

§ 12. ПИТОМИЙ ОПІР РЕЧОВИНИ.

РОЗРАХУНОК ОПОРУ ПРОВІДНИКА. РЕОСТАТИ



Ми так звикли до різноманітних технічних пристроїв, що часто не замислюємося, як саме вони працюють. Наприклад, кожен із вас збільшував гучність звуку радіо чи телевізора або спостерігав за тим, як поступово гасне світло в кінозалі перед початком сеансу. Але чи ставили ви перед собою питання, як це вдається? Спробуємо розібратися. А ще ви дізнаєтеся, чому в разі виготовлення проводів для ліній електропередачі або електропроводки для помешкань зазвичай використовують алюміній і мідь, а не значно дешевшу сталь.

1 З'ясуємо, від чого залежить опір провідника

Коли по металевому провіднику йде струм, то вільні електрони, рухаючись напрямлено, зіштовхуються з йонами, розташованими у вузлах кристалічної ґратки металу. У результаті цих зіткнень середня швидкість напрямленого руху заряджених частинок зменшується: провідник чинить опір електричному струмові.

Відомо, що *опір провідника залежить від його довжини, площі поперечного перерізу, а також від речовини, з якої він виготовлений*. Переконаємося в цьому за допомогою дослідів, змінюючи кожного разу тільки один із зазначених параметрів. Опір провідника будемо визначати, скориставшись законом Ома. Тобто, вимірявши амперметром силу струму I в провіднику, а вольтметром — напругу U , легко обчислимо опір провідника: $R = \frac{U}{I}$.

Спочатку з'ясуємо, як опір провідника залежить від його довжини. Для цього складемо електричне коло з джерела струму, резистора і тонкого довгого провідника з ніхром, натягнутого на дерев'яну лінійку з двома клемми. Довжину провідника змінюватимемо за допомогою повзунка — спеціального затискача, який можна легко пересувати вздовж провідника. Для вимірювання сили струму та напруги до кола приєднаємо амперметр і вольтметр (рис. 12.1).

Провівши відповідні дослідження, переконаємося, що в разі зменшення довжини провідника його опір зменшується, і навпаки, в разі збільшення довжини провідника його опір зростає. Причому в скільки разів збільшується (зменшується) довжина провідника, у стільки ж разів збільшується (зменшується) його опір. Численними дослідом доведено, що *опір провідника прямо пропорційний його довжині*.

Щоб з'ясувати, як залежить опір провідника від площі його поперечного перерізу, візьмемо кілька закріплених на панелі ніхромових

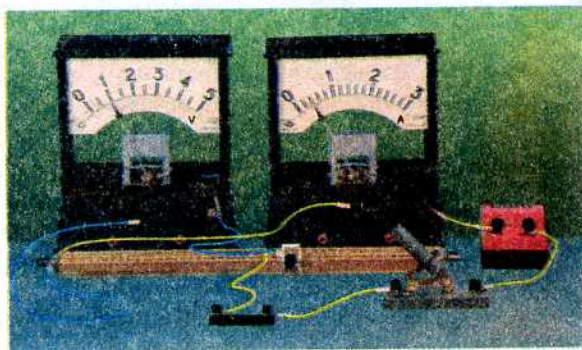


Рис. 12.1. Дослід, який доводить, що опір провідника прямо пропорційний його довжині

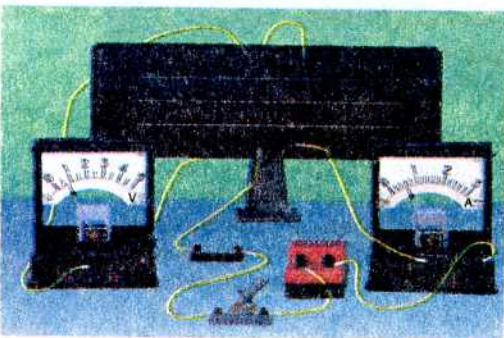


Рис. 12.2. Дослід, який доводить, що опір провідника обернено пропорційний площі його поперечного перерізу

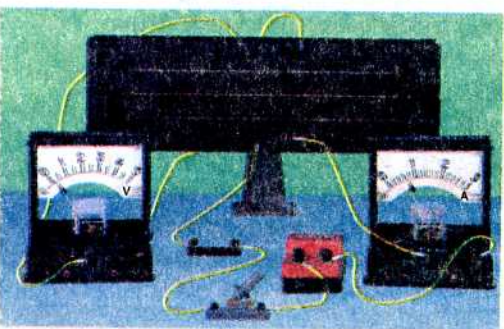


Рис. 12.3. Дослід, який доводить, що опір провідника залежить від речовини, з якої виготовлений провідник

провідників, однакових за довжиною, але різних за площею поперечного перерізу (рис. 12.2). Дослід показує, що збільшення вдвічі площі поперечного перерізу провідника спричиняє дворазове зменшення його опору, і навпаки, зменшення вдвічі площі поперечного перерізу приводить до дворазового збільшення опору провідника. Отже, *опір провідника обернено пропорційний площі його поперечного перерізу*.

Якщо провести описані вище досліді для провідників, однакових за довжиною і площею поперечного перерізу, але виготовлених із різних речовин (наприклад, міді, алюмінію, ніхрому) (рис. 12.3), переконаємося, що *опір провідника залежить від речовини, з якої цей провідник виготовлений*.

Підсумовуючи результати дослідів, можна записати формулу:

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

де R — опір провідника, l — його довжина, S — площа його поперечного перерізу; ρ — коефіцієнт пропорційності, що залежить від речовини, з якої виготовлений провідник. Цей коефіцієнт називають *питомим опором речовини*.

2

З'ясуємо, що таке питомий опір речовини

Щоб дати визначення питомому опору речовини, звернемося до формули для обчислення опору: $R = \rho \frac{l}{S}$. З неї випливає, що $\rho = \frac{RS}{l}$. Тобто якщо $l = 1\text{ м}$, $S = 1\text{ м}^2$, то $\{\rho\} = \{R\}$.

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

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

На практиці здебільшого мають справу з провідниками, площі поперечних перерізів яких досить малі. Тому часто як одиницю питомого опору речовини використовують $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Оскільки $1\text{ мм}^2 = 1 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2$, то $1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = 1 \cdot 10^{-6}\text{ Ом} \cdot \text{м}$.

3 Порівнюємо питомі опори деяких речовин

Опори провідників, які мають однакові геометричні розміри, але виготовлені з різних речовин, суттєво відрізняються. А це означає, що й питомі опори речовин є різними. Досліди показують, що значення питомого опору зумовлене хімічною природою речовини та істотно залежить від її температури.

Питомі електричні опори деяких речовин (за температури 20°C)

Речовина	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Речовина	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Срібло	0,016	Ніхром (сплав)	1,1
Мідь	0,017	Фехраль (сплав)	1,3
Золото	0,024	Графіт	13
Алюміній	0,028	Вода морська	$3 \cdot 10^5$
Вольфрам	0,055	Вода дистильована	$10^9 - 10^{10}$
Латунь	0,07–0,08	Деревина суха	$10^{15} - 10^{16}$
Залізо	0,10	Пінопласт	10^{17}
Платина	0,10	Гума	$10^{17} - 10^{18}$
Свинець	0,21	Скло	$10^{15} - 10^{19}$
Нікелін (сплав)	0,42	Порцеляна	10^{19}
Манганін (сплав)	0,43	Ебоніт	$10^{18} - 10^{20}$
Константан (сплав)	0,50	Слюда	$10^{17} - 10^{21}$
Ртуть	0,96	Повітря	$10^{21} - 10^{24}$

З таблиці бачимо, що з-поміж усіх металів найменший питомий опір мають срібло, мідь, золото й алюміній. Отже, у разі виготовлення електропроводки для побутових і виробничих приміщень або проводів для ліній електропередачі доцільно використовувати мідні та алюмінієві проводи.

Питомий опір гуми, порцеляни, ебоніту дуже великий. Отже, ці речовини практично не проводять електричного струму, і тому в електротехніці їх використовують як ізолятори.

4 Знайомимося з реостатами

На тому факті, що опір провідника прямо пропорційний його довжині, базується принцип дії *реостата* (від грец. *rheos* — течія, потік; *statos* — який стоїть).

Реостат — це пристрій зі змінним опором, призначений для регулювання сили струму в ділянці електричного кола.

Реостат, включений в електричне коло пристрою, дозволяє змінювати силу струму, а отже, налаштовувати гучність звуку радіоприймача, регулювати яскравість світіння лампи тощо.

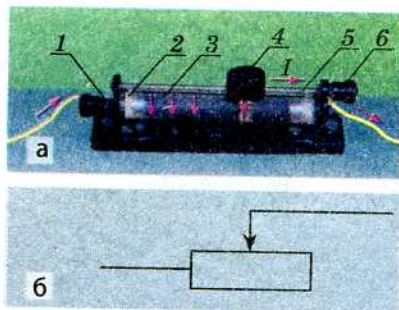


Рис. 12.4. Двоконтактний повзунковий реостат: *а* — зовнішній вигляд; 1, 6 — клеми; 2 — керамічний циліндр; 3 — металевий дріт (обмотка); 4 — повзунок; 5 — металевий стрижень; 6 — умовне позначення на схемах

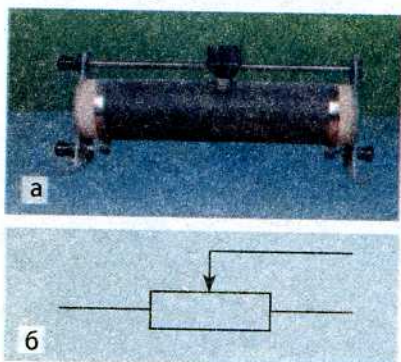


Рис. 12.5. Триконтактний повзунковий реостат: *а* — зовнішній вигляд; 6 — умовне позначення на схемах

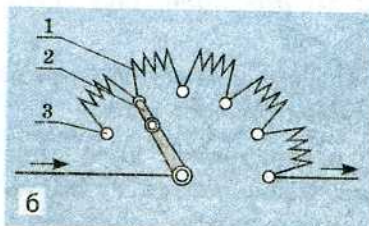


Рис. 12.6. Важільний (секційний) реостат: *а* — зовнішній вигляд; *б* — схема: 1 — металевий дріт; 2 — важіль; 3 — контакт; стрілками показано напрямки проходження струму

З найпростішим реостатом ви вже зустрічалися, коли з'ясовували залежність опору провідника від його довжини (див. рис. 12.1). Звичайно, що реостати, які застосовують на практиці, більш зручні. Розглянемо, наприклад, *двоконтактний повзунковий реостат* (рис. 12.4). Металевий дріт (3) намотують на керамічний циліндр (2) і таким чином зменшують габарити реостата. Над обмоткою закріплюють металевий стрижень (5), по якому переміщують міцно притиснутий до обмотки ковзний контакт — повзунок (4).

Реостат має дві клеми (два контакти), одна з яких (6) з'єднана зі стрижнем, а друга (1) — з обмоткою. Коли реостат приєднаний до кола, електричний струм проходить від однієї клеми до другої — по витках обмотки до повзунка, а потім по стрижню.

Пересуваючи повзунок уздовж обмотки, плавно збільшують або зменшують довжину ділянки, в якій проходить струм. У результаті опір реостата так само плавно збільшується або зменшується, а це, згідно із законом Ома, приводить до плавної зміни сили струму.

Повзунковий реостат може мати три клеми. Такий реостат називають *триконтактним повзунковим реостатом*. Його можна використовувати для змінювання не тільки сили струму в колі, але й напруги (рис. 12.5). Під час роботи в режимі *дільника напруги* реостат вмикають за допомогою всіх трьох клем. Із принципом дії дільника напруги ви познайомитеся в наступному параграфі.

Крім повзункових реостатів на практиці використовують й інші типи реостатів, наприклад *важільні (секційні) реостати* (рис. 12.6). На відміну від повзункових, опір

важільних реостатів змінюється стрибками (поміркуйте чому), відповідно стрибками змінюється й сила струму. Важільні реостати застосовують для вмикання й вимикання електродвигунів.

Кожний реостат розрахований на певну напругу. Максимальний опір реостата й найбільша можлива напруга для нього зазначені в спеціальній табличці, розміщеній на корпусі пристрою.

Обмотки реостатів зазвичай виготовляють із металів (або їх сплавів) з високим питомим опором (константан, манганін, ніхром, фехраль).

5 Учимся розв'язувати задачі

Задача 1. Обчисліть силу струму в мідному провіднику, який має довжину 10 м і площу поперечного перерізу 0,5 мм², якщо напруга на кінцях провідника становить 34 мВ.

Дано:

$$l = 10 \text{ м}$$

$$S = 0,5 \text{ мм}^2$$

$$U = 0,034 \text{ В}$$

$$\rho = 0,017 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$I = ?$

Аналіз фізичної проблеми

Силу струму можна обчислити за законом Ома. Однак, щоб застосувати цю формулу, необхідно обчислити опір провідника. Скористаємося формулою для розрахунку опору провідника; питомий опір міді знайдемо у відповідній таблиці.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Відповідно до закону Ома $I = \frac{U}{R}$ (1).

Опір провідника визначається за формулою

$R = \rho \frac{l}{S}$ (2). Підставимо формулу (2) у формулу (1):

$$I = \frac{U}{\rho \cdot \frac{l}{S}} = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot l}$$

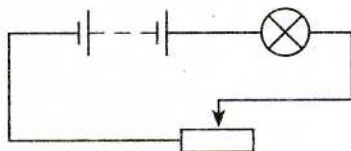
Визначимо значення шуканої величини:

$$[I] = \frac{\text{В} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{мм}^2}}{\frac{\text{Ом} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \text{м}}{\text{м}}} = \frac{\text{В} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{мм}^2}}{\text{Ом} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{мм}^2}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{А};$$

$$\{I\} = \frac{0,034 \cdot 0,5}{0,017 \cdot 10} = 0,1; \quad I = 0,1 \text{ А.}$$

Відповідь: сила струму в провіднику становить 0,1 А.

Задача 2. На рисунку зображено схему електричного кола, яке складається з джерела струму, електричної лампи та реостата. Як зміниться розжарення волоска лампи, якщо повзунок реостата пересунути праворуч?



Аналіз фізичної проблеми, розв'язання

Якщо пересунути повзунок реостата праворуч, довжина обмотки, в якій тече струм, збільшиться. Отже, опір реостата теж збільшиться, відповідно збільшиться й загальний опір ділянки кола. Оскільки загальна напруга на ділянці кола не змінилася, то збільшення опору приведе до зменшення сили струму (згідно із законом Ома). Таким чином, розжарення волоска лампи зменшиться (лампа світитиме менш яскраво).

Відповідь: розжарення волоска лампи зменшиться.

! Підбиваємо підсумки

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.

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

Для регулювання сили струму в колі застосовують реостати — пристрої, опір яких можна змінювати.

На практиці застосовують повзункові, важільні (секційні) та інші реостати.

? Контрольні запитання

1. Доведіть, що провідник чинить опір електричному струму.
2. Як довести, що опір провідника прямо пропорційний його довжині?
3. Чи залежить опір провідника від площі його поперечного перерізу? Якщо залежить, то як?
4. За якою формулою обчислюють опір провідника?
5. Що таке питомий опір речовини?
6. Якими властивостями речовини визначається можливість її використання для виготовлення електропроводки?
7. Що таке реостат?
8. Які види реостатів ви знаєте? Чим вони відрізняються один від одного?
9. Опишіть будову та принцип дії повзункового реостата.
10. Як позначають повзунковий реостат на схемі?

**Вправа № 12**

1. На рис. 1 зображено провідники, що мають однакову площу поперечного перерізу, але виготовлені з різних речовин (заліза, міді, свинцю). Визначте, з якої речовини виготовлений кожний провідник, якщо відомо, що їхні опори однакові.
2. Скориставшись рис. 2, опишіть принцип дії штепсельного реостата.
3. Обчисліть опір мідного дроту завдовжки 1 км, якщо площа його поперечного перерізу становить 0,68 см².

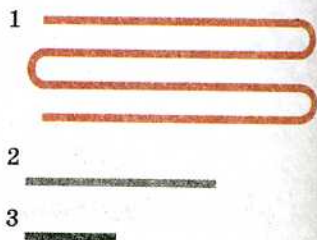


Рис. 1

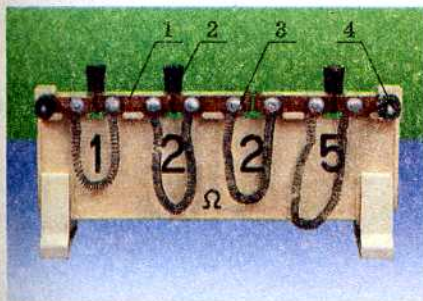


Рис. 2. Штепсельний реостат (магазин опорів): 1 — мідна пластина; 2 — штепсель; 3 — спіраль; 4 — затискач

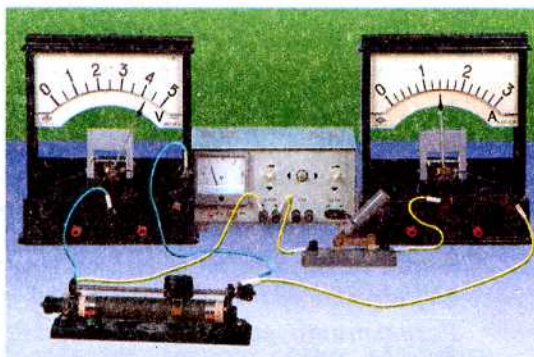


Рис. 3

4. Ізольований дріт, що має опір 25 Ом, розрізали навпіл і половини звили. Як і в скільки разів змінився опір дроту? Поясніть свою відповідь.
5. Накресліть схему електричного кола, зображеного на рис. 3. За показами електровимірювальних приладів обчисліть опір увімкненої частини реостата. Як зміняться отримане вами значення та покази приладів, якщо повзунок реостата пересунути праворуч?
6. Яким має бути за довжиною ніхромовий дріт з площею поперечного перерізу $0,2 \text{ мм}^2$, щоб під час проходження в ньому струму в $0,4 \text{ А}$ напруга на його кінцях становила $4,4 \text{ В}$?
7. При струмі 15 А напруга на мідному проводі завдовжки 10 м становить $0,85 \text{ В}$. Визначте діаметр проводу.
- 8*. 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 $2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



Експериментальне завдання

Виготовте зі сталевого дроту резистор, що має опір $0,2 \text{ Ом}$. Опишіть свої дії. Не забудьте зазначити діаметр і довжину використовуваного дроту.