

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# **МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ**

## **ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

**Навчальний посібник**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за освітньою програмою «Системи технічного захисту інформації»  
спеціальності 125 Кібербезпека

Укладачі: О. Д. Василенко, В. М. Степаненко

Електронне мережне навчальне видання

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2022

Рецензент *Пономаренко С. М.*, к.ф.-м.н., доцент кафедри прикладної фізики  
Навчально-наукового фізико-технічного інституту

Відповідальний  
редактор *Мачуський Є.А.*, д.т.н., проф.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 2 від 30.09.2022 р.)  
за поданням Вченої ради навчально-наукового фізико-технічного інституту  
(протокол № 11 від 01.09.2022 р.)*

Дані методичні вказівки мають на меті підвищення якості та спрощення підготовки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Метрологія та вимірювання». У вказівках подано короткі відомості про структуру, властивості лабораторних стендів і наведено методику визначення основних параметрів радіовимірювальних пристроїв.

Реєстр. № НП 22/23-105. Обсяг 2,2 авт. арк.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056  
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

## ЗМІСТ

1. Порядок підготовки, виконання та захисту лабораторних робіт .....	5
2. Лабораторна робота №1. Вимірювання постійної та змінної напруги, постійного струму, електричного опору .....	7
2.1. Основні відомості .....	7
2.2. Цифровий мультиметр серії 830 .....	8
2.2.1. Правила користування цифровим мультиметром .....	9
2.2.2. Технічні характеристики мультиметра .....	10
2.3. Правила і порядок виконання лабораторної роботи №1 .....	11
2.4. Перелік контрольних запитань для підготовки .....	14
Література .....	14
3. Лабораторна робота №2. Вивчення будови та застосування електронних осцилографів для вимірювання амплітудно-часових параметрів неперервних сигналів .....	15
3.1. Основні відомості, будова та принцип роботи осцилографа .....	15
3.2. Призначення основних вузлів осцилографа .....	17
3.3. Види розгортки .....	18
3.4. Застосування осцилографів для вимірювання амплітудно-часових параметрів електричних сигналів .....	18
3.4.1. Вимірювання напруги .....	18
3.4.2. Вимірювання часових інтервалів .....	20
3.5. Правила і порядок виконання лабораторної роботи №2 .....	21
3.6. Перелік контрольних запитань для підготовки .....	23
Література .....	23
4. Лабораторна робота №3. Вимірювання частоти та кута зсуву фаз за допомогою електронного осцилографа .....	24
4.1. Вимірювання частоти .....	24
4.1.1. Синусоїдальна розгортка .....	24
4.1.2. Кругова розгортка .....	25
4.2. Вимірювання кута зсуву фаз .....	28
4.2.1. Лінійна розгортка .....	29
4.2.2. Синусоїдальна розгортка .....	29
4.3. Правила і порядок виконання лабораторної роботи №3 .....	30
4.4. Перелік контрольних запитань для підготовки .....	31
Література .....	32
5. Лабораторна робота №4. Вивчення будови та застосування аналізаторів спектру .....	33
5.1. Основні відомості .....	33
5.2. Будова та принципи роботи аналізатора спектру .....	34
5.2.1. Паралельний аналіз спектру .....	34
5.2.2. Послідовний аналіз спектру .....	36
5.3. Правила і порядок виконання лабораторної роботи №4 .....	39
5.4. Перелік контрольних запитань для підготовки .....	40
Література .....	40

Додаток А. Мікровольтметр ВЗ-57 .....	41
Додаток Б. Універсальний двоканальний осцилограф С1-117 .....	43
Додаток В. Генератор ГЗ-102 .....	45
Додаток Г. Звіт з лабораторної роботи №1 Вимірювання постійної та змінної напруги, постійного струму, електричного опору .....	46
Додаток Д. Звіт з лабораторної роботи №2 Вивчення будови та застосування електронних осцилографів для вимірювання амплітудно-часових параметрів періодичних сигналів .....	48
Додаток Ж. Звіт з лабораторної роботи № 3 Вимірювання частоти та кута зсуву фаз за допомогою електронного осцилографа .....	50

# 1. ПОРЯДОК ПІДГОТОВКИ, ВИКОНАННЯ ТА ЗАХИСТУ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

1.1. Під час підготовки до виконання лабораторних робіт слід ознайомитися зі змістом майбутньої лабораторної роботи, питаннями теоретичного курсу, пов'язаними з цією роботою. При цьому слід усвідомити мету і обсяг експерименту і виділити теоретичні положення, знання яких є необхідним як для виконання лабораторної роботи, так і для розуміння результатів лабораторних спостережень.

1.2. Користуючись рекомендованою літературою, засвоїти основні теоретичні відомості, методику і техніку вимірювань, які необхідно виконати в даній роботі. При цьому необхідно звернути увагу на припущення та спрощення, які були прийняті при теоретичному розгляді відповідних процесів, явищ, характеристик тощо. Це допоможе зрозуміти можливі розбіжності результатів експериментів з теорією.

1.3. Продумати умови проведення лабораторного експерименту у відповідності з описом лабораторної роботи: наявність готового лабораторного стенду або необхідність його збирання, запропоновані межі зміни тих чи інших параметрів, очікувані межі зміни величин, що спостерігаються в експерименті тощо.

1.4. Детально вивчити схему лабораторної установки, наведену в описі. При цьому треба звернути увагу на характеристики та правила експлуатації апаратури, яка буде використана під час роботи (подано у Додатках).

1.5. Продумати методику лабораторного експерименту на підставі розділу «Лабораторне завдання». При цьому необхідно звернути увагу на послідовність операцій в експерименті та необхідних спостережень, які підлягають фіксації як результат експерименту.

1.6. Заготовити бланк лабораторного звіту (форму подано у Додатках). Звіт про виконану роботу готується один на бригаду. У цьому бланку треба записати найменування і мету роботи, накреслити схему лабораторної установки і привести необхідні попередні дані у відповідності до завдання на лабораторну роботу. Крім того, в бланку треба заготувати відповідні таблиці для запису протоколу лабораторного експерименту. Форму таблиць для протоколу доцільно заготовити з деяким запасом: якщо, наприклад, для побудови деякої досліджуваної характеристики потрібно до десяти точок, передбачте в таблиці місце для запису результатів не десяти, а двадцяти вимірювань. Це потрібно, по-перше, тому, що деякі вимірювання можуть виявитися помилковими і їх доведеться повторити (відкинути). По-друге, під час експерименту або побудови графіку може знадобитися зняття додаткових точок, наприклад, в області екстремальних значень характеристик або за межами досліджуваного діапазону.

1.7. Підготувати відповіді на питання, наведених у даній роботі.

1.8. Записати питання, які залишилися незрозумілими в ході підготовки, для обговорення з викладачем. Підготовку до лабораторних занять студент може вважати закінченою, якщо він має чітке уявлення про те, що робити, як робити і що він очікує отримати в результаті експерименту.

1.9. Після закінчення виконання роботи одержані матеріали надаються викладачу, що керує роботою, для перевірки, затвердження та фіксації виконання у робочому журналі.

1.10. Після виконання лабораторної роботи бригада оформлює звіт у паперовому вигляді. При складанні звіту необхідно зосередити основну увагу на аналізі отриманих залежностей, їх поясненні і практичних висновках. У висновках можна висловити свої критичні зауваження щодо методів вимірювань і розрахунків досліджуваних залежностей і величин.

1.11. У звіти по роботі, де є теоретичні розрахунки, слід вписати необхідні розрахунки за формулами із зазначенням розмірності всіх фізичних величин. По кожній з формул числовий розрахунок повинен бути зроблений окремо, інші результати розрахунку, якщо це необхідно, заносяться в таблицю в остаточному вигляді.

1.12. Робота вважається зарахованою після її захисту. Захист має форму співбесіди бригади з керівником роботи щодо питань, досліджених у роботі. Під час підготовки до захисту лабораторної роботи студент перевіряє свої знання, відповідаючи на контрольні питання до роботи, використовуючи пропоновану літературу.

1.13. Допуск до іспиту з дисципліни надається у разі виконання і захисту всіх лабораторних робіт. Кількість набутих балів у відповідності з РСО повідомляється викладачем після захисту роботи.

## 2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 ВИМІРЮВАННЯ ПОСТІЙНОЇ ТА ЗМІННОЇ НАПРУГИ, ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

**Мета роботи:** ознайомлення з цифровим мультиметром (тестером), правилами його експлуатації, набуття навичок виконання прямих вимірювань постійної напруги, постійного струму, електричного опору цифровим мультиметром і непрямих вимірювань електричного опору та електричної потужності з визначенням похибки вимірювання.

### 2.1. Основні відомості

В практичній діяльності інженерів доводиться виконувати прямі й непрямі вимірювання різних фізичних величин.

Як відомо [1-5], при прямому вимірюванні результатом вимірювання є безпосередньо покази приладу.

Інформація про точність вимірювань, яку забезпечує прилад, міститься в його експлуатаційній документації.

При непрямих вимірюваннях фізичну величину розраховують за результатами прямих вимірювань деяких інших величин, пов'язаних з вимірюваною величиною певним математичним виразом. Наприклад, за результатами прямих вимірювань напруги  $U$  й опору  $R$  на ділянці електричного кола силу струму  $I$  можна розрахувати, використавши співвідношенням  $I = U / R$  (закон Ома)..

Для розрахунку відносної та абсолютної похибок при непрямих вимірюваннях знаходять логарифм лівої та правої частин розрахункової формули, потім диференціюють отримане співвідношення. Оскільки

$$d(\ln A) = dA / A ,$$

відразу знаходять відносну похибку величини  $A$  при її непрямому вимірюванні, виражену через відносні похибки безпосередньо виміряних величин. Так, наприклад, якщо  $A = a \cdot b$ , то  $d(\ln A) = d(\ln a) + d(\ln b)$ , або  $dA / A = da / a = db / b$ , і для відносної похибки маємо

$$\Delta A / A = \Delta a / a + \Delta b / b ,$$

звідки абсолютна похибка

$$\Delta A = [(\Delta a / a) + (\Delta b / b)] \cdot A$$

Деякі формули для розрахунку абсолютних та відносних похибок непрямих вимірювань наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Формули для розрахунку абсолютних та відносних похибок

$A$	$\Delta A$	$\Delta A / A$
1. $a + b$	$\Delta a + \Delta b$	$(\Delta a + \Delta b) / (a + b)$
2. $a - b$	$\Delta a + \Delta b$	$(\Delta a + \Delta b) / [a - b]$
3. $a \cdot b$	$a\Delta \cdot b + b \cdot \Delta a$	$\Delta a / a + \Delta b / b$
4. $a^n$	$n(\Delta a / a)$	$n \cdot (\Delta a / a)$
5. $a / b$	$\Delta a / b + (a \cdot \Delta b) / b^2$	$\Delta a / a + \Delta b / b$
6. $\ln a$	$\Delta a / a$	$\Delta a / (a \cdot \ln a)$

У випадках 3, 4, 5 зручніше спочатку обчислити відносну похибку і вже з неї знайти абсолютну. У випадках 1, 2, 6 краще спочатку знайти абсолютну похибку, а потім відносну.

Для вимірювання основних електричних величин - постійних та змінних струмів і напруги, опору постійному струму призначені мультиметри (або комбіновані прилади, або ампервольтметри, або тестери) [2].

Окремі типи цих приладів дозволяють також вимірювати ємність, відносний рівень змінної напруги в децибелах, окремі параметри транзисторів (коефіцієнт підсилення за струмом, зворотний струм колекторного та емітерного переходів, початковий струм колектора).

Компактність, багатофункціональність, багатодіапазонність, простота й зручність використання сприяли поширенню мультиметрів у інженерній практиці, пов'язаній з розробленням, налагоджуванням, випробуванням, ремонтом радіоелектронної апаратури в лабораторних, цехових та експлуатаційних умовах.

Типовий аналоговий (стрілочний) тестер, виконаний на основі магнітоелектричного вимірювача, має наступні діапазони вимірювання [2]:

- постійного струму 50 мкА-10 А;
- змінного струму 10 мА-10 А;
- постійної напруги 100 мВ – 1000 В;
- змінної напруги 3 В – 1000 В;
- опору 1 кОм – 20 МОм.

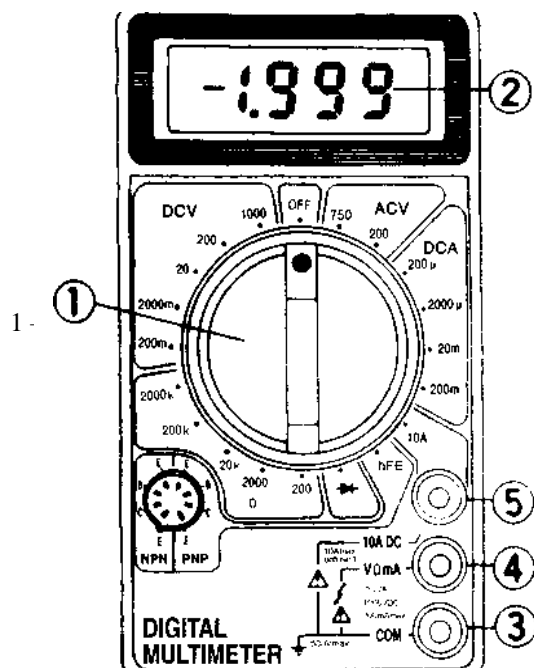
Точність типових аналогових тестерів становить  $\pm 1\%$  від відхилення на всю шкалу при вимірюванні постійного струму і  $\pm 2\%$  від відхилення на всю шкалу при вимірюванні змінного струму. Точність при вимірюванні опорів дорівнює  $\pm 3\%$  від середнього значення шкали.

Аналогові тестери останнім часом поступилися місцем цифровим, виконаним на базі аналого-цифрового перетворення вимірюваної величини та цифрової індикації результату вимірювання.

## 2.2. Цифровий мультиметр серії 830

Цифровий мультиметр серії 830 [6] - компактний, «кишенькового» розміру 3,5-розрядний цифровий прилад, призначений для вимірювання постійної та змінної напруги, постійного струму, опору, перевірки напівпровідникових діодів, вимірювання коефіцієнту підсилення транзисторів.

Передня панель цифрового мультиметра серії 830, органи індикації, комутації та їхнє призначення представлені на Рисунку 2.1



1 – перемикач функцій та діапазонів; використовується для вибору: вимірюваної величини, границь вимірів, включення та виключення живлення. В положенні “OFF” прилад виключений.

2 – індикатор: 3,5-розрядний 7-сегментний рідинно-кристалічний висотою 12,7 мм.

3 – гніздо “COM” (COMMON - спільний).

4 – гніздо “V, Ω, mA” для підключення червоного (позитивного) щупа при вимірюванні напруги, опору та струму до 200 мА

5 – гніздо “10 A” для підключення червоного (позитивного) щупа при вимірюванні струму в діапазоні 200 мА...10 А.

Рис. 2.1. Передня панель цифрового мультиметра серії 830

### 2.2.1. Правила користування цифровим мультиметром

Правила користування цифровим мультиметром нескладні і полягають в наступному:


- червоний щуп слід підключати до гнізда “V, Ω, mA”, а чорний - до гнізда “COM”;

- при роботі з приладом необхідно пильнувати за правильним положенням перемикача функцій і діапазонів;

- про перевищення вимірюваною величиною вибраної границі вимірювання свідчить показання «1» на індикаторі; при вимірюванні струмів і напруги слід від’єднати вимірювальні щупи і встановити більшу границю вимірювання.

Для заміни елемента живлення треба прилад вимкнути, від’єднати щупи, зняти задню кришку, виконати заміну, встановити задню кришку на прилад.

Розглянемо, як слід проводити вимірювання.

- Вимірювання постійної напруги (DCV):
  - якщо вимірювана напруга попередньо не відома, перемикач треба встановити на найбільшу границю (1000 В) і зменшувати її, доки «1» на індикаторі зміниться показанням значення вимірюваної напруги;
  - на індикаторі висвічується полярність і величина вимірюваної напруги в одиницях вибраної границі. Так, на границі “2000 m” показання подаються в мілівольтах, при цьому кома не світиться.
- Вимірювання змінної напруги (ACV):
  - перемикач границь вимірювання треба встановити на потрібну границю;
  - щупи слід підключити до досліджуваної схеми або пристрою;
  - на індикаторі висвічується діюче значення напруги.
- Вимірювання постійного струму (DCA):
  - якщо вимірюваний струм може перевищити 200 мА, червоний щуп треба переставити в гніздо «10 А»;
  - перемикач діапазонів слід встановити на необхідну границю вимірювання;
  - в досліджуване електричне коло мультиметр необхідно підключити послідовно, щоб вимірюваний струм протікав через прилад;
  - значення вимірюваного струму висвітиться на індикаторі.
- Вимірювання опору:
  - перемикач діапазонів вимірювання треба встановити на потрібну границю;
  - щупи треба підключити до вимірюваного опору;
  - значення вимірюваного опору можна прочитати на індикаторі.
- Перевірка напівпровідникових діодів:
  - перемикач функцій треба встановити в положення  ;
  - червоний щуп слід підключити до аноду діода, а чорний – до катода
  - на індикаторі висвічується напруга на діоді в мВ, а якщо поміняти місцями щупи, то висвічується «1», що свідчить про справність діода.
- Вимірювання  $h_{FE}$  транзистора малої потужності:
  - перемикач функцій необхідно встановити в положення « $h_{FE}$ »;
  - виводи транзистора у відповідні гнізда на передній панелі приладу слід вставляти у відповідності з його типом (npn/npn) та «цоколюванням»;
  - прилад показує приблизне значення коефіцієнта  $h_{FE}$  ( $\beta$ ) підсилення струму транзистором при його включенні за схемою зі спільним емітером при струмі бази 10 мкА і напрузі колектор-емітер 2,8 В.

### 2.2.2. Технічні характеристики мультиметра

Технічні характеристики мультиметра при вимірюванні різних величин наведені в Таблицях 2.2–2.5.

Похибки вказані при температурі  $23 \pm 5$  °C і вологості повітря не більше 75%. Знак D відповідає одиниці молодшого розряду.

▪ Таблиця 2.2. Вимірювання постійної напруги

Діапазон вимірювання	Роздільна здатність	Похибка вимірювання
200 мВ	100 мкВ	$\pm 0,25\% \pm 2D$
2000 мВ 20 В 200 В 1000 В	1 мВ 10 мВ 0,1 В 1 В	$\pm 0,5\% \pm 2D$

Вхідний опір 1 МОм на усіх діапазонах.

Таблиця 2.3. Вимірювання змінної напруги (робочий діапазон частот 45...450 Гц)

Діапазон вимірювання	Роздільна здатність	Похибка вимірювання
200 В	0,1 В	$\pm 1,2\% \pm 10D$
750 В	1 В	$\pm 1,2\% \pm 10D$

▪ Таблиця 2.4. Вимірювання постійного струму

Діапазон вимірювання	Роздільна здатність	Похибка вимірювання
200 мкА 2000 мкА 20 мА	100 нА 1 мкА 10 мкА	$\pm 1,0\% \pm 2D$
200 мА 10 А	100 мкА 10 мА	$\pm 1,2\% \pm 2D$ $\pm 2,0\% \pm 2D$

У випадку непрацездатності мультиметра при вимірюванні струму на діапазоні «мА» треба виключити прилад, від'єднати його щупи, зняти задню кришку та перевірити плавкий запобіжник (0,2 А/250 В).

▪ Таблиця 2.5. Вимірювання електричного опору

Діапазон вимірювання	Роздільна здатність	Похибка вимірювання
200 Ом 2 кОм 20кОм	0,1 Ом 1 Ом 10 Ом	$\pm 0,8\% \pm 2D$

## 2.3. Правила і порядок виконання лабораторної роботи №1

### 2.3.1. Обладнання, прилади і матеріали

Для виконання Лабораторної роботи №1 використовуються наступні прилади, обладнання та набори компонентів;

- цифровий мультиметр серії 830;
- джерело живлення постійного струму Б5-29;
- генератор сигналів низькочастотний ГЗ-118;
- набір резисторів;
- набір напівпровідникових діодів;

- набір малопотужних транзисторів;
- довідкові матеріали на резистори, транзистори, діоди;
- електричний паяльник;
- припой ПОС-61;
- каніфоль.

### **2.3.2. Виконання лабораторної роботи №1**

Для виконання лабораторної роботи №1 необхідно виконати наступні кроки;

- вивчити інструкцію з експлуатації цифрового мультиметра;
- ознайомитися з інструкціями з експлуатації вимірювальних приладів, які використовуються в роботі;
- отримати у викладача набори резисторів, напівпровідникових діодів та транзисторів;
- зпаяти резистори послідовно (“в ланцюжок”) згідно рисунку ;
- виміряти електричний опір кожного резистора. Результати вимірювань занести в таблицю;
- обов’язково запросити викладача, для перевірки правильності зібраної схеми;
- підключити ланцюжок резисторів до джерела живлення – джерела постійної напруги і встановити на ньому напругу  $E \cong 10 \text{ В}$ ;
- виміряти напругу  $E$  джерела живлення і результат вимірювання нанести на схему;
- виміряти струм  $I$ , споживаний від джерела живлення; результат вимірювання нанести на схему;
- виміряти напругу  $U_R$  на кожному резисторі; результати вимірювань занести в таблицю;
- за виміряними  $I$  та  $U_R$  розрахувати значення електричного опору кожного резистора і результати розрахунків занести в таблицю;
- за виміряними  $I$  та  $U_R$  розрахувати потужність, споживану від джерела живлення, та потужності, що виділяються на кожному резисторі, і результати розрахунків занести в таблицю;
- перевірити мультиметром справність діодів з набору;
- виміряти коефіцієнт підсилення струму кожного транзистора з набору і записати результати вимірювань та дані з довідника на транзистори;

### **2.3.3. Формування звіту**

Звіт по виконаній лабораторній роботі №1 повинен містити:

- титульний лист з указанням найменування роботи;
- дата, час, місце та умови (температура, атмосферний тиск, вологість), за яких виконувалась робота;
- назва, тип використаних вимірювальних приладів;

- методики проведення прямих вимірювань та визначення похибки результату вимірювань постійної напруги, постійного струму, електричного опору.
- методики проведення непрямих вимірювань та визначення похибки результату непрямих вимірювань електричного опору та потужності.
- принципова схема ланцюжка резисторів, під'єданого до джерела живлення, та таблиця результатів вимірювань і розрахунків (рис. 2.2 );
- висновки (аналіз отриманих результатів)

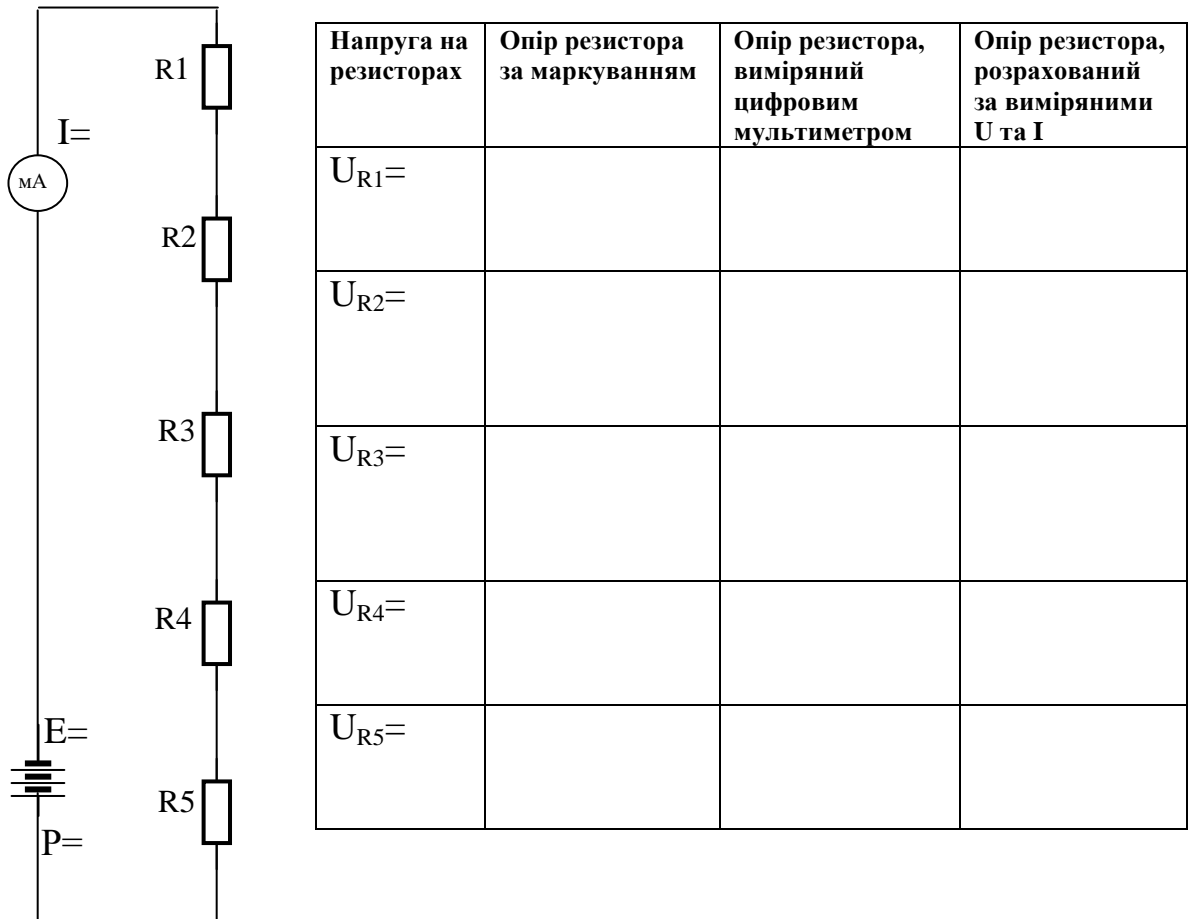


Рис. 2.2. Принципіальна схема «ланцюжка» резисторів, таблиця результати вимірювань та розрахунок

Приклад звіту про виконання лабораторної роботи №1 наведено в Додатку Г

#### 2.4. Перелік контрольних запитань для підготовки

Для кращої підготовки до виконання і здачі лабораторної роботи бажано визначитись з відповідями на запитання:

- чим відрізняються прямі вимірювання від непрямих ?
- як знайти похибку прямого вимірювання ?
- як непрямим вимірюванням визначити опір ?
- як знайти похибку непрямих вимірювань електричного опору ?

- як непрямим вимірюванням визначити силу струму ?
- як знайти похибку непрямого вимірювання сили струму ?
- як непрямим вимірюванням визначити електричну потужність, що виділяється на резисторі ?
- як знайти похибку непрямого вимірювання електричної потужності, що виділяється на резисторі ?
- як знайти похибку непрямого вимірювання постійної напруги на «ланцюжку» резисторів ?
- що таке мультиметр ?
- для чого призначений мультиметр ?
- які фізичні величини можна виміряти мультиметром ?
- які правила користування мультиметром ?
- як виміряти мультиметром постійну напругу ?
- як виміряти мультиметром змінну напругу ?
- як виміряти мультиметром постійний струм ?
- як виміряти мультиметром опір ?

### **Використана література**

1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В. И. Нефедов, В. И. Хахин, Е. В. Федорова и др.; Под ред. В. И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001. – 383 с.: ил.
2. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2002. – 384 с.
3. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология: Учебник для вузов. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 492 с., ил.
4. Цюцюра В. Д., Цюцюра С. В. Метрологія та основи вимірювань: Навч. посіб. – К.: Знання-Прес, 2003. – 180 с. – (Вища освіта ХХІ століття).
5. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: Навч. посібник / За ред. Ю. Л. Мазора, Є. А. Мачуського, В. І. Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 836 с.
6. Садченков Д. А. Современные цифровые мультиметры. – М.: СОЛОН-Пресс. – 2002. – 112 с.

### 3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

## ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ОСЦИЛОГРАФІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ НЕПЕРЕРВНИХ СИГНАЛІВ

**Мета роботи:** вивчення будови та правил користування електронними осцилографами, набуття навичок вимірювання за допомогою осцилографів постійної напруги, амплітуди неперервних та імпульсних сигналів, тривалості часових інтервалів.

### 3.1. Основні відомості, будова та принцип роботи осцилографа

Електронні осцилографи (далі – осцилографи) – це прилади, призначені для візуального спостереження за формою та вимірювання параметрів електричних сигналів.

Широке застосування осцилографів обумовлене високою чутливістю, малим впливом на джерело досліджуваного сигналу внаслідок великого вхідного опору, значним частотним діапазоном, можливістю вимірювати постійну напругу, амплітуди, часові та частотні характеристики, зсув фаз електричних сигналів.

Робота осцилографа, структурна схема якого приведена на рис.3.1, оснований на керуванні положенням пучка електронів досліджуваною напругою.

Основним вузлом осцилографа є електронно-променева трубка (ЕПТ), в якій формується електронний промінь та здійснюється його переміщення.

Змінюючи потенціал модулятора ЕПТ, можна регулювати густину електронів у промені, а отже, яскравість зображення на екрані.

Фокусування променя регулюється зміною напруги на першому (фокусуючому) аноді ЕПТ. Другий (прискорюючий) анод забезпечує прискорення електронів у напрямку екрана, вкритого спеціальною сполукою (люмінофором), на якій під дією електронного променя утворюється пляма, що світиться.

Досліджуваний електричний сигнал є функцією часу і може бути відображений в прямокутних (декартових) координатах графіком  $U = f(x)$ .

Дві пари пластин трубки відхиляють електронний промінь у двох взаємно перпендикулярних напрямках, які можна вважати координатними осями прямокутних координат.

Горизонтальний напрямок відхилення променя є віссю часу, а вертикальний – віссю миттєвих значень досліджуваного сигналу.

Для того, щоб шкала осі часу була рівномірною, електронний промінь повинен відхилятися в горизонтальному напрямку з постійною швидкістю. Для цього на пластини горизонтального відхилення подають від спеціального генератора розгортки ГенР пилоподібну напругу, яка з постійною швидкістю відхиляє промінь на всю ширину екрана від його лівої частини праворуч, після чого швидко повертає промінь ліворуч.

Під час зворотного ходу променя на модулятор ЕПТ подається негативний імпульс, завдяки чому електронний промінь переривається і зворотного ходу променя не видно.

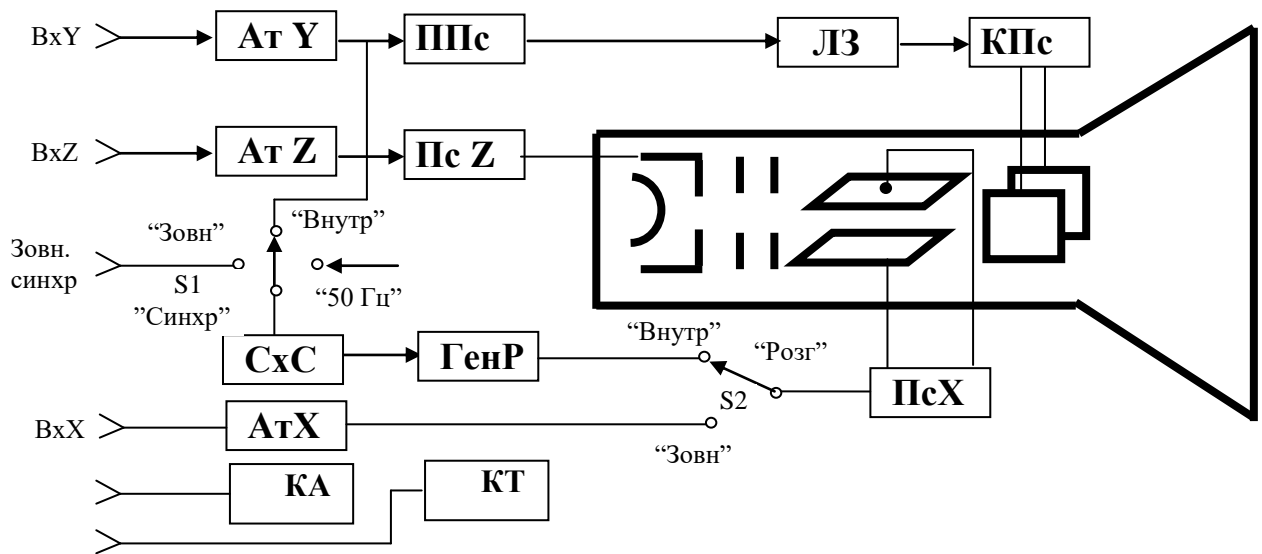


Рис.3.1

Досліджувана напруга подається на пластини вертикального відхилення. ЕПТ Зображення, яке створюється на екрані, називається осцилограмою.

Зміщення  $l$  світлої плями на екрані трубки при зміні прикладеної до пластин вертикального відхилення напруги  $U$  на один вольт називається чутливістю трубки за напругою

$$S = \frac{l}{U} \left[ \frac{\text{мм}}{\text{В}} \right].$$

Для сучасних ЕПТ  $S = (0,1 \dots 1,0) \frac{\text{мм}}{\text{В}}$ .

Для того, щоб зображення на екрані було нерухомим, слід синхронізувати (узгодити за часом) досліджувану напругу і напругу генератора розгортки, тобто домогтися, щоб період розгортки дорівнював або був кратним періоду досліджуваного сигналу. Якщо період напруги розгортки в  $n$  разів більший від періоду досліджуваного сигналу, то зображення на екрані охопить  $n$  періодів.

Синхронізація досягається регулюванням частоти генератора розгортки до одержання нерухомого зображення на екрані (внутрішня синхронізація). Крім того, напругу синхронізації можна подати або від обмотки силового трансформатора блоку вторинного живлення осцилографа (синхронізація від мережі), або від стороннього джерела (зовнішня синхронізація).

### 3.2. Призначення основних вузлів осцилографа

Крім ЕПТ, осцилограф має такі функціональні блоки:

- **канал Y вертикального відхилення променя** (складається з вхідного атенюатора  $AtY$ , попереднього ППС та кінцевого КПС $Y$  підсилювачів, лінії затримки ЛЗ) має високий вхідний опір, “відкритий” (чутливий до постійної напруги) або “закритий” вхід, забезпечує затримку досліджуваного сигналу відносно моменту запуску очікувальної розгортки (що дозволяє спостерігати фронти імпульсів);

- **канал горизонтального відхилення X** (підсилювач  $PcX$ , генератор пилкоподібної напруги розгортки ГенР зі схемами синхронізації та запуску СхС, атенюатор  $AtX$ ) забезпечує розгортку (рух променя ЕПТ в горизонтальному напрямку) за законом зовнішньої (зі входу X) або частіше внутрішньої напруги розгортки. ГенР може працювати в неперервному (автоколивальному) режимі або в режимі очікування (з примусовим запуском до приходу досліджуваного імпульсу на пластини Y). Період неперервної розгортки або тривалість прямого ходу розгортки із запуском (часовий масштаб осцилограми) регулюється в широких межах. ГенР виробляє також імпульси підсвічування осцилограми протягом прямого ходу розгортки та імпульс гасіння – під час зворотного. СхС забезпечує стійкість (нерухомість на екрані) осцилограм завдяки синхронізації (запуску) ГенР досліджуванним сигналом (“Внутр. синхр.”) або когерентним з ним зовнішнім сигналом (“Зовн. синхр.”).

- **канал керування яскравістю Z** (атенюатор  $AtZ$  і підсилювач  $PcZ$ ) забезпечує можливість модуляції променя за яскравістю зовнішніми сигналами, тобто одержання яскравістних позначок.

- **калібратори амплітуд КА та тривалостей КТ** – генератори еталонних за амплітудою та частотою коливань, які використовують для калібрування чутливості каналів X [мкс/см] та Y [В/см] перед вимірюваннями. Наявність входів X, Z, “Зовн. синхр.”, “Вихід пилки” (напруги внутрішньої розгортки) розширює вимірювальні можливості осцилографа, полегшуючи створення на його основі різних вимірювальних установок типу характеріографів.

Найпоширенішими є осцилографи зі смугою пропускання каналу Y у десятки МГц, які візуалізують сигнали тривалістю від десятків наносекунд до десятків секунд та амплітудою від одиниць мілівольтів до сотень вольтів. Такі осцилографи називаються універсальними.

Можливість одночасного спостереження кількох сигналів забезпечується застосуванням в осцилографі спеціальних дво- та багатопроменевих ЕПТ або електронних комутаторів у каналі Y.

### 3.3. Види розгорток

Найчастіше в практиці осцилографічних вимірювань користуються такими видами розгорток:

- при дослідженні неперервних періодичних сигналів - **лінійною неперервною**, коли промінь переміщується по екрану вздовж горизонтальної осі ЕПТ з постійною швидкістю. Для отримання лінійної неперервної розгортки

на горизонтальні відхиляючі пластини подають лінійно змінну (пилкоподібну) напругу;

- при дослідженні імпульсних періодичних сигналів з великою шпаруватістю неперервна розгортка створює зображення імпульсу, яке займає дуже малу частину екрану, що утруднює або не дозволяє розгледіти деталі зображення. Отримати зображення імпульсу майже на всю ширину екрану дозволяє застосування **лінійної очікувальної розгортки**, назва якої пояснюється тим, що під дією її напруги промінь ЕПТ, здійснивши один прямий та зворотний хід, очікує дозволу на новий цикл розгортки.

Для одержання стійкого (нерухомого) зображення імпульсів необхідно, щоб період напруги розгортки дорівнював періоду слідування імпульсів досліджуваної напруги.

- синусоїдальна розгортка застосовується при вимірюванні частоти та фазових зсувів сигналів і полягає в подаванні на обидві пари відхиляючих пластин напруги синусоїдальної форми.

### **3.4. Застосування осцилографів для вимірювання амплітудно-часових параметрів електричних сигналів**

#### **3.4.1. Вимірювання напруги**

За допомогою осцилографа напругу можна виміряти одним з двох методів:

- методом порівняння;
- методом каліброваної чутливості каналу вертикального відхилення (каналу Y).

Перший метод базується на лінійній залежності між напругою, поданою на вхід Y осцилографа, та отриманим відхиленням променя ЕПТ по вертикалі, і зводиться до виконання двох операцій:

- отримання зображення вимірюваної напруги  $U_x$  та вимірювання розміру  $l_x$  зображення по вертикалі;
- заміні вимірюваної напруги відомою (каліброваною) напругою та регулюванням її до отримання зображення з розміром по вертикалі  $l_k$ ,

при цьому

$$U_x = U_k \frac{l_x}{l_k} K_o,$$

де  $K_o$  - коефіцієнт ділення вхідного дільника.

Як джерело напруги відомої величини можна використати або зовнішній вимірювальний генератор, або спеціальне джерело напруги, розміщене в осцилографі – калібратор напруги.

Для вимірювання напруги методом каліброваної чутливості на вхід каналу Y подають калібровану змінну напругу  $U_k$  і ручкою “Підсилення” - (ручкою плавного регулювання коефіцієнта підсилення каналу Y)

встановлюють на екрані ЕПТ потрібної величини (розмаху) розмір  $l_k$  зображення. При цьому номінальна чутливість  $S$  визначається як

$$S = \frac{l_k}{U_k}.$$

Зрозуміло, що в подальшому ручку “Підсилення” обертати не можна, інакше чутливість зміниться і не буде номінальною.

Після калібрування на вхід  $Y$  осцилографа подають вимірювану напругу  $U_x$ , вимірюють розмір по вертикалі  $l_x$  і розраховують шукане значення напруги:

$$U_x = \frac{l_x}{S}.$$

В сучасних осцилографах при вимірюванні амплітуди сигналу та його часових параметрів застосовують метод безпосереднього відліку за шкалою на екрані приладу. При цьому методі перед вимірюванням попередньо калібрують шкалу осцилографа за чутливістю і тривалістю розгортки за допомогою вбудованого калібратора, а потім роблять відлік амплітуди й часових параметрів досліджуваного сигналу за шкалою. Тому іноді цей метод називають методом каліброваної чутливості. Ці виміри роблять за масштабною сіткою, нанесеною на прозорий екран, накладений на екран ЕПТ. Відстань  $H_k$  між крайніми горизонталями поділяються на сантиметри і рисками – на міліметри.

При вимірюванні за методом безпосереднього відліку можливе застосування лише одного калібратора, який використовується як для калібрування чутливості каналу вертикального відхилення (коефіцієнту відхилення), так і для калібрування тривалості розгортки (коефіцієнту розгортки). Тому на панелі такого осцилографа замість окремих назв «Калібратор амплітуд» та «Калібратор тривалості» стоїть лише одна назва «Калібратор».

Значення  $H_k$  для кожного типу осцилографа, а також указання щодо щодо калібрування номінального коефіцієнту відхилення, а також його коригування наведені в описі осцилографа.

Порядок вимірювання амплітуди досліджуваного сигналу:

- перед проведенням вимірюванням необхідно перевірити калібрування номінального коефіцієнта відхилення підсилювача каналу вертикального відхилення і виконати, в разі необхідності, балансування цього підсилювача;

Досліджуваний сигнал подається на вхід відкаліброваного підсилювача вертикального відхилення. За допомогою ручок регулювання положення зображення по вертикалі та горизонталі зображення сигналу суміщується з потрібними поділками шкали і вимірюється його розмах по вертикалі (в поділках шкали). Амплітуда сигналу буде рівною добутку вимірюваної величини зображення в поділках та цифрової відмітки чутливості, встановленої перемикачем вхідного дільника («Вольт/поділка»).

Для зменшення похибки за рахунок товщини лінії променя вимірювання проводяться або за нижніми, або за верхніми краями лінії зображення.

Внаслідок нестабільності коефіцієнта підсилення підсилювача вертикального відхилення, нелінійності його амплітудної характеристики, низької точності калібрування чутливості, скінченності розміру світлової плями на екрані, зміни чутливості ЕПТ точність вимірювання напруги осцилографом невелика: (5...10)%.

### 3.4.2. Вимірювання часових інтервалів

Вимірювання часових характеристик електричних сигналів можливе тими осцилографами, які мають калібровану за тривалістю розгортку або спеціальні пристрої – генератори міток.

Якщо розгортка калібрована і її параметр відхилення  $C_x$ , обернений до швидкості розгортки  $U_x$ , відомий, часове значення частини зображення, яка нас цікавить, визначається за формулою

$$\tau_t = C_x l_x,$$

де  $l_x$  - довжина вимірюваної частини зображення, см;  $n$

$C_x$  - параметр відхилення променя по горизонталі, мкс/см;

$\tau_t$  - тривалість вимірюваної частини зображення, мкс.

Якщо розгортка осцилографа не калібрована, для вимірювання часових характеристик сигналів застосовують метод калібраційних міток. Мітки на зображенні сигналу отримують подаванням змінної (звичайно синусоїдальної) напруги від генератора міток осцилографа на модулюючий (керувальний) електрод або катод ЕПТ.

Якщо напруга калібрування подана на модулюючий електрод, позитивні напівперіоди зумовлюють збільшення яскравості, а негативні напівперіоди гасять світіння екрану ЕПТ. Відстань між початками (або кінцями) яскравих рисочок відповідає за часом періоду напруги калібрування і називається міткою.

Якщо в зображенні частини сигналу, яка нас цікавить, вкладається  $n$  міток, то тривалість цієї частини сигналу дорівнює

$$\tau_n = nT_k,$$

де  $T_k$  - період напруги калібрування калібратора міток.

Абсолютна похибка вимірювання тривалості імпульсу методом калібраційних міток звичайно дорівнює  $\pm 0,5T_k$ .

## 3.5. Правила і порядок виконання лабораторної роботи №2

### 3.5.1. Обладнання, прилади і матеріали

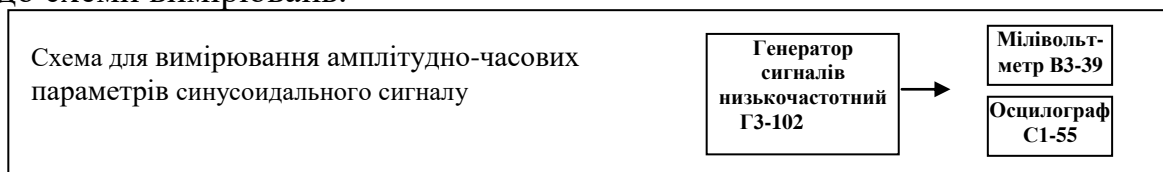
Для виконання Лабораторної роботи №2 використовуються наступні прилади, обладнання

- осцилограф С1-55;
- генератор сигналів низькочастотний (ГЗ-102, ГЗ-118 або аналогічний);
- генератор імпульсів (Г5-54 або аналогічний).

### 3.5.2. Порядок виконання лабораторної роботи №2

1. Ознайомитися з будовою, характеристиками та органами керування осцилографу С1-55, генератора сигналів низькочастотного, генератора імпульсів за технічними описаннями. Параметри ГЗ-102, С1-117 та ВЗ-57 наведені в Додатках А, Б та В.

2. Виміряти амплітуди та періоди синусоїдальних коливань відповідно до схеми вимірювань.



3. Включити прилади і після прогрівання встановити на генераторі сигналів низькочастотному (ГЗ-102, ГЗ-118) частоту  $F_1=50$  Гц і рівень сигналу, амплітуда якого  $U_M = 4$  В, користуючись мілівольтметром ефективних значень синусоїдальної напруги ВЗ-38.

4. Отримати на екрані осцилографу (за допомогою ручок ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ, а потім ВРЕМЯ/ДЕЛЕНИЕ і УРОВЕНЬ) стійке зображення декількох періодів синусоїди.

5. Виміряти (в поділках сітки екрана електронно-променевої трубки) величину амплітуди і періоду сигналу. Результати занести у табл. 1.

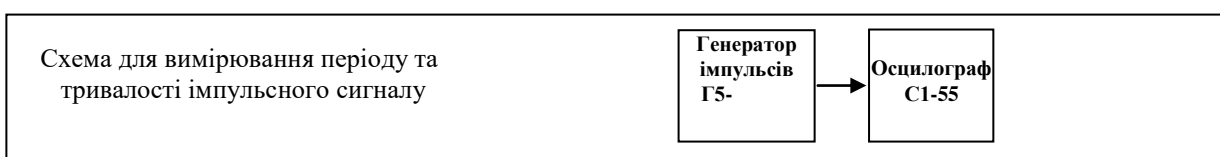
6. Виконати вимірювання для частот  $F_2 \dots F_5$ , результати їх також занести у табл.1.

7. Обчислити абсолютні похибки вимірювання амплітуди  $\Delta U_m$  та періоду  $\Delta T$  для кожного значення частоти сигналу. Результати занести у табл. 3.1.

Табл. 3.1. Таблиця результатів по вимірюванню амплітуди та періоду сигналів

Сигнал генератора			Покази осцилографа							
			Амплітуда сигналу				Період сигналу			
Частота $F$ , Гц	Діюче значення $U_{\text{эф}}$ , В	Амплітуда $U_m$ , В	Кількість поділок	Ціна поділки, В/деление	Амплітуда $U_m$ , В	Похибка $\Delta U_m$ , В	Кількість поділок	Ціна поділки, время/дел ение	Період $T$ , (мкс, мс)	Похибка $\Delta T$ , (мкс, мс)
$F_1$	50	4								
$F_2$	100	0,5								
$F_3$	500	1								
$F_4$	1000	3								
$F_5$	3000	2								

### 3.5.3. Вимірювання періоду та тривалості імпульсних сигналів



1. Включити прилади і після прогрівання встановити на генераторі імпульсів (Г5-54) частоту  $F_1 = 1$  кГц, тривалість імпульсу  $\tau_1 = 300$  мкс, полярність – позитивну.

2. Отримати на екрані осцилографа (за допомогою ручок ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ, а потім ВРЕМЯ/ДЕЛЕНИЕ і УРОВЕНЬ) стійке зображення декількох періодів сигналу.

3. Виміряти (в поділках сітки екрана електронно-променевої трубки) величину періоду і тривалості імпульсного сигналу. Результати занести у табл. 2.

4. Виконати вимірювання для частоти  $F_2 \dots F_5$ , тривалості імпульсів  $\tau_2 \dots \tau_5$  позитивної полярності, результати також записати у табл. 2.

5. Обчислити абсолютні похибки вимірювання періоду  $\Delta T$  та тривалості імпульсу  $\Delta \tau$  для кожного значення частоти сигналу. Результати занести у табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Таблиця результатів по вимірюванню тривалості та періоду сигналів

Сигнал генератора				Покази осцилографа							
				Період сигналу				Тривалість імпульсу			
Частота $F$ , кГц		Тривалість $\tau$ , мкс		Кількість поділок	Ціна поділки, время/деление	Період $T$ , мкс	Похибка $\Delta T$ , мкс	Кількість поділок	Ціна поділки, время/деление	тривалість $\tau$ , (мкс, мс)	Похибка $\Delta \tau$ , мкс
$F_1$	1	$\tau_1$	300								
$F_2$	5	$\tau_4$	100								
$F_3$	15	$\tau_3$	30								
$F_4$	50	$\tau_2$	10								
$F_5$	150	$\tau_1$	3								

Приклад звіту по лабораторній роботі 2 наведений в Додатку Г

### 3.6. Перелік контрольних запитань для підготовки

Для кращої підготовки до виконання і здачі лабораторної роботи бажано визначитись з відповідями на запитання:

- що таке осцилограма?
- що таке синхронізація?
- з яких основних блоків складається осцилограф?
- як на екрані ЕПТ формується зображення досліджуваного сигналу?
- які органи керування пов'язані з характеристиками зображення на екрані осцилографа?
- як працює канал вертикального відхилення сигналу?
- які органи керування пов'язані з каналом вертикального відхилення?
- як здійснюється розгортка зображення в осцилографі?
- які органи керування служать для синхронізації зображення?
- які види розгортки застосовують в осцилографах?
- які осцилографи називають універсальними?

- як виміряти осцилографом постійну напругу?
- як виміряти осцилографом параметри синусоїдального сигналу?
- як виміряти осцилографом амплітуду та тривалість прямокутного імпульсу?
- як виміряти осцилографом амплітуду та період синусоїдального сигналу з постійною складовою?
- чим визначається точність вимірювання осцилографом амплітудно-часових характеристик електричних сигналів?

### **Використана література**

1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В. И. Нефедов, В. И. Хахин, Е. В. Федорова и др.; Под ред. В. И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001. – 383 с.: ил.
2. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: Навч. посібник / За ред. Ю. Л. Мазора, Є. А. Мачуського, В. І. Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 836 с.: іл.
3. Блюдин Е. К., Боднар З. М., Кравченко К. В. И др. Портативные осциллографы. – М.: Сов. радио, 1978. – 264 с.
4. Чех И. Осциллографы в измерительной технике: Конструкция и применение современного электронно-лучевого осциллографа. Пер с нем. М.: Энергия, 1965. – 783 с.

## 4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ТА КУТА ЗСУВУ ФАЗ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛОГРАФА

**Мета роботи:** вивчення будови та правил користування електронно-променевим осцилографом, набуття навичок вимірювання за допомогою осцилографів частоти сигналів, зсуву фаз.

### 4.1. Вимірювання частоти

Осцилографічні методи вимірювання частоти синусоїдальних та імпульсних сигналів поширені в інженерній практиці завдяки простоті та досить високій точності.

Вимірювання полягає в порівнянні частоти досліджуваного сигналу з частотою сигналу зразкового генератора; осцилограф при цьому використовується як індикатор рівності або кратності цих частот.

Є два способи таких вимірювань. Вони відрізняються видом осцилограм і способом відліку результату вимірювання частоти досліджуваного сигналу.

В першому способі використовується синусоїдальна розгортка - частота вимірюється за фігурами Лісажу (рис. 4.1, 4.2).

Другий спосіб – застосування кругової розгортки з модуляцією яскравості променя або подвійної кругової розгортки за інтерференційними фігурами.

Похибка вимірювань визначається точністю градування джерела сигналу зразкової частоти та стабільності частот, які порівнюються, і здебільшого становить  $\pm 0,25$  Гц.

#### 4.1.1. Синусоїдальна розгортка

Для визначення невідомої частоти способом синусоїдальної розгортки напруга зразкової частоти  $f_0$  подається на вхід  $X$  підсилювача горизонтальної розгортки, а напруга невідомої частоти  $f_x$  - на вхід  $Y$  підсилювача вертикального відхилення. Внутрішній генератор розгортки осцилографа виключається. Зміною зразкової частоти отримують фігуру Лісажу – нерухому або таку, що повільно обертається. Вид фігури залежить від числових і фазових співвідношень частот (рис. 4.3). Для визначення відношення порівнюваних частот через отриману фігуру подумки проводять дві взаємно перпендикулярних осі – вертикальну й горизонтальну, які не проходять через вузли фігури, і підраховують число перетинів кожної лінії з фігурою. Відношення числа перетинів горизонтальної лінії  $n_z$  і вертикальної  $n_g$  з фігурою дорівнює відношенню періодів сигналів, поданих на відхиляючі пластини ЕПТ:

$$n_z / n_g = T_0 / T_x$$

або відношенню частот цих сигналів

$$n_z / n_e = f_x / f_0,$$

звідки

$$f_x = (n_z / n_e) f_0.$$

Синусоїдальну розгортку не рекомендується застосовувати за кратності частот, більшій 10, через труднощі підрахунку точок перетину.

#### 4.1.2. Кругова розгортка

Цей спосіб застосовують при вимірюванні частоти сигналів звукового діапазону та при великому (до 20) співвідношенні порівнюваних частот.

При вимірюванні (рис. 4.4) зразковий генератор синусоїдальної напруги підключається до розщиплювача фаз, який створює два гармонічних сигнали з фазовим зсувом  $90^\circ$ . Ці сигнали подаються на входи каналів вертикального та горизонтального відхилення осцилографа й використовуються для отримання кругової розгортки. Час, за який розгортаючий промінь ЕПТ здійснить один оберт, дорівнює періоду зразкової частоти. Напруга невідомої частоти подається на модулюючий електрод ЕПТ (вхід  $Z$ ).

За умови рівності частот  $f_0$  і  $f_x$  на екрані можна спостерігати лише половину кола. Якщо частота  $f_x$  більша від частоти  $f_0$  в ціле число разів  $n$ , на колі з'являться  $n$  світлих і темних ділянок («пунктирне» коло), тобто число  $n$  визначає кратність вимірюваної частоти відносно зразкової частоти:  $n = f_x / f_0$ , звідки  $f_x = n f_0$ .

Зрозуміло, що «пунктирне» коло буде нерухомим лише у випадку кратності зразкової та вимірюваної частот. Коли ж частоти не кратні, «пунктирне» коло буде обертатися, і виконати вимірювання буде неможливо.

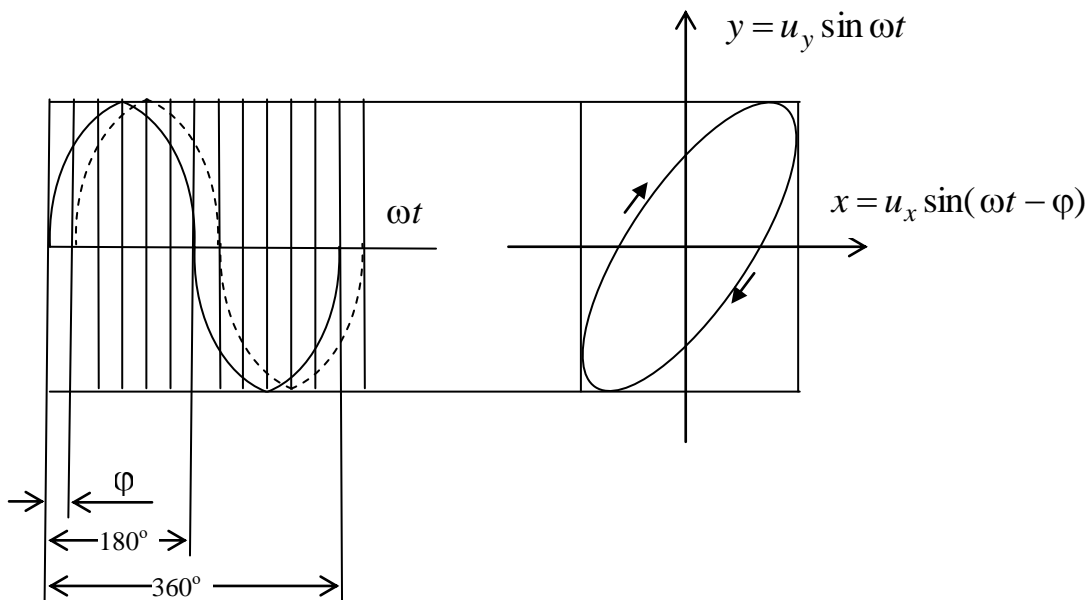


Рис.4. 1. Побудова фігури Лісажу при рівних частотах і зсуві фаз  $\varphi$  між синусоїдальними сигналами, які подані на канали вертикального та горизонтального відхилення

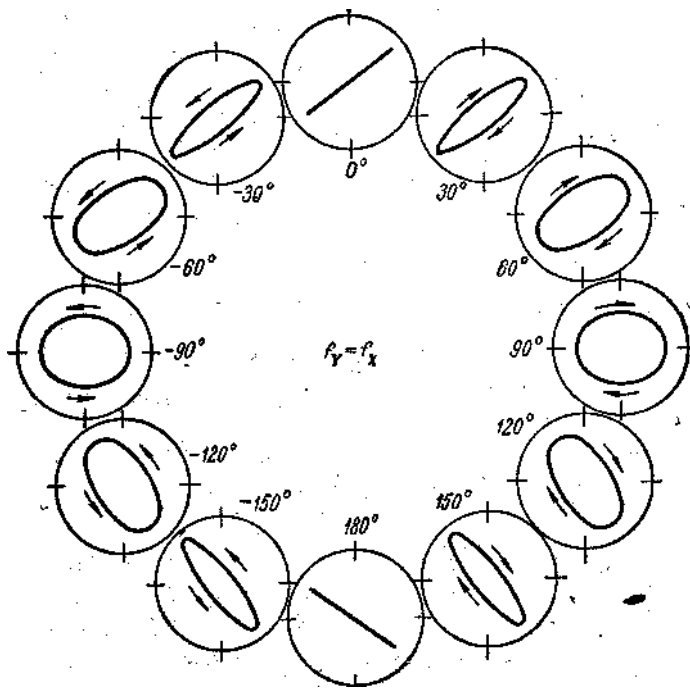


Рис. 4.2. Зображення на екрані осцилографа при рівних частотах і різних кутах  $\varphi$  зсуву фаз між синусоїдальними сигналами, які подані на канали вертикального та горизонтального відхилення

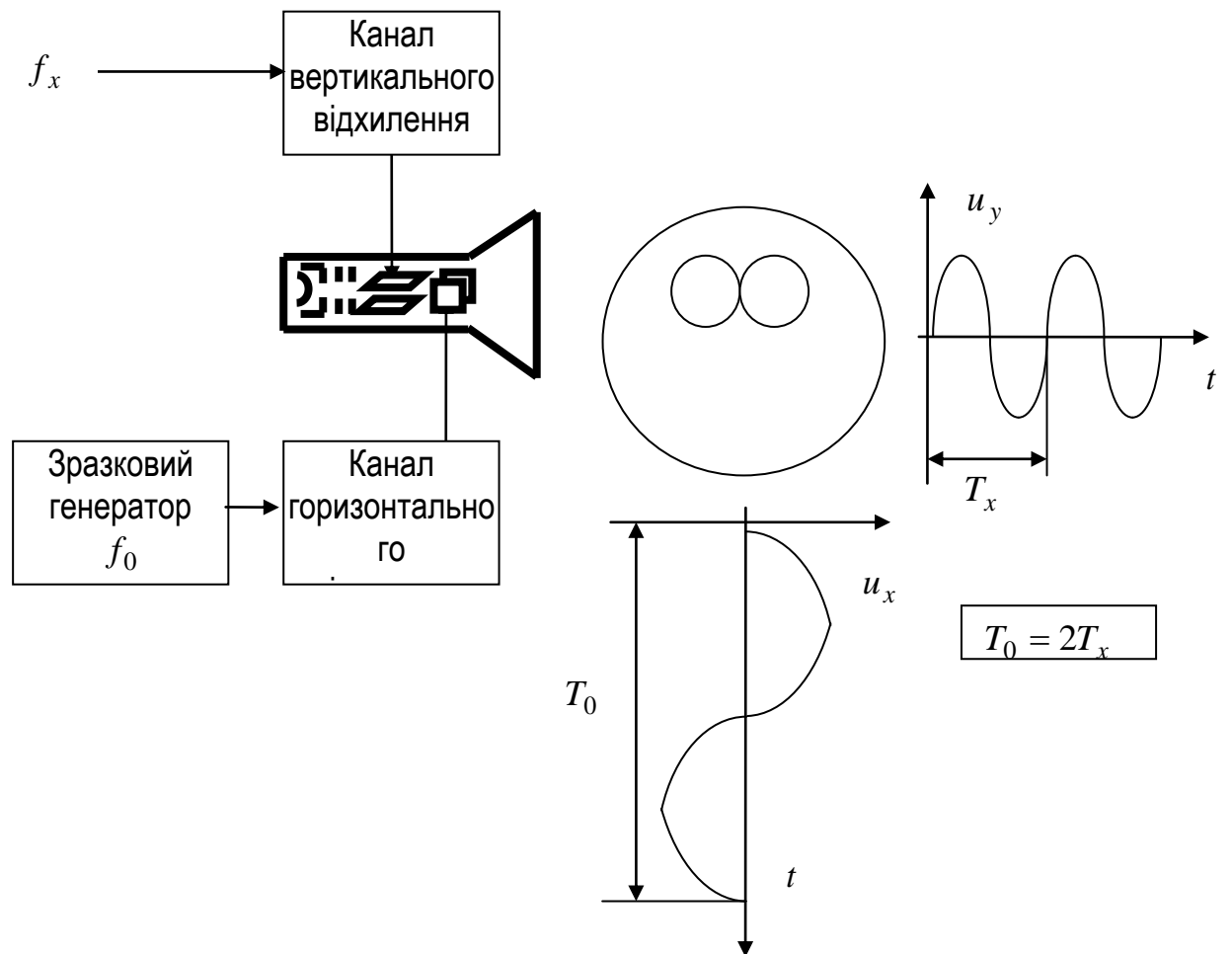


Рис 4.3. Визначення невідомої частоти способом синусоїдальної розгортки

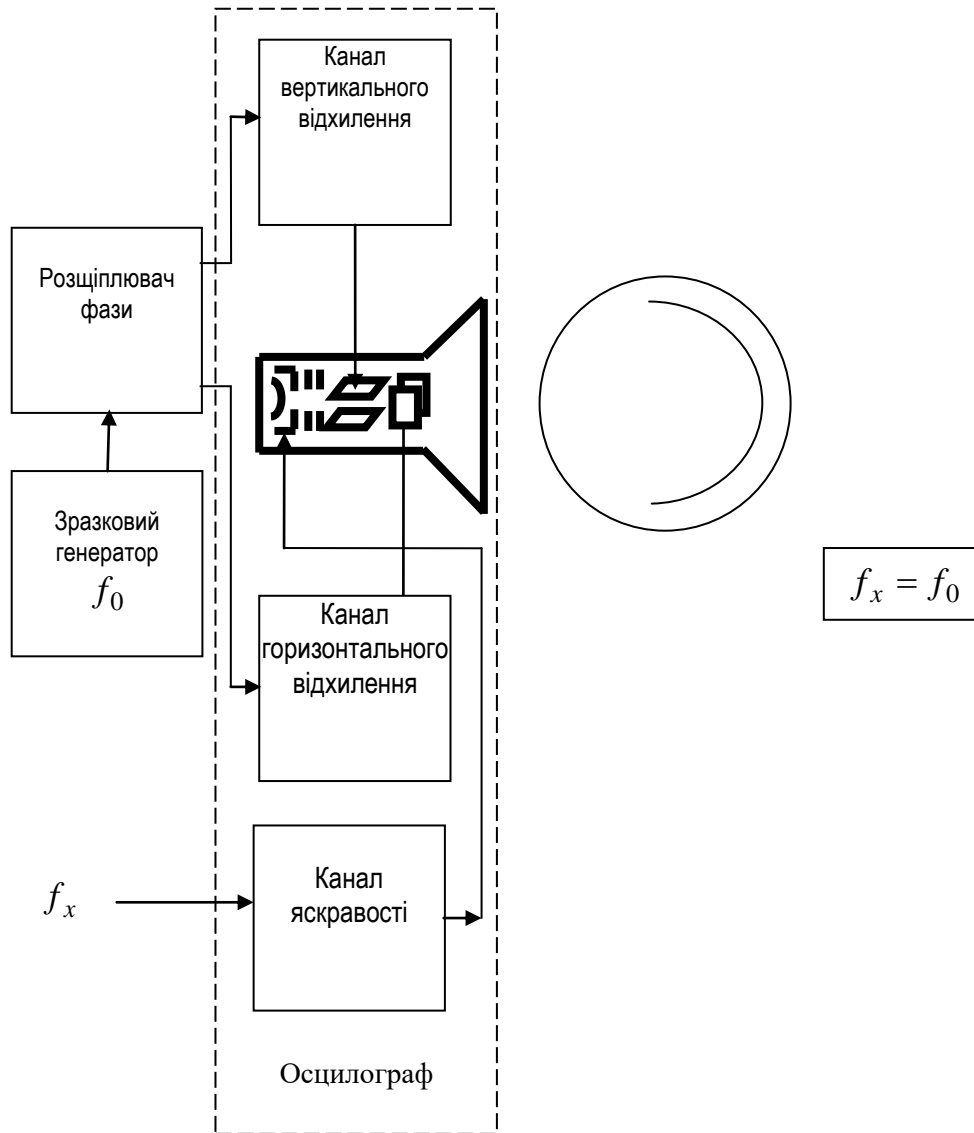


Рис. 4.4. Визначення невідомої частоти способом кругової розгортки

## 4.2. Вимірювання кута зсуву фаз

Вимірювання фазового зсуву між двома сигналами однієї частоти за допомогою осцилографа є досить простим.

Найбільш поширені два способи: за осцилограмами (лінійна розгортка) і за фігурами Лісажу (синусоїдальна розгортка).

Синусоїдальні напруги однієї частоти подають на входи каналів вертикального відхилення, вимірюють лінійні розміри осцилограм  $L$  та  $l$ , які відповідають періоду  $T$  і часовому зсуву  $\Delta T$ , і розраховують зсув фаз  $\varphi$  за очевидною формулою

$$\varphi = 360^\circ (\Delta T / T).$$

### 4.2.1. Лінійна розгортка

При вимірюванні цим способом (рис. 4.5) потрібен двопроменевий осцилограф.

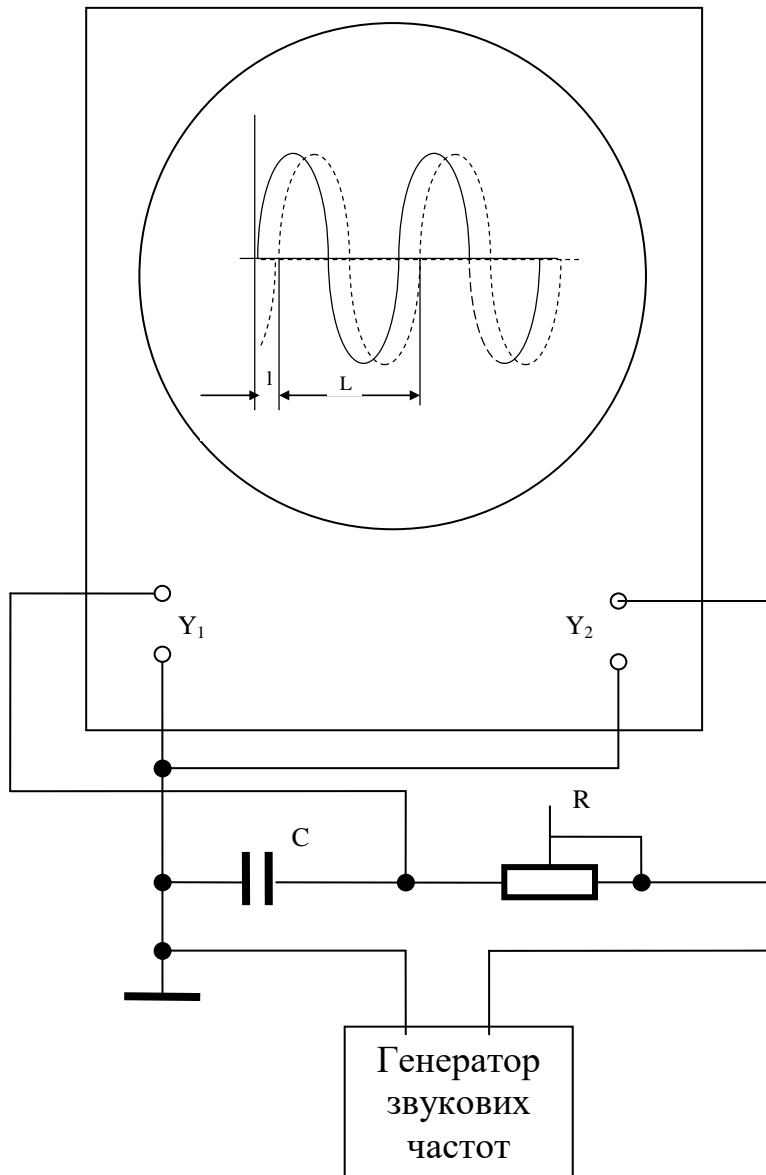


Рис. 4. 5. Визначення різниці фаз за допомогою двопроменевого осцилографа

### 4.2.2. Синусоїдальна розгортка

Один з сигналів подається на вхід  $Y$ , а другий – на вхід  $X$  осцилографа (рис. 4.6), в результаті чого на його екрані спостерігається фігура Лісажу у вигляді еліпса

$$y = (B/A)[x \cos \varphi \pm \sqrt{A^2 - x^2} \sin \varphi]$$

Оскільки параметри еліпса залежать від кута зсуву фаз між сигналами, то за цими параметрами можна визначити кут зсуву.

Якщо в рівнянні еліпса  $x = 0$ , то  $y_0 = B \sin \varphi$ . Аналогічно при  $y = 0$  отримаємо  $x_0 = A \sin \varphi$ , і тоді

$$\sin \varphi = \pm(y_0 / B) = \pm(x_0 / A).$$

Якщо виміряти на екрані розміри  $x_0$ ,  $A$  або  $y_0$ ,  $B$  еліпса кут зсуву фаз знаходять за формулою

$$\varphi = \pm \arcsin(x_0 / A) = \pm \arcsin(y_0 / B).$$

Цей спосіб вимірювання зсуву фаз в діапазоні  $(0 \dots 180)^\circ$  не дозволяє визначити знак кута зсуву.

### **4.3. Правила і порядок виконання лабораторної роботи №3**

#### **4.3.1. Обладнання і зміст работ**

Для виконання лабораторної роботи №3 використовуються наступні прилади, обладнання

- осциллограф;
- генератори сигналів низькочастотні;
- розщиплювач фаз.

Відповідно до наведених в п.п.4.1,4.2 правил виконати:

- виміряти невідому частоту за допомогою осцилографа;
- використовуючи частоту мережі 50 Гц як зразкову, за фігурами Лісажу виміряти частоту сигналу генератора при співвідношенні частот 1:2, 1:1, 2:1 і зарисувати осцилограми;
- виміряти частоту генератора способом кругової розгортки (зразкову частоту взяти від другого генератора), зарисувати осцилограми;
- за допомогою двопробеневого осцилографа виміряти кут зсуву фаз між двома сигналами, знятими з пристрою розщеплення фаз, та зарисувати осцилограми;
- визначити кут зсуву фаз між двома сигналами способом синусоїдальної розгортки, зарисувати осцилограми .

#### **4.3.2. Зміст звіту**

Звіт по лабораторній роботі повинен містити наступні данні:

- титульний лист з указанням найменування роботи;
- дата, час, місце та умови (температура, атмосферний тиск, вологість), за яких виконувалась робота;
- назва, тип використаних вимірювальних приладів;
- методики проведення вимірювань та визначення похибки результату вимірювань;
- результати вимірювань, осцилограми сигналів та виконання домашнього завдання - побудувати графічно фігури Лісажу при співвідношенні частот 1:2, 1:1, 2:1.
- висновки (аналіз отриманих результатів).

Приклад звіту для лабораторної роботи 3 наведений в Додатку Ж

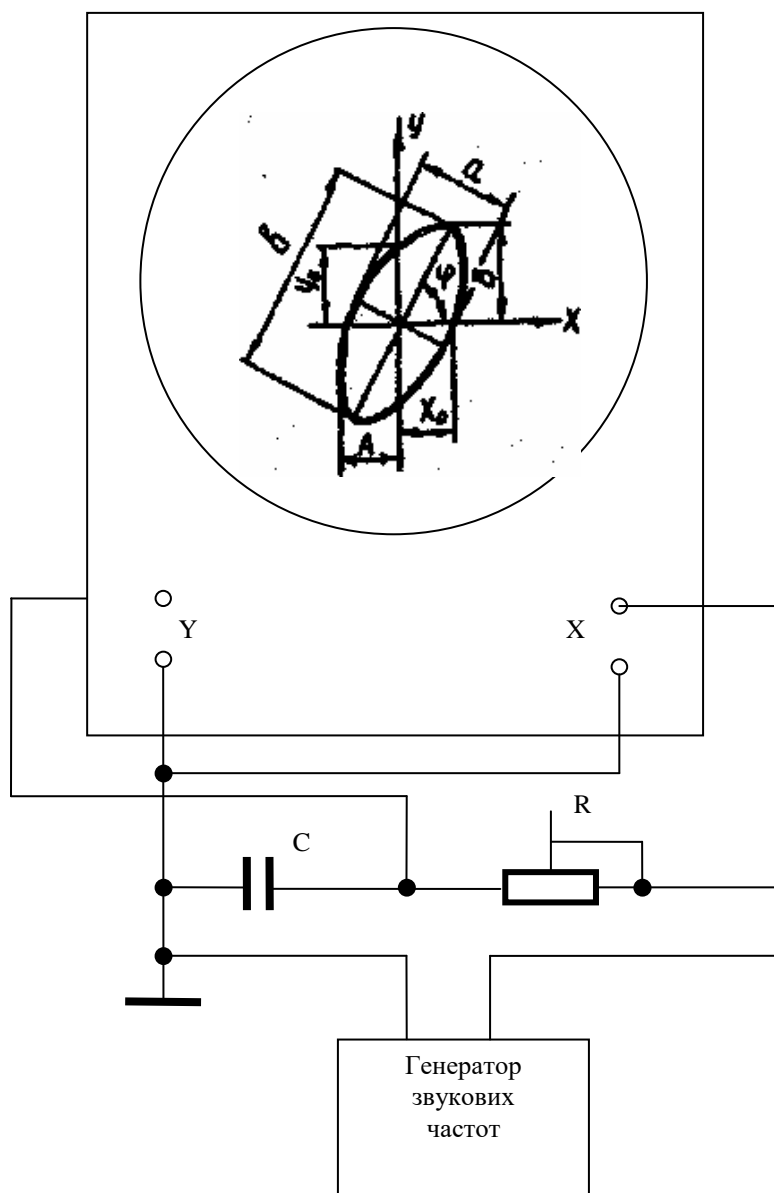


Рис. 4. 6. Визначення різниці фаз за допомогою синусоїдальної розгортки

#### 4.4. Перелік контрольних запитань для підготовки

Для кращої підготовки до виконання і здачі лабораторної роботи бажано визначитись з відповідями на запитання:

- що таке фаза сигналу?
- що таке кут зсуву фази між двома сигналами?
- в чому полягає ідея вимірювання частоти сигналу за допомогою осцилографа?
- які способи вимірювання частоти сигналу за допомогою осцилографа Ви знаєте?
- як виміряти частоту сигналу, використовуючи синусоїдальну розгортку?
- що таке фігури Лісажу і як вони утворюються?

- як виміряти частоту сигналу, використовуючи кругову розгортку?
- які способи вимірювання зсуву фаз за допомогою осцилографа Ви знаєте?
- як виміряти зсув фаз між сигналами, використовуючи лінійну розгортку?
- як виміряти зсув фаз між сигналами, використовуючи синусоїдальну розгортку?

### **Використана література**

1. Новопольский В.А. Работа с электронно-лучевым осциллографом: Практический курс. «Массовая радиобиблиотека». Выпуск 1231. М.: «Радио и связь», «Горячая линия - Телеком», 1999.
2. Нефедов В.И. и др. Метрология и радиоизмерения. Высшая школа, 2006. – 519с. 78 Мб, DJVU

## 5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ АНАЛІЗАТОРІВ СПЕКТРУ

**Мета роботи:** вивчення будови та правил користування аналізатором спектру, набуття навичок вимірювання дискретних спектрів складних електричних коливань і спостереження спектрів стаціонарних шумів.

### 5.1. Основні відомості

Сигнали можна представляти в двох областях: часовій та частотній.

Як доводиться в теорії сигналів, між двома представленнями є повна відповідність: даній функції в часовій області завжди відповідає єдина функція в частотній області.

Вибір форми представлення сигналу визначається характером і умовами задачі, яку треба розв'язати.

Доцільність представлення сигналів у частотній області пояснюється залежністю від частоти значення та певних параметрів сигналів.

Представлення в частотній області називають спектральним представленням, а характеристики, які описують властивості сигналу при частотному представленні – спектральними. Найбільш повними характеристиками є частотні спектри амплітуд, фаз, потужностей.

Експериментальний, або апаратурний спектральний аналіз здійснюється за допомогою спеціальних приладів – аналізаторів спектру. Сучасні аналізатори, як правило, дозволяють досліджувати спектри як детермінованих, так і випадкових сигналів.

Періодичний електричний сигнал будь-якої складної форми можна представити сумою гармонічних складових, амплітуди, частоти і початкові фази яких визначаються за допомогою прямого перетворення Фур'є.

Амплітудний спектр періодичного електричного сигналу можна зобразити графічно, відкладаючи по осі абсцис значення частоти, а по осі ординат – величини амплітуд гармонік.

Для спектрального аналізу неперіодичних сигналів  $u(t)$  використовують пряме інтегральне перетворення Фур'є:

$$S(j\omega) = \dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-j\omega t} dt.$$

Аналізатори спектру електричних сигналів класифікують за наступними ознаками:

- за способом аналізу – послідовні, паралельні та змішані;
- за типом індикаторного пристрою – осцилографічні та з самописцем;
- за діапазоном частот – низькочастотні, високочастотні, надвисокочастотні, широкодіапазонні.

Основними метрологічними характеристиками аналізаторів є:

- роздільна здатність;
- час аналізу;

- похибка вимірювання частоти та амплітуди.

Метрологічні характеристики аналізатора визначаються його схемою.

Однак є спільна для всіх аналізаторів обставина, яка обмежує точність аналізу спектру: теоретично пряме перетворення Фур'є має виконуватися в часовому діапазоні від  $-\infty$  до  $+\infty$ , тоді як реальний аналіз виконується протягом обмеженого часу  $T_a$ . Іншими словами, поточна спектральна густина залежить від часу аналізу:

$$S(j\omega, T_a) = \dot{S}(\omega, T_a) = \int_0^{T_a} u(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Відмінність поточного спектру від спектру процесу, який закінчився, залежить від того, чи проявилися за час аналізу (спостереження)  $T_a$  всі характерні особливості сигналу. Якщо досліджуваний аналізатором сигнал періодичний з періодом слідування  $T$ , то необхідно, щоб  $T_a > T$ .

## 5.2. Будова та принципи роботи аналізатора спектру

Практично у всіх аналізаторів аналогового типу гармонічні складові сигналу виділяються вузькосмуговими фільтрами. Цей метод реалізується способами паралельного (одночасного) або послідовного аналізу сигналу.

### 5.2.1. Паралельний аналіз спектру

При паралельному аналізі спектрів сигналів застосовують набір фільтрів (резонансних пристроїв)  $\Phi$ , настроєних на різні частоти (рис.1).

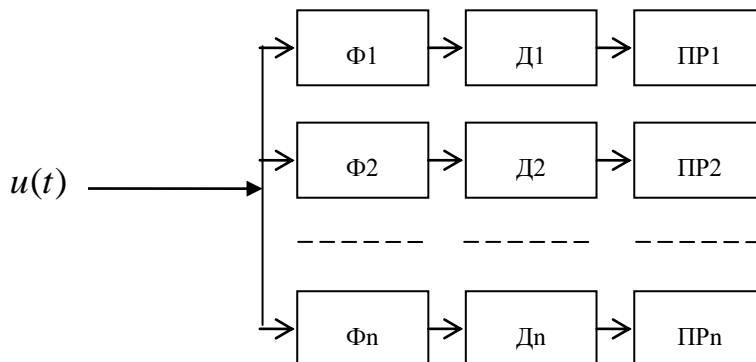


Рис. 5.1. Спрощена структурна схема аналізатора спектру паралельного типу

Досліджуваний сигнал  $u(t)$  подається одночасно на всі фільтри. Напруги на виході фільтрів визначаються складовими спектру

досліджуваного процесу. Спектральні складові після детектування в детекторах ( $D$ ) надходять на пристрій реєстрації ( $PP$ ).

Похибки паралельного аналізу визначають такі чинники:

- скінченність і залежність часу встановлення коливань на виході фільтру від його смуги пропускання;
- відмінність характеристик фільтрів, настроєних на різні частоти.

Аналізатори паралельного типу використовують в основному для аналізу спектрів поодиноких імпульсних сигналів.

Для виділення спектральних складових сигналу в діапазоні частот  $\Delta f_n$  необхідно  $n$  фільтрів зі смугою пропускання кожного  $\Delta f_\phi = \frac{\Delta f_n}{n}$ . Смуга пропускання фільтру визначає статичну роздільну здатність аналізатора (за умови  $T_a > \infty$ , тобто.  $T_a$  великий).

Роздільна здатність аналізатора – це його здатність розрізняти гармонічні складові спектру з близькими частотами. Чим вужча смуга пропускання фільтру, тим вища роздільна здатність. За широкої смуги пропускання декілька гармонічних складових не розділятимуться.

Якщо оцінювати роздільну здатність смугою частот  $\Delta f_p$ , за якої можливе розділення найближчих гармонічних складових, то за ідеальної прямокутної частотної характеристики фільтра можна прийняти  $\Delta f_p = \Delta f_\phi$ . Для реальних фільтрів  $\Delta f_p = 2\Delta f_\phi$ . Якщо час аналізу замалий, то має місце динамічна роздільна здатність.

Час аналізу, необхідний для правильного відтворення спектру, можна оцінити наступним чином.

Час аналізу при паралельному дослідженні можна прийняти приблизно рівним  $\tau_y$  - часові устанавлення напруги на виході фільтра з прямокутною частотною характеристикою і робочою смугою  $\Delta f_\phi$  (від рівня 0,1 до рівня 0,9 від усталеного значення). Відомо, що час устанавлення  $\tau_y = 0,86 / \Delta f_\phi$ , отже,  $T_a = \tau_y = 1 / \Delta \tau_\phi$ .

Швидкість паралельного аналізу

$$v = \frac{\Delta f_n}{T_a} = \frac{n\Delta f_\phi}{1/\Delta f_\phi} = n\Delta f_\phi^2.$$

Швидкість паралельного аналізу різко знижується при звуженні смуги пропускання фільтра. До переваг аналізаторів паралельної дії слід віднести малий час аналізу та можливість реєстрації спектрів поодиноких імпульсів. Однак через складність системи фільтрів аналізатори паралельного типу не набули широкого поширення.

### 5.2.2. Послідовний аналіз спектру

Для дослідження спектрів періодичних сигналів частіше застосовують послідовний аналіз. На рис.5.2 показана спрощена структурна схема аналізатора послідовного типу, а на рис. 5.3 – часові діаграми, які пояснюють принцип його дії.

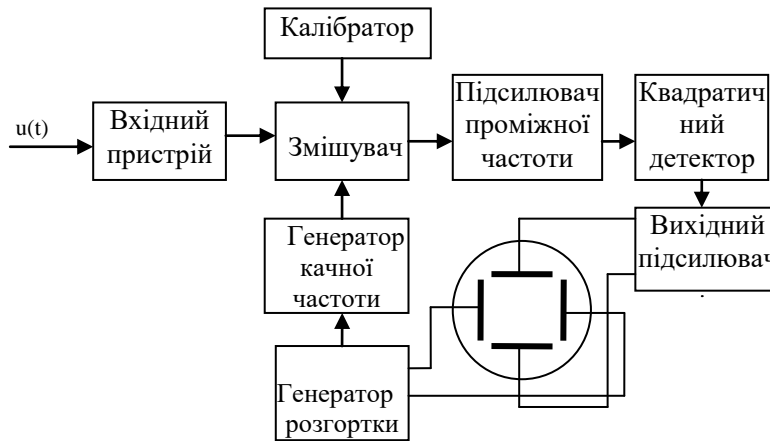


Рис. 5.2. Спрощена структурна схема аналізатора спектра послідовного типу

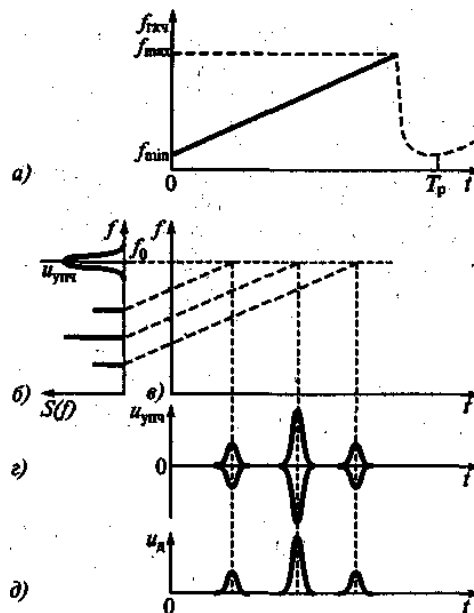


Рис. 5.3. Діаграми напруг в аналізаторі спектра послідовного типу:

- а - зміна частоти ГКЧ;
- б - досліджуваний спектр і АЧХ ППЧ;
- в - лінійна зміна частоти в часі;
- г - сигнал на виході ППЧ;
- д - сигнал на виході детектора

Аналізатор спектру періодичних електричних сигналів послідовного типу складається з вхідного пристрою, супергетеродинного приймача, до

якого входять змішувач, генератор качної (що перестроюється) частоти ГКЧ (застаріла назва – свіп-генератор) і вузькосмуговий підсилювач проміжної частоти (ППЧ), калібратор (виробляє частотні мітки), квадратичний детектор, вихідний підсилювач і пристрій індикації (звичайно електронно-променева трубка або цифрове табло).

Супергетеродинний приймач призначений для послідовного в часі виділення аналізованих гармонічних складових спектру вхідного сигналу. Настроювання цього приймача на різні частоти здійснюють за допомогою сигналу, який надходить з виходу генератора качної частоти, який, у свою чергу, запускається від генератора розгортки.

Пристрій індикації аналізатора призначений для спостереження досліджуваного процесу і фактично діє як електронний осцилограф. Він містить електронно-променеву трубку з пристроями керування променем, підсилювачі горизонтального та вертикального відхилення, генератор напруги розгортки.

Розглянемо процеси, які протікають в аналізаторі спектру (рис.5.3). Вхідний сигнал подається на змішувач через вхідний пристрій. На другий вхід змішувача подається сигнал від генератора качної частоти.

На рис. 5.3а,б показані відповідно зміна в часі частоти ГКЧ (його частота  $f_{ГКЧ}$  змінюється від значення  $f_{\min}$  до значення  $f_{\max}$  в такт зі зміною напруги генератора розгортки), форма амплітудно-частотної характеристики ППЧ  $u_{ППЧ}$  і діаграма спектру  $S(f)$  досліджуваного сигналу (на діаграмі він представлений трьома гармонічними складовими, які відображають одно тональне амплітудно-модульоване колювання).

Внаслідок дії на змішувач досліджуваного сигналу і напруги ГКЧ складові спектру  $S(f)$  перетворюються в діапазон проміжних частот  $S(f_{np})$ . При цьому зберігається форма спектру сигналу. З лінійною зміною частоти ГКЧ частоти складових перетвореного спектру також лінійно змінюються в часі і послідовно потрапляють в смугу пропускання ППЧ (рис 5.3в). Напряга на виході ППЧ має вид радіоімпульсів (рис.5.3г), амплітуди яких за постійної напруги ГКЧ пропорційні амплітудам складових досліджуваного спектру.

З виходу ППЧ радіоімпульси надходять на амплітудний детектор. На виході детектора виникають відео імпульси  $u_{\delta}$  (рис.5.3д), які надходять через вихідний підсилювач на пластини вертикального відхилення ЕПТ. На пластини горизонтального підсилення подається пилкоподібна напруга генератора розгортки, внаслідок чого на екрані з'являються відеоімпульси, які зображують спектр досліджуваного сигналу. Цей сигнал відображується на екрані ЕПТ на протязі одного періоду розгортки  $T_p = T_a$ .

Діаграми на рис.5.3 побудовані за умови, що різниця частот сусідніх складових спектра набагато більша смуги пропускання ППЧ, при цьому можлива порівняно мала статична роздільна здатність (тобто великий інтервал частот  $\Delta f_p$ ). На практиці допускається деяке перекриття зображень гармонік сигналів (рис.5.4).

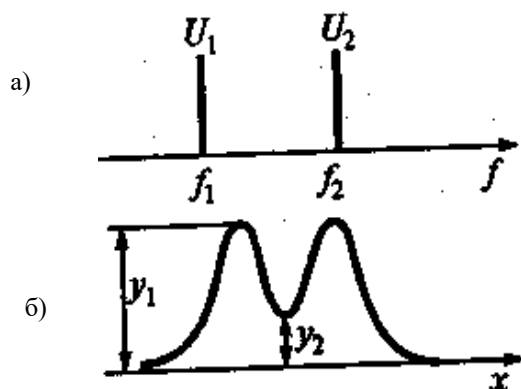


Рис.5. 4. Діаграми до визначення роздільної здатності аналізатора спектру:

- а) – спектр сигналу;
- б) – епюри спектрів на екрані ЕПТ

Статична роздільна здатність аналізатора спектру послідовного типу визначається за формулою

$$\Delta f_p = \sqrt{3} \Delta f_{\text{ПТЧ}} .$$

Параметри спектру вимірюють допоміжними пристроями. Положення на осі частот окремих спектральних складових і характерних ділянок спектру визначають частотними мітками. Найпростіше одна частотна мітка створюється подаванням на вхід аналізатора спектра разом з досліджуваним сигналом напруги від вимірювального генератора синусоїдальних коливань. В цьому випадку на екрані аналізатора з'являється частотна мітка – риска, яка відповідає частоті сигналу генератора, зміною частоти якого досягають співпадіння мітки з точкою спектру, яку визначають. Частоту потім знаходять за шкалою генератора.

Щоб утворити набір міток, відстань між якими однакова, в аналізаторах спектру застосовують спеціальні генератори (наприклад, генератори частотно-модульованого сигналу). Відомо, що спектр частотно-модульованого сигналу складається з ряду гармонічних складових, віддалених одна від одної на величину частоти модуляції. Передбачають можливість змінювати середню частоту коливань  $f_{cp}$  і частоту модуляції  $F_m$ . При зміні частоти модуляції змінюється інтервал між мітками, при зміні середньої частоти коливань усі мітки зміщуються по осі частот. Напруга з генератора частотно-модульованих коливань разом з досліджуваним сигналом подають на вхід аналізатора спектру. На екрані ЕПТ спостерігається картина накладання двох спектрів. Змінюючи параметри напруги калібрування (середню частоту і частоту модуляції), суміщують мітки з характерними точками досліджуваного спектру.

Динамічна роздільна здатність аналізатора спектру залежить від швидкості зміни (перестроювання) частоти ГКЧ. При збільшенні швидкості

перестроювання напруга на виході ППЧ не встигає змінюватися зв зміною напруги на вході, оскільки енергія, накопичена в вибірковій системі (наприклад, в коливальному контурі), не може змінитися миттєво. Це явище спостерігається, коли тривалість перехідного процесу в ППЧ сумірна з часом зміни частоти коливань на вході в межах його смуги пропускання. Динамічні спотворення зображення спектру обмежують допустиму швидкість зміни частоти ГКЧ. Звідси час аналізу визначається нерівністю:

$$T_a > \frac{\Delta f_{ГКЧ}}{A \Delta f_{ППЧ}^2},$$

де  $\Delta f_{ГКЧ} \approx f_{\max} - f_{\min}$ ; А – коефіцієнт, який визначається схемою ППЧ і допустимими динамічними похибками.

Використовуючи формулу  $\Delta f_p = \sqrt{3} \Delta f_{ППЧ}$  для інтервалу частот, який визначає статичну роздільну здатність  $\Delta f_p$ , отримуємо значення часу аналізу

$$T_a > 3 \frac{\Delta f_{ГКЧ}}{A \Delta f_p^2}.$$

Звідси виходить, що час аналізу обернено пропорційний квадрату роздільної здатності. Чим вища роздільна здатність (менше  $\Delta f_p$ ), тим більшим повинен бути час аналізу. Для підвищення роздільної здатності (зменшення  $\Delta f_p$ ) застосовують схеми з подвійним або потрійним перетворенням частоти, які ми розглядати не будемо.

На даний час серійні аналізатори можуть забезпечити роботу в діапазоні частот від 10 Гц до 40 ГГц зі смугою пропускання 0,001...3000 кГц з роздільною здатністю 1 кГц. Похибка вимірювання рівнів напруги сягає 5%.

### **5.3. Правила і порядок виконання лабораторної роботи №4**

#### **5.3.1. Обладнання і зміст работ**

Для виконання лабораторної роботи №4 використовуються наступні прилади, обладнання;

- аналізатор спектру;
- генератор сигналів низькочастотний;
- мультівібратор;
- генератор шуму.

Відповідно до наведених в п.п.5.1,5.2 правил та порядку виконання вимірювань виконати наступні дії:

- за технічним описом ознайомитися з будовою, характеристиками та органами керування аналізатора спектру;
- дослідити спектр синусоїдального сигналу генератора сигналів, зарисувати осцилограму;

- дослідити спектр прямокутного імпульсу від мультівібратора, зарисувати осцилограми;
- дослідити спектр сигналу генератора шуму, зарисувати осцилограму.

### 5.3.2. Зміст звіту

Звіт по лабораторній роботі повинен містити наступні данні:

- титульний лист з указанням найменування роботи.;
  - дата, час, місце та умови (температура, атмосферний тиск, вологість), за яких виконувалась робота;
  - назва, тип використаних вимірювальних приладів;
  - структурні схеми дослідження спектру сигналів;
  - результати досліджень, осцилограми сигналів та функціональні схеми аналізаторів спектру паралельного та послідовного типу .
  - висновки (аналіз отриманих результатів).
- Приклад звіту наведений в Додатках Г, Д, Ж.

### 5.4. Перелік контрольних запитань для підготовки

Для кращої підготовки до виконання і здачі лабораторної роботи бажано визначитись з відповідями на запитання:

- що таке спектральний аналіз?
- чим відрізняється спектральний аналіз періодичних сигналів від спектрального аналізу випадкових сигналів?
- з яких основних блоків складається аналізатор спектру паралельного типу?
- з яких основних блоків складається аналізатор спектру послідовного типу?
- які основні метрологічні характеристики аналізатора спектру?
- що таке роздільна здатність аналізатора спектру?
- від чого залежить швидкість спектрального аналізу?

### Використана література

1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В. И. Нефедов, В. И. Хахин, Е. В. Федорова и др.; Под ред. В. И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001. – 383 с.: ил.
2. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: Навч. посібник / За ред. Ю. Л. Мазора, Є. А. Мачуського, В. І. Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 836 с.: іл.
3. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология: Учебник для вузов. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 492 с., ил.
4. Мирский Г. Я. Электронные измерения: 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 440 с., ил.
5. Мирский Г. Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. Изд 2-е., переработ. и доп. – М.: «Энергия», 1972. – 456 с. с ил.

## МІКРОВОЛЬТМЕТР ВЗ-57



Мікрвольтметр ВЗ-57 призначено для вимірювання середньоквадратичного значення напруги змінного струму довільної форми та перетворення напруги змінного струму в пропорційну напругу сталого струму.

Основні технічні характеристики

1. Діапазон вимірюваних напруг – 10 мкВ...300 В розбито на 15 піддіапазонів з верхніми межами: (0,03; 0,1; 1; 3; 10; 30; 100) мВ; (1; 3; 10; 30; 100; 300) В.
2. Частотний діапазон вимірюваних напруг – 5 Гц...5 МГц.
3. Межі основної похибки вимірювання:
  - ±1,0 % - на піддіапазонах (30...300) мВ;
  - ±1,5 % - на піддіапазонах (1...10) мВ;
  - ±2,5 % - на піддіапазонах (0,1; 0,3) мВ та (1...300) В;
  - ±4,0 % - на піддіапазоні 0,03 мВ.
4. Шкалу стрілкового індикатора проградуєвано у середньоквадратичних значеннях та децибелах. Рівень 0 дБ відповідає напрузі 0,775 В.
5. Активний вхідний опір, виміряний на частоті 10 Гц –  $(5 \pm 1)$  Мом.
6. Вхідна ємність:
  - $(27 \pm 5,4)$  пФ на піддіапазонах (0,03...300) мВ;
  - $(12 \pm 2,4)$  пФ на піддіапазонах (1...300) В.
7. Ємність кабелів приєднання –  $(80 \pm 16)$  пФ.
8. Живлення приладу – мережева напруга  $(220 \pm 22)$  В; частота  $(50 \pm 0,5)$  Гц; споживана потужність – 17 ВА.

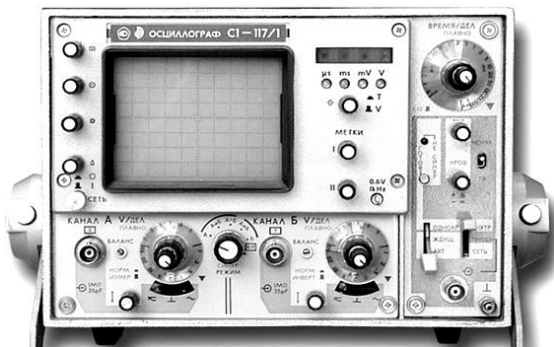
Порядок роботи

1. Заземлити прилад, приєднавши клему заземлення ( на задній панелі приладу) до спільної шини.
2. Ввімкнути кабель живлення в мережу, ввімкнути тумблер «ВКЛ», переконавшись по загорянню індикатора «СЕТЬ» в наявності живлення та очікувати 10 хвилин для прогрівання приладу.

3. Закоротити вхід приладу і на піддіапазоні, що відповідає очікуваному значенню вимірюваної напруги, ручкою «УСТ. 0» перевести стрілку індикатора у зачорнений сектор шкали.
4. Перемкнути перемикач рівня вхідної напруги у положення «300 В» і підключити до входу вимірювану напругу.
5. Перемкати перемикач рівня до положення, в якому величина відліку вимірюваної напруги складає більше половини шкали індикатора.
6. Записати виміряну величину напруги і оцінити похибку вимірювання.

## УНІВЕРСАЛЬНИЙ ДВОКАНАЛЬНИЙ ОСЦИЛОГРАФ С1-117

Призначений для двоканального дослідження форми електричних сигналів шляхом візуального спостереження і вимірювання їх амплітудних і часових параметрів на екрані ЕПТ з індикацією результатів вимірювання та розмірності вимірюваних параметрів на світлодіодному індикаторі.

Основні технічні характеристики

1. Кількість каналів - 2.
2. Робоча частина екрану - 60x80 мм.
3. Вертикальне відхилення (канали А і Б):  
чутливість змінюється ступенями від 0,1 мВ/см до 5 В/см, відповідно до ряду чисел 1,2,5(15 ступенів) і плавно між ступенями.
4. Смуга прозорості – (0...15) МГц.
5. Час наростання перехідної характеристики:
  - при відхиленні 1 мВ/см і вище - не більше 23 нс;
  - при відхиленні 0,1...0,5 мВ/см - не більше 3,5 мкс.
6. Вхідний імпеданс:
  - безпосередній вхід - 1 МОм з паралельною ємністю, не більшою за 35 пФ;
  - з подільником 1:10 - 1 МОм з паралельною ємністю, не більшою за 17 пФ.
7. Максимальна вхідна напруга (змінна + стала):
  - на закритому вході 300 В;
  - на відкритому вході 100 В;
  - на закритому або відкритому вході з дільником 1:10 – 300 В.
8. Похибка коефіцієнтів відхилення в нормальних умовах -  $\pm 4\%$ .
9. Похибка цифрового вимірювання амплітуди - 2 ... 3%.
10. Горизонтальне відхилення:
  - тривалість розгортки –  $(0,5 \cdot 10^{-6} \dots 0,5)$  с,
 встановлюється ступенями відповідно ряду чисел 1, 2, 5 (19 ступенів) і плавно між ступенями. Є 10-кратна розтяжка тривалості розгортки.
  - похибка тривалості в нормальних умовах -  $\pm 4\%$ .
11. Похибка цифрових вимірювань часових сигналів – (1...2)%.
12. Синхронізація внутрішня:
  - гармонічними коливаннями –  $(10 \dots 15 \cdot 10^6)$  Гц;
  - імпульсними коливаннями, при розмірі зображення 0,8 поділок шкали, тривалістю –  $(0,06 \cdot 10^{-6} \dots 1)$  с.
13. Синхронізація зовнішня:
  - гармонічними коливаннями –  $(10 \dots 15 \cdot 10^6)$  Гц;
  - імпульсними коливаннями, при амплітуді (0,5...5) В, тривалістю –  $(0,06 \cdot 10^{-6} \dots 1)$  с.
14. Калібратор:

- прямокутні імпульси, 0,6/1 В/кГц;
- похибка амплітуди і частоти в нормальних умовах - не більше  $\pm 1\%$ .

### Порядок роботи

1. Для ввімкнення приладу слід заземлити його, з'єднати кабель живлення з джерелом змінного струму і потягнути ручку «СЕТЬ» на себе. В результаті ввімкнення осцилографа повинні загорітися сегменти цифрового індикатора, один з світлодіодів індикації розмірності цифрового вимірювача, а з деякою затримкою на екрані ЕПТ повинна з'явитися лінія розгортки.
2. Ручками керування параметрами променя досягти оптимальної яскравості і фокусування променя на екрані ЕПТ.
3. Балансування підсилювача вертикального відхилення здійснюється для каналів А Б наступним чином:
  - встановити перемикачі « $\cong$ ,  $I$ ,  $\approx$ » в положення « $I$ »;
  - встановити перемикач «СИНХРОН РЕЖИМ» в положення А (Б);
  - встановити перемикач «V/ДЕЛ» каналу А (Б) у положення 5 V ;
  - ручкою « $\updownarrow$ » встановити лінію розгортки нв центральну горизонтальну лінію шкали ЕПТ;
  - встановити перемикач «V/ДЕЛ» каналу А (Б) у положення 1 V;
  - вирівняти лінію розгортки з центральної горизонтальною лінією шкали ЕПТ резистором БАЛАНС «А і Б» на нижній кришці приладу;
  - повторюйте ці дії, доки лінія розгортки залишиться приблизно в центрі шкали ЕПТ під час перемикування перемикачів «V/ДЕЛ».

## ГЕНЕРАТОР ГЗ-102



Генератор сигналів низькочастотний ГЗ-102 с плавной установкою частоти в межах кожного из чотирьох піддіапазонів. В генераторі забезпечується вихідний сигнал прецизійної синусної форми.

Генератор сигналів ГЗ-102 гарантує низький рівень бічних складових, у тому числі сигналів з

частотою мережі живлення и її гармонік.

#### Основні технічні характеристики:

Діапазон частот - 20Гц-200кГц (4 піддіапазони);

Похибка встановлення частоти:

- $\pm[1+(50/f)]\%$ (20Гц-20кГц);
- $\pm 1,5$ (вище 20кГц);

Нестабільність частоти:

- за 15 хв. -  $10 \cdot 10^{-4}f$  (20Гц-20кГц);  $20 \cdot 10^{-4}f$ (вище 20кГц);
- за 3 год. -  $50 \cdot 10^{-4}$ ;

Вихідна напруга - 7,75В (0дБ-100дБ, 600 Ом);

Похибка встановлення вихідної напруги - 4% (за умови нульового ослаблення атенюатора);

Нестабільність вихідної напруги за 3 год. - 10%;

Коефіцієнт гармоник - 0,1% (20Гц-70Гц); 0,05% (70Гц-200Гц, 2кГц-20кГц); 0,02% (200Гц-2кГц); 0,2% (20кГц-200кГц);

Живлення - 220В $\pm$ 22В, 50Гц, 400Гц;

Споживана потужність - 25В·А.

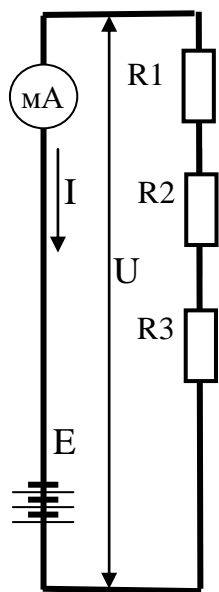
#### Порядок роботи

1. Заземлити прилад, приєднавши клему заземлення до спільної шини.
2. Ввімкнути кабель живлення в мережу, ввімкнути тумблер «СЕТЬ», переконатись по загорянню індикатора «СЕТЬ» в наявності живлення та очікувати 5 хвилин для прогрівання приладу.
3. З'єднати кабелем «Выход» генератора роз'ємом «Мод. Внеш.» на генераторі Г4-102 .
4. Перемикачем «Множитель частоты» та ручкою «Hz» встановити частоту вихідного коливання 1 кГц.
5. Перемикачем «Пределы шкалы» та ручкою «Рег. вых.» змінювати рівень вихідної напруги до досягнення відмітки «К» на індикаторі Г4-103 у режимі калібрування глибини АМ.

## ЗВІТ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №1 ВИМІРЮВАННЯ ПОСТІЙНОЇ ТА ЗМІННОЇ НАПРУГИ, ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

Роботу виконав:

_____ 202__ р. Група _____ Бригада № _____	1		
	2		
	3		
	4		
		(Прізвище, ім'я та по-батькові)	(Підпис)

**Зміст роботи:**

1. Вивчити інструкцію з експлуатації цифрового мультиметра.
2. Отримати у викладача набір резисторів.
3. З'єднати резистори послідовно ("в ланцюжок").
4. Виміряти мультиметром електричний опір кожного резистора, визначити абсолютні похибки вимірювань. Результати занести в таблицю 1.
5. Підключити ланцюжок резисторів до джерела постійної напруги  $E \approx 10$  В.
6. Виміряти силу струму  $I$ , споживаного від джерела живлення, визначити абсолютну похибку вимірювань. Результати занести в таблицю 2.
7. Виміряти напругу  $U_R$  на кожному резисторі, визначити абсолютну похибку вимірювань. Результати занести в таблицю.
8. За виміряними  $I$  та  $U_R$  розрахувати значення електричної потужності, споживаної кожним резистором, визначити абсолютні похибки вимірювань. Результати занести в таблицю
9. За виміряними  $I$  та  $U_R$  розрахувати значення електричного опору кожного резистора, визначити абсолютну похибку вимірювань. Результати занести в таблицю.

Таблиця 1. Пряме вимірювання електричного опору резисторів

$R_i$	Використаний діапазон вимірювань	Одиниця молодшого розряду D (роздільна здатність)	Показ приладу $R_i$	$\Delta R_i = \pm R_i \cdot ( \quad ) \% \pm 2D$	Результат вимірювання $R_i \pm \Delta R_i$
$R_1$					
$R_2$					
$R_\Sigma$					

Таблиця 2. Пряме вимірювання сили струму

$I$	Використаний діапазон вимірювань	Одиниця молодшого розряду D (роздільна здатність)	Показ приладу $I$	$\Delta I = \pm I \cdot ( \quad ) \% \pm 2D$	Результат вимірювання $I \pm \Delta I$
$I$					

Таблиця 3. **Пряме вимірювання постійної напруги на ланцюжку резисторів**

U	Використаний діапазон вимірювань	Одиниця молодшого розряду D (роздільна здатність)	Показ приладу U	$\Delta U = \pm U \cdot ( \quad ) \% \pm 2D$	Результат вимірювання $U \pm \Delta U$
U					

Таблиця 4. **Пряме вимірювання постійної напруги на резисторах**

U <sub>i</sub>	Використаний діапазон вимірювань	Одиниця молодшого розряду D (роздільна здатність)	Показ приладу U <sub>i</sub>	$\Delta U_i = \pm U_i \cdot ( \quad ) \% \pm 2D$	Результат вимірювання $U_i \pm \Delta U_i$
U <sub>1</sub>					
U <sub>2</sub>					

Таблиця 5. **Непряме вимірювання потужностей, споживаних резисторами**

P	Розрахована потужність $P_i' = U_i \cdot I$	Абсолютна похибка $\Delta P_i' = U_i \cdot \Delta I + \Delta U_i \cdot I$	Значення потужності $P_i = P_i' \pm \Delta P_i'$
P <sub>1</sub>			
P <sub>2</sub>			

Таблиця 6. **Непряме вимірювання електричних опорів**

R <sub>i</sub>	Розраховане значення опору $R_i' = U_i / I$	Абсолютна похибка $\Delta R_i' = (\Delta U_i / U_i + \Delta I / I) R_i'$	Значення опору $R_i = R_i' \pm \Delta R_i'$
R <sub>1</sub>			
R <sub>2</sub>			

Перевірив:

\_\_\_\_\_ (підпис)

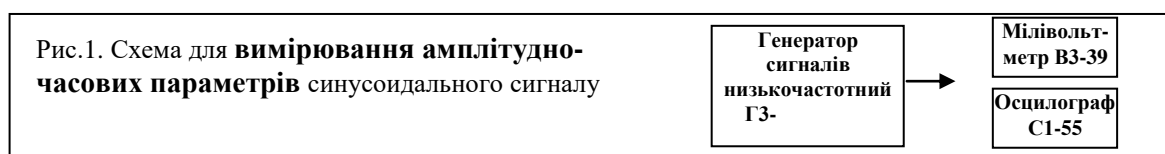
\_\_\_\_\_ (Ім'я, прізвище викладача)

**ЗВІТ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №2**  
**ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ**  
**ОСЦИЛОГРАФІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСОВИХ**  
**ПАРАМЕТРІВ НЕПЕРЕРВНИХ СИГНАЛІВ**

**Роботу виконали:**

_____ 202__ р. Група _____ Бригада № _____	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
		(Прізвище, ім'я та по-батькові студента)	(Підпис студента)

### 1. Вимірювання амплітуди та періоду синусоїдального коливання



**1.1.** Включіть прилади і після прогрівання встановіть на генераторі сигналів низькочастотному (ГЗ-102, ГЗ-118) частоту  $F_1=50$  Гц і рівень сигналу, амплітуда якого  $U_M = 4$  В, користуючись мілівольтметром ефективних значень синусоїдальної напруги ВЗ-38.

**1.2.** Отримайте на екрані осцилографа (за допомогою ручок ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ, а потім ВРЕМЯ/ДЕЛЕНИЕ і УРОВЕНЬ) стійке зображення декількох періодів синусоїди.

**1.3.** Виміряйте (в поділках сітки екрана електронно-променевої трубки) величину амплітуди і періоду сигналу. Результати занесіть у табл. 1.

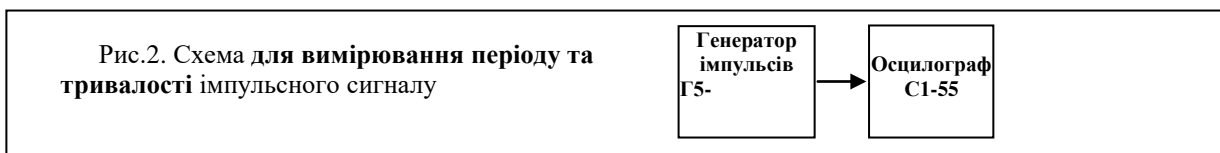
**1.4.** Виконайте вимірювання для частот  $F_2 \dots F_5$ , результати їх також занесіть у табл.1.

**1.5.** Обчисліть абсолютні похибки вимірювання амплітуди  $\Delta U_m$  та періоду  $\Delta T$  для кожного значення частоти сигналу. Результати занесіть у табл. 1.

Табл. 1

Сигнал генератора			Покази осцилографа							
			Амплітуда сигналу				Період сигналу			
Частота $F$ , Гц	Діюче значення $U_{\text{ЕФ}}$ , В	Амплітуда $U_M$ , В	Кількість поділок	Ціна поділки, В/деление	Амплітуда $U_m$ , В	Похибка $\Delta U_m$ , В	Кількість поділок	Ціна поділки, время/дел ение	Період $T$ , (мкс, мс)	Похибка $\Delta T$ , (мкс, мс)
$F_1$	50	4								
$F_2$	100	0,5								
$F_3$	500	1								
$F_4$	1000	3								
$F_5$	3000	2								

## 2. Вимірювання періоду та тривалості імпульсного сигналу



**2.1.** Включіть прилади і після прогрівання встановіть на генераторі імпульсів (Г5-54, Г5-78) частоту  $F_1 = 1$  кГц, тривалість імпульсу  $\tau_1 = 300$  мкс, полярність – позитивна.

**2.2.** Отримайте на екрані осцилографа (за допомогою ручок ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ, а потім ВРЕМЯ/ДЕЛЕНИЕ і УРОВЕНЬ) стійке зображення декількох періодів сигналу.

**2.3.** Виміряйте (в поділках сітки екрана електронно-променевої трубки) величину періоду і тривалості імпульсного сигналу. Результати занесіть у табл. 2.

**2.4.** Виконайте вимірювання для частоти  $F_2 \dots F_5$ , тривалості імпульсів  $\tau_2 \dots \tau_5$  позитивної полярності, результати також запишіть у табл. 2.

**2.5.** Обчисліть абсолютні похибки вимірювання періоду  $\Delta T$  та тривалості імпульсу  $\Delta \tau$  для кожного значення частоти сигналу. Результати занесіть у табл. 2.

Табл.2.

Сигнал генератора				Покази осцилографа							
				Період сигналу				Тривалість імпульсу			
Частота $F$ , кГц		Тривалість $\tau$ , мкс		Кількість поділок	Ціна поділки, время/деление	Період $T$ , мкс	Похибка $\Delta T$ , мкс	Кількість поділок	Ціна поділки, время/деление	тривалість $\tau$ , (мкс, мс)	Похибка $\Delta \tau$ , мкс
$F_1$	1	$\tau_1$	300								
$F_2$	5	$\tau_4$	100								
$F_3$	15	$\tau_3$	30								
$F_4$	50	$\tau_2$	10								
$F_5$	150	$\tau_1$	3								

Перевірив:

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (Ім'я, прізвище викладача)

## ЗВІТ З ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 3 ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ТА КУТА ЗСУВУ ФАЗ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОННОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

**Роботу виконали:**

_____ 202__ р.  Група _____  Бригада № _____	1		
	2		
	3		
	4		
		(Прізвище, ім'я та по-батькові студента)	(Підпис студента)

Для отримання двох синусоїдальних сигналів  $U_R$ ,  $U_C$  однієї частоти  $F$  зі зсувом фаз між ними  $\varphi$  зберіть на макетниці RC-ланцюжок з номіналами  $R$ ,  $C$ , які задовольняють наступній умові:

$$2\pi FRC = 1$$

(Виберіть  $R$  і  $C$ , знайдіть  $F$ ).

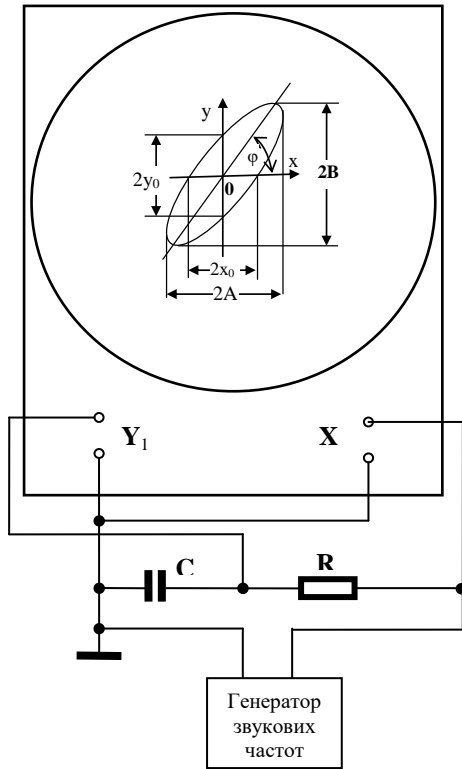
**Вимірювання фазового зсуву між двома сигналами однієї частоти способом лінійного розгортання**

Потрібен двопроменевий осцилограф.

Синусоїдальні напруги однієї частоти подають на входи каналів вертикального відхилення, вимірюють лінійні розміри осцилограм  $L$  та  $l$ , які відповідають періоду  $T$  і часовому зсуву  $\Delta T$ , і розраховують зсув фаз  $\varphi$  за очевидною формулою

$$\varphi = 360^0 (\Delta T / T).$$

**Осцилограма сигналів**



**Вимірювання фазового зсуву між двома сигналами однієї частоти**

**способом синусоїдального розгортання**

Один з сигналів подається на вхід  $Y$ , а другий – на вхід  $X$  осцилографа (рис. 6), в результаті чого на його екрані спостерігається фігура Лісажу у вигляді еліпса

$$y = (B/A)[x \cos \varphi \pm \sqrt{A^2 - x^2} \sin \varphi]$$

Оскільки

параметри еліпса залежать від кута зсуву фаз між сигналами, то за цими параметрами можна визначити кут зсуву.

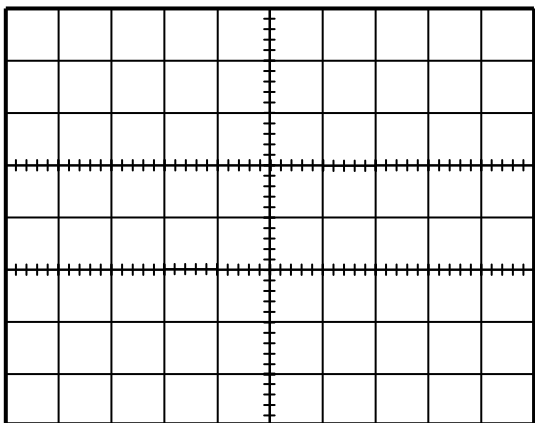
Якщо в рівнянні еліпса  $x = 0$ , то  $y_0 = B \sin \varphi$ .

Аналогічно при  $y = 0$  отримаємо  $x_0 = A \sin \varphi$ , і тоді

$$\sin \varphi = \pm(y_0 / B) = \pm(x_0 / A) \epsilon$$

Якщо виміряти на екрані розміри  $x_0$ ,  $A$  або  $y_0$ ,  $B$  еліпса кут зсуву фаз знаходять за формулою  $\varphi = \pm \arcsin(x_0 / A) = \pm \arcsin(y_0 / B)$ . Цей спосіб вимірювання зсуву фаз в діапазоні  $(0 \dots 180)^\circ$  не дозволяє визначити знак кута зсуву.

**Осцилограма сигналу**



**Результат вимірювань**

Перевірив:

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (Ім'я, прізвище викладача)