

## Тема 21. Електровимірювальні прилади. Робота та потужність постійного струму.

### Вимірювання сили струму та напруги.

Для вимірювання сили струму в провіднику послідовно з ним вмикають **амперметр**. Зазначимо, що амперметр має деякий опір  $R_a$ . Тому опір ділянки кола з увімкненим амперметром збільшується, і за незмінної напруги сила струму зменшується. Для того, щоб амперметр чинив якомога менший вплив на силу струму, що вимірюється, його внутрішній опір роблять дуже малим. Якщо підключити амперметр напряму до мережі, станеться коротке замикання.

Для розширення меж вимірювання в амперметрах використовують **шунти**, які приєднуються паралельно до амперметра. Нехай амперметр, розрахований на номінальний струм  $I_0$ , має опір  $R_a$ . Визначимо опір шунта, щоб прилад міг виміряти більшу силу струму  $I = nI_0$ , де число  $n$  означає відношення струмів. Враховуючи, що шунт підключено паралельно до амперметра, можна показати, що опір шунта визначається так:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_a}{n - 1}.$$

Для того, щоб **виміряти напругу** на ділянці кола з опором  $R$ , до неї **паралельно** підключають **вольтметр**. Після увімкнення вольтметра з опором  $R_v$  опір ділянки зменшиться, відповідно зменшиться напруга, що вимірюється. Для того, щоб вольтметр не вносив помітних змін до вимірів напруги, його опір повинен бути більшим у порівнянні з опором ділянки кола, на якій проводяться вимірювання.

Для розширення меж вимірювання в вольтметрах використовують **додаткові опори**, які вмикаються послідовно з вольтметром. Нехай вольтметр, розрахований на напругу  $U_0$ , має опір  $R_v$ . Знайдемо значення додаткового опору, щоб прилад міг виміряти більшу напругу  $U = nU_0$ , де число  $n$  означає відношення напруг. Можна показати, що додатковий опір дорівнює:

$$R_d = R_v(n - 1).$$

## Робота та потужність постійного струму.

Електричну напругу на ділянці електричного кола можна визначити за формулою:

$$U = \frac{A}{q},$$

де  $A$  – повна робота кулонівських і сторонніх сил з переміщення на цій ділянці позитивного заряду  $q$ . Цю роботу часто називають **роботою струму**. Таким чином, робота  $A = Uq$ . Враховуючи, що заряд  $q = It$ , де  $t$  – час проходження струму, можна отримати формулу для розрахунку **роботи електричного струму** на даній ділянці кола:

$$A = UIt .$$

*Одиниця роботи електричного струму в СІ – 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).  $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .

Якщо на ділянці кола, в якій тече струм, не виконується механічна робота й не відбуваються хімічні реакції, то робота електричного струму призводить тільки до нагрівання провідника. Згідно із законом збереження енергії кількість виділеної теплоти  $Q$  дорівнюватиме роботі  $A$  струму. Враховуючи формулу  $U = IR$ , а також наведену вище формулу для роботи струму, можна отримати наступний вираз:

$$Q = I^2 R t .$$

Ця формула є математичним записом закону, який незалежно один від одного дослідним шляхом встановили англійський фізик Дж. П. Джоуль і російський фізик Е. Х. Ленц. Пізніше цей закон отримав назву **закон Джоуля – Ленца**:

**Кількість теплоти  $Q$ , яка виділяється у провіднику зі струмом, прямо пропорційна квадрату сили струму  $I$ , опору  $R$  провідника та часу  $t$  проходження струму.**

Дослідження довели, що кількість теплоти, яка виділяється в процесі проходження струму в ділянці кола, **завжди** можна обчислити за формулою  $Q = I^2 R t$ . А ось іншими модифікаціями цієї формули –  $Q = \frac{U^2 t}{R}$  і  $Q = UIt$  – можна користуватись *тільки в тому випадку, коли вся електрична енергія витрачається на нагрівання*.

**Потужність електричного струму  $P$**  – це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання струмом роботи і дорівнює відношенню роботи  $A$  до часу  $t$ , за який цю роботу виконано:

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

Враховуючи, що  $A = UIt$ , можна отримати наступні вирази для потужності:

$$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

*Одиниця потужності в СІ – ват (Вт). 1 Вт = 1 Дж/с. Із формули для розрахунку потужності електричного струму випливає: 1 Вт = 1 В·А.*

**Приклад 1 (№ 595).** Опір шунта становить 2% від опору амперметра. При включенні в електричне коло зашунтований амперметр показує силу струму 100 мА. Який струм насправді тече в колі?

$$R_{\text{ш}} = 0,02R_a, I_0 = 0,1 \text{ А.}$$

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_a}{n - 1}, \quad n - 1 = \frac{R_a}{R_{\text{ш}}} = \frac{R_a}{0,02R_a} = 50, \quad n = 51.$$

$$I = nI_0 = 51 \cdot 0,1 = 5,1 \text{ А.}$$

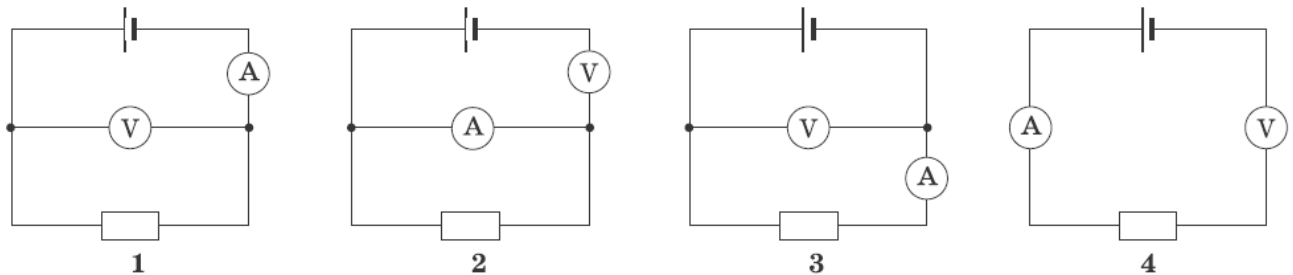
**Відповідь:** 5,1 А.

**Приклад 2.** Вольтметр має:

- А) малий опір і підключається до ділянки кола паралельно;
- Б) великий опір і підключається до ділянки кола паралельно;
- В) малий опір і підключається до ділянки кола послідовно;
- Г) великий опір і підключається до ділянки кола послідовно.

**Відповідь:** Б.

**Приклад 3.** Яка зі схем дозволяє виміряти опір резистора якомога точніше? Амперметр та вольтметр реальні, опір резистора співмірний опору вольтметра.



**Відповідь: 3.**

Якщо опір резистора великий (за умовою він співмірний опору вольтметра, а у вольтметра опір великий), то загальний опір послідовно підключених резистора й амперметра буде мало відрізнятися від опору одного резистора. Тому вольтметр, підключений паралельно до резистора й амперметра показуватиме напругу практично на одному резисторі. Амперметр буде показувати силу струму тільки через резистор.

**Приклад 4.** Під час виготовлення амперметра із гальванометра до останнього було паралельно підключено шунта, який:

- А) зменшив загальний опір та збільшив чутливість приладу;
- Б) зменшив загальний опір та зменшив чутливість приладу;
- В) збільшив загальний опір та зменшив чутливість приладу;
- Г) збільшив загальний опір та збільшив чутливість приладу.

**Відповідь: Б.**

Зменшив загальний опір та зменшив чутливість приладу. Під час виготовлення амперметра з гальванометра шунт до гальванометра потрібно підключати паралельно, для того щоб через нього проходив основний струм. Під час паралельного з'єднання провідників їхній загальний опір зменшується. Чутливість приладу також зменшується, тому що зростає ціна поділки — одній поділці на шкалі гальванометра відповідатиме більша сила струму.

**Приклад 5.** Під час виготовлення вольтметра до гальванометра, опір якого дорівнює  $R$ , було послідовно підключено додатковий резистор опором  $nR$ . У скільки разів змінилася ціна поділки отриманого приладу?

**Відповідь:**

Збільшилася в  $n+1$  разів. Під час підключення до гальванометра опором  $R$  послідовно додаткового резистора опором  $nR$  отримуємо вольтметр, опір якого дорівнює  $R_{\text{вольт}} = R + nR = (1+n)R$ . Збільшення опору приладу в  $1+n$  разів приведе до такого ж зменшення сили струму через прилад у разі підключення до ділянки кола з певною напругою на кінцях. Для того щоб стрілка приладу відхилилася на всю шкалу, потрібна напруга, в  $1+n$  разів більша: ціна поділки зросла в  $1+n$  разів.

**Домашнє завдання:** № 594, 596, 597, 598, 599.