



§ 2. ПОСЛІДОВНЕ І ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ. ШУНТИ І ДОДАТКОВІ ОПОРИ



Згадайте: якщо в ялинковій гірлянді псується одна з ламп, то всі лампи, розташовані у цій вітці, перестають світитися, при цьому інші вітки працюють. Чому так? А чому лампи в гірлянді, які розраховані на напругу 10 В, не виходять з ладу незважаючи на те, що напруга в мережі 220 В?

Сподіваємося, що ви пам'ятаєте курс фізики 8-го класу і розумієте, що річ у з'єднанні ламп. Згадаємо види з'єднання провідників та основні властивості цих з'єднань.

1 Послідовне з'єднання провідників

З'єднання провідників називають **послідовним**, якщо воно не містить розгалужень, тобто провідники розташовані послідовно один за одним (рис. 2.1). 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.

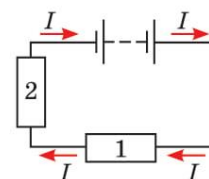


Рис. 2.1. Схема електричного кола, яке містить послідовно з'єднані провідники

Сила струму I	Напруга U	Опір R
Сила струму в послідовно з'єднаних провідниках однакова і дорівнює загальній силі струму в ділянці кола: $I_1 = I_2 = I$ 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 однаковим: $q_1 = q_2 = q$. 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: $I_1 = I_2 = I$.	Загальна напруга на послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруг на цих провідниках: $U = U_1 + U_2$ 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 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: $U = U_1 + U_2$.	Загальний опір послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі опорів цих провідників: $R = R_1 + R_2$ 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: $R = R_1 + R_2$.
Узагальнимо наведені співвідношення для n послідовно з'єднаних провідників:		
$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

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.

? Поясніть, чому лампи в ялинковій гірлянді, які розраховані на напругу 10 В, не виходять із ладу незважаючи на те, що напруга в мережі 220 В.

2 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 (рис. 2.2). 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.

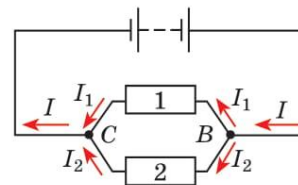


Рис. 2.2. Схема електричного кола, яке містить паралельно з'єднані провідники. В і С — вузлові точки (вузли)

Сила струму I	Напруга U	Опір R
У разі паралельного з'єднання провідників сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях (окремих вітках): $I = I_1 + I_2$ 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 $I = I_1 + I_2$.	Загальна напруга на ділянці кола та напруга на кожному із паралельно з'єднаних провідників є однаковими: $U = U_1 = U_2$ 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: $U_{1,2} = \varphi_B - \varphi_C$; $U_1 = \varphi_B - \varphi_C$; $U_2 = \varphi_B - \varphi_C$. Отже: $U = U_1 = U_2$.	Величина, обернена до загального опору розгалуженої ділянки кола, дорівнює сумі величин, кожна з яких обернена до опору відповідної вітки цього розгалуження: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ 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: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.
Узагальнимо наведені співвідношення для n паралельно з'єднаних провідників:		
$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

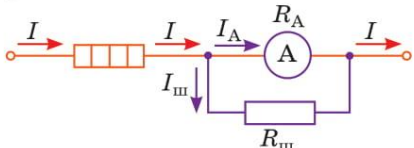
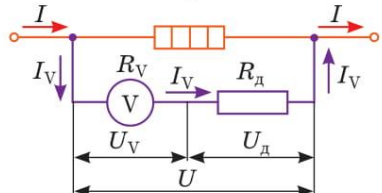
Зверніть увагу:

- загальний опір паралельно з'єднаних провідників менший від опору кожного із цих провідників;
- загальний опір паралельно з'єднаних провідників опором R_0 кожний дорівнює: $R = \frac{R_0}{n}$, де n — кількість провідників;
- опір двох паралельно з'єднаних провідників дорівнює: $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$.

? Доведіть останні два твердження, скориставшись співвідношеннями для паралельно з'єднаних провідників.

3 Для чого потрібні 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
Шунт — резистор, який паралельно приєднують до амперметра з метою збільшити верхню межу вимірювання амперметра.  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: $R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{n - 1}$	Додатковий опір — резистор, який послідовно приєднують до вольтметра з метою збільшити верхню межу вимірювання вольтметра.  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: $R_d = R_V(n - 1)$

Зверніть увагу! У скільки разів зростає верхня межа вимірювання приладу, у стільки разів зростає ціна поділки його шкали.

4 Учимся розв'язувати задачі

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

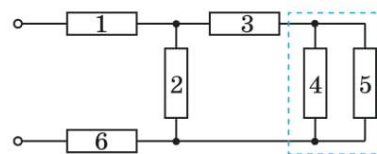


Схема 1

Аналіз фізичної проблеми. Електричне коло містить змішане з'єднання провідників. Тому будемо покроково спрощувати подану схему 1 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.

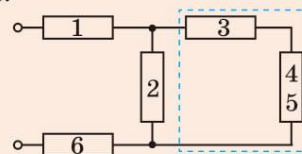


Схема 2

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.

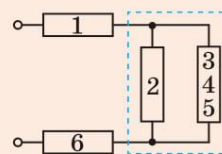


Схема 3

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.

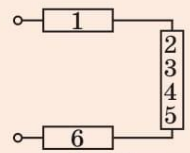


Схема 4

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



Підбиваємо підсумки

- Якщо ділянка кола містить n послідовно з'єднаних провідників:
 - сила струму в усіх провідниках є однаковою і дорівнює загальній силі струму в ділянці: $I_1 = I_2 = \dots = I_n = I$;
 - напруга на ділянці дорівнює сумі напруг на окремих провідниках: $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$;
 - опір ділянки дорівнює сумі опорів провідників: $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$.
- Якщо ділянка кола містить n паралельно з'єднаних провідників:
 - напруга на всіх провідниках є однаковою і дорівнює напрузі на ділянці: $U_1 = U_2 = \dots = U_n = U$;

— загальна сила струму в ділянці дорівнює сумі сил струмів в окремих провідниках: $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$;

— опір ділянки можна визначити з формули: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$.

• Для збільшення верхньої межі вимірювання до амперметра паралельно приєднують шунт, а до вольтметра послідовно приєднують додатковий опір.



Контрольні запитання

1. Яке з'єднання провідників називають послідовним? Які співвідношення справджуються для цього з'єднання? Доведіть їх. 2. Яке з'єднання провідників називають паралельним? Які співвідношення справджуються для цього з'єднання? Доведіть їх. 3. Як можна збільшити верхню межу вимірювання вольтметра? 4. У якому випадку і як шунтують амперметри?



Вправа № 2

- Розгляньте рис. 1 і визначте: які прилади зображено; для вимірювання якої фізичної величини призначений кожен прилад; якою є верхня межа вимірювання кожного приладу.
- Як, на вашу думку, з'єднані лампи в одній вітці ялинкової гірлянди? з'єднані різні вітки гірлянди? Для чого в гірляндах застосовують кілька віток ламп?
- Чому споживачі електричного струму, якими ми користуємося в побуті, зазвичай розраховані на однакову напругу (220 В)?
- Два резистори опорами 2 і 3 Ом приєднали до джерела струму, напруга на виході якого 12 В. Визначте силу струму в кожному резисторі та загальну силу струму в колі, якщо резистори з'єднані: а) послідовно; б) паралельно.
- Визначте загальний опір R ділянки кола (рис. 2), якщо $R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = 3$ Ом, $R_3 = 20$ Ом, $R_4 = 24$ Ом. Чому дорівнює сила струму в кожному резисторі, якщо до ділянки кола прикладена напруга 36 В?
- До ділянки кола, яка містить два резистори, подано напругу 24 В. Коли резистори з'єднані послідовно, сила струму в ділянці дорівнює 0,6 А, а коли паралельно — 3,2 А. Визначте опір кожного резистора.
- Міліамперметр зі шкалою, розрахованою на 20 мА, треба використати для вимірювання сили струму 1 А. Обчисліть опір шунта, якщо опір міліамперметра 4,9 Ом.
- Коли в ділянці кола (рис. 3) ключ замкнено, сила струму, який проходить через амперметр, дорівнює 0,45 А. Якої сили струм пройдётиме через амперметр, якщо ключ розімкнати? Опори резисторів 1 і 3 та 2 і 4 попарно однакові й дорівнюють R і $2R$ відповідно. Напруга на клеммах є незмінною. Амперметр вважайте ідеальним (тобто опір амперметра $R_A = 0$).



Рис. 1

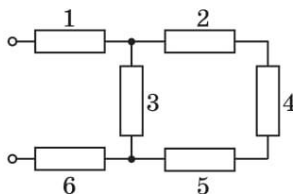


Рис. 2

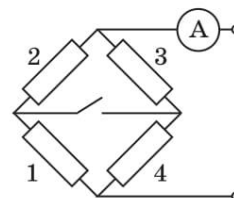


Рис. 3