

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА  
ШЕВЧЕНКА**

**ФАКУЛЬТЕТ  
ВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ**

**КАФЕДРА  
ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
ПІДГОТОВКИ**

**ПРЕДМЕТ**  
**“ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВІЙСЬКОВИХ**  
**ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ”**

**ТЕМА № 6**  
**ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ**  
**(РІЗНИЦІ ФАЗ)**

**ЗАНЯТТЯ № 1**  
**ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**  
**ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ**

# **НАВЧАЛЬНА МЕТА:**

- 1. НАДАТИ СТУДЕНТАМ ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ.**
- 2. ОЗНАЙОМИТИ СТУДЕНТІВ З МЕТОДАМИ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ.**
- 3. НАДАТИ СТУДЕНТАМ ПРИНЦИПИ РОБОТИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ (РІЗНИЦЮ ФАЗИ).**

# **ВИХОВНА МЕТА:**

- 1. ВИХОВУВАТИ У СТУДЕНТІВ ДИСЦИПЛІНОВАНІСТЬ І КУЛЬТУРУ ПОВЕДІНКИ.**
- 2. ВИХОВУВАТИ ВПЕВНЕНІСТЬ І ВИНАХІДЛИВІСТЬ ПРИ ВИВЧЕННІ МАТЕРІАЛУ.**
- 3. ВИХОВУВАТИ І РОЗВИВАТИ ТВОРЧИЙ ПІДХІД ПРИ ВИВЧЕННІ МАТЕРІАЛУ НА ЗАНЯТТІ І САМОСТІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ.**

# **НАВЧАЛЬНІ ПИТАННЯ**

- 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ.**
- 2. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ.**
- 3. АВТОМАТИЗОВАНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ.**
- 4. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ І ЇХ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.**

# ПИТАННЯ 1

## ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ

**Фазовим зсувом  $\phi$  називається модуль різниці аргументів двох гармонічних сигналів однакової частоти:**

$$u_1 = U_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$u_2 = U_2 \sin(\omega t + \varphi_2),$$

(1)

**тобто різниці початкових фаз  $\phi_1 - \phi_2$**

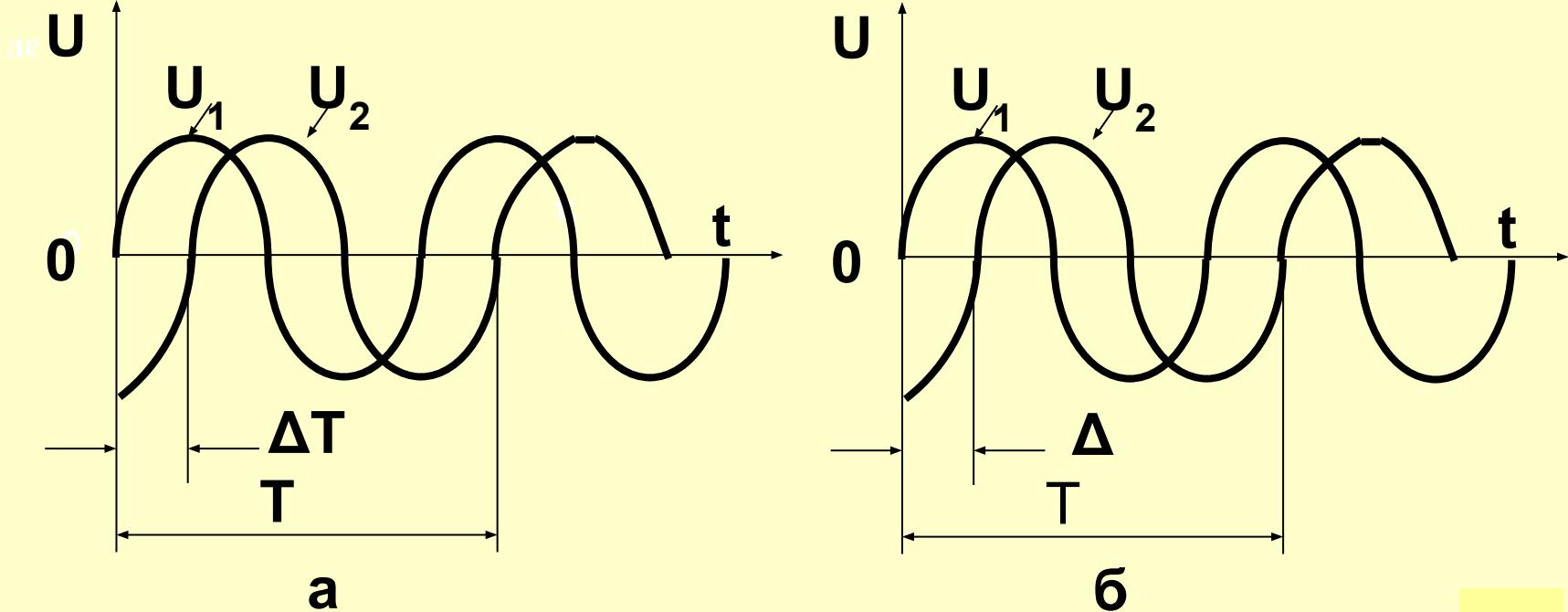


Рис. 1

(1)

Фазовий зсув визначають за допомогою формул

$$\varphi = \omega \Delta T = 2\pi \frac{\Delta T}{T}, \quad \varphi = 360 \frac{\Delta T}{T} \quad (2)$$

$\Delta T$  - інтервал часу між моментами, коли сигнал знаходиться в однакових фазах, наприклад при переходах через нуль від від'ємних до додатних значень;

$T$ - період гармонічних сигналів.



Фазовий зсув з'являється коли електричний сигнал проходить через ланцюг в якому він затримується. Коливальні контури, фільтри, фазообертальні і інші чотириполюсники вносять фазовий зсув між входною і вихідною напругами

$$\varphi = \omega t_3$$

де  $t_3$  - тривалість затримки в секундах.

Каскад підсилення звичайного типу вносить фазовий зсув, який дорівнює

Ряд радіотехнічних пристроїв – радіолокаційні, телевізійні, широкосмугові підсилювачі всіх призначень, фільтри – характеризуються поряд з іншими параметрами фазочастотною характеристикою  $\varphi(\omega)$ , тобто залежністю фазового зсуву від частоти.

**Для вимірювання фазового зсуву  
найбільш широко застосовується  
наступні методи:**

**- осцилографічний;**

**- компенсаційний;**

**- метод дискретного рахунку.**

# ПИТАННЯ II

## МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ

Осцилографічний метод можна реалізувати способами лінійної, синусоїдальної і кругової розгортки. Найбільшого розповсюдження дістали перші два способи.

Спосіб лінійної розгортки здійснюється за допомогою двопроменевого або двоканального осцилографа. В канали вертикального відхилення осцилографа подають напруги:

$$U_1 = U_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \quad \text{і} \quad U_2 = U_2 \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (3)$$

Генератор розгортки осцилографа увімкнений. Після зрівноваження обох напруг осцилограма буде мати вигляд, рис.1б. Фазовий зсув обчислюють за допомогою формули (2), підставляючи виміряні відрізки ( довжини відрізків)

$\square$  і  $\Delta\square$  , які відповідають  $T$  і  $\Delta T$ .

**Спосіб синусоїдальної розгортки** реалізують однопроменевим осцилографом. В канал вертикального відхилення подається напруга

$$U_y = U_y \sin(\omega t + \varphi)$$

а в канал горизонтального відхилення:

(4)

$$U_x = U_x \sin \omega t$$

**Генератор розгортки осцилографа вимкнений. На екрані осцилографа з'явиться осцилограма у вигляді еліпса, рис.2.**

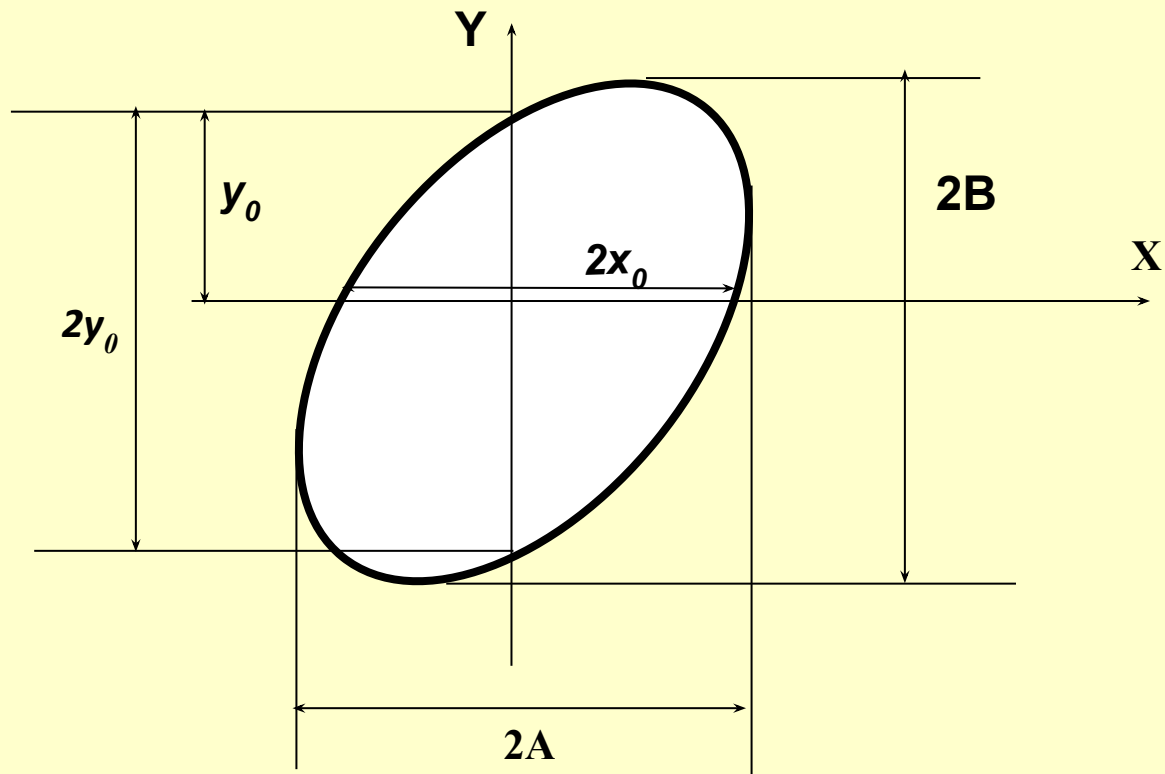
Так як зсув фаз  $\phi$  обчислюють за допомогою формули

$$\phi = \pm \arcsin(2Y_0 / 2B) = \pm \arcsin(2X_0 / 2A) \quad (5)$$

це приводить до значних похибок.

Загальна похибка складається з випадкових похибок: вимірювання довжин відрізків, суміщення сліду променя з лініями масштабної сітки і інших. Інструментальна похибка виникає за рахунок наявності власних фазових зсувів в каналах осцилографа.

Похибку вимірювання відрізків можна зменшити ретельним фокусуванням  $\boxtimes$  променя при малій яскравості і застосування осцилографа з масштабною сіткою, яка нанесена на внутрішню поверхню екрану.



**Рис.2**

**Спосіб синусоїдальної розгортки простий і не потребує ніяких додаткових засобів вимірювань. Однак він є непрямим способом вимірювання, потребує проведення лінійних вимірювань величин  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $A$ ,  $B$  (рис. 2).**

# Використовування методу осцилографічної індикації для вимірювання фазового зсуву

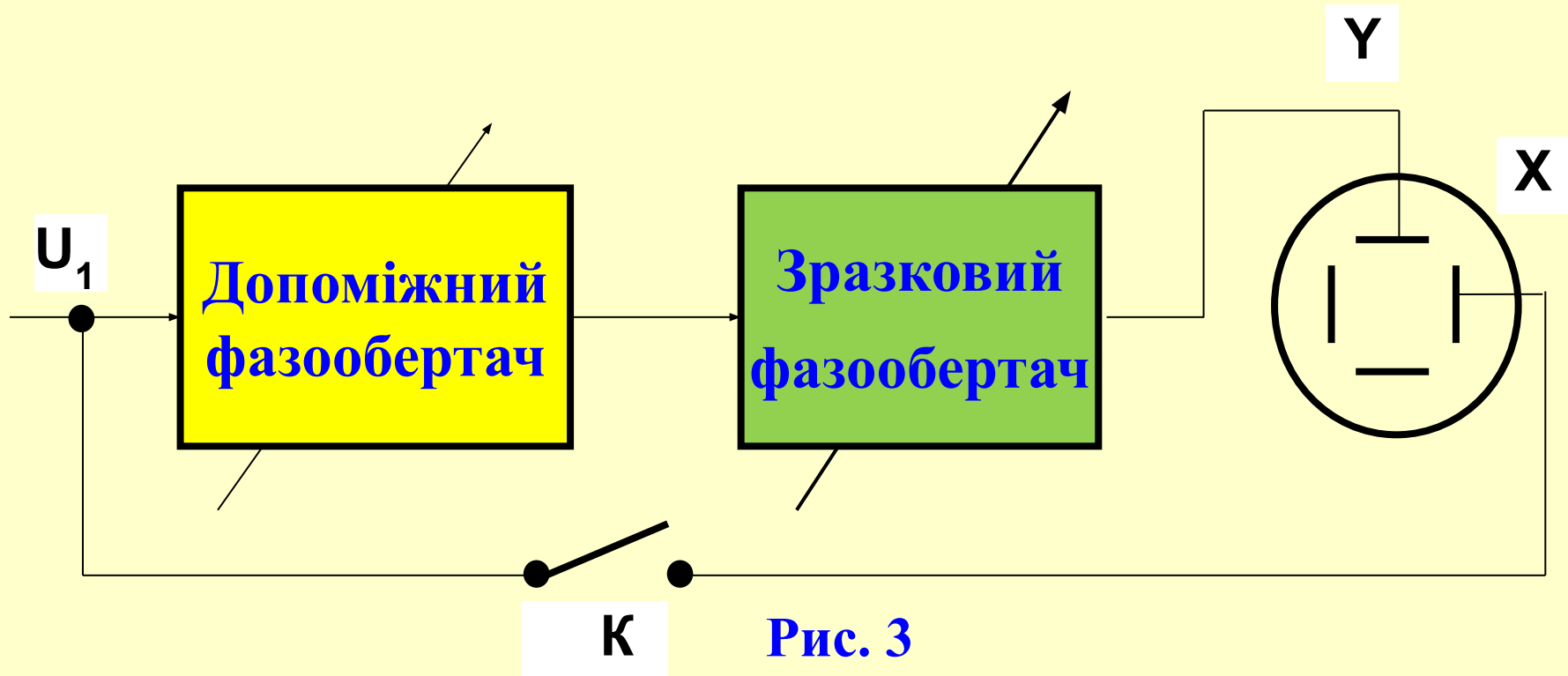


Рис. 3

Спочатку в установці усувають власний фазовий зсув. Для цього замикають ключ  $K$  і напругу  $U_1$  подають на обидва входи осцилографа. Показчик шкали зразкового фазообертача встановлюють на нуль, а допоміжний регулюють до одержання на екрані осцилографа прямої лінії.



При цьому допоміжним фазообертачем компенсується власний фазовий зсув вимірювальної установки. Потім розмикають ключ і подають напругу  $U_1$  в канал Y та  $U_2$  - в канал X. На екрані з'явиться еліпс і його центральна частина у вигляді двох паралельних ліній. Регулюючи зразковий фазообертач намагаються злиття цих ліній в одну пряму, тобто загального нульового фазового зсуву.

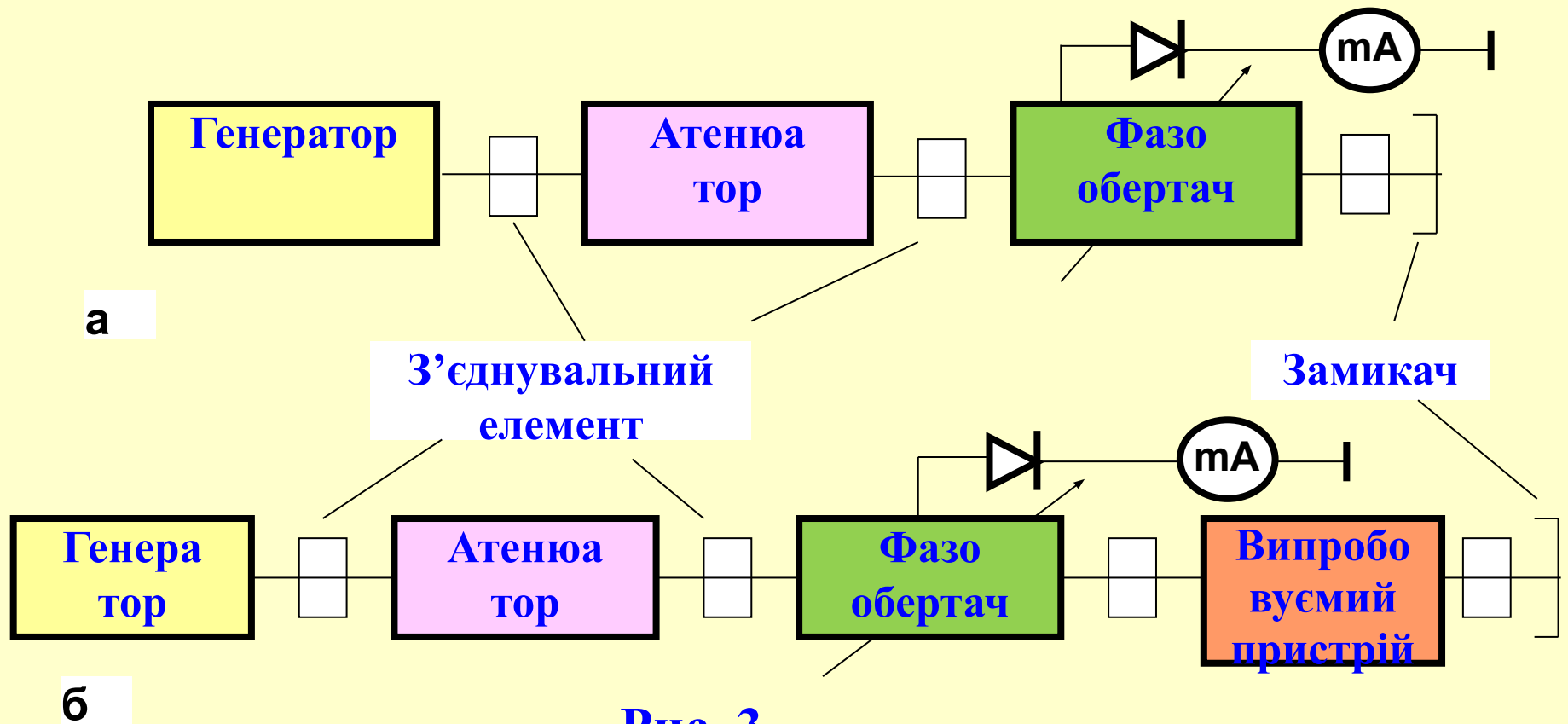
Похибка вимірювання визначається в основному похибкою тарування шкали зразкового фазообертача.

На НВЧ компенсаційний метод реалізується способом короткого замикання, рис.4.

**При увімкненому генераторі в тракті встановлюється стояча хвиля.**

**Регулюючи фазообертач намагаються встановити нульові покази індикатора, тобто суміщають вузол напруги і площину перерізу, де розташований зонд і знімають відлік  $\phi_1$  за допомогою шкали фазообертача.**

**Потім до виходу фазообертача підключають пристрій, який випробовується (відрізок хвилеводу, трансформатор, фільтр і т.п.) який також замкнений, рис. 4 (б).**



**Рис. 3**

Вузол напруги, який змістився, за допомогою регулювання повертають на колишнє місце, що фіксується по нульовому показу мікроамперметра. Знімають другий відлік  $\phi_2$ . Фазовий зсув, який вноситься пристроєм, який випробовується  $\phi$  дорівнює половині різниці цих показів:

$$\phi = \phi_1 - \phi_2 / 2 \quad (6)$$

**Для зменшення похибки тракт повинен бути узгодженим, а індикатор чутливим. В якості індикатора застосовується селективний вольтметр.**

**Для зменшення похибки при вимірюванні малих фазових зсувів застосовують множення частоти. Зниження частоти шляхом гетеродинного перетворення використовують при вимірюваннях на високих і надвисоких частотах.**

# ПИТАННЯ ІІІ

## АВТОМАТИЗОВАНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ

**Найбільшого ефекту при автоматизації вимірювання фази досягають при застосуванні цифрових методів.**

**Серед значної кількості різних засобів вимірювання з цифровим відліком (частотоміри, вольтметри, ватметри і ін.) є також і цифрові фазометри.**

**Всю різноманітність відомих методів вимірювання фази можна розділити на дві основні групи:**

Цифрові фазометри принцип дії яких полягає на використанні методу компенсації. В них здійснюється неперервне врівноваження вимірюваного фазового зсуву до деякого заздалегідь визначеного значення з відліком вимірюваного фазового зсуву з цифрового фазообертача.

Цифрові фазометри з прямим перетворенням вимірюваного фазового зсуву в величину, зручну для перетворення в код. Ці засоби вимірювань діють за жорсткою програмою і видають значення вимірюваної величини через певні інтервали часу.

Структурна схема такого компенсаційного цифрового фазометра наведена на рис. 5.

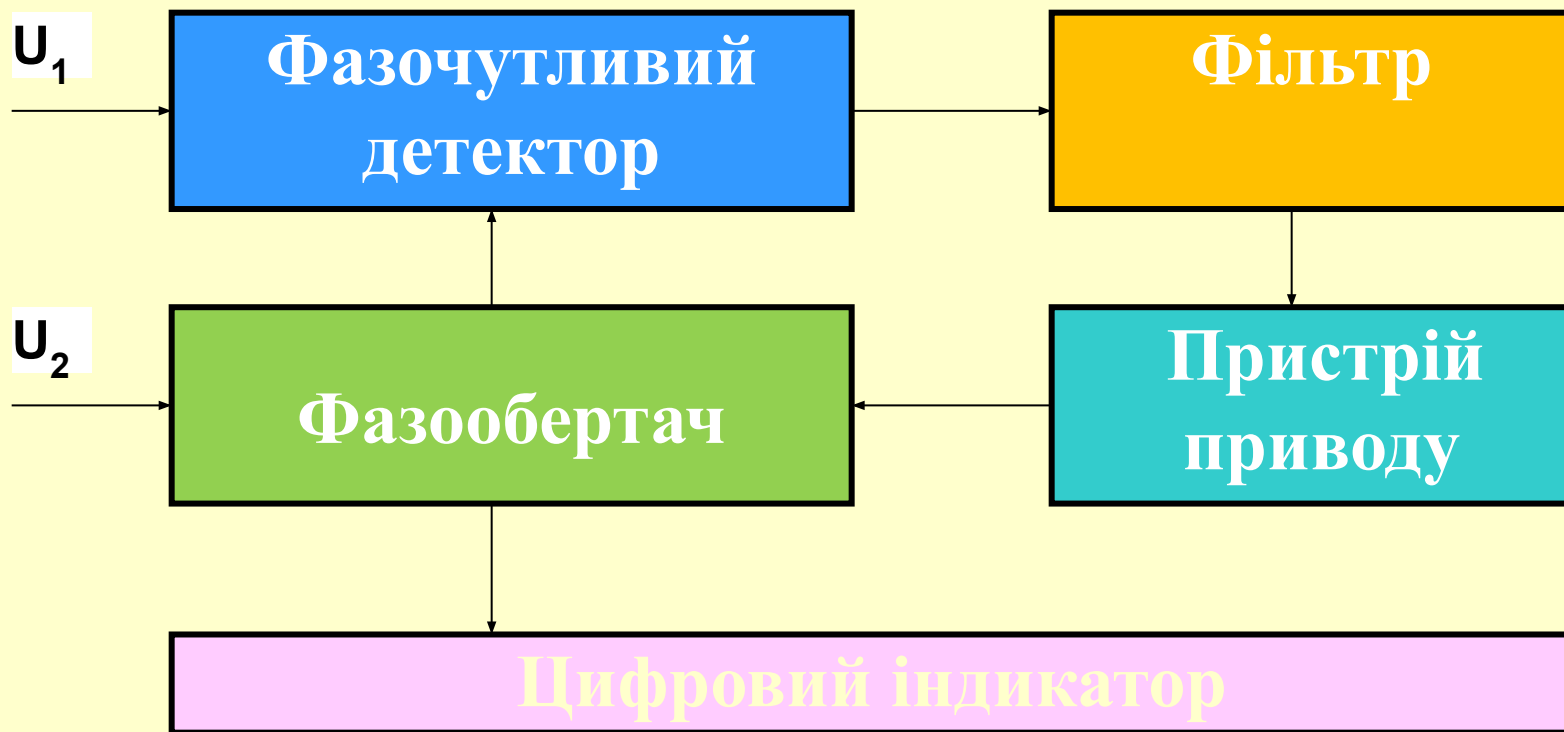


Рис. 5

Сигнали  $U_1$  і  $U_2$ , які підлягають вимірюванню, після підсилення поступають на входи фазочутливого детектора. При цьому фаза сигналів зсувається за допомогою каліброваного фазообертача.



**Напруга з виходу фазочутливого детектора через фільтр, який згладжує пульсації та можливі флуктуації (при наявності перешкод) поступає на пристрій приводу. Останній змінює кут повороту фазообертача таким чином, щоб різницю сигналів на вході детектора звести до  $90^0$  (або  $0^0$  ).**

**В момент досягнення балансу постійна складова на виході детектора дорівнює нулю. Відпрацювання закінчується і значення виміряного фазового зсуву відображається на цифровому індикаторі, який зв'язаний з фазообертачем.**

**Перевагами цифрових слідкуючих фазометрів є їх висока перешкодостійкість. Похибка вимірювання приладу залежить в основному від фазообертача та чутливості детектора. При значних перешкодах необхідно збільшувати постійну часу фільтра і відповідно час вимірювань.**

# **ЦИФРОВІ ФАЗОМЕТРИ З ПРОМІЖНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ**

**Пряме перетворення фазового зсуву в цифровий код здійснюється двома основними методами:**

**«фазовий зсув – напруга – код»**

**«фазовий зсув – інтервал часу – код» (фазометри з часоімпульсним перетворенням).**

**Спрощена структурна схема цифрового фазометра з проміжним перетворенням фазового зсуву в постійну напругу зображена на рис.6.**

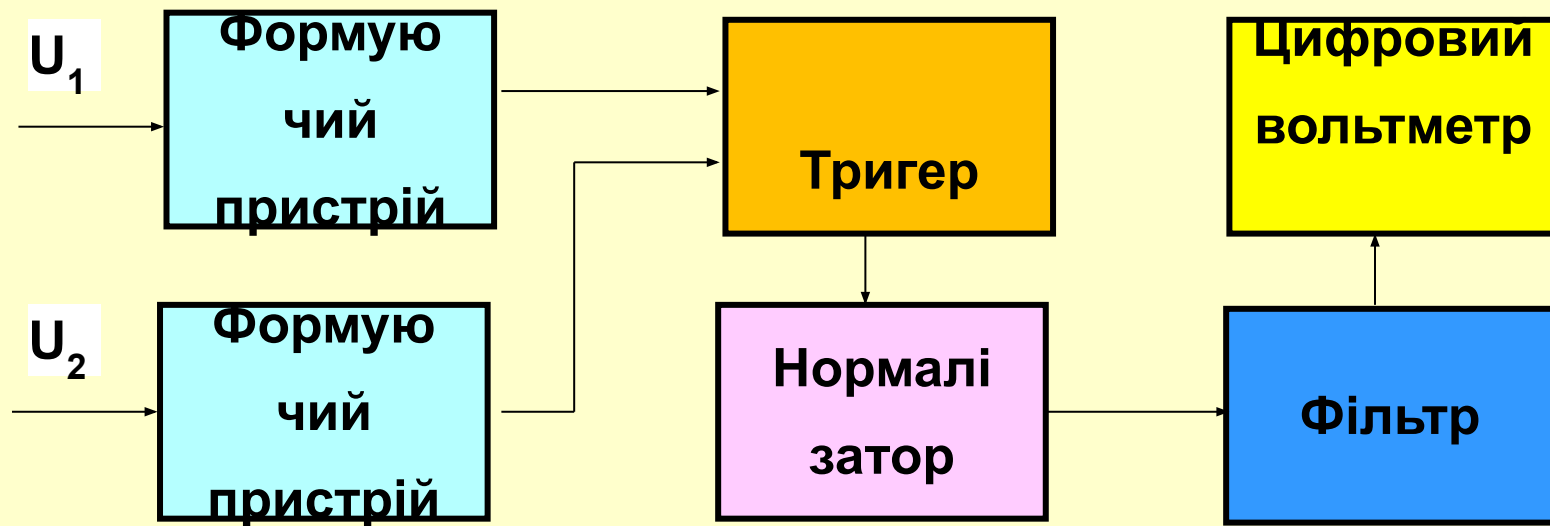


Рис. 6

Формувач імпульсів і управляємий тригер здійснюють перетворення фазового зсуву в інтервал часу.

В схемі збігу здійснюється квантування фазових інтервалів короткими квантуючими імпульсами частоти  $f_k$  від генератора імпульсів.

Повне число імпульсів, які поступають на лічильник за час вимірювань становить:

$$N = \varphi_K t_{ВИМ} / 360^0 \quad (7)$$

де  $f_k \cdot t_{ВИМ} = 36 \cdot 10^m$ , де  $m=0,1,2,3, \dots$  відповідають фазовому зсуву  $\varphi$  в градусах (частках градуса).

# ПИТАННЯ ІV

## ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗИ І ЇХ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

До засобів вимірювання фази, які серійно випускаються промисловістю, відносяться вимірювачі різниці фаз сигналів (фазометри) і вимірювачі групового часу запізнення.

Конструктивно ці засоби вимірювань виконані у вигляді переносних приладів в уніфікованих корпусах, які призначені для використання у вигляді настільних приладів, а також для монтування у типову стійку, або агрегаткування у вимірювальну систему.

### Вимірювачі групового часу запізнення

Багаточастотний широкополосний сигнал, який проходить через чотирьохполюсник, спотворюється, тобто його форма на виході не співпадає з формою на вході. Це спотворення виникає внаслідок того, що різні частотні складові запізнюються на різний час. Такі спотворення характерні телевізійним сигналам, які проходять по лінії передачі.

Для характеристики чотирьохполюсників  
введено поняття групового часу запізнення

$$t_{ГЧЗ} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\omega} \quad (8)$$

де  $\Delta\varphi$  - зміна фазового зсуву на виході  
чотирьохполюсника при зміні частоти на  $\Delta\omega$ , рис. 8.

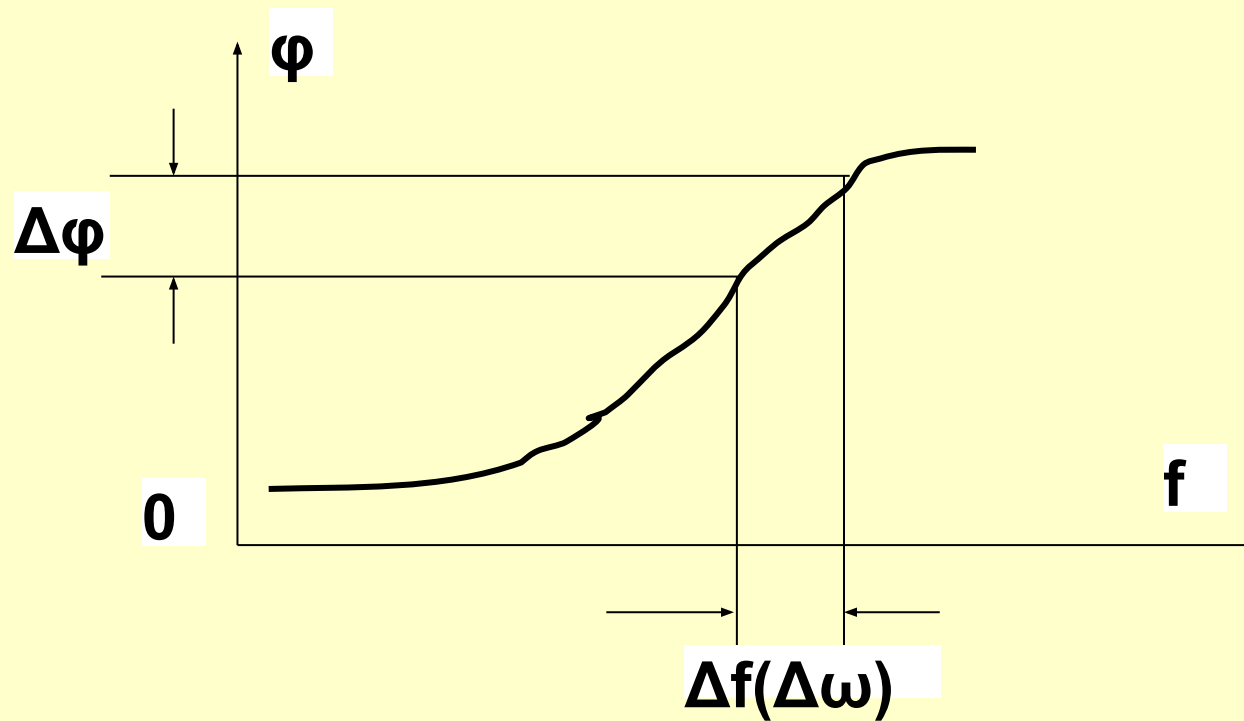


Рис. 7

Найбільш розповсюдженим методом вимірювання групового часу запізнення є метод Найквіста, який полягає в порівнянні фазового зсуву огибаючих модульованого за амплітудою сигналу на вході і виході чотирьохполюсника (Ф4-7, Ф4-8, Ф4-9)