

**МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ ЗВ'ЯЗКУ  
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С.ПОПОВА**

**Кафедра метрології, стандартизації та сертифікації**

**“Вимірювання у системах зв'язку”  
Модуль 2. Вимірювання характеристик каналів зв'язку  
і параметрів електричних кіл.**

для студентів

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
до виконання лабораторних робіт №5, №7

за напрямом вищої освіти

**0924 – Телекомунікації, 0907 – Радіотехніка**

**Затверджено  
методичною радою  
Академії зв'язку ім. О.С. Попова  
Протокол № 6 від 30.03.2010.**

Одеса – 2010

**Укладачі:**

**Лабораторна робота № 5**

**Никитенко Л.Т.**

**Жмурко Ю.В.**

**Лабораторна робота № 7**

**Никитенко Л.Т.**

**Жмурко Ю.В.**

У методичних вказівках до лабораторних робіт розглянуто існуючі методи вимірювання нелінійних спотворень. Показано основні нормативно-метрологічні характеристики досліджуваного вимірювача нелінійних спотворень, розрахунок коефіцієнта гармонік  $K_r$  та коефіцієнта нелінійних спотворень  $K_n$ . Розглянуто операції повірки (калібрування) вимірювачів нелінійних спотворень та методики їх виконання, способи обробки результатів вимірювань. Показано методику та оформлення результатів калібрування.

**Вказівки розраховані на студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання.**

**Схвалено  
на засіданні кафедри МСС  
та рекомендовано до друку  
Протокол № 4 від 21. 12 2009 р.**

## Загальна характеристика дисципліни

Дисципліна „Вимірювання у системах зв'язку ” (BC3) включена до стандартів освіти і забезпечує базову підготовку студентів напрямку 6.0924 “Телекомунікації” за спеціальностями: “Телекомунікаційні системи”, “Інформаційні мережі зв'язку”.

Дисципліна має 2,5 кредиту ECTS, модулів – 2, змістових модулів – 4, загальна кількість годин – 90, у тому числі: лекції – 34 год.; лабораторні заняття – 18 год.; самостійна робота та індивідуальна робота – 38 год.; вид контролю – залік.

Лабораторні роботи «Вимірювання нелінійних спотворень» та «Калібрування вимірювача нелінійних спотворень Сб-11» входить до складу залікового модуля 2.

### Структура залікового модуля 2

Змістовий модуль	Лекції (годин)	Заняття		Самостійна робота (у тому числі ІНДЗ)
		практичні	лабораторні	
Модуль 2: Вимірювання якісних характеристик каналів зв'язку та електричних кіл. (1,5 кредити; 54 год.)				
1. Дослідження електричних сигналів.	4		2	8
2. Методи спектрального аналізу сигналів каналів зв'язку.	4		2	7
3. Вимірювання амплітудно-частотних характеристик каналів зв'язку.	4		2	8
4. Вимірювання параметрів амплітудно-модульованих та частотно-модульованих сигналів.	4		2	7
Разом 2 модуль, год.	16		8	30

#### **Зміст змістових модулів (лекційних годин):**

**1.1. Дослідження електричних сигналів.** Часовий аналіз сигналів. Види осцилографічних розгортки. Синхронізація розгортки. Вимірювання параметрів досліджуваних сигналів. Особливості осцилографування наносекундних імпульсів і сигналів надвисоких частот. Застосування мікропроцесорів в осцилографіях. Цифрові запам'ятовуючі осцилографи. Перспективи розвитку засобів вимірювальної техніки для часового аналізу сигналів.

**1.2. Методи спектрального аналізу сигналів каналів зв'язку.** Аналогові аналізатори спектру. Аналізатори спектра на дисперсійних лініях затримки. Цифрові аналізатори спектру: аналізатор із стисненням масштабу часу, аналізатор з синтезатором частоти, керований мікропроцесором, мікропроцесорний аналізатор на основі швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Особливості спектрального аналізу випадкових процесів.

**1.3. Вимірювання амплітудно-частотних характеристик каналів зв'язку.** Аналогові автоматичні вимірювачі АЧХ. Мікропроцесорні вимірювачі АЧХ. Мікропроцесорний вимірювач АЧХ на основі синтезатора частоти.

**1.4. Вимірювання параметрів амплітудно-модульованих та частотно-модульованих сигналів.** Методи вимірювання для АМ сигналів: метод подвійного перетворення, осцилографічний метод; для ЧМ сигналів – метод частотного детектора, спектральний метод, метод вимірювання девіації частоти за допомогою частотоміра. Вимірювач девіації частоти. Вимірювання при імпульсній модуляції.

Таблиця 1 – Перелік лабораторних робіт модуля 2

	Тема	годин
1	Вимірювання параметрів інформаційних сигналів за допомогою осцилографа, метрологічне забезпечення.	4
2	Аналіз спектру сигналів	2
3	Вимірювання нелінійних спотворень	4
4	Вимірювання АЧХ каналів зв'язку	2
	Усього:	12

**Вхідні вимоги до вивчення даних лабораторних робіт:**

- **знати:** засоби вимірювальної техніки та їх класифікацію; вимірювання фізичної величини; статистичну обробку результатів вимірювань; похибки вимірювань параметрів сигналів.

- **уміти:** оброблювати результати вимірювань; обробляти прямі та непрямі вимірювання; визначати абсолютну та відносну похибку вимірювань.

**Вихідні знання та уміння з лабораторних робіт:**

В наслідок виконання лабораторної роботи студент повинен:

- **знати:** існуючі методи вимірювання нелінійних спотворень; види електричних кіл; основні метрологічні характеристики вимірювачів нелінійних спотворень; засвоїти основні метрологічні та експлуатаційні характеристики вимірювача нелінійних спотворень; методи обробки результатів вимірювання;

- **уміти:** провести випробування досліджуваного приладу на відповідність НТД та виконати обробку результатів випробування; вимірювати нелінійні спотворення, пов'язані з перетворенням синусоїдної напруги в сигнали трикутної й прямокутної форми.

## Лабораторна робота №5

### Вимірювання нелінійних спотворень

#### 1. Ціль роботи

1.1. Оволодіти методами дослідження нелінійних спотворень, що виникають у системах зв'язку.

1.2. Вивчити принцип дії вимірювача нелінійних спотворень Сб-11 й оволодіти професійними навичками вимірювання з його допомогою коефіцієнта нелінійних спотворень.

1.3. Вивчити, які метрологічні характеристики вимірювача нелінійних спотворень нормуються.

1.4. Вивчити структурну схему вимірювача нелінійних спотворень. Знати призначення її вузлів й основних регулювань.

#### 2. Ключові положення

Існуючі методи вимірювання нелінійних спотворень можна класифікувати за видами випробувального сигналу й за способом обробки вихідного, перетвореного сигналу.

За видом випробувального сигналу методи діляться на одночастотні, багаточастотні й статистичні. За способом обробки вихідного сигналу методи діляться на графоаналітичні, фільтрові й компенсаційні.

В одночастотних методах застосовується гармонійний сигнал, у двохчастотних застосовується сума двох гармонійних коливань, у багаточастотних методах застосовується сигнал, що є сумою трьох і більше гармонійних коливань, у статистичному методі застосовується шумовий випробувальний сигнал.

2.1. Електричні кола прийнято поділяти на лінійні, нелінійні й параметричні. До лінійних застосовуємо принцип суперпозиції, за яким частотний спектр відгуку на періодичний вплив не може містити компоненти, відсутні в частотному спектрі впливу.

У нелінійних і параметричних ланцюгах, при проходженні через них сигналу, в спектрі відгуку з'являються нові частотні компоненти, які відсутні в спектрі впливу. У цьому випадку говорять про нелінійне перетворення вхідного сигналу. Нелінійне перетворення сигналу може бути корисним ефектом, наприклад, при детектуванні, а може бути небажаним явищем, наприклад, у підсилювачах, і в цьому випадку говорять про нелінійні перетворення вхідного сигналу.

2.2. Існують елементи кіл, що створюють значний нелінійний ефект – це електронні лампи, транзистори, котушки із осердям й багато інших елементів. Величина нелінійного ефекту в ланцюгах з такими елементами дуже залежить від амплітуди вхідного сигналу. Чим вона менше, тим менше нелінійний ефект. Тому нелінійні перетворення повинні вимірюватися при певній (заданій) амплітуді сигналу.

2.3. Нелінійні спотворення сигналу залежать від його форми. Сигнал прямокутної форми, миттєве значення якого можуть приймати тільки одне із двох значень, взагалі не спотворюється безінерційним (без реактивних елемен-

тив) нелінійним колом. Сигнал трапецієвидної форми буде спотворюватися тим сильніше, чим він більше відрізнятиметься від прямокутного, тобто чим більш пологі в нього похилі ділянки. Із цього погляду сигнал трикутної форми є найбільш уразливим для нелінійних спотворень.

2.4. Нелінійні кола, що не містять накопичувачів енергії, наближено можуть розглядатися як безінерційні, і при цьому нелінійні спотворення не залежать від частоти вхідного сигналу. Якщо ланцюги містять реактивні елементи, особливо конденсатори, то нелінійні спотворення залежать від частоти й збільшуються з ростом частоти.

2.5. Реактивні елементи кола створюють нерівномірність амплітудно-частотної характеристики кола і внаслідок цього можуть впливати на нелінійні спотворення. Враховуючи вплив частотних властивостей кола на нелінійні спотворення, варто визнати, що гармонічний випробувальний сигнал має переваги перед будь-якими іншими, тому що є єдиним, на форму якого не впливають частотні властивості кола.

2.6. На практиці виникає необхідність порівнювати різні електричні кола за величиною виникаючих у них нелінійних спотворень із метою встановлення, яке коло краще або гірше. Це можна зробити в тому випадку, коли нелінійні спотворення оцінюються одним числом, що одержало назву коефіцієнта нелінійних спотворень. Можуть бути й інші способи оцінки нелінійних спотворень, наприклад, за амплітудною характеристикою або дво і тричастотні методи виміру нелінійних спотворень, які в даній лабораторній роботі не розглядаються.

2.7. Вимірювальні прилади, що використовуються для оцінки нелінійних спотворень, призначені для виміру коефіцієнта гармонік  $K_{\Gamma}$ . Він являє собою відношення середньоквадратичного значення всіх гармонік напруги (або струму) перетвореного сигналу, крім першої, до середньоквадратичного значення напруги (або струму) першої гармоніки:

$$K_{\Gamma} = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} / U_1 \quad (2.1)$$

На практиці виділення основної гармоніки викликає деякі труднощі й тому зручніше вимірювати коефіцієнт нелінійних спотворень  $K_{\text{н}}$ . Цей вимір заснований на методі придушення основної частоти. Вимір зводиться до порівняння середньоквадратичного значення напруги перетвореного сигналу зі середньоквадратичним значенням напруги всіх вищих гармонік, починаючи із другої, наявних у перетвореному сигналі.

$$K_{\text{н}} = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} / \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} \quad (2.2)$$

При величині коефіцієнта нелінійних спотворень (КНС) до 10% різниця між  $K_{\text{н}}$  і  $K_{\Gamma}$  менше 1% і відлік КНС варто робити безпосередньо за показниками вимірювального приладу. При величині КНС більше 10% для визначення дійсного значення  $K_{\Gamma}$  варто використати формулу:

$$K_{\Gamma} = K_{\text{н}} / \sqrt{1 - K_{\text{н}}^2} \quad (2.3)$$

2.8. При розгляді електричних коливань вимірюваних генераторами сигналу синусоїдної форми, можна, з відомим ступенем допущення, вважати ці коливання моногармонічними. У дійсності ці коливання є полігармонічними, і спектри таких сигналів ідеального гармонічного й реального гармонічного наведені на рис. 2.1,а й 2.1,б відповідно.

Всі складові спектра сигналу, наведені на рис. 2.1,б, на частотах, відмінних від  $f_1$ , являють собою побічні продукти, через які сигнал відрізняється від моногармонічного.

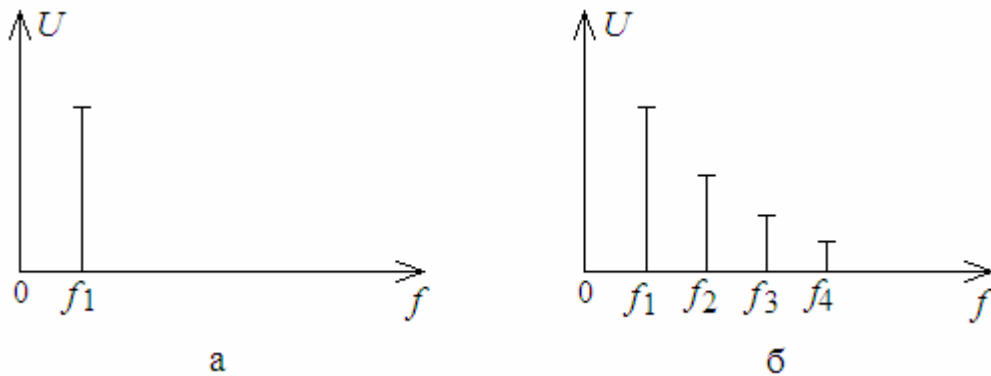


Рисунок 2.1 – Спектри гармонічного коливання:  
а – ідеального; б – реального.

Ступінь відхилення сигналу від ідеальної гармонічної форми описують часткою сумарної інтенсивності побічних продуктів стосовно інтенсивності основної складової. Чим вище інтенсивність побічних продуктів на частотах  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  і т.д., тим більші нелінійні спотворення, що виникають у вимірювальному генераторі, які прийнято оцінювати коефіцієнтом нелінійних спотворень.

2.9. Гармонічний сигнал, проходячи через нелінійні ланцюги, може приймати різноманітну форму, наприклад, трикутну або прямокутну (рис. 2.2).

Спектри цих сигналів записуються в аналітичній формі в такий спосіб:

$$U(t)_{\text{тр}} = \frac{8}{\pi^2} U_m \left( \sin \omega_1 t - \frac{1}{3^2} \sin 3\omega_1 t + \frac{1}{5^2} \sin 5\omega_1 t - \dots \right); \quad (2.4)$$

$$U(t)_{\text{пр}} = \frac{4}{\pi} U_m \left( \sin \omega_1 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_1 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_1 t + \dots \right). \quad (2.5)$$

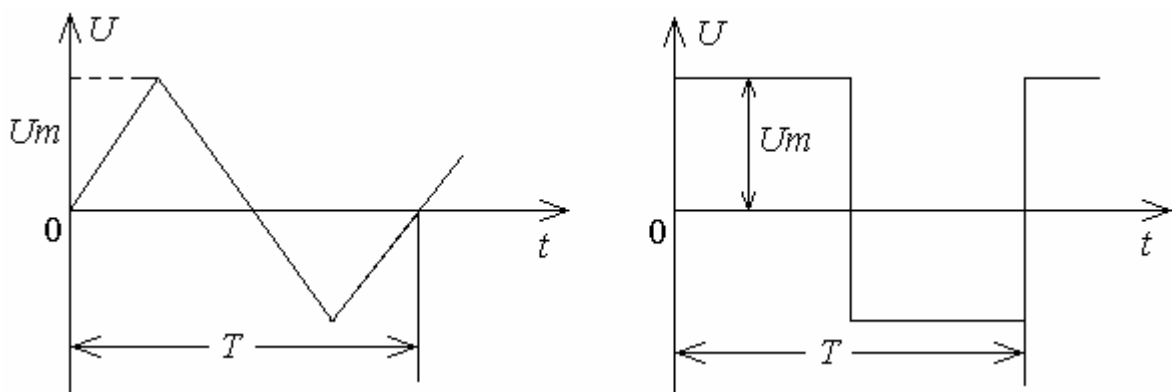


Рисунок 2.2 – Приклади полігармонічних сигналів.

2.10. Часто якість пристроїв відносно спотворень при перетворенні гармонічного сигналу оцінюють коефіцієнтом  $K_{\Gamma}$  за другою, третьою й т.д. гармоніками:

$$\hat{E}_{\bar{A}2} = \frac{U_2}{U_1}; \hat{E}_{\bar{A}3} = \frac{U_3}{U_1}; \hat{E}_{\bar{A}n} = \frac{U_n}{U_1}. \quad (2.6)$$

З урахуванням коефіцієнтів (2.6) вираз (2.1) можна представити у виді:

$$\hat{E}_{\bar{A}} = \sqrt{\sum_{i=2}^n \hat{E}_{\bar{A}i}^2}. \quad (2.7)$$

Зміна відносної похибки обчислення  $K_{\Gamma}$ , якщо замість  $(n+1)$  складових в (2.7) прийнято до увагу тільки  $n$ , знаходять за формулою:

$$\frac{\Delta \hat{E}_{\bar{A}}}{\hat{E}_{\bar{A}}} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{E}_{\bar{A}}^2 (n+1)}{\hat{E}_{\bar{A}}^2}. \quad (2.8)$$

2.11. При відсутності вимірювача нелінійних спотворень останні можна оцінити за допомогою аналізатора гармонік або селективного вольтметра. Для цього необхідно виміряти напругу кожної складової  $f$  у спектрі досліджуваного сигналу і потім визначити  $K_{\Gamma}$ . Такий спосіб вимагає значного часу на виконання вимірів, але дозволяє виміряти малі значення  $K_{\Gamma}$  і дозволяє судити про кожну складову сигналу.

2.12 Функційна (структурна) схема приладу для вимірювання  $K_{\Gamma}$  показана на рис. 2.3. При установці перемикача  $\Pi$  у положення ДО (калібрування) досліджуваний сигнал з виходу підсилювача, минаючи фільтр, надходить на квадратичний вольтметр, що вимірює середньоквадратичне значення всього спотвореного сигналу. У цьому положенні встановлюється завжди постійне для даного приладу калібрована напруга. Потім перемикач переводиться в положення В (вимір) і тепер досліджуваний сигнал надходить на вольтметр через режекторний фільтр. При відповідному налаштуванні фільтра майже повністю придушується перша гармоніка, а вищі гармоніки надходять на вольтметр. Порівнянням показання вольтметра в другому випадку з його показанням у першому випадку, визначають значення  $K_{\Gamma}$ .

Шкала вольтметра градується безпосередньо в одиницях коефіцієнта  $K_{\Gamma}$  на тій підставі, що перед виміром  $K_{\Gamma}$  щоразу вольтметр калібрується, тобто значення знаменника  $K_{\Gamma}$  (2.2) установлюється на калібровану оцінку відповідно до інструкції на використовуваний прилад. Показання вольтметра пропорційні  $K_{\Gamma}$ , тобто виробляється прямий відлік вимірюваного коефіцієнта.

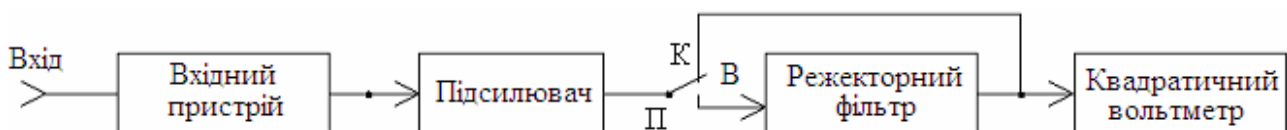


Рисунок 2.3 – Структурна схема вимірювача нелінійних спотворень



2.13. Працездатність досліджуваного вимірювача нелінійних спотворень (ВНС) перевіряють відповідно до технічної документації, вимірюючи коефіцієнт  $K_n$  сигналу зовнішнього низькочастотного вимірювального генератора сигналів на одній з частот кожного піддіапазону ВНС.

2.14. Основні метрологічні характеристики вимірювачів нелінійних спотворень:

- діапазон вимірюваного параметра  $K_{Г\text{мін}} \dots K_{Г\text{макс}}$ ;
- діапазон вимірюваних параметрів (основної частоти  $F$  і середньоквадратичного значення вхідної напруги);
- характеристики вхідного кола (вхідний опір, вхідна ємність);
- основна похибка виміру КНС;
- додаткова похибка виміру КНС.

### 3. Ключові питання

3.1. З яких міркувань вибирають число гармонік при розрахунку  $K_{Г}$ ?

3.2. Чому коефіцієнт гармонік  $K_{Г}$  дуже грубо характеризує нелінійні властивості підсилювачів?

3.3. Чим коефіцієнт гармонік  $K_{Г}$  відрізняється від коефіцієнта нелінійних спотворень  $K_n$ ?

3.4. Чи можуть коливання, що мають різну форму, мати однаковий коефіцієнт  $K_{Г}$ ?

3.5. З яких міркувань обрана смуга пропускання підсилювача у вольтметрі вимірювача нелінійних спотворень?

3.6. Яка процедура виміру коефіцієнта нелінійних спотворень  $K_n$ ?

### 4. Домашнє завдання

4.1. Обчислити коефіцієнти гармонік для сигналів, показаних на рис. 2.2.

4.2. Відомі коефіцієнти  $\hat{E}_{\bar{A}_2} = N\delta$ ;  $\hat{E}_{\bar{A}_3} = \frac{N\delta}{5}$  чотириполюсника. Визначити повний коефіцієнт гармонік  $K_{Г}$ . ( $N\phi$  – ваш порядковий номер у груповому журналі)

4.3. Обчислити, наскільки зменшиться похибка обчислених вами за п.4.1 коефіцієнтів гармонік, якщо ви врахуєте черговий член ряду (див. п.2.10).

4.4. Намалюйте структурну схему вимірювача нелінійних спотворень, поясніть призначення вузлів.

4.5. Випишіть нормативно-метрологічні характеристики досліджуваного вимірювача нелінійних спотворень.


### 5. Лабораторне завдання

5.1. Ознайомтеся з устаткуванням на робочому місці й обговоріть з викладачем план виконання лабораторного завдання.

5.2. Перевірте працездатність досліджуваного вимірювача нелінійних спотворень. Для цього його необхідно включити, подати на вхід сигнал і виміряти його нелінійні спотворення.

5.3. Виміряйте нелінійні спотворення, пов'язані з перетворенням синусоїдної напруги в сигнали трикутної й прямокутної форми, отримані на виході генератора. Отримані дані внесіть у табл. 5.1. Вимірювання виконайте на 6 - 8 частотах (частоти задаються викладачем). Форму досліджуваних сигналів контролюйте за допомогою осцилографа.

Таблиця 5.1

Форма сигналу	Вимірювані частоти						
							
							
							

## 6. Протокол лабораторної роботи №...назва...

6.1. Мета експерименту.

6.2. Перелік використаної апаратури табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Найменування приладу	Тип	Заводський номер	Метрологічні характеристики		
			клас точності	діапазон вимірювання	діапазон частот

6.3. Схема вимірювання.

## 7. Література

1. Метрологія в галузі зв'язку. – Кн. 1./ [Коломієць Л.В., Козаченко М.Т. та ін.]. – Одеса: Стандарт, 2006.

2. Метрологія, стандартизація и измерения в технике связи./ [Б.П. Хромой, А.В. Кандинов и др.]. – М.: Радио и связь, 1986.

## Лабораторна робота №7

### Калібрування вимірювача нелінійних спотворень С6-11

#### 1. Мета роботи

1.1. Оволодіти методами і засобами калібрування вимірювачів нелінійних спотворень.

1.2. Оволодіти професійними навичками експериментального та теоретичного визначення придатності до експлуатації вимірювачів нелінійних спотворень.

#### 2. Ключові положення

2.1. Відповідно до ДСТУ 2681-94 засіб вимірювальної техніки (ЗВТ) – технічний пристрій, що застосовується для вимірювань, має нормовані метрологічні характеристики (НМХ), зберігає та відтворює одиницю вимірюваної фізичної величини.

Кожний ЗВТ, відповідно до технічної документацією, має міжповірочний інтервал, наприкінці якого повинен потрапити на повірку або калібрування. Ці операції ідентичні і різниця полягає в тому, що калібрування виконується для ЗВТ, які не підлягають державному метрологічному контролю.

Метрологічна атестація ЗВТ – дослідження ЗВТ з метою визначення їх метрологічних характеристик і встановлення придатності цих засобів до застосування.

Повірка засобів вимірювальної техніки – це встановлення придатності ЗВТ, на які поширюється державний метрологічний нагляд, до використання на основі результатів контролю їх метрологічних характеристик (МХ).

Калібрування ЗВТ – сукупність операцій, які виконуються з метою визначення і підтвердження дійсних значень метрологічних характеристик і придатності до використання ЗВТ, які не підлягають державному метрологічному контролю.

Для здійснення калібрування ЗВТ (або повірки ЗВТ) необхідно обрати еталон і метод калібрування. Вибір еталона визначається необхідним співвідношенням похибок робочого еталона та приладу, що повіряється (співвідношення 1:5).

Для ЗВТ нормують, звичайно, три групи метрологічних характеристик. Перша група описує властивості ЗВТ у нормальних умовах експлуатації; друга – вплив відхилень умов експлуатації від нормальних на характеристики першої групи; третя – динамічні властивості за рахунок змін вимірюваної величини або неінформативного параметра вхідного сигналу на похибку ЗВТ.

Основна похибка ЗВТ визначена у нормальних умовах експлуатації, а якщо ці умови відрізняються від нормальних, виникає додаткова похибка, яка також повинна бути врахованою. Іноді враховують варіацію показань – це зміна показань ЗВТ при вимірюванні однієї і тієї ж величини при підході до числової позначки, що відповідає цій величині, з боку більших або менших значень.

Вимірювальні прилади типу С6-11 призначені для вимірювання коефіцієнта гармонік, який характеризує величину нелінійних спотворень гармонічного сигналу:

$$K_{\Gamma} = \left( \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} / U_1 \right).$$

На практиці виділення основної гармоніки викликає деякі труднощі і тому зручніше вимірювати коефіцієнт нелінійних спотворень (КНС)  $K_H$  за формулою:

$$K_H = \left( \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} / \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \right).$$

При відліку  $K_H$  до величини 10%, різниця між дійсним значенням  $K_H$  і величиною  $K_{\Gamma}$  невелика і відлік коефіцієнта нелінійності слід проводити безпосередньо за показниками калібруємого С6-11. При відліку більше 10%, для визначення дійсного значення  $K_{\Gamma}$  слід використовувати наступну формулу:

$$K_{\Gamma} = \frac{K_H}{\sqrt{1 - \left( \frac{K_H}{100} \right)^2}}.$$

## 2.2. Метрологічні характеристики калібруємого вимірювача С6-11.

Вимірювач С6-11 автоматичний, призначений для вимірювання  $K_H$  від 0,03 до 30% в діапазоні частот від 20 Гц до 199,9 кГц.

Вмонтований в прилад вольтметр (цифровий) вимірює середньоквадратичне значення гармонічної напруги синусоїдної і спотвореної форми з  $K_H$  не більше 30% в діапазоні частот від 20 Гц до 1 МГц в межах від 0,0001 до 100 В.

Вмонтований в С6-11 електронно-лічильний частотомір дозволяє визначати частоту досліджуваного сигналу в межах від 20 Гц до 199,9 кГц в режимі вимірювання коефіцієнта гармонік.

При проведенні калібрування виконуються операції зовнішнього огляду, опробування, визначення основної похибки при вимірюванні напруги, визначення основної похибки при вимірюванні КНС, визначення діапазону вимірюваних частот і похибки частотоміра.

При проведенні калібрування рекомендовані наступні еталонні прилади:

– еталонна установка для перевірки вимірювачів нелінійних спотворень типу СК6-10, або за допомогою установки, показаної на рис. 2.1;

– установка для перевірки вольтметрів змінної напруги типу В1-16;

– високочастотний генератор сигналів;

– низькочастотний генератор сигналів;

– електронно-лічильний частотомір.

## 2.3. Калібрування необхідно виконувати в наступній послідовності:

– зовнішній огляд;

– опробування;

– визначення метрологічних характеристик.

2.3.1. При проведенні зовнішнього огляду необхідно перевірити роботу всіх органів керування (перемикачів і тумблерів). Вони повинні мати плавний хід і чітке фіксоване положення.

При опробуванні повинні бути виконані наступні операції:

- перевірка працездатності вмонтованого частотоміра;
- перевірка працездатності приладу при вимірюванні коефіцієнта гармонік;
- перевірка працездатності електронного вольтметра.

Перевірка працездатності частотоміра виконується при не на тиснених кнопках перемикача "РОД РОБОТЫ". Перевести тумблер на задній панелі приладу в положення "КОНТРОЛЬ 50 кГц". На табло частотоміра приладу повинно індиціюватися значення частоти 50 кГц.

Перевірка працездатності приладу в режимі вимірювання коефіцієнта гармонік виконується так:

- при відсутності сигналу на вході приладу необхідно натиснути кнопку "КГ" та "▼" перемикача "РОД РОБОТЫ". Потенціометром, виведеним на передню панель під шліц з надписом "▼", встановити стрілку приладу на поділку 8.

Несправні прилади бракують і направляють в ремонт.

2.3.2. Визначення метрологічних параметрів вольтметра приладу Сб-11.

а) Вимірювання основної (відносної) похибки проводити в наступній послідовності:

- установити за допомогою перемикача піддіапазонів вимірювань вольтметра приладу Сб-11 потрібний піддіапазон;

- установити кнопкою перемикачів „ЧАСТОТА, Hz” необхідне значення частоти, що дорівнює 1кГц вихідної напруги приладу;

- установити перемикачами „ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ”, „mV” і „МНОЖИТЕЛЬ” установки В1-16 на необхідну вхідну напругу;

- установити за допомогою ручок „УСТ.ВЫХ.НАПРЯЖ.” „ГРУБО” й „ТОЧНО” установки В1-16 покажчик вольтметра точно на потрібну позначку;

- зніміть відлік значення відносної похибки вольтметра приладу Сб-11 із цифрового табло установки. Значення приведеної похибки вольтметра визначається за формулою:

$$\gamma = \delta \frac{U_{\text{калібр}}}{U_{\text{гран}}},$$

де  $\delta$  – відлік з шкали установки;

$U_{\text{гран}}$  – граничне значення;

$U_{\text{калібр}}$  – напруга, що відповідає контрольованій точці.

Результати вимірювань і розрахунків записати в табл. 5.1

б) Визначення залежності похибки показань вольтметра, який калібрується, від частоти щодо показань на частоті (1 кГц) у робочих областях частот на частотах: 20; 30; 45 Гц; 1 кГц; 100 кГц; 1 МГц; 3 МГц; на верхніх границях під діапазонів: 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ, 1 В; 3 В.

Вимірювання проводяться в такому порядку:

- підключити гніздо „ВИХІД” установки В1-16 до вольтметра приладу С6-11. За допомогою перемикача піддіапазонів установити потрібне значення частоти.

- установити за допомогою ручок „УСТ.ВЫХ.НАПРЯЖ.” „ГРУБО” й „ТОЧНО” установки В1-16 показчик вольтметра приладу С6-11 як можна точніше на потрібну позначку.

- визначити значення відносної похибки за цифровим індикатором установки В1-16.

- розрахувати значення похибки вольтметра як алгебричну різницю між похибкою вольтметра на частоті 1 кГц (яка визначалася в попередньому пункті) і похибкою вольтметра в межах робочої області частот, визначеною за допомогою установки В1-16.

- значення похибок занести в табл. 5.2

Похибка зміни показань вольтметра приладу С6-11 не повинна перевищувати допустимих значень, указаних у технічній документації.

2.3.4. Визначення основної похибки при вимірюванні коефіцієнта гармонік виконується за допомогою установки, наведеної на рис 2.1.

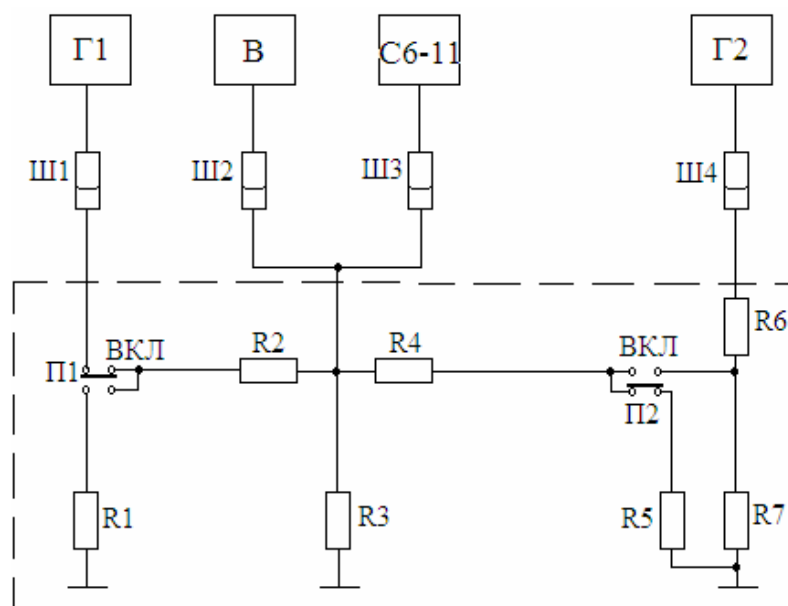


Рисунок 2.1 – Структурна схема установки для визначення основної похибки приладу при вимірюванні коефіцієнта гармонік

Генератор Г1 (низькочастотний генератор сигналів) є джерелом першої гармоніки.

Генератор Г2 (високочастотний генератор сигналів) є джерелом другої гармоніки.

Вольтметр може бути застосований середньоквадратичний.

Порядок роботи на установці наступний:

а) перемикач П2 встановити у положення „ВИКЛ”, П1 – в положення „ВКЛ”. і по вольтметру В встановити рівень першої гармоніки 1В;

б) перемикач П2 встановити в положення „ВКЛ”, а перемикач П1 – в положення „ВИКЛ”. і по вольтметру встановити рівень другої гармоніки  $U_{Г2}$  відповідно табл. 2.1, в залежності від заданого коефіцієнта гармонік  $K_{Г}$ .

Частота генератора Г2 повинна дорівнювати частоті другої гармоніки;

Таблиця 2.1

$U_{Г2}$ , мВ	0,3	1,0	6,0	90,0	250,0
$K_{Г}$ , %	0,03	0,1	0,6	9,0	25,0

в) перемикач П1 встановити в положення „ВКЛ”, виконати вимірювання встановленого коефіцієнта гармонік приладом С6-11.

2.3.5. Визначення діапазону вимірюваних частот та похибки частотоміру, виконується за схемою, показаною на рис. 2.2. Порівняння показів приладу С6-11 на табло "частота" з показами частотоміра ЧЗ-54 виконується на частотах 20; 199,9 Гц; 199,9 кГц.

Похибка вимірювання частоти ( $\Delta f$ ) визначається за формулою:

$$\Delta f = f_n - f_0, \quad (6)$$

де  $f_0$  – частота, виміряна частотоміром;

$f_n$  – частота, виміряна приладом С6-11.

Результати повірки задовільні, якщо похибка виміряної частоти не перевищує:

$\pm 0,02 f$  в діапазоні частот від 20 до 99,9 Гц;

$\pm 0,01 f$  в діапазоні частот від 100 Гц до 199,9 кГц,

де  $f$  – частота вхідного сигналу в герцах.

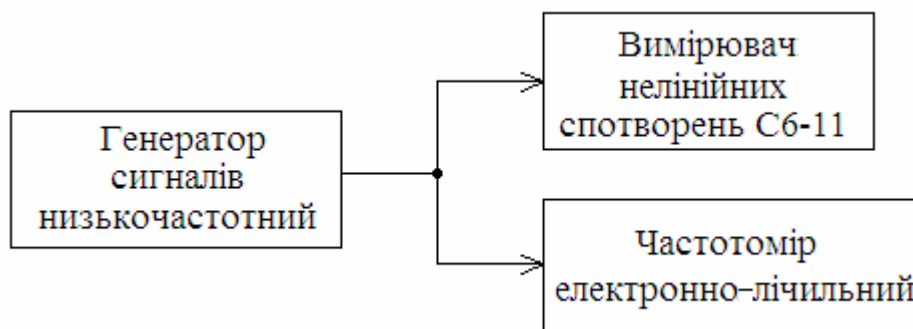


Рисунок 2.2 – Визначення діапазону вимірюваних частот та похибки частотоміру

2.4. Оформлення результатів калібрування.

Заповнення протоколу калібрування.

При позитивних результатах перевірки виконується таврування у відповідних місцях, вказаних в розділі „маркіровка і пломбування”.

Результати калібрування заносяться у формуляр, підтверджуються підписом повірителя та ставиться повірительне тавро.

Якщо прилад має негативний результат калібрування, то до застосування не допускається.

### 3. Ключові питання

3.1. Дайте визначення повірки ЗВТ.

3.2. Дайте визначення калібрування ЗВТ.

3.3. Дайте визначення метрологічної атестації ЗВТ.

3.4. Дайте визначення коефіцієнта гармонік і КНС.

3.5. Наведіть послідовність виконання повірки.

3.6. Повірка основних параметрів вольтметра приладу С6-11.

3.7. Повірка основних параметрів частотоміра приладу С6-11.

3.8. Повірка вимірювача нелінійних спотворень приладу С6-11.

### 4. Домашнє завдання

4.1. Вивчити основні положення, які стосуються повірки і калібрування вимірювача нелінійних спотворень С6-11.

4.2. Ознайомитись з роботою установки для повірки вольтметрів В1-16.

4.3. Визначити співвідношення похибок еталонної установки В1-16 і вольтметра приладу С6-11 на позначці шкали  $U$  на частоті  $f$  відповідно до варіанта завдання, виданого викладачем.

### 5. Лабораторне завдання

5.1. Підготувати еталонну установку В1-16 до роботи.

5.2. Визначити основну відносну похибку вимірювання напруги вольтметром приладу С6-11 на всіх числових позначках шкали (вказаною викладачем) на частоті 1кГц. Отримані дані занести у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Кінцеві значення шкали ( $U_K$ )	10 mV								300 mV			
Повіряєма позначка, мВ ( $U_0$ )	3	4	5	6	7	8	9	10	100	150	200	300
Показання вольтметра С6-11 мВ ( $U_{II}$ )												
Відносна похибка, тδ %												
Приведена похибка γ, %												

Основна похибка не повинна перевищувати припустимого значення наведеного в технічній документації С6-11 (див. технічний опис С6-11).



5.3. Дослідити залежність похибки показань калібруємого вольтметра від частоти й визначити зміну похибки щодо похибки на частоті 1кГц. Результати занести в табл. 5.2

Таблиця 5.2. Залежність похибки від частоти

Піддіпазон	Частота																
	20 Гц		30 Гц		45 Гц		1 кГц		10 кГц		55 кГц		100 кГц		1 МГц		
	Похибка, %	Зміна показань, %	Похибка, %	Зміна показань, %	Похибка, %	Зміна показань, %	Похибка, %	Зміна показань, %	Похибка, %	Зміна показань, %	Похибка, %	Зміна показань, %	Похибка, %	Зміна показань, %	Похибка, %	Зміна показань, %	
Задається ви- кладачем																	

Похибка змін показань не повинна перевищувати припустимих значень для калібруємого вольтметра.

5.4. Визначення основної похибки С6-11 в режимі вимірювання коефіцієнта гармонік.

Таблиця 5.3

Кінцеве значення шкали, % (K <sub>Гк</sub> )	Повіряєма позначка, % (K <sub>Г0</sub> )	Показники приладу С6-11 на частотах, % (K <sub>Ги</sub> )					
		20 Гц	60 Гц	200 Гц	20 кГц	60 кГц	200 кГц
0,3							
1							
10							
30							

Визначити (абсолютну) основну похибку вимірювання коефіцієнта гармонік  $\Delta K_{Г}$  в одиницях вимірюваної величини (в відсотках) за формулою:

$$\Delta K_{Г} = K_{Г1} - K_{Г0},$$

де  $K_{Г1}$  – дійсне значення коефіцієнта гармонік вимірюваного за допомогою С6-11;

$K_{Г0}$  – значення коефіцієнта гармонік у повіряємій точці, %.

5.5. Визначення діапазону вимірюваних частот і похибки частотоміру на чисельних позначках, наведених у табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Повіряємі позначки	Виміряні значення		Абсолютна похибка, $\Delta$	Відносна похибка, $\delta$ %	Допустимі значення похибки
	Сб-11	частотомір			
100 Гц					$\pm 1,9$ Гц
101 Гц					$\pm 1$ Гц
200 Гц					$\pm 1,9$ Гц
201 Гц					$\pm 2$ Гц
2 кГц					$\pm 0,019$ кГц
2,1 кГц					$\pm 0,02$ кГц
20 кГц					$\pm 0,19$ кГц
20,1 кГц					$\pm 0,2$ кГц
200 КГц					$\pm 1,99$ кГц

## 6. Протокол лабораторної роботи (№ ...назва...)

6.1. Мета експерименту.

6.2. Перелік використаних засобів вимірювальної техніки у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Основні характеристики ЗВТ

Найменування приладу	Тип	Заводський номер	Метрологічні характеристики		
			клас точності	діапазон вимірювання	частотний діапазон

6.3. Схеми вимірювання.

Тип приладу, який калібрується \_\_\_\_\_

Зовнішній огляд \_\_\_\_\_

Випробування \_\_\_\_\_

## Умови калібрування

Температура навколишнього середовища \_\_\_\_\_ °С

Відносна вологість повітря \_\_\_\_\_ %

Атмосферний тиск \_\_\_\_\_ мм рт.ст.

Час попереднього прогріву \_\_\_\_\_ хв.

Напруга мережі \_\_\_\_\_ В.

Частота напруги мережі \_\_\_\_\_ Гц.

Визначення основної похибки С6-11 в режимі вимірювання коефіцієнта гармонік.

Висновок: \_\_\_\_\_

**ВИЗНАЧЕННЯ ДІАПАЗОНУ ВИМІРЮВАНИХ ЧАСТОТ І ПОХИБКИ ЧАСТОТОМІРУ ПРИЛАДУ С6-11 НА ЧИСЕЛЬНИХ ПОЗНАЧКАХ**

Висновок: \_\_\_\_\_

Загальний висновок: \_\_\_\_\_

Калібрування виконане \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ р.

П.І.Б

Протокол перевірів: \_\_\_\_\_ (підпис)

## 7. Література

1. Коломієць Л.В., Козаченко М.Т. й ін. Вимірювання в системах зв'язку. Книга 1. Загальні радіовимірювання . - Одеса, ВМВ, 2009.
2. Хромой Б.П., Кандинов А.В. и др. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи. - М.: Радио и связь, 1986.

### Зміст:

Лабораторна робота №5 «Вимірювання нелінійних спотворень».....	4
Лабораторна робота №7 «Калібрування вимірювача нелінійних спотворень С6-11».....	12

## Лабораторная работа №5

### Измерение нелинейных искажений

#### 1. Цель работы

1.1. Овладеть методами исследования нелинейных искажений, возникающих в системах связи.

1.2. Изучить принцип действия измерителя нелинейных искажений С6-11 и овладеть профессиональными навыками измерения с его помощью коэффициента нелинейных искажений.

1.3. Изучить, какие метрологические характеристики измерителя нелинейных искажений нормируются.

1.4. Изучить структурную схему измерителя нелинейных искажений. Знать назначение её узлов и основных регулировок.

#### 2. Ключевые положения

Существующие методы измерения нелинейных искажений можно классифицировать по виду испытательного сигнала и по способу обработки выходного, искаженного сигнала.

По виду испытательного сигнала методы делятся на одночастотные, многочастотные и статистические. По способу обработки выходного сигнала методы делятся на графоаналитические, фильтровые и компенсационные.

В одночастотных методах применяется гармонический сигнал, в двухчастотных применяется сумма двух гармонических колебаний, в многочастотных методах применяется сигнал, представляющий сумму трёх и более гармонических колебаний, в статистическом методе применяется шумовой испытательный сигнал.

2.1. Электрические цепи принято делить на линейные, нелинейные и параметрические. К линейным применим принцип суперпозиции, по которому частотный спектр отклика на периодическое воздействие не может содержать компоненты, отсутствующие в частотном спектре воздействия.

В нелинейных и параметрических цепях, при прохождении через них сигнала, в спектре отклика появляются новые частотные компоненты, которые отсутствуют в спектре воздействия. В этом случае говорят о нелинейном преобразовании входного сигнала. Нелинейное преобразование сигнала может представлять полезный эффект, например при детектировании, а может быть нежелательным явлением, например, в усилителях, и в этом случае говорят о нелинейных искажениях входного сигнала.

2.2. Существуют элементы цепей, создающие значительный нелинейный эффект – это электронные лампы, транзисторы, катушки с сердечниками и многие другие элементы. Величина нелинейного эффекта в цепях с такими элементами сильно зависит от амплитуды входного сигнала. Чем она меньше, тем меньше нелинейный эффект. Поэтому нелинейные искажения должны измеряться при определенной (заданной) амплитуде сигнала.

2.3. Нелинейные искажения сигнала зависят от его формы. Сигнал прямоугольной формы, мгновенные значения которого могут принимать только одно из двух значений, вообще не искажается безынерционной (без реактивных элементов) нелинейной цепью. Сигнал трапецеидальной формы будет искажаться тем сильнее, чем он больше отличается от прямоугольного, т.е., чем более пологие у него наклонные участки. С этой точки зрения сигнал треугольной формы является наиболее уязвимым для нелинейных искажений.

2.4. Нелинейные цепи, не содержащие накопителей энергии, приближённо могут рассматриваться как безынерционные, и при этом нелинейные искажения не зависят от частоты входного сигнала. Если цепи содержат реактивные элементы, особенно конденсаторы, то нелинейные искажения зависят от частоты и увеличиваются с ростом частоты.

2.5. Реактивные элементы цепи создают неравномерность амплитудно-частотной характеристики цепи и вследствие этого могут влиять на нелинейные искажения. Учитывая влияние частотных свойств цепи на нелинейные искажения, следует признать, что гармонический испытательный сигнал имеет преимущества перед любыми другими, т.к. является единственным, на форму которого не влияют частотные свойства цепи.

2.6. На практике возникает необходимость сравнивать различные электрические цепи по величине возникающих в них нелинейных искажений с целью установления, какая цепь лучше или хуже. Это можно сделать в том случае, когда нелинейные искажения оцениваются одним числом, получившим название коэффициента нелинейных искажений. Могут быть и другие способы оценки нелинейных искажений, например, по амплитудной характеристике либо двух и трёхчастотные методы измерения нелинейных искажений, которые в данной лабораторной работе не рассматриваются.

2.7. Измерительные приборы, использующиеся для оценки нелинейных искажений, предназначены для измерения коэффициента гармоник  $K_G$ . Он представляет собой отношение среднеквадратического значения всех гармоник напряжения (или тока) искаженного сигнала, кроме первой, к среднеквадратическому значению напряжения (или тока) первой гармоники:

$$K_G = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} / U_1. \quad (2.1)$$

На практике выделение основной гармоники вызывает некоторые трудности и потому удобнее измерять коэффициент нелинейных искажений  $K_H$ . Это измерение основано на методе подавления основной частоты. Измерение сводится к сравнению среднеквадратического значения напряжения искаженного сигнала со среднеквадратическим значением напряжения всех высших гармоник, начиная со второй, имеющих в искаженном сигнале.

$$K_H = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} / \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}. \quad (2.2)$$

При величине коэффициента нелинейных искажений (КНИ) до 10% разница между  $K_H$  и  $K_G$  меньше 1% и отсчёт КНИ следует производить непосредственно по показаниям измерительного прибора. При величине КНИ больше

10% для определения действительного значения  $K_{\Gamma}$  следует использовать формулу:

$$K_{\Gamma} = K_{\text{H}} / \sqrt{1 - K_{\text{H}}^2}. \quad (2.3)$$

2.8. При рассмотрении электрических колебаний измеренных генераторами сигнала синусоидальной формы, можно, с известной степенью допущения, считать эти колебания моногармоническими. В действительности эти колебания являются полигармоническими, и спектры таких сигналов идеального гармонического и реального гармонического показаны на рис. 2.1,а и 2.1,б соответственно.

Все составляющие спектра сигнала, показан на рис. 2.1,б, на частотах, отличных от  $f_1$ , представляют побочные продукты, из-за которых сигнал отличается от моногармонического.

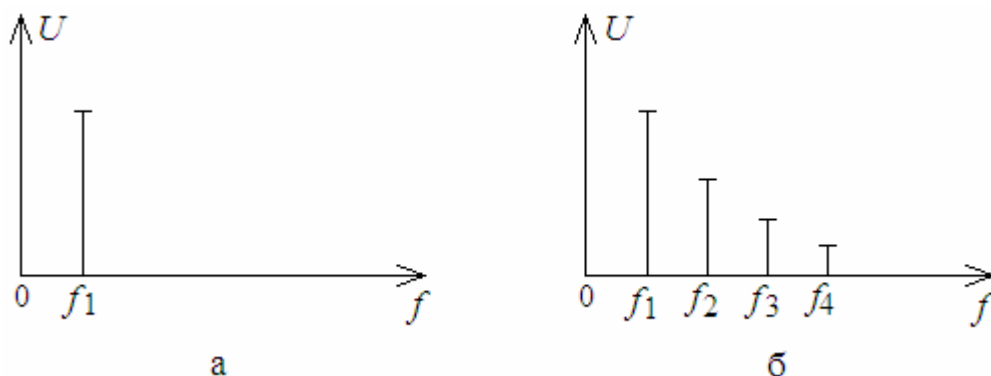


Рисунок 2.1 – Спектры гармонического колебания:  
а – идеального; б – реального

Степень отклонения сигнала от идеальной гармонической формы описывают долей суммарной интенсивности побочных продуктов по отношению к интенсивности основной составляющей. Чем выше интенсивность побочных продуктов на частотах  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  и т.д., тем больше нелинейные искажения, возникающие в измерительном генераторе, которые принято оценивать коэффициентом нелинейных искажений.

2.9. Гармонический сигнал, проходя через нелинейные цепи, может принимать разнообразную форму, например, треугольную или прямоугольную (рис. 2.2).

Спектры этих сигналов записываются в аналитической форме следующим образом:

$$U(t)_{\text{тр}} = \frac{8}{\pi^2} Um \left( \sin \omega_1 t - \frac{1}{3^2} \sin 3\omega_1 t + \frac{1}{5^2} \sin 5\omega_1 t - \dots \right); \quad (2.4)$$

$$U(t)_{\text{пр}} = \frac{4}{\pi} Um \left( \sin \omega_1 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_1 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_1 t + \dots \right). \quad (2.5)$$

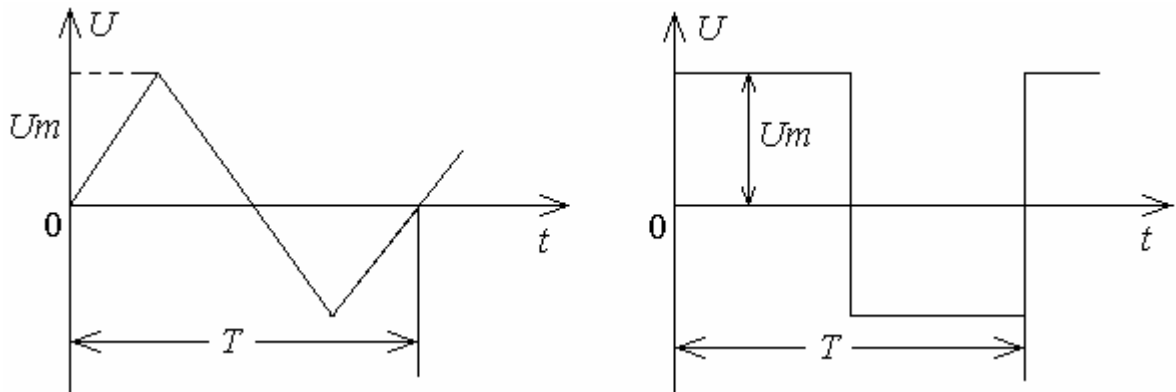


Рисунок 2.2 – Примеры полигармонических сигналов

2.10. Часто качество устройств в отношении искажений при преобразовании гармонического сигнала оценивают коэффициентом  $K_g$  по второй, третьей и т. д. гармоникам:

$$\hat{E}_{\bar{A}_2} = \frac{U_2}{U_1}; \hat{E}_{\bar{A}_3} = \frac{U_3}{U_1}; \hat{E}_{\bar{A}_n} = \frac{U_n}{U_1}. \quad (2.6)$$

С учётом коэффициентов (2.6) выражение (2.1) можно представить в виде:

$$\hat{E}_{\bar{A}} = \sqrt{\sum_{i=2}^n \hat{E}_{\bar{A}_i}^2}. \quad (2.7)$$

Изменение относительной погрешности вычисления  $K_g$ , если вместо  $(n+1)$  слагаемых в (2.7) принято во внимание только  $n$ , находят по формуле:

$$\frac{\Delta \hat{E}_{\bar{A}}}{\hat{E}_{\bar{A}}} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{E}_{\bar{A}}^2 (n+1)}{\hat{E}_{\bar{A}}^2}. \quad (2.8)$$

2.11. При отсутствии измерителя нелинейных искажений последние можно оценить с помощью одного из приборов избирательного типа, например, анализатора гармоник или селективного вольтметра. Для этого необходимо измерить напряжение каждой составляющей  $f$  в спектре исследуемого сигнала и затем определить  $K_g$ . Такой способ требует значительного времени на выполнение измерений, но зато позволяет измерить малые значения  $K_g$  и позволяет судить о каждой составляющей сигнала.

2.12. Функциональная (структурная) схема прибора для измерения  $K_n$  представлена на рис. 2.3. При установке переключателя  $\Pi$  в положение  $K$  (калибровка) исследуемый сигнал с выхода усилителя, минуя фильтр, поступает на квадратичный вольтметр, измеряющий среднеквадратическое значение всего искаженного сигнала. В этом положении устанавливается всегда постоянное для данного прибора калиброванное напряжение. Затем переключатель переводится в положение  $I$  (измерение) и теперь исследуемый сигнал поступает на вольтметр через режекторный фильтр. При соответствующей настройке фильтра почти полностью подавляется первая гармоника, а высшие гармоники по-

ступают на вольтметр. Сравнением показания вольтметра во втором случае с его показанием в первом случае, определяют значение  $K_n$ .

Шкала вольтметра градуируется непосредственно в единицах коэффициента  $K_n$  на том основании, что перед измерением  $K_n$  каждый раз вольтметр калибруется, т.е. значение знаменателя  $K_n$  (2.2) устанавливается на калибровочную отметку в соответствии с инструкцией на используемый прибор. Показания вольтметра пропорциональны  $K_n$ , т.е. производится прямой отсчёт измеряемого коэффициента.

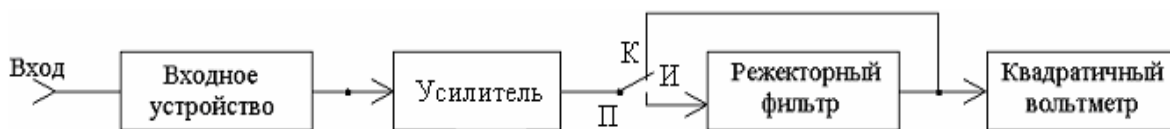


Рисунок 2.3 – Структурная схема измерителя нелинейных искажений.

2.13. Работоспособность изучаемого измерителя нелинейных искажений (ИНИ) проверяют в соответствии с технической документацией, измеряя коэффициент  $K_n$  сигнала внешнего низкочастотного измерительного генератора сигналов на одной из частот каждого поддиапазона ИНИ.

2.14. Основные метрологические характеристики измерителей нелинейных искажений:

- диапазон измеряемого параметра  $K_{Г\text{ мин}} \dots K_{Г\text{ макс}}$ ;
- диапазон измеряемых параметров (основной частоты  $F$  и среднеквадратического значения входного напряжения);
- характеристики входной цепи (входное сопротивление, входная ёмкость);
- основная погрешность измерения КНИ;
- дополнительная погрешность измерения КНИ.

### 3. Ключевые вопросы

3.1. Из каких соображений выбирают число гармоник при расчёте  $K_G$ ?

3.2. Почему коэффициент гармоник  $K_G$  очень грубо характеризует нелинейные свойства усилителей?

3.3. Чем коэффициент гармоник  $K_G$  отличается от коэффициента нелинейных искажений  $K_n$ ?

3.4. Могут ли колебания, имеющие различную форму, иметь одинаковый коэффициент  $K_G$ ?

3.5. Из каких соображений выбрана полоса пропускания усилителя в вольтметре измерителя нелинейных искажений?

3.6. Какова процедура измерения коэффициента нелинейных искажений  $K_n$ ?

### 4. Домашнее задание

4.1. Вычислите коэффициенты гармоник для сигналов представленных на рис. 2.2.



4.2. Известны коэффициенты  $K_{Г_2} = N\phi$ ;  $K_{Г_3} = \frac{N\phi}{5}$  четырёхполюсника. Определите полный коэффициент гармоник  $K_{Г}$ . ( $N\phi$  – Ваш порядковый номер в групповом журнале)

4.3. Вычислите, насколько уменьшится погрешность вычисленных Вами по п.4.1 коэффициентов гармоник, если Вы учтёте очередной член ряда (смотри п.2.10).

4.4. Нарисуйте структурную схему измерителя нелинейных искажений, поясните назначение узлов.

4.5. Выпишите нормативно-метрологические характеристики изучаемого измерителя нелинейных искажений.

### 5. Лабораторное задание

5.1. Ознакомьтесь с оборудованием на рабочем месте и обсудите с преподавателем план выполнения лабораторного задания.

5.2. Проверьте работоспособность изучаемого измерителя нелинейных искажений. Для этого его необходимо включить, подать на вход сигнал и измерить его нелинейные искажения.

5.3. Измерьте нелинейные искажения, связанные с преобразованием синусоидального напряжения в сигналы треугольной и прямоугольной формы, полученные на выходе генератора. Данные измеренные внесите в табл.5.1. Измерения выполните на 6 – 8 частотах (частоты задаются преподавателем). Форму исследуемых сигналов контролируйте с помощью осциллографа.

Таблица 5.1

Форма сигнала	Измеряемые частоты						
							
							
							

### 6. Протокол лабораторной работы № ...название...

6.1. Цель эксперимента.

6.2. Перечень используемой аппаратуры в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики		
			класс точности	диапазон измерения	диапазон частот

6.3. Схема измерения.

## 7. Литература

1. Метрологія в галузі зв'язку. – Кн. 1./ [Коломієць Л.В., Козаченко М.Т. та ін.]. – Одеса: Стандарт, 2006.
2. Метрологія, стандартизація і вимірювання в техніці зв'язи./ [Б.П. Хромой, А.В. Кандинов і др.]. – М.: Радио і зв'язь, 1986.

## Лабораторная работа №7

### Калибровка измерителя нелинейных искажений С6-11

#### 1. Цель работы

1.1. Овладеть методами и средствами калибровки измерителей нелинейных искажений.

1.2. Овладеть профессиональными навыками экспериментального и теоретического определения пригодности к эксплуатации измерителей нелинейных искажений.

#### 2. Ключевые положения

2.1. Соответственно ДСТУ 2681-94 средство измерительной техники (СИТ) – техническое устройство, которое применяется для измерений, имеет нормированные метрологические характеристики (НМХ), сохраняет и воссоздает единицу измеренной физической величины.

Каждое СИТ, соответственно с технической документацией, имеет межповерочный интервал, по окончании которого должен пройти поверку или калибровку. Эти операции идентичны и отличие заключается в том, что калибровка выполняется для СИТ, которые не подлежат государственному метрологическому контролю.

Метрологическая аттестация СИТ – исследование СИТ с целью определения их метрологических характеристик и установления пригодности этих средств к применению.

Поверка средств измерительной техники – это установление пригодности СИТ, на которые распространяется государственный метрологический надзор, к использованию на основе результатов контроля их метрологических характеристик (МХ).

Калибровка СИТ – совокупность операций, которые выполняются с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и пригодности к использованию СИТ, которые не подлежат государственному метрологическому контролю.

Для осуществления калибровки или поверки СИТ необходимо избрать эталон и метод поверки. Выбор эталона определяется необходимым соотношением погрешностей рабочего эталона и прибора, который поверяется (соотношение 1:5).

Для СИТ нормируют, обычно, три группы метрологических характеристик. Первая группа описывает свойства СИТ в нормальных условиях эксплуатации; вторая - влияние отклонений условий эксплуатации от нормальных на характеристики первой группы; третья - динамические свойства за счет изменений измеренной величины или неинформативного параметра входного сигнала на погрешность СИТ.

Основная погрешность СИТ определяется в нормальных условиях эксплуатации, а если эти условия отличаются от нормальных, возникает дополни-

тельная погрешность, которая также должна быть учтена. Иногда учитывают вариацию показаний - это изменение показаний СИТ при измерении одной и той же величины при подходе к числовой пометке, которая отвечает этой величине, со стороны больших или меньших значений.

Измерительные приборы типа Сб-11 предназначены для измерения коэффициента гармоник, который характеризует величину нелинейных искажений гармонического сигнала:

$$K_{\Gamma} = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} / U_1.$$

На практике выделение основной составляющей вызывает некоторые трудности и потому удобнее измерять коэффициент нелинейных искажений (КНИ)  $K_{\text{Н}}$  по формуле

$$K_{\text{Н}} = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} / \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}.$$

При отсчете  $K_{\text{Н}}$  до величины 10% разность между действительным значением  $K_{\text{Н}}$  и величиной  $K_{\Gamma}$  невелика и отсчет коэффициента нелинейности следует проводить непосредственно по показаниям Сб-11. При отсчете величины большей 10%, для определения действительного значения  $K_{\Gamma}$  следует использовать следующую формулу:

$$K_{\Gamma} = \frac{K_{\text{Н}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{K_{\text{Н}}}{100}\right)^2}}.$$

2.2. Измеритель Сб-11 автоматический, предназначен для измерения  $K_{\text{Н}}$  от 0,03 до 30% в диапазоне частот от 20 Гц до 199,9 кГц.

Вмонтированный в прибор вольтметр измеряет среднеквадратическое значение гармонического напряжения синусоидальной и искаженной формы с  $K_{\text{Н}}$  не более 30% в диапазоне частот от 20 Гц до 1 МГц в пределах от 0,0001 до 100 В.

Вмонтированный в Сб-11 электронно-счетный частотомер разрешает определять частоту исследуемого сигнала в пределах от 20 Гц до 199,9 кГц в режиме измерения коэффициента гармоник.

При проведении калибровки выполняются операции внешнего осмотра, опробования, определения основной погрешности при измерении напряжения, определения основной погрешности при измерении КНИ, определения диапазона измеряемых частот и погрешности частотомера.

При проведении калибровки рекомендуются следующие эталонные приборы:

- эталонная установка для поверки измерителей нелинейных искажений типа СК6-10 или установка, показанная на рис. 2.1;
- установка для поверки вольтметров переменного напряжения типа В1-16;
- высокочастотный генератор сигналов;

- низкочастотный генератор сигналов;
- электронно-счетный частотомер.

2.3. Калибровку необходимо выполнять в следующей последовательности:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение метрологических характеристик.

2.3.1. При проведении внешнего осмотра необходимо проверить работу всех органов управления (переключателей и тумблеров). Они должны иметь плавный ход и четкое фиксированное положение.

При опробовании должны быть выполнены следующие операции:

- проверка работоспособности вмонтированного частотомера;
- проверка работоспособности прибора при измерении коэффициента гармоник;
- проверка работоспособности электронного вольтметра.

Проверка работоспособности частотомера выполняется при ненажатых кнопках переключателя "РОД РАБОТЫ". При этом необходимо перевести тумблер на задней панели прибора в положение "КОНТРОЛЬ 50 кГц". На табло частотомера прибора С6-11 должно индицироваться значение частоты 50 кГц.

Проверка работоспособности прибора в режиме измерения коэффициента гармоник выполняется следующим образом:

- при отсутствии сигнала на входе прибора необходимо нажать кнопку "КГ" и "▼" переключателя "РОД РАБОТЫ". Потенциометром, выведенным на переднюю панель под шлиц с надписью "▼", установить стрелку прибора на деление 8.

Неисправные приборы бракуют и направляют в ремонт.

2.3.2. Определение метрологических параметров вольтметра прибора С6-11.

а) Измерение основной (относительной) погрешности необходимо проводить в следующей последовательности:

- установите с помощью переключателя поддиапазонов измерений вольтметра прибора С6-11 нужный поддиапазон;
- установите кнопкой переключателей „ЧАСТОТА, Hz” необходимое значение частоты равное 1кГц исходного напряжения прибора;
- установите переключателями „ВЫХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ”, «mV» и „МНОЖИТЕЛЬ” установки В1-16 на необходимое выходное напряжение;
- установите с помощью ручек „УСТ.ВЫХ.НАПРЯЖ.” „ГРУБО” и „ТОЧНО” установки В1-16 указатель вольтметра точно на нужную пометку;

- снимите отсчет значения относительной погрешности вольтметра прибора С6-11 по цифровому табло установки. Значение приведенной погрешности вольтметра определяется по формуле:

$$\gamma = \delta \frac{U_{\text{калибр}}}{U_{\text{пред}}},$$

где  $\delta$  – отсчет по шкале установки;

$U_{\text{пред}}$  – предельное значение;

$U_{\text{калибр}}$  – напряжение, которое соответствует контролируемой точке.

б) Определение зависимости погрешности показаний калибруемого вольтметра от частоты относительно показаний на частоте (1 кГц) в рабочих областях частот на частотах: 20; 30; 45 Гц; 1 кГц; 100 кГц; 1 МГц; 3 МГц; на верхних границах поддиапазонов 0,3; 1; 3; 10; 30; 100; 300 мВ; 1 В; 3 В.

Измерения проводятся в таком порядке:

- подключить гнездо „ВЫХОД” установки В1-16 к вольтметру прибора С6-11. С помощью переключателя поддиапазонов установить нужное значение частоты;

- установить с помощью ручек „УСТ.ВЫХ.НАПРЯЖ.” „ГРУБО” и „ТОЧНО” установки В1-16 указатель вольтметра прибора С6-11 как можно точнее на нужную отметку;

- определить значение относительной погрешности по цифровому индикатору установки В1-16;

- рассчитать значение погрешности вольтметра как алгебраическую разность между погрешностью вольтметра на частоте 1 кГц (которая определялась в предыдущем пункте) и погрешностью вольтметра в пределах рабочей области частот определенной с помощью установки В1-16;

- значение погрешностей занести в табл. 5.2.

Погрешность изменения показаний вольтметра прибора С6-11 не должна превышать допустимых значений, указанных в технической документации.

2.3.4 Определение основной погрешности при измерении коэффициента гармоник выполняется с помощью установки, показанной на рис 2.1.

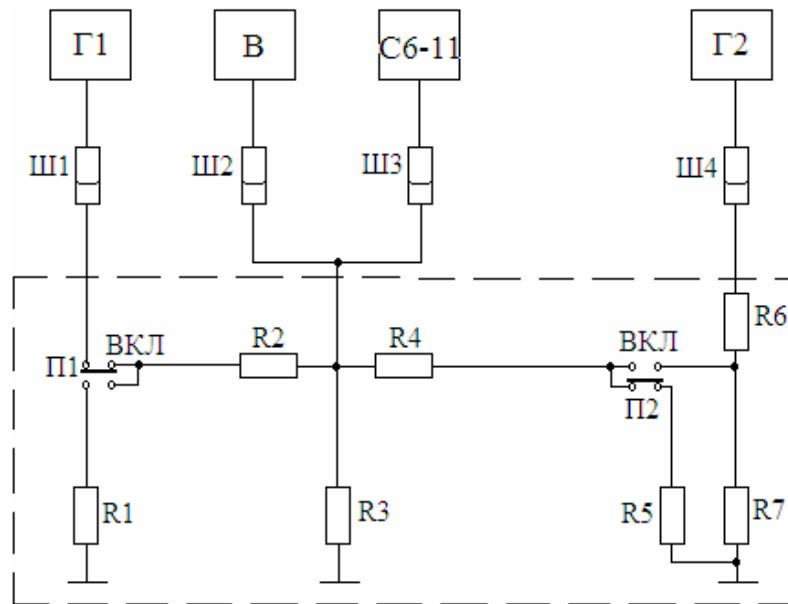


Рисунок 2.1 – Структурная схема установки для определения основной погрешности прибора при измерении коэффициента гармоник

Генератор Г1 (низкочастотный генератор сигналов) является источником первой гармоники.

Генератор Г2 (высокочастотный генератор сигналов) является источником второй гармоники.

Вольтметр может быть применен среднеквадратический.

Порядок работы на установке следующий:

а) переключатель П2 установить в положение „ВЫКЛ”, П1 – в положение „ВКЛ” и по вольтметру В установить уровень первой гармоники 1В;

б) переключатель П2 установить у положение „ВКЛ”, а переключатель П1 – в положение „ВЫКЛ”. и по вольтметру установить уровень второй гармоники  $U_{Г2}$  соответственно табл. 2.1, в зависимости от заданного коэффициента гармоник  $K_{Г}$ .

Частота генератора Г2 должна равняться частоте второй гармоники.

Таблица 2.1

$U_{Г2}$ , мВ	0,3	1,0	6,0	90,0	250,0
$K_{Г}$ , %	0,03	0,1	0,6	9,0	25,0

в) переключатель П1 установить в положение „ВКЛ”, выполнить измерение установленного коэффициента гармоник прибором С6-11.

2.3.5. Определение диапазона измеренных частот и погрешности частотомера выполняется по схеме, показанной на рис. 2.2. Сравнение показателей прибора С6-11 на табло "частота" с показаниями частотомера выполняется на частотах 20; 199,9 Гц; 199,9 кГц.

Погрешность измерения частоты ( $\Delta f$ ) определяется по формуле:

$$\Delta f = f_n - f_0, \quad (6)$$

где  $f_0$  – частота, измеренная частотомером;  
 $f_{\text{п}}$  – частота, измеренная прибором С6-11.

Результаты поверки удовлетворительны, если погрешность измеренной частоты не превышает:

$\pm 0,02 f$  в диапазоне частот от 20 до 99,9 Гц;

$\pm 0,01 f$  в диапазоне частот от 100 Гц до 199,9 кГц,

где  $f$  – частота входного сигнала в герцах.

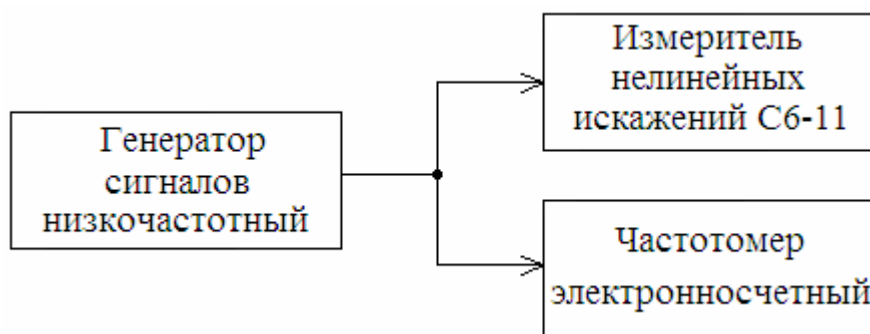


Рисунок 2.2 – Определение диапазона измеренных частот и погрешности частотомера

#### 2.4. Оформление результатов поверки.

Заполнение протокола поверки.

При положительных результатах поверки выполняется клеймение в соответствующих местах, указанных в разделе „маркировка и пломбирование”.

Результаты калибровки заносят в формуляр, подтверждают подписью поверителя и наносится поверительное клеймо.

Если прибор имеет отрицательный результат поверки, то к применению не допускается.

### 3. Ключевые вопросы

- 3.1. Дайте определение поверки СИТ.
- 3.2. Дайте определение калибровки СИТ.
- 3.3. Дайте определение метрологической аттестации СИТ.
- 3.4. Дайте определение коэффициента гармоник и КНИ.
- 3.5. Приведите последовательность выполнения поверки.
- 3.6. Поверка основных параметров вольтметра прибора С6-11.
- 3.7. Поверка основных параметров частотомера прибора С6-11.
- 3.8. Поверка измерителя нелинейных искажений прибора С6-11.

### 4. Домашнее задание

- 4.1. Изучить основные положения, которые касаются поверки и калибровки измерителя нелинейных искажений С6-11.
- 4.2. Ознакомиться с работой установки для поверки вольтметров В1-16.



4.3. Определить соотношение погрешностей эталонной установки В1-16 и вольтметра прибора С6-11 на отметке шкалы  $U$  на частоте  $f$  соответственно варианту задачи, выданного преподавателем.

### 5. Лабораторное задание

5.1. Подготовить эталонную установку В1-16 к работе.

5.2. Определить основную относительную погрешность измерения напряжения вольтметром прибора С6-11 на всех числовых отметках шкалы (указанной преподавателем) на частоте 1кГц. Полученные данные занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Конечные значения шкалы ( $U_K$ )	10 mV								300 mV			
Поверяемая отметка, мВ ( $U_0$ )	3	4	5	6	7	8	9	10	100	150	200	300
Показание вольтметра С6-11 мВ ( $U_{П}$ )												
Относительная погрешность, тд %												
Приведенная погрешность $\gamma$ , %												

Основная погрешность не должна превышать допустимого значения, приведенного в технической документации С6-11 (см. техническое описание С6-11).

5.3. Исследовать зависимость погрешности показаний калибруемого вольтметра от частоты и определить изменение погрешности относительно погрешности на частоте 1кГц. Результаты занести в табл. 5.2

Таблица 5.2. Зависимость погрешности от частоты

Поддиапазон	Частота																
	20 Гц		30 Гц		45 Гц		1 кГц		10 кГц		55 кГц		100 кГц		1 МГц		
	Погрешность, %	Изменение показаний, %	Погрешность, %	Изменение показаний, %	Погрешность, %	Изменение показаний, %	Погрешность, %	Изменение показаний, %	Погрешность, %	Изменение показаний, %	Погрешность, %	Изменение показаний, %	Погрешность, %	Изменение показаний, %	Погрешность, %	Изменение показаний, %	
Задается преподавателем																	

Погрешность изменения показаний не должна превышать допустимых значений для калибруемого вольтметра.

5.4. Определение основной погрешности С6-11 в режиме измерения коэффициента гармоник.

Таблица 5.3

Конечное значение шкалы, % (K <sub>Гк</sub> )	Поверяемая отметка, % (K <sub>Г0</sub> )	Показатели прибора С6-11 на частотах, % (K <sub>Ги</sub> )					
		20 Гц	60 Гц	200 Гц	20 кГц	60 кГц	200 кГц
0,3							
1							
10							
30							

Определить (абсолютную) основную погрешность измерения коэффициента гармоник ΔK<sub>Г</sub> в единицах измеренной величины (в процентах) по формуле:

$$\Delta K_{Г} = K_{Г1} - K_{Г0},$$

где K<sub>Г1</sub> – действительное значение коэффициента гармоник измеренного с помощью С6-11;

K<sub>Г0</sub> – значение коэффициента гармоник в поверяемой точке, %.

5.5. Определение диапазона измеренных частот и погрешности частотомера на числовых отметках, приведенных в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Поверяемые пометки	Вымеренные значения		Абсолютная погрешность, Δ	Относительная погрешность, δ %	Допустимые значения погрешности
	С6-11	частотомер			
100 Гц					± 1,9 Гц
101 Гц					± 1 Гц
200 Гц					± 1,9 Гц
201 Гц					± 2 Гц
2 кГц					± 0,019 кГц
2,1 кГц					± 0,02 кГц
20 кГц					± 0,19 кГц
20,1 кГц					± 0,2 кГц
200 КГц					± 1,99 кГц

## 6. Протокол лабораторной работы (№ ...название...)

6.1. Цель эксперимента.

6.2. Перечень используемой аппаратуры в табл. 6.1.

ТАБЛИЦА 6.1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРОВ

Наименование прибора	Тип	Заводской номер	Метрологические характеристики		
			класс точности	диапазон измерения	частотный диапазон

6.3. Схемы измерения.

Тип калибруемого прибора \_\_\_\_\_

Внешний осмотр \_\_\_\_\_

Испытание \_\_\_\_\_

### Условия калибровки

Температура окружающей среды \_\_\_\_\_ °С

Относительная влажность воздуха \_\_\_\_\_ %

Атмосферное давление \_\_\_\_\_ мм рт.ст.

Время предыдущего прогрева \_\_\_\_\_ мин.

Напряжение сети \_\_\_\_\_ В.

Частота напряжения сети \_\_\_\_\_ Гц.

Определение основной погрешности С6-11 в режиме измерения коэффициента гармоник.

Вывод: \_\_\_\_\_

Определение диапазона измеренных частот и погрешности частотомера прибора С6-11 на численных пометках

Вывод: \_\_\_\_\_

Общий вывод:

Калибровка выполнена \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 200 \_\_ г.

ФИО

Протокол проверил: \_\_\_\_\_ (подпись)

## 7. Литература

1. Коломієць Л.В., Козаченко М.Т. и др. Измерение в системах связи. Книга 1. Общие радіовимірювання . - Одесса, ВМВ, 2009.
2. Хромой Б.П., Кандинов А.В. и др. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи. - Г.: Радио и связь, 1986.

### Содержание:

Лабораторная работа №5 «Измерение нелинейных искажений».....	20
Лабораторная работа №7 «Калибровка измерителя нелинейных искажений С6-11».....	27

Здано в набір 6.04.2010 Підписано до друку 20.04.2010

Формат 60x90/8 Зам. № 41

Тираж 500 прим. Обсяг 2,25 друк. арк.

Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO

у друкарні редакційно-видавничого центру ОНАЗ ім. О.С. Попова

м. Одеса, вул. Старопортофранківська, 61

Тел. 720-78-94

**ОНАЗ, 2010**