

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота  
ФГБОУ ВО «КГТУ»  
БГАРФ

УТВЕРЖДАЮ

И. о. декана радиотехнического факультета

/Баженов В.А./

27 июня 2018 г.

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине  
(приложение к рабочей программе дисциплины)

**«ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАДИОТЕХНИКИ»**

(наименование дисциплины)

вариативной части образовательной программы  
**специалитета**

по специальности

**25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования»**

(код и наименование специальности)

специализаций

**«Инфокоммуникационные системы на транспорте и их информационная защита»**

(наименование специализации)

**«Техническая эксплуатация и ремонт радиооборудования промыслового флота»**

(наименование специализации)

Факультет **радиотехнический (РТФ)**

(наименование)

Кафедра **теоретических основ радиотехники (ТОР)**

(наименование)

Калининград 2018

# 1 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ЭТАПЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций, представленных в таблице 1.1.

Таблица 1 – Компетенции и этапы их формирования

Компетенции выпускника ОП ВО и этапы их формирования в результате изучения дисциплины	Знания, умения и навыки, характеризующие этапы формирования компетенций
1	2
<p>Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1)            Этапы формирования компетенции:  <u><b>ОК-1.1:</b></u> Способность к абстрактному мышлению</p>	<p><b>Должен знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Понятие случайного процесса и случайной величины, виды случайных процессов;</li> <li>• Вероятностные и числовые характеристики случайных процессов;</li> <li>• Корреляционную функцию и спектральную плотность средней мощности случайного процесса и их свойства;</li> </ul> <p><b>Должен уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Проводить расчет математического ожидания и дисперсии случайной величины по заданной плотности распределения вероятности;</li> <li>• Проводить расчет спектральной плотности средней мощности случайного процесса по его корреляционной функции и наоборот;</li> <li>• Проводить оценку времени корреляции и эффективной ширины энергетического спектра случайного процесса;</li> </ul> <p><b>Должен владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Навыками оценки стационарности случайного процесса по его вероятностным и числовым характеристикам;</li> <li>• Навыками оценки реализуемости модели случайного процесса по виду его корреляционной функции;</li> <li>• Навыками оценки числовых характеристик и корреляционной функции случайного процесса на основе свойства эргодичности.</li> </ul>

Компетенции выпускника ОП ВО и этапы их формирования в результате изучения дисциплины	Знания, умения и навыки, характеризующие этапы формирования компетенций
1	2
<p><b>ОК-1.2:</b> Способность к анализу</p>	<p><b>Должен знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Частотные и временные характеристики типовых линейных и передаточные характеристики типовых нелинейных электрических цепей;</li> <li>• Основы спектрального анализа прохождения случайных сигналов через линейные электрические цепи;</li> <li>• Основы статистического подхода в анализе прохождения сигналов через нелинейные электрические цепи;</li> </ul> <p><b>Должен уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Определять спектральную плотность средней мощности случайного процесса на выходе линейной электрической цепи;</li> <li>• Определять плотность распределения вероятностей случайного процесса на выходе линейной электрической цепи (сумматор, умножитель, делитель напряжений);</li> <li>• Определять плотность распределения вероятностей случайного процесса на выходе нелинейной электрической цепи;</li> </ul> <p><b>Должен владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Навыками определения энергетических характеристик (спектральной плотности средней мощности, дисперсии, эффективной полосы энергетического спектра) случайного процесса на выходе линейной электрической цепи;</li> <li>• Навыками оценки числовых характеристик (математическое ожидание и дисперсия) и корреляционной функции случайного процесса на выходе линейной электрической цепи (дифференцирующей и интегрирующей цепочек и пр.);</li> <li>• Навыками определения плотности распределения вероятностей случайного процесса на выходе типовых нелинейных электрических цепей (линейный и квадратичный амплитудные детекторы, фазовый детектор, квантователь и пр.).</li> </ul>

Компетенции выпускника ОП ВО и этапы их формирования в результате изучения дисциплины	Знания, умения и навыки, характеризующие этапы формирования компетенций
1	2
<p>Способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, работать с компьютером как средством управления информацией (<b>ОПК-5</b>)</p> <p>Этапы формирования компетенции:</p> <p><b>ОПК-5.1:</b> Способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации.</p>	<p><b>Должен знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Математическую модель теплового и дробового шумов радиоэлектронной аппаратуры (модель белого шума);</li> <li>• Методы генерации псевдослучайных числовых последовательностей с равномерным законом распределения;</li> <li>• Методы проверки статистических свойств моделей случайных процессов (закона распределения, числовых характеристик, корреляционных свойств и пр.);</li> </ul> <p><b>Должен уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Проводить оценку числовых характеристик (математического ожидания и дисперсии) случайного процесса с использованием встроенных функций среды MathCAD;</li> <li>• Проводить построение гистограммы распределения случайной величины с использованием встроенных функций среды MathCAD;</li> <li>• Проводить выбор числа степеней свободы и определять критическое значение критерия <math>\chi^2</math> с использованием встроенных функций среды MathCAD;</li> </ul> <p><b>Должен владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Навыками создания модели случайного процесса с равномерным законом распределения с использованием линейного конгруэнтного метода в среде MathCAD;</li> <li>• Навыками создания модели случайного процесса с равномерным законом распределения с использованием метода Фибоначчи с запаздываниями в среде MathCAD;</li> <li>• Навыками проверки статистической гипотезы о равномерном законе распределения с использованием критерия Пирсона в среде MathCAD.</li> </ul>

Компетенции выпускника ОП ВО и этапы их формирования в результате изучения дисциплины	Знания, умения и навыки, характеризующие этапы формирования компетенций
1	2
<p>Способность развивать творческую инициативу, рационализаторскую и изобретательскую деятельность, внедрять достижения отечественной и зарубежной науки и техники, внедрять эффективные инженерные решения в практику, в том числе составлять математические модели объектов профессиональной деятельности (<b>ПК-17</b>)</p> <p>Этапы формирования компетенции:</p> <p><b>ПК-17.3:</b> Способность внедрять эффективные инженерные решения в практику, в том числе составлять математические модели объектов профессиональной деятельности</p>	<p><b>Должен знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Квазигармоническое представление узкополосного случайного процесса;</li> <li>• Вид корреляционных функций узкополосного процесса на выходе типовых избирательных цепей (с прямоугольной и гауссовой формой амплитудно-частотной характеристики);</li> <li>• Суть преобразования Гильберта и механизм его применения во временной и частотной областях;</li> </ul> <p><b>Должен уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Имитировать процесс прохождения случайного сигнала через избирательную цепь в рамках спектрального метода с использованием встроенных функций быстрого прямого и обратного преобразований Фурье в среде MathCAD;</li> <li>• Проводить оценку центральной частоты энергетического спектра случайного процесса и его эффективной ширины;</li> <li>• Проводить построение корреляционной функции узкополосного случайного процесса и проводить ее сравнение с математической моделью в среде MathCAD;</li> </ul> <p><b>Должен владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Навыками использования преобразования Бокса-Мюллера для создания модели белого шума;</li> <li>• Навыками создания модели узкополосного белого шума с типовой формой энергетического спектра;</li> <li>• Навыками выделения огибающей и начальной фазы узкополосного случайного процесса с использованием преобразования Гильберта в среде MathCAD.</li> </ul>

Компетенции выпускника ОП ВО и этапы их формирования в результате изучения дисциплины	Знания, умения и навыки, характеризующие этапы формирования компетенций
1	2
<p>Способность к разработке обобщенных вариантов решения проблем, анализа этих вариантов, прогнозирования последствий, нахождения компромиссных решений (<b>ПК-22</b>)</p> <p>Этапы формирования компетенции:  <b>ПК-22.3:</b> Способность анализа вариантов решения проблем</p>	<p><b>Должен знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Понятия корреляционной функции и спектральной плотности средней мощности случайного процесса;</li> <li>• Понятия времени корреляции и эффективной ширины энергетического спектра случайного процесса;</li> <li>• Способы измерения корреляционной функции и спектральной плотности средней мощности случайного процесса;</li> </ul> <p><b>Должен уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Проводить оценку интервала дискретизации корреляционной функции случайного процесса;</li> <li>• Проводить оценку интервала дискретизации спектральной плотности средней мощности случайного процесса;</li> <li>• Проводить оценку времени измерения корреляционной функции и/или спектральной плотности средней мощности случайного процесса при использовании последовательного или параллельного метода измерения;</li> </ul> <p><b>Должен владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Навыками модельных измерений корреляционной функции случайного процесса в рамках последовательного и параллельного методов в среде MathCAD;</li> <li>• Навыками модельных измерений спектральной плотности средней мощности случайного процесса в рамках последовательного и параллельного методов в среде MathCAD;</li> <li>• Навыками оценки погрешности измерения корреляционной функции и/или спектральной плотности средней мощности случайного процесса в среде MathCAD.</li> </ul>

Компетенции выпускника ОП ВО и этапы их формирования в результате изучения дисциплины	Знания, умения и навыки, характеризующие этапы формирования компетенций
1	2
<p>Способность генерирования идей, решения задач по созданию теоретических моделей, позволяющих прогнозировать изменение свойств объектов профессиональной деятельности (ПК-25)</p> <p>Этапы формирования компетенции:  <b>ПК-25.2:</b> Способность решения задач по созданию теоретических моделей, позволяющих прогнозировать изменение свойств объектов профессиональной деятельности</p>	<p><b>Должен знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Понятие согласованного фильтра и его характеристики (комплексный коэффициент передачи, импульсная характеристика);</li> <li>• Понятие отношение сигнал/шум и способ его задания;</li> <li>• Способ построения согласованного фильтра на основе линии задержки с отводами;</li> </ul> <p><b>Должен уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Определять вид комплексного коэффициента передачи согласованного фильтра для пачки прямоугольных биполярных импульсов;</li> <li>• Проводить построение блок-схемы согласованного фильтра по известному виду комплексного коэффициента передачи;</li> <li>• Определять форму сигнала на выходе согласованного фильтра методом временных диаграмм;</li> </ul> <p><b>Должен владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Навыками реализации согласованных фильтров во временной области в среде MathCAD;</li> <li>• Навыками реализации согласованных фильтров в частотной области в среде MathCAD;</li> <li>• Навыками оценки отношения сигнал/шум на выходе согласованного фильтра в среде MathCAD.</li> </ul>

В ходе изучения этой учебной дисциплины обучаемые должны:

**Знать:**

- классификацию случайных процессов и их примеры из области радиотехники;
- числовые характеристики случайных процессов и способы их расчета;
- вероятностные характеристики случайных процессов;
- корреляционные и спектральные характеристики случайных процессов, соответствие между ними и способы их экспериментального измерения;
- методы анализа характеристик случайных процессов на выходах линейных и нелинейных радиотехнических цепей;

**Уметь:**

- определять статистические, корреляционные и спектральные характеристики типовых случайных процессов;
- анализировать изменение характеристик случайных процессов при их прохождении через линейные и нелинейные цепи;

**Владеть:**

- навыками создания моделей случайных процессов, и проведения модельных исследований прохождения случайных процессов через радиотехнические цепи и измерения их характеристик в среде MathCAD.

В таблице 1.2 приведено соответствие разделов изучаемой дисциплины реализуемому этапу формирования компетенции

Таблица 1.2 – Соответствие разделов дисциплины «Основы статистической радиотехники» реализуемому этапу формирования компетенции для всех форм обучения и всех специализаций

Этап формирования	Код формируемой компетенции					
	ОК-1		ОПК-5.1	ПК-17.3	ПК-22.3	ПК-25.2
	ОК-1.1	ОК-1.2				
Раздел 1. Введение	+					
Раздел 2. Вероятностные и энергетические характеристики случайных процессов	+	+	+		+	+
Раздел 3. Воздействие случайных сигналов на линейные и нелинейные радиотехнические цепи		+	+	+	+	
Раздел 4. Узкополосные случайные процессы			+	+		
Раздел 5. Согласованная фильтрация сигналов			+			+



## **2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО НЕЙ**

Контроль поэтапного формирования результатов освоения дисциплины осуществляется в рамках текущего контроля и итоговой аттестации в ходе выполнения заданий на лабораторных занятиях, выполнении контрольной работы, выполнении заданий на самостоятельную работу (СР), а также при сдаче зачета с оценкой в 4 семестре (в 3 сессию 3 курса для студентов заочной формы обучения).

### **2.1 Перечень тем лабораторных работ**

#### **Очная форма обучения**

1. «Изучение методов генерации псевдослучайных числовых последовательностей с равномерным законом распределения» (ОК-1.1, ОПК-5.1);
2. «Изучение методов генерации стандартных нормально распределенных случайных величин» (ОК-1.1, ОПК-5.1, ПК-17.3);
3. «Изучение характеристик узкополосных случайных процессов» (ОК-1.1, ОК-1.2, ПК-17.3);
4. «Экспериментальное определение корреляционной функции и спектральной плотности средней мощности стационарного случайного процесса» (ОК-1.1, ПК-22.3);
5. «Исследование характеристик случайных процессов на выходе линейных радиотехнических цепей» (ОК-1.1, ОК-1.2);
6. «Исследование характеристик случайных процессов на выходе нелинейной радиотехнической цепи» (ОК-1.1, ОК-1.2);
7. «Исследование согласованной фильтрации сигналов на фоне аддитивного белого шума» (ОК-1.1, ОК-1.2, ПК-25.2).

#### **Заочная форма обучения**

1. «Экспериментальное определение корреляционной функции и спектральной плотности средней мощности стационарного случайного процесса» (ОК-1.1, ПК-22.3);
2. «Изучение методов генерации стандартных нормально распределенных случайных величин» (ОК-1.1, ОПК-5.1, ПК-17.3);
3. «Исследование характеристик случайных процессов на выходе линейных радиотехнических цепей» (ОК-1.1, ОК-1.2).

Формирование результатов освоения дисциплины (РОД) в рамках лабораторных занятий осуществляется при выполнении лабораторных заданий с использованием специализированной контрольно-измерительной аппаратуры. Контроль освоения осуществляется с помощью контрольных вопросов и заданий из приведенного перечня.

## **2.2 Перечень тем контрольных работ для студентов заочного отделения**

1. Контрольная работа №1 (ОПК-5.1, ПК-17.3, ПК-25.2).

Формирование РОД в рамках выполнения контрольной работы осуществляется при самостоятельном решении типовых задач по расчету вероятностных и числовых характеристик случайных процессов на выходе типовых линейных и нелинейных электрических цепей, самостоятельном математическом моделировании схемы согласованного фильтра для пачки прямоугольных униполярных и биполярных импульсов. Контроль освоения осуществляется при защите контрольной работы.

## **2.3 Перечень тем самостоятельных работ**

### **Очная форма обучения**

1. «Вероятностные и энергетические характеристики случайных процессов» (ОПК-5.1, ПК-17.3);
2. «Воздействие случайных сигналов на линейные и нелинейные радиотехнические цепи» (ОК-1.2);
3. «Узкополосные случайные процессы» (ПК-17.3);
4. «Согласованная фильтрация сигналов» (ПК-25.2);

### **Заочная форма обучения**

1. «Вероятностные и энергетические характеристики случайных процессов» (ОПК-5.1, ПК-17.3);
2. «Воздействие случайных сигналов на линейные и нелинейные радиотехнические цепи» (ОК-1.2);
3. «Узкополосные случайные процессы» (ПК-17.3);
4. «Согласованная фильтрация сигналов» (ПК-25.2);

Формирование РОД при выполнении заданий на СР осуществляется при работе обучающегося с рекомендованной основной и дополнительной литературой, а также интернет-ресурсами. Контроль освоения осуществляется при проверке качества конспекта, а также умения применить изученный материал при решении практических задач.

## 2.4 Итоговая аттестация

Допуск к итоговой аттестации осуществляется после сдачи всех текущих контролей, включающих защиту лабораторных работ, контрольной работы (для заочной формы обучения), а также конспектов тем, вынесенных на самостоятельное изучение, предусмотренных рабочей программой дисциплины. Итоговая аттестация проводится в виде зачета с оценкой в 4 семестре (в 3 сессию 3 курса для студентов заочной формы обучения). Зачет проводится в форме теста, содержащего 20 заданий различного назначения: 1) с четырьмя вариантами ответов, один из которых является верным; 2) с несколькими вариантами ответов, два и более из которых являются верными; 3) заданий без ответа с необходимостью представить краткий числовой ответ, являющийся результатом выполнения 1-2 операций, выполненных на основе известных из теории соотношений; 4) заданий на сопоставление нескольких объектов и их характеристик. Перечень тестовых вопросов максимально охватывает разделы дисциплины. При отрицательном результате выполнения тестовых заданий, по желанию обучающегося, может быть проведена беседа по темам дисциплины в соответствии с утвержденным перечнем вопросов, выданным курсантам (студентам) не позднее 1 месяца перед сессией.

Формирование РОД осуществляется при самостоятельной подготовке обучающихся к итоговой аттестации по конспекту лекций, рекомендуемым к изучению в начале курса учебникам и учебным пособиям. В ходе подготовки к зачету с оценкой преподаватель проводит консультацию, на которой доводится порядок проведения зачета и даются ответы на вопросы, вызвавшие затруднения у курсантов (студентов) в процессе подготовки.

Зачет с оценкой проводится в любой из дней в течение зачетной недели.

Контроль освоения компетенций (ОК-1, ОПК-5, ПК-17, ПК-22, ПК-25) осуществляется по количеству правильных ответов на вопросы тестового задания или ответу на вопросы в соответствии с утвержденным перечнем, умению применить полученные знания при решении практических задач.

### 3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ПОЭТАПНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Типовые контрольные задания и вопросы

3.1.1 Лабораторное задание и перечень контрольных вопросов для защиты лабораторной работы № 1 «Изучение методов генерации псевдослучайных числовых последовательностей с равномерным законом распределения»

*Цель работы:* Изучить методы генерации псевдослучайных числовых последовательностей с равномерным законом распределения и способов их тестирования.

#### Лабораторное задание

##### 1 Моделирование равномерно распределенной СВ

Запустите приложение MathCAD.

Задайте максимальную длину формируемой кодовой последовательности псевдослучайных чисел, например:

$$m := 2^{16}$$

Задайте число отсчетов формируемой случайной величины  $N$ , которое может быть не больше  $m$ , например:

$$N := m$$

Определите параметры  $a$  и  $m$  рекуррентного уравнения для генерации отсчетов СВ. С этой целью можно создать следующие процедуры:

- для поиска параметра  $a$

$$a := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in \text{floor}(0,01 \cdot m) .. \text{ceil}(m - \sqrt{m}) \\ \quad a \leftarrow i \text{ if } \text{mod}(i,8) = 5 \\ a \end{array} \right.$$

- для поиска параметра  $C$

$$C := \left| \begin{array}{l} c \leftarrow \left( \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{6} \right) \cdot m \\ C \leftarrow \left| \begin{array}{l} \text{floor}(c) \text{ if } \frac{\text{floor}(c)}{2} - \text{round}\left(\frac{\text{floor}(c)}{2}\right) \neq 0 \\ \text{ceil}(c) \text{ otherwise} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Первая из процедур проверяет все целые числа между предшествующим  $0,01m$  и следующим за  $m - \sqrt{m}$ . Вторая процедура проверяет имеется ли остаток от деления на 2 предшествующего целого числа по отношению к  $\left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{6}\right) \cdot m$  (проверяет его на четность) и выбирает его в качестве результата если оно нечетное, а в противном случае выбирает следующее целое число.

Процедура генерации отсчетов СВ начинается с произвольного первого значения, которое можно задать, например, с использованием функции встроенного генератора MathCAD:

$$X_0 := \text{runif}(1,0,1)_0$$

Функция  $\text{runif}(N,a,b)$  генерирует вектор-столбец (матрицу) отсчетов случайной величины длиной  $N$ , равномерно распределенных в интервале от  $a$  до  $b$ .

После этого проведите генерацию отсчетов СВ:

$$i := 0..N - 1$$

$$X_{i+1} := \text{mod}(a \cdot X_i + C, m)$$

Полученные в результате псевдослучайные отсчеты лежат в диапазоне от 0 до  $m$ . Чтобы отсчеты СВ лежали в диапазоне от 0 до 1 отнормируйте полученные  $N - 1$  отсчеты:

$$i := 1..N$$

$$X_i := \frac{X_i}{m}$$

Для визуальной оценки полученного результата изобразите график полученной последовательности на некотором интервале (рисунок 3.1):

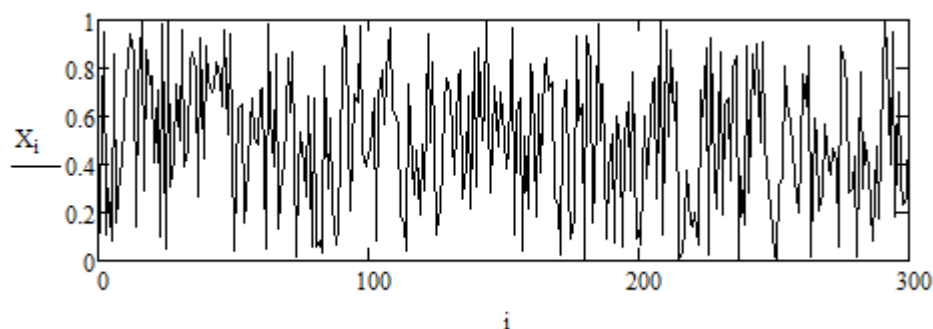


Рисунок 3.1 – Реализация СП

## 2 Проверка гипотезы о равномерном распределении СВ

Задайте число интервалов разбиения диапазона возможных значений СВ, например:

$$M := 10$$

Задайте номера границ интервалов:

$$j := 0..M$$

Определите ширину интервалов:

$$h := \frac{1}{M}$$

Определите границы интервалов:

$$\text{int}_j := j \cdot h$$

Используя встроенную функцию среды MathCAD  $\text{hist}(\text{int}, X)$  определите количество попаданий отсчетов СВ в каждый из интервалов:

$$N\_X := \text{hist}(\text{int}, X)$$

Проверьте, что суммарное число отсчетов равно  $N$ :

$$\sum_{j=0}^{M-1} N\_X_j =$$

$$N =$$

Задайте переменную для построения закона распределения СВ:

$$x := 0, 0.01..1$$

где через запятую указан шаг изменения переменной.

Постройте гистограмму распределения СВ и теоретический закон распределения (рисунок 3.2).

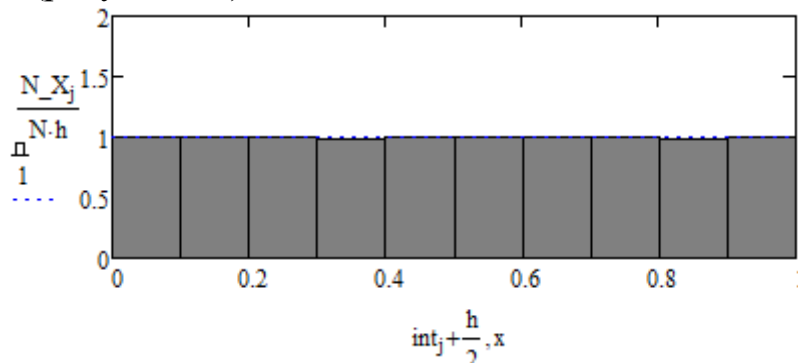


Рисунок 3.2 – Гистограмма распределения СВ и теоретический закон распределения

Проследите за изменениями в гистограмме при изменении количества отсчетов СВ:  $N := 2^{10}$ ,  $N := 2^{14}$  и  $N := 2^{16}$ . Сделайте вывод по полученным результатам.

Определите математическое ожидание и дисперсию СВ, используя встроенные функции среды MathCAD  $\text{mean}(X)$  и  $\text{var}(X)$ :

$$X\_cp := \text{mean}(X)$$

$$D\_X := \text{var}(X)$$

Сравните полученные значения с теоретическими и сделайте вывод.

Рассчитайте модельное значение критерия  $\chi^2$ :

$$\chi := N \cdot \sum_{j=0}^{M-1} \frac{\left( \frac{N - X_j}{N} - h \right)^2}{h}$$

В данном выражении дробь  $\frac{N - X_j}{N}$  символизирует модельную частоту (вероятность) попадания отсчетов СВ в  $j$ -ый интервал, а  $h$  – теоретическую вероятность попадания отсчетов СВ в тот же интервал.

Рассчитайте критическое значение критерия  $\chi_{кр}^2$ . Для этого определите количество степеней свободы

$$s := M - 1$$

Данное число определяется как число интервалов в гистограмме распределения минус 1 (за счет выполнения условия нормировки) и минус число параметров, фигурирующих в теоретическом законе распределения (для равномерного закона таких параметров нет).

Задайте доверительную вероятность, например:

$$P0 := 0.95$$

Критическое значение критерия  $\chi_{кр}^2$  определите с использованием встроенной функции среды MathCAD  $qchisq(P0, s)$ :

$$\chi_{кр} := qchisq(P0, s)$$

Сравните модельное значение критерия  $\chi^2$  с критическим  $\chi_{кр}^2$ . Если выполняется условие  $\chi^2 < \chi_{кр}^2$ , то гипотезу о равномерном распределении СВ можно принять, а если  $\chi^2 \geq \chi_{кр}^2$ , то ее стоит отвергнуть.

Проведите серию модельных измерений модельного значения критерия  $\chi^2$  при различных реализациях шума. С этой целью проводите повторную компиляцию программного кода с использованием комбинации клавиш Ctrl+F9. Выполните 50 измерений и сведите результаты в матрицу вида:

$$\chi^n := \begin{pmatrix} 5.34 & 10.826 & 5.275 & 5.648 & 6.019 & 5.929 & 2.978 & 7.988 & 6.452 & 7.326 \\ 6.129 & 3.234 & 9.602 & 9.963 & 5.237 & 13.086 & 4.356 & 7.372 & 14.378 & 10.995 \\ 23.793 & 13.856 & 9.383 & 4.888 & 9.859 & 18.179 & 13.312 & 11.141 & 8.407 & 9.549 \\ 3.826 & 4.068 & 7.063 & 6.577 & 2.882 & 10.204 & 3.871 & 11.756 & 17.797 & 5.397 \\ 8.162 & 6.402 & 13.622 & 15.173 & 7.253 & 6.892 & 11.055 & 16.813 & 6.124 & 3.593 \end{pmatrix}$$

Оцените вероятность того, что гипотеза о равномерном распределении СВ будет принята. Для этого необходимо подсчитать количество значений критерия, для которых выполняется условие  $\chi^2 < \chi_{кр}^2$ . Это можно сделать, используя следующую процедуру:

$$P := \frac{1}{50} \cdot \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^9 \begin{pmatrix} 1 \text{ if } \chi_{n_{i,j}} < \chi_{-kp} \\ 0 \text{ otherwise} \end{pmatrix}$$

Сравните полученное значение вероятности с доверительной вероятностью и сделайте вывод.

### 3 Проверка случайности отсчетов СВ

Для проверки отсутствия связи между отсчетами СВ (их случайности) постройте зависимость между соседними отсчетами. Если такая зависимость существует, то точки расположатся вдоль некоторой гладкой кривой, а если такой зависимости нет – то равномерно распределятся в квадрате  $1 \times 1$  (рисунок 3.3). Для удобства визуального наблюдения возьмите неполный объем отсчетов СВ (например,  $2^{11}$ ).

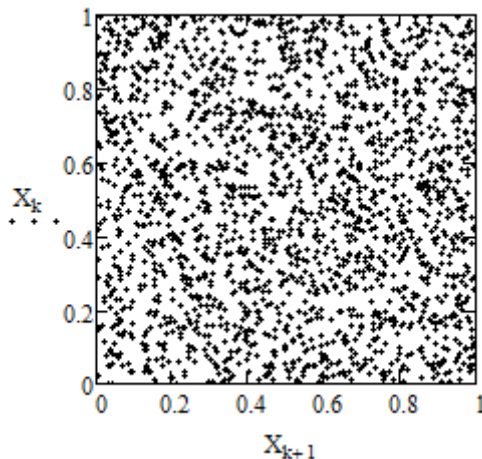


Рисунок 3.3 – Результат применения графического теста

### 4 Построение корреляционной функции СВ

Ожидаемый для данного случая (равномерного распределения СВ) вид корреляционной функции описывается моделью  $\delta$ -функции, а поэтому при оценке корреляционной функции нет необходимости проводить расчет всех ее значений, сильно удаленных от начала координат. Визуально результаты будут отличаться незначительно, а затрачиваемое на расчет машинное время будет расти. Ограничьтесь 100 точками:

$$n := 0..99$$

$$K_n := \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} [(X_i - X_{-cp})(X_{i+n} - X_{-cp})]$$

Постройте график корреляционной функции. Помните, что данная функция всегда является четной. Отобразите график четным образом на



отрицательные значения  $n$  (рисунок 3.4). Сделайте вывод о виде корреляционной функции.

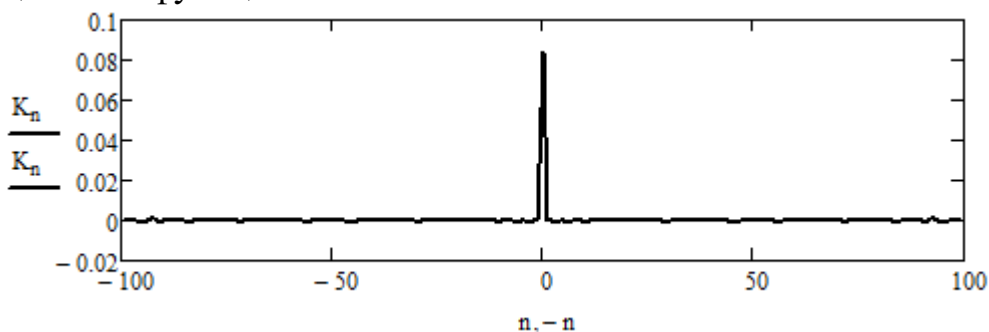


Рисунок 3.4 – Корреляционная функция СВ

## 5 Генерация и исследование последовательности отсчетов СВ с использованием метода Фибоначчи с запаздываниями

Самостоятельно выполните следующие действия:

- задайте число отсчетов СВ  $N$ ;
- задайте запаздывания  $n = 55$  и  $k = 24$ ;
- сформируйте начальный вектор значений СВ с использованием встроенной функции среды MathCAD  $\text{runif}(m, 0, 1)$ , где  $m$  – наибольшее из чисел  $n$  и  $k$ ;
- сформируйте в цикле оставшиеся  $(N - m)$  значений в соответствии с выражением (1.42);
- проведите исследования свойств сформированной псевдослучайной последовательности аналогично пунктам 1.2.1 – 1.2.4.

### Контрольные вопросы

- 1 Что понимают под случайным процессом, случайной величиной, реализацией случайного процесса? Приведите примеры случайных величин в области радиотехники.
- 2 Дайте определение одномерной функции и одномерной плотности вероятности распределения случайной величины. Как они связаны между собой? Какими свойствами они обладают?
- 3 Как, имея выражение для одномерной функции или одномерной плотности вероятности распределения случайной величины определить вероятность попадания ее значений в конечный интервал?
- 4 Приведите выражения, определяющие математическое ожидание, дисперсию и среднее квадратическое отклонение случайной величины. Какой физический смысл имеют эти величины?

- 5 Дайте определение двумерной функции и двумерной плотности вероятности распределения случайной величины. Как они связаны между собой?
- 6 Дайте определение корреляционной функции случайной величины. Как она связана с дисперсией этой случайной величины?
- 7 Какие случайные процессы называют стационарными (в узком и широком смысле)? Как определяются математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция стационарного случайного процесса?
- 8 Перечислите свойства корреляционной функции стационарного случайного процесса. Докажите их.
- 9 Приведите выражение для одномерной плотности вероятности равномерно распределенной случайной величины. Получите выражение для функции распределения этой случайной величины.
- 10 Приведите выражение для одномерной плотности вероятности равномерно распределенной случайной величины. Получите выражения для математического ожидания и дисперсии этой случайной величины.
- 11 Приведите выражение для одномерной плотности вероятности нормально распределенной (гауссовой) случайной величины. Получите выражение для функции распределения этой случайной величины.
- 12 Приведите выражение для одномерной плотности вероятности нормально распределенной (гауссовой) случайной величины. Получите выражения для математического ожидания и дисперсии этой случайной величины.
- 13 Приведите выражение для одномерной плотности вероятности случайной величины, распределенной по закону Рэлея. Получите выражение для функции распределения этой случайной величины.
- 14 Приведите выражение для одномерной плотности вероятности случайной величины, распределенной по закону Рэлея. Получите выражения для математического ожидания и дисперсии этой случайной величины.
- 15 Приведите выражение для одномерной плотности вероятности случайной величины, распределенной по закону Лапласа. Получите выражение для функции распределения этой случайной величины.
- 16 Приведите выражение для одномерной плотности вероятности случайной величины, распределенной по закону Лапласа. Получите выражения для математического ожидания и дисперсии этой случайной величины.
- 17 Какая последовательность чисел называется псевдослучайной? Как и с какой целью она создается?
- 18 Поясните суть линейного конгруэнтного метода и метода Фибоначчи с запаздыванием, использованных в лабораторной работе для генерации псевдослучайных последовательностей.
- 19 По каким критериям проводится верификация (проверка) псевдослучайных последовательностей?

### 3.1.2 Лабораторное задание и перечень контрольных вопросов для защиты лабораторной работы № 2 «Изучение методов генерации стандартных нормально распределенных случайных величин»

*Цель работы:* Изучить методы на основе преобразования Бокса-Мюллера, применяемые для генерации стандартных нормально распределенных случайных величин

#### Лабораторное задание

### 1 Моделирование нормально распределенной СВ по методу Бокса-Мюллера

Запустите приложение MathCAD.

Задайте число отсчетов равномерно распределенной СВ, например:

$$N := 2^{16}$$

Сгенерируйте 2 массива отсчетов равномерно распределенных СВ с использованием с использованием функции встроенного генератора MathCAD:

$$X := \text{runif}(N, 0, 1)$$

$$Y := \text{runif}(N, 0, 1)$$

Примените к сгенерированным массивам отсчетов преобразование Бокса-Мюллера, используя следующую процедуру:

$$i := 0..N - 1$$

$$Z1_i := \sqrt{-2 \cdot \ln(X_i + 10^{-20})} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot Y_i)$$

$$Z2_i := \sqrt{-2 \cdot \ln(X_i + 10^{-20})} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot Y_i)$$

В данной процедуре под логарифм добавлено малое число  $10^{-20}$ , чтобы избежать исключения при появлении  $\ln(0)$ .

### 2 Проверка гипотезы о нормальном распределении СВ

Постройте гистограмму распределения отсчетов СВ  $Z1$  (рисунок 3.5) в соответствии с алгоритмом, изложенным в п.2 лабораторного задания лабораторной работы №1. Число интервалов гистограммы выберите равным:

$$M := 30$$

При выборе шага интегрирования опирайтесь на минимальное и максимальное значения СВ, которые могут быть определены с использованием встроенных функций среды MathCAD  $\min(\ )$  и  $\max(\ )$ :

$$h_{Z1} := \frac{\max(Z1) - \min(Z1)}{M}$$

Переменную для построения закона распределения СВ задайте исходя из тех же соображений:

$$z1 := \min(Z1), \min(Z1) + \frac{\max(Z1) - \min(Z1)}{100} .. \max(Z1)$$

Для построения теоретического закона вычислите математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение (СКО) СВ:

$$Z1_{cp} := \text{mean}(Z1)$$

$$\sigma_{Z1} := \sqrt{\text{var}(Z1)}$$

Проверьте гипотезу о нормальном законе распределения отсчетов СВ. Для этого при доверительной вероятности 0,95 и  $M - 3$  степенях свободы вычислите критическое значение критерия  $\chi_{кр}^2$ , используя встроенную функцию среды MathCAD  $qchisq( )$ .

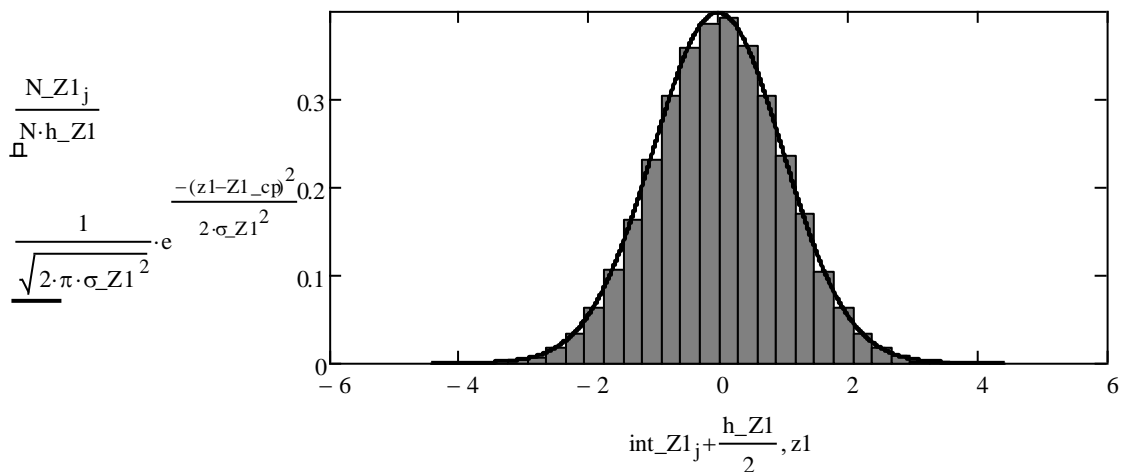


Рисунок 3.5 – Гистограмма распределения отсчетов СВ и теоретический закон распределения

Рассчитайте вероятности попадания отсчетов СВ в каждый из сформированных интервалов гистограммы:

$$P_{Z1_j} := \int_{int_{Z1_j}}^{int_{Z1_{j+1}}} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{Z1}^2}} \cdot e^{-\frac{(z - Z1_{cp})^2}{2 \cdot \sigma_{Z1}^2}} dz$$

а также модельное значение критерия  $\chi^2$  в соответствии с процедурой:

$$\chi_{Z1} := N \cdot \sum_{j=0}^{M-1} \frac{\left( \frac{N_{Z1_j}}{N} - P_{Z1_j} \right)^2}{P_{Z1_j}}$$

Сравнив полученное значение критерия с критическим, сделайте вывод о том, верна ли гипотеза о нормальном распределении СВ.

### 3 Проверка случайности отсчетов СВ

Для проверки отсутствия связи между отсчетами СВ (их случайности) постройте зависимость между соседними отсчетами. Если такая зависимость существует, то точки расположатся вдоль некоторой гладкой кривой, а если такой зависимости нет – то большинство из них (теоретически 95 %) попадет внутрь круга радиусом  $3\sigma = 3$  (рисунок 3.6).

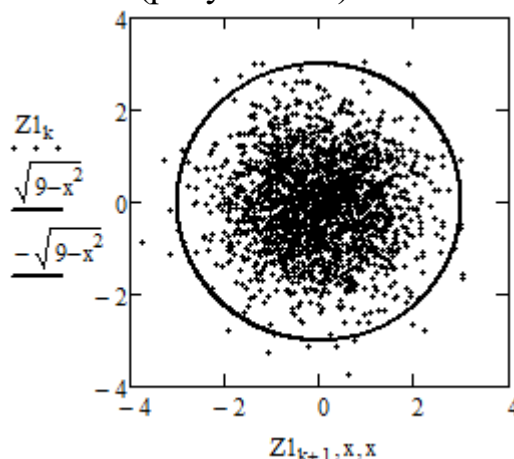


Рисунок 3.6 – Результат применения графического теста

### 4 Построение корреляционной функции СВ

Ожидаемый для данного случая вид корреляционной функции описывается моделью  $\delta$ -функции. Ограничьтесь 100 отсчетами корреляционной функции:

$$n := 0..99$$

$$K_{-Z1_n} := \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} [(Z1_i - Z1_{cp})(Z1_{i+n} - Z1_{cp})]$$

Постройте график корреляционной функции. Отобразите график четным образом на отрицательные значения  $n$  (рисунок 3.7). Сделайте вывод о виде корреляционной функции.

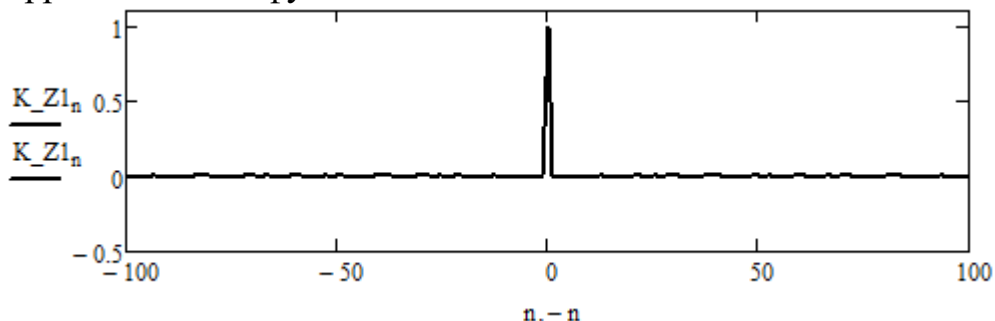


Рисунок 3.7 – Корреляционная функция СВ

Повторите пункты 1 – 4 лабораторного задания по отношению к СВ Z2.

## 5 Моделирование нормально распределенной СВ по модифицированному методу Бокса-Мюллера

Воспользуйтесь сформированными в п.1 массивами отсчетов равномерно распределенных СВ  $X$  и  $Y$ . Сформируйте пары отсчетов нормально распределенных СВ  $Z1$  и  $Z2$  из пар отсчетов равномерно распределенных СВ  $X$  и  $Y$ . Чтобы число пар отсчетов нормально и равномерно распределенных СВ совпадало, используйте простой счетчик. Случайные номера отсчетов величин  $X$  и  $Y$  должны лежать в диапазоне от 0 до  $N-1$ . Они могут быть сформированы округлением случайных чисел, задаваемых встроенной функцией среды MathCAD  $\text{runif}(1,0,N-1)$ . Для выполнения данных операций создайте процедуру вида:

```

XY:=
| s ← 0
| for i ∈ 0..100·N
|   | n1 ← round(runif(1,0,N-1)0)
|   | n2 ← round(runif(1,0,N-1)0)
|   | d ← (Xn1)2 + (Yn2)2
|   | if d ≤ 1
|   |   | Z1s ← Xn1 · √( -2·ln(d+10-20) / (d+10-20) )
|   |   | Z2s ← Yn2 · √( -2·ln(d+10-20) / (d+10-20) )
|   |   | s ← s + 1
|   |   | p ← i
|   |   | break if s > N - 1
|   | (Z1 Z2 p)

```

В данной процедуре функция  $\text{round}(\ )$  используется для округления, переменная  $s$  используется в качестве счетчика (расчет прекращается при превышении значения  $N-1$ ), переменная  $p$  используется для подсчета общего числа протестированных пар отсчетов СВ  $X$  и  $Y$ .

Тогда массивы отсчетов нормально распределенных СВ  $Z1$  и  $Z2$  могут быть выделены из полученной матрицы следующим образом:

$$i := 0..N - 1$$

$$Z1_i := (XY_{0,0})_i$$

$$Z2_i := (XY_{0,1})_i$$

Оцените эффективность метода, разделив число отсчетов любого из сформированных массивов на значение переменной  $p$ :

$$\frac{N}{XY_{0,2}} =$$

и сравните полученное значение с теоретическим 0,785.

По аналогии с п. 2 – 4 постройте гистограммы распределений и проверьте гипотезу о нормальном распределении сформированных СВ, проверьте статистическую независимость отсчетов внутри каждого из массивов, постройте корреляционную функцию и убедитесь, что она соответствует модели  $\delta$ -функции.

### Контрольные вопросы

- 1 Какой физический смысл функции распределения СВ?
- 2 В чем состоит метод обратного преобразования функции распределения?
- 3 Получите выражение определяющее преобразование равномерно распределенной на интервале  $(0, 1)$  СВ в экспоненциально распределенную СВ.
- 4 Получите выражение определяющее преобразование равномерно распределенной на интервале  $(0, 1)$  СВ в СВ, распределенную по закону Рэлея.
- 5 В чем суть преобразования Бокса-Мюллера?
- 6 Докажите выражения, описывающие преобразование Бокса-Мюллера.
- 7 Докажите, что преобразование Бокса-Мюллера дает пару нормально распределенных СВ. От чего зависит дисперсия этих СВ?
- 8 Как изменить математическое ожидание и дисперсию нормально распределенных СВ, определенных преобразованием Бокса-Мюллера?
- 9 В чем суть модифицированного преобразования Бокса-Мюллера?

10 В чем достоинство и недостаток модифицированного преобразования Бокса-Мюллера?

*3.1.3 Лабораторное задание и перечень контрольных вопросов для защиты лабораторной работы № 3 «Изучение характеристик узкополосных случайных процессов»*

*Цель работы:* Провести модельные исследования числовых, вероятностных, энергетических и корреляционных характеристик узкополосных случайных процессов

### **Лабораторное задание**

#### **1 Моделирование нормально распределенной СВ**

Запустите приложение MathCAD.

Задайте число отсчетов широкополосного нормального СП, например:

$$N := 2^{16}$$

Процедура генерации отсчетов нормально распределенной СВ может быть осуществлено с использованием функции встроенного генератора MathCAD:

$$Z := \text{rnorm}(N, 0, 1)$$

Приведенная функция позволяет сгенерировать массив отсчетов СВ объемом  $N$  с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. Проверьте числовые характеристики (математическое ожидание и дисперсию) сформированной СВ, используя встроенные функции среды MathCAD  $\text{mean}(\ )$  и  $\text{var}(\ )$ :

$$Z\_cp := \text{mean}(Z) \quad \sigma\_Z := \sqrt{\text{var}(Z)}$$

#### **2 Моделирование узкополосного нормального СП**

Для перехода от широкополосного СП к узкополосному СП необходимо симитировать его прохождение через узкополосную цепь. Оптимальным методом для решения данной задачи является спектральный метод. Постройте массив значений комплексного спектра реализации широкополосного СП  $Z$  с использованием встроенной функции среды MathCAD  $\text{fft}(\ )$ . Данная функция осуществляет процедуру быстрого преобразования Фурье (БПФ) и имеет единственное ограничение – число отсчетов СП  $Z$  должно быть степенью двойки, как это для примера приведено в начале п. 1:



$$S\_Z := \text{fft}(Z)$$

Убедиться в широкополосности СП  $Z$  можно построив амплитудный спектр<sup>1</sup>, как это показано на рисунке 3.8.

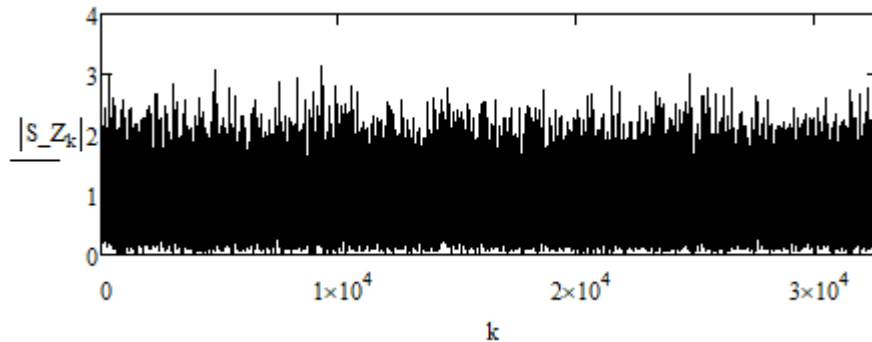


Рисунок 3.8 – Амплитудный спектр реализации широкополосного СП

При построении графика необходимо помнить, что число отсчетов  $S\_Z$  в 2 раза меньше, чем у самого процесса  $Z$ , или воспользоваться встроенной функцией среды MathCAD  $\text{last}(Z)$  для определения максимального номера в массиве  $\{Z_k\}$ :

$$k := 0.. \text{last}(Z)$$

Задайте полуширину полосы пропускания узкополосной цепи, выраженную в количестве отсчетов комплексного спектра  $S\_Z$ , например:

$$L := \text{last}(Z)$$

$$\Delta := \frac{L}{64}$$

Сформируйте отсчеты комплексных коэффициентов передачи узкополосных цепей с идеальной и гауссовой АЧХ. Используйте для этого следующие процедуры:

$$T1_k := \begin{cases} e^{-i \cdot \frac{k-L}{2} \cdot \frac{\pi}{\Delta}} & \text{if } \left| k - \frac{L}{2} \right| \leq \Delta \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad T2_k := e^{-\left( \frac{k-L}{2} \right)^2 \cdot \ln(\sqrt{2})} \cdot e^{-i \cdot \frac{k-L}{2} \cdot \frac{\pi}{\Delta}}$$

Для возможности выбора формы АЧХ узкополосной цепи введите переменную, отвечающую за тип фильтра, и объедините отсчеты комплексных коэффициентов передачи в одну функцию, например:

$$Tip := 1$$

<sup>1</sup> При желании можно отложить вдоль оси абсцисс отсчеты частоты  $f_k := \frac{k}{N \cdot \Delta t}$ , где  $\Delta t$  – время дискретизации широкополосного СП.

$$T_k := \begin{cases} T1_k & \text{if } Tip = 1 \\ T2_k & \text{if } Tip = 2 \end{cases}$$

В соответствии со спектральным методом сформируйте отсчеты узкополосного (narrowband) СП на выходе узкополосной цепи:

$$S\_Znb_k := S\_Z_k \cdot T_k$$

Постройте сформированный амплитудный спектр реализации узкополосного СП (рисунок 3.9), ограничив область построения отсчетами с номерами от  $\frac{L}{2} - 5\Delta$  до  $\frac{L}{2} + 5\Delta$ . Отобразите на одних координатных осях, как это показано на рисунке 3.9, амплитудный спектр и АЧХ узкополосной цепи.

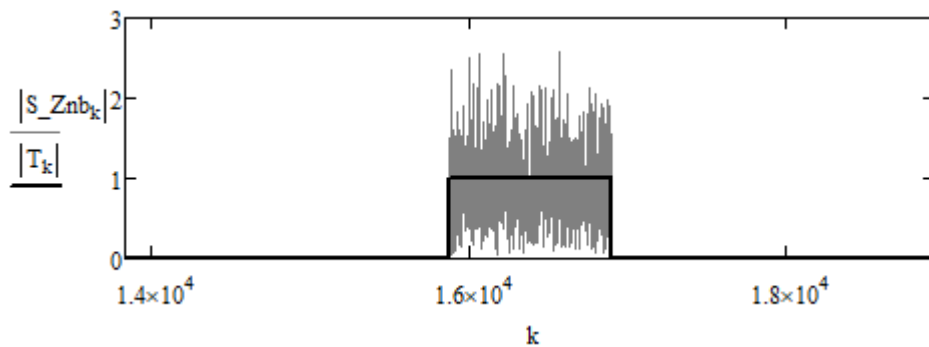


Рисунок 3.9 – Амплитудный спектр реализации узкополосного СП на выходе узкополосной цепи с идеальной формой АЧХ

Сформируйте массив отсчетов реализации узкополосного СП, перейдя от комплексного спектра  $S\_Znb$  к временной реализации  $Znb$  с использованием встроенной функции среды MathCAD  $ifft()$ , осуществляющей процедуру обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ):

$$Znb := ifft(S\_Znb)$$

Постройте временную реализацию сформированного узкополосного СП (рисунок 3.10).

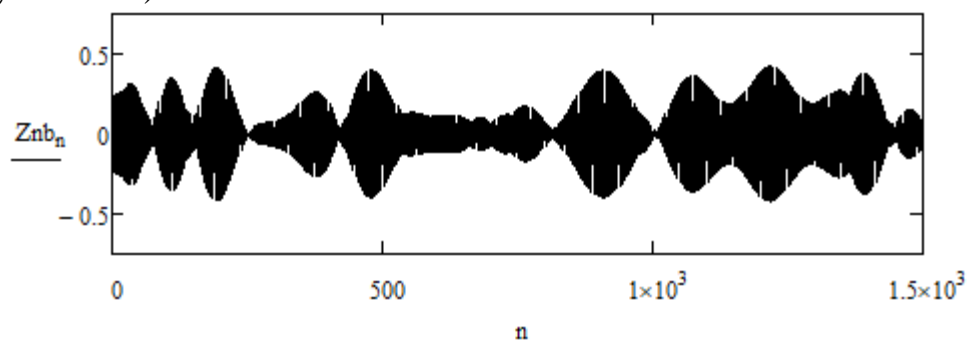


Рисунок 3.10 – Временная реализация узкополосного СП на выходе узкополосной цепи с идеальной формой АЧХ

Повторите проделанные процедуры для гауссовой формы АЧХ узкополосной цепи, поменяв значение переменной *Tip* :

$$Tip := 2$$

Постройте амплитудный спектр реализации узкополосного СП (рисунок 3.11). Убедитесь, что временная реализация СП по-прежнему описывает узкополосный СП.

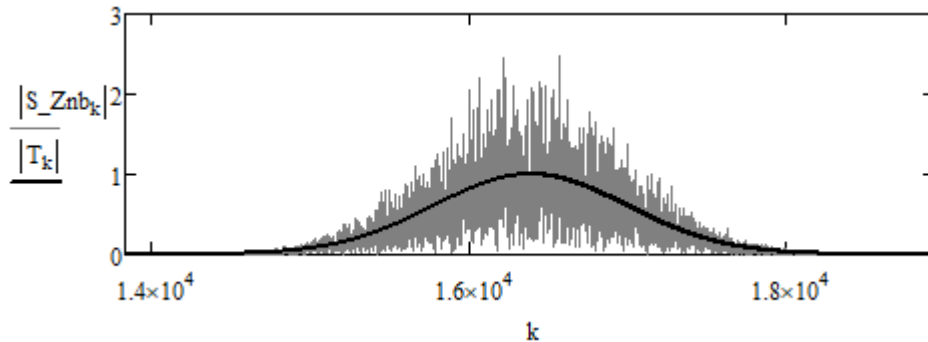


Рисунок 3.11 – Амплитудный спектр реализации узкополосного СП на выходе узкополосной цепи с гауссовой формой АЧХ

Для выделения квадратурных составляющих узкополосного СП необходимо знать центральную частоту спектра шума. Приведенные на рисунках 3.9 и 3.11 амплитудные спектры представляют собой СП в частотной области. Поэтому необходимо провести усреднение достаточно большого числа таких спектров. С этой целью можно воспользоваться следующей процедурой:

$$S := \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \frac{N}{2} - 1 \\ \quad S1_i \leftarrow 0 \\ \quad \text{for } n \in 0..99 \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} Z \leftarrow \text{rnorm}(N, 0, 1) \\ S\_Z \leftarrow \text{fft}(Z) \\ \text{for } i \in 0.. \frac{N}{2} - 1 \\ \quad S1_i \leftarrow S1_i + \frac{1}{100} \cdot (|S\_Z_i|)^2 \cdot (|T_i|)^2 \end{array} \right. \\ S1 \end{array}$$

Постройте усредненный энергетический спектр узкополосного СП (рисунки 3.12 и 3.13). Убедитесь, что различие форм усредненного энергетического спектра СП и квадрата АЧХ узкополосной цепи меньше, чем амплитудного спектра реализации СП и АЧХ.

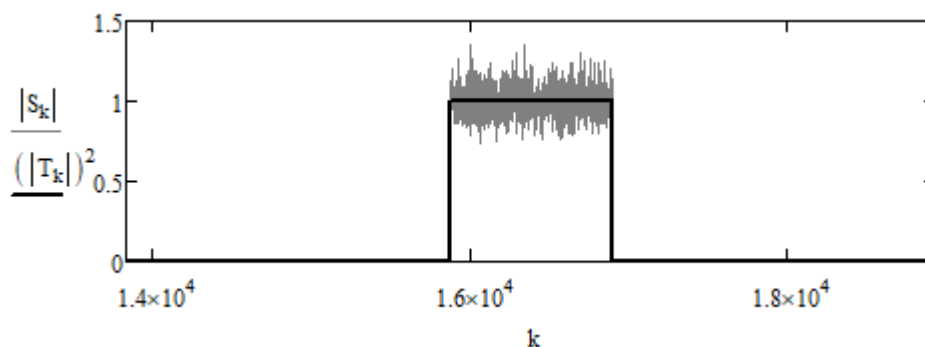


Рисунок 3.12 – Усредненный энергетический спектр узкополосного СП на выходе узкополосной цепи с идеальной формой АЧХ

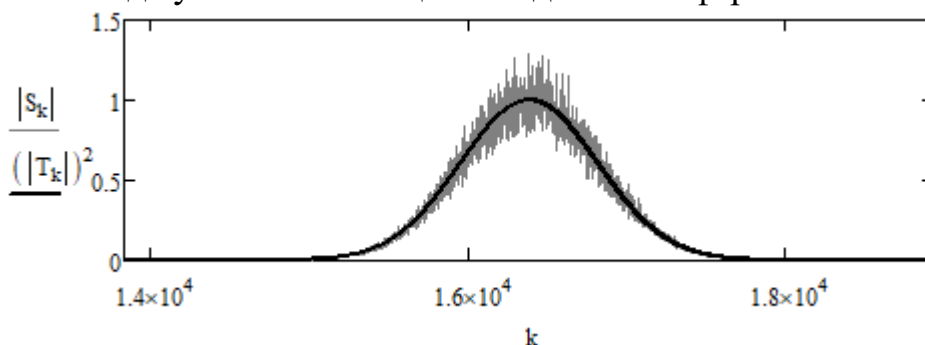


Рисунок 3.13 – Усредненный энергетический спектр узкополосного СП на выходе узкополосной цепи с гауссовой формой АЧХ

### 3 Проверка гипотезы о нормальном распределении узкополосного СП

Постройте гистограмму распределения отсчетов узкополосного СП (рисунок 3.14) в соответствии с алгоритмом, изложенным в п.2 лабораторного задания лабораторной работы №1. Число интервалов гистограммы выберите равным:

$$M := 30$$

При выборе шага интегрирования опирайтесь на минимальное и максимальное значения СВ, которые могут быть определены с использованием встроенных функций среды MathCAD  $\min(\ )$  и  $\max(\ )$ :

$$h := \frac{\max(Znb) - \min(Znb)}{M}$$

Переменную для построения закона распределения СВ задайте исходя из тех же соображений:

$$z := \min(Znb), \min(Znb) + \frac{\max(Znb) - \min(Znb)}{100} .. \max(Znb)$$

Для построения теоретического закона вычислите математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение (СКО) узкополосного СП:

$$Znb\_cp := \text{mean}(Znb)$$

$$\sigma\_Znb := \sqrt{\text{var}(Znb)}$$

Сравните полученное значение СКО со следующей оценкой:

$$\sqrt{\frac{2\Delta}{L}}$$

где  $L$  – ширина спектра широкополосного СП с единичной дисперсией,  $2\Delta$  – ширина спектра узкополосного СП с уменьшенной дисперсией.

Проверьте гипотезу о нормальном законе распределения отсчетов узкополосного СП. Для этого при доверительной вероятности 0,95 и  $M - 3$  степенях свободы вычислите критическое значение критерия  $\chi_{кр}^2$ , используя встроенную функцию среды MathCAD  $qchisq( )$ .

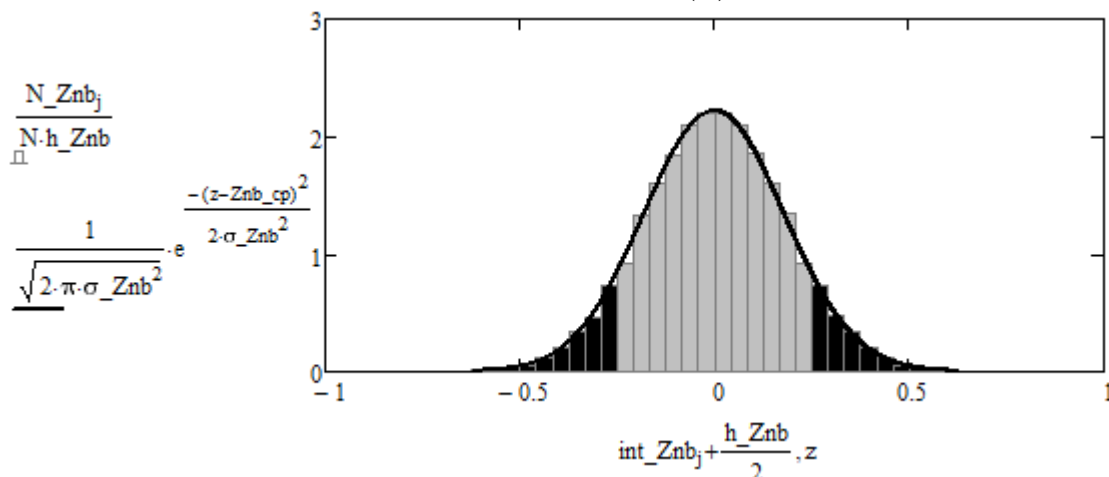


Рисунок 3.14 – Гистограмма распределения отсчетов узкополосного СП и теоретический закон распределения

Рассчитайте вероятности попадания отсчетов узкополосного СП в каждый из сформированных интервалов гистограммы:

$$P\_Znb_j := \int_{int\_Znb_j}^{int\_Znb_{j+1}} \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma\_Znb^2}} \cdot e^{-\frac{(z - Znb\_cp)^2}{2 \cdot \sigma\_Znb^2}} dz$$

а также модельное значение критерия  $\chi^2$  в соответствии с процедурой:

$$\chi\_Znb := N \cdot \sum_{j=0}^{M-1} \frac{\left( \frac{N\_Znb_j}{N} - P\_Znb_j \right)^2}{P\_Znb_j}$$

Результаты расчета, скорее всего, покажут, что  $\chi^2 > \chi_{кр}^2$  и гипотезу о нормальном распределении следовало бы отвергнуть. Однако причина завышенного результата вычисления  $\chi^2$  в увеличении вклада в общее значение слагаемых от интервалов, расположенных в хвостах гауссовского распределения (черные области на рисунке 3.14). Это увеличение связано с резким уменьшением значения знаменателя  $P\_Znb_j$  при переходе к

«хвостам» распределения. Чтобы этого избежать оценим для начала значение  $\chi^2$  для интервалов, лежащих в светлой области рисунка. Для этого можно воспользоваться следующей процедурой:

$$\chi_{\_Znb0} := N \cdot \sum_{j=0}^{M-1} \left[ \begin{array}{l} \left( \frac{N_{\_Znbj} - P_{\_Znbj}}{N} \right)^2 \\ \frac{P_{\_Znbj}}{P_{\_Znbj}} \text{ if } P_{\_Znbj} > \frac{h_{\_Znb}}{3 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{\_Znb}^2}} \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

Для оценки вкладов от интервалов в левом и правом «хвостах» распределения объедините их в два широких интервала. Рассчитайте их вклады, используя процедуры:

- для числа отсчетов узкополосного СП, попавших в первый широкий интервал

$$N_{\_Znb1} := \sum_{j=0}^{\text{round}\left(\frac{M}{2}\right)} \left( \begin{array}{l} N_{\_Znbj} \text{ if } P_{\_Znbj} < \frac{h_{\_Znb}}{3 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{\_Znb}^2}} \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right)$$

- для числа отсчетов узкополосного СП, попавших во второй широкий интервал

$$N_{\_Znb2} := \sum_{j=\text{round}\left(\frac{M}{2}\right)}^{M-1} \left( \begin{array}{l} N_{\_Znbj} \text{ if } P_{\_Znbj} < \frac{h_{\_Znb}}{3 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{\_Znb}^2}} \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right)$$

- для теоретической вероятности попадания отсчетов узкополосного СП в первый широкий интервал

$$P_{\_Znb1} := \sum_{j=0}^{\text{round}\left(\frac{M}{2}\right)} \left( \begin{array}{l} P_{\_Znbj} \text{ if } P_{\_Znbj} < \frac{h_{\_Znb}}{3 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{\_Znb}^2}} \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right)$$

- для теоретической вероятности попадания отсчетов узкополосного СП во второй широкий интервал

$$P_{\_Znb2} := \sum_{j=\text{round}\left(\frac{M}{2}\right)}^{M-1} \left( \begin{array}{l} P_{\_Znbj} \text{ if } P_{\_Znbj} < \frac{h_{\_Znb}}{3 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{\_Znb}^2}} \\ 0 \text{ otherwise} \end{array} \right)$$

- для вклада в модельное значение критерия  $\chi^2$  от первого широкого интервала

$$\chi_{\_Znb1} := N \cdot \frac{\left( \frac{N_{\_Znb1}}{N} - P_{\_Znb1} \right)^2}{P_{\_Znb1}}$$

- для вклада в модельное значение критерия  $\chi^2$  от второго широкого интервала

$$\chi_{\_Znb2} := N \cdot \frac{\left( \frac{N_{\_Znb2}}{N} - P_{\_Znb2} \right)^2}{P_{\_Znb2}}$$

- для модельного значения критерия  $\chi^2$

$$\chi_{\_Znb} := \chi_{\_Znb0} + \chi_{\_Znb1} + \chi_{\_Znb2}$$

Убедитесь, что полученное значение критерия меньше критического. Сделайте вывод по проверке гипотезы о нормальном законе распределения отсчетов узкополосного СП можно принять.

#### 4 Исследование корреляционных свойств узкополосного СП

Поскольку корреляционная функция достаточно быстро убывает, то нет необходимости рассчитывать ее значения для больших времен сдвига (больших номеров отсчетов времени сдвига). Ограничьте их число, например, следующим образом:

$$n := 0..5 \cdot \frac{L}{\Delta}$$

Сформируйте массив отсчетов корреляционной функции узкополосного СП, используя следующую процедуру:

$$K_{\_Znb_n} := \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} \left[ (Znb_i - Znb_{cp}) \cdot (Znb_{i+n} - Znb_{cp}) \right]$$

Убедитесь, что максимальное значение корреляционной функции совпадает с дисперсией узкополосного СП. Для этого вычислите следующие величины:

$$\max(K_{\_Znb}) =$$

$$\text{var}(Znb) =$$

Задайте отсчеты теоретической огибающей корреляционной функции узкополосного СП:

- для узкополосного СП на выходе узкополосной цепи с идеальной формой АЧХ

$$B1_n := \text{var}(Znb) \cdot \frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot \Delta \cdot n}{L}\right)}{\frac{\pi \cdot \Delta \cdot n}{L}}$$

- для узкополосного СП на выходе узкополосной цепи с гауссовой формой АЧХ

$$B2_n := \text{var}(Znb) \cdot e^{-\left(\frac{\pi \cdot \Delta \cdot n}{N \cdot \ln(2)}\right)^2 \cdot \ln(2)}$$

Для автоматизации построения графика объедините оба массива в один следующим образом:

$$B_n := \begin{cases} B1_n & \text{if } Tip = 1 \\ B2_n & \text{if } Tip = 2 \end{cases}$$

Тогда по заданному выше значению переменной *Tip* будет автоматически определяться вид огибающей корреляционной функции узкополосного СП.

Постройте график корреляционной функции узкополосного СП, отобразив на нем теоретическую огибающую (рисунок 3.15).

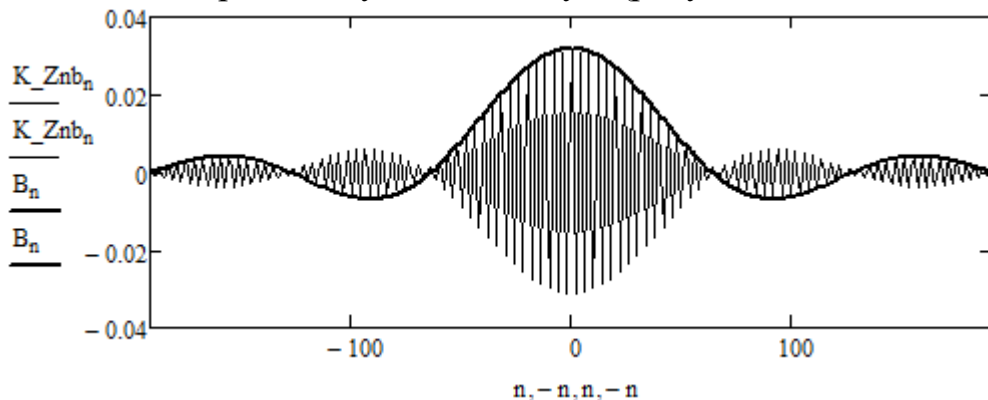


Рисунок 3.15 – График корреляционной функции узкополосного СП на выходе узкополосной цепи с идеальной формой АЧХ и ее огибающей

Сделайте вывод о характере временной зависимости корреляционной функции узкополосного СП.

Повторите вычисления корреляционной функции узкополосного СП для случая гауссовой формы АЧХ узкополосной цепи, поменяв значение переменной *Tip*. Постройте график корреляционной функции узкополосного СП, отобразив на нем теоретическую огибающую (рисунок 3.16).



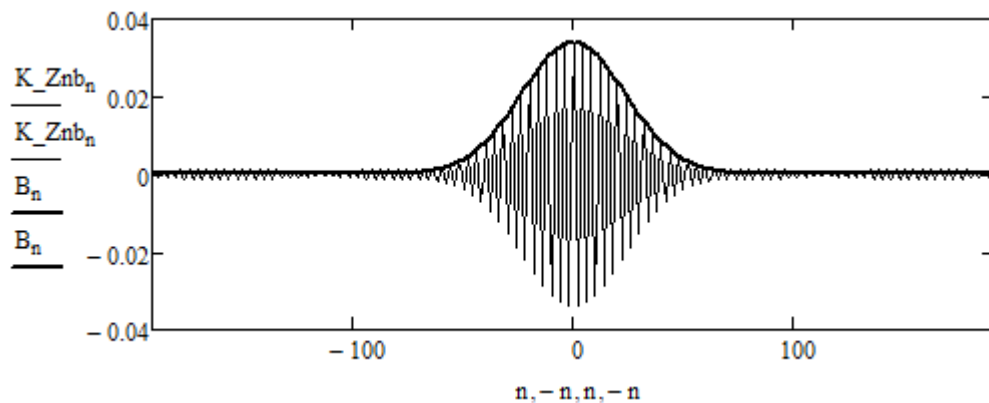


Рисунок 3.16 – График корреляционной функции узкополосного СП на выходе узкополосной цепи с гауссовой формой АЧХ и ее огибающей

Сделайте вывод о характере временной зависимости корреляционной функции узкополосного СП.

### 5 Формирование квадратур узкополосного СП

Для выделения квадратур узкополосного СП сформируйте отсчеты сопряженного по Гильберту сигнала. С этой целью воспользуйтесь связью спектральных плотностей узкополосного сигнала и сопряженного ему:

$$k := 0..L$$

$$S\_Znb1_k := -i \cdot S\_Znb_k$$

$$Znb1 := \text{ifft}(S\_Znb1)$$

Определите «номер» отсчета, соответствующий центральной частоте усредненного энергетического спектра узкополосного СП:

$$L0 := \frac{\sum_{i=0}^{\frac{N-1}{2}} (i \cdot S_i)}{\sum_{i=0}^{\frac{N-1}{2}} S_i}$$

Сравните полученное значение с выбранным ранее  $\frac{L}{2}$  и сделайте

ВЫВОД.

Сформируйте отсчеты квадратур:

$$n := 0..N-1$$

$$Ac_n := -Znb_n \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L0}{N}\right) + Znb1_n \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L0}{N}\right)$$

$$As_n := Znb_n \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L0}{N}\right) + Znb1_n \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L0}{N}\right)$$

Постройте временные реализации сформированных квадратур узкополосного СП (рисунки 3.17 и 3.18), ограничив интервал наблюдения, например 5000 отсчетов.

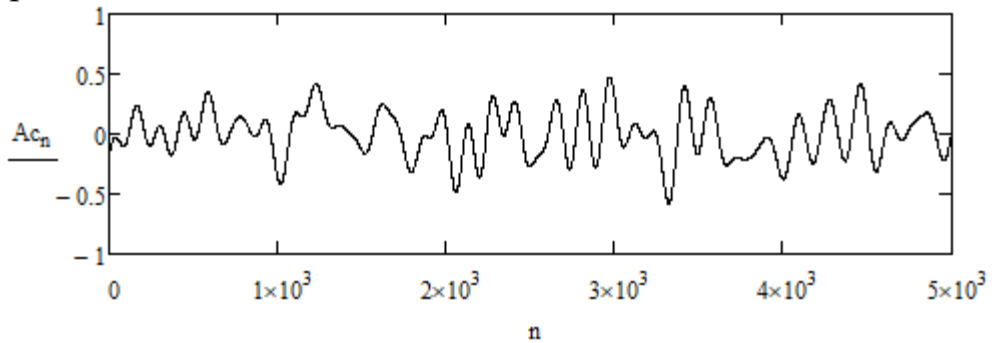


Рисунок 3.17 – Временная реализация низкочастотной синфазной составляющей узкополосного СП

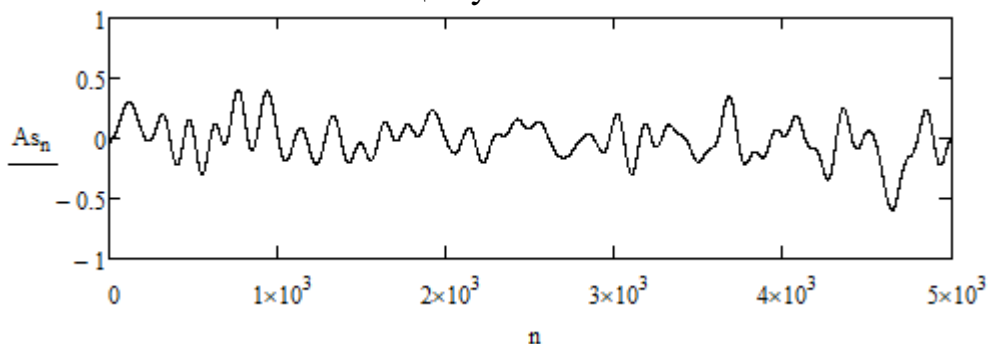


Рисунок 3.18 – Временная реализация низкочастотной квадратурной составляющей узкополосного СП

По аналогии с п.3 постройте гистограммы распределения низкочастотных синфазной и квадратурной составляющих узкополосного СП. Отрадите на тех же координатных осях теоретические законы распределения, считая квадратуры нормально распределенными. Математическое ожидание и дисперсию квадратур вычислите с использованием встроенных функций среды MathCAD  $\text{mean}(\ )$  и  $\text{var}(\ )$ . Сравните данные параметры между собой и с параметрами узкополосного СП. Сделайте вывод о законе распределения квадратур узкополосного СП.

## 6 Формирование огибающей и начальной фазы

Сформируйте отсчеты огибающей и начальной фазы узкополосного СП:

$$n := 0..N-1$$

$$V_n := \sqrt{(Ac_n)^2 + (As_n)^2}$$

$$\Phi_n = \arg(Ac_n + i \cdot As_n)$$

Постройте временные реализации сформированных огибающей и начальной фазы узкополосного СП (рисунки 3.19 и 3.20), ограничив интервал наблюдения, например 5000 отсчетов.

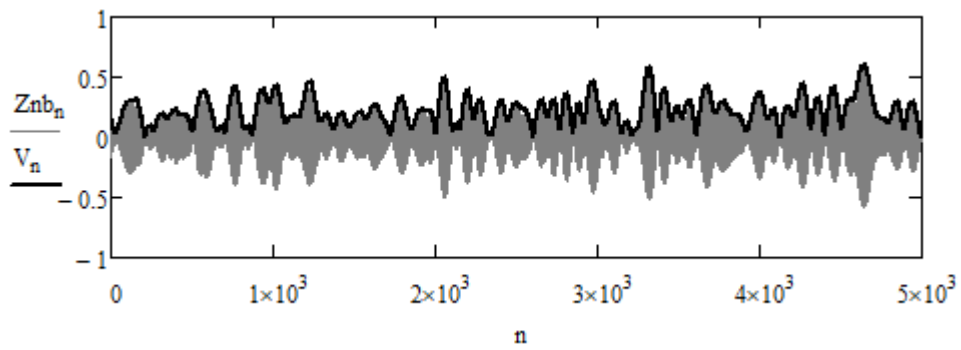


Рисунок 3.19 – Временная реализация огибающей узкополосного СП

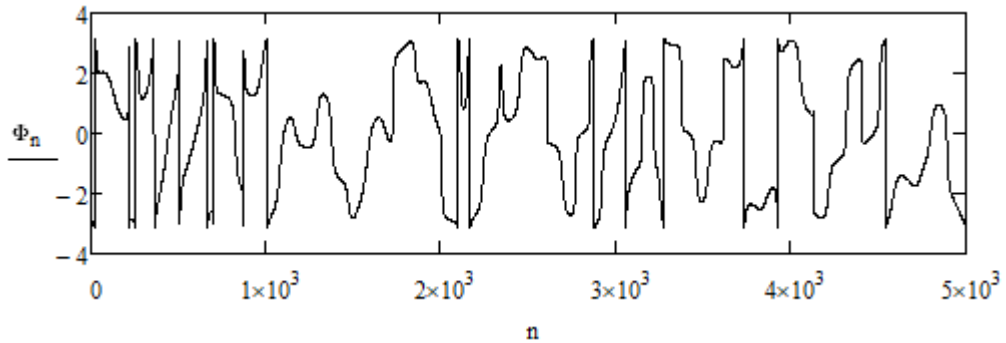


Рисунок 3.20 – Временная реализация начальной фазы узкополосного СП

По аналогии с п.3 постройте гистограммы распределения огибающей (рисунок 3.21) и начальной фазы (рисунок 3.22) узкополосного СП. Отрадите на тех же координатных осях теоретические законы распределения, считая огибающую распределенной по закону *Рэля*, а начальную фазу – равномерно распределенной в интервале  $[-\pi, \pi]$ .

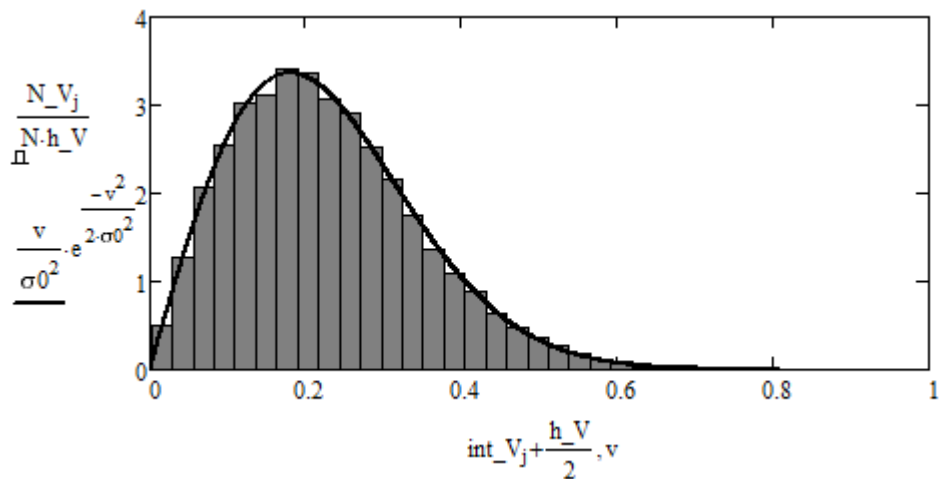


Рисунок 3.21 – Гистограмма распределения огибающей узкополосного СП и теоретический закон распределения

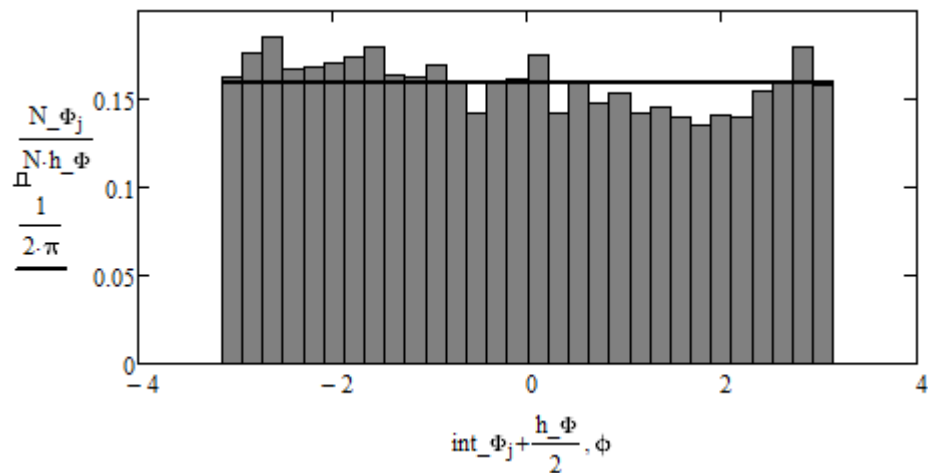


Рисунок 3.22 – Гистограмма распределения начальной фазы узкополосного СП и теоретический закон распределения

Параметр  $\sigma$  в распределении *Рэля* выберите исходя из математического ожидания и дисперсии огибающей. Исходя из математического ожидания огибающей:

$$\sigma_1 := \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \text{mean}(V)$$

А с другой стороны, исходя из дисперсии огибающей:

$$\sigma_2 := \sqrt{\frac{\text{var}(V)}{2 - \frac{\pi}{2}}}$$

Получите оценку параметра  $\sigma$  следующим образом:

$$\sigma_0 := \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$$

Оцените математическое ожидание и дисперсию начальной фазы узкополосного СП и сравните полученные значения с теоретическими значениями.

### Контрольные вопросы

- 1 Что собой представляет модель «белого шума» и каковы ее характеристики?
- 2 Какие виды шумов, близких по характеристикам к модели «белого шума», вам известны?
- 3 Что собой представляет тепловой шум и какова его природа? От чего зависит спектральная плотность средней мощности теплового шума?
- 4 Что собой представляет дробовой шум и какова его природа? От чего зависит спектральная плотность средней мощности дробового шума?

- 5 Какой СП называют узкополосным? Как из «белого шума» получить узкополосный СП?
- 6 Как определяются центральная частота и ширина спектра узкополосного СП? Докажите равенства (4.11), (4.14) и (4.15) для СП на выходе узкополосной цепи с гауссовой и идеальной формами АЧХ.
- 7 Покажите, что огибающая корреляционной функции СП на выходе узкополосной цепи с идеальной формой АЧХ описывается функцией  $\frac{\sin(x)}{x}$ .
- 8 Покажите, что огибающая корреляционной функции СП на выходе узкополосной цепи с гауссовой формой АЧХ описывается функцией Гаусса.
- 9 Что понимают под огибающей и начальной фазой узкополосного СП?
- 10 Что понимают под низкочастотными квадратурными составляющими (квadrатурами) узкополосного СП? Как они связаны с огибающей и начальной фазой такого СП?
- 11 Какой узкополосный радиосигнал называется сопряженным по Гильберту? Как связаны спектры узкополосного радиосигнала и сопряженного по Гильберту радиосигнала?
- 12 Определите сопряженные сигналы для гармонических колебаний вида:

$$x_1(t) = A \cdot \sin(\omega_0 t) \text{ и } x_2(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t).$$

Используя полученный результат, запишите сопряженный сигнал для радиосигнала вида:

$$x(t) = A_c(t) \cos(\omega_0 t) - A_s(t) \sin(\omega_0 t).$$

- 13 По какому закону распределены квадратуры узкополосного СП? Как связаны их числовые характеристики с характеристиками самого узкополосного СП?
- 14 Покажите, что огибающая узкополосного СП распределена по закону Рэлея, а начальная фаза имеет равномерный закон распределения.
- 15 Как связаны числовые характеристики огибающей узкополосного СП и самого узкополосного СП?
- 16 Каковы значения числовых характеристик начальной фазы узкополосного СП?

3.1.4 Индивидуальные задания для курсантов очной формы обучения и задания для контрольной работы студентов заочной формы обучения

**Задание №1**

Для заданной корреляционной функции стационарного случайного процесса  $X(t)$  на входе линейной цепи определить корреляционную функцию и дисперсию случайного процесса  $Y(t)$  на выходе цепи (рисунок 3.23). Корреляционная функция и входящие в нее параметры, а также постоянная времени цепи заданы в таблице 3.1. Исходные данные определяются двумя последними цифрами зачетной книжки.

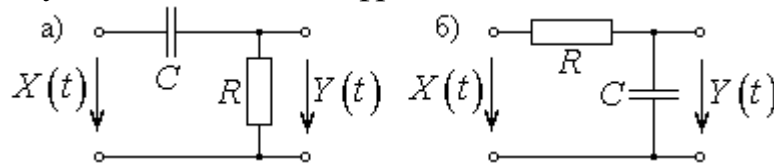


Рисунок 3.23 – Схемы линейных электрических цепей

Таблица 3.1 – Исходные данные к задаче 1

Последняя цифра шифра	Схема цепи	$K_x(\tau)$	Предпоследняя цифра	$\sigma_x^2, B^2$	$\alpha, \text{рад/с}$	$RC, \text{мс}$
0	а)	$\sigma_x^2 e^{-\alpha \tau }$	0	1	100	5
1	б)		1	4	200	10
2	а)	$\sigma_x^2 (1 - \alpha \tau ) e^{-\alpha \tau }$	2	9	300	2
3	б)		3	16	400	5
4	а)	$\sigma_x^2 (1 + \alpha \tau ) e^{-\alpha \tau }$	4	25	500	4
5	б)		5	36	600	2.5
6	а)	$\sigma_x^2 e^{-\alpha^2 \tau^2}$	6	49	700	8
7	б)		7	64	800	2.5
8	а)	$\sigma_x^2 (1 - \alpha^2 \tau^2) e^{-\alpha^2 \tau^2}$	8	81	900	10
9	б)		9	100	1000	2

**Задание №2**

На вход безынерционной нелинейной цепи с характеристикой  $y = f(x)$  воздействует стационарный случайный процесс  $X(t)$  с одномерной плотностью вероятности  $W_1(x)$ . Данные задачи приведены в таблице 3.2.

Требуется:

1. Найти одномерную плотность вероятности  $W_2(y)$  случайного процесса  $Y(t)$  на выходе цепи.
2. Определить средние значения и дисперсии случайных процессов  $X(t)$  и  $Y(t)$ .
3. Построить графики  $f(x)$ ,  $W_1(x)$ ,  $W_2(y)$ .

Таблица 3.2 – Исходные данные к задаче 2

Последняя цифра шифра	$W_1(x)$	$N$	Предпоследняя цифра шифра	$f(x)$
0	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}$	10	0	$\frac{1}{N} x^2$
1	$\frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2}$	9	1	$\frac{1}{N}  x $
2	$\begin{cases} e^{-x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$	8	2	$e^{Nx}$
3	$\begin{cases} x e^{-x^2/2}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$	7	3	$e^{-Nx}$
4	$\begin{cases} 2x e^{-x^2}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$	6	4	$Nx^2$
5	$\frac{1}{2\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{8}}$	5	5	$N x $
6	$\begin{cases} \frac{1}{2}, & 0 \leq x \leq 2 \\ 0, & x < 0, x > 2 \end{cases}$	4	6	$\begin{cases} -N, & x < -1 \\ Nx, &  x  \leq 1 \\ N, & x > 1 \end{cases}$
7	$\begin{cases} \frac{1}{2\pi}, &  x  \leq \pi \\ 0, &  x  > \pi \end{cases}$	3	7	$\begin{cases} N(x+1), & x < -1 \\ 0, &  x  \leq 1 \\ N(x-1), & x > 1 \end{cases}$
8	$\frac{1}{2} e^{- x }$	2	8	$Nx^3$
9	$\begin{cases} \frac{1}{\pi}, & 0 \leq x \leq \pi \\ 0, & x < 0, x > \pi \end{cases}$	12	9	$\begin{cases} \frac{1}{N}(x-1), & x < 1 \\ N(x-1), & x \geq 1 \end{cases}$

### Задача 3

На вход согласованного фильтра поступает семипозиционный кодированный импульсный сигнал и белый шум со спектральной плотностью мощности  $W_0$ . Длительность одной позиции сигнала равна  $\tau_{\Pi}$  мгновенное значение сигнала в позиции равно  $+A$  или  $-A$  в зависимости от кода сигнала (таблица 3.3). Если, например, код сигнала задан в виде 1,1,1,-1,-1,1-1, то это означает, что в первой, второй, третьей позициях сигнал принимает

значение  $+A$ , в четвертой и пятой позициях он принимает значение  $-A$ , в шестой  $+A$ , в седьмой  $-A$ .

Требуется:

1. Начертить график входного сигнала.
2. Определить импульсную характеристику и передаточную функцию фильтра, согласованного с сигналом.
3. Определить и начертить схему согласованного фильтра. Дать краткое описание работы фильтра.
4. Найти максимальное значение отношения сигнал/шум на выходе фильтра и момент времени, в который оно достигается.

Таблица 3.3 – Исходные данные к задаче 3

Последняя цифра шифра	Код сигнала	Предпоследняя цифра шифра	$A$ , В	$\tau_n$ , мкс	$W_0$ , В <sup>2</sup> /с <sup>-1</sup>
0	1,1,1,-1,-1,1,-1	0	3	3	$12 \cdot 10^{-6}$
1	1,-1,1,1,1,-1,-1	1	4	4	$40 \cdot 10^{-6}$
2	-1,-1,1,1,-1,1,-1	2	5	5	$50 \cdot 10^{-6}$
3	-1,-1,-1,1,1,-1,1	3	6	6	$1 \cdot 10^{-4}$
4	1,-1,1,1,-1,-1,-1	4	7	7	$1,5 \cdot 10^{-4}$
5	-1,-1,-1,1,1,-1,1	5	5,5	8	$1 \cdot 10^{-5}$
6	1,1,-1,-1,-1,1,-1	6	4,5	9	$2 \cdot 10^{-4}$
7	1,-1,1,-1,-1,1,1	7	3,5	10	$8 \cdot 10^{-6}$
8	-1,-1,1,-1,1,1,1	8	2,5	11	$5 \cdot 10^{-6}$
9	-1,-1,-1,1,-1,-1,1	9	1,5	12	$2 \cdot 10^{-6}$

### 3.1.5 Задания для СР по теме «Вероятностные и энергетические характеристики случайных процессов»

Конспект по данной теме должен в полной мере раскрывать следующие частные вопросы:

#### Очная форма обучения

- Методы генерации псевдослучайных последовательностей с равномерным законом распределения.
- Критерий Пирсона проверки гипотезы о законе распределения случайной величины.
- Метод Бокса-Мюллера генерации стандартных нормально распределенных случайных величин.

#### Заочная форма обучения

- Методы генерации псевдослучайных последовательностей с равномерным законом распределения.
- Критерий Пирсона проверки гипотезы о законе распределения случайной величины.



- Последовательный и параллельный методы измерения корреляционной функции.
- Последовательный и параллельный методы измерения спектральной плотности средней мощности.
- Модели теплового и дробового шумов.
- Метод Бокса-Мюллера генерации стандартных нормально распределенных случайных величин.

### *3.1.6 Задания для СР по теме «Воздействие случайных сигналов на линейные и нелинейные радиотехнические цепи»*

Конспект по данной теме должен в полной мере раскрывать следующие частные вопросы:

#### **Очная форма обучения**

- Преобразование многомерной плотности вероятности распределения системы случайных величин. Якобиан преобразования.
- Плотность вероятности распределения суммы, произведения и частного случайных процессов.
- Выполнение типового индивидуального задания по расчету плотности вероятности распределения случайной величины на выходе нелинейной цепи.

#### **Заочная форма обучения**

- Энергетический спектр и корреляционная функция случайного процесса на выходе линейной цепи.
- Дифференцирование и интегрирование случайного процесса.
- Нормализация случайного процесса узкополосными линейными цепями.
- Преобразование одномерной плотности вероятности распределения случайного процесса при прохождении через нелинейную радиотехническую цепь.
- Преобразование многомерной плотности вероятности распределения системы случайных величин. Якобиан преобразования.
- Плотность вероятности распределения суммы, произведения и частного случайных процессов.

### *3.1.7 Задания для СР по теме «Узкополосные случайные процессы»*

Конспект по данной теме должен в полной мере раскрывать следующие частные вопросы:

#### **Очная форма обучения**

- Плотность вероятности распределения огибающей, начальной фазы и частоты аддитивной смеси гармонического сигнала и узкополосного шума.
- Энергетический спектр и корреляционная функция огибающей, начальной фазы и частоты аддитивной смеси гармонического сигнала и узкополосного шума.

#### **Заочная форма обучения**

- Плотность вероятности распределения огибающей, начальной фазы и частоты аддитивной смеси гармонического сигнала и узкополосного шума.
- Энергетический спектр и корреляционная функция огибающей, начальной фазы и частоты аддитивной смеси гармонического сигнала и узкополосного шума.
- Энергетический спектр и корреляционная функция узкополосного случайного процесса.
- Воздействие сигнала и узкополосного шума на амплитудный детектор.
- Воздействие сигнала и узкополосного шума на амплитудный ограничитель.
- Воздействие сигнала и узкополосного шума на частотный детектор.

### *3.1.8 Задания для СР по теме «Согласованная фильтрация сигналов»*

Конспект по данной теме должен в полной мере раскрывать следующие частные вопросы:

#### **Заочная форма обучения**

- Примеры построения согласованного фильтра для биполярного импульсного видео- и радиосигналов.
- Временные диаграммы сигнала на выходе согласованного фильтра для биполярного импульсного видеосигнала.
- Определение отношения сигнал/шум на выходе согласованного фильтра.

### 3.2 Методические материалы, определяющие процедуры использования оценочных средств

Изучение дисциплины «Основы статистической радиотехники» сопровождается рейтинговой системой контроля знаний обучающихся.

Рейтинговая система контроля и оценки знаний обучающихся – это комплекс учебных, организационных и методических мероприятий, направленных на обеспечение систематической творческой работы курсантов (студентов), повышение самостоятельности и самостоятельности учебы. Она обеспечивает реализацию принципов обратной связи в процессе учебы и включает в себя:

1. схему контрольных мероприятий;
2. критерии оценки знаний, умений и навыков.

Максимальное количество баллов (рейтинг), которое может получить курсант, определяется количеством часов, отводимых на изучение данной дисциплины – 144.

Схема контрольных мероприятий для курсантов очной формы обучения приведена в таблицах 3.4 – 3.5.

Таблица 3.4 – Схема контрольных мероприятий для курсантов очной формы обучения

Этапы контрольных мероприятий	Вид контрольного мероприятия					
	ЛР	СР	Посещение занятий	Компонент своевременности	Зачет с оценкой	Итого
ТК1*	8	–	2	2	–	12
ТК2	8	–	2	2	–	12
ТК3	8	–	2	2	–	12
ТК4	8	–	2	2	–	12
ТК5	8	–	2	2	–	12
ТК6	8	–	2	2	–	12
ТК7	8	–	2	2	–	12
ТК8	–	8	–	2	–	10
ТК9	–	8	–	2	–	10
ТК10	–	8	–	2	–	10
ТК11	–	8	–	2	–	10
ПА	–	–	–	–	20	20
Итого	56	32	14	22	20	144

\*ТК – текущий контроль, включающий выполнение и защиту лабораторных работ (ТК1 – ТК7); проработку тем, вынесенных на самостоятельное изучение (ТК8 – ТК11); ПА – промежуточная аттестация по ОП, включающая сдачу зачета с оценкой по дисциплине в 4 семестре.

Таблица 3.5 – Соответствие рейтинговых баллов и оценки по 4-х балльной шкале

Этапы контроля	Оценка			
	неудовлетв.	удовлетв.	хорошо	отлично
ТК-1	0-2	3-4	5-6	7-8
ТК-2	0-2	3-4	5-6	7-8
ТК-3	0-2	3-4	5-6	7-8
ТК-4	0-2	3-4	5-6	7-8
ТК-5	0-2	3-4	5-6	7-8
ТК-6	0-2	3-4	5-6	7-8
ТК-7	0-2	3-4	5-6	7-8
ТК-8	0-2	3-4	5-6	7-8
ТК-9	0-2	3-4	5-6	7-8
ТК-10	0-2	3-4	5-6	7-8
ТК-11	0-2	3-4	5-6	7-8
Посещение занятий	0-5	6-8	9-11	12-14
Своевременность сдачи	0-9	10-14	15-18	19-22
ИТОГО до ПА	0-48	49-78	79-107	108-124
ПА	0-12	13-17	18-22	17-20
ИТОГО	0-61	62-95	96-123	124-144

Схема контрольных мероприятий для студентов заочной формы обучения приведена в таблицах 3.6 – 3.7.

Таблица 3.6 – Схема контрольных мероприятий для студентов заочной формы обучения

Этапы контрольных мероприятий	Вид контрольного мероприятия						
	ЛР	СР	К/р	Посещение занятий	Компонент своевременности	Зачет с оценкой	Итого
ТК1*	10	–	–	2	2	–	14
ТК2	10	–	–	2	2	–	14
ТК3	10	–	–	2	2	–	14
ТК4	–	–	24	–	2	–	26
ТК5	–	12	–	–	2	–	14
ТК6	–	12	–	–	2	–	14
ТК7	–	12	–	–	2	–	14
ТК8	–	12	–	–	2	–	14
ПА	–	–	–	–	–	20	20
Итого	30	48	24	6	16	20	144

\*ТК – текущий контроль, включающий выполнение и защиту лабораторных работ (ТК1 – ТК3); выполнение и защиту контрольной работы (ТК4); проработку тем, вынесенных на самостоятельное изучение (ТК5 – ТК8); ПА – промежуточная аттестация по ОП, включающая сдачу зачета с оценкой по дисциплине в 3 сессию 3 курса для студентов заочной формы обучения.

Таблица 3.7 – Соответствие рейтинговых баллов и оценки по 4-х балльной шкале для студентов заочной формы обучения

Этапы контроля	Оценка			
	неудовлетв.	удовлетв.	хорошо	отлично
ТК-1	0-4	5-6	7-8	9-10
ТК-2	0-4	5-6	7-8	9-10
ТК-3	0-4	5-6	7-8	9-10
ТК-4	0-10	11-15	16-19	20-24
ТК-5	0-4	5-7	8-9	10-12
ТК-6	0-4	5-7	8-9	10-12
ТК-7	0-4	5-7	8-9	10-12
ТК-8	0-4	5-7	8-9	10-12
Посещение занятий	0-1	2-3	4	5-6
Своевременность сдачи	0-8	9-12	13-14	15-16
ИТОГО до ПА	0-56	57-85	86-106	107-124
ПА	0-12	13-17	18-22	17-20
ИТОГО	0-68	69-102	103-122	123-144

### Критерии выставления оценок за лабораторные работы

Оценка **«отлично»** выставляется, если курсант (студент) показал глубокие знания и понимание программного материала по теме лабораторной работы, умело увязывает лекционный материал с практикой, грамотно и логично строит ответ на контрольные вопросы.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если курсант (студент) твердо знает программный материал по теме лабораторной работы, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на контрольные вопросы. Правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если курсант (студент) имеет знания только основного материала по поставленным контрольным вопросам, но не усвоил его деталей, для принятия правильного решения требует наводящих вопросов, допускает отдельные неточности или недостаточно четко излагает учебный материал по теме лабораторной работы.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если курсант (студент) допускает грубые ошибки в ответе на контрольные вопросы, не может применять полученные знания на практике.

## **Критерии выставления оценок за самостоятельную работу**

Оценка **«отлично»** выставляется, если курсант (студент) показал глубину проработки темы самостоятельной работы, умело привязывает материал к области практического применения и показал высокий уровень освоения изложенного материала.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если курсант (студент) показал глубину проработки темы самостоятельной работы, умело привязывает материал к области практического применения, показал достаточно высокий уровень освоения изложенного материала, однако при оформлении конспекта допускает немногочисленные ошибки при записи основных выражений.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если курсант (студент) показал глубину проработки темы самостоятельной работы, показал удовлетворительный уровень освоения изложенного материала, однако не увязывает изложенный материал с областью практического применения, при оформлении конспекта допускает грубые ошибки при записи основных выражений.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если курсант (студент) провел поверхностное изучение темы самостоятельной работы, показал неудовлетворительный уровень освоения изложенного материала, не увязывает изложенный материал с областью практического применения, при оформлении конспекта допускает грубые ошибки при записи основных выражений.

## **Критерии выставления оценок за контрольную работу**

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если он выполнил контрольную работу согласно предъявляемым требованиям, в полном объеме, без ошибок, своевременно. При защите правильно отвечает на все поставленные вопросы.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он выполнил контрольную работу согласно предъявляемым требованиям, в полном объеме, с небольшими корректировками, своевременно. При защите правильно отвечает на большинство поставленных вопросов.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он выполнил контрольную работу согласно предъявляемым требованиям, в полном объеме, с ошибками, проявил недостаточную пунктуальность в сроках сдачи. При защите дает правильные ответы только на вопросы, связанные с понятийным аппаратом дисциплины.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, если не выполнены требования критериев удовлетворительной оценки.

## Критерии выставления оценок за зачет с оценкой

Если суммарный рейтинговый балл, набранный курсантом (студентом) за этапы контрольных мероприятий, предшествующих ПА, соответствует категории **«отлично»**, то курсант (студент) может быть освобожден от сдачи зачета с выставлением ему оценки **«отлично»**.

Если суммарный рейтинговый балл, набранный курсантом (студентом) за этапы контрольных мероприятий, предшествующих ПА, соответствует категории **«хорошо»**, то курсант (студент) может быть освобожден от сдачи зачета с выставлением ему оценки **«хорошо»**, либо проходит ПА с целью повышения оценки до **«отлично»**.

Если суммарный рейтинговый балл, набранный курсантом (студентом) за этапы контрольных мероприятий, предшествующих ПА, соответствует категории **«удовлетворительно»**, то курсант (студент) проходит ПА на общих основаниях.

Если суммарный рейтинговый балл, набранный курсантом (студентом) за этапы контрольных мероприятий, предшествующих ПА, соответствует категории **«неудовлетворительно»**, то курсант (студент) проходит ПА на следующих основаниях:

1) при условии положительного результата прохождения ПА курсанту (студенту) выставляется оценка **«удовлетворительно»**, если курсант дополнительно дает ответы соответствующего уровня на контрольные вопросы и задания по тем этапам контроля, по которым имеет неудовлетворительную оценку (кроме контрольной работы);

2) при условии положительного результата прохождения ПА курсанту (студенту) выставляется оценка **«хорошо»** или **«отлично»**, если курсант (студент) дополнительно дает ответы соответствующего уровня на контрольные вопросы и задания по тем этапам контроля, по которым имеет оценку **«удовлетворительно»** или **«неудовлетворительно»** (кроме контрольной работы).

Зачет проводится в форме теста, содержащего 20 вопросов. Перечень тестовых вопросов максимально охватывает разделы дисциплины и приведен в параграфе 4.2 данного документа.

Оценка **«отлично»** за тест выставляется, если число верных ответов составляет 17-20.

Оценка **«хорошо»** за тест выставляется, если число верных ответов составляет 13-19.

Оценка **«удовлетворительно»** за тест выставляется, если число верных ответов составляет 9-12.

Оценка **«неудовлетворительно»** за тест выставляется, если число верных ответов составляет 0-8.

При отрицательном результате выполнения тестовых заданий (оценка **«неудовлетворительно»**), по желанию обучающегося, может быть проведена беседа по темам дисциплины в соответствии с утвержденным

перечнем вопросов, выданным курсантам (студентам) не позднее 1 месяца перед сессией. В параграфе 4.1 данного документа приведен примерный перечень вопросов.

Итоговая оценка за зачет по результатам беседы выводится по четырем частным оценкам (по одной за каждый из вопросов по разделам 2, 3, 4 и 5 дисциплины) как среднее арифметическое с округлением в меньшую или большую сторону в зависимости от дробной части.

При ответе на вопросы:

Оценка **«отлично»** выставляется, если курсант (студент) показал глубокие знания и понимание программного материала по поставленному вопросу, умело увязывает его с практикой, грамотно и отлично строит ответ, быстро принимает оптимальные решения при решении практических вопросов.

Оценка **«хорошо»** выставляется, если курсант (студент) твердо знает программный материал, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет полученные знания при решении практических вопросов.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется, если курсант (студент) имеет знания только основного материала по поставленному вопросу, но не усвоил деталей, требует в отдельных случаях наводящего вопроса для принятия правильного решения, допускает отдельные неточности.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется, если курсант (студент) допускает грубые ошибки в ответе на поставленный вопрос, не может применить полученные знания на практике.



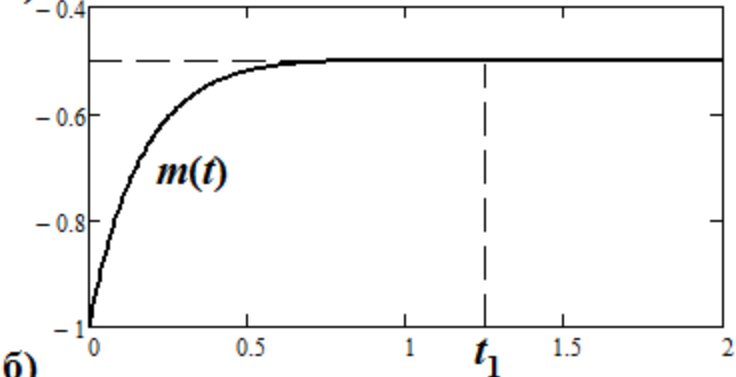
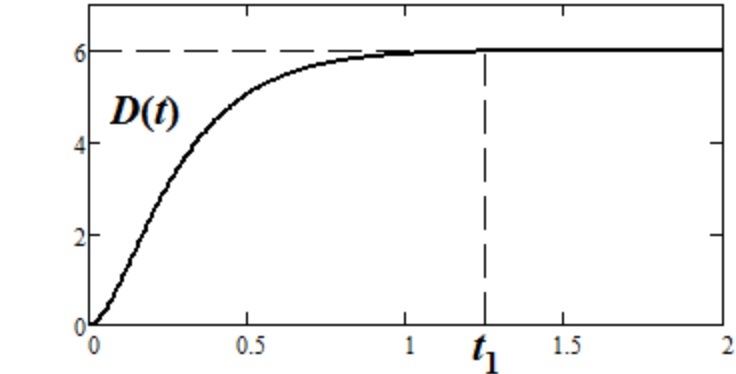
## 4 ТИПОВЫЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

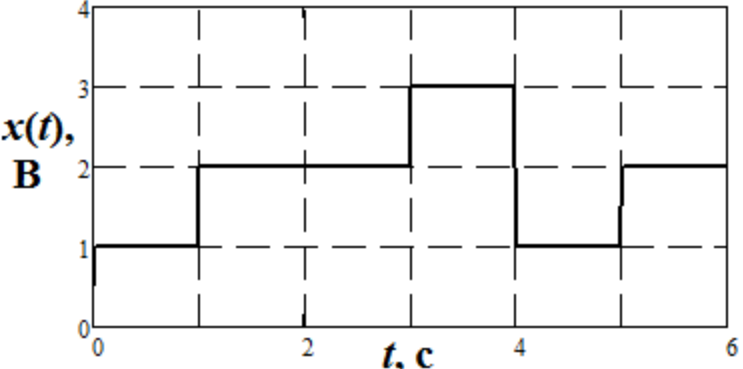
### 4.1 Вопросы к зачету с оценкой

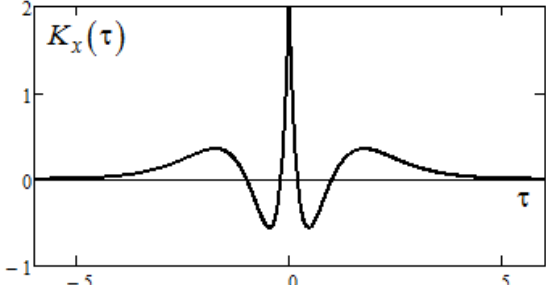
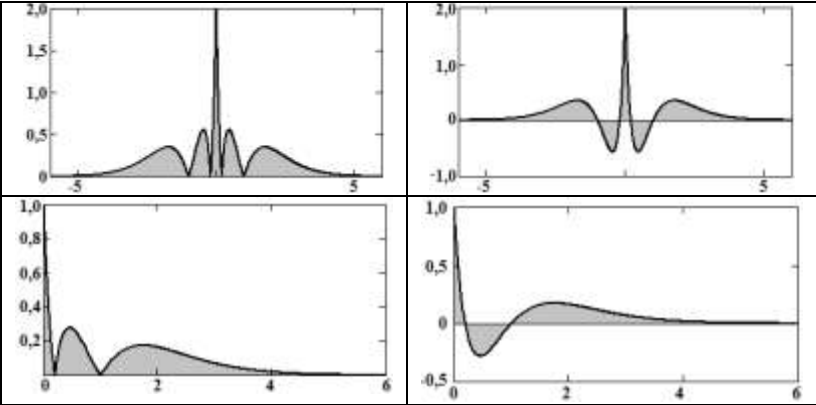
1. Основные понятия теории случайных процессов: случайная величина (СВ) и случайный процесс (СП), реализация и семейство реализаций СП, сечение СП.
2. Функция распределения и плотность вероятности распределения СВ: понятия, взаимосвязь, основные свойства.
3. Числовые характеристики СП: математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратическое отклонение (понятия и физический смысл).
4. Равномерно распределенная СВ: функция распределения и плотность вероятности распределения, математическое ожидание и дисперсия.
5. Нормально распределенная СВ: функция распределения и плотность вероятности распределения, математическое ожидание и дисперсия.
6. Рэлеевская СВ: функция распределения и плотность вероятности распределения, математическое ожидание и дисперсия.
7. Экспоненциально распределенная СВ: функция распределения и плотность вероятности распределения, математическое ожидание и дисперсия.
8. Корреляционная функция СП и ее свойства. Коэффициент корреляции и время корреляции СП.
9. Стационарный СП в узком и широком смысле. Квазистационарный СП.
10. Эргодический СП. Числовые характеристики и корреляционная функция эргодического СП.
11. Методы экспериментального определения корреляционной функции СП: схемы последовательного и параллельного методов, их достоинства и недостатки.
12. Спектральная плотность средней мощности СП. Теорема Винера-Хинчина. Эффективная ширина энергетического спектра СП.
13. Методы экспериментального определения спектральной плотности средней мощности СП: схемы последовательного и параллельного методов, их достоинства и недостатки.
14. Модель белого шума и его свойства. Тепловой и дробовой шум.
15. Спектральная плотность средней мощности и корреляционная функция СП на выходе линейной радиотехнической цепи.
16. Дифференцирование стационарного СП: математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция на выходе дифференцирующей цепи.
17. Интегрирование стационарного СП: математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция на выходе интегрирующей цепи.
18. Нормализация СП узкополосными линейными цепями: суть явления, соотношение между эффективной шириной энергетического спектра СП и шириной полосы пропускания узкополосной цепи.

19. Прохождение СП через нелинейные радиотехнические цепи: плотность вероятности распределения, математическое ожидание и дисперсия СП на выходе нелинейной цепи.
20. Плотность вероятности распределения СП, являющегося: а) суммой; б) разностью; в) произведением; г) частным двух СП.
21. Метод обратного преобразования функции распределения: переход от равномерно распределенной СВ к рэлеевской или экспоненциально распределенной СВ.
22. Преобразование Бокса-Мюллера: суть метода, варианты реализации, достоинства и недостатки.
23. Узкополосный СП. Квазигармоническое представление узкополосных СП.
24. Вероятностные и числовые характеристики узкополосного СП, его огибающей и начальной фазы.
25. Спектральная плотность средней мощности и корреляционная функция узкополосного СП на выходе цепи с равномерной АЧХ.
26. Спектральная плотность средней мощности и корреляционная функция узкополосного СП на выходе цепи с гауссовой АЧХ.
27. Вероятностные и числовые характеристики СП на выходе амплитудного детектора.
28. Вероятностные и числовые характеристики СП на выходе амплитудного ограничителя.
29. Вероятностные и числовые характеристики СП на выходе частотного детектора.
30. Задача оптимальной линейной фильтрации.
31. Передаточная функция и импульсная характеристика согласованного фильтра.
32. Характеристики сигнала и помехи на выходе согласованного фильтра.

## 4.2 Перечень типовых тестовых заданий

Тип задания	Текст задания	Варианты ответов						
<p>Несколько верных ответов</p>	<p>Сопоставьте характеристики случайного процесса на интервале времени от 0 до <math>t_1</math> с типом этого процесса:</p> <p><b>а)</b></p>  <p><b>б)</b></p> 	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Стационарный в широком смысле</td> </tr> <tr> <td>Дискретная случайная величина</td> </tr> <tr> <td>Нестационарный</td> </tr> <tr> <td>Эргодический</td> </tr> <tr> <td>Стационарный в узком смысле</td> </tr> <tr> <td>Непрерывный случайный процесс</td> </tr> </table>	Стационарный в широком смысле	Дискретная случайная величина	Нестационарный	Эргодический	Стационарный в узком смысле	Непрерывный случайный процесс
Стационарный в широком смысле								
Дискретная случайная величина								
Нестационарный								
Эргодический								
Стационарный в узком смысле								
Непрерывный случайный процесс								

Тип задания	Текст задания	Варианты ответов						
Один верный ответ	<p>Определите среднюю мощность шума квантования:</p> 	<table border="1" data-bbox="1272 405 2024 628"> <tr><td><math>1 \text{ В}^2</math></td></tr> <tr><td><math>1/12 \text{ В}^2</math></td></tr> <tr><td><math>1/2 \text{ В}^2</math></td></tr> <tr><td><math>1/4 \text{ В}^2</math></td></tr> <tr><td><math>1/48 \text{ В}^2</math></td></tr> </table>	$1 \text{ В}^2$	$1/12 \text{ В}^2$	$1/2 \text{ В}^2$	$1/4 \text{ В}^2$	$1/48 \text{ В}^2$	
$1 \text{ В}^2$								
$1/12 \text{ В}^2$								
$1/2 \text{ В}^2$								
$1/4 \text{ В}^2$								
$1/48 \text{ В}^2$								
Один верный ответ	<p>Определите математическое ожидание и дисперсию гауссова случайного процесса с плотностью распределения вероятностей вида:</p> $W(x) = \frac{1}{\sqrt{7\pi}} e^{-\frac{(x-2)^2}{7}}$	<table border="1" data-bbox="1303 801 2056 979"> <tr> <td><math>m_x = 2, \sigma_x^2 = 7</math></td> <td><math>m_x = 7, \sigma_x^2 = 2</math></td> </tr> <tr> <td><math>m_x = 2, \sigma_x^2 = 7\pi</math></td> <td><math>m_x = 3,5, \sigma_x^2 = 2</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><math>m_x = 2, \sigma_x^2 = 3,5</math></td> </tr> </table>	$m_x = 2, \sigma_x^2 = 7$	$m_x = 7, \sigma_x^2 = 2$	$m_x = 2, \sigma_x^2 = 7\pi$	$m_x = 3,5, \sigma_x^2 = 2$	$m_x = 2, \sigma_x^2 = 3,5$	
$m_x = 2, \sigma_x^2 = 7$	$m_x = 7, \sigma_x^2 = 2$							
$m_x = 2, \sigma_x^2 = 7\pi$	$m_x = 3,5, \sigma_x^2 = 2$							
$m_x = 2, \sigma_x^2 = 3,5$								
Краткий числовой ответ	<p>Определите значение нормировочного множителя «А» для случайного процесса с плотностью распределения вероятностей вида:</p> $W(x) = \begin{cases} A, & x \in [-1, 2] \\ 0, & x \notin [-1, 2] \end{cases}$							

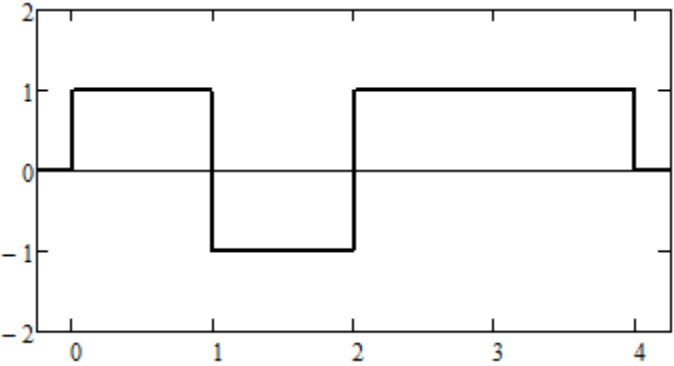
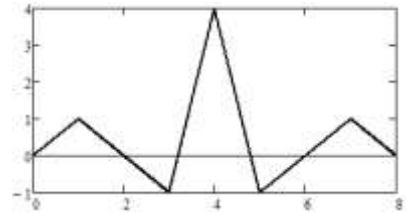
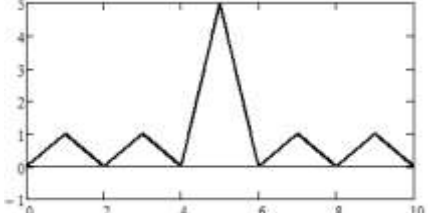
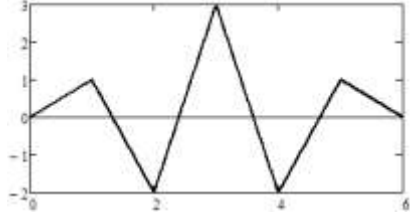
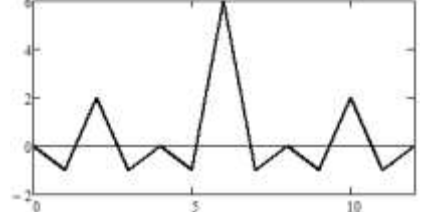
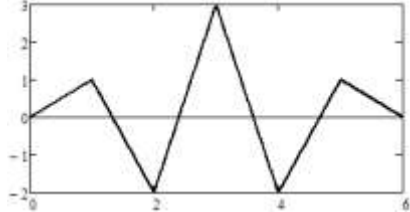
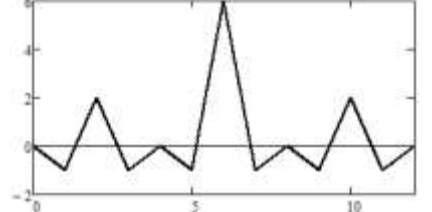
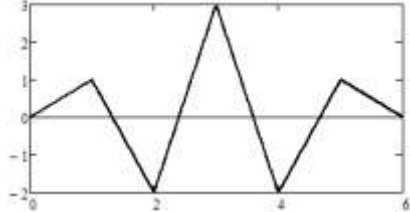
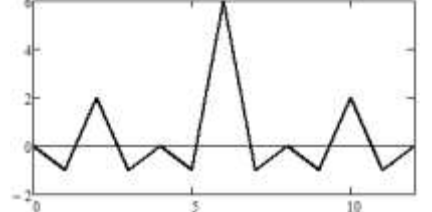
Тип задания	Текст задания	Варианты ответов																										
Краткий числовой ответ	<p>По заданным результатам измерения дискретной случайной величины определите вероятность попадания в шестой интервал:</p> <table border="1" data-bbox="454 403 1205 555"> <thead> <tr> <th>№</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>x_i</math></td> <td>0..1</td> <td>1..2</td> <td>2..3</td> <td>3..4</td> <td>4..5</td> <td>5..6</td> <td>6..7</td> </tr> <tr> <td><math>P_i</math></td> <td>0,05</td> <td>0,10</td> <td>0,20</td> <td>0,35</td> <td>0,15</td> <td>?</td> <td>0,05</td> </tr> </tbody> </table>	№	1	2	3	4	5	6	7	$x_i$	0..1	1..2	2..3	3..4	4..5	5..6	6..7	$P_i$	0,05	0,10	0,20	0,35	0,15	?	0,05			
№	1	2	3	4	5	6	7																					
$x_i$	0..1	1..2	2..3	3..4	4..5	5..6	6..7																					
$P_i$	0,05	0,10	0,20	0,35	0,15	?	0,05																					
Несколько верных ответов	Выберите свойства, которым должна отвечать функция распределения вероятностей $F(x,t)$ .	<table border="1" data-bbox="1373 563 1984 722"> <tbody> <tr> <td><math>F(x,t) \geq 0, \forall x, \forall t</math></td> <td><math>F(-\infty, t) = -1, \forall t</math></td> </tr> <tr> <td><math>F(\infty, t) = 0, \forall t</math></td> <td><math>F(\infty, t) = 1, \forall t</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><math>F(-\infty, t) = 0, \forall t</math></td> </tr> </tbody> </table>			$F(x,t) \geq 0, \forall x, \forall t$	$F(-\infty, t) = -1, \forall t$	$F(\infty, t) = 0, \forall t$	$F(\infty, t) = 1, \forall t$	$F(-\infty, t) = 0, \forall t$																			
$F(x,t) \geq 0, \forall x, \forall t$	$F(-\infty, t) = -1, \forall t$																											
$F(\infty, t) = 0, \forall t$	$F(\infty, t) = 1, \forall t$																											
$F(-\infty, t) = 0, \forall t$																												
Один верный ответ	<p>По заданной функции корреляции определите дисперсию случайного процесса:</p> $K_x(\tau) = 10(1 -  \tau )e^{-2 \tau }$	<table border="1" data-bbox="1272 754 2085 866"> <tbody> <tr> <td><math>\sigma_x^2 = 2</math></td> <td><math>\sigma_x^2 = 10e^{-2}</math></td> <td><math>\sigma_x^2 = 10</math></td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_x^2 = 5</math></td> <td><math>\sigma_x^2 = 5e^{-1}</math></td> <td><math>\sigma_x^2 = 25e^{-2}</math></td> </tr> </tbody> </table>			$\sigma_x^2 = 2$	$\sigma_x^2 = 10e^{-2}$	$\sigma_x^2 = 10$	$\sigma_x^2 = 5$	$\sigma_x^2 = 5e^{-1}$	$\sigma_x^2 = 25e^{-2}$																		
$\sigma_x^2 = 2$	$\sigma_x^2 = 10e^{-2}$	$\sigma_x^2 = 10$																										
$\sigma_x^2 = 5$	$\sigma_x^2 = 5e^{-1}$	$\sigma_x^2 = 25e^{-2}$																										
Один верный ответ	<p>Выберите верный способ графического определения времени корреляции для случайного процесса с корреляционной функцией вида:</p> 																											

Тип задания	Текст задания	Варианты ответов		
Один верный ответ	В чем преимущество параллельного способа измерения спектральной плотности средней мощности перед последовательным методом?	<div data-bbox="1305 272 2058 453"> <div data-bbox="1305 272 2058 317">Простота реализации</div> <div data-bbox="1305 317 2058 362">Большая скорость выполнения измерения</div> <div data-bbox="1305 362 2058 406">Больше время измерения</div> <div data-bbox="1305 406 2058 453">Больше точность измерения</div> </div>		
Один верный ответ	Выберите верную связь корреляционной функции случайного процесса и его спектральной плотностью средней мощности		<div data-bbox="1305 453 2058 919"> <div data-bbox="1305 453 2058 571"><math>K_x(\tau) = \int_0^{\infty} S_x(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega</math></div> <div data-bbox="1305 571 2058 689"><math>K_x(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega</math></div> <div data-bbox="1305 689 2058 807"><math>K_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega</math></div> <div data-bbox="1305 807 2058 919"><math>K_x(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T S_x(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega</math></div> </div>	
Несколько верных ответов	Выберите выражения, отвечающие за эргодичность случайного процесса.			<div data-bbox="1305 919 2058 1267"> <div data-bbox="1305 919 2058 989"><math>\langle x(t) \rangle = \overline{x(t)}</math></div> <div data-bbox="1305 989 2058 1107"><math>\int_{-\infty}^{\infty} W(x,t) dx = 1, \forall t</math></div> <div data-bbox="1305 1107 2058 1200"><math>\langle (x(t) - m_x(t))^2 \rangle = \overline{(x(t) - m_x(t))^2}</math></div> <div data-bbox="1305 1200 2058 1267"><math>\langle x(t)x(t-\tau) \rangle = \overline{x(t)x(t-\tau)}</math></div> </div>

Тип задания	Текст задания	Варианты ответов									
Один верный ответ	<p>Математическое ожидание случайного процесса на входе дифференцирующей цепи изменяется по закону:</p> $m_x = 2 \cdot t^3.$ <p>Будет ли случайный процесс на выходе цепи стационарным и почему?</p>	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1305 300 2056 360">Да, т. к. <math>m'_x = 6 \cdot t^2 &gt; 0</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1305 360 2056 421">Да, т. к. закон <math>m'_x = 6 \cdot t^2</math> не случайный</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1305 421 2056 481">Нет, т. к. <math>m'_x = 6 \cdot t^2 \neq const</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1305 481 2056 526">Нет, т. к. процесс нестационарен на входе</td> </tr> </table>		Да, т. к. $m'_x = 6 \cdot t^2 > 0$		Да, т. к. закон $m'_x = 6 \cdot t^2$ не случайный		Нет, т. к. $m'_x = 6 \cdot t^2 \neq const$		Нет, т. к. процесс нестационарен на входе	
Да, т. к. $m'_x = 6 \cdot t^2 > 0$											
Да, т. к. закон $m'_x = 6 \cdot t^2$ не случайный											
Нет, т. к. $m'_x = 6 \cdot t^2 \neq const$											
Нет, т. к. процесс нестационарен на входе											
Сопоставление	<p>Установите соответствие (например, стрелками или цифрами) между законом распределения случайной величины и его плотностью распределения вероятностей.</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1305 560 1655 624">Равномерный</td> <td data-bbox="1659 560 2074 624"><math>W(x) = 2xe^{-x^2}, x \geq 0</math></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1305 624 1655 687">Нормальный</td> <td data-bbox="1659 624 2074 687"><math>W(x) = 2e^{-4 x }</math></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1305 687 1655 815">Лапласа</td> <td data-bbox="1659 687 2074 815"><math>W(x) = \begin{cases} 1/2\pi, &amp; x \in [0, 2\pi] \\ 0, &amp; x \notin [0, 2\pi] \end{cases}</math></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1305 815 1655 916">Релея</td> <td data-bbox="1659 815 2074 916"><math>W(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2}</math></td> </tr> </table>	Равномерный	$W(x) = 2xe^{-x^2}, x \geq 0$	Нормальный	$W(x) = 2e^{-4 x }$	Лапласа	$W(x) = \begin{cases} 1/2\pi, & x \in [0, 2\pi] \\ 0, & x \notin [0, 2\pi] \end{cases}$	Релея	$W(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2}$	
Равномерный	$W(x) = 2xe^{-x^2}, x \geq 0$										
Нормальный	$W(x) = 2e^{-4 x }$										
Лапласа	$W(x) = \begin{cases} 1/2\pi, & x \in [0, 2\pi] \\ 0, & x \notin [0, 2\pi] \end{cases}$										
Релея	$W(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2}$										
Один верный ответ	<p>Каков физический смысл математического ожидания случайного напряжения?</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1305 922 2056 967">Наиболее вероятное значение напряжения</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1305 967 2056 1011">Постоянная составляющая напряжения</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1305 1011 2056 1139">Квадрат математического ожидания есть мощность переменной составляющей напряжения</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1305 1139 2056 1267">Данная величина описывает статистическую связь значений напряжения в различные моменты времени</td> </tr> </table>		Наиболее вероятное значение напряжения	Постоянная составляющая напряжения	Квадрат математического ожидания есть мощность переменной составляющей напряжения	Данная величина описывает статистическую связь значений напряжения в различные моменты времени				
Наиболее вероятное значение напряжения											
Постоянная составляющая напряжения											
Квадрат математического ожидания есть мощность переменной составляющей напряжения											
Данная величина описывает статистическую связь значений напряжения в различные моменты времени											

Тип задания	Текст задания	Варианты ответов									
Один верный ответ	Значения случайной величины на входе узкополосной цепи равномерно распределены в интервале $[0,1]$ . Какой закон распределения будет иметь случайная величина на выходе цепи?	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1267 300 2022 344">Равномерный</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1267 344 2022 389">Нормальный</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1267 389 2022 434">Релея</td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1267 434 2022 478">Закон повторяет форму АЧХ цепи</td> </tr> </table>		Равномерный		Нормальный		Релея		Закон повторяет форму АЧХ цепи	
Равномерный											
Нормальный											
Релея											
Закон повторяет форму АЧХ цепи											
Один верный ответ	Два отсчета случайной величины $x(t_1)$ и $x(t_2)$ называются статистически независимыми при выполнении условия:	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="1238 515 1715 571"><math>m_x(t_1) \neq m_x(t_2)</math></td> <td data-bbox="1715 515 2051 571"><math>K_x(t_1, t_2) = 0</math></td> </tr> <tr> <td data-bbox="1238 571 1715 627"><math>\sigma_x^2(t_1) \neq \sigma_x^2(t_2)</math></td> <td data-bbox="1715 571 2051 627"><math>R_x(t_1) \neq R_x(t_2)</math></td> </tr> </table>		$m_x(t_1) \neq m_x(t_2)$	$K_x(t_1, t_2) = 0$	$\sigma_x^2(t_1) \neq \sigma_x^2(t_2)$	$R_x(t_1) \neq R_x(t_2)$				
$m_x(t_1) \neq m_x(t_2)$	$K_x(t_1, t_2) = 0$										
$\sigma_x^2(t_1) \neq \sigma_x^2(t_2)$	$R_x(t_1) \neq R_x(t_2)$										
Один верный ответ	Что понимают под белым шумом?	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td data-bbox="1267 651 2022 823">Гауссов случайный процесс с равномерной спектральной плотностью средней мощности во всем диапазоне частот и нулевым математическим ожиданием.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1267 823 2022 954">Равномерный случайный процесс с гауссовой спектральной плотностью средней мощности во всем диапазоне частот.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1267 954 2022 1085">Гауссов случайный процесс с равномерной спектральной плотностью средней мощности в ограниченной полосе частот.</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1267 1085 2022 1166">Любой случайный процесс с нулевым математическим ожиданием</td> </tr> </table>		Гауссов случайный процесс с равномерной спектральной плотностью средней мощности во всем диапазоне частот и нулевым математическим ожиданием.	Равномерный случайный процесс с гауссовой спектральной плотностью средней мощности во всем диапазоне частот.	Гауссов случайный процесс с равномерной спектральной плотностью средней мощности в ограниченной полосе частот.	Любой случайный процесс с нулевым математическим ожиданием				
Гауссов случайный процесс с равномерной спектральной плотностью средней мощности во всем диапазоне частот и нулевым математическим ожиданием.											
Равномерный случайный процесс с гауссовой спектральной плотностью средней мощности во всем диапазоне частот.											
Гауссов случайный процесс с равномерной спектральной плотностью средней мощности в ограниченной полосе частот.											
Любой случайный процесс с нулевым математическим ожиданием											



Тип задания	Текст задания	Варианты ответов	
Сопоставление	Установите соответствие (например, стрелками или цифрами) между характеристиками случайного напряжения и единицами их измерения.	$m_x(t)$	$B^{-1}$
		$\sigma_x^2(t)$	$B^2 \cdot c$
		$S_x(\omega)$	$B$
		$W(x,t)$	$B^2$
Один верный ответ	Стационарный случайный процесс на входе дифференцирующей цепи имеет корреляционную функцию вида: $K_x(\tau) = (1 + \alpha \tau )e^{-\alpha \tau }$ Какую корреляционную функцию будет иметь стационарный процесс на выходе цепи?	$K_y(\tau) = -\alpha^2 \tau e^{-\alpha \tau }$	
		$K_y(\tau) = \alpha^2(1 - \alpha \tau )e^{-\alpha \tau }$	
		$K_y(\tau) = (1 + \alpha \tau )e^{-\alpha \tau }$	
		$K_y(\tau) = \alpha^2 e^{-\alpha \tau }$	
Один верный ответ	Выберите верный вид сигнала на выходе фильтра, согласованного с сигналом: 		
			
			
			

### Формат сведений о ФОС и его согласовании

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине представляет собой приложение к рабочей программе дисциплины

«Основы статистической радиотехники»

(наименование дисциплины)

образовательной программы специалитета по направлению подготовки (по специальности) специалитета по специальности 25.05.03 Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования и специализациям 25.05.03 «Техническая эксплуатация и ремонт радиооборудования промышленного флота», 25.05.03 «Инфокоммуникационные системы на транспорте и их информационная защита» и соответствует учебному плану, утвержденному 31 января 2018 г. и действующему для курсантов (студентов), принятых на первый курс, начиная с 2013 г.

Автор (ы) фонда – доцент кафедры ТОР Коротей Коротей Е.В.

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании кафедры теоретических основ радиотехники

(протокол № 10 от 20 июня 2018 г.)

И. о. заведующего кафедрой Коротей /Е.В. Коротей/

Фонд оценочных средств рассмотрен и одобрен на заседании методической комиссии радиотехнического факультета

(протокол № 6 от 27 июня 2018 г.)

Председатель методической комиссии Жестовский /А. Г. Жестовский/

Согласовано  
начальник отдела  
мониторинга и контроля

Борисевич /Ю. В. Борисевич/