

11 ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

11.1 Цель занятия

Усвоить основные законы теории постоянного электрического тока: обобщенный закон Ома, правила Кирхгофа и закон Джоуля-Ленца, а также научиться рассчитывать электрические цепи, то есть, имея произвольную электрическую цепь и любые его параметры (электродвижущую силу (ЕРС), сопротивление и др.), уметь определить другие неизвестные величины (силу тока, работу, мощность, количество теплоты и т. п.).

11.2 Указания по организации самостоятельной работы студентов

Теоретический материал данной темы следует изучить по [3, разд. 4; 4, разд. 4; 5, глава 4] и конспекту лекций, ответить на контрольные вопросы, проанализировать решения задач, приведенных как примеры.

11.3 Основные законы и формулы

1. Сила тока

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

2. Плотность тока в проводнике

$$j = \frac{I}{S}, \quad \vec{j} = ne\langle\vec{v}\rangle,$$

где S – площадь поперечного сечения проводника; $\langle\vec{v}\rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения зарядов в проводнике; n – концентрация зарядов.

3. Электродвижущая сила, действующая в цепи,

$$\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q_0},$$

где A_{cm} – работа сторонних сил; q_0 – единичный положительный заряд,

$$\varepsilon = \oint \vec{E}_{cm} d\vec{l} \text{ (замкнутая цепь),}$$

$$\varepsilon_{12} = \int_1^2 \vec{E}_{cm} d\vec{l} \text{ (участок цепи 1-2),}$$

где \vec{E}_{cm} – напряженность поля сторонних сил.

4. Разность потенциалов между двумя точками цепи

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = \int_1^2 E_l dl,$$

где \vec{E} – напряженность электростатического поля; E_l – проекция вектора \vec{E} на направление элементарного перемещения $d\vec{l}$.

5. Напряжение на участке 1-2 цепи:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon,$$

де $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов между точками цепи; ε – ЭДС, действующая на участке 1-2 цепи.

6. Сопротивление R однородного линейного проводника, проводимость G проводника и удельная электропроводность γ вещества проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad G = \frac{1}{R}, \quad \gamma = \frac{1}{\rho},$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление; S – площадь поперечного сечения проводника; l – его длина.

7. Сопротивление при последовательном соединении n проводников:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i.$$

8. Сопротивление при параллельном соединении n проводников:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}.$$

9. Закон Ома

$$I = \frac{U}{R} \text{ (для однородного участка цепи),}$$

$$I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2 + \varepsilon_{12}}{R} \text{ (для неоднородного участка цепи),}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} \text{ (для замкнутой цепи),}$$

где U – напряжение на участке цепи; R – сопротивление цепи (участка цепи); $(\Phi_1 - \Phi_2)$ – разность потенциалов на концах участка цепи; ε_{12} – ЭДС источников тока, входящих в цепи; ε – ЭДС всех источников тока цепи.

10. Зависимость удельного сопротивления ρ и сопротивления R от температуры

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t), \quad R = R_0(1 + \alpha t),$$

где ρ и ρ_0 , R и R_0 – соответственно удельное сопротивление и сопротивление проводника при произвольной t и $t = 0^\circ \text{C}$; α – температурный коэффициент сопротивления.

11. Закон Ома в дифференциальной форме

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

где \vec{j} – плотность тока; \vec{E} – напряженность электростатического поля; γ – удельная электропроводность проводника.

12. Работа тока

$$dA = Udq = IUdt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt,$$

где U – напряжение, приложенное к концам однородного проводника; I – сила тока в проводнике; R – сопротивление проводника; dq – заряд, который переносится через поперечное сечение проводника за период времени dt .

13. Мощность тока

$$P = \frac{dA}{dt} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R},$$

где U – напряжение, приложенное к концам проводника; I – сила тока в проводнике; R – его сопротивление.

14. Закон Джоуля-Ленца:

$$dQ = IUdt = I^2 R dt = \frac{U^2}{R} dt.$$

15. Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме

$$w = jE = \gamma E^2,$$

где w – удельная тепловая мощность тока; j – плотность тока;

E – напряженность электростатического поля; γ – удельная электропроводность вещества.

16. Первое правило Кирхгофа

$$\sum_k I_k = 0, \quad (11.1)$$

Где I_k – ток, входящий в узел / выходящий из узла; k – количество токов в узле.

17. Второе правило Кирхгофа

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \varepsilon_k, \quad (11.2)$$

где $I_i R_i$ – падение напряжения на i -м элементе цепи; i – количество элементов в цепи; ε_k – k -ая ЭДС, действующая в цепи; k – количество ЭДС, действующих в цепи.

Порядок решения задач с использованием правил Кирхгофа:

1. Выбрать произвольное направление токов на всех участках цепи; действительное направление определяется при решении задачи: если искомый ток получается положительным, то его направление выбрано правильно, отрицательным – его верное направление противоположно выбранному.

2. Подсчитать число m узлов в цепи и записать уравнение (11.1) для $(m - 1)$ узлов.

3. Выделить в разветвленной цепи замкнутые контуры, определить направление обхода каждого и записать систему уравнений (11.2) для каждого из них. Контур следует выбирать так, чтобы каждый новый контур имел хотя бы один участок цепи, который бы не входил в предыдущие контуры. Произведение $I \cdot R$ положительно, если ток на данном участке совпадает с направлением обхода, и наоборот; ЭДС, действующие по выбранному направлению обхода, считаются положительными, против – отрицательными.

4. Решить полученную систему уравнений и найти искомые токи.

11.4 Контрольные вопросы и задания

1. Что такое электрический ток, сила и плотность тока?
2. Что такое электросопротивление проводника, от чего оно зависит?
3. Чему равна электросопротивление при параллельном и последовательном соединении проводников?
4. Какой вид имеет зависимость электросопротивления от температуры?
5. Что понимают под сторонними силами и какова их роль в цепи постоянного тока?
6. Поясните физический смысл электродвижущей силы, напряжения и разности потенциалов на участке электрической цепи.
7. Запишите закон Ома для однородного участка цепи в интегральном виде.
8. Запишите закон Ома в дифференциальной форме.
9. Запишите закон Ома для неоднородного участка цепи.
10. Сформулируйте правила знаков для силы тока и ЭДС в обобщенном законе Ома для участка цепи.
11. Запишите правила Кирхгофа и их обоснование.
12. Чему равна работа и мощность электрического тока?
13. Запишите закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах.

11.5 Примеры решения задач

Задача 1. Какой заряд переносится в следующих случаях: а) ток равномерно увеличивается от нуля до 3А за 10 с; б) ток уменьшается от 18А до нуля, к тому же за каждые 0,01с он уменьшается вдвое; в) сила тока уменьшалась от 10А до 5А в течение 10 с, причем сопротивление проводника равномерно возрастало, а разность потенциалов на концах проводника оставалась постоянной?

Дано:

а) $I_0 = 0$, $I_1 = 3\text{А}$, $\tau = 10\text{ с}$; б) $I_0 = 18\text{А}$, $I_1 = 0$, $\tau = 0,01\text{ с}$, $\frac{I(t)}{I(t + \tau)} = 2$;

в) $I_0 = 10 \text{ А}$, $I = 5 \text{ А}$, $\tau = 10 \text{ с}$.

Найти: q .

Анализ и решение

а) Известно, что $I = \frac{dq}{dt}$, откуда $dq = Idt$ и $q = \int_0^{\tau} Idt$. Но по условию

$$q = \int_0^{\tau} ktdt = \frac{k\tau^2}{2} = \frac{I_1\tau}{2} = 15 \text{ Кл}$$

$I = kt$, где $I = kt$, тогда

б) Найдем закон изменения тока со временем. По условиям задачи

$$\frac{I(t)}{I(t+\tau)} = 2, \text{ т. е. } I(\tau) = \frac{I_0}{2}; I(2\tau) = \frac{I_0}{2^2}; I(3\tau) = \frac{I_0}{2^3}.$$

Получим зависимость тока от времени:

$$I(t) = \frac{I_0}{2^{\frac{t}{\tau}}} = I_0 \cdot 2^{-\frac{t}{\tau}}.$$

Теперь рассчитаем q

$$q = \int_0^{\infty} I(t) dt = \int_0^{\infty} I_0 2^{-\frac{t}{\tau}} dt = -\frac{I_0 \cdot 2^{-\frac{t}{\tau}} \cdot \tau}{\ln 2} \Bigg|_0^{\infty} = \frac{I_0 \tau}{\ln 2} = 0,26 \text{ Кл}$$

в) Из условий задачи следует, что величина сопротивления является линейной функцией времени, то есть

$$R = R_0 + kt, \quad (11.3)$$

где R_0 и R – соответственно начальное и конечное сопротивление проводника; k – постоянная величина, которая соответствует скорости изменения сопротивления:

$$k = \frac{R - R_0}{\tau}.$$

По закону Ома для однородного участка цепи можно записать:

$$I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R_0 + kt}.$$

Очевидно, что сила тока не является линейной функцией времени. Зная зависимость $I(t)$, можно определить заряд по формуле:

$$q = \int_0^{\tau} I dt = \int_0^{\tau} \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R_0 + kt} dt = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{k} \cdot \int_0^{\tau} \frac{d(R_0 + kt)}{R_0 + kt} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{k} \cdot \ln \frac{R_0 + kt}{R_0}.$$

Имея в виду (11.3) и соотношения $R = (\Phi_1 - \Phi_2) / I$; $R_0 = (\Phi_1 - \Phi_2) / I_0$, получим:

$$q = \frac{(\Phi_1 - \Phi_2)\tau}{R - R_0} \ln \frac{R}{R_0} = \frac{I_0 I \tau}{I_0 - I} \ln \frac{I_0}{I} = 69,3 \text{ Кл}.$$

Ответ: а) $q = 15 \text{ Кл}$, б) $q = 0,26 \text{ Кл}$, в) $q = 69,3 \text{ Кл}$.

Задача 2. Источник тока с ЭДС $\varepsilon_1 = 12 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r_1 = 0,2 \text{ Ом}$ заряжает батарею аккумуляторов с ЭДС $\varepsilon_2 = 10 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r_2 = 0,6 \text{ Ом}$. Параллельно батарее подключена лампа накаливания сопротивлением $R = 3 \text{ Ом}$ (рис. 11.1). Определить величину токов в батарее аккумуляторов I_2 и через лампу I .

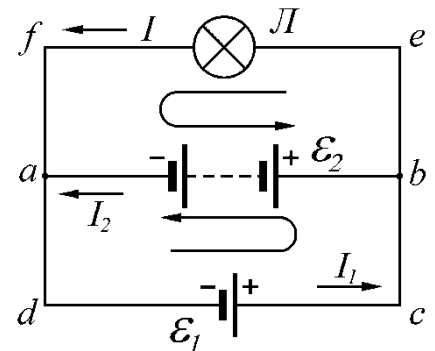


Рисунок 11.1

Дано: $\varepsilon_1 = 12 \text{ В}$, $r_1 = 0,2 \text{ Ом}$, $\varepsilon_2 = 10 \text{ В}$,
 $r_2 = 0,6 \text{ Ом}$, $R = 3 \text{ Ом}$.

Найти: I_2 , I .

Анализ и решение

В процессе зарядки аккумулятора его полюса соединяются с одноименными полюсами генератора. Выбираем направления токов, указанные на рисунке, тогда по первому закону Кирхгофа (11.1) для узла a имеем:

$$I_1 = I + I_2. \quad (11.4)$$

В обоих замкнутых контурах $abef$ и $abcd$ направление обхода берем против направления движения часовой стрелки. Тогда по второму закону Кирхгофа (11.2) получим:

$$IR - I_2 r_2 = \varepsilon_2;$$

$$I_1 r_1 + I_2 r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2.$$

Вместе с уравнением (11.4) имеем систему уравнений, после решения которой получим:

$$I_2 = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)R - \varepsilon_2 r_1}{r_1 r_2 + (r_1 + r_2)R} = 1,6 \text{ A};$$

$$I = \frac{\varepsilon_1 r_2 + \varepsilon_2 r_1}{r_1 r_2 + (r_1 + r_2)R} = 3,6 \text{ A}.$$

Ответ: $I = 3,6 \text{ A}$, $I_2 = 1,6 \text{ A}$.

Задача 3. Величина тока в цепи изменяется со временем по закону $I = I_0 e^{-at}$, где $I_0 = 5 \text{ A}$. Определить количество теплоты, которое выделится в проводнике сопротивлением $R = 20 \text{ Ом}$ за время, в течение которого ток уменьшится в e раз. Коэффициент a равен $2 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Дано: $I = I_0 e^{-at}$, $I_0 = 5 \text{ A}$, $R = 20 \text{ Ом}$, $a = 2 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Найти: Q .

Анализ и решение

По закону Джоуля-Ленца имеем:

$$Q = \int_0^t I^2 R dt,$$

подставим закон тока $I = I_0 e^{-at}$ и получим:

$$Q = I_0^2 R \int_0^\tau e^{-2at} dt = I_0^2 R \left(-\frac{1}{2a} e^{-at} \right) \Big|_0^\tau = \frac{I_0^2 R}{2a} (1 - e^{-2a\tau}).$$

Рассчитаем время τ , в течение которого ток уменьшится в e раз.

$$I = \frac{I_0}{e}; \quad \frac{I_0}{e} = I_0 e^{-a\tau}; \quad e^{-1} = e^{-a\tau}; \quad \tau = \frac{1}{a} = 50 \text{ с}.$$

Вычисление дает результат:

$$Q = \frac{I_0^2}{2a} \cdot (1 - e^{-2a\tau}) \approx 1,1 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

Ответ: $Q \approx 11 \text{ кДж.}$

Задача 4. Определите внутреннее сопротивление источника тока, если во внешней цепи при силе тока $I_1 = 4 \text{ А}$ развивается мощность $P_1 = 10 \text{ Вт}$, а при силе тока $I_2 = 6 \text{ А}$ – мощность $P_2 = 12 \text{ Вт}$.

Дано: $I_1 = 4 \text{ А}$, $P_1 = 10 \text{ Вт}$, $I_2 = 6 \text{ А}$, $P_2 = 12 \text{ Вт}$.

Найти: r .

Анализ и решение

Мощность, развиваемая током,

$$P_1 = I_1^2 R_1 \text{ и } P_2 = I_2^2 R_2, \quad (11.5)$$

где R_1 и R_2 – сопротивление внешней цепи.

Согласно закону Ома для замкнутой цепи,

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}, \quad I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r},$$

где ε – ЭДС источника. Решив эти два уравнения относительно r , получаем

$$r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1}. \quad (11.6)$$

Выразив $I_1 R_1$ и $I_2 R_2$ из уравнения (11.5) и подставив в выражение (11.6), найдем внутреннее сопротивление источника тока:

$$r = \frac{P_1 / I_1 - P_2 / I_2}{I_2 - I_1} = 0,25 \text{ Ом.}$$

Ответ: $r = 0,25 \text{ Ом}$

Задача 5. По проводнику с сопротивлением $R = 10 \text{ Ом}$ течет ток, сила тока растет при этом линейно. Количество теплоты Q , выделившейся в проводнике за время $\tau = 10 \text{ с}$, равна 300 Дж . Определите заряд q , прошедший за это время по проводнику, если в начальный момент времени сила тока в проводнике равна нулю.

Дано: $R = 10$ Ом, $\tau = 10$ с, $Q = 300$ Дж, $I_0 = 0$.

Найти: q .

Анализ и решение

Из условия равномерного возрастания силы тока (при $I_0 = 0$) следует, что $I = kt$, где k – коэффициент пропорциональности. Учитывая, что $I = \frac{dq}{dt}$, можем записать:

$$dq = Idt = ktdt. \quad (11.7)$$

Интегрируя выражение (11.7), получим:

$$q = \int_0^{\tau} ktdt = \frac{k\tau^2}{2}. \quad (11.8)$$

Для нахождения коэффициента k запишем закон Джоуля-Ленца для бесконечно малого промежутка времени dt :

$$dQ = I^2 R dt.$$

Интегрируя это выражение от 0 до τ , получим количество теплоты Q , заданное в условии задачи:

$$Q = \int_0^{\tau} I^2 R dt = \int_0^{\tau} k^2 t^2 R dt = \frac{1}{3} k^2 R \tau^3,$$

откуда найдем k :

$$k = \sqrt{\frac{3Q}{\tau^3 R}}. \quad (11.9)$$

Подставив формулу (11.7) в выражение (11.8), определим искомый заряд

$$q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3Q}{R}} = 15 \text{ Кл.}$$

Ответ: $q = 15$ Кл.

11.6 Задачи для самостоятельной работы

Задача 1. Величина тока в проводнике равномерно увеличивается от $I_0 = 2 \text{ А}$ до $I = 8 \text{ А}$ за 10 с . Найти величину прошедшего заряда.

Ответ: $q = 30 \text{ Кл}$.

Задача 2. Определить плотность тока в железном проводнике, длина которого 10 м , если проводник находится под напряжением $U = 6 \text{ В}$.

Ответ: $j = 6,1 \text{ МА/м}^2$.

Задача 3. Внутреннее сопротивление гальванометра $r = 680 \text{ Ом}$. Как и какое сопротивление $R_{\text{ш}}$ нужно подключить к нему, чтобы с его помощью можно было бы измерения ваты ток $2,5 \text{ А}$? Шкала гальванометра рассчитана на 300 мкА .

Ответ: $R_{\text{ш}} = 0,0618 \text{ Ом}$.

Задача 4. Внутреннее сопротивление гальванометра $r_a = 720 \text{ Ом}$, шкала рассчитана 300 мкА . Как и какое сопротивление R_0 нужно добавить к нему, чтобы с его помощью можно было бы измерять напряжение $U = 300 \text{ В}$?

Ответ: $R_0 \approx 10^6 \text{ Ом}$.

Задача 5. Два одинаковых источника тока с $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1,2 \text{ В}$, внутреннее сопротивление которых $r = 0,4 \text{ Ом}$, соединены, как показано на рис. 11.2. Определить величину тока в цепи и разность потенциалов между точками a и b в первом и втором случаях.

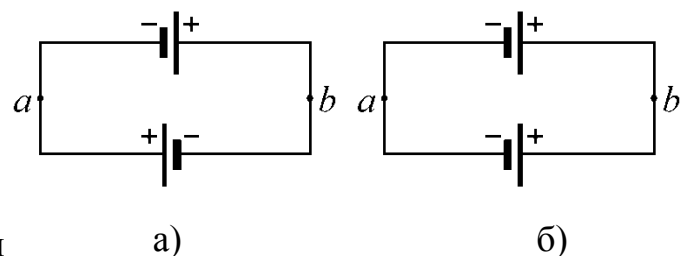


Рисунок 11.2

Ответ: а) $I = 3 \text{ А}$; $U = 0$ б) $I = 0$; $U = 1,2 \text{ В}$.

Задача 6. Два элемента $\varepsilon_1 = 1,2 \text{ В}$ с внутренним сопротивлением $r_1 = 0,10 \text{ Ом}$ и $\varepsilon_2 = 0,9 \text{ В}$ с внутренним сопротивлением $r_2 = 0,3 \text{ Ом}$ соединены одноименными полюсами. Сопротивление R соединяющих проводников равно 1 Ом . Определить величину тока в цепи.

Ответ: $I = 0,5 \text{ А}$.

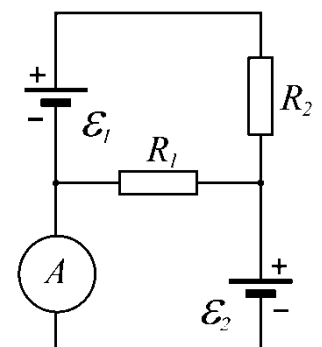


Рисунок 11.3

Задача 7. На рис. 11.3 $\varepsilon_1 = 110$ В, $\varepsilon_2 = 220$ В, $R_1 = R_2 = 100$ Ом, $R_3 = 500$ Ом. Какую величину тока покажет амперметр? Сопротивлением батарей и амперметра пренебречь.

Ответ: $I = 0,4$ А.

Задача 8. Какую величину тока показывает амперметр (рис. 11.4), если $\varepsilon_1 = 2$ В, $\varepsilon_2 = 1$ В, $R_1 = 10^3$ Ом, $R_2 = 500$ Ом, $R_3 = 200$ Ом. Сопротивление амперметра $R_A = 200$ Ом. Внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

Ответ: $I = 0,45$ мА.

Задача 9. На схеме (рис. 11.5) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$, $R_2 = 2R_1$. Во сколько раз ток, текущий через вольтметр, больше тока, что течет через R_2 ? Сопротивлением батарей пренебречь.

Ответ: в 3 раза.

Задача 10. На схеме (рис. 11.5) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 110$ В, $R_1 = R_2 = 200$ Ом, сопротивление вольтметра 1000 Ом. Найти напряжение, которое показывает вольтметр. Сопротивлением батарей пренебречь.

Ответ: $U = 100$ В.

Задача 11. Две батареи аккумуляторов ($\varepsilon_1 = 10$ В, $r_1 = 1$ Ом, $\varepsilon_2 = 8$ В, $r_2 = 2$ Ом) и реостат ($R = 6$ Ом) соединены так, как показано на рис.11.6. Определить величину тока в батареях и реостате.

Ответ: 1,6А, 0,2А, 1,4А.

Задача 12. Определить величину тока в резисторе (рис. 11.7), с сопротивлением $R_3 = 3$ Ом, и напряжение на его концах, если $\varepsilon_1 = 4$ В, $\varepsilon_2 = 3$ В, $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 6$ Ом. Внутренним сопротивлением источников тока пренебречь.

Ответ: $I_3 = 0$, $U_3 = 0$.

Задача 13. Три источника тока $\varepsilon_1 = 11$ В, $\varepsilon_2 = 4$ В и $\varepsilon_3 = 6$ В соединены, как показано на рис. 11.8.

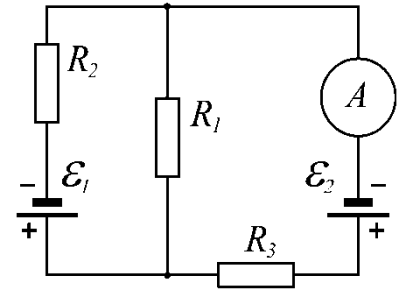


Рисунок 11.4

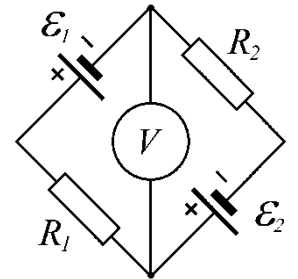


Рисунок 11.5

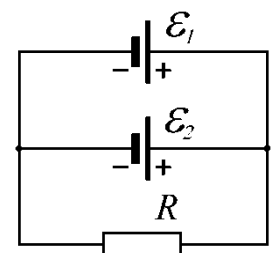


Рисунок 11.6

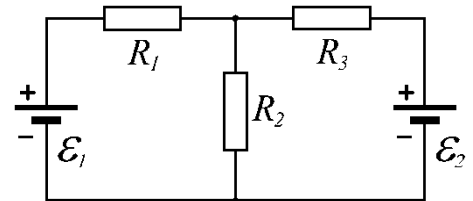


Рисунок 11.7

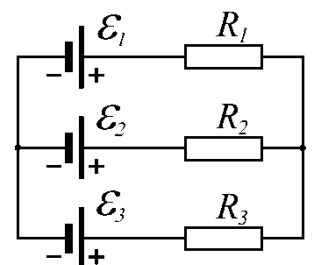


Рисунок 11.8

Определить величину тока в резисторах, если $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$ и $R_3 = 2 \text{ Ом}$. Внутренним сопротивлением источников тока пренебречь.

Ответ: $I_1 = 0,8 \text{ А}$, $I_2 = 0,3 \text{ А}$, $I_3 = 0,5 \text{ А}$.

Задача 14. От батареи $\varepsilon = 500 \text{ В}$ требуется передать энергию на расстояние $2,5 \text{ км}$. Потребляемая мощность равна 1 кВт . Определить минимальные потери мощности ΔP_{\min} в сети, если диаметр медных проводников $1,5 \text{ см}$.

Ответ: $\Delta P_{\min} = 212 \text{ Вт}$.

Задача 15. От генератора $\varepsilon = 110 \text{ В}$ следует передать энергию на расстояние 250 м . Потребляемая мощность равна 1 кВт . Найти минимальную площадь сечения медного проводника, если потери мощности в сети не должны превышать 1% .

Ответ: $S = 85 \text{ мм}^2$.

Задача 16. Для нагрева $4,5 \text{ л}$ воды от 23°C до кипения нагреватель потребляет $0,5 \text{ кВт}$ час. Чему равен коэффициент полезного действия η нагревателя?

Ответ: $\eta = 80\%$.

Задача 17. Величина тока в проводнике, имеющем сопротивление Ом равномерно убывает от $I_0 = 5 \text{ А}$ до $I = 0$ в течение 10 секунд . Какое количество теплоты Q выделяется в этом проводнике за указанный промежуток времени?

Ответ: $Q = 1 \text{ кДж}$.

Задача 18. Электродвижущая сила батареи аккумуляторов $\varepsilon = 12 \text{ В}$. Величина тока короткого замыкания равна 5 А . Какую наибольшую P_{\max} мощность можно получить во внешней цепи, соединенной с такой батареей?

Ответ: $P_{\max} = 15 \text{ Вт}$.

Задача 19. Величина тока в проводнике с сопротивлением $R = 100 \text{ Ом}$ равномерно растет от $I_0 = 0$ до $I_{\max} = 10 \text{ А}$ в течение $\tau = 30 \text{ сек}$. Найти количество теплоты Q , выделяющейся за это время в проводнике.

Ответ: $Q = 100 \text{ кДж}$.

Задача 20. Амперметр с сопротивлением $R_1 = 2 \text{ Ом}$, подключенный к источнику тока, показывает ток $I_1 = 5 \text{ А}$. Вольтметр с сопротивлением $R_1 = 150$

Ом, подключенный к такому же источнику тока, показывает напряжение $U = 12$ В. Найти ток I_k короткого замыкания источника.

$$\text{Ответ: } I_k = \frac{I_1 U (R_2 - R_1)}{R_2 (U - I_1 R_1)} = 29,6 \text{ А.}$$

Задача 21. Два параллельно соединенные резисторы с сопротивлением $R_1 = 40$ Ом и $R_2 = 10$ Ом подключены к источнику тока с ЭДС $\varepsilon = 10$ В. Ток в цепи $I = 1$ А. Найти внутреннее сопротивление источника и ток короткого замыкания I_k .

$$\text{Ответ: } r = \frac{\varepsilon (R_1 + R_2) - I R_1 R_2}{I (R_1 + R_2)} = 2 \text{ Ом, } I_k = \frac{\varepsilon}{r} = 5 \text{ А.}$$

Задача 22. При подключении внешней цепи напряжение на зажимах источника тока с ЭДС $\varepsilon = 30$ В оказалась равной $U = 18$ В. Внешнее сопротивление цепи $R = 6$ Ом. Найти внутреннее сопротивление источника r .

$$\text{Ответ: } r = \frac{R(\varepsilon - U)}{U} = 4 \text{ Ом.}$$

Задача 23. Источник тока с ЭДС $\varepsilon = 15$ В и внутренним сопротивлением $r = 5$ Ом замкнут на резистор с сопротивлением $R = 10$ Ом. К зажимам источника подключен конденсатор емкостью $C = 1$ мкФ. Найти заряд на конденсаторе q .

$$\text{Ответ: } q = \frac{C \varepsilon R}{R + r} = 10^{-5} \text{ Кл.}$$

Задача 24. В цепи источника тока с ЭДС $\varepsilon = 30$ проходит ток $I = 3$ А. Напряжение на зажимах источника $U = 18$. Найти внешнее сопротивление R цепи и внутреннее сопротивление источника r .

$$\text{Ответ: } R = \frac{U}{I} = 6 \text{ Ом, } r = \frac{\varepsilon - U}{I} = 4 \text{ Ом.}$$

Задача 25. Лампа подключена медными проводами к источнику тока с ЭДС $\varepsilon = 2$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,04$ Ом. Длина проводов $l = 4$ м, их диаметр $D = 0,8$ мм, удельное сопротивление меди $\rho = 0,017$ мкОм·м, напряжение на зажимах источника $U = 1,98$ В. Найти сопротивление лампы R .

$$\text{Ответ: } R = \frac{U r}{\varepsilon - U} - \frac{4 \rho l}{\pi D^2} = 3,82 \text{ Ом.}$$

Задача 26. Общее сопротивление двух последовательно соединенных проводников $R=5$ Ом, а параллельно соединенных $R_0=1,2$ Ом. Найти сопротивление каждого проводника.

Ответ: $R_1=3$ Ом, $R_2=2$ Ом.

Задача 27. При подключении в электрическую цепь проводника, имеющего диаметр $D=0,5$ мм и длину $l=47$ мм, напряжение на нем $U=1,2$ В при токе в цепи $I=1$ А. Найти удельное сопротивление ρ материала проводника.

Ответ: $\rho = \frac{U \pi D^2}{4 \pi l} = 5 \cdot 10^{-6}$ Ом м.

Задача 28. Какое необходимо взять сопротивление R , чтобы можно было подключить в сеть с напряжением $U=220$ В лампу, рассчитанную на напряжение $U_0=120$ В и ток $I_0=4$ А?

Ответ: $R = \frac{U - U_0}{I_0} = 25$ Ом.

Задача 29. Найти напряжение на проводнике с сопротивлением $R=10$ Ом, если за время $t=5$ минут, протекает заряд $q=120$ Кл.

Ответ: $U = \frac{qR}{t} = 4$ В.

Задача 30. Найти ток в цепи источника тока, замкнутого на проводник с сопротивлением $R=1000$ Ом, если при последовательном соединении с миллиамперметром с сопротивлением $R_0=100$ Ом он показал ток $I_0=25$ мА.

Ответ: $I = \frac{I_0(R + R_0)}{R} = 27,5$ мА.