

Заняття (практичне) № 10

Тема: Електричне коло, його елементи та характеристики. З'єднання провідників. Шунти і додаткові опори

За створення електричного поля «відповідають» джерела струму — пристрої, які перетворюють різні види енергії на електричну енергію. У джерелах струму виконується робота з розділення різнойменних електричних зарядів, у результаті чого один полюс джерела набуває позитивного заряду, а другий — негативного; у такий спосіб створюється електричне поле.

Найпоширенішими джерелами струму є електромеханічні генератори, в яких механічна енергія перетворюється на електричну. Останнім часом широко застосовують сонячні батареї — джерела струму, в яких на електричну енергію перетворюється енергія світла.

Що таке електричне коло

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

Креслення, на якому умовними позначеннями (див. таблицю) показано, з яких елементів складається електричне коло та в якій послідовності вони з'єднані між собою, називають електричною схемою.

Зверніть увагу:

- за напрямком струму в електричному колі прийнято напрямком, у якому рухалися б по цьому колу позитивно заряджені частинки, тобто напрямком від позитивного полюса джерела струму до негативного;
- в умовному позначенні гальванічного елемента довга риска позначає позитивний полюс джерела, а коротка — негативний.

Умовні позначення деяких елементів електричного кола

		З'єднання провідів			
		Перетин провідів (без з'єднання)			
Елемент електричного кола	Умовне позначення	Затискачі для під'єднання ділянки кола		Напівпровідниковий діод	
Гальванічний елемент або акумулятор		Ключ		Конденсатор	
Батарея гальванічних елементів або акумуляторів		Нагрівальний елемент		Котушка індуктивності; соленоїд	
Резистор		Запобіжник		Електромагніт	
Реостат		Лампа розжарювання		Гучномовець	
Штепсельне з'єднання		Світлодіод		Амперметр	
				Вольтметр	
				Гальванометр	

Вимірювання основних фізичних величин в електродинаміці.

- Прилад для вимірювання сили струму — амперметр. Амперметр вмикають у коло послідовно зі споживачем, в якому вимірюють силу струму (Рис. 1).
- Прилад для вимірювання напруги — вольтметр. Вольтметр приєднують до електричного кола паралельно ділянці, на якій вимірюють напругу (Рис. 2).

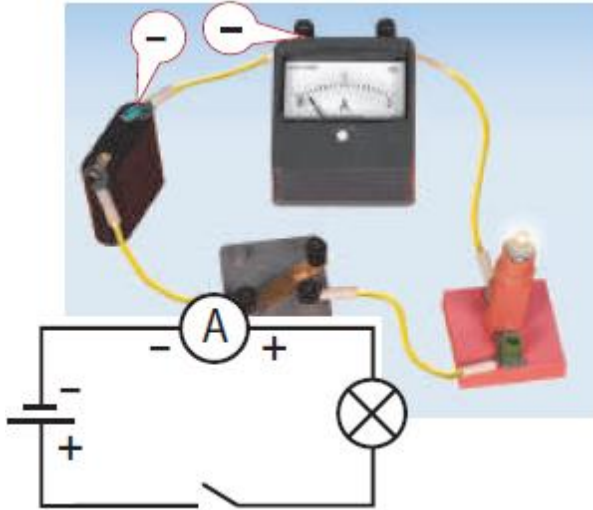


Рис. 1.

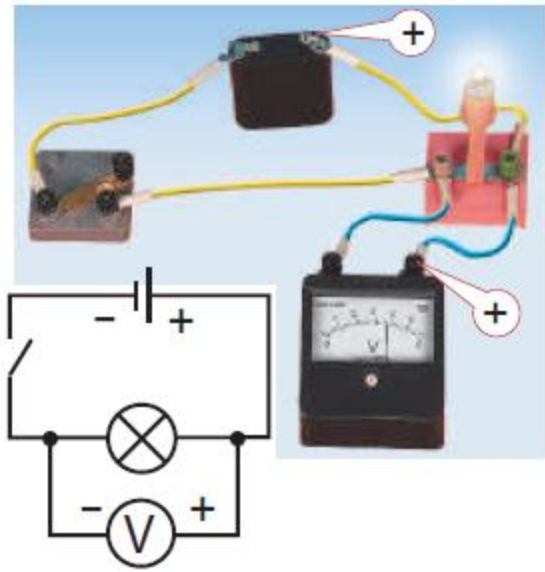
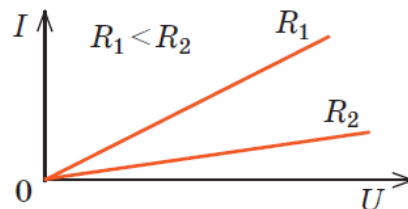


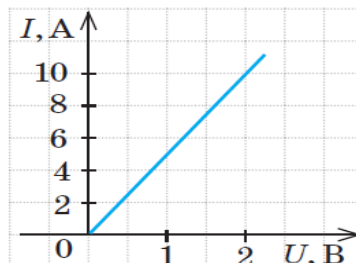
Рис. 2.

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) описує залежність між силою струму, який проходить через провідник і напругою на ньому.



Приклад розв'язування задач.

На рисунку подано вольт-амперну характеристику циліндричного провідника, який має довжину 250 м і площу поперечного перерізу $3,5 \text{ мм}^2$. Із якого металу виготовлений провідник?



Аналіз фізичної проблеми. Дізнатися, з якого металу виготовлений провідник, можна, якщо визначити його питомий опір і скористатися відповідною таблицею (див. Додаток 1).

Питомий опір металу знайдемо з формули для визначення опору циліндричного провідника. Опір обчислимо, скориставшись законом Ома та графіком залежності $I(U)$. Відповідно до графіка за напруги, наприклад, 2 В сила струму в провіднику становить 10 А.

Дано:
 $l = 25 \text{ м}$
 $S = 3,5 \text{ мм}^2 = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$
 $U = 2 \text{ В}$
 $I = 10 \text{ А}$

$\rho = ?$

Пошук математичної моделі, розв'язання. За законом Ома:
 $I = \frac{U}{R} \Rightarrow R = \frac{U}{I}$. Оскільки $R = \rho \frac{l}{S}$, маємо: $\frac{U}{I} = \frac{\rho l}{S}$. Отже, $\rho = \frac{US}{Il}$.

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[\rho] = \frac{\text{В} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} \cdot \text{м} = \text{Ом} \cdot \text{м}; \quad \rho = \frac{2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 25} = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ (Ом} \cdot \text{м)}.$$

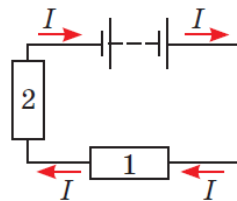
За таблицею (див. Додаток 1) визначаємо, що провідник виготовлений з алюмінію.

Відповідь: провідник виготовлений з алюмінію.

Послідовне з'єднання провідників.

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

Як приклад розглянемо ділянку кола, яка містить два послідовно з'єднані резистори, а потім узагальнимо отримані співвідношення для будь-якої кількості послідовно з'єднаних провідників.

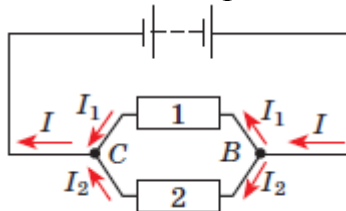


Сила струму I	Напруга U	Опір R
<p>Сила струму в послідовно з'єднаних провідниках однакова і дорівнює загальній силі струму в ділянці кола:</p> $I_1 = I_2 = I$ <p>Дійсно, коло з послідовним з'єднанням провідників не містить розгалужень, тому заряд, який проходить через поперечний переріз будь-якого провідника за деякий час t, буде однако-вим: $q_1 = q_2 = q$. Поділивши цю рівність на t, отримаємо: $\frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t} = \frac{q}{t}$. За означенням сили струму: $q/t = I$. Отже, маємо: $I_1 = I_2 = I$.</p>	<p>Загальна напруга на послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруг на цих провідниках:</p> $U = U_1 + U_2$ <p>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 цього заряду через обидва провідники має бути виконана робота: $A = A_1 + A_2$. Поділивши обидві частини рівності на заряд q і скориставшись означенням напруги ($U = A/q$), маємо: $U = U_1 + U_2$.</p>	<p>Загальний опір послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі опорів цих провідників:</p> $R = R_1 + R_2$ <p>Дійсно, для послідовного з'єднання справджується рівність $U = U_1 + U_2$, тобто відповідно до закону Ома: $IR = I_1 R_1 + I_2 R_2$. Оскільки $I_1 = I_2 = I$, отримуємо: $IR = IR_1 + IR_2$. Після скорочення на I маємо: $R = R_1 + R_2$.</p>
<p>Узагальнимо наведені співвідношення для n послідовно з'єднаних провідників:</p>		
$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

Паралельне з'єднання провідників.

З'єднання провідників називають паралельним, якщо для проходження струму є два чи більше шляхів — віток, а 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, яка містить два паралельно з'єднані резистори.



Сила струму I	Напруга U	Опір R
<p>У разі паралельного з'єднання провідників сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях (окремих вітках):</p> $I = I_1 + I_2$ <p>Дійсно, у вузловій точці струм розтікається по двох вітках. Заряд у вузловій точці не накопичується, тому заряд q, який надійшов у вузол за деякий час t, дорівнює сумі зарядів, які вийшли із цього вузла за той самий час: $q = q_1 + q_2$. Поділимо обидві частини рівності на t і візьмемо до уваги, що $q/t = I$. Маємо: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$, або $I = I_1 + I_2$.</p>	<p>Загальна напруга на ділянці кола та напруга на кожному із паралельно з'єднаних провідників є однаковими:</p> $U = U_1 = U_2$ <p>Якщо ділянка кола не містить джерела струму, то напруга на ділянці дорівнює різниці потенціалів на кінцях цієї ділянки. Тобто і для ділянки 1,2, і для ділянки 1, і для ділянки 2 маємо однаковий вираз для напруги: $U_{1,2} = \Phi_B - \Phi_C$; $U_1 = \Phi_B - \Phi_C$; $U_2 = \Phi_B - \Phi_C$. Отже: $U = U_1 = U_2$.</p>	<p>Величина, обернена до загального опору розгалуженої ділянки кола, дорівнює сумі величин, кожна з яких обернена до опору відповідної вітки цього розгалуження:</p> $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ <p>Оскільки $I = I_1 + I_2$, то за законом Ома: $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$. Для паралельного з'єднання: $U_1 = U_2 = U$, тому $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$. Після скорочення на U отримаємо: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.</p>
Узагальнимо наведені співвідношення для n паралельно з'єднаних провідників:		
$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

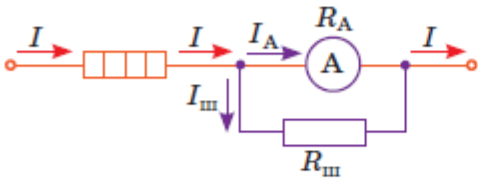
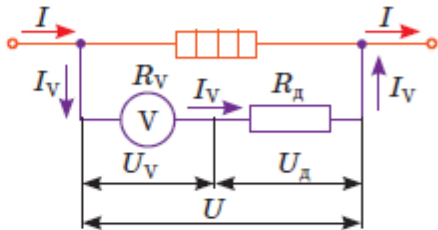
Зверніть увагу:

- загальний опір провідників, з'єднаних послідовно, більший за опір кожного із цих провідників;
- загальний опір послідовно з'єднаних провідників опором R_0 кожен дорівнює: $R = nR_0$, де n — кількість провідників.
- загальний опір паралельно з'єднаних провідників менший від опору кожного із цих провідників;
- загальний опір паралельно з'єднаних провідників опором R_0 кожний дорівнює:

$$R = \frac{R_0}{n}, \text{ де } n - \text{кількість провідників.}$$

Шунти і додаткові опори.

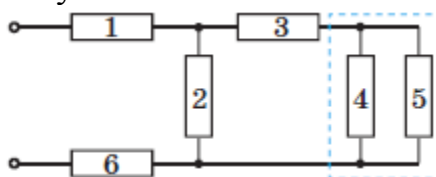
Як і будь-які прилади, амперметр і вольтметр мають верхню межу вимірювання — найбільше значення фізичної величини, яку можна виміряти даним приладом. Але якщо до амперметра чи вольтметра приєднати резистор певного опору, то межі вимірювання цих приладів можна збільшити.

Шунт	Додатковий опір
<p>Шунт — резистор, який паралельно приєднують до амперметра з метою збільшити верхню межу вимірювання амперметра.</p>  <p>У разі застосування шунта струм у колі розділяється на дві частини: одна частина йде на амперметр, друга — на шунт: $I = I_A + I_{\text{ш}}$. Дізнаємося, який шунт необхідно приєднати паралельно амперметру, щоб збільшити верхню межу вимірювання амперметра в n разів: $I = nI_A$. Оскільки $I = I_A + I_{\text{ш}}$, то $nI_A = I_A + I_{\text{ш}}$, або $I_{\text{ш}} = I_A(n - 1)$. Напруга на шунті й амперметрі однакова, тому відповідно до закону Ома маємо: $\frac{U}{R_{\text{ш}}} = \frac{U}{R_A}(n - 1) \Rightarrow \frac{1}{R_{\text{ш}}} = \frac{n - 1}{R_A}$. Отже, необхідний опір шунта обчислюють за формулою:</p> $R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{n - 1}$	<p>Додатковий опір — резистор, який послідовно приєднують до вольтметра з метою збільшити верхню межу вимірювання вольтметра.</p>  <p>У разі застосування додаткового опору напруга розподілиться між вольтметром і додатковим опором: $U = U_V + U_d$. Дізнаємося, який додатковий опір необхідно приєднати послідовно з вольтметром, щоб збільшити верхню межу вимірювання вольтметра в n разів: $U = nU_V$. Оскільки $U = U_V + U_d$, то $nU_V = U_V + U_d$, або $U_d = U_V(n - 1)$. Сила струму в резисторі і вольтметрі однакова, тому відповідно до закону Ома маємо: $I_V R_d = I_V R_V(n - 1)$. Отже, необхідний додатковий опір обчислюють за формулою:</p> $R_d = R_V(n - 1)$
<p><i>Зверніть увагу!</i> У скільки разів зростає верхня межа вимірювання приладу, у стільки разів зростає ціна поділки його шкали.</p>	

Приклад розв'язування задач.

Ділянка кола складається з однакових резисторів опором 8 Ом кожен. На ділянку подано напругу 31,2 В. Визначте загальний опір ділянки, напругу на резисторі 2, силу струму в резисторах 1 і 6.

Аналіз фізичної проблеми. Електричне коло містить змішане з'єднання провідників. Тому будемо покроково спрощувати подану схему і, користуючись законом Ома та співвідношеннями для послідовного і для паралельного з'єднань провідників, знаходити значення шуканих величин.



Дано:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_2 = \\ &= R_3 = R_4 = \\ &= R_5 = R_6 = \\ &= R_0 = 8 \text{ Ом} \\ U &= 31,2 \text{ В} \end{aligned}$$

R — ?

U_2 — ?

I_1 — ?

I_6 — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

Резистори 4 і 5 однакові та з'єднані паралельно, тому $R_{4,5} = \frac{R_0}{2} = \frac{8 \text{ Ом}}{2} = 4 \text{ Ом}$. Отже, у схемі 1 можемо замінити резистори 4 і 5 одним резистором, опір якого $R_{4,5} = 4 \text{ Ом}$. Тоді вихідна схема набуде вигляду схеми 2.

У схемі 2 послідовно з'єднані резистори 3 і 4,5 замінимо резистором 3,4,5 опором $R_{3,4,5} = R_3 + R_{4,5} = 8 + 4 = 12 \text{ (Ом)}$ і отримаємо схему 3.

У схемі 3 паралельно з'єднані резистори 2 і 3,4,5 замінимо

резистором опором $R_{2,3,4,5} = \frac{R_2 \cdot R_{3,4,5}}{R_2 + R_{3,4,5}} = \frac{8 \cdot 12}{8 + 12} = 4,8 \text{ (Ом)}$

і отримаємо схему 4, де резистори з'єднані послідовно.

Загальний опір ділянки:

$$R = R_1 + R_{2,3,4,5} + R_6 = 8 + 4,8 + 8 = 20,8 \text{ (Ом)}.$$

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

Проаналізувавши схеми 3 і 4, доходимо висновків:

$$I_1 = I_{2,3,4,5} = I_6 = I = 1,5 \text{ А}; \quad U_2 = U_{2,3,4,5} = I \cdot R_{2,3,4,5} = 1,5 \cdot 4,8 = 7,2 \text{ (В)}.$$

Відповідь: $R = 20,8 \text{ Ом}$; $U_2 = 7,2 \text{ В}$; $I_1 = 1,5 \text{ А}$; $I_6 = 1,5 \text{ А}$.

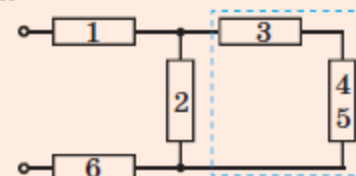


Схема 2

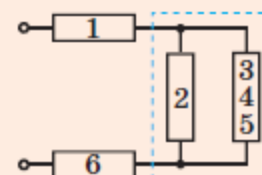


Схема 3

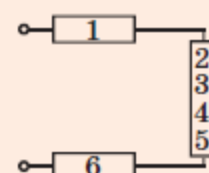


Схема 4