

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІН

«МЕТРОЛОГІЯ» , «ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАНЬ»

(для студентів спеціальностей ЕлС та НАП)

Розглянуто

на засіданні кафедри «Електронна техніка»
протокол

Затверджено

на засіданні навчально-видавничої ради
ДонНТУ

УДК 621.3.08 (075)

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін «Метрологія», «Основи теорії вимірювань» (для студентів спеціальностей ЕлС та НАП) / Сост.: В.Д. Коренєв - Донецьк: ДонНТУ, 2011. – 28 с.

Містять основні положення теорії, які використовуються при виконанні лабораторних робіт; опис лабораторних стендів; порядок виконання лабораторних робіт; вимоги до змісту й оформлення звітів; питання для контролю знань студентів. Припускає застосування ПЕОМ при статистичній обробці результатів вимірювань. Призначені для надання допомоги студентам при підготовці до виконання лабораторних робіт і захисту звітів з лабораторних робіт.

Укладач:

В.Д. Коренєв, доц.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1. При виконанні кожної лабораторної роботи особливу увагу варто приділяти з'ясуванню основних положень теорії похибок, розумінню принципового розходження методів оцінювання й обліку систематичних і випадкових похибок вимірювань, осмисленню понять довірчої імовірності і довірчого інтервалу.

2. При розрахунках усі числові значення фізичних величин (ФВ) і їхні позначення повинні приводитися відповідно до вимог міжнародної системи одиниць – СІ.

3. При підстановці у формули числових значень величин, що у них надходять, і виконанні проміжних обчислень найменування одиниць не обов'язково. У кінцевому результаті вказувати найменування одиниці ФВ обов'язково.

4. У кратних і дільних одиницях рекомендується записувати тільки кінцевий результат. Для зниження імовірності помилок у процесі обчислень усі величини в розрахункові формули доцільно підставляти в одиницях СІ, замінюючи приставки ступенями числа 10. Наприклад: у кінцевому результаті доцільно записати „ $U=5$ мВ”, а в проміжних обчисленнях - $5 \cdot 10^{-3}$ В.

5. Похибка результату вимірювання ФВ дає представлення про те, які цифри в числовому значенні результату є сумнівними. Тому нема рації виражати похибку великою кількістю цифр. При округленні похибка та результату вимірювання слід застосовувати наступні рекомендації:

а) при округленні похибки слід обмежитися двома значущими цифрами, якщо перша значуща цифра 1 чи 2, і однієї – якщо 3,4,5,...9;

б) при остаточному записі результату його варто округлити до того ж десяткового розряду, яким закінчується округлене значення абсолютної похибки;

в) округлення виконується лише в остаточній відповіді, а всі попередні обчислення варто виконувати з одним – двома «зайвими» розрядами.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

ДОСЛІДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ОСЦИЛОГРАФА.
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛІВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ОСЦИЛОГРАФА

1. Мета роботи

1.1. Вивчити принцип дії, структурну схему й основні характеристики універсального електронно-променевого осцилографа (ЕПО).

1.2. Одержати практичні навички визначення основних метрологічних характеристик осцилографа.

2. Підготовка до роботи

2.1. При підготовці до роботи вивчити наступні питання:

- устрій та робота електронно-променевої трубки (ЕПТ) з електростатичним управлінням;
- принцип формування осцилограми на екрані ЕПТ;
- структурна схема універсального ЕПО;
- синхронізації розгортки, призначення, види синхронізації.

2.2. Основні характеристики осцилографа.

2.2.1. В основу вибору конкретного типу осцилографа для проведення експерименту ставляться його технічні і метрологічні характеристики. Для того, щоб на підставі паспортних даних ЕПО одержати повне уявлення про характер і ступінь спотворення осцилограми, варто вивчити вимірювальну задачу. Необхідно визначити характер сигналу: гармонійний чи імпульсний, ширину його спектра, граничні частоти, час наростання і спаду, скважність, амплітуду і т.д. Важливо також оцінити параметри кола досліджуваного об'єкта, до якого буде підключений осцилограф: активну і реактивну складові опору, наявність і значення постійної складової напруги і т.п. На основі вивчення вимірювальної задачі формулюються вимоги до характеристик осцилографа і здійснюється його вибір. Інформація, що приводиться в експлуатаційній документації ЕПО (технічному описі, інструкції з експлуатації, паспорті...) обов'язково містить відомості з характеристик каналів вертикального «У» і горизонтального «Х» відхилення, блоку розгорнення, параметрам ЕПТ, калібраторів амплітуди і тривалості, тощо.

2.2.2. Одним з найважливіших метрологічних параметрів каналу вертикального (горизонтального) розгорнення є коефіцієнт відхилення m_u . Він визначається як відношення приросту напруги на вході каналу до відхилення луча на екрані ЕПТ у відповідному напрямі, що обумовлено цим приростом напруги. Коефіцієнт відхилення каналу «У» визначає масштаб уздовж вісі «У» на екрані ЕПТ, а коефіцієнт відхилення каналу «Х» - масштаб уздовж вісі «Х» на екрані ЕПТ у режимі синусоїдальної розгортки. У найбільш розповсюджених ЕПО коефіцієнт відхилення змінюється в межах від $50 \cdot 10^{-6}$ до 10 В/см. Зміна каліброваного значення коефіцієнта відхилення m_u каналу «У» у сучасних ЕПО здійснюється дискретним переключенням із кратністю зміни у 0,5; 1; 2; 10 разів. Плавне

регулювання дозволяє встановлювати будь яке значення m_u між сусідніми каліброваними ступінями.

Іноді в технічній документації замість коефіцієнта відхилення вказується чутливість каналу S_u – параметр, що зворотний коефіцієнту відхилення ($S_u=1/m_u$).

2.2.3. Важливими параметрами каналу «У» (також каналу «Х») є вхідний опір R_{ex} і вхідна ємність C_{ex} . Чим більше R_{ex} і менше C_{ex} , тим менше вплине осцилограф на режим роботи досліджуваного кола. Зазвичай, $R_{ex} \sim 1 \text{ МОм}$, $C_{ex} = (20 \dots 40) \text{ пФ}$.

2.2.4. Основним параметром, що характеризує блок розгортки осцилографа, є діапазон зміни тривалості прямого ходу розгортки T_{np} . У сучасних ЕПО тривалість прямого ходу розгортки задається у вигляді коефіцієнта розгортки $K_z = T_{np}/L_z$, де L_z – довжина відрізка горизонтальної вісі на екрані ЕПТ, що відповідає тривалості прямого ходу розгортки. Розмірність коефіцієнта розгортки на різних діапазонах дорівнює мкс/см , мс/см , чи с/см . Зміна каліброваного значення коефіцієнта K_z у сучасних ЕПО здійснюється дискретним переключенням із кратністю зміни у 0,25; 0,5; 1; 2; 5 разів. Плавне регулювання дозволяє встановлювати будь яке значення K_z між сусідніми каліброваними ступінями.

Коефіцієнт розгортки K_z визначає масштаб уздовж вісі «Х» (вісі часу) на екрані ЕПТ у режимі лінійної розгортки. Тому вимірюваний часовий інтервал досліджуваної осцилограми визначається множенням горизонтального розміру потрібної частини осцилограми на встановлене нормоване значення коефіцієнта розгортки K_z .

2.2.5. Також в конструкціях осцилографів передбачається можливість використання каналу «Х» для подачі зовнішнього сигналу. Тому канал «Х» також характеризується коефіцієнтом відхилення, вхідними опором і ємністю.

3. Порядок виконання роботи

3.1. Перед початком роботи необхідно заповнити таблицю основних технічних характеристик засобів вимірювання (ЗВ), що використовуються у роботі, і виписати з технічної документації досліджуваного ЕПО необхідні метрологічні характеристики (МХ).

3.2. Експериментальне визначення коефіцієнта відхилення каналу «У» ЕПО.

3.2.1. Вимірювання коефіцієнта відхилення m_u каналу «У» осцилографа виконати за схемою, наведеною на рис. 1, на частоті гармонійного сигналу, відтворюваного генератором сигналів ГС, $f = 1 \text{ кГц}$. Значення коефіцієнта відхилення m_u розраховувати за формулою $m_u = U_m / h$, де U_m – амплітудне значення напруги, вимірюваної вольтметром, на вході каналу «У»; h – вертикальний розмір осцилограми на екрані ЕПТ, що відповідає цьому значенню (рис. 2).

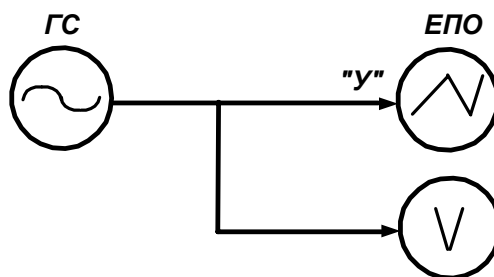


Рисунок 1 - Схема для визначення коефіцієнта відхилення m_u каналу «У» і коефіцієнта розгортки K_z .

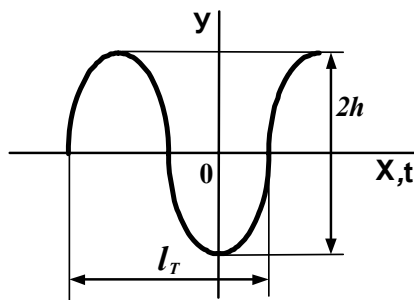


Рисунок 2 – До визначення коефіцієнта відхилення m_u каналу «У» і коефіцієнта розгортки K_z .

Визначення коефіцієнта відхилення виконувати у наступному порядку:

- зібрати схему, наведену на рис. 1;

- встановити за допомогою перемикачів на панелі ЕПО будь яке значення коефіцієнта відхилення m_u каналу «У» і в подальшому його не змінювати (*Увага! Не забудьте повернути ручку плавного регулювання коефіцієнта відхилення каналу в напрямку руху стрілки годинника у крайнє праве положення!*);

- регулювати вихідну напругу генератора сигналів ГС ($f = 1\text{кГц}$) і встановити вертикальний розмір осцилограми $2h$ на екрані ЕПТ таким, що дорівнює (5...6) см – дивись рис. 2; розмір осцилограми $2h$ визначати, користуючись масштабною сіткою на екрані ЕПТ (при виконанні вимірювань розміру осцилограми $2h$ генератор розгортки ЕПО можна відключити);

- цифровим вольтметром V виміряти вхідну напругу U каналу «У» ЕПО, що відповідає встановленому розміру осцилограми $2h$;

- розрахувати значення коефіцієнта відхилення m_{up} каналу за формулою

$$m_{up} = \frac{U\sqrt{2}}{h}$$

і порівняти його зі значенням m_u , що попередньо було встановлено за допомогою перемикачів на панелі ЕПО; оцінити відносну похибку отриманого значення m_{up} за формулою

$$\delta = \frac{m_{up} - m_u}{m_u} \cdot 100\% ;$$

- результати занести до наступної таблиці із вказанням розмірностей:

m_u	$2h$	U	$U_m = U\sqrt{2}$	m_{up}	$\delta, \%$
-------	------	-----	-------------------	----------	--------------

3.2.2. Вимірювання за п. 3.2.1 виконати для 3-х різних значень коефіцієнта m_u .

3.3. Експериментальне визначення коефіцієнта розгортки.

3.3.1. Вимірювання коефіцієнта розгортки K_z виконувати за схемою, наведеною на рис. 1 (вольтметр у схемі непотрібен). Змінюючи частоту вихідної напруги генератора сигналів ГС, отримати на екрані ЕПТ осцилограму гармонійного сигналу, що поданий на вхід «У» ЕПО. Значення коефіцієнта K_z розрахувати за формулою $K_z = T/l_T$, $T = 1/f$, де f -

частота вихідної напруги генератора сигналів, l_T - довжина відрізка горизонтальної вісі на екрані ЕПТ, що відповідає одному періоду поданого сигналу (рис. 2).

Визначення коефіцієнта розгортки виконувати у наступному порядку (схема зібрана):

- встановити за допомогою перемикачів на панелі ЕПО будь яке значення коефіцієнта розгортки K_z (*Увага! Не забудьте повернути ручку плавного регулювання коефіцієнта розгортки в напрямку руху стрілки годинника у крайнє праве положення!*);

- регулювати частоту f вихідної напруги генератора сигналів і встановити горизонтальний розмір осцилограми l_T на екрані ЕПТ таким, що дорівнює (6...7) см – дивись рис. 2; розмір осцилограми l_T визначати, користуючись масштабною сіткою на екрані ЕПТ (*Увага! Для отримання нерухомої осцилограми на екрані ЕПТ слід поставити перемикач виду синхронізації у положення «Внутрішня синхронізація» і плавним обертанням ручки «Рівень синхронізації» добитись нерухомості осцилограми!*);

- розрахувати значення коефіцієнта розгортки K_{zp} за формулою

$$K_{zp} = \frac{1}{f \cdot l_T}$$

і порівняти його зі значенням K_z , що попередньо було встановлено за допомогою перемикачів на панелі ЕПО; оцінити відносну похибку δ отриманого значення K_{zp} ;

- результати занести до наступної таблиці із вказанням розмірностей:

K_z	f	l_T	K_{zp}	$\delta, \%$
-------	-----	-------	----------	--------------

3.3.2. Вимірювання за п. 3.3.1 виконати для 3-х різних значень коефіцієнта K_z .

4. Зміст звіту

- 4.1. Мета роботи.
- 4.2. Використовувані прилади.
- 4.3. Схеми виконання вимірювань.
- 4.4. Результати визначення МХ ЕПО.
- 4.5. Обробка результатів вимірювань.
- 4.6. Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Призначення ЕПО.
2. Структурна схема універсального ЕПО.
3. Принцип формування осцилограми на екрані ЕПТ.
4. Чим відрізняється робота ЕПО у режимі синусоїдальної розгортки від роботи у режимі лінійної розгортки?
5. Що визначає коефіцієнт відхилення m_u каналу «У» на екрані ЕПТ?
6. Що визначає коефіцієнт розгортки K_z на екрані ЕПТ?
7. Умова нерухомості осцилограми на екрані ЕПТ.
8. Які існують способи забезпечення нерухомості осцилограми на екрані ЕПТ?
9. Призначення синхронізації розгортки в ЕЛО.
10. Види синхронізації розгортки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ОСЦИЛОГРАФА

1. Мета роботи

Засвоїти методи та одержати практичні навички вимірювання параметрів електричних сигналів за допомогою електронно-променевого осцилографа.

2. Підготовка до роботи

2.1. При підготовці до роботи вивчити (повторити) наступні питання:

- принцип дії і структурну схему універсального ЕПО;
- основні метрологічні характеристики каналів ЕПО;
- методи вимірювання параметрів електричних сигналів за допомогою ЕПО.

2.2. За допомогою ЕПО можна вимірювати амплітуду, частоту, тривалість та інші характеристики імпульсного або гармонійного сигналу. Для вимірювань частоти періодичного сигналу і фазового зсуву двох періодичних сигналів однієї частоти широко застосовують осцилографічний метод. Його можна реалізувати у спосіб лінійної, синусоїдальної та кругової розгортки. На практиці застосовують в основному перші два способи: лінійної розгортки і синусоїдальної розгортки.

2.2.1. Осцилографічний метод виміру частоти являє собою різновид методу порівняння з мірою; для виміру невідомої частоти f_x метод припускає необхідність генератора сигналу зразкової (відомої) частоти f_0 й індикатора. За допомогою індикатора (у даному випадку – осцилографа) встановлюється рівність зразкової і вимірюваної частот чи їхня кратність.

При застосуванні способу лінійної розгортки як зразкову частоту f_0 використовують частоту генератора розгортки самого осцилографа. Сигнал невідомої частоти f_x подають на вхід каналу «У», а коефіцієнт розгортки підбирають таким чином, щоб на екрані ЕПТ вийшло зображення одного – двох періодів досліджуваного сигналу. Тривалість одного періоду визначають множенням розміру осцилограми l_T , що відповідає одному періоду сигналу, на встановлене значення коефіцієнта розгортки K_z . Шукану частоту f_x розраховують за формулою $f_x = 1/T$, де T – тривалість періоду, с.

На екрані ЕПО можна одержати зображення і більшої кількості періодів сигналу, але при цьому може збільшитися похибка виміру частоти f_x (вона визначається похибкою калібрування частоти генератора розгортки і похибкою визначення розміру осцилограми l_T).

2.2.2. При застосуванні способу синусоїдальної розгортки сигнал невідомої частоти f_x подається на вхід «У», а сигнал зразкової частоти – на вхід «Х». Генератор розгортки ЕПО виключено. Змінюючи зразкову частоту f_0 , домагаються нерухомої чи повільно рухомої фігури Лисажу. Якщо вона має вигляд прямої лінії, еліпса або окружності, то $f_x = f_0$.

Якщо нерухома осцилограма має більш складну форму, це свідчить про кратність невідомої f_x і зразкової f_0 частот. Для визначення частоти f_x необхідно отриману фігуру умовно перетнути вертикальною і горизонтальною лініями (рис.1) і порахувати кількість перетинань фігури по вертикалі n_v і горизонталі n_g . При цьому $n_v/n_g = f_0/f_x$, тобто $f_x = f_0 n_g/n_v$.

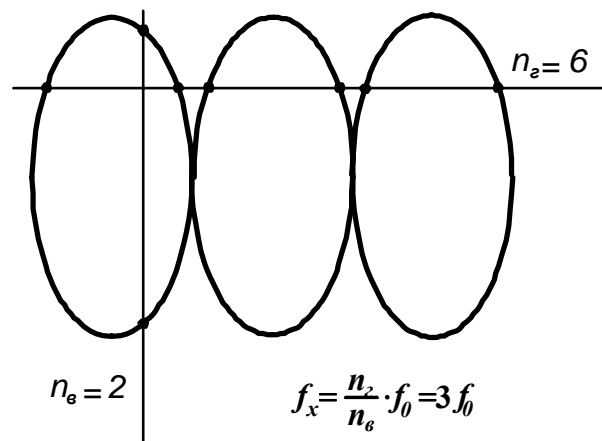


Рисунок 1- До виміру частоти у спосіб синусоїдальної розгортки

Спосіб синусоїдальної розгортки застосовується, якщо кратність частот f_x і f_0 не перевищує 10. Похибка виміру частоти цим способом визначається похибкою установки зразкової частоти f_0 .

2.2.3. Фазовим зсувом ψ називається модуль різниці аргументів двох періодичних сигналів однакової частоти. При цьому фазовий зсув є постійною величиною і не залежить від моменту відліку.

Вимірювання фазового зсуву двох сигналів $u_1(t)$ і $u_2(t)$ у спосіб лінійної розгортки можна здійснити тільки двопробним чи двоканальним осцилографом (дивись рис.4). Генератор розгортки ЕПО включено; досліджувані сигнали, наприклад $u_1(t) = U_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1)$ і $u_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t + \varphi_2)$, подають на входи каналів «Y₁» і «Y₂». Після підбору коефіцієнтів m_{u1} , m_{u2} і K_z осцилограма має вигляд, що наведено на рис.2.

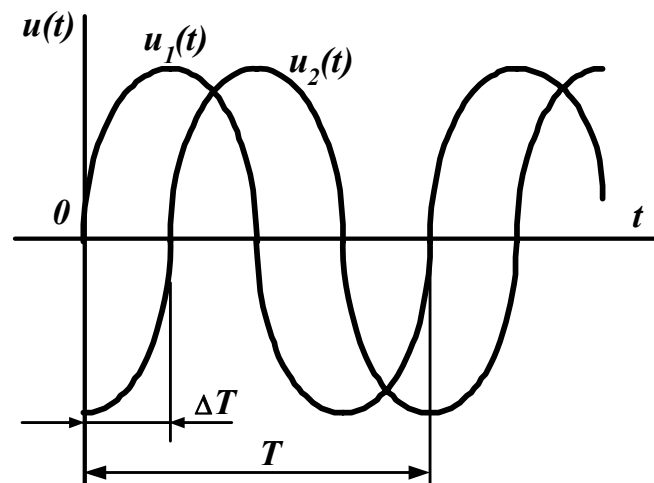


Рисунок 2- До виміру фазового зсуву у спосіб лінійної розгортки

Фазовий зсув φ обчислюють за формулою (T – період сигналів):

$$\psi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{360 \cdot \Delta T}{T} [\text{град}].$$

2.2.4. Спосіб синусоїдальної розгортки реалізується однопробним осцилографом. На вхід каналу «Y» подається, наприклад, сигнал $u_y(t) = U_{my} \sin(\omega t + \varphi)$, а на вхід каналу «X» –

$u_x(t) = U_{mx} \sin \omega t$; генератор розгортки вимкнено. На екрані осцилографа з'являється осцилограма у вигляді еліпса (рис. 3), рівняння якого має вид:

$$y = (2B/2A) \cdot \left(x \cdot \cos \psi + \sin \psi \cdot \sqrt{A^2 - x^2} \right),$$

де $2A$ і $2B$ – максимальні розміри еліпса вздовж вісей X та Y (горизонталі і вертикалі).

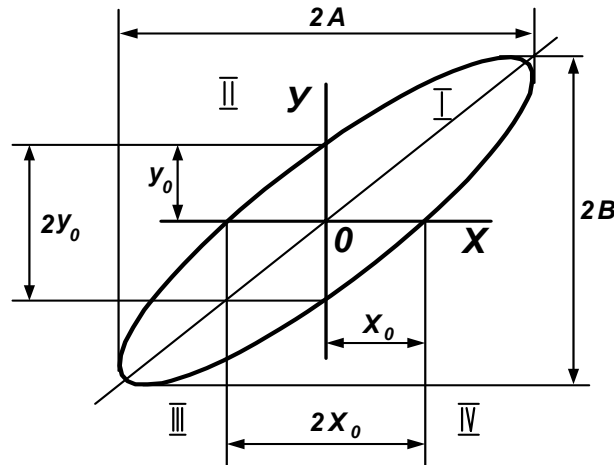


Рисунок 3- До виміру фазового зсуву у спосіб синусоїдальної розгортки

На рис.3: $y_0 = B \cdot \sin \psi$, $x_0 = A \cdot \sin \psi$. Таким чином, $\sin \psi = \pm(y_0/B) = \pm(x_0/A)$. Для визначення фазового зсуву вимірюють на осцилограмі відрізки $2x_0$ чи (і) $2y_0$, що відтинаються на координатних вісях, і сторони прямокутника $2A$ чи (і) $2B$, у який уписаний еліпс, і обчислюють фазовий зсув $\psi = \pm \arcsin(2y_0/2B) = \pm \arcsin(2x_0/2A)$.

Слід зазначити, що спосіб синусоїдальної розгортки не дозволяє визначити фазовий зсув однозначно. Коли вісі еліпса збігаються з вісями координат, фазовий зсув дорівнює 90° чи 270° . Якщо велика вісь еліпса розташовується в першому і третьому квадрантах, то $0^\circ < \psi < 90^\circ$ або $270^\circ < \psi < 360^\circ$; якщо в другому чи в четвертому, то $90^\circ < \psi < 180^\circ$ або $180^\circ < \psi < 270^\circ$. Для усунення неоднозначності необхідно ввести додатковий зсув у 90° і по зміні виду осцилограми визначити дійсний фазовий зсув. Нехай, наприклад, отриманий $\psi = 30^\circ$ чи $\psi = 330^\circ$. Уведено додатковий зсув $+90^\circ$. Якщо осцилограма залишилася в колишніх квадрантах, то $\psi = 330^\circ$; якщо перемістилася в другий чи четвертий, то $\psi = 30^\circ$.

Інструментальна похибка осцилографічного методу виникає за рахунок наявності власних фазових спотворень у каналах осцилографа.

3. Порядок виконання роботи

3.1. Перед початком роботи необхідно заповнити таблицю основних технічних характеристик засобів вимірювання (ЗВ), що використовуються у роботі, і виписати з технічної документації досліджуваного ЕПО необхідні метрологічні характеристики (МХ).

3.2. Вимірювання амплітуди сигналу.

Вимірювання амплітуди гармонійного чи імпульсного сигналу, що поданий на вхід «Y» ЕПО з виходу зовнішнього генератора сигналів, виконати відповідно до вказівок, наведених в технічній документації осцилографа. Порівняти отриманий результат з

результатом вимірювання за допомогою зовнішнього вольтметра, що підключений до виходу генератора сигналів.

3.3. Вимірювання частоти сигналу.

3.3.1. Вимірювання частоти досліджуваного гармонійного сигналу осцилографічним методом у спосіб лінійної розгортки виконувати за схемою, наведеною у „Лабораторній роботі №1” на рис. 1, відповідно до п. 2.2.1 (або у спосіб синусоїдальної розгортки за п. 2.2.2 - за вказівкою викладача).

Вимірювання частоти виконувати у наступному порядку (схема зібрана):

- встановити частоту f_x вихідного гармонійного сигналу генератора сигналів $ГС$;
- підібрати за допомогою перемикачів ЕПО такий коефіцієнт розгортки K_z , щоб горизонтальний розмір осцилограми l_T на екрані ЕПТ дорівнював (5...8) см – дивись рис. 2 у „Лабораторній роботі №1”;
- розрахувати значення частоти досліджуваного сигналу за формулою

$$f_{xp} = \frac{1}{K_z \cdot l_T}$$

і порівняти його зі значенням встановленої частоти f_x ; оцінити похибку вимірювання δ ;

- результати вимірювань та розрахунків занести до наступної таблиці:

f_x	l_T	K_z	f_{xp}	$\delta, \%$
-------	-------	-------	----------	--------------

3.3.2. Вимірювання f_x за п. 3.3.1 виконати для 2-х різних значень частоти вихідного сигналу генератора $ГС$. Частоту f_x вибирати: $100 < f_{x1} < 500$ Гц, $4 < f_{x2} < 8$ кГц.

3.4. Вимірювання фазового зсуву.

3.4.1. Вимірювання фазового зсуву ψ двох періодичних сигналів однієї частоти осцилографічним методом виконувати у спосіб синусоїдальної розгортки відповідно до п. 2.2.4 за схемою, наведеною на рис. 5 (або у спосіб лінійної розгортки за п. 2.2.3 і схемою на рис. 4 - за вказівкою викладача).

Вимірювання фазового зсуву виконувати у наступному порядку (схема зібрана):

- переключити ЕПО у режим синусоїдальної розгортки (перемикачем, що одночасно відключає генератор розгортки);
- регулюванням рівня вихідної напруги $ГС$ та коефіцієнтів відхилення каналів «Y» та «X» ЕПО встановити максимально можливі розміри еліпса $2x_0$ і $2y_0$ на екрані ЕПТ (див. рис. 3); виміряти розміри еліпса $2x_0$, $2y_0$, $2A$ і $2B$, користуючись масштабною сіткою на екрані ЕПТ, і обчислити фазовий зсув (його вносить RC -коло) за формулами:

$$\psi_1 = \pm \arcsin(2x_0/2A), \quad \psi_2 = \pm \arcsin(2y_0/2B), \quad \bar{\psi} = \frac{\psi_1 + \psi_2}{2};$$

- побудувати векторну діаграму RC -кола; розрахувати за векторною діаграмою кут зсуву $\psi_{\phi d}$ між вхідною та вихідною напругами RC -кола за умови $R = 1$ кОм і $C = 0,1$ мкФ; порівняти отримане значення фазового зсуву $\bar{\psi}$ зі значенням кута $\psi_{\phi d}$, розрахованим за векторною діаграмою.

3.4.2. Визначення фазового зсуву $\bar{\psi}$ і кута $\psi_{\phi d}$ за п. 3.4.1 виконати для 2-х різних значень частоти вихідного сигналу генератора $ГС$. Частоту f обирати: $500 < f_1 < 800$ Гц,

$1,5 \text{ кГц} < f_2 < 2 \text{ кГц}$. Результати вимірювань та розрахунків надати у вигляді таблиці для 2-х різних значень частоти f .

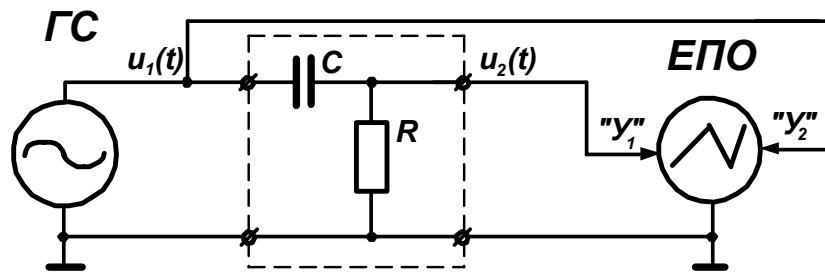


Рисунок 4- Схема виміру фазового зсуву у спосіб лінійної розгортки

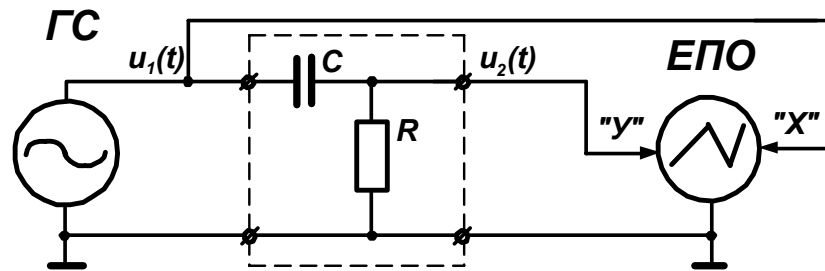


Рисунок 5- Схема виміру фазового зсуву у спосіб синусоїдальної розгортки

4. Зміст звіту

- 4.1. Мета роботи.
- 4.2. Використовувані прилади.
- 4.3. Схеми виконання вимірювань.
- 4.4. Результати вимірювань параметрів електричних сигналів.
- 4.5. Обробка результатів вимірювань.
- 4.6. Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Призначення ЕПО.
2. Методи вимірювання параметрів електричних сигналів за допомогою ЕПО.
3. Похибки вимірювань параметрів електричних сигналів, методи їх зменшення.
4. Який метод вимірювання реалізується при застосуванні осцилографічного методу виміру частоти електричних сигналів? В чому полягає головна особливість цього методу вимірювання?
5. В чому полягає головна відмінність способів лінійної і синусоїдальної розгортки осцилографічного методу виміру частоти електричних сигналів?
6. Який вид приймає осцилограма на екрані ЕПТ при вимірюванні фазового зсуву двох сигналів $\psi = 0$ у спосіб синусоїдальної розгортки? Відповідь обґрунтувати.
7. Який вид приймає осцилограма на екрані ЕПТ при вимірюванні фазового зсуву двох сигналів $\psi = 90^\circ$ у спосіб синусоїдальної розгортки? Відповідь обґрунтувати.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ВИЯВЛЕННЯ ТА ВИКЛЮЧЕННЯ ГРУБИХ ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ

1. Мета роботи

Знайомство з методикою виявлення і виключення результатів спостережень, що містять грубі похибки.

2. Підготовка до роботи

2.1. Результат будь-якого вимірювання відрізняється від дійсного значення вимірюваної фізичної величини (ФВ) на величину похибки вимірювання. Отже, похибка вимірювання визначається як різниця між результатом вимірювання X і дійсним значенням X_0 вимірюваної ФВ. При обробці результатів вимірювань застосовують абсолютну похибку Δ , що виражається в одиницях вимірюваної ФВ, і відносну похибку δ , що визначається як відношення абсолютної похибки Δ до дійсного значення X_0 вимірюваної ФВ (або до результату вимірювання X):

$$\Delta = X - X_0, \quad \delta = \Delta / X_0 \quad (\text{або } \delta = \Delta / X).$$

У залежності від характеру зміни похибки поділяють на систематичні і випадкові. Підсумкова похибка результату вимірювання складається з систематичної і випадкової складових. Систематичною похибкою називається складова підсумкової похибки вимірювання, що залишається постійною чи закономірно змінюється при повторних спостереженнях незмінної ФВ. Випадкова похибка – це складова підсумкової похибки вимірювання, що змінюється випадково при повторних спостереженнях однієї і тієї ж незмінної ФВ. Наявність випадкових похибок виявляється при проведенні ряду спостережень цієї ФВ і визначається в тім, що результати спостережень не збігаються один з одним.

2.2. Інколи результат того чи іншого окремого спостереження значно відрізняється від результатів інших спостережень, виконаних у однакових умовах. Отже, такий результат може містити грубу похибку (промах). Грубими похибками вимірювань називають такі, що істотно перевищують очікувані похибки за даних умов вимірювань. Причинами появи результатів з грубими похибками можуть бути помилки оператора, несправність засобів вимірювань, різка зміна умов вимірювань, сильна короточасна завада, тощо. Результати спостережень, що містять грубі похибки, треба визначити і виключити з розгляду. Однак визначити результат з грубою похибкою не завжди буває легко (особливо при одноразових вимірюваннях). Чим більше ряд повторних спостережень, тим легше визначити результат, що містить грубу похибку.

Похибки вимірювань, як і результати вимірювань, варто розглядати як випадкові величини, що підкоряються статистичним законам розподілу ймовірностей. Грубі похибки – це великі випадкові похибки. Їх поява теоретично має малу імовірність (наприклад, кілька похибок на 1 млн. спостережень), але усе-таки вони можливі, і не виключена можливість, що вже один з перших результатів містить грубу похибку. Між результатами, що містять грубі похибки, і результатами, що заслуговують довіри, зазвичай не можна встановити чітку межу. Питання про те, чи містить даний результат грубу похибку, вирішується одним з методів перевірки статистичних гіпотез. Щодо вияву грубих похибок гіпотеза, що перевіряється, припускає, що результат виміру x_i не містить грубої похибки і є одним зі значень випадкової величини X із визначеним законом розподілу ймовірностей (частіше - це нормальний закон). Сумнів у першу чергу викликають найбільший (x_{max}) і найменший (x_{min}) з результатів спостережень.

2.3. Перевірка гіпотези щодо вияву грубих похибок зводиться до наступного:

- для отриманого ряду результатів спостережень визначають статистичні оцінки параметрів нормального закону розподілу ймовірностей – математичного очікування і дисперсії:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad D_X = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2;$$

- визначають допоміжні відношення

$$v_1 = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{\sqrt{D_X}}, \quad v_2 = \frac{\bar{X} - X_{\min}}{\sqrt{D_X}};$$

- у довідковій таблиці «Додаток №1» по заданій довірчій імовірності P і кількості результатів спостережень n знаходять найбільше значення v_p , яке випадкова величина v може приймати ще з чисто випадкових причин:

$$v_p(P = \dots, n = \dots) = \dots;$$

- якщо обчислене значення v_1 (чи v_2 , або v_1 і v_2 разом) виявляється менше, ніж v_p , то гіпотеза приймається; у протилежному випадку результат x_{\max} (чи x_{\min} , або x_{\max} і x_{\min} разом) варто вважати таким, що містить грубу похибку. У цьому випадку результат x_{\max} (чи x_{\min} , або x_{\max} і x_{\min} разом) виключають з ряду спостережень і новий ряд, що отримують, знову перевіряють на наявність грубих похибок у спосіб, наведена вище, застосовуючи статистичні оцінки параметрів розподілу нового ряду.

3. Порядок виконання роботи

3.1. До початку роботи заповнити таблицю основних характеристик ЗВ й устаткування, що використовуються; указати найменування, тип, діапазони виміру, клас точності.

3.2. Виконати багаторазовий вимір ФВ незмінного розміру (за вказівкою викладача) для отримання ряду результатів спостережень, що підлягають подальшій обробці.

3.3. Виконати аналіз отриманого ряду результатів спостережень з метою виявлення грубих похибок вимірювань. При виявленні результатів, що містять грубі похибки, виключити їх з ряду і повторити перевірку нового ряду знову.

4. Зміст звіту

4.1. Мета роботи.

4.2. Таблиця характеристик ЗВ й устаткування, що використовуються в роботі.

4.3. Схема виконання вимірювань.

4.4. Отримані результати спостережень. Обробка результатів спостережень.

4.6. Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Похибки вимірювань, їх класифікація.

2. Сутність методу виявлення грубих похибок вимірювань у результатах спостережень. Яка гіпотеза перевіряється, що вона припускає?

3. Пояснити характер зміни величини v_p : а) при зміні довірчої імовірності P (при $n=const$); б) при зміні кількості результатів спостережень n (при $P=const$).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ПРЯМІ БАГАТОРАЗОВІ ТА ОДНОРАЗОВІ ВИМІРЮВАННЯ

1. Мета роботи

1.1. Вивчити особливості прямих багаторазових вимірювань і доцільність їх застосування.

1.2. Засвоїти методику оцінювання результату та похибки прямих багаторазових і одноразових вимірювань.

2. Підготовка до роботи

2.1. У метрології і вимірювальній техніці за основну ознаку класифікації вимірювань прийнятий розподіл їх на прямі та непрямі (також сукупні і спільні).

Прямі вимірювання визначаються як такі, що виконуються при дії на вході засобу вимірювань (ЗВ) самої вимірюваної величини, тобто при прямому вимірюванні шукане значення ФВ отримують безпосередньо в процесі експерименту. Наприклад, вимір температури повітря термометром, сили струму – амперметром, проміжку часу – годинником і т.п.

По кількості спостережень у серії всі вимірювання поділяють на одноразові і багаторазові. Результат багаторазового вимірювання визначають шляхом статистичної обробки ряду експериментальних даних (результатів спостережень), отриманих в процесі вимірювання. Тобто багаторазове вимірювання має містити не менш чотирьох спостережень, коли отриманий ряд експериментальних даних ще може бути оброблений відповідно до вимог математичної статистики.

Спостереження – це експериментальна операція, що виконується в процесі багаторазового вимірювання, у результаті якої одержують одне значення з ряду значень фізичної величини (ФВ), що підлягають обробці для отримання результату вимірювання.

Одноразове вимірювання – це вимірювання, що виконується один раз, тобто складається з одного спостереження (на практиці може бути до трьох). За результат одноразового вимірювання приймають результат спостереження (статистична обробка не застосовується).

2.2. При багаторазовому вимірюванні одержують ряд результатів спостережень (експериментальних даних) $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n$. Результат кожного i -го спостереження x_i може містити як систематичну, так і випадкову похибку. Систематична похибка обов'язково повинна бути виключена з результатів спостережень з використанням спеціальних методів або в результаті спостережень слід внести виправлення.

Результат багаторазового вимірювання і випадкову складову похибки результату оцінюють статистичними методами. Оцінка вимірюваної ФВ, що отримана при обробці експериментальних даних, вважається найкращою, якщо вона спроможна, незміщена й ефективна. Оцінка є спроможною, якщо при збільшенні числа експериментальних даних вона наближається до дійсного значення вимірюваної ФВ. При незміщеній оцінці її математичне чекання дорівнює вимірюваній величині. Оцінка вважається ефективною, якщо її середнє квадратичне відхилення (СКВ) менше ніж СКВ будь-якої іншої оцінки цієї вимірюваної ФВ.

Для експериментальних даних, що відповідають нормальному закону розподілу ймовірностей, найкращими вважаються оцінки максимальної правдоподібності: а)

вимірюваної ФВ - середнє арифметичне результатів спостережень, б) випадкової похибки – СКВ (дисперсія). Нижче викладені основні положення обробки результатів прямих багаторазових вимірювань із застосуванням оцінок максимальної правдоподібності.

2.2.1. При нормальному розподілі результатів спостережень прямого багаторазового вимірювання за результат вимірювання приймають середнє арифметичне результатів спостережень (експериментальних даних), з яких виключені систематичні похибки:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

де x_i – результат i – го спостереження, з якого виключені систематичні похибки; n – кількість спостережень.

Якщо в процесі виконання спостережень систематична похибка залишається постійною, можна спочатку обчислити середнє арифметичне \bar{X} , а потім виключити з нього систематичну похибку.

2.2.2. У якості характеристики випадкового розсіювання результатів спостережень (експериментальних даних) приймають оцінку СКВ результатів спостережень, що обчислюється за наступною формулою:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}. \quad (2)$$

2.2.3. Результат багаторазового вимірювання \bar{X} , обчислений із використанням обмеженого ряду експериментальних даних, обтяжений випадковою похибкою і його значення може змінюватись в деяких межах при переході від одного ряду спостережень до іншого. Випадкову похибку результату багаторазового вимірювання (середнього арифметичного результатів спостережень \bar{X}), як випадкової величини, характеризує СКВ середнього арифметичного (СКВ результату вимірювання):

$$S(\bar{X}) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} = S / \sqrt{n}. \quad (3)$$

Із наведеної формули (3) видно, що СКВ середнього арифметичного $S(\bar{X})$ в \sqrt{n} раз менше, ніж СКВ результатів спостережень S . Якщо у якості результату багаторазового вимірювання прийняти середнє арифметичне \bar{X} , то випадкову похибку цього результату характеризує СКВ $S(\bar{X})$; якщо ж за результат вимірювання приймається результат будь – якого спостереження x_i , то випадкова складова похибки такого результату зростає і її характеризує СКВ результатів спостережень S . Отже, багаторазове вимірювання з осередненням результатів спостережень дозволяє значно підвищити точність результату вимірювання за рахунок зменшення впливу на нього випадкової похибки.

Середні квадратичні відхилення S і $S(\bar{X})$ називають точковими оцінками випадкових похибок результатів спостережень і середнього арифметичного (результату вимірювання), відповідно. Якщо отриманий результат багаторазового вимірювання планується використати для подальших розрахунків або для порівняння з іншими результатами вимірювань, його доцільно надавати із застосуванням точкових оцінок у наступному вигляді:

$$\hat{Q} = \bar{X}, \quad S(\bar{X}) = \dots, \quad n = \dots \quad (4)$$

Якщо ж результат вимірювання остаточно, його доцільно надавати у вигляді інтервальної оцінки, яку характеризує розмір довірчого інтервалу, що накриває дійсне значення вимірюваної величини із заданої (довірчої) імовірністю P . Відомо, що при нормальному розподілі результатів спостережень, з яких попередньо виключені систематичні похибки, дійсне значення вимірюваної величини з довірчою імовірністю P знаходиться в межах інтервалу

$$[\bar{X} - t \cdot S(\bar{X}), \bar{X} + t \cdot S(\bar{X})]$$

де t – коефіцієнт Ст'юдента, що відповідає обраній довірчій імовірності P і кількості результатів спостережень n (значення коефіцієнта Ст'юдента t для різних P и n наведені в таблиці в “Додатку 2”).

Отже, результат вимірювання в цьому випадку надають у наступному вигляді:

$$\bar{X} \pm \varepsilon(P), \quad P = \dots, \quad n = \dots, \quad (5)$$

де $\varepsilon(P) = t \cdot S(\bar{X}) = \varepsilon_p = \Delta_p$ – довірча межа випадкової похибки результату вимірювання (або довірча випадкова похибка).

2.2.4. Вище зазначалось, що результат будь – якого спостереження може містити як систематичну, так і випадкову похибку. Систематичні похибки спотворюють результати спостережень найбільше істотно. Тому усуненню їх надається важливе значення. Будь – яка систематична похибка обов'язково повинна бути виявлена і виключена з результату спостережень. Це можна зробити до начала вимірювання шляхом виявлення й усуненню джерел систематичних похибок (профілактика похибок) або в процесі експерименту застосуванням спеціальних методів (експериментальне виключення похибок). Якщо ж систематична похибка не може бути виключена у наведений спосіб, а існує можливість обчислити її, то в результати спостережень (експериментальні дані) вносять виправлення – відомі поправки (виключення похибок обчисленням).

Залишки систематичних похибок, які вміщують результати спостережень після виключення систематичних похибок і внесення виправлень, складають невиключені систематичні похибки (НСП) експериментальних даних. У якості НСП результатів вимірювань найчастіше виступають інструментальні похибки (похибки ЗВ, що застосовуються), похибки методу вимірювання, похибки, що обумовлені дією зовнішніх дестабілізуючих факторів, тощо. Тобто на результат вимірювання можуть впливати декілька джерел НСП і для отримання НСП результату вимірювання необхідно підсумувати складові НСП всіх джерел. При цьому розподіл складових НСП усередині заданих меж вважають рівномірним і довірчу межу НСП результату вимірювання оцінюють за наступною формулою:

$$\Delta_s(P) = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta_{Si}^2} \quad (6)$$

Тут: k – коефіцієнт, що відповідає обраній довірчій вірогідності P , і залежний від кількості складових НСП « m » і від їх співвідношення; Δ_{Si} - межа i -ї складовою НСП. При довірчих вірогідностях $P=0,9$ і $P=0,95$ коефіцієнт k мало чутливий до зміни кількості складових НСП і до зміни їх значень, тому приймають $k=0,95$ при $P=0,9$ і $k=1,1$ при $P=0,95$. Значення k при інших значеннях P можна

визначити за допомогою графічних залежностей $k = k(m, l)$, що надаються в літературі, де l – параметр, залежний від співвідношення меж Δ_{S_i} складових НСП.

2.2.5. Подальша обробка результатів прямих багаторазових вимірювань зводиться до обчислення довірчої межі підсумкової похибки $\Delta(P)$.

Підсумкову похибку результату вимірювання можна характеризувати довірчою межею тільки випадкової похибки, якщо НСП в порівнянні з випадковою похибкою мала. Тобто, $\Delta(P) = \varepsilon(P) = t \cdot S(\bar{X})$ коли $\frac{\Delta_s(P)}{S(\bar{X})} \leq 0,8$.

Якщо мала випадкова похибка, то підсумкову похибку результату вимірювання може характеризувати тільки довірча межа НСП. Тобто, $\Delta(P) = \Delta_s(P)$ коли $\frac{\Delta_s(P)}{S(\bar{X})} \geq 8$.

Якщо $0,8 < \frac{\Delta_s(P)}{S(\bar{X})} < 8$, то підсумкова похибка результату має враховувати обидві складові (випадкову та НСП) і для розрахунку довірчої похибки результату вимірювання використовують емпіричну формулу

$$\Delta(P) = t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma}, \text{ де } t_{\Sigma} = \frac{\Delta_s(P) + \varepsilon(P)}{S(\bar{X}) + S_{\theta}}, \quad S_{\Sigma} = \sqrt{S^2(\bar{X}) + S_{\theta}^2}, \quad S_{\theta} = \sqrt{\Delta_s^2(P)/3}. \quad (7)$$

У наведеній формулі довірчу межу випадкової похибки $\varepsilon(P)$ і межу НСП $\Delta_s(p)$ результату вимірювання необхідно брати при одній довірчій імовірності P .

Результат вимірювання записують у вигляді: $\bar{X} \pm \Delta(P)$, $P = \dots$, $n = \dots$. Якщо ж він використовується для подальшого аналізу, або порівняння з іншими результатами, то потрібно вказувати окремо межу НСП і СКВ випадкової похибки:

$$\hat{Q} = \bar{X}, \quad S(\bar{X}) = \dots, \quad \Delta_s(P) = \dots, \quad P = \dots, \quad n = \dots$$

2.3. У вимірювальній практиці широко застосовують прямі одноразові вимірювання. При таких вимірюваннях показання ЗВ часто є результатом вимірювання, а похибка ЗВ, що використовується, нерідко визначає похибку результату. Перед проведенням подібних вимірювань необхідно прийняти відповідні заходи для забезпечення і підтримки нормальних умов для роботи ЗВ, проаналізувати похибки методу й оператора і переконатися в тім, що вони малі у порівнянні з похибкою, що припускається (тобто їх підсумок не перевищує 30% похибки вимірювання, що припускається). Якщо зазначені похибки істотні, їх варто врахувати при розрахунку похибки результату одноразового вимірювання.

До одноразових вимірювань звертаються у випадку виробничої необхідності, коли об'єкт вимірювання чи умови вимірювань не дозволяють повторити його. Одноразове вимірювання доцільно застосовувати, якщо випадкова складова похибки дуже мала в порівнянні з НСП. Якщо випадкова похибка істотна, результати одноразових вимірювань будуть розрізнятися. Однак, якщо підсумкова похибка одноразового вимірювання задовольняє необхідній точності результату, то одноразові вимірювання можна застосовувати. Іноді, щоб уникнути промахів, виконують два-три спостереження і за результат вимірювання приймають результат одного з цих спостережень.

3. Порядок виконання роботи.

3.1. Перед початком виконання роботи заповнити таблицю основних характеристик ЗВ й устаткування, що використовуються у роботі.

3.2. Виконати пряме багаторазове вимірювання ФВ за методикою, запропонованої викладачем. Отримана група результатів спостережень підлягає статистичній обробці з метою визначення оцінок результату вимірювання і характеристик похибки результату вимірювання.

3.3. Статистична обробка результатів спостережень.

3.3.1. За результат вимірювання прийняти середнє арифметичне результатів спостережень – формула (1).

3.3.2. СКВ результатів спостережень оцінити за формулою (2). СКВ результату багаторазового вимірювання (середнього арифметичного) оцінити, застосовуючи формулу (3).

3.3.3. Оцінити НСП результату вимірювання, прийнявши в якості її основну похибку використовуваного ЗВ.

3.3.4. Результат вимірювання записати у вигляді:

$$\bar{X} = \dots, \quad S(\bar{X}) = \dots, \quad \Delta_s(P) = \dots, \quad P = \dots, \quad n = \dots$$

4. Зміст звіту

4.1. Мета роботи.

4.2. Використані ЗВ й устаткування.

4.3. Схема одержання результатів прямих багаторазових вимірювань.

4.4. Результати вимірювань і обробки; побудова гістограми.

4.5. Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Класифікація вимірювань за способом одержання результату. Поняття прямих і непрямих вимірювань.

2. Чим відрізняються багаторазові й одноразові вимірювання?

3. Назвіть складові підсумкової похибки результату прямого вимірювання.

4. Надайте в аналітичному або графічному вигляді функцію щільності імовірності для нормального закону розподілу результатів спостережень і випадкових похибок багаторазових вимірювань. Назвіть параметри нормального розподілу.

5. Що приймають у якості оцінки математичного очікування випадкової ФВ при її нормальному розподілі? Чому дорівнює математичне очікування результатів спостережень багаторазового вимірювання? Чому дорівнює математичне очікування випадкових похибок багаторазових вимірювань?

6. Як визначається результат вимірювання і точкові характеристики випадкової похибки при прямих багаторазових вимірюваннях? Поняття СКВ результатів спостережень і СКВ середнього арифметичного (результату багаторазового вимірювання).

7. Що визначає СКВ результатів спостережень і СКВ результату багаторазового вимірювання (середнього арифметичного)?

8. Як визначаються довірча межа випадкової складової похибки, НСП і підсумкової похибки результату при прямих багаторазових вимірюваннях?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НЕРІВНОТОЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

1. Мета роботи

Засвоїти методику обробки результатів нерівноточних вимірювань.

2. Підготовка до роботи

2.1. Багаторазові вимірювання зазвичай вимагають багато часу для їхнього проведення. На практиці не завжди вдається забезпечити повну відтворюваність умов повторних вимірювань. Зміна умов приводить до одержання груп результатів вимірювань з різними характеристиками похибок. Такі групи вимірювань називають нерівноточними. Якщо характеристики похибок груп вимірювань однакові, такі групи називають рівноточними. Як рівноточні, так і нерівноточні групи вимірювань можуть бути спільно статистично оброблені з метою знаходження результату вимірювання.

Поява нерівноточних (нерівнорозсіяних) груп (рядів, серій) вимірювань є наслідком недотримання єдності вимірювань. При цьому, крім зміни умов вимірювань, поява нерівноточних результатів можлива з наступних причин:

а) у ряді випадків конкретну ФВ вимірюють з використанням різних засобів вимірювань, що можуть давати нерівноцінні по точності результати;

б) вимірювання можуть виконуватися кількома дослідниками чи групами дослідників різної кваліфікації; при цьому переслідується мета одержати можливо більшу кількість результатів вимірювань і одночасно виключити чи згладити індивідуальні похибки дослідників;

в) вимірювання, що відносяться до зразкових мір чи вимірювальних приладів, часто виконуються з деякою перервою в часі. Зрештою накопичуються ряди спостережень і виникає необхідність об'єднати всі отримані результати і на основі їх математичної обробки одержати більш достовірне значення вимірюваної ФВ. Точність рядів спостережень різна, з одного боку, через те, що для вперше проведених вимірювань характерно більше розсіювання результатів, а з іншої сторони через те, що з часом ЗВ старіють і змінюються їх характеристики;

г) нерівноточними варто вважати і групи, у яких вимірювання однієї ФВ виконується різними методами, що характеризуються різними похибками.

У всіх подібних випадках треба дотримуватися методів обробки результатів нерівноточних рядів спостережень, задача яких у загальному випадку полягає в знаходженні найбільш імовірного значення вимірюваної ФВ. Для того, щоб виникаючі зміни умов виміру, або зміни, що уводяться свідомо, не порушували вимог теорії похибок, кожна група результатів спостережень, що відносяться до однакових умов (даний дослідник, дане ЗВ і т.д.), повинна бути оцінена з погляду ступеня довіри (її ваги) у загальній сукупності результатів, що підлягають обробці.

2.2. У випадку обробки результатів нерівноточного вимірювання основою для розрахунку є наступні дані:

1) $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_m$ – середні арифметичні значення для m груп (серій, рядів) рівноточних результатів спостережень постійної ФВ (систематичні похибки повинні бути виключені);

- 2) $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ – середні квадратичні відхилення (СКВ) результатів спостережень (чи їх оцінки) в окремих рівноточних групах (серіях, рядах);
- 3) n_1, n_2, \dots, n_m – кількість спостережень у кожній рівноточній групі;
- 4) m – кількість груп.

Отже, у випадку нерівноточного вимірювання значення вимірюваної ФВ, найбільш близьке до її дійсного значення, визначається за формулою:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 \cdot P_1 + \bar{X}_2 \cdot P_2 + \dots + \bar{X}_m \cdot P_m}{P_1 + P_2 + \dots + P_m}; \quad (1)$$

де $\bar{\bar{X}}$ – середнє зважене; P_1, P_2, \dots, P_m – ваги груп.

Позначення ваги в (1) тим же символом, що й імовірності (P), не випадкове. Найбільш правильним значенням ваги для даного результату є його імовірність. Якщо імовірності заздалегідь невідомі, то ваги груп найчастіше обчислюють за наведеними нижче формулами (2) або (3):

$$P_1 : P_2 : P_3 : \dots : P_m = \frac{1}{\sigma_1^2} : \frac{1}{\sigma_2^2} : \frac{1}{\sigma_3^2} : \dots : \frac{1}{\sigma_m^2}. \quad (2)$$

Отже, в формулі (2) ваги груп обернено пропорційні дисперсіям результатів спостережень в рівно точних групах.

Іншим критерієм для визначення ваги груп результатів спостережень може бути кількість спостережень у кожній групі (наприклад при $\sigma = \text{const}$). В цьому випадку ваги груп обчислюють у такий спосіб:

$$P_1 : P_2 : P_3 : \dots : P_m = n_1 : n_2 : n_3 : \dots : n_m. \quad (3)$$

Вага групи характеризує ступінь нашої довіри до результатів відповідної групи спостережень. Чим більше кількість спостережень у кожній даній групі і чим менше дисперсія результатів спостережень, тим більше ступінь довіри до отриманого при цьому середнього арифметичного і з тим більшою вагою воно повинно враховуватися при визначенні оцінки дійсного значення вимірюваної ФВ – середнього зваженого.

2.3. Випадкову похибку результату при нерівноточних вимірюваннях характеризує СКВ середнього зваженого. Його визначають за формулою:

$$\sigma(\bar{\bar{X}}) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^m [1/\sigma^2(\bar{X}_j)]}}, \quad (4)$$

де $\sigma^2(\bar{X}_j)$ – дисперсія середнього арифметичного, що обчислена для j -ї групи результатів

спостережень; причому, $\sigma^2(\bar{X}_j) = \frac{\sigma_j^2}{n_j}$.

З формули (4) видно, що СКВ середнього зваженого менше кожного з СКВ середнього арифметичного окремих груп спостережень. Це означає, що при обробці нерівноточних рядів точність результату вимірювання (середнього зваженого) підвищується.

Зазвичай при обробці результатів вимірювань теоретичні дисперсії σ_j^2 і $\sigma^2(\bar{X}_j)$ невідомі. Тому використовують їх статистичні оцінки S_j^2 і $S^2(\bar{X}_j)$ - дивись формули (2) і (3) у роботі 4, що наведені для статистичних оцінок СКВ.

3. Порядок виконання роботи

3.1. Перед початком виконання роботи заповнити таблицю основних характеристик ЗВ й устаткування, що використовуються.

3.2. Для одержання декількох серій нерівноточних результатів виконати багаторазові вимірювання ФВ незмінного розміру (за указівкою викладача) - не менше 10-ти спостережень кожному студенту в підгрупі. Результати спостережень заносити в таблицю, виділяючи групи, що відносяться до різних експериментаторів.

3.3. Статистична обробка результатів спостережень.

3.3.1. За результат вимірювання в j -й групі прийняти середнє арифметичне ряду спостережень у цій групі.

3.3.2. Виконати аналіз отриманих результатів з метою визначення ваги кожної групи спостережень за методикою, викладеної в р. 2.

3.3.3. Визначити середнє зважене отриманих результатів спостережень (формула 1) і СКВ випадкової похибки результату нерівно точного вимірювання (формула 4). Порівняти точність середнього зваженого з точністю середнього арифметичного результатів кожної групи (серії).

4. Зміст звіту

4.1. Мета роботи.

4.2. Використовувані прилади.

4.3. Схема лабораторного макету.

4.4. Отримані результати спостережень.

4.5. Результати обробки.

4.6. Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Поняття рівноточного і нерівноточного вимірювання.

2. У яких випадках слід говорити про нерівноточні вимірювання? Причини появи нерівноточних вимірювань?

3. Що приймається за результат нерівноточного вимірювання? Як розраховується найбільш вірогідне значення вимірюваної ФВ при нерівноточних вимірюваннях?

4. Які критерії використовують на практиці для визначення ваги групи результатів спостережень? Поясніть їх сутність.

5. Як визначається СКВ випадкової похибки результату нерівноточного вимірювання?

6. Що точніше: середнє зважене $\bar{\bar{X}}$ або середнє арифметичне \bar{X}_j будь-якої рівноточної групи? Поясніть сенс застосування нерівноточних вимірювань.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

НЕПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

1. Мета роботи

- 1.1. Вивчити особливості непрямих вимірювань і доцільність їх застосування.
- 1.2. Вивчити й засвоїти методику обробки результатів непрямих вимірювань.

2. Підготовка до роботи

2.1. При підготовці до даної роботи попередньо слід ознайомитись з розділом 2 лабораторної роботи № 4 «Прямі багаторазові та одноразові вимірювання».

2.2. Значення багатьох фізичних (ФВ) получаются не шляхом прямих вимірювань, а на підставі вимірювань декількох фізичних величин (наприклад A, B, C, \dots), функцією яких є вимірювана величина X :

$$X = f(A, B, C, \dots), \quad (1)$$

тут X – величина, значення якої отримують обчисленням на підставі результатів прямих вимірювань величин A, B, C, \dots (результат непрямого вимірювання); A, B, C, \dots – величини, значення яких отримують шляхом прямих вимірювань (вимірювані аргументи); f – відома функція аргументів A, B, C, \dots , що визначає рівняння непрямого вимірювання (1).

2.3. Похибки непрямого вимірювання величини X залежать від похибок прямих вимірювань величин A, B, C, \dots . Це положення дійсно як для випадкових, так і для систематичних складових похибки результату непрямого вимірювання.

2.3.1. У загальному випадку для визначення середнього квадратичного відхилення (СКВ) випадкової похибки результату непрямого вимірювання застосовують наступну формулу:

$$\sigma_{X(\Delta)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A} \cdot \sigma_A\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B} \cdot \sigma_B\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C} \cdot \sigma_C\right)^2 + \dots} \quad (2)$$

Тут: $\sigma_{X(\Delta)}$ - СКВ випадкової похибки результату непрямого вимірювання величини X ; σ_A , σ_B , σ_C - СКВ результатів прямих вимірювань величин A, B, C, \dots ; $\frac{\partial f}{\partial A}$, $\frac{\partial f}{\partial B}$, $\frac{\partial f}{\partial C}$ - частні похідні величини X по відповідному прямому аргументу (функції впливу, вагові функції), що визначають внесок похибок прямих вимірювань у похибку непрямого вимірювання; $\frac{\partial f}{\partial A} \cdot \sigma_A$, $\frac{\partial f}{\partial B} \cdot \sigma_B$, $\frac{\partial f}{\partial C} \cdot \sigma_C$ - частні похибки непрямого вимірювання (випадкові).

2.3.2. Довірчу межу абсолютної невиключеної систематичної похибки (НСП) результату непрямого вимірювання величини X при довірчій імовірності P знаходять за формулою

$$\Delta_{SX}(P) = k \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A} \cdot \Delta_{SA}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B} \cdot \Delta_{SB}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C} \cdot \Delta_{SC}\right)^2 + \dots} \quad (3)$$

де k – коефіцієнт, обумовлений прийнятою довірчою імовірністю P (k приймає значення від 0.95 до 1.49 – дивись розділ 2 лабораторної роботи № 4 «Прямі багаторазові та одноразові вимірювання»); Δ_{SA} – довірна межа абсолютної невиключеної систематичної похибки результату прямого вимірювання величини A (відповідно для B та C); $\frac{\partial f}{\partial A} \cdot \Delta_{SA}$, $\frac{\partial f}{\partial B} \cdot \Delta_{SB}$, $\frac{\partial f}{\partial C} \cdot \Delta_{SC}$ – частні похибки непрямого вимірювання (невиключені систематичні).

2.3.3. Подальша обробка результатів непрямих вимірювань зводиться до обчислення довірчої межі підсумкової похибки $\Delta(P)$ з урахуванням випадкової складової та НСП. Розраховується вона у такий же спосіб, як при прямих вимірюваннях (дивись розділ 2 лабораторної роботи № 4 «Прямі багаторазові та одноразові вимірювання»).

3. Порядок виконання роботи

3.1. Перед початком виконання роботи заповнити таблицю основних характеристик, використовуваних ЗВ й устаткування.

3.2. Виконати багаторазове вимірювання коефіцієнта передачі з напруги K електронного підсилювача. Для цього:

3.2.1. Зібрати за допомогою перемикачів на панелі універсального лабораторного макета схему підсилювача, що інвертує сигнал (чи, що не інвертує – за вказівкою викладача).

3.2.2. Підключити до входу підсилювача генератор сигналів (ГС), а до виходу – електронно – променевий осцилограф (ЕПО) і цифровий вольтметр (ЦВ); установити частоту вихідного гармонійного сигналу ГС $f = 1$ кГц.

3.2.3. Регулювати рівень вихідного сигналу ГС і установити на виході підсилювача максимальну вихідну напругу, при якій він працює ще в лінійному режимі (забезпечити запас у 10–20%); виконати вимірювання вихідної напруги підсилювача $U_{вих}$ за допомогою ЦВ і записати результат.

3.2.4. Виміряти за допомогою ЦВ вхідну напругу підсилювача $U_{вх,i}$, що відповідає установленій вихідній, і записати результат.

3.2.5. Змінити вхідну напругу підсилювача; підключити ЦВ до виходу підсилювача і регулюючи рівень вихідного сигналу ГС, установити колишнє значення $U_{вих}$; повторити вимірювання за п.3.2.4.

3.2.6. Вимірювання за п.3.2.5 виконати не менш 16-ти разів.

3.3. Обробка результатів вимірювань

3.3.1. За результат вимірювання вхідної напруги \bar{U}_{BX} прийняти середнє арифметичне результатів спостережень:

$$\bar{U}_{BX} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n U_{BX,i}$$

3.3.2. Розрахувати значення коефіцієнта передачі підсилювача за формулами

$$\bar{K} = \frac{U_{ВИХ}}{U_{ВХ}} \quad \text{чи} \quad \bar{K} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{U_{ВИХ}}{U_{ВХi}}$$

3.3.3. Оцінити абсолютні первинні похибки

$$\overset{\circ}{\Delta}u_i = U_{BX.i} - \bar{U}_{BX}; \quad \overset{\circ}{\Delta}K_i = K_i - \bar{K}.$$

3.3.4. Визначити оцінку СКВ результату вимірювання вхідної напруги підсилювача:

$$\sigma(\overset{\circ}{\Delta}\bar{u}) = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\overset{\circ}{\Delta}u_i \right)^2}.$$

3.3.5. Розрахувати значення частних похідних (функцій впливу первинних похибок):

$$W_1 = \frac{\partial K}{\partial U_{BX}} \quad \text{та} \quad W_2 = \frac{\partial K}{\partial U_{ВИХ}}.$$

3.3.6. Розрахувати СКВ випадкової похибки результату непрямого вимірювання:

$$\sigma\left(\overset{\circ}{\Delta}\bar{K}\right) = |W_1| \cdot \sigma\left(\overset{\circ}{\Delta}\bar{u}\right).$$

3.3.7. Оцінити СКВ випадкової похибки коефіцієнта передачі, як при прямому вимірюванні:

$$\sigma\left(\overset{\circ}{\Delta}\bar{K}\right) = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\overset{\circ}{\Delta}K_i \right)^2}.$$

3.3.8. Оцінити межу НСП результату непрямого вимірювання:

$$\Delta_{SK}(P) = k \cdot \sqrt{(W_1 \cdot \Delta_1)^2 + (W_2 \cdot \Delta_2)^2},$$

де Δ_1 і Δ_2 - інструментальні похибки (абсолютні!) прямих вимірювань вхідної і вихідної напруги підсилювача, відповідно (обумовлені класом точності вольтметра).

Вказівка: похибки Δ_1 і Δ_2 визначити, застосувавши клас точності ЦВ і результати вимірювань $U_{вих}$ та \bar{U}_{BX} .

4. Зміст звіту

- 4.1. Мета роботи.
- 4.2. Використовувані прилади.
- 4.3. Схема макета.
- 4.4. Результати вимірювань.
- 4.5. Результати обробки.
- 4.6. Висновки.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Поняття непрямих вимірювань, доцільність їх застосування.

2. Поняття невиключеної систематичної похибки (в т.р. – непрямого вимірювання).
3. Як оцінюють довірчу межу НСП непрямого вимірювання?
4. Як визначається СКВ випадкової похибки результату непрямого вимірювання?
5. Поняття вагової функції (функції впливу) непрямого вимірювання.
6. Поняття частної похибки непрямого вимірювання.
7. Чим відрізняється похибка, яку вносить пряме вимірювання в результат непрямого, від похибки самого прямого вимірювання?

Граничні значення v_p для перевірки грубої похибки

n	v_p при P , рівній				n	v_p при P , рівній			
	0,9	0,95	0,98	0,99		0,9	0,95	0,98	0,99
3	1,41	1,41	1,41	1,41	13	2,26	2,43	2,56	2,71
4	1,64	1,69	1,71	1,72	14	2,30	2,46	2,60	2,76
5	1,73	1,78	1,92	1,96	15	2,33	2,49	2,64	2,81
6	1,89	2,00	2,07	2,13	20	2,49	2,64	2,80	2,90
7	1,97	2,09	2,18	2,65	25	2,62	2,78	2,96	3,08
8	2,04	2,17	2,27	2,37	30	2,72	2,88	3,07	3,20
9	2,10	2,24	2,35	2,46	35	2,79	2,96	3,16	3,29
10	2,15	2,29	2,41	2,54	40	2,85	3,00	3,22	3,36
11	2,19	2,38	2,47	2,61	45	2,90	3,08	3,28	3,42
12	2,23	2,39	2,52	2,66	50	2,99	3,16	3,37	3,52

Коефіцієнти t розподілу Стьюдента

P	Число ступенів волі $f = n - 1$									
	3	4	5	6	7	8	10	12	18	
0,90	2,35	2,13	2,01	1,94	1,90	1,86	1,81	1,78	1,73	
0,95	3,18	2,78	2,57	2,45	2,38	2,31	2,23	2,18	2,10	
0,99	5,84	4,6	4,03	3,71	3,50	3,36	3,17	3,06	2,88	

P	Число ступенів волі $f = n - 1$						
	22	30	40	60	120	∞	
0,90	1,72	1,70	1,68	1,67	1,66	1,64	
0,95	2,07	2,04	2,02	2,00	1,98	1,96	
0,99	2,82	2,75	2,70	2,66	2,62	2,58	

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Підвищення точності вимірювальних систем: Навчальний посібник для вищих навчальних закладів/ В.І. Бойко, А.А. Зорі, В.Д. Коренєв, М.Г. Хламов; під ред. Зорі А.А.- Донецьк: РВА ДонНТУ, 2005. – 252 с.

2. Метрологія, стандартизація і вимірювання в техніці зв'язу: Учебн. пособие для вузов/ Б.П.Хромой, А.В.Кандинов, А.Л.Сенявский и др.; под ред. Б.П.Хромого.- М.: Радио и связь, 1986- 424 с.

3. Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для ВУЗов / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин. Под ред. Е.М. Душина – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1987г, 480 с.

ЗМІСТ

	Стор.
•Загальні положення.....	3
•Лабораторна робота №1. Дослідження універсального електронно-променевого осцилографа. Експериментальне визначення основних метрологічних характеристик каналів електронно-променевого осцилографа.....	4
•Лабораторна робота №2. Вимірювання параметрів електричних сигналів за допомогою електронно-променевого осцилографа.....	8
•Лабораторна робота № 3. Виявлення та виключення грубих похибок вимірювань.....	13
•Лабораторна робота № 4. Прямі багаторазові та одноразові вимірювання.....	15
•Лабораторна робота № 5. Оцінювання результатів нерівноточних вимірювань.....	20
•Лабораторна робота № 6. Непрямі вимірювання та їх застосування.....	23
•Додаток 1. Граничні значення ν_p для перевірки грубої похибки.....	27
•Додаток 2. Коефіцієнти t розподілу Стюдента.....	27
•Рекомендована література.....	27