

Рис. 7.11

$$[I = 0,775 \text{ A}]$$

8. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

8.1. Основные формулы

Сила тока измеряется количеством электричества, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени

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

Сопротивление R металлического проводника длиной l и площадью поперечного сечения S

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad \rho = \rho_0 (1 + \alpha t),$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника; ρ_0 – удельное сопротивление при 0°C ; α – температурный коэффициент сопротивления.

Для участка цепи, не содержащего ЭДС (однородного участка цепи)

$$I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R};$$

для неоднородного участка цепи

$$I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2 + \varepsilon}{R};$$

для замкнутой цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ – разность потенциалов на концах рассматриваемого участка цепи общим сопротивлением R ; ε – ЭДС источника с внутренним сопротивлением r .

При последовательности соединении проводников сила тока во всех частях цепи одинакова

$$I_1 = I_2 = I.$$

Напряжение на концах участка цепи равна сумма напряжений на частях участка (рис. 8.1)

$$\begin{aligned} I_1 &= I_2 = I, \\ U &= U_1 + U_2, \\ R_{\text{общ}} &= R_1 + R_2. \end{aligned}$$

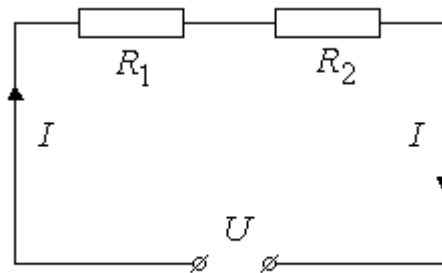


Рис. 8.1

При параллельном соединении проводников (рис. 8.2).

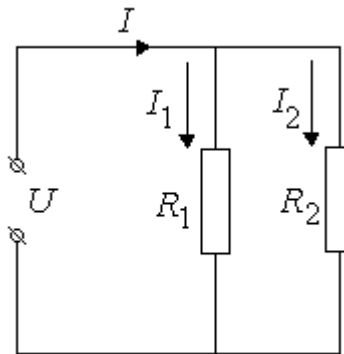


Рис. 8.2

Сила тока в неразветвленной цепи равна сумме сил токов, текущих в разветвленных участках цепи:

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2, \\ U_1 &= U_2 = U, \\ \frac{1}{R_{\text{общ}}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}. \end{aligned}$$

РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА. ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА. КПД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Работа тока на данном участке цепи равна

$$A = UIt, \quad A = Pt.$$

При решении задач на работу A и мощность тока P в последовательно соединенных проводниках удобно использовать формулы:

$$A = IUt \text{ или } A = I^2 Rt,$$

$$P = I^2 R \text{ или } P = UI,$$

поскольку сила тока в таких проводниках одинакова.

Если проводники соединены параллельно, то можно применять формулы:

$$A = \frac{U^2}{R} t \text{ или } P = \frac{U^2}{R},$$

т.к. в этом случае одинаково напряжение на проводниках.

Если цепь состоит из источника тока с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r , то вся работа тока в цепи ($A_{\text{затр}}$) есть сумма работы на внешнем ($A_{\text{внешн}}$) и на внутреннем ($A_{\text{внутр}}$) участках цепи:

$$A_{\text{затр}} = A_{\text{внешн}} + A_{\text{внутр}},$$

$A_{\text{внешн}}$ – полезная работа.

$$A_{\text{затр}} = \varepsilon It,$$

$$A_{\text{внешн}} = UIt = I^2 Rt,$$

$$A_{\text{внутр}} = I^2 rt.$$

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затр}}} 100\%.$$

Закон Джоуля-Ленца определяет количество теплоты, выделившейся в проводнике при прохождении по нему электрического тока:

$$Q = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t = UIt.$$

8.2. Примеры решения задач

Задача 1. Определить напряжение на зажимах источника тока, имеющего ЭДС 2 в и внутреннее сопротивление 0,5 Ом, до и после подключения к нему внешнего сопротивления 4,5 Ом (рис. 8.3).

Анализ и решение.

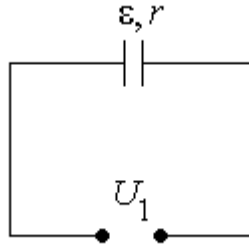
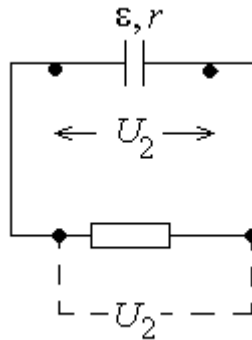


Рис. 8.3

$$U_1 = \varepsilon = 2 \text{ В.}$$

Цепь разомкнута, падение напряжения $(IR)=0$ (ток отсутствует).



$$U_2 = \varepsilon - Ir -$$

напряжение на клеммах источника.

I для замкнутого контура:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

$$U_2 = \varepsilon - \frac{\varepsilon r}{R + r} = \frac{\varepsilon R + \varepsilon r - \varepsilon r}{R + r} = \varepsilon \frac{R}{R + r} = 1,8 \text{ В.}$$

Падение напряжения во внешней цепи:

$$U = IR = \frac{E}{R + r} R = 1,8 \text{ В.}$$

Численное значение разности потенциалов на зажимах источника и падения напряжения во внешней цепи совпадают. Это возможно только тогда, когда во внешней цепи нет других источников тока.

Задача 2.5 элементов с одинаковыми ЭДС, соединенных последовательно на внешний резистор сопротивления $R_1 = 3$ Ом, дали ток $I_1 = 2,5$ А. Те же элементы, соединенные параллельно на внешний резистор сопротивлением $R_2 = 2,46$ Ом, дали ток $I_2 = 0,8$ А. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление каждого элемента (рис. 8.4).

Анализ и решение.

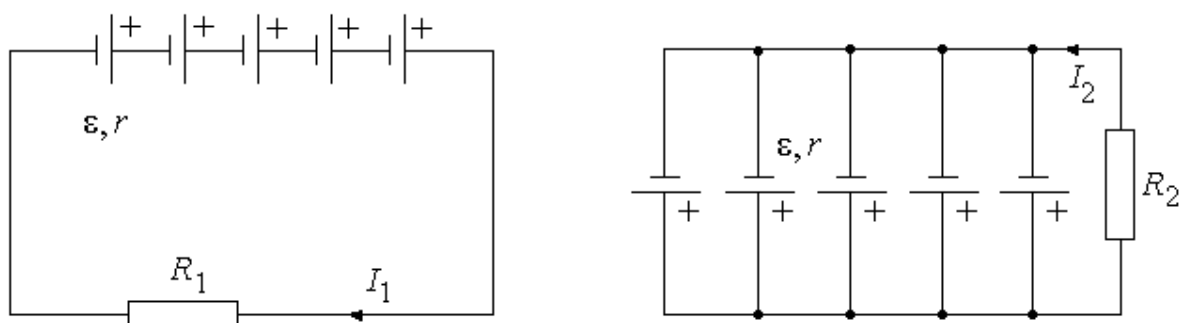


Рис. 8.4

Закон Ома для замкнутой цепи
для 1 случая

$$I_1 = \frac{5\varepsilon}{5r + R_1}; \quad (1)$$

для 2 случая

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{\frac{r}{5} + R_2}. \quad (2)$$

Из (2) находим
$$\varepsilon = I_2 \left(\frac{r}{5} + R_2 \right). \quad (3)$$

Подставив (3) в (1), найдем
$$I_1 = \frac{5I_2 \left(\frac{r}{5} + R_2 \right)}{5r + R_1} = \frac{I_2 (r + 5R_2)}{5r + R_1}.$$

Из последнего выражения найдем r

$$5I_1 r + I_1 R_1 = I_2 r + 5I_2 R_2,$$

$$r = \frac{5I_2 R_2 - I_1 R_1}{5I_1 - I_2}; \quad r = \frac{5 \cdot 0,8 \cdot 2,46 - 2,5 \cdot 3}{5 \cdot 2,5 - 0,8} = \frac{2,34}{11,7} = 0,2 \text{ Ом.}$$

Из (3) найдем ЭДС

$$\varepsilon = 0,8 \left(\frac{0,2}{5} + 2,46 \right) = 2 \text{ В.}$$

Задача 3. Электрическая лампочка накаливания потребляет силу тока $I = 0,2$ А. Диаметр вольфрамового волоска $d = 0,02$ мм, температура волоска при горении лампы $t = 2000^\circ\text{C}$. Определите напряженность E электрического поля в волоске. Удельное сопротивление вольфрама $\rho_0 = 5,6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Анализ и решение. Используем закон Ома для участка цепи и формулу сопротивления. Особенность задачи в том, что надо найти связь между

напряженностью – характеристикой электрического поля внутри проводника и силой тока – характеристикой движения зарядов, а также сечением.

По проводнику течет ток I . Напряжение на концах проводника $U = IR$. Так как $U = El$, $R = \rho \frac{l}{S}$, то

$$El = I\rho \frac{l}{S}, \quad E = \rho \frac{I}{S}.$$

Из этой формулы следует, что с увеличением температуры проводника увеличивается напряженность, т.к. с ростом t растет ρ .

При температуре накала нити t , удельное сопротивление ρ вольфрамового волоска в нагретом состоянии

$$\rho = \rho_0(1 + at),$$

где ρ_0 – удельное сопротивление вольфрама при 0°C . Отсюда

$$E = \frac{I}{S} \rho_0(1 + at).$$

$$E = \frac{4 \cdot 0,2 \cdot 5,6 \cdot 10^{-8} \left(1 + \frac{4,6 \cdot 2000}{10^3} \right)}{3,14 \cdot 0,02 \cdot 0,02 \cdot 10^{-6} 10^2} = 35,68 \cdot 10,2 \approx 360 \text{ В/м.}$$

Уравнение $E = \rho \frac{I}{S} = \rho J$ называется законом Ома в дифференциальной форме. Он используется обычно при расчете токов в безграничных средах.

8.2. Задачи для самостоятельного решения

8.1. Аккумулятор, ЭДС которого $\varepsilon = 25$ В и внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом, заряжается от сети напряжением $U = 40$ В через дополнительное сопротивление $R = 5$ Ом. Найти напряжение U_1 на зажимах аккумулятора.

[27,5 В]

8.2. При коротком замыкании батареи возникает ток I , а при подключении резистора сопротивлением R ток в цепи I_2 . Определить ЭДС ε батареи.

$$\left[\varepsilon = I_2 R / \left(1 - \frac{I_2}{I_1} \right) \right]$$

8.3. Аккумулятор, внутренним сопротивлением которого пренебречь, поочередно замыкали на два разных резистора. В первом случае ток был I_1 , во втором – I_2 . Определить ток при замыкании аккумулятора на эти резисторы, соединенные последовательно.

$$\left[I = I_1 I_2 / (I_1 + I_2) \right]$$