

Тема 20. Постійний 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 напрямлений рух вільних заряджених частинок.

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

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

Сила сталого струму I – це скалярна фізична величина, яка характеризує електричний струм і дорівнює відношенню заряду Δq , що проходить через поперечний переріз провідника, до інтервалу часу його проходження Δt :

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

Одиниця сили струму в СІ – ампер (А). Це одна з основних одиниць СІ. $1 \text{ А} = 1 \text{ Кл/с}$.

Напрямок струму визначається як напрямок руху позитивних зарядів (від «+» до «-» джерела). Якщо носіями струму є негативні заряди (наприклад, електрони в металі), то напрямок струму протилежний напрямку їх руху (див. рис. 1).

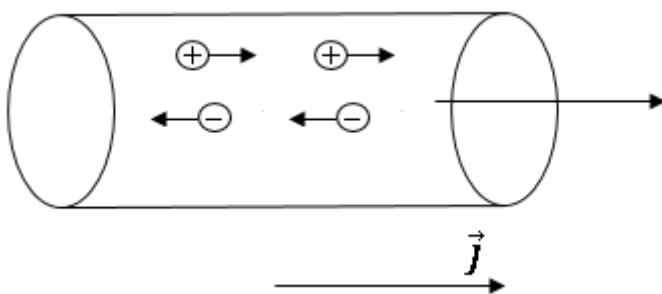


Рис. 1.

Густина струму \vec{j} – векторна фізична величина. Її модуль дорівнює відношенню сили струму I до площі поперечного перерізу провідника S :

$$j = \frac{I}{S}.$$

Вектор \vec{j} напрямлений уздовж напрямку струму (див. рис. 1). Одиницею густини струму є А/м^2 . Густина струму у провіднику прямо пропорційна середній швидкості \vec{v} носіїв струму в напрямленому русі (швидкості дрейфу):

$$\vec{j} = en\vec{v},$$

де e – елементарний заряд, n – концентрація носіїв струму (кількість носіїв струму на одиницю об'єму провідника).

Опір провідників

Електричний опір зумовлений тим, що електрони в процесі руху взаємодіють з позитивними іонами кристалічної решітки металу.

Одиницею опору в СІ є **Ом**.

Опір провідника залежить від його довжини l , площі поперечного перерізу S , що перпендикулярна напрямку струму, і властивостей матеріалу (питомого опору ρ або питомої електропровідності σ):

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma \cdot S}.$$

Коефіцієнт пропорційності ρ , що характеризує матеріал, з якого виготовлено провідник, називають **питомим опором речовини провідника**. Питомий опір провідника вимірюється в СІ в $\text{Ом} \cdot \text{м}$.

Питома електропровідність $\sigma = \frac{1}{\rho}$ вимірюється в СІ в $(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$.

При підвищенні температури частішають зіткнення електронів з іонами, тому *питомий опір, а отже, і опір провідника залежать від температури*. Для металевих провідників за невеликих інтервалів температур можна користуватись наближеними формулами:

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

де R_0 – опір при 0°C , t – температура в $^\circ\text{C}$, α – температурний коефіцієнт опору, який характеризує відносну зміну опору при нагріванні його на 1 К.

За дуже низьких температур, близьких до абсолютного нуля (0,5...8 К), опір деяких металів (алюміній, цинк, свинець та ін.) стрибкоподібно зменшується майже до нуля. Таке явище називають **надпровідністю**. Його відкрив у 1911 році Г. Камерлінг-Оннес. Природа явища надпровідності розкривається у квантовій теорії.

Закон Ома для ділянки кола

Електричним колом називають сукупність джерел струму, споживача електричної енергії, вимірювальних і регулювальних приладів, вимикачів та інших елементів, з'єднаних провідниками.

Найпростіше електричне коло складається з провідника, кінці якого під'єднано до джерела струму. В такому електричному колі струм буде проходити по зовнішній його частині – провіднику і внутрішній – джерелу струму. При цьому дроти, які з'єднують окремі елементи, вважаються ідеальними, тобто їхній опір дорівнює нулю. Провідник, що має опір R , називається **резистором**.

У 1826 р. німецький фізик Георг Ом встановив, що сила струму I в ділянці кола прямо пропорційна напрузі U на її кінцях і обернено пропорційна її опору R :

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

Це співвідношення називають **законом Ома для однорідної ділянки кола** (див. рис. 2).

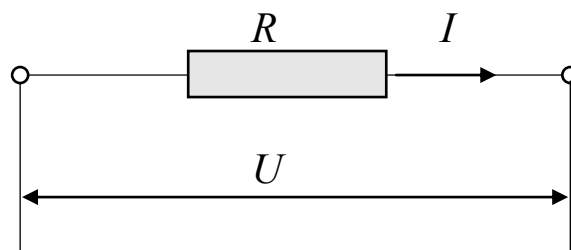


Рис. 2. Однорідна ділянка кола.

З'єднання провідників

Резистори в електричному колі можуть з'єднуватись між собою послідовно (рис. 3) і паралельно (рис. 4).

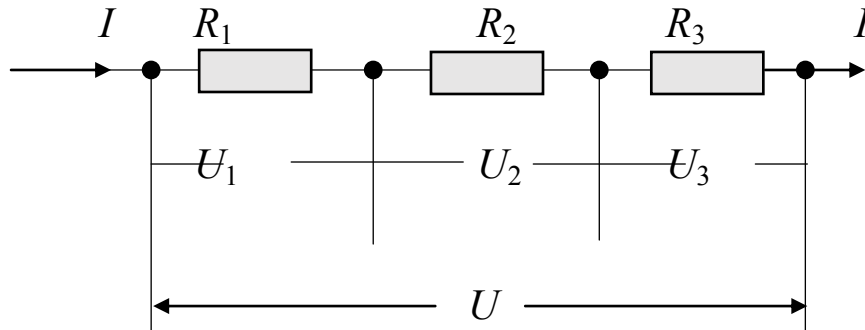


Рис. 3. Послідовне з'єднання резисторів.

При послідовному з'єднанні (рис. 3) через усі опори тече **однаковий струм** I :

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_N .$$

При послідовному з'єднанні провідників **загальний опір дорівнює сумі опорів окремих провідників**:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_N .$$

Отже, напруги при послідовному з'єднанні також додаються:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_N .$$

При паралельному з'єднанні (рис. 4) напруга U однакова на всіх опорах:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_N .$$

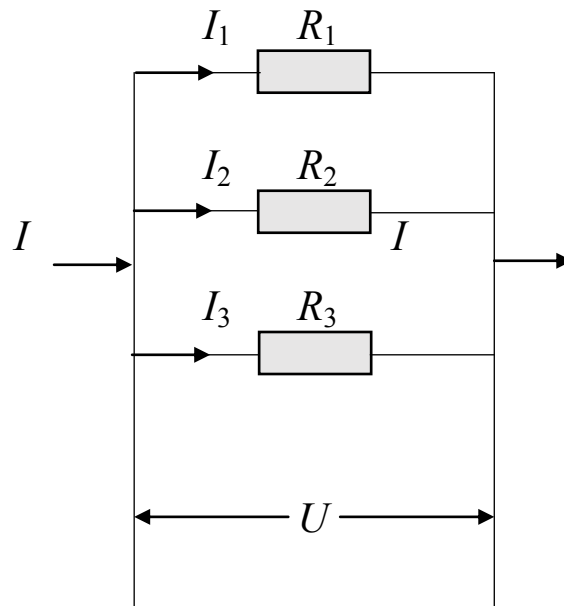


Рис. 4. Паралельне з'єднання резисторів.

Струм I при паралельному з'єднанні розгалужується:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_N .$$

Загальний опір ділянки при паралельному з'єднанні можна знайти з формули:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} .$$

Приклад 1. При якій силі струму за 4 с через поперечний переріз провідника проходить заряд 32 Кл?

Відповідь: 8 А.

Приклад 2 (3.70). У провіднику за 30 хв проходить електричний заряд 1800 Кл. Визначити силу струму і час, протягом якого проходить заряд 600 Кл.

$$I = 1800/1800 = 1 \text{ А.}$$

Відповідь: 1 А; 10 хв.

Приклад 3 (3.73). По провіднику перерізом 50 мм^2 проходить постійний струм. Середня швидкість дрейфу вільних електронів дорівнює $0,285 \text{ мм/с}$, а їхня концентрація складає $7,9 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}$. Знайти силу струму й густину струму в провіднику.

$$\vec{j} = en\vec{v}, \quad j = \frac{I}{S}$$

$$\vec{j} = en\vec{v} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 7,9 \cdot 10^{27} \cdot 0,285 \cdot 10^{-3} = 3,6 \cdot 10^5 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}.$$

$$I = jS = 3,6 \cdot 10^5 \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 18 \text{ А}.$$

Відповідь: 18 А; $0,36 \text{ А/мм}^2$.

Приклад 4. Згідно з законом Ома для ділянки кола, сила струму через відрізок металевого дроту, підключена до джерела живлення, прямо пропорційна:

- А) довжині відрізка дроту;
- Б) опору відрізка дроту;
- В) температурі дроту;
- Г) напрузі на клеммах джерела.

Відповідь: Г.

Приклад 5. Який опір має відрізок алюмінієвого дроту довжиною $1962,5 \text{ м}$, якщо радіус його перерізу становить $2,5 \text{ мм}$? Питомий опір алюмінію $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

$$R = \rho \frac{l}{S} = 2,8 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1962,5}{3,14 \cdot (0,0025)^2} = 2,8 \text{ Ом}.$$

Відповідь: 2,8 Ом.

Приклад 6. Якою має бути довжина константової дротини з площею перерізу $0,2 \text{ мм}^2$, щоб із неї можна було виготовити нагрівний елемент опором 500 Ом ? Питомий опір константану $\rho = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad l = \frac{RS}{\rho} = \frac{500 \cdot 2 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-7}} = 200 \text{ м.}$$

Відповідь: 200 м.

Приклад 7. Визначте (в омах) максимальний і мінімальний опори, які можна отримати з трьох резисторів опороми 2 Ом , 4 Ом , 6 Ом .

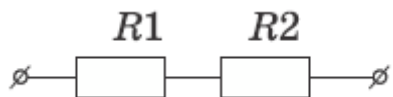
Всі три послідовно: $R_1 + R_2 + R_3 = 12 \text{ Ом}$.

Всі три паралельно: $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 = 1/2 + 1/4 + 1/6 = 11/12$,

$R = 12/11 \text{ Ом}$.

Відповідь: максимальний – 12 Ом , мінімальний – $1,1 \text{ Ом}$.

Приклад 8. Ділянка кола складається з двох резисторів $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 300 \text{ Ом}$, які ввімкнено послідовно (див. рисунок). Яка напруга діє на ділянці кола, якщо через перший резистор протікає струм 24 мА ?



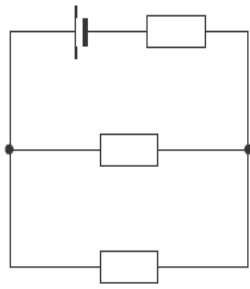
$$R = R_1 + R_2 = 100 + 300 = 400 \text{ Ом.}$$

$$I = I_1 = I_2 = 24 \text{ мА.}$$

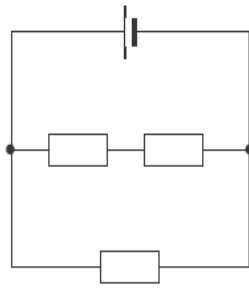
$$U = IR = 0,024 \cdot 400 = 9,6 \text{ В.}$$

Відповідь: 9,6 В.

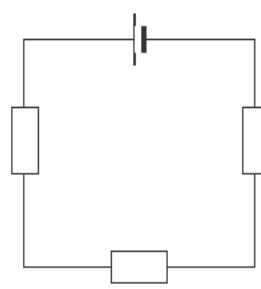
Приклад 9. До джерела струму підключили три однакові резистори. За якого з'єднання резисторів (див. рисунок) сила струму через джерело буде найбільшою?



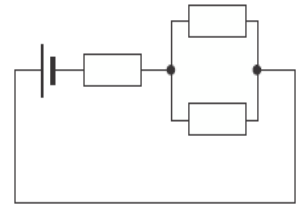
1



2



3



4

$$1 - R + R/2 = 1,5R;$$

2 – $1/(1/R + 1/(2R)) = 1/(3/2R) = 2R/3$ – мінімальний опір, а отже максимальна сила струму;

$$3 - R + R + R = 3R;$$

$$4 - 1,5R.$$

Відповідь: 2.

Приклад 10. Два резистори спочатку з'єднали послідовно, а потім – паралельно. Опори з'єднань при цьому становили 120 Ом і 22,5 Ом відповідно. Визначте опір більшого резистора.

$$R_1 + R_2 = 120,$$

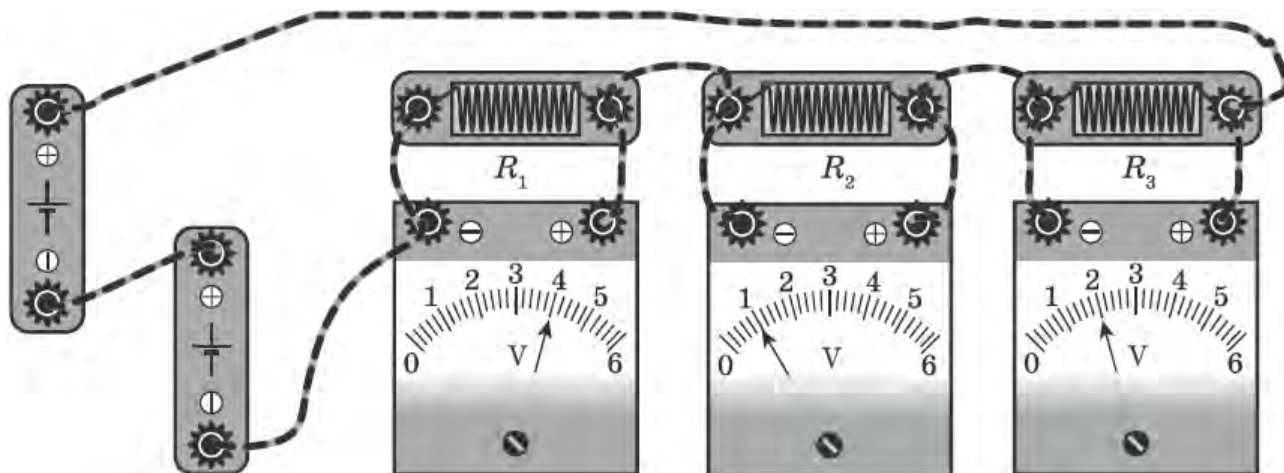
$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{22,5},$$

$$\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} = \frac{1}{22,5}, \quad \frac{R_1 R_2}{120} = 22,5, \quad R_1 R_2 = 2700,$$

$$R_1(120 - R_1) = 2700, \quad \text{корені } 90 \text{ і } 30.$$

Відповідь: 90 Ом.

Приклад 11. Під час проведення досліду учень склав електричне коло (див. рисунок). Визначте за даними досліду опір резистора R_1 , якщо опір резистора R_2 дорівнює 10 Ом.



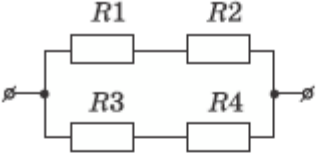
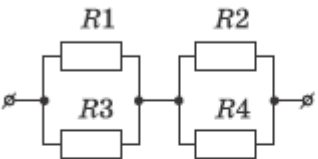
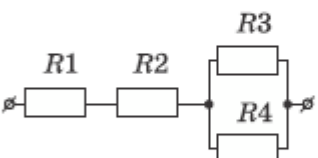
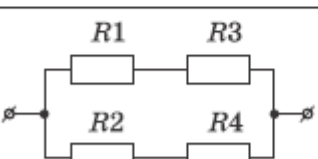
$$R_2 = 10 \text{ Ом}, U_1 = 4 \text{ В}, U_2 = 1 \text{ В}, U_3 = 2 \text{ В}.$$

$$I_2 = U_2/R_2 = 1/10 = 0,1 \text{ А}.$$

$$I_1 = I_2 = 0,1 \text{ А}. R_1 = U_1/I_1 = 4/0,1 = 40 \text{ Ом}.$$

Відповідь: 40 Ом.

Приклад 12. Установіть відповідність між прикладами з'єднань резисторів та формулами, які дозволяють обчислити загальний опір кожного з'єднання.

<p>1</p> 	<p>А $R = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}$</p>
<p>2</p> 	<p>Б $R = R_1 + \frac{R_2 R_3 R_4}{R_2 R_3 + R_3 R_4 + R_2 R_4}$</p>
<p>3</p> 	<p>В $R = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$</p>
<p>4</p> 	<p>Г $R = \frac{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$</p>
	<p>Д $R = R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$</p>

Відповідь: 1 – В, 2 – А, 3 – Д, 4 – Г.

Домашнє завдання:

основне: 3.71, 3.76, 3.81, 3.82, 3.84, 3.85, 3.88, 3.89.

додаткове: 3.72, 3.91, 3.92.