

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА**

**ФАКУЛЬТЕТ
ВІЙСЬКОВОЇ ПІДГОТОВКИ**

**КАФЕДРА
ВІЙСЬКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
ПІДГОТОВКИ**

ПРЕДМЕТ
“ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВІЙСЬКОВИХ
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ”

ТЕМА № 9
ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
МОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ

ЗАНЯТТЯ № 1
ВИМІРЮВАЧІ ПАРАМЕТРІВ
МОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ І
МЕТОДИ ЇХ КАЛІБРУВАННЯ

НАВЧАЛЬНА МЕТА:

- 1. Вивчити методи вимірювань модульованих сигналів.**
- 2. Вивчити принцип роботи приладів для вимірювання модульованих сигналів.**
- 3. Вивчити порядок калібрування приладів для вимірювання модульованих сигналів.**

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. Методи вимірювань параметрів амплітудно - модульованих (АМ) сигналів.**
- 2. Вимірювання глибини амплітудної модуляції.**
- 3. Структурна схема модулометра, принцип роботи і джерела похибок вимірювань.**
- 4. Еталони і методи перевірки модулометрів.**

ПИТАННЯ 1

МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ ПАРАМЕТРІВ АМПЛІТУДНО- МОДУЛЬОВАНИХ (АМ) СИГНАЛІВ

Модуляцією називається фізичний процес перетворення несучого сигналу, при якому один з параметрів його змінюється згідно з зміною закону інформативного сигналу. Несучий сигнал, параметр якого зазнає змін, називають модульованим, а сигнал у відповідності з законом зміни якого здійснюють модуляцію – модулюючим.

Розглянемо найбільш характерний випадок, коли в якості несучого використовують синусоїдальний сигнал виду

$$U(t) = U_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = U_0 \sin \Phi(t) \quad (1)$$

де U_0 – амплітуда сигналу;

ω_0 – кругова частота сигналу;

φ_0 і Φ – відповідно початкова і поточна фази сигналу.

В залежності від того, який параметр даного сигналу зазнає зміни, розрізняють наступні види модуляції:

- амплітудну, при якій утворюється амплітудно - модульований сигнал (АМ сигнал);**
- частотну (ЧМ сигнал);**
- фазову (ФМ сигнал).**

Модуляцію двох останніх видів завдяки існуючому тісному зв'язку між ними часто об'єднують під єдиним терміном «кутова модуляція».

Модульовані сигнали як єдиний можливий носій інформації дістали широкого розповсюдження в радіоелектроніці і інших галузях науки і техніки. АМ сигнали застосовують в радіомовленні і інших радіоелектронних пристроях. Сигнали з кутовою модуляцією використовують в системах зв'язку, телебаченні, радіонавігації, системах телекерування і ін.

В основі роботи приладів для вимірювання параметрів амплітудно - модульованих сигналів є метод демодуляції сигналу, яка здійснюється на проміжній частоті і завдяки якій виділяється сигнал, що відповідає закону модуляції.

Крім описаного вище методу, який заснований на демодуляції сигналу, застосовуються і інші, які використовують різні властивості модульованих сигналів або методи їх спеціальної обробки.

Наприклад, для визначення коефіцієнта амплітудної модуляції можуть бути застосовані осцилограф або аналізатор спектру. Ці методи аналізу АМ сигналів достатньо прості в плані реалізації і застосовуються для якісної оцінки параметра.

Існує ряд методів вимірювання параметрів ЧМ сигналів, які дістали широкого застосування в метрологічній практиці.

Спектральні методи засновані на властивостях спектрального розкладення ЧМ сигналів. Даний метод в технічній літературі дістав назву методу „нулів функції Бесселя”. При реалізації даного методу значення модулюючої частоти F як правило буває відоме або може бути виміряне ЕЛЧ з достатньо високою точністю.

Метод вимірювання девіації частоти за допомогою електронно-лічильного частотоміра полягає в перетворюванні ЧМ сигналу в сигнал проміжної частоти значення якої вибирається близьким до нуля..

Осцилографічний метод вимірювання частоти полягає в перетворюванні ЧМ сигналу в сигнал проміжної частоти, при чому частота сигналу гетеродина $f_{Г}$ встановлюється близькою до значення $f + \Delta f$ або $f - \Delta f$, де f – несуча частота ЧМ сигналу. При осцилографуванні сигналу проміжної частоти на екрані осцилографа спостерігається фігура з горизонтальною ділянкою, що свідчить про виконання рівності

ПИТАННЯ 2

ВИМІРЮВАННЯ ГЛИБИНИ МОДУЛЯЦІЇ

Якщо позначити модулюючий сигнал у вигляді функції $m(t)$, то при амплітудній модуляції

$$U = U_0 + bm(t) \quad (2)$$

де b – постійний коефіцієнт, який визначає рівень модуляції.

Амплітудно-модульований сигнал за період модуляції T має максимальне U_{\max} і мінімальне U_{\min} значення амплітуди коливання (відповідно це – максимальне і мінімальне значення обвідної сигналу). Величини M_B і M_H , %, відповідно дорівнюють

$$M_B = \frac{U_{\max} - U_m}{U_m} \cdot 100 = \frac{\Delta U_{\max}}{U_m} \cdot 100 \quad M_H = \frac{U_{\min} - U_m}{U_m} \cdot 100 = \frac{\Delta U_{\min}}{U_m} \cdot 100 \quad (3)$$

де U_m – середнє значення амплітуди модульованого сигналу за період модулюючої функції, де Ω – кругова частота гармонічного модулюючого сигналу. Ці коефіцієнти дістали назву коефіцієнтів модуляції „вверх” (МВ) і „вниз” (МН).

Якщо модуляція здійснюється гармонічним сигналом, можна говорити про рівність цих коефіцієнтів. При частотній модуляції зміні у відповідності з законом $m(t)$ зазнає несуча частота сигналу, тобто

У випадку модуляції гармонічним сигналом має місце

де Δf – максимальне відхилення частоти модульованого сигналу від середнього значення f_0 , яке відповідає амплітуді модулюючого сигналу m .

Величина Δf називається девіацією частоти. Якщо розглядати кругову частоту, тоді одержимо.

Найбільш повну оцінку властивостей ЧМ-коливань можна здійснити, якщо використовувати індекс частотної модуляції:

$$m_f = \frac{\Delta f_{\max}}{F}, \quad (4)$$

де Δf_{\max} - максимальне відхилення частоти, або девіація частоти, яка пропорційна амплітуді модулюючої напруги;

F – частота модулюючої напруги.

Тому індекс частотної модуляції можна визначити як відношення девіації частоти до частоти модуляції.

При складному характері модулюючої напруги індекс частотної модуляції визначається як величина $\Delta f_{\text{вв}}$ (девіація ввєрх) і $\Delta f_{\text{вн}}$ (девіація вниз)

$$mf_{\text{вв}} = \Delta f_{\text{вв}} / F \qquad mf_{\text{вн}} = \Delta f_{\text{вн}} / F \qquad (5)$$

Висновок. Т.ч. в матеріалі питання розглянуто принцип вимірювання глибини АМ і ЧМ.

ПИТАННЯ 3

**СТРУКТУРНА СХЕМА
МОДУЛОМЕТРА, ПРИНЦИП
РОБОТИ І ДЖЕРЕЛА
ПОХИБОК ВИМІРЮВАНЬ**

Одною з основних тенденцій розвитку радіоелектронних систем, які використовують модульовані сигнали, це неперервне вдосконалення їх якісних показників. Головними з них крім вимірювання рівня модуляції вважаються високоякісна демодуляція сигналу, тобто виділення закону модуляції, оцінка похибки вимірювань. В сучасній апаратурі вимоги до роздільної здатності і похибки вимірювань параметрів модульованих сигналів складає від 0,1 до одиниць процентів.

Найбільш повно перераховані задачі вирішують спеціальні засоби вимірювань – вимірювачі модуляції, які класифікуються на наступні види :
вимірювачі коефіцієнта амплітудної модуляції (С2);
вимірювачі девіації частоти (С3).

Комбіновані вимірювачі модуляції (СКЗ), які суміщають дві попередні функції.

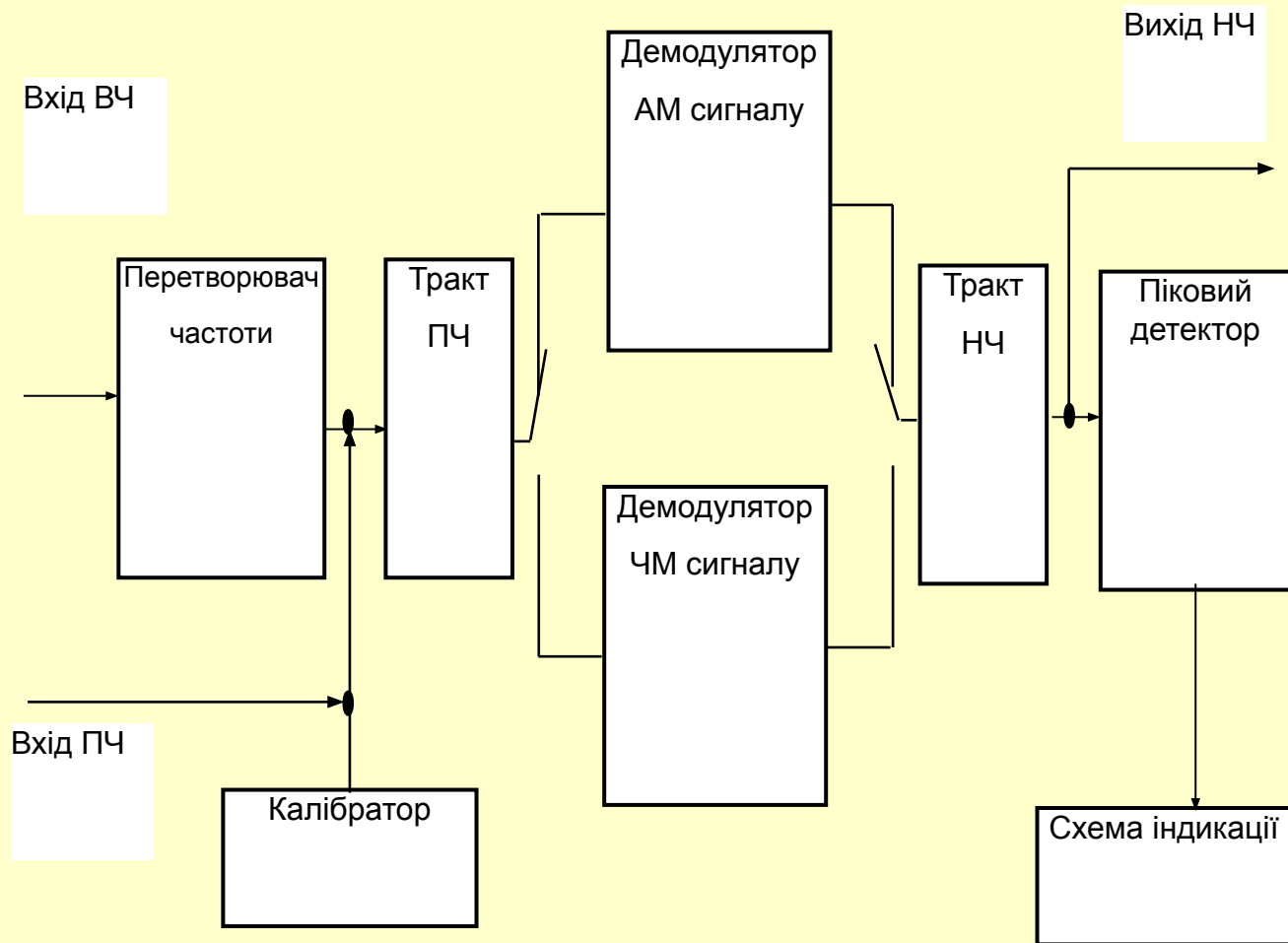


Рис.1. Структурна схема вимірювача модуляції

В основі роботи приладу полягає метод демодуляції сигналу, яка здійснюється на проміжній частоті і завдяки якій виділяється сигнал, що відповідає закону модуляції.

Демодуляція (в залежності від вигляду сигналу) здійснюється за допомогою амплітудних або частотних (фазових) детекторів.

Демодулятор АМ сигналу, крім основної функції виконує ще також функцію первинного перетворювача в системі автоматичної стабілізації середнього рівня несучого сигналу U_m , що спрощує процес вимірювання коефіцієнта модуляції.

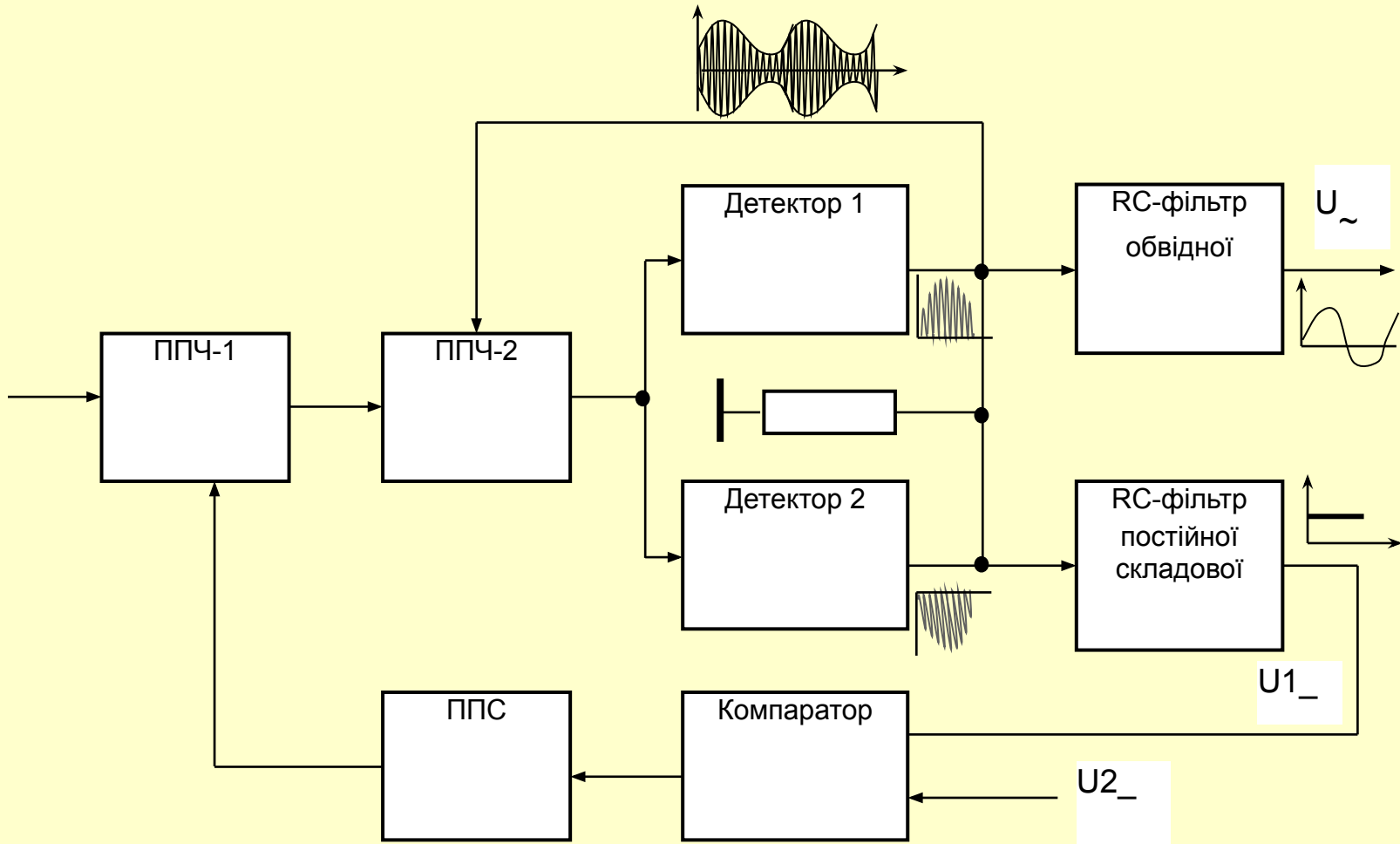


Рис. 2. Структурна схема демодулятора

До складу демодулятора входять два діодних детектори (1 і 2), протилежних полярностей, які працюють на окремі без'ємнісні навантаження, сигнали з яких у вигляді напівхвиль несучої частоти подаються на інтегруючі RC-фільтри для виділення постійної і змінної складових обвідної.

Змінна складова (обвідна) поступає для подальшої обробки в тракт НЧ, а постійна через компаратор і ППЧ керує коефіцієнтом підсилення ППЧ-1 для стабілізації рівня несучого сигналу.

Крім того, обидва детектори працюють на загальне без'ємнісне навантаження, на якому відновлюється сигнал несучої частоти. Відновлений сигнал подається на ППЧ-2, в результаті чого останній стає охоплений від'ємним зворотним зв'язком через демодулятор, що забезпечує зниження рівня спотворень при демодуляції.

Подальша обробка виділеного сигналу обвідної в тракті НЧ полягає в його фільтрації і вимірюванні пікового значення (при законі обвідної, близькому до гармонічного, - амплітудного значення) додатної і від'ємної напівхвиль обвідної.

В якості демодуляторів сигналів з кутовою (частотною) модуляцією у вимірювачах модуляції використовують частотні детектори на розстроєних контурах, імпульсні частотні детектори і інші.

Імпульсні частотні детектори відрізняються високою лінійністю перетворення і застосовуються у вимірювачах модуляції, які призначені для точних вимірювань.

В основі роботи детектора полягає принцип перетворення ЧМ сигналу в послідовність відеоімпульсів з заданими амплітудою і тривалістю, частота яких відповідає закону модуляції. Таким чином ЧМ сигнал перетворюється в сигнал з частотно-імпульсною модуляцією. З одержаного імпульсного сигналу після амплітудного детектування виділяються постійна і змінна складові. Постійна складова використовується як сигнал зворотного зв'язку, змінна складова (обвідна) фільтрується і поступає в тракт НЧ для обробки і визначення девіації частоти.

Модульовані сигнали ніколи не існують в чистому вигляді, а характеризуються наявністю випадкової (шумової або паразитної) амплітудної і кутової модуляцій. Крім того, в більшості випадків в залежності від методу і умов формування вони володіють супутньою модуляцією по іншому параметру (АМ сигнали мають супутню кутову модуляцію; ЧМ сигнали – супутню амплітудну модуляцію). Наприклад, при частотній модуляції сигналу клістронного генератора з частотою F виникає амплітудна модуляція з частотою парних гармонік модулюючого сигналу ($2F$, $4F$ і т.д.). Наявність супутньої модуляції є небажаним явищем, яке спотворює при прийомі та обробці інформативний сигнал, що вимушує при вимірюваннях параметрів модульованих сигналів застосовувати заходи щодо її подавлення.

ПИТАННЯ 4

ЕТАЛОНИ І МЕТОДИ ПОВІРКИ ВИМІРЮВАЧІВ МОДУЛЯЦІЇ

Нормативними документами на методи і засоби повірки вимірювачів модуляції регламентовані методи прямих вимірювань, які засновані на використуванні зразкової апаратури К2-34, К2-38 і К2-44.

Установка К2-34 призначена для визначення метрологічних характеристик вимірювачів модуляції в режимі вимірювання параметрів АМ сигналу:

- похибки вимірювання коефіцієнта модуляції;**
- коефіцієнта гармонік, який вноситься трактом повіряемого приладу в обвідну АМ сигналу.**

До складу установки К2-34 входять формувач АМ сигналів, генератор модулюючої напруги і перетворювач частоти. Принцип дії установки полягає в формуванні АМ сигналу з каліброваним значенням коефіцієнта модуляції на фіксованих несучих частотах.

Установка К2-38 призначена для визначення метрологічних характеристик вимірювачів модуляції в режимі вимірювання параметрів ЧМ сигналів:

- похибки вимірювання девіації частоти;**
- коефіцієнта гармонік, який вноситься трактом повітряного приладу в обвідну ЧМ сигналу;**
- рівня частотного шуму тракту вимірювача модуляції.**

Повірка девіометрів здійснюється в відповідності з вимогами ГОСТ 8.396–80. Цей стандарт розповсюджується на девіометри і комбіновані вимірювачі модуляції в режимі вимірювання девіації частоти, які працюють в діапазоні частот 0,1-1000 МГц, діапазони модулюючих частот 0,02 – 200 кГц, при девіаціях частоти в межах 1-1000000 Гц.

В стандарті встановлені операції повірки, методика їх виконання, умови повірки, а також рекомендації по вибору зразкових і допоміжних засобів повірки.

Коротко розглянемо основні положення цього стандарту.

В процесі перевірки девіометрів виконується зовнішній огляд і опробування приладу, а також визначаються наступні технічні характеристики:

- чутливість;**
- похибка встановлення несучої частоти;**
- похибка вимірювання девіації частоти;**
- коефіцієнт гармонік обвідної зміни частоти при синусоїдальній модуляції сигналу, які вносяться девіометром;**
- коефіцієнт, який характеризує перехід в девіометрі, який підлягає калібруванню, амплітудної модуляції сигналу в частотну;**
- паразитна девіація частоти (рівні власного шуму);**
- амплітудно-частотна характеристика зовнішнього фільтра.**

Визначення чутливості девіометра здійснюється шляхом подачі на його вхід мінімального рівня ЧМ – сигналу, при якому забезпечується нормальна робота індикаторного пристрою. За дійсне значення цього рівня (напруги) приймається відрахована по генератору сигналів напруга з похибкою вимірювання не більше ± 25 %.

Визначення похибки встановлення несучої частоти здійснюється шляхом подачі на вхід девіометра синусоїдального сигналу від генератора з частотою, яка відповідає частоті настройки приладу, який підлягає калібруванню, фіксуючи по індикатору настройки момент настройки.

Відносна похибка встановлення частоти (в процентах) визначається за допомогою формули :

$$\delta_f = \frac{f_2 - f_1}{f_1} \cdot 100 \quad (7)$$

де f_1 – частота генератора, яка відраховується по його шкалі або за допомогою частотоміра;

f_2 - частота, яка встановлена по частоті калібруємого приладу.

Якщо калібруємий девіометр має цифровий індикатор частоти гетеродина, то гетеродин приладу настроюється на частоту f_3 , яка дорівнює сумі значень встановленої частоти настройки f_1 і проміжної частоти f_{np} (в відповідності з технічним описом).

Змінюючи частоту генератора f_1 здійснюють точну настройку приладу; при цьому абсолютна похибка встановлення частоти калібруємого девіометра може бути визначена за допомогою формули:

$$\Delta f = (f_3 - f_{np}) - f_1 \quad (8)$$

Вимірювання здійснюється на початку, середині і в кінці кожного діапазону.

Визначення похибки вимірювання девіації частоти здійснюється за допомогою калібратора - зразкової установки К2-38. Шляхом співставлення виміряного калібруємим приладом значення девіації з встановленим значенням визначається відносна похибка (в процентах)

$$\delta_{\Delta f} = \frac{\Delta f - \Delta f_0}{\Delta f_0} \cdot 100\% \quad (9)$$

де Δf - девіація частоти, яка виміряна повіреним приладом;

Δf_0 – каліброване значення девіації, встановлене на зразковій установці.

Основна похибка визначається на частоті модуляції 1 кГц на двох помітках максимального діапазону вимірювань (середина і кінець шкали) і в одній помітці (кінець шкали) інших діапазонів. Для приладів з цифровою індикацією похибка визначається не менш ніж при трьох показах встановленого діапазону вимірювань девіації частоти, включаючи мінімальне і максимальне значення.

Визначення коефіцієнта гармонік огибаючої зміни частоти, які вносить калібруємий прилад, здійснюється за допомогою установки К2 – 38, від якої на вхід калібруємого приладу подається ЧМ – сигнал з коефіцієнтом гармонік огибаючої, меншим, ніж $1/3$ від нормального значення. За допомогою аналізатора спектру або вимірювача нелінійних спотворень на виході девіометра здійснюється вимірювання дійсного значення коефіцієнта гармонік огибаючої. Вимірювання здійснюється при тих значеннях девіації і модулюючих частот, при якому він нормований.

Визначення коефіцієнта, який характеризує перехід в девіометрі амплітудної модуляції в частотну, здійснюється за допомогою апаратури К2–34 або СК2–15, яка дозволяє сформувати сигнал з амплітудною модуляцією, який подається на вхід девіометра. При коефіцієнті амплітудної модуляції сигналу, який дорівнює $M = 30 \%$, калібруємим приладом вимірюється девіація частоти $\Delta f_{\text{вим}}$.

Коефіцієнт переходу АМ в ЧМ (в герцах на процент) визначається за допомогою формули:

$$\xi = \Delta f_{\text{вим}} / 30 \quad (10)$$