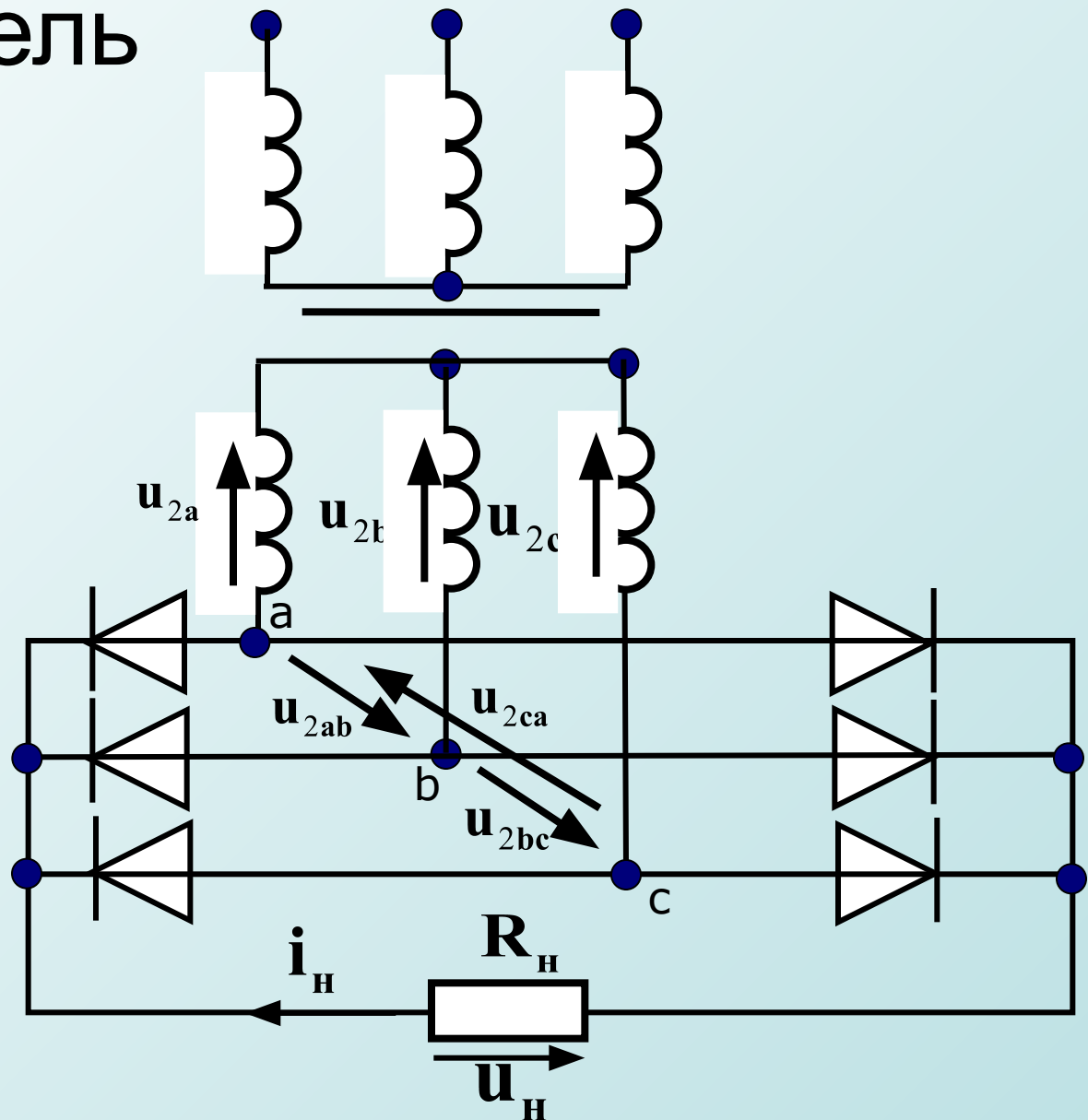
- Максимальное обратное напряжение на каждом закрытом диоде

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

- 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

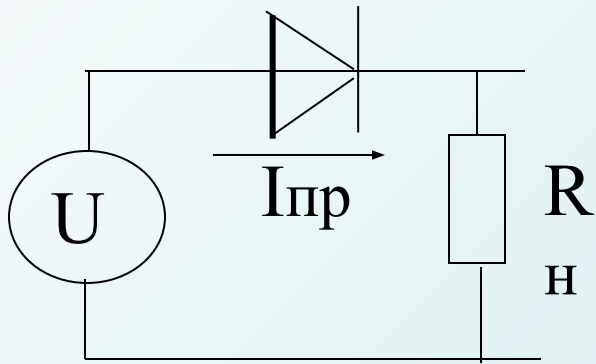
$$U_{\text{обр.мах}} = \sqrt{2} \cdot U_{2\text{л}} = \frac{\pi}{3} \cdot U_{\text{н.ср}} \approx 1.047 \cdot U_{\text{н.ср}}$$

- Максимальный прямой ток

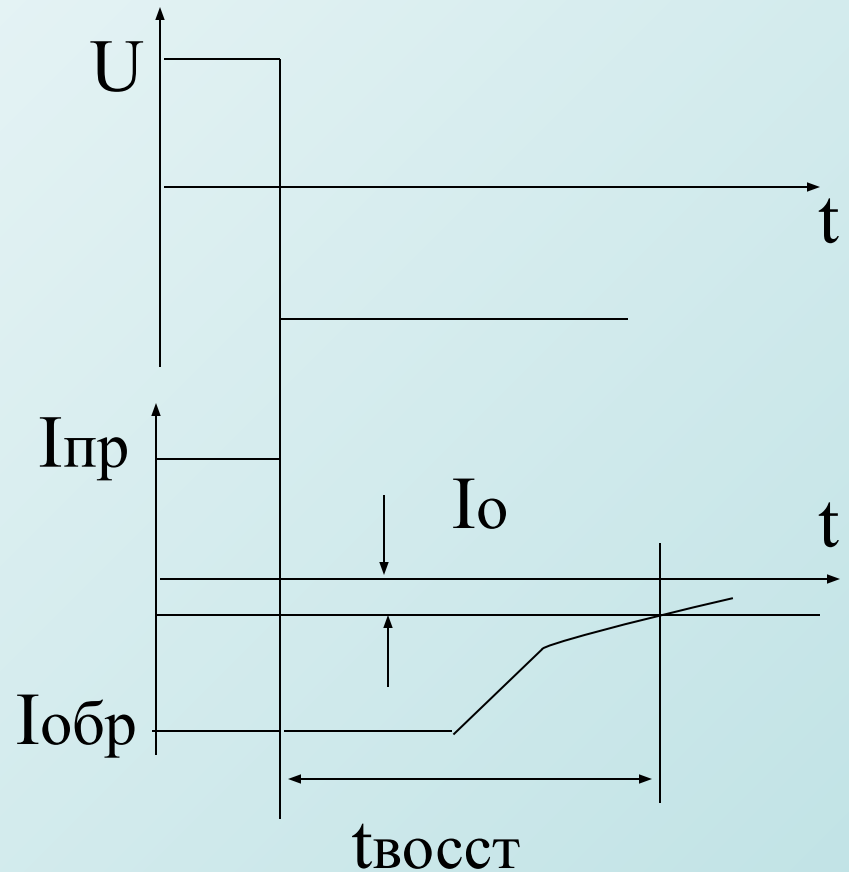
$$I_{\text{пр.мах}} = \frac{\pi U_{\text{н.ср}}}{3 R_{\text{н}}}$$

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.

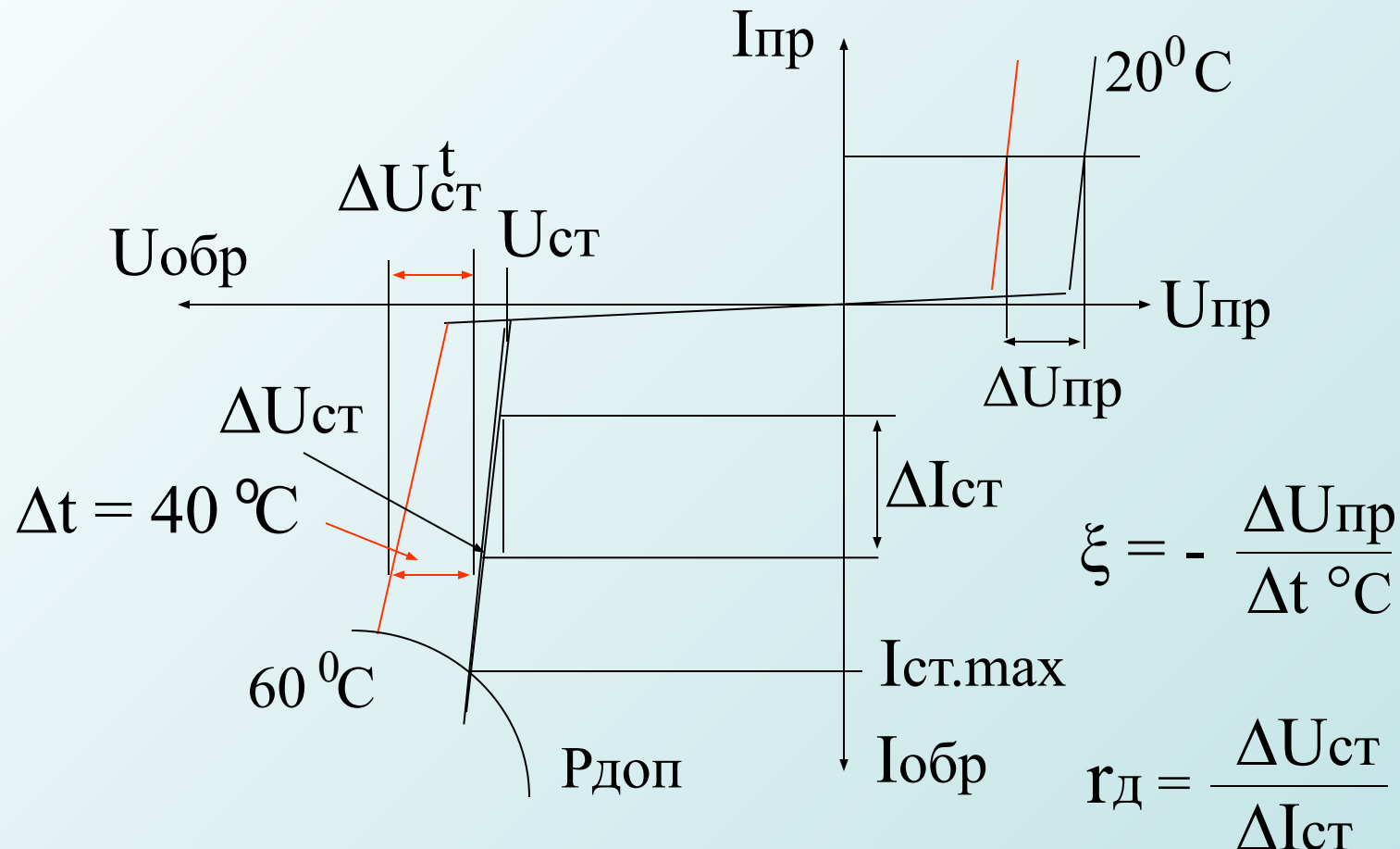
Стабилитроны используются также в качестве фиксаторов и ограничителей напряжения.

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

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

Стабилитроны

вольт-амперная характеристика



Стабилитроны

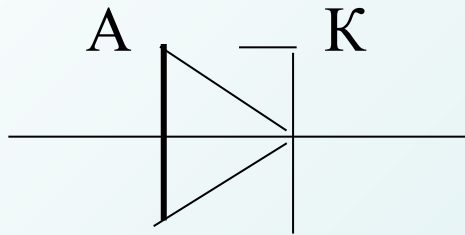
Основные параметры стабилитронов:

- $U_{ст}$ - 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

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

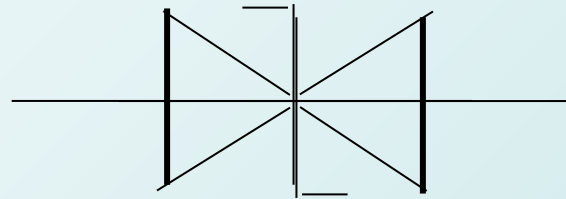
Стабилитроны

Обозначение стабилитронов



Односторонний

КС168А



Двусторонний

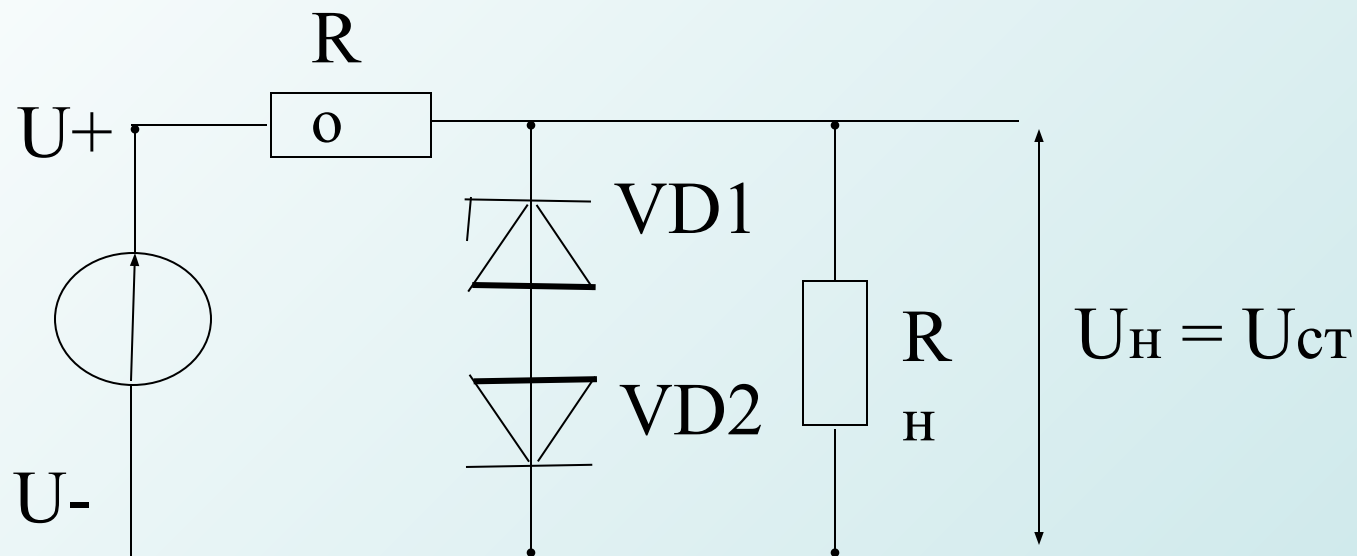
КС210Б

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

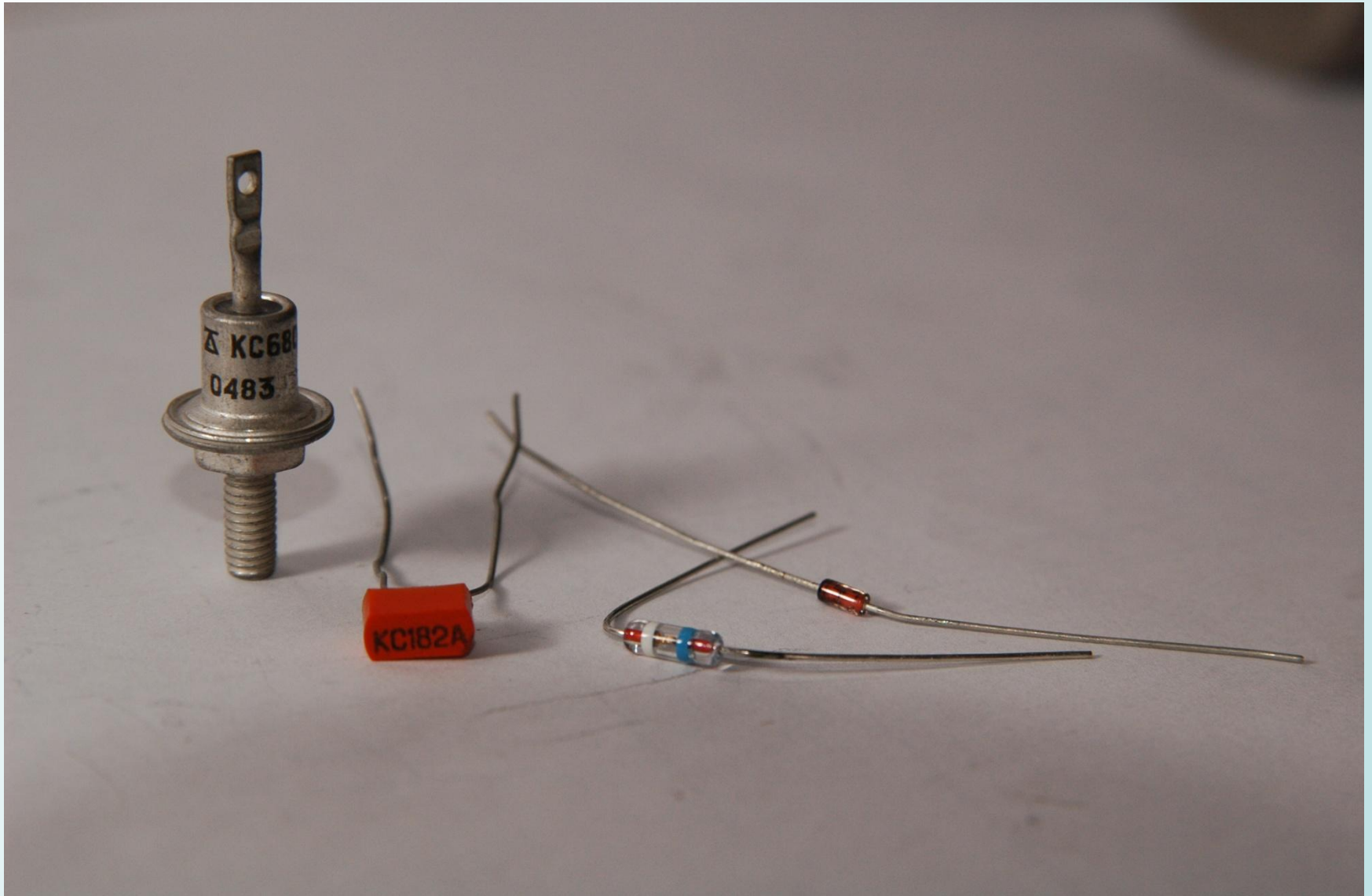
Стабилитроны применяются в схемах стабилизаторов напряжения.



$VD1$ - 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.

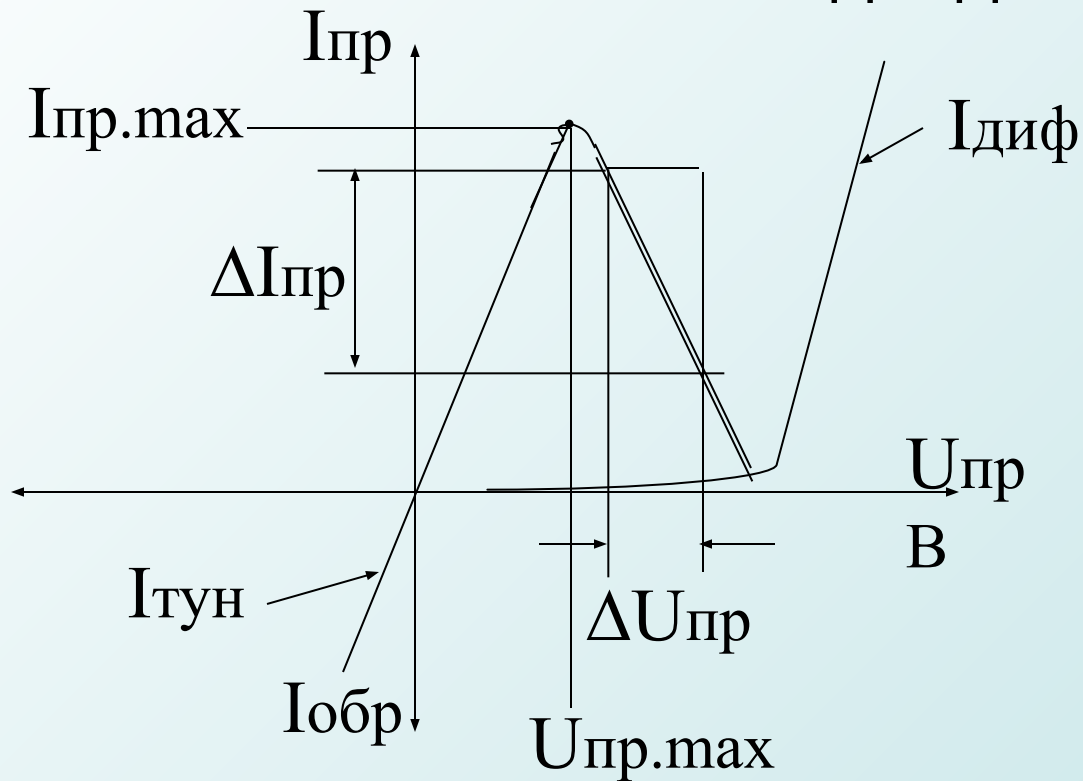
Заряды проходят в обоих направлениях, создавая ток диода.

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

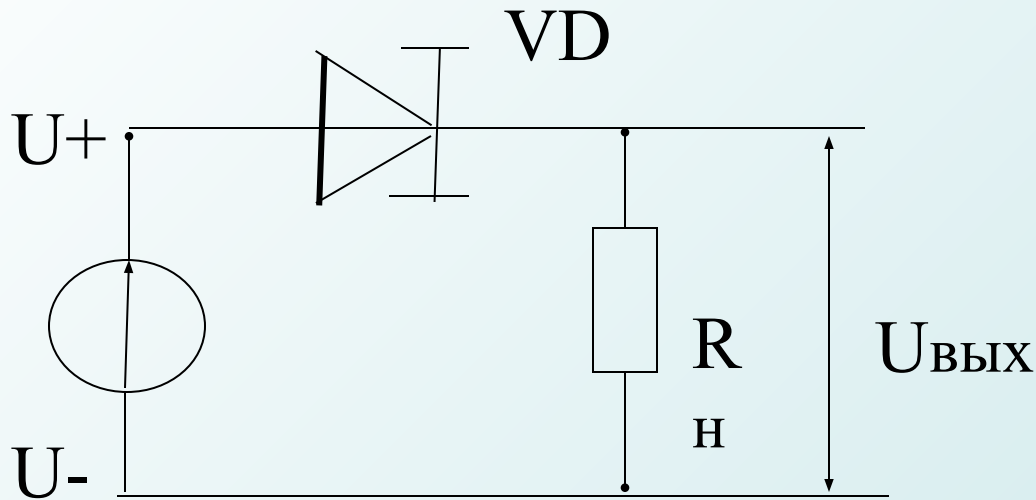
$$r_d = \frac{\Delta U_{пр}}{\Delta I_{пр}}$$

$I_{пр.мах}$, $I_{пр.мин.}$

$U_{пр.мах}$, $U_{пр.мин.}$

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.



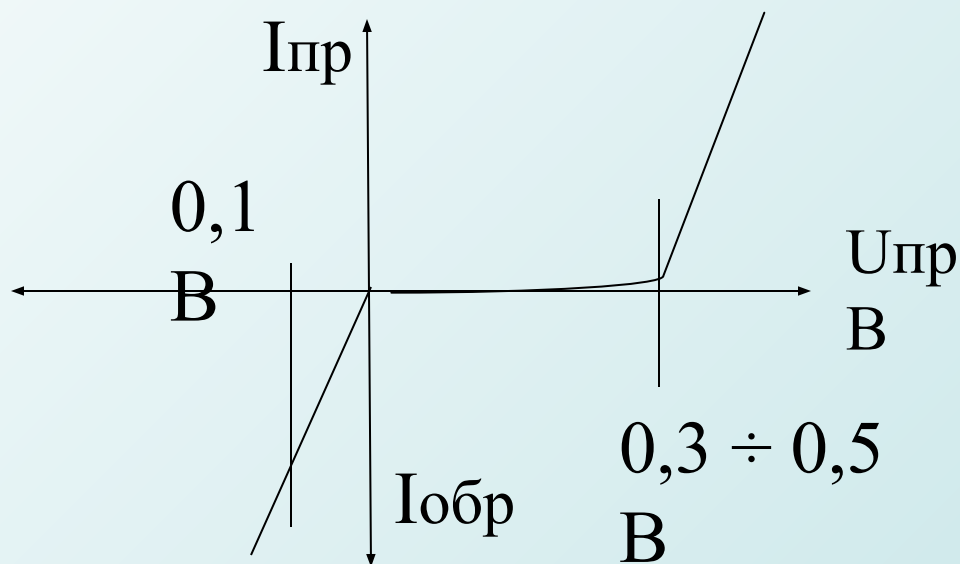
В переключательном режиме рабочая точка может находиться либо в точке **1**, либо в точке **2**.

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.

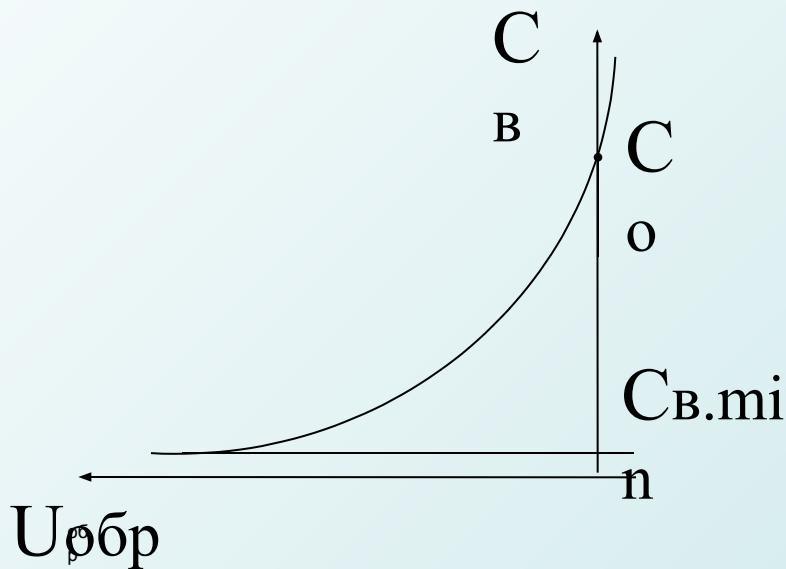


АИ402Д

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

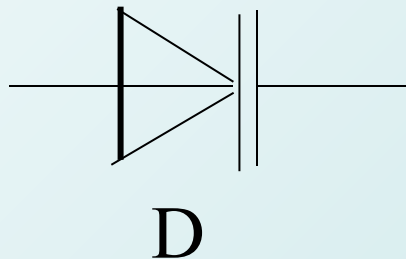
Емкость варикапа можно оценить

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

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

ψ_K – контактная разность потенциалов p-n-перехода.

Обозначение варикапов



КВ107А

К – на основе кремния,

В – варикап,

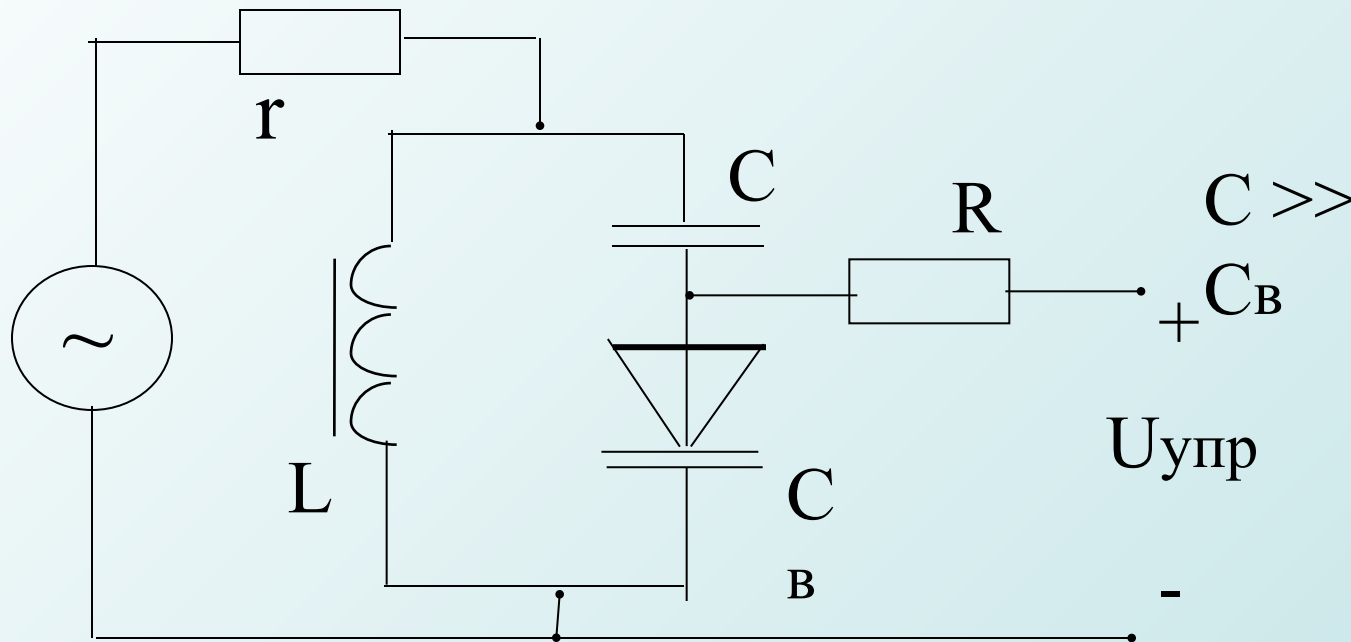
1 – подстроечный,

(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.

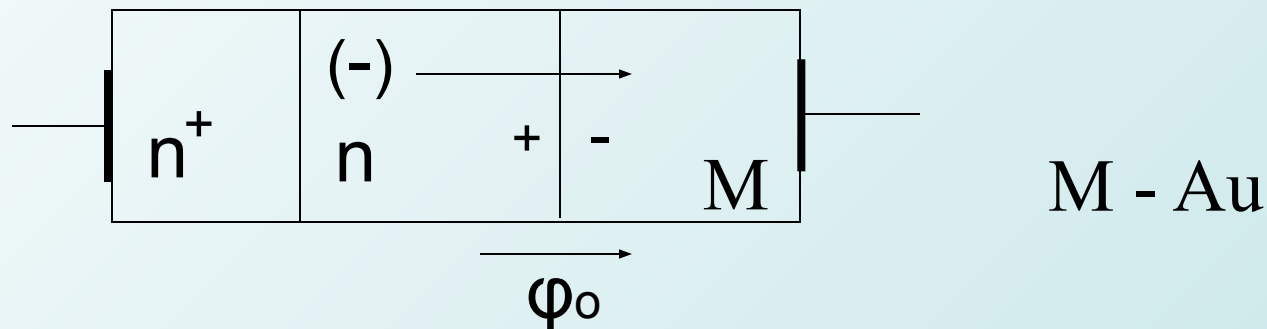


L и C образуют колебательный контур.

Резонансная частота контура изменяется под действием управляющего напряжения.

2.16 Диод с барьером Шоттки ДШ

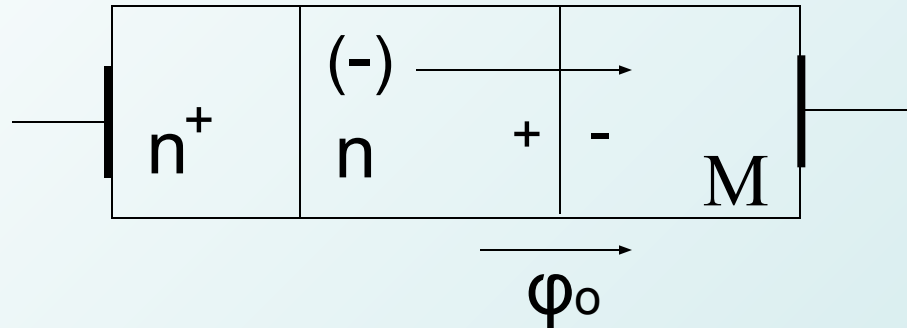
Диод основан на структуре $n^+ - n - M$.



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.

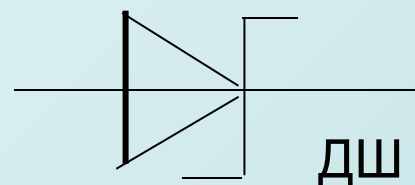
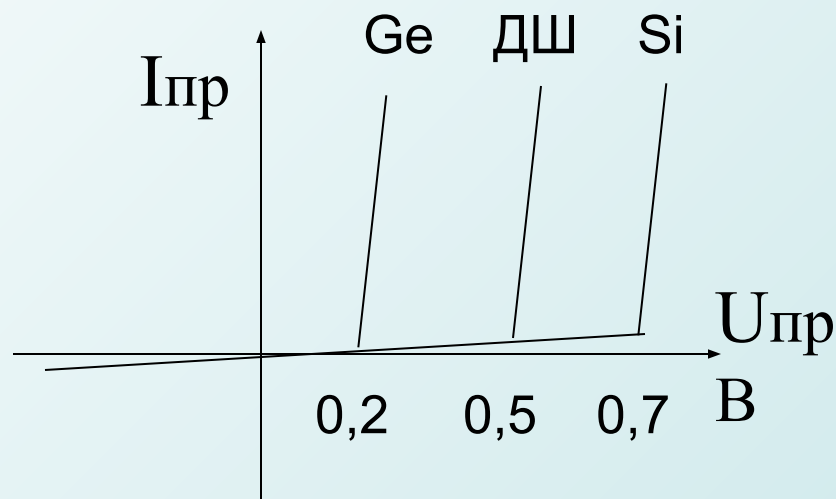
При прямом включении высота барьера уменьшается, число электронов увеличивается, увеличивается прямой ток.

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

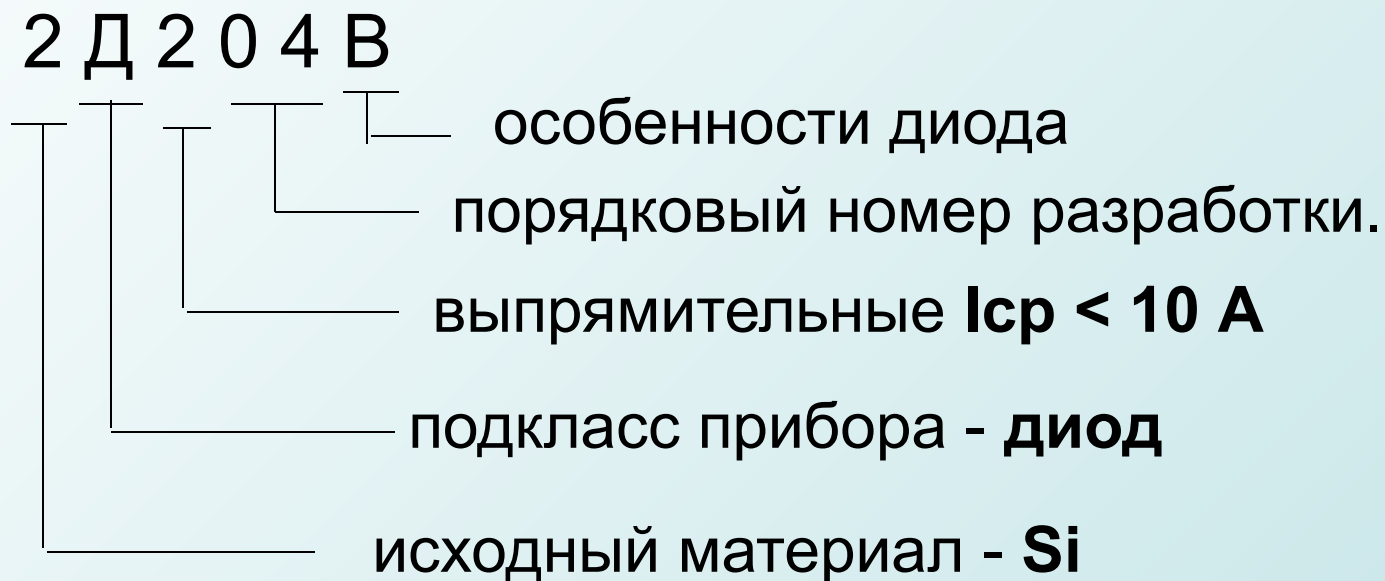
4-й и 5-й элементы – порядковый номер разработки.

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

