

§ 15. РОБОТА Й ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

?!

Кожний із вас бачив електролічильник, а деякі навіть знімали його покази. А як ви гадаєте, яку фізичну величину вимірює цей прилад? Щоб перевірити свої припущення, познайомтеся зі змістом цього параграфа.

1

З'ясуємо, значення якої фізичної величини визначають за допомогою електролічильника

На рис. 15.1 подано електролічильник. Запам'ятаємо або запишемо цифри, що зафіксовані на датчику приладу (рис. 15.1, а), інакше кажучи, знімемо показ лічильника. Що означають ці цифри? Очевидно, що це числове значення деякої фізичної величини. А якої?

Для початку визначимо одиниці цієї величини. Поряд із цифровим табло написано: кВт·год. Отже, фізична величина, значення якої показує електролічильник, вимірюється у кіловат-годинах. Відомо, що $1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$ і $1 \text{ год} = 3600 \text{ с}$, а $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$. Таким чином,

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}, \text{ або}$$

$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$. А одна з фізичних величин, що вимірюються в джоулях, — це робота. Отже, можна припустити, що електролічильником вимірюють *роботу струму*. Щоб переконатися в цьому, включимо в коло електролічильника електрообігрівач. Через деякий час знову знімемо показ лічильника (рис. 15.1, б). Бачимо, що він збільшився. Електричний струм, проходячи спіраллю електрообігрівача, виконав роботу, яку ми зафіксували, використавши покази лічильника. Таким чином, *електролічильник — це прилад для прямого вимірювання роботи струму*.

Вартість одиниці роботи називають *тарифом*. Наприклад, на 1 січня 2009 р. тариф для певної категорії населення в Харкові становив 24,36 к. за 1 кВт·год.

2

Обчислюємо роботу струму

З'ясуємо, чи можна роботу струму виміряти в інший спосіб, не використовуючи електролічильник.

Вивчаючи матеріал § 10 підручника, ви з'ясували, що електрична напруга U на кінцях ділянки електричного кола визначається за формулою $U = \frac{A}{q}$. Отже, роботу A електричного струму з переміщення



а



б

Рис. 15.1. Зняття даних лічильника: а — початкові дані (382 кВт·год); б — дані лічильника після деякого часу роботи електрообігрівача (385 кВт·год). Кількість використаної за певний час електроенергії: $385 - 382 = 3$ (кВт·год)

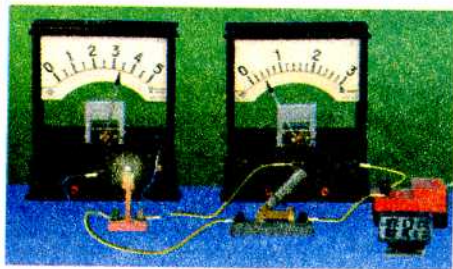


Рис. 15.2. Для вимірювання роботи струму можна скористатися добре відомими вам вимірювальними приладами: амперметром, вольтметром і годинником

електричного заряду q на цій ділянці можна знайти за формулою $A = Uq$. Виразивши заряд q через силу струму I та час t його проходження: $q = It$, — отримаємо формулу для розрахунку роботи електричного струму на даній ділянці кола:

$$A = UIt.$$

Отже, щоб визначити роботу, яку виконує струм у певному споживачі (на певній ділянці електричного кола), достатньо виміряти силу струму в споживачі, напругу на ньому й час проходження струму (рис. 15.2). Ви вже знаєте, що такі вимірювання називають *непрямими*.

Зверніть увагу, що із формули для розрахунку роботи електричного струму випливає: $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$, — це співвідношення вам стане у пригоді під час перевірки одиниць у процесі розв'язування задач.

3 Обчислюємо потужність струму

Потужність електричного струму — фізична величина, що характеризує швидкість виконання струмом роботи й дорівнює відношенню роботи A струму до часу t , за який цю роботу виконано:

$$P = \frac{A}{t},$$

де P — потужність електричного струму. Оскільки $A = UIt$, то

$$P = UI.$$

Одиницею потужності в СІ є **ват** ($1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$).

Із формули для розрахунку потужності електричного струму випливає: $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$.

1 Вт — це потужність струму силою 1 А на ділянці кола з напругою 1 В .

Ват — порівняно невелика одиниця потужності. На практиці частіше використовують кратні одиниці потужності: **кіловат** ($1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}$), **мегават** ($1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}$), **гігават** ($1 \text{ ГВт} = 10^9 \text{ Вт}$).

4 Учимося розрізняти номінальну та фактичну потужності споживачів

Звернувшись до формули розрахунку потужності струму ($P = UI$), побачимо, що потужність струму можна визначити, скориставшись амперметром і вольтметром (перемножити напругу та силу струму, визначені за показами цих приладів).

Існують також прилади для *прямого* вимірювання потужності електричного струму — *ватметри*. Ватметри приєднують паралельно споживачу, потужність струму в якому потрібно виміряти.

Вимірюючи потужність струму в споживачі, ми визначаємо його *фактичну потужність*.

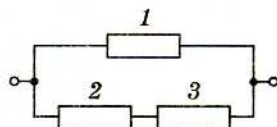
Потужність, яка зазначена в паспорті електричного приладу (або безпосередньо на приладі), називають *номінальною потужністю*. У паспорті електричного приладу зазвичай указують не тільки його номінальну потужність, але й напругу, на яку прилад розрахований. Проте напруга в мережі може трохи змінитися, наприклад, збільшитися, відповідно збільшиться й сила струму. Збільшення сили струму й напруги приведе до збільшення потужності струму в споживачі. Тобто *значення фактичної та номінальної потужностей споживача можуть відрізнятись*.

Якщо коло складається з кількох споживачів, то, розраховуючи їхню фактичну потужність, слід пам'ятати, що *за будь-якого з'єднання споживачів загальна потужність струму в усьому колі дорівнює сумі потужностей окремих споживачів*.

Завершуючи знайомство з потужністю електричного струму, знову звернемося до рис. 15.1. На лічильнику подано значення ще двох фізичних величин: 220 В; 15 А. Перша з них показує, у коло з якою напругою слід вмикати лічильник, друга — максимально допустиму силу струму в приладі. Перемноживши ці значення, одержимо *максимально допустиму потужність споживачів, які можна підключити через цей електролічильник* ($UI = P$).

5 Учимося розв'язувати задачі

Задача 1. Ділянка електричного кола складається з трьох однакових резисторів (див. рисунок). Визначте загальну потужність усіх резисторів, якщо опір кожного з них дорівнює 5 Ом, а напруга на ділянці становить 10 В.



Дано:

$$R_1 = R_2 = R_3 = 5 \text{ Ом}$$

$$U = 10 \text{ В}$$

$P = ?$

Аналіз фізичної проблеми

Розв'язати задачу можна двома способами:

- 1) обчислити потужність кожного резистора, а потім — загальну потужність усіх резисторів;
- 2) визначити загальну силу струму в ділянці й, знаючи загальну напругу, обчислити загальну потужність усіх резисторів.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

Спосіб 1

Оскільки ділянка кола, що містить резистори 2 і 3, з'єднана з резистором 1 паралельно, то

$$U_1 = U_{2,3} = U = 10 \text{ В. За законом Ома } I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10 \text{ В}}{5 \text{ Ом}} = 2 \text{ А.}$$

Відповідно до формули для розрахунку потужності:

$$P_1 = U_1 I_1 = 10 \text{ В} \cdot 2 \text{ А} = 20 \text{ Вт}.$$

Оскільки резистори 2 і 3 з'єднані послідовно, то

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}, \quad I_2 = I_3 = I_{2,3} = \frac{U_{2,3}}{R_{2,3}} = \frac{10 \text{ В}}{10 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}.$$

$$U_2 = I_2 R_2 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}, \quad P_2 = U_2 I_2 = 5 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 5 \text{ Вт}.$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}, \quad P_3 = U_3 I_3 = 5 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 5 \text{ Вт}.$$

Таким чином, $P = P_1 + P_2 + P_3 = 20 \text{ Вт} + 5 \text{ Вт} + 5 \text{ Вт} = 30 \text{ Вт}$.

Спосіб 2

Спочатку знайдемо загальний опір R ділянки кола.

Оскільки резистори 2 і 3 з'єднані послідовно, то

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}.$$

Оскільки ділянка кола, що містить резистори 2 і 3, з'єднана з резистором 1 паралельно, то

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{2,3}} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{10 \text{ Ом}} + \frac{1}{5 \text{ Ом}} = \frac{3}{10} \frac{1}{\text{Ом}}; \text{ таким чином, } R = \frac{10}{3} \text{ Ом}.$$

$$\text{За законом Ома: } I = \frac{U}{R} = 10 \text{ В} : \frac{10}{3} \text{ Ом} = 3 \text{ А}.$$

Відповідно до формули для розрахунку потужності:

$$P = UI = 10 \text{ В} \cdot 3 \text{ А} = 30 \text{ Вт}.$$

Проаналізуємо результат: розв'язуючи задачу різними способами, отримуємо однакове значення потужності, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: загальна потужність усіх резисторів дорівнює 30 Вт.

Задача 2. Визначте ККД двигуна електровоза, якщо, рухаючись рівномірно зі швидкістю $16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, він розвиває силу тяги 300 кН. Напруга в електромережі становить 3 кВ, сила струму, споживаного двигуном, дорівнює 2 кА.

Дано:

$$v = 16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$F = 3 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$U = 3 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$I = 2 \cdot 10^3 \text{ А}$$

η — ?

Аналіз фізичної проблеми

Для розв'язання задачі необхідно з'ясувати, яку частину роботи, виконуваної струмом, що тече по обмотці електродвигуна, становить корисна робота (механічна робота з переміщення електровоза). Використавши формули для розрахунку механічної роботи і роботи струму, знайдемо шукану величину.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

ККД розраховуємо за формулою:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повн}}}, \quad (1)$$

де $A_{\text{кор}}$ — корисна робота, яку виконує двигун, переміщуючи електровоз на відстань s ; $A_{\text{кор}} = F s$.

Відстань s знайдемо з визначення швидкості:

$$v = \frac{s}{t}; \text{ звідси } s = vt.$$

Таким чином:

$$A_{\text{кор}} = Fvt. \quad (2)$$

Робота струму у двигуні електровоза:

$$A_{\text{повна}} = UI t. \quad (3)$$

Підставивши формули (2) і (3) у формулу (1), одержимо:

$$\eta = \frac{Fvt}{UI t} = \frac{Fv}{UI}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[\eta] = \frac{\text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{В} \cdot \text{А}} = \frac{\text{Дж}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Вт}}{\text{Вт}} = 1;$$

$$\{\eta\} = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 16}{3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3} = 0,8; \quad \eta = 80\%.$$

Проаналізуємо результат: ККД дорівнює 80 % — для електричних двигунів результат реальний.

Відповідь: ККД двигуна електровоза становить 80 %.

! Підбиваємо підсумки

На ділянці кола електричний струм виконує роботу, значення якої дорівнює добуткові напруги, сили струму і часу проходження струму по колу: $A = UI t$.

Одиницею роботи електричного струму в СІ є джоуль (Дж): $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$. В електротехніці використовують позасистемну одиницю роботи струму — кіловат-годину (кВт·год); $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Прилади для прямого вимірювання роботи струму називають лічильниками електричної енергії.

Фізична величина, що характеризує швидкість виконання струмом роботи, називається потужністю електричного струму. Потужність електричного струму обчислюють за формулою $P = UI$. Одиницею потужності

електричного струму в СІ є ват (Вт): $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Потужність, на яку розрахований електричний прилад, називають номінальною потужністю. Зазвичай номінальну потужність зазначають у паспорті електричного приладу. Реальну потужність струму в пристрої називають фактичною потужністю.

? Контрольні запитання

1. За якою формулою обчислюють роботу електричного струму?
2. Назвіть відомі вам одиниці роботи електричного струму.
3. Доведіть, що $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.
4. Як вимірюють роботу електричного струму?
5. Що називають потужністю електричного струму?
6. За якою формулою можна обчислити потужність струму?
8. Що називають номінальною потужністю електричного приладу?
9. Що таке фактична потужність приладу?

Вправа № 15

1. Користуючись показами електролічильника (рис. 1), визначте витрачену електроенергію й обчисліть її вартість за тарифом 24,36 к. за 1 кВт·год.
2. Доведіть, що $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$.
3. Використовуючи покази приладів, зображених на рис. 2, визначте роботу, яку виконає електричний струм за 15 хв роботи електродвигуна.



Рис. 1

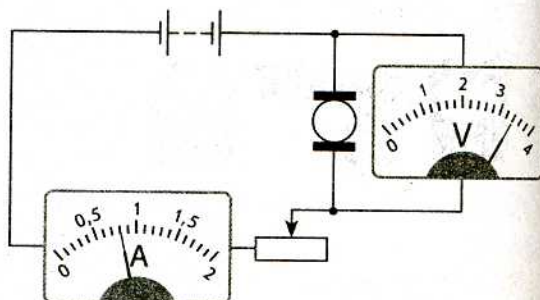


Рис. 2

4. Два провідники опорами 10 і 25 Ом увімкнено до мережі, що має напругу 100 В. Яку роботу виконає електричний струм у кожному провіднику за 5 хв, якщо їх з'єднати: а) паралельно? б) послідовно?
5. Дві лампи, які мають потужності 90 і 40 Вт, увімкнуті паралельно до мережі, що має напругу 220 В. Визначте силу струму, який протікає через кожную лампу, та опір кожноєї лампи.
6. Визначте силу струму, який споживає електродвигун підйомального крана, якщо вантаж масою 1 т кран підіймає на висоту 19 м за 50 с. ККД електродвигуна становить 80%, напруга на клеммах — 380 В.
- 7*. Лампа, що розрахована на напругу 127 В, споживає потужність 50 Вт. Який додатковий опір треба приєднати до лампи, щоб увімкнути її в мережу напругою 220 В?
- 8*. Дві електроплити, спіралі яких мають однакові опори, спочатку увімкнули в мережу послідовно, а потім паралельно. У якому випадку електроплити споживали більшу потужність і в скільки разів?

Експериментальне завдання

1. Дізнайтеся в батьків, скільки коштує 1 кВт·год електроенергії. З'ясуйте потужність різних споживачів електроенергії у вашій оселі. Обчисліть вартість електроенергії, яку споживатиме кожний пристрій, якщо працюватиме 20 хв. Заповніть таблицю.

№ з/п	Назва пристрою	Потужність P , Вт	Робота струму, А		Вартість, грн
			Дж	кВт·год	

2. Протягом тижня спостерігайте за споживанням електроенергії у вашій оселі. Для цього щодня в той самий час записуйте показ лічильника електроенергії та обчислюйте, скільки електроенергії спожила за добу ваша родина. За результатами вимірювань та обчислень побудуйте графік споживання електроенергії протягом тижня.

Дайте відповіді на такі запитання.

- 1) У який день тижня витрати електроенергії були найбільшими? Чому?
- 2) Чи були ввімкнені споживачі електроенергії без потреби?
- 3) Як можна заощадити витрати електроенергії вашою родиною?