

§ 9. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА З ПОСЛІДОВНИМ І ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМИ ПРОВІДНИКІВ.

★ ШУНТИ ТА ДОДАТКОВІ ОПОРИ ★



У розділі 1 було докладно розглянуто властивості електростатичного поля, створеного нерухомими електричними зарядами. А от якщо електричні заряди *рухаються*, виникають інші фізичні явища та процеси. Саме з ними ви й ознайомитесь у цьому розділі. А почнемо з повторення базових понять та законів, відомих вам із курсу фізики 9-го класу.



За яких умов виникає та існує електричний струм

Електричний струм — це процес напрямленого руху заряджених частинок.

Для виникнення та існування електричного струму необхідні:

- наявність вільних заряджених частинок — носіїв струму;
- наявність електричного поля, дія якого створює та підтримує

направлений рух вільних заряджених частинок.

За створення електричного поля «відповідають» *джерела струму*.

Джерела електричного струму — пристрої, що перетворюють різні види енергії на електричну енергію.

У джерелах електричного струму виконується *робота з розділення різнойменних електричних зарядів*, у результаті чого на одному полюсі джерела накопичується позитивний заряд, а на другому — негативний; у такий спосіб створюється електричне поле.

Прикладами джерел струму можуть слугувати акумулятори та гальванічні елементи.



Що таке електричне коло

Найпростіше електричне коло являє собою з'єднані провідниками в певному порядку *джерело струму, споживач* електричної енергії й *замикальний (розмикальний) пристрій*.

Електричною схемою називають креслення, на якому умовними позначеннями показано, з яких елементів складається електричне коло і яким чином ці елементи з'єднані між собою.

Умовні позначення деяких елементів електричного кола наведено на рис. 9.1.

Зверніть увагу:

— *напрямок струму в колі умовно вважають напрямком, у якому рухалися б по колу позитивно заряджені частинки, тобто напрямком від позитивного полюса джерела струму до негативного;*

— *в умовному позначенні джерела струму довга риска означає позитивний полюс джерела, а коротка — негативний.*

Елемент електричного кола	Умовне позначення	Елемент електричного кола	Умовне позначення
Гальванічний елемент або акумулятор		Резистор	
Батарея гальванічних елементів або акумуляторів		Електрична лампа	
З'єднання проводів		Електричний дзвінок	
Перетин проводів (без з'єднання)		Нагрівальний елемент	
Затискачі для під'єднання якого-небудь приладу		Штепсельна розетка	
Ключ		Запобіжник	

Рис. 9.1. Умовні позначення деяких елементів електричного кола

3 Яка фізична величина характеризує електричний струм

Сила струму I — це фізична величина, яка характеризує електричний струм і дорівнює відношенню заряду Δq , що проходить через поперечний переріз провідника за інтервал часу Δt , до цього інтервалу:

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

Якщо сила струму не змінюється з часом, то такий електричний струм називають *постійним*. Сила постійного струму I в провіднику чисельно дорівнює заряду q , що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу:

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

Одиниця сили струму в СІ — **ампер (А)**. Це одна з основних одиниць СІ. 1 А дорівнює силі струму, який, проходячи в двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини та нехтовно малої площі кругового поперечного перерізу, розташованих у вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликає би на кожній ділянці провідників довжиною 1 м силу взаємодії, що дорівнює $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Для організму людини вважається безпечною сила струму, значення якої не перевищує 1 мА; сила струму 100 мА може призвести до серйозних уражень.

Прилад для вимірювання сили струму називають *амперметром*. Амперметр вмикають в електричне коло послідовно з провідником, у якому вимірюють силу струму (рис. 9.2).

Зверніть увагу: не можна приєднувати амперметр до кола, в якому відсутній споживач струму.

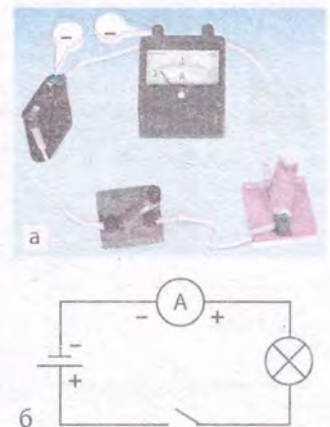


Рис. 9.2. Вимірювання амперметром сили струму, який проходить через лампу: а — загальний вигляд електричного кола; б — схема

4 Як формулюється закон Ома для ділянки кола

Сила струму в ділянці кола визначається **законом Ома для ділянки кола**:

Сила струму I в ділянці кола прямо пропорційна напрузі U на кінцях цієї ділянки.

Математичним записом закону Ома є формула:

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

де R — опір ділянки (залежить тільки від властивостей провідників, що її складають).

Якщо ділянка кола *не містить джерела струму*, електрична напруга U на її кінцях чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщення одиничного позитивного заряду q по цій ділянці:

$$U = \frac{A}{q},$$

де A — робота, яку виконує (або може виконати) електричне поле при переміщенні заряду q по даній ділянці кола. *Одиниця напруги в СІ — вольт (В).*

Прилад для вимірювання напруги називають *вольтметром*. Вольтметр приєднують до електричного кола *паралельно* ділянці кола, на якій необхідно виміряти напругу (рис. 9.3).

Електричний опір — це фізична величина, яка характеризує властивість провідника протидіяти електричному струму.

Одиниця опору в СІ — Ом. 1 Ом — це опір такого провідника, в якому тече струм силою 1 А за напруги на кінцях провідника 1 В.

Опір R провідника прямо пропорційний його довжині l , обернено пропорційний площі S його поперечного перерізу й залежить від речовини, з якої виготовлений провідник:

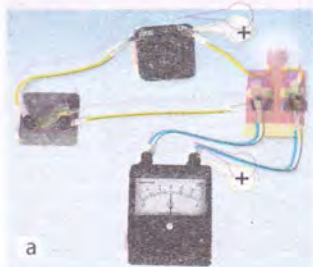
$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де ρ — питомий опір речовини, з якої виготовлений провідник.

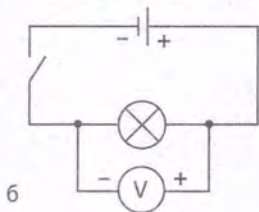
Питомий опір речовини — це фізична величина, яка характеризує електричні властивості речовини та чисельно дорівнює опору виготовленого з неї провідника довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м².

Одиниця питомого опору в СІ — ом-метр (Ом·м).

Зверніть увагу: значення питомого опору речовини зумовлене *хімічною природою речовини* та істотно залежить від *температури*.



а



б

Рис. 9.3. Вимірювання вольтметром напруги на лампі:
а — загальний вигляд;
б — схема електричного кола

5 Які характерні риси має ділянка кола, яка складається з послідовно з'єднаних провідників

З'єднання провідників називають *послідовним*, якщо воно не містить розгалужень, тобто провідники розташовані послідовно один за одним (рис. 9.4). Зрозуміло, що таким чином можна з'єднати будь-яку кількість провідників.

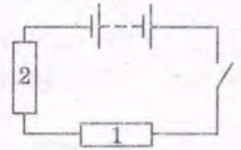


Рис. 9.4. Схема кола, яке складається з послідовного з'єднання провідників

Як приклад розглянемо ділянку кола, яка містить послідовне з'єднання лише двох резисторів, а потім *узагальнимо отримані співвідношення* для послідовного з'єднання будь-якої кількості провідників.

1. Сила струму в кожному з двох послідовно з'єднаних провідників однакова: $I_1 = I_2 = I$

Дійсно, оскільки коло з послідовним з'єднанням провідників не містить розгалужень, то заряд, який пройшов через поперечний переріз будь-якого провідника за деякий час t , буде однаковим: $q_1 = q_2 = q$.

Поділивши цей вираз на t , отримуємо: $\frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t} = \frac{q}{t}$. Отже, $I_1 = I_2 = I$.

2. Загальна напруга на двох послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруг на них: $U = U_1 + U_2$

Справді, якщо, переміщуючи деякий заряд q , електричне поле виконує роботу A_1 в першому провіднику і A_2 — у другому, то зрозуміло, що для переміщення даного заряду через обидва провідники має бути виконана робота $A = A_1 + A_2$. Поділивши обидві частини рівності на значення q цього заряду, маємо: $\frac{A}{q} = \frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q}$.

Оскільки $U = \frac{A}{q}$, отримаємо $U = U_1 + U_2$.

3. У разі послідовного з'єднання двох провідників напруга на кожному провіднику прямо пропорційна його опору: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$

Зважаючи на закон Ома та співвідношення 1, маємо: $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$,
або $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$.

4. Загальний опір двох послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі їхніх опорів: $R = R_1 + R_2$

Згідно зі співвідношеннями 1 і 2 та законом Ома маємо: $IR = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$. Після скорочення на I отримаємо: $R = R_1 + R_2$.

Як уже зазначалося, наведені співвідношення можна уза-

Отже, у разі послідовного з'єднання n провідників справджуються такі співвідношення:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad U = \sum_{i=1}^n U_i \quad R = \sum_{i=1}^n R_i$$

Зверніть увагу:

— загальний опір провідників, з'єднаних послідовно, більший за опір кожного з цих провідників;

— загальний опір R послідовно з'єднаних провідників, кожний з яких має опір R' , дорівнює: $R = nR'$, де n — кількість провідників.

6 Які характерні риси має ділянка кола, яка складається з паралельно з'єднаних провідників

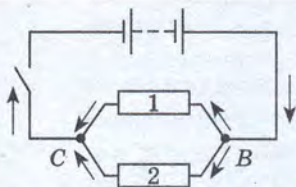


Рис. 9.5. Схема кола, яке містить паралельне з'єднання провідників. Стрілками показано напрямок струму в нерозгалуженій частині кола та у відгалуженнях. Літерами B і C позначені вузлові точки

З'єднання провідників називають *паралельним*, якщо для проходження струму є два чи більше шляхів — *віток* — і всі ці вітки мають одну пару спільних точок — *вузлів*. У вузлах (вузлових точках) відбувається розгалуження кола (у кожному вузлі з'єднуються не менш ніж три проводи). Отже, *розгалуження є характерною ознакою кола з паралельним з'єднанням провідників*.

Розглянемо ділянку кола, що містить паралельне з'єднання лише двох резисторів (рис. 9.5), а потім *узагальнимо отримані співвідношення* для будь-якої кількості паралельно з'єднаних провідників.

1. *Загальна напруга на ділянці та напруга на кожному з двох паралельно з'єднаних провідників є однаковими:* $U = U_1 = U_2$

Ця рівність випливає з визначення паралельного з'єднання провідників.

2. У разі паралельного з'єднання двох провідників *сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях (окремих вітках):* $I = I_1 + I_2$

Дійсно, струм, дійшовши до розгалуження (вузлова точка B), розтікається по двох вітках. Оскільки заряд у вузловій точці не накопичується, то заряд q , який надійшов у вузол за певний час t , дорівнює сумі зарядів $(q_1 + q_2)$, які вийшли з цього вузла за той же час: $q = q_1 + q_2$. Поділимо обидві частини рівності на t : $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$.

Оскільки $\frac{q}{t} = I$, то: $I = I_1 + I_2$.

3. У разі паралельного з'єднання двох провідників *сила струму в кожній вітці обернено пропорційна її опорі:* $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$

Зважаючи на закон Ома та співвідношення 1, маємо: $I_1 R_1 = I_2 R_2$,
або $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$.

4. Величина, обернена загальному опору розгалуженої ділянки кола, дорівнює сумі величин, кожна з яких обернена опору відповідної вітки цього розгалуження:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Згідно зі співвідношеннями 1 і 2 та законом Ома одержимо:
 $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$. Після скорочення на U маємо: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

Отже, узагальнимо: для паралельно з'єднаних n провідників справджуються такі співвідношення:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

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

Зверніть увагу:

— загальний опір провідників, з'єднаних паралельно, менший за опір кожного з цих провідників;

— загальний опір R паралельно з'єднаних провідників, кожний з яких має опір R' , дорівнює: $R = \frac{R'}{n}$, де n — кількість провідників.

★ 7 Для чого потрібні шунти та додаткові опори

Кожен вольтметр має певну верхню межу вимірювання — найбільше значення напруги, яке можна виміряти цим приладом. Але якщо до вольтметра послідовно приєднати так званий додатковий опір, наприклад резистор, то межа вимірювання вольтметра збільшиться. Це відбудеться тому, що вимірювана напруга U ділиться на дві частини: одна частина припадає на вольтметр ($U_{\text{в}}$), а друга — на резистор, який забезпечує додатковий опір ($U_{\text{д}}$): $U = U_{\text{в}} + U_{\text{д}}$ (рис. 9.6). Згідно зі співвідношенням 3 для послідовно з'єднаних провідників $\frac{U_{\text{в}}}{U_{\text{д}}} = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{д}}}$, де $R_{\text{в}}$ — опір вольтметра; $R_{\text{д}}$ — опір резистора. Звідси $R_{\text{д}} = \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{в}}} R_{\text{в}}$. Тоді з урахуванням $U_{\text{д}} = U - U_{\text{в}}$ отримаємо:

$$R_{\text{д}} = \frac{U - U_{\text{в}}}{U_{\text{в}}} R_{\text{в}} = \frac{U}{U_{\text{в}}} R_{\text{в}} - R_{\text{в}} = R_{\text{в}} (n - 1), \text{ де } n = \frac{U}{U_{\text{в}}} —$$

коефіцієнт, який показує, у скільки разів зростає межа вимірювання вольтметра, тобто в скільки разів зростає ціна поділки його шкали. Отже, значення додаткового опору ($R_{\text{д}}$) обчислюють за формулою:

$$R_{\text{д}} = R_{\text{в}} (n - 1).$$



Рис. 9.6. Збільшення межі вимірювання вольтметра за допомогою резистора, який приєднують послідовно до вольтметра

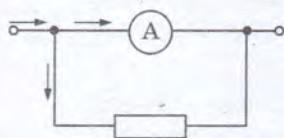


Рис. 9.7. Схема шунтування амперметра за допомогою резистора, який приєднують паралельно амперметру. Стрілками показано напрямки струму

Для вимірювання сили струму, більшої за ту, на яку розрахований амперметр, можна скористатися цим самим амперметром. Для цього слід паралельно амперметру підключити резистор, який у цьому випадку називають *шунтом* (рис. 9.7).

У разі застосування шунта сила струму, який іде через амперметр (I_a), дорівнює: $I_a = I - I_{\text{ш}}$ (*), де I — вимірювана сила струму; $I_{\text{ш}}$ — сила струму, який проходить через шунт. Згідно зі співвідношенням 3 для паралельно з'єднаних провідників

$$\frac{I_{\text{ш}}}{I_a} = \frac{R_a}{R_{\text{ш}}}, \text{ де } R_a \text{ — опір амперметра; } R_{\text{ш}} \text{ — опір}$$

шунта (резистора). Звідси $R_{\text{ш}} = \frac{I_a R_a}{I_{\text{ш}}}$.

Тоді з урахуванням формули (*) отримаємо:

$$R_{\text{ш}} = \frac{I_a}{I - I_a} R_a = \frac{R_a}{\frac{I}{I_a} - 1} = \frac{R_a}{n - 1}, \text{ де } n = \frac{I}{I_a} \text{ — коефіцієнт, який показує,}$$

у скільки разів зростає значення верхньої межі вимірювання сили струму амперметром, тобто у скільки разів зростає ціна поділки його шкали. Отже, значення опору шунта обчислюють за формулою:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_a}{n - 1}. \star$$

8 Учимся розв'язувати задачі

Задача 1. Ділянка кола складається з шістьох однакових резисторів, з'єднаних так, як показано на *схемі 1*. На ділянку подано напругу 31,2 В. Визначте загальний опір ділянки кола, напругу на резисторі 2 і силу струму в резисторах 1 і 6, якщо опір кожного резистора дорівнює 8 Ом.

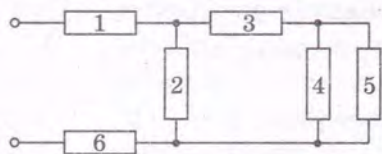


Схема 1

$$R_{1;2;3;4;5;6} \text{ — ?}$$

$$U_2 \text{ — ?}$$

$$I_1 \text{ — ?}$$

$$I_6 \text{ — ?}$$

Дано:

$$U = 31,2 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R = 8 \text{ Ом}$$

Аналіз фізичної проблеми. Аналіз поданої електричної *схеми 1* показує, що електричне коло містить мішане з'єднання провідників. Тому спочатку спростимо дану схему, а потім, скориставшись законом Ома та співвідношеннями для послідовного та паралельного з'єднань провідників, знайдемо значення шуканих величин.

Пошук математичної моделі, розв'язання. Оскільки резистори 4 і 5 з'єднані паралельно, то $R_{4;5} = \frac{R}{2} = \frac{8 \text{ Ом}}{2} = 4 \text{ Ом}$.

Отже, у схемі 1 резистори 4 і 5 можна замінити одним резистором 4-5, опір якого $R_{4;5} = 4$ Ом. Тоді вихідна схема набуде вигляду, який має схема 2.

У схемі 2 можна замінити резистори 3 і 4-5 резистором 3-4-5, опір якого $R_{3;4;5} = R_3 + R_{4;5} = 12$ Ом, і отримати схему 3.

Потім замінимо резистори 2 і 3-4-5 резистором 2-3-4-5 та отримаємо схему 4. Опір $R_{2;3;4;5}$ розрахуємо за допомогою формули:

$$\frac{1}{R_{2;3;4;5}} = \frac{1}{R_{3;4;5}} + \frac{1}{R_2},$$

$$\frac{1}{R_{2;3;4;5}} = \frac{20}{96 \text{ Ом}} \Rightarrow R_{2;3;4;5} = 4,8 \text{ Ом}.$$

Схема 4 містить послідовне з'єднання резисторів 1, 2-3-4-5 і 6. Таким чином, загальний опір ділянки кола становить: $R_{1;2;3;4;5;6} = R_1 + R_{2;3;4;5} + R_6 = 2R + R_{2;3;4;5} = 16 \text{ Ом} + 4,8 \text{ Ом} = 20,8 \text{ Ом}.$

Відповідно до закону Ома: $I = \frac{U}{R} = \frac{31,2 \text{ В}}{20,8 \text{ Ом}} = 1,5 \text{ А}.$

Оскільки $I_1 = I_6 = I$, то $I_1 = I_6 = 1,5 \text{ А}.$

Аналізуючи схеми 2 і 3, доходимо висновку, що $U_{2;3;4;5} = U_2$. Тому $U_2 = IR_{2;3;4;5} = 1,5 \text{ А} \cdot 4,8 \text{ Ом} = 7,2 \text{ В}.$

Відповідь: загальний опір ділянки кола $R_{1;2;3;4;5;6} = 20,8 \text{ Ом}$; напруга на резисторі 2 становить $U_2 = 7,2 \text{ В}$; сила струму в резисторах 1 і 6 однакова: $I_1 = I_6 = 1,5 \text{ А}.$

★ Задача 2.

Амперметр розрахований на максимальну силу струму $I_a = 2 \text{ А}$. Визначте, який додатковий опір необхідно приєднати до цього амперметра, щоб прилад можна було використовувати як вольтметр для вимірювання напруг до $U = 220 \text{ В}$. Відомо: якщо до даного амперметра приєднати шунт із опором $R_{\text{ш}} = 0,5 \text{ Ом}$, то ціна поділки шкали зростає в 10 разів.

R_d — ?

Дано:

$$I_a = 2 \text{ А}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$R_{\text{ш}} = 0,5 \text{ Ом}$$

$$n = 10$$

Аналіз фізичної проблеми. Щоб використовувати амперметр як вольтметр із межею вимірювання U , до амперметра необхідно послідовно приєднати додатковий опір. При цьому значення додаткового опору має бути таким, щоб під час проходження через амперметр максимальної сили струму I_a загальна напруга на амперметрі та додатковому опорі становила U . Тоді, визначивши опір амперметра та використавши співвідношення для послідовного з'єднання провідників, знайдемо шукану величину.

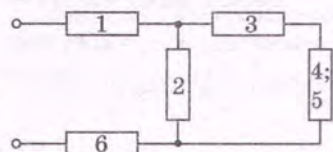


Схема 2

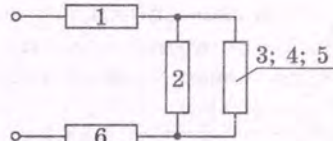


Схема 3

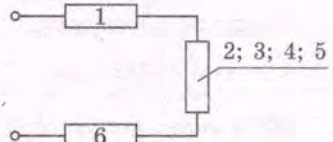


Схема 4

Пошук математичної моделі, розв'язання. Спочатку визначимо опір амперметра, враховуючи, що приєднання до нього шунта з опором $R_{\text{ш}}$ збільшить ціну поділки шкали амперметра в $n = \frac{I}{I_a}$ разів. Таким чи-

ном, маємо: $\frac{I_a}{I_{\text{ш}}} = \frac{R_{\text{ш}}}{R_a}$; $I_{\text{ш}} = I - I_a$. Отже, $R_a = \frac{R_{\text{ш}}(I - I_a)}{I_a} = R_{\text{ш}}(n - 1)$.

Після підключення до амперметра додаткового опору будуть справджуватися співвідношення $I_a = I_d$ і $U = U_a + U_d$, де U_a і U_d — напруга на амперметрі та додатковому опорі відповідно. Зважаючи на закон Ома, перепишемо останню рівність у вигляді: $U = I_a R_a + I_d R_d$. Звідси

$R_d = \frac{U - I_a R_a}{I_d}$. Після підставлення виразу для опору амперметра отри-

маємо: $R_d = \frac{U}{I_a} - R_{\text{ш}}(n - 1)$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[R_d] = \frac{\text{В}}{\text{А}} - \text{Ом} = \text{Ом} - \text{Ом} = \text{Ом}; \{R_d\} = \frac{220}{2} - 4,5 \approx 106, R_d \approx 106 \text{ Ом}.$$

Відповідь: додатковий опір, який потрібно підключити до амперметра, $R_d \approx 106 \text{ Ом}$. ★

Контрольні запитання

?

1. Що таке електричний струм? Сформулюйте умови виникнення та існування електричного струму.
2. Які пристрої називають джерелами електричного струму?
3. Що називають електричною схемою?
4. Як на електричних схемах зображують гальванічний елемент? батарею гальванічних елементів? електричний дзвінок? ключ?
5. Що беруть за напрямок струму в електричному колі?
6. Дайте характеристику сили струму як фізичної величини.
7. Дайте характеристику напруги як фізичної величини.
8. Що таке опір провідника? Від яких величин він залежить?
9. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.
10. Що таке питомий опір речовини?
11. Яке з'єднання провідників називають послідовним?
12. Які співвідношення справджуються в разі послідовного з'єднання провідників? Доведіть їх.
13. Яке з'єднання провідників називають паралельним?
14. Які співвідношення справджуються в разі паралельного з'єднання провідників? Доведіть їх. ★
15. Як можна збільшити верхню межу вимірювання вольтметра? ★
16. У якому випадку шунтують амперметри?



Вправа № 9

Якщо не зазначено інше, опором з'єднувальних проводів слід знехтувати.

1. По провіднику, до кінців якого прикладена напруга 12 В, за 5 хв пройшов заряд 60 Кл. Визначте опір провідника.
2. Яким має бути завдовжки ніхромовий дріт з площею поперечного перерізу 0,2 мм², щоб під час проходження в ньому струму 0,4 А напруга на його кінцях становила 4,4 В? Питомий опір ніхрому $1,1 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.
3. Під час проходження електричного струму в алюмінієвому дроті завдовжки 100 м напруга на ньому становить 1 В. Чому дорівнює маса алюмінієвого дроту, якщо сила струму в ньому 15 А? Густина алюмінію 2700 кг/м³.
4. Коло, що має опір 100 Ом, живиться від джерела постійної напруги. Амперметр із опором 1 Ом, приєднаний до кола, показав силу струму 5 А. Якою була сила струму в колі до приєднання амперметра?

5. Визначте загальний опір R ділянки кола (рис. 1), якщо $R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = 3 \text{ Ом}$, $R_3 = 20 \text{ Ом}$, $R_4 = 24 \text{ Ом}$. Чому дорівнює сила струму в кожному резисторі, якщо до ділянки кола прикладена напруга 36 В ?
6. До ділянки кола, яка містить два резистори, подано напругу 24 В . Коли резистори з'єднані послідовно, сила струму в ділянці дорівнює $0,6 \text{ А}$, а коли паралельно — $3,2 \text{ А}$. Визначте опір резисторів.
- ★ 7. Шкала деякого приладу з внутрішнім опором 50 Ом має 100 поділок. Ціна поділки шкали дорівнює 10 мкА . Як із цього приладу зробити: а) вольтметр із межею вимірювання напруги 200 В ? б) міліамперметр із межею вимірювання сили струму 800 мА ?
- ★ 8. Зі шматка дроту, що має опір 32 Ом , виготовлено кільце. До двох точок цього кільця приєднано проводи, які підводять напругу. У якому відношенні точки приєднання ділять довжину кола кільця, якщо загальний опір утвореного кола становить 6 Ом ?
- ★ 9. Коли в ділянці кола, схему якої зображено на рис. 2, замкнено ключ, сила струму, який проходить через амперметр, дорівнює $0,45 \text{ А}$. Якої сили струм тектиме через амперметр, коли ключ розімкнено? Опори резисторів 1 і 3 та 2 і 4 попарно однакові та дорівнюють R і $2R$ відповідно. Напруга на клеммах є постійною.

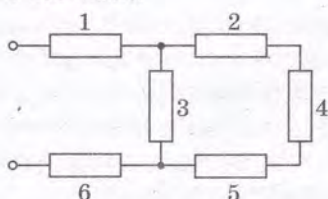


Рис. 1

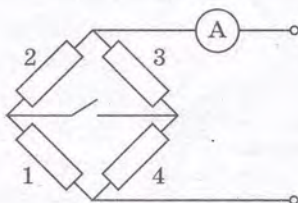


Рис. 2