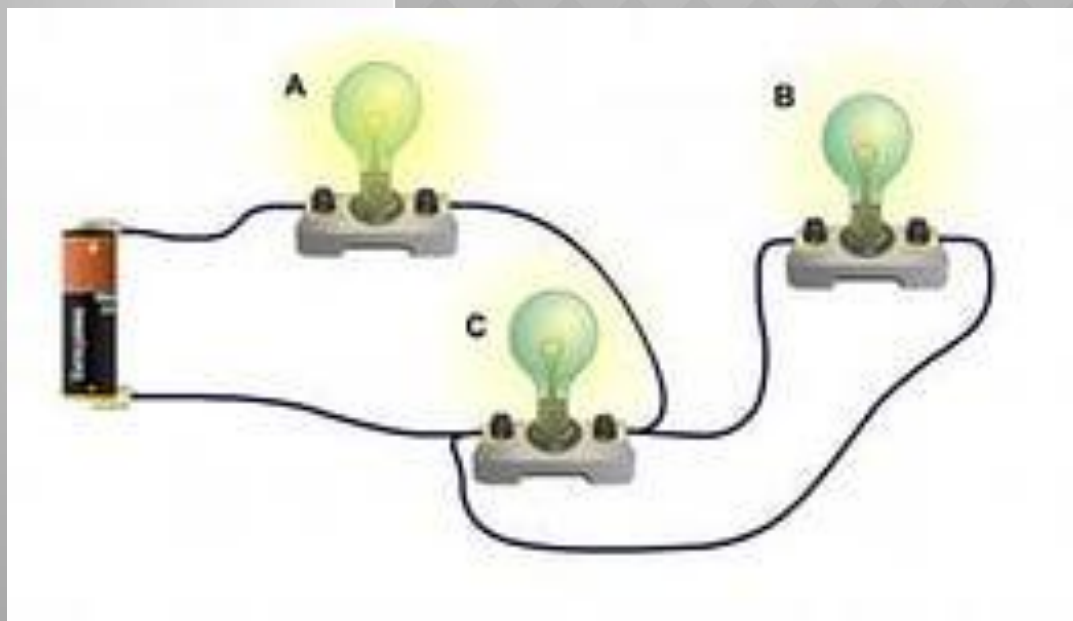


ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ. ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ



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.

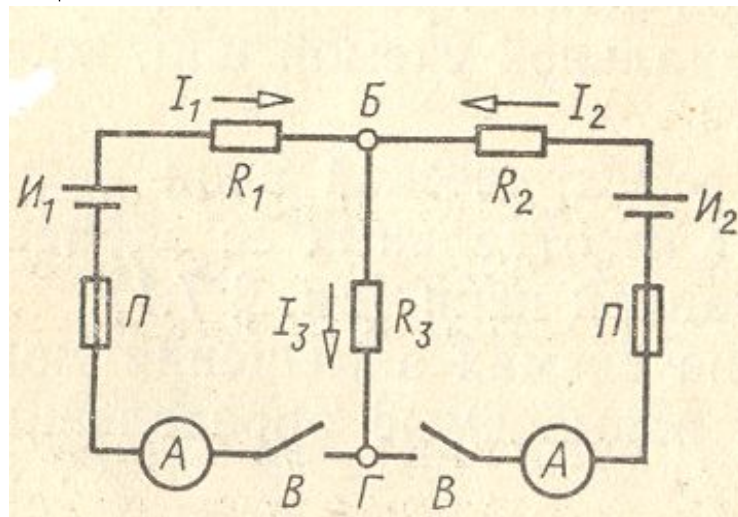


Рис. 1. Схема электрической цепи

На рис. 1 показана в качестве примера схема электрической цепи, на которой изображены: I_1 и I_2 – химические источники электрической энергии (например, аккумуляторы); Π – 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 Γ – 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**.

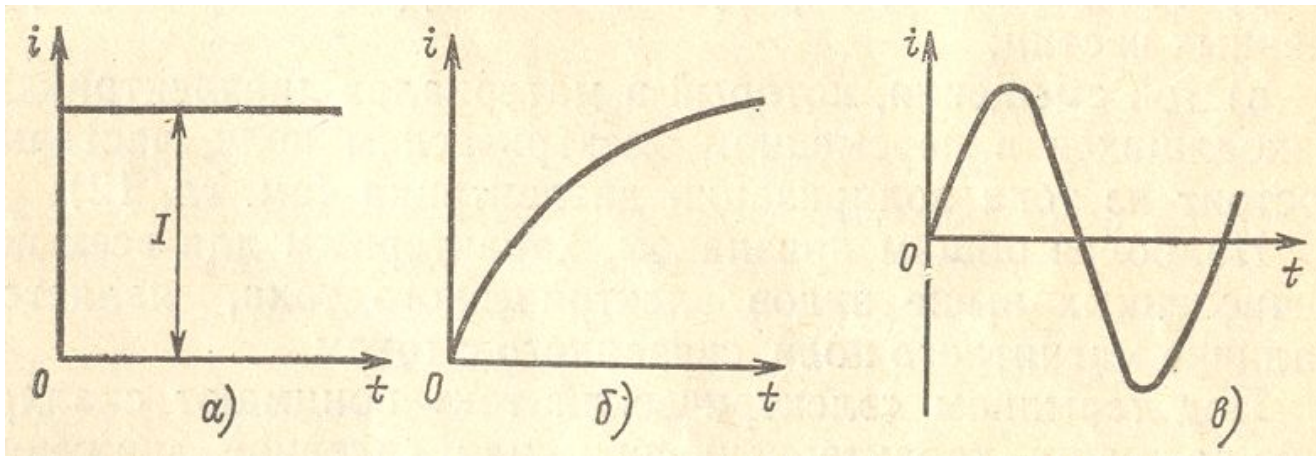


Рис. 2. Графики изменения во времени электрических токов

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

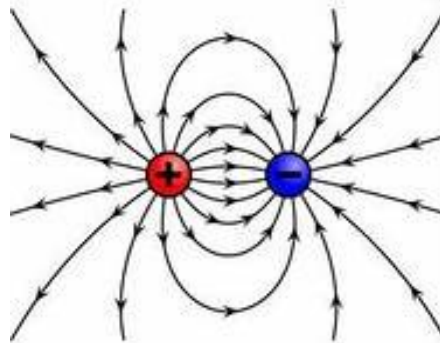
Если за время t через поперечное сечение S проводника равномерно прошло n электронов, то общий заряд всех электронов $Q = e \cdot n$, где $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – абсолютное значение заряда одного электрона, и электрический ток или, короче, ток:

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

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 ν – 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).

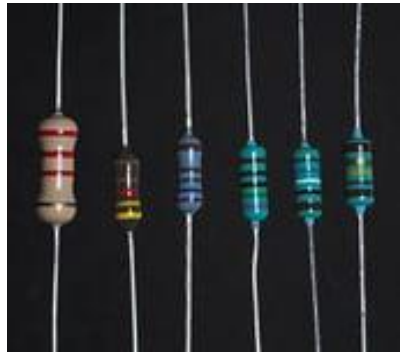
Пример 2. Определить сопротивление медного провода длиной 200 м и сечением 2,5 мм², а также длину, которую должен иметь нихромовый провод с такими же сечениями и сопротивлением.

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, $S = 2,5$ мм² 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: $I_1 = 5 \text{ А}$, $I_2 = 3 \text{ А}$, $I_3 = 4 \text{ А}$.

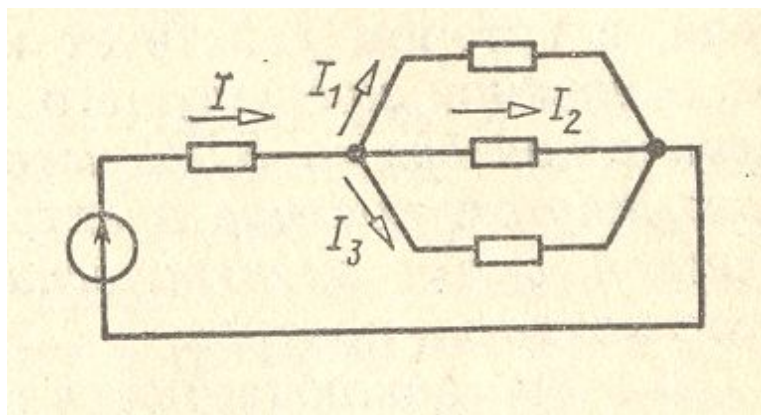


Рис. 3. К примеру 4

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 мм²** при плотности тока **2,5 А/мм²**?
4. Определите электрическое сопротивление **1140 м** медного провода сечением **10 мм²**.

ЗАДАЧИ

5. Определите удельную электрическую проводимость провода длиной **1,92 м** и сечением **1 мм²**, 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 мм^2 , если ток в проводнике равен 40 А .

10. Определите электрическое сопротивление 1 км алюминиевого провода сечением 35 мм^2 .

