

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
МИРЭА – РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.Н. ИСАКОВ

СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РАДИОТЕХНИКЕ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся по направлению 11.03.01 «Радиотехника» и
специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Москва – 2019

УДК 621.37

ББК 32.841

И85

Исаков В.Н. Случайные процессы в радиотехнике [Электронный ресурс]: методические указания по выполнению лабораторных работ / Исаков В.Н. — М.: МИРЭА - Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), 2019. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

Разработаны в помощь студентам, изучающим дисциплину «Случайные процессы в радиотехнике» В состав методических указаний входит описание 4-х лабораторных работ, выполняемых студентами: описание лабораторной установки, порядка выполнения работ, оформления отчёта, контрольные вопросы к защите. Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 11.03.01 «Радиотехника» и специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Методические указания издаются в авторской редакции.

Авторский коллектив: **Исаков Владимир Николаевич**

Рецензент:

Замуруев Сергей Николаевич, д.т.н., зав. кафедрой радиоэлектронных систем и комплексов РТУ МИРЭА

Минимальные системные требования:

Наличие операционной системы Windows, поддерживаемой производителем.

Наличие свободного места в оперативной памяти не менее 128 Мб.

Наличие свободного места в памяти хранения (на жестком диске) не менее 30 Мб.

Наличие интерфейса ввода информации.

Дополнительные программные средства: программа для чтения pdf-файлов (Adobe Reader).

Подписано к использованию по решению Редакционно-издательского совета

МИРЭА - Российского технологического университета от _____ 2019 г.

Объем ___ Мб

Тираж 10

© Исаков В.Н., 2019

© МИРЭА – Российский технологический университет, 2019

Оглавление

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ	6
Цель работы.....	6
Описание лабораторной установки.....	6
Порядок выполнения работы.....	7
1. Исследование нормального случайного процесса	7
2. Исследование эффекта нормализации при сложении случайных процессов.....	9
3. Исследование смеси гармонического сигнала и гауссова шума	9
Оформление отчёта	10
Контрольные вопросы	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ЛИНЕЙНЫЕ ИНЕРЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ	11
Цель работы.....	11
Описание лабораторной установки.....	11
Порядок выполнения работы.....	12
1. Линейное инерционное преобразование гауссова процесса.....	12
2. Исследование эффекта нормализации при линейном инерционном преобразовании	14
3. Фильтрация смеси гармонического сигнала и гауссова шума	15
Оформление отчёта	15
Контрольные вопросы	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 НЕЛИНЕЙНЫЕ БЕЗЫНЕРЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ	16
Цель работы.....	16
Описание лабораторной установки.....	16
Порядок выполнения работы.....	17
1. Кусочно-линейное преобразование гауссова процесса.....	17
2. Воздействие гауссова процесса на ограничитель	18
3. Преобразование гауссова процесса цепью с характеристикой вида $y = x $	19
4. Квадратичное преобразование гауссова процесса.....	19
5. Преобразование гауссова процесса в процесс с равномерным распределением	20
6. Преобразование процесса с равномерным распределением в гауссов процесс.....	20
7. Исследование шума квантования	21
Оформление отчёта	22
Контрольные вопросы	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ ВЕРОЯТНОСТИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ	22
Цель работы.....	22
Описание лабораторной установки.....	22
Порядок выполнения работы.....	23
Оформление отчёта	24
Контрольные вопросы	24
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	24

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель работы:

- ознакомление с методами экспериментального исследования случайных процессов;
- исследование физической сути рассматриваемых явлений;
- закрепление навыков применения ПК в инженерной практике.

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на ПК с использованием программы Density, реализующей модель лабораторной установки. Схема лабораторной установки показана на рис.1.

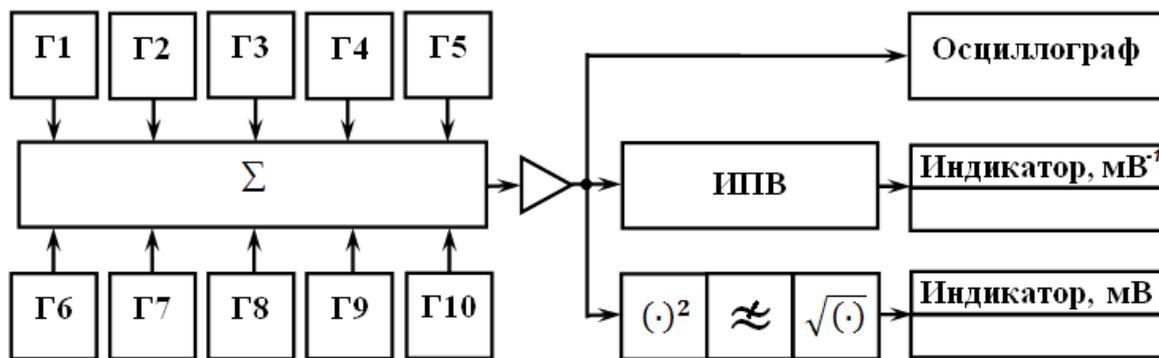


Рис.1. Схема лабораторной установки

В составе лабораторной установки 10 генераторов, каждый из которых может быть выключен, формировать на выходе стационарный гауссов шум, стационарный шум с равномерным распределением или гармонический сигнал. Параметры сигналов задаются пользователем. Сигналы с выхода генераторов суммируются и поступают на вход усилителя, коэффициент усиления которого также может устанавливаться пользователем. Сигнал с выхода усилителя подаётся на вход осциллографа для наблюдения реализаций, на вход измерителя плотности вероятности (ИПВ), а также на вход измерителя среднеквадратического значения, в составе которого нелинейное устройство - квадратор, фильтр нижних частот и нелинейное устройство, реализующее операцию извлечения квадратного корня.

При измерении значения плотности вероятности задаётся текущее значение уровня x и интервал Δx (рис.2). Определяется суммарное время

$\sum_{n=0}^{N-1} \Delta t_n$ пребывания реализации в «коридоре» $[x, x + \Delta x]$ за время наблюдения T

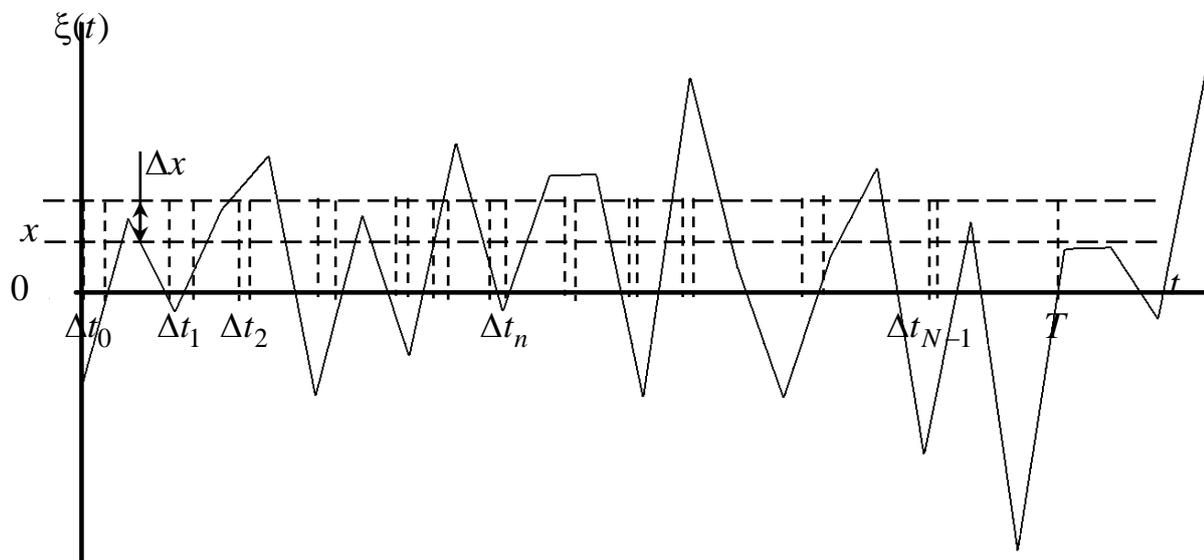


Рис.2. Реализация случайного процесса

Вероятность попадания значений случайного процесса в интервал $[x, x + \Delta x]$ определяется как отношение суммарного времени пребывания к времени наблюдения:

$$P(x < \xi(t) < x + \Delta x) \approx \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \Delta t_n}{T},$$

соответственно плотность распределения вероятности

$$w_{\xi}(x) \approx \frac{P(x < \xi(t) < x + \Delta x)}{\Delta x} \approx \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \Delta t_n}{T \Delta x}.$$

Для управления устройствами, входящими в состав лабораторной установки следует навести на их изображение курсор манипулятора «мышь» и выполнить «щелчок» основной клавишей манипулятора. Доступ к окнам интерфейса для управления устройствами также может быть осуществлен с использованием главного меню программы.

Порядок выполнения работы

1. Исследование нормального случайного процесса

1. Выключить генераторы Г2-Г10. Выполнить директиву «Лабораторная

установка - Усилитель» и в открывшемся диалоговом окне задать коэффициент усиления усилителя равным 1. У генератора Г1 установить вид сигнала «гауссов шум», задать среднее квадратическое отклонение (СКО) $\sigma = 1$ мВ. (Для управления генератором выполнить директиву «Лабораторная установка – Генераторы – Г1».)

2. Получить и поместить в отчёт несколько (не менее 5 по выбору студента) реализаций случайного процесса. Для получения реализации выполнить директиву «Лабораторная установка – Пуск», затем «Лабораторная установка – Осциллограф». Для копирования временной диаграммы реализации в открывшемся окне «Осциллограф» выполнить директиву «Диаграмма – Копировать в буфер обмена», после чего рисунок можно вставить в любой графический редактор или, например, редактор Word, командой «Вставить из буфера». Закрыть окно «Осциллограф». Повторить описанную последовательность действий для остальных реализаций.

3. Снять и построить гистограмму гауссова случайного процесса. Для этого подготовить таблицу измерений вида табл.1:

Таблица 1

Таблица измерений

$x, \text{мВ}$	-3,0	...	-0,75	-0,5	-0,25	0	0,25	0,5	0,75	...	3,0
$w, \text{мВ}^{-1}$											

Выполнить директиву «Лабораторная установка - ИПВ», в открывшемся окне «Измеритель плотности вероятности» задать интервал $\Delta x = 0,25$ мВ. Последовательно задавать значения уровня из первой строки табл.1, показания индикатора ИПВ фиксировать во второй строке таблицы. По данным табл.1 построить гистограмму исследуемого процесса. Гистограмма получается как совокупность прямоугольников с основаниями $x_i + \Delta x$ по оси абсцисс высотой w_i , где i - номер измерения. В той же системе координат построить график плотности вероятности гауссова процесса:

$$w_{\xi}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}.$$

Сравнить гистограмму с теоретическим графиком, сделать соответствующие выводы.

2. Исследование эффекта нормализации при сложении случайных процессов

1. Выключить генераторы Г2-Г10. Установить коэффициент усиления усилителя равным 1. У генератора Г1 установить тип сигнала «Шум с равномерным распределением», задать СКО $\sigma = 1$ мВ. Поместить в отчёт реализацию случайного процесса и его гистограмму. Для получения гистограммы выполнить директиву «Лабораторная установка – построить гистограмму». В открывшемся окне «Гистограмма» установить интервал $\Delta x = 0,1$ мВ и выбрать опцию «наложить равномерный закон». Нажать кнопку интерфейса «Готово».
2. Установить у генератора Г2 тип сигнала «Шум с равномерным распределением», задать СКО $\sigma = 1$ мВ. Установить коэффициент усиления усилителя равным 1. Выполнить директиву «Лабораторная установка - Пуск» и зафиксировать в отчёте СКО результирующего процесса σ_{Σ} по индикатору измерителя СКО. Задать коэффициент усиления усилителя равным $1/\sigma_{\Sigma}$. Убедиться по индикатору СКО, что получен случайный процесс с СКО $\sigma_{\Sigma} = 1$ мВ. Поместить в отчёт реализацию случайного процесса и его гистограмму. При построении гистограммы выбрать в окне «Гистограмма» выбрать опцию «только гистограмма».
3. Последовательно устанавливая для генераторов Г3,Г4,Г5 тип сигнала «Шум с равномерным распределением» с СКО $\sigma = 1$ мВ, аналогично п.2 задавая коэффициент усиления усилителя так, чтобы обеспечивалось $\sigma_{\Sigma} = 1$ мВ, помещать в отчёт реализации случайных процессов и их гистограммы. При построении гистограмм в окне «Гистограмма» выбрать опцию «наложить нормальный закон».
4. Установить для генераторов Г6-Г10 тип сигнала «Шум с равномерным распределением» с СКО $\sigma = 1$ мВ, обеспечить $\sigma_{\Sigma} = 1$ мВ, поместить в отчёт реализацию случайного процесса и гистограмму. При построении гистограммы в окне «Гистограмма» выбрать опцию «наложить нормальный закон».
5. Сформулировать выводы, объяснить суть наблюдаемых явлений.

3. Исследование смеси гармонического сигнала и гауссова шума

1. Выключить генераторы Г2-Г10. Установить коэффициент усиления усилителя равным 1. У генератора Г1 установить тип сигнала «Гармонический», задать амплитуду $A = 1$ мВ, случайную начальную фазу и частоту 1кГц. Выполнить директиву «Лабораторная установка - Пуск», зафиксировать в отчёте среднеквадратическое значение процесса σ_0 по показаниям индикатора СКО. Поместить в отчёт реализацию случайного процесса и его гистограмму, построенную для

интервала $\Delta x = 0,1$ мВ.

2. Установить у генератора Г2 тип сигнала «гауссов шум», задать СКО $\sigma = 0,1$ мВ. Установить коэффициент усиления усилителя равным 1. Измерить СКО смеси гармонического сигнала и шума σ_{Σ} и выбрать коэффициент усиления усилителя так, чтобы обеспечить $\sigma_{\Sigma} = \sigma_0$. Поместить в отчёт реализацию и гистограмму процесса.

3. Повторить п.2 для значений $\sigma = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,7; 1$ мВ.

4. Сформулировать выводы по пункту.

Оформление отчёта

Отчет выполняется на листах формата А4 и должен содержать:

- титульный лист;
- название работы и выполняемых пунктов задания;
- схему лабораторной установки;
- результаты исследований (в виде графиков, рисунков, расчётов);
- выводы по каждому пункту и работе в целом.

Контрольные вопросы

1. Понятие и основные характеристики случайных процессов. Многомерные распределения и их свойства.
2. Моментные характеристики случайного процесса. Математическое ожидание и дисперсия, их свойства.
3. Корреляционные характеристики случайных процессов.
4. Характеристическая функция случайного процесса.
5. Стационарные и эргодические случайные процессы.
6. Методы экспериментального исследования характеристик эргодических случайных процессов.
7. Гауссов (нормальный) процесс. Центральная предельная теорема.
8. Основные характеристики гармонического сигнала со случайной начальной фазой.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ЛИНЕЙНЫЕ ИНЕРЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель работы:

- ознакомление с методами экспериментального исследования корреляционных характеристик случайных процессов;
- исследование физической сути рассматриваемых явлений;
- закрепление навыков применения ПК в инженерной практике.

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на ПК с использованием программы Noisekor, реализующей модель лабораторной установки. Схема лабораторной установки показана на рис.3. На выходе генератора возможно получение гармонического сигнала со случайной начальной фазой, шума с равномерным распределением, гауссова шума, смеси гармонического сигнала и гауссова шума, дельта - импульса. К выходу генератора подключены осциллограф, измеритель плотности вероятности (ИПВ) и коррелометр (К). К выходу линейной цепи подключены осциллограф, измеритель плотности вероятности (ИПВ) и коррелометр (К).

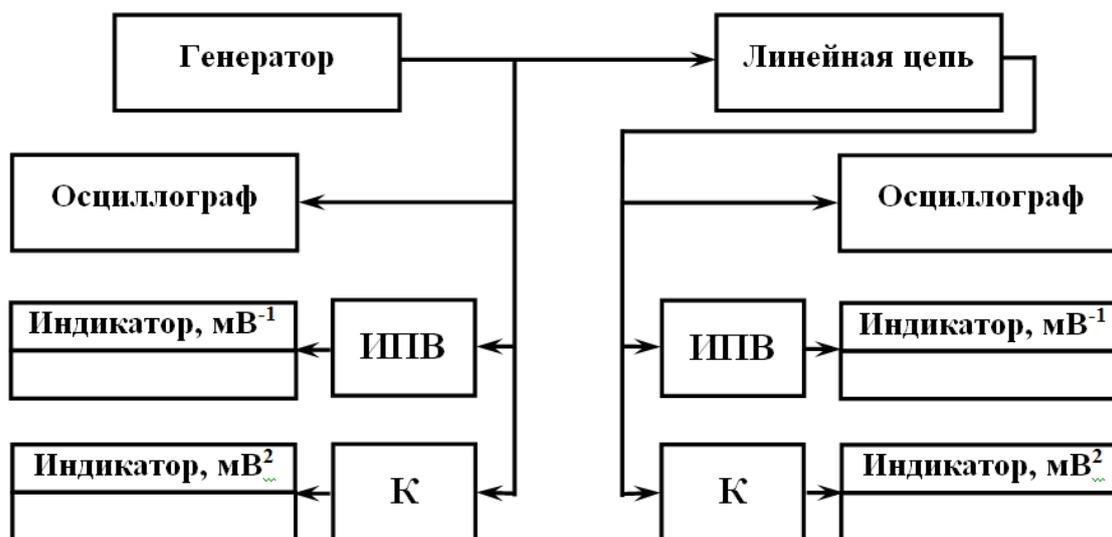


Рис.3. Структурная схема лабораторной установки

Сигнал с выхода генератора поступает на вход линейной цепи. Линейная цепь моделируется программно методом дискретизации импульсной характеристики. В зависимости от выбора пользователя могут быть использованы два вида цепей: фильтр нижних частот 1-го порядка с комплексной частотной и импульсной характеристиками

$$H(\omega) = \frac{H_0}{1 + j\omega\tau_{ц}}, \quad h(t) = \frac{H_0}{\tau_{ц}} \sigma(t) e^{-\frac{t}{\tau_{ц}}},$$

и полосовой фильтр второго порядка с характеристиками

$$H(\omega > 0) = \frac{H_0}{1 + j(\omega - \omega_0)\tau_{ц}}, \quad h(t) = \frac{H_0}{\tau_{ц}} \sigma(t) e^{-\frac{t}{\tau_{ц}}} \cos(\omega_0 t),$$

где H_0 - коэффициент передачи, $\tau_{ц}$ - постоянная времени цепи.

К выходу цепи подключены осциллограф, измеритель плотности вероятности (ИПВ) и коррелометр (К).

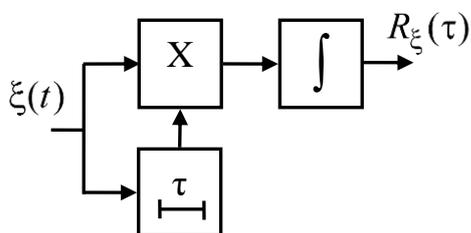


Рис.4. Коррелометр

Структурная схема коррелометра показана на рис.4. Она включает перемножитель «X», управляемый элемент задержки «τ» и усредняющий элемент - интегратор «∫». Корреляционная функция процесса определяется в соответствии с формулой:

$$R_{\xi}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T \xi(t)\xi(t - \tau) dt.$$

Временные диаграммы реализаций случайных процессов на выходе линейной цепи, представляемые программой, соответствуют стационарному режиму.

Порядок выполнения работы

1. Линейное инерционное преобразование гауссова процесса

1.1. Открыть окно управления параметрами цепи («Лабораторная установка – Линейная цепь»). Выбрать вид цепи «ФНЧ первого порядка». Задать постоянную времени $\tau_{ц} = 1$ мс, коэффициент передачи $H_0 = 1$. Получить и поместить в отчёт график импульсной характеристики цепи. Для этого установить вид сигнала генератора «дельта - импульс» («Лабораторная установка - Генератор») и поместить в отчёт временную диаграмму сигнала на выходе цепи («Лабораторная установка – Осциллограф – Осциллограф выход»), устанавливая пределы по оси абсцисс $0 < t < 5$ мс. Поместить в отчёт график амплитудно-частотной характеристики цепи («Лабораторная установка – Показать АЧХ цепи») устанавливая пределы по оси абсцисс $-50 < f < 50$ кГц.

1.2. Установить вид сигнала генератора «гауссов шум». Задать СКО шума

$\sigma = 10$ мВ.

1.3. Выполнить директиву «Лабораторная установка - Пуск». Поместить в отчёт реализацию случайного процесса на входе линейной цепи («Лабораторная установка – Осциллограф-Осциллограф вход»), устанавливая пределы по оси абсцисс $0 < t < 50$ мс. Поместить в отчёт гистограмму процесса на входе цепи («Лабораторная установка - Гистограмма - Гистограмма на входе»), при построении гистограммы выбрать опцию «Наложить нормальный закон». Поместить в отчёт график корреляционной функции процесса на входе цепи («Лабораторная установка - Построить график КФ - график КФ на входе»).

1.4. Поместить в отчёт временную диаграмму реализации процесса на выходе цепи («Лабораторная установка – Осциллограф-Осциллограф выход»), устанавливая пределы по оси абсцисс $0 < t < 50$ мс. Поместить в отчёт гистограмму процесса на выходе цепи («Лабораторная установка – Построить гистограмму - Гистограмма на выходе»). При построении гистограммы выбрать опцию «Наложить нормальный закон».

1.5. Подготовить таблицу измерений вида табл.2.

Таблица 2

Таблица измерений

τ , мс	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	...	10.0
$R(\tau)$, мкВт									

Открыть окно управления коррелометром на выходе цепи («Лабораторная установка – Коррелометр – Коррелометр выход»). Задать значение задержки $\tau = 0$ мс, нажать на кнопку «Готово» и зафиксировать во втором столбце табл.2 показания индикатора коррелометра на выходе.

Аналогично, последовательно задавая значения задержки из первой строки табл.2, получить зависимость $R(\tau)$. Построить график полученной зависимости.

В той же системе координат построить теоретический график

$R^{(теор)}(\tau) = R(0)e^{-\frac{|\tau|}{\tau_{ц}}}$. Сформулировать вывод о совпадении построенных графиков.

1.6. Поместить в отчёт график корреляционной функции процесса на выходе цепи («Лабораторная установка – Построить график КФ – График КФ на выходе»), $-20 < \tau < 20$ мс .

1.7. Повторить п.п. 1.1 – 1.4 и 1.6 для $\tau_{ц} = 0,5$ мс .

- 1.8. Повторить п.п. 1.1 – 1.4 и 1.6 для $\tau_{ц} = 0,1$ мс .
- 1.9. Установить тип цепи «ПФ второго порядка». Задать постоянную времени $\tau_{ц} = 1$ мс, резонансную частоту $f_p = 10$ кГц, коэффициент передачи $H_0 = 1$. Повторить п.п. 1.1 – 1.4 и 1.6 для заданного вида и параметров цепи, при этом для графика импульсной характеристики $0 < t < 5$ мс, для графиков АЧХ $0 < f < 50$ кГц, для графиков реализаций процессов на входе и выходе $0 < t < 15$ мс, для графика корреляционной функции на выходе $-5 < \tau < 5$ мс .
- 1.10. Повторить п.1.9 для $\tau_{ц} = 0,5$ мс .
- 1.11. Повторить п.1.9 для $\tau_{ц} = 0,1$ мс .
- 1.12. Сформулировать выводы. Как влияет значение постоянной времени цепи на характеристики процесса на выходе? Какое распределение имеет случайный процесс на выходе цепи при воздействии гауссова шума?

2. Исследование эффекта нормализации при линейном инерционном преобразовании

- 2.1. Задать тип цепи «ФНЧ первого порядка», установить коэффициент передачи цепи $H_0 = 1$ и постоянную времени $\tau_{ц} = 0,1$ мс .
- 2.2. Установить вид сигнала генератора «Шум с равномерным распределением». Задать СКО $\sigma = 10$ мВ.
- 2.3. Выполнить директиву «Лабораторная установка – Пуск». Поместить в отчёт реализацию случайного процесса на входе цепи, его гистограмму и график корреляционной функции.
- 2.4. Поместить в отчёт временную диаграмму реализации случайного процесса на выходе цепи, его гистограмму (наложить нормальный закон) и график корреляционной функции для $-1 < \tau < 1$ мс .
- 2.5. Задать тип цепи «ПФ второго порядка», установить коэффициент передачи цепи $H_0 = 1$, постоянную времени $\tau_{ц} = 0,1$ мс , резонансную частоту $f_0 = 10$ кГц .
- 2.6. Поместить в отчёт временную диаграмму реализации случайного процесса на выходе цепи, его гистограмму (наложить нормальный закон) и график корреляционной функции для $-1 < \tau < 1$ мс .
- 2.7. Сформулировать выводы. Наблюдается ли нормализация случайного процесса при линейном инерционном преобразовании? Оценить соотношение между интервалом корреляции процесса на входе и постоянной времени цепи при выполнении п.2.

3. Фильтрация смеси гармонического сигнала и гауссова шума

- 3.1. Установить вид цепи «ПФ второго порядка», коэффициент передачи цепи $H_0 = 1$, постоянную времени $\tau_{ц} = 0,1$ мс, резонансную частоту $f_0 = 10$ кГц.
- 3.2. Установить вид сигнала генератора «Гармонический + гауссов шум», амплитуду гармонического сигнала $A = 10$ мВ, случайную начальную фазу, частоту $f = 10$ кГц, СКО шума $\sigma = 10$ мВ.
- 3.3. Выполнить директиву «Лабораторная установка – Пуск». Поместить в отчёт временную диаграмму реализации случайного процесса на входе цепи для $0 < t < 5$ мс, его гистограмму и график корреляционной функции для $-2 < \tau < 2$ мс.
- 3.4. Поместить в отчёт временную диаграмму реализации случайного процесса на выходе цепи для $0 < t < 5$ мс, его гистограмму и график корреляционной функции для $-2 < \tau < 2$ мс.
- 3.5. Повторить п.п.3.1-3.4 для $\tau_{ц} = 1$ мс.
- 3.6. Сформулировать выводы по п.3.

Оформление отчёта

Отчёт выполняется на листах формата А4 и должен содержать:

- титульный лист;
- название работы и выполняемых пунктов задания;
- схему лабораторной установки;
- результаты исследований (в виде графиков, рисунков, расчётов);
- выводы по каждому пункту и работе в целом.

Контрольные вопросы

1. Спектральная плотность мощности стационарного случайного процесса.
2. Белый и квазibelый шум.
3. Узкополосные случайные процессы.
4. Постановка и решение задачи преобразования случайного в процесса в линейной цепи.
5. Математическое ожидание случайного процесса на выходе линейной цепи.
6. Корреляционная функция и спектр случайного процесса на выходе линейной цепи.
7. Эффект нормализации случайного процесса при его преобразовании инерционной линейной цепью.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 НЕЛИНЕЙНЫЕ БЕЗЫНЕРЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель работы:

- ознакомление с методами экспериментального исследования основных характеристик случайных процессов;
- исследование физической сути рассматриваемых явлений;
- закрепление навыков применения ПК в инженерной практике.

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на ПК с использованием программы NITransform, реализующей модель лабораторной установки. Схема лабораторной установки показана на рис.5. На выходе генератора возможно получение гармонического сигнала со случайной начальной фазой, шума с равномерным распределением, гауссова шума, смеси гармонического сигнала со случайной начальной фазой и гауссова шума. К выходу генератора подключены осциллограф, измеритель плотности вероятности (ИПВ) и коррелометр (К).

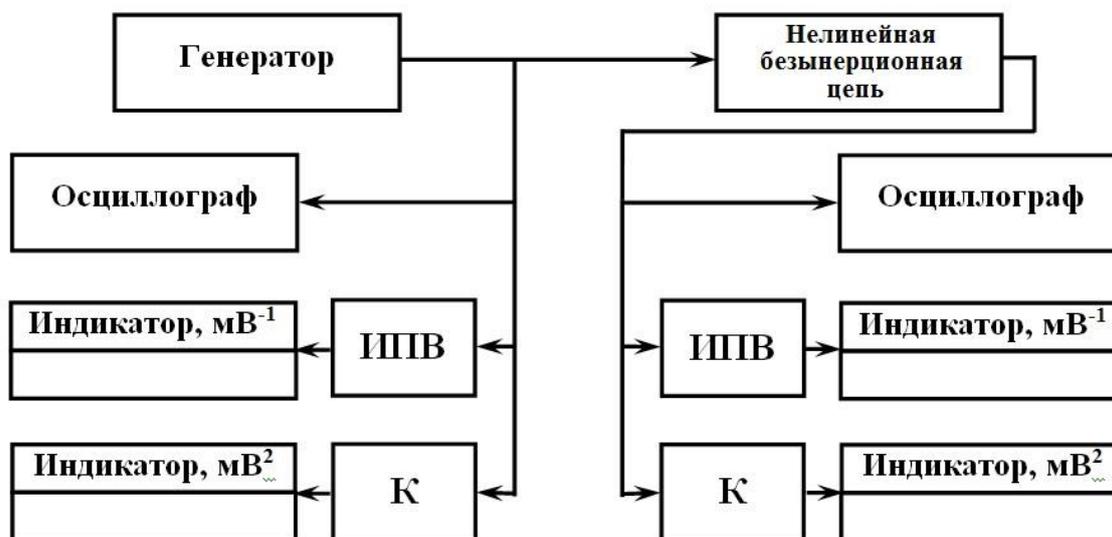


Рис.5. Схема лабораторной установки

Сигнал с выхода генератора поступает на вход нелинейной безынерционной цепи. В программной модели реализованы 8 видов цепей, их функциональные характеристики показаны на рис.6.

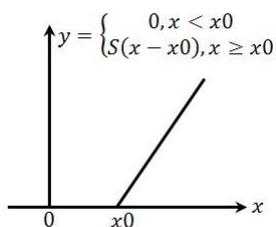


Рис.6.а.

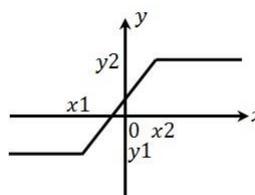


Рис.6.б.

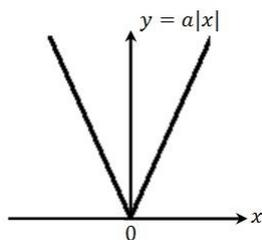


Рис.6.в.

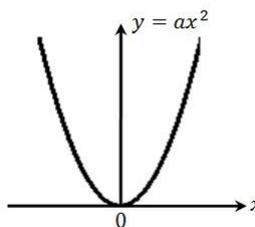


Рис.6.г.

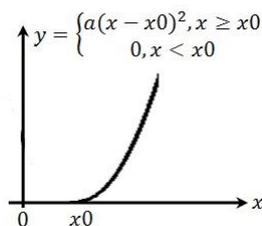


Рис.6.д.

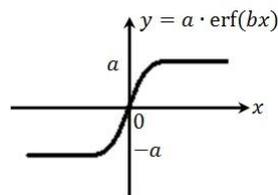


Рис.6.е.

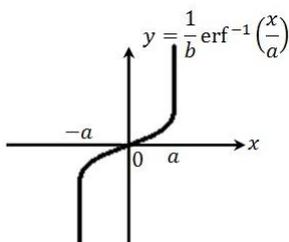


Рис.6.ж.

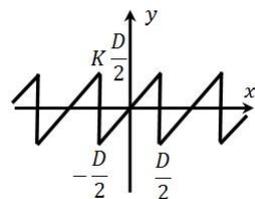


Рис.6.з.

К выходу цепи подключены осциллограф, измеритель плотности вероятности (ИПВ) и коррелометр (К).

Порядок выполнения работы

1. Кусочно-линейное преобразование гауссова процесса

1.1. Открыть окно управления параметрами цепи (меню «Лабораторная установка - Нелинейная цепь»). Выбрать цепь1, задать крутизну характеристики $S = 1$, порог отсечки $x_0 = 0$. Получить график характеристики цепи («Лабораторная установка - Показать характеристику цепи») и поместить его в отчёт.

1.2. Открыть окно управления параметрами генератора («Лабораторная установка - Генератор»), выбрать тип сигнала «Гауссов шум», задать среднеквадратическое отклонение $\sigma = 1$ мВ, математическое ожидание равным нулю $m = 0$ мВ. Выполнить директиву «Лабораторная установка - Пуск».

1.3. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на входе цепи («Лабораторная установка – Осциллограф – Осциллограф вход») и его гистограмму («Лабораторная установка - Построить гистограмму – гистограмма на входе»).

1.4. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на выходе цепи («Лабораторная установка – Осциллограф – Осциллограф выход») и его гистограмму («Лабораторная установка - Построить гистограмму – гистограмма на выходе»).

1.5. Повторить п.п. 1.2 – 1.4, задавая математическое ожидание процесса на входе цепи равным $m = -1.5$ мВ.

1.6. Повторить п.п. 1.2 – 1.4, задавая математическое ожидание процесса на входе цепи равным $m = 1.5$ мВ.

1.7. Построить теоретические графики плотности вероятности процесса на выходе цепи, соответствующие исследованным случаям, сравнить их с полученными гистограммами, сформулировать соответствующие выводы.

2. Воздействие гауссова процесса на ограничитель

2.1. Открыть окно управления параметрами цепи. Выбрать цепь2, задать параметры: $x_1 = -1$ мВ, $x_2 = 1$ мВ, $y_1 = -1$ мВ, $y_2 = 1$ мВ. Получить график характеристики цепи и поместить его в отчёт.

2.2. Открыть окно управления параметрами генератора («Лабораторная установка - Генератор»), выбрать тип сигнала «Гауссов шум», задать среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,75$ мВ, математическое ожидание равным нулю $m = 0$ мВ. Выполнить директиву «Лабораторная установка - Пуск».

2.3. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на входе цепи и его гистограмму.

2.4. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на выходе цепи и его гистограмму.

2.5. Повторить п.п. 2.2 – 2.4, задавая математическое ожидание процесса на входе цепи равным $m = \pm 0,1; \pm 0,3; \pm 0,5; \pm 0,75$ мВ.

2.7. Построить теоретические графики плотности вероятности процесса на выходе цепи, соответствующие исследованным случаям, сравнить их с

полученными гистограммами, сформулировать соответствующие выводы.

3. Преобразование гауссова процесса цепью с характеристикой вида $y = |x|$

3.1. Открыть окно управления параметрами цепи. Выбрать цепь3, задать параметр $a = 1$. Получить график характеристики цепи и поместить его в отчёт.

3.2. Открыть окно управления параметрами генератора, выбрать тип сигнала «Гауссов шум», задать среднеквадратическое отклонение $\sigma = 1$ мВ, математическое ожидание равным нулю $m = 0$ мВ. Выполнить директиву «Лабораторная установка - Пуск».

3.3. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на входе цепи и его гистограмму.

3.4. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на выходе цепи и его гистограмму.

3.5. Повторить п.п. 3.2 – 3.4, задавая математическое ожидание процесса на входе цепи равным $m = 1; 2; 3$ мВ.

3.7. Построить теоретические графики плотности вероятности процесса на выходе цепи, соответствующие исследованным случаям, сравнить их с полученными гистограммами, сформулировать соответствующие выводы.

4. Квадратичное преобразование гауссова процесса

4.1. Открыть окно управления параметрами цепи. Выбрать цепь4, задать параметр $a = 1$ мВ⁻¹. Получить график характеристики цепи и поместить его в отчёт.

4.2. Открыть окно управления параметрами генератора, выбрать тип сигнала «Гауссов шум», задать среднеквадратическое отклонение $\sigma = 1$ мВ, математическое ожидание равным нулю $m = 0$ мВ. Выполнить директиву «Лабораторная установка - Пуск».

4.3. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на входе цепи и его гистограмму.

4.4. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на выходе цепи и его гистограмму.

4.5. Повторить п.п. 4.2 – 4.4, задавая математическое ожидание процесса на входе цепи равным $m = 0; 3; 5$ мВ.

4.7. Построить теоретические графики плотности вероятности процесса на выходе цепи, соответствующие исследованным случаям, сравнить их с полученными гистограммами, сформулировать соответствующие выводы.

5. Преобразование гауссова процесса в процесс с равномерным распределением

- 5.1. Открыть окно управления параметрами генератора, выбрать тип сигнала «Гауссов шум», задать среднеквадратическое отклонение $\sigma = 1$ мВ, математическое ожидание равным нулю $m = 0$ мВ.
- 5.2. Открыть окно управления параметрами цепи. Выбрать цепь6, задать параметр $b = \frac{1}{\sigma\sqrt{2}}$ мВ⁻¹, где σ установлено в п.5.1, $a = 1$ мВ. Получить график характеристики цепи и поместить его в отчёт. Выполнить директиву «Лабораторная установка - Пуск».
- 5.3. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на входе цепи и его гистограмму (при построении гистограммы наложить нормальный закон).
- 5.4. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на выходе цепи и его гистограмму (при построении гистограммы наложить равномерный закон).
- 5.5. Сформулировать выводы по п.5.

6. Преобразование процесса с равномерным распределением в гауссов процесс

- 6.1. Открыть окно управления параметрами генератора, выбрать тип сигнала «Шум с равномерным распределением», задать среднеквадратическое отклонение $\sigma = 1$ мВ, математическое ожидание равным нулю $m = 0$ мВ. Рассчитать размах реализаций процесса $\Delta = \sigma\sqrt{12}$ с точностью не менее трёх знаков после десятичного разделителя.
- 6.2. Открыть окно управления параметрами цепи. Выбрать цепь7, задать параметр $a = \frac{\Delta}{2}$ мВ, $b = 1$ мВ⁻¹. Получить график характеристики цепи и поместить его в отчёт. Выполнить директиву «Лабораторная установка – Пуск».
- 6.3. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на входе цепи и его гистограмму (при построении гистограммы наложить равномерный закон).
- 6.4. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на выходе цепи и его гистограмму (при построении гистограммы наложить нормальный закон).
- 6.5. Сформулировать выводы по п.6, пояснить каким образом осуществляется

исследованное преобразование, обосновать выбор параметров a и b в п.6.2, рассмотреть их влияние на результаты преобразования.

7. Исследование шума квантования

7.1. Открыть окно управления параметрами цепи. Выбрать цепь 8. Цепь представляет собой формирователь шума квантования – сигнал на её выходе является разностью квантованного с округлением и исходного сигнала. Задать шаг квантования $D = 0,01$ мВ. Получить график характеристики цепи и поместить его в отчёт.

7.2. Открыть окно управления параметрами генератора, выбрать тип сигнала «шум с равномерным распределением». Задать математическое ожидание $m = 0$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma = 1$ мВ. Выполнить директиву «Лабораторная установка - Пуск».

7.3. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на входе цепи и его гистограмму.

7.4. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на выходе цепи и его гистограмму. При построении гистограммы выбрать опцию «наложить равномерный закон».

7.5. Повторить п.п.7.3-7.4, установив тип сигнала генератора «гауссов шум», параметры шума из п.7.2.

7.6. Открыть окно управления параметрами генератора, выбрать тип сигнала «Гармонический+гауссов шум», задать параметры гармонического сигнала: амплитуду $A = 1$ мВ, частоту $f = 1$ кГц. Задать математическое ожидание процесса $m = 0$. Задать среднеквадратическое отклонение аддитивного гауссова шума $\sigma = 0,01$ мВ. Выполнить директиву «Лабораторная установка - Пуск».

7.7. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на входе цепи и его гистограмму.

7.8. Получить и поместить в отчёт реализацию случайного процесса на выходе цепи и его гистограмму (наложить ПРВ шума квантования).

7.9. Повторить п.п.7.7-7.8, последовательно устанавливая среднеквадратическое отклонение аддитивного гауссова шума $\sigma = 0,1; 0,5; 1,0$ мВ.

7.10. Повторить п.п. 7.1 – 7.9 для $D = 0,1$ мВ.

7.10. Сформулировать выводы по п.7. Влияет ли на характеристики шума квантования вид процесса на входе? Какой закон распределения имеет шум квантования?

Оформление отчёта

Отчёт выполняется на листах формата А4 и должен содержать:

- титульный лист;
- название работы и выполняемых пунктов задания;
- схему лабораторной установки;
- результаты исследований (в виде графиков, рисунков, расчётов);
- выводы по каждому пункту и работе в целом.

Контрольные вопросы

1. Одномерные функциональные преобразования случайных процессов.
2. Многомерные функциональные преобразования случайных процессов.
3. Линейное преобразование гауссова процесса.
4. Полярное преобразование независимых гауссовых процессов.
5. ПРВ процесса на выходе нелинейной безынерционной цепи.
6. Математическое ожидание и корреляционная функция процесса на выходе нелинейной безынерционной цепи (прямой метод анализа)
7. Математическое ожидание и корреляционная функция процесса на выходе нелинейной безынерционной цепи при полиномиальном преобразовании.
8. Корреляционные характеристики случайного процесса на выходе при кусочно-разрывных преобразованиях.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ПЛОТНОСТЕЙ ВЕРОЯТНОСТИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель работы:

- ознакомление с методами экспериментального исследования основных характеристик случайных процессов;
- исследование физической сути рассматриваемых явлений;
- закрепление навыков использования измерительных приборов и генераторов.

Описание лабораторной установки

Структурная схема лабораторной установки показана на рис.7.

Лабораторная установка включает в себя генератор шума Г2-12, осциллограф с внешним запуском развёртки, измеритель плотности вероятности (ИПВ) и квадратичный милливольтметр.

Измеритель плотности вероятности собран в виде отдельного макета. В одном корпусе с ним смонтирована линейка из 10 идентичных генераторов

гармонических колебаний с близкими частотами.



Рис.7. Структурная схема лабораторной установки

Амплитуды колебаний генераторов одинаковы и равны 0,1В, а фазы равномерно распределены в диапазоне от 0 до 2π . Для включения каждого генератора на лицевой панели имеется отдельный тумблер. На переднюю панель ИПВ выведена рукоятка установки уровня « U_0 », а его значение контролируется прибором с «0» посередине шкалы. Источником случайных сигналов с нормальным распределением является генератор шума Г2-12.

Порядок выполнения работы

1. Подключить генератор Г2-12 на вход осциллографа. Установить режим однократной развёртки. Наблюдать на экране осциллографа и сфотографировать фрагменты реализаций случайного процесса.
2. Все тумблеры лабораторного макета установить в выключенное состояние. Сконфигурировать схему для измерения плотности вероятности процесса на выходе линейки генераторов.
3. Включить один генератор и рукояткой «УСИЛЕНИЕ» установить эффективное значение напряжения $U_{эф} = 0,3В$. Получить экспериментальные кривые плотности вероятности. Измерения повторить для числа генераторов $N = 2, 4, 6$, обеспечивая каждый раз $U_{эф} = 0,3В$.
4. Перевести все тумблеры лабораторного макета в состояние «выключено». Подать на вход ИПВ напряжение с генератора Г2-12 и включить один из генераторов линейки. Установить по прибору генератора шума среднеквадратическое отклонение $U_{ш} = 1,5В$. Измерить плотность вероятности суммарного случайного процесса при следующих значениях напряжения генератора линейки: $U_{эф} = 0; 0,2; 0,3; 0,4 В$. Установку величины напряжения на выходе генератора линейки производить при отключенном от ИПВ генераторе шума.

Оформление отчёта

Отчёт выполняется на листах формата А4 и должен содержать:

- титульный лист;
- название работы и выполняемых пунктов задания;
- схему лабораторной установки;
- результаты исследований (в виде графиков, рисунков, фотографий, расчётов);
- выводы по каждому пункту и работе в целом.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение функции распределения и плотности вероятности. Какова связь между ними?
2. Что такое моменты распределения? Дайте определение математического ожидания и дисперсии.
3. Какие случайные процессы называются стационарными?
4. Для определения вероятностных характеристик каких процессов достаточно располагать одной реализацией?
5. Объясните понятие двумерной плотности вероятности.
6. В каких случаях плотность вероятности случайного процесса содержит дельта-функцию?
7. Объясните различие между расчётными и экспериментально полученными зависимостями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2005.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Дрофа, 2006.
3. Денисенко А.Н. Сигналы. Теоретическая радиотехника. Справочное пособие. – М.: Горячая Линия Телеком, 2005.
4. Стеценко О.А. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2007.
5. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез устройств и систем: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2004.