

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Поверка генератора высокой частоты

1. Цель работы

1.1. Изучение принципа действия измерительного генератора высокой частоты.

1.2. Приобретение практических навыков работы с генераторами типа Г4-102А и поверки прибора по ряду параметров.

2. Подготовка к работе

2.1. Усвоить теоретический материал «Измерительные генераторы сигналов» по [1], «Передача размеров единиц электрических величин» и «Измерительные генераторы» по [2].

2.2. Изучить принцип действия, структурную схему, технические характеристики и назначение основных органов управления исследуемого генератора, используя электронную версию технического описания.

2.3. Ознакомиться с составом лабораторной установки, заданием на лабораторную работу и усвоить порядок ее выполнения.

3. Контрольно-измерительная аппаратура

3.1. Генератор высокочастотный Г4-102А.

3.2. Электронный частотомер ЧЗ-34.

3.3. Осциллограф универсальный С1-65.

3.4. Цифровой анализатор спектра.

3.5. Милливольтметр ВЗ-39.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Измерение значений граничных частот поддиапазонов и определение запаса по частоте на краях поддиапазонов.

Подключить к выходу « μV » генератора Г4-102А через 50-омную нагрузку частотомер ЧЗ-34, установить аттенюатор генератора а положение, соответствующее выходному напряжению $U_{ном} = 5 \cdot 10^5$ мкВ. Измерение граничных частот и запаса по частоте произвести в 1-8 поддиапазонах генератора. Результаты измерений свести в табл.1.

4.2. Измерение основной погрешности установки частоты.

Схема соединений приборов такая же, как в п.4.1.

Измерения проводить в 1-8 поддиапазонах не менее чем на трех частотах каждого поддиапазона. Результаты измерений свести в табл.2.

Таблица 1

Запас по частоте на краях поддиапазонов

Поддиапазон, МГц	Значение граничных частот, МГц		Величина запаса по частоте, МГц		Величина запаса по частоте, %		Паспортное значение запаса по частоте, %
	f_{\min}	f_{\max}					
0,1-0,2							На краях диапазона-2% На краях поддиапазонов-1%
0,2-0,4							
0,4-0,8							
0,8-2,0							
2,0-5,0							
5,0-12,5							
12,5-25							
25-50							

Таблица 2

Основная погрешность установки частоты

Поддиапазон, МГц	Значение частот $f_{\text{НОМ}}$, МГц			Значение частот $f_{\text{ИЗМ}}$, МГц			Погрешность $\delta_f = \frac{f_{\text{НОМ}} - f_{\text{ИЗМ}}}{f_{\text{ИЗМ}}}$, %			Паспортное значение погрешности δ_f , %
	$f_{1\text{НОМ}}$	$f_{2\text{НОМ}}$	$f_{3\text{НОМ}}$	$f_{1\text{ИЗМ}}$	$f_{2\text{ИЗМ}}$	$f_{3\text{ИЗМ}}$	δ_{f1}	δ_{f2}	δ_{f3}	
										± 1

4.3. Измерение погрешности установки опорного напряжения.

Подключить к выходу « μV » генератора Г4-102А через 50-омную нагрузку милливольтметр ВЗ-39. Измерение погрешности установки опорного напряжения произвести не менее чем в 3 точках одного из поддиапазонов. Результаты свести в табл.3.

Таблица 3

Погрешность установки опорного напряжения

Частота, МГц	Измеренное напряжение $U_{\text{ИЗМ}}$, В	Погрешность $\delta_u = 20 \lg \frac{U_{\text{НОМ}}}{U_{\text{ИЗМ}}}$, дБ	Паспортное значение погрешности δ_u , дБ
			± 1

4.4. Измерение коэффициента гармоник выходного сигнала.

Подключить к выходу « μV » генератора Г4-102А через 50-омную нагрузку цифровой анализатор спектра. Используя инструкцию анализатора спектра измерить амплитуды первой, второй, третьей и четвертой гармоник не менее чем на трех частотах диапазона, по которым рассчитать коэффициенты гармоник по формуле

$$K_{rn} = 20 \lg \frac{U_{mn}}{U_{m1}}$$

Результаты измерений и расчетов свести в табл.4.

Таблица 4

Коэффициенты гармоник выходного напряжения

Частота, МГц	Измеренные значения амплитуд гармоник, В				Измеренные значения коэффициентов гармоник, дБ			Паспортное значение коэффициента гармоник K_r , дБ
	U_{m1}	U_{m2}	U_{m3}	U_{m4}	K_{r2}	K_{r3}	K_{r4}	
								< -26

4.5. Определение основной погрешности установленного коэффициента глубины амплитудной модуляции.

Подключить к выходу « μV » генератора Г4-102А осциллограф С1-65, с помощью которого измерять коэффициент глубины модуляции не менее чем на трех частотах диапазона генератора и не менее чем на пяти значениях глубины модуляции, включая точки 10, 80. Результаты свести в табл.5.

Таблица 5

Основная погрешность установленного коэффициента амплитудной модуляции

Частота, МГц	Установленные значения коэффициента глубины амплитудной модуляции, $M_{ном}$, %	Измеренные значения коэффициента глубины амплитудной модуляции, $M_{изм}$, %	Погрешность коэффициента глубины амплитудной модуляции $\Delta M = M_{ном} - M_{изм}$, %	Паспортное значение погрешности коэффициента глубины амплитудной модуляции ΔM , %
				± 10

5. Контрольные вопросы

- 5.1. Методика измерения запаса по частоте.
- 5.2. Методика измерения коэффициента гармоник.
- 5.3. Методика измерения погрешности установленного коэффициента амплитудной модуляции.
- 5.4. Методика измерения погрешности установленного выходного напряжения.
- 5.5. Методика измерения погрешности установленной частоты.

6. Содержание отчета

- 6.1. Таблицы с данными измерений и расчетов.
- 6.2 Анализ результатов эксперимента и расчетов.

Литература

1. Боридько С.И., Дементьев Н.В., Тихонов Б.Н., Ходжаев И.А. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Горячая линия-Телеком, 2007.
2. Под ред. Нефедова В.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Высшая школа, 2001.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Измерение напряжений

1. Цель работы

- 1.1. Овладеть методами измерения напряжений в цепях электронных схем.
- 1.2. Получить навыки работы с электронными аналоговым и цифровым вольтметрами.
- 1.3. Научиться оценивать погрешности результатов измерений.

2. Подготовка к работе

- 2.1. Усвоить теоретический материал «Измерение напряжений и токов» по [1] и «Измерение напряжения и силы тока» по [2].
- 2.2. Вывести формулу для расчета входного сопротивления вольтметра при измерении двух напряжений: без последовательно включенного резистора и с последовательно включенным резистором.
- 2.3. Вывести формулу для расчета случайной составляющей относительной погрешности косвенного измерения входного сопротивления вольтметра, используя формулу, полученную в п.2.2.
- 2.4. Определить показания следующих вольтметров при подаче на их вход последовательности прямоугольных видеоимпульсов с параметрами: $U_m = 1 \text{ В}$, $t_{и} = 0,25 \text{ мс}$, $T_{п} = 1 \text{ мс}$:
 - вольтметр среднеквадратических значений синусоидального напряжения (измерительный преобразователь средневыпрямленных значений с закрытым входом);
 - вольтметр среднеквадратических значений напряжения произвольной формы (измерительный преобразователь среднеквадратических значений с закрытым входом).
- 2.5. Изучить принцип действия, назначение основных органов управления, основные технические характеристики и правила эксплуатации:
 - микровольтметр среднеквадратических значений напряжения произвольной формы ВЗ-57 (измерительный преобразователь среднеквадратический значений с закрытым входом);
 - прибор комбинированный цифровой Щ4313, в состав которого входит электронный вольтметр среднеквадратических значений синусоидального напряжения (измерительный преобразователь средневыпрямленных значений с закрытым входом).
- 2.6. Ознакомиться с составом лабораторной установки, заданием на лабораторную работу и усвоить порядок ее выполнения.

3. Контрольно-измерительная аппаратура

- 3.1. Микровольтметр ВЗ-57.
- 3.2. Прибор комбинированный цифровой Щ4313.
- 3.3. Генератор низкочастотный ГЗ-109.
- 3.4. Генератор импульсов Г5-54.
- 3.5. Генератор высокочастотный Г4-102А.
- 3.6. Осциллограф универсальный С1-65.
- 3.7. Блок резисторов.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Измерение входного сопротивления микровольтметра ВЗ-57 и вольтметра прибора Щ4313.

4.1.1. Установить, пользуясь органами управления генератора ГЗ-109, следующие параметры выходного напряжения: $U=0,9$ В, $F=20$ Гц. Установить предел измерений на микровольтметре ВЗ-57, равный 1В. Подключить микровольтметр к генератору, произвести отсчет измеряемого напряжения U_1 . Включить между выходом генератора и входом вольтметра (последовательно) резистор, сопротивление которого наиболее близко к паспортному значению входного сопротивления микровольтметра. Произвести отсчет измеряемого напряжения U_2 .

Рассчитать входное сопротивление микровольтметра, используя формулу, полученную при подготовке к лабораторной работе.

Результаты измерений и расчетов свести в табл.6.

Таблица 6

Результаты измерений входного сопротивления вольтметра

Тип вольтметра	Показания вольтметра, В		Сопротивление резистора блока, МОм	Входное сопротивление вольтметра, МОм	
	U_1	U_2		паспортное	измеренное
ВЗ-57			6,6	5 ± 1	
Щ4313			1,1	> 1	

4.1.2. Измерение входного сопротивления вольтметра прибора Щ4313 произвести при следующих параметрах выходного напряжения генератора ГЗ-109: $F=45$ Гц, $U=4$ В, установив предел измерений, равный 5 В, по методике, изложенной в п.4.1.1. Результаты измерений и расчетов свести в табл.6.

4.1.3. Рассчитать случайную составляющую относительной погрешности косвенного измерения входного сопротивления микровольтметра ВЗ-57 и вольтметра прибора Щ4313, используя данные п.4.1.1, 4.1.2. и формулу, полученную при подготовке к лабораторной работе при условии, что

среднеквадратические отклонения случайной составляющей относительной погрешности измерения напряжений U_1 и U_2 равны $\delta_{U_1} = \delta_{U_2} = 0,02$, а среднеквадратическое отклонение случайной составляющей относительной погрешности измерения сопротивления резисторов составляет $\delta_R = 0,05$. Считать приведенные выше погрешности некоррелированными.

4.2. Исследование влияния частоты сигнала на показания микровольтметра ВЗ-57 и вольтметра прибора Щ4313.

4.2.1. Подключить к входу микровольтметра ВЗ-57 генератор Г4-102А. Установить предел измерения напряжения на ВЗ-57, равный 1В. Органами управления выходного напряжения Г4-102А добиться показания ВЗ-57 на частоте 0,1 МГц, равного 0,5 В. Изменяя частоту генератора Г4-102А в диапазоне от 0,1 МГц до 10 МГц, произвести отсчеты напряжений по шкале микровольтметра ВЗ-57.

Результаты измерений свести в табл.7.

Таблица 7

Результаты измерений частотных характеристик вольтметров

ВЗ-57	f, МГц	
	U, В	
Щ4313	f, МГц	
	U, В	

По результатам табл.7 построить зависимости $U(f)$.

4.2.2. Аналогичные измерения произвести вольтметром прибора Щ4313 на пределе измерения напряжения, равном 5 В, в диапазоне частот от 0,1 МГц до 0,5 МГц. Результаты измерений свести в табл.7.

4.3. Исследование зависимости показаний электронных вольтметров от формы измеряемого напряжения.

4.3.1. Подключить к входам микровольтметра ВЗ-57 и осциллографа С1-65 генератор импульсов Г5-54, на выходе которого получить последовательность прямоугольных видеоимпульсов с параметрами: амплитуда 1В, длительность импульсов 0,25 мс, период повторения 1 мс, полярность положительная, подкорректировать параметры последовательности импульсов, используя осциллограф. Установить предел измерения напряжения на ВЗ-57 равным 1 В. Результат измерения занести в табл.8.

4.3.2. Аналогичное измерение произвести вольтметром прибора Щ4313, установив предел измерения напряжения равным 0,5 В. Результаты

измерений занести в табл.8. Сравнить показания вольтметров (табл.8) с результатами расчетов (п.2.4).

Таблица 8

Результаты измерений напряжения, нештатного для вольтметров

	Тип вольтметра	Тип измерительного преобразователя	Показания вольтметра
ВЗ-57	среднеквадратических значений	среднеквадратических значений с закрытым входом	
Щ4313	среднеквадратических значений синусоидального напряжения	средневыпрямленных значений с закрытым входом	

4.4. Поверка стрелочного микровольтметра ВЗ-57 по цифровому Щ4313 методом сличения.

Подключить оба вольтметра к генератору ГЗ-109. Настроить генератор на частоту 1 кГц. Установить предел измерения напряжения у ВЗ-57 и Щ4313 соответственно 3 В и 5 В. Поверку провести в точке 2 В на установленном пределе стрелочного микровольтметра ВЗ-57. Для этого плавно изменять выходное напряжение генератора со стороны меньших значений от 1 В до получения 2 В по стрелочному микровольтметру («ход вверх»). Измерить это напряжение прибором Щ4313. Прodelать эти операции 10 раз.

Аналогично получить данные для «хода вниз», начиная со значения 3 В до 2 В. Результаты свести в табл.9.

Рассчитать оценки погрешностей поверяемого микровольтметра ВЗ-57:

- оценка систематической погрешности определяется по формуле:

$$\Delta_C = \frac{1}{2} (\bar{\Delta}_{ВВ} + \bar{\Delta}_{ВН}),$$

где $\bar{\Delta}_{ВВ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{ВВi}$, $\bar{\Delta}_{ВН} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_{ВНi}$, $n=10$;

- оценка среднеквадратического отклонения (СКО) случайной погрешности определяется по формуле:

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{ВВi} - \bar{\Delta}_{ВВ})^2 + \sum_{i=1}^n (\Delta_{ВНi} - \bar{\Delta}_{ВН})^2}{2n-1}};$$

- оценка вариации определяется по формуле:

$$\hat{V} = |\bar{\Delta}_{ВВ} - \bar{\Delta}_{ВН}|.$$

Таблица 9

Результаты поверки стрелочного вольтметра

Показания вольтметров		Погрешность единичных измерений		Среднее значение погрешности измерений		Оценка систематической погрешности поверяемого вольтметра	Оценка случайной погрешности поверяемого вольтметра	Оценка вариации	
Поверяемого, В	Образцового, В		$\Delta_{\text{вв}}, \text{В}$	$\Delta_{\text{вн}}, \text{В}$	$\bar{\Delta}_{\text{вв}}, \text{В}$	$\bar{\Delta}_{\text{вн}}, \text{В}$	$\hat{\Delta}_{\text{с}}, \text{В}$	$\hat{\sigma}_{\Delta}, \text{В}$	$\hat{V}, \text{В}$
	ход вверх	ход вниз	ход вверх	ход вниз	ход вверх	ход вниз			
2									

5. Контрольные вопросы

5.1. Методика измерения входного сопротивления электронного вольтметра.

5.2. Методика поверки электронного вольтметра методом сличения.

5.3. Методика измерения систематической погрешности вольтметра.

5.4. Методика измерения вариации.

6. Содержание отчета

6.1. Результаты расчетов, проведенных при подготовке к работе.

6.2. Таблицы с результатами измерений и расчетов, проведенных по ним.

6.3. Анализ результатов эксперимента и выводы.

Литература

1. Боридько С.И., Дементьев Н.В., Тихонов Б.Н., Ходжаев И.А. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Горячая линия-Телеком, 2007.

2. Под ред. Нефедова В.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Высшая школа, 2001.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Исследование формы напряжения сигналов электронно-лучевым осциллографом

1. Цель работы

- 1.1. Изучение принципа действия электронно-лучевого осциллографа.
- 1.2. Приобретение практических навыков работы с осциллографами типа С1-65.

2. Подготовка к работе

- 2.1. Усвоить теоретический материал «Исследование формы электрических сигналов» по [1] и «Исследование формы и параметров сигнала» по [2].
- 2.2. Изучить принцип действия, назначение органов управления, основные технические характеристики и инструкцию по эксплуатации электронно-лучевого осциллографа С1-65.
- 2.3. Ознакомиться с составом лабораторной установки, заданием на лабораторную работу и усвоить порядок ее выполнения.

3. Контрольно-измерительная аппаратура

- 3.1. Электронно-лучевой осциллограф С1-65.
- 3.2. Генератор низкочастотный ГЗ-109.
- 3.3. Генератор импульсов Г5-54.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Калибровка осциллографа.

Включить осциллограф в сеть и провести все необходимые операции согласно инструкции по эксплуатации.

4.2. Наблюдение на экране осциллографа кривой напряжения низкочастотного синусоидального сигнала, измерение амплитуды и периода этого сигнала. Подключить к выходу генератора ГЗ-109 вход канала Y осциллографа. Получить на выходе генератора синусоидальное напряжение с параметрами $U=1$ В, $F=1$ кГц, пользуясь отсчетными устройствами генератора. Получить на экране устойчивое изображение одного периода исследуемого напряжения при внутренней синхронизации. Измерить амплитуду и период этого напряжения в делениях масштабной сетки на экране ЭЛТ. Зарисовать в масштабе полученное изображение (по осям отложить деления масштабной сетки), указав значения коэффициентов развертки и отклонения, при которых получено изображение. Рассчитать и сравнить измеренные параметры сигнала с установленными на генераторе.

Не меняя параметров сигнала генератора, получить устойчивое изображение двух, а затем пяти периодов синусоидального напряжения. Зарисовать осциллограммы, указав коэффициенты развертки и отклонения, при которых они получены. Сделать заключение о влиянии коэффициента развертки на вид осциллограммы.

4.3. Наблюдение на экране осциллографа импульсных сигналов, измерение их параметров.

Подключить вход канала Y осциллографа к выходу основных импульсов генератора Г5-54. Выставить на генераторе Г5-54 следующие параметры импульсной последовательности: амплитуда 2 В, длительность импульсов 50 мкс, частота повторения 10 кГц, полярность положительная. Прodelать те же опыты, что и в п.4.2.

Уменьшить длительность импульсов до 1 мкс, остальные параметры оставить прежними. Получить устойчивое изображение в режиме внутренней синхронизации. Изменяя коэффициент развертки, добиться того, чтобы ширина изображения импульса составляла примерно половину длины масштабной сетки экрана. Измерить длительности импульса (на уровне $0,5 U_m$), фронта и среза (на уровнях 0,1-0,9), амплитуду. Зарисовать осциллограмму.

Перейти к режиму внешней синхронизации. Для этого соединить гнездо ВНЕШ. ВХОД X внешней синхронизации осциллографа с выходом синхронизирующих импульсов генератора Г5-54. Установить на генераторе временной сдвиг между основным и синхронизирующим импульсами, равный 1 мкс. Получить устойчивое изображение импульса. Зарисовать осциллограмму и сравнить ее с осциллограммой импульса, полученной в режиме внутренней синхронизации. Измерить временной интервал от момента начала развертки до начала импульса и сравнить с временным сдвигом, установленным на генераторе Г5-54.

5. Содержание отчета

5.1. Осциллограммы и результаты измерений.

5.2. Анализ результатов эксперимента и выводы по работе.

Литература

1. Боридько С.И., Дементьев Н.В., Тихонов Б.Н., Ходжаев И.А. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Горячая линия-Телеком, 2007.

2. Под ред. Нефедова В.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Высшая школа, 2001.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Аппаратурный анализ спектров сигналов

1. Цель работы – получение практических навыков использования цифрового анализатора спектра.

2. Подготовка к работе

2.1. Усвоить теоретический материал «Анализаторы спектра сигналов» по [1] и «Анализ спектра сигналов» по [2].

2.2. Изучить назначение основных органов управления анализатора спектра, основные технические характеристики и правила эксплуатации анализатора спектра и других приборов, используемых в лабораторной работе.

2.3. Ознакомиться с лабораторным заданием и составом лабораторной установки.

3. Контрольно-измерительная аппаратура

3.1. Генератор сигналов специальной формы АКПП-3407/4А.

3.2. Осциллограф GOS-652G.

3.3. Цифровой анализатор спектра.

4. Порядок выполнения измерений

4.1. Измерение амплитудного спектра синусоидального напряжения.

Собрать лабораторную установку в соответствии с рис. 1.

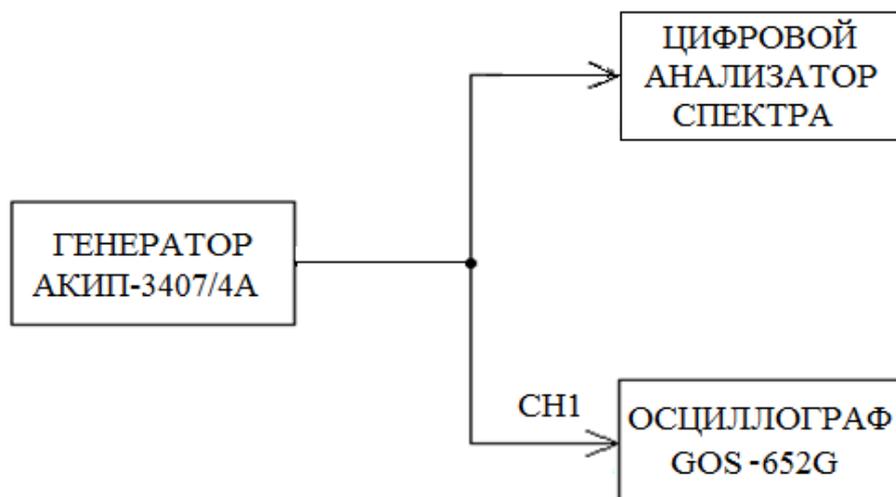


Рис. 1. Структурная схема лабораторной установки

Получить на выходе генераторе синусоидальное напряжение с параметрами: $U = 1$ В; $f = 1$ МГц. Для этого воспользоваться руководством по эксплуатации генератора.

На осциллографе установить удобные для наблюдения осциллограммы напряжения коэффициенты отклонения и развертки и зарисовать осциллограмму.

На анализаторе спектра, используя руководство по эксплуатации, получить изображение спектра, а далее измерить амплитуду и частоту спектральной составляющей. Построить амплитудный спектр синусоидального напряжения.

4.2. Измерение амплитудного спектра однотонового амплитудно-модулированного напряжения.

Получить на выходе генератора однотоновое амплитудно-модулированное напряжение с параметрами: $U_n = 1$ В; $f_n = 1$ МГц, $M = 50\%$; $F_m = 10$ кГц. Для этого воспользоваться руководством по эксплуатации генератора.

На осциллографе установить удобные для наблюдения осциллограммы напряжения коэффициенты отклонения и развертки и зарисовать осциллограмму.

На анализаторе спектра, используя руководство по эксплуатации, получить изображение спектра, а далее измерить амплитуды и частоты спектральных составляющих. Построить амплитудный спектр однотонового амплитудно-модулированного напряжения.

Рассчитать коэффициент модуляции по формуле

$$M = \frac{2U_{mб}}{U_{mн}}$$

где $U_{mб}$, $U_{mн}$ – высоты откликов, соответствующих соответственно боковым и несущему колебаниям.

Рассчитать ширину спектра однотонового амплитудно-модулированного напряжения и сравнить с частотой модуляции.

4.3. Измерение амплитудного спектра однотонового частотно-модулированного сигнала.

Получить на выходе генератора однотоновое частотно-модулированное напряжение с параметрами: $U_{нec} = 1$ В; $f_{нec} = 1$ МГц, $\Delta f_{дeв} = 60$ кГц, $F_{мод} = 10$ кГц. Для этого воспользоваться руководством по эксплуатации генератора.

На осциллографе установить удобные для наблюдения осциллограммы напряжения коэффициенты отклонения и развертки и зарисовать осциллограмму.

На анализаторе спектра, используя руководство по эксплуатации, получить изображение спектра, а далее измерить амплитуды и частоты спектральных составляющих. Построить амплитудный спектр однотонового частотно-модулированного напряжения.

Измерить практическую ширину спектра сигнала и сравнить с девиацией частоты $\Delta f_{\text{дев}}$, а также измерить частотный интервал между соседними спектральными составляющими и сравнить с частотой модуляции.

4.4. Измерение амплитудного спектра периодической последовательности прямоугольных радиоимпульсов.

Получить на выходе генератора периодическую последовательность прямоугольных радиоимпульсов с параметрами: $U_{\text{нec}} = 1 \text{ В}$; $f_{\text{нec}} = 1 \text{ МГц}$, $t_{\text{и}} = 10 \text{ мкс}$, $T_{\text{п}} = 100 \text{ мкс}$. Для этого воспользоваться руководством по эксплуатации генератора.

На осциллографе установить удобные для наблюдения осциллограммы напряжения коэффициенты отклонения и развертки и зарисовать осциллограмму.

На анализаторе спектра, используя руководство по эксплуатации, получить изображение спектра, а далее измерить амплитуды и частоты спектральных составляющих. Построить амплитудный спектр периодической последовательности прямоугольных радиоимпульсов.

Измерить ширину главного и двух боковых «лепестков» спектра и сравнить их с величиной $1/t_{\text{и}}$, а также измерить частотный интервал между соседними спектральными составляющими и сравнить их с частотой повторения радиоимпульсов.

4.5. Измерение амплитудного спектра периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов.

Получить на выходе генератора периодическую последовательность прямоугольных видеоимпульсов с параметрами: $U_{\text{м}} = 1 \text{ В}$; $t_{\text{и}} = 10 \text{ мкс}$, $T_{\text{п}} = 100 \text{ мкс}$. Для этого воспользоваться руководством по эксплуатации генератора.

На осциллографе установить удобные для наблюдения осциллограммы напряжения коэффициенты отклонения и развертки и зарисовать осциллограмму.

На анализаторе спектра, используя руководство по эксплуатации, получить изображение спектра, а далее измерить амплитуды и частоты спектральных составляющих. Построить амплитудный спектр периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов.

Измерить ширину главного и двух боковых «лепестков» спектра и сравнить их с величиной $1/t_{\text{и}}$, а также измерить частотный интервал между соседними спектральными составляющими и сравнить их с частотой повторения видеоимпульсов.

Рассчитать, используя значение ширины лепестков, длительность импульсов и сравнить с длительностью импульсов, установленной на генераторе.

5. Контрольные вопросы

5.1. Методика получения на выходе генератора однотонального амплитудно-модулированного напряжения и измерения анализатором спектра его амплитудного спектра.

5.2. Методика получения на выходе генератора однотонального амплитудно-модулированного напряжения и измерения анализатором спектра его амплитудного спектра.

5.3. Методика получения на выходе генератора однотонального частотно-модулированного напряжения и измерения анализатором спектра его амплитудного спектра.

5.4. Методика получения на выходе генератора периодической последовательности прямоугольных радиоимпульсов и измерения анализатором спектра ее амплитудного спектра.

5.5. Методика получения на выходе генератора периодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов и измерения анализатором спектра ее амплитудного спектра.

6. Содержание отчета

6.1. Схемы соединений измерительных приборов.

6.2. Таблицы с данными измерений и расчетов.

6.3. Анализ результатов экспериментов, выводы.

Литература

1. Боридько С.И., Дементьев Н.В., Тихонов Б.Н., Ходжаев И.А. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Горячая линия – Телеком, 2007.

2. Под ред. Нефедова В.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Высшая школа, 2001.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Измерение частоты и интервалов времени

1. Цель работы

- 1.1. Овладеть основными методами измерения частоты и интервалов времени.
- 1.2. Получить навыки работы с частотно-измерительной аппаратурой.
- 1.3. Научиться оценивать погрешности результатов измерений.

2. Подготовка к работе

- 2.1. Усвоить теоретический материал «Измерение частоты электрических сигналов» по [1] и «Измерение частоты и интервалов времени» по [2].
- 2.2. Изучить принцип действия, назначение основных органов управления, основные технические характеристики электронно-счетного частотомера ЧЗ-34, ознакомиться с инструкцией по эксплуатации.
- 1.5. Усвоить программу и порядок выполнения лабораторной работы.

3. Контрольно-измерительная аппаратура

- 3.1 Генераторы низкочастотные ГЗ-109 и ГЗ-118.
- 3.2. Частотомер электронно-счетный ЧЗ-34.
- 3.3. Осциллограф АСК-1021.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Измерить частоту выходного напряжения измерительного генератора ГЗ-109 методом интерференционных фигур, установив частоту генератора ГЗ-109 равной 0,6 кГц. В качестве образцового использовать генератор ГЗ-118, на котором установить частоту 0,6 кГц. Схема соединений приборов представлена на рис.2. На осциллографе нажать кнопку X-Y, переключатель SOURCE установить в положение CH1, а переключатель VERT MODE - в положение CH2.

Перестраивая частоту генератора ГЗ-118 около первоначально установленного значения частоты, добиться почти неподвижной фигуры Лиссажу на экране осциллографа. Определить количество точек пересечения полученной фигуры с горизонтальной и вертикальной осями координатной сетки осциллографа. Рассчитать значение частоты выходного напряжения генератора ГЗ-109.

Проделать аналогичные операции на следующих частотах генератора ГЗ-109: 0,3; 0,2; 0,4; 1,2; 1,8; 0,9 кГц.

Результаты наблюдений и расчетов занести в табл.10.



Рис. 2. . Структурная схема лабораторной установки

Таблица 10

Результаты измерения частоты с помощью фигур Лиссажу

Частота образцового генератора ГЗ-118 $f_{обр}$, кГц.	Вид осциллограммы	Частота, измеренная с использованием осциллограммы $f_{изм}$, кГц.

4.2. Измерить частоту выходного напряжения измерительного генератора ГЗ-109 методом дискретного счета, используя электронно-счетный частотомер (ЭСЧ) ЧЗ-34 и установив частоты генератора ГЗ-109: 1,5; 5; 50; 150 кГц; напряжение генератора 1 В.

Время измерения на частотомере установить равным 1с.

Результаты измерений и расчетов занести в табл. 11.

Таблица 11

Результаты измерения частоты ЭСЧ

Частота, установленная по отсчетному устройству измерительного генератора ГЗ-109 f_y , кГц	Частота, измеренная частотомером $f_{изм}$, кГц	Абсолютная погрешность градуировки шкалы отсчетного устройства измерительного генератора ГЗ-109 $\Delta = f_y - f_{изм}$, кГц	Относительная погрешность градуировки шкалы $\delta_f = \frac{\Delta}{f_{изм}}$, %

4.3. Измерить частоту выходного напряжения измерительного генератора ГЗ-109 методом дискретного счета, используя частотомер ЧЗ-34 в режиме «Отношение частот F_B / F_A » и установив частоты генератора ГЗ-109: 3, 5, 6, 10, 15, 20 кГц.

В качестве образцовой использовать частоту генератора ГЗ-118 $f_{обр.}=30$ кГц, которую вначале необходимо проконтролировать частотомером. Выходное напряжение генераторов установить равным 1В, время измерения на частотомере установить равным 0,1 с.

Результаты измерений и расчетов свести в табл. 12.

Таблица 12

Результаты измерения частоты ЭСЧ

Частота, устанавливаемая по отсчетному устройству измерительного генератора ГЗ-109 f_y , кГц	Расчетное отношение частот $n = \frac{f_{обр}}{f_y}$	Измеренное отношение частот $n_{изм} = \frac{f_{обр}}{f_{изм}}$	Относительная погрешность градуировки шкалы измерительного генератора ГЗ-109 $\delta = \frac{n_{изм}}{n} - 1, \%$	Измеренное значение частоты $f_{изм} = \frac{n}{n_{изм}} f_y$, кГц

4.4. Измерить частоту выходного напряжения измерительного генератора ГЗ-109 косвенным методом с использованием прямого измерения периода с помощью осциллографа, установив частоты: 1, 5, 10, 40 кГц; напряжение генератора 1 В.

Коэффициент развертки осциллографа устанавливать таким, чтобы осциллограмма одного колебания напряжения генератора занимала большую часть экрана осциллографа.

Результаты измерений и расчетов свести в табл.13.

Таблица 13

Результаты измерения частоты ЭСЧ

Частота измерительного генератора ГЗ-109, измеренная с помощью частотомера $f_{изм}^ч$, кГц	Период колебаний измерительного генератора ГЗ-109, измеренный осциллографом $T_{изм}^о$, мс	Частота измерительного генератора ГЗ-109, рассчитанная по периоду $f_{изм}^о = \frac{1}{T_{изм}^о}$, кГц	Относительная погрешность измерения частоты с использованием осциллографа $\delta = \frac{f_{изм}^ч - f_{изм}^о}{f_{изм}^ч}, \%$

4.5. Измерить период колебаний выходного напряжения измерительного генератора ГЗ-109 методом дискретного счета, используя частотомер ЧЗ-34 и установив частоты генератора 1 и 5 кГц, напряжение генератора 1 В, для трех случаев:

5. Контрольные вопросы

5.1. Методика измерения частоты методом интерференционных фигур.

5.2. Методика измерения частоты прямым методом с помощью ЭСЧ.

5.3. Методика измерения частоты косвенным методом в режиме «Отношение частот F_B/F_A » с помощью ЭСЧ.

5.4. Методика измерения частоты косвенным методом в режиме прямого измерения периода колебаний с помощью осциллографа.

5.5. Методика измерения периода прямым методом с помощью ЭСЧ. Влияние значений меток времени и множителя периода на точность измерений.

5.6. Методика многократного измерения частоты прямым методом с помощью ЭСЧ. Влияние значения времени измерения и усреднения результатов измерений на точность измерений.

6. Содержание отчета

6.1. Схема соединений измерительных приборов.

6.2. Таблицы с данными измерений и расчетов.

6.3. Анализ результатов эксперимента и расчетов, выводы.

Литература

1. Боридько С.И., Дементьев Н.В., Тихонов Б.Н., Ходжаев И.А. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Горячая линия-Телеком, 2007.

2. Под ред. Нефедова В.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Высшая школа, 2001.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Измерение полных сопротивлений, емкостей и индуктивностей

1. Цель работы

1.1. Овладеть основными методами измерения полных сопротивлений, емкостей и индуктивностей и получить навыки работы с приборами, предназначенными для их измерения.

1.2. Научиться оценивать погрешности результатов измерений.

2. Подготовка к работе

2.1. Усвоить теоретический материал «Измерение параметров элементов электрических цепей с сосредоточенными постоянными» по [1], «Измерение параметров цепей с сосредоточенными и постоянными» по [2].

2.2. Изучить принцип действия, назначение основных органов управления и основные технические характеристики приборов, используемых в лабораторной работе.

2.3. Усвоить порядок выполнения лабораторной работы.

3. Контрольно-измерительная аппаратура

3.1. Цифровой комбинированный прибор Щ 4313.

3.2. Измеритель индуктивности и емкости высокочастотный Е7-9.

3.3. Измеритель полных сопротивлений ВМ 507.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Измерить с помощью прибора Щ 4313 сопротивление постоянному току всех резисторов в лабораторном блоке. Определить отклонения сопротивлений указанных резисторов от номинала. Результаты измерений свести в табл.16.

Отклонение сопротивлений от номинала не должно превышать 5%. В графе «Примечание» сделать пометки, соответствующие пригодности рассматриваемых резисторов.

4.2. Измерить с помощью прибора Е7-9 индуктивность катушек. Определить отклонение от номинала. Измерить те же индуктивности прибором ВМ 507. Определить погрешность измерения индуктивности катушек прибором ВМ 507 методом сравнения. В качестве образцового использовать прибор Е7-9.

4.2.1. Измерение индуктивности катушек с помощью прибора Е7-9 осуществляется следующим образом:

- замкнуть клеммы L_x ;

- установить переключатель C_1 и отсчетные устройства конденсаторов C_2 и C_3 на нуль;

Таблица 16

Результаты измерений сопротивления резисторов

Номинал резистора R , Ом	Измеренное значение $R_{\text{изм.}}$, Ом	Абсолютное отклонение $\Delta = R - R_{\text{изм.}} $, Ом	Относительное отклонение $\delta = \frac{\Delta}{R_{\text{изм.}}}$, %	Примечание
51				
620				
5100				
100000				

- поставить переключатель МНОЖИТЕЛЬ K в положение 0,1;
 - добиться ручкой НАЧ. УСТ. нулевых биений (нулевым биениям соответствует момент погасания светового индикатора);
 - к разомкнутым клеммам L_x подключить измеряемую индуктивность. Добиться нулевых биений вращением ручек отсчетных устройств конденсаторов C_2 (грубая настройка) и C_3 (точная настройка) по часовой стрелке. Измеряемая величина индуктивности L_x в мкГн определяется по формуле:

$$L_x = K (C_2 + C_3),$$

где K – множитель поддиапазонов (0,01; 0,1; 1; 10; 100).

4.2.2. Измерение индуктивности катушек с помощью прибора ВМ 507 осуществляется следующим образом:

- пользуясь таблицей, приведенной на лицевой панели прибора, выбрать подходящий предел измерения индуктивности из трех нижних строк; переключателем и ручкой ЧАСТОТА установить частоту, соответствующую выбранной строке;
- откалибровать прибор (нажать на кнопку ГРАД. 1 кОм выбрать предел 3 кОм, ручкой ГРАДУИРОВАНИЕ Z установить значение $Z=1$ кОм, ручкой ноль φ установить значение $\varphi=0$, отжать кнопку ГРАД. 1 кОм);
- подключить к клеммам X , Y измеряемую индуктивность;

- в соответствии с выбранным пределом измерения индуктивности переключателями Ω , $k\Omega$ установить диапазон Z , указанный в верхней строке таблицы, при этом во второй сверху строке указывается используемая при измерении шкала индикатора Z , причем предел этой шкалы равен выбранному пределу измерения индуктивности.

Результаты измерений свести в табл.17.

4.3. Измерить с помощью Е7-9 емкость конденсаторов. Определить отклонение от номинала. Измерить емкость этих конденсаторов прибором ВМ 507. Определить погрешность измерения емкости конденсаторов прибором ВМ 507 методом сравнения. В качестве образцового прибора использовать прибор Е7-9.

Таблица 17

Результаты измерения индуктивности катушек

Номинал индуктивности L , мкГн	Измеренное значение индуктивности прибором Е7-9 $L_{\text{изм1}}$, мкГн	Относительное отклонение индуктивности от номинала $\delta = \frac{L - L_{\text{изм1}}}{L_{\text{изм1}}}$, %	Измеренное значение индуктивности прибором ВМ 507 $L_{\text{изм2}}$, мкГн	Относительная погрешность измерения $\delta = \frac{L_{\text{изм1}} - L_{\text{изм2}}}{L_{\text{изм1}}}$, %
8				
10				
15				

4.3.1. Измерение емкости конденсаторов с помощью прибора Е7-9 осуществляется следующим образом:

- включить кнопку ИЗМЕР. С;
- установить на нуль отсчетные устройства конденсаторов C_2 и C_3 и переключатель C_1 ;
- настроиться ручкой НАЧ. УСТ. на нулевые биения по световому индикатору (при разомкнутых клеммах C_x);
- подключить измеряемую емкость к клеммам C_x и произвести вторичную настройку на нулевые биения, пользуясь переключателем C_1 и отсчетными устройствами конденсаторов C_2 и C_3 . Измеряемая емкость $C_{\text{и}}$ в пФ определяется по формуле:

$$C_{\text{и}} = C_1 + C_2 + C_3.$$

4.3.2. Измерение емкости конденсаторов с помощью прибора ВМ 507 осуществляется по методике, приведенной в п.4.2.2.

Результаты измерений свести в табл.18.

4.4. Измерить с помощью прибора ВМ 507 модуль Z и аргумент φ полного сопротивления резистора $R=3$ МОм на частотах 50, 100, 150, 200, 250 кГц.

Измерить сопротивление постоянному току этого резистора с помощью прибора Щ4313.

Измерение модуля и аргумента полного сопротивления резистора $R=3$ МОм на указанных частотах осуществляется следующим образом:

- подключить резистор к клеммам X, Y;
- с помощью переключателя и ручки ЧАСТОТА установить необходимое значение частоты;
- переключателями Ω , к Ω установить предел измерения сопротивления, равный 3000 кОм;
- при измерении модуля полного сопротивления использовать третью сверху шкалу индикатора Z ;
- отчет аргумента полного сопротивления производить по индикатору φ .

Результаты измерений свести в табл.19.

Таблица 18

Результаты измерения емкости конденсаторов

Номинал емкости конденсатора C , пФ	Измеренное значение емкости прибором Е7-9 $C_{\text{изм1}}$, пФ	Относительное отклонение емкости от номинала $\delta = \frac{C - C_{\text{изм1}}}{C_{\text{изм1}}},$	Измеренное значение емкости прибором ВМ 507 $C_{\text{изм2}}$, пФ	Относительная погрешность измерения $\delta = \frac{C_{\text{изм1}} - C_{\text{изм2}}}{C_{\text{изм1}}},$ %
390				
1600				
2000				

Таблица 19

Результаты измерения сопротивления резистора на разных частотах

Номинал резистора R, МОм	Измеренное сопротивление резистора постоянному току $R_{изм}$, МОм	Модуль и аргумент полного сопротивления резистора					
		f, кГц	50	100	150	200	250
3		Z, МОм					
		ϕ , град					

4.5. Измерить с помощью прибора ВМ 507 модуль Z и аргумент ϕ полного сопротивления катушки индуктивности $L=8$ мкГн на частотах 50, 100, 150, 200 кГц.

Измерение модуля и аргумента полного сопротивления катушки индуктивности на указанных частотах осуществляется следующим образом:

- подключить катушку к клеммам X, Y;
 - с помощью переключателя и ручки ЧАСТОТА установить необходимое значение частоты;
 - переключателями Ω , к Ω установить предел измерения сопротивления, равный 10 Ом;
 - при измерении модуля полного сопротивления использовать верхнюю шкалу индикатора Z;
 - отсчет аргумента полного сопротивления производить по индикатору ϕ .
- Результаты измерений свести в табл.20.

Таблица 20

Результаты измерения полного сопротивления катушки индуктивности на разных частотах

f, кГц	50	100	150	200
Z, Ом				
ϕ , град.				

5. Контрольные вопросы

- 5.5. Методика измерения сопротивления резисторов постоянному току с помощью прибора Щ4313.
- 5.6. Методика измерения индуктивности катушек с помощью прибора Е7-9.
- 5.7. Методика измерения индуктивности катушек с помощью прибора ВМ-507.
- 5.8. Методика измерения емкости конденсаторов с помощью прибора Е7-9.
- 5.9. Методика измерения емкости конденсаторов с помощью прибора ВМ-507.
- 5.10. Пояснить зависимость полного сопротивления резистора от частоты.
- 5.11. Пояснить зависимость полного сопротивления катушки индуктивности от частоты.

6. Содержание отчета

- 6.1. Таблицы с данными измерений и расчетов.
- 6.2. Анализ результатов измерений и расчетов.

Литература

1. Боридько С.И., Дементьев Н.В., Тихонов Б.Н., Ходжаев И.А. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Горячая линия-Телеком, 2007.
2. Под ред. Нефедова В.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Высшая школа, 2001.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Измерение характеристик случайных сигналов

1. Цель работы

1.1. Овладеть методами измерения характеристик случайных сигналов.

1.2. Получить навыки работы с прибором Х6-4, предназначенным для исследования нормированных функций автокорреляции и взаимной корреляции, плотности распределения вероятностей и функции распределения вероятностей эргодических случайных процессов и воспроизведения результатов измерения на внутреннем индикаторе и внешнем осциллографе.

2. Краткие теоретические сведения

В данной лабораторной работе изучаются основные инженерные характеристики случайных сигналов, такие как автокорреляционные функции, функции плотности вероятностей и функции распределения. Экспериментально проверяется центральная предельная теорема вероятностей А.М. Ляпунова. Случайными сигналами (процессами) называют сигналы, математическими моделями которых являются случайные функции времени. Случайной называется функция, значение которой при каждом значении аргумента t является случайной величиной в отличие от детерминированного сигнала, значение которого при любом t является неслучайным числом, называемым мгновенным значением сигнала.

Случайная функция $x(t)$, описывающая случайный сигнал, в результате опыта может принять ту или иную конкретную формулу $x_i(t)$, неизвестную заранее. Эти возможные формы случайной функции называются реализациями. Совокупность всех возможных реализаций $x_i(t)$, случайного сигнала (процесса) $x(t)$ называется ансамблем.

В данной лабораторной работе исследуются эргодические случайные сигналы. Это такие стационарные сигналы, характеристики которых – функция плотности распределения вероятностей (ФПРВ), функция распределения (ФРВ) получаются при исследовании одной реализации достаточно большой протяженности.

В лабораторной работе исследуются характеристики негауссовых и гауссовых (нормальных) процессов.

Примеры негауссовых процессов и их функций плотности вероятностей приведены на рис.3.

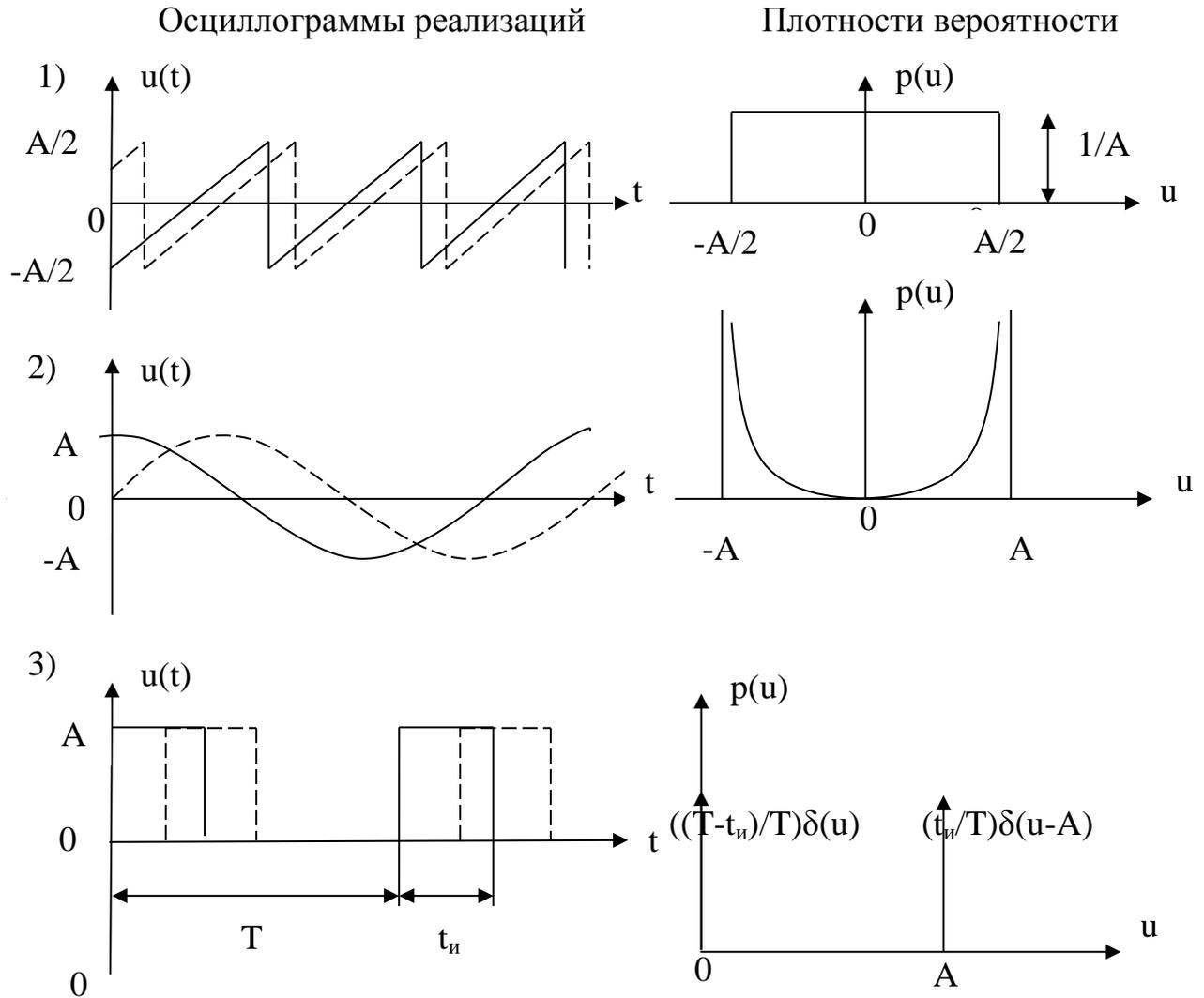


Рис. 3. Примеры негауссовых процессов и их функций плотностей вероятностей: 1 – пилообразное колебание со случайным временем появления; 2 – гармоническое колебание со случайной фазой; 3 – последовательность прямоугольных импульсов со случайным временем появления.

Для изучения свойств ФПРВ гауссовых процессов в лабораторной работе используется сумма пяти гармонических колебаний, формируемых соответствующими генераторами (см. переднюю панель лабораторного макета). Согласно центральной предельной теореме вероятностей А. М. Ляпунова распределение суммы достаточно большого числа независимых примерно одинаковых случайных слагаемых стремится к нормальному независимо от ФПРВ каждого сигнала в отдельности. Если число N суммируемых гармонических колебаний с близкими амплитудами и взаимнонезависимыми

фазами $N = 4$ и более, то ФПРВ суммы можно с достаточной степенью точности считать стационарным процессом с ФПРВ, близкой к гауссовской.

3. Подготовка к работе

3.1. Усвоить теоретический материал «Измерение вероятностных характеристик случайных процессов» по [2].

3.2. Изучить принцип действия, назначение основных органов управления и основные технические характеристики приборов, используемых в лабораторной работе.

3.3. Усвоить порядок выполнения лабораторной работы.

4. Контрольно-измерительная аппаратура

4.1. Прибор для исследования корреляционных характеристик Х6-4.

4.2. Генератор шума низкочастотный Г2-57.

4.3. Осциллограф электронно-лучевой АСК-1021.

4.4. Лабораторный макет.

5. Порядок выполнения лабораторной работы

5.1. Измерить с помощью прибора Х6-4 автокорреляционную функцию (АКФ), функции распределения вероятностей (ФРВ) и плотности распределения вероятностей (ФПРВ) гармонического колебания со случайной фазой.

5.1.1. Собрать лабораторную установку в соответствии с рис.4.

После проверки схемы соединений приборов и лабораторного макета включить питание приборов.

5.1.2. Установить на лабораторном макете переключатель S6 в положение 1, включить соответствующим тумблером генератор синусоидальных колебаний.

5.1.3. Подготовить прибор Х6-4 следующим образом:

- нажать кнопку переключателя Б4V;
- нажать кнопку переключателя ВСПОМОГ. СИГНАЛ ВЫКЛ.;
- нажать кнопку переключателя РЕЖИМ R₆₆;
- нажать кнопку переключателя УСРЕДНЕНИЕ СУММ;
- набрать число на переключателе N КАНАЛА «00»;
- нажать кнопку переключателя ЗАДЕРЖКА 1 mS;
- нажать кнопку x 10;

- нажать кнопки переключателя КОЛИЧЕСТВО ВЫБОРОК 2^9 и 2^1 ;
- нажать кнопку «~» и кнопку РАЗВЕРТКА.

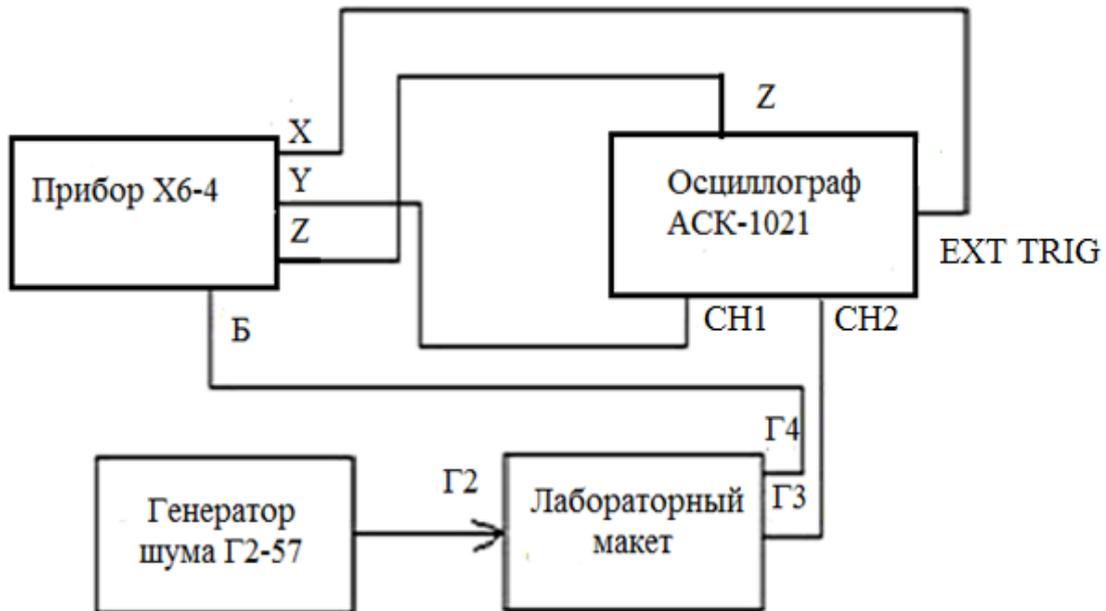


Рис.4. Структурная схема лабораторной установки

5.1.4. Нажать кнопку ПУСК, после окончания вычислений, когда погаснет лампочка (ПУСК) индикации времени обработки, проведите измерение дискретных значений функции автокорреляции. Для этого устанавливайте нужный номер канала с помощью переключателя N КАНАЛА. Отсчет дискретных значений функции получите на цифровом индикаторе, который имеет три части. Показания первой части необходимо умножить на 100. Показания второй части необходимо умножить на 10. Пример отсчета показан на рис.5.

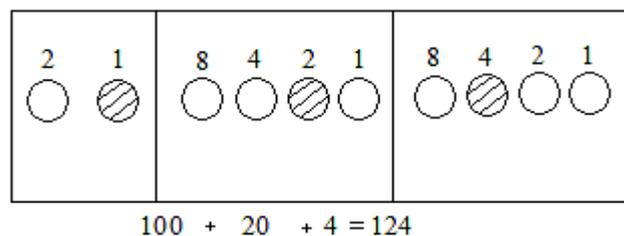


Рис.5. Пример отсчета на цифровом индикаторе

Нормирование дискретных значений функции автокорреляции произведите следующим образом

$$r_{nt} = \frac{A_n - 128}{A_0 - 128},$$

где $r(nt)$ - нормированное значение функции автокорреляции,
 n - номер канала, устанавливаемый переключателем N КАНАЛА;
 t - шаг задержек, устанавливаемый переключателем ЗАДЕРЖКА.
 Результаты измерений свести в табл.21.

Таблица 21

Результаты измерения АКФ
 синусоидального напряжения со случайной фазой

Задержка nt , мс	
Нормированная АКФ, $r(nt)$	

По результатам табл.21 постройте АКФ синусоидального колебания, сравните ее с АКФ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.1.5. Для измерения функции плотности вероятности $p(x)$ гармонического колебания со случайной начальной фазой нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопку $p(x)$. Нажмите кнопку ПУСК и, когда лампочка покажет конец вычислений, отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Определите значения плотности распределения вероятностей синусоидального колебания следующим образом

$$p_x = A_n - 128 K,$$

где $p(x)$ - значение плотности распределения,

A_n - показание цифрового индикатора для определенного номера канала,
 K - коэффициент ($K = 0,010714$).

Результаты измерений свести в табл.22.

Таблица 22

Результаты измерения ФПРВ
 синусоидального напряжения со случайной фазой

Номер канала, n	
$p(x)$	

По результатам табл.22 постройте ФПРВ синусоидального колебания, сравните ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.1.6. Измерение функции распределения $F(x)$. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки $F(x)$, $x1$. Нажмите кнопку ПУСК. Время окончания вычислений

покажет лампочка, находящаяся рядом с кнопкой ПУСК. После этого отсчитайте показания цифрового индикатора для всех положений переключателя N КАНАЛА. Определяется значение функции распределения вероятностей следующим образом

$$F(x) = \frac{A_n - 128}{128},$$

где $F(x)$ - значение функции распределения вероятностей,

A_n - показание цифрового индикатора для определенного номера канала.

Результаты измерений свести в табл.23.

Таблица 23

Результаты измерения ФРВ
синусоидального напряжения со случайной фазой

Номер канала, n	
F(x)	

По результатам табл.23 постройте ФРВ синусоидального колебания, сравните ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.2. Измерить функции распределения вероятностей и плотности распределения вероятностей суммы гармонических колебаний со случайными начальными фазами и разными частотами.

5.2.1. На лабораторном макете включить все пять генераторов синусоидальных колебаний.

5.2.2. Нажмите кнопки B10V и СБРОС на приборе X6-4, а затем кнопку F(x). Нажмите кнопку ПУСК и, когда лампочка покажет конец вычислений, отсчитайте показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Определите значения ФРВ по формуле, приведенной в п. 5.1.6. Результаты измерений свести в табл.24.

Таблица 24

Результаты измерения ФРВ
суммы пяти синусоидальных напряжений

Номер канала, n	
F(x)	

По результатам табл.24 постройте ФРВ суммы пяти синусоидальных колебаний, сравните ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.2.3. Нажмите кнопку СБРОС, а затем кнопки $p(x)$ и $x10$. Нажмите кнопку ПУСК и, когда лампочка покажет конец вычислений, отсчитайте

показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Определите значения ФПРВ по формуле, приведенной в п.5.1.5.

Результаты измерений свести в табл.25.

Таблица 25

Результаты измерения ФПРВ
суммы пяти синусоидальных напряжений

Номер канала, n	
p(x)	

По результатам табл.25 постройте ФПРВ суммы пяти синусоидальных колебаний, сравните ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.3. Измерить АКФ, ФРВ и ФПРВ для последовательности прямоугольных видеоимпульсов со случайным временем появления.

5.3.1. На лабораторном макете переключатель S6 поставить в положение 2, ручкой регулировки формы сигнала установить последовательность прямоугольных видеоимпульсов.

На осциллографе переключатель SOURCE поставить в положение CH2 зарисовать наблюдаемую осциллограмму исследуемого сигнала. Далее этот переключатель поставить в положение EXT.

5.3.2. Нажать кнопку СБРОС на приборе X6-4, а затем кнопки Б 10V, ЗАДЕРЖКА 100 мS, РЕЖИМ R₆₆, x10. Нажать кнопку ПУСК, отсчитать показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Нормированные дискретные значения АКФ рассчитать по формуле, приведенной в п.5.1.4. Результаты измерений свести в табл. 26.

Таблица 26

Результаты измерения АКФ последовательности
прямоугольных видеоимпульсов со случайным временем появления

Задержка nt, мс	
Нормированная АКФ, r(nt)	

По результатам табл.26 постройте АКФ последовательности прямоугольных видеоимпульсов, сравните ее с АКФ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.3.3. Нажать кнопку СБРОС, а затем кнопки p(x) и ПУСК.

Отсчитать показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитать значения ФПРВ по формуле, приведенной в п.5.1.5. Результаты измерений свести в табл.27.

Таблица 27

Результаты измерения ФПРВ последовательности прямоугольных видеоимпульсов со случайным временем появления

Номер канала, n	
p(x)	

По результатам табл.27 построить ФПРВ последовательности прямоугольных видеоимпульсов, сравнить ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.3.4. Нажать кнопку СБРОС, а затем кнопки F(x), x 1 и ПУСК. Отсчитать показания индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Рассчитать значения ФРВ по формуле, приведенной в п.5.1.6. Результаты измерений свести в табл.28.

Таблица 28

Результаты измерения ФРВ последовательности прямоугольных видеоимпульсов со случайным временем появления

Номер канала, n	
F(x)	

По результатам табл.28 построить ФРВ последовательности прямоугольных видеоимпульсов, сравнить ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.4. Измерить АКФ, ФРВ и ФПРВ для пилообразного колебания со случайным временем появления.

5.4.1. На лабораторном макете переключатель S6 поставить в положение 3, ручкой регулировки формы сигнала установить пилообразное колебание. На осциллографе переключатель SOURCE поставить в положение CH2. Зарисовать наблюдаемую осциллограмму исследуемого сигнала. Далее этот переключатель поставить в положение EXT.

5.4.2. Нажать кнопку СБРОС на приборе X6-4, а затем кнопки B4V, ЗАДЕРЖКА 1 μ S, x 1, R₆₆, ПУСК.

Отсчитать показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Нормированные дискретные значения АКФ рассчитать по формуле, приведенной в п.5.1.4. Результаты измерений свести в табл.29.

Таблица 29

Результаты измерения АКФ пилообразного колебания со случайным временем появления

Задержка nt , мкс	
Нормированная АКФ, $r(nt)$	

По результатам табл.29 построить АКФ пилообразного колебания, сравнить ее с АКФ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.4.3. Нажать кнопку СБРОС, а затем кнопки F(x) и ПУСК. Отсчитать показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитать значения ФРВ по формуле, приведенной в п.5.1.6. Результаты измерений свести в табл.30.

Таблица 30

Результаты измерения ФРВ пилообразного колебания со случайным временем появления

Номер канала, n	
F(x)	

По результатам табл.30 построить ФРВ пилообразных колебаний, сравнить ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.4.4. Нажать кнопку СБРОС, а затем кнопки $p(x)$, $\times 10$ и ПУСК. Отсчитать показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитать значения ФПРВ по формуле, приведенной в п.5.1.5. Результаты измерений свести в табл.31.

Таблица 31

Результаты измерения ФПРВ пилообразного колебания со случайным временем появления

Номер канала, n	
$p(x)$	

По результатам табл.31 построить ФПРВ пилообразных колебаний, сравнить ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.5. Измерить АКФ, ФРВ и ФПРВ для широкополосного шума.

4. 5.5.1. На лабораторном макете переключатель S6 поставить в положение

5.5.2. На генераторе Г2-57 сделать следующее:

- подключить кабель к регулируемому выходу;
- нажать кнопки, относящиеся к этому выходу: I, ;

- нажать кнопки ∞ , 50 кГц, x 1,  ;

- поставить тумблер СЕТЬ в верхнее положение.

На осциллографе АСК - 1021 наблюдать осциллограмму исследуемого сигнала, переключатель SOURCE поставить в положение EXT.

5.5.3. На приборе X6-4 сделать следующее:

- нажать кнопки B1V, R₆₆, 1μS, x1;
- нажать кнопку СБРОС, а затем кнопку ПУСК.

После окончания вычислений отсчитать показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА.

Нормированные дискретные значения АКФ рассчитать по формуле, приведенной в п.5.1.4. Результаты измерений свести в табл. 32.

Таблица 32

Результаты измерения АКФ широкополосного шума

Задержка nt, мкс	
Нормированная АКФ, r(nt)	

По результатам табл.32 построить АКФ широкополосного шума, сравнить ее с АКФ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.5.4. Нажать кнопку СБРОС, а затем кнопки B10V, F(x), ПУСК. Отсчитать показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитать значения ФРВ по формуле, приведенной в п.5.1.6. Результаты измерений свести в табл.33.

Таблица 33

Результаты измерения ФРВ широкополосного шума

Номер канала, n	
F(x)	

По результатам табл.33 построить ФРВ широкополосного шума, сравнить ее с ФРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

5.5.5. Нажать кнопку СБРОС, а затем кнопки $p(x)$, $x10$ и ПУСК. Отсчитать показания цифрового индикатора при всех положениях переключателя N КАНАЛА. Рассчитать ФПРВ по формуле, приведенной в п.5.1.5. Результаты измерений свести в табл. 34.

Таблица 34

Результаты измерения ФПРВ широкополосного шума

Номер канала, n	
$p(x)$	

По результатам табл.34 построить ФПРВ широкополосного шума, сравнить ее с ФПРВ, наблюдаемой на экране осциллографа.

6. Контрольные вопросы

6.1. Методика измерения АКФ, ФРВ и ФПРВ синусоидального напряжения со случайной начальной фазой.

6.2. Методика измерения ФРВ и ФПРВ суммы гармонических колебаний со случайными начальными фазами и разными частотами.

6.3. Методика измерения АКФ, ФРВ и ФПРВ для последовательности прямоугольных видеоимпульсов со случайным временем появления.

6.4. Методика измерения АКФ, ФРВ и ФПРВ для пилообразного напряжения со случайным временем появления.

6.5. Методика измерения АКФ, ФРВ и ФПРВ для широкополосного шума.

7. Содержание отчета

7.1. Структурная схема лабораторной установки.

7.2. Таблицы с данными для построения АКФ, ФПРВ и ФРВ исследуемых сигналов.

7.3. Графики АКФ, ФПРВ и ФРВ сигналов.

Литература

1. Боридько С.И., Дементьев Н.В., Тихонов Б.Н., Ходжаев И.А. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Горячая линия-Телеком, 2007.

2. Под ред. Нефедова В.И. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. - М.: Высшая школа, 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1. Поверка генератора высокой частоты.....	3
Лабораторная работа №2. Измерение напряжений.....	7
Лабораторная работа №3. Исследование формы напряжения сигналов электронно-лучевым осциллографом.....	12
Лабораторная работа №4. Аппаратурный анализ спектров сигналов.....	14
Лабораторная работа №5. Измерение частоты и интервалов времени..	18
Лабораторная работа №6. Измерение полных сопротивлений, емкостей и индуктивностей.....	23
Лабораторная работа №7. Измерение характеристик случайных сигналов.....	29