

§ 14. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ



На практиці до електричного кола часто доводиться приєднувати відразу кілька споживачів. Так, електричне коло освітлення класу обов'язково містить декілька ламп, і при цьому вихід із ладу однієї лампи майже не впливає на роботу решти. Фізики у такому випадку кажуть, що лампи з'єднані паралельно. Про те, як розрахувати силу струму, напругу та опір за умови паралельного з'єднання провідників, ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1 Вивчаємо коло, що складається з паралельно з'єднаних провідників

Розглянемо електричне коло, яке містить дві паралельно з'єднані лампи (рис. 14.1, а). Звернувшись до схеми цього кола (рис. 14.1, б), бачимо: по-перше, для проходження струму в колі є два шляхи — дві *вітки*, кожна з яких містить одну лампу; по-друге, обидві вітки мають спільну пару точок — *A* і *B*. Такі точки називають *вузловими точками* (*вузлами*)*. У вузлових точках відбувається розгалуження кола. Отже, розгалуження є характерною ознакою кола з паралельним з'єднанням провідників.

Схема кола може містити не одну, а декілька пар вузлових точок. При цьому всі провідники, що приєднані до будь-якої пари вузлових точок, вважаються з'єднаними *паралельно* (рис. 14.2).

2 З'ясовуємо, як розрахувати силу струму та напругу в разі паралельного з'єднання провідників

Щоб визначити напругу на кожному із паралельно з'єднаних провідників, достатньо виміряти напругу між вузловими точками. Так, приєднавши вольтметр до пари вузлових точок *A* і *B* (рис. 14.3), одразу виміряємо напругу і на ділянці *AB*, і на кожній лампі. Таким чином, *загальна напруга на ділянці та напруга на кожному із паралельно з'єднаних провідників є однаковою*:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n,$$

де n — кількість провідників.

* *Вузловою точкою (вузлом)* на електричній схемі кола називають таку точку, у якій з'єднуються не менш ніж три проводи.

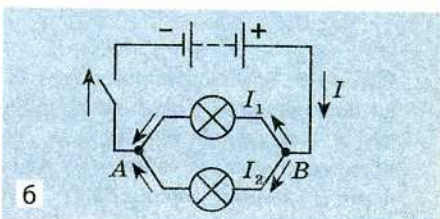
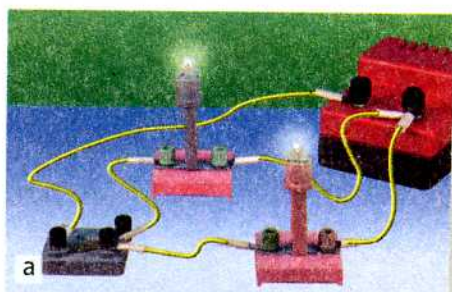


Рис. 14.1. Паралельне з'єднання кількох споживачів струму: а — зовнішній вигляд; б — схема; стрілками показано напрямок струму

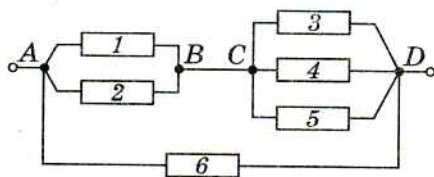


Рис. 14.2. Схема ділянки кола, яка містить паралельне з'єднання провідників. З'єднані паралельно: резистори 1 і 2 (вузли *A* і *B*), резистори 3, 4 і 5 (вузли *C* і *D*); резистор 6 приєднаний паралельно ділянці *AD* (вузли *A* і *D*)

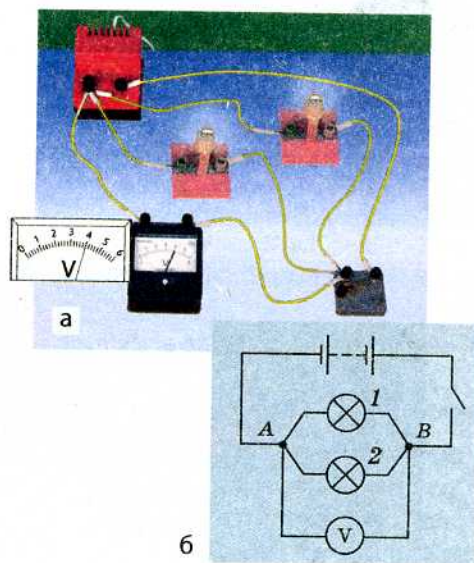


Рис. 14.3. Вимірювання напруги за умови паралельного з'єднання провідників: *a* — зовнішній вигляд; *б* — схема. Вольтметр показує напругу на лампі 1, лампі 2 і на всій ділянці *AB*

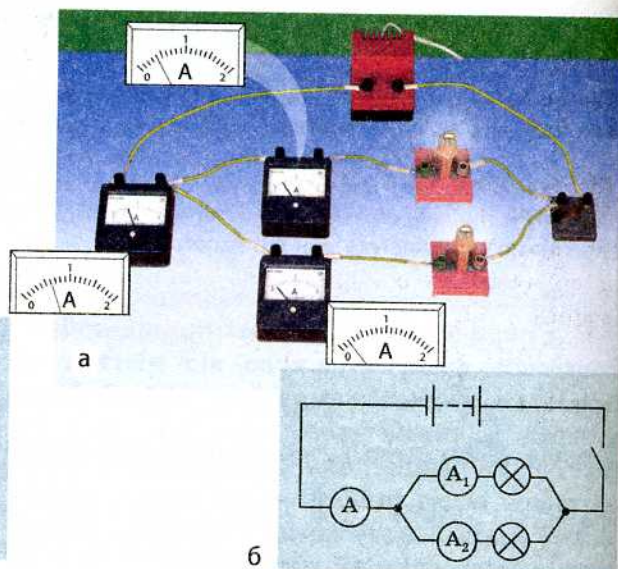


Рис. 14.4. Вимірювання сили струму за умови паралельного з'єднання провідників: сила струму в нерозгалуженій ділянці кола, що вимірюється амперметром *A*, дорівнює сумі сил струмів, які вимірюються амперметрами *A*₁ та *A*₂ у кожній вітці розгалуження

Уже зазначалося, що при паралельному з'єднанні провідників є декілька шляхів для проходження струму (див. рис. 14.1, б). Дійсно, струм, дійшовши до розгалуження (вузлова точка *B*), розтікається по двох вітках. Оскільки заряд у вузловій точці не накопичується, то заряд q , який надійшов у вузол за певний час t , дорівнює сумі зарядів ($q_1 + q_2$), які вийшли із цього вузла за той же час: $q = q_1 + q_2$. Поділивши обидві частини рівності на t , одержимо: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$. Оскільки $\frac{q}{t} = I$, то отримаємо: $I = I_1 + I_2$.

Наведені співвідношення справджуються для будь-якої кількості паралельно з'єднаних провідників. Отже, у разі паралельного з'єднання провідників сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях (окремих вітках):

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n,$$

де n — кількість провідників.

Це твердження можна довести експериментально, підключивши в електричне коло, що зображене на рис. 14.1, три амперметри: один (*A*) у нерозгалужену частину кола, а два інші (*A*₁ і *A*₂) — у кожне відгалуження (рис. 14.4).

Зверніть увагу: якщо одна із паралельно з'єднаних ламп вийде з ладу, то інші продовжать світитися, бо через їхні волоски розжарювання все одно буде проходити струм. З останнього стає зрозумілим, чому зазвичай споживачі вмикають у коло паралельно.

3 Виводимо формулу для розрахунку загального опору ділянки кола з паралельним з'єднанням провідників

Для обчислення загального опору R ділянки кола AB (див. рис. 14.1), що складається з паралельно з'єднаних ламп, скористаємося співвідношенням $I = I_1 + I_2$.

Позначивши опори ламп через R_1 і R_2 та застосувавши закон Ома, отримаємо: $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$.

Оскільки при паралельному з'єднанні провідників справджується, що $U = U_1 = U_2$, то одержимо: $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$.

Після скорочення на U остаточно маємо:

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

У загальному ж випадку опір R кола, що складається з паралельно з'єднаних провідників, можна обчислити, скориставшись формулою:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n},$$

де n — кількість провідників.

Аналізуючи останню формулу, можна зробити такі висновки:

— загальний опір провідників, з'єднаних паралельно, менший за опір кожного з цих провідників;

— загальний опір R паралельно з'єднаних провідників, що мають однаковий опір R' , дорівнює: $R = \frac{R'}{n}$, де n — кількість провідників. Наприклад, якщо коло складається з двох паралельно з'єднаних провідників, що мають однаковий опір R' , то загальний опір R цієї ділянки дорівнює: $R = \frac{R'}{2}$.

4 Дізнаємося про деякі важливі факти

Якщо ви уважно прочитали попередню частину параграфа, то легко зможете пояснити, чому різноманітні побутові пристрої вмикають в електромережу паралельно. Дійсно, тільки в разі такого підключення на кожному пристрої буде та напруга, на яку він розрахований, і, наприклад, вимикання одного із споживачів не спричинить відключення решти.

На рис. 14.5, б наведена частина схеми електричної проводки у квартирі. Горизонтальні лінії показують проводи електромережі, на яких існує напруга 220 В. Ці приховані в стінах проводи охоплюють усю квартиру. Позначення проводів — Φ і 0 — впливають з їхніх назв: фазний та

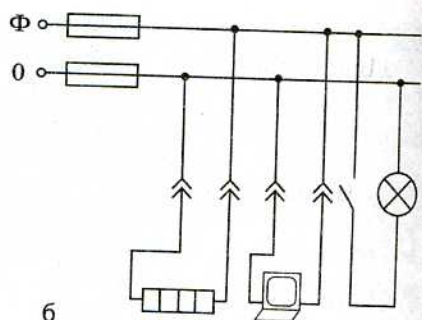
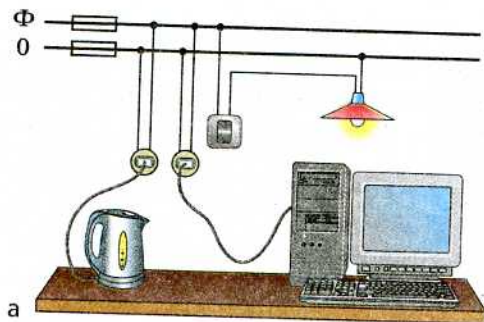


Рис. 14.5. Частина електричної проводки у квартирі: *а* — зовнішній вигляд; *б* — схематичне зображення

нульовий відповідно. Напруга між фазним і нульовим проводами становить 220 В. До нульового проводу приєднують усі споживачі. Кожний вимикач розташовують на відрізку між фазним проводом та споживачем. Таке з'єднання забезпечує найбільшу безпеку (спробуйте пояснити чому). Зверніть увагу на те, що всі споживачі у квартирній електричній проводці або потенційні споживачі (розетки) з'єднані з проводами Φ і 0 паралельно.

5 Учимся розв'язувати задачі

Задача 1. На рисунку наведено схему електричного кола. Визначте покази амперметрів, якщо показ вольтметра 12 В. Опори резисторів зазначено на рисунку.

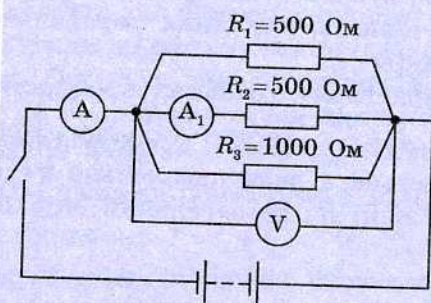
Дано:

$$R_1 = 500 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 500 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 1000 \text{ Ом}$$

$$U = 12 \text{ В}$$



Аналіз фізичної проблеми
Наведена схема електричного кола має розгалуження, отже, коло містить паралельне з'єднання провідників.

Амперметр A увімкнений перед розгалуженням, а амперметр A_1 — у відгалуження, яке містить резистор 2, отже,

$$I - ?$$

$$I_1 - ?$$

маємо знайти силу струму до розгалуження і силу струму в резисторі 2. Значення шуканих величин визначимо, скориставшись законом Ома та формулами для розрахунку сили струму й напруги за умови паралельного з'єднання провідників.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

Оскільки в разі паралельного з'єднання провідників $U = U_1 = U_2 = U_3$, то $U_1 = 12 \text{ В}$; $U_2 = 12 \text{ В}$; $U_3 = 12 \text{ В}$.

Відповідно до закону Ома: $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ Ом}} = 0,024 \text{ А}$;

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ Ом}} = 0,024 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{12 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 0,012 \text{ А}.$$

Загальна сила струму:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0,012 \text{ А} + 0,024 \text{ А} + 0,012 \text{ А} = 0,048 \text{ А}.$$

Проаналізуємо результат. Загальний опір кола: $R = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ В}}{0,048 \text{ А}} = 250 \text{ Ом}$ — менший за опір кожного резистора, отже, результат є правдоподібним.

Відповідь: показ амперметра A — 48 мА; амперметра A_1 — 24 мА.

Задача 2. Чотири однакові лампи з'єднані так, як показано на рисунку, і підключені до джерела постійної напруги. Визначте силу струму в кожній лампі, якщо напруга на джерелі становить 30 В, а опір кожної лампи дорівнює 6 Ом.

Дано:

$$U = 30 \text{ В}$$

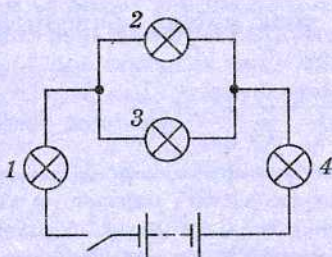
$$R_1 = R_2 = \\ = R_3 = R_4 = 6 \text{ Ом}$$

$$I_1 - ?$$

$$I_2 - ?$$

$$I_3 - ?$$

$$I_4 - ?$$



Аналіз фізичної проблеми

Аналіз поданої електричної схеми показує, що дане електричне коло містить мішане з'єднання провідників: лампи 2 і 3 з'єднані паралельно, а лампи 1 і 4 з'єднані послідовно з ділянкою кола, що складається з ламп 2 і 3.

Скориставшись законом Ома й співвідношеннями для сили струму, напруги та опору при послідовному та паралельному з'єднанні провідників, визначимо значення шуканих величин.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

$$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{6 \text{ Ом}} + \frac{1}{6 \text{ Ом}} = \frac{2}{6 \text{ Ом}} = \frac{1}{3 \text{ Ом}} \Rightarrow R_{2,3} = 3 \text{ Ом}.$$

$$R = R_1 + R_{2,3} + R_4 = 6 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 6 \text{ Ом} = 15 \text{ Ом}.$$

$$\text{Відповідно до закону Ома: } I = \frac{U}{R} = \frac{30 \text{ В}}{15 \text{ Ом}} = 2 \text{ А}.$$

$$\text{Оскільки } I_1 = I_{2,3} = I_4 = I, \text{ то } I_1 = 2 \text{ А}; \quad I_{2,3} = 2 \text{ А}; \quad I_4 = 2 \text{ А}.$$

$$U_{2,3} = I_{2,3} R_{2,3} = 2 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 6 \text{ В}. \quad U_2 = U_3 = U_{2,3} \Rightarrow U_2 = 6 \text{ В}; \quad U_3 = 6 \text{ В}.$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}.$$

Проаналізуємо результат: з одного боку, загальна сила струму на ділянці, що складається з ламп 2 і 3,

дорівнює 2 А, з другого боку, $I_{2,3} = I_2 + I_3 = 1 \text{ А} + 1 \text{ А} = 2 \text{ А}$. Результати збіглися, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: сила струму в лампах 1 і 4 дорівнює 2 А; в лампах 2 і 3 — 1 А.

! Підбиваємо підсумки

Коло, що складається з паралельно з'єднаних провідників, обов'язково має розгалуження. Провідники вважаються з'єднаними паралельно, якщо вони приєднані до пари вузлових точок.

Вимикання одного із паралельно з'єднаних провідників практично не впливає на роботу решти.

Якщо ділянка кола складається з n провідників, з'єднаних тільки паралельно, то справджуються такі твердження:

— напруга на кожному провіднику і на всій ділянці є однаковою:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n;$$

— сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях: $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$;

— загальний опір ділянки кола можна обчислити, скориставшись формулою

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



Контрольні запитання

1. Назвіть характерну ознаку кола, що містить паралельне з'єднання провідників.
2. Порівняйте напругу на всій ділянці кола, що містить паралельно з'єднані провідники, та напруги на кожному провіднику.
3. Яке співвідношення між силою струму в нерозгалуженій частині кола і силою струму в кожній вітці розгалуження?
4. За допомогою якої формули можна обчислити опір ділянки кола, яка складається з кількох паралельно з'єднаних провідників?
5. Чому споживачі електроенергії у вашій оселі з'єднані паралельно?



Вправа № 14

1. Електричне коло складається з акумуляторної батареї та трьох електричних ламп, з'єднаних паралельно. Накресліть схему приєднання до цього кола двох ключів так, щоб один ключ керував одночасно двома лампами, а другий — тільки третьою лампою.
2. На рис. 1 зображено схему ділянки електричного кола. Відомо, що опір R_1 становить 100 Ом, опір R_2 — 150 Ом, показ амперметра А — 2,4 А. Визначте напругу на ділянці.
3. Дві електричні лампи з'єднали паралельно й приєднали до джерела струму, напруга на якому становить 120 В. Визначте силу струму в кожній лампі й у нерозгалуженій частині кола, якщо опір однієї лампи дорівнює 200 Ом, а другої — 300 Ом.
4. Однакові за довжиною та поперечним перерізом дроти — залізний, мідний і срібний — з'єднали паралельно та підключили до джерела струму. У якому дроті сила струму буде більшою?

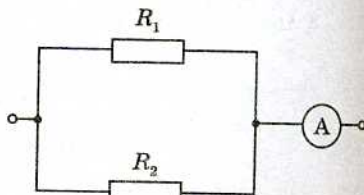


Рис. 1

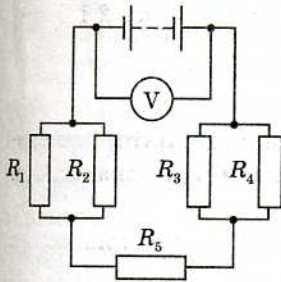


Рис. 2

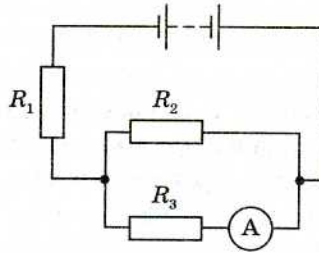


Рис. 3

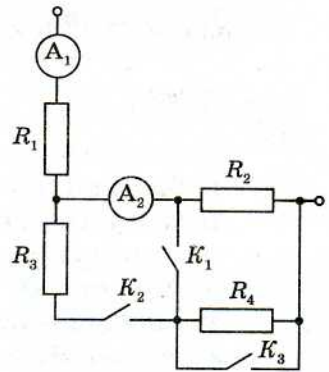


Рис. 4

5. Визначте загальний опір кола й загальну силу струму в ньому (рис. 2), якщо $R_1=2$ Ом, $R_2=3$ Ом, $R_3=R_4=4$ Ом, $R_5=0,8$ Ом. Показ вольтметра 4 В.
6. Чому дорівнює напруга на полюсах джерела струму, яке живить коло (рис. 3), якщо $R_1=3$ Ом, $R_2=2$ Ом, $R_3=8$ Ом? Показ амперметра 0,1 А.
7. Опір усіх резисторів на ділянці електричного кола (рис. 4) є однаковим і дорівнює 5 Ом. До ділянки кола прикладено постійну напругу. Який ключ потрібно замкнути, щоб показ приладу A_2 був нижчим за показ приладу A_1 ? Яке значення сили струму буде показувати прилад A_1 , якщо замкнути ключ K_1 ? Відомо, що прилад A_2 показує 300 мА, якщо усі ключі розімкнені.