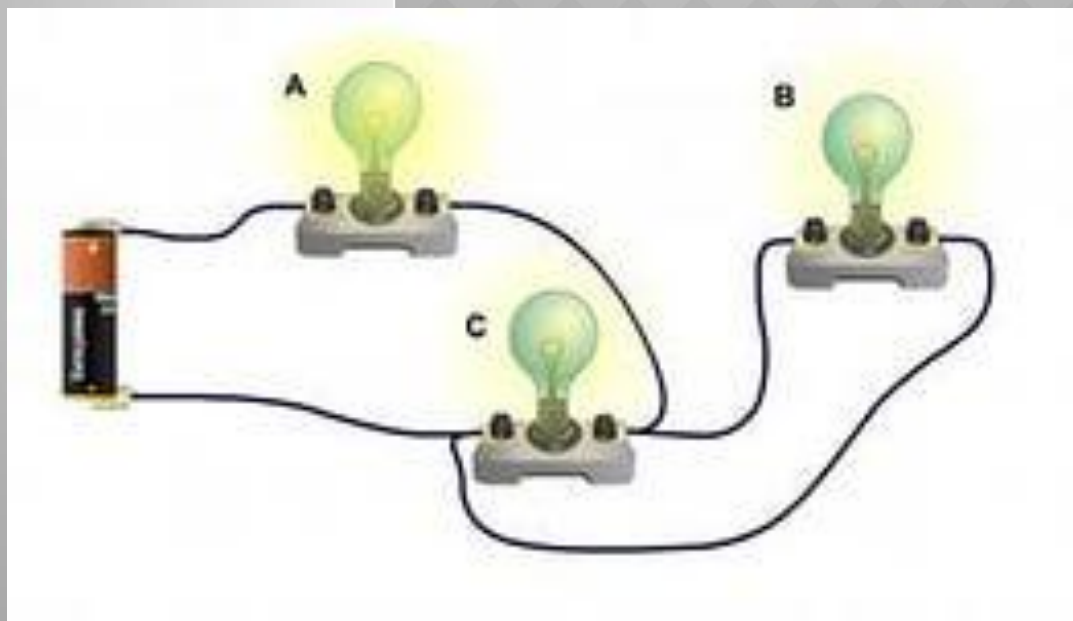


# ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ. ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ



Выполнил:  
Шитик Т.В.

# ПЛАН ЛЕКЦИИ:

- 1. Электрическая цепь и ее схемы.**
- 2. Электрический ток.**
- 3. Электрическое сопротивление проводников.**
- 4. Электродвижущая сила.**
- 5. Источники электрической энергии.**
- 6. Законы электрической цепи.**

# 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ И ЕЕ СХЕМЫ

**Электрической цепью** называется совокупность устройств, образующих путь для прохождения электрического тока. Электрическая цепь состоит из отдельных элементов: источников и приемников электрической энергии и связующих звеньев между ними. **Источниками энергии** в электрической цепи являются устройства, в которых происходит преобразование какого-либо вида энергии в электрическую энергию. К ним относятся: электромашинные генераторы, аккумуляторы, гальванические элементы, термо- и фотоэлектрические элементы .



**Приемниками энергии** называют устройства, в которых происходит преобразование электрической энергии, поступающей от источника, в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую и т.д.). К приемникам энергии относятся: электродвигатели, электронагревательные и электроосветительные приборы, разнообразные бытовые электроприборы и т.д.



# СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Графическое изображение электрической цепи при помощи условных знаков называют принципиальной схемой или, короче, **схемой** электрической цепи.

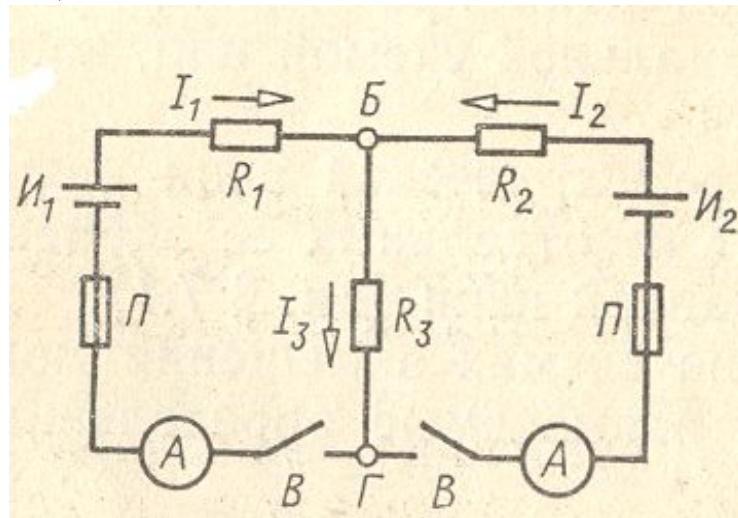


Рис. 1. Схема электрической цепи

На рис. 1 показана в качестве примера схема электрической цепи, на которой изображены:  $I_1$  и  $I_2$  – химические источники электрической энергии (например, аккумуляторы);  $\Pi$  – плавкий предохранитель;  $B$  – выключатель однополюсный;  $A$  – амперметр;  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  – резисторы (электротехнические изделия, обладающие заданным сопротивлением), которые являются приемниками электрической энергии; средняя ветвь – пассивная, левая и правая – активные;  $B$  и  $\Gamma$  – узлы электрической цепи; совокупность любых двух ветвей образует на этой схеме контур (замкнутый путь для тока).

**Ветвью** электрической цепи и ее схемы называется участок, состоящий из одного или нескольких элементов, соединенных так, что в этих элементах ток имеет одно и то же значение и направление.

**Узлом** электрической цепи и ее схемы называется место **соединения** трех и более ветвей цепи.

**Контуром** электрической цепи и ее схемы называется замкнутый путь, образованный несколькими ветвями цепи.

Ветви, содержащие источники электрической энергии, называются **активными**, а не содержащие источников энергии – **пассивными**.

## 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Ток, не изменяющийся с течением времени, называется **постоянным током**. Ток, изменяющийся с течением времени, называется **переменным током**. Ток, с течением времени периодически изменяющийся, называется **периодическим током**.

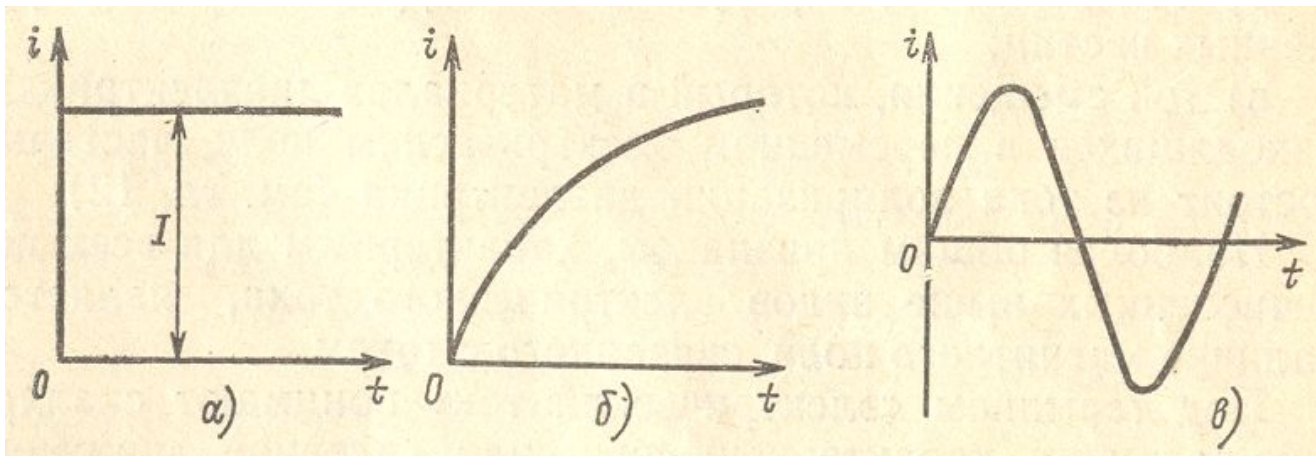


Рис. 2. Графики изменения во времени электрических токов



Под термином "электрический ток" понимают скалярную величину, характеризующую направленное движение носителей электрических зарядов и (или) изменение электрического поля во времени, сопровождаемые магнитным полем.

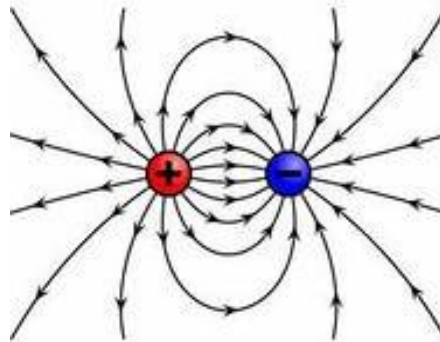
Если за время  $t$  через поперечное сечение  $S$  проводника равномерно прошло  $n$  электронов, то общий заряд всех электронов  $Q = e \cdot n$ , где  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – абсолютное значение заряда одного электрона, и электрический ток или, короче, ток:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{e \cdot n}{t}$$

Единица тока называется ампер (А):  $I = [Q] / [t] = \text{кулон} / \text{секунда} = \text{ампер (А)}$ .

Применяются также производные единицы: килоампер (кА), миллиампер (мА), микроампер (мкА), причем  $1 \text{ кА} = 1000 \text{ А}$ ;  $1 \text{ мА} = 0,001 \text{ А}$ ;  $1 \text{ мкА} = 10^{-6} \text{ А}$ .

Заряд частиц, переносимых в проводнике через поперечное сечение, равен произведению тока и времени его прохождения:  $Q = I \cdot S$



Отношение численного значения тока к площади поперечного сечения проводника называется **плотностью тока**:  $\mathbf{J = I / S}$

Единица плотности тока  $[\mathbf{J}] = [\mathbf{I / S}] = \mathbf{A/m^2}$ . В связи с тем, что сечения проводников обычно измеряют в квадратных миллиметрах, принято измерять плотность тока в амперах на квадратный миллиметр ( $\mathbf{A/mm^2}$ ), причем  $1 \mathbf{A/mm^2} = 1 \mathbf{A / (10^{-3})^2 m^2} = 10^6 \mathbf{A/m^2}$ .

**Пример 1.** За одну микросекунду через поперечное сечение проводника прошло 100 млрд. электронов. Определить ток в проводнике.

**Решение.** Подставляя значения  $e$ ,  $n = 100 \cdot 10^9$  и  $t = 10^{-6}$  с, получим:

$$\mathbf{I = Q / t = e \cdot n / t = 16 \cdot 10^{-3} \mathbf{A} = 16 \mathbf{mA}.$$

### 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

Плотность тока в проводнике  $\mathbf{J}$  прямо пропорциональна напряженности электрического поля в проводнике  $\mathbf{E}$ , т.е.  $\mathbf{J} = \nu \cdot \mathbf{E}$ ,

где  $\nu$  – коэффициент пропорциональности, называемый **удельной электрической проводимостью**, или короче, **удельной проводимостью** материала проводника.

Величина, обратная удельной электрической проводимости, называется **удельным электрическим сопротивлением** или, короче, **удельным сопротивлением**:  $\rho = \mathbf{E} / \mathbf{J}$

$R = \ell / \nu \cdot S = \rho \cdot \ell / S$  – электрическое сопротивление или, короче, сопротивление проводника.

Сопротивление проводника численно равно отношению напряжения на концах проводника к току в нем:  $R = U / I$

Единица сопротивления называется ом (Ом):

$$[R] = [U] / [I] = \text{вольт} / \text{ампер} = \text{Ом}.$$

Применяются также произвольные единицы: килом (кОм) и мегаом (МОм), причем  $1 \text{ кОм} = 10^3 \text{ Ом}$ ;  $1 \text{ МОм} = 10^6 \text{ Ом}$ .

Величина, обратная электрическому сопротивлению, называется **электрической проводимостью** или, короче, **проводимостью**:  $G = 1 / R$ . Проводимость измеряется в **сименсах** (См).

**Пример 2.** Определить сопротивление медного провода длиной 200 м и сечением 2,5 мм<sup>2</sup>, а также длину, которую должен иметь нихромовый провод с такими же сечениями и сопротивлением.

**Решение.** Сопротивление медного провода:

$$R = \ell / \nu \cdot S = 200 / 57 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} = 1,4 \text{ Ом.}$$

Здесь удельная электрическая проводимость меди  $\nu = 57 \cdot 10^6$  См/м. Для нихромового провода  $R = 1,4$  Ом,  $\nu = 10^6$  См/м,  $S = 2,5$  мм<sup>2</sup> и согласно (3.7.) необходимая длина  $\ell = R \cdot \nu \cdot S = 1,4 \cdot 10^6 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} = 3,5$  м.

Итак, 200 м медного провода и 3,5 м нихромового провода одинакового сечения имеют одинаковые сопротивления.



## 4. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА

Ток в электрической цепи вызывается воздействием на свободные заряженные частицы, имеющиеся в проводниках электрического поля, которое создается источником электрической энергии.

Электрическое поле внутри источника электрической энергии называют **сторонним**. Стороннее поле в источнике электрической энергии может быть получено в результате различных физических и химических явлений. Поддерживая электрический ток в цепи, силы стороннего электрического поля совершают работу за счет энергии источника.



Физическая величина, характеризующая способность источника электрической энергии совершать работу по поддержанию тока в замкнутом контуре электрической цепи, называется **электродвижущей силой** (сокращенно ЭДС).

Если при переносе частиц с зарядом  $Q$  по замкнутому контуру источник электрической энергии совершил работу  $A$ , то его ЭДС  $E = A / Q$ .

ЭДС численно равна работе, совершаемой источником электрической энергии при переносе по замкнутому контуру положительно заряженных частиц с единичным зарядом.

Электродвижущая сила измеряется в вольтах (В):  $[E] = [A] / [Q] = \text{джоуль} / \text{кулон} = \text{вольт}$

## 5. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Главными источниками в большой энергетике, которые дают более 80 % всей энергии, потребляемой в нашей стране, являются тепловые и атомные электростанции.

В малой электроэнергетике в настоящее время источниками служат, прежде всего, химические гальванические элементы и аккумуляторы и, кроме того, термоэлектрогенераторы и фотоэлементы. Но термогенераторы и фотоэлементы имеют малую мощность, небольшую ЭДС и низкий КПД и получили ограниченное применение.

# 6. ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

**6.1. Закон Ома.** Соотношение между напряжением и током для любого пассивного элемента, которое получено Г.С. Омом и называется **законом Ома:  $I = U / R = G \cdot U$** , где  $G = 1 / R$ .

**6.2. Закон Джоуля-Ленца.** При наличии электрического тока в проводнике последний нагревается, и электрическая энергия поля переходит в тепловую в соответствии с законом сохранения и превращения энергии.

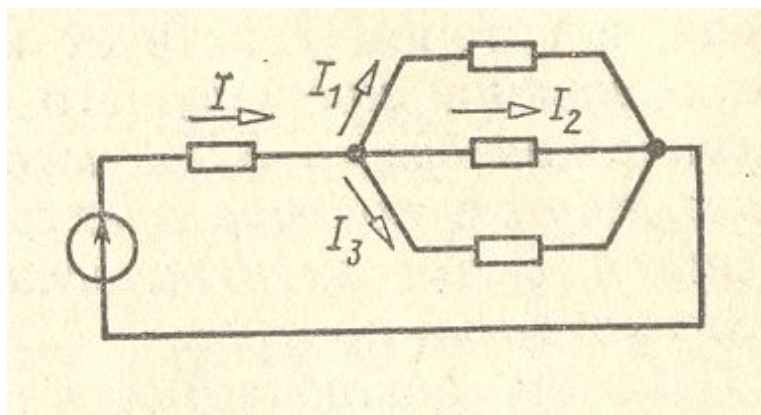
Согласно этому закону количество электрической (электромагнитной) энергии, преобразованной в тепловую энергию, и количество тепловой энергии, полученной в результате преобразования, равны между собой:  $W_T = W$ .

**Пример 3.** Определить какая тепловая энергия будет получена в резисторе с сопротивлением 10 Ом в течение 10 минут при токе 5 А.

**Решение:** Тепловая энергия:  $W_T = R \cdot I^2 \cdot t = 10 \cdot 5^2 \cdot 10 \cdot 60 = 150 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 150 \text{ кДж}$ .

*6.3.Первый закон Кирхгофа.* Алгебраическая сумма токов в ветвях, соединенных в узле электрической цепи, равна нулю. В этом заключается **первый закон Кирхгофа**. В общем случае в математической форме этот закон записывается так:  $\sum I_k = 0$ , где **k** – порядковый номер тока в ветви, присоединенной к узлу электрической цепи.

**Пример 4.** Определить ток в неразветвленной части электрической цепи, изображенной на схеме на рис. 3, если токи в других ветвях цепи известны:  $I_1 = 5 \text{ А}$ ,  $I_2 = 3 \text{ А}$ ,  $I_3 = 4 \text{ А}$ .



**Рис. 3.** К примеру 4

**Решение:** Согласно первому закону Кирхгофа ток в неразветвленной части цепи должен быть равен сумме токов в трех пассивных ветвях этой цепи:  $I = I_1 + I_2 + I_3 = 5 + 3 + 4 = 12 \text{ А}$ .

6.4. *Второй закон Кирхгофа.* Алгебраическая сумма ЭДС источников энергии, действующих в замкнутом контуре электрической цепи, равна алгебраической сумме электрических напряжений на пассивных участках этого контура. В этом заключается **второй закон Кирхгофа**. Математически он записывается так:  $\sum E_k = \sum U_k$ .

**Пример 5.** Записать уравнения второго закона Кирхгофа для контуров электрической цепи, изображенной на рис. 1, считая ЭДС источников равными соответственно  $E_1$  и  $E_2$ , их внутренние сопротивления и сопротивления амперметров равными нулю (выключатели  $B$  замкнуты). Выбранные положительные направления токов трех ветвей показаны на рис. 1.

**Решение:** Принимаем направления обхода всех контуров совпадающих с направлением движения часовой стрелки. Рассмотрим левый контур. В этом контуре действует источник с ЭДС  $E_1$ . Направление действия ЭДС  $E_1$  совпадает с выбранным направлением обхода контура, поэтому ЭДС  $E_1$  записывается в уравнении со знаком плюс. Положительные направления токов  $I_1$  и  $I_3$  в участках контура совпадают с направлением обхода контура. Поэтому токи и напряжения на участках контура  $U_1 = R_1 \cdot I_1$  и  $U_3 = R_3 \cdot I_3$  входят в уравнение со знаком плюс. Уравнение второго закона Кирхгофа для рассматриваемого контура:  $E_1 = R_1 \cdot I_1 + R_3 \cdot I_3$ .

Рассмотрим правый контур. Здесь ЭДС  $E_2$  второго источника действует в направлении, противоположном выбранному выше направлению обхода контура. Поэтому в уравнении второго закона Кирхгофа ЭДС  $E_2$  войдет со знаком минус. Положительные направления с током  $I_2$  и  $I_3$  в рассматриваемом контуре противоположны выбранному направлению обхода контура.

Поэтому токи и напряжения на участках рассматриваемого контура  $U_2 = R_2 \cdot I_2$  и  $U_3 = R_3 \cdot I_3$  также надо записать со знаком минус.

Следовательно, для правого контура:  $-E_2 = -R_2 \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3$ .



Рассмотрим внешний контур, обходя его по направлению движения часовой стрелки. В этом случае ЭДС  $E_1$  нужно записать со знаком плюс, а ЭДС  $E_2$  – со знаком минус. Алгебраическая сумма ЭДС, действующих в этом контуре,  $\sum E_k = E_1 - E_2$ . Положительное направление тока  $I_1$  на участке с сопротивлением  $R_1$  совпадает с направлением обхода контура, а положительное направление тока  $I_2$  на участке с сопротивлением  $R_2$  противоположно направлению обхода. Поэтому ток  $I_1$  и напряжение  $U_1 = R_1 \cdot I_1$  войдут в уравнение со знаком плюс, а ток  $I_2$  и напряжение  $U_2 = R_2 \cdot I_2$  – со знаком минус.

Уравнение второго закона Кирхгофа для рассматриваемого контура имеет вид:  $E_1 - E_2 = R_1 \cdot I_1 - R_2 \cdot I_2$ .

Если направление действия ЭДС источника неизвестно (не задано), то до составления уравнений Кирхгофа необходимо задать ее положительное направление, указав его стрелкой на схеме замещения. Аналогично для источника тока.

# КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают в общем случае под термином «электрический ток»?
2. Какие величины называют электрическими сопротивлением и проводимостью, удельными электрическими сопротивлением и проводимостью?
3. Назовите единицы измерения электрического тока, плотности тока, электрического сопротивления, электрической проводимости, удельного электрического сопротивления, удельной электрической проводимости.
4. Как влияет температура проводника на его электрическое сопротивление?

# КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5. Что такое узел, контур, ветвь, элемент электрической цепи?

6. Какие элементы называют линейным и нелинейным элементом цепи, и какие цепи называют линейной и нелинейной?

7. Какие источники электрической энергии применяются в малой электроэнергетике?

8. Чему равно напряжение на выводах источника энергии в режиме холостого хода, в режиме короткого замыкания?

# КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

9. В чем заключается закон Джоуля-Ленца? Какими формулами можно математически выразить этот закон?

10. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа.

11. Как влияет температура проводника на его электрическое сопротивление?

12. Что такое коэффициент полезного действия электрической энергии? Чему он равен в режиме холостого хода источника и в режиме короткого замыкания?

# ЗАДАЧИ

1. Какое число электронов проходит через поперечное сечение проводника за **1 мс** при токе **8 мкА**?
2. Определите заряд частиц, прошедших через поперечное сечение проводника за **5 минут** при токе **10 А**.
3. Чему равен ток в проводнике сечением **16 мм<sup>2</sup>** при плотности тока **2,5 А/мм<sup>2</sup>**?
4. Определите электрическое сопротивление **1140 м** медного провода сечением **10 мм<sup>2</sup>**.

## ЗАДАЧИ

5. Определите удельную электрическую проводимость провода длиной **1,92 м** и сечением **1 мм<sup>2</sup>**, если при температуре **20 °С** его электрическое сопротивление равно **0,8 Ом**.

6. Определите, насколько увеличилось электрическое сопротивление алюминиевого провода, если его температура возросла на **60 °С**, а до повышения температуры сопротивление провода равнялось **10 Ом**.

7. Определите сопротивление провода, если при токе **3 А** напряжение между концами провода равно **15 В**.

# ЗАДАЧИ

8. Определите ток в проводнике, если каждую секунду через поперечное сечение проводника переносится  $6,25 \cdot 10^{15}$  электронов.

9. Определите плотность тока в проводнике сечением  $16 \text{ мм}^2$ , если ток в проводнике равен  $40 \text{ А}$ .

10. Определите электрическое сопротивление  $1 \text{ км}$  алюминиевого провода сечением  $35 \text{ мм}^2$ .

