

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

Ю.М. Гальченко, Н.В. Глухова

**МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ.
РОЗДІЛ «ТЕОРІЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ. ЧАСТИНА 1».
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

для бакалаврів спеціальностей

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології,

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Дніпро
НТУ «ДП»

2021

Рекомендовано до видання навчально-методичним відділом (протокол № 6 від 07.06.2021) за поданням методичної комісії спеціальностей 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (протокол № 4 від 20.04.2021) та 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка (протокол № 3 від 23.04.2021).

Гальченко Ю.М.

Метрологія та вимірювання. Розділ «Теорія похибок вимірювань. Частина 1». Методичні рекомендації до лабораторних робіт для бакалаврів спеціальностей 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка / Ю.М. Гальченко, Н.В. Глухова ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2021. – 37 с.

Автори:

Ю.М. Гальченко, ас. (лабораторні роботи № 7/02_МВ, №7/03_МВ)

Н.В. Глухова, канд. техн. наук, доц.; (лабораторна робота № 7/01_МВ)

Методичні матеріали призначено для підготовки та виконання лабораторних робіт студентами спеціальностей 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка під час опанування нормативної дисципліни «Метрологія та вимірювання».

Подано теоретичні відомості з проведення перевірки аналогових приладів, оцінювання похибок однократних прямих та опосередкованих вимірювань.

Рекомендації орієнтовано на активізацію виконавчого етапу навчальної діяльності студентів.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірвальних систем, д-р техн. наук, проф. В.В. Ткачов.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота №7/01_ МВ	
Перевірка метрологічних характеристик аналогового вольтметра	6
Лабораторна робота №7/02_ МВ	
Оцінювання похибки однократного вимірювання сили постійного струму	17
Лабораторна робота №7/03_ МВ	
Опосередковане вимірювання електричного опору на постійному струмі методом амперметра і вольтметра.....	26

ВСТУП

Метрологія є одним з найважливіших інструментів забезпечення якості та безпеки продукції. Висновок про якість продукції робиться на підставі результатів випробувань продукції за конкретними показниками. Від професійних навичок експериментатора залежить правильність виконання методу випробування та точність результату вимірювання.

Методичні вказівки призначені для студентів денної форми навчання за спеціальностями 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Методичні вказівки призначено для закріплення теоретичних основ метрології, порядку проведення вимірювань значень фізичних величин і правил обробки результатів вимірювань.

В результаті вивчення дисципліни «Метрологія та вимірювання» та виконання лабораторних робіт студенти опанують методи нормування похибок засобів вимірювань та оцінювання похибки результату вимірювання, зможуть самостійно обирати метод та засіб вимірювання в залежності від необхідної точності та умов проведення експерименту.

Кожна лабораторна робота містить назву, мету та програму роботи, самостійну підготовку, яка включає розв'язування задачі, теоретичні відомості, необхідні для виконання роботи, зміст звіту, питання для самоперевірки та список літератури.

Процес виконання кожної лабораторної роботи складається з чотирьох етапів:

1. Підготовка до лабораторної роботи. Виконується студентом самостійно та включає опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками і розв'язання задачі. На цьому етапі кожен студент повинен законспектувати або роздрукувати відповідну лабораторну роботу, яка повинна містити: номер, назву, мету та програму лабораторної роботи; умову та розв'язання задачі; всі таблиці та електричні схеми.

2. Виконання експериментального дослідження. До виконання експериментального дослідження студенти допускаються після перевірки викладачем підготовки студента до лабораторної роботи та короткої співбесіди за темою роботи.
3. Складання звіту. Після виконання експериментального дослідження та опрацювання результатів дослідження складається звіт про виконання лабораторної роботи. Вимоги до змісту звіту наведено у кожній лабораторній роботі.
4. Захист звіту. Захист звіту проводиться кожним студентом окремо в усній формі. Підготуватись до захисту можна за контрольними запитаннями, які містяться наприкінці кожної лабораторної роботи. За три повні правильні відповіді студент отримує оцінку «відмінно», за дві – «добре», за одну – «задовільно».

Під час виконання лабораторної роботи необхідно дотримуватись наступних правил безпеки:

- перед початком збирання схеми впевнитись у тому, що автомат подачі напруги живлення вимкнено;
- подавати напругу живлення на схему тільки після перевірки та з дозволу викладача;
- не торкатися будь-яких елементів схеми, що знаходиться під напругою;
- усі перемикання виконувати від'єднавши схему від мережі;
- при виявленні будь-яких несправностей чи ненормальної роботи схеми (поява іскор, спалахів, тощо) негайно відімкнути схему від мережі і доповісти про це викладачу;
- не залишати зібрану електричну схему, що знаходиться під напругою, без нагляду;
- після виконання експериментального дослідження, від'єднавши схему від мережі, розібрати схему та привести робоче місце у порядок.

ПЕРЕВІРКА МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНАЛОГОВОГО ВОЛЬТМЕТРА

Мета: набути практичних навичок виконання перевірки метрологічних характеристик аналогових електровимірювальних приладів.

Програма роботи

1. Підготовка до вимірювального експерименту

1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

1.2. Розв'язання задачі.

2. Виконання вимірювального експерименту

2.1. Ознайомлення з приладами, які підлягають перевірці, та вибір робочих еталонів.

2.2. Визначення умов перевірки.

2.3. Перевірка вольтметра.

3. Опрацювання результатів експерименту

3.1. Визначення похибок перевіряемого приладу.

3.2. Висновок про відповідність перевіряемого приладу вказаному класу точності.

3.3. Побудова графіку залежності допустимих і експериментально визначених абсолютних похибок перевіреного приладу.

Підготовка до вимірювального експерименту

Етап 1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

Загальні відомості про повірку засобів вимірювальної техніки

Перевірка метрологічних характеристик засобу вимірювання є одним з етапів проведення *повірки* - сукупності операцій, що включає перевірку метрологічних характеристик приладу, перевірку маркування та нанесення повірочного тавра або видачу свідоцтва про повірку засобу вимірювальної

техніки, які встановлюють і підтверджують, що зазначений засіб відповідає встановленим вимогам. *Метою перевірки є встановлення факту чи відповідає прилад зазначеному класу точності.*

Під час проведення перевірки виконуються наступні операції:

1. Зовнішній огляд.

Під час зовнішнього огляду приладу встановлюється відсутність пошкоджень на корпусі приладу та пошкоджень покриття шкали, чіткість всіх написів, а також укомплектованість приладу згідно паспортних даних.

2. Опробування.

Встановлюється надійне закріплення затискачів приладів, плавний хід та чітка фіксація перемикачів.

3. Перевірка електричної міцності та опору ізоляції.

4. Визначення основної похибки, варіації показів та залишкового відхилення вказівника приладів від нульової відмітки.

Для однодіапазонних приладів класів точності 0,05; 0,1 та 0,2 основну похибку та варіацію показів визначають на кожній числовій відмітці шкали. Для приладів класу точності 0,5 та більше, а також для приладів з рівномірною шкалою, які мають більше 10 числових відміток, допустимо визначати основну похибку та варіацію показів лише на 5 відмітках шкали, рівномірно розподілених по всьому діапазону вимірювань.

Варіація показів приладу – найбільша різниця показів приладу при одному і тому ж значенні вимірюваної величини. Варіація показів характеризує ступінь стійкості показів приладу при одних і тих же умовах вимірювання одного і того ж значення вимірюваної величини. Варіація показів приблизно дорівнює подвоєній основній похибці.

Залишкове відхилення вказівника від нульової відмітки визначається положенням вказівника повіряемого приладу після плавного зменшення значення вимірюваної величини від кінцевої відмітки шкали до нуля. Воно не повинно перевищувати половини значення класу точності приладу.

Для визначення основних похибок варіацій показів, амперметрів, вольтметрів, ватметрів і варметрів широкого поширення набули метод звірення з показами робочого еталону, компенсаційний метод і метод термоелектричного компарування.

Метод звірення найбільш простий, не вимагає складного обладнання та застосовується для повірки приладів класу точності 0,5 і менш точних.

Компенсаційний метод застосовують для повірки приладів класу точності 0,5 і більш точних на постійному струмі.

Метод термоелектричного компарування застосовують для повірки приладів класу точності 0,2 і більш точних на змінному струмі.




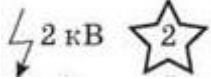

Відомості про умовні позначення на шкалі електровимірювальних приладів. Вибір робочих еталонів.

На шкалах засобів вимірювальної техніки міститься інформація, відображена у вигляді умовних позначок, про вимірювальну систему приладу; клас точності, якому відповідає прилад; відомості про робоче положення приладу; рід струму, на якому працює прилад; ступінь захищеності від впливу зовнішніх електричних, магнітних полів, тощо (див. Табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Умовні позначення на електровимірювальних приладах

Умовне позначення	Зміст позначення	Умовне позначення	Зміст позначення
—	Постійний струм		Магнітоелектрична система приладу
~	Змінний струм		Електромагнітна система приладу
⌚	Постійний або змінний струм		Електродинамічна система приладу
↑ ⊥	Робоче положення приладу вертикальне		Електростатична система приладу

Закінчення таблиці 1.1.

	Робоче положення приладу горизонтальне		Захист від зовнішніх магнітних полів
0,5 або 	Клас точності приладу		Захист від зовнішніх електростатичних полів
	Ізоляція вимірювальної системи випробувана напругою 2 кВ		Увага! Дивись додаткові вказівки в паспорті та інструкції з експлуатації.

Вибір робочих еталонів виконується за наступними правилами:

- ♦ клас точності робочого еталону, виражений приведеною похибкою у відсотках, повинен бути щонайменше у три, а бажано у п'ять разів вище ніж клас точності перевіряемого приладу;
- ♦ прилади змінного струму необхідно перевіряти робочими еталонами електродинамічної системи;
- ♦ діапазон вимірювань робочого еталону повинен бути таким ж, як і у перевіряемого приладу, або верхня межа вимірювань робочого еталону не повинна перевищувати верхню межу вимірювань перевіряемого приладу більш, ніж на 25%;
- ♦ робочий еталон повинен мати свідоцтво про калібрування.

Умови виконання повірки електровимірювальних приладів.

Величини, що впливають на покази приладу, і їх допустимі значення, вказано у паспорті на прилад. До факторів, що впливають, відносяться: умови

навколишнього середовища (температура, вологість повітря, атмосферний тиск), рівень зовнішніх електричних та магнітних полів, положення приладу та інші.

Основною інструментальною похибкою засобів вимірювань називається похибка, що виникає під час експлуатації приладу у нормальних умовах, зазначених у паспорті на прилад. Основна інструментальна похибка вимірювань визначається на підставі класу точності приладу. Якщо умови використання приладів виходять за межі нормальної області, проте знаходяться у межах робочої області, то під час опрацювання результатів вимірювань враховуються **додаткові інструментальні** похибки по кожному впливаючому фактору окремо.

Під час проведення перевірки повинні виконуватися наступні вимоги:

1. Температура навколишнього середовища:
 - (20 ± 2) °C – для класів точності 0,05-0,5;
 - (20 ± 5) °C – для класів точності 1,0-5,0;
2. Відносна вологість повітря 30-80 %;
3. Атмосферний тиск 84-106 кПа.

Етап 1.2. Розв'язання задачі.

Розрахувати ціну поділки робочого еталону та перевіряемого вольтметра, та допустиму абсолютну похибку (допуск) перевіряемого вольтметра, якщо відомо, що кількість поділок робочого еталону вольтметра класу точності 0,5 становить 150, а межа вимірювань – 300 В; кількість поділок перевіряемого вольтметра класу точності 2,5 становить 25, а межа вимірювань – 250 В.

Виконання вимірювального експерименту

Етап 2.1. Ознайомлення з приладами, які підлягають перевірці, та вибір робочих еталонів.

Необхідно ознайомитися з приладами, які перевіряються, умовними позначками на шкалах і розшифрувати їх. Установити принцип дії кожного приладу, призначення, клас точності, необхідні вимоги щодо коректного виконання вимірів. Спираючись на відомості про прилади, які підлягають перевірці, необхідно правильно визначити метрологічні параметри робочих еталонів.

Дані про робочі еталони та прилади, які перевіряються, занести до табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Умовні позначки на шкалі

Назва приладу	Система	Межа вимірювань	Умовні позначки на шкалі
Вольтметр, що перевіряється			
Вольтметр робочий еталонний			

Етап 2.2. Визначення умов перевірки.

Перед проведенням перевірки засобів вимірювань необхідно за паспортними даними визначити умови їх експлуатації: температуру та вологість навколишнього повітря, атмосферний тиск, наявність поблизу приладів джерел електричних та магнітних полів. Звернути увагу на необхідне робоче положення приладів (горизонтальне, вертикальне). Результати занести до табл. 1.3 (рядки 2 та 3).

Отримані дані про умови навколишнього середовища занести до табл. 1.3 (рядок 4). Зробити висновок стосовно умов перевірки приладів.

Таблиця 1.3 – Умови навколишнього середовища

Прилад	Температура повітря, °C	Відносна вологість, %	Атмосферний тиск, мм.рт.ст.	Рівень зовнішніх магнітних полів	Положення приладів	Висновок
повіряємий						
робочий еталон						
фактичні умови						

Етап 2.3. Перевірка вольтметра.

Зібрати електричне коло за схемою, наведеною на рис.1.1.

Перед перевіркою стрілки перевіряемого приладу та робочого еталону за допомогою коректора встановити точно проти нульових позначок на шкалі.

У якості джерела напруги, що подається на вхід схеми, використовується лабораторний автотрансформатор (ЛАТР), який на схемі позначено “TV”. Грубе регулювання напруги у електричному колі досягається завдяки використанню автотрансформатора. Для точного регулювання напруги на вольтметрах між точками **a** та **в** схеми рекомендується увімкнути реостат з опором 1..1,5 кОм.

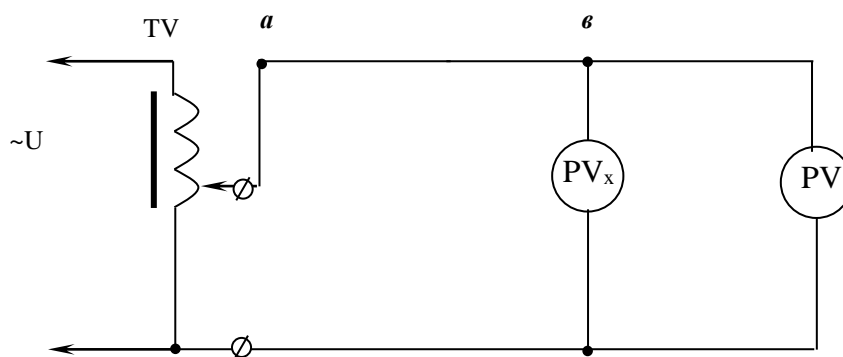


Рисунок 1.1 – Схема метрологічної перевірки вольтметра

Перевірка приладів виконується наступним чином. Шляхом поступового збільшення вхідної напруги електричного кола (грубе регулювання) досягти першої оцифрованої поділки шкали перевіряемого вольтметра. За допомогою плавного регулювання з використанням реостату встановити стрілку точно напроти оцифрованої поділки перевіряемого приладу. Зняти покази з робочого еталону. Покази обох приладів занести до табл. 1.4 (стовпчики 1 та 2). Таким чином необхідно зняти покази для усіх оцифрованих поділок перевіряемого вольтметра, при цьому треба переміщувати стрілку тільки в одному напрямку – напрямку зростання напруги. При невиконанні останньої вимоги дослідження треба зробити спочатку. Після досягнення найбільшого значення вимірюваної напруги необхідно повторити експеримент у бік зменшення показів приладу. Результати занести до табл. 1.4 (стовпчик 2, 3).

Таблиця 1.4 – Результати перевірки вольтметра

Покази приладів				П о х и б к и							
По вір.	Робочий еталон			Абсолютна		Допуск, В	Поправка U_n , В	Відносна		Приведена	
				Зрост.	Зменш.			Зрост.	Зменш.	Зрост.	Зменш.
U_x , В	При зрост. U' , В	При зменш. U'' , В	Варіаці я В, В	$\Delta U'$, В	$\Delta U''$, В			δ' , %	δ'' , %	γ' , %	γ'' , %
Варіація показів приладу не перевищує _____											

Примітка: один штрих при літерних позначеннях вимірних та обчислених параметрів відповідає режиму зростання показів приладу, подвійний штрих використано при зменшенні вимірюваної величини.

Після виконання розрахунків та заповнення таблиць необхідно зробити висновок – чи відповідає вольтметр, що перевірявся, своєму класу точності та побудувати графік залежності допустимих і експериментально визначених абсолютних похибок перевіреного приладу.

Опрацювання результатів експерименту

Етап 3.1. Визначення похибок перевіряемого приладу.

Абсолютною похибкою показів приладу ΔA є різниця між показами перевіряемого приладу A_x і дійсним значенням вимірюваної величини A (робочий еталон):

$$\Delta A = A_x - A.$$

Абсолютна похибка має ті ж одиниці вимірювання, які має вимірювана величина.

Відносна похибка показів приладу визначається як відношення абсолютної похибки до дійсного значення величини, тому вимірюється у долях одиниці чи у відсотках:

$$\delta = \frac{\Delta A}{A} \cdot 100\%.$$

Варіація показів засобу вимірювань розраховується як абсолютна різниця між дійсними значеннями вимірюваної величини, отриманими при зростанні та зменшенні:

$$B = |A' - A''|,$$

де A' , A'' - дійсне значення вимірюваної величини відповідно при її зростанні та зменшенні.

Варіація показів робочих еталонів не повинна перевищувати половини значень межі допустимої основної похибки цих приладів, робочих приладів - значень межі допустимої основної похибки цих приладів.

Поправкою називається значення величини, що додається у невиправлений результат вимірювання, з метою виключення складових систематичної похибки. Значення поправки дорівнює значенню абсолютній похибці, взятій зі зворотним знаком. Поправки визначають для кожної позначки шкали перевіряемого приладу за формулою:

$$A_n = A_{cp} - A_x, \text{ де } A_{cp} = \frac{A' + A''}{2},$$

де A_{cp} - середньоарифметичне значення;

Приведена похибка розраховується як відношення абсолютної похибки до нормуючого значення:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_H} \cdot 100\%,$$

де A_H - нормуюче значення (дорівнює верхній границі діапазону вимірювань, на якому працював прилад).

Етап 3.2. Висновок про відповідність перевіряємого приладу вказаному класу точності.

Щоб визначити чи відповідає прилад своєму класу точності необхідно розрахувати допустиму абсолютну похибку перевіряємого приладу, виразивши її через клас точності приладу. На практиці, ця похибка називається «**допуск**».

Якщо клас точності перевіряємого приладу наведено у вигляді приведеної похибки, то допуск залишається постійним для всього діапазону вимірювань, оскільки наведена похибка залежить від нормуючого значення і не залежить від результату вимірювань:

$$\Delta A_{\partial} = \frac{\gamma \cdot A_n}{100\%}.$$

У разі, якщо клас точності перевіряємого приладу наведено у вигляді відносної похибки, то допуск для кожної відмітки шкали буде різним, оскільки відносна похибка залежить від результату вимірювань:

$$\Delta A_{\partial} = \frac{\delta \cdot A_x}{100\%}.$$

Вважається, що прилад відповідає своєму класу точності, якщо експериментально визначені абсолютні похибки $\Delta A'$ та $\Delta A''$ не перевищують значень допустимих абсолютних похибок ΔA_{∂} .

Етап 3.3. Побудова графіку залежності допустимих і експериментально визначених абсолютних похибок перевіряємого приладу.

Графік залежності допустимих і експериментально визначених абсолютних похибок перевіряємого приладу будується заданими табл. 1.4 (стовпчики 5, 6 та 7).

Звіт повинен містити

1. Номер, назву, мету та програму лабораторної роботи.
2. Умову та розв'язання задачі.
3. Технічні характеристики використаних приладів (табл. 1.2).
4. Умови навколишнього середовища (табл. 1.3).
5. Електричну принципову схему перевірки вольтметра.
6. Таблицю 1.4 з результатами перевірки вольтметра.

7. Формули та розрахунки до таблиці 1.4.
8. Графік залежності допустимих і експериментально визначених абсолютних похибок перевіреного приладу.
9. Висновок щодо відповідності вольтметра вказаному класу точності.

Список літератури

1. Основы метрологии и электрические измерения. Уч. для вузов / Авдеев Б.Я. и др.; под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 23-61.
2. Электрические измерения / Под ред. А.В. Фремке. – Л.: Энергия, 1973. – С. 18-24.
3. ДСТУ ГОСТ 8.497:2008 Государственная система обеспечения единства измерений. Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки, 2008. – С. 3-7.
4. ГОСТ 8711-93 Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 2. Особые требования к амперметрам и вольтметрам, 1993. С – 3-9.

Контрольні запитання

1. Які вимоги ставляться до робочих еталонів?
2. Що називається основною і додатковою похибкою вимірювань?
3. Як визначаються поправки до перевіряємих приладів?
4. Що характеризує клас точності приладу?
5. За якими похибками визначається клас точності приладу?
6. Які фактори впливають на точність вимірювань?
7. Чому покази робочого еталону, одержані при зростанні і зменшенні вимірюваної величини, можуть бути різні?
8. Які прилади потрібні для визначення умов перевірки приладів?
9. Чим характеризуються нормальні умови роботи приладів?
10. Що називається варіацією показів та як вона розраховується?

ОЦІНЮВАННЯ ПОХИБКИ ОДНОКРАТНОГО ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета: набути практичних навичок з ідентифікації основних істотних джерел похибок результату однократного вимірювання сили постійного струму.

Програма роботи

1. Підготовка до вимірювального експерименту

1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

1.2. Розв'язання задачі.

2. Виконання вимірювального експерименту

2.1. Вивчення метрологічних характеристик використовуваних приладів.

2.2. Визначення умов виконання вимірювання.

2.3. Зборка електричного кола і виконання прямого однократного вимірювання сили постійного струму.

3. Опрацювання результатів експерименту

3.1. Складання моделі похибки однократного прямого вимірювання сили постійного струму.

3.2. Визначення інструментальної похибки амперметра.

3.3. Визначення методичної і суб'єктивної похибки вимірювання сили постійного струму.

3.4. Оцінювання сумарної систематичної похибки однократного вимірювання сили постійного струму.

3.5. Запис результату вимірювання сили постійного струму.

3.6. Висновок.

Підготовка до вимірювального експерименту

Етап 1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

Загальні відомості про оцінювання граничного значення сумарної похибки прямого однократного вимірювання

Під **прямим вимірюванням** розуміють вимірювання величини x , значення якої отримано безпосередньо за показом приладу X_n , шкала якого проградуєрована у відповідних значеннях вимірюваної величини:

$$x = X_n.$$

Пряме вимірювання виконане один раз називається **прямим однократним вимірюванням**.

Під час виконання прямого однократного вимірювання основними джерелами виникнення похибок є:

- недосконалість засобів вимірювальної техніки, що використовуються для вимірювання (**основна інструментальна похибка**);
- умови навколишнього середовища, які впливають на засоби вимірювальної техніки (**додаткова інструментальна похибка**);
- неадекватність моделей досліджуваних об'єктів і їх величин (**методична похибка**);
- кваліфікація експериментатора, що здійснює вимірювання (**суб'єктивна похибка**).

Основна інструментальна похибка виникає за умов нормального використання засобу вимірювальної техніки.

Додаткова інструментальна похибка виникає за умови, якщо хоча б одна з впливаючих величин вийде за встановлені у паспорті межі нормального значення, проте залишиться у межах робочої зони.

Нормальне значення (нормальний інтервал значення) впливаючої величини - це значення (інтервал значень) впливаючої величини, в межах якого нормується основна похибка засобів вимірювальної техніки.

Робоча зона значень впливаючої величини - це зона, що встановлюється для засобів вимірювальної техніки, в межах якої за необхідністю нормуються додаткові похибки цих засобів.

Якщо значення хоча б однієї з впливаючих величин вийшло за встановлені межі робочої зони значень, то додаткову інструментальну похибку для цієї впливаючої величини неможливо оцінити і результат вимірювання є недостовірним, тому вимірювання необхідно повторити використавши засіб вимірювальної техніки, який має ширшу робочу область значень заданої впливаючої величини.

Методична похибка зумовлена недосконалістю розробки теорії явищ, покладених в основу методу вимірювань, неточністю співвідношень, які використовуються для знаходження оцінки вимірюваної величини, невідповідністю вимірюваної величини і її моделі.

Суб'єктивна похибка виникає під час вимірювання аналоговими приладами у зв'язку з заокругленням показу, якщо він не збігається з поділкою.

Етап 1.2. Розв'язання задачі.

В електричне коло послідовно увімкнено джерело живлення ($U_{дж}=10\text{ В}$), опір і амперметр. Опір $R = 5\text{ Ом}$, внутрішній опір амперметра $R_A = 0.5\text{ Ом}$. Визначити абсолютну та відносну методичну похибку вимірювання сили постійного струму, що протікає через резистор R . Опором джерела живлення знехтувати.

Виконання вимірювального експерименту

Етап 2.1. Вивчення метрологічних характеристик використовуваних приладів.

Необхідно ознайомитися з технічними та метрологічними характеристиками амперметра, який використовується, умовними позначками на шкалах і розшифрувати їх. Установити принцип дії амперметра, призначення, клас точності, необхідні вимоги щодо коректного виконання вимірів.

Дані про метрологічні характеристики амперметра занести до табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Метрологічні характеристики амперметра

Назва	Система	Діапазон вимірювань	Клас точності	Вхідний опір	Заводський номер	Рік виготовлення
Амперметр						

Етап 2.2. Визначення умов виконання вимірювання.

Перед проведенням вимірювань необхідно за паспортними даними визначити умови їх експлуатації: температуру та вологість навколишнього повітря, атмосферний тиск, наявність поблизу приладів джерел електричних та магнітних полів. Результати занести до табл. 2.2 (рядок 2).

Отримані дані про умови вимірювань занести до табл. 2.2 (рядок 3).

Проаналізувавши отримані дані про умови виконання вимірювань зробіть висновок (табл. 2.2, рядок 4) про наявність чи відсутність додаткової інструментальної похибки і можливість її оцінки.

Таблиця 2.2 – Умови виконання вимірювань

Прилад	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Атмосферний тиск, мм.рт.ст.	Інше
амперметр				
фактичні умови				
Висновок				

Етап 2.3. Зборка електричного кола і виконання прямого однократного вимірювання сили постійного струму.

Зібрати електричне коло за схемою, наведеною на рис.2.1.

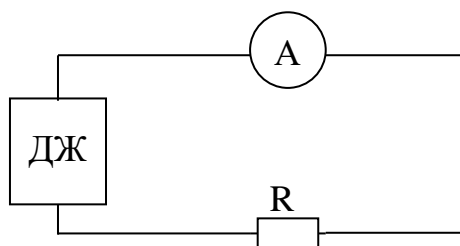


Рисунок 2.1 – Схема метрологічної перевірки вольтметра

У якості джерела напруги, що подається на вхід схеми, використовується джерело постійного струму, яке на схемі позначено “ДЖ”.

Перед початком вимірювань за допомогою мультиметра виміряти значення опору R , отримане значення занести до таблиці 2.3.

Напругу живлення встановити рівною 10 В, за допомогою мультиметра виконати вимірювання значення напруги джерела живлення, за допомогою амперметра виміряти силу струму, що протікає через резистор R . Отримані значення занести до таблиці 2.3.

Після проведення вимірювань розрахувати значення абсолютної і відносної основної інструментальної похибки амперметра, визначити додаткові, методичні і суб’єктивну похибки, оцінити граничне значення прямого однократного вимірювання сили постійного струму. Записати результат вимірювань. Розраховані значення похибок і результат вимірювань занести до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати вимірювань

Виміряні значення			Розраховані значення похибок								
			Інструментальна				Методична	Суб’єктивна	Сумарна		
			Основна		Додаткова						
R, Ом	U _{дж} , В	I, мА	Δ(I), мА	δ(I), %	Δ _д (I), мА	δ _д (I), %	Δ _м (I), мА	δ _м (I), %	Δ _с (I), мА	δ _с (I), %	Δ _{гр} (I), мА
Модель похибки											
Результат вимірювання											

Опрацювання результатів експерименту

Етап 3.1. Складання моделі похибки однократного прямого вимірювання сили постійного струму.

Модель (рівняння) похибки вимірювання включає складові інструментальної похибки (основної і додаткової), методичної похибки і суб’єктивної похибки експериментатора:

$$\Delta_y = \Delta_i + \Delta_m + \Delta_c = \Delta_{i,o} + \Delta_{i,d} + \Delta_m + \Delta_c,$$

де Δ_i - інструментальна похибка, яка містить основну ($\Delta_{i,o}$) та додаткові ($\Delta_{i,d}$) складові;

Δ_m - методична похибка;

Δ_c - суб'єктивна похибка.

Отриману модель похибки вимірювання сили постійного струму занести у таблицю 2.3.

Етап 3.2. Визначення інструментальної похибки амперметра.

Інструментальна похибка амперметра складається з основної та додаткової похибки.

Основна інструментальна похибка амперметра оцінюється на підставі даних про його клас точності.

Додаткова інструментальна похибка для більшості засобів вимірювальної техніки оцінюється як добуток коефіцієнта впливу заданої величини на відхилення заданої впливаючої величини від нормальної області значень:

$$\Delta_{x,гр} = \varepsilon_{\Delta,x} \cdot |\Delta x| = \frac{\Delta_{o,гр}}{\Delta x_3} \cdot |\Delta x|,$$

де $\varepsilon_{\Delta,x} = \frac{\Delta_{o,гр}}{\Delta x_3}$ - коефіцієнт впливаючої величини x ;

$\Delta_{o,гр}$ - границі основної абсолютної інструментальної похибки приладу;

Δx_3 - задане відхилення впливаючої величини (береться з паспортних даних на прилад);

$|\Delta t|$ - зміна впливаючої величини.

Наприклад, у паспорті на вольтметр вказано, що додаткова температурна похибка не перевищує основної ($\Delta_{o,гр} = \pm 0.5 \text{ В}$) на кожні 10°C відхилення температури від нормальної області $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Температура під час виконання вимірювання становить 28°C , а робоча зона від 10 до 30°C . у такому випадку додаткова температурна похибка становитиме:

$$\Delta_{t,гр} = \varepsilon_{\Delta,t} \cdot |\Delta t| = \frac{\Delta_{o,гр}}{\Delta t_3} \cdot |\Delta t| = \frac{\pm 0.5 \text{ В}}{10^\circ\text{C}} \cdot |25 - 28|^\circ\text{C} = \pm 0.15 \text{ В}$$

Етап 3.3. Визначення методичної і суб'єктивної похибки вимірювання сили постійного струму.

Методична абсолютна похибка вимірювання сили постійного струму зумовлена ненульовим опором амперметра і розраховується як:

$$\Delta_M(I) = I_A - I_x,$$

де I_A – показ амперметра;

I_x – істинне значення сили струму (розраховується за законом Ома, без урахування внутрішнього опору амперметра).

Суб'єктивна похибка дорівнює половині ціни поділки.

Етап 3.4. Оцінювання сумарної систематичної похибки однократного вимірювання сили постійного струму.

Якщо кількість складових сумарної похибки становить не більше 5, то обчислюється граничне значення сумарної похибки, як сума значень граничних похибок:

$$\Delta_{y_{гр}} = \sum_{i=1}^n |\Delta_{i,гр}|$$

Якщо кількість складових сумарної похибки становить більше 5, то обчислюються довірчі границі сумарної похибки. якщо закон розподілу граничних значень похибок невідомий, то орієнтуючись на найгірший випадок, приймають рівномірний розподіл:

$$\Delta_{y_{дов}} = \pm K(P_{дов}, n) \sigma_{\Delta y} = \pm z(P_{дов}) \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_{i,гр}^2}$$

де $K(P_{дов}, n)$ - коефіцієнт, що залежить від довірчої ймовірності $P_{дов}$ і кількості n складових похибок і дорівнює значенню квантиля стандартного нормального розподілу $z(P_{дов})$ (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Значення квантилів стандартного нормального розподілу

$P_{дов}$	$z(P_{дов})$	$P_{дов}$	$z(P_{дов})$	$P_{дов}$	$z(P_{дов})$	$P_{дов}$	$z(P_{дов})$
0.90	1.65	0.95	1.96	0.99	2.58	0.9973	3

Етап 3.5. Запис результату вимірювання сили постійного струму.

Якщо сумарну похибку вимірювання сили постійного струму оцінено як її безумовне граничне значення, то результат вимірювання записується у формі:

$$Y = (y \pm \Delta_{гр}).$$

Якщо ж сумарну похибку вимірювання сили постійного струму оцінено за довірчими границями, то результат вимірювання записується у формі:

$$Y = (y \pm \Delta_{дов}), P_{дов} = \dots, \text{сист. пох. розп.}$$

Абсолютну похибку вимірювань заокруглюють до двох значущих цифр, а результат спостереження заокруглюють до того самого розряду, до якого заокруглена абсолютна похибка.

Етап 3.6. Висновок.

Проаналізувати внески окремих похибок у сумарну і зробити висновок щодо можливості нехтування окремими складовими сумарної похибки, якщо відношення меншої похибки Δ_1 (якою хочуть знехтувати) до порівняно з нею більшої Δ_2 не повинно перевищувати 0.2:

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} \leq \frac{1}{5}.$$

Звіт повинен містити

1. Номер, назву, мету та програму лабораторної роботи.
2. Умову та розв'язання задачі.
3. Метрологічні характеристики використаних приладів (табл. 2.1).
4. Умови виконання вимірювань (табл. 2.2).
5. Електричну принципову схему вимірювання сили постійного струму.
6. Таблицю 2.3 з результатами вимірювання.
7. Формули та розрахунки похибок вимірювання сили постійного струму.
8. Висновок.

Список літератури

1. Основи метрології та вимірювальної техніки. / Дорожовець М. та ін.; під ред. Стадника Б. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», Том 1. Основи метрології, 2005. – С. 135-140, 187-195, 220-230.
2. Основи метрології та електричні вимірювання / Тарасенко В.Г., Долга О.Ю.. – Д.:НГУ, 2011. – С. 16-35.

Контрольні запитання

- 1.Що називається основною і додатковою інструментальною похибкою вимірювань?
- 2.Що називається методичною похибкою вимірювань?
- 3.Що називається суб'єктивною похибкою вимірювань? Чи завжди вона присутня під час вимірювань?
- 4.Що називається моделлю (рівнянням) похибки вимірювання?
- 5.Як записується результат прямих однократних вимірювань?
- 6.Як розраховується додаткова інструментальна похибка?
- 7.Як розраховується суб'єктивна похибка вимірювань?
- 8.Які фактори впливають на точність вимірювань?
- 9.Чим зумовлена методична похибка прямого вимірювання сили постійного струму? Як її розрахувати?
- 10.У якому випадку похибка вимірювання оцінюється як граничне значення, а у якому розраховують довірчі границі?
- 11.Що таке пряме однократне вимірювання? Наведіть декілька прикладів.
- 12.Для якого з амперметрів з опором $R_{A1}=0.001 \text{ Ом}$ і $R_{A2}=0.5 \text{ Ом}$ методична похибка вимірювання струму менша? Поясніть чому.

ОПОСЕРЕДКОВАНЕ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ НА ПОСТІЙНОМУ СТРУМІ МЕТОДОМ АМПЕРМЕТРА І ВОЛЬТМЕТРА

Мета: набути практичних навичок опосередкованого вимірювання електричного опору на постійному струмі та оволодіти методикою опрацювання результатів експерименту.

Програма роботи

1. Підготовка до вимірювального експерименту

1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

1.2. Розв'язання задачі.

2. Виконання вимірювального експерименту

2.1. Вивчення метрологічних характеристик використовуваних приладів.

2.2. Визначення умов виконання вимірювання.

2.3. Зборка електричного кола і виконання вимірювання сили постійного струму та напруги.

3. Опрацювання результатів експерименту

3.1. Складання моделі похибки опосередкованого вимірювання електричного опору.

3.2. Визначення інструментальних (основної і додаткової) похибок амперметра та вольтметра.

3.3. Визначення методичних похибок вимірювання електричного опору.

3.4. Оцінювання граничної похибки вимірювання електричного опору.

3.5. Запис результату опосередкованого вимірювання електричного опору.

3.6. Висновок.

Підготовка до вимірювального експерименту

Етап 1.1. Опрацювання теоретичного матеріалу за конспектом лекцій та методичними вказівками.

Загальні відомості про оцінювання граничного значення сумарної похибки прямого однократного вимірювання

Під **опосередкованим вимірюванням** розуміють вимірювання величини Y , яке розраховується через відому функційну залежність цієї величини з величинами, значення яких було отримано під час прямих вимірювань:

$$Y = F(x_1; x_2; \dots; x_n).$$

Прикладом опосередкованого вимірювання є вимірювання опору R_x споживача за результатами прямих вимірювань сили струму I_A амперметром A та напруги U_V вольтметром V при живленні схеми від джерела напругою $U_{ж}$:

$$R_x = \frac{U_V}{I_A}. \quad (1)$$

Під час виконання опосередкованого вимірювання основними джерелами виникнення похибок є:

- недосконалість засобів вимірювальної техніки, що використовуються для вимірювання (**основна інструментальна похибка**);
- умови навколишнього середовища, які впливають на засоби вимірювальної техніки (**додаткова інструментальна похибка**);
- неадекватність моделей досліджуваних об'єктів і їх величин (**методична похибка**);
- кваліфікація експериментатора, що здійснює вимірювання (**суб'єктивна похибка**).

Як бачимо, джерела виникнення похибок під час виконання опосередкованого вимірювання такі ж самі, як і під час виконання прямого однократного вимірювання.

В залежності від орієнтованого значення вимірюваного опору R_x опосередковане вимірювання опору може виконуватися за однією з схем наведених на рис. 3.1. Так, для вимірювання малих опорів ($R_x \ll R_V$)

використовується **схема правильного вимірювання напруги** (рис. 3.1, а), а для великих опорів ($R_x \ll R_V$) – **схема правильного вимірювання струму** (рис. 3.1, б). Такий вибір схем обумовлено впливом методичної похибки, яка виникає через споживання потужності вимірюваними приладами і її залежністю від схеми ввімкнення приладів.

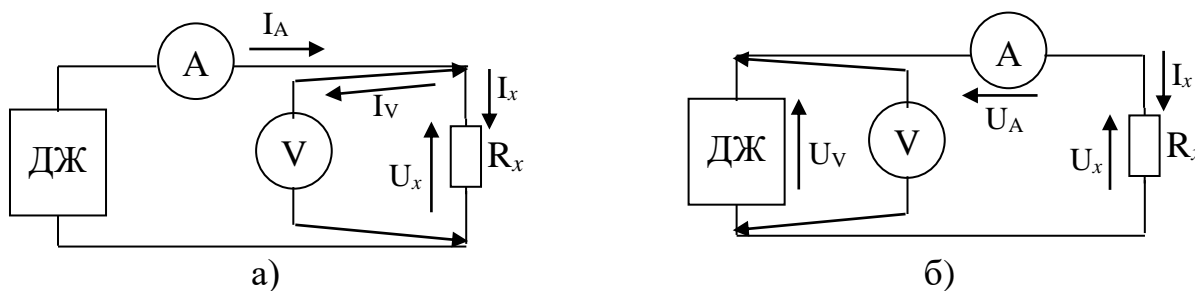


Рисунок 3.1 – Схеми вимірювання електричного опору методом амперметра і вольтметра: а) – схема правильного вимірювання напруги; б) – схема правильного вимірювання струму

У схемі правильного вимірювання напруги (рис. 3.1, а) вольтметр вимірює безпосередньо напругу U_x ($U_V = U_x$), а амперметр – суму струмів $I_x + I_V$ ($I_A = I_x + I_V$; $I_V = \frac{U_V}{R_V}$ – струм споживаний вольтметром, зумовлений скінченням значенням внутрішнього опору вольтметра R_V). Виміряне за цією схемою значення опору становитиме:

$$R_{x,\text{вим}} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_x}{I_x + I_V} = \frac{U_x}{U_x/R_x + U_x/R_V} = \frac{R_x \cdot R_V}{R_x + R_V}.$$

Значення $R_{x,\text{вим}}$ відрізняється від істинного значення опору $R_x = \frac{U_x}{I_x}$, що зумовлює виникнення систематичної методичної похибки, відносно значення якої становить:

$$\delta_{MV} = \frac{R_{x,\text{вим}} - R_x}{R_x} \cdot 100\% = \frac{\frac{R_x \cdot R_V}{R_x + R_V} - R_x}{R_x} \cdot 100\% = -\frac{R_x}{R_x + R_V} \cdot 100\%. \quad (2)$$

У схемі правильного вимірювання струму (рис. 3.1, б) навпаки – амперметр вимірює безпосередньо струм I_x ($I_A = I_x$), а вольтметр – суму спадів напруги U_x ($U_V = U_x + U_A$; $U_A = I_A \cdot R_A$ – спад напруги на амперметрі, зумовлений ненульовим

внутрішнім опором амперметра R_A). У цьому випадку виміряне значення опору становитиме:

$$R_{x,\text{вим}} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_x + U_A}{I_x} = R_x + R_A.$$

Відносне значення методичної похибки становитиме:

$$\delta_{MA} = \frac{R_{x,\text{вим}} - R_x}{R_x} \cdot 100\% = \frac{R_x + R_A - R_x}{R_x} \cdot 100\% = \frac{R_A}{R_x} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Вибір схеми вимірювання електричного опору методом амперметра і вольтметра залежить від того, яка з методичних похибок δ_{MV} чи δ_{MA} за модулем є меншою.

Етап 1.2. Розв'язання задачі.

Орієнтоване значення досліджуваного опору становить $R_x = 100$ Ом, номінальна потужність $P_{x,\text{ном}} = 3.5$ Вт. Визначити чи можна використовувати амперметр класу точності 0.5, з межею вимірювань 0.5 А (загальна кількість поділок на шкалі становить 150), внутрішнім опором $R_A = 5$ Ом та вольтметр класу точності 0.5, з межею вимірювань 30 В (загальна кількість поділок на шкалі становить 150), внутрішнім опором $R_V = 15000$ Ом для опосередкованого вимірювання зазначеного опору, якщо точність вимірювання опору не повинна перевищувати $\delta_{R,\text{дон}} = \pm 1.8\%$.

Виконання вимірювального експерименту

Етап 2.1. Вивчення метрологічних характеристик використовуваних приладів.

Необхідно ознайомитися з технічними та метрологічними характеристиками амперметра та вольтметра, які використовуються, умовними позначками на шкалах і розшифрувати їх. Установити принцип дії приладів, призначення, клас точності, необхідні вимоги щодо коректного виконання вимірів.

Дані про метрологічні характеристики приладів занести до табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Метрологічні характеристики приладів

Назва	Система	Діапазон вимірювань	Клас точності	Вхідний опір	Заводський номер	Рік виготовлення
Амперметр						
Вольтметр						

Етап 2.2. Визначення умов виконання вимірювання.

Перед проведенням вимірювань необхідно за паспортними даними визначити умови їх експлуатації: температуру та вологість навколишнього повітря, атмосферний тиск, наявність поблизу приладів джерел електричних та магнітних полів. Результати занести до табл. 3.2 (рядок 2 та 3).

Отримані дані про умови вимірювань занести до табл. 3.2 (рядок 4).

Проаналізувавши отримані дані про умови виконання вимірювань зробіть висновок (табл. 3.2, рядок 5) про наявність чи відсутність додаткової інструментальної похибки і можливість її оцінки.

Таблиця 3.2 – Умови виконання вимірювань

Прилад	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Атмосферний тиск, мм.рт.ст.	Інше
амперметр				
вольтметр				
фактичні умови				
Висновок				

Етап 2.3. Зборка електричного кола і виконання вимірювання сили постійного струму та напруги.

Зібрати електричне коло за схемою (рис. 3.1), яку було обрано під час розв'язування задачі.

У якості джерела напруги, що подається на вхід схеми, використовується джерело постійного струму, яке на схемі позначено “ДЖ”.

Перед початком вимірювань за допомогою мультиметра виміряти значення опору R_x , отримане значення занести до таблиці 3.

Напругу живлення встановити рівною 20 В, за допомогою амперметра виміряти силу струму I_A , що протікає через резистор R_x , вольтметром виміряти напругу U_V . Отримані значення занести до таблиці 3.3 або 3.4, відповідно до обраної схеми.

Для дослідження впливу методичної похибки на результат вимірювання опору, зберіть електричне коло за схемою за другою схемою (рис. 3.1) та виконайте вимірювання струму та напруги. Результати вимірювань занесіть до таблиці 3.3 або 3.4.

Після проведення вимірювань розрахувати значення електричного опору $R_{x, \text{вим}}$, абсолютні і відносні основні інструментальні похибки приладів, визначити додаткові, методичні і суб'єктивні похибки, оцінити граничне значення опосередкованого вимірювання електричного опору. Записати результат вимірювань. Розраховані значення похибок і результат вимірювань занести до таблиці 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3 – Результати вимірювань опору за схемою правильного вимірювання напруги

Виміряні значення			Розраховані значення похибок									
			Інструментальна				Методична	Суб'єктивна			Гранична	
			Основна		Додаткова							
R_x , Ом	U_V , В	I_A , мА	$\delta(U_V)$, %	$\delta(I_A)$, %	$\delta_d(U_V)$, %	$\delta_d(I_A)$, %	$\delta_m(U_V)$, %	$\delta_c(U_V)$, %	$\delta_c(I_A)$, %	$\Delta_{гр}(R_{x, \text{вим}})$, Ом	$\delta_{гр}(R_{x, \text{вим}})$, %	
Результат вимірювання			$R_{x, \text{вим}}, \text{ Ом}$									
Модель похибки												

Таблиця 3.4 – Результати вимірювань опору за схемою правильного вимірювання струму

Виміряні значення			Розраховані значення похибок								
			Інструментальна				Методична	Суб'єктивна		Гранична	
			Основна		Додаткова						
R_x , Ом	U_V , В	I_A , мА	$\delta(U_V)$, %	$\delta(I_A)$, %	$\delta_d(U_V)$, %	$\delta_d(I_A)$, %	$\delta_m(I_A)$, %	$\delta_c(U_V)$, %	$\delta_c(I_A)$, %	$\Delta_{гр}(R_{x,вим})$, Ом	$\delta_{гр}(R_{x,вим})$, %
$R_{x,вим}$, Ом											
Модель похибки											
Результат вимірювання											

Опрацювання результатів експерименту

Етап 3.1. Складання моделі похибки опосередкованого вимірювання електричного опору.

Модель (рівняння) відносної похибки вимірювання включає складові інструментальних відносних похибок (основних і додаткових), суб'єктивних похибок експериментатора і методичної похибки.

Отриману модель відносної похибки опосередкованого вимірювання електричного опору занести у таблицю 3.3 та 3.4.

Етап 3.2. Визначення інструментальних (основних і додаткових) похибок амперметра та вольтметра.

Основна інструментальна похибка приладів оцінюється на підставі даних про їх клас точності.

Оцінювання додаткових інструментальних похибок виконується на підставі паспортних даних на прилад.

Етап 3.3. Визначення методичних похибок вимірювання електричного опору.

У схемі правильного вимірювання напруги методична похибка становить:

Відносна методична похибка для схеми правильного вимірювання напруги розраховується за формулою (2), для схеми правильного вимірювання струму – за формулою (3).

Систематичну методичну похибку (2) можна вилучити, ввівши поправку до результату вимірювання, тобто врахувавши струм I_V вольтметра:

$$R_{x,п} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - U_V/R_V}. \quad (4)$$

Систематичну методичну похибку (3) можна вилучити, ввівши поправку до результату вимірювання, тобто врахувавши спад напруги на амперметрі:

$$R_{x,вим} = \frac{U_V - U_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} - R_A. \quad (5)$$

Якщо для вибраних приладів і схеми їх ввімкнення виконується умова $|\delta_{гр}(R_{x,вим})| \leq |\delta_{R,доп}|$, де $\delta_{гр}(R_{x,вим})$ – граничне значення похибки вимірювання опору, розраховане за формулою (6) або (7); $\delta_{R,доп}$ – допустиме значення похибки вимірювання опору (задане у задачі), то значення опору об'єкта знаходять за формулою (1), у протилежному випадку - значення опору об'єкта обчислюють за формулою (4) або (5) відповідно до обраної схеми, яка забезпечує найменшу за модулем методичну похибку.

Етап 3.4. Оцінювання граничної похибки вимірювання електричного опору.

Якщо кількість складових сумарної похибки становить не більше 5, то обчислюється граничне значення сумарної відносної похибки, як сума значень граничних похибок:

$$\delta_{y_{гр}} = \pm \left(\sum_{i=1}^n \delta_{i,гр} \right) + \delta_m, \quad (6)$$

де δ_m – методична похибка.

Якщо кількість складових сумарної похибки становить більше 5, то обчислюються довірчі границі сумарної абсолютної похибки. Якщо закон розподілу граничних значень похибок невідомий, то орієнтуючись на найгірший випадок, приймають рівномірний розподіл:

$$\Delta y_{\text{дов}} = \pm (K(P_{\text{дов}}, n) \sqrt{\sum_{i=1}^n C_i^2 \sigma_i^2}) + \delta_m = \pm \left(z(P_{\text{дов}}) \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 \Delta_{i,\text{гр}}^2} \right) + \delta_m \quad (7)$$

де $K(P_{\text{дов}}, n)$ - коефіцієнт, що залежить від довірчої ймовірності $P_{\text{дов}}$ і кількості n складових похибок і дорівнює значенню квантиля стандартного нормального розподілу $z(P_{\text{дов}})$ (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Значення квантилів стандартного нормального розподілу

$P_{\text{дов}}$	$z(P_{\text{дов}})$	$P_{\text{дов}}$	$z(P_{\text{дов}})$	$P_{\text{дов}}$	$z(P_{\text{дов}})$	$P_{\text{дов}}$	$z(P_{\text{дов}})$
0.90	1.65	0.95	1.96	0.99	2.58	0.9973	3

Етап 3.5. Запис результату опосередкованого вимірювання електричного опору.

Якщо сумарну похибку опосередкованого вимірювання електричного опору оцінено як її безумовне граничне значення, то результат вимірювання записується у формі:

$$Y = (y \pm \Delta y_{\text{гр}}).$$

Якщо ж сумарну похибку опосередкованого вимірювання електричного опору оцінено за довірчими границями, то результат вимірювання записується у формі:

$$Y = (y \pm \Delta y_{\text{дов}}), P_{\text{дов}} = \dots, \text{сист. пох. розп.}$$

Етап 3.6. Висновок.

Проаналізувати отримані результати опосередкованого вимірювання опору за схемою правильного вимірювання напруги та струму (табл. 3.3 та 3.4). Зробити висновки щодо точності вимірювань, чи відповідають вони точності заданій у задачі. Надати пропозиції щодо підвищення точності опосередкованого вимірювання опору.

Звіт повинен містити

1. Номер, назву, мету та програму лабораторної роботи.
2. Умову та розв'язання задачі.
3. Метрологічні характеристики використаних приладів (табл. 3.1).

4. Умови виконання вимірювань (табл. 3.2).
5. Електричні принципові схеми опосередкованого вимірювання опору.
6. Таблиці 3.3 та 3.4 з результатами вимірювання.
7. Формули та розрахунки похибок до таблиць 3.3 та 3.4.
8. Висновки.

Список літератури

1. Метрологія та вимірювання. / Дорожовець М. та ін.; під ред. Стадника Б. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2012. – С. 91-104.
1. Основи метрології та вимірювальної техніки. / Дорожовець М. та ін.; під ред. Стадника Б. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», Том 1. Основи метрології, 2005. – С. 135-140, 187-195, 325-335.
2. Теоретическая метрология. / Захаров И.П. – Харьков : ХТУРЕ, 2000. – С. 104-110.

Контрольні запитання

1. Надайте визначення терміну «опосередковане вимірювання». Наведіть декілька прикладів.
2. Що називається методичною похибкою вимірювань?
3. Наведіть схему правильного вимірювання напруги. Поясніть у яких випадках вона використовується.
4. Чому виміряне значення опору за схемою правильного вимірювання напруги відрізняється від істинного значення опору?
5. Наведіть схему правильного вимірювання струму. Поясніть у яких випадках вона використовується. Чи існують способи коригування результату такого вимірювання?

6. Чому вимірне значення опору за схемою правильного вимірювання струму відрізняється від істинного значення опору? Чи існують способи коригування результату такого вимірювання?
7. Як записується результат опосередкованих однократних вимірювань?
8. Як розраховується абсолютна похибка опосередкованого вимірювання?
9. Яким чином обирається схема опосередкованого вимірювання опору?
10. Наведіть послідовність оцінювання похибки опосередкованого вимірювання.

Автори

Гальченко Юлія Миколаївна

Глухова Наталія Вікторівна

**МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ.
РОЗДІЛ «ТЕОРІЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ. ЧАСТИНА 1».
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

для спеціальностей бакалаврів

151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології,

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Видано у редакційній обробці авторів

Електронне видання

НТУ «Дніпровська політехніка».
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.