

Тема 18. Постійний електричний струм. Опір провідників.

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).

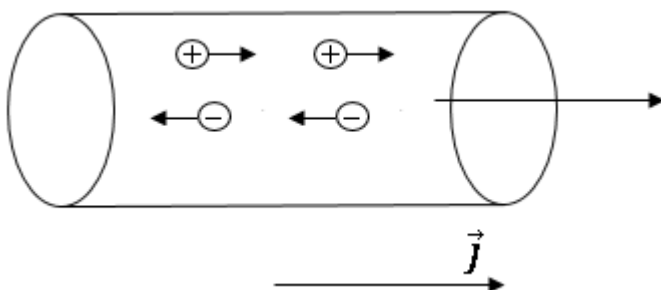


Рис. 1.

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 співудари 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 ($0,5 \dots 8 \text{ К}$), 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.

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

$$I = 32/4 = 8 \text{ А.}$$

Відповідь: 8 А.

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

$$t_1 = 30 \text{ хвилин} = 1800 \text{ с, } q_1 = 1800 \text{ Кл, } q_2 = 600 \text{ Кл.}$$

$$I - ? \quad t_2 - ?$$

$$I = q_1/t_1 = 1800/1800 = 1 \text{ А.}$$

$$t_2 = q_2/I = 600/1 = 600 \text{ с} = 10 \text{ хвилин.}$$

Відповідь: 1 А; 10 хв.

Приклад 3. 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.

$$S = 50 \text{ мм}^2 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2, \quad v = 2,85 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad n = 7,9 \cdot 10^{27} \text{ м}^{-3}.$$

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

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

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

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

Приклад 4. Який опір має відрізок алюмінієвого дроту довжиною $1962,5 \text{ м}$, якщо радіус його перерізу становить $2,5 \text{ мм}$? Питомий опір алюмінію $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

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

Відповідь: 2,8 Ом.

Приклад 5. 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 $\rho = 5 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

$$S = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2, R = 500 \text{ Ом}.$$

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

Відповідь: 200 м.

Приклад 6 (№ 557). Конденсатор ємності 100 мкФ , який підключено до джерела, заряджається до напруги 50 В за час $0,5 \text{ с}$. Чому дорівнює середня сила струму через джерело за цей час?

$$c = q/U, \quad q = cU = 10^{-4} \cdot 50 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Кл} - \text{кінцевий заряд}.$$

$$\text{Початковий заряд } q_0 = 0. \text{ Середня сила струму } I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 0,01 \text{ А}.$$

Відповідь: 0,01 А.

Приклад 7 (№ 563).

$$J = 16 \text{ А/мм}^2 = 16 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2, \quad n = 5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}.$$

$$\vec{j} = en\vec{v}, \quad v = \frac{J}{en} = \frac{16 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{28}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} = 2 \text{ мм/с}.$$

Відповідь: 2 мм/с.

Домашнє завдання: № 554, 559, 560, 561, 562, 564, 572, 574, 575, 576, 588.