

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний авіаційний університет**

**ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ**  
**ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ**

**Лабораторний практикум**  
**для студентів спеціальності 141**  
**«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

**КИЇВ 2020**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний авіаційний університет

ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ  
ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Лабораторний практикум  
для студентів спеціальності 141  
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

КИЇВ 2020

УДК 621.3.08 (076.5)  
О751

Укладачі: *А.П. Стахова, Г.В. Мартинюк*

Рецензент д.т.н., доц. *Д.П. Орнатський*

*Затверджено методично-редакційною радою Національного авіаційного університету (протокол №1/20 від 23.06.2020 р.)*

**Основи метрології та електричних вимірювань:** лабораторний  
О751 практикум /уклад.: А.П. Стахова, Г.В. Мартинюк. – К.: НАУ, 2020. – 56 с.

Представлено короткі теоретичні відомості, завдання та методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт, питання для самоперевірки.

Для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
Підготовка до виконання лабораторних робіт.....	5
Лабораторна робота № 1 .....	7
Лабораторна робота № 2 .....	15
Лабораторна робота № 3 .....	22
Лабораторна робота № 4 .....	26
Лабораторна робота № 5 .....	30
Лабораторна робота № 6 .....	35
Лабораторна робота № 7 .....	39
Лабораторна робота № 8 .....	45
Додаток. Умовні позначення на шкалах вимірювальних приладів	54
Список літератури .....	56

## Вступ

Курс «Основи метрології та електричних вимірювань» – одна з основних спеціальних дисциплін, яка потрібна при підготовці студентів, що навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Мета дисципліни – надання знань з основ метрології, принципів побудови засобів вимірювальної техніки, методів і методик вимірювань, критеріїв вибору і раціонального та безпечного застосування засобів вимірювальної техніки для вимірювання електричних і неелектричних величин. Засвоїти і закріпити знання, отриманні при вивченні теоретичного курсу. Підготувати студентів до подальшого вивчення базових інженерних дисциплін.

Вивчаючи дисципліну «Основи метрології та електричних вимірювань», студенти виконують вісім лабораторних робіт, варіанти яких визначаються викладачем.

Кожне завдання супроводжується короткими теоретичними відомостями та методичними вказівками щодо вхідних, вихідних даних і послідовності виконання роботи. Побудова графіків, залежностей, отриманих результатів виконується у звіті лабораторної роботи. Робота вважається виконаною, коли зведені у таблицю результати розгляне викладач.

Деякі довідкові матеріали для виконання лабораторних робіт необхідно взяти з літератури, список якої наведено нижче.

## **Підготовка до виконання лабораторних робіт**

Лабораторні роботи виконуються в обов'язку, передбаченому навчальним планом підготовки у відповідності з робочою програмою дисципліни «Основи метрології та електричних вимірювань». Графік виконання робіт доводиться до відома студентів на першому занятті.

До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які засвоїли теоретичний матеріал за конспектом лекцій, підручником або методичними вказівками та дали правильні відповіді на питання викладача перед початком заняття.

При підготовці до лабораторної роботи необхідно перш за все уважно прочитати підрозділ «Короткі теоретичні відомості». В цьому розділі наведено стислі теоретичні відомості, необхідні для виконання лабораторної роботи. Незрозумілі питання, що виникають при підготовці до виконання лабораторної роботи потрібно з'ясувати під час консультацій.

Рекомендована література дозволяє студенту глибше розібратися в питанні, що поставлено та розкрито в лабораторній роботі, сформулювати відповідні висновки.

## **Оформлення звіту з виконаної роботи**

Звіт оформляється у відповідності із загальними вимогами до текстових документів за ДСТУ 3008-95.

Текст виконується від руки або друкується на принтері на одній стороні аркуша білого паперу формату А4 з обмежувальними рамками. Відстань від верхнього, нижнього та правого краю аркуша до обмежувальної рамки - 5мм, від лівого – 20мм. Не допускається оформлення частини тексту звіту від руки, а частини – друкуванням на принтері. Ця вимога не має відношення до оформлення рисунків.

Перенесення слів в заголовках, запис заголовку на одній сторінці, а початок тексту на іншій, скорочення слів, крім загальноприйнятих, не допускається, крапку в кінці заголовка не ставлять.

Звіт з кожної роботи повинен мати приблизну структуру:

1. Титульний аркуш.
2. Тема та мета роботи.
3. Завдання і номер варіанта.

4. Короткі теоретичні відомості.
5. Послідовність виконання роботи
6. Результати роботи.
7. Висновки.

У підрозділі «Короткі теоретичні відомості» необхідно обов'язково привести основні визначення та рисунки (крім тих, які дозволяється не виконувати).

У підрозділі «Висновки» описати знання, вміння та навички, отримані та набуті при виконанні лабораторної роботи.

Усі підрозділи і рисунки повинні мати номер. Нумерація підрозділів та рисунків включає номер лабораторної роботи і порядковий номер підрозділу або рисунка в межах однієї лабораторної роботи. Номер рисунка розміщують під зображенням, за ним через риску вказується назва рисунка.

Наприклад: *Рисунок 1.1 – Крива поправок* - перший рисунок в звіті з лабораторної роботи №1. Якщо на рисунку вказані елементи, то їх розшифровку рекомендовано наводити під рисунком, перед його назвою.

Формули нумеруються арабськими цифрами. Номер формули вказують на правому боці аркуша у круглих дужках на рівні формули. Цей номер складається з номера лабораторної роботи і порядкового номера формули в ній. Пояснення значень символів у формулах слід писати зразу під формулою в тій же послідовності, як вони подані у формулах. Кожне пояснення пишеться з нового рядка, перший рядок розпочинається словом «де» без двокрапки.

Після виконання всіх лабораторних робіт окремі звіти скріплюються в послідовності виконання робіт в загальний звіт, оформляється титульний аркуш, всі сторінки нумеруються. Нумерація наскрізна.

**Здача відпрацьованих робіт.** Робота вважається виконаною у тому разі якщо студент відповів на теоретичні питання що до теми роботи, отримав у викладача індивідуальне завдання, провів необхідний обсяг розрахунків, оформив та захистив отримані результати.

Виконання і своєчасний захист всіх лабораторних робіт є обов'язковою умовою допуску студента до підсумкової атестації студента.

## **ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ І НОРМОВАНІ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Мета роботи:** визначення основних класифікаційних ознак і нормованих метрологічних характеристик засобів вимірювань, що використовуються.

### **Короткі теоретичні відомості**

**Основні поняття і визначення.** Засіб вимірювання - це технічний засіб, призначений для вимірювань, має нормовані метрологічні характеристики, що відтворює і/або зберігає одиницю фізичної величини, розмір якої приймають незмінним (в межах встановленої похибки) протягом відомого інтервалу часу.

Засоби вимірювання (ЗВ), що використовуються в різних областях науки і техніки, дуже різноманітні. Можна виділити деякі загальні ознаки, властиві всім ЗВ незалежно від області застосування. Ці ознаки покладені в основу різних класифікацій ЗВ, деякі з них наведені далі.

#### **Класифікація засобів вимірювань**

*За технічним призначенням:*

Міра фізичної величини - ЗВ, призначений для відтворення і/або зберігання фізичної величини одного або декількох заданих розмірів, значення яких виражені у встановлених одиницях і відомі з необхідною точністю;

Розрізняють такі різновиди мір:

- однозначна міра - міра, яка відтворює фізичну величину одного розміру;
- багатозначна міра - міра, яка відтворює фізичну величину різних розмірів;
- набір мір - комплект мір різного розміру однієї і тієї ж фізичної величини, призначений для застосування на практиці;
- магазин мір - набір мір, конструктивно об'єднаних в єдиний пристрій, із застосуванням для їх з'єднання в різних комбінаціях.

Вимірювальний прилад - ЗВ, призначений для отримання значень вимірюваної фізичної величини у встановленому діапазоні. Як правило, містить пристрій для перетворення вимірюваної величини в сигнал вимірювальної інформації і його індексацію в



формі, найбільш доступну для сприйняття. У багатьох випадках пристрій для індикації має шкалу зі стрілкою або іншим пристроєм, діаграму з пером або цифрове табло, завдяки яким може бути проведений відлік або реєстрація значень фізичної величини.

Залежно від виду вихідної величини розрізняють аналогові та цифрові вимірювальні прилади.

– аналоговий вимірювальний прилад - це вимірювальний прилад, показання (або вихідний сигнал) якого є безперервною функцією вимірюваної величини.

– цифровий вимірювальний прилад - це вимірювальний прилад, показання якого представлені в цифровій формі.

У цифровому приладі відбувається перетворення вхідного аналогового сигналу вимірювальної інформації в цифровий код, і результат вимірювання відбивається на цифровому табло.

За формою подання вихідної величини вимірювальні прилади поділяють на показуючі та реєструючі вимірювальні прилади.

– показуючий вимірювальний прилад - прилад, що допускає тільки відлік показань значень вимірюваної.

– реєструючий вимірювальний прилад - вимірювальний прилад, в якому передбачена реєстрація показань. Реєстрація значень вимірюваної величини може здійснюватися в аналоговій або цифровій формі, у вигляді діаграми, шляхом друкування на паперовій стрічці.

Вимірювальний перетворювач - технічний засіб з нормативними метрологічними характеристиками, що служить для перетворення вимірюваної величини в іншу величину або вимірювальний сигнал, зручний для обробки, зберігання, подальшого перетворення, індикації або передачі. Отримана в результаті перетворення величина або вимірювальний сигнал, не доступний для безпосереднього сприйняття спостерігачем, вона визначається через коефіцієнт перетворення.

Вимірювальний перетворювач чи входить до складу вимірювального приладу (вимірювальної установки, вимірювальної системи), або ж застосовується разом з будь-яким засобом вимірювань.

Вимірювальна установка (вимірювальна машина) - сукупність функціонально об'єднаних мір, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів та інших пристроїв, призначена

для вимірювання однієї або декількох фізичних величин і розташована в одному місці;

Вимірювальна система - сукупність функціонально об'єднаних мір, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів, ЕОМ та інших технічних засобів, розміщених в різних точках контрольованого об'єкта, з метою вимірювання однієї або декількох фізичних величин, властивих цьому об'єкту;

Вимірювально-обчислювальний комплекс - функціонально об'єднана сукупність засобів вимірювальної техніки, ЕОМ і допоміжних пристроїв, призначена для виконання в складі вимірювальної системи конкретної вимірювальної задачі.

*За метрологічним призначенням* усі ЗВ підрозділяються на еталони, робочі еталони і робочі ЗВ.

Еталон одиниці фізичної величини (еталон) - ЗВ (або комплекс засобів вимірювань), призначений для відтворення та/або зберігання одиниці та передачі її розміру нижчим за повірочною схемою засобам вимірювань і затверджене як еталон в установленому порядку.

Робочий еталон - еталон, призначений для передачі розміру одиниці робочим засобам вимірювань.

Робочий засіб вимірювань - ЗВ, призначений для вимірювань, не пов'язаних з передачею розміру одиниці іншим засобам вимірювань.

По значущості вимірюваної фізичної величини все ЗВ підрозділяються на основні і допоміжні засоби вимірювань.

Основні засоби вимірювання тої фізичної величини, значення якої необхідно отримати у відповідності з вимірювальним завданням;

Допоміжні ЗВ тої фізичної величини, вплив якої на основний засіб вимірювання або об'єкт вимірювань необхідно враховувати для отримання результатів вимірювань необхідної точності.

Для кожного типу засобів вимірювальної техніки встановлюють свої метрологічні характеристики. Метрологічні характеристики, що встановлюються нормативно-технічними документами, називають нормованими метрологічними характеристиками, а визначені експериментально - дійсними метрологічними характеристиками.

Метрологічна характеристика ЗВ - характеристика одної із властивостей ЗВ, що впливає на результат вимірювань і на його похибку.

Усі метрологічні характеристики ЗВ можна розділити на дві групи:

- характеристики, що впливають на результат вимірювань (що визначають область застосування ЗВ);
- характеристики, що впливають на точність (якість) вимірювання.

До основних метрологічних характеристик, що впливають на результат вимірювань, відносяться:

- діапазон вимірювань вимірювальних приладів;
- значення однозначної або багатозначної міри;
- функція перетворення вимірювального перетворювача;
- ціна поділки шкали вимірювального приладу або багатозначної міри;
- вид вихідного коду, число розрядів коду, ціна одиниці найменшого розряду коду засобів вимірювання, призначених для видачі результатів в цифровому коді.

Діапазон вимірювань ЗВ - область значень величини, в межах якої нормовані допустимі границі похибки засобу вимірювань (для перетворювачів - це діапазон перетворення).

Значення величини, що обмежують діапазон вимірювань знизу і зверху (зліва і справа), називають відповідно нижньою границею вимірювань або верхньою границею вимірювань. Для мір - границі відтворення величин.

Однозначні міри мають номінальне і дійсне значення відтворюваної величини.

Номінальне значення міри - значення величини, що приписане мірі або партії мір при виготовленні.

Справжнє значення міри - значення величини, що приписане мірі на підставі її калібрування чи перевірки.

Діапазон показань ЗВ - область значень шкали приладу, обмежена початковим і кінцевим значеннями шкали.

Ціна поділки шкали - різниця значення величин, що відповідає двом сусіднім позначкам шкали ЗВ.

До метрологічних характеристик, що визначають точність вимірювань, відноситься похибка ЗВ і клас точності ЗВ.

Похибка ЗВ - різниця між показанням засоби вимірювань ( $x$ ) і істинним (дійсним) значенням ( $x_0$ ) вимірюваної фізичної величини.

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1.1)$$

В якості  $x_0$  виступає або номінальне значення, або значення величини, яка вимірюється більш точним (< на порядок) ЗВ.

Похибки ЗВ можуть бути класифіковані по ряду ознак, зокрема:

- по відношенню до умов вимірювання - основні, додаткові;
- за способом вираження (за способом нормування) - абсолютні, відносні, наведені.

Основна похибка ЗВ - похибка засобу вимірювання, що застосовується в нормальних умовах. Нормальними умовами експлуатації вважають:

- температура  $(293 \pm 5)$  К або  $(20 \pm 5)$  °С;
- відносна вологість повітря  $(65 \pm 15)\%$  при 20 °С;
- напруга в мережі  $220 \text{ В} \pm 10\%$  з частотою  $50 \text{ Гц} \pm 1\%$ ;
- атмосферний тиск від 97,4 до 104 кПа.

Додаткова похибка ЗВ - складова похибки ЗВ, що виникає додатково до основної похибки внаслідок відхилення будь-якої з впливаючих величин від нормального її значення або внаслідок її виходу за межі нормальної області значень.

При нормуванні характеристик похибок ЗВ встановлюють межі допустимих похибок (позитивний і негативний).

Межі допустимих основної та додаткової похибок виражаються в формі абсолютних, наведених або відносних похибок в залежності від характеру зміни похибок в межах діапазону вимірювань. Межі додаткової похибки можна виражати у формі, відмінній від форми вираження меж допустимої основної похибки.

Абсолютна похибка ЗВ - похибка ЗВ, виражена в одиницях вимірюваної фізичної величини, визначається за формулою (1.1). Межі основної абсолютної похибки можуть бути задані у вигляді:

$$\Delta = \pm a \cdot F \quad \text{або} \quad \Delta = \pm (a + bx),$$

де  $\Delta$  - межі допустимої абсолютної похибки, вираженої в одиницях вимірюваної величини на вході (виході) або умовно в поділках шкали;  $x$  - значення вимірюваної величини на вході (виході) засобів вимірювальної техніки або число поділок, відрахованих за шкалою;  $a, b$  - позитивні числа, не залежні від  $x$ .

Приведена похибка ЗВ - відносна похибка, виражена відношенням абсолютної похибки ЗВ до умовно прийнятого значення величини (нормуючим значенням), постійного на всьому діапазоні вимірювань або в частині діапазону. Визначається за формулою (1.2):

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100 \%, \quad (1.2)$$

де  $\gamma$  - межі допустимої приведенної основної похибки,%;  $\Delta$  - межі допустимої абсолютної основної похибки;  $x_N$  - нормуюче значення, виражене в тих же одиницях, що і  $\Delta$ ;

Межі приведенної основної похибки слід встановлювати у вигляді:

$$\gamma = \pm p,$$

де  $p$  - абстрактне позитивне число, обирається з ряду  $1 \cdot 10n$ ;  $1,5 \cdot 10n$ ;  $(1,6 \cdot 10n)$ ;  $2 \cdot 10n$ ;  $2,5 \cdot 10n$ ;  $(3 \cdot 10n)$ ;  $4 \cdot 10n$ ;  $5 \cdot 10n$ ;  $6 \cdot 10n$  ( $n = 1, 0, -1, -2, \dots$ ).

Нормуюче значення  $x_N$  приймається рівним:

- кінцевому значенню робочої частини шкали ( $x_k$ ), якщо нульова відмітка знаходиться на краю або поза робочої частини шкали (рівномірної або статечної);

- сумі кінцевих значень шкали (без урахування знака), якщо нульова відмітка - всередині шкали;

- модулю різниці меж вимірювань для ЗВ, шкала яких має умовний нуль;

- довжині шкали або її частини, що відповідає діапазону вимірювань, якщо вона істотно нерівномірна. В цьому випадку абсолютну похибку, як і довжину шкали, треба виражати в міліметрах.

Відносна похибка ЗВ - похибка ЗВ, виражена відношенням абсолютної похибки ЗВ до результату вимірів або до дійсного значення вимірюваної фізичної величини.

Відносна похибка ЗВ обчислюється по формулі (1.3):

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \%, \quad (1.3)$$

де  $\delta$  - межі допустимої відносної основної похибки,%;  $\Delta$  - межі абсолютної похибки, вираженої в одиницях вимірюваної величини

на вході (виході) або умовно в поділках шкали;  $x$  - значення вимірюваної величини на вході (виході) засобів вимірювальної техніки або число поділок, відрахованих за шкалою.

Межі допустимої відносної основної похибки встановлюють: якщо  $\Delta = \pm bx$ , то у вигляді

$$\delta = \pm q,$$

де  $q$  - абстрактне позитивне число, вибирається з ряду, наведеного вище; або, якщо  $\Delta = \pm(a + bx)$ , то у вигляді

$$\delta = \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right],$$

де  $x_k$  - - більший (по модулю) з меж вимірювань;  $c, d$  - позитивні числа, які обираються з ряду, наведеного вище,

$$c = b + d, \quad d = \frac{a}{|x_k|},$$

де  $a, b$  - позитивні числа, не залежні від  $x$ .

В обґрунтованих випадках межі допустимої основної відносної похибки визначають за складнішими формулами або у вигляді графіка або таблиці.

Клас точності ЗВ - узагальнена характеристика даного типу ЗВ, як правило, відображає рівень їх точності, що виражається межами допустимих основної та додаткової похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на точність. Клас точності дає можливість судити про те, в яких межах знаходиться похибка вимірювань цього класу. Це важливо при виборі ЗВ в залежності від заданої точності вимірювання.

Правила побудови і приклади позначення класів точності в документації та на ЗВ наведені в табл. 1.1. Позначення класу точності наносять на циферблати, щитки і корпус ЗВ, приводять в нормативній документації.

Номенклатура нормованих метрологічних характеристик ЗВ визначається призначенням, умовами експлуатації і багатьма іншими факторами. Норми на основні метрологічні характеристики наводять в стандартах, в технічних умовах та експлуатаційній документації на ЗВ.

Чутливість і ціна поділки приладу. Чутливістю приладу називається відношення лінійного або кутового переміщення  $n$

показчика до вимірюваної величини  $x$ , що викликає це переміщення:

$$S = \frac{n}{x}$$

Величина, зворотна чутливості, називається ціною поділки приладу:

$$C = \frac{1}{S} = \frac{x}{n}$$

Для переведення числа поділок в одиниці вимірюваної величини необхідно відлік за шкалою помножити на ціну поділки шкали для цієї межі вимірювання.

Таблиця 1.1

Форми кількісного відображення границь допустимої основної похибки	Формули границь допустимої основної похибки	Приклади позначення класів точності:			
		значення похибки, %	у документації	на засобах вимірювальної техніки	
приведена	$\gamma = \pm p$	1,0	клас точності 1,0	1,0 або $\sphericalangle 1,0$	
Відносна	у вигляді одночленної формули (якщо $\delta = \text{const}$ )	$\delta = \pm q$	1,5	клас точності 1,5	$\textcircled{1,5}$
	у вигляді двочленної формули	$\delta = \pm \left[ c + d \left( \left  \frac{x_k}{x} \right  - 1 \right) \right]$	$c = 0,05$ $d = 0,02$	клас точності 0,05/0,02	0,05/0,02
	в інших формах надання (таблиці, графіки, формули)	-	-	клас точності C	C
Абсолютна	$\Delta = \pm a \cdot F$ ; $\Delta = \pm (a+bx)$		клас точності D	D	

Ціна поділки - це число одиниць вимірюваної величини, що припадає на одну поділку шкали. Щоб визначити ціну поділки шкали, потрібно межу вимірювання приладу розділити на загальне число поділок шкали.

### Порядок проведення роботи

1. Ознайомитися з основними класифікаційними ознаками і нормованих метрологічними характеристиками засобів вимірювань, які використовуються.

2. Зібрати схему рис. 1.1.

3. Визначити ціну поділки амперметра.

4. Змінювати напругу, що подається до вимірювального кола, значення напруги, що визначається цифровим вольтметром занести в табл. 1.2.

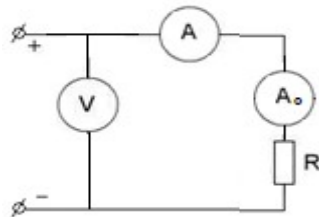


Рис.1.1. Визначення сили струму

5. Для кожного зафіксованого значення напруги зняти показання амперметра, занести в табл. 1.2.

6. Розрахувати абсолютні, відносні і приведені похибки для вимірних значень сили струму. Результати розрахунків внести в табл. 1.2.

8. Зробити висновок чи зберігається клас точності засобу вимірювання, що використовувався.

Таблиця 1.2

№ з/п	$I, A$	$I_0, A$	$U_{ц}, B$	$\Delta I, A$	$\delta, \%$	$\gamma, \%$
1						
...						

### Лабораторна робота 2

#### НЕПРЯМІ ОДНОРАЗОВІ ВИМІРЮВАННЯ. ВИМІРЮВАННЯ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, НАПРУГИ, ОПОРУ

**Мета роботи:** освоєння методів проведення одноразових прямих і непрямих вимірювань; набуття практичних навичок аналізу і зіставлення точності результатів непрямих вимірювань з точністю засобів вимірювань, що використовуються при проведенні прямих вимірювань.



## Короткі теоретичні відомості

Вимірюванням називають сукупність операцій із застосування технічного засобу, що зберігає одиницю фізичної величини, що забезпечують знаходження співвідношення (в явному або неявному вигляді) вимірюваної величини з її одиницею і отримання значення цієї величини.

Вимірювання є основним джерелом інформації про відповідність продукції вимогам нормативної документації. Тільки достовірність і точність вимірювальної інформації забезпечують правильність прийняття рішень про якість продукції, на всіх рівнях виробництва, при випробуваннях виробів, в наукових експериментах і т.д.

Вимірювання класифікуються:

а) за кількістю спостережень:

– одноразове вимірювання - вимірювання, яке виконує один раз. Недоліком цих вимірювань є можливість грубої помилки - промаху;

– багаторазове вимірювання - вимір фізичної величини одного і того ж розміру, результат якого отримано з кількох слідуючих один за одним вимірювань, тобто що складається з ряду одноразових вимірювань.

Зазвичай їх число  $n \geq 3$ . Багаторазові вимірювання проводять з метою зменшення впливу випадкових факторів на результат вимірювань;

б) за характером точності (за умовами вимірювання):

– рівноточні вимірювання - ряд вимірювань будь-якої величини, виконаних однаковими по точності ЗВ в одних і тих же умовах з однаковою ретельністю;

– нерівноточні вимірювання - ряд вимірювань будь-якої величини, виконаних декількома відрізняючимися за точністю ЗВ і/або в різних умовах;

в) за вираженням результату вимірювання:

– абсолютний вимір - вимірювання, засноване на прямих вимірюваннях однієї або декількох основних величин і/або використанні значень фізичних констант;

– відносний вимір - вимірювання відношення величини до однойменної величини, що відіграє роль одиниці, або вимірювання

зміни величини по відношенню до однойменної величини, прийнятої за вихідну;

г) за способом отримання результату вимірювання:

– пряме вимірювання - це вимірювання, при якому шукане значення фізичної величини отримують безпосередньо;

– непряме вимірювання - це визначення шуканого значення фізичної величини на підставі результатів прямих вимірювань інших фізичних величин, функціонально пов'язаних з шуканою величиною;

– сукупні вимірювання - це проведені одночасно вимірювання кількох однойменних величин, при яких шукані значення величин визначають шляхом вирішення системи рівнянь, одержуваних при вимірюваннях цих величин в різних поєднаннях;

– сумісні вимірювання - це проведені одночасно вимірювання двох або більше різноіменних величин для визначення залежності між ними;

д) за характером зміни вимірюваної фізичної величини:

– статичне вимірювання - вимірювання фізичної величини, прийнятої відповідно до конкретної вимірювальної задачі за незмінну протягом часу вимірювання;

– динамічне вимірювання - вимірювання змінюється за розміром фізичної величини;

е) за метрологічним призначенням засобів вимірювань, що використовуються:

– технічні вимірювання - вимірювання за допомогою робочих засобів вимірювань;

– метрологічні вимірювання - вимірювання за допомогою еталонних засобів вимірювань з метою відтворення одиниць фізичних величин для передачі їх розміру робочим засобам вимірювань.

Результати вимірювань представляють собою наближені оцінки значень величин, знайдені шляхом вимірювань, бо навіть найточніші прилади не можуть показати дійсного значення вимірюваної величини. Обов'язково існує похибка вимірювань, причинами якої можуть бути різні чинники. Вони залежать від методу вимірювання, від технічних засобів, за допомогою яких проводяться вимірювання, і від сприйняття спостерігача, який здійснює вимірювання.

Точність результату вимірювань - це одна з характеристик якості вимірювання, що відображає близькість до нуля похибки результату вимірювання.

Похибка вимірювання  $\Delta x$  - відхилення результату вимірювання  $x$  від істинного або дійсного значення ( $\Delta x_i$  або  $\Delta x_0$ ) вимірюваної величини, визначається за формулою (2.1):

$$\Delta x = x - x_{i(0)}. \quad (2.1)$$

Істинне значення фізичної величини - значення фізичної величини, яке ідеальним чином характеризує в якісному і кількісному відношенні відповідну фізичну величину.

Воно може бути отримано тільки в результаті нескінченного процесу вимірювань з нескінченим вдосконаленням методів і засобів вимірювань.

Дійсне значення фізичної величини - значення фізичної величини, отримане експериментальним шляхом і настільки близьке до істинного значення, що до поставленої вимірювальної задачі може бути використано замість нього.

Похибки вимірювання так само можуть бути класифіковані по ряду ознак, зокрема:

- а) за способом числового виразу;
- б) за характером прояву;
- в) за видом джерела виникнення (причин виникнення).

За способом числового виразу похибка вимірювання може бути:

Абсолютна похибка вимірювання ( $\Delta x$ ) являє собою різницю між вимірюваною величиною і дійсним значенням цієї величини, вираз (1.1).

Відносна похибка вимірювання ( $\delta$ ) являє собою відношення абсолютної похибки вимірювання до дійсного значення вимірюваної величини, може виражатися у відносних одиницях або у відсотках, визначається за формулою (2.2):

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \text{ або } \delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100 \%. \quad (2.2)$$

Залежно від характеру прояву розрізняють систематичну ( $\Delta_c$ ) і випадкову ( $\Delta_0$ ) складові похибки вимірювань, а також грубі похибки (промахи).

Систематична похибка вимірювання ( $\Delta_c$ ) - це складова похибки результату вимірів, що залишається постійною або закономірно

змінюється при повторних вимірах однієї і тієї ж фізичної величини.

Випадкова похибка вимірювання ( $\Delta^0$ ) - складова похибки результату вимірювання, що змінюється випадковим чином при повторних вимірюваннях, проведених з однаковою ретельністю, однією і тією ж фізичної величини.

Грубі похибки виникають через помилкові дії оператора, несправності ЗВ або різких змін умов вимірювань.

Залежно від виду джерела виникнення похибки розглядаються наступні складові загальної похибки вимірювань:

Похибки методу - обумовлені недосконалістю методу вимірювань, прийомами використання ЗВ, некоректністю розрахункових формул і округлення результатів, що виникають від помилковості або недостатньої розробки прийнятої теорії методу вимірювань в цілому або від допущених спрощень при проведенні вимірювань.

Інструментальні складові похибки - це похибки, які залежать від похибок застосовуваних засобів вимірювань.

Суб'єктивні складові похибки - обумовлені індивідуальними особливостями спостерігача.

*Наближене оцінювання похибки.*

*Одноразові вимірювання.* Переважна більшість технічних вимірювань є одноразовими. Виконання одноразових вимірювань обґрунтовують наступними факторами:

- виробничою необхідністю;
- можливістю нехтування випадковими похибками;
- випадкові похибки суттєві, але довірча межа похибки результату вимірювання не перевищує допустимої похибки вимірювань.

За результат одноразового вимірювання приймають одне значення відліку показання приладу. Будучи випадковим, одноразовий відлік  $x$  включає в себе інструментальну, методичну та особисту складові похибки вимірювання, в кожній з яких можуть бути виділені систематичні і випадкові складові похибки.

Непрямі вимірювання. При непрямих вимірах шукане значення величини знаходять розрахунком на основі прямих вимірювань інших фізичних величин, функціонально пов'язаних з шуканою величиною відомою залежністю

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.3)$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$  - підлягають прямим вимірюваннями аргументи функції  $y$ .

Результатом непрямого вимірювання є оцінка величини  $y$ , яку знаходять підстановкою в формулу виміряних значень аргументів  $x_i$ .

Оскільки кожен з аргументів  $x_i$  вимірюється з деякою похибкою, то задача оцінювання похибки результату зводиться до підсумовування похибок вимірювання аргументів.

Для оцінки похибок істотним є поділ непрямих вимірювань на лінійні і нелінійні непрямі вимірювання.

При лінійних непрямих вимірах рівняння вимірювань має вигляд:

$$y = \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i,$$

де  $b_i$  - постійні коефіцієнти при аргументах  $x_i$ .

Результат лінійного непрямого вимірювання обчислюють за формулою, підставляючи в неї виміряні значення аргументів. Похибки вимірювання аргументів  $x_i$  можуть бути задані своїми межами.

При малому числі аргументів (менше п'яти) проста оцінка похибки результату виходить простим підсумовуванням граничних похибок (без урахування знака), тобто підстановкою меж  $x_1, x_2, \dots, x_n$  в вираз (2.4):

$$\Delta y = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n \quad (2.4)$$

Однак ця оцінка є занадто завищеною, оскільки таке підсумовування фактично означає, що похибки вимірювання всіх аргументів одночасно мають максимальне значення і збігаються за знаком. Імовірність такого збігу практично дорівнює нулю. Для знаходження більш реалістичної оцінки переходять до статичного підсумовування похибки аргументів за формулою:

$$\Delta y = k \left( \sum_{i=1}^n b_i^2 \cdot x_i^2 \right)^{\frac{1}{2}},$$

де  $k$  - коефіцієнт, який визначається прийнятою довірчою ймовірністю (при  $P = 0,9$  при  $k = 1,0$ ;  $P = 0,95$  при  $k = 1,1$ ;  $P = 0,99$  при  $k = 1,4$ ).

При складній функції (2.3), особливо, якщо це функція декількох аргументів, визначення закону розподілу похибки результату пов'язано зі значними математичними труднощами. Тому в основі наближеного оцінювання похибки нелінійних непрямих вимірювань лежить лінеаризація функції (2.3) і подальша обробка результатів, як при лінійних вимірах.

Запишемо вираз для повного диференціала функції у через частні похідні по аргументам  $x_i$ :

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} dx_n . \quad (2.5)$$

За визначенням повний диференціал функції - це приріст функції, викликаний малими приростом її аргументів.

Зважаючи, що похибки вимірювання аргументів завжди є малими величинами в порівнянні з номінальними значеннями аргументів, можна замінити у формулі (2.5) диференціали аргументів  $dx_n$  на похибку вимірювань  $\Delta x_n$ , а диференціал функції  $dy$  на похибку результату вимірювання  $\Delta y$ :

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n . \quad (2.6)$$

Якщо проаналізувати формулу (2.6), то можна отримати просте правило оцінювання похибки результату нелінійного непрямого вимірювання.

Похибки в добутках та частинних. Якщо виміряні значення  $x_1, x_2, \dots, x_n$  використовуються для обчислення  $y = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$  або

$y = \frac{x_1}{x_2}$ , то підсумовуються відносні похибки

$$\partial y = \partial x_1 + \partial x_2 + \dots + \partial x_n, \text{ де } \partial y = \frac{\Delta y}{y} .$$

### Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з класифікацією, умовними позначеннями і принципом дії приладів.
2. Зібрати схему рис. 2.1.
3. Встановити на амперметр і вольтметр найбільші межі. Визначити ціну поділки.
4. Встановити на реостаті опір  $R_{\text{вим}} \approx 900 \text{ Ом}$ .

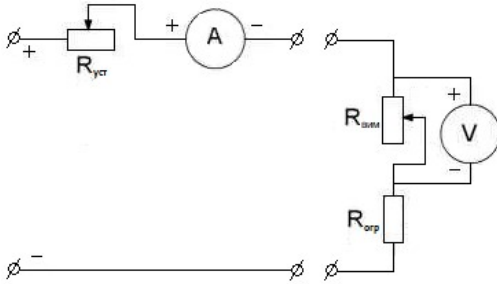


Рис.2.1. Визначення опору провідника  $R_{\text{вим}}$

5. Зняти показання амперметра і вольтметра.

6. Користуючись законом Ома для ділянки кола, розрахувати опір і порівняти його з тим, що встановлено на  $R_{\text{вим}}$ .

7. Повторити вимірювання для  $R_{\text{вим}} \approx 800, 700, 600, 500$  Ом.

8. Розрахувати похибку для вимірювання, користуючись формулою

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U},$$

де  $\frac{\Delta I}{I}$  - відносна похибка амперметра,  $\frac{\Delta U}{U}$  - відносна похибка вольтметра.

9. Вимірювання і результати розрахунків внести в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

№ з/п	I, А	U, В	$R_{\text{вим}}$ , Ом	$R_{\text{розр}}$ , Ом	$\Delta R$ , Ом	$\delta$ , %
1						
...						

### Лабораторна робота 3

## ПОВІРКА ГРАДУЮВАННЯ АМПЕРМЕТРА ПО ЗРАЗКОВОМУ ПРИЛАДУ

**Мета роботи:** провести повірку градуювання шкали амперметра методом звірення з показаннями зразкового приладу. Визначити абсолютні похибки і поправки до показань. Знайти найбільшу приведену похибка приладу. Виміряти опір обмотки амперметра і обчислити потужність, споживану їм при повному відхиленні стрілки.

### Короткі теоретичні відомості

Технічні амперметри класів 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 потребують періодичної повірки, тобто в порівнянні їх показань з показаннями більш точних приладів, прийнятих за зразкові.

При повірці зазвичай визначаються: абсолютні похибки, поправки до показань приладу, приведена похибка і власне споживання потужності приладом при повному відхиленні стрілки.

Абсолютні похибки  $\Delta I$  амперметра визначаються різницею між величинами  $I$ , що вказуються вивіреним приладом, і дійсними значеннями  $I_0$  вимірюваних їм величин, знайденими за показаннями зразкового амперметра, тобто

$$\Delta I = I - I_0 \quad (3.1)$$

Поправки  $\Delta I_0$  до показань амперметра знаходяться як різниця між дійсними значеннями  $I_0$  вимірюваної величини і показаннями повіряемого приладу, тобто

$$\Delta I_0 = I_0 - I \quad (3.2)$$

і залежать від положення стрілки повіряемого приладу, тобто  $\Delta I_0 = f(I)$ .

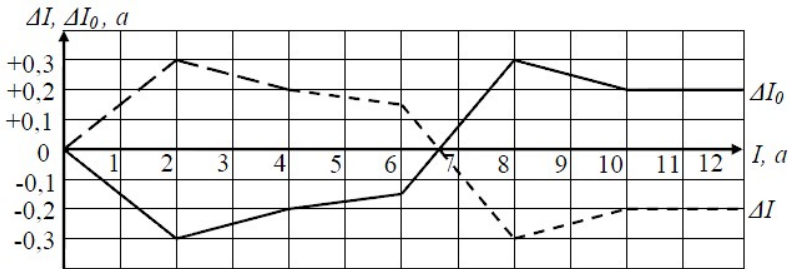


Рис.3.1. Криві абсолютних похибок  $\Delta I$  амперметра і поправок  $\Delta I_0$  до його показань

Абсолютні похибки  $\Delta I$  і поправки  $\Delta I_0$  до показань амперметра можуть мати як позитивні, так і негативні значення (рис.3.1).

Найбільша приведена похибка  $\gamma_{прив}$  амперметра виражається у відсотках від верхньої межі  $I_n$  його показання з урахуванням поправки до нього, тобто як

$$\gamma_{прив} = \frac{(\Delta I)_{\max}}{I_n} \cdot 100\% \quad (3.3)$$

Величина, підрахована за формулою (3.3) для амперметрів, придатних до експлуатації, не повинна перевищувати значень, встановлених для даного класу повіреного приладу.

Якщо це не дотримується, то прилад повинен бути відремонтований і знову повірений, а в разі необхідності переградуйований і навіть переведений в нижчий клас.



Техніка повірки амперметрів за зразковим стрілочних приладах полягає в безпосередньому порівнянні показань повіряємих приладів з відліками аналогічних приладів вищого класу, прийнятих в якості зразкових.

При перевірці амперметрів класів 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 клас зразкових приладів повинен бути відповідно не нижче 0,2; 0,5; 1,0; 1,5, причому верхня межа їх вимірювання може відрізнятись від верхньої межі вимірювання вивіреного приладу не більше 25%.

Як правило, амперметри методом звірення повіряються на змінному струмі, за винятком приладів постійного струму і приладів постійного і змінного струму при відсутності зразкових приладів змінного струму.

При перевірці приладів в ланцюгах постійного струму в якості зразкових приладів використовують прилади магнітоелектричної, а в ланцюгах змінного струму - електродинамічної системи.

При повірці амперметрів необхідно струм плавно збільшувати так, щоб стрілка повіряемого приладу в момент відліків по черзі перебувала на всіх оцифрованих поділках шкали до поділки, що відповідає номінальному струму приладу, а потім зменшувати струм до нуля і встановлювати стрілку на ті ж поділки шкали.

Справжнє значення струму, що відповідає різним положенням стрілки повіряемого амперметра, визначається за показаннями зразкового приладу:

$$I_0 = C_\alpha (\alpha + \sigma_\alpha),$$

де  $C_\alpha$  - ціна поділки шкали зразкового амперметра, А /поділ;  $\alpha$  - показання амперметра, поділ.;  $\sigma_\alpha$  - поправка для даної відмітки шкали згідно зі свідоцтвом на зразковий амперметр, виражена в поділках шкали (у випадку, коли шкали не збігаються з числовими відмітками, поправка знаходиться шляхом інтерполяції).

Амперметри класів 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 перед повіркою прогріваються номінальним струмом, після чого струм вимикається, а стрілки амперметрів встановлюються регульовальними гвинтами на нульову поділку шкали.

Амперметри електромагнітної системи можуть не піддаватися попередньому нагріванню.

Опір обмотки повіряемого амперметра і потужність, споживана приладом при повному відхиленні стрілки:

$$r_A = \frac{U_A}{I_n};$$

$$P_A = U_A I_n,$$

де  $r_A$  - опір обмотки амперметра, Ом,  $U_A$  - падіння напруги на амперметр при повному відхиленні стрілки, В,  $I_n$  - найбільший струм, який вимірюється повіряємим амперметром з урахуванням поправки до його показання при повному відхиленні стрілки, А,  $P_A$  - потужність, споживана амперметром при повному відхиленні його стрілки, Вт.

### Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з приладами та іншим обладнанням і записати в протокол випробування технічні характеристики (див. Додаток).
2. Розшифрувати позначення на шкалах приладів користуючись Додатком, занести в табл. 3.1.
3. Зібрати схему (рис.3.2) повірки градуювання амперметра, поставити повзунки регулювальних реостатів  $r_p$  та  $r'_p$  в положення, що відповідають їх найбільшому опору, і після перевірки схеми керівником включити двополосний рубильник  $P$ .

Таблиця 3.1

№ з/п	Найменування приладу	Межі вимірювань	Ціна поділки	Система приладу	Клас точності

4. Повільно пересуваючи повзунки регулювальних реостатів, домогтися повного відхилення стрілки повіряемого амперметра А, а потім протягом 3 хв. прогрівати прилади струмом.

5. Після прогріву вимкнути установку, регулювальними гвинтами встановити стрілки обох приладів на нульові поділки шкал і приступити до перевірки технічного амперметра на всіх оцифрованих поділках шкали при безперервному збільшенні струму до номінального і подальшому зменшенні до нуля.

6. Розрахувати для всіх дослідів абсолютні похибки  $\Delta I$  і поправки  $\Delta I_0$  до показань технічного амперметра за формулами (3.1 - 3.2) і результати розрахунків об'єднати з даними спостережень в табл. 3.2.

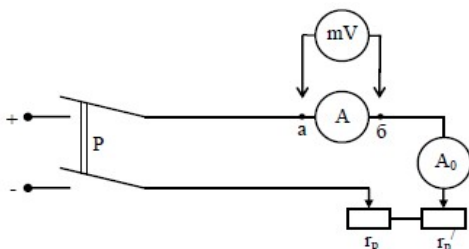


Рис. 3.2. Схема повірки градуювання амперметра

7. Визначити рис.3.2. Схема повірки градуювання амперметра найбільшу приведену похибку  $\gamma_{прив}$  приладу, обчислення занести в табл. 3.2. і надати рішення про можливість його подальшої експлуатації.

8. Побудувати в одній системі координат залежності  $I_0 = f(I)$  та  $\Delta I_0 = f(I)$ , знайти по ним справжнє значення номінального струму вивіреного технічного амперметра при повному відхиленні його стрілки. Приєднати вольтметр до затискачів *a* й *б* (рис. 3.2), встановити в ланцюзі струм повного відхилення стрілки повіряемого амперметра і, коли вона встановиться на кінцевому діленні шкали, записати показання приладів в табл. 3.3.

Таблиця 3.2

№ з/п	Дані спостережень		Результати обчислень		
	Показання амперметрів		$\Delta I$ , А	$\Delta I_0$ , А	$\gamma_{прив}$ , %
	технічного $I$ , А	зразкового $I_0$ , А			
1...					

9. Обчислити величину опору  $r_A$  обмотки поверяемого амперметра, а також власне споживання їм потужності  $P_A$  при повному відхиленні стрілки. Результати записати в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

$I$ , А	mV, мВ	$r_A$ , Ом	$P_A$ , Вт

#### Лабораторна робота 4

### ПОВІРКА ГРАДУЮВАННЯ ВОЛЬТМЕТРА ПО ЗРАЗКОВОМУ ПРИЛАДУ

**Мета роботи:** Повірити градуювання шкали вольтметра методом звірення з показаннями зразкового приладу. Визначити абсолютні похибки і поправки до показань приладу. Знайти найбільшу приведену похибка повіряемого приладу. Виміряти опір обмотки

вольтметра і обчислити потужність, споживану їм при повному відхиленні стрілки.

### Короткі теоретичні відомості

При повірці зазвичай визначаються: абсолютні похибки, поправки до показань приладу, приведену похибку і власне споживання потужності приладом при повному відхиленні стрілки.

Абсолютні похибки  $\Delta U$  вольтметра визначаються різницею між величинами  $U$ , що вказуються повіряємим приладом, і дійсними значеннями  $U_0$  вимірюваних їм величин, знайдених за показаннями зразкового вольтметра, тобто

$$\Delta U = U - U_0. \quad (4.1)$$

Поправки  $\Delta U_0$  до показань вольтметра знаходяться як різниця між дійсними значеннями  $U_0$  вимірюваної величини і показаннями  $U$  повіряемого приладу, тобто як

$$\Delta U_0 = U_0 - U. \quad (4.2)$$

і залежать від положення стрілки повіряемого приладу, т.б.  $\Delta U_0 = f(U)$ .

Абсолютні похибки  $\Delta U$  і поправки  $\Delta U_0$  до показань вольтметра можуть мати як позитивні, так і негативні значення (рис.4.1).

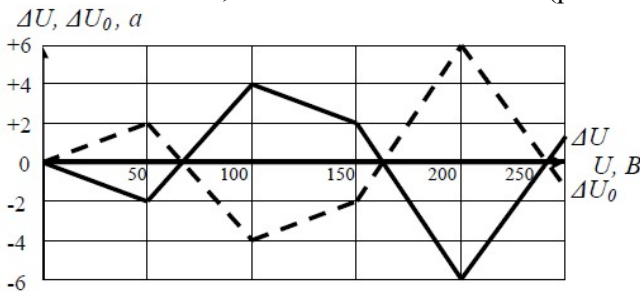


Рис.4.1. Криві абсолютних похибок  $\Delta U$  вольтметра і поправок  $\Delta U_0$  до його показань

Найбільша приведена похибка  $\gamma_{прив}$  вольтметра виражається у відсотках від верхньої межі  $U_H$  його показання з урахуванням поправки до нього, тобто

$$\gamma_{прив} = \frac{(\Delta U)_{\max}}{U_H} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

Величина  $\gamma_{прив}$ , підрахована за формулою (4.3) для вольтметрів, придатних до експлуатації, не повинна перевищувати значень, встановлених для даного класу повіреного приладу. Якщо це не виконується, то прилад повинен бути відремонтований і знову повірений, а в разі необхідності переградуйований і навіть переведений в нижчий клас.

Техніка повірки вольтметрів за зразковими стрілочними приладами полягає в безпосередньому порівнянні показань повіряемого приладу з відліками аналогічних приладів вищого класу, що приймаються в якості зразкових. При перевірці вольтметрів класів 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 клас зразкових приладів повинен бути, відповідно, не нижче 0,2; 0,5; 1,0; 1,5, причому верхня межа їх вимірювання може відрізнитися від верхньої межі вимірювання повіряемого приладу не більше ніж на 25%.

Як правило, вольтметри методом звірення повіряються на змінному струмі, за винятком приладів постійного струму і приладів постійного і змінного струму при відсутності зразкових приладів змінного струму.

При перевірці на постійному струмі в якості зразкових приладів використовують прилади магнітоелектричної, а в ланцюгах змінного струму - електродинамічної системи.

При перевірці вольтметрів необхідно струм плавно збільшувати так, щоб стрілка повіряемого приладу в момент відліків по черзі перебувала на всіх оцифрованих поділках шкали до поділки, що відповідає номінальному струму приладу, а потім зменшувати струм до нуля і встановлювати стрілку на ті ж поділки шкали.

Дійсне значення напруги, що відповідає різним положенням стрілки повіряемого вольтметра, визначають за показаннями зразкового приладу

$$U_0 = C_e (\alpha + \sigma_e),$$

де  $C_e$  - ціна поділки шкали зразкового вольтметра, В /діл.;  $\alpha$  - покази вольтметра, діл.;  $\sigma_e$  - поправка для даної позначки шкали згідно зі свідоцтвом на зразковий вольтметр, виражена в поділках шкали (в тих випадках, коли шкали не збігаються з числовими відмітками, поправка знаходиться шляхом інтерполяції).

Вольтметри класів 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 перед повіркою прогріваються номінальним струмом, після чого струм вимикають,

а стрілки приладів встановлюють регулювальними гвинтами на нульову поділку шкали.

Опір обмотки повіряемого вольтметра і потужність, споживана приладом при повному відхиленні стрілки, знаходяться:

$$r_g = \frac{U_g}{I_g},$$

$$P_g = U_g I_g,$$

де  $r_g$  - опір обмотки вольтметра, Ом;  $U_g$  - максимальна напруга, виміряна повіреним вольтметром, з урахуванням поправки до його показань при повному відхиленні стрілки, В;  $I_g$  - струм, споживаний обмоткою вольтметра при повному відхиленні стрілки, А;  $P_g$  - потужність, споживана обмоткою вольтметра при повному відхиленні його стрілки, Вт.

### **Послідовність виконання роботи**

1. Ознайомитися з приладами та іншим обладнанням експериментальної установки (див. Додаток).

2. Зібрати схему повірки градуювання вольтметра (рис. 4.2). Поставити повзунок подільника напруги  $D$  в положення, яке відповідає найменшому значенню напруги  $U$ , що підводиться до вольтметрам, і після перевірки схеми керівником включити рубильник  $P$ .

3. Повільно пересуваючи повзунок подільника напруги  $D$ , домогтися повного відхилення стрілки повіряемого вольтметра  $V$ , а потім протягом 3 хв. при цьому режимі прогрівати прилади струмом.

4. Після прогріву вимкнути установку, регулювальними гвинтами встановити обидві стрілки приладів на нульові поділки шкал і приступити до повірки вольтметра.

5. При перевірці поступово підвищувати напругу від нуля до значення, що відповідає повному відхиленню стрілки повіряемого приладу, а потім знижувати його до нуля.

6. Розрахувати для всіх вироблених дослідів абсолютні похибки  $\Delta U$  і поправки  $\Delta U_0$  до показань технічного вольтметра за формулами (4.1 - 4.2) і результати розрахунків об'єднати з даними спостереженнями в табл. 4.1.

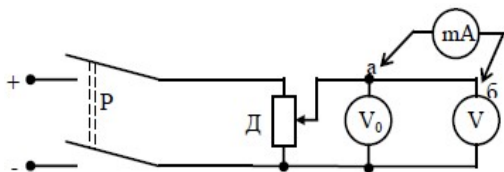


Рис.4.2. Схема перевірки градуювання вольтметра.

7. Визначити найбільшу приведену похибку приладу  $\gamma_{прив}$ , обчислення занести в табл. 4.1 і дати висновок про можливість його подальшої експлуатації.

8. Побудувати в одній системі координат залежності  $U_0 = f(U)$  і  $\Delta U_0 = f(U)$ , визначити по ним дійсне значення номінального струму повіряемого технічного вольтметра при повному відхиленні його стрілки.

Таблиця 4.1

№ з/п	Дані спостережень		Результати обчислень		
	Показання вольтметрів		$\Delta U$ , В	$\Delta U_0$ , В	$\gamma_{прив}$ %
	технічного $U$ , В	зразкового $U_0$ , В			
1 ...					

9. Приєднати міліамперметр до затискачів  $a$  й  $b$ , встановити повзунком подільника  $Д$  таку напругу, при якому стрілка повіряемого вольтметра  $V$  встановлюється на кінцевому діленні шкали, записати показання приладів в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

$U$ , В	mA, mA	$r_e$ , Ом	$P_e$ , Вт

10. Обчислити величину опору  $r_e$  обмотки повіреного вольтметра, а також власне споживання їм потужності  $P_e$  при повному відхиленні стрілки. Результати записати в табл. 4.2.

### Лабораторна робота 5

## ВИМІРЮВАННЯ ОПОРІВ ЗА МЕТОДОМ ОДИНАРНОГО МОСТА І ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ЧУТЛИВОСТІ

**Мета роботи:** вивчити метод вимірювання опорів мостовою схемою. Ознайомитися з основними характеристиками моста постійного струму приладу. Виміряти опір обмоток вольтметрів

різних систем одинарним мостом. Дослідити симетричну схему неврівноваженого моста.

### Короткі теоретичні відомості

Для вимірювання опорів від 1 до 1000000 Ом, що знаходяться поза робочих ланцюгів, може бути застосована одинарна мостова схема (рис. 5.1), яка для опорів середньої величини дає досить малу похибку вимірювання порядку 0,05-0,1% їхнього справжнього значення.

До складу схеми входять три відомих опору:  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  і один невідомий  $R_X = R_1$ , вимірюваний опір, який називається плечами моста.

На затискачі однієї з діагоналей, наприклад АВ, подається напруга  $U$  від акумуляторної батареї  $A_k$ , а в іншу вимірювальну діагональ CD включається гальванометр  $G$  з нулем посередині шкали.

Якщо струм через гальванометр

$$I_G = U \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_G (R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_4 + R_3) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)},$$

відмінний від нуля, то при заданих значеннях  $U$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  його величина є функцією вимірюваного опору  $R_X = R_1$ , тобто  $I_G = f(R_X)$ .

Мости, в яких про значення вимірюваного опору  $R_X$  судять за показаннями стрілки гальванометра, включеного в діагональ CD, називаються неврівноваженими.

Якщо в мостовій схемі одне з плечей, наприклад  $R_2$ , зробити регульованим, то можна домогтися того, що

$$R_1 R_4 - R_2 R_3 = 0, \quad (5.1)$$

а отже, і струм  $I_G$  в діагональній гілці з гальванометром також був би рівний нулю.

Такий стан мосту називається рівноважним, а сам міст - врівноваженим.

Зі співвідношення (5.1) можна знайти величину опору за (5.2):

$$R_X = R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_4}. \quad (5.2)$$

Опір  $R_2$  називається плечем порівняння, а опори  $R_4$  і  $R_3$  - плечима відношення.



В окремому випадку, якщо плечі відношення  $R_4 = R_3$ , то невідоме опір  $R_X = R_1$  дорівнює плечу порівняння  $R_2$ , тобто.  $R_X = R_2$ .

Мостова схема вважається симетричною, якщо  $R_1 = R_2$  і  $R_3 = R_4$  або при  $R_1 = R_3$  і  $R_2 = R_4$ .

Процес зрівноважування моста при вимірюванні опору досягається не тільки зміною величини  $R_2$ , але також і зміною ставлення  $R_3 / R_4$ , що може бути виконано не тільки ручним способом, але і за допомогою спеціальних зрівноважують механізмів, що діють автоматично.

Однією з важливих характеристик мостової схеми є її чутливість  $S_{ml}$  до току  $I_G$  (рис.5.2), яка характеризує зміну кута відхилення стрілки гальванометра, пропорційного струму  $I_G$ , наприклад при зміні одного з опорів плечей моста рис.5.1.

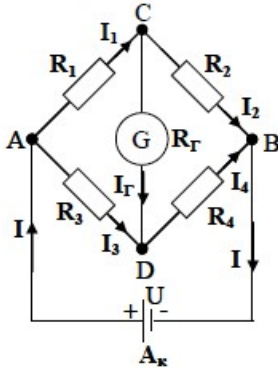


Рис. 5.1. Вимірювальна одинарна мостова схема

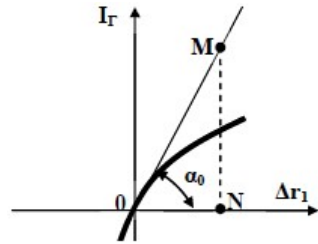


Рис. 5.2. Залежність струму у вимірювальній діагоналі при розбалансуванні моста

Чутливість зрівноваженого моста до струму вимірювальної діагоналі в нульовій точці шкали гальванометра знаходиться:

$$S_{ml} = \left( \frac{\partial I_G}{\partial R_1} \right)_{\partial R_1=0} = \operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{MN}{ON'}$$

де  $\alpha_0$  - кут, утворений дотичною, проведеною до кривої  $I_G = f(\Delta R_1)$  через початок координат 0 (рис. 5.2).

Найбільша чутливість моста при зміні опору одного з його плечей характеризується найбільшим відхиленням стрілки гальванометра і залежить не тільки від величини опорів  $R_1, R_2, R_3$ ,

$R_4$ , але і від чутливості самого гальванометра, і від величини напруги джерела електричної енергії.

Чутливість гальванометра повинна бути узгоджена з чутливістю мостової схеми, бо при недостатній чутливості вимірювального приладу не може бути використана повністю чутливість схеми, а надто велика чутливість гальванометра ускладнює встановлення процесу щодо врівноваження моста.

Для зменшення впливу опору контактів і сполучних проводів використовують схему одинарного моста з чотирма затискачами підключення досліджуваного об'єкта (рис.5.3).

У цьому випадку при вимірюванні опорів, великих 10 Ом, точку А резистора  $R_X$  з'єднують із затискачем 2, а точку В - з затискачем 3; затискачі 1 і 2, а також затискачі 3 і 4 з'єднують між собою перемичками, тобто в цьому випадку здійснюється звичайне двузажимное включення об'єкта  $R_X$ . При вимірюванні опорів, менших 10 Ом, здійснюють чотирьох зажимное включення. Для цього перемички між жабимами 1 і 2, а також між 3 і 4 знімають, а точку А резистора  $R_X$  з'єднують з жабимами 1 і 2, точку В - з жабимами 3 і 4.

У цьому випадку вплив опорів проводів і контактів ( $r_1-r_4$ ) практично виключається, якщо  $R_2 > r_4$ ,  $R_3 > r_2$ .

Дійсно, дроти і контакти, які мають опору  $r_1$  і  $r_3$ , включені в діагоналі моста і тому не впливають на умова його рівноваги. Вплив  $r_2$  і  $r_4$  виключається за умовою.

При вимірюванні дуже малих опорів одинарним мостом можуть виникати значні похибки через низьку чутливості моста і неможливості її збільшення в результаті обмежень, що накладаються припустимою потужністю розсіювання в плечах моста. Цього недоліку позбавлені подвійні мости.

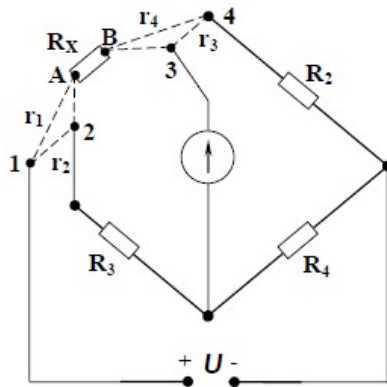


Рис.5.3. Схема одинарного моста для дво- і чотирьох- жабимного підключення об'єкта

## Послідовність виконання роботи

### *Вимірювання опорів одинарним мостом*

1. Зібрати схему одинарного моста (див. рис. 5.1) для вимірювання опору даного резистора.
2. Врівноважити міст, регулюючи опору  $R_3$  і  $R_4$ .
3. Виміряти невідоме опір і дані вимірювань занести в таблицю 5.1.
4. Змінюючи опір  $R_2$ , повторити пункти 2 і 3.
5. Результати вимірювань, отримані при рівновазі моста, занести в табл. 5.1.

*Таблиця 5.1*

№ з/п	Виміряно			Обчислено		
	$R_2$ , Ом	$R_3$ , Ом	$R_4$ , Ом	$R_X$ Ом	$R_{X\text{ср}}$ Ом	$\gamma$ , %
1...						

### *Дослідження симетричної схеми неврівноваженого моста*

1. Зібрати схему одинарного моста (див. рис. 5.1).
2. Врівноважити міст.
3. Змінювати величину опору  $R_X$  ступенями по  $\Delta R_X = R_X \pm i$ , де  $i = 2, 4, 6, 8, 10$  Ом, записувати відліки гальванометра до досягнення найбільшого відхилення його стрілки в обидві сторони.
4. Результати спостережень записати в табл. 5.2.

*Таблиця 5.2*

№ з/п	Величина зміни опору $\Delta R_X$ , Ом	Струм у вимірювальній діагоналі моста $I_\Gamma$ , мкА	№ з/п	Величина зміни опору $\Delta R_X$ , Ом	Струм у вимірювальній діагоналі моста $I_\Gamma$ , мкА
1			...		
...			10		

5. Побудувати в одній системі координат для неврівноваженого моста сімейство кривих  $I_\Gamma = f(\Delta R_X)$ .
6. Визначити чутливість  $S_{mI}$  мостової схеми до струму  $I_\Gamma$  вимірювальної діагоналі при  $\Delta R_X = 0$  для всіх проведених випробувань.
7. Для визначення впливу величини напруги на чутливість мостової схеми змінити напругу джерела живлення і повторити досліди пунктів 3-6, звівши результати спостережень в таблицю.

8. Для дослідження впливу параметрів гальванометра на чутливість мостової схеми включити в вимірювальну діагональ інший гальванометр, який має більший внутрішній опір, і, не змінюючи опір плечей моста, повторити досліди пункту 3-6, записавши результати спостережень в таблицю.

### Лабораторна робота 6

## ВИМІРЮВАННЯ ОПОРІВ МЕТОДОМ ВОЛЬТМЕТРА І АМПЕРМЕТРА

**Мета роботи:** вивчити схеми для вимірювання «великих» і «малих» опорів методом вольтметра і амперметра. Виміряти опір з похибкою внаслідок впливу провідності вольтметра. Виміряти опір з похибкою внаслідок впливу опору амперметра. Встановити величину відносної похибки вимірювання опору при використанні наближеної формули.

### Короткі теоретичні відомості

У електрометрії під виміром опору розуміють дослідне знаходження омичного опору  $r_x$  при вимірюванні на постійному струмі.

Серед існуючих способів вимірювання величини опорів метод вольтметра і амперметра найбільш простий із застосовуваною апаратурою і дозволяє на відміну від інших методів ставити вимірюваний опір в процесі вимірювання в нормальні робочі умови.

Цей метод заснований на використанні закону Ома для ділянки ланцюга, що є вимірюваним опором  $r_x$ .

Величина  $r_x$  визначається за відомим падінням напруги на ньому  $U_x$  і протікаючому струму  $I_x$  за формулою (6.1):

$$r_x = \frac{U_x}{I_x} \quad (6.1)$$

На рис. 6.1, 6.2 представлені можливі способи вимірювання величини падіння напруги  $U_x$  на вимірюваному опорі  $r_x$  і протікає по ньому струму  $I_x$ .

У схемах на рис.6.1, 6.2 регулювання величини напруги, що підводиться до вимірюваного опору  $r_x$ , проводиться за допомогою послідовно включеного з джерелом електричної енергії реостата  $R_p$ .

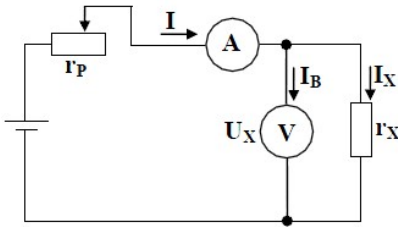


Рис. 6.1. Схема вимірювання опору з похибкою внаслідок впливу провідності вольтметра споживаний обмоткою вольтметра

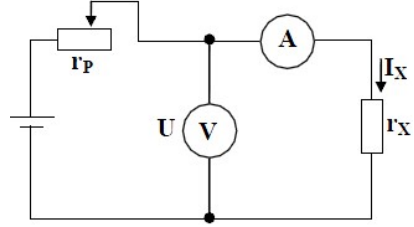


Рис. 6.2. Схема вимірювання опору з похибкою внаслідок впливу опору амперметра

Регулювання величини напруги, що підводиться необхідно для можливості постановки вимірюваного опору в умови, близькі до нормальних експлуатаційних.

Порівнюючи вимірювальні частини наведених схем, бачимо, що обидві вони повністю не можуть забезпечити одночасно точне вимірювання необхідних величин  $U_x$  і  $I_x$ .

Дійсно, в схемі, представленій на рис. 6.1 виходить точне вимірювання величини падіння напруги на вимірюваному опорі і перебільшене значення струму, так як через амперметр крім струму  $I_x$  протікає ще ток  $I_v$ , споживаний обмоткою вольтметра.

Величина вимірюваного опору в цьому випадку дорівнює:

$$r_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{I - I_v} = \frac{U_x}{I - \frac{U_x}{r_v}} \quad (6.2)$$

де  $r_v$  - опір обмотки вольтметра.

У схемі, поданій на рис. 6.2, амперметр враховує струм  $I_x$ , що протікає по вимірюваному опорі  $r_x$ , а вольтметр показує суму падінь напруг на вимірюваному опорі  $U_x$  і амперметр  $U_A$ .

Отже, величина вимірюваного опору в цьому випадку буде:

$$r_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U - U_A}{I_x} = \frac{U}{I_x} - \frac{U_A}{I_x} = \frac{U}{I_x} - r_A$$

де  $r_A$  - опір обмотки амперметра.

Таким чином, якщо при розрахунку величини невідомого опору  $r_x$  враховувати опір приладів: вольтметра  $r_v$  і амперметра  $r_A$ , то можуть застосовуватися обидві схеми.

Якщо вимірюваний опір настільки малий в порівнянні з опором обмотки вольтметра  $r_V$ , який буває зазвичай порядком тисяч або десятків тисяч Ом, що у формулі (6.2) можна знехтувати струмом, що відгалужується в вольтметр  $I_V$ , то його величину  $r'_x$  знаходять:

$$r'_x = \frac{U_x}{I}, \quad (6.3)$$

допускаючи відносну похибка вимірювання:

$$\delta' = \frac{r'_x - r_x}{r_x} = -\frac{r'_x}{r_V} = -\frac{r_x}{r_x + r_V} \cdot 100\% .$$

У тих випадках, коли вимірюваний опір по своїй величині можна порівняти з опором обмотки вольтметра  $r_V$  і знехтувати струмом  $I_V$  не можна, слід користуватися схемою, наведеною на рис.6.2, і при розрахунку не враховувати малого падіння напруги на амперметрі  $U_A$ .

Величина вимірюваного опору

$$r''_x = \frac{U}{I_x}, \quad (6.4)$$

при відносній похибці вимірювання

$$\delta'' = \frac{r''_x - r_x}{r_x} = -\frac{r_A}{r''_x - r_A} = -\frac{r_A}{r_x} \cdot 100\% .$$

Таким чином, обидві наближені формули (6.3) і (6.4) дають певну похибку, величина якої залежить від співвідношення між опорами  $r_x, r_B, r_A$ .

При певному співвідношенні між цими величинами обидві схеми дають однакову похибку, тобто

$$\delta' = \delta'' ,$$

або

$$\frac{r_x}{r_x + r_V} = \frac{r_A}{r_x} ,$$

що призводить до квадратного рівняння

$$r_x^2 - r_A r_x - r_V r_A = 0 ,$$

наближеним значенням якого буде:

$$r \cong (r_V r_A)^{\frac{1}{2}} . \quad (6.5)$$

Очевидно, що для опору  $r_x$ , величина якого пов'язана з опорами вольтметра  $r_B$  і амперметра  $r_A$  співвідношенням (6.5), вибір схеми включення приладів довільний.

Для опорів, величина яких

$$r > (r_V r_A)^{\frac{1}{2}},$$

слід віддати перевагу схемі, що зображена на рис.6.1, бо вона дасть найменшу похибку вимірювання, а коли вимірюваний опір

$$r < (r_V r_A)^{\frac{1}{2}}$$

то менша похибка вимірювання забезпечується схемою на рис.6.2.

Тому в практиці перша схема називається схемою для вимірювання «малих» опорів, а інші - схемами для вимірювання «великих» опорів.

Застосувавши відповідну схему і вибравши належну апаратуру магнітоелектричної системи, характерну малим власним споживанням енергії, отримують результати вимірювань, підраховані за формулами (6.3) і (6.4) з достатньою технічною точністю.

Слід пам'ятати, що при вимірюванні опорів методом вольтметра і амперметра електровимірювальні прилади слід вибирати з такими межами вимірювань, щоб показання їх були близькими до номінальних значень, при цьому відносні похибки відліків показань - найменші.

### Послідовність виконання роботи

#### *Вимірювання опорів з похибкою внаслідок впливу провідності вольтметра*

1. Зібрати схему для вимірювання опору даного резистора (рис.6.1).

2. Поставити повзунок реостата  $r_p$  в положення, яке відповідає найбільшому опору.

3. Змінюючи величину опору реостата, встановлювати струми, при яких стрілка вольтметра показувала б на оцифровані поділки шкали, і записувати покази приладів в табл. 6.1.

4. Обчислити значення опору  $r_{x1}$ . Результати обчислень, отримані при розрахунках, занести в табл. 6.1.

*Таблиця 6.1*

№ з/п	Виміряно		Обчислено		
	$U_x, В$	$I, А$	$r_{x1}, Ом$	$r'_{x1}, Ом$	$\delta'$
1...					

Вимірювання опору з похибкою внаслідок впливу опору амперметра

1. Зібрати схему для вимірювання опору даного резистора (рис.6.2).

2. Поставити повзунок реостата  $r_p$  в положення, яке відповідає найменшому опору.

3. Змінюючи величину опору реостата, встановлювати струми, при яких стрілка вольтметра показувала б на оцифровані поділки шкали, і записувати покази приладів в табл. 6.2.

4. Обчислити значення опору  $r_{x2}$ . Результати обчислень, отримані при розрахунках, занести в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

№ з/п	Виміряно		Обчислено		
	U, В	I <sub>x</sub> , А	$r_{x2}$ , Ом	$r'_{x2}$ , Ом	$\delta''$
1...					

Побудувати в одній системі координат сімейство кривих  $\delta' = f(r_{x1})$  і  $\delta'' = f(r_{x2})$ .

### Лабораторна робота 7

## ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛОГРАФА

**Мета роботи:** навчитися досліджувати за допомогою електронного осцилографа основні параметри електричних сигналів (амплітуду, частоту, період) і часові інтервали.

### Короткі теоретичні відомості

Електронний осцилограф є універсальним вимірювальним приладом, що використовується для візуального спостереження на екрані за електричними сигналами і вимірювання їх параметрів. Основна функція осцилографа полягає у відтворенні в графічному вигляді електричних коливань (осцилограм) у прямокутній системі координат. Найчастіше за допомогою осцилографа спостерігають залежність напруги від часу, причому віссю часу виступає вісь абсцис, а по осі ординат відкладається напруга сигналу. За допомогою осцилографа можна спостерігати періодичні неперервні та імпульсні сигнали, неперіодичні і випадкові сигнали, одиничні імпульси і оцінити їхні параметри.



За осцилограмами можна виміряти частоту та фазовий зсув, параметри модульованих сигналів, часові інтервали. Широке використання електронних осцилографів зумовлено можливістю їх використання в смузі частот від нуля до десятків ГГц, за напруги сигналу від десятків мікрвольт до сотень вольт.

Залежно від призначення електронні осцилографи підрозділяють на універсальні, швидкісні, запам'ятовувальні, стробоскопічні та спеціальні. Хоча перелічені види осцилографів відрізняються схемними та конструктивними рішеннями, але принцип отримання осцилограм для них є загальним. Принцип роботи осцилографа відображає рис. 7.1.

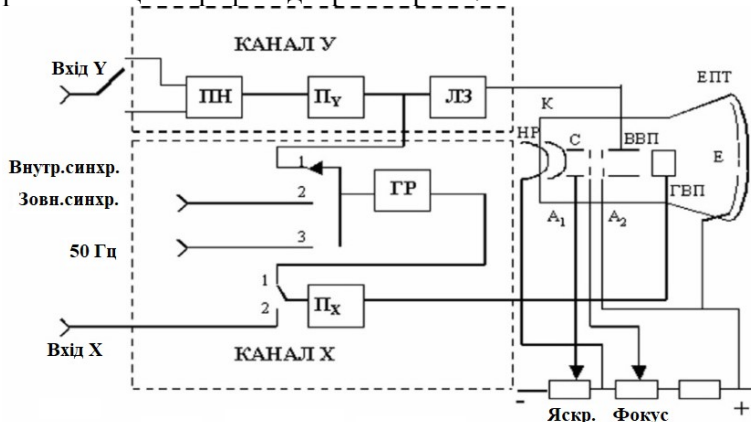


Рис. 7.1. Структурна схема електронного осцилографа: ПН – подільник напруги; П<sub>У</sub>, П<sub>Х</sub> – підсилювачі каналів; ГР – генератор розгортки; ЛЗ – лінія затримки; НР – нитка розжарювання; К – катод; С – сітка; А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub> – аноди; ВВП – вертикально відхиляючі пластини; ГВП – горизонтально відхиляючі пластини; Е – екран; ЕПТ – електронно-променева трубка

Основним вузлом осцилографа є ЕПТ, що виготовлена у вигляді скляної вакуумної колби, всередині якої розміщена електронна гармата, відхиляючі пластини (ВВП, ГВП) та люмінесцентний екран Е. Сформований електронною гарматою вузький електронний пучок, потрапляючи на екран, утворює пляму, що світиться. Електронний промінь проходить між двома парами взаємно перпендикулярних пластин (ВВП Y, ГВП X). Якщо до цих пластин прикласти електричну напругу, то між ними існуватиме електричне поле, яке й спричинить відхилення променя в той чи інший бік. Якщо ж сфокусувати електронний промінь так,

щоб світлова пляма розмістилась в точці «0» (рис. 7.2), а потім до пластин Y прикласти досліджувану напругу, наприклад, синусоїдну, а до пластин X – пилоподібну, то під дією цих двох напруг промінь трубки накреслить на екрані осцилограму, що відображатиме залежність

$$U(t) = U_m \sin \omega t .$$

Після спаду пилоподібної напруги до нуля світлова пляма повернеться в точку «0». Пилоподібна напруга формується так, щоб час  $t_{зв}$  зворотного ходу розгортки був у багато разів менший, ніж час  $t_{пр}$  прямого ходу. За такої умови зворотний хід променя на екрані трубки є непомітним. Для того, щоб зображення досліджуваної напруги відображало істинний характер сигналу, необхідне виконання двох умов: перша – відхилення по осях X та Y повинні бути прямо пропорційними до напруги, прикладеної до відповідної пари пластин; друга – тривалість прямого ходу  $t_{пр}$  розгортки повинна дорівнювати періоду досліджуваної напруги T або бути кратною йому:  $t_{пр} = m T$ , де  $m$  – ціле додатне число.

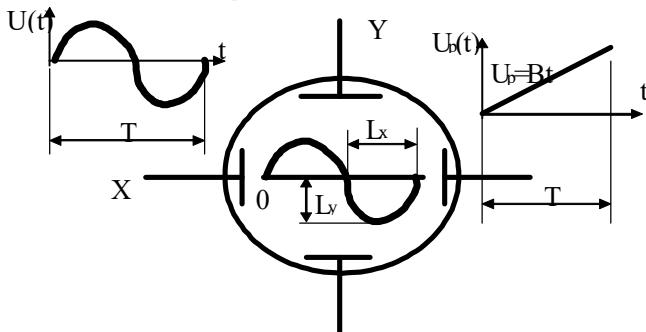


Рис.7.2. Отримання зображення на екрані ЕПТ

Тоді на екрані осцилографа спостерігатиметься один період, або  $m$  періодів досліджуваної напруги. Якщо розглянути структурну схему (див. рис.7.1) осцилографа, то помітимо, що крім ЕПТ вона містить канал вертикального відхилення променя (канал Y) та канал горизонтального відхилення променя (канал X).

Каналом Y надходить досліджуваний сигнал  $U(t)$ , що зумовлює вертикальне відхилення променя. Цей канал містить: ПН для послаблення великих сигналів,  $\Pi_Y$  для підсилення слабких сигналів; лінію затримки ЛЗ для невеликої часової затримки

сигналу. Основною характеристикою каналу  $Y$  є коефіцієнт відхилення  $S_U$ , що має розмірність [напруга/под.], і свідчить про те, за якої вхідної напруги промінь зміститься у вертикальному напрямку на одну поділку.

Каналом  $X$  на горизонтально відхиляючі пластини ЕПТ надходить напруга розгортки, що генерується ГР і змінюється згідно з законом (пилкоподібна напруга)

$$U_p(t) = B t.$$

Залежно від співвідношення початкових фаз досліджуваної та напруги розгортання, що називається синхронізацією, зображення сигналу на екрані різнитиметься початковою фазою.

Канал  $X$  містить підсилювач  $\Pi_x$ , з виходу якого вихідна напруга надходить на пластини горизонтального відхилення. Основною характеристикою каналу  $X$  є коефіцієнт розгортки  $S_t$ , що має розмірність [час/под.], і свідчить про те, за скільки часу промінь переміщується у горизонтальному напрямку на одну поділку.

Під час вимірювання осцилографом значення вимірюваної величини знаходять за значеннями  $L_y$  чи  $L_x$  на зображенні електричного сигналу на екрані ЕПТ. На рис. 7.2, як приклад, показані  $L_y$  та  $L_x$ , що відповідають відповідно мінімальному значенню досліджуваної напруги та тривалості її від'ємного значення.

### Послідовність виконання роботи

1. Перед ввімкненням електронного осцилографа кнопки керування встановити в такі положення (див. рис. 7.3):

- NTEN” (“ЯСКРАВИСТЬ”) ② – в середне;
- “FOCUS” (“ФОКУС”) ⑩ – в середне;
- перемикач входу ⑬ – в положення “DC”;
- перемикач коефіцієнта відхилення вхідного атенюатора ④ (подільника) “Volts/Div” – в положення “1V” (або інше з розв’язку задачі);
- “VAR” (“ПІДСИЛЕННЯ”) ⑤ – в крайнє праве положення (“CAL”);
- ручки переміщення “POSITION  $\updownarrow$ ” ③ та “POSITION” ⑧ – в середне;
- перемикач часу розгортки “Time/Div” ⑦ – в положення “0,5 mS” (або інше з розв’язку задачі);

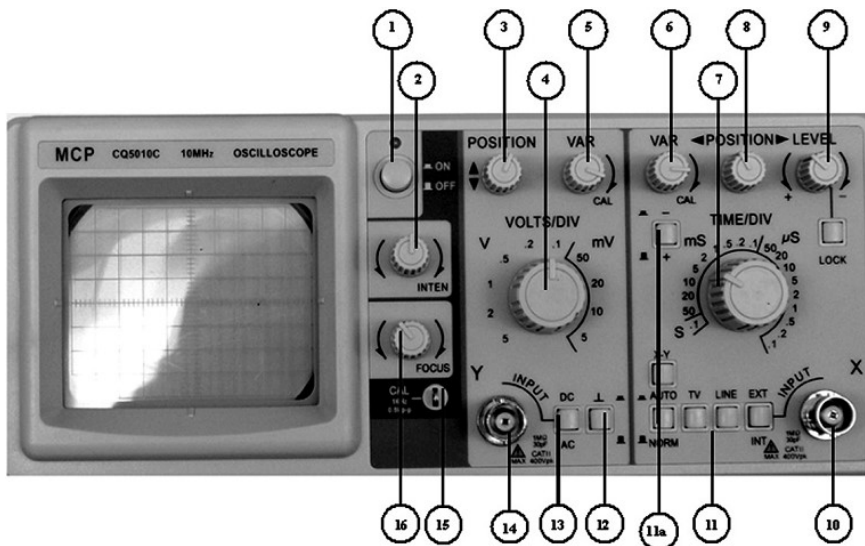


Рис. 7.3. Передня панель осцилографа з позначеними кнопками керування

- “VAR” (“ТРИВАЛІСТЬ”) ⑥ – в крайнє праве положення (“CAL”);
- “LEVEL” (“РІВЕНЬ”) ⑨ – в середнє;
- перемикачі виду синхронізації (“AUTO”, “TV”, “LINE”, “EXT”) ⑪ – в положення “INT” (перемикач “EXT/INT” – відпущений);

2. Усі інші органи регулювання на передній панелі попередньо можуть бути в довільному положенні. Після здійснення попередньої підготовки увімкнути прилад вимикачем 1 ①

3. Через 2–3 хв. після ввімкнення потрібно відрегулювати яскравість свічення і фокусування променя. За допомогою ручок ③ та ⑧ встановити розгортку в центрі екрана.

Дуже важливим під час проведення вимірювань є забезпечення стабільності зображення. Отримати стабільне зображення можна плавним повертанням ручки “LEVEL” (“РІВЕНЬ”) ⑨ з одного крайнього положення в інше.

Вимірювання рівнів сигналу:

1. З метою забезпечення максимальної точності вимірювання потрібно дотримуватися таких правил:

- ображення сигналу на екрані повинно мати максимально можливий розмір і бути неспотвореним. Це досягається вибором відповідного положення перемикача “Volts/Div” 4(6)

- вимірювати з врахуванням товщини лінії променя.

2. Безпосередньо для вимірювання досліджуваній сигнал потрібно подати на вхід осцилографа 14. Дотримуючись вищенаведених настанов, стабілізувати зображення на екрані. Стабілізацію здійснювати після вибору необхідного положення перемикача “Time/Div” 7, за якого зображення містить 3–5 періодів досліджуваного сигналу.

3. Значення вимірюваної напруги  $U_x$  обчислюють згідно з виразом

$$U_x = L_y \cdot S_U,$$

де  $L_y$  – розмір зображення по вертикалі виражений у поділках;  $S_U$  – коефіцієнт відхилення  $B/nod$  (число, напроти якого перебуває позначка на перемикачі “Volts/Div” 4(6)).

Під час дослідження сигналу, що містить постійну складову, потрібно звернути увагу на положення перемикача 13. У положенні “натиснутий” підсилювач вхідного сигналу є підсилювачем постійного струму (DC), а в положенні “відпущений” – підсилювачем змінного струму (AC).

Описаний спосіб дає змогу виміряти напругу з максимальним значенням до 30 В (при 6 поділках зображення). Більші значення напруги вимірюють за допомогою зовнішнього подільника напруги, що входить до комплексу осцилографа. За його допомогою вимірювана напруга попередньо зменшується в 10 разів. Це дає змогу збільшити верхню межу вимірювання напруги до 300 В.

Точність вимірювання за допомогою електронного осцилографа визначається похибкою відліку і похибкою перетворення каналу вертикального відхилення під час вимірювання параметра інтенсивності, або похибкою каналу розгортання під час вимірювання часового параметра електричного сигналу.

Похибка відліку зумовлюється товщиною лінії променя  $d$ , що становить 0,7 мм (0,14 под.).

Граничне значення відносної похибки перетворення каналу вертикального відхилення  $\delta_{p.U}$  і похибки каналу розгортання  $\delta_{p.T}$  становить 5 %.

4. За результатами отриманих експериментальних даних визначити:

- значення ціни поділки каналу вертикального і горизонтального відхилення (коефіцієнт відхилення та коефіцієнт розгортки),
- результат вимірювання параметра інтенсивності електричного сигналу та результат вимірювання часового параметру електричного сигналу.

### Лабораторна робота 8

## ПРЯМЕ ТА ОПОСЕРЕДКОВАНЕ ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

**Мета роботи:** закріпити знання виконуючи прямі вимірювання сили постійного струму аналоговими та цифровими амперметрами та опосередковані вимірювання сили постійного струму за спадком напруги на еталонному (зразковому) резисторі.

### Короткі теоретичні відомості

Нагадаємо, що пряме вимірювання сили струму – це вимірювання за допомогою аналогових чи цифрових амперметрів (мілі-, мікро-, нано-). Амперметри завжди вмикають послідовно у розрив вітки (рис. 8.1, б, в, г), де вимірюють силу струму.

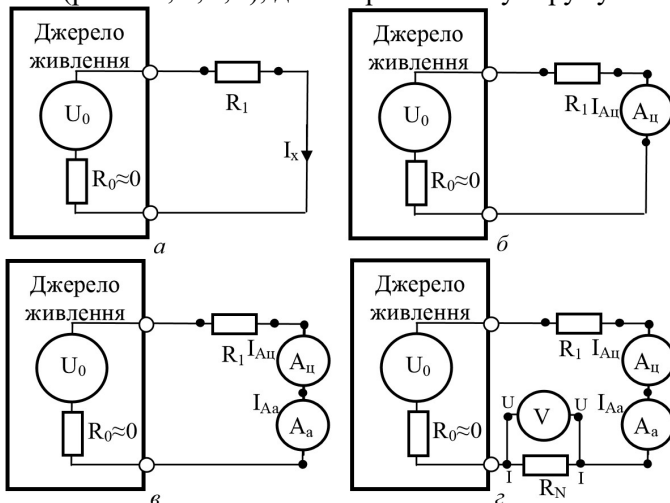


Рис. 8.1. Схеми прямого і опосередкованого вимірювання сили постійного струму

З аналогових амперметрів магнітоелектричні є найточнішими (клас точності від 0,05), вони мають найширший діапазон вимірювання, особливо у бік малих струмів. Типово, такі амперметри дають змогу вимірювати, як порівняно малі, так і порівняно великі значення сили струму. Нижня межа електродинамічних та електромагнітних амперметрів становить кілька міліамперів, а їхній клас точності становить від 0,5. Цифрові амперметри сили постійного струму мають значно ширший діапазон вимірювань від дуже малих (у нано- і пікоамперів) струми. Клас точності цифрових амперметрів від 0,005.

Для кожного конкретного типу амперметра кількість діапазонів і їхні значення можуть бути різними. Конкретну межу вимірювання амперметра  $I_k$  вибирають так, щоб значення вимірюваного струму містилося між двома сусідніми діапазонами  $I_{k(i-1)}$  та  $I_{k(i)}$ , тобто

$$I_{k(i-1)} < I_x \leq I_{k(i)}.$$

*Вхідний опір амперметра.* Теоретично вхідний опір амперметра  $R_A$  нульовий, щоб не змінювати електричний опір вітки електричного кола, у якій вимірюють силу струму. Однак неможливо створити такі амперметри. Часто виробники електромеханічних амперметрів замість вхідного опору вказують так званий спад напруги  $U_{kA}$  на амперметрі у разі повного відхилення його покажчика, тобто при струмі, що дорівнює межі вимірювання амперметра  $I_{kA}$ . Переважно спад напруги на амперметрі у разі повного відхилення є однаковим на всіх межах вимірювання. Тому вхідний опір електромеханічного аналогового амперметра на відповідній межі вимірювання  $I_{kA}$  визначають

$$R_A = \frac{U_{kA}}{I_{kA}},$$

і він є різним на різних межах вимірювання.

Типовий вхідний опір електромеханічних аналогових амперметрів становить від кількох часток міліОма (на великих межах вимірювання) до кілька десятків Ома (на малих межах вимірювання).

Завдяки застосуванню вхідних електронних перетворювачів вхідний опір електронних амперметрів може становити достатньо

малі значення, тобто цифрові амперметри є кращими від аналогових.

**Вплив вхідного опору амперметра на його покази.** Нехай необхідно виміряти силу струму у вітці електричного кола (рис. 8.1, а) з опором  $R_1$ , значення якого  $I_x$  (невідоме). Очевидно, що до ввімкнення амперметра (рис. 8.1, а) вимірюваний струм  $I_x$  становить

$$I_x = \frac{U_0}{R_0 + R_1}, \quad (8.1)$$

де  $U_0$  – еквівалентна напруга джерела живлення кола,  $R_0$  – внутрішній опір джерела живлення.

Оскільки вхідний опір амперметра завжди є ненульовим ( $R_A > 0$ ), то під'єднуючи амперметр послідовно у вітку електричного кола з опором  $R_1$  (рис. 8.1, б) змінюється еквівалентний опір цієї ділянки кола - стає більшим на вхідний опір амперметра  $R_0 + R_1 + R_A$ . Тому після під'єднання послідовно до резистора з опором  $R_1$  амперметра, його показ дорівнює

$$I_A = \frac{U_0}{R_0 + R_1 + R_A}. \quad (8.2)$$

Тобто амперметр покаже значення сили струму  $I_A$  (8.2), яке є інакшим, ніж вимірюване  $I_x$  (8.1) значення.

Систематична похибка вимірювання струму амперметром. Зменшення показу  $I_A$  амперметра (8.2) порівняно із фактичним значенням струму  $I_x$  є абсолютною похибкою, і вона становить

$$\begin{aligned} \Delta_{I_{RA}} &= I_A - I_x = -U_0 \left( \frac{R_A}{(R_0 + R_1) \cdot (R_0 + R_1 + R_A)} \right) = \\ &= -I_x \frac{R_A}{R_0 + R_1 + R_A} = -I_A \frac{R_A}{R_0 + R_1}. \end{aligned} \quad (8.3)$$

Відносне зменшення показань амперметра як відношення абсолютного зменшення показань до фактичного значення струму є відносною похибкою, яка дорівнює

$$\delta_{I_{RA}} = \frac{\Delta_{I_{RA}}}{I_x} \cdot 100\% = -\frac{R_A}{R_0 + R_1} \cdot 100\%. \quad (8.4)$$



Звідси бачимо, що чим більший вхідний опір амперметра порівняно із еквівалентним опором всього кола, тим більша похибка.

У разі сталих значень опорів кола та опору амперметра зменшення його показу є систематичною похибкою. Систематичною, тому що під час повторних вимірювань сили струму у цій самій вітці цього самого кола цим самим амперметром кожний раз отримуємо цей самий показ.

З виразів (8.3) та (8.4) зрозуміло, що:

1. Систематична похибка, спричинена ненульовим опором амперметра, завжди від'ємна (показ амперметра завжди менший за фактичне значення сили струму);

2. Для зменшення систематичної похибки серед доступних приладів потрібно вибирати амперметр з якнайменшим вхідним опором;

3. Якщо еквівалентний опір усього кола відносно затискачів, до яких під'єднують амперметр, невідомий, то лише за показами амперметра і значенням його вхідного опору неможливо обчислити значення цієї систематичної похибки і завдяки цьому скоригувати її вплив.

Для коригування систематичного впливу необхідно ввести поправку до показу амперметра, з протилежним знаком до абсолютної похибки

$$p_I = -\Delta_{I_{RA}} = I_A \frac{R_A}{R_0 + R_1}. \quad (8.5)$$

тобто, скориговане значення струму

$$I_{\text{кор}} = I_A + p_{I_{RA}}. \quad (8.6)$$

Якщо опір кола ( $R_0 + R_1$ ), у якому вимірюють силу струму, невідомий, то, знаючи лише показання амперметра  $I_A$  та його вхідний опір  $R_A$ , неможливо визначити силу струму у вітці до ввімкнення у неї амперметра, т.б. неможливо безпосередньо скоригувати систематичну зміну показань амперметра, зумовлену ненульовим вхідним опором.

Практичний спосіб виявлення і коригування систематичного впливу є виконання ще одного вимірювання, за відомої зміни опору вітки кола щодо вимірювальних точок. Зокрема, якщо послідовно до амперметра (з опором  $R_A$ ) під'єднати додатковий

резистор з опором  $R_0$ , то еквівалентний опір вітки кола зміниться і буде  $R_0 + R_1 + R_A + R_0$ . Завдяки цьому показання амперметра  $I_{A0}$  зміняться і стануть менше за попередні

$$I_{A0} = \frac{U_0}{R_0 + R_1 + R_A + R_0}. \quad (8.7)$$

Значення опору додаткового резистора доцільно вибирати сумісним із вхідним опором амперметра. Якщо після ввімкнення додаткового резистора зміна показів амперметра є помітною, і становить щонайменше кілька поділок або кілька одиниць молодшого розряду, то це свідчить, що систематична похибка, спричинена ненульовим опором амперметра, є істотною. Тому її потрібно вилучити.

Відношення показу амперметра  $I_A$  до ввімкнення додаткового резистора (8.2) до показу амперметра  $I_{A0}$  (8.7) після ввімкнення додаткового резистора становить

$$v_I = \frac{I_A}{I_{A0}} = \frac{R_0 + R_1 + R_A + R_0}{R_0 + R_1 + R_A} = 1 + \frac{R_0}{R_0 + R_1 + R_A} > 1.$$

Звідси значення сумарного опору вітки з амперметром становить

$$R_0 + R_1 = \frac{R_0}{v_I - 1} - R_A.$$

Підставляючи це значення у вираз для поправки (8.5), знаходимо

$$p_I = I_A \frac{R_A}{R_0 + R_1} = I_A \frac{R_A}{\frac{R_0}{v_I - 1} - R_A} = \frac{I_A}{\frac{v_R}{v_I - 1} - 1} = I_A \frac{v_I - 1}{v_R - v_I + 1}, \quad (8.8)$$

де  $v_R = R_0 / R_A$  відношення опорів.

Використовуючи значення поправки у (8.6) знаходимо скориговане значення струму

$$I_{\text{скор}} = I_A + p_{I_{RA}} = I_A + \frac{I_A}{\frac{v_R}{v_I - 1} - 1} = I_A \frac{v_R}{v_R - v_I + 1} \quad (8.9)$$

яке можна визначити за відомих обох показів амперметра ( $I_A$  до ввімкнення додаткового резистора та  $I_{A0}$  після ввімкнення

додаткового резистора), його вхідного опору  $R_A$  та опору  $R_0$  додаткового резистора.

Якщо опір додаткового резистора вибрати таким, що дорівнює опору амперметра  $R_0=R_A$  (наприклад, увімкнувши послідовно з основним додатковий амперметр такого самого типу), тоді  $v_R=R_A/R_0=1$ , і вираз для скоригованого значення сили струму спрощується.

$$I_{\text{скор}} = \frac{I_A}{2 - v_I}. \quad (8.10)$$

З отриманих залежностей можна отримати експериментальну оцінку систематичної похибки вимірювання без коригування впливу, зумовленого ненульовим опором амперметра

$$\delta_{I_{RA}} = \frac{1 - v_I}{v_R} \cdot 100\%, \quad \delta_{I_{RA}} = (1 - v_I) \cdot 100\% \text{ при } v_I = 1.$$

Варто мати на увазі, що описаний вище метод корекції систематичного відхилення показу амперметра, спричиненого ненульовим значенням його вхідного опору, не є повністю точним. Це зумовлено тим, що скоригований результат сили струму за виразами (8.9), (8.10) залежить принаймні від чотирьох неточних величин: обох показів амперметра  $I_A$  (до увімкнення додаткового резистора) та  $I_{A0}$  (після під'єднання додаткового резистора) і опорів амперметра  $R_A$  та додаткового резистора  $R_0$ . Тобто непевність скоригованого результату залежить від непевності їхніх значень. Тому для оцінювання стандартної непевності скоригованого результату знаходять як сумарну (комбіновану) стандартну непевність згідно з загальною методикою опосередкованих вимірювань.

**Опосередковане вимірювання сили постійного струму** ґрунтується на законі Ома і полягає (рис. 8.1, з) у вимірюванні вольтметром чи компенсатором спаду напруги  $U_{RN}$  (показ вольтметра  $U_V$ ) на так званому еталонному чи зразковому резисторі (резисторі з відомим опором  $R_N$ ), який вмикають у досліджуване електричне коло, і визначені сили струму за виразом

$$I = \frac{U_{RN}}{R_N} = \frac{U_V}{R_N}.$$

Опосередковане вимірювання сили постійного струму застосовують, наприклад, якщо немає відповідного амперметра,

зокрема з відповідною межею, чи існуючий амперметр не забезпечує необхідної точності вимірювання струму, але натомість у лабораторії є високоточні вольтметри та еталонні резистори.

Для здійснення опосередкованого вимірювання сили струму необхідно:

- вибрати відповідний еталонний (зразковий) резистор – його опір  $R_N$  (та, можливо, його клас точності);
- межу вимірювання вольтметра  $U_{KV}$  (та, можливо, клас точності).

Переважно еталонні резистори виготовляють з опорами, кратними  $10^n$  ( $n$  – ціле число). Однак варто пам'ятати, що опір еталонного резистора не може бути занадто великим, щоб не виникла істотна методична похибка внаслідок ввімкнення цього резистора у вимірювальне коло. У цьому разі опором амперметра стає опір цього резистора:  $R_A = R_N$ .

Іншим важливим параметром еталонних резисторів є їхній номінальний струм  $I_{RN}$  чи номінальна потужність  $P_{RN}$ , за яких точність резисторів відповідає їхньому класу точності  $c$ . Типово номінальна потужність еталонних резисторів становить 0,1 Вт, хоча для дуже малих опорів (0,0001 Ом) це значення може сягати 20 Вт, а для дуже великих опорів (понад 100 кОм) – 0,005 Вт.

Переважно клас точності еталонного резистора ( $c_{RN}$ ) відображає допустимі відносні (у %) відхилення дійсного значення опору від номінального в нормальних умовах. Типово клас точності еталонних резисторів становить  $c_{RN} = 0,005; 0,01; 0,02; 0,05$ .

Отже, вибір опору  $R_N$  еталонного резистора полягає у попередньому оцінюванні вимірюваного струму  $I_x$  з подальшим вибором резистора, для номінального струму якого виконується умова

$$I_{RN} = \left( \frac{P_{RN}}{R_N} \right)^{\frac{1}{2}} \geq I_x.$$

Доцільно вибрати еталонний резистор, який має найменше значення опору, щоб забезпечити найменше значення методичної похибки від ввімкнення цього резистора у вимірювальне коло.

Межу вимірювання вольтметра  $U_{KV}$  потрібно встановлювати за очікуваним його показом, який пропорційний до вимірюваного струму і опору еталонного резистора

$$U_x = I_x \cdot R_N.$$

Має виконуватися умова

$$U_{KV} \geq U_x = I_x \cdot R_N.$$

Якщо серед наявних на лабораторному стенді відсутній вольтметр з такою межею, то потрібно змінити опір еталонного резистора  $R_N$ , який би забезпечив належне вимірювання напруги  $U_x = I_x \cdot R_N$ . До того ж умову для розсіюваної потужності потрібно виконувати:  $I R_x^2 \leq P_{RN}$ .

### Послідовність виконання роботи

1. На основі відомого номінального значення опору  $R_1$  резистора електричного кола (рис. 8.1, *a*) та заданої напруги живлення  $U_0$  (приймаючи у першому наближенні нульовим вихідний опір джерела напруги ( $R_0 \approx 0$ )):

-порахувати очікуване значення сили струму  $I_x$  у колі;

-з наявних на лабораторному стенді аналогового та цифрового амперметра вибрати їхні межі вимірювання:  $I_{ka}$  та  $I_{kc}$ ;

-з наявних на лабораторному стенді еталонних резисторів вибрати найпридатніший (опір  $R_N$ ) до опосередкованого вимірювання сили струму  $I_x$  та вибрати відповідну межу вимірювання цифрового вольтметра  $U_{KV}$ .

2. Скласти електричне вимірювальне коло для прямого вимірювання сили струму у вітці електричного кола із заданим резистором (рис. 8.1, *a*).

3. За допомогою цифрового вольтметра, відповідно до напруги живлення встановивши його відповідну межу вимірювання  $U_{kc}$ , на виході блока живлення поставити задане значення вихідної напруги ( $U_0 = 1,5$  В).

4. Увімкнути у вітку електричного кола цифровий амперметр (рис. 8.1, *б*) і виміряти силу струму у вітці. Записати показ цифрового амперметра  $I_{Ac}$  у табл. 8.1. Вимірювання сили струму цифровим та аналоговим амперметрами.

5. Послідовно до цифрового у вітку електричного кола увімкнути аналоговий амперметр (рис. 8.1, *в*) (попередньо встановивши його межу вимірювання  $I_{ka} = 150$  мА) і виміряти силу струму у вітці. Записати показ аналогового амперметра  $I_{Aa}$  у табл. 8.1.

Таблиця 8.1

№ з/п	$I_x$ мА	$I_{Aq}$ мА	$u_B(I_{Aq})$ мА	$u_B \text{ rels}$ $(I_{Aq}) \%$	$I_{Aa}$ мА	$u_B(I_{Aa})$ мА	$u_B \text{ rels}$ $(I_{Aa}) \%$	$R_{Aa}$ Ом	$\delta_{I_{Aa}}$ %













6. Послідовно до обох амперметрів (рис. 8.1, з) у вітку електричного кола увімкнути еталонний резистор ( $R_N = 1 \text{ Ом}$ ), а до потенціальних затискачів під'єднати вхід цифрового вольтметра і виконати вимірювання спаду напруги на еталонному резисторі. Записати показ цифрового вольтметра  $U_V$  у табл. 8.2. Результати опосередкованого вимірювання струму.

Таблиця 8.2

$R_N$ Ом	$U_V$ мВ	$I_{x, \text{оносер}}$ мА	$\delta_{I_{x, \text{оносер}}}$ %	$u_B \text{ rels}$ $(R_N)$ %	$u_B \text{ rels}$ $(U_V)$ %	$u_{cB} \text{ rels}$ $(I_{\text{оносер}})$ %	$u_{cB}(I_{\text{оносер}})$ мА	$p$	$U_p$ $(I_{x, \text{оносер}})$ мА

## Додаток

### Умовні позначення на шкалах вимірювальних приладів

№ з/п	Позначення	Найменування
<i>Принцип</i>		
1		магнітоелектричний з рухомою рамкою
2		магнітоелектричний з рухомих магнітом
3		електромагнітний
4		електродинамічний
5		феродинамічний
6		електростатичний
7		термоелектричний
8		випрямляючий, детекторний
9		електронний
<i>Рід струму</i>		
1		постійний
2		змінний
3	3~50 Hz	струм змінний трьохфазний 50 Hz
4		постійний та змінний
5	~400 Hz	змінний струм частотою 400 Гц

*Закінчення додатка*

№ з/п	Позначення	Найменування
<i>Положення шкали</i>		
1		вертикальне
2		горизонтальне
3		нахилене
<i>Інші позначення</i>		
1	0.5	Клас точності
2	0.5 	Клас точності від довжини шкали
3		Категорія захищеності від впливу зовнішніх магнітних полів
4		Вимірювальний ланцюг ізольований від корпусу та випробуваний напругою 2 кВ
5		Положення приладу відносно земного меридіану



## Список літератури

1. *Поліщук Є.С.* Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук та ін. За ред. проф. Є.С. Поліщука. - Львів: Бескид Бст, 2003. - 544 с.
2. *Бурдун Г.Д.*, Марков Б.Н. Основы метрологи: учеб. пособие / Г.Д. Бурдун, Б.Н. Марков. - М.: Издательство стандартов, 1985. - 256с.
3. *Буриненко М.Ю.* Метрология: конспект лекцій / М.Ю. Буриненко, В.М. Землянський, И.А. Иванов и др. - К.: КМУГА, 1995. - 96с.
4. *Землянський В.М.* Теория погрешностей: учеб. Пособие / В.М. Землянський. - К.:НАУ, 1998. - 87с.
5. *Бичківський Р.В.* Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: підручник / Р.В. Бичківський. - Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2002. - 560 с.
6. *Величко О.М.* Основы метрології та метрологічна діяльність. навч. посібник / О.М. Величко. - К.: 2000. - 228 с.
7. *Бабак В.П.* Аналогові та цифрові вимірювальні прилади: консп. Лекцій / В.П. Бабак, В.С. Єременко та ін. - К., НАУ, 2002 - 144 с.
8. ДСТУ 2681-99. Метрологія. Терміни та визначення. - К: Держст. України - 1994.
9. *Основи метрології та електричних вимірювань* : підручник / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко. – Вінниця : ВНТУ, 2012. - 522 с.
10. *Закон України «Про метрологію і метрологічну діяльність»* від 11.02.1998.

*Навчальне видання*

# ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Лабораторний практикум  
для студентів спеціальності 141  
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладачі:

СТАХОВА Анжеліка Петрівна  
МАРТИНЮК Ганна Вадимівна

Редактор *Л. М. Дудченко*

Технічний редактор *А. І. Лавринович*

Коректор *О. О. Крись*

Комп'ютерна верстка *Н. В. Чорної*

Підг. до друку 21.09.2020. Формат 60x84/16. Папір офс,

Офс. друк. Ум. друк. арк. 2,79- Обл.-вид. арк. 4,0.

Тираж 100 прим. Замовлення № 120-1.

Видавець і виготівник

Національний авіаційний університет

03680, Київ-58, проспект Любомира Гузара, 1.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002