

Тема: Постоянный электрический ток

Электрическим током называется упорядоченное движение заряженных частиц или заряженных макроскопических тел.

Постоянным называется ток, величина и направление которого не изменяются с течением времени.

Основные характеристики тока

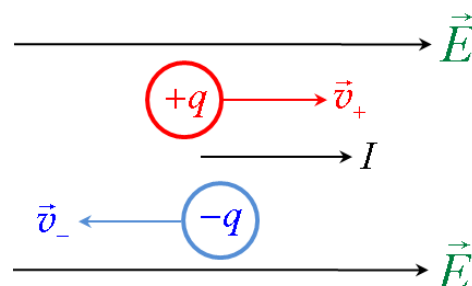
Силой тока называется скалярная величина, равная отношению заряда dq , прошедшего через поперечное сечение проводника за время dt , к этому промежутку времени:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

I (и) – сила тока, $[I] = \text{А}$, Ампер,

dq - заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время dt , Кл.

За направление тока приняли движение положительных зарядов, образующих этот ток.



В случае постоянного тока
$$I = \frac{q}{t},$$

где q - заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t .

Плотностью тока j (йот) называется векторная величина, совпадающая по направлению с электрическим током в данной точке и, равная отношению силы тока I , проходящего через поверхность площадью S , расположенную перпендикулярно направлению тока, к величине этой поверхности:

$$j = \frac{I}{S},$$

где j (йот) - плотность тока, $[j] = \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$, (Ампер на метр квадратный)

I (и) – сила тока, А , Ампер,

S - площадь поперечного сечения проводника, м^2 ,

Электродвижущая сила (ЭДС)

Электродвижущей силой (ЭДС) $\mathcal{E}$ (е) на участке цепи 1-2 называется скалярная величина, равная отношению работы сторонних сил $A_{\text{сторонних}}$ по перемещению положительного заряда q на этом участке цепи, к величине

этого заряда:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{сторонних}}}{q},$$

$$[\mathcal{E}] = B, \text{ Вольт.}$$

Напряжением U (у) **на участке цепи 1-2** называется скалярная величина, равная отношению работы, совершаемой суммарным полем кулоновских $A_{\text{кулоновских}}$ и сторонних $A_{\text{сторонних}}$ сил по перемещению положительного заряда q на данном участке цепи, к величине этого заряда:

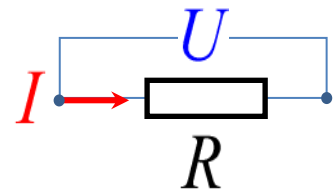
$$U = \frac{A_{\text{сторонних}} + A_{\text{кулоновских}}}{q},$$

$$[U] = B, \text{ Вольт}$$

Законы Ома в интегральной форме

Закон Ома для однородного (пассивного) участка электрической цепи
(то есть участка, не содержащего ЭДС)

$$I = \frac{U}{R} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R},$$



где I - сила тока на данном участке цепи, A ;

$U = \varphi_1 - \varphi_2$ - напряжение на данном участке цепи, B ;

φ_1 и φ_2 - потенциалы на концах данного участка, B ;

R - сопротивление этого участка цепи, Om

Сопротивлением участка цепи R называется скалярная величина, равная отношению напряжения U на данном участке электрической цепи, к величине силы тока I , протекающего по этому участку проводника при данном напряжении:

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

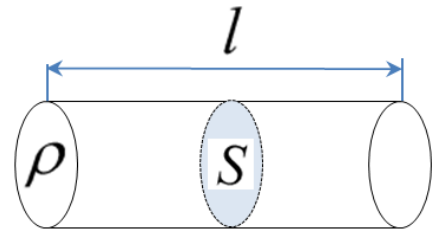
Зависимость сопротивления металлического проводника от его размеров

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ (ро) - удельное сопротивление
(величина табличная), $\text{Ом} \cdot \text{м}$;

l (эль)- длина проводника, м ;

S (эс)- площадь поперечного сечения проводника, м^2 .



Зависимость сопротивления металлических проводников от температуры

- зависимость сопротивления металлического проводника от его температуры

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

- зависимость удельного сопротивления металлического проводника от его температуры

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

где R_0 и ρ_0 - это сопротивление и удельное сопротивление проводника при температуре $t = 0^\circ \text{C}$,

R_t и ρ_t - это сопротивление и удельное сопротивление проводника при температуре t ,

α - температурный коэффициент сопротивления, $[\alpha] = \frac{1}{^\circ \text{C}}$.

Явление сверхпроводимости

Опыт показывает, что сопротивление многих чистых металлов (пр. алюминий Al , цинк Zn , свинец Pb и др. (всего около 25 металлов)) и их сплавов при очень низкой температуре $T_k \approx (0,14 \div 20) \text{ K}$ (называемой **критической** T_k) скачкообразно уменьшается практически до нуля и вещество становится сверхпроводником.

В сверхпроводящем состоянии $\rho \leq 10^{-20} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Самую высокую критическую температуру имеют керамические сверхпроводники ($T_k \approx 150 \text{ K}$)

Закон Ома для неоднородного (активного) участка цепи
(то есть содержащего ЭДС)

$$I = \frac{U}{R_{\text{общ}}} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \sum \mathcal{E}_i}{R + r},$$

где $\sum \mathcal{E}_i$ - алгебраическая сумма ЭДС источников тока на данном участке цепи, В,

$R_{\text{общ}} = R + r$ - общее сопротивление цепи, Ом,

R - внешнее сопротивление цепи, Ом

r - внутреннее сопротивление цепи (сопротивление источников тока), Ом.

$U = \varphi_1 - \varphi_2$ - напряжение на данном участке цепи, В;

φ_1 и φ_2 - потенциалы на концах данного участка, В;

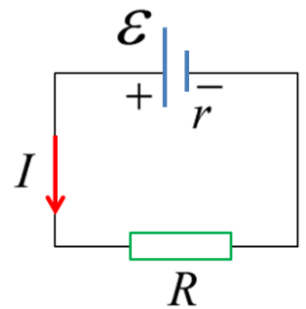
Закон Ома для замкнутой (или полной) цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

где I - сила тока в цепи, А;

R - внешнее сопротивление цепи, Ом;

r - внутреннее сопротивление цепи
(сопротивление источников тока), Ом.



Работа тока на участке электрической цепи

Работу тока за определённый промежуток времени можно рассчитать по

формуле

$$A = \int_{t_1}^{t_2} IU dt.$$

Работа постоянного тока на участке цепи

$$A = qU = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t,$$

где A - работа тока, Дж;

q - заряд, прошедший по данному участку цепи за время t , Кл;

U - напряжение на данном участке цепи, В;

I - сила тока на данном участке цепи, А;

R - сопротивление данного участка цепи, Ом;

t (тэ) - время протекания тока на данном участке цепи, с

Мощность постоянного тока на участке цепи

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

где P (пэ) - мощность тока, Вт, Ватт;

U - напряжение на данном участке цепи, В;

I - сила тока на данном участке цепи, А;

R - сопротивление данного участка цепи, Ом;

Закон Джоуля – Ленца

(позволяет определить количество теплоты, которое выделяется в проводнике при прохождении через него постоянного электрического тока)

$$Q = qU = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t$$

где Q (ку) - количество теплоты, выделившейся на участке цепи, Дж;

q - заряд, прошедший по данному участку цепи за время t , Кл;

U - напряжение на данном участке цепи, В;

I - сила тока на данном участке цепи, А;

R - сопротивление данного участка цепи, Ом;

t (тэ) - время протекания тока на данном участке цепи, с

Полезная работа источника тока

$$A_{\text{полезная}} = qU_{\text{ист}} = IU_{\text{ист}} t$$

где $U_{\text{ист}} = \mathcal{E} - Ir = IR$ - напряжение на клеммах (или полюсах) источника тока, оно же равно падению напряжения во всей внешней цепи, В,

$\mathcal{E}$ - ЭДС источника тока, В,

r - сопротивление источника тока, Ом,

R - сопротивление всей внешней цепи, Ом

I - сила тока в цепи, А;

Затраченная (или полная) работа источника тока

$$A_{\text{затраченная}} = q\mathcal{E} = I\mathcal{E} t$$

Затраченная (или полная) мощность источника тока

$$P_{\text{затраченная}} = \frac{A_{\text{затраченная}}}{t} = I\mathcal{E}$$

Полезная мощность источника тока

$$P_{\text{полезная}} = \frac{A_{\text{полезная}}}{t} = IU_{\text{ист}}$$

где $U_{\text{ист}} = \mathcal{E} - Ir = IR$ - напряжение на клеммах (или полюсах) источника тока, оно же равно падению напряжения во всей внешней цепи, В.

КПД источника тока

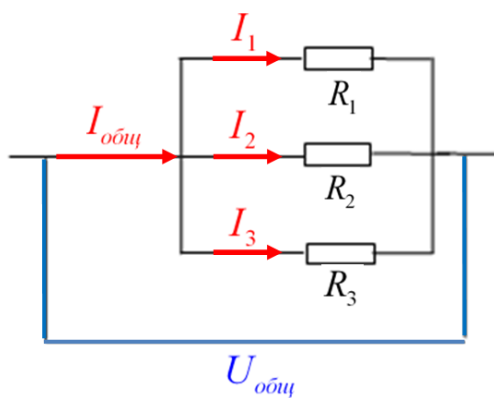
$$\eta = \frac{A_{\text{полезная}}}{A_{\text{затраченная}}},$$

где $A_{\text{полезная}} = qU_{\text{ист}} = IU_{\text{ист}}t$ - полезная работа источника тока, Дж;

$A_{\text{затраченная}} = q\mathcal{E} = I\mathcal{E}t$ - затраченная работа источника тока, Дж.

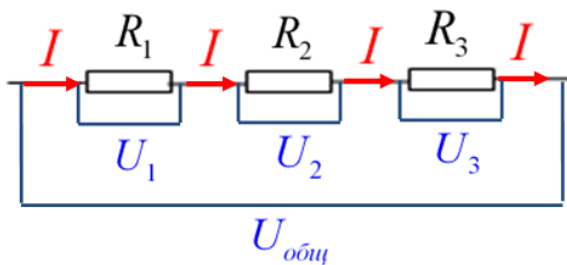
Виды соединения сопротивлений

Параллельное соединение



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \\ U_{\text{общ}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n \\ I_{\text{общ}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \\ I_i = \frac{U_i}{R_i} \quad I_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{R_{\text{общ}}} \end{array} \right.$$

Последовательное соединение



$$\left\{ \begin{array}{l} R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \\ U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n \\ I_{\text{общ}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n \\ I_i = \frac{U_i}{R_i} \quad I_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{R_{\text{общ}}} \end{array} \right.$$

Правила Кирхгофа для расчёта разветвлённых электрических цепей постоянного тока

Первое правило Кирхгофа

Алгебраическая сумма сил токов, сходящихся а узле, равна нулю, то есть

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0.$$

Второе правило Кирхгофа

В любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной электрической цепи, алгебраическая сумма падений напряжений (произведений сил токов I_i на сопротивление R_i) на отдельных участках

цепи этого контура равна алгебраической сумме ЭДС $\sum_{k=1}^m \mathcal{E}_k$, встречающихся

в этом контуре:

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{k=1}^m \mathcal{E}_k.$$

Применяя законы Кирхгофа необходимо придерживаться следующих правил:

1. Определить число электрических узлов и независимых контуров в схеме

Узлом называется место соединения трех и более проводников.

Контур – это любая замкнутая цепь.

Независимый контур – контур, который содержит хотя бы одну новую ветвь.

Ветвь – участок цепи от узла до узла.

2. Перед составлением уравнений произвольно выбрать и указать стрелками на чертеже:

а) направление токов (если они не задана по условию задачи) во всех сопротивлениях, входящих в цепь, учитывая, что от узла до узла течёт один и тот же ток;

б) направление обхода контура.

3. При составлении уравнений по первому закону Кирхгофа считать токи, подходящие к узлу, положительными, а токи, отходящие от узла – отрицательными.

Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, должно быть на единицу меньше числа узлов, содержащихся в цепи.

4. При составлении уравнений по второму правилу Кирхгофа следует считать:

а) падение напряжения на участке цепи (т.е. произведение $I_i R_i$) входит в уравнение со знаком плюс, если направление тока в данном участке совпадает с выбранным направлением обхода контура; в противном случае произведение $I_i R_i$ входит в уравнение со знаком минус;

б) ЭДС входит в уравнение со знаком плюс, если оно повышает потенциал в направлении обхода контура: т.е. если при обходе контура внутри источника тока приходится идти от минуса к плюсу, в противном случае ЭДС входит в уравнение со знаком минус.

Число независимых уравнений, которые могут быть составлены по второму закону Кирхгофа, равно числу независимых контуров, имеющих в цепи.

Для составления уравнений первый контур можно выбрать произвольно. Все следующие контуры следует выбирать таким образом, чтобы в каждый новый контур входила хотя бы одна ветвь цепи, не участвовавшая ни в одном из ранее использованных контуров. Произвольно выбранное направление обхода по контурам не изменяется до конца решения задачи.

Если при решении уравнений, составленных вышеуказанным способом, получены отрицательные значения силы тока или напряжения, то это означает, что ток через данное сопротивление в действительности течет в направлении, противоположном выбранному.