

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

**04-03-431М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни  
«Метрологія» (частина 2) для здобувачів вищої освіти першого  
(бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою  
«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою з якості  
ННІЕАВГ  
Протокол № 7 від 25.02.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Метрологія» (частина 2) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Матус С. К. – Рівне : НУВГП, 2025. – 36 с.

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

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

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

© С. К. Матус, 2025  
© НУВГП, 2025

## **Зміст**

Лабораторна робота № 3. ....	4
Лабораторна робота № 4. ....	18
Лабораторна робота № 5. ....	30
Література .....	36

## **Лабораторна робота № 3. Особливості вимірювання електричних величин різними методами**

### **3.1 Мета роботи**

Ознайомитися із компенсційним методом вимірювання напруги; навчитися вимірювати за допомогою цифрового осцилографа основні параметри електричних сигналів методом безпосередньої оцінки.

#### *Частина 1*

### **3.2 Теоретичні відомості**

Принцип вимірювання – це ефект або явище на яких ґрунтується вимірювання.

Метод вимірювання – сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та принципу вимірювання для отримання вимірювальної інформації про значення вимірюваної величини.

Методика вимірювання або, інакше, вимірювальна процедура – це логічна послідовність вимірювальних операцій із засобами вимірювальної техніки для вимірювання певної величини із заданою точністю згідно із вибраним методом та принципом вимірювання.

Класифікуючи методи вимірювання їх поділяють на методи одночасного та різночасного порівняння. Методи різночасного порівняння часто називають методами безпосереднього оцінювання, оскільки вони ґрунтуються на використанні вимірювальних приладів із заздалегідь проградуєваними, в одиницях вимірюваної величини, шкалами. До методів безпосереднього оцінювання належать прямі вимірювання, за винятком методів, які базуються на безпосередньому порівнянні розміру вимірюваної величини з розміром величини, відтвореного мірою.

Методи, основані на одночасному порівнянні, об'єднано загальною назвою *методів порівняння*. До них, згідно з ДСТУ 2681-94 належать: метод зіставлення, методи збігу, метод зрівноваження з регульованою мірою та диференційний метод.

*Метод зіставлення* – метод прямого вимірювання з

одноразовим порівнянням вимірюваної величини з усіма вихідними величинами багатозначної нерегульованої міри (приклад: вимірювання довжини лінійкою з поділками, вимірювання інтервалу часу годинником).

*Метод одного збігу* (метод ноніуса) – метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вихідних величин двох багатозначних нерегульованих мір, із різними за значенням ступенями, нульові позначки яких зсунуті між собою на вимірювану величину (приклад: вимірювання лінійного розміру за допомогою штангенциркуля з ноніусом).

*Метод подвійного збігу* (метод коінциденції, coincidence – збіг) – метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням двох квантованих фізичних величин: вимірюваної та відтворюваної багатозначною нерегульованою мірою (приклад: вимірювання зістикованих інтервалів часу за допомогою послідовності періодичних імпульсів із відомим значенням їх періоду).

*Метод зрівноваження з регульованою мірою* (нульовий метод, null method of measurement) – це метод прямого вимірювання з багаторазовим порівнянням вимірюваної величини та величини, що відтворюється мірою, яка регулюється, до їх повного зрівноваження (приклад: вимірювання електричної напруги компенсатором).

*Диференційний (різницевий) метод* – метод вимірювання, за яким невелика різниця між вимірюваною величиною та вихідною величиною одноканальної міри вимірюється відповідним засобом вимірювання.

*Метод заміщення* – метод непрямого вимірювання з багаторазовим порівнянням до повного зрівноваження вихідних величин вимірювального перетворювача з почерговим перетворенням ним вимірюваної величини та вихідної величини регульованої міри.

Компенсаційний метод належить до нульового методу порівняння із мірою, до методу вимірювання, при якому різниця між мірою та вимірюваною фізичною величиною доводиться до нуля. Схема вимірювання ЕРС компенсаційним методом наведена на рис. 3.1.

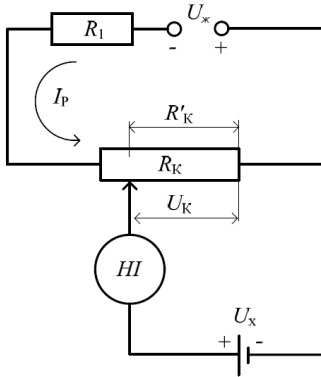


Рис. 3.1 Схема вимірювання ЕРС компенсаційним методом

У верхньому контурі під дією ЕРС допоміжного джерела живлення  $U_{жс}$  створюється робочий струм  $I_P$ . Напруга, яка вимірюється  $U_x$  порівнюється із компенсуючою напругою  $U_K$ , що створюється струмом  $I_P$  на ділянці компенсуючого опору  $R'_K$ . За відсутності струму в нуль-індикаторі напруга  $U_x$  врівноважена напругою  $U_K$

$$U_x = U_K = I_P \cdot R'_K, \quad (3.1)$$

З виразу (3.1) видно, що точність вимірювання  $U_x$  компенсаційним методом визначається незмінністю робочого струму  $I_P$ , тобто стабільністю допоміжного джерела живлення  $U_{жс}$ , а також чутливістю нуль-індикатора.

Переносний потенціометр постійного струму типу ПП-63, класу 0,05 призначений для вимірювання компенсаційним методом ЕРС і напруги, повірки технічних термопар і вторинних приладів.

На рис. 3.2 показана панель лабораторного потенціометра. Вимірювальні опори, ручки яких П1 і  $R_P$  виведені на панель. Резистори для встановлення робочого струму (R27 та R28), які виготовлені у вигляді подвійного повзункового реостату, що має дві ручки, при цьому, менша служить для грубого регулювання робочого струму, а більша – для точного регулювання. Регулюючі резистори (R36 та R37) джерела регульованої напруги, виготовлені у вигляді подвійного повзункового

реостату, що має дві ручки. Менша служить для грубого регулювання напруги, а більша – для точного.

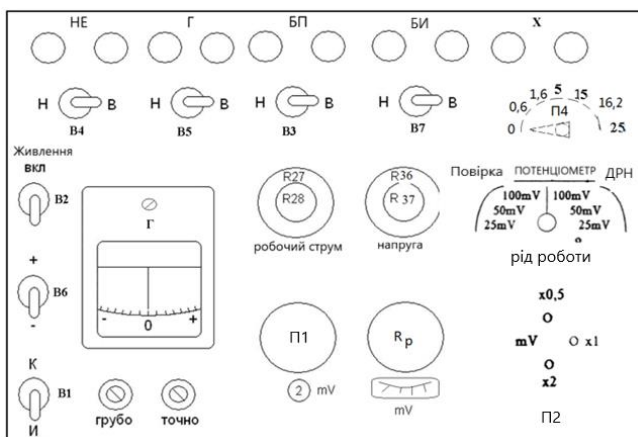


Рис.3.2.

Перемикач П2 має три положення:

- $\times 0,5$  при вимірюванні напруги до 25 мВ;
- $\times 1$  при вимірюванні напруги до 50 мВ;
- $\times 2$  при вимірюванні напруги до 100 мВ;

Перемикач П4 для імітації лінії.

На металевій панелі приладу змонтований нуль-індикатор (гальванометр) Г магнітоелектричної системи. Ручки «грубо», «точно» для підключення гальванометра до вимірювальної схеми. Тумблер В1 на два положення: «К» – контроль робочого струму потенціометра, «И» – вимірювання. Тумблер В6 перемикач полярності. Тумблер В2 – живлення. Тумблери В3, В4, В5, В7 і затискачі «НЕ», «Г», «БП», «БИ» слугують для підключення: нормального елемента, гальванометра, батареї потенціометра і батареї джерела. Тумблери повинні бути в положенні «Н». При використанні внутрішніх «НЕ», гальванометра і батареї живлення – тумблери повинні бути у положенні «В». Затискачі «Х» слугують для підключення потенціометра до зовнішньої схеми.

Вибір схеми потенціометра проводять перемикачем «Рід роботи», що має сім робочих положень:

$100\text{ mV}$  }  
 $50\text{ mV}$  } – *повідка (мілівольтметрів і потенціометрів)*  
 $25\text{ mV}$  }

потенціометр – середнє положення;

$100\text{ mV}$  }  
 $50\text{ mV}$  } – *ДРН (джерело регульованої напруги)*  
 $25\text{ mV}$  }

Перед початком роботи елементи управління і регулювання повинні знаходитися в таких положеннях:

- перемикач приладу живлення В2 в положенні «Вимк.»;
- перемикачі В3, В7, В4, В5 – в положенні «В» при використанні внутрішніх джерел живлення, а в положенні «Н» – при використанні зовнішніх джерел живлення; нормального елемента та гальванометра;

- перемикач полярності В6 в положенні «+»;
- кнопки «грубо», «точно» у нефіксованому положенні;
- перемикач В1 – в положення «И».

Вимірювання напруги проводять в наступному порядку:

- підключити об'єкт вимірювання, враховуючи полярність, до затискачів «Х»;

- встановити перемикач «рід робіт» у положення «потенціометр»;

- встановити перемикач «живлення» у положення «Вкл.»;

- встановити перемикач приладу в одне із відповідних

положень:

- x 0,5 при вимірюванні напруги до 25 мВ;

- x 1 при вимірюванні напруги до 50 мВ;

- x 2 при вимірюванні напруги до 100 мВ;

- провести контроль робочого струму потенціометра, для чого: встановити перемикач В1 в положення «К», встановити стрілку гальванометра на нуль шляхом обертанням ручок реостату «робочий струм» при послідовно натиснутих кнопках «грубо» і «точно»;

- провести вимірювання, для чого: встановити перемикач В1 в положення «И», встановити стрілку гальванометра на нуль,



обертаючи ручку секційного перемикача і реохорда при послідовно натиснутих кнопках «грубо» і «точно».

Значення вимірної напруги в мілівольтах буде дорівнювати сумі показів шкал секційного перемикача і реохорда, помноженій на множник, встановлений на перемикачі границь потенціометра.

### 3.3. Програма роботи

1. Ознайомитись з будовою і принципом дії потенціометра, вивчити методику його роботи.

2. Скласти схему і отримати експериментальні дані, зробити висновки щодо точності вимірювання.

### 3.4. Порядок виконання роботи

Схема дослідження приведена на рис. 3.3.

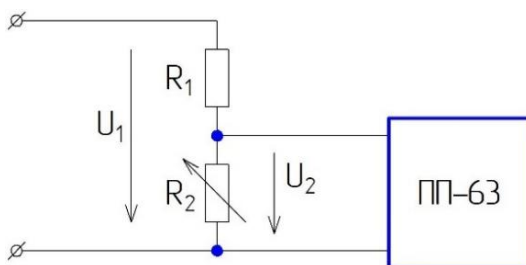


Рис.3.3.

Схема складається з резистивного подільника напруги  $R_1$  і  $R_2$ . Опір  $R_2$  встановлюють магазином опорів (стенд УИЛС-1).

Як навантаження до подільника підключають потенціометр ПП-63. Подільник живиться постійною напругою.

1. Ознайомитись з будовою і принципом дії приладу ПП63.

2. Вивчити методику роботи з потенціометром.

3. Скласти схему згідно рис. 3.3.

4. Включити стенд УИЛС-1. Подати напругу на зібрану схему. Встановити напругу живлення  $U_1 < 1В$  та виміряти цифровим вольтметром. За допомогою мультиметра поміряти опори  $R_1$  і  $R_2$ .

5. Провести вимірювання опорів  $R_1$  і  $R_2$ , при цьому вимірювати напругу  $U_2$  потенціометром ПП-63 і напругу  $U_1$  цифровим вольтметром. Результати вимірювань записати в табл.3.1.

Таблиця 3.1

№	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$U_1, мВ$	$U_2, мВ$	$\Delta U'_1, мВ$	$\Delta U''_1, мВ$
1.						
2.						
...						
n						

Напругу живлення  $U_1$  на стенді не змінювати.

6. Виключити лабораторний стенд. З дозволу викладача розібрати схему.

*Оброблення експериментальних даних:*

7. Обчислити абсолютні похибки  $\Delta U''$  (інструментальну похибку) вимірювання напруги  $U_1$ . Для цього необхідно спочатку обчислити  $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta U_2$ .

Похибки  $\Delta R_1$  і  $\Delta R_2$  визначаються за формулою (опори подільника вимірюють цифровим мультиметром з абсолютною похибкою вимірювання)

$$\Delta R = \pm(0,003R_x + 0,0025R_N), \quad (3.2)$$

де  $R_x$  – вимірне значення опору;  $R_N$  – граничне значення діапазону вимірювання опору.

Абсолютна похибка вимірювання напруги приладом

$$\Delta U_2 = \frac{\gamma}{100} U_N, \quad (3.3)$$

де  $\gamma$  – клас точності приладу ПП-63,  $\gamma = 0,05\%$ ,  $U_N$  – номінальне значення діапазону вимірювання напруги приладом ПП-63.

Оскільки в даному випадку мають місце непрямі вимірювання, то абсолютна похибка напруги  $\Delta U'_1$  визначається згідно формули

$$\Delta U_1' = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \Delta U_2 + \frac{2U_2}{R_2} \Delta R_1 + \frac{R_1 + R_2}{R_2^2} U_2 \Delta R_2 \quad (3.4)$$

Для порівняння напруги  $U_1$ , знайденої за формулою

$$U_1 = U_2 \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (3.5)$$

застосовують пряме вимірювання безпосередньо за допомогою цифрового вольтметра.

Абсолютна похибка вимірювання напруги цифровим вольтметром дорівнює

$$\Delta U_1'' = \pm(0,0015U_x + 0,002U_N), \quad (3.6)$$

де  $U_x$  – результат вимірювання цифровим вольтметром;  $U_N$  – номінальне значення діапазону вимірювання напруги цифровим вольтметром.

Похибки вимірювання, обчислені за формулами (3.4) і (3.6) записати в табл. 3.1.

Похибка вимірювання  $\Delta$  напруги  $U_1$  прямим вимірюванням дорівнює сумі основної похибки цифрового вольтметра  $\Delta_0$ , температурної похибки вольтметра  $\Delta_t$ , похибки вхідного опору вольтметра  $\Delta_{ex}$ , методичної похибки  $\Delta_m$ , похибки відліку  $\Delta_{від}$ .

Основна похибка визначена за формулою (3.6), зумовлена конструктивними особливостями приладу і нормальними умовами експлуатації. Температурна похибка  $\Delta_t = 0$ , так як вольтметр експлуатується в даному випадку при температурі  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ , вхідний опір вольтметра  $R_{ex} \gg (R_1, R_2 / R_{U_1})$ , то  $\Delta_{ex} = 0$ . Методична похибка в даному випадку практично дорівнює нулю.

Похибка відліку цифрового вольтметра дорівнює нулю. Отже, похибка вимірювання при прямому вимірюванні  $\Delta = \Delta_0 = \Delta U_1''$ .

Похибка вимірювання при непрямому вимірюванні приладом ПП-63 через подільник напруги

$$\Delta = \Delta U_1' + \Delta_{від},$$

де  $\Delta_{\text{від}} = 0,5 \text{ ЦП}$  – похибка відліку по точній шкалі приладу ПП-63;  $\text{ЦП}$  – ціна поділки приладу на даному діапазоні вимірювання.

### 3.5. Контрольні запитання

1. Яке призначення потенціометра ПП-63?
2. Який метод вимірювання використовується при вимірюванні потенціометром?
3. Якими видами вимірювання користувалися при знаходженні напруги  $U_I$  ?
4. Що таке абсолютна похибка вимірювання?
5. Чому зростає напруга  $U_I$  при збільшенні опору  $R_2$  ?
6. Чим пояснити різницю при визначенні абсолютних похибок  $\Delta U_I$  ?

### Частина 2

### 3.6 Теоретичні відомості

У лабораторній роботі використовується цифровий осцилограф Siglent SDS1102CML+.

*Опис моделі SIGLENT SDS1102CML+*

Осцилограф SDS1102CML+ оснащений 2 внутрішніми каналами і 1 зовнішнім, що має смугу пропускання в 100 МГц. Яскравий TFT рідкокристалічний екран на 7 дюймів дає змогу чітко розглядати осцилограми. Конструкція кнопок з підсвічуванням забезпечує зручність роботи з приладом. Розкрити свій аналітичний потенціал дає змогу пам'ять об'ємом 2 МБ, що забезпечує зберігання до 20 осцилограм і 10 користувацьких налаштувань, що дає змогу легко фіксувати і переглядати дані про сигнали.

*Особливості:* - високошвидкісна вибірка. Безперешкодний аналіз сигналів у реальному часі з високою частотою дискретизації 1 Гвиб/с забезпечує точне представлення осцилограм;

- покращений еквівалентний режим вибірки. Підвищення якості аналізу завдяки частоті дискретизації в еквівалентному режимі 50 Гвиб/с, що дає змогу детально досліджувати

високочастотні сигнали;

- діапазон вертикальної чутливості. Діапазон вертикальної чутливості від 2 мВ/под до 10 В/под дає змогу проводити аналіз з урахуванням різних амплітуд сигналів;

- різні режими синхронізації. Має можливості синхронізації за допомогою різних режимів, включно з Edge, Pulse, Video, Slope і Alternate, забезпечуючи точне захоплення подій;

- інтуїтивно зрозуміле управління. Зручна навігація за допомогою кнопок з підсвічуванням, продуманим для зручності використання при різному освітленні;

- широкі можливості інтерфейсу. Безперебійне підключення через інтерфейси USB-Host, USB-Device і RS-232 дає змогу задовольнити різні потреби у виведенні даних;

- вихідний сигнал Pass/Fail. Упорядкування аналізу за допомогою виведення даних Pass/Fail спрощує ідентифікацію сигналів, що відповідають заданим критеріям;

- можливість прямого друку. Можливість прямого друку на PictBridge-сумісні принтери через інтерфейс USB, що полегшує документування;

- багатомовний інтерфейс.

Передня панель осцилографа схематично зображена на рис. 3.4. Елементи керування перелічені в табл. 3.2.

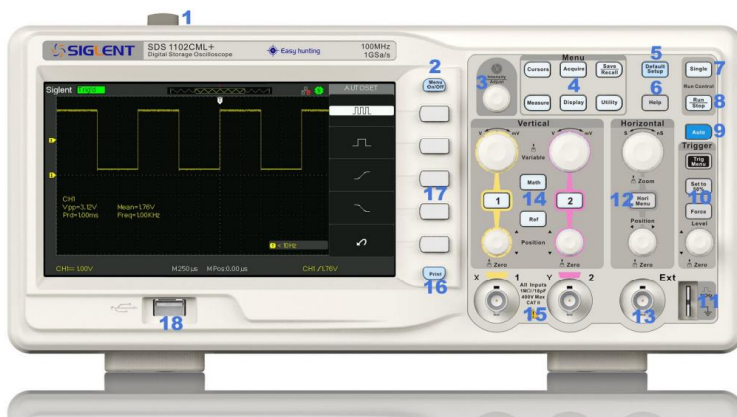


Рис. 3.4 Передня панель осцилографа SIGLENT SDS1102CML+

Таблиця 3.2

## Елементи керування на передній панелі осцилографа

Поз.	Найменування	Поз.	Найменування
1	Кнопка живлення	10	Зона керування тригером
2	Меню Увімк./Вимк	11	Вихід генератора тестового сигналу
3	Універсальна ручка	12	Горизонтальна контрольна зона
4	Меню функцій	13	Термінал зовнішнього тригера
5	Налаштування за замовчуванням	14	Зона вертикального контролю
6	Кнопка довідки	15	Вхідний термінал каналів
7	Один тригер	16	Ключ друку
8	Керування пуском/зупинкою	17	Програмна клавіша меню
9	Автоматичне налаштування	18	USB Host

Таблиця 3.3

Технічні характеристики осцилографа  
Siglent SDS1102CML+

Модель	<i>SDS1102CML+</i>
Смуга пропускання	100 МГц
Канали	2+1 зовн.
Частота дискретизації в реальному часі	1 Гвиб/с (1 канал) 500 Мвиб/с (2 канали)
Частота дискретизації в еквівалентному режимі	50 Гвиб/с
Об'єм пам'яті	2 МБ
Вертикальна чутливість	2 мВ/под – 10 В/под
Вертикальна роздільна здатність	8 біт
Час наростання	$\leq 7$ нс
Діапазон часової розгортки	10 нс/под – 50 с/под
Вхідний імпеданс	1 МОм    17 пФ
Курсорні вимірювання	Manual, Track, Auto

Математичні функції	додавання, віднімання, множення, ділення, ШПФ
Режими синхронізації	Edge, Pulse, Video, Slope, Alternate
Вхід	DC, AC, GND
<i>Загальні характеристики</i>	
Дисплей	7" кольоровий TFT-LCD (800 × 480)
Інтерфейс	USB-Host, USB-Device, LAN, P/F output
Джерело живлення	AC 100 ~ 240 В, 47 ~ 440 Гц, 50 ВА макс
Макс. вхідна напруга	1 МОм 17 пФ 400 В (DC + РК-РК) CATI, CATII
Габарити	305 × 133 × 154 мм

### **3.7 Програма роботи**

1. Ознайомитися із особливостями використання цифрового осцилографа SIGLENT SDS1102CML+, технічними та загальними характеристиками.

2. Навчитися вимірювати за допомогою осцилографа основні параметри електричних сигналів (амплітуду, частоту, період) і часові інтервали.

### **3.8 Порядок виконання роботи**

1. Підготувати осцилограф до проведення вимірювань.
2. Від генератора сигналів подати на вхід осцилографа синусоїдальний сигнал, рис. 3.5.
3. За мітками вертикальної розгортки визначити амплітуду сигналу.
4. За мітками часу горизонтальної розгортки визначити період та частоту сигналу.

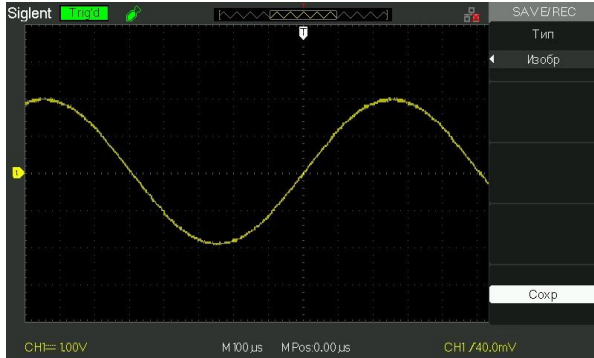
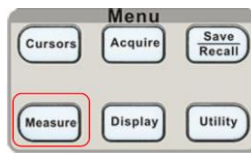


Рис. 3.5

5. Порівняти отримані значення із значеннями, які видає осцилограф при використанні його стандартних функцій (Measure).



6. Від генератора сигналів подати на вхід осцилографа сигнал прямокутної форми, рис. 3.6



Рис. 3.6

7. За мітками вертикальної розгортки визначити амплітуду сигналу.

8. За мітками часу горизонтальної розгортки визначити період та частоту сигналу.



9. Порівняти отримані значення із значеннями, які видає осцилограф при використанні його стандартних функцій (Measure).

10. Від генератора сигналів подати на вхід осцилографа сигнал трикутної форми, рис. 3.7.

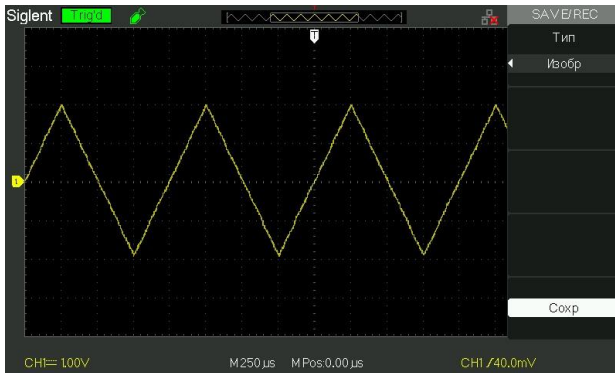


Рис. 3.7

11. За мітками вертикальної розгортки визначити амплітуду сигналу.

12. За мітками часу горизонтальної розгортки визначити час наростання та спадання трикутного імпульсу, період та частоту сигналу.

13. Порівняти отримані значення із значеннями, які видає осцилограф при використанні його стандартних функцій.

### 3.9 Контрольні запитання

1. Яке призначення цифрового осцилографа?
2. Чим відрізняється аналоговий осцилограф від цифрового осцилографа?
3. Як визначити роздільну здатність вертикальної розгортки за мітками амплітуди?
4. Як визначити роздільну здатність горизонтальної розгортки за мітками часу?
5. Як визначити частоту сигналу знаючи період слідування імпульсів?
6. Як визначити період слідування імпульсів знаючи частоту сигналу?

## Лабораторна робота № 4. Дослідження вимірювальних схем

### 4.1 Мета роботи

Набути практичних навичок вимірювання параметрів елементів кіл за допомогою моста змінного струму.

### 4.2 Теоретичні відомості

Важливими елементами електричних кіл змінного струму є резистори, конденсатори і котушки індуктивності, які представляють собою лінійні пасивні двополюсники.

В загальному випадку, будь-який лінійний електричний двополюсник характеризується комплексним опором  $\dot{Z}$ , який дорівнює відношенню комплексної напруги  $\dot{U}$  до комплексного струму  $\dot{I}$ ,  $\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}$ .

Комплексний опір  $\dot{Z}$  зазвичай представляють таким чином:

$$\dot{Z} = Z e^{j\varphi} \quad (4.1)$$

або враховуючи формули Ейлера:

$$\dot{Z} = Z(\cos \varphi + j \sin \varphi) = R + jX, \quad (4.2)$$

де  $Z$  - модуль комплексного опору;  $\varphi$  - кут фазового зсуву між векторами напруги  $\dot{U}$  та струму  $\dot{I}$ ;  $R$  та  $X$  - активна та реактивна складова комплексного опору.

Модуль, активна та реактивна складові й кут зсуву фаз пов'язані такими співвідношеннями

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \text{ або } R = Z \cos \varphi; X = Z \sin \varphi; \varphi = \arctg \frac{X}{R} \quad (4.3)$$

Залежно від характеру реактивної складової, комплексний опір рівний:

$$\dot{Z} = R + \frac{1}{j\omega C} \quad \text{або} \quad \dot{Z} = R + j\omega L \quad (4.4)$$

де  $\omega = 2\pi f$  - циклічна частота;  $C$ ,  $L$  - ємність (Ф) та індуктивність (Гн) двополюсника.

Однак реальний двополосник при змінному струмі ніколи не буває суто активним, суто ємнісним чи суто індуктивним, йому завжди властиві більшою чи меншою мірою параметри – активний опір  $R$ , ємність  $C$  або індуктивність  $L$ . Тому для аналізу елементів кіл змінного струму користуються їх еквівалентними схемами заміщення, які є комбінацією послідовних і паралельних з'єднань  $R$ ,  $L$ ,  $C$ , що відображають властивості цих елементів.

У реальному конденсаторі струм  $I$  зміщений відносно напруги  $U$  на кут, менший від  $90^\circ$ . Значення втрат характеризують тангенсом кута втрат  $D = \operatorname{tg} \delta$ , який доповнює до  $90^\circ$  кут  $\varphi$  між  $I$  та  $U$ .

В такому випадку реальний конденсатор зображують еквівалентною схемою у вигляді ємності  $C$ , до якої послідовно або паралельно під'єднано активний опір  $R$  (рис. 4.1)

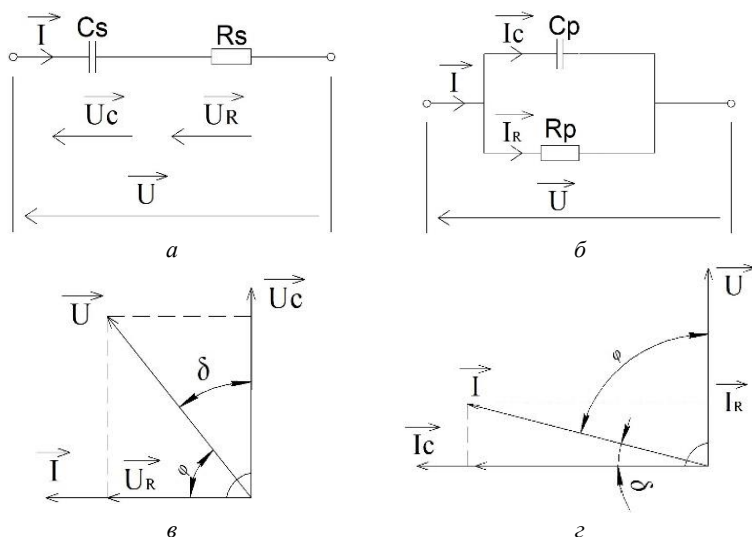


Рис. 4.1 Послідовна (а) і паралельна (б) схеми заміщення конденсатора з втратами та відповідні векторні діаграми (в) і (з)

Для послідовної схеми заміщення (рис. 4.1) комплексний опір конденсатора дорівнює

$$\dot{Z}_C = R_S + \frac{1}{j\omega C_S} \quad (4.5)$$

а тангенс кута втрат –

$$D = tg\delta = \frac{U_R}{U_C} = \frac{IR_S}{I/\omega C_S} = \omega R_S C_S \quad (4.6)$$

а для паралельної схеми заміщення (4.1, б і г)

$$\dot{Z}_C = \frac{R_P}{1 + j\omega R_P C_P} \quad (4.7)$$

$$tg\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{U/R_P}{U\omega C_P} = \frac{1}{\omega R_P C_P} \quad (4.8)$$

Той самий конденсатор можна зобразити як послідовною, так і паралельною схемами заміщення, однак послідовна схема заміщення характерніша для конденсаторів з малими втратами ( $tg\delta = 10^{-5} \dots 10^{-2}$ ), а паралельна – для конденсаторів з великими втратами ( $tg\delta = 10^{-2} \dots 1$ ).

Для конденсатора, представленого двома схемами заміщення, між величинами  $C_P$  та  $C_S$  існує такий взаємозв'язок:

$$C_P = \frac{C_S}{1 + tg\delta^2} \quad (4.9)$$

Реальній котушці індуктивності властиві активні втрати, зумовлені активним опором обмотки і перемагнічуванням осердя, тобто в ній поглинається активна потужність, а струм  $I$  зміщений відносно напруги  $U$  на кут, менший за  $90^\circ$ .

Котушку індуктивності характеризують добротністю  $Q$ , яка є величиною, оберненою до тангенса кута втрат  $Q = \frac{1}{tg\delta} = \frac{1}{D}$ .

Реальну котушку індуктивності зазвичай представляють спрощеною еквівалентною схемою у вигляді індуктивності  $L$ , до якої послідовно або паралельно під'єднано активний опір (рис. 4.1).

Для послідовної схеми заміщення (рис. 4.2) комплексний опір котушки індуктивності

$$\dot{Z}_L = R_S + j\omega L_S \quad (4.10)$$

а добротність

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \frac{1}{U_R/U_L} = \frac{\omega L_S}{R_S} \quad (4.11)$$

а для паралельної схеми заміщення (рис. 4.2, б і г)

$$\dot{Z}_L = \frac{R_p}{1 - j \frac{R_p}{\omega L_p}} \quad (4.12)$$

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \frac{I_L}{I_R} = \frac{R_p}{\omega L_p} \quad (4.13)$$

Для котушки індуктивності, представлені двома схемами заміщення, між величинами  $L_p$  та  $L_s$  існує такий взаємозв'язок:

$$L_p = L_s \left( 1 + \frac{1}{Q^2} \right) \quad (4.14)$$

Як видно з (4.14), значення індуктивності тієї самої котушки, визначеної при різній схемі заміщення, може істотно відрізнятися, особливо за малих значень  $Q$  (якщо  $Q = 1$ , різниця між  $L_p$  і  $L_s$  становить 100%).

У зв'язку з цим котушку індуктивності не можна однозначно зобразити однією схемою заміщення. Це пояснюється тим, що втрати в ній мають складові, які відображають як послідовною, так і паралельною схемами заміщення. У котушках індуктивності з феромагнітним осердям переважають втрати, зумовлені перемагнічуванням осердя, які точніше відображаються паралельною схемою, а в котушках без осердя – втрати, зумовлені активним опором обмотки, які точніше відображаються послідовною схемою заміщення.

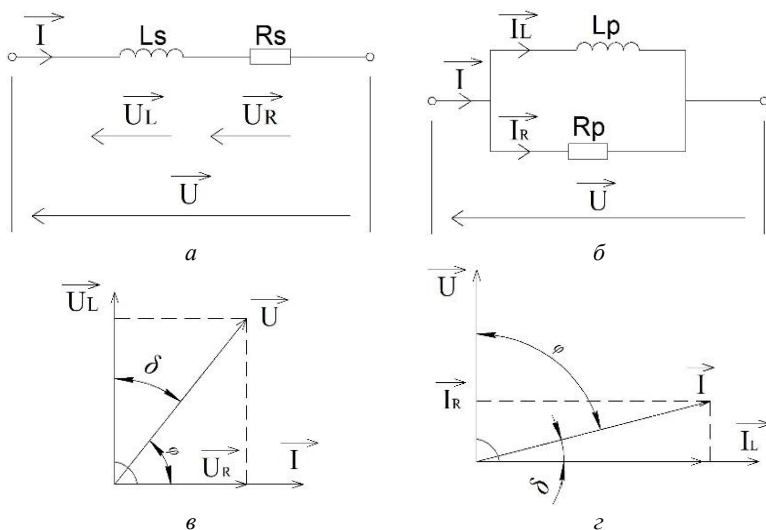


Рис. 4.2 Послідовна (а) і паралельна (б) схеми заміщення котушки індуктивності та відповідні векторні діаграми (в) і (г)

Наявність у котушках індуктивності власної ємності  $C_L$  призводить до того, що виміряна індуктивність матиме завищене значення порівняно з істинним, тобто фактично вимірюють уявну індуктивність  $L_y$ , яка пов'язана з істинним значенням  $L$  залежністю

$$L_y = \frac{L}{1 - (f/f_0)^2} \quad (4.15)$$

де  $f$  – робоча частота;  $f_0$  – власна резонансна частота котушки індуктивності, яка дорівнює

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_L}} \quad (4.16)$$

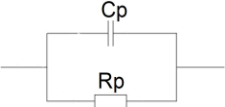

Різниця між дійсним  $L$  і вимірним  $L_y$  значенням індуктивності буде особливо істотною з наближенням робочої частоти  $f$  до резонансної  $f_0$ .

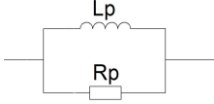

Отже, вимірюючи параметри елементів електричних кіл змінного струму, слід детально аналізувати властивості досліджуваного об'єкта та умови здійснення вимірювального експерименту, щоб уникнути небажаних великих похибок вимірювання.

Під час дослідження резисторів, конденсаторів та котушок індуктивності вимірювальними величинами є їх основні параметри  $R$ ,  $C$  та  $L$ , тангенс кута втрат  $D = \operatorname{tg} \delta$  і добротність  $Q$ .

Таблиця 4.1

Еквівалентні схеми заміщення

№	Режим схеми	Обчислення при частоті
C		$D = \frac{1}{2\pi f C_p R_p} = \frac{1}{Q}$ $Q = 2\pi f C_p R_p$ $Z_a = \frac{1}{1 + R_p^2 \omega^2 C_p^2}$ $Z_p = \frac{\omega C_p R_p}{1 + \omega^2 C_p^2}$ $Z = \sqrt{\left(\frac{1}{1 + R_p^2 \omega^2 C_p^2}\right)^2 + \left(\frac{\omega C_p R_p}{1 + \omega^2 C_p^2}\right)^2}$
C		$D = 2\pi f C_s R_s = \frac{1}{Q}$ $Q = \frac{1}{2\pi f C_s R_s}$ $Z_a = R_s$ $Z_p = \frac{1}{\omega C_s}$ $Z = \sqrt{R_s^2 + \left(\frac{1}{\omega C_s}\right)^2}$

L		$D = \frac{2\pi f L_p}{R_p} = \frac{1}{Q}$ $Q = \frac{R_p}{2\pi f L_p}$ $Z_a = \frac{R_p \omega^2 L_p^2}{R_p^2 + \omega^2 L_p^2}$ $Z_p = \frac{R_p \omega L_p}{R_p^2 + \omega^2 L_p^2}$ $Z = \sqrt{\left(\frac{R_p \omega^2 L_p^2}{R_p^2 + \omega^2 L_p^2}\right)^2 + \left(\frac{R_p \omega L_p}{R_p^2 + \omega^2 L_p^2}\right)^2}$
L		$D = \frac{R_s}{2\pi f L_s} = \frac{1}{Q}$ $Q = \frac{2\pi f L_s}{R_s}$ $Z_a = R_s$ $Z_p = \omega L_s$ $Z = \sqrt{R_s^2 + (\omega L_s)^2}$

У лабораторній роботі використовують міст змінного струму Р5083, він є автономним засобом вимірювань і призначений для автоматичного вимірювання: ємності  $C$ , індуктивності  $L$ , активного опору  $R$ , тангенсу кута втрат  $tg\delta$  (добротності  $Q_R$ ), тангенсу кута фазового зсуву  $tg\phi$  (добротності  $Q_C$  та  $Q_L$ ) об'єктів вимірювань, а також відсоткових відхилень параметрів об'єктів від заданого значення із поданням результатів вимірювань у цифровому вигляді.





Рис. 4.1 Міст змінного струму P5083

Значення вимірюваних мостом величин, залежно від частоти й напруги на об'єкті вимірювань, відповідають зазначеним у таблиці 4.2

Таблиця 4.2

Головні		Додаткові	
	основні		похідні
C	$C_p$	$R_p$	$tg\delta_c(Q_R)$
	$C_s$	$R_s$	
L	$L_p$	$R_p$	$tg\delta_L(Q_R)$
	$L_s$	$R_s$	
R	$R_p$	$C_p$	$tg\delta_c(Q_C)$
		$L_p$	$tg\delta_L(Q_L)$
	$R_s$	$C_s$	$tg\delta_c(Q_C)$
		$L_s$	$tg\delta_L(Q_L)$

Класи точності приладу міст змінного струму P5083 по головних вимірюваним величинам вказані в таблиці 4.3

Характеристики:

Діапазон вимірювання ємності (C): 10000 пФ – 10 Ф

Діапазон вимірювання індуктивності (L): 10 нГн – 10 МГн

Діапазон вимірювання опору (R): 10 мкОм – 10 ГОм

Тангенс кута втрат ( $tg \delta$ ):  $10^{-5} - 10^5$

Тангенс кута зсуву ( $tg \varphi$ ):  $\pm 10^{-5} - \pm 10^5$

Відсоткові відхилення:  $\pm 0,001\% - \pm 100\%$

Діапазон робочих частот: 100 Гц – 100 кГц

Таблиця 4.3

Класи точності приладу міст змінного струму P5083 по головним  
вимірюваним величинам

Вимірювана величина	$f_{от}, f_H$	Діапазон вимірювань			Клас точності
		номер	відлік	множник	
1	2	3	4	5	6
$C_p, F;$ $C_s, F;$ $tg\delta_C (Q_R)$	0,999 кГц, 0,100 кГц– 0,999 кГц	1	000,01–099,99	$10^{-12}$	0,2/0,02
			100,00–999,99		0,1/0,01
		2	1,0000–9,9999	$10^{-9}$	0,05/0,005
			10,00000–99,9999		
		3	100,000–999,99	$10^{-6}$	0,1/0,01
			1,00000–9,9999		
		4	10,0000–99,999	$10^{-3}$	0,2/0,02
			100,000–999,99		
		5	100,000–999,99	$10^{-3}$	0,5/0,2
1,00000–9,9999					
6	10,0000–99,999	$10^{-3}$	1,5/0,15		
	100,000–999,99				
7	1,00000–9,9999	$10^{-3}$	2,5/0,1		
	10,000–9999				
$C_p, F;$ $C_s, F;$ $tg\delta_C (Q_R)$	1,00 кГц, 1,00 кГц– 9,99 кГц	1	00,001–09,999	$10^{-12}$	0,05/0,01
			10,00000–99,9999		0,05/0,005
		2	100,0000–999,99	$10^{-9}$	0,02/0,002
			1,00000–9,9999		
		3	10,0000–99,999	$10^{-6}$	0,05/0,005
			100,000–999,99		
		4	1,00000–9,9999	$10^{-6}$	0,1/0,01
			10,0000–99,999		
		5	100,000–999,99	$10^{-6}$	0,5/0,05
1,00000–9,9999					
6	10,0000–99,999	$10^{-3}$	1/0,1		
	100,000–999,9				
$C_p, F;$ $C_s, F;$ $tg\delta_C (Q_R)$	10,0 кГц, 10,0 кГц– 100 кГц	1	0,0001–0,9999	$10^{-12}$	0,5/0,01
			1,00000–9,9999		0,2/0,02
		2	10,0000–99,999	$10^{-9}$	0,1/0,01
			100,000–999,99		
		3	1,00000–9,9999	$10^{-9}$	0,2/0,02
			10,0000–99,999		
		4	100,000–999,99	$10^{-6}$	0,5/0,05
			1,00000–9,9999		
		5	10,0000–99,999	$10^{-6}$	1,5/0,15
100,000–999,99					
6	100,000–999,99	$10^{-6}$	2,5/0,2		
	1,00000–9,9999				
7	10,0000–99,999	$10^{-6}$	1,5/0,15		
	100,000–999,99				
8	100,000–999,99	$10^{-3}$	5/1		
	1,000–99,9				

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6
$L_s, H;$ $L_p, H;$ $\text{tg}\delta^L (Q_R)$	0,999 кГц, 0,100 кГц– 0,999 кГц	1	000,01–099,99	$10^{-12}$	1/0,1
		2	100,000–999,99		0,5/0,05
		3	1,00000–9,9999	$10^{-9}$	0,1/0,01
		4	10,00000–99,9999		
		5	100,0000–999,99		
		6	1,00000–9,9999	$10^{-6}$	0,2/0,02
		7	10,0000–99,999		
		8	100,000–999,99	$10^{-3}$	0,5/0,05
		9	1,00000–9,9999		1/0,1
			10,000–9999	2/0,1	
$L_s, H;$ $L_p, H;$ $\text{tg}\delta_L (Q_R)$	1,00 кГц, 1,00 кГц– 9,99к Гц	1	00,001–09,999	$10^{-6}$	0,5/0,01
		2	10,00000–99,9999		0,5/0,05
		3	100,0000–999,99		0,2/0,02
		4	1,00000–9,9999	$10^{-3}$	0,02/0,002
		5	10,0000–99,999		
		6	100,000–999,99	$10^0$	0,05/0,005
		7	1,00000–9,9999		0,1/0,01
		8	10,0000–99,999		0,25/0,025
		9	100,000–999,99	$10^3$	1/0,1
			1,00000–999,9		
$L_s, H;$ $L_p, H;$ $\text{tg}\delta_L (Q_R)$	10,0 кГц, 10,0 кГц– 100 кГц	1	0,0001–0,9999	$10^{-6}$	0,5/0,01
		2	1,00000–9,9999		0,5/0,05
		3	10,0000–99,999		0,2/0,02
		4	100,000–999,99		0,02/0,002
		5	1,00000–9,9999	$10^{-3}$	0,05/0,005
		6	10,0000–99,999		
		7	100,000–999,99		
		8	1,00000–9,9999	$10^0$	0,1/0,01
		9	10,0000–99,999		0,25/0,025
			100,000–999,99		1/0,1
	1,000–99,9	$10^3$	5/1		

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6
$R_s, R_p,$ $tg\varphi_C, tg\varphi_L$	1,00 кГц, 0,100 кГц– 100 кГц	1	000,01–099,99	$10^{-3}$	0,5/0,01
		2	100,000–999,99		0,2/0,02
		3	1,00000–9,9999	$10^0$	0,1/0,01
		4	10,0000–99,999		0,05/0,005
		5	100,000–999,99		0,02/0,002
		6	1,00000–9,9999	$10^3$	
		7	10,0000–99,999		
		8	100,000–999,99		0,05/0,005
		9	1,00000–9,9999	$10^6$	0,2/0,02
			10,000–9999		0,5/0,1

### 4.3. Порядок виконання роботи

1. Під'єднати до моста змінного струму лінійний двополосник, який володіє активним опором  $R$  та ємністю  $C$ .

2. Провести вимірювання параметрів двополосника використовуючи дві схеми заміщення (паралельну на послідовну) при частоті: 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц.

Таблиця 4.4

Параметр	Частота вимірювання			
	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц
$R_p$				
$C_p$				
$R_s$				
$C_s$				
$tg\delta$				

3. Розрахувати повний опір  $Z$  (табл. 4.1) при послідовній та паралельній схемах заміщення.

Таблиця 4.5

Параметр	Частота вимірювання			
	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц
$Z_p$				
$Z_s$				

4. Під'єднати до моста змінного струму лінійний двополосник, який володіє активним опором  $R$  та індуктивністю  $L$ .

5. Провести вимірювання параметрів двополюсника використовуючи дві схеми заміщення (паралельну на послідовну) при частоті: 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц.

Таблиця 4.6

Параметр	Частота вимірювання			
	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц
$R_p$				
$L_p$				
$R_s$				
$L_s$				
$tg\delta$				

6. Розрахувати повний опір  $Z$  (табл. 4.1) при послідовній та паралельній схемах заміщення.

Таблиця 4.7

Параметр	Частота вимірювання			
	100 Гц	1 кГц	10 кГц	100 кГц
$Z_p$				
$Z_s$				

7. Для частоти вказаної викладачем розрахувати абсолютні похибки вимірювань з врахуванням класу точності приладу Р5083. Результат записати вигляді:

$$R_p \pm \Delta R_p, \quad C_p \pm \Delta C_p, \quad Z_p \pm \Delta Z_p;$$

$$R_s \pm \Delta R_s, \quad C_s \pm \Delta C_s, \quad Z_s \pm \Delta Z_s.$$

8. Висновки з аналізом одержаних результатів.

#### 4.4 Контрольні запитання

1. Яким чином компенсується міст змінного струм?
2. Як залежить активний опір, ємність та добротність двополюсника від частоти при якій проводилися вимірювання?
3. Як залежить активний опір, індуктивність та добротність двополюсника від частоти при якій проводилися вимірювання?
4. При яких умовах використовується послідовна або паралельна схеми заміщення реального конденсатора?
5. При яких умовах використовується послідовна або паралельна схеми заміщення реальної котушки індуктивності?

## **Лабораторна робота № 5. Метрологічна перевірка вимірювальних приладів**

### **5.1 Мета роботи**

Ознайомитися з методикою повірки вимірювального приладу для встановлення його відповідності зазначеному класу точності

### **5.2 Теоретичні відомості**

Повірка – сукупність операцій, що включає перевірку, маркування та/або видачу документу про повірку засобу вимірювальної техніки (ЗВТ), які встановлюють і підтверджують, що зазначений засіб відповідає встановленим вимогам.

Процедура повірки є за своєю суттю контролем відповідності засобу вимірювальної техніки встановленим вимогам, в тому числі вимогам щодо точності та фактично підтверджує придатність ЗВТ до застосування в сфері законодавчо регульованої метрології.

Передбачено первинну, періодичну, позачергову, інспекційну та експертну повірки.

Первинна повірка ЗВТ відбувається під час їх випуску із виробництва або після ремонту, а також при імпорті партіями.

Періодичній повірці підлягають засоби вимірювальної техніки, що експлуатуються, через відповідні проміжки часу – міжповірочні інтервали, що встановлюють розрахувавши забезпечення справності ЗВТ на період між повірками.

Позачергову повірку виконують у разі пошкодження клейма чи пломби, втрати документів про періодичну повірку, перед введенням в експлуатацію ЗВТ, що імпортуються, а також в інших випадках, коли необхідно впевнитися у справності засобів вимірювання.

Експертна повірка виконується, якщо виникають спірні питання стосовно метрологічних характеристик, придатності та правильності використання ЗВТ.

Інспекційна повірка проводиться під час державного метрологічного нагляду з метою перевірки придатності ЗВТ

до застосування.

Результати повірки засобів вимірювань, визнаних придатними до застосування, оформляються видачею свідоцтва про метрологічну атестацію, свідоцтва про повірку, нанесенням повірочного тавра чи іншими способами, встановленими нормативними документами на методи і засоби перевірки.

Клас точності ЗВТ – узагальнена характеристика ЗВТ, яка визначається границями його допустимих основної і додаткової похибок, а також іншими характеристиками, що впливають на його точність, значення яких регламентується.

### 5.3. Порядок виконання роботи

Для виконання лабораторної роботи використовується:

- в якості джерела електрорушійної сили – блок живлення типу RXN-305D з регульованою вихідною напругою від 0 до 30 В;
- в роботі виконується повірка вольтметра, в якості якого використовується один із вольтметрів: 30 В, 20 В, 15 В, клас точності 2,5;
- в якості зразкового приладу – цифровий прецизійний мультиметр XDM1041. Передня панель мультиметра зображена на рис. 5.1, елементи керування перелічені в табл. 5.1.

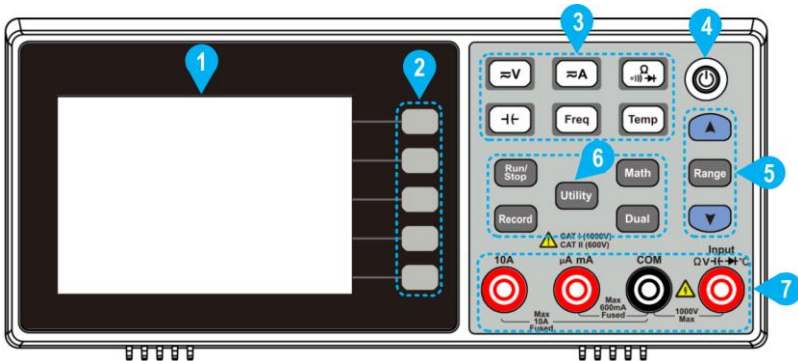











Рис.5.1. Мультиметр XDM1041

Таблиця 5.1

## Елементи керування на передній панелі мультиметра XDM1041

Поз.	Найменування	Призначення
1	Рідкокристалічний дисплеї	Відображення результатів вимірювання та налаштувань
2	Кнопка меню	Керування пунктами меню, що відображаються на дисплеї
3	Кнопки налаштування режиму вимірювання	 Вимірювання напруги на постійному струмі (DC) або змінному (AC)
 Вимірювання постійного (DC) або змінного (AC) струму		
 Вимірювання опору, перевірка цілісності кола, перевірка діодів		
 Вимірювання ємності		
 Вимірювання частоти / періода		
 Вимірювання температури		
4	Кнопка живлення	Ввімкнення / відключення мультиметра
5	Зміна діапазону вимірювання	Якщо справа на екрані відображається напис <b>Range</b> , можна натиснути кнопку  для перемикання між автоматичним та ручним вибором діапазону вимірювання. Кнопки  та  активують ручний режим вибору діапазону та дозволять збільшувати або зменшувати граничні значення.  При налаштуванні значення кнопку  слід натискати для переходу курсора до наступного розряду значення, після чого кнопками  та  значення збільшують або зменшують.
6	Кнопка управління	<b>Run/Stop</b> – слугує для запуску або зупинки автоматичних вимірювань. При зупинці вимірювань, поточне значення фіксується на дисплеї <b>Record</b> – меню автоматичного/ручного запису. <b>Utility</b> – додаткові налаштування система: мова, підсвітка, годинник, скидання до значення за замовчуванням, налаштування порта. <b>Math</b> – математичні операції (Max/Min, dB/dBm) над результатами вимірювання. <b>Dual</b> – відображення списку функцій в правому меню. Якщо функція доступна, значення відображається в додатковому вікні.
7	Вхідні роз'єми	Роз'єми для підключення приладу при вимірюванні параметрів електричних кіл



Таблиця 5.2

Параметри мультиметра ХДМ1041

Вимірювана величина	Діапазон вимірювань	Роздільна здатність / частотний діапазон	Точність
Постійна напруга	50,000 мВ	0,001 мВ	$\pm 0,1\% + 10$
	500,00 мВ	0,01 мВ	$\pm 0,05\% + 5$
	5,0000 В	0,0001 В	$\pm 0,05\% + 5$
	50,000 В	0,001 В	$\pm 0,05\% + 5$
	500,00 В	0,01 В	$\pm 0,1\% + 5$
	1000,0 В	0,1 В	$\pm 0,1\% + 10$
Змінна напруга	500 мВ – 750 В	20 Гц ~ 45 Гц	$\pm 1\% + 30$
		45 Гц ~ 65 Гц	$\pm 0,5\% + 30$
		65 Гц ~ 1 кГц	$\pm 0,7\% + 30$
Постійний струм	500 мкА	0,01 мкА	$\pm 0,15\% + 20$
	5000 мкА	0,1 мкА	$\pm 0,15\% + 10$
	50 мА	0,001 мА	$\pm 0,15\% + 20$
	500 мА	0,01 мА	$\pm 0,15\% + 10$
	5 А	0,0001 А	$\pm 0,5\% + 10$
	10 А	0,001 А	$\pm 0,5\% + 10$
Змінний струм	500 мкА – 500 мА	20 Гц – 1 кГц	$\pm 0,5\% + 20$
	5 А – 10 А		$\pm 1,5\% + 20$
Опір	500 Ом	0,01 Ом	$\pm 0,15\% + 10$
	5 кОм	0,0001 кОм	$\pm 0,15\% + 5$
	50 кОм	0,001 кОм	$\pm 0,15\% + 5$
	500 кОм	0,01 кОм	$\pm 0,15\% + 5$
	5 МОм	0,0001 МОм	$\pm 0,3\% + 3$
	50 МОм	0,001 МОм	$\pm 1\% + 10$
Частота	10,000 Гц – 60 МГц	/	$\pm (0,2\% + 10)$
Ємність	50 нФ – 500 мкФ	/	$\pm 2,5\% + 10$
	5 мФ – 50 мФ	/	$\pm 5\% + 10$

1. Обрати вольтметр для перевірки, записати його характеристики. Зібрати схему для перевірки вольтметра, рис. 5.2. Напруга джерела ЕРС контролюється за досліджуванним вольтметром. Визначити експериментальні точки (відмітки по шкалі) вольтметра  $U_n$ , що перевіряється і занести їх до табл. 5.3. Під час виконання дослідів напругу спочатку збільшують і реєструють покази. Після досягнення межі вимірювання вольтметра напругу зменшують і також реєструють покази.

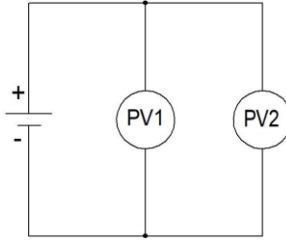


Рис.5.2. Схема повірки вольтметра  
 PV1 – зразковий вольтметр; PV2 – досліджуваний вольтметр

Таблиця 5.3

Виміряно			Обчислено					
Покази приладу що повіряється $U_n$ , В	Покази зразкового приладу		Абсолютна похибка			Поправка $\delta$ , В	Приведена похибка $\gamma$ , %	Варіація показів $\nu$ , %
	при збільшенні $U_{\uparrow}$ , В	при зменшенні $U_{\downarrow}$ , В	при збільшенні $\Delta_{\uparrow}$ , В	при зменшенні $\Delta_{\downarrow}$ , В	$\Delta$ , В			

2. Ввімкнути блок живлення та подати напругу на зібрану схему.

3. Ввімкнути мультиметр PV1, налаштувати на вимірювання постійної напруги (DCV), виставити Range - auto – автоматична межа вимірювання.

4. Збільшувати напругу джерела живлення, поки досліджуваний вольтметр не покаже напругу, що відповідає черговій експериментальній точці  $U_n$ . Покази зразкового приладу занести в табл. 5.3 до колонки  $U_{\uparrow}$ . Зафіксувати покази зразкового приладу для всіх експериментальних точок.

5. Поступово знижувати напругу, зупиняючись на експериментальних точках у зворотному порядку. Покази зразкового приладу занести в табл. 5.3 до колонки  $U_{\downarrow}$ . Зафіксувати покази зразкового приладу для всіх експериментальних точок.

6. Зняти напругу зі схеми, вимкнути блок живлення, розібрати схему.

*Оброблення експериментальних даних*

7. Обчислити абсолютні похибки при збільшенні та зменшенні напруги. Отримані значення записати в табл. 5.3

$$\Delta_{\uparrow} = U_n - U_{\uparrow}$$

$$\Delta_{\downarrow} = U_n - U_{\downarrow}$$

8. Обчислити найбільші абсолютні похибки для кожного експериментального значення напруги та записати в табл. 5.3

$$\Delta = \max[\Delta_{\uparrow}, \Delta_{\downarrow}]$$

9. Обчислити та записати до табл. 5.3 поправки  $C = -\Delta$ .

10. Обчислити значення приведених похибок для кожного значення напруги, табл. 5.3

$$\gamma = \frac{\Delta}{U_N} \cdot 100\%$$

$U_N$  – нормуюче значення для вольтметра, який повіряється.

11. Обчислити варіації показів, табл. 5.3

$$\nu = \frac{U_{\downarrow} - U_{\uparrow}}{U_N} \cdot 100\%$$

12. Встановити факт придатності приладу до експлуатації, для цього перевірити чи виконується умова

$$\gamma_{\max} < \gamma_{a.c.},$$

де  $\gamma_{\max} = \max(|\gamma|)$  – найбільше за модулем значення приведеної похибки;  $\gamma_{a.c.}$  – клас точності повіряемого приладу.

Якщо така умова не виконується, тоді вимірювальний прилад не відповідає своєму класу точності та потребує заміни або ремонту.

## 5.4 Контрольні запитання

1. Що таке повірка?
2. Які існують види повірок?
3. Дайте визначення класу точності.
4. Яка похибка називається абсолютною? Як вона визначається?
5. Яка похибка називається приведеною? Як вона визначається?

## Література

1. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук та ін. ; за ред. проф. Є. С. Поліщука. 2-ге вид., доп. та переробл. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. 544 с.
2. Кухарчук В. В., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т., Грабко В. В. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. 538с.
3. Нестерчук Д. М., Квітка С. О., Галько С. В. Основи метрології та засоби вимірювань : навчальний посібник. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. 256 с.
4. Бойко Т. Г., Руда М. В. Основи точності мехатронних засобів : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2022. 168 с.
5. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Відомості Верховної Ради. 2014. №30. Ст.1008 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>
6. ДСТУ 2681 - 94 Метрологія. Терміни та визначення К., Держстандарт України, 1994.