

# КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА



## ФАКУЛЬТЕТ ВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ

### КАФЕДРА ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ

Керівник заняття

завідувач кафедри кандидат технічних наук, доцент  
Глухов Сергій Іванович

2017 р.

**ПРЕДМЕТ:  
ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВІЙСЬКОВИХ  
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ**

**ТЕМА 10: ВИМІРЮВАЧІ ПАРАМЕТРІВ  
СПЕКТРУ СИГНАЛІВ**

**ЗАНЯТТЯ 2: ВИМІРЮВАЧІ КОЕФІЦІЄНТА  
НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ І РІВНЯ  
ГАРМОНІК (КОЕФІЦІЄНТА ГАРМОНІК  
КГ)**

**ГРУПОВЕ ЗАНЯТТЯ**

# **МЕТА ЗАНЯТТЯ:**

## **НАВЧАЛЬНА МЕТА:**

- 1. Вивчити методи вимірювань коефіцієнта нелінійних спотворень ( $K_{НС}$ ) і коефіцієнта гармонік ( $K_{Г}$ ).**
- 2. Вивчити принципи побудови і дії вимірювачів коефіцієнта нелінійних спотворень.**
- 3. Вивчити методи перевірки вимірювачів  $K_{НС}$  і  $K_{Г}$ .**

## **ВИХОВНА МЕТА:**

- 1. Виховувати у студентів культуру поведінки.**
- 2. Виховувати студентів у дусі патріотизму.**

# НАВЧАЛЬНІ ПИТАННЯ:

- I. Вступна частина.....5 хв.**
- II. Основна частина.....70 хв.**
- 1. Методи вимірювання коефіцієнта нелінійних спотворень ( $K_{НС}$ ) і коефіцієнта гармонік ( $K_{Г}$ ).**
  - 2. Вимірювачі нелінійних спотворень і їх метрологічні характеристики.**
  - 3. Структурна схема і принцип дії вимірювача нелінійних спотворень.**
  - 4. Еталони та засоби вимірювань для перевірки вимірювачів нелінійних спотворень.**
- III. Заклучна частина.....5 хв.**

# ЛІТЕРАТУРА

## 1. ОСНОВИ ПОБУДОВИ РЛС РТВ

ПІД РЕДАКЦІЄЮ Б.Ф. БОНДАРЕНКО, КВІРТУ  
ШПО, 1987.

2. ОСНОВИ ПОБУДОВИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ  
ТЕХНІКИ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК ШПО, 1989.

3. ТХОРЖЕВСЬКИЙ В.І. СИСТЕМИ  
РАДІОЛОКАЦІЙНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ.  
НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК. ЧАСТИНА 1. КИЇВ,  
2007 РІК.

4. ТЕОРІЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ:

ПІДРУЧНИК / Б.Ф. БОНДАРЕНКО,

В.В. ВИШНІВСЬКИЙ, В. П. ДОЛГУШИН ТА ІНШІ;  
ЗА ЗАГАЛЬНОЮ РЕДАКЦІЄЮ С.В. ЛЄНКОВА,  
2008.

# ПИТАННЯ І

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ  
КОЕФІЦІЄНТА НЕЛІНІЙНИХ  
СПОТВОРЕНЬ ( $K_{НС}$ ) І  
КОЕФІЦІЄНТА ГАРМОНІК ( $K_{Г}$ )

**Елементи з нелінійними характеристиками, які входять до складу різноманітних електротехнічних та радіотехнічних пристроїв, викликають спотворення форми сигналів, які діють в таких пристроях.**

**Такі спотворення називають нелінійними, їх особливість полягає в створенні нових гармонічних складових в спектрі спотвореного сигналу. Аналізуючи параметри спектра, можна зробити оцінку ступеня спотворень, які виникають.**

**Однак при складній формі сигналу, тобто при складному його спектрі, така оцінка пов'язана з труднощами із-за великої різноманітності можливих варіацій спектральних складових складного сигналу. Часто неможливо встановити однозначну залежність між зміною форми сигналу і зміною параметрів його спектра.**

**Задача оцінки нелінійних спотворень значно спрощується, якщо розглядати просте гармонічне коливання, яке в своєму спектрі має єдину складову на частоті  $\omega = 2\pi f$ .**

**В результаті нелінійного спотворення такого сигналу створюється ряд вищих гармонічних складових з кратними частотами  $2\omega$  ;  $3\omega$  ;  $4\omega$ .**

**Шляхом відповідного обліку цих гармонік можна оцінювати ступінь нелінійних спотворень гармонічного сигналу і тим самим в одних випадках характеризувати сигнали, які формуються різними джерелами гармонічних коливань (генераторами), а в інших - оцінювати нелінійні властивості різноманітних ланцюгів і пристроїв, в яких здійснюються нелінійні спотворення (наприклад, підсилювачів).**



**Відмінність форми деякої періодичної напруги від синусоїдальної характеризується коефіцієнтом гармонік**

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \cdot 100 \quad (1)$$

**який дорівнює відношенню діючої напруги суми всіх вищих гармонік спотвореного сигналу, починаючи з другої, до діючої напруги першої гармоніки.**

**Визначення коефіцієнта гармонік пов'язане з необхідністю виділення і вимірювання окремих гармонічних складових сигналу.**

**Для цієї мети можуть бути використані або аналізатори спектру або селективні вольтметри. В діапазоні відносно низьких частот, до 200 кГц, оцінка нелінійних спотворень гармонічного сигналу здійснюється спеціальними приладами - вимірювачами нелінійних спотворень.**

**В таких вимірювачах широко використовується метод подавлення основної частоти (першої гармоніки) спотвореного сигналу і величини, яка підлягає вимірюванням, є не коефіцієнт гармонік (1), а деякий інший, близький до нього, коефіцієнт нелінійних спотворень (у відсотках).**

$$K_{H.C.} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 \dots}} \cdot 100 \quad (2)$$

**Він дорівнює відношенню діючої напруги суми вищих гармонік, починаючи з другої, до діючої напруги всіх складових сигналу, включаючи і першу його гармоніку. Процес вимірювання цього коефіцієнта більш простий, оскільки нема необхідності виділяти окремі складові, зокрема першу гармоніку сигналу [див. вираз (1)] ; для одержання чисельника відношення (2) достатньо лише подавити її.**

**Коефіцієнт гармонік і коефіцієнт нелінійних спотворень зв'язані співвідношенням ( $K_r$  - в відносних одиницях).**

$$K_{\Gamma} = \frac{K_{H.C.}}{\sqrt{1 - K_{H.C.}^2}} \quad (3)$$

При малих нелінійних спотвореннях (менш ніж 10-15 %) ці коефіцієнти відрізняються один від одного на незначну величину, і в таких випадках можна вважати, що

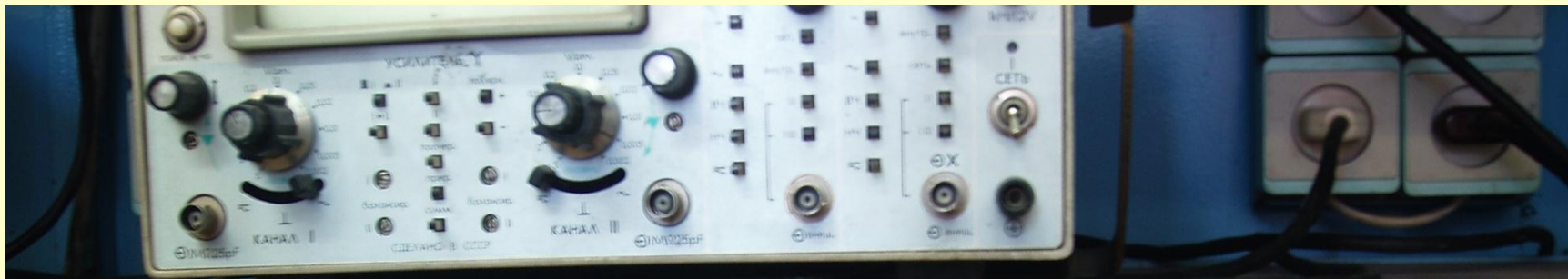
$$K_{\Gamma} = K_{H.C.}$$

(4)

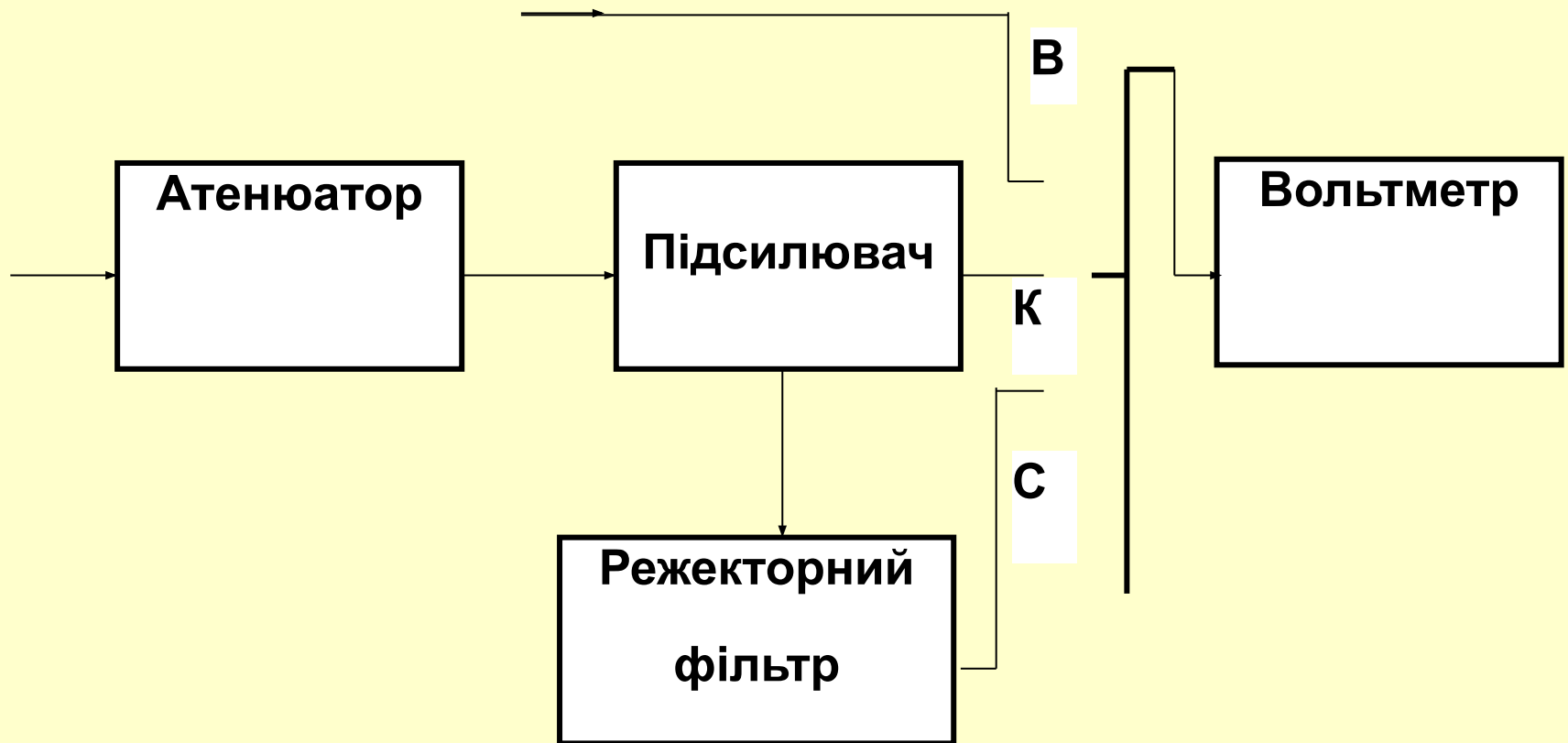
Оскільки обидва коефіцієнти визначаються за допомогою підсумкових діючих напруг без урахування амплітудних і фазових співвідношень між окремими гармоніками, вони неоднозначно характеризують форму спотвореного сигналу. Одні і ті ж значення  $K_r$  і  $K_{н.с.}$  можуть існувати при різноманітних варіаціях вищих гармонічних складових сигналу, тобто при різноманітних його формах. Разом з тим ці коефіцієнти мають певне енергетичне розуміння. Їх квадрат характеризує або розподіл потужності сигналу між вищими гармонічними складовими і першою ( $K_r^2$ ), або частку потужності сигналу, яка доводиться на вищі гармоніки ( $K_{н.с.}^2$ ).

# **ПИТАННЯ II**

## **СТРУКТУРНА СХЕМА І ПРИНЦИП ДІЇ ВИМІРЮВАЧА НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ**



**Загальний принцип побудови вимірювачів нелінійних спотворень можна розглянути за допомогою структурної схеми, яка зображена на рис.1.**



**Рис.1 Структурна схема вимірювача нелінійних спотворень**



**Сигнал, який підлягає аналізу, подається на вхідний атенюатор, який регулюється, і який разом з підсилювачем забезпечує роботу приладу в широкому динамічному діапазоні вхідних сигналів.**

**При вимірюваннях коефіцієнта нелінійних спотворень, як правило, враховуються не менше п'яти гармонік спотвореного сигналу, тому смуга пропускання атенюатора і підсилювача повинна бути не меншою ніж  $\Delta f = 5f_{\max}$ , де  $f_{\max}$  - найбільша робоча частота приладу. Крім того, підсилювач повинен володіти досить високою лінійністю амплітудної характеристики, мати постійну АЧХ і малий рівень власних шумів.**

**В режимі калібрування (К) сигнал з виходу підсилувача подається на вольтметр, який вимірює діюче значення напруги. Органом калібрування приладу, який регулює рівень напруги на виході підсилувача, стрілка вольтметра встановлюється на певну помітку шкали, яка відповідає 100 % спотворень. Тим самим при калібруванні, за допомогою вольтметра, фіксується підсумкова діюча напруга всіх гармонічних складових сигналу, тобто практично фіксується знаменник в формулі нелінійних спотворень (2).**

**В режимі вимірювання спотворень (С) сигнал після підсилювача поступає на режекторний (загороджувальний) фільтр, який перестроюється по частоті, і який подавляє основну (першу) гармоніку сигналу.**

**Фільтр настроюється по мінімальним показам вольтметра. Вищі гармоніки, починаючи з другої, проходять через фільтр без послаблення і поступають на вольтметр.**

**Таким чином, в цьому режимі здійснюється вимірювання діючого значення напруги вищих гармонік, тобто визначення чисельника в формулі коефіцієнта нелінійних спотворень (2). Тим самим покази вольтметра виявляються пропорційними значенню коефіцієнта нелінійних спотворень. Шкала вольтметра тарується безпосередньо в значеннях цього коефіцієнта.**

**Загороджувальний фільтр це - мостовий режекторний RC- фільтр ( міст Віна ), або фільтр у вигляді подвійного T - подібного моста. Як правило такі мостові схеми використовуються разом з підсилювальними каскадами, створюючи режекторний підсилювач.**

**Смуга частот загороджувального фільтра, в якій подавляється перша гармоніка сигналу, повинна бути мінімально можливою, щоб уникнути послаблення в ньому вищих гармонічних складових. Перестроювання фільтра здійснюється зміною параметрів елементів мостової схеми.**

**Вольтметр діючих значень напруг, який входить до складу вимірювача нелінійних спотворень, може використовуватись як самостійний прилад для вимірювання рівня змінних напруг.**



В сучасних вимірювачах нелінійних спотворень процеси калібрування і вимірювання автоматизовані. Методи автоматизації в загальному вигляді можна розглянути за допомогою структурної схеми, яка наведена на рис. 2.

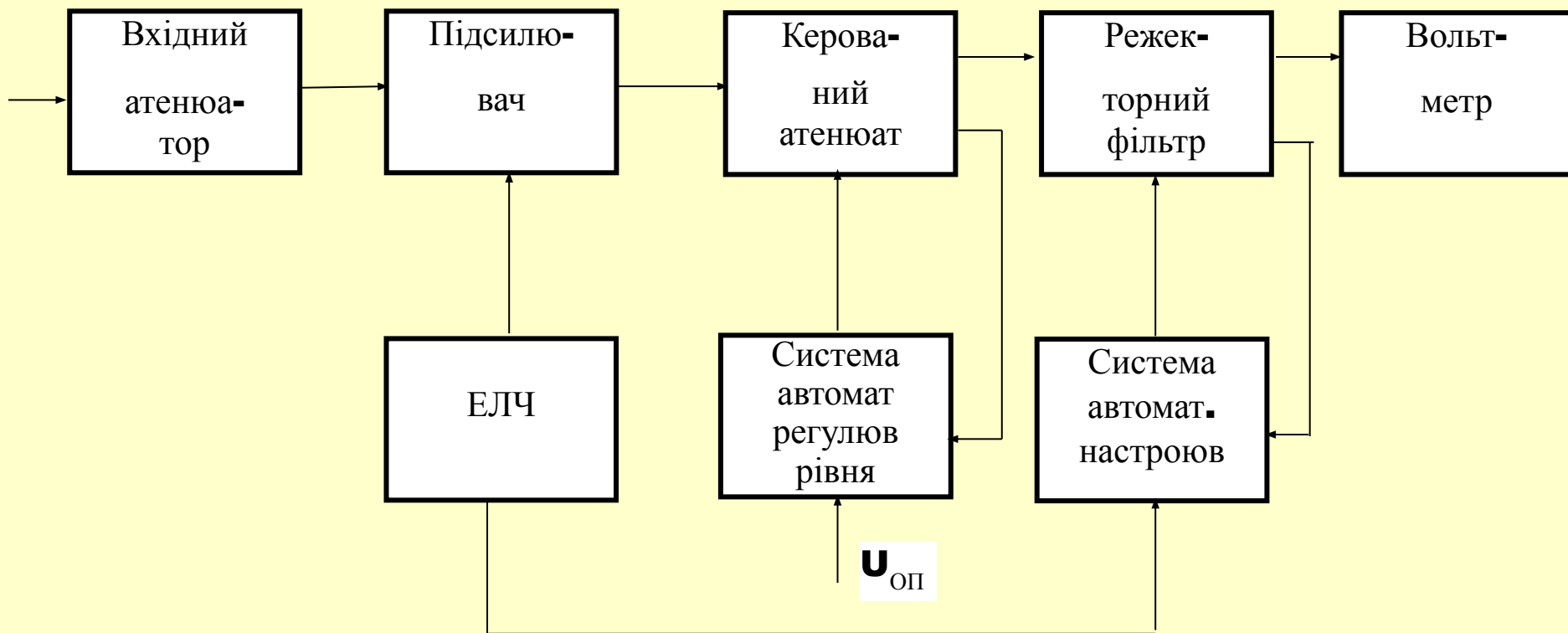


Рис.2 Структурна схема автоматичного цифрового вимірювача КНС

**Сигнал, який підлягає аналізу, після вхідного атенюатора і підсилювача подається на керований атенюатор коефіцієнт передачі якого може змінюватись під дією системи автоматичного регулювання рівня сигналу (АРР).**

**Напруга на виході керованого атенюатора порівнюється з опорною каліброваною напругою  $U_{оп}$ . При нерівності цих напруг в системі автоматичного регулювання рівня формується керуючий сигнал, який пропорційний різниці напруг, які порівнюються, приводить до відповідної зміни коефіцієнта передачі керованого атенюатора.**

**Таким чином, під дією системи АРР на вході режекторного фільтра РФ встановлюється незмінне значення напруги сигналу, чим забезпечується автоматичне калібрування приладу. Настроювання режекторного фільтра здійснюється системою автоматичного настроювання (АНФ). В мостових фільтрах автоматично встановлюється баланс моста на основній частоті сигналу.**

**Широке розповсюдження цифрової вимірювальної техніки відбилось і на принципах побудови вимірювачів нелінійних спотворень. Як видно з цієї ж структурної схеми рис.2, в цифровий прилад вмонтований електронно-лічильний частотомір ЕЛЧ, який автоматично вимірює основну частоту сигналу і забезпечує за допомогою системи АНФ відповідне настроювання цифрового режекторного фільтра (РФ).**

**В наведеному вище варіанті вимірювача вольтметр також цифровий. Він забезпечує цифрову індикацію виміряного значення або коефіцієнта гармонік, або коефіцієнта нелінійних спотворень.**



**Діапазон значень коефіцієнта нелінійних спотворень визначається границями 0,03 - 100 %.**

**При цьому вимірювання малих його значень (менше ніж 0,1 %) викликає певні труднощі, які пов'язані з впливом власних шумів і фона підсилювачів, а також з нелінійними спотвореннями сигналу в самому приладі.**

**Необхідність вимірювань великих спотворень (більше 20 %) виникає досить рідко.**

# **ПИТАННЯ ІІІ**

## **МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЧІВ НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ І МЕТОДИ ЇХ ПОВІРКИ**

**Повірка вимірювачів нелінійних спотворень здійснюється згідно з вимогами ДСТУ ГОСТ 8.331-78.**

**Цей стандарт розповсюджується на вимірювачі нелінійних спотворень типів С6-1, С6-1А, С6-3, С6-4, С6-5, С6-7, С6-8, ИНИ-10 та ИНИ-11, які вимірюють коефіцієнт нелінійних спотворень в межах 0,03 - 100% в діапазоні частот 0,02 - 200 кГц.**

**Під час проведення повірки виконуються зовнішній огляд і опробовування, а також визначаються**

**наступні метрологічні характеристики:**

- похибка вмонтованого вольтметра;
- чутливість;
- власні нелінійні спотворення, шуми і фон;
- основна похибка вимірювання коефіцієнта нелінійних спотворень.

**Розглянемо основні положення методики виконання операцій калібрування, які встановлені стандартом ГОСТ 8.331-78.**

## **Визначення похибки вмонтованого вольтметра**

**здійснюється на частоті 1 кГц на кожній числовій помітці шкал з границями вимірювань 1 і 3 В, а також на кінцевих помітках інших шкал. Крім цього, здійснюється визначення похибки вольтметра в робочому діапазоні частот при входній напрузі, яка дорівнює 2 В на шкалі з границею вимірювань 3 В на частотах 0,02, 0,1, 1,0, 10, 100, 200, 1000, 5000 кГц.**

**Вимірювання здійснюються за допомогою установок для перевірки вольтметрів або за допомогою еталонного вольтметра. Методика вимірювань аналогічна методиці вимірювань при калібруванні електронних вольтметрів.**

## Визначення чутливості

виконується в відповідності з рекомендаціями ТД на прилад.

В режимі вимірювання коефіцієнта нелінійних спотворень на несиметричний вхід приладу при найбільшій його чутливості, яка встановлена відповідними органами регулювання, від генератора подається така мінімальна напруга, при якій можливе калібрування приладу.

Рівень встановленої вихідної напруги, який відповідає чутливості, вимірюється вмонтованим вольтметром приладу в режимі вимірювання напруги.

## Визначення рівня власних нелінійних спотворень, шумів і фона (перешкод)

здійснюється на частотах 0,03; 0,18; 1,5 і 100 кГц з врахуванням рекомендацій НТД на прилад.

На вхід приладу, який підлягає повірці, подається напруга, яка по формі близька до гармонічної, з коефіцієнтом гармонік, який не перевершує 0,01 %. Така напруга формується або спеціальним вимірювальним генератором, або установкою для повірки вимірювачів нелінійних спотворень.

За допомогою коефіцієнта нелінійних спотворень, який виміряний калібруємим приладом, оцінюються власні нелінійні спотворення в приладі, а також рівень шумів і фону.

# Визначення основної похибки вимірювання коефіцієнта нелінійних спотворень

здійснюється шляхом вимірювання приладом каліброваного коефіцієнта нелінійних спотворень (або коефіцієнта гармонік), який відтворюється за допомогою еталонів.

Основну абсолютну похибку вимірювання визначають як різницю між показами приладу, який підлягає повірці, і дійсним його значенням, яке встановлене на еталоні, в відсотках.



# **ПИТАННЯ ІV**

## **ЕТАЛОНИ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ**

### **ДЛЯ ПОВІРКИ ВИМІРЮВАЧІВ НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ**

## **В стандарті в якості типових засобів повірки рекомендовані:**

**низькочастотний генератор ГЗ-102,  
генератор сигналів Г4-117,  
електронний вольтметр Ф584,  
установка для калібрування вольтметрів В1-8,  
електронно-променеви́й осцилограф С1-69,  
аналізатори спектру С4-25 (С4-53).**

**Крім цих засобів, рекомендується  
використовування спеціальних установок для  
калібрування вимірювачів нелінійних спотворень  
типів СК6-10, ГИС-3 і ГИС-2Б.**

## **Установка СК6-10 дозволяє :**

**відтворювати значення коефіцієнта гармонік в межах 0,03 - 100 % з основною абсолютною похибкою  $\pm(3 \cdot 10^{-2} \text{ КГ} + 0,06)\%$  в діапазоні значень коефіцієнта КГ від 0,3 до 30 % і**

## **Установка ГИС-3 (перетворювач сигналу) відтворює :**

**коефіцієнт нелінійних спотворень в межах від 1 до 70 % в нормальному діапазоні частот від 200 Гц до 50 кГц і в розширених – від 20 до 200 Гц і від 50 до 200 кГц ;**

**Установка ГИС-2Б це - сукупність двох низькочастотних вимірювальних генераторів, яка дозволяє шляхом підсумовування двох коливань одержати дигармонічний сигнал, у якого задаються співвідношення гармонік. Стандарт допускає застосовувати, при проведенні перевірки, інші зразкові засоби вимірювань, які мають метрологічні характеристики не гірші, ніж рекомендовані вище прилади.**