

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та
водного господарства
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

04-03-430М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Метрологія» (частина 1) для здобувачів вищої освіти першого
(бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою
«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІЕАВГ
Протокол № 6 від 28.01.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Метрологія» (частина 1) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Матус С. К. – Рівне : НУВГП, 2025. – 16 с.

Укладач: Матус С. К., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Керівник освітньої програми «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»: Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

© С. К. Матус, 2025
© НУВГП, 2025

Зміст

Лабораторна робота № 1. Вимірювання фізичних величин аналоговими і цифровими приладами	4
Лабораторна робота № 2. Отримання вимірювальної інформації прямими і непрямими методами.....	10
Література	16

Лабораторна робота №1. Вимірювання фізичних величин аналоговими і цифровими приладами

1.1 Мета роботи

Набути практичних навичок вимірювання напруги та сили постійного струму аналоговими та цифровими приладами.

1.2 Теоретичні відомості

Найбільш поширеними є вимірювання сили електричного струму і напруги. Залежно від виду струму, його форми, частоти застосовуються різні методи та прилади для вимірювань.

Вимірювальним приладом називається засіб вимірювань, призначений для отримання сигналу вимірювальної інформації у формі, доступною для безпосереднього спостереження.

Прилади поділяються на аналогові та цифрові. В аналоговому вимірювальному приладі покази є неперервною функцією зміни вимірюваної величини. Розрізняють електромеханічні та електронні аналогові прилади. Цифровий вимірювальний прилад автоматично формує дискретні сигнали вимірювальної інформації в цифровій формі.

При вивченні електричних і магнітних явищ для вимірювання сили струму і напруги використовуються відповідно амперметри та вольтметри.

Також існують універсальні прилади, які можуть виконувати вимірювання сили струму і напругу, як у колах постійного, так і змінного струму. Крім цього, є комбіновані прилади (мультиметри) які призначені для вимірювання різних електричних величин (U , I , R та ін.).

Принцип роботи аналогових амперметрів базується на однозначній залежності кута повороту стрілки-індикатора, яка з'єднана з рухомим вузлом, від величини сили струму, що протікає через вимірювальний прилад. Амперметри включають послідовно, у розрив кола, на ділянці, де необхідно визначити силу струму (рис. 1.1). Шкалу амперметрів зазвичай градуують безпосередньо в одиницях сили струму: амперах, A , міліамперах, mA або мікроамперах, μA .

Чим менший внутрішній опір амперметра, тим менше він впливає на силу струму в колі. Тому для коректних вимірювань сили струму амперметром має виконуватися умова: $r_A \ll R$, де r_A – внутрішній опір приладу. Для розширення меж вимірювань амперметра паралельно йому підключають резистори шунти, опір яких менше внутрішнього опору приладу.

Для вимірювання напруги на ділянці кола, використовують вольтметри, які підключають паралельно до цієї ділянки (рис. 1.2).

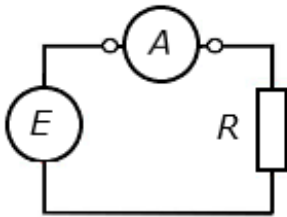


Рис. 1.1 Підключення амперметра

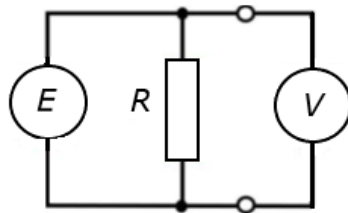


Рис. 1.2 Підключення вольтметра

Шкала вольтметра градується в одиницях вимірювання напруги – вольтах (B , mB , μB , kB). Однак, на відміну від амперметра, внутрішній опір вольтметра r_v має бути значно більшим, ніж опір R тієї ділянки кола, на якому проводять вимірювання. В іншому випадку паралельне підключення приладу призведе до істотної зміни величини сили струму в колі і, як наслідок, до зміни напруги на опорі R . Для розширення меж вимірювань вольтметра послідовно з ним включають додаткові опори r_d .

Більшої точності при вимірюванні напруги можна досягти, якщо скористатися цифровими вольтметрами. Їх внутрішній опір, як правило, значно перевищує внутрішній опір аналогових вольтметрів.

При вимірюванні постійного струму і напруги слід враховувати такі умови:

- межа вимірювання приладу повинна бути не меншою від значення величини, що вимірюється;

- власне споживання потужності приладу – визначається його внутрішнім опором і повинно бути мінімальним, а саме, опір амперметра повинен бути якомога меншим, а опір вольтметра повинен бути якомога більшим;

- клас точності приладу повинен бути таким, щоб гранична похибка його показів була меншою від допустимої похибки вимірювання, якщо вона задана, або була мінімальною, якщо допустима похибка не задана.

Узагальненою характеристикою точності приладу є його клас точності, згідно з яким встановлюють границі основних та додаткових похибок. Ці границі можна представляти у формах абсолютної, відносної або приведеної похибок.

Абсолютна похибка – різниця між показом приладу x_n та істинним значенням вимірюваної величини X :

$$\Delta x = x_n - X . \quad (1.1)$$

Відносна похибка – відношення абсолютної похибки Δx до істинного значення вимірюваної величини X :

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{X} \cdot 100\% . \quad (1.2)$$

Приведена похибка дорівнює відношенню абсолютної похибки Δx до нормуючого значення X_N :

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{X_N} \cdot 100\% . \quad (1.3)$$

За відомими границями приведеної похибки можна знайти допустимі границі абсолютної та відносної похибок:
абсолютної

$$\Delta x_{zp} = \pm \frac{\gamma_{zp}}{100\%} \cdot X_N \quad (1.4)$$

відносної

$$\delta_{x,zp} = \pm \frac{\Delta x_{zp}}{X} \cdot 100\% = \pm \gamma_{zp} \cdot \frac{X_N}{x_n}, \% \quad (1.5)$$

1.3 Програма роботи

1. Вивчити основні характеристики аналогових та цифрових приладів.
2. Виконати вимірювання. Обчислити граничні значення похибок кожного вимірювання.
3. Записати результати вимірювань.

1.4 Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло за схемою представленою на рис. 1.3., здійснити всі необхідні вимірювання:

- ввімкнути блок живлення. Встановити за допомогою регуляторів VOLTAGE задану величину напруги U (при цьому регулятор COARSE використовується для грубого встановлення напруги, FINE – для точного);

- виконати вимірювання напруги U_x аналоговим і цифровим вольтметром;

- виконати вимірювання струму I_x аналоговим амперметром;

- провести вимірювання струму I_x за спадом напруги U_{RN} який вимірюють цифровим вольтметром на опорі R_N .

2. Записати метрологічні (технічні) характеристики використаних засобів вимірювання у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

№	Назва	Тип (система)	Межа вимірювання	Клас точності	Вхідний опір
1	2	3	4	5	6

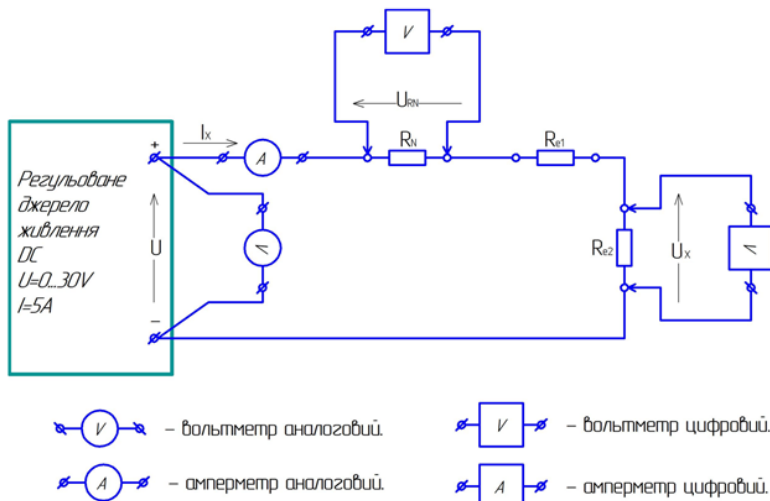


Рис. 1.3 Схема вимірювання сили струму та напруги

3. Результати вимірювань записати до табл. 1.2–1.4.

Таблиця 1.2

Вимірювання струму аналоговим амперметром

№	Струм, I_x, A	Відлік N_A	Стала C_A, A	Покази амперметра I_A, A
1	2	3	4	5

Гранична відносна похибка, $\delta_{I, ep}, \%$	Гранична абсолютна похибка, $\Delta I_{ep}, A$	Результат вимірювання, I, A	Методична похибка, $\Delta I_m, \%$
6	7	8	9

Таблиця 1.3

Вимірювання напруги аналоговим вольтметром

№	Напруга, U_x, B	Відлік N_V	Стала C_V, B	Покази вольтметра U_B, B
1	2	3	4	5

Гранична відносна похибка, $\delta_{U,sp}, \%$	Гранична абсолютна похибка, $\Delta U_{sp}, B$	Результат вимірювання, U, B	Методична похибка, $\Delta U_M, \%$
6	7	8	9

Таблиця 1.4

Вимірювання напруги цифровим вольтметром

№	Напруга U_x, B	Показ цифрового вольтметра, $U_{ЦВ}, B$	Гранична відносна похибка, $\delta_{U_{ЦВ},sp}, \%$	Гранична абсолютна похибка, $\Delta U_{ЦВ,sp}, B$	Результат вимірюван ня, $U_{ЦВ}, B$	Методична похибка, $\Delta U_{ЦВ,м}, \%$
1	2	3	4	5	6	7

1.5 Контрольні запитання

1. Як вибрати межу вимірювання приладу?
2. Чим кількісно характеризується точність вимірювання?
3. Що таке абсолютна похибка вимірювання?
4. Що таке відносна похибка вимірювання?
5. Як визначають сталу приладу?

Лабораторна робота №2. Отримання виміральної інформації прямими і непрямими методами

2.1 Мета роботи

Ознайомитися з методами вимірювання, набути практичних навичок вимірювання електричного опору на постійному струмі.

2.2 Теоретичні відомості

Однією із найпоширеніших вимірюваних величин є електричний опір. Вимірювання електричного опору є важливим не тільки в галузі вимірювання електричних величин, але і в інших галузях вимірювань. Прикладом може бути вимірювання неелектричних величин електричними методами, наприклад, вимірювання опору термоперетворювачів опору та термісторів при вимірюванні температури; вимірювання опору тензорезисторів при вимірюванні механічних напружень, сили, тиску, переміщень.

На практиці доводиться вимірювати електричний опір в широкому діапазоні від 10^{-9} Ом до значень порядку 10^{15} Ом і більше. Різними є вимоги і до точності вимірювання. Якщо при повірці зразкових мір опору 1-го розряду похибка вимірювання не повинна перевищувати десятих частин відсотка, то при вимірюванні перехідного опору контактів, опору заземлення або опору ізоляції допускається похибка порядку декількох відсотків.

Методи вимірювання опору поділяють на дві групи: прямі та опосередковані. *Прямі вимірювання* опору здійснюють за допомогою аналогових та цифрових омметрів, а також мостів постійного струму (одинарних та подвійних). *Опосередковані вимірювання* проводять методом амперметра і вольтметра та за допомогою компенсаторів постійного струму і компараторів напруг.

Вибір методу і засобів вимірювань залежить від ряду факторів, таких як значення вимірюваного опору, необхідна точність вимірювання, умови виконання експерименту тощо. Особливо уважно потрібно вимірювати опір об'єктів, які мають нелінійну вольт-амперну характеристику. При записі результатів

вимірювання, необхідно вказати режим, при якому вони отримані, тобто значення струму чи напруги.

Вимірювання електричного опору методом амперметра і вольтметра ґрунтується на використанні закону Ома для ділянки кола, згідно якого опір:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}, \quad (2.1)$$

де U_x , I_x – значення спаду напруги на ділянці кола та струму, що протікає у ній.

Струм I_x , зазвичай, вимірюють амперметром, а спад напруги U_x – вольтметром, що і зумовило назву методу.

За цим методом можна виконувати вимірювання у широкому діапазоні напруг та струмів, які перекриваються діапазонами вимірювань амперметрів і вольтметрів. Він незамінний для вимірювання опорів резисторів, обмоток електричних машин, кристалів та інших об'єктів, які мають нелінійну вольт-амперну характеристику. Тут режим вимірювання повинен відповідати режиму експлуатації об'єкта.

Для вимірювання опору за допомогою амперметра та вольтметра використовують схеми підключення приладів, що наведені на рис. 2.1, а вимірне значення опору $R_{x,вим}$ визначають за формулою:

$$R_{x,вим} = \frac{U_V}{I_A}, \quad (2.2)$$

де $U_V = N_V \cdot C_V$ – покази вольтметра, В; $I_A = N_A \cdot C_A$ – покази амперметра, А; C_V – стала вольтметра, В; N_V – відлік за шкалою вольтметра; C_A – стала амперметра, А; N_A – відлік за шкалою амперметра.

Як видно з (2.2), вимірювання електричного опору методом амперметра і вольтметра є типовим прикладом опосередкованих вимірювань.

Похибка вимірювання опору складається з похибок вимірювання струму амперметром та напруги вольтметром, а також методичної похибки, яка зумовлена споживанням

потужності вимірювальними приладами і залежить від схеми їх ввімкнення.

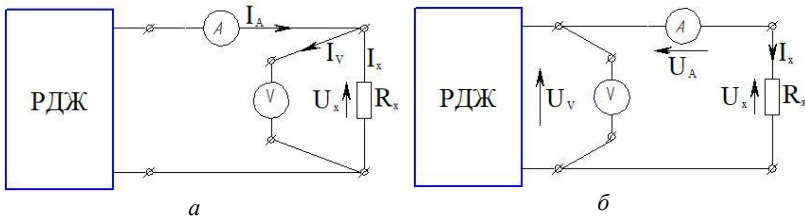


Рис. 2.1 Схема вимірювання електричного опору методом амперметра і вольтметра: а) схема правильного вимірювання напруги; б) схема правильного вимірювання струму

В схемі рис. 2.1, а, яку називають схемою правильного вимірювання напруги, вольтметр вимірює безпосередньо напругу U_x , тобто $U_V = U_x$, а амперметр – суму струмів $I_x + I_V$, тобто $I_A = I_x + I_V$, де $I_V = \frac{U_V}{R_V}$ – струм, споживаний вольтметром (R_V – внутрішній опір вольтметра).

Виміряне за цією схемою значення опору

$$R_{x, \text{вим}} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_x}{I_x + I_V} = \frac{U_x}{I_x} \left(\frac{1}{1 + I_V/I_x} \right) = R_x \left(\frac{1}{1 + R_x/R_V} \right), \quad (2.3)$$

відрізняється від істинного значення опору $R_x = U_x/I_x$, що зумовлює виникнення систематичної методичної похибки

$$\delta_{\Delta V} = \frac{R_{x, \text{вим}} - R_x}{R_x} \cdot 100\% = -\frac{1}{R_V/R_x + 1} \cdot 100\% = -\frac{R_x}{R_V + R_x} \cdot 100\%. \quad (2.4)$$

В схемі рис. 2.1, б, яку називають схемою правильного вимірювання струму, маємо $I_A = I_x$, $U_V = U_x + U_A$, де $U_A = I_A \cdot R_A$ (R_A – внутрішній опір амперметра).

Виміряне за цією схемою значення опору

$$R_{x, \text{вим}} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_x + U_A}{I_x} = R_x + R_A, \quad (2.5)$$

методична похибка

$$\delta_{MA} = \frac{R_{x, \text{вим}} - R_x}{R_x} \cdot 100\% = \frac{R_A}{R_x} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

Граничне значення відносної похибки вимірювання електричного опору методом амперметра та вольтметра

$$\delta_{R, \text{ep}} = \pm (\delta_{A, \text{ep}} + \delta_{V, \text{ep}}) + \delta_m, \quad (2.7)$$

де δ_m – значення методичної похибки для вибраної схеми вимірювання (δ_{mV} або δ_{mA}), %; $\delta_{A, \text{ep}}$, $\delta_{V, \text{ep}}$ – граничні значення основних відносних похибок показів амперметра та вольтметра, %

$$\delta_{A, \text{ep}} = \pm \gamma_{A, \text{ep}} \cdot \frac{I_{\kappa A}}{I_A}, \% \quad \delta_{V, \text{ep}} = \pm \gamma_{V, \text{ep}} \cdot \frac{U_{\kappa V}}{U_V}, \% \quad (2.8)$$

де $\gamma_{A, \text{ep}}$, $\gamma_{V, \text{ep}}$ – граничні значення основних приведених похибок амперметра та вольтметра; $I_{\kappa A}$, $U_{\kappa V}$ – межа вимірювання амперметра та вольтметра; I_A , U_V – покази амперметра і вольтметра.

Вимірювання електричного опору цифровим омметром

Цифрові омметри, як правило, входять до складу комбінованих цифрових вимірювальних приладів (мультиметрів), призначених для вимірювань постійного струму і напруги, змінного струму і напруги та електричного опору.

При вимірюванні електричного опору на постійному струмі отриману величину попередньо перетворюють на пропорційну постійну напругу U_x , яку вимірюють цифровим вольтметром постійного струму, що є основою побудови цифрових мультиметрів.

Перетворення величини вимірюваного опору R_x на постійну напругу U_x здійснюється двома способами: 1) підключення вимірюваного опору R_x в коло допоміжного джерела живлення із стабілізованим струмом, тоді $U_x = I \cdot R_x$ ($I = \text{const}$); 2) застосуванням перетворювачів опору на напругу, побудованих на операційних підсилювачах.

Діапазон вимірювань опору цифровим омметром доволі широкий – $10^{-3} \dots 10^{12} \text{ Ом}$, однак вузчий, ніж у мостів постійного струму із ручним зрівноважуванням та аналогових електронних омметрів. Цифровим омметром притаманна висока точність вимірювання – у діапазоні опору $1 \dots 10^6 \text{ Ом}$ мінімально можливе значення відносної похибки вимірювання становить $\pm 0,005 \%$.

Вимірювання електричного опору цифровим тестером

Цифровий тестер має такі функції:

1) Основні: вимірювання електричного струму; вимірювання напруги між двома точками електричного кола; вимірювання електричного опору.

2) Додаткові: “продзвонювання” – вимірювання електричного опору зі звуковою (світловою) сигналізацією для кола низького опору (менше за 50 Ом); генерація тестового сигналу найпростішої форми (гармонійної або імпульсної); тест діодів – перевірка цілісності напівпровідникових діодів і знаходження їхньої “прямої напруги”; тест транзисторів – перевірка напівпровідникових транзисторів і знаходження їхнього коефіцієнта підсилення; вимірювання електричної ємності; вимірювання індуктивності; вимірювання температури із застосуванням зовнішнього первинного перетворювача (як правило, термопари); вимірювання частоти гармонічного сигналу.

2.3. Порядок виконання роботи

1. Опосередковане вимірювання електричного опору методом амперметра і вольтметра: скласти електричне коло за схемою, вибраною у завданні, виміряти струм та напругу. Виконати вимірювання при двох різних значеннях струму. Результати дослідів занести в таблицю звіту, табл. 2.1.

Таблиця 2.1

№	Відлік N_A	Стала C_A, A	Покази амперметра, I_A, A	Відлік N_V	Стала C_V, B	Покази вольтметра, U_V, B	$R_A,$ Ом	$R_V,$ Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9

$R_x, \text{ Ом}$	Гранична відносна похибка, $\delta_{A, \text{сп}}, \%$	Гранична відносна похибка, $\delta_{V, \text{сп}}, \%$	Методична похибка, $\delta_m, \%$	Гранична відносна похибка, $\delta_{R, \text{сп}}, \%$
10	11	12	13	14

2. Пряме вимірювання електричного опору цифровим омметром: підготувати до роботи цифровий омметр, відповідно до значення вимірюваного опору вибрати необхідну межу вимірювання і виконати вимірювання опору. Покази приладу занести в таблицю 2.2

Таблиця 2.2

№	$R_x, \text{ Ом}$	$R_k, \text{ Ом}$	$\Delta_{R, \text{сп}}, \text{ Ом}$
1	2	3	4

3. Пряме вимірювання електричного опору з використанням цифрового тестера: підготувати мультиметр до роботи, вибрати необхідну межу вимірювання та виміряти електричний опір. Результати занести у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

№	Межа вимірювання, Ом	$R_{x, \text{вим}}, \text{ Ом}$	$\delta_{R, \text{сп}}, \%$
1	2	3	4

2.4 Контрольні запитання

1. В чому суть та до якого виду належить метод вимірювання електричного опору за допомогою амперметра та вольтметра?

2. Яка причина виникнення методичної похибки вимірювання?

3. Як усувають методичну похибку вимірювання опору методом амперметра і вольтметра?

Література

1. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук та ін. ; за ред. проф. Є. С. Поліщука. 2-ге вид., доп. та переробл. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. 544 с.
2. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. 538 с.
3. Нестерчук Д. М., Квітка С. О., Галько С. В. Основи метрології та засоби вимірювань : навчальний посібник. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. 256 с.
4. Бойко Т. Г., Руда М. В. Основи точності мехатронних засобів : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2022. 168 с.
5. ДСТУ 2681 - 94 Метрологія. Терміни та визначення К., Держстандарт України, 1994.