

# *ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ*

**НЕ ВКЛЮЧАТЬ!**  
работают люди

# СОДЕРЖАНИЕ

## **Электрические и магнитные цепи**

Электрические цепи постоянного тока.

Электромагнетизм.

Переменный ток.

## **Электротехнические устройства**

Электрические машины.

Электрические аппараты.

## **Электронные устройства и электрические измерения. Электросвязь и радиосвязь.**

Электронные приборы и устройства.

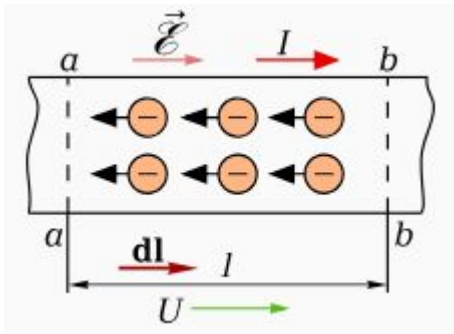
Электрические измерения и электроизмерительные приборы.

Электросвязь.

# Электрические цепи постоянного тока

**Электрический ток** – это направленное движение электрических зарядов по проводнику.

**Электрический ток в металлах** – это упорядоченное движение свободных электронов.



Принято считать направлением тока  $I$  направление движения положительных зарядов, т. е. направление, обратное направлению движения электронов в проводнике под воздействием электрического поля. Это направление показано стрелкой.

# Электрические цепи постоянного тока

$$I = \frac{q}{t}$$

**Сила тока** - это отношение электрического заряда  $q$  прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени его прохождения  $t$ .

За единицу силы тока принят «АМПЕР»

$$U = \frac{A}{q}$$

**Электрическое напряжение** - это отношению работы тока на данном участке  $A$  к электрическому заряду прошедшему по этому участку  $q$

За единицу напряжения принят «ВОЛЬТ»

# Электрические цепи постоянного тока

$$I = \frac{U}{R}$$

**Электрическое сопротивление.** Сила тока участка цепи  $I$  прямо пропорциональна напряжению  $U$  на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению  $R$ .

За единицу сопротивления принят «ОМ»

$$P = UI$$

**Мощность** — это физическая величина, которая равна отношению совершенной работы, что выполняется за некоторый промежуток времени.

**Электрическая мощность.** Это мощность, которая безвозвратно преобразуется в другие виды энергии — тепловую, световую, механическую и т.д.

За единицу мощности принят «ВАТТ»

# Электрические цепи постоянного тока

**Электрическая цепь** — это совокупность устройств, образующих замкнутый путь для электрического тока.

Электрическая цепь, или цепь постоянного тока, в общем случае содержит **источники** электрической энергии, **приемники** электрической энергии, измерительные приборы, аппараты автоматики и управления, соединительные линии и провода.

Графическое изображение электрической цепи называется **схемой**.

# Электрические цепи постоянного тока



**В источниках** электрической энергии осуществляется преобразование в электрическую энергию каких-либо других форм энергии, например энергии химических процессов в гальванических элементах и аккумуляторах, механической энергии в генераторах.

**В приемниках** электрической энергии электрическая энергия преобразуется, например, в механическую (двигатели постоянного тока), тепловую (электрические печи), световую (лампы).

# Электрические цепи постоянного тока

## ГЕНЕРАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ (Источник ЭДС)

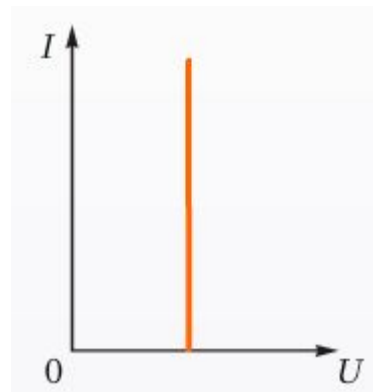
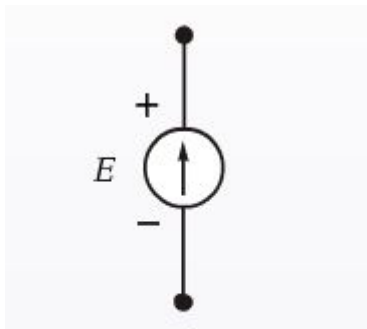
**Идеальные генераторы напряжения** — это генераторы, напряжение на выходе которых не зависит от параметров нагрузки.

**Реальные генераторы напряжения** — это генераторы, напряжение на выходе которых зависит от параметров нагрузки.

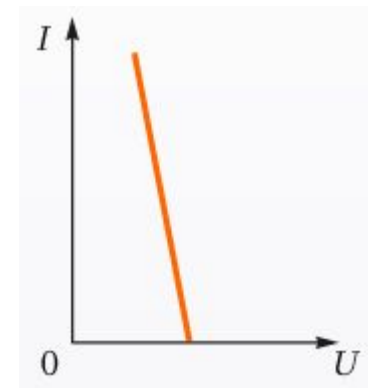
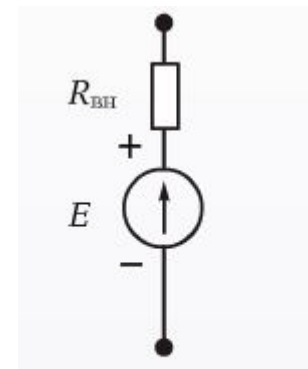
Идеальные генераторы напряжения имеют  $R_{вн} = 0$ , реальные генераторы напряжения —  $R_{вн} \neq 0$ , хорошие современные генераторы напряжения —  $R_{вн} < 1$  Ом.

Типовое значение для генераторов напряжения  $R_{вн} \approx 10-100$  Ом.

**Условные графические обозначения и вольтамперные характеристики генераторов напряжения:**



Идеальный генератор  
напряжения



Реальный генератор  
напряжения



# Электрическое сопротивление

- **Резистором** называют элемент электрической цепи, который преобразует энергию электрического тока в тепловую энергию.

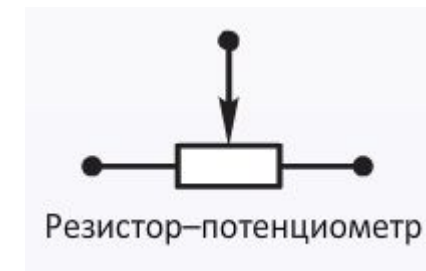
Основные параметры резисторов:

- Номинал (сопротивление)  $R$  (Ом) резистора.

- Рассеиваемая мощность  $P$  (Вт). 
$$P = IU = \frac{U^2}{R} = IR^2$$

- Допуск на номинал  $\delta$  (%).

## УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ РЕЗИСТОРОВ



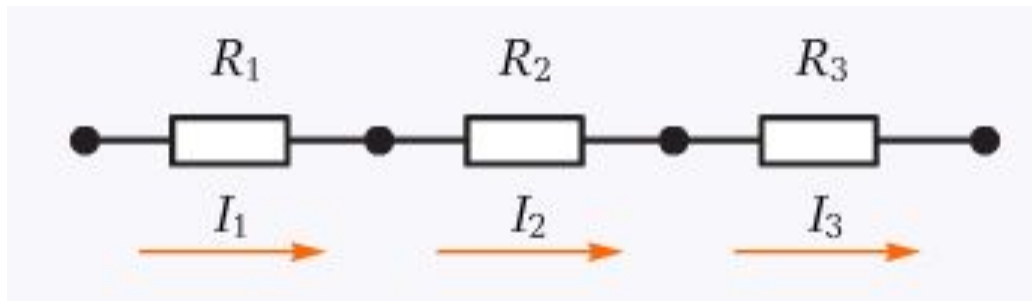
# Последовательное соединение резисторов

Соединение двух двухполюсных элементов считают **последовательным**, если они имеют только один общий контакт, называемый **узлом электрической цепи**.

При последовательном соединении двухполюсных элементов сила тока, протекающего через каждый элемент, имеет одно и то же значение.

Фрагмент электрической цепи, состоящий только из последовательно соединенных элементов, называют **ветвью электрической цепи**.

Пример изображения **последовательного соединения резисторов**:



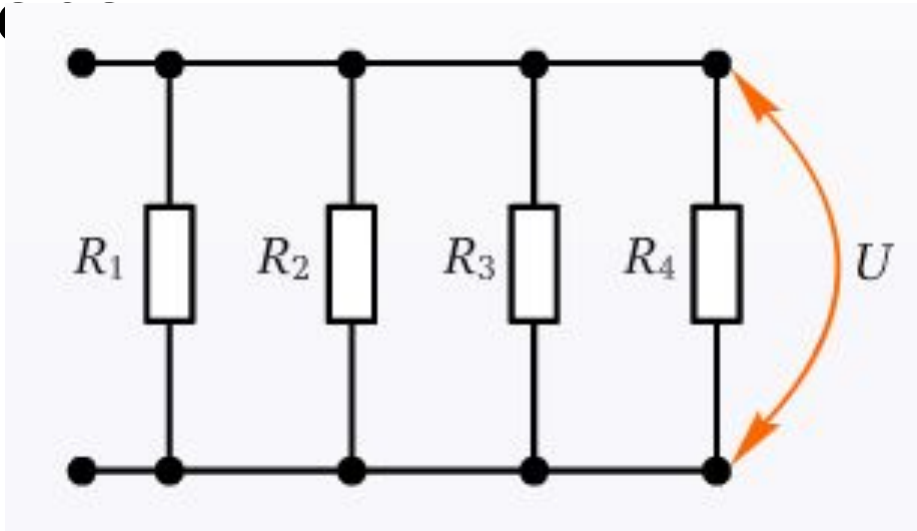
$$I_1 = I_2 = I_3$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = R_1 + R_2 + R_3$$

# Параллельное соединение резисторов

Соединение резисторов называют **параллельным**, если резисторы имеют два общих контакта, называемых **узлами электрической цепи**. При параллельном соединении резисторов напряжение, приложенное к каждому элементу, имеет одно и то же значение.

Пример изображения **параллельного соединения четырёх резисторов**



$$U_1 = U_2 = U_3 = U_4$$

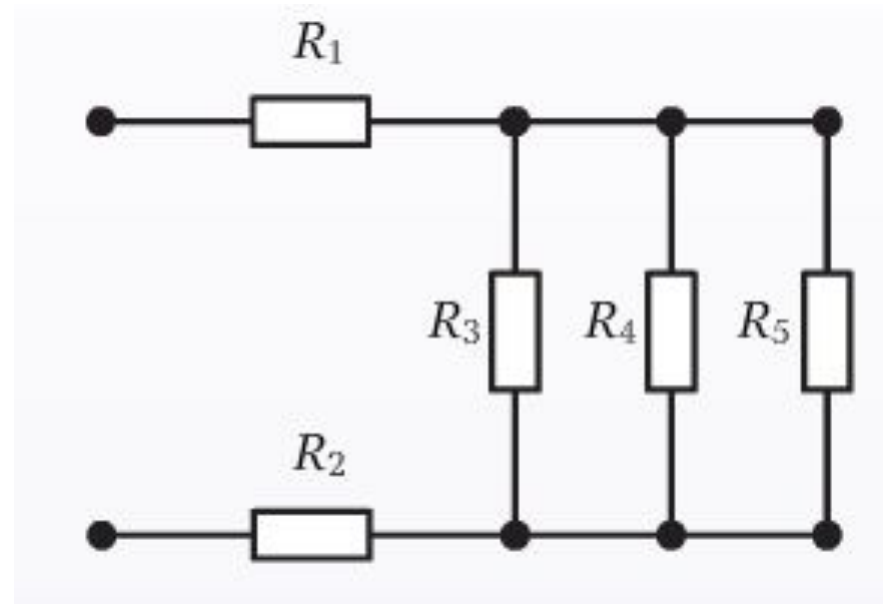
$$\frac{1}{R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \text{ (для двух резисторов)}$$

# Смешанное соединение резисторов

Соединение резисторов называют **смешанным**, если параллельно соединяют две (или более) ветви электрической цепи, содержащие последовательно соединенные элементы, либо если ветвь содержит параллельное соединение элементов.

Пример изображения **смешанного соединения резисторов**:



# Основные законы электротехники

В теории цепей существует всего два типа задач: прямая и обратная.

**Цель задач прямого типа** — определение параметров цепи (силы тока и падения напряжения на элементах цепи) по известным параметрам (номиналам) элементов цепи.

**Цель задач обратного типа** — определение параметров (номиналов) элементов цепи по известным параметрам (силе тока и падению напряжения) на различных участках цепи.

Оба типа задач для электрических цепей постоянного тока решают с помощью основных законов электротехники: **закона Ома** и **двух законов Кирхгофа**.

# Закон Ома

Закон Ома существует в двух формулировках: для полной (замкнутой) цепи и для участка цепи.

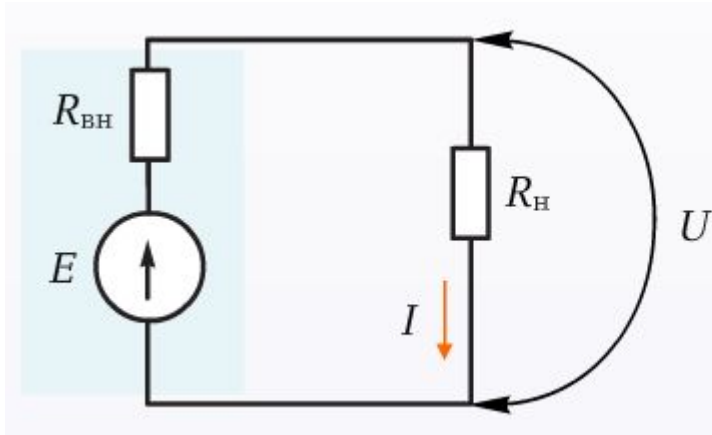
## Формулировка закона Ома для полной (замкнутой) цепи:

Сила тока  $I$  в замкнутой цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе  $E$  (ЭДС), действующей в этой цепи, и обратно пропорциональна сумме сопротивлений резистора внутреннего источника ЭДС  $R_{\text{вн}}$  и резистора нагрузки  $R_{\text{н}}$ .

$$I = \frac{E}{R_{\text{вн}} + R_{\text{н}}}$$

## Формулировка закона Ома для участка цепи:

Сила тока  $I$  на участке электрической цепи прямо пропорциональна падению напряжения  $U$  на этом участке и обратно пропорциональна сопротивлению резистора этого участка  $R_{\text{н}}$ .

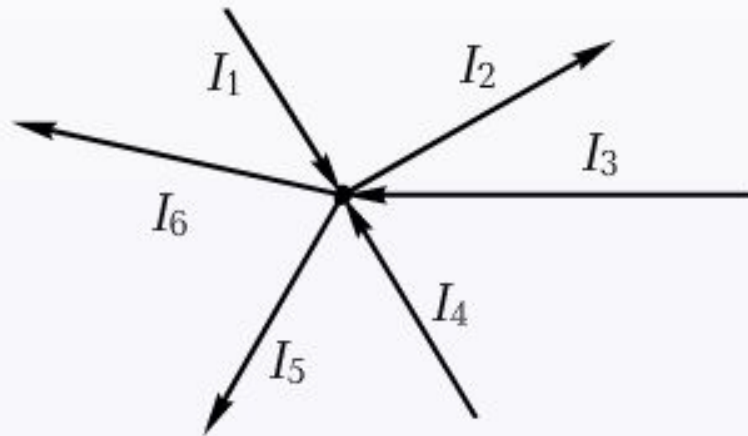


$$I = \frac{U}{R_{\text{н}}}$$

# Первый закон Кирхгофа

## Формулировка первого закона Кирхгофа:

В узле электрической цепи алгебраическая сумма токов  $I$ , равна нулю, при этом направление тока, втекающего в узел, принимают со знаком «плюс», а направление тока, вытекающего из узла, принимают со знаком «минус».



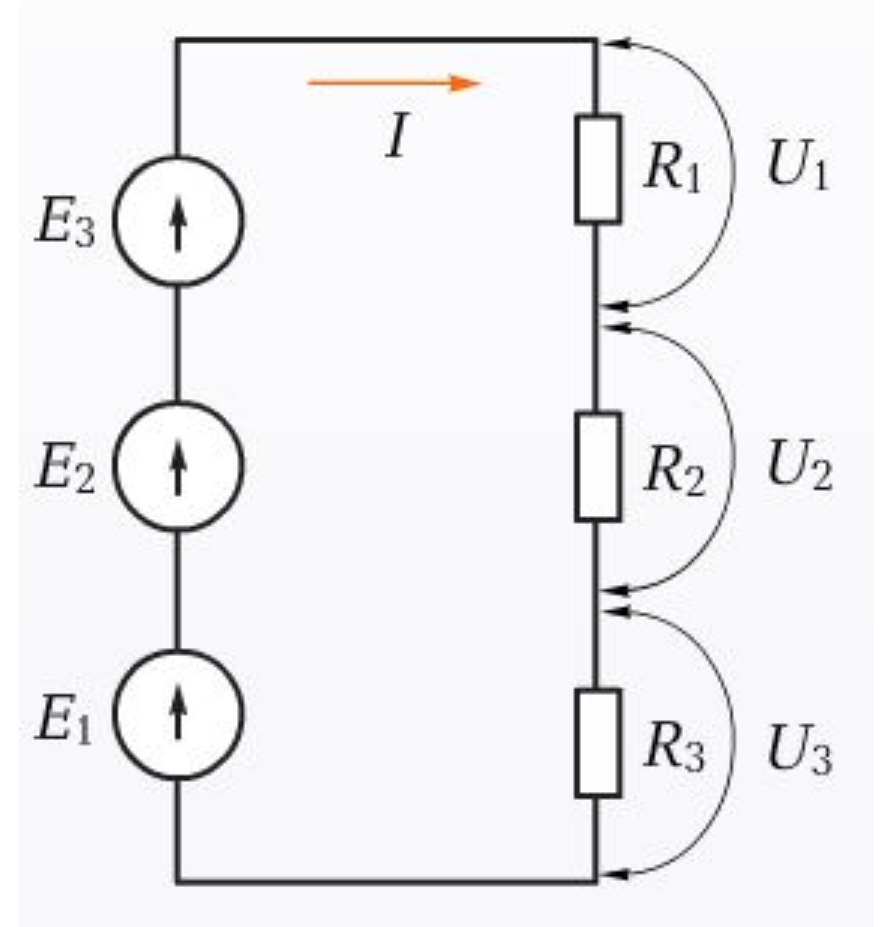
$$I_1 - I_2 + I_3 + I_4 - I_5 - I_6 = 0$$

$$\sum I_i = 0$$

# Второй закон Кирхгофа

## Формулировка второго закона Кирхгофа:

Алгебраическая сумма электродвижущих сил  $E_i$ , которые действуют в замкнутом контуре, содержащем пассивные элементы, равна алгебраической сумме падений напряжений  $U_j$  на пассивных элементах, которые эти ЭДС вызывают.





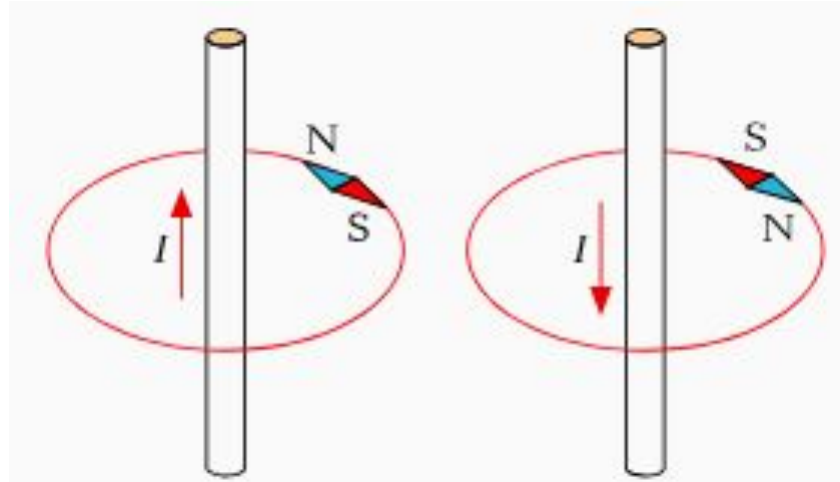
# Основные методы расчета электрических цепей

1. Применение закона Ома и законов Кирхгофа для расчетов электрических цепей.
2. Метод эквивалентного преобразования схем.
3. Метод узловых потенциалов.
4. Метод контурных токов.
5. Принцип и метод наложения (суперпозиции).
6. Метод эквивалентного генератора.

# Электромагнетизм

Вокруг любого проводника с током есть магнитное поле.

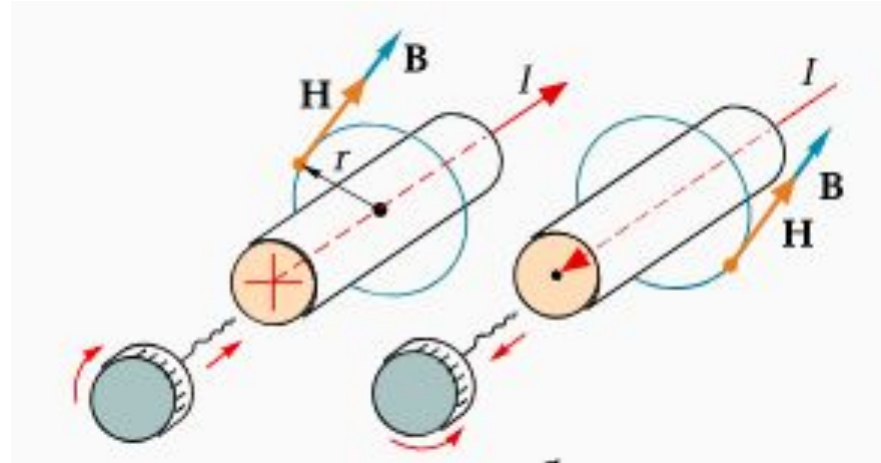
Если к прямолинейному проводнику с постоянным током  $I$  поднести магнитную стрелку, то стрелка установится по направлению касательной к окружности вокруг оси проводника.



Ориентация магнитной стрелки в определенном направлении означает, что в магнитном поле действуют магнитные силы, определяемые вектором **магнитной напряженности  $H$** . Для большей наглядности пространственное распределение и направление действия магнитных сил поля представляется совокупностью замкнутых **магнитных, или силовых линий**.

# Электромагнетизм

Направление силовых линий магнитного поля прямолинейного проводника с током определяют по правилу буравчика.



**Правило буравчика** можно сформулировать следующим образом: при поступательном движении буравчика в направлении тока направление вращения его рукоятки совпадает с направлением силовых линий магнитного поля тока.

# Электромагнетизм

Напряженность магнитного поля изменяет магнитное состояние вещества, в котором находится проводник с током. Элементарные источники магнитного поля (токи атомов и молекул вещества) ориентируются подобно магнитной стрелке по направлению вектора напряженности  $H$ . Вещество **намагничивается**, а магнитное поле в нем определяется кроме вектора магнитной напряженности  $H$  еще и вектором **магнитной индукции**

$$B = \mu_r \mu_0 H = \mu_a H$$

где  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  Гн/м — **магнитная постоянная**;  $\mu_r$  — **относительная магнитная проницаемость** вещества (безразмерная величина);  $\mu_a = \mu_r \mu_0$  — **абсолютная магнитная проницаемость**. Для вакуума  $\mu_r = 1$ ,

Различают вещества диамагнитные ( $\mu_r < 1$ ), парамагнитные ( $\mu_r > 1$ ) и ферромагнитные ( $\mu_r \gg 1$ ).

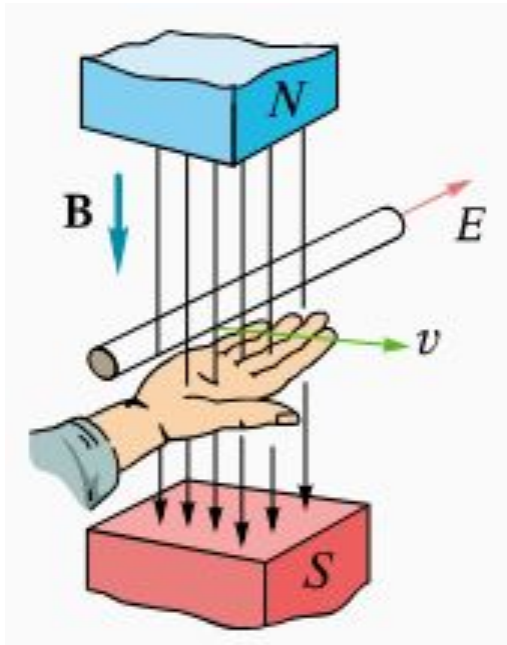
У последних относительная магнитная проницаемость значительно больше единицы и зависит от напряженности магнитного поля.

# Электромагнитная индукция

**Закон электромагнитной индукции:** в прямолинейном проводнике длиной  $l$ , расположенном в однородном магнитном поле перпендикулярно вектору магнитной индукции  $B$  и движущемся со скоростью  $v$ , индуцируется ЭДС, значение которой равно

$$E = Blv.$$

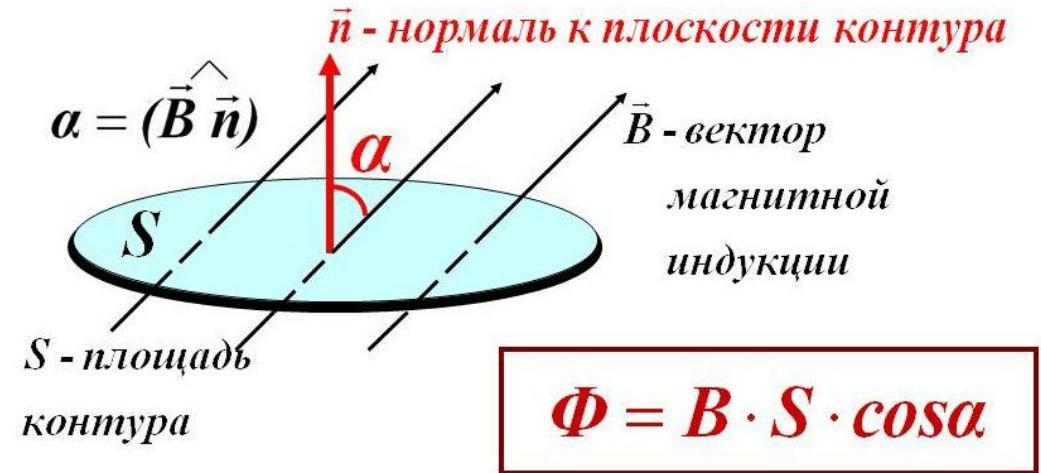
При этом направление ЭДС определяется правилом правой руки.



**Правило правой руки гласит:** нужно расположить ладонь навстречу направлению магнитных линий и направить большой палец по направлению движения проводника, тогда вытянутые четыре пальца укажут направление индуцированной в проводнике ЭДС.

# Электромагнитная индукция

**Магнитный поток  $\Phi$**  - физическая величина, численно равная произведению модуля магнитной индукции на площадь контура и на косинус угла между нормалью к контуру и вектором магнитной индукции.



Закон электромагнитной индукции можно выразить другой формулой: в замкнутом контуре, сцепленном с магнитным потоком  $\Phi$ , индуцируется ЭДС, значение которой равно

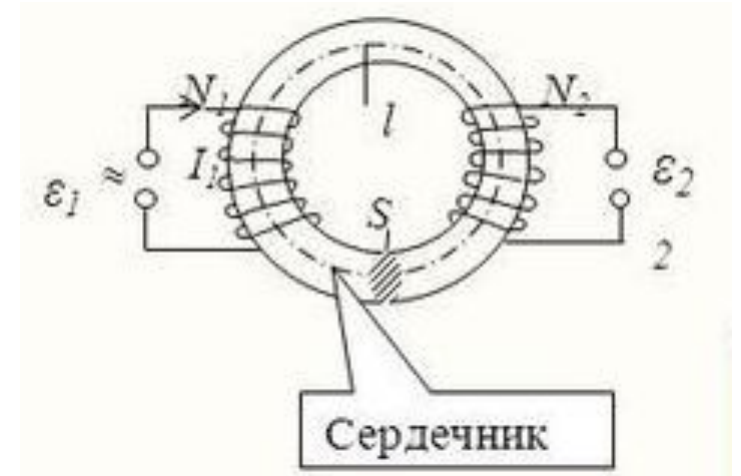
$$e = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

При этом направление ЭДС определяется **правилом буравчика**: при поступательном движении буравчика вдоль магнитных линий направление вращения его рукоятки определяет направление индуцированной ЭДС.

# Электромагнитная индукция

Явление возникновения ЭДС в одном из контуров при изменении силы тока в другом называется **взаимной индукцией**.

Явление взаимной индукции используется в широко распространенных устройствах - трансформаторах. На рисунке показана схема трансформатора.



**Самоиндукция** - это явление возникновения ЭДС индукции в контуре при изменении электрического тока в этом же контуре.

Самоиндукция является важным частным случаем электромагнитной индукции.

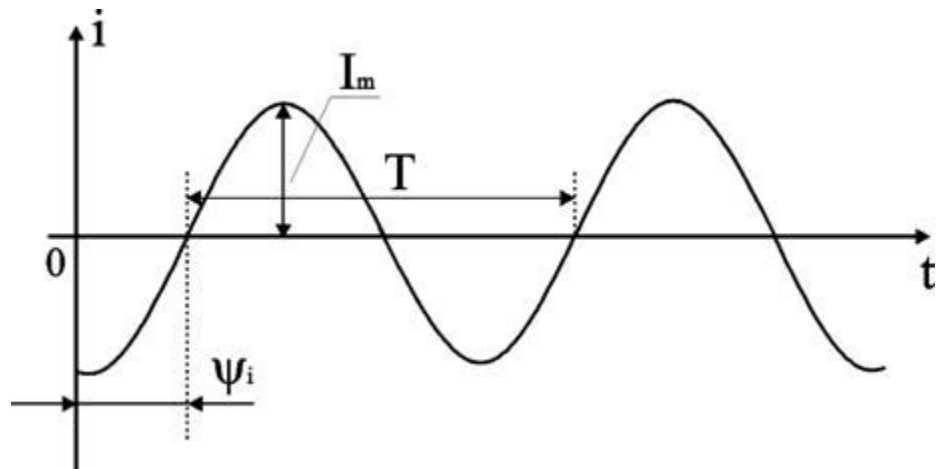
ЭДС самоиндукции возникает такого направления, что своим магнитным полем препятствует изменению магнитного поля текущего по контуру тока.

# Переменный ток

Ток, который протекает по цепи, меняя своё направление и величину, называется **переменным**.

Наибольшее распространение получил периодический синусоидальный переменный ток. Он меняется по закону кривой – «синусоиды», изменения эти повторяются через равные промежутки времени.

Временная диаграмма такого переменного тока представляет графическое изображение синусоидальной величины в заданном масштабе в зависимости от времени



для тока

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi_i),$$

для напряжения

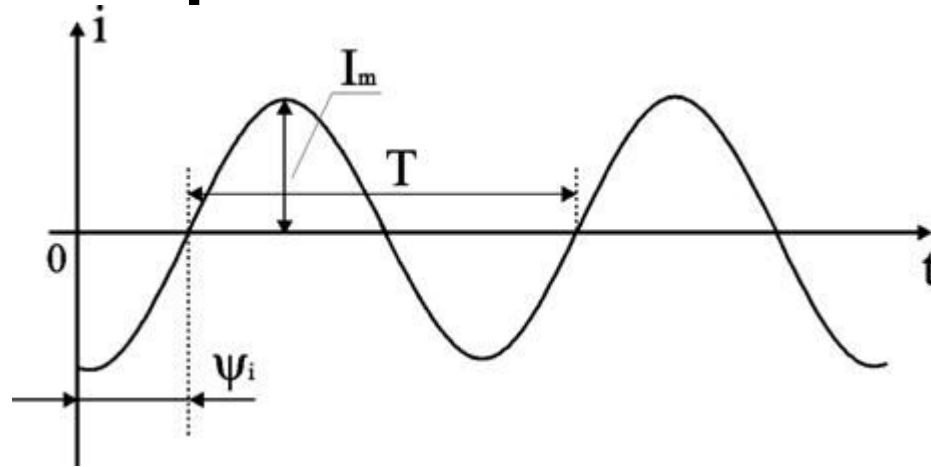
$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi_u),$$

для мощности

$$p(t) = P_m \sin(\omega t + \varphi_p).$$



# Переменный ток



Параметры переменного тока:

**Период** – время, в течение которого происходит полный цикл изменений тока, после чего изменения повторяются. Обозначается  $T$ , единицы изменения – секунды.

**Частота** – число периодов в одну секунду. Обозначается  $f$ , единицы изменения – Гц (одно колебание в секунду), кГц (1000 Гц), МГц (1000000 Гц).

**Частота** – величина, обратная периоду.  $f = 1/T$ .

**Амплитуда** – максимальное значение тока, напряжения или э.д.с. за время одного полного периода:  $I_{\max}$ ,  $U_{\max}$  или  $E_{\max}$ .

# Переменный ток

Для сравнения действий постоянного и переменного токов вводят понятие действующее значение переменного тока.

**Действующее значение** переменного тока численно равно такому постоянному току, при котором за время равное одному периоду в проводнике с сопротивлением  $R$  выделяется такое же количество тепловой энергии, как и при переменном токе.

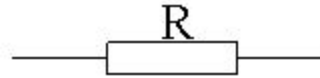
Для любой из синусоидальных величин действующее значение:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, P = \frac{P_m}{\sqrt{2}}$$

# Переменный ток

В цепях переменного тока выделяют следующие виды сопротивлений.

**Активное.** Активным называют сопротивление резистора. Условное обозначение



Единицей измерения сопротивления является Ом. Сопротивление резистора не зависит от частоты.

**Реактивное.** Различают три вида реактивных сопротивлений: индуктивное  $X_L$  и емкостное  $X_C$  и собственно реактивное.

Для индуктивного сопротивления  $X_L = \omega L$ . Единицей измерения индуктивного сопротивления также является Ом. Величина  $\omega L$  линейно зависит от частоты.

Для емкостного сопротивления  $X_C = 1 / \omega C$ . Единицей измерения емкостного сопротивления является Ом. Величина  $X_C$  зависит от частоты по обратно-пропорциональному закону.

Просто реактивным сопротивлением цепи называют величину  $X = X_L - X_C$ .

# Переменный ток

Полным сопротивлением цепи называют величину

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Из этого соотношения следует, что сопротивления  $Z$ ,  $R$  и  $X$  образуют треугольник:  $Z$  – гипотенуза,  $R$  и  $X$  – катеты. Для удобства в этом треугольнике рассматривают угол  $\varphi$ , который определяют уравнением

$$\varphi = \arctg \left( \frac{X_L - X_C}{R} \right),$$

и называют углом сдвига фаз. С учетом него можно дать дополнительные связи

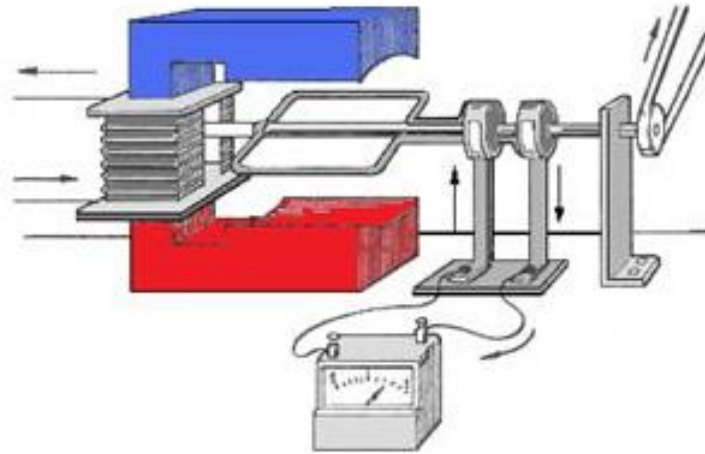
$$R = Z \cos \varphi ,$$

$$X = Z \sin \varphi .$$

- в цепи с активным сопротивлением ток совпадает по фазе с напряжением;
- в цепи с емкостью ток опережает напряжение на четверть периода;
- в цепи с индуктивностью ток отстает от напряжения на четверть периода

# Переменный ток

Переменный ток получают при помощи генераторов переменного тока с использованием явлений электромагнитной индукции.

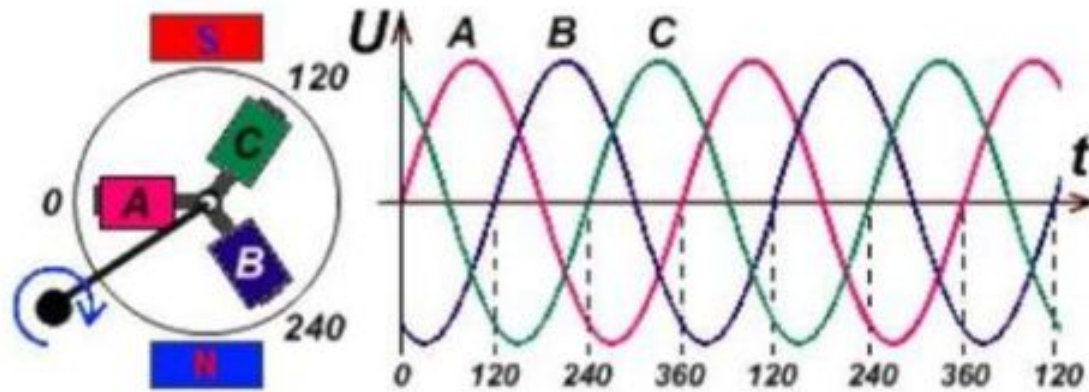
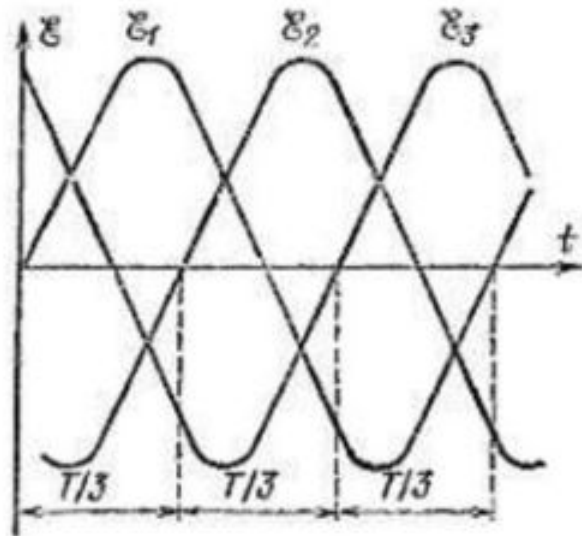


Принцип действия установки прост. Проволочная рамка вращается в однородном магнитном поле с постоянной скоростью. Концами рамка закреплена на кольцах, вращающихся вместе с ней. К кольцам плотно прилегают пружины, выполняющие роль контактов. Через поверхность рамки непрерывно будет протекать изменяющийся магнитный поток. Поток, создаваемый электромагнитом, останется постоянным. В рамке возникнет э.д. с. индукции.

# Переменный ток

## Трёхфазный ток

Трёхфазной системой электрических цепей называют систему, состоящую из трех цепей, в которых действуют переменные, ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые по фазе друг относительно друга на  $1/3$  периода ( $\varphi = 2\pi/3$ ). Каждую отдельную цепь такой системы коротко называют ее фазой, а систему трех сдвинутых по фазе переменных токов в таких цепях называют просто трехфазным током.



# Переменный ток

## Преимущества трёхфазной системы

1. Экономия на количестве проводов, необходимых для передачи электроэнергии.
2. Трёхфазные трансформаторы, при равной мощности с однофазными, имеют значительно меньшие размеры магнитопровода. Что позволяет получить существенную экономию.
3. Возможность создать чрезвычайно простые и надёжные трёхфазные электродвигатели.
4. Возможность получения в трёхфазных сетях двух рабочих напряжений.
5. Возможность значительного уменьшения мерцаний и стробоскопического эффекта светильников на люминесцентных лампах путём размещения в светильнике трёх ламп, питающихся от разных фаз.

# Электрические машины

**Электрические машины** — это устройства преобразующие механическую энергию в электрическую и наоборот, а так же машины преобразующую электрическую энергию одних параметров в электрическую энергию других параметров.

Машина, преобразующая механическую энергию в электрическую, называется **генератором**, а машина, преобразующая электрическую энергию в механическую, называется **двигателем**.

Электрические машины делятся на **машины постоянного и переменного тока**. Машины переменного тока могут быть, как одно-, так и многофазными.



# Электрические машины

**Принцип действия электрических машин** основан на законах электрических и магнитных явлений: законе электромагнитной индукции и законе Ампера.

Сущность закона электромагнитной индукции применительно к электрической машине состоит в том, что при движении проводника в магнитном поле в направлении, перпендикулярном вектору магнитной индукции  $B$ , в нем индуцируется ЭДС

Если же проводник замкнуть, то в этом проводнике появится электрический ток  $I$ . В результате взаимодействия этого тока с внешним магнитным полем на проводник начнет действовать электромагнитная сила, которая определяется по закону Ампера

# Электрические машины

Различие электромашин по принципу действия

**Асинхронные** – с отличающимися друг от друга частотами вращения ротора и магнитного поля, которое образуется в воздушной прослойке;

**Синхронные** – в них частота вращения магнитного поля и ротора абсолютно одинакова;

**Постоянного тока** – агрегат, который получает питание от постоянного тока, он оснащен коллектором;

**Специальные** – трансформаторы, инверторы сельсины.

# Электрические аппараты

**Электрический аппарат** представляет собой устройство необходимое для осуществления операций запуска и отключения цепей электрического тока. Это оборудование требуется для выполнения функций по контролю, защите и управлению различными установками, служащими для передачи, преобразования, распределения и потребления электрической энергии.

**Предохранитель** — коммутационный электрический аппарат, предназначенный для отключения защищаемой цепи размыканием или разрушением специально предусмотренных для этого токоведущих частей под действием тока, превышающего определённое значение.



# Электрические аппараты

**Автоматические воздушные выключатели** - электрический аппарат, который способен включать, проводить и отключать электрический ток. Автоматическое отключение электрической цепи происходит при перегрузках и коротком замыкании. Отключение токов перегрузки и короткого замыкания автоматическим выключателем должно производиться в соответствии с заданными времятоковыми характеристиками.



# Основы зонной теории твердого

Тела

Вещества в зависимости от характера действия на них электрического поля подразделяют на **проводники**, **диэлектрики** и **полупроводники**. Свойства веществ и материалов и поведение их в электрическом поле определяются строением и расположением атомов.

В нормальном состоянии **атом электрически нейтрален**, так как число протонов, входящих в состав ядра атома, равно числу электронов, вращающихся вокруг ядра и образующих электронную оболочку атома. Физические и химические свойства атомов во многом определяются строением внешнего электронного уровня, в частности количеством электронов на внешнем уровне (их называют **валентными электронами**).

# Основы зонной теории твердого тела



Зонные энергетические диаграммы полупроводников, диэлектриков и проводников

- Диапазон энергии, которому соответствует энергия электрона, участвующего в образовании ковалентной связи, называется **зоной валентности**, или **валентной зоной**.
- Диапазон энергий, которому соответствует энергия свободного электрона, называется **зоной проводимости**.
- Для того чтобы электрон, участвующий в образовании ковалентной связи, стал свободным, он должен получить энергию, большую ширины **запрещенной зоны**.

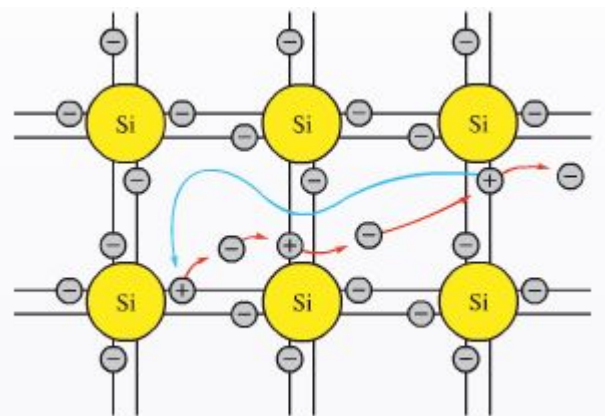
# Основы зонной теории твердого тела



Зонные энергетические диаграммы полупроводников, диэлектриков и проводников

В **проводниках** большое количество свободных электронов. В **диэлектриках** валентные электроны участвуют в образовании прочных ковалентных связей. **Полупроводники** имеют структуру, подобную структуре диэлектриков, однако ковалентные связи здесь гораздо слабее. Поэтому достаточно небольшого количества энергии  $E$ , получаемой из внешней среды (повышение температуры, освещение ультрафиолетовым светом, воздействие сильного электрического поля), чтобы ковалентные связи разорвались, и электроны полупроводника стали свободными.

# СТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ (ГЕРМАНИЯ)

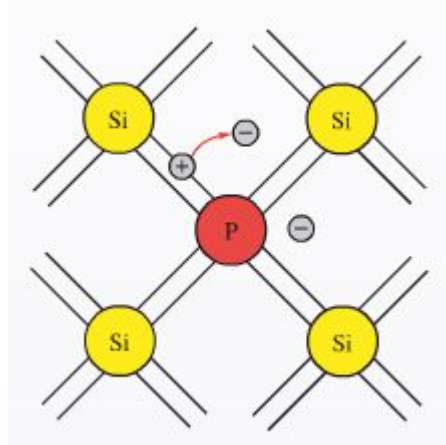


**Собственным полупроводником (полупроводником *i*-типа)** называют идеально химически чистый полупроводник с однородной кристаллической решеткой.

Если электрон получил энергию, большую ширины запрещенной зоны, ковалентная связь разрывается и электрон становится свободным. На его месте образуется вакансия, которая имеет положительный заряд, равный по величине заряду электрона. Эту вакансию называют



# ПРИМЕСНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ



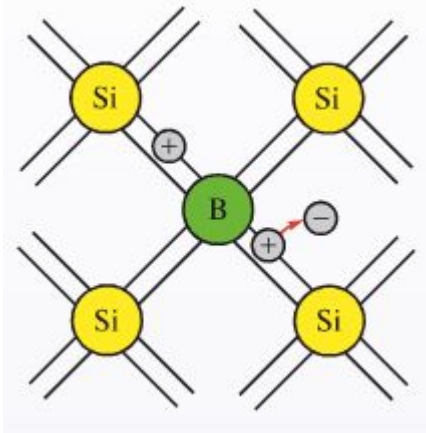
Если в полупроводник ввести пентавалентную примесь, то четыре валентных электрона атома примеси образуют четыре ковалентные связи с атомами полупроводника, а пятый электрон атома примеси останется свободным. Поэтому концентрация свободных электронов  $n_i$  будет превышать концентрацию дырок  $p_i$ .

- Примесь, благодаря которой концентрация свободных электронов превышает концентрацию дырок, называют **донорной примесью**.

- Полупроводник, в котором концентрация свободных электронов превышает концентрацию дырок, называют **полупроводником с электронным типом проводимости**, или **полупроводником n-типа**.

В полупроводнике n-типа **электроны считаются основными носителями заряда**, а дырки — основными

# ПРИМЕСНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

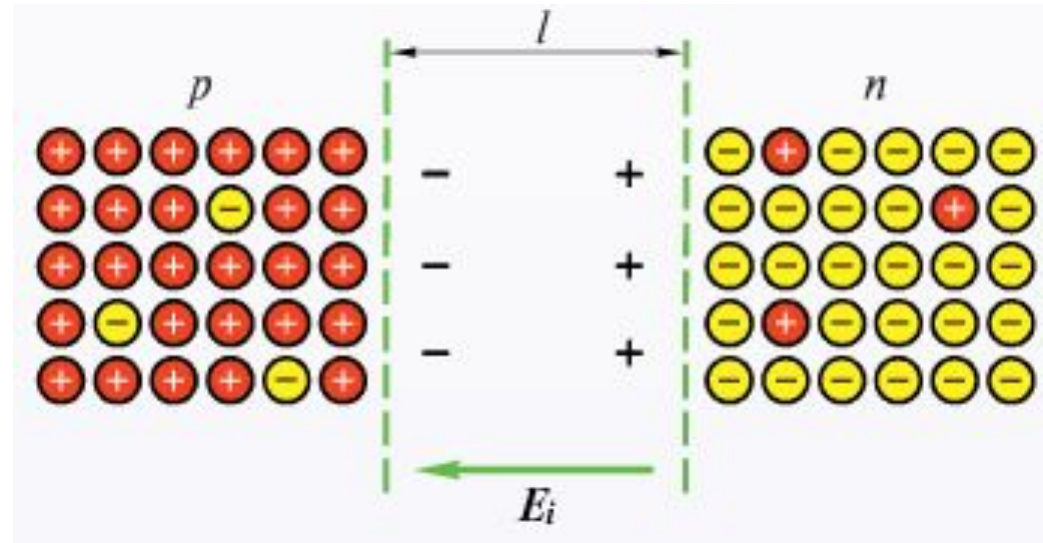


Если в полупроводник ввести трехвалентную примесь, то три валентных электрона атома примеси образуют три ковалентные связи с атомами полупроводника, а четвертая ковалентная связь, существовавшая в полупроводнике до введения примеси, окажется невосстановленной, т.е. образуется дырка. В результате этого концентрация дырок  $p_i$  будет больше концентрации электронов  $n_i$ .

- Примесь, благодаря которой концентрация дырок больше концентрации электронов, называют **акцепторной примесью**.
- Полупроводник, в котором концентрация дырок больше концентрации электронов, называют **полупроводником с дырочным типом проводимости**, или **полупроводником  $p$ -типа**.

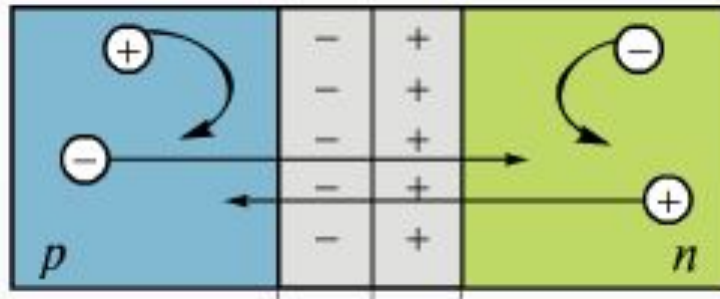
В полупроводнике  $p$ -типа дырки считаются основными носителями заряда, а электроны — основными носителями

# ПОНЯТИЕ ОБ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОМ ПЕРЕХОДЕ



В подавляющем большинстве полупроводниковых устройств, используемых в настоящее время в технике, главной частью является контакт двух примесных полупроводников, обладающих различным типом проводимости, — так называемый **электронно-дырочный переход**, или ***p-n*-переход**.

# ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЙ ПЕРЕХОД

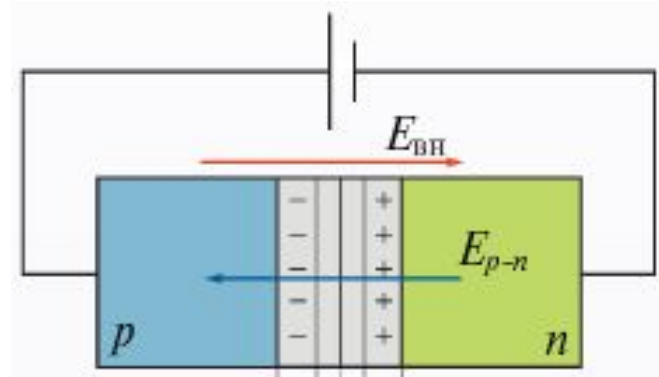


Из-за неравномерной концентрации заряженных частиц на границе раздела полупроводников  $p$ - и  $n$ -типа возникает **диффузионный ток**, за счет которого электроны из  $n$ -области переходят в  $p$ -область, а на их месте остаются некомпенсированные заряды положительных ионов донорной примеси.

Электроны, приходящие в  $p$ -область, рекомбинируют с дырками, и возникают некомпенсированные заряды отрицательных ионов акцепторной примеси. Ширина  $p$ - $n$ -перехода составляет  $\approx 10^{-7}$  м.

На границе раздела возникает **внутреннее электрическое поле  $p$ - $n$ -перехода**, тормозящее основные носители заряда и отбрасывающее их от границы раздела.

# ПРЯМОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОГО ПЕРЕХОДА

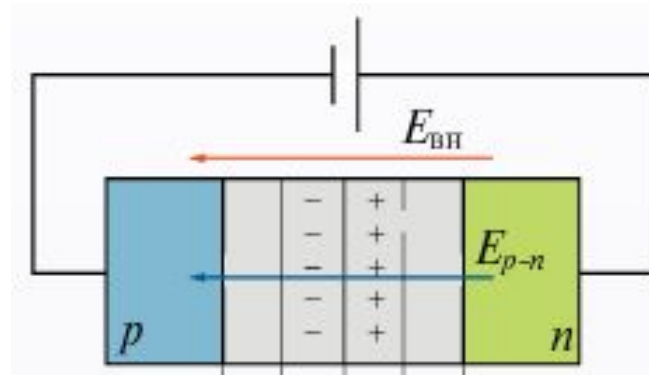


Приложим внешнее напряжение  $E_{вн}$  **плюсом** к  $p$ -области. Внешнее электрическое поле направлено навстречу внутреннему полю  $p$ - $n$ -перехода, что приведет к уменьшению потенциального барьера. Основные носители заряда легко смогут преодолеть потенциальный барьер, и поэтому через  $p$ - $n$ -переход будет протекать сравнительно большой ток, вызванный основными носителями заряда.

Такое включение  $p$ - $n$ -перехода называют **прямым**, а ток через  $p$ - $n$ -переход, вызванный основными носителями заряда, называют **прямым током**.

Считают, что **при прямом включении  $p$ - $n$ -переход открыт**.

# ОБРАТНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОГО ПЕРЕХОДА



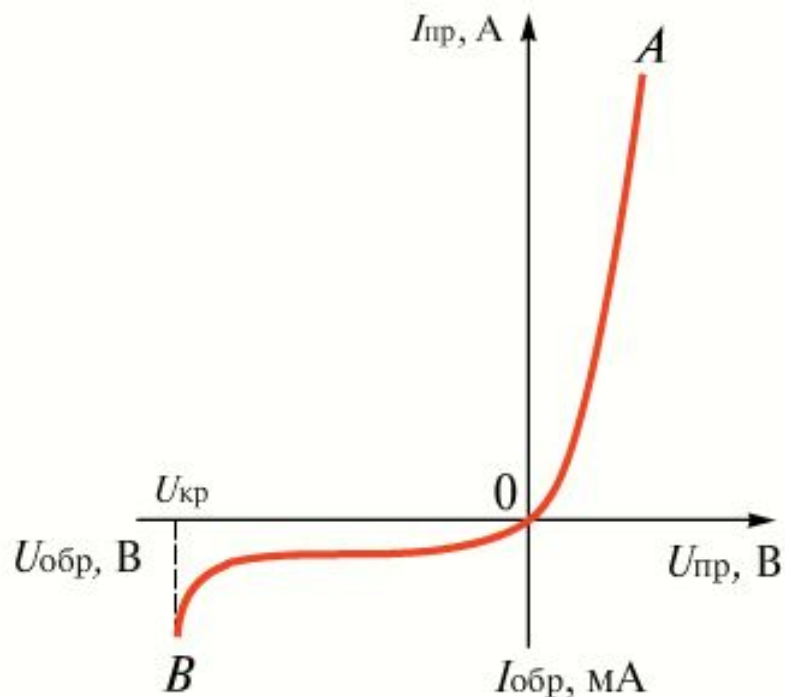
Если приложить внешнее напряжение  $E_{\text{вн}}$  **минусом** к  $p$ -области и плюсом к  $n$ -области, то возникнет внешнее электрическое поле, линии напряженности которого будут совпадать с внутренним полем  $p$ - $n$ -перехода. В результате это приведет к увеличению потенциального барьера и ширины  $p$ - $n$ -перехода.

Основные носители заряда не смогут преодолеть  $p$ - $n$ -переход, и считается, что  **$p$ - $n$ -переход закрыт**. Оба поля — и внутреннее, и внешнее — являются ускоряющими для неосновных носителей заряда, поэтому неосновные носители заряда будут проходить через  $p$ - $n$ -переход, образуя очень маленький ток, который называют **обратным током**. Такое включение  $p$ - $n$ -перехода называют

# СВОЙСТВО ОДНОСТОРОННЕЙ ПРОВОДИМОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОГО ПЕРЕХОДА

Свойство односторонней проводимости  $p$ - $n$ -перехода продемонстрируем на примере вольтамперной характеристики  $p$ - $n$ -перехода.

Вольтамперная характеристика  $p$ - $n$ -перехода — это графически выраженная зависимость силы тока  $I$ , протекающего через  $p$ - $n$ -переход, от приложенного напряжения  $U$ :  $I = f(U)$ .



Будем считать прямое напряжение  $U_{пр}$  положительным, обратное  $U_{обр}$  — отрицательным.

Обратным током можно пренебречь, так как он во много раз меньше прямого тока.

Таким образом, можно считать, что  **$p$ - $n$ -переход проводит ток только в одну сторону.**

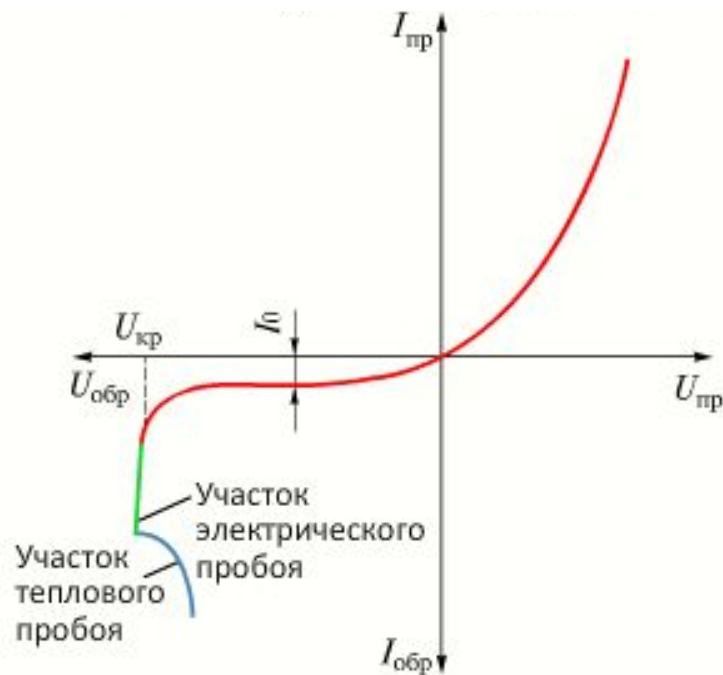
# ПРОБОЙ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОГО ПЕРЕХОДА

При достижении обратным напряжением некоторого критического значения  $U_{кр}$  обратный ток возрастает. Этот режим называется **пробоем  $p-n$ -перехода**.

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

**Электрический пробой** не опасен для  $p-n$ -перехода, так как при отключении источника обратного напряжения вентиляльные свойства электронно-дырочного перехода полностью восстанавливаются.

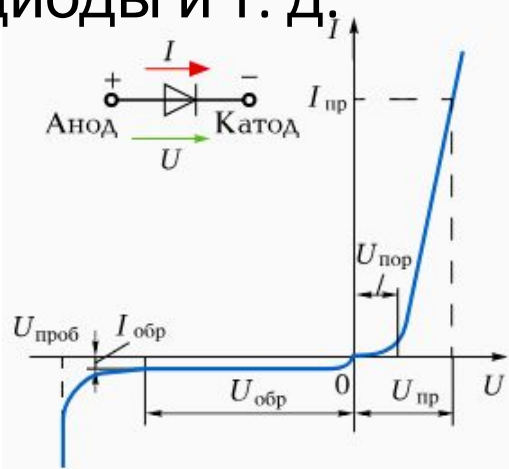
**Тепловой пробой** приводит к разрушению кристалла и является аварийным режимом. Тепловой пробой возникает при недостаточном охлаждении кристалла. В этом случае температура  $p-n$ -перехода повышается, что приводит к увеличению генерации носителей зарядов, увеличению тока и дальнейшему повышению температуры. В конечном счете кристалл разрушается.



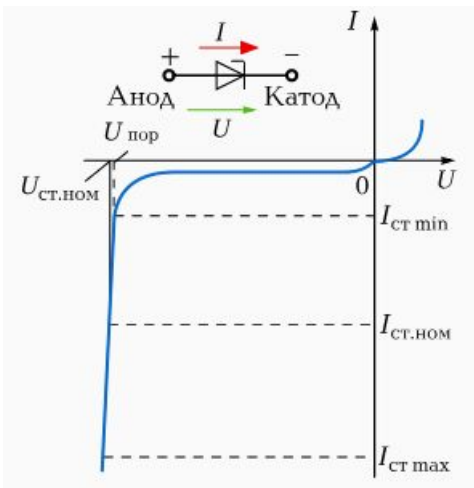


# Полупроводниковые диоды

По функциональному назначению различают полупроводниковые диоды выпрямительные, импульсные, стабилитроны, фотодиоды, светоизлучающие диоды и т. д.




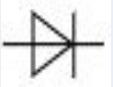

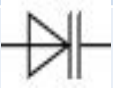
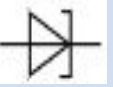
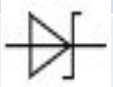


**Полупроводниковый выпрямительный диод** — это техническое устройство, содержащее один  $p-n$ -переход и два вывода, которое предназначено для преобразования переменного тока в постоянный.



**Стабилитроны**, предназначены для стабилизации постоянного напряжения. В этих диодах используется явление неразрушающего электрического пробоя  $p-n$ -перехода при некоторых значениях обратного напряжения

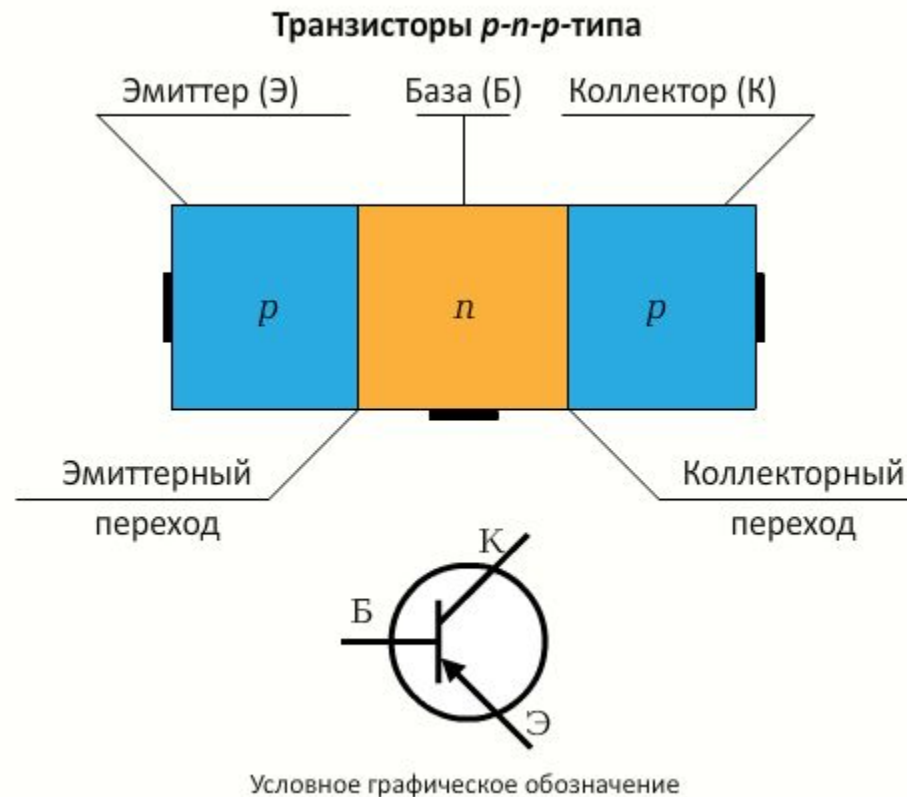
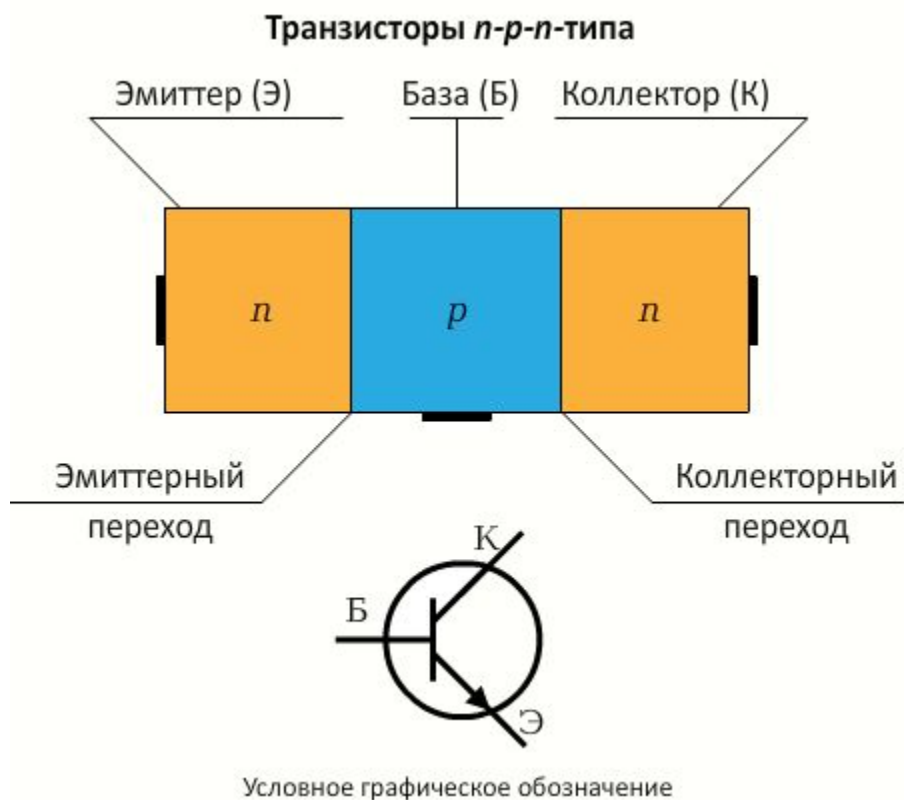
$$U_{\text{ОБР}} = U_{\text{ПРОБ}}$$

# Полупроводниковые диоды

	УГО	Символ в маркировке	Назначение
Выпрямительный диод		Д	Для преобразования переменного тока в постоянный.
Импульсный диод		Д	Для работы в импульсных схемах.
Стабилитрон		С	Полупроводниковый диод, работающий при обратном смещении в режиме пробоя с целью получения стабильной величины напряжения
Варикап		В	Полупроводниковый диод, работа которого основана на зависимости барьерной ёмкости р-п-перехода от обратного напряжения
Туннельный диод		И	Полупроводниковый диод в котором туннельный эффект проявляется в появлении участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением на ВАХ
Диод Шоттки		-	Выполнен на базе контакта металл-полупроводник. Диоды Шоттки широко применяют в транзисторных ключевых схемах.
Светодиод		Л	Полупроводниковый диод, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении.
Фотодиод		Ф	Полупроводниковый диод в котором при освещении светом возникают носители зарядов (электроны и дырки), увеличивающие прямую и обратную проводимости

# Биполярные транзисторы

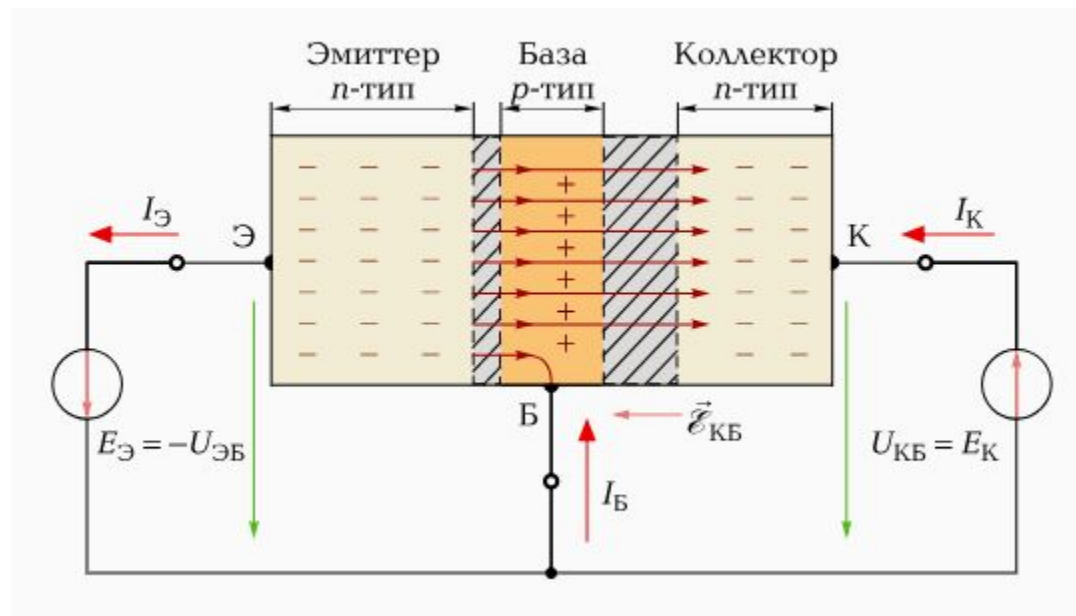
**Биполярный транзистор** — это электрорадиоэлемент, содержащий два  $p$ - $n$ -перехода, три вывода, который предназначен для преобразования параметров электрических сигналов. Чаще всего транзистор используют для усиления мощности электрических сигналов.



# Биполярные транзисторы

При подключении положительного полюса источника постоянной ЭДС  $E_{\text{Э}} = -U_{\text{ЭБ}}$  к базе свободные электроны инжектируются из эмиттера в базу, образуя ток  $I_{\text{Э}}$  в цепи эмиттера.

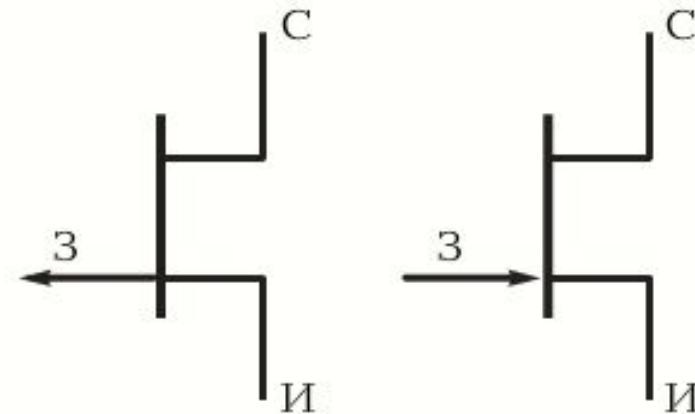
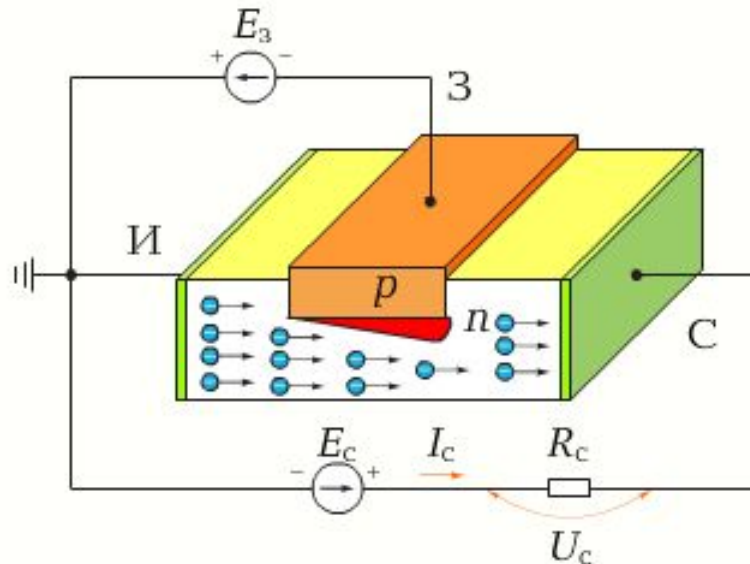
Большая часть электронов, инжектированных из эмиттера в базу, втягивается сильным электрическим полем коллекторного  $p$ - $n$ -перехода, образуя ток  $I_{\text{К}}$  в цепи коллектора. Незначительная часть свободных электронов, инжектированных из эмиттера в базу, образует ток  $I_{\text{Б}}$  в цепи базы.



# Полевые транзисторы с управляющим p-n-переходом

**Полевой транзистор** — это транзистор, в котором движение подвижными носителями электрических зарядов управляется электрическим полем *p-n*-перехода.

На рисунке приведена схема полевого транзистора с *n*-каналом (И - исток; С - сток; З - затвор). На сток подается напряжение, положительное относительно истока. На затвор подается такое напряжение, чтобы *p-n*-переход оказался заперт.

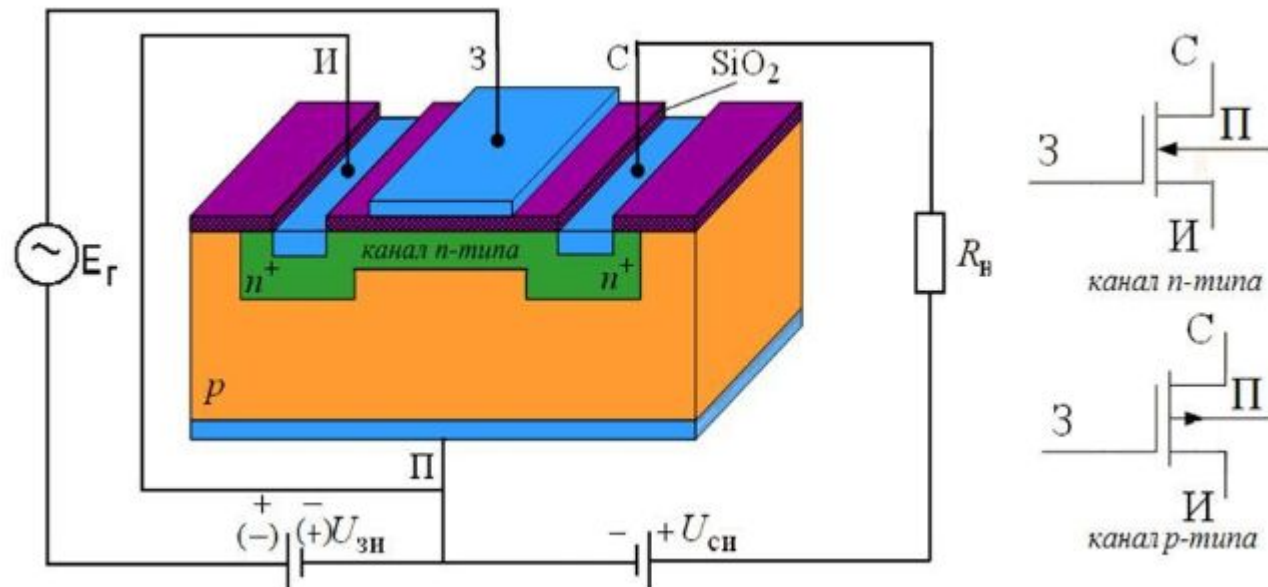


Условное графическое обозначение  
унитрона с *n*-каналом

# МДП-транзисторы со встроенным каналом

Транзисторы типа металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-транзисторы) представляют собой полупроводник  $n$ - или  $p$ -типа, поверхность которого покрыта монооксидом кремния  $\text{SiO}_2$ .

При подаче на затвор отрицательного напряжения в канале создается поперечное электрическое поле, под влиянием которого электроны проводимости выталкиваются из канала. Он обедняется электронами, сопротивление его увеличивается, ток стока уменьшается.

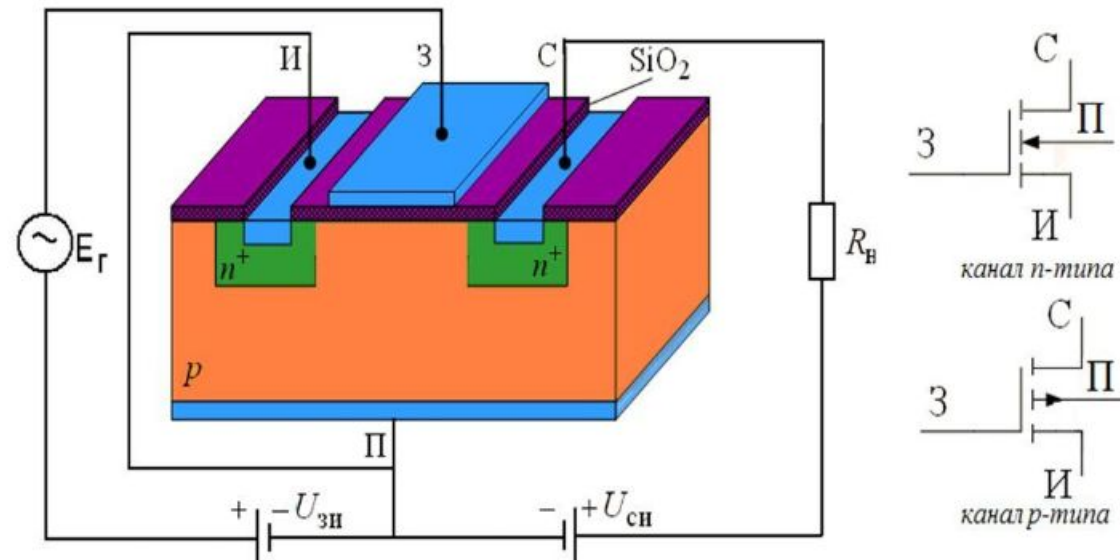


# МДП-транзисторы с индуцированным каналом

Транзисторы типа металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-транзисторы) представляют собой полупроводник  $n$ - или  $p$ -типа, поверхность которого покрыта монооксидом кремния  $\text{SiO}_2$ .

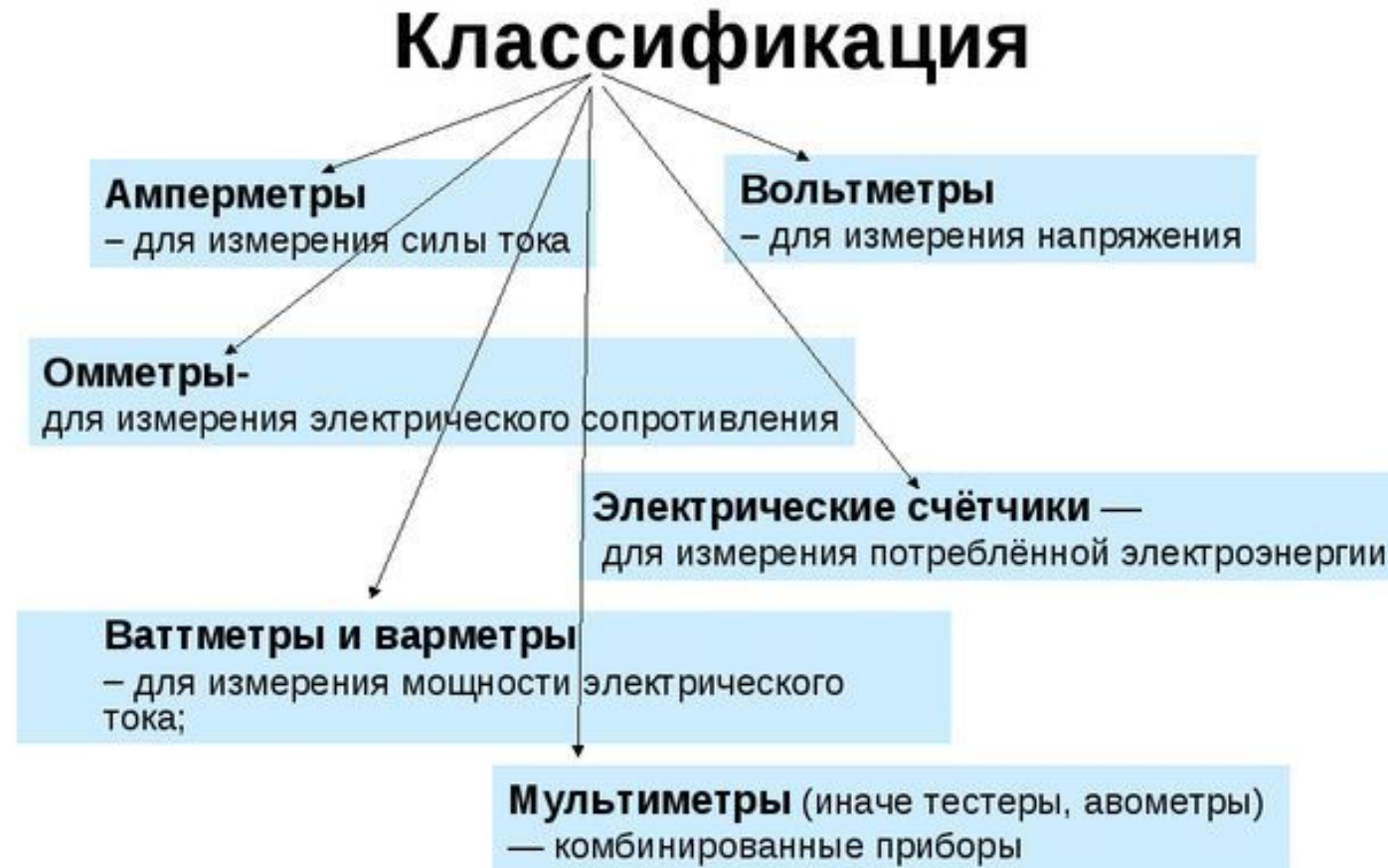
При отсутствии напряжения на затворе тока в канале нет.

Если на затвор подать положительное напряжение, то под влиянием поля затвора электроны будут перемещаться из областей стока и истока и из  $p$ -области по направлению к затвору. Возникнет индуцированный канал  $n$ -типа и транзистор начнет проводить ток.




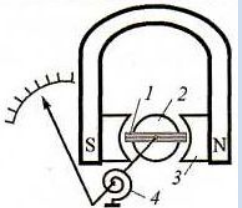

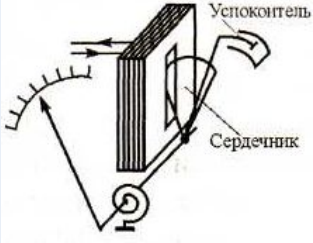

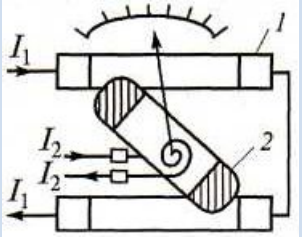


# Электрические измерения и электроизмерительные приборы

Электроизмерительные приборы — класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин.





# Электромеханические измерительных приборов

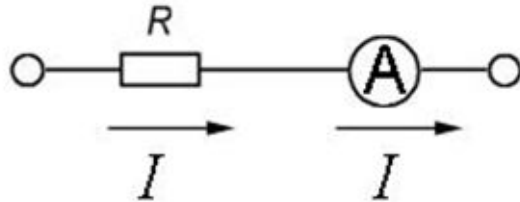
Наименование системы	Функциональная схема	Уравнение шкалы, применение	Частотный диапазон, потребление мощности, класс точности
<b>Магнито-электрическая</b> 			
<b>Электромагнитная</b> 			
<b>Электродинамическая</b> 			
<b>Электро-статическая</b> 			<p> <math>F = 0 \dots 30 \text{ МГц};</math>                      класс точности  <math>0,5 - 1,5;</math>  <math>P_{\text{соб}} &lt; 1 \text{ мВт}</math> </p>

# Электрические измерения

## Измерение постоянного тока.

При измерении силы тока на участке цепи сопротивлением  $R$  последовательно с  $R$  в разрыв цепи включается **амперметр**. Тогда сила тока, текущего через измерительный прибор и участок с сопротивлением  $R$ , будет одинаковой.

Последовательное подключение амперметра с сопротивлением  $r_a$  увеличивает общее сопротивление участка цепи до значения  $R + r_a$ , что больше  $R$ . В результате ток уменьшится. Чтобы изменение тока было незначительным, необходимо, чтобы выполнялось условие:  $r_a \ll R$ .



# Электрические измерения

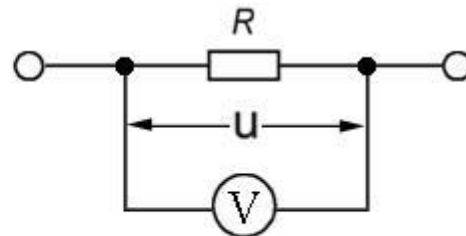
## Измерение постоянного напряжения.

Чтобы измерить постоянное напряжение **вольтметр** подсоединяется параллельно участку цепи с сопротивлением  $R$ , напряжение на котором измеряется. При параллельном подключении напряжение на измерительном приборе и участке цепи  $R$  одинаково. Подключение в электрическую цепь измерительного прибора оказывает влияние на режим работы этой цепи, что приводит к ошибкам в измерениях.

При параллельном подключении вольтметра с сопротивлением  $r_v$  общее сопротивление становится равным

$$R_0 = \frac{Rr_v}{R + r_v}$$

что меньше  $R$ . Измеренное напряжение будет заниженным. Чтобы вольтметр не вносил больших искажений в режим работы цепи, должно выполняться условие:  $r_v \gg R$ .



# Электрические измерения

**Погрешность измерения** - отклонение измеренного значения величины от её истинного (действительного) значения. Погрешность измерения является характеристикой точности измерения.

**Абсолютная погрешность** —  $\Delta X$  является оценкой абсолютной ошибки измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

$$\Delta X = X_{\text{и}} - X_{\text{д}}$$

где

$\Delta X$  - абсолютная погрешность измерений

$X_{\text{д}}$  - действительное значение измеряемой величины

$X_{\text{и}}$  - измеренное значение величины

**Относительная погрешность** — погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или измеренному значению измеряемой величины.

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X}$$

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\%$$

где

$\delta X$  - относительная погрешность измерений

$X$  - действительное или измеренное значение

$\Delta X$  - абсолютная погрешность измерений

Относительная погрешность является безразмерной величиной, либо измеряется в процентах.

# Электросвязь

## Понятие о системах электросвязи

**Коммуникация** - это обмен распознаваемыми сообщениями

**Электросвязь** - это коммуникация на расстоянии существенном для качества передачи сообщения

**Система электросвязи** - это набор средств передачи и приёма сообщений

### Основные части системы электросвязи:

- Источник сообщений (передатчик)
- Канал передачи сообщений
- Приёмник сообщений

### Виды систем электросвязи:

- Симплексные (с односторонней передачей)
- Дуплексные (с двухсторонним обменом сообщениями через приёмо-передатчики)
- Полудуплексные (в которых передатчик бездействует во время приёма сообщений)

# Электросвязь

## Разновидности систем электросвязи

### **На основе проводной и кабельной связи:**

телефон, радиосеть, компьютерные сети, служебное телевидение, системы охраны, системы управления сложными техническими объектами

### **На основе беспроводной связи:**

радиовещание, телевизионное вещание, мобильная телефония, радиорелейные линии, космическая связь, любительская, служебная и военная связь, управление на расстоянии

### **На основе волоконной оптики:**

магистральные городские, междугородние и трансконтинентальные линии связи, корпоративные системы, линии связи сложных технических объектов.

# Электросвязь

## Аналоговые и цифровые системы электросвязи

Системы электросвязи разделяют по виду используемых сигналов на аналоговые и цифровые.

**Аналоговые сигналы** переносят информацию за счёт плавного изменения своих параметров: амплитуды, частоты, фазы и из-за этого подвержены воздействию помех. Аналоговые усилители усиливают помехи вместе с сигналом.

**Цифровые сигналы** меняют свои параметры скачком с целью повышения помехоустойчивости связи. Если помеха меньше половины скачка между соседними значениями цифрового сигнала, то приёмник её игнорирует.

В цифровых системах вместо простых усилителей используют повторители цифрового сигнала, которые восстанавливают форму

***Спасибо за внимание***

