

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.

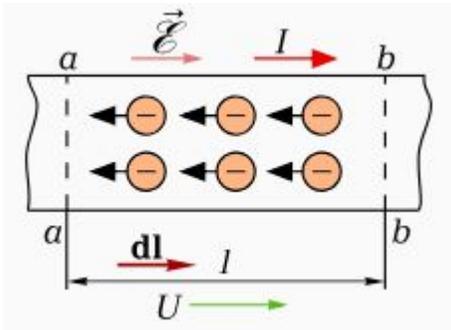
Электрические измерения и электроизмерительные приборы.

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)

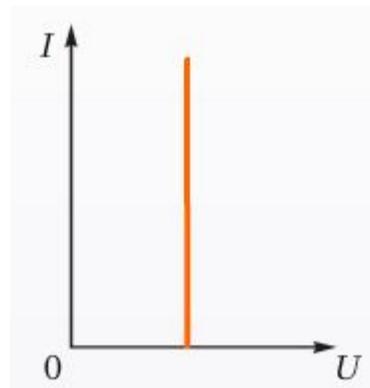
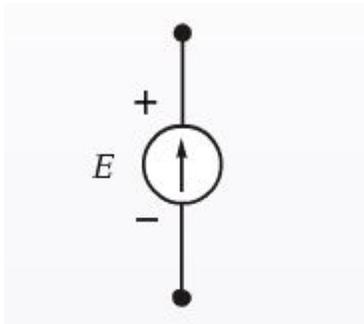
Идеальные генераторы напряжения — это генераторы, напряжение на выходе которых не зависит от параметров нагрузки.

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

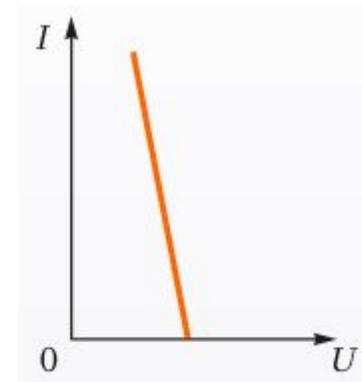
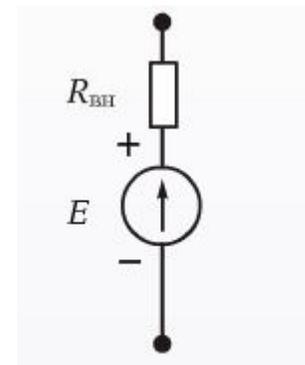
Идеальные генераторы напряжения имеют $R_{вн} = 0$, реальные генераторы напряжения — $R_{вн} \neq 0$, хорошие современные генераторы напряжения — $R_{вн} < 1$ Ом.

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.

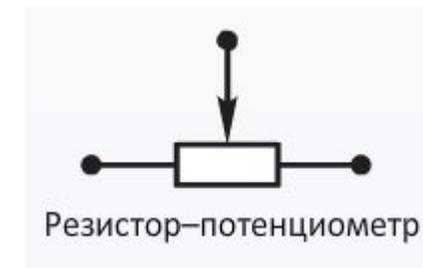
Основные параметры резисторов:

- Номинал (сопротивление) R (Ом) резистора.

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

- Допуск на номинал δ (%).

УСЛОВНЫЕ ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ РЕЗИСТОРОВ



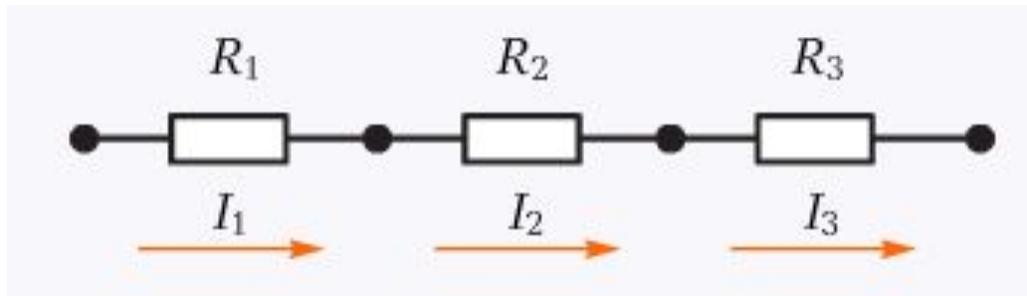
Последовательное соединение резисторов

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**:



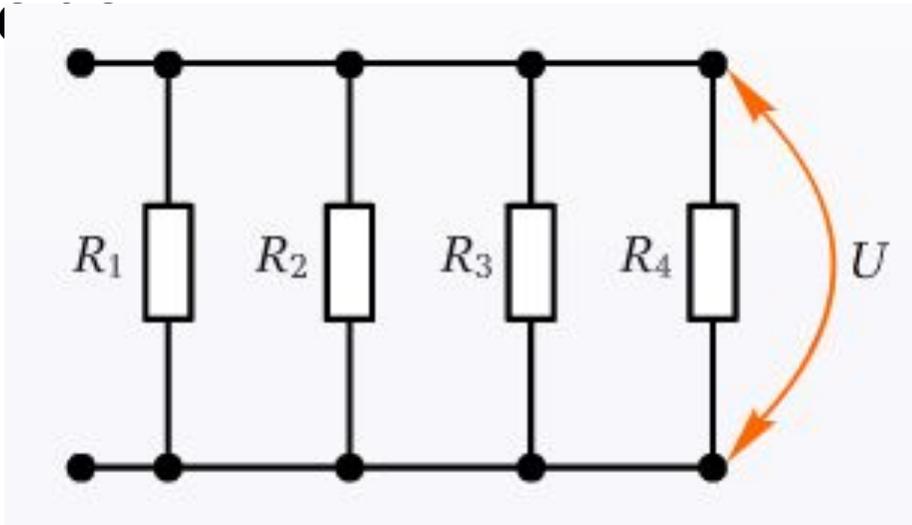
$$I_1 = I_2 = I_3$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = R_1 + R_2 + R_3$$

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**



$$U_1 = U_2 = U_3 = U_4$$

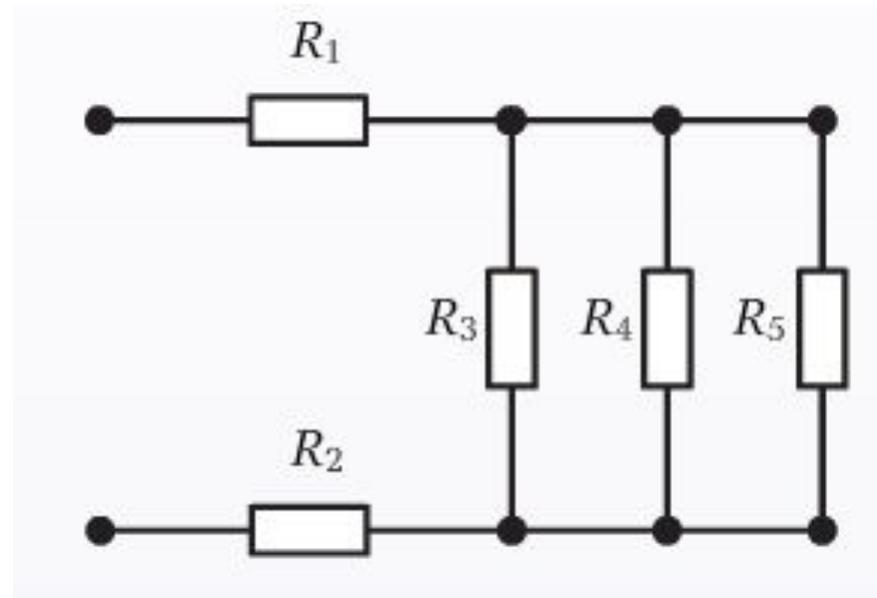
$$\frac{1}{R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

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

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.

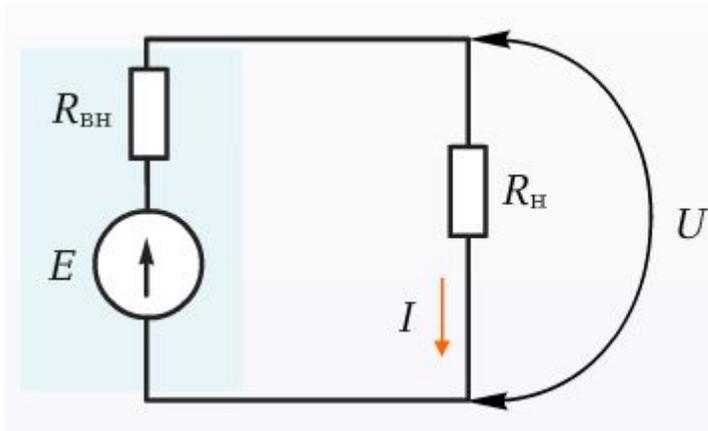
Формулировка закона Ома для полной (замкнутой) цепи:

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 $R_{\text{н}}$.

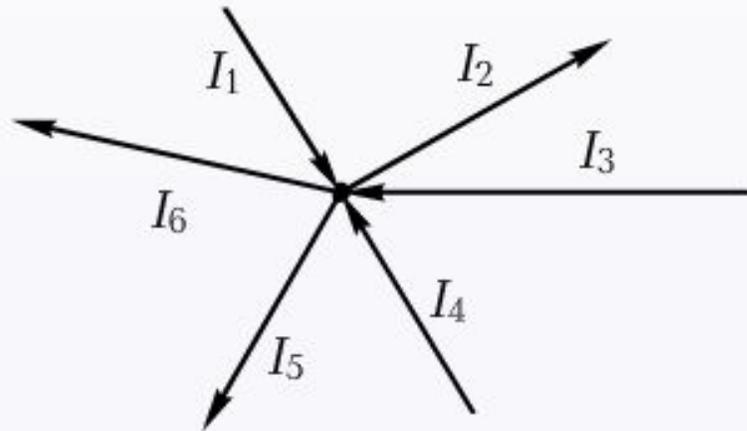


$$I = \frac{U}{R_{\text{н}}}$$

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».



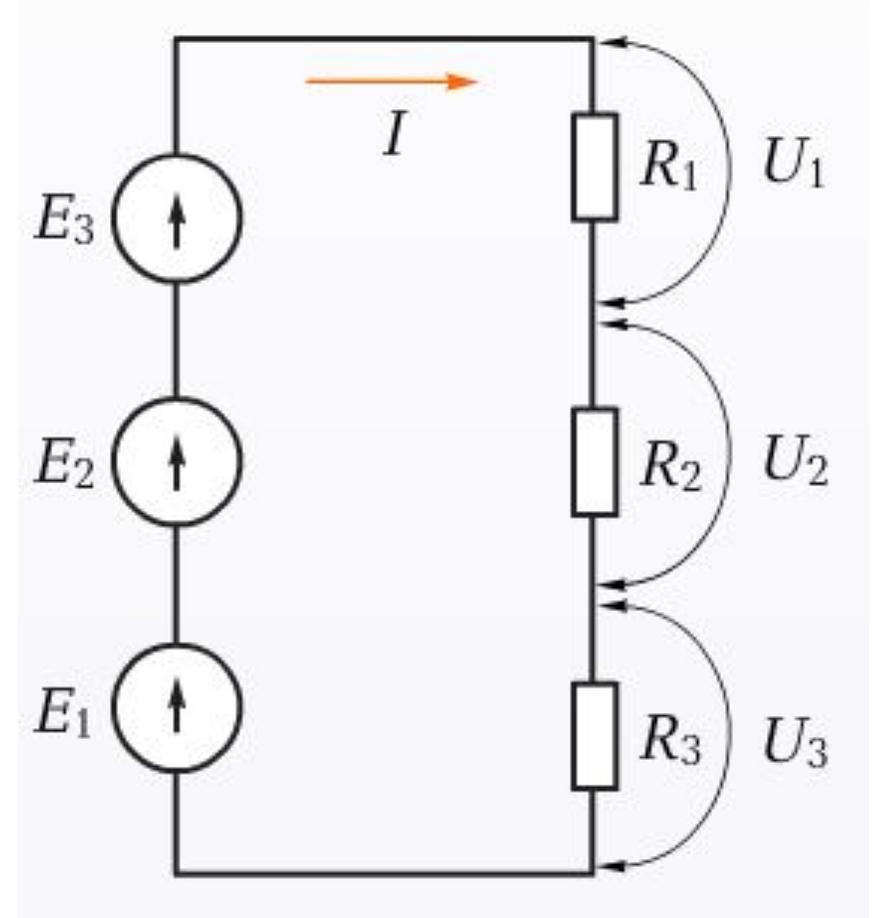
$$I_1 - I_2 + I_3 + I_4 - I_5 - I_6 = 0$$

$$\sum I_i = 0$$

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.



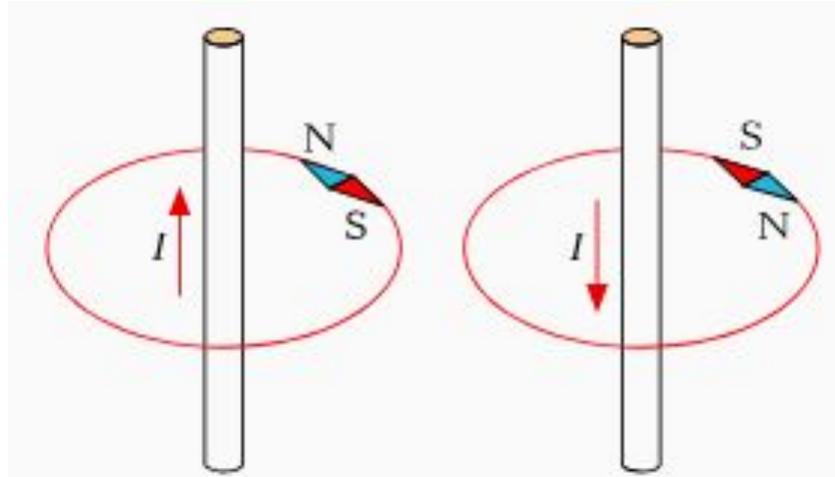
Основные методы расчета электрических цепей

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.

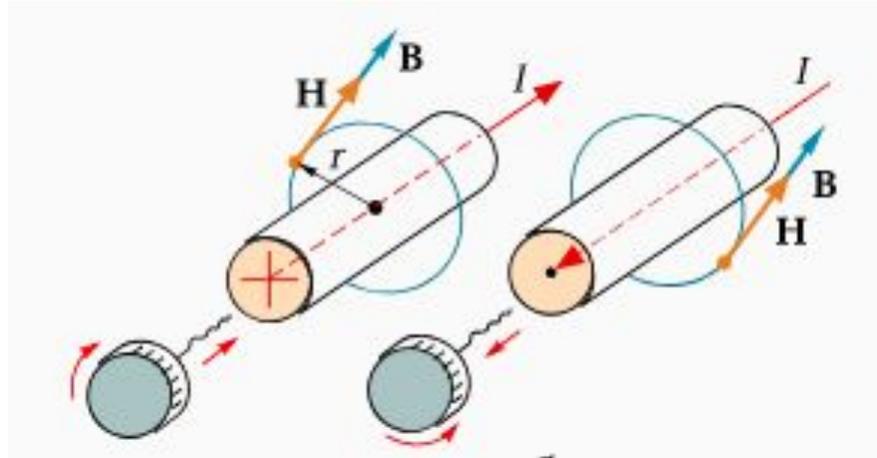
Если к прямолинейному проводнику с постоянным током I поднести магнитную стрелку, то стрелка установится по направлению касательной к окружности вокруг оси проводника.



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**; μ_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 ($\mu_r \gg 1$).

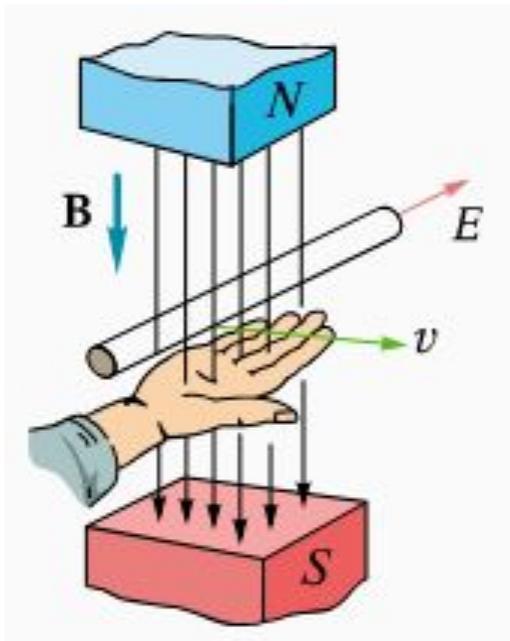
У последних относительная магнитная проницаемость значительно больше единицы и зависит от напряженности магнитного поля.

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

$$E = Blv.$$

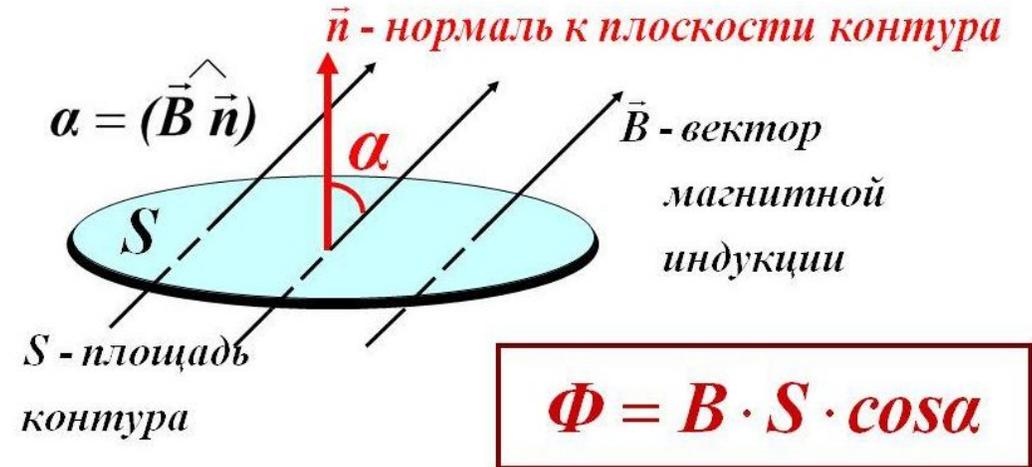
При этом направление ЭДС определяется правилом правой руки.



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 Φ - 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 Φ , индуцируется ЭДС, значение которой равно

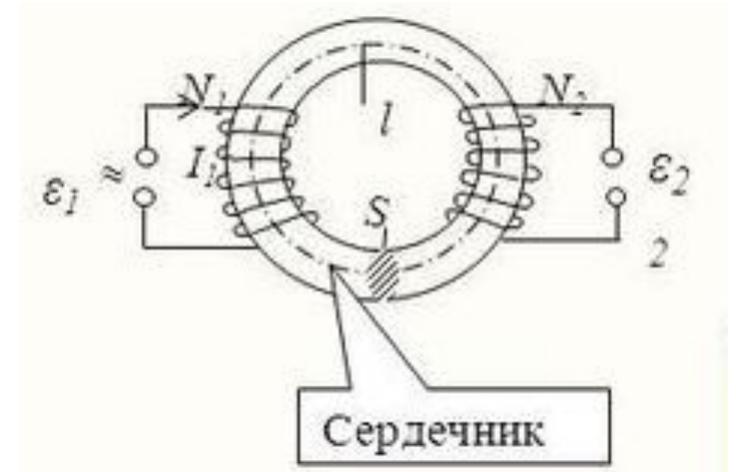
$$e = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

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.

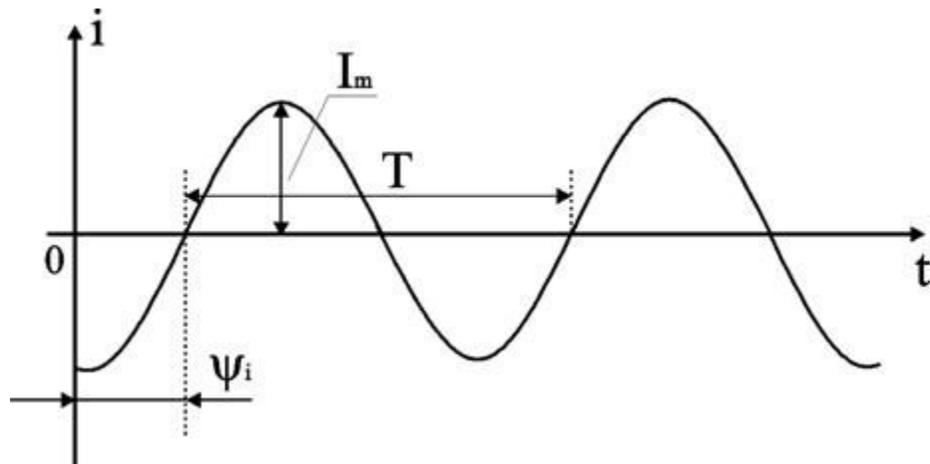
ЭДС самоиндукции возникает такого направления, что своим магнитным полем препятствует изменению магнитного поля текущего по контуру тока.

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

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

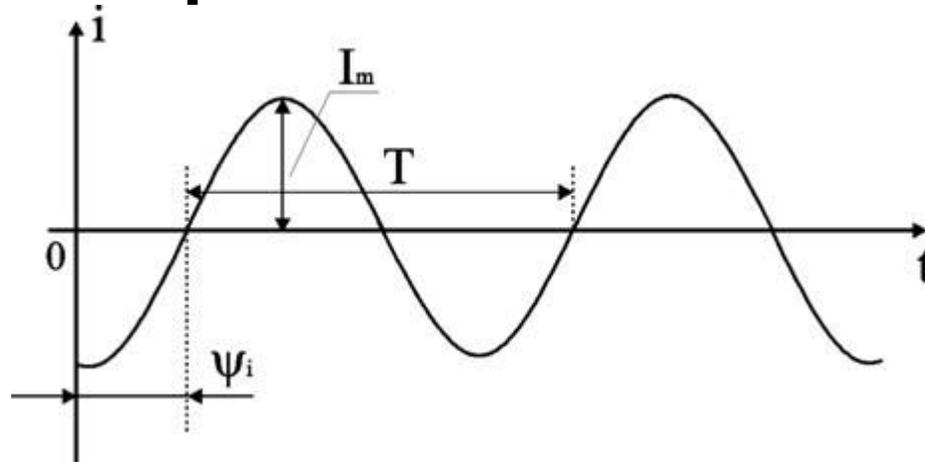
для напряжения

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

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.

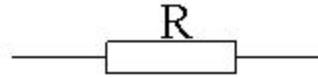
Для любой из синусоидальных величин действующее значение:

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

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 ωL 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 φ , 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

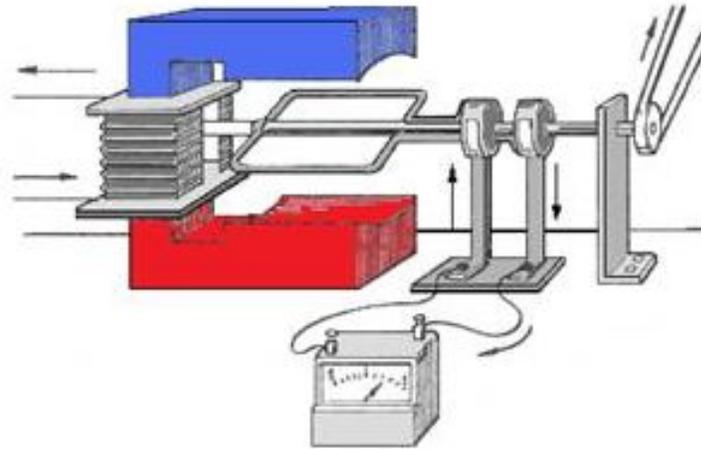
$$R = Z \cos \varphi ,$$

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

- 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.

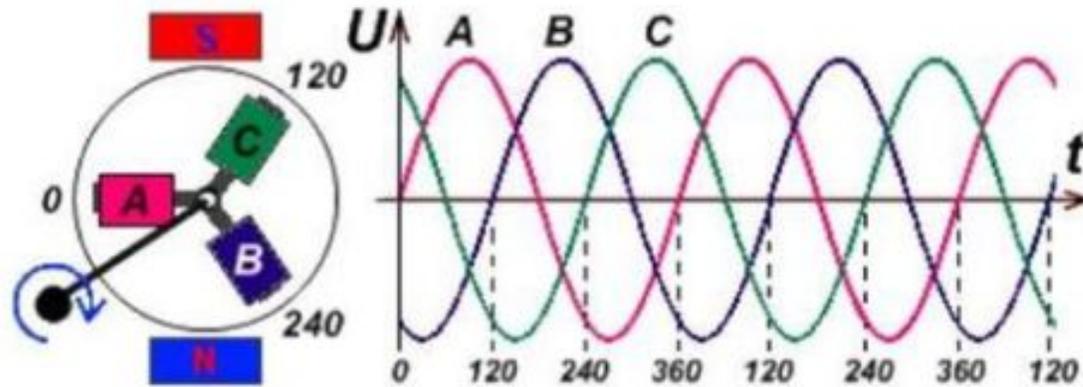
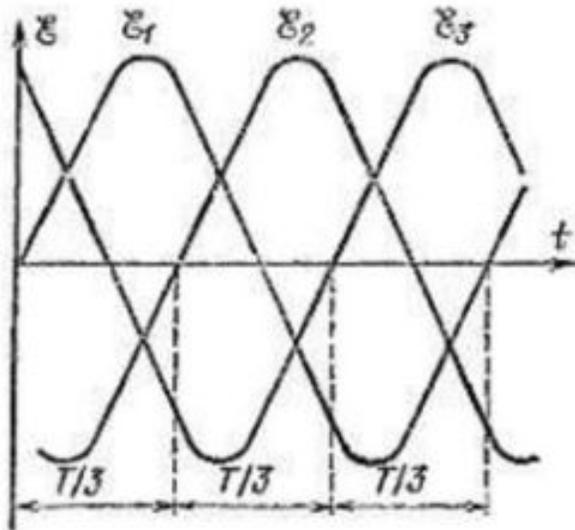


Принцип действия установки прост. Проволочная рамка вращается в однородном магнитном поле с постоянной скоростью. Концами рамка закреплена на кольцах, вращающихся вместе с ней. К кольцам плотно прилегают пружины, выполняющие роль контактов. Через поверхность рамки непрерывно будет протекать изменяющийся 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.



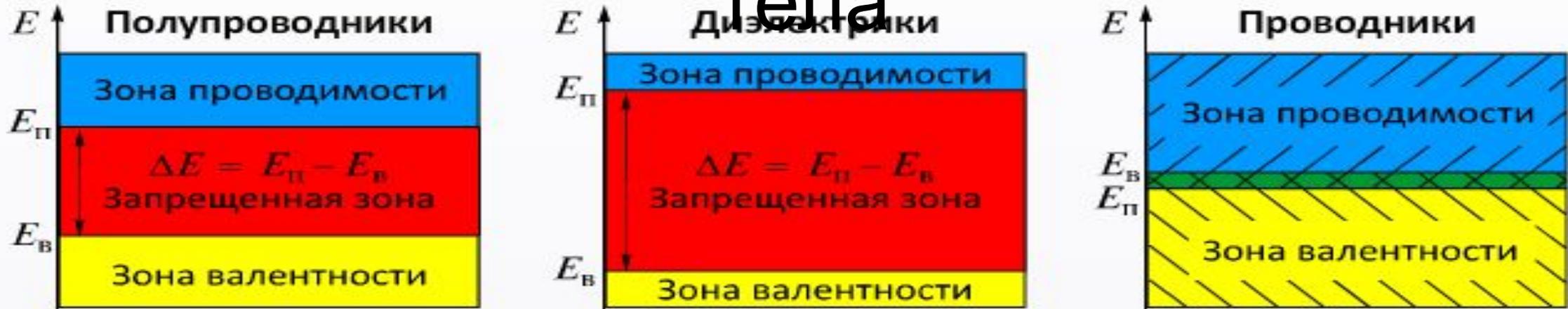
Основы зонной теории твердого

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

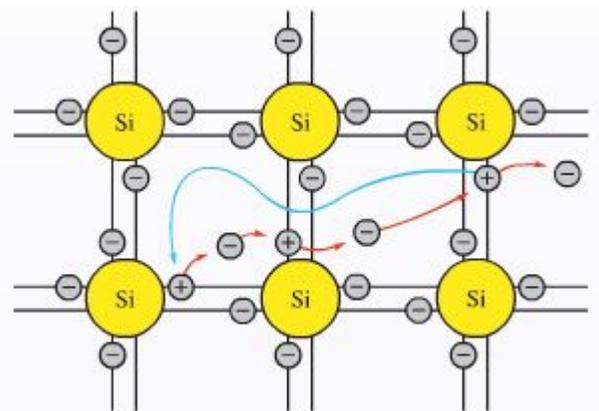
- Диапазон энергии, которому соответствует энергия электрона, участвующего в образовании ковалентной связи, называется **зоной валентности**, или **валентной зоной**.
- Диапазон энергий, которому соответствует энергия свободного электрона, называется **зоной проводимости**.
- Для того чтобы электрон,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

Основы зонной теории твердого тела



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.

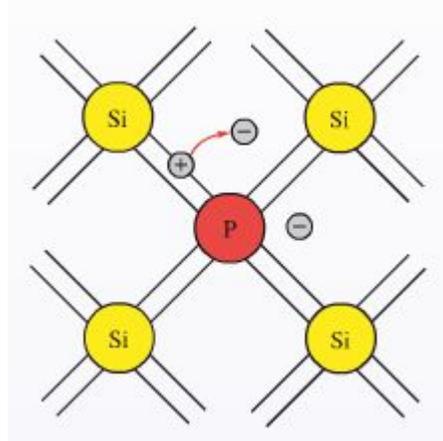
СТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ (ГЕРМАНИЯ)



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 .

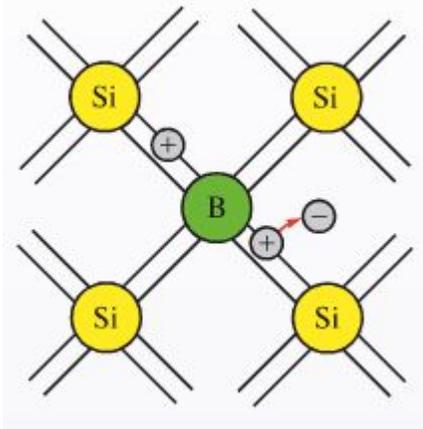
- Примесь, благодаря которой концентрация свободных электронов превышает концентрацию дырок, называют **донорной примесью**.

- 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

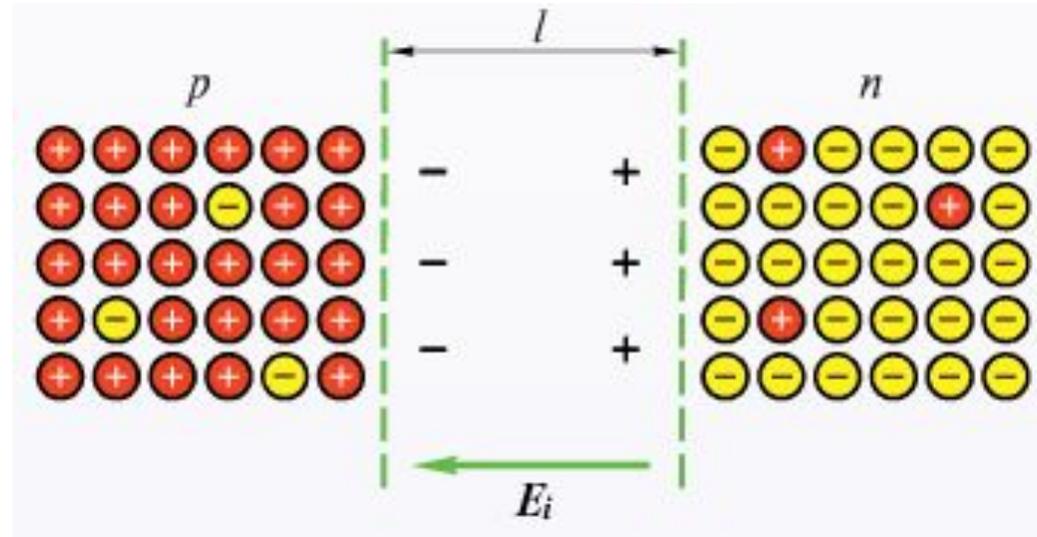


Если в полупроводник ввести трехвалентную примесь, то три валентных электрона атома примеси образуют три ковалентные связи с атомами полупроводника, а четвертая ковалентная связь, существовавшая в полупроводнике до введения примеси, окажется невосстановленной, т.е. образуется дырка. В результате этого 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**.

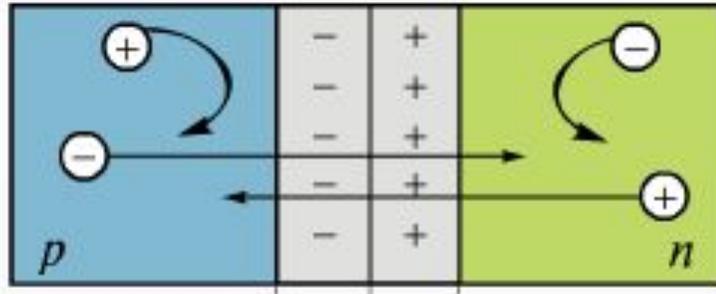
В полупроводнике p -типа дырки считаются основными носителями заряда, а электроны — основными носителями

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

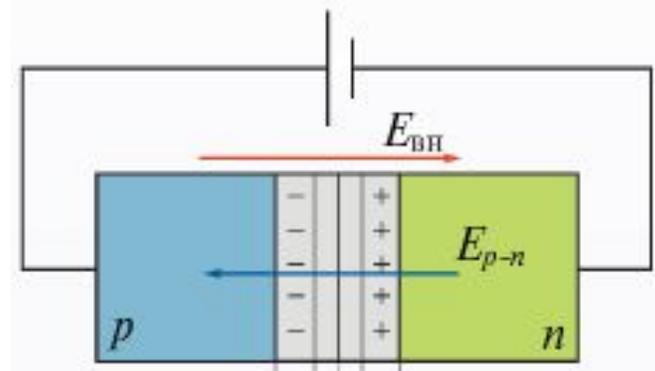


Из-за неравномерной концентрации заряженных частиц на границе раздела полупроводников p - и n -типа возникает **диффузионный ток**, за счет которого электроны из n -области переходят в p -область, а на их месте остаются некомпенсированные заряды положительных ионов донорной примеси.

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

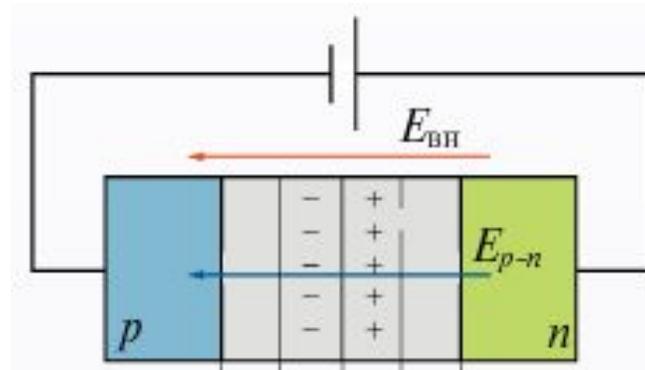


Приложим внешнее напряжение $E_{вн}$ **плюсом** к p -области. Внешнее электрическое поле направлено навстречу внутреннему полю p - n -перехода, что приведет к уменьшению потенциального барьера. Основные носители заряда легко смогут преодолеть потенциальный барьер, и поэтому через p - n -переход будет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



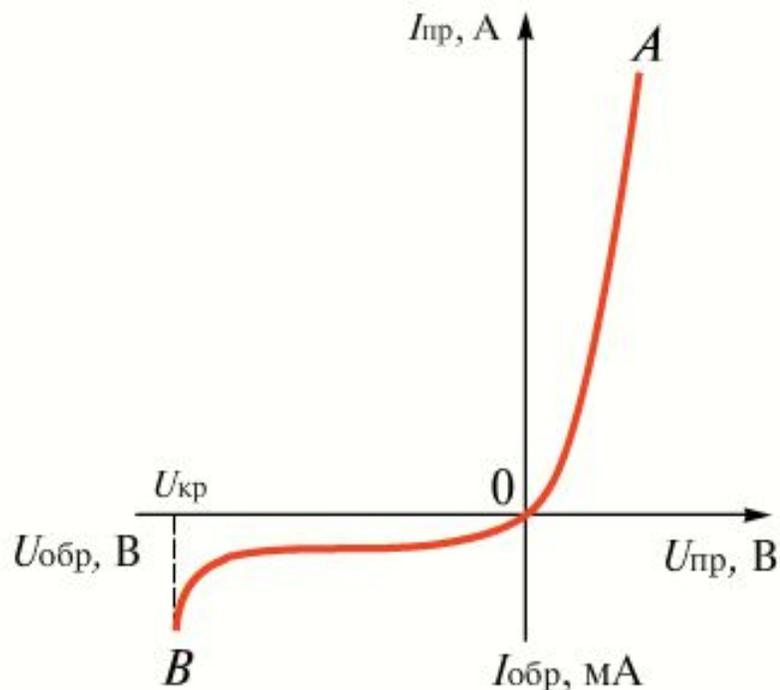
Если приложить внешнее напряжение $E_{\text{вн}}$ **минусом** к p -области и плюсом к n -области, то возникнет внешнее электрическое поле, линии напряженности которого будут совпадать с внутренним полем p - n -перехода. В результате это приведет к увеличению потенциального барьера и ширины p - n -перехода.

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.**

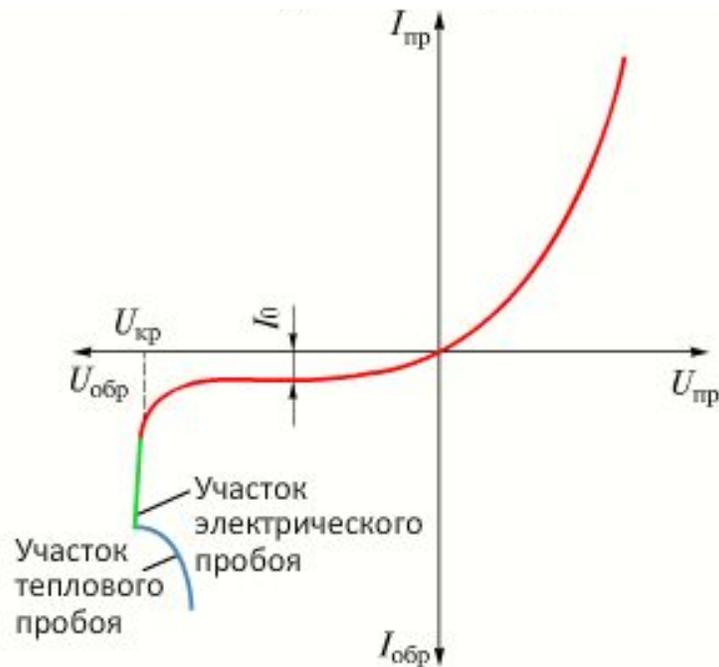
ПРОБОЙ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНОГО ПЕРЕХОДА

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.

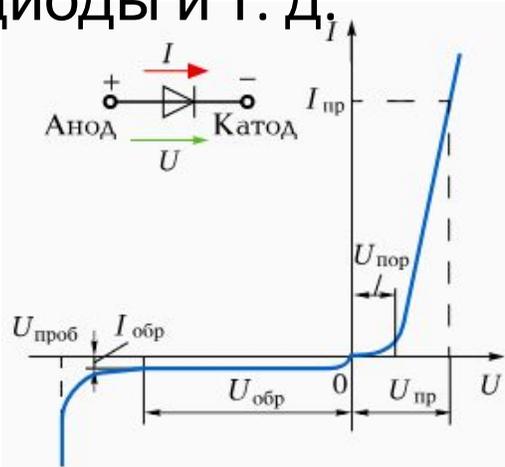
Электрический пробой не опасен для $p-n$ -перехода, так как при отключении источника обратного напряжения вентиляльные свойства электронно-дырочного перехода полностью восстанавливаются.

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.

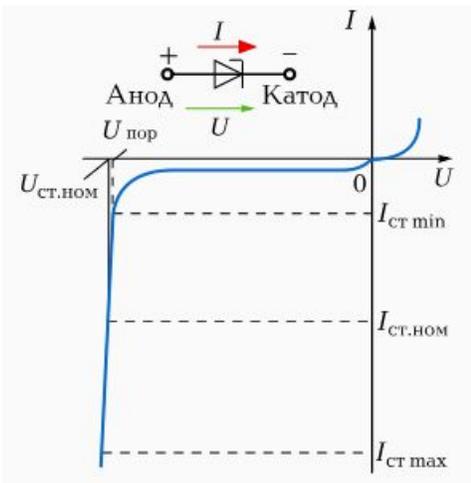


Полупроводниковые диоды

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



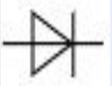
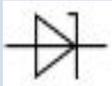
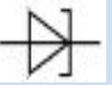
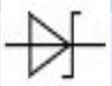
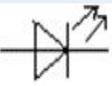
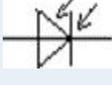
Полупроводниковый выпрямительный диод — это техническое устройство, содержащее один $p-n$ -переход и два вывода, которое предназначено для преобразования переменного тока в постоянный.



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

$$U_{\text{ОБР}} = U_{\text{ПРОБ}}$$

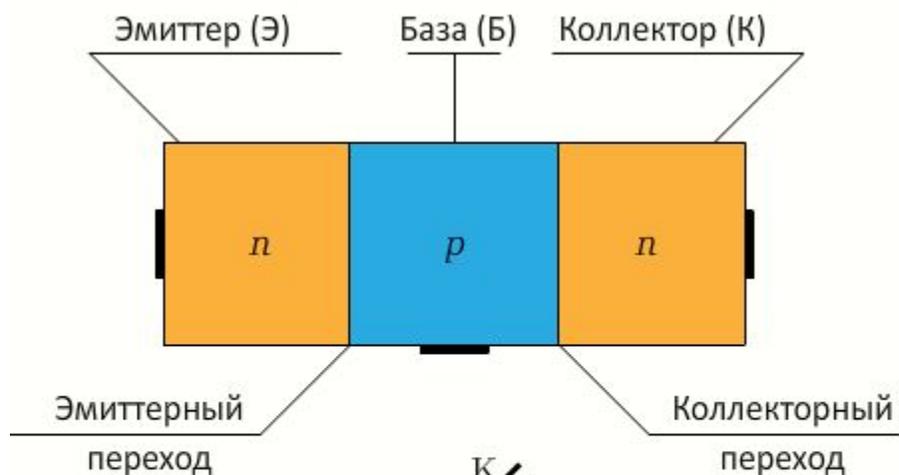
Полупроводниковые диоды

	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-n-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

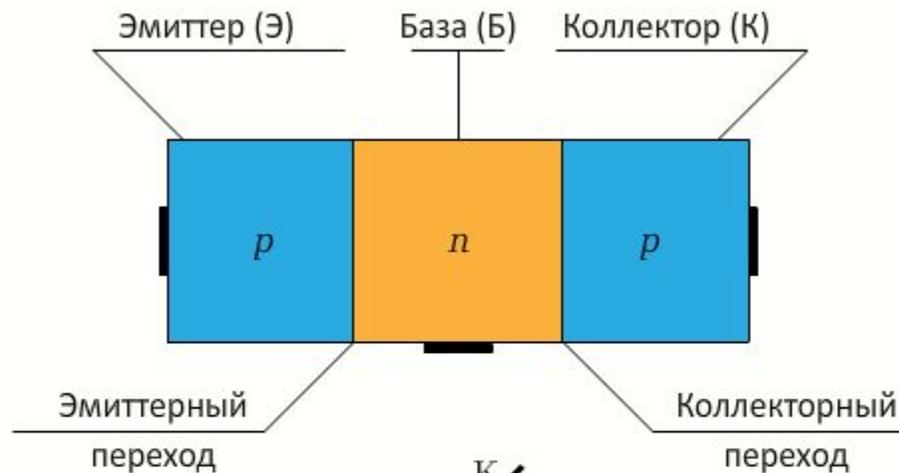
Биполярный транзистор — это электрорадиоэлемент, содержащий два p - n -перехода, три вывода, который предназначен для преобразования параметров электрических сигналов. Чаще всего транзистор используют для усиления мощности электрических сигналов.

Транзисторы n - p - n -типа



Условное графическое обозначение

Транзисторы p - n - p -типа

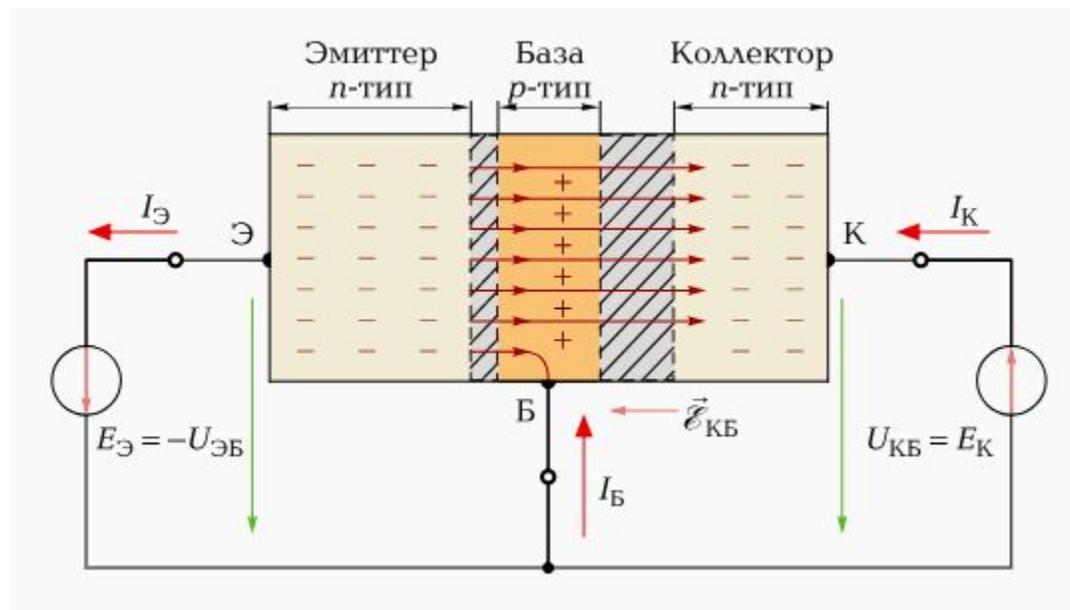


Условное графическое обозначение

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.

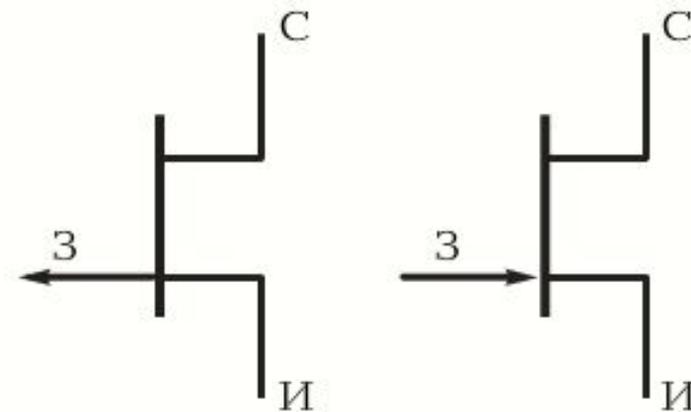
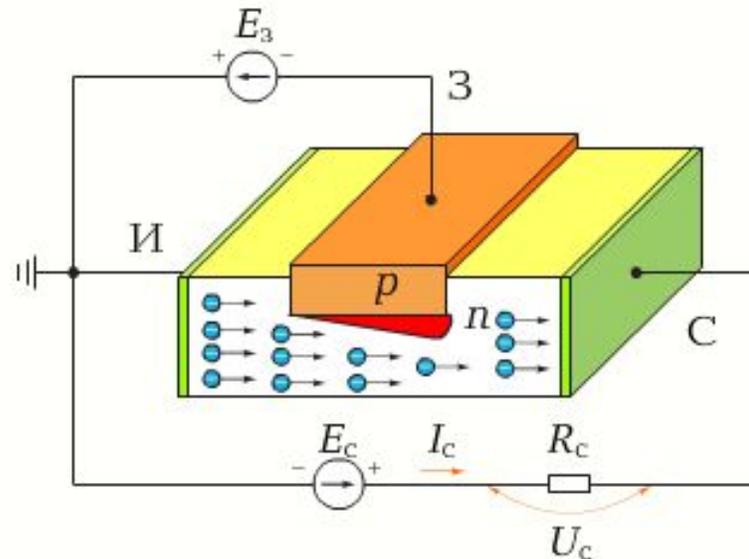
Большая часть электронов, инжектированных из эмиттера в базу, втягивается сильным электрическим полем коллекторного p - n -перехода, образуя ток $I_{\text{К}}$ в цепи коллектора. Незначительная часть свободных электронов, инжектированных из эмиттера в базу, образует ток $I_{\text{Б}}$ в цепи базы.



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.

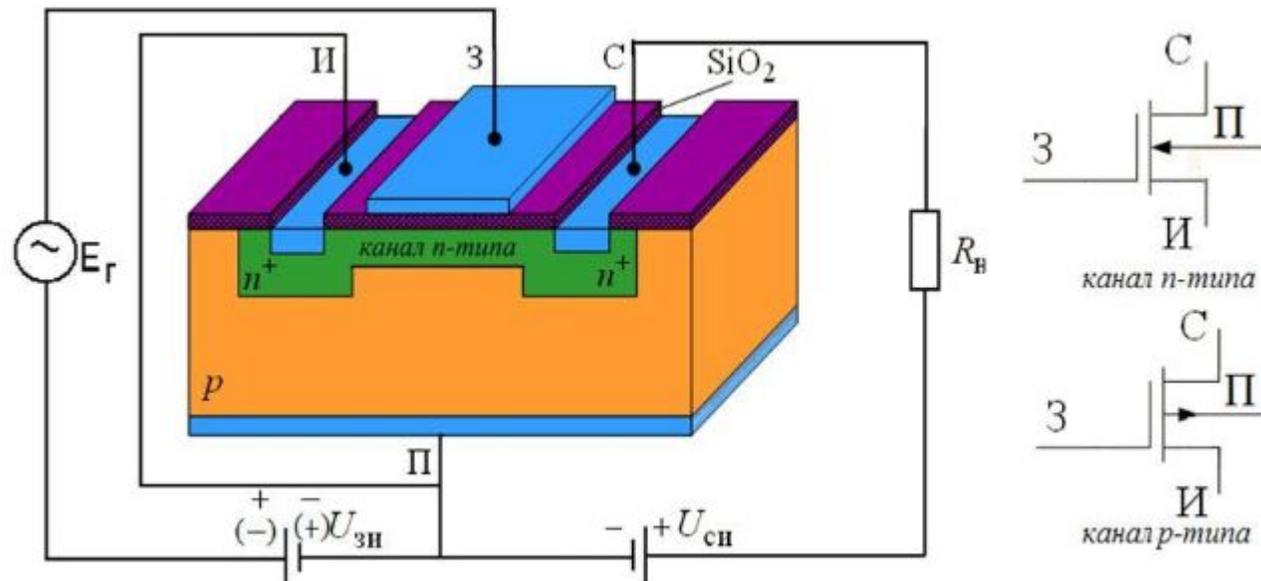


Условное графическое обозначение
унитрона с *n*-каналом

МДП-транзисторы со встроенным каналом

Транзисторы типа металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-транзисторы) представляют собой полупроводник n - или p -типа, поверхность которого покрыта монооксидом кремния 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.

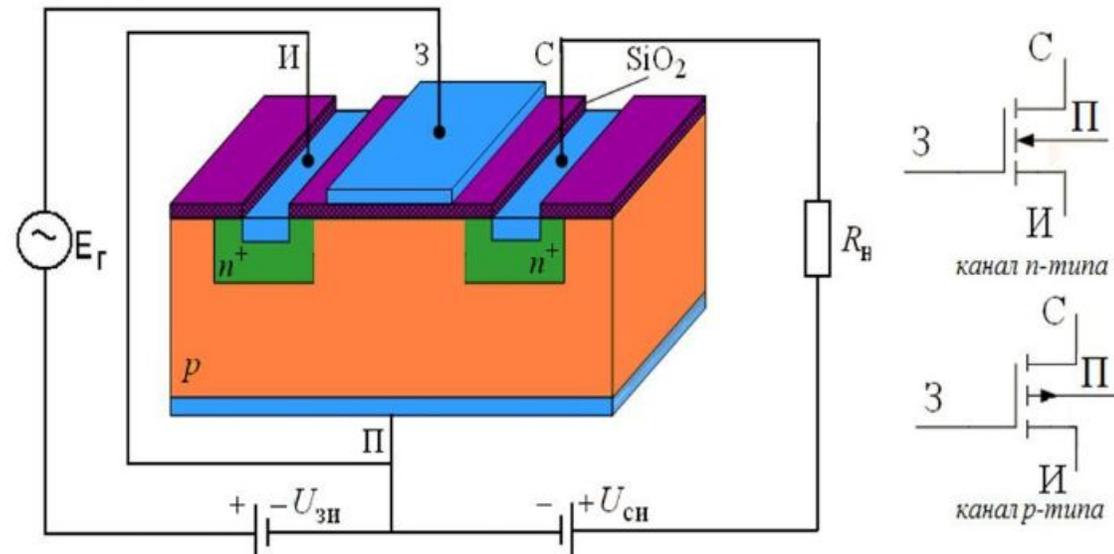


МДП-транзисторы с индуцированным каналом

Транзисторы типа металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-транзисторы) представляют собой полупроводник n - или p -типа, поверхность которого покрыта монооксидом кремния 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.

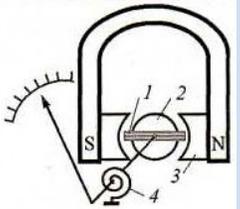
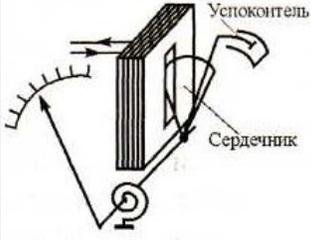
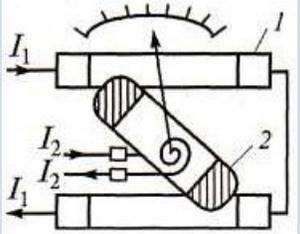


Электрические измерения и электроизмерительные приборы

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



Электромеханические измерительных приборов

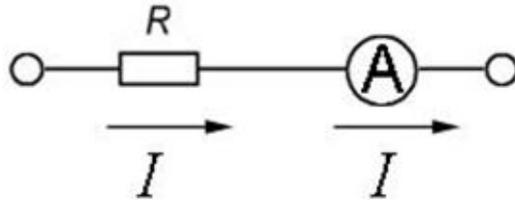
Наименование системы	Функциональная схема	Уравнение шкалы, применение	Частотный диапазон, потребление мощности, класс точности
Магнито-электрическая 			
Электромагнитная 			
Электродинамическая 			
Электро-статическая 			$F = 0 \dots 30 \text{ МГц};$ класс точности $0,5 - 1,5;$ $P_{\text{соб}} < 1 \text{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

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

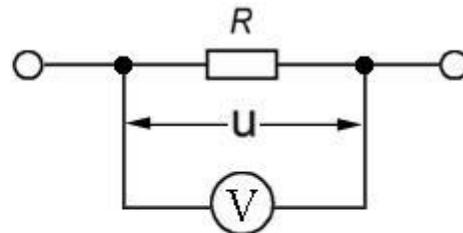
Измерение постоянного напряжения.

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 — ΔX является оценкой абсолютной ошибки измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

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

где
 ΔX - 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
 δX - относительная погрешность измерений
 X - действительное или измеренное значение
 ΔX - 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, междугородные 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

