

§ 13. ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

?

Уявіть плеєр без кнопки «Включення/виключення», тобто такий, який можна, наприклад, виключити, тільки витягнувши з його корпусу акумулятор. Дуже незручно, справді? Але відсутність вимикача — це тільки незручності у користуванні, а от неправильне підключення вимикача до електричного кола може призвести до неприємності (плеєр може вийти з ладу). Про те, як потрібно підключати вимикач до пристроїв та приладів і які особливості має таке з'єднання, ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1 Вивчаємо характерні риси та властивості кола, яке складається з послідовно з'єднаних провідників

Електричне коло, подане на рис. 13.1, не має розгалужень, тобто елементи кола розташовані послідовно один за одним. Таке з'єднання називають *послідовним*.

Зверніть увагу: якщо один із послідовно з'єднаних провідників вийде з ладу, то решта теж не працюватимуть, бо *коло буде розімкненим*.

Ви вже використовували послідовне з'єднання провідників, коли вимірювали силу струму за допомогою амперметра (див. лабораторну роботу № 2), отже, без особливих зусиль можете передбачити результати досліду, поданого на рис. 13.2, і зробити висновок про те, що у разі послідовного з'єднання провідників загальна сила струму в колі та сила струму в кожному провіднику однакові: $I = I_1 = I_2$.

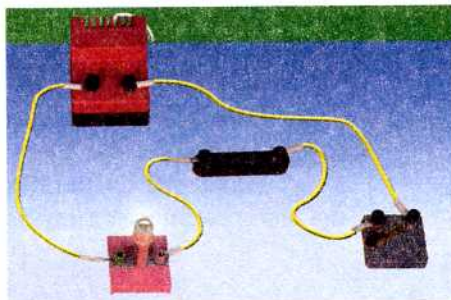


Рис. 13.1. Послідовне з'єднання кількох провідників

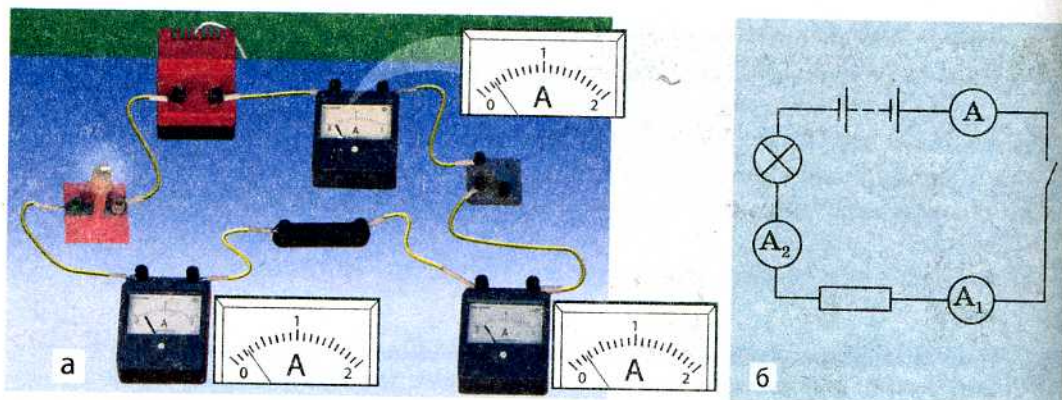


Рис. 13.2. Вимірювання сили струму в різних ділянках електричного кола, яке складене з послідовно з'єднаних провідників: а — загальний вигляд; б — схема електричного кола. Сила струму в кожному провіднику однакова

Дійти такого висновку можна шляхом простих розмірковувань. Оскільки коло з послідовним з'єднанням провідників не містить розгалужень, то заряд, який пройшов через поперечний переріз будь-якого провідника за певний час t , буде однаковим: $q = q_1 = q_2$. Поділивши цей вираз на t , отримуємо: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t}$. Отже, $I = I_1 = I_2$.

Щоб з'ясувати, яким співвідношенням пов'язані загальна напруга U на двох послідовно з'єднаних провідниках та напруги U_1 і U_2 на першому та другому провідниках відповідно, згадаємо формулу для обчислення напруги: $U = \frac{A}{q}$.

Якщо електричне поле здійснює роботу A_1 з переміщення заряду q в першому провіднику і A_2 — у другому, то зрозуміло, що для переміщення заряду через обидва провідники має бути здійснена робота $A = A_1 + A_2$. Поділивши обидві частини рівності на q , отримаємо: $\frac{A}{q} = \frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q}$, або $U = U_1 + U_2$. Отже, загальна напруга U на двох послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруги U_1 на першому провіднику та напруги U_2 на другому провіднику.

Одержаний висновок легко перевірити експериментально (рис. 13.3).

Наведені співвідношення справджуються для будь-якої кількості послідовно з'єднаних провідників. Отже:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n;$$

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

де n — кількість провідників.

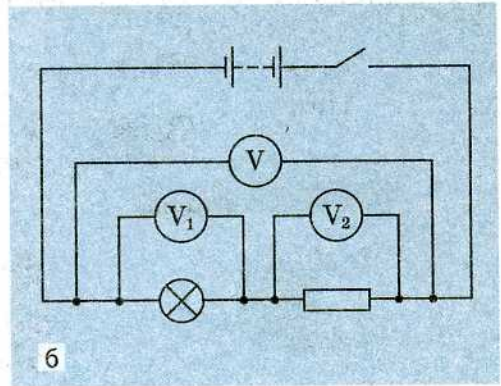
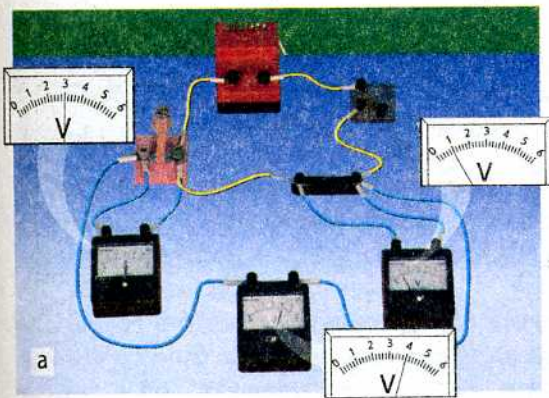


Рис. 13.3. Вимірювання напруги на різних ділянках електричного кола, яке складене з послідовно з'єднаних провідників: *а* — загальний вигляд; *б* — схема електричного кола. Загальна напруга на ділянці кола, що містить послідовно з'єднані лампу та резистор, дорівнює сумі напруг на окремих пристроях

Щоб краще зрозуміти властивості послідовного з'єднання провідників, скористайтесь механічною аналогією (рис. 13.4); відповідні паралелі проведіть самостійно.

2 Виводимо формулу для розрахунку опору

Для обчислення загального опору ділянки кола, яка складається з двох послідовно з'єднаних провідників, скористаємося співвідношенням $U = U_1 + U_2$.

Відповідно до закону Ома сила струму на всій ділянці становить $I = \frac{U}{R}$; звідси $U = IR$.

Оскільки $I = I_1 = I_2$, то $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$. Отже, маємо: $IR = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$. Після скорочення на I отримуємо: $R = R_1 + R_2$.

Якщо коло складається з кількох послідовно з'єднаних провідників, їхній загальний опір дорівнює сумі опорів окремих провідників:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

де n — кількість провідників.

Аналізуючи останню формулу, можна зробити такі висновки:

- загальний опір провідників, з'єднаних послідовно, більший за опір кожного з цих провідників;

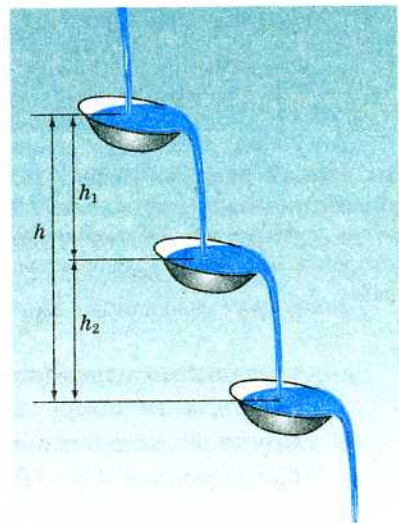


Рис. 13.4. Механічна модель послідовного з'єднання провідників

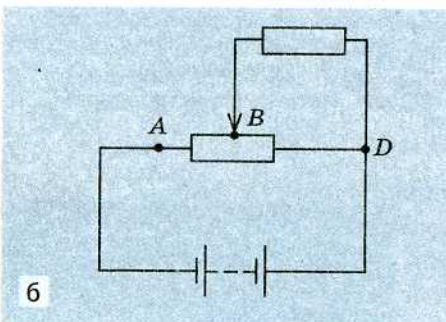
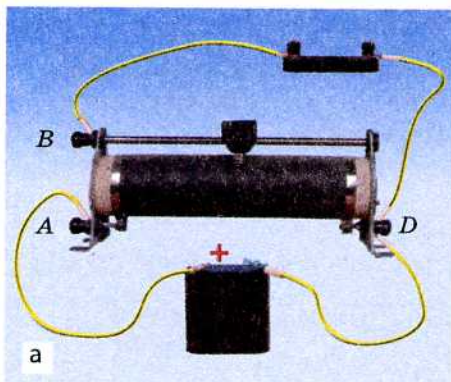


Рис. 13.5. Регулювання напруги за допомогою потенціометра: а — загальний вигляд пристрою; б — схема електричного кола. Точками А, В, D позначено клеми

— загальний опір R послідовно з'єднаних провідників, що мають однаковий опір R' , дорівнює: $R = nR'$, де n — кількість провідників.

3 Знайомимося з потенціометром

Той факт, що в разі послідовного з'єднання провідників напруга на кожному з них менша, ніж загальна напруга, використовують у пристроях для регулювання напруги. Ці пристрої називають *дільниками напруги* або *потенціометрами*. У § 12 вже йшлося про те, що як дільник напруги можна використовувати повзунковий реостат із трьома клемами (див. рис. 12.5). Електричне коло, що містить реостат, який працює в режимі дільника напруги, зображено на рис. 13.5.

На клеми А і D реостата подається напруга U від джерела струму (*напруга на вході*). Клеми В і D з'єднано зі споживачем (резистором), напругу U_1 на якому необхідно регулювати. Цю напругу зазвичай називають *напругою на виході*.

Пересуваючи повзунок реостата праворуч, змінюємо опір R_1 активної частини реостата (опір ділянки BD) від R (опір ділянки AD) до нуля. Зменшення опору реостата приводить до зменшення вихідної напруги U_1 від U до нуля. Дійсно, оскільки напруга між клемами В і D дорівнює $U_1 = IR_1$, а сила струму, який проходить через реостат, дорівнює $I = \frac{U}{R}$, то $U_1 = \frac{UR_1}{R}$. Отже, коли $R_1 = R$ (повзунок реостата у крайньому лівому положенні), то $U_1 = U$, тобто напруга на виході дорівнює напрузі на вході; коли $R_1 = 0$ (повзунок реостата у крайньому правому положенні), то $U_1 = 0$, тобто напруга на виході теж дорівнює нулю.

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Три резистори опорами 2, 3 і 7 Ом з'єднані послідовно. Яким є опір цієї ділянки кола? Яка напруга на кожному резисторі і яка сила струму в цій ділянці кола, якщо напруга на розгляданій ділянці становить 36 В?

Дано:

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 7 \text{ Ом}$$

$$U = 36 \text{ В}$$

$R = ?$

$U_1 = ?$

$U_2 = ?$

$U_3 = ?$

$I = ?$

Аналіз фізичної проблеми

Оскільки в умові задачі подано опір кожного з трьох послідовно з'єднаних резисторів, то можемо розрахувати їхній загальний опір. Скориставшись законом Ома, знайдемо силу струму в колі. Знаючи, що сила струму в ділянці кола, яка складається з послідовно з'єднаних провідників, всюди однакова, обчислимо напругу на кожному резисторі.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 7 \text{ Ом} = 12 \text{ Ом}.$$

$$\text{Відповідно до закону Ома: } I = \frac{U}{R} = \frac{36 \text{ В}}{12 \text{ Ом}} = 3 \text{ А}.$$

Оскільки $I = I_1 = I_2 = I_3$, то $I_1 = 3 \text{ А}$; $I_2 = 3 \text{ А}$; $I_3 = 3 \text{ А}$.

$$U_1 = I_1 R_1 = 3 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 6 \text{ В}; \quad U_2 = I_2 R_2 = 3 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 9 \text{ В};$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 3 \text{ А} \cdot 7 \text{ Ом} = 21 \text{ В}.$$

Проаналізуємо результати: загальна напруга на ділянці кола $U = 6 \text{ В} + 9 \text{ В} + 21 \text{ В} = 36 \text{ В}$. Цей результат збігається зі значенням напруги, поданим в умові задачі, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: $R = 12 \text{ Ом}$; $U_1 = 6 \text{ В}$; $U_2 = 9 \text{ В}$; $U_3 = 21 \text{ В}$; $I = 3 \text{ А}$.

! Підбиваємо підсумки

Електричне коло, що складається з послідовно з'єднаних провідників, не має розгалужень. Провідники включаються до кола послідовно, один за одним. Вимикання одного зі споживачів спричинить розмикання кола.

Якщо ділянка кола складається тільки з послідовно з'єднаних провідників (n — кількість провідників), то справджуються такі твердження:

— сила струму в усій ділянці кола та в кожному провіднику однакова: $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$;

— загальна напруга на всіх провідниках дорівнює сумі напруг на окремих провідниках: $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$;

— загальний опір ділянки кола є більшим за опір кожного провідника й обчислюється за формулою $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$.

Дільники напруги (потенціометри) — пристрої для регулювання напруги на певній ділянці кола. Як дільник напруги зазвичай використовують триконтактний повзунковий реостат.

? Контрольні запитання

1. Яку особливість має коло, що складається з послідовно з'єднаних провідників?
2. Поясніть, чому вимикач завжди з'єднує зі споживачем послідовно.
3. Що можна сказати про значення сили струму в колі з послідовним з'єднанням провідників? Доведіть своє твердження.
4. Яке існує співвідношення між загальною напругою на всіх послідовно з'єднаних провідниках і напругою на кожному з них? Як його можна довести?
5. Як обчислити загальний опір кола, яке складається з послідовно з'єднаних провідників?
6. Як зміниться загальний опір ділянки кола, якщо до неї послідовно приєднати ще один провідник?
7. Опишіть будову та принцип дії дільника напруги.

Вправа № 13

- Загальний опір двох ламп і реостата, з'єднаних послідовно, дорівнює 65 Ом. Визначте опір реостата, якщо опір кожної лампи становить 15 Ом.
- Дільник напруги складений із двох резисторів (рис. 1). Опір резистора R_1 становить 15 Ом, резистора R_2 — 10 Ом. До клем K_1 і K_3 подано напругу 100 В. Яка напруга між клемми K_1 і K_2 ?
- Чи можна лампу для кишенькового ліхтарика, яка розрахована на силу струму 0,3 А, увімкнути в освітлювальну мережу послідовно з лампою, що розрахована на напругу 220 В і має опір 1100 Ом? Поясніть свою відповідь.
- Опір одного з двох послідовно з'єднаних провідників становить 650 Ом. Знайдіть опір другого провідника, якщо сила струму в ньому 80 мА, а загальна напруга на обох провідниках дорівнює 72 В.
- Ділянка кола містить три послідовно з'єднані провідники, опір яких становить: $R_1=5$ Ом; $R_2=8$ Ом; $R_3=15$ Ом (рис. 2). Яким є показ амперметра і чому дорівнює напруга між точками А і В, якщо вольтметр показує 1,6 В?

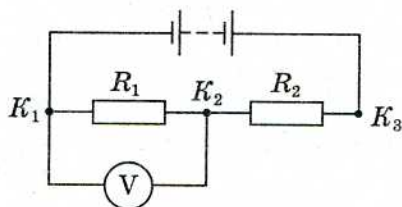


Рис. 1

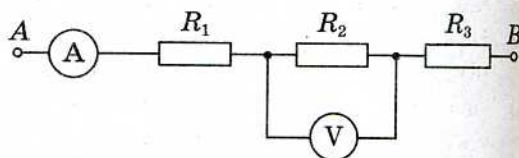


Рис. 2

Експериментальне завдання

Виготовте пристрій, призначений для перевірки знань (рис. 3). Для цього виконайте такі дії.

- На аркуш цупкого картону наклейте у два стовпчики 10–16 прямокутних смужок із паперу.
- На паперових смужках, розташованих у лівому стовпчику, напишіть запитання.
- На паперових смужках, розташованих у правому стовпчику, напишіть відповіді, причому так, щоб пара «запитання — правильна відповідь» не становила один рядок.
- Поряд із кожним прямокутником вставте в картон кнопку з довгим вістря.
- За допомогою проводів з'єднайте кнопки на звороті картону так, щоб утворилися пари «запитання — правильна відповідь» (рис. 4), та складіть електричне коло.
- Перевірте знання своїх однокласників, попросивши їх торкнутися вільними кінцями проводів до клем із запитанням і клем з відповіддю. Якщо відповідь правильна, то має засвітитися лампа.

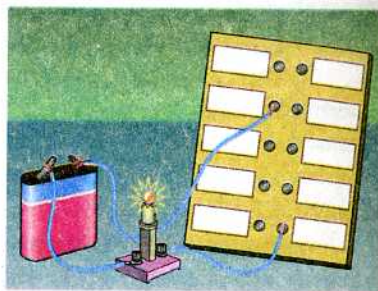


Рис. 3

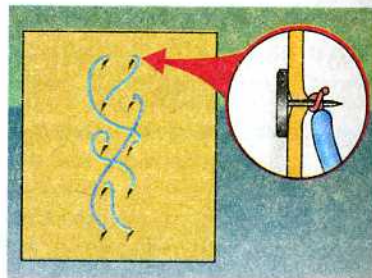


Рис. 4