

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Інститут інформатики та радіоелектроніки**



**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання лабораторної роботи**  
**«Вимірювачі нелінійних спотворень»**

для студентів за професійними напрямками

0902 “Радіоелектронні апарати”  
0907 “Радіотехніка”,  
0915 “Комп’ютерна інженерія”,  
0924 “Телекомунікації”,  
1601 “Захист інформації”

всіх форм навчання

**2014**

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вимірювачі нелінійних спотворень» для студентів за професійними напрямками 0902 “Радіоелектронні апарати”, 0907 “Радіотехніка”, 0915 “Комп’ютерна інженерія”, 0924 “Телекомунікації”, 1601 “Захист інформації” всіх форм навчання /Укл. О.О. Петріщев. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. - 14 с.

Укладач: Петріщев Олексій Олександрович, к.т.н., доцент  
Рецензент: Гапоненко Микола Прокофьевич, к.т.н., доцент  
Відповідальний за випуск: Петріщев О. О., к.т.н., доцент

Затверджено  
на засіданні кафедри ІТЕЗ  
11. 09 . 2014 р.  
Протокол N 1

## “ИЗМЕРИТЕЛИ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ”

Цель работы – изучить принципы построения и структурные схемы цифровых измерителей коэффициента нелинейных искажений; получить практические навыки работы с приборами.

### 1 ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

1. Пользуясь рекомендованной литературой и разделом 5 данных методических указаний, следует:
  - изучить параметры искажений сигналов;
  - ознакомиться с назначением, принципом действия и структурной схемой построения цифровых измерителей коэффициента нелинейных искажений;
  - ответить на контрольные вопросы.
2. Подготовить протокол, содержащий табл.2.2.

### 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 По техническим описаниям измерителей коэффициента нелинейных искажений и измерительного генератора ознакомиться: с техническими данными, с органами управления средств измерений; порядком их подготовки к работе; порядком выполнения измерений.

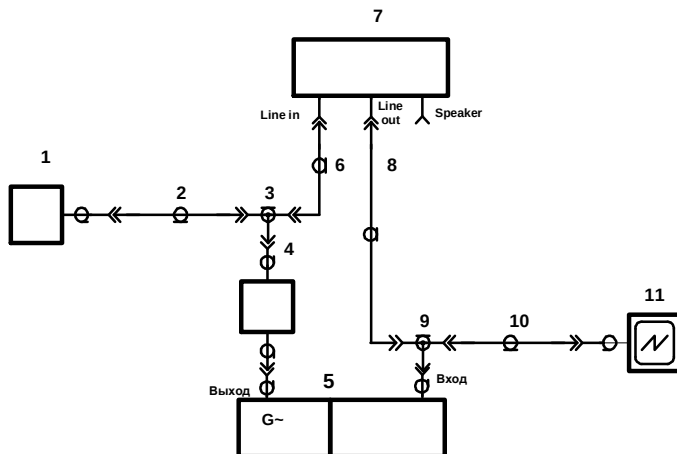
2 При выключенном компьютере собрать схему измерений в соответствии с рис.2.1. Включить питание всех средств измерений, после чего включить компьютер и дождаться загрузки операционной системы.

3 Пользуясь техническим описанием прибора СК6-13, органами его управления установить в соответствии с заданным вариантом согласно табл.2.1 одну из комбинаций параметров сигнала на выходе генератора.

4 Измерить уровень напряжения *на входе звуковой карты* при помощи измерителя С6-8. Результат измерений внести в протокол (табл. 2.2).

5 Переключить измеритель С6-8 в режим измерения коэффициента гармоник и измерить коэффициент гармоник сигнала,

поступающего *на вход* звуковой карты компьютера. Результаты измерений внести в протокол (табл. 2.2).



1 – измеритель С6-8; 2 – кабель радиочастотный РК-50; 3 – тройниковый разветвитель; 4 – делитель 1:8; 5 - измеритель СК6-13; 6 – кабель радиочастотный РК-50; 7 – звуковая карта компьютера; 8 – кабель радиочастотный РК50; 9 - тройниковый разветвитель; 10 – кабель радиочастотный РК-50; 11 – осциллограф С1-.

Рисунок 2.1 – Схема измерений

Таблица 2.1 – Таблица вариантов

| №<br>варианта | Параметры выходного сигнала генератора |      |
|---------------|----------------------------------------|------|
|               | Частота, Г                             | U, В |
| 1             | 633 Гц                                 | 3,2  |
|               |                                        | 8,0  |
| 2             | 815 Гц                                 | 2,4  |
|               |                                        | 6,0  |
| 3             | 977 Гц                                 | 3,2  |
|               |                                        | 4,8  |
| 4             | 1.3 кГц                                | 2,4  |
|               |                                        | 6,4  |
| 5             | 3 кГц                                  | 4,0  |
|               |                                        | 8,0  |
| 6             | 4 кГц                                  | 2,4  |
|               |                                        | 7,2  |
| 7             | 7 кГц                                  | 3,6  |
|               |                                        | 7,2  |

Таблица 2.2 – Результаты измерений

| №<br>п<br>/<br>п | Параметры сигнала<br><i>на входе</i> звуковой карты |                     |                     | Параметры сигнала<br><i>на выходе</i> звуковой карты |                                           |                                                   |
|------------------|-----------------------------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                  | Частота                                             | Напряже-<br>ние, мВ | $K_{\Gamma}$ ,<br>% | Напряже-<br>ние, мВ                                  | $(K_{\Gamma} \pm \Delta K_{\Gamma})$<br>% | Предел<br>измерений<br>- $K_{\Gamma\text{п}}$ (%) |
| 1                | F = ?                                               | ?                   | ?                   | ?                                                    | ?                                         | ?                                                 |
|                  |                                                     |                     |                     | ?                                                    | ?                                         | ?                                                 |
| 2                |                                                     | ?                   | ?                   | ?                                                    | ?                                         | ?                                                 |
|                  |                                                     |                     |                     | ?                                                    | ?                                         | ?                                                 |

6 Убедиться при помощи осциллографа в наличии сигнала на выходе звуковой карты. Переключить измеритель СК6-13 в режим измерения напряжения с автоматическим выбором предела измерений.

Щелчком левой кнопки «мыши» на изображении динамика на панели задач открыть регулятор громкости звуковой карты и установить по показаниям прибора СК6-13 уровень напряжения на выходе звуковой карты **около** 250 мВ. Результат измерений напряжения внести в протокол (табл. 2.2).

7 Измерить коэффициент гармоник **на выходе** звуковой карты и результат измерений  $K_{\Gamma}$  и предел измерений  $K_{\Gamma\text{п}}$  внести в протокол (табл. 2.2).

8 Регулятором громкости звуковой карты установить по показаниям прибора СК6-13 уровень напряжения на выходе звуковой карты **около** 500 мВ и вновь измерить коэффициент гармоник **на выходе** звуковой карты. Результаты измерений внести в протокол (табл. 2.2).

9 Повторить измерения по п.п.4 – 7 при другом уровне сигнала на входе звуковой карты в соответствии с заданным вариантом.

10 Выписать из нормативно-технической документации прибора СК6-13 выражения для погрешности измерения коэффициента гармоник и выполнить оценку погрешности результатов измерений  $DK_{\Gamma}$ . Результаты вычислений внести в табл.2.2.

11 По техническому описанию прибора С6- познакомиться со структурной схемой измерителя и принципом его работы.

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Цель работы.
- 2 Структурная схема прибора С6 –.
- 3 Результаты измерений в виде табл.2.2.
- 4 Выводы по работе, содержащие:
  - назначение приборов типа С6- и сферы их использования;
  - перечень метрологических характеристик;
  - перечень *главных узлов* приборов типа С6– и их назначение.

### 4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Какими параметрами характеризуют степень отличия формы сигнала от идеальной гармонической?
- 2 В каких случаях приходится измерять коэффициент нелинейных искажений, а в каких случаях - коэффициент гармоник?
- 3 Изобразите сигнал вида «*квадратная волна*» и изобразите ориентировочные графики его первой и третьей гармоник в виде зависимости напряжения от времени.
- 4 Запишите выражение для среднеквадратического значения напряжения высших гармоник.
- 5 Перечислите *главные* узлы, образующие структуру любого ИНИ.
- 6 Каким образом в приборе С6-12 осуществляется выделение из входного сигнала высших гармоник и первой гармоники?
- 7 Как подразделяют различные фильтры по виду их АЧХ? Изобразите АЧХ каждого из фильтров.
- 8 Каким образом в приборах С6- осуществляется автоматическая настройка режекторного фильтра на частоту первой гармоники?
- 9 Какие причины ограничивают минимальное измеряемое значение Кг?
- 10 Перечислите источники погрешности приборов С6– .
- 11 Перечислите метрологические характеристики измерителей нелинейных искажений.

## 5 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 5.1 Общие сведения

**Линейные** электрические цепи характеризуются тем, что в них связь между входным сигналом  $u(t)$  и выходной реакцией  $i(t)$  описывается линейной зависимостью  $i(t) = a * u(t)$ . Для линейной цепи справедлив **закон суперпозиции**, заключающийся в том, что реакция цепи на сумму одновременных воздействий  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  и т.д. от нескольких источников равна сумме реакций на каждое из воздействий в отдельности, т.е.

$$a * [u_1(t) + u_2(t) + \dots] = a * u_1(t) + a * u_2(t) + \dots$$

Из принципа суперпозиции вытекает **важное следствие: гармонический (синусоидальный или косинусоидальный) сигнал, проходя через линейную цепь, остается неизменным по форме, приобретая лишь другие значения амплитуды и фазы**. К таким цепям относят цепи, составленные из резисторов, конденсаторов, линий передач и др.

**Нелинейные цепи** характеризуются тем, что в них связь между входным сигналом  $u(t)$  и выходной реакцией  $i(t)$  описывается нелинейной зависимостью  $i(t) = f\{u(t)\}$ , что приводит к нарушению принципа суперпозиции, а **выходная реакция при гармоническом входном воздействии имеет форму, отличающуюся от гармонической**.

В соответствии с преобразованием Фурье периодический сигнал любой формы можно рассматривать как состоящий из суммы гармонических сигналов, имеющих различные амплитуды, кратные частоты и различные углы сдвига фаз. Например, для сигнала вида «меандр», некоторые из гармоник показаны на рис.5.1. На рис.5.1а показаны 1-ая и 3-я гармоники (пунктиром) и их сумма (жирная линия); на рис. 5.1б) – сумма 1-ой, 3-ей и 5-ой гармоник; на рис. 5.1в) – сумма 1-ой, 3-ей, 5-ой и 7-ой гармоник.

Состав гармоник, содержащихся в сигнале, удобнее представлять не в виде зависимости напряжения от времени, а в виде амплитудно-частотного спектра, как это показано на рис. 5.2.

Таким образом, если при поступлении на вход цепи гармонического сигнала выходной сигнал имеет форму,

отличающуюся от гармонической, то это означает, что **в выходном сигнале появляются новые гармоники (спектральные составляющие), а цепь является нелинейной.**

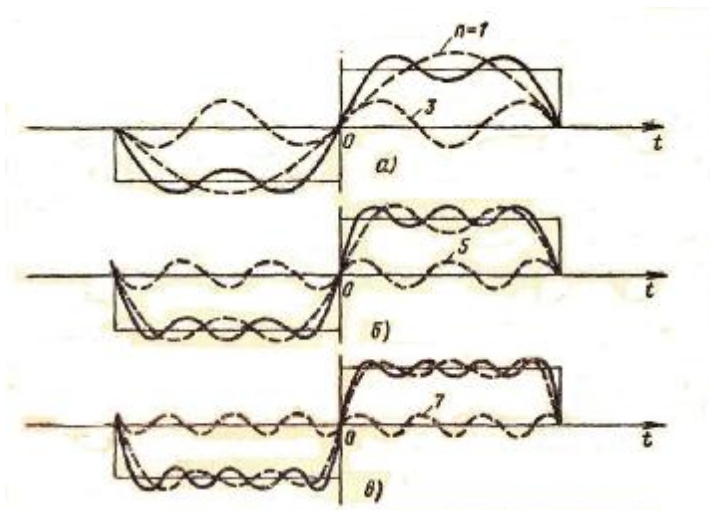


Рисунок 5.1- Сигнал вида «меандр» и некоторые из содержащиеся в нём гармоник

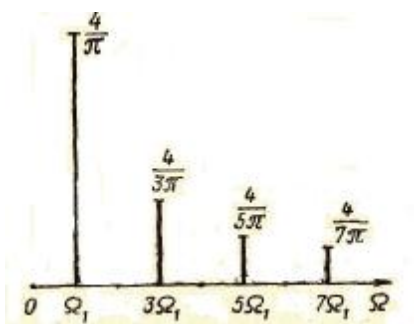


Рисунок 5.2- Амплитудно-частотный спектр сигнала

Степень отличия формы сигнала от чисто гармонического сигнала выражают такими параметрами, как **коэффициент гармоник**  $K_r$  и/или относительное содержание каждой гармоники  $m_r$ .

Относительное содержание каждой гармоники

$$m_i = \frac{U_i}{U_1} \cdot 100 \% .$$

**Коэффициент гармоник** определяется как отношение среднеквадратического значения (СКЗ) напряжения всех высших гармоник к СКЗ напряжения первой гармоники, т.е.

$$K_{\Gamma} = \frac{U_{\Gamma}}{U_1} \cdot 100 \% = \sqrt{m_2^2 + m_3^2 + \dots} \cdot 100 \% \cdot (5.1)$$

где  $U_{\Gamma} = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots} .$

Известны три способа измерений коэффициента гармоник:

- спектральный способ – косвенные измерения при помощи анализатора спектра (С4–) или селективного вольтметра (В6–);
- фильтровой способ, основанный на применении режекторного фильтра (приборы С6– или СК6–);
- цифровой способ.

## 5.2 Принцип действия и структурная схема фильтрового измерителя

В основу принципа действия прибора положен традиционный для техники измерения нелинейных искажений метод последовательного измерения напряжения первой гармоники и действующего напряжения высших гармоник с последующим вычислением коэффициента гармоник, определяемого как отношение среднеквадратического напряжения высших гармоник к среднеквадратическому значению напряжения первой гармоники (выражение 5.1).

Выделение напряжения всех **высших гармоник** из исследуемого сигнала осуществляется подавлением первой гармоники при помощи **перестраиваемого режекторного фильтра** (РФ) с цифровой настройкой на частоту входного сигнала (рис.5.3).

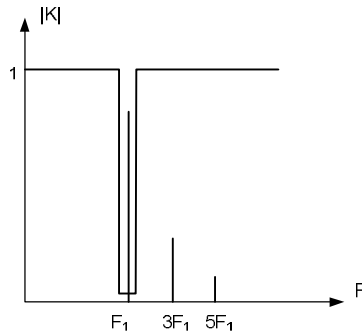
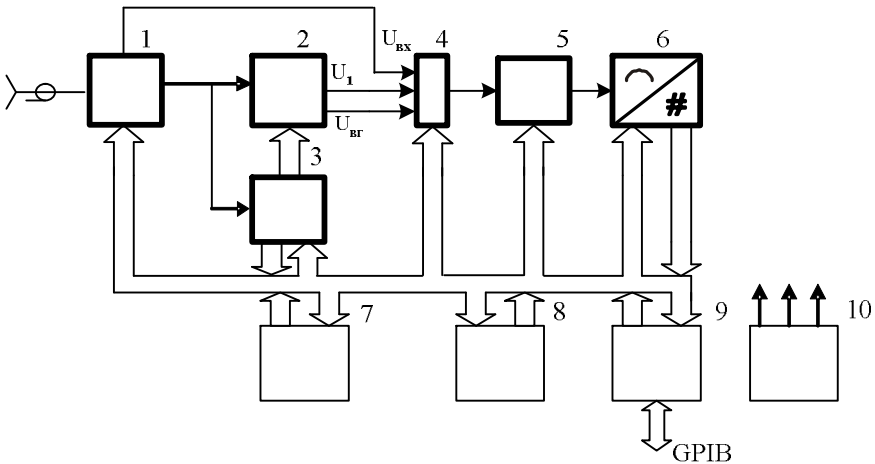


Рисунок 5.3- Подавление первой гармоники режекторным фильтром

Упрощенная структурная схема фильтрового измерителя С6–представлена на рисунке 5.4.



1 – входное управляемое устройство; 2 –режекторный фильтр с цифровой настройкой; 3 – электронно-счетный частотомер (ЭСЧ); 4 – коммутатор; 5 – преобразователь среднеквадратического значения (СКЗ) напряжения; 6 – АЦП; 7 – устройство ввода/вывода и индикации; 8 – микропроцессор; 9 – устройство связи с КОП (GPIB); 10 – блок питания.

Рисунок 5.4- Структурная схема измерителя типа С6-12

Вид амплитудно–частотной характеристики идеального (а) и реального (б) режекторных фильтров изображен на рис.5.5.

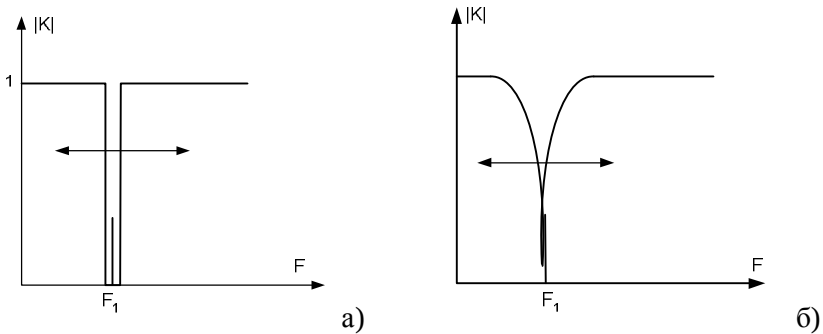


Рисунок 5.5 – АЧХ режекторных фильтров

Выделение из входного сигнала напряжения *первой* гармоники осуществляется исключением из напряжения исследуемого сигнала напряжения высших гармоник, выделенных предварительной секцией режекторного фильтра (рис.5.6).

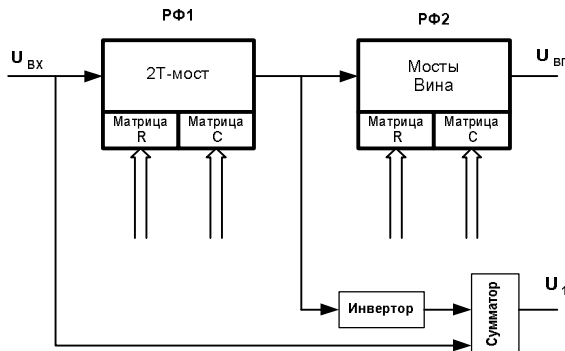


Рисунок 5.6- Структурная схема режекторного фильтра

В схему выделения первой гармоники входит РФ<sub>1</sub>, инвертор и сумматор. Принцип выделения из полного сигнала его первой гармоники основан на вычитании сигнала высших гармоник из полного входного сигнала:

$$U_1 = U_{вх} - U'_{вг}.$$

Для этого высшие гармоники должны быть равны тем, что содержатся во входном сигнале и строго противофазны.

Измерение коэффициента гармоник осуществляется в три цикла.

В первом цикле измеряется среднеквадратическое значение напряжения первой гармоники сигнала. При этом сигнал через входное устройство 1 (масштабный преобразователь), схему выделения первой гармоники 2 и коммутатор 4 поступает на преобразователь среднеквадратического значения 5 и далее на АЦП 6. Цифровое значение  $U_1$  заносится в оперативную память микропроцессора 8.

На втором цикле измеряется среднеквадратическое значение напряжения высших гармоник  $U_{\text{вг}}$ . При этом сигнал через входное устройство поступает на трехсекционный режекторный фильтр 2 с цифровой настройкой и ЭСЧ 3.

ЭСЧ измеряет частоту входного сигнала (а, следовательно, и частоту первой гармоники) и формирует код, в соответствии с которым перестраиваются элементы частотно-зависимых цепей режекторного фильтра (рис.5.6). Таким образом, осуществляется цифровая настройка режекторного фильтра на частоту входного сигнала (т.е. на частоту первой гармоники).

Первое звено РФ<sub>1</sub> строится на основе активного режекторного фильтра на симметричном двойном Т-образном мосте (рис.5.7), перестройка частоты режекции которого осуществляется подекадно изменением емкостей конденсаторов, а внутри декады (10– 100 Гц; 100– 1000 Гц; 1000– 10<sup>4</sup> Гц; 10<sup>4</sup>– 10<sup>5</sup> Гц) – переключением резисторов матрицы (3 десятичных разряда в коде 1, 2, 4, 8).

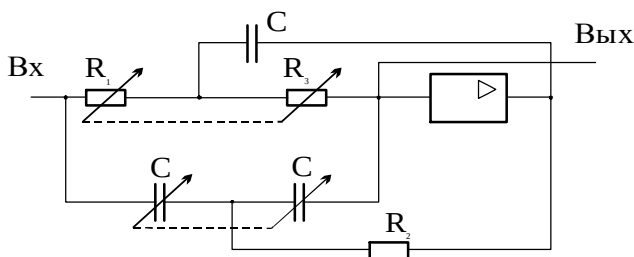


Рисунок 5.7- Двойной Т – образный мост

Второе звено РФ<sub>2</sub> представляет собой двухсекционный режекторный фильтр на основе мостов Вина, который обеспечивает подавление  $U_1$  до – 70 дБ, а вместе с РФ<sub>1</sub> до – 100 дБ.

Выделенный режекторным фильтром сигнал высших гармоник поступает преобразователь 5 и далее на АЦП 6, с выхода которого цифровое значение  $U_{вз}$  передается на микропроцессор 8 и заносится в оперативную память.

В третьем цикле микропроцессор вычисляет по формуле 5.1 значение коэффициента гармоник, которое индицируется на цифровом табло прибора 7.

Все операции, связанные с выбором предела измерения, постоянных времени преобразователя СКЗ, требуемых фильтров и многие другие в приборе автоматизированы с помощью микропроцессора. С помощью микропроцессора осуществляется также диагностика узлов и прибора в целом, а также коррекция погрешностей. Микропроцессор осуществляет и связь с системным интерфейсом GPIB (канал общего пользования - КОП).

***Источниками погрешности*** измерений  $K_g$  являются:

- конечное значение коэффициента режекции РФ;
- неточность настройки РФ на частоту первой гармоники, обусловленная погрешностью ЭСЧ и дискретностью перестройки РФ;
- нелинейные искажения, возникающие в тракте прибора от входа прибора до выхода АЦП;
- собственные шумы, возникающие в тракте прибора от входа прибора до выхода АЦП;
- погрешность преобразователя СКЗ напряжения;
- погрешность АЦП.

Если коэффициент режекции не равен  $\infty$ , то при поступлении на вход ИНИ чисто гармонического сигнала на выходе режекторного фильтра появится неполностью подавленное напряжение первой гармоники, которое будет воспринято и измерено как напряжение высших гармоник (см. рис.5.3).

Неточная настройка режекторного фильтра на частоту первой гармоники также приведет к тому, что коэффициент режекции не будет максимально возможным (см. рис. 5.5 б).

Собственные нелинейные искажения и собственные шумы, возникающие в тракте прибора, будут восприниматься как высшие гармоники, присутствующие во входном сигнале. Для минимизации

собственных нелинейных искажений масштабный преобразователь ИНИ выполняется чисто пассивным и является резисторным делителем напряжения, а первая секция режекторного фильтра выполняется в виде двойного Т-образного моста, входная часть которого также состоит из пассивных компонентов (см. рис. 5.7).

Погрешность преобразователя СКЗ и погрешность АЦП обуславливают погрешность измерений напряжения высших гармоник и напряжения первой гармоники (см. выражение 5.1).

**Метрологические характеристики** измерителей нелинейных искажений:

- пределы допускаемого значения абсолютной основной погрешности прибора ( $\Delta K_{\Gamma}$  доп) при измерении  $K_{\Gamma}$ ;
- пределы дополнительной погрешности прибора при измерении коэффициента гармоник, вызванные отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной;
- пределы допускаемого значения абсолютной основной погрешности прибора ( $\Delta U$  доп) при измерении напряжения;
- пределы дополнительной погрешности прибора при измерении напряжения, вызванной отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной;
- пределы допускаемого значения абсолютной основной погрешности измерения частоты;
- входное активное сопротивление прибора  $R_{вх}$  и входная ёмкость  $C_{вх}$  прибора;
- время одного измерения при измерении коэффициента гармоник и напряжения.

## 6 ЛИТЕРАТУРА

1. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения. - М.: Радио и связь, 1985. - 368 с.
2. Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения. - Минск: В.Ш., 1986. - 320 с.
3. Измеритель С6-12. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.