

11 ПОСТІЙНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

11.1 Мета заняття

Засвоїти основні закони теорії постійного електричного струму: узагальнений закон Ома, правила Кірхгофа та закон Джоуля-Ленца, а також навчитися розраховувати електричні кола, тобто, маючи довільне електричне коло і будь-які його параметри (електрорушійну силу (ЕРС), опір та ін.), вміти визначити інші невідомі величини (силу струму, роботу, потужність, кількість теплоти тощо).

11.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи

Теоретичний матеріал даної теми слід вивчити за [3, розд. 4; 4, розд. 4; 5, глава 4] і конспектом лекцій, відповісти на контрольні запитання, проаналізувати розв'язання завдань, наведених як приклади.

11.3 Основні закони та формули

1. Сила струму

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

2. Густина струму у провіднику

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

де S – площа поперечного перерізу провідника; $\langle \vec{v} \rangle$ – середня швидкість впорядкованого руху зарядів у провіднику; n – концентрація зарядів.

3. Електрорушійна сила, що діє у колі,

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

де A_{cm} – робота сторонніх сил; q_0 – одиничний позитивний заряд,

$$\varepsilon = \oint \vec{E}_{cm} d\vec{l} \quad (\text{замкнене коло}),$$

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

де \vec{E}_{cm} – напруженість поля сторонніх сил.

4. Різниця потенціалів між двома точками кола

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

де \vec{E} – напруженість електростатичного поля; E_l – проекція вектора \vec{E} на напрямок елементарного переміщення $d\vec{l}$.

5. Напряга на ділянці 1-2 кола:

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

де $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – різниця потенціалів між точками кола; ε – ЕРС, що діє на ділянці 1-2 кола.

6. Опір R однорідного лінійного провідника, провідність G провідника і питома електропровідність γ речовини провідника:

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

де ρ – питомий електричний опір; S – площа поперечного перерізу провідника; l – його довжина.

7. Опір при послідовному з'єднанні n провідників:

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

8. Опір при паралельному з'єднанні n провідників:

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

9. Закон Ома

$$I = \frac{U}{R} \quad (\text{для однорідної ділянки кола}),$$

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R} \quad (\text{для неоднорідної ділянки кола}),$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} \quad (\text{для замкнутого кола}),$$

де U – напруга на ділянці кола; R – опір кола (ділянки кола); $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – різниця потенціалів на кінцях ділянки кола; ε_{12} – ЕРС джерел струму, що входять до кола; ε – ЕРС всіх джерел струму кола.

10. Залежність питомого опору ρ і опору R від температури

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

де ρ і ρ_0 , R і R_0 – відповідно питомий опір та опір провідника при довільній t і $t = 0^\circ \text{C}$; α – температурний коефіцієнт опору.

11. Закон Ома в диференціальній формі

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

де \vec{j} – густина струму; \vec{E} – напруженість електростатичного поля; γ – питома електропровідність провідника.

12. Робота струму

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

де U – напруга, прикладена до кінців однорідного провідника; I – сила струму в провіднику; R – опір провідника; dq – заряд, що переноситься через переріз провідника за період часу dt .

13. Потужність струму

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

де U – напруга, прикладена до кінців одного провідника; I – сила струму в провіднику; R – його опір.

14. Закон Джоуля-Ленца:

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

15. Закон Джоуля-Ленца в диференціальній формі

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

де w – питома теплова потужність струму; j – густина струму; E – напруженість електростатичного поля; γ – питома електропровідність речовини.

16. Перше правило Кірхгофа

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

де I_k – струм, що входить у вузол / виходить з вузла; k – кількість струмів у вузлі.

17. Друге правило Кірхгофа

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

де $I_i R_i$ – падіння напруги на i -му елементі кола; i – кількість елементів у колі; ε_k – k -та ЕРС, що діє у колі; k – кількість ЕРС, що діють у колі.

Порядок розв'язання задач з використанням правил Кірхгофа:

1. Вибрати довільний напрямок струмів на всіх ділянках кола; дійсний напрямок визначається під час вирішення задачі: якщо шуканий струм виходить позитивним, то його напрямок обраний вірно, негативним – його вірний напрямок протилежний обраному.

2. Підрахувати число m вузлів у колі і записати рівняння (11.1) для $(m-1)$ вузлів.

3. Виділити в розгалуженому колі замкнені контури, визначити напрямок обходу кожного і записати систему рівнянь (11.2) для кожного з них. Контури слід вибирати так, щоб кожен новий контур мав хоча б одну ділянку кола, яка б не входила в попередні контури. Добуток $I \cdot R$ позитивний, якщо струм на даній ділянці збігається з напрямком обходу, і навпаки; ЕРС, що діють за обраним напрямком обходу, вважаються позитивними, проти – негативними.

4. Розв'язати отриману систему рівнянь і знайти шукані струми.

11.4 Контрольні запитання та завдання

1. Що таке електричний струм, сила і густина струму?

2. Що таке електроопір провідника, від чого залежить?
3. Чому дорівнює електроопір при паралельному та послідовному з'єднанні провідників?
4. Який вигляд має залежність електроопору від температури?
5. Що розуміють під сторонніми силами і яка їхня роль у колі постійного струму?
6. Поясніть фізичний смисл електрорушійної сили, напруги і різниці потенціалів на ділянці електричного кола.
7. Запишіть закон Ома для однорідної ділянки кола в інтегральному вигляді.
8. Запишіть закон Ома у диференціальній формі.
9. Запишіть закон Ома для неоднорідної ділянки кола.
10. Сформулюйте правила знаків для сили струму і ЕРС в узагальненому законі Ома для ділянки кола.
11. Запишіть правила Кірхгофа та їх обґрунтування.
12. Чому дорівнює робота і потужність електричного струму?
13. Запишіть закон Джоуля-Ленца в інтегральній і диференціальній формах.

11.5 Приклади розв'язання задач

Задача 1. Який заряд переноситься у таких випадках: а) струм рівномірно збільшується від нуля до 3А за 10 с; б) струм зменшується від 18А до нуля, до того ж за кожні 0,01с він спадає вдвічі; в) сила струму зменшувалася від 10А до 5А протягом 10 с, причому опір провідника рівномірно зростає, а різниця потенціалів на кінцях провідника залишалася постійною?

Дані:

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

Знайти: q .

Аналіз і розв'язання

а) Відомо, що $I = \frac{dq}{dt}$, звідки $dq = Idt$ і $q = \int_0^{\tau} Idt$. Але за умовами

$$I = kt, \text{ де } k = \frac{I_1}{\tau}, \text{ тоді } q = \int_0^{\tau} ktdt = \frac{k\tau^2}{2} = \frac{I_1\tau}{2} = 15\text{Кл}.$$

б) Знайдемо закон зміни струму з часом. За умовами задачі

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

Одержимо залежність струму від часу:

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

Тепер розрахуємо 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) З умов задачі випливає, що величина опору є лінійною функцією часу, тобто

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

де R_0 і R – відповідно початковий і кінцевий опір провідника; k – стала величина, яка відповідає швидкості зміни опору:

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

За законом Ома для однорідної ділянки кола можна записати:

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

Очевидно, що сила струму не є лінійною функцією часу. Знаючи залежність $I(t)$, можна визначити заряд за формулою:

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

Маючи на увазі (11.3) і співвідношення $R = (\Phi_1 - \Phi_2) / I$; $R_0 = (\Phi_1 - \Phi_2) / I_0$, одержимо:

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

Відповідь: а) $q = 15$ Кл, б) $q = 0,26$ Кл, в) $q = 69,3$ Кл.

Задача 2. Джерело струму з ЕРС $\varepsilon_1 = 12$ В і внутрішнім опором $r_1 = 0,2$ Ом заряджає батарею акумуляторів з ЕРС $\varepsilon_2 = 10$ В і внутрішнім опором $r_2 = 0,6$ Ом. Паралельно батареї підключено лампу розжарювання опором $R = 3$ Ом (рис. 11.1). Визначити величину струмів в батареї акумуляторів I_2 та крізь лампу I .

Дані: $\varepsilon_1 = 12$ В, $r_1 = 0,2$ Ом, $\varepsilon_2 = 10$ В, $r_2 = 0,6$ Ом, $R = 3$ Ом.

Знайти: I_2 , I .

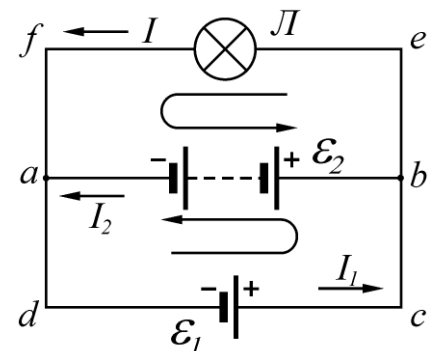


Рисунок 11.1

Аналіз і розв'язання

У процесі заряджання акумулятора його полюси з'єднуються з од-
нойменними полюсами генератора. Вибираємо напрямки струмів,
вказані на рисунку, тоді за першим законом Кірхгофа (11.1) для вузла
а маємо:

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

В обох замкнутих колах $abef$ та $abcd$ напрямком обходу беремо
проти напрямку руху годинникової стрілки. Тоді за другим законом
Кірхгофа (11.2) одержимо:

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

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

Разом з рівнянням (11.4) маємо систему рівнянь, після розв'язання якої
одержимо:

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

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

Відповідь: $I = 3,6 \text{ А}$, $I_2 = 1,6 \text{ А}$.

Задача 3. Величина струму в колі змінюється з часом за законом
 $I = I_0 e^{-at}$, де $I_0 = 5 \text{ А}$. Визначити кількість теплоти, яка виділиться у
провіднику опором $R = 20 \text{ Ом}$ за час, протягом якого струм зменшиться в e
разів. Коефіцієнт a дорівнює $2 \cdot 10^{-2} \text{ с}^{-1}$.

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

Знайти: Q .

Аналіз і розв'язання

За законом Джоуля-Ленца маємо:

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

підставимо закон струму $I = I_0 e^{-at}$ і одержимо:

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

Розрахуємо час τ , протягом якого струм зменшиться в e разів.

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

Обчислення дає результат:

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

Відповідь: $Q \approx 11 \text{ кДж.}$

Задача 4. Визначте внутрішній опір джерела струму, якщо у зовнішньому колі при силі струму $I_1 = 4 \text{ А}$ розвивається потужність $P_1 = 10 \text{ Вт}$, а при силі струму $I_2 = 6 \text{ А}$ - потужність $P_2 = 12 \text{ Вт}$.

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

Знайти: r .

Аналіз і розв'язання

Потужність, що розвивається струмом,

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

де R_1 і R_2 – опір зовнішнього кола.

Згідно з законом Ома для замкнутого кола,

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

де ε – ЕРС джерела. Розв'язавши ці два рівняння відносно r , отримуємо

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

Виразивши $I_1 R_1$ і $I_2 R_2$ з рівняння (11.5) і підставивши в вираз (11.6), знайдемо внутрішній опір джерела струму:

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

Відповідь: $r = 0,25 \text{ Ом}$

Задача 5. По провіднику з опором $R = 10 \text{ Ом}$ тече струм, сила струму зростає при цьому лінійно. Кількість теплоти Q , яка виділилася в провіднику за час $\tau = 10 \text{ с}$, дорівнює 300 Дж . Визначте заряд q , який пройшов за цей час по провіднику, якщо в початковий момент часу сила струму в провіднику дорівнює нулю.

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

Знайти: q .

Аналіз і розв'язання

З умови рівномірності зростання сили струму (при $I_0 = 0$) випливає, що $I = kt$, де k – коефіцієнт пропорційності. Враховуючи, що $I = \frac{dq}{dt}$, можемо записати:

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

Інтегруючи вираз (11.7), отримаємо:

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

Для знаходження коефіцієнта k запишемо закон Джоуля-Ленца для нескінченно малого проміжку часу dt :

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

Інтегруючи цей вираз від 0 до τ , отримаємо кількість теплоти Q , задану в умові задачі:

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

звідки знайдемо k :

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

Підставивши формулу (11.7) у вираз (11.8), визначимо шуканий заряд

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

Відповідь: $q = 15 \text{ Кл}$.

11.6 Задачі для самостійної роботи

Задача 1. Величина струму в провіднику рівномірно збільшується від $I_0 = 2 \text{ А}$ до $I = 8 \text{ А}$ за 10 с . Знайти величину заряду, що пройшов.

Відповідь: $q = 30 \text{ Кл}$.

Задача 2. Визначити густину струму в залізному провіднику, довжина якого 10 м , якщо провідник знаходиться під напругою $U = 6 \text{ В}$.

Відповідь: $j = 6,1 \text{ МА/м}^2$.

Задача 3. Внутрішній опір гальванометра $r = 680 \text{ Ом}$. Як та який опір $R_{\text{ш}}$ слід підключити до нього, щоб за його допомогою можна було б вимірювати струм $2,5 \text{ А}$? Шкала гальванометра розрахована на 300 мкА .

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

Задача 4. Внутрішній опір гальванометра $r_a = 720 \text{ Ом}$, шкала розрахована 300 мкА . Як та який опір $R_{\text{д}}$ слід додати до нього, щоб за його допомогою можна було б вимірювати напругу $U = 300 \text{ В}$?

Відповідь: $R_{\text{д}} \approx 10^6 \text{ Ом}$.

Задача 5. Два однакових джерела струму з $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1,2 \text{ В}$, внутрішній опір яких $r = 0,4 \text{ Ом}$, з'єднані, як зображено на рис. 11.2. Визначити величину струму в колі та різницю потенціалів між точками a і b в першому та другому випадках.

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

Задача 6. Два елементи $\varepsilon_1 = 1,2 \text{ В}$ з внутрішнім опором $r_1 = 0,10 \text{ Ом}$ та $\varepsilon_2 = 0,9 \text{ В}$ з внутрішнім опором $r_2 = 0,3 \text{ Ом}$ з'єднані однойменними полюсами. Опір R провідників, що їх з'єднує, дорівнює $0,2 \text{ Ом}$. Визначити величину струму в колі.

Відповідь: $I = 0,5 \text{ А}$.

Задача 7. На рис. 11.3 $\varepsilon_1 = 110 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 220 \text{ В}$, $R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$, $R_3 = 500 \text{ Ом}$. Яку величину струму покаже амперметр? Опором батарей та амперметра знехтувати.

Відповідь: $I = 0,4 \text{ А}$.

Задача 8. Яку величину струму показує амперметр (рис. 11.4), якщо $\varepsilon_1 = 2 \text{ В}$, $\varepsilon_2 = 1 \text{ В}$, $R_1 = 10^3 \text{ Ом}$, $R_2 = 500 \text{ Ом}$, $R_3 = 200 \text{ Ом}$. Опір амперметра $R_A = 200 \text{ Ом}$. Внутрішнім опором елементів знехтувати.

Відповідь: $I = 0,45 \text{ мА}$.

Задача 9. На схемі (рис. 11.5) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$, $R_2 = 2R_1$. У скільки разів струм, що тече через вольтметр, більше струму, що тече через R_2 ? Опором батарей знехтувати.

Відповідь: в 3 рази.

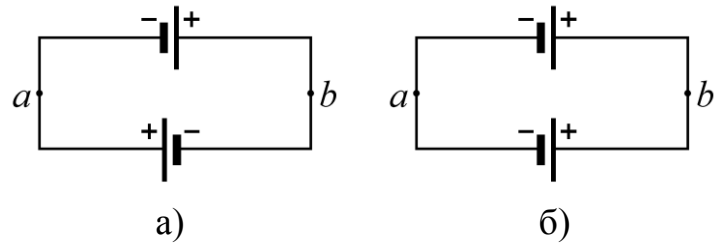


Рисунок 11.2

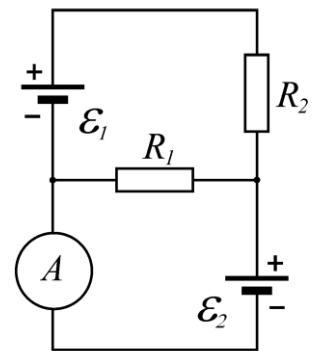


Рисунок 11.3

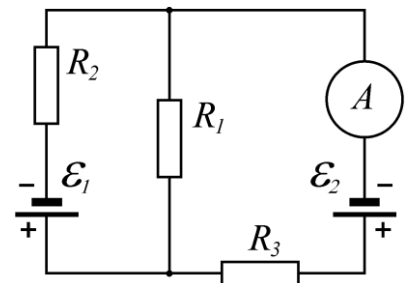


Рисунок 11.4

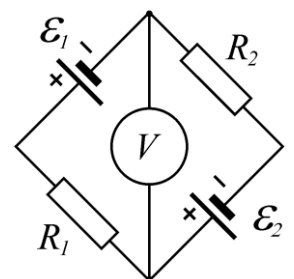


Рисунок 11.5

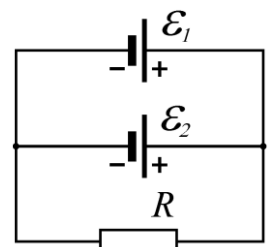


Рисунок 11.6

Задача 10. На схемі (рис. 11.5) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 110\text{В}$, $R_1 = R_2 = 200\text{Ом}$, опір вольтметра 1000Ом . Знайти напругу, що показує вольтметр. Опором батареї знехтувати.

Відповідь: $U = 100\text{В}$.

Задача 11. Дві батареї акумуляторів ($\varepsilon_1 = 10\text{В}$, $r_1 = 1\text{Ом}$, $\varepsilon_2 = 8\text{В}$, $r_2 = 2\text{Ом}$) та реостат ($R = 6\text{Ом}$) з'єднані так, як зображено на рис. 11.6. Визначити величину струму в батареях та реостаті.

Відповідь: $1,6\text{А}$, $0,2\text{А}$, $1,4\text{А}$.

Задача 12. Визначити величину струму в резисторі (рис. 11.7), який має опір $R_3 = 3\text{Ом}$, та напругу на його кінцях, якщо $\varepsilon_1 = 4\text{В}$, $\varepsilon_2 = 3\text{В}$, $R_1 = 2\text{Ом}$, $R_2 = 6\text{Ом}$. Внутрішнім опором джерел струму знехтувати.

Відповідь: $I_3 = 0$, $U_3 = 0$.

Задача 13. Три джерела струму $\varepsilon_1 = 11\text{В}$, $\varepsilon_2 = 4\text{В}$ та $\varepsilon_3 = 6\text{В}$ з'єднані, як зображено на рис. 11.8. Визначити величину струму в резисторах, якщо $R_1 = 5\text{Ом}$, $R_2 = 10\text{Ом}$ та $R_3 = 2\text{Ом}$. Внутрішнім опором джерел струму знехтувати.

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

Задача 14. Від батареї $\varepsilon = 500\text{В}$ потрібно передати енергію на відстань $2,5\text{км}$. Споживна потужність дорівнює 10кВт . Визначити мінімальні втрати потужності ΔP_{\min} в мережі, якщо діаметр мідних провідників $1,5\text{см}$.

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

Задача 15. Від генератора $\varepsilon = 110\text{В}$ слід передати енергію на відстань 250м . Споживна потужність дорівнює 1кВт . Знайти мінімальну площу перерізу мідного провідника, якщо втрати потужності в мережі не повинні перевищувати 1% .

Відповідь: $S = 85\text{мм}^2$.

Задача 16. Для нагрівання $4,5\text{л}$ води від 23°С до кипіння нагрівач споживає $0,5\text{кВт}\cdot\text{год}$. Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії η нагрівача?

Відповідь: $\eta = 80\%$.

Задача 17. Величина струму в провіднику, що має опір $R = 12\text{Ом}$, рівномірно спадає від $I_0 = 5\text{А}$ до $I = 0$ протягом 10секунд . Яка кількість теплоти Q виділяється в цьому провіднику за вказаний проміжок часу?

Відповідь: $Q = 1\text{кДж}$.

Задача 18. Електрорушійна сила батареї акумуляторів $\varepsilon = 12\text{В}$. Величина струму короткого замикання дорівнює 5А . Яку найбільшу

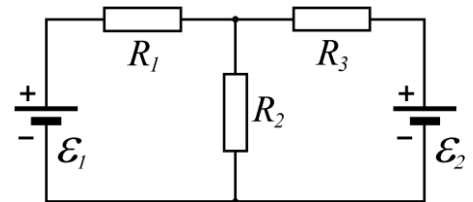


Рисунок 11.7

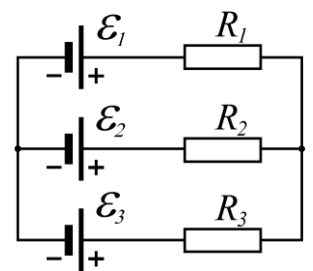


Рисунок 11.8

потужність P_{\max} можна одержати в зовнішньому колі, з'єднаному з такою батареєю?

Відповідь: $P_{\max} = 15 \text{ Вт}$.

Задача 19. Величина струму в провіднику, який має опір $R = 100 \text{ Ом}$, рівномірно зростає від $I_0 = 0$ до $I_{\max} = 10 \text{ А}$ протягом $\tau = 30 \text{ с}$. Знайти кількість теплоти Q , що виділяється за цей час у провіднику.

Відповідь: $Q = 100 \text{ кДж}$.

Задача 20. Амперметр з опором $R_1 = 2 \text{ Ом}$, підключений до джерела струму, показує струм $I_1 = 5 \text{ А}$. Вольтметр з опором $R_2 = 150 \text{ Ом}$, підключений до такого ж джерела струму, показує напругу $U = 12 \text{ В}$. Знайти струм короткого замикання I_k джерела.

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

Задача 21. Два паралельно з'єднані резистори з опором $R_1 = 40 \text{ Ом}$ і $R_2 = 10 \text{ Ом}$ підключені до джерела струму з ЕРС $\varepsilon = 10 \text{ В}$. Струм у колі $I = 1 \text{ А}$. Знайти внутрішній опір джерела і струм короткого замикання I_k .

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

Задача 22. При підключенні зовнішнього кола напруга на затискачах джерела струму з ЕРС $\varepsilon = 30 \text{ В}$ виявилась рівною $U = 18 \text{ В}$. Зовнішній опір кола $R = 6 \text{ Ом}$. Знайти внутрішній опір джерела r .

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

Задача 23. Джерело струму з ЕРС $\varepsilon = 15 \text{ В}$ і внутрішнім опором $r = 5 \text{ Ом}$ замкнуте на резистор з опором $R = 10 \text{ Ом}$. До затискачів джерела підключений конденсатор ємністю $C = 1 \text{ мкФ}$. Знайти заряд на конденсаторі q .

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

Задача 24. У колі джерела струму з ЕРС $\varepsilon = 30 \text{ В}$ проходить струм $I = 3 \text{ А}$. напруга на затискачах джерела $U = 18 \text{ В}$. Знайти зовнішній опір кола R і внутрішній опір джерела r .

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

Задача 25. Лампа підключена мідними дротами до джерела струму з ЕРС $\varepsilon = 2 \text{ В}$ і внутрішнім опором $r = 0,04 \text{ Ом}$. Довжина дротів $l = 4 \text{ м}$, їх діаметр $D = 0,8 \text{ мм}$, питомий опір міді $\rho = 0,017 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ напруга на затискачах джерела $U = 1,98 \text{ В}$. Знайти опір лампи R .

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

Задача 26. Загальний опір двох послідовно з'єднаних провідників $R = 5$ Ом, а паралельно з'єднаних $R_0 = 1,2$ Ом. Знайти опір кожного провідника.

Відповідь: $R_1 = 3 \text{ Ом}, R_2 = 2 \text{ Ом.}$

Задача 27. При підключенні в електричне коло провідника, що має діаметр $D = 0,5$ мм і довжину $l = 47$ мм, напруга на ньому $U = 1,2$ В при струмі у колі $I = 1$ А. Знайти питомий опір ρ матеріалу провідника.

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

Задача 28. Який необхідно взяти опір R , щоб можна було підключити в мережу з напругою $U = 220$ В лампу, розраховану на напругу $U = 120$ В і струм $I_0 = 4$ А?

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

Задача 29. Знайти напругу на провіднику з опором $R = 10$ Ом, якщо за час $t = 5$ хв, протікає заряд $q = 120$ Кл.

Відповідь: $U = \frac{qR}{t} = 4 \text{ В.}$

Задача 30. Знайти струм у ланцюгу джерела струму, замкнутого на провідник з опором $R = 1000$ Ом, якщо при послідовному з'єднанні з міліамперметром з опором $R_0 = 100$ Ом він показав струм $I_0 = 25$ мА.

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