

VII. Постоянный ток.

Электрический ток - упорядоченное движение заряженных частиц, т. е. такое движение, при котором через поперечное сечение проводника происходит перенос заряда.

Носители тока - заряженные частицы, движение которых образует ток.

1. Упорядоченная скорость.

Обычно заряженные частицы в веществе движутся беспорядочно — "хаотично". Среди направлений движения этих частиц нет преимущественного — все направления встречаются одинаково часто, поэтому через любое сечение проводника проходит в обе стороны в среднем одинаковое число носителей. Среднее значение вектора скорости заряженных частиц при таком движении в

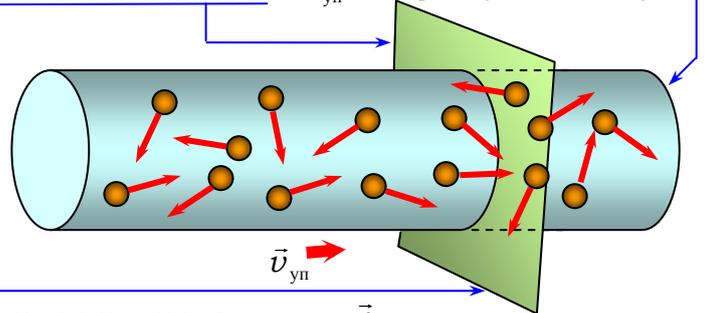
любой момент равно нулю: $\vec{v} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \dots + \vec{v}_N}{N} = 0$. Но если, продолжая беспорядочное движение, вся эта масса хаотически

движущихся носителей начинает смещаться в какую-либо сторону (это называется "дрейф"), то такое движение считается упорядоченным и образует электрический ток. В этом случае среднее значение вектора скорости уже не равно нулю и называется

скоростью упорядоченного движения носителей: $\vec{v}_{уп} = \vec{v} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \dots + \vec{v}_N}{N}$. $\vec{v}_{уп}$ направлена туда, куда смещается масса

хаотично движущихся частиц - в сторону дрейфа. Можно представить себе ток в проводе так: цилиндрический сосуд, заполненный хаотически движущимися носителями тока, медленно (по сравнению со скоростями теплового движения носителей) перемещается.

Скорость сосуда в этой модели - $\vec{v}_{уп}$. Если сосуд мысленно расщепить неподвижной плоскостью $\perp \vec{v}_{уп}$, то через эту плоскость будет переноситься заряд.



2. Сила тока.

Модуль силы тока

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

Модуль заряда, перенесенного через поперечное сечение проводника за время t .

Единица измерения силы тока в СИ:
1 А = 1 Кл/с

Если сила тока меняется ($I \neq \text{const}$), то вычисляют мгновенные значения силы тока (для каждого момента):

$$I = \frac{dq}{dt} = q'(t)$$

dq - заряд, перенесенный в направлении обхода через поперечное сечение проводника за такое малое время dt , за которое сила тока не успевает существенно измениться.

3. Плотность тока

— вектор \vec{j} , направление которого совпадает с направлением, в котором переносится положительный заряд:

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

сила тока через поперечное сечение S

во всех точках сечения S одинаковы \vec{j}

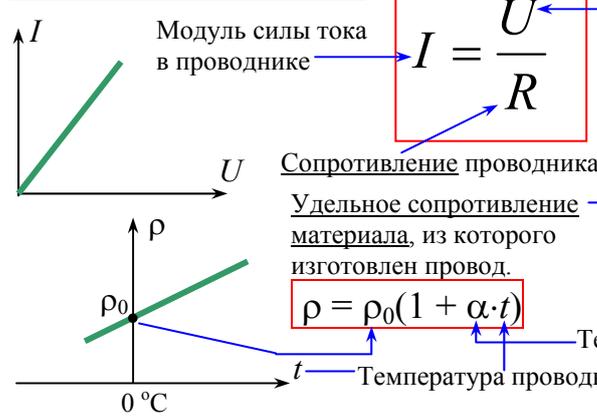
$$\vec{j} \uparrow \uparrow \vec{v}_{уп(+)}; \vec{j} \uparrow \downarrow \vec{v}_{уп(-)}$$

$$\vec{j} = q_0 n \vec{v}_{уп}$$

Скорость упорядоченного движения носителей тока
Концентрация носителей тока

Заряд одного носителя

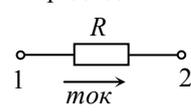
4. Закон Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС.



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

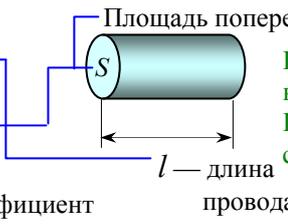
Модуль силы тока в проводнике

Напряжение (разность потенциалов) между концами проводника $U = \phi_1 - \phi_2$, (если ток течет от точки 1 к точке 2).



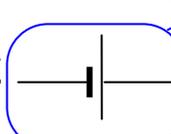
$$R = \frac{\rho l}{S}$$

Сопротивление проводника
Удельное сопротивление материала, из которого изготовлен провод.



Единица измерения сопротивления в СИ: 1 Ом = 1В/А.
Единица измерения удельного сопротивления в СИ: 1 Ом·м.

5. Закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС



$$I \cdot R = \phi_1 - \phi_2 + \mathcal{E}$$

Направление обхода от 1 → 2

Сила тока, текущего по участку 1-2
Полное сопротивление участка 1-2
Суммарная ЭДС на участке 1-2

$$I > 0, \text{ если ток } \uparrow \uparrow \text{ обходу } 1 \rightarrow 2$$

$$I < 0, \text{ если ток } \uparrow \downarrow \text{ обходу } 1 \rightarrow 2$$

$\mathcal{E} > 0$, если источник направляет ток $\uparrow \uparrow$ обходу 1→2

$\mathcal{E} < 0$, если источник направляет ток $\uparrow \downarrow$ обходу 1→2

Источник тока — проводник, в котором действуют сторонние силы.
Сторонние силы — любые силы не электростатического происхождения, понуждающие носители тока к упорядоченному движению.



$$\mathcal{E} = \frac{A_{1-2}^{стоп}}{q}$$

ЭДС источника (электро-движущая сила)

Работа сторонних сил источника над зарядом q при его перемещении через источник в направлении обхода 1→2

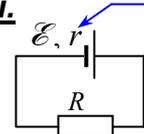
6. Закон Ома для замкнутой неразветвленной цепи.

$$I = \frac{\sum \mathcal{E}}{R_{полн}}$$

Сила тока, текущего через каждый элемент цепи

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

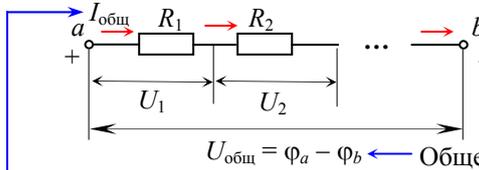
Суммарная ЭДС цепи
Полное (суммарное) сопротивление цепи



Внутреннее сопротивление источника

7. Последовательное соединение проводников

— соединение, при котором заряд полностью, без ответвлений, перетекает из предыдущего проводника в следующий.



$$I_{\text{общ}}^{\text{посл}} = I_1 = I_2 = \dots$$

$$U_{\text{общ}}^{\text{посл}} = U_1 + U_2 + \dots$$

$$R_{\text{общ}}^{\text{посл}} = R_1 + R_2 + \dots$$

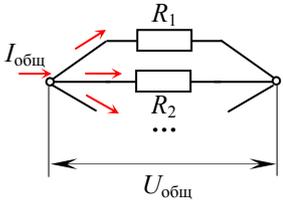
$$\text{Если } R_1 = R_2 = \dots = R_N = R, \text{ то } R_{\text{общ}}^{\text{посл}} = NR$$

$I_{\text{общ}}$ — общий ток — ток, втекающий через (+) выход системы и вытекающий через (-) выход.

$R_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{I_{\text{общ}}}$ — общее сопротивление системы проводников с двумя выходами — сопротивление резистора, который можно включить один вместо всей системы между ее выходами, при этом $I_{\text{общ}}$ и $U_{\text{общ}}$ не изменятся.

8. Параллельное соединение проводников

— соединение, при котором каждый проводник присоединен одним концом к (+) выходу системы, а другим концом к (-) выходу.



$$I_{\text{общ}}^{\text{пар}} = I_1 + I_2 + \dots$$

$$U_{\text{общ}}^{\text{пар}} = U_1 = U_2 = \dots$$

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}^{\text{пар}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

$$\text{Если } R_1 = R_2 = \dots = R_N = R, \text{ то } R_{\text{общ}}^{\text{пар}} = \frac{R}{N}$$

9. Работа и мощность электрического тока.

Количество теплоты, выделяющееся на участке

Для участка, не содержащего ЭДС

Тепловая мощность (количество теплоты, выделяющееся за единицу времени)

$$A_{\text{тока}} = A_{\text{эл}} = Q = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t$$

$$N_{\text{тока}} = N_{\text{эл}} = N_{\text{тепл}} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

$I = \text{const}$

Работа тока Работа электрической силы Мощность тока Мощность электрической силы

Для участка, содержащего ЭДС

10. Переменный ток.

$$A_{\text{тока}} = A_{\text{эл}} = IUt$$

$$Q = I^2 Rt$$

$$A_{\text{стор}} = I\mathcal{E}t$$

$I = \text{const}$

Работа сторонних сил источника Мощность сторонних сил источника

$$N_{\text{тока}} = N_{\text{эл}} = IU$$

$$N_{\text{тепл}} = I^2 R$$

$$N_{\text{стор}} = I\mathcal{E}$$

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$X_L = \omega L$$

Емкостное и индуктивное сопротивление

При резонансе $X_C = X_L$

$$I = I_m \cos(\omega t + \varphi_{02})$$

$$U = U_m \cos(\omega t + \varphi_{01})$$

$$A_{\text{тока на } R} = Q_{\text{на } R} = I_{\text{д}}^2 Rt$$

$$I_{\text{д}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$U_{\text{д}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Действующие значения тока и напряжения

Работа переменного тока на резисторе за время t , кратное четверти периода колебаний.

11. КПД электрической цепи.

$$\eta = \frac{N_{\text{нагр}}}{N_{\text{ист}}} = \frac{U}{\mathcal{E}} = \frac{R}{R + r}$$

$U = \varphi_a - \varphi_b$ — напряжение на нагрузке.

R — Сопротивление нагрузки (внешнее сопротивление)

12. Условие выделения максимальной мощности на нагрузке: $R = r$

При данных значениях внутреннего сопротивления r и ЭДС источника \mathcal{E} максимальная мощность выделяется при условии, что сопротивление нагрузки R равно r .

13. Закон Фарадея для электролиза.

$$m = \frac{M_{\text{ионов}}}{Z_e N_A} It = kIt = kq$$

Молярная масса ионов, выделяющихся при электролизе.

Электрохимический эквивалент вещества, выделяющегося при электролизе

Заряд, выделившийся на электроде при электролизе.

Сила тока при электролизе

Число Авогадро.

Модуль заряда электрона

Энергия, затраченная на электролиз

Количество теплоты, выделившееся в электролите

Энергия, затраченная на выделение веществ на электродах

ЭДС поляризации электролита

$$IUt = I^2 Rt + I\mathcal{E}_{\text{пол}} t$$

Масса вещества, выделившегося на электроде за время t

Валентность ионов, выделяющихся при электролизе

Напряжение между электродами

Сопротивление электролита

14. Закон сохранения энергии в электрических цепях:

$$\Delta W_{\text{конд}} + \Delta W_{\text{кат}} = A_{\text{ист}}^{\text{стор}} - Q + A_{\text{мех}}^{\text{внеш}}$$