

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Севастопольский национальный технический университет
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

Методические указания к выполнению
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №3
«ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ»
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «РАДИОИЗМЕРЕНИЯ»
для студентов ДФО и ЗФО специальности – Радиотехника

Севастополь 2011

УДК 621.317.08(075.8)

Методические указания к выполнению лабораторного практикума по дисциплине «Радиоизмерения» для студентов ДФО и ЗФО направления Радиотехника/Сост. И.Л. Ветров, — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. — 10 с.

Целью указаний является оказание помощи студентам в выполнении лабораторных работ. Излагаются основные теоретические сведения. Приводится описание лабораторных установок, программ и методик измерений, требования к содержанию отчет по лабораторным работам.

Указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения направления «Радиотехника».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций. Протокол № _____ от _____ 2011г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний к выполнению лабораторного практикума по дисциплине «Радиоизмерения»

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Зиборов С.Р.

Ответственный за выпуск: доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций Гимпилевич Ю.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа «Исследование измерителя нелинейных искажений сигналов»	3
1.1. Цель лабораторной работы.....	3
1.2. Теоретические сведения	3
1.2.1. Общие сведения.....	3
1.2.2. Гармонический метод измерения нелинейности цепи	3
1.2.3. Измерения нелинейности цепи комбинационным методом.....	6
1.2.4. Статистический метод	7
1.3. Порядок выполнения лабораторной работы.....	8
1.3.1. Описание лабораторной установки	8
1.3.2. Подготовка приборов к проведению измерений.....	8
1.3.3. Методика проведения измерений прибором С6-5	8
1.3.4. Измерение K_H генератора НЧ	8
1.4. Содержание отчета.....	9
1.5. Контрольные вопросы	9

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ СИГНАЛОВ»

1.1. Цель лабораторной работы

Целью работы является изучение методов измерения нелинейных искажений сигналов, а также получение навыков работы с прибором С6-5.

1.2. Теоретические сведения

1.2.1. Общие сведения

Цепь, параметры которой зависят от уровня распространяющихся сигналов, называют нелинейной цепью. Амплитудный спектр выходного сигнала такой цепи содержит спектральные составляющие, которых не было в спектре входного сигнала. Поэтому, сравнивая амплитудные спектры входного и выходного сигналов, можно судить о нелинейных свойствах цепи.

При исследовании нелинейных свойств цепи в качестве входного сигнала обычно используют: одиночный гармонический сигнал; комбинацию нескольких гармонических сигналов; случайный сигнал (шум) с известной спектральной плотностью. В соответствии с этим различают три основных метода измерения нелинейности цепи: гармонический, комбинационный и статистический.

1.2.2. Гармонический метод измерения нелинейности цепи

Гармонический метод измерения нелинейности цепи обычно применяют в диапазоне частот от десятков герц до единиц мегагерц. На вход исследуемой цепи подают гармоническое напряжение $u_{\text{ВХ}} = U_m \sin 2\pi f_1$, амплитудный спектр которого состоит из одной спектральной составляющей с амплитудой U_m и частотой f_1 . После прохождения нелинейной цепи в спектре выходного напряжения появляются высшие гармоники с частотами $f_2 = 2f_1$, $f_3 = 3f_1$, ..., $f_n = nf_1$, кратными f_1 , и амплитудами U_{m2} , U_{m3} , ..., U_{mn} соответственно.

Чем более нелинейна цепь, тем больше форма выходного сигнала цепи отличается от гармонической и тем больше действующее значение высших гармоник

$$U_{\text{ВГ}} = \sqrt{U_{m2}^2/2 + U_{m3}^2/2 + \dots + U_{mn}^2/2} = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2},$$

где $U_i = U_{mi}/\sqrt{2}$ — действующие значения i -ой гармоники исследуемого напряжения.

Численную оценку отличия формы исследуемого сигнала от гармонической формы производят с помощью коэффициента гармоник или коэффициента нелинейных искажений.

Коэффициентом гармоник называют отношение действующего значения напряжения высших гармоник $U_{\text{ВГ}}$ к действующему значению напряжения первой гармоники U_1 :

$$K_{\Gamma} = \frac{U_{\text{ВГ}}}{U_1} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}. \quad (2.1)$$

Коэффициентом нелинейных искажений называют отношение действующего значения напряжения $U_{\text{ВГ}}$ высших гармоник к действующему значению U всего исследуемого напряжения:

$$K_{\text{Н}} = \frac{U_{\text{ВГ}}}{U} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}}. \quad (2.2)$$

Коэффициенты K_{Γ} и $K_{\text{Н}}$ связаны между собой следующим соотношением $K_{\Gamma} = K_{\text{Н}}/\sqrt{1 - K_{\text{Н}}^2}$. Если $K_{\Gamma} \leq 0,1$, то $K_{\Gamma} \approx K_{\text{Н}}$.

Значения K_{Γ} и $K_{\text{Н}}$ обычно выражают в процентах. Очень малые $K_{\text{Н}}$ (менее нескольких сотых процента) удобно отсчитывать в неперах $a_{\text{Н}} = -\ln K_{\text{Н}}$ Нп или в децибелах $a_{\text{Н}} = -20 \lg K_{\text{Н}}$ дБ. Значение $a_{\text{Н}}$, выраженное в неперах или в децибелах, называют *затуханием нелинейности*.

Коэффициент гармоник или коэффициент нелинейных искажений часто используют в качестве характеристик усилителей низких частот (УНЧ). Для исследования УНЧ на его вход подают гармоническое напряжение и измеряют K_{Γ} или $K_{\text{Н}}$ выходного напряжения. Если измеренное значение K_{Γ} или $K_{\text{Н}}$ существенно больше значения K_{Γ} или $K_{\text{Н}}$ входного напряжения, то считают, что все искажения гармонического сигнала вызваны УНЧ и рассматривают измеренный коэффициент в качестве параметра усилителя.

Коэффициенты K_{Γ} и $K_{\text{Н}}$ измеряют при частоте входного напряжения не более 0,2 ... 0,1 максимальной рабочей частоты УНЧ. В этом случае в полосу пропускания УНЧ попадают не менее пяти гармоник входного напряжения, что обеспечивает приемлемую точность измерения.

На рис. 2.1 показана структурная схема установки для измерения $K_{\text{Н}}$ исследуемого УНЧ с помощью аналого-

вого измерителя нелинейных искажений (ИНИ). Гармоническое напряжение $u_{вх}$ с частотой f_1 поступает от генератора на вход УНЧ. Выходное напряжение $u_{и}$ исследуемого УНЧ поступает на вход ИНИ.

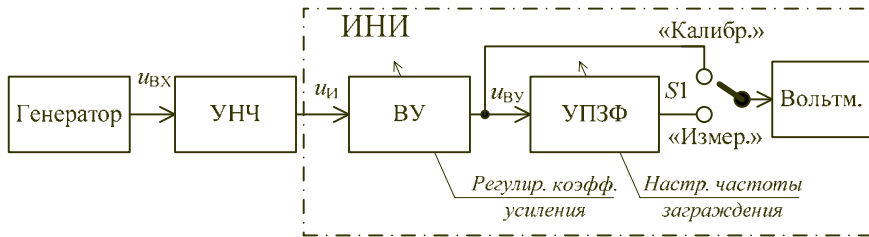


Рис. 2.1 — Структурная схема установки для измерения коэффициента нелинейных искажений

В состав ИНИ входят входной усилитель, узкополосный полосу-заграждающий фильтр УПЗФ, вольтметр действующих значений.

Входной усилитель обладает равномерной АЧХ в широкой полосе частот и имеет линейную амплитудную характеристику. В нем предусмотрена возможность плавной регулировки коэффициента усиления в широких пределах. Форма напряжения $u_{вх}$ и

его спектральный состав практически повторяют форму и спектральный состав входного напряжения.

УПЗФ подавляет спектральные составляющие входного напряжения в узкой полосе частот заграждения. При этом спектральные составляющие, которые не попали в полосу частот заграждения, проходят на выход УПЗФ без изменения их амплитуд. Частоту настройки УПЗФ (центральную частоту полосы заграждения) можно изменять в широких пределах. Наиболее часто применяют УПЗФ в виде перестраиваемого RC -фильтра на основе Т-моста (рис. 2.2). Такой УПЗФ имеет АЧХ вида

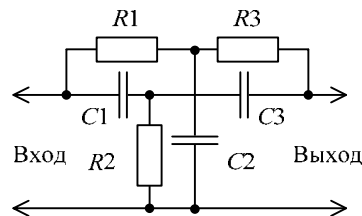


Рис. 2.2 — Схема УПЗФ на основе Т-моста

$$K(f) = \frac{K_{\Phi} |f^2 - f_{3\Phi}^2|}{\sqrt{(f^2 - f_{3\Phi}^2)^2 + d^2 f^2 f_{3\Phi}^2}}, \quad (2.3)$$

где $f_{3\Phi}$ — частота заграждения; d — коэффициент затухания фильтра, определяющий ширину полосы частот заграждения; K_{Φ} — коэффициент передачи УПЗФ за пределами полосы заграждения.

Как следует из (2.3), на частоте $f = f_{3\Phi}$ числитель равен нулю, т. е. гармонический сигнал этой частоты полностью подавляется УПЗФ и не проходит на выход.

Измерение K_H производят в два этапа. На первом этапе устанавливают переключатель $S1$ в положение «Калибр» и производят калибровку ИНИ. Она заключается в подборе коэффициента усиления входного усилителя, обеспечивающего показание вольтметра СКЗ (обычно это 1 В), принимаемое за единицу или за 100%.

На втором этапе переключатель $S1$ переводят в положение «Измер.» и настраивают УПЗФ на частоту напряжения $u_{г}$ с целью подавления первой гармоники напряжения $u_{вх}$ с частотой f_1 . Настройку УПЗФ производят, контролируя показания вольтметра. Полному подавлению первой гармоники соответствуют минимальное показание вольтметра. При правильной настройке выходное напряжение УПЗФ содержит только высшие гармонические составляющие и не содержит первой гармоники. Показание вольтметра в этом случае соответствует числителю выражения (2.2). Поскольку на этапе калибровки действующее значение исследуемого сигнала было принято за 100 %, то показания вольтметра численно равны значению K_H , выраженному в процентах.

Существуют ИНИ, в которых операции настройки входного усилителя и УПЗФ автоматизированы. Примером такого ИНИ служит автоматический измеритель нелинейных искажений С6-7, измеряющий коэффициент гармоник K_G переменного напряжения в пределах от 0,05% до 30%.

Схему ИНИ, показанную на рис. 2.1, применяют, когда K_H превышает несколько сотых процента. Если K_H составляет сотые и тысячные доли процента (затухание нелинейности 60 ... 80 дБ), то измерения выполняют методом сравнения. Схема установки, реализующей данный метод измерения, показана на рис. 2.3.

Поскольку речь идет об измерении очень малых значений K_G , то крайне важно, чтобы входное напряжение исследуемого УНЧ было гармоническим и практически не имело высших гармоник. Для «очистки» спектра напряжение генератора $u_{г}$ с частотой f_1 подают на фильтр нижних частот ФНЧ. Он пропускает только первую гармонику $u_{г}$ и подавляет высшие гармоники, частоты которых кратны f_1 . Частота генератора

Рис. 2.3 — Структурная схема установки для измерения затухания нелинейности методом сравнения

f_1 должна удовлетворять условию

$$f_{\text{ФНЧ}}/2 < f_1 < f_{\text{ФНЧ}},$$

где $f_{\text{ФНЧ}}$ — частота среза ФНЧ.

С выхода ФНЧ «очищенное» напряжение поступает на магазин затуханий МЗ1, предназначенный для регулировки уровня сигнала на входе исследуемого УНЧ. Магазин затуханий представляет собой набор аттенуаторов с известными затуханиями (коэффициентами передачи). С помощью переключателей можно устанавливать необходимое затухание. Значение затухания в децибелах нанесено на шкалах, расположенных рядом с переключателями. В качестве примера на рис. 2.4 показана передняя панель промышленного МЗ типа ВЧА-75

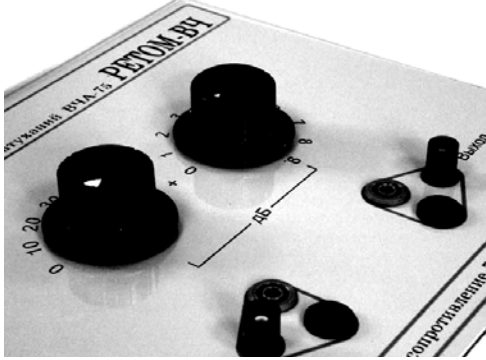


Рис. 2.4 — Передняя панель МЗ типа ВЧА-75

С выхода МЗ1 гармоническое напряжение $u_{\text{ВХ}}$ подается на исследуемый УНЧ. Если его амплитудная характеристика нелинейная, то в спектре выходного напряжения $u_{\text{ИУ}}$ кроме первой гармоники с частотой f_1 появляются гармоники с частотами

$$f_2 = 2f_1, f_3 = 3f_1, \dots, f_n = nf_1,$$

которые отсутствовали во входном напряжении.

К исследуемому УНЧ подключен удлинитель, обеспечивающий требуемое сопротивление нагрузки и исключающий влияние последующих каскадов на режим работы исследуемого УНЧ. Удлиннитель является линейным устройством и имеет постоянный коэффициент передачи $k_{\text{уд}}$ в широком диапазоне частот, поэтому выходное напряжение удлинителя

$$u_{\text{уд}} = k_{\text{уд}} u_{\text{ИУ}} \quad (2.4)$$

повторяют форму напряжения $u_{\text{ИУ}}$ и имеет такой же амплитудный спектр.

Напряжение $u_{\text{уд}}$ поступает одновременно на магазин затуханий МЗ2 и фильтр верхних частот ФВЧ. Частота среза этого фильтра $f_{\text{ФВЧ}}$ удовлетворяет условию $f_1 < f_{\text{ФВЧ}} < 2f_1$, поэтому ФВЧ пропускает на выход только высшие гармоники напряжения $u_{\text{уд}}$ и подавляет гармонику с частотой f_1 .

Измерение затухания нелинейности исследуемого УНЧ производят в два этапа. На первом этапе переключатель $S1$ устанавливают в положение «1» и вольтметром измеряют действующее значение напряжения $u_{\text{ФВЧ}}$ на выходе ФВЧ, которое равно

$$U_{\text{ФВЧ}} = k_{\text{уд}} k_{\text{ФВЧ}} \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} = k_{\text{уд}} k_{\text{ФВЧ}} U_{\text{ВГ}}, \quad (2.5)$$

где $k_{\text{ФВЧ}}$ — модуль коэффициента передачи ФВЧ в полосе пропускания; U_i — действующее значение i -той гармоники ($i = 2, 3, \dots, n$) напряжения $u_{\text{ИУ}}$ на выходе исследуемого УНЧ; $U_{\text{ВГ}} = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}$ — действующее значение напряжения высших гармоник на выходе исследуемого УНЧ.

На втором этапе переключатель $S1$ переводят в положение «2» и измеряют действующее значение напряжения $u_{\text{МЗ}}$, равное

$$U_{\text{МЗ}} = k_{\text{уд}} k_{\text{МЗ2}} \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} = k_{\text{уд}} k_{\text{МЗ2}} U_{\text{ИУ}},$$

где $U_{\text{ИУ}} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}$ — действующее значение напряжения на выходе исследуемого УНЧ.

Подбором коэффициента передачи $k_{\text{МЗ2}}$ магазина затуханий МЗ2 добиваются показания вольтметра $U_{\text{МЗ2}}$ равного $U_{\text{ФВЧ}}$. В случае равенства показаний вольтметра выполняется соотношение $U_{\text{МЗ2}} = U_{\text{ФВЧ}}$ или

$$k_{\text{МЗ2}} U_{\text{ИУ}} = k_{\text{ФВЧ}} U_{\text{ВГ}}.$$

С учетом (2.2) и (2.5) получаем

$$k_{\text{МЗ2}} = k_{\text{ФВЧ}} \frac{U_{\text{ВГ}}}{U_{\text{ИУ}}} = k_{\text{ФВЧ}} \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}} = k_{\text{ФВЧ}} K_{\text{Н}}.$$

Значение затухания $k_{\text{МЗ2}}$, отсчитанное в децибелах по шкале МЗ2, равно $a_{\text{МЗ2}} = 20 \lg K_{\text{МЗ2}} = 20 \lg k_{\text{ФВЧ}} + 20 \lg K_{\text{Н}} = a_{\text{ФВЧ}} + a_{\text{Н}}$, где $a_{\text{ФВЧ}} = 20 \lg k_{\text{ФВЧ}}$ — затухание ФВЧ в полосе пропускания; $a_{\text{Н}}$ — затухание нелинейности исследуемого УНЧ.

Значение $a_{\text{ФВЧ}}$ легко измерить. Для этого на вход удлинителя подают гармоническое напряжение с частотой, попадающей в полосу пропускания ФВЧ, и подбирают с помощью МЗ2 затухание, обеспечивающее равенство показаний вольтметра в обоих положениях переключателя $S1$. Измеренное таким образом затухание $a_{\text{ФВЧ}}$ позволяет найти затухание нелинейности исследуемого усилителя $a_{\text{Н}} = a_{\text{МЗ2}} - a_{\text{ФВЧ}}$.

1.2.3. Измерения нелинейности цепи комбинационным методом

Если на вход исследуемого нелинейного устройства подать сумму двух гармонических напряжений $u_1 = U_{m1} \sin 2\pi f_1 t$ и $u_2 = U_{m2} \sin 2\pi f_2 t$, то в спектре выходного напряжения появятся комбинационные составляющие с разностной частотой $f_p = f_1 - f_2$ и суммарной частотой $f_c = f_1 + f_2$. Амплитуды комбинационных спектральных составляющих несут информацию о нелинейности амплитудной характеристики устройства. Численно нелинейность устройства оценивают с помощью коэффициента нелинейности по комбинационной частоте.

Коэффициент нелинейности по комбинационной частоте определяется по следующей формуле

$$K_K = \frac{U_p}{U_{f1}} = \frac{U_p}{U_{f2}}, \quad (2.6)$$

где U_p — напряжение спектральной составляющей с комбинационной частотой $f_p = f_1 - f_2$, U_{f1} , U_{f2} — напряжения спектральных составляющих с частотами f_1 , f_2 .

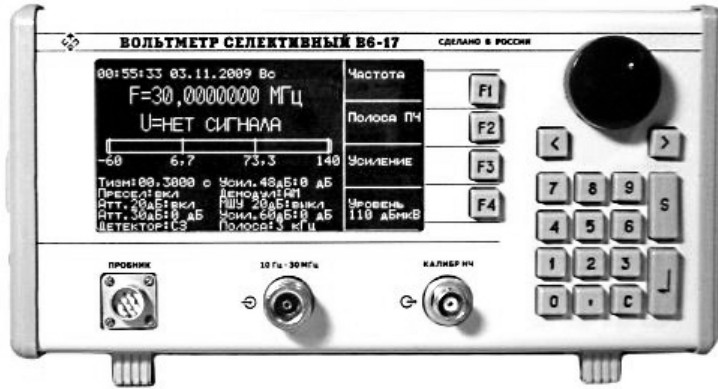


Рис. 2.5 — Внешний вид вольтметра В6-17

На практике измерение напряжений спектральных составляющих производят селективным вольтметром. Селективный вольтметр способен выделить отдельную гармоническую составляющую сигнала сложной формы и измерить ее напряжение. По принципу действия этот вольтметр аналогичен вольтметру переменного напряжения, на входе которого установлен перестраиваемый по частоте полосно-пропускающий фильтр с регулируемой полосой пропускания. Промышленность выпускает, как аналоговые, так и цифровые селективные вольтметры. В качестве примера на рис. 2.5 показан внешний вид со-

временного цифрового селективного вольтметра В6-17.

Комбинационный метод измерения применяют для исследования нелинейности амплитудной характеристики устройства на частотах, близких к верхней границе полосы пропускания. Метод измерения поясняет структурная схема измерительной установки, показанная на рис. 2.6.

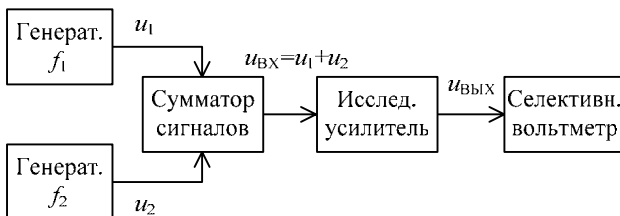


Рис. 2.6 — Структурная схема измерительной установки

В качестве исследуемого устройства выступает усилитель, коэффициент усиления которого зависит от входного напряжения и может быть представлен следующим выражением

$$k_{yc} = k_0 + a u_{BX}, \quad (2.7)$$

где k_0 — начальный коэффициент усиления; u_{BX} — входное переменное напряжение усилителя; a — коэффициент, характеризующий степень зависимости k_{yc} от входного напряжения.

Гармонические напряжения $u_1 = U_{m1} \sin 2\pi f_1 t$ и $u_2 = U_{m2} \sin 2\pi f_2 t$, имеющие равные амплитуды, поступают от генераторов на сумматор сигналов. Выходное напряжение сумматора $u_{BX} = u_1 + u_2 = U_{m1} \sin 2\pi f_1 t + U_{m2} \sin 2\pi f_2 t$ подается на вход исследуемого усилителя, который усиливает его в k_{yc} раз.

Выходное напряжение исследуемого усилителя с учетом (2.7) равно

$$u_{ВЫХ} = k_{yc} u_{BX} = (k_0 + a u_{BX}) u_{BX} = k_0 u_{BX} + a u_{BX}^2. \quad (2.8)$$

Первое слагаемое

$$k_0 u_{BX} = k_0 U_{m1} \sin 2\pi f_1 t + k_0 U_{m2} \sin 2\pi f_2 t \quad (2.9)$$

показывает, что $u_{ВЫХ}$ содержит спектральные составляющие u_{BX} , усиленные в k_0 раз.

Второе слагаемое $a u_{BX}^2$ в выражении (2.8) обусловлено нелинейностью исследуемого усилителя, т. е. зависимостью k_{yc} от u_{BX} . Его можно представить в виде

$$\begin{aligned} a u_{BX}^2 &= a (U_{m1} \sin 2\pi f_1 t + U_{m2} \sin 2\pi f_2 t)^2 = \\ &= a (U_{m1}^2 + U_{m2}^2) - \frac{a U_{m1}^2}{2} \cos 4\pi f_1 t - \frac{a U_{m2}^2}{2} \cos 4\pi f_2 t - \end{aligned}$$

$$-U_{m1}U_{m2} \cos 2\pi(f_1 - f_2)t - U_{m1}U_{m2} \cos 2\pi(f_1 + f_2)t. \quad (2.10)$$

Как следует из (2.10), нелинейность усилителя приводит к появлению в спектре $u_{\text{ВЫХ}}$ гармоник с частотами $2f_1, 2f_2$ и спектральных комбинационных составляющих с частотами $f_p = f_1 - f_2$ и $f_c = f_1 + f_2$.

При измерении коэффициента нелинейности K_K селективный вольтметр (см. рис. 2.6) настраивают на частоту f_1 или f_2 и с его помощью измеряют напряжения U_{f1} или U_{f2} соответственно. После этого селективный вольтметр настраивают на частоту f_p и измеряют напряжение U_p . Значение K_K находят по формуле (2.6).

При измерении K_K важно правильно выбрать частоты гармонических напряжений u_1, u_2 . Критерием правильности выбора является попадание частот всех измеряемых напряжений в полосу пропускания исследуемого усилителя. На рис. 2.7 показана спектральная диаграмма напряжений, построенная в соответствии с (2.9) и (2.10). На спектральной диаграмме штриховой линией изображена АЧХ исследуемого усилителя.

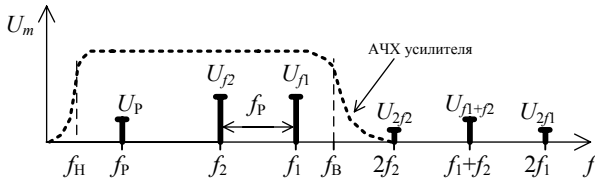


Рис. 2.7 — Спектральная диаграмма напряжений

При выборе частот напряжений u_1, u_2 можно руководствоваться следующей методикой. Вначале устанавливают частоту f_1 вблизи верхней границы f_B полосы пропускания исследуемого усилителя. Затем устанавливают частоту f_2 , обеспечивающую выполнение условия $f_p = f_1 - f_2 > f_H$, где f_H — нижняя граница полосы пропускания исследуемого усилителя.

Затухание нелинейности по разностной комбинационной частоте $f_p = f_1 - f_2$ определяют как

$$a_K = 20 \lg(U_{f1}/U_p) \text{ дБ.}$$

В некоторых случаях комбинационные составляющие спектра измеряют при подаче на вход устройства трех гармонических напряжений.

1.2.4. Статистический метод

Гармонический и комбинационный методы исследования нелинейности имеют существенный недостаток — они не воспроизводят условий работы исследуемых объектов, предназначенных для передачи информационных сигналов случайного характера, имеющих сплошной спектр. Статистический метод измерения нелинейности свободен от этого недостатка, так как основан на исследовании характеристик случайного сигнала. Он обеспечивает наибольшее приближение условий измерения к рабочим условиям исследуемого объекта. Сущность метода поясняет структурная схема измерительной установки, показанная на рис. 2.8.

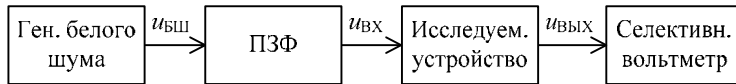


Рис. 2.8 — Структурная схема установки для измерения нелинейности статистическим методом

Генератор белого шума вырабатывает случайный сигнал в виде напряжения $u_{\text{БШ}}$. Спектральная плотность $u_{\text{БШ}}$ равномерна в диапазоне частот от f_1 до f_2 , который перекрывает диапазон рабочих частот исследуемого устройства. Это условие можно представить неравенствами:

$f_1 < f_H$; $f_B < f_2$, где f_H, f_B — нижняя и верхняя частота диапазона рабочих частот исследуемого устройства.

Напряжение $u_{\text{БШ}}$ поступает на полосу-заграждающий фильтр ПЗФ, настроенный на частоту $f_H < f_{\text{Ф}} < f_B$ и подавляющий спектральные составляющие в полосе частот Δf . Выходной сигнал ПЗФ в виде напряжения $u_{\text{ВХ}}$ поступает на исследуемое устройство с нелинейной амплитудной характеристикой. Модуль спектральной плотности $S_1(f)$ напряжения $u_{\text{ВХ}}$ имеет «провал» в окрестности частоты $f_{\text{Ф}}$ (рис. 2.9, а), т. е. спектр напряжения $u_{\text{ВХ}}$ не содержит спектральных составляющих в окрестности частоты $f_{\text{Ф}}$. Если селективный вольтметр действующего значения, имеющий полосу пропускания $\Delta f_B < \Delta f$, настроить на частоту $f_{\text{Ф}}$ и измерить напряжение спектральных составляющих $u_{\text{ВХ}}$, то его показания будут равны нулю. На рис. 2.9, а показано взаимное расположение $S_1(f)$ и $K(f)$ — амплитудночастотной характеристики (АЧХ) исследуемого устройства.

Модуль спектральной плотности $S_2(f)$ напряжения $u_{\text{ВЫХ}}$ существенно отличается от $S_1(f)$. Во-первых, $S_2(f)$ зависит от $K(f)$. Спектральные составляющие $S_1(f)$ вне полосы пропускания исследуемого устройства существенно подавляются, поэтому $S_2(f) \approx K(f) S_1(f)$.

Во-вторых, нелинейность исследуемого устройства приводит к тому, что спектральные составляющие $u_{\text{ВХ}}$ образуют комбинационные спектральные составляющие, частоты которых попадают в область Δf . Таким образом, «провал» $S_2(f)$ будет частично заполнен комбинационными составляющими. Чем больше нелинейность амплитудной характеристики исследуемого устройства, тем больше уровень комбинационных составляющих. Следовательно, уровень составляющих $S_2(f)$ в области Δf несет информацию о нелинейности исследуемого устройства. Характер-

ный вид $S_2(f)$ показан на рис. 2.9, б.

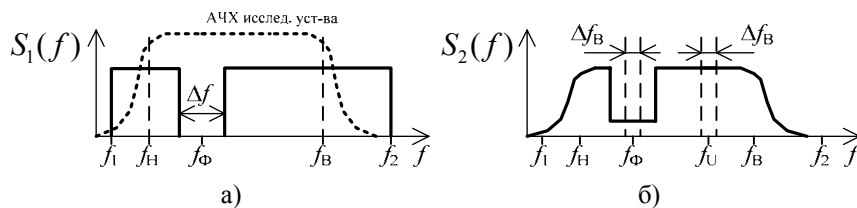


Рис. 2.9 — Спектральная плотность сигнала на входе (а) и на выходе исследуемого объекта (б)

Численно нелинейность исследуемого устройства оценивают коэффициентом нелинейности K_{CT} , который измеряют следующим образом. Селективный вольтметр с полосой пропускания Δf_B настраивают частоту f_Φ и измеряют напряжение U_Φ . После этого перестраивают селективный вольтметр на частоту f_U и измеряют напряжение U . Частота f_U

должна находиться в полосе пропускания исследуемого устройства, но вне полосы частот Δf (см. рис. 2.9, б).

Коэффициент нелинейности измеряемого объекта находят как $K_{CT} = U_\Phi / U$.

При измерениях важно, чтобы полоса пропускания селективного вольтметра оставалась постоянной.

1.3. Порядок выполнения лабораторной работы

1.3.1. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из измерителя нелинейных искажений С6-5, генератора низкой частоты Г5-56, осциллографа С1-78 и вольтметра переменного напряжения ВЗ-38.

В основе измерителя нелинейных искажений С6-5 лежит структурная схема, изображенная на рис. 2.1. Это промышленный измерительный прибор, в котором калибровка и настройка заграждающего фильтра производятся вручную.

Генератор использован как источник гармонического напряжения, нелинейные искажения которого необходимо измерить.

Осциллограф предназначен для наблюдения формы напряжения при подавлении спектральной составляющей основной частоты.

Вольтметр используется для контроля выходного напряжения генератора при проведении измерений.

1.3.2. Подготовка приборов к проведению измерений

1.3.2.1. Подготовка генератора Г5-56

Установите переключатель «ШКАЛА ВОЛЬТМЕТРА» в положение «10 V».

Установите переключатель «ВНЕШ. НАГРУЗКА» в положение «5Ω».

1.3.2.2. Подготовка измерителя нелинейных искажений С6-5

Переключатель рода работ «КАЛИБР, K_Γ %, V» установите в положение «V».

Переключатель пределов «dB, K_Γ %, mV, V» установите в положение «КАЛИБР. V», при этом кнопка «ФИЛЬТР 1 kHz» не должна быть нажатой.

Прогрейте прибор в течение 15 минут

1.3.3. Методика проведения измерений прибором С6-5

Органы управления прибором С6-5 установите в следующие положения:

- переключатель рода работ — в положение «КАЛИБР»;
- переключатель пределов — в положение «100% K_Γ »;
- переключатель «КАЛИБР.» — в крайнее левое положение;
- кнопка «ФИЛЬТР 1 kHz» — не нажата;
- кнопка «ШКАЛА ЧАСТОТ» — нажата;
- переключатель «ДИАПАЗОНЫ» установите в положение, соответствующее основной частоте исследуемого сигнала.

Диапазон частот определяют по красной шкале с умножением показаний шкалы на один из множителей X1, X10, X100, X1000 переключателя диапазонов. Шкала частот прибора ориентировочная и не может служить для отсчета частот.

Ручкой «КАЛИБР» установите стрелку индикатора прибора на отметку «10» шкалы «100 %». Если вращением ручки не удастся установить стрелку на требуемую отметку, то воспользуйтесь переключателем, находящимся на оси ручки, переводя его на одно деление по часовой стрелке.

Переключатель рода работ установите в положение « K_Γ ».

Манипулируя ручками «ЧАСТОТА Hz» и «БАЛАНС», добейтесь минимального отклонения стрелки прибора, увеличивая при этом чувствительность прибора, переключая пределы измерения.

Полученное минимальное показание прибора соответствует коэффициенту нелинейных искажений K_H исследуемого сигнала.

1.3.4. Измерение K_H генератора НЧ

1.3.4.1. Соберите лабораторную установку, схема которой показана на рис. 2.10.

1.3.4.2. Установите частоту генератора равной $F = (N + 4) \text{ kHz}$, где N — номер бригады студентов, выполняющей лабораторную работу.

1.3.4.3. Установите ручку «УРОВЕНЬ» регулировки выходного напряжения генератора в крайнее правое положение и измерьте выходное напряжение генератора $U_{\max}$ вольтметром ВЗ-38.

1.3.4.4. Для значений $k = 1; 2; 3; 4; 5$ рассчитайте напряжения $U_k = U_{\max} k / 5$.

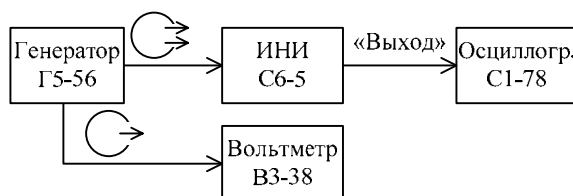


Рис. 2.10 — Структурная схема лабораторной установки

1.3.4.5. При всех значениях U_k проведите измерение коэффициента нелинейных искажений K_H в соответствии с методикой, изложенной в разделе 2.3.3 и занесите полученные результаты в таблицу 2.1.

Таблица 2.1. Результаты измерений

	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$
U_k					
K_H					

1.3.4.6. Зарисуйте осциллограммы выходных напряжений измерителя нелинейных искажений С6-5 при $k=5$ и $k=1$.

1.3.4.7. По результатам измерений постройте график зависимости коэффициента нелинейных искажений K_H от U_k измеренного напряжения.

1.4. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- цель работы;
- структурную схему измерителя нелинейных искажений;
- структурную схему лабораторной установки;
- расчетные формулы и таблицы результатов;
- график и осциллограммы;
- выводы по результатам работы.

1.5. Контрольные вопросы

1. Дайте определение коэффициента гармоник и коэффициента нелинейных искажений.
2. Нарисуйте структурную схему аналогового ИНИ и поясните принцип его работы.
3. Нарисуйте структурную схему автоматического ИНИ и поясните принцип его работы.
4. Почему гармонические методы исследования нелинейности устройств применяют в основном в области низких частот?
5. Что такое «затухание нелинейности»?
6. Нарисуйте структурную схему установки для измерения затухания нелинейности методом сравнения и поясните принцип ее работы.
7. Почему при измерении коэффициента нелинейных искажений и при измерении затухания нелинейности методом сравнения необходимо применять вольтметр СКЗ?
8. Нарисуйте структурную схему установки для измерения коэффициента нелинейности по комбинационной частоте и поясните ее работу.
9. В каких случаях целесообразно исследовать нелинейность устройства методом комбинационных частот?
10. Нарисуйте структурную схему установки для измерения нелинейности статистическим методом и поясните ее работу.

Литература по теме лабораторной работы: [1, с. 273 — 279], [2, с. 221 — 226] [3, с. 260 — 263], [6, с. 348 — 351],

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения/В.Д. Кукуш. — М.: Радио и связь, 1985.— 368 с.
2. Кушнир Ф.В. Измерения в технике связи / Ф.В. Кушнир, В.Г. Савенко, С.М. Верник. — М.: Высш. шк., 1976. — 432 с.
3. Мирский Г.Я. Электронные измерения / Г.Я. Мирский. — М.: Радио и связь, 1986 — 440 с.
4. Основы метрологии и электрические измерения. Учебник для вузов / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др.; Под ред. Е.М. Душина. — 6 изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат, 1987. — 480 с.
5. Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 512 с.
6. Нефедов В.И. Метрология и радиоизмерения / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков. — М.: Высш. шк., 2006. — 526 с.
7. Дворяшин Б. В. Основы метрологии и радиоизмерения. Учебное пособие для вузов / Б. В. Дворяшин. — М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.
8. Измеритель L , C , R универсальный Е7-11. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / НИИРИТ. — Каунас: НИИРИТ, 1980. — 97 с.