

Тема 3: Постоянный электрический ток

План:

- основные понятия и определения,
- основные характеристики тока,
- ЭДС и напряжение,
- Законы Ома в интегральной форме,
- сопротивления и явление сверхпроводимости,
- работа и мощность тока на участке электрической цепи,
- работа, мощность и КПД источника тока,
- виды соединения сопротивлений,
- правила Кирхгофа для разветвлённых электрических цепей постоянного тока

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

- в металлах свободные электроны,
- в электролитах положительные и отрицательные ионы,
- в ионизированных газах положительные и отрицательные ионы, а так же свободные электроны

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

Основные характеристики тока

1. Сила тока (это скалярная величина, равная отношению заряда dq , прошедшего через поперечное сечение проводника за время dt к этому промежутку времени.)

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

I – сила тока, $[I] = [A]$ - Ампер,

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

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

В случае постоянного тока

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

2. Плотность тока j (это векторная величина, совпадающая по направлению с электрическим током в данной точке и равная отношению силы тока I , проходящего через площадь S , расположенную перпендикулярно направлению тока, к величине этой площади.)

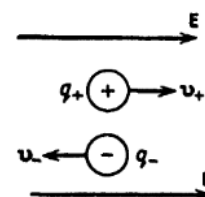
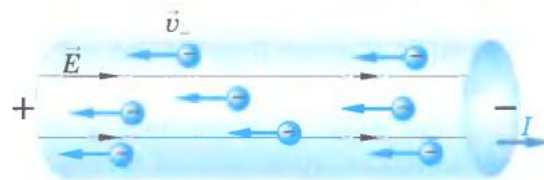
$$j = \frac{I}{S} = |q|nv_{др},$$

где j - плотность тока, $[j] = \left[\frac{A}{m^2} \right]$,

S - площадь поперечного сечения проводника, $[S] = [m^2]$,

$|q|$ - модуль заряда носителей тока, Кл; n - концентрация носителей тока, $\frac{1}{m^3}$;

$v_{др}$ - дрейфовая скорость носителей тока, $\frac{m}{c}$.



За направление тока приняты направление движения положительных зарядов, образующих этот ток.

Электродвижущая сила (ЭДС)

Для поддержания тока в цепи необходим источник тока, внутри которого на носители тока действуют силы не электрической природы, называемые **сторонними силами**. Под действием сторонних сил заряды внутри источника тока движутся против сил электрического поля, благодаря чему на концах проводника поддерживается разность потенциалов и в цепи течёт ток. Таким образом, сторонние силы совершают работу по перемещению электрических зарядов. Величиной этой работы удобно характеризовать сторонние силы.

Электродвижущей силой (ЭДС) на участке цепи 1-2 называется величина, определяемая работой сторонних сил

$A_{\text{сторонних}}$ по перемещению единичного положительного заряда q на этом участке цепи:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{сторонних}}}{q}, \quad [\mathcal{E}] = B, \text{ Вольт.}$$

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

$$U = \frac{A_{\text{сторонних}} + A_{\text{кулоновских}}}{q}, \quad [U] = B, \text{ Вольт}$$

Напряжение U на участке цепи 1-2 можно определить по формуле: $U = \varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}_{1-2}$.

Если на участке 1-2 ЭДС нет, то напряжение на этом участке равно разности потенциалов на концах этого участка:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2$$

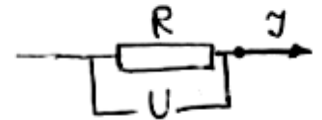
Законы Ома в интегральной форме

Закон Ома для однородного (пассивного) участка 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 физическая величина, определяющая силу тока в проводнике при данном напряжении.

Сопротивление металлического проводника зависит от его геометрических размеров: $R = \rho \frac{l}{S}$,

где ρ - удельное сопротивление, $Om \cdot m$; l - длина проводника, m ; S - площадь поперечного сечения проводника, m^2 .

Лучше всего проводят ток: Серебро $\rho_c = 1,6 \cdot 10^{-8} Om \cdot m$; Медь $\rho_m = 1,7 \cdot 10^{-8} Om \cdot m$.

Физ. смысл ρ : оно равно сопротивлению проводника длиной $1 m$ и сечением $1 m^2$.

Проводимостью G называется величина обратная сопротивлению:

$$G = \frac{1}{R}, \text{ См, Сименс}$$

Удельной проводимостью σ называется величина обратная удельному сопротивлению: $\sigma = \frac{1}{\rho}, \frac{1}{Om \cdot m}$.

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 $t = 0^\circ C$,

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

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

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 $T_k \approx (0,14 \div 20) K$ (называемой критической T_k) скачкообразно уменьшается практически до нуля и вещество становится сверхпроводником.

Явление сверхпроводимости было обнаружено у ртути в 1911 г. голландским физиком Г. Камерлинг-Оннесом и др. ($T_k \approx 4,15 K$).

Переход в сверхпроводящее состояние происходит для чистых металлов практически скачкообразно на интервале температуры $\Delta T \approx 0,001 K$.

В сверхпроводящем состоянии $\rho \leq 10^{-20} Om \cdot m$.

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

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

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

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

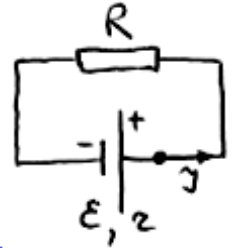
r - внутреннее сопротивление цепи (сопротивление источников тока), Ом.

Закон Ома для замкнутой цепи

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

где R - внешнее сопротивление цепи, Ом

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



Работа и мощность тока на участке электрической цепи

Элементарную работу тока можно определить по формуле $dA = Udq = IUdt$,

где dA - элементарная работа тока, U - напряжение на участке цепи, dq - заряд, прошедший по данному участку цепи за время dt , I - сила тока на участке цепи, dt - элементарный промежуток времени, в течение которого протекал ток.

Тогда работу тока за определённый промежуток времени можно рассчитать по формуле $A = \int dA = \int_{t_1}^{t_2} IUdt$.

Работа постоянного тока на участке цепи равна: $A = qU = IUt$ или $A = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$

мощность постоянного тока на участке цепи равна: $P = IU$ или $P = I^2 R = \frac{U^2}{R}$

Закон Джоуля – Ленца

(позволяет определить количество теплоты, выделяющееся в проводнике с током за определённый промежуток времени)

$$Q = IUt \quad \text{или} \quad Q = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$$

Работа и мощность источника тока

1. **полезная работа** источника постоянного тока

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

где напряжение на клеммах источника тока

$$U_{\text{ист}} = \mathcal{E} - Ir = IR$$

2. **затраченная (полная) работа** источника постоянного тока

$$A_{\text{затраченная}} = q\mathcal{E} = I\mathcal{E}t \quad \text{или} \quad A_{\text{затраченная}} = \frac{\mathcal{E}^2}{R+r} = I^2 (R+r)$$

3. **полезная мощность** источника постоянного тока

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

4. **затраченная (полная) мощность** источника постоянного тока

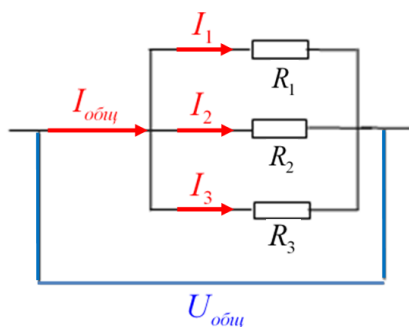
$$P_{\text{затраченная}} = \frac{A_{\text{затраченная}}}{t} = I\mathcal{E}$$

КПД источника тока

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

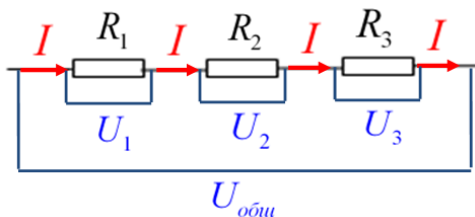
Виды соединения сопротивлений

Параллельное соединение



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

Последовательное соединение



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

Правила Кирхгофа для расчёта разветвлённых электрических цепей постоянного тока

Первое правило Кирхгофа

Алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю, т.е. $\sum_{i=1}^n I_i = 0$

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.