



§ 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.

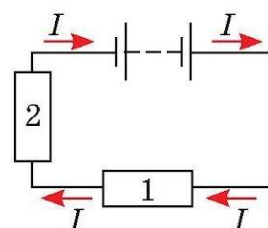


Рис. 2.1. Схема електричного кола, яке містить послідовно з'єднані провідники

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 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: $I_1 = I_2 = I$.	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.

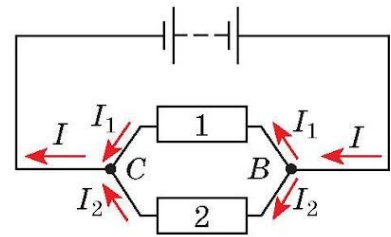


Рис. 2.2. Схема електричного кола, яке містить паралельно з'єднані провідники. В і С — вузлові точки (вузли)

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;

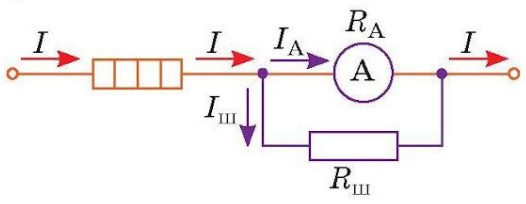
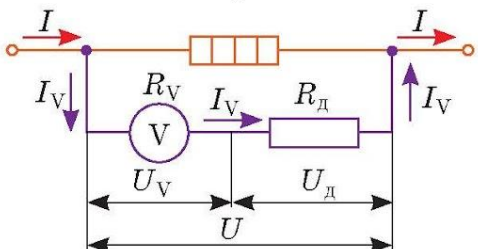
- опір двох паралельно з'єднаних провідників дорівнює: $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$.



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.

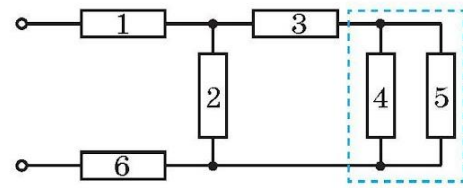


Схема 1

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.

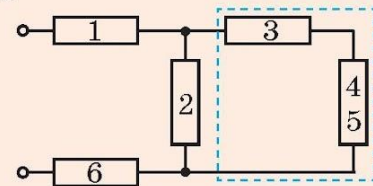


Схема 2

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.

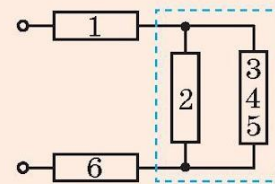


Схема 3

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.

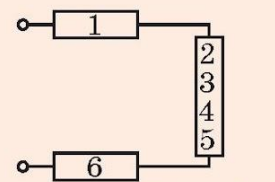


Схема 4

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 проходитиме через амперметр, якщо ключ розімкнута? 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 $R_A = 0$).

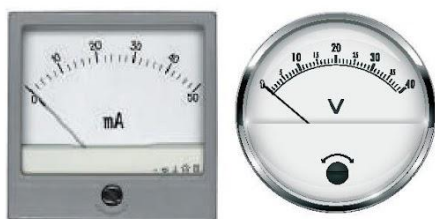


Рис. 1

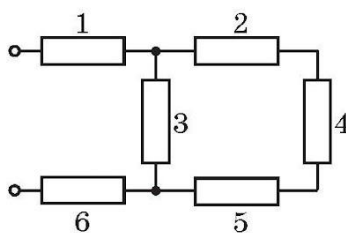


Рис. 2

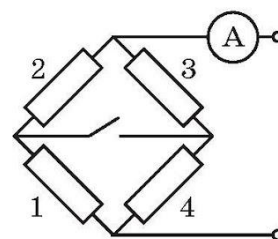


Рис. 3

Матеріал підручника Фізика 11 клас, рівень стандарту, підручник. За ред. Бар'яхтара В.Г., Довгого С.О. § 2.