

12 СТРУМ**ЗВЕДЕННЯ ОСНОВНИХ ФОРМУЛ****12.1 Сила струму**

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

де dq - заряд, що пройшов через поперечний переріз провідника за час dt .

12.2 Густина електричного струму

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS} \vec{n},$$

де \vec{n} – одиничний вектор, який за напрямком збігається з напрямком руху позитивних носіїв заряду.

12.3 Опір однорідного провідника

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

де ρ – питомий опір речовини провідника; l – його довжина.

12.4 Провідність Ω провідника і питома провідність σ речовини

$$\Omega = \frac{1}{R}, \quad \sigma = \frac{1}{\rho}.$$

12.5 Залежність питомого опору від температури

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

де ρ і ρ_0 – питомі опори відповідно при t і 0°C ; t – температура (за шкалою Цельсія); α – температурний коефіцієнт опору.

12.6 Опір з'єднаних провідників:

- послідовно
$$R = \sum_{i=1}^n R_i ;$$

- паралельно
$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i},$$

де R_i – опір i -го провідника; n – кількість провідників.

12.7 Закон Ома в інтегральній формі:

- для неоднорідної ділянки кола

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \xi_{12}}{R} = \frac{U}{R};$$

- для однорідної ділянки кола ($\xi_{12} = 0$)

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R};$$

- для замкненого кола ($\varphi_1 = \varphi_2$)

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

де $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – різниця потенціалів на кінцях ділянки кола; ξ_{12} – ЕРС джерел струму, що входять у цю ділянку; U – напруга на ділянці кола; R – зовнішній опір кола (ділянки кола); r – опір

джерела струму (внутрішній опір); ξ – ЕРС усіх джерел струму у колі.

12.8 Правила Кірхгофа

Перше правило

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0,$$

де n – кількість струмів, що сходяться у вузлі.

Друге правило

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^k \xi_i,$$

де I_i – сила струму на i -й ділянці; R_i – опір i -ї ділянки; ξ_i – ЕРС джерел струму на i -й ділянці; n – кількість ділянок, що містять опір; k – кількість ділянок, що містять джерела струму.

12.9 Робота, яка виконується електростатичним полем:

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

12.10 Потужність струму

$$N = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R.$$

12.11 Закон Джоуля-Ленца

$$dq = I^2 R dt,$$

де dq – кількість теплоти, що виділяється на ділянці кола за час dt .

12.12 Закон Ома у диференціальній формі для замкненого кола

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

де σ – питома провідність провідника; \vec{E} – напруженість електричного поля сторонніх сил.

12.13 Закон Джоуля-Ленца у диференціальній формі

$$\omega = \sigma E^2,$$

де ω – об'ємна густина теплової потужності.

$$\omega = \frac{dQ}{dt \cdot dV},$$

де dQ - кількість теплоти, що виділяється в об'ємі dV за час dt .

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Приклад 12.1 Визначити заряд, який пройшов по провіднику з опором $R = 10 \hat{I} \text{ } \Omega$ при рівномірному збільшенню напруги на кінцях провідника від $U_1 = 20 \text{ В}$ до $U_2 = 50 \text{ В}$ протягом $t = 30 \text{ с}$.

$q - ?$
$R = 10 \hat{I} \text{ } \Omega$,
$U_1 = 20 \text{ В}$,
$U_2 = 50 \text{ В}$,
$t = 30 \text{ с}$.

Розв'язання

За визначенням сила струму через провідник дорівнює

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

де dq - заряд, що пройшов через поперечний переріз провідника за час dt .

Звідси

$$q = \int_0^t I dt. \quad (1)$$

Згідно із законом Ома $I = \frac{U}{R}$, тоді

$$q = \int_0^t \frac{U}{R} dt. \quad (2)$$

Відповідно до умови задачі напруга рівномірно збільшується з часом, тобто

$$U = U_1 + kt, \quad (3)$$

де k - коефіцієнт пропорційності (це стала величина). Підставимо (3) у формулу (2) та знайдемо:

$$q = \int_0^t \frac{U_1 + kt}{R} dt = \frac{U_1}{R} \int_0^t dt + \frac{k}{R} \int_0^t t dt.$$

Виконаємо інтегрування та отримаємо

$$q = \frac{U_1 t}{R} + \frac{kt^2}{2R} = \frac{t}{2R} (2U_1 + kt). \quad (4)$$

Значення коефіцієнта пропорційності k знайдемо з формули (3) за умови, що при $t = 20 \text{ c}$ $U = 50 \text{ В}$:

$$k = \frac{U - U_1}{t} = \frac{50 - 20}{30} = 1 (\text{В/с}).$$

Підставимо значення числових величин у формулу (4), тоді отримаємо

$$q = \frac{30}{2 \cdot 10} (2 \cdot 20 + 1 \cdot 30) = 105 (\hat{E}\ddot{e}).$$

Перевіримо розмірність:

$$\frac{[t]}{[R]} ([U_1] + [k][t]) = \frac{1\hat{n}}{1\hat{I}} 1\hat{A} = \frac{1\hat{n} \cdot 1\hat{A}}{1\hat{A}} 1\hat{A} = 1\hat{E}\ddot{e}.$$

Відповідь: $q = 105 \hat{E}\ddot{e}$.

Приклад 12.2 Джерело струму з ЕРС $\xi = 1,1\text{В}$ і внутрішнім опором $r = 1\hat{\text{I}}\ \text{I}$ замкнуте на зовнішній опір $R = 9\hat{\text{I}}\ \text{I}$. Знайти: а) силу струму у колі I ; б) напругу у зовнішньому колі U ; в) напругу всередині джерела струму U_B ; г) ККД джерела струму η .

Розв'язання

$I - ?$	$U - ?$
$U_B - ?$	$\eta - ?$
$\xi = 1,1\hat{\text{A}}$,	
$r = 1\hat{\text{I}}\ \text{I}$,	
$R = 9\hat{\text{I}}\ \text{I}$.	

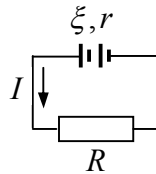


Рисунок 1

1 Силу струму у колі знайдемо з закону Ома для замкненого кола:

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

Підставимо числові значення величин

$$I = \frac{1,1}{9 + 1} = 0,11(\text{A}).$$

2 Напругу у зовнішньому колі знайдемо з закону Ома для ділянки кола:

$$U = IR .$$

Відповідні обчислення дають

$$U = 0,11 \cdot 9 = 0,99(B) .$$

3 Аналогічно знайдемо напругу у джерелі струму:

$$U_B = Ir ,$$

$$U_B = 0,11 \cdot 1 = 0,11(B) .$$

4 За визначенням коефіцієнт корисної дії показує, яку частину від загальної потужності складає корисна потужність:

$$\eta = \frac{N_K}{N_3} . \quad (1)$$

Корисна потужність у колі сталого струму – це та, що витрачається на нагрівання зовнішнього опору, тобто

$$N_K = I^2 R . \quad (2)$$

Загальна (повна) потужність – це потужність, що виділяється на повному опорі кола:

$$N_3 = I^2 (R + r). \quad (3)$$

З урахуванням (2) і (3) співвідношення (1) набере вигляду

$$\eta = \frac{I^2 R}{I^2 (R + r)} = \frac{R}{(R + r)}.$$

Обчислення дають для ККД значення

$$\eta = \frac{9}{(9+1)} = 0,9.$$

Відповідь: а) $I = 0,11 A$; б) $U = 0,99 B$; в) $U_B = 0,11 B$;

г) $\eta = 0,9$.

Приклад 12.3 Джерела струму з електрорушійними силами $\xi_1 = 10 B$ та $\xi_2 = 4 B$ підключені до кола (див. рис. 2). Визначити сили струмів, які йдуть по опорах R_2 та R_3 , за умови, що $R_1 = R_4 = 2 Ом$ і $R_2 = R_3 = 4 Ом$. Опором джерел струму знехтувати.

Розв'язання

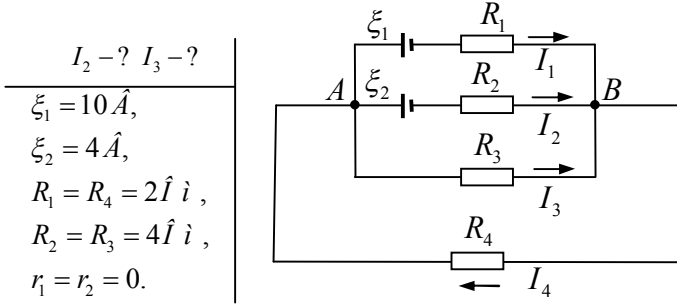


Рисунок 2

Сили струмів у розгалуженій мережі визначають за допомогою законів Кірхгофа. Для того, щоб знайти чотири значення сили струму потрібно скласти чотири рівняння. При цьому перед складанням рівнянь за законом Кірхгофа необхідно, поперше, довільно вибрати напрямки струмів, що йдуть через опори та показати їх стрілками на рисунку, і, по-друге, вибрати напрямком обходу контурів (це необхідно для складання рівнянь за другим законом Кірхгофа). Виберемо напрямки струмів, так, як вони показані на рис.2, та домовимося обходити контури за годинниковою стрілкою.

Електрична схема у даній задачі має два вузли A і B . Але складати рівняння за першим законом Кірхгофа потрібно тільки для одного вузла, оскільки рівняння складене для іншого вузла буде аналогічним.

Під час створення рівнянь за першим законом Кірхгофа потрібно використовувати правило знаків, а саме, струм, який підходить до вузла, в рівнянні має знак плюс, а струм, який виходить із вузла, – мінус.

За першим законом Кірхгофа для вузла B ми маємо

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0. \quad (1)$$

Останні три рівняння одержимо із другого закону Кірхгофа. Кількість незалежних рівнянь, які можна скласти за другим законом Кірхгофа, є меншою від кількості контурів (у нашому випадку контурів - шість, а незалежних рівнянь - три). Для того, щоб отримати необхідну кількість незалежних рівнянь потрібно дотримуватися такого правила: вибирати контури так, щоб кожний новий контур містив хоча б одну гілку, яка не розглядалася б у жодному з попередніх контурів.

Під час написання рівнянь за другим законом Кірхгофа потрібно виконувати таке правило знаків:

а) якщо струм за напрямком збігається з вибраним напрямком обходу контурів, то відповідний добуток IR входить до рівняння із знаком плюс, в протилежному випадку – із знаком мінус;

б) якщо під час обходу контура йдемо від мінуса до плюса всередині джерела струму, то відповідна ЕРС входить до рівняння із знаком плюс, в протилежному випадку – із знаком мінус.

За другим законом Кірхгофа для контурів AR_1BR_2A , AR_1BR_3A , AR_3BR_4A отримаємо:

$$I_1R_1 - I_2R_2 = \xi_1 - \xi_2, \quad (2)$$

$$I_1R_1 - I_3R_3 = \xi_1, \quad (3)$$

$$I_3R_3 + I_4R_4 = 0. \quad (4)$$

Підставимо в рівняння (2) – (4) числові значення опорів і ЕРС та разом з (1) отримаємо систему рівнянь:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0,$$

$$2I_1 - 4I_2 = 6,$$

$$2I_1 - 4I_3 = 10,$$

$$4I_3 + 2I_4 = 0.$$

Для розв'язання отриманої системи скористаємося методом визначників. Для цього перепишемо її у такому вигляді:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 = 0,$$

$$2I_1 - 4I_2 + 0 + 0 = 6,$$

$$2I_1 + 0 - 4I_3 + 0 = 10,$$

$$0 + 0 + 4I_3 + 2I_4 = 0.$$

Значення сил струмів знайдемо з виразів:

$$I_2 = \frac{\Delta_{I_2}}{\Delta}, \quad I_3 = \frac{\Delta_{I_3}}{\Delta},$$

де Δ - визначник системи рівнянь; Δ_{I_2} і Δ_{I_3} - визначники, отримані при заміні відповідних стовпчиків визначника Δ стов-

пчиками, складеними з вільних членів чотирьох вищенаведених рівнянь. Відповідні визначники дорівнюють:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 \\ 2 & -4 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 2 \end{vmatrix} = 96,$$

$$\Delta_{I_2} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & -1 \\ 2 & 6 & 0 & 0 \\ 2 & 10 & -4 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 2 \end{vmatrix} = 0, \quad \Delta_{I_3} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 \\ 2 & -4 & 6 & 0 \\ 2 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{vmatrix} = -96.$$

Тоді для струмів отримаємо

$$I_2 = 0, \quad I_3 = -1 A.$$

Знак мінус свідчить про те, що під час довільного вибору напрямків струмів, напрямок струму I_3 був показаний протилежно дійсному. Насправді струм I_3 йде від вузла B до вузла A .

Відповідь: $I_2 = 0, \quad I_3 = -1 A$.

Приклад 12.4 Сила струму в провіднику з опором $R = 20 \text{ Ом}$ збільшується протягом часу $\Delta t = 2 \text{ с}$ за лінійним законом від $I_0 = 0$ до $I = 6 \text{ А}$ (рис.3). Визначити теплоту Q_1 і Q_2 , що виділилася в цьому провіднику за першу та другу секунди, а також знайти відношення цих величин $\frac{Q_1}{Q_2}$.

Розв'язання

$$\begin{array}{l} Q_1 - ? \quad Q_2 - ? \quad \frac{Q_1}{Q_2} - ? \\ \hline R = 20 \text{ Ом} \\ I_0 = 0, \\ I = 6 \text{ А}. \end{array}$$

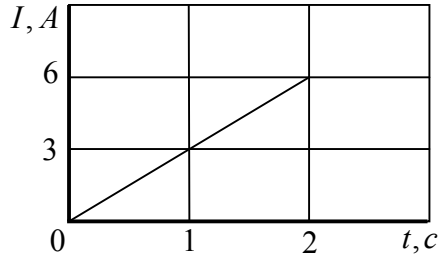


Рисунок 3

Для розв'язання задачі скористаємося законом Джоуля-Ленца

$$dQ = I^2 R dt, \quad (1)$$

де сила струму I є деякою функцією часу.

У даному випадку ця функція лінійна (рис.3):

$$I = kt, \quad (2)$$

де k - коефіцієнт пропорційності, що характеризує швидкість зміни сили струму:

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

З урахуванням співвідношення (2) формула (1) набуде вигляду

$$dQ = k^2 t^2 R dt. \quad (3)$$

Для визначення теплоти, що виділилася за скінченний інтервал часу Δt , вираз (3) потрібно проінтегрувати від t_1 до t_2 :

$$Q = k^2 R \int_{t_1}^{t_2} t^2 dt = \frac{1}{3} k^2 R (t_2^3 - t_1^3).$$

Проведемо обчислення. Тепло, що виділяється на провіднику за першу та другу секунди:

$$Q_1 = 1/3 \cdot 3^2 \cdot 20 \cdot (1 - 0) = 60 \text{ Дж},$$

$$Q_2 = 1/3 \cdot 3^2 \cdot 20 \cdot (8 - 1) = 420 \text{ Дж}.$$

Отже, їх відношення дорівнює

$$Q_2/Q_1 = 420/60 = 7,$$

тобто за другу секунду виділиться теплоти в сім разів більше, ніж за першу.

Відповідь: $Q_1 = 60 \text{ Дж}$; $Q_2 = 420 \text{ Дж}$; $Q_2/Q_1 = 7$.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

12.1 Знайти опір R графітового провідника, виготовленого у вигляді прямого колового зрізаного конуса висотою $h = 20 \text{ см}$ і радіусами основ $r_1 = 1,2 \text{ см}$ і $r_2 = 0,8 \text{ см}$. Температура провідника дорівнює $t = 20^\circ \text{C}$.

Відповідь: $R = 2,58 \text{ мОм}$.

12.2 Котушка та амперметр з'єднані послідовно і підключені до джерела струму. До клем котушки приєднаний вольтметр з опором $r = 4 \text{ кОм}$. Амперметр показує силу струму $I = 0,3 \text{ А}$, вольтметр – напругу $U = 120 \text{ В}$. Визначити опір R котушки. Визначити відносну похибку δ , яка буде допущена при вимірюванні опору, якщо знехтувати силою струму, що проходить через вольтметр.

Відповідь: $R = 444 \text{ Ом}$; $\delta = 9,9\%$.

12.3 ЕРС батареї $\xi = 80 \text{ В}$, її внутрішній опір $r = 5 \hat{I} \hat{i}$. Зовнішнє електричне коло споживає потужність $N = 100 \text{ Вт}$. Визначити силу струму I у колі, напругу U , під якою перебуває зовнішнє коло і його опір R .

Відповідь: $I = 1,36 \text{ А}$; $U = 73,8 \text{ В}$; $R = 54 \text{ Ом}$.

12.4 Від батареї, ЕРС якої складає $\xi = 600 \text{ В}$, потрібно передати енергію споживачу на відстань $l = 1 \text{ км}$. Потужність, що при цьому споживається, дорівнює $N = 5 \text{ кВт}$. Знайти мінімальні втрати потужності в електричній мережі, якщо діаметр мідного дроту складає $d = 0,5 \text{ см}$.

Відповідь: $N_{\min} = 128 \hat{A} \hat{\delta}$.

12.5 При зовнішньому опорі $R_1 = 8 \text{ Ом}$ сила струму в електричному колі $I_1 = 0,8 \text{ А}$, при опорі $R_2 = 15 \text{ Ом}$ сила струму $I_2 = 0,5 \text{ А}$. Визначити силу струму $I_{\text{КЗ}}$ короткого замикання джерела ЕРС.

Відповідь: $I_{КС} = 2,54 \text{ A}$.

12.6 ЕРС батареї становить $\xi = 24 \text{ В}$. Найбільша сила струму, яку може дати батарея, $I_{\max} = 10 \text{ А}$. Визначити максимальну потужність N_{\max} , що може виділятися в зовнішньому електричному колі.

Відповідь: $N_{\max} = 60 \text{ Вт}$.

12.7 Від джерела з напругою $U = 800 \text{ В}$ необхідно передати споживачу потужність $N = 10 \text{ кВт}$ на деяку відстань. Який найбільший опір може мати лінія електропередачі, щоб втрати енергії в ній не перевищували 10% від потужності, що передається?

Відповідь: $R = 53 \text{ Ом}$.

12.8 При вмиканні електромотора в мережу з напругою $U = 220 \text{ В}$ він споживає струм $I = 5 \text{ А}$. Визначити потужність, що використовується мотором і його ККД, якщо опір R обмотки мотора дорівнює 6 Ом .

Відповідь: $N = 1,1 \text{ кВт}$; $\eta = 86,4 \%$.

12.9 У мережу з напругою $U = 100 \text{ В}$ підключили послідовно котушку з опором $R_1 = 2 \text{ Ом}$ і вольтметр. Вольтметр показує напругу $U_1 = 80 \text{ В}$. Коли котушку замінили іншою, вольтметр показав напругу $U_2 = 60 \text{ В}$. Визначити опір R_2 іншої котушки.

Відповідь: $R_2 = 5,33 \text{ кОм}$.

12.10 ЕРС батареї складає $\xi = 12 \text{ В}$. При силі струму $I = 4 \text{ А}$ ККД батареї дорівнює $\eta = 0,6$. Визначити внутрішній опір r батареї.

Відповідь: $r = 1,2 \text{ Ом}$.

12.11 До джерела струму з ЕРС $\xi = 1,5 \text{ В}$ приєднали котушку з опором $R = 0,1 \text{ Ом}$. Амперметр показав силу струму $I_1 = 0,5 \text{ А}$. Коли до джерела струму приєднали послідовно ще одне джерело з такою самою ЕРС, сила струму в котушці стала дорівнювати

$I_2 = 0,4 A$. Визначити внутрішні опори r_1 і r_2 першого і другого джерел струму.

Відповідь: $r_1 = 2,9 \text{ Ом}; r_2 = 4,5 \text{ Ом}$.

12.12 Дві батареї акумуляторів ($\xi_1 = 10 \text{ В}$, $r_1 = 1 \text{ Ом}$; $\xi_2 = 8 \text{ В}$; $r_2 = 2 \text{ Ом}$) і реостат ($R = 6 \text{ Ом}$) з'єднані, як показано на рис. 4.

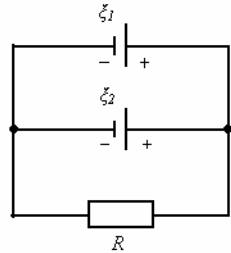


Рисунок 4

Знайти силу струму в батареях та реостаті.

Відповідь: $I_1 = 6,4 A$; $I_2 = 5,8 A$; $I_R = 0,6 A$.

12.13 До батареї акумуляторів, ЕРС якої дорівнює $\xi = 2 \text{ В}$ і внутрішній опір - $r = 0,5 \text{ Ом}$, приєднали провідник. Визначити: а) опір R провідника, при якому потужність, що виділяється у ньому, максимальна; б) потужність N , яка при цьому виділяється у провіднику.

Відповідь: а) $R = 0,5 \text{ Ом}$; б) $N = 2 \text{ А} \hat{\text{д}}$.

12.14 По провіднику з опором $R = 3 \text{ Ом}$ проходить струм, сила якого рівномірно зростає. Кількість теплоти, що виділилась у провіднику за час $t = 8 \text{ с}$, дорівнює $Q = 200 \text{ Дж}$. Визначити заряд q , що проходить за цей час вздовж провідника. В початковий момент часу сила струму у провіднику дорівнює нулю.

Відповідь: $q = 20 \text{ Кл}$.

12.15 У мідному провіднику об'ємом $V = 6 \text{ см}^3$ при проходженні по ньому постійного струму за час $t = 1 \text{ хв}$ виділилась кількість теплоти $Q = 216 \text{ Дж}$. Визначити напруженість E електричного поля у провіднику.

Відповідь: $E = 0,1 \text{ А} / \hat{\text{и}}$.

12.16 Визначити густину струму j у залізному провіднику довжиною $l = 10 \text{ м}$, якщо він перебуває під напругою $U = 6 \text{ В}$.

Відповідь: $j = 6,1 \text{ МА} / \text{м}^2$.

12.17 Дві групи із трьох послідовно з'єднаних джерел струму з'єднані паралельно. ЕРС кожного джерела дорівнює $\xi = 1,2 \text{ В}$, внутрішній опір - $r = 0,2 \text{ Ом}$. Батарея замкнена на зовнішній опір $R = 1,5 \text{ Ом}$. Знайти силу струму I у зовнішньому колі.

Відповідь: $I = 2 \text{ А}$.

12.18 Два елементи ($\xi_1 = 1,2 \text{ В}$; $r_1 = 0,1 \text{ Ом}$; $\xi_2 = 0,9 \text{ В}$; $r_2 = 0,3 \text{ Ом}$) з'єднані однойменними полюсами. Опір з'єднувальних провідників дорівнює $R = 0,2 \text{ Ом}$. Визначити силу струму I у колі.

Відповідь: $I = 0,5 \text{ А}$.

12.19 ЕРС батареї дорівнює $\xi = 20 \text{ В}$. Опір зовнішнього кола дорівнює $R = 2 \text{ Ом}$, сила струму - $I = 4 \text{ А}$. Знайти ККД батареї. При якому значенні зовнішнього опору ККД буде дорівнювати 99%?

Відповідь: $\eta = 0,4$; $R = 297 \text{ Ом}$.

12.20 Обмотка електричного кип'ятильника має дві секції. Якщо ввімкнена тільки перша секція, то вода закипає через $t_1 = 15 \text{ хв}$, якщо тільки друга, то через $t_2 = 30 \text{ хв}$. Через скільки хвилин закипає вода, якщо обидві секції ввімкнуті послідовно, паралельно? Вважати, що все тепло йде тільки на нагрівання води.

Відповідь: $t_{\text{noc}} = 45 \text{ хв}$; $t_{\text{нар}} = 10 \text{ хв}$.

12.21 Сила струму у провіднику рівномірно зростає від $I_0 = 0$ до деякого максимального значення протягом часу $\tau = 10 \text{ с}$. За цей час у провіднику виділилась кількість теплоти $Q = 1 \text{ кДж}$. Визначити швидкість наростання струму у провіднику, якщо опір його дорівнює $R = 3 \text{ Ом}$.

Відповідь: $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 1 \text{ А/с}$.

12.22 Сила струму у провіднику опором $R = 100 \text{ Ом}$ рівномірно зменшується від $I_0 = 10 \text{ А}$ до $I = 0$ за час $t = 30 \text{ с}$. Визначити кількість теплоти, яка виділиться за цей час у провіднику.

Відповідь: $Q = 100 \text{ кДж}$.

12.23 Який зовнішній опір R треба підключити до $n=5$ однакових послідовно з'єднаних джерел струму (ЕРС $\xi = 1,5 \text{ В}$ і внутрішній опір $r = 0,3 \text{ Ом}$), щоб потужність, яка віддається у зовнішнє коло, була максимальною? Чому в цьому випадку дорівнюють сила струму у колі і повна потужність батареї?

Відповідь: $R = 1,5 \text{ Ом}$; $I = 2,5 \text{ А}$; $N = 18,8 \text{ Вт}$.

12.24 Визначити струм короткого замикання джерела ЕРС, якщо при зовнішньому опорі $R_1 = 50 \text{ Ом}$ струм у колі $I_1 = 2,2 \text{ А}$, а при $R_2 = 110 \text{ Ом}$, $I_2 = 0,1 \text{ А}$.

Відповідь: $I_3 = 1,2 \text{ А}$.

12.25 Визначити: а) ЕРС ξ джерела струму; б) його внутрішній опір r , якщо у зовнішньому колі при силі струму $I_1 = 3 \text{ А}$ розвивається потужність $N_1 = 18 \text{ Вт}$, а при силі струму $I_2 = 1 \text{ А}$ – потужність $N_2 = 10 \text{ Вт}$.

Відповідь: а) $\xi = 12 \text{ В}$; б) $r = 2 \text{ Ом}$.