

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 6 от 31.05.2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Статистическая радиотехника

Уровень высшего образования
Специалитет

Направление подготовки / специальность
11.05.02 - Специальные радиотехнические системы

Направленность образовательной программы
Радиотехнические системы и комплексы сбора и обработки информации

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03 Статистическая радиотехника относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-3: Расчеты по проекту в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ	<p>ПК-3.1: Понимает основы схемотехники</p> <p>ПК-3.2: Понимает принципы и средства построения физических и математических моделей объектов научных исследований</p> <p>ПК-3.3: Соблюдает стандарты в области разработки и постановки изделий на производство, общих технических требований, контроля качества продукции, ЕСКД, стандарты системы менеджмента качества</p> <p>ПК-3.4: Применяет методы анализа и синтеза сетей связи, в т.ч. современные отечественные и зарубежные пакеты программ для решения схемотехнических, системных и сетевых задач</p> <p>ПК-3.5: Осуществляет методологическое обоснование научного исследования</p>	<p>ПК-3.1:</p> <p>Знать основные понятия и определения в схемотехнике</p> <p>Уметь определять функциональный тип электронных устройств</p> <p>Владеть основами схемотехники</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Знать принципы построения физических и математических моделей объектов научных исследований</p> <p>Уметь пользоваться средствами построения физических моделей объектов научных исследований</p> <p>Владеть средствами построения математических моделей объектов научных исследований</p> <p>ПК-3.3:</p> <p>Знать общие технические требования, контроля качества продукции, ЕСКД,</p>	<p>Собеседование</p> <p>Задачи</p> <p>Коллоквиум</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Задачи</p>

		<p>стандарты системы менеджмента качества</p> <p>Уметь пользоваться стандартами в области разработки изделий</p> <p>Владеть навыками соблюдения стандартов в области разработки и постановки изделий на производство</p> <p>ПК-3.4: Знать методы анализа сетей связи, в т.ч. современные отечественные и зарубежные пакеты программ</p> <p>Уметь Пользоваться методами синтеза сетей связи, в т.ч. современные отечественные и зарубежные пакеты программ для решения схемотехнических задач</p> <p>Владеть методами анализа и синтеза сетей связи для решения схемотехнических, системных и сетевых задач</p> <p>ПК-3.5: Знать перечень научных методов, которые используются в исследовании</p> <p>Уметь использовать как теоретические, так и практические, научные методы</p> <p>Владеть навыками методологического обоснования научного исследования</p>		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	48
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	17
Промежуточная аттестация	45 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Элементы теории случайных процессов.	31	16	10	26	5
Тема 2. Спектрально - корреляционный анализ случайных процессов.	33	16	11	27	6
Тема 3. Элементы теории информации и кодирования.	33	16	11	27	6
Аттестация	45				
КСР	2				2
Итого	144	48	32	82	17

Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Элементы теории случайных процессов.

Тема 2. Спектрально - корреляционный анализ случайных процессов.

Тема 3. Элементы теории информации и кодирования.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 32 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Используются виды самостоятельной работы студента: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях), компьютерных классах, с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе проведения лекционных занятий и в конце курса при проведении экзамена по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

– во время лекций формулируются проблемы, которые студенты должны решить самостоятельно. На последующих лекциях проводится открытое обсуждение полученных результатов и даётся правильное решение.

– задания для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины выдаются студентам заранее. В случае необходимости проводятся индивидуальные консультации.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

- 1 Совершенно случайные процессы, марковские процессы и их описание.
2. Характеристическая функция, определение и свойства
3. Условные плотности вероятностей, их свойства и связь с многомерными безусловными плотностями вероятностей
4. Корреляционная и ковариационная функции случайного процесса. Коэффициент корреляции.
5. Многомерная характеристическая функция и плотность вероятностей гауссовского процесса.
3. Информация необходимая для полного описания гауссовского случайного процесса.
6. Эргодичность случайных процессов.
7. Необходимые и достаточные условия эргодичности по отношению к среднему значению, корреляционной функции, одномерной плотности вероятности.

8. Экспериментальное измерение основных статистических характеристик эргодических случайных процессов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

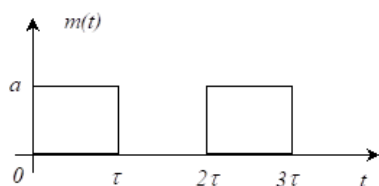
Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Задача 1.

На вход фильтра, согласованного с сигналом $m(t)$ (см. рис.), поступает аддитивная смесь сигнала и "белого" шума $x(t)=m(t)+\xi(t)$ ($Kx[t]=Dxd(t)$).

Найти импульсную переходную характеристику, отклик на полезный сигнал, корреляционную функцию шумовой составляющей на выходе, отношение сигнал/шум на выходе и предложить



схему реализации фильтра.

Задача 2

Случайный процесс $x(t)$ представляет собой сумму квадратурных составляющих:

$$x(t) = A_C(t) \cos \omega_0 t + A_S(t) \sin \omega_0 t$$

где $A_C(t)$ и $A_S(t)$ - статистически независимые гауссовы случайные процессы с равными нулю средними значениями и с одинаковыми дисперсиями σ^2 . Этот же случайный процесс может быть записан в следующем виде:

$x(t) = A(t) \cos[\omega_0 t - j(t)]$, где j - случайная начальная фаза процесса $x(t)$,

$$A = \sqrt{A_C^2 + A_S^2} \quad - \text{случайная амплитуда}$$

Найти вероятностные распределения

- а) случайного процесса $x(t)$
- б) случайной амплитуды A
- в) случайной начальной фазы j

Задача 3

На вход нелинейного безынерционного элемента с характеристикой

$$y = 2x \cdot 1(x) = \begin{cases} 2x, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

подается случайный телеграфный процесс, принимающий два значения $+a$, $-a$ с равной вероятностью. Смена знака происходит в случайные моменты времени. Вероятность того, что на временном интервале длительности T произойдет ровно m смен знаков описывается законом Пуассона и равна

$$P(m, T) = \frac{(\lambda T)^m}{m!} e^{-\lambda T}$$

Найти корреляционную функцию и спектральную плотность мощности процесса на выходе.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Коллоквиум) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Определение случайного процесса. Понятие статистического ансамбля. Вероятностное описание случайного процесса с помощью многомерных плотностей вероятности. Основные свойства многомерных плотностей вероятности случайного процесса.
2. Двумерная условная плотность вероятности случайного процесса и ее основные свойства. Зависимость условной плотности вероятности от разности времен для процесса с конечным вероятностным последствием. Многомерные условные плотности вероятности, их свойства и связь с многомерными безусловными плотностями вероятности.

3. Классификация случайных процессов по их вероятностному последствию. Совершенно случайные процессы и марковские процессы, их описание. Уравнение Смолуховского для условной плотности вероятности марковского процесса.
4. Детерминированные и квазидетерминированные процессы, их описание в рамках теории случайных процессов, выражения для n -мерных плотностей вероятности.
5. Квазигармонический процесс $X(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + j)$ со случайной начальной фазой, равномерно распределенной в интервале $[-p, p]$. Его одномерная плотность вероятности.
6. Многомерная характеристическая функция случайного процесса и ее основные свойства.
7. Моментные функции случайного процесса. Среднее значение и корреляционная функция. Связь моментных функций с характеристической функцией.
8. Кумулянтные функции случайного процесса, их связь с характеристической функцией. Связь между кумулянтными и моментными функциями (на примере функций 1-го и 2-го порядка).
9. Ковариационная функция случайного процесса. Дисперсия. Понятия некоррелированности и статистической независимости двух значений случайного процесса. Коэффициент корреляции.
10. Гауссовские случайные процессы, их n -мерная характеристическая функция и плотность вероятности. Информация, необходимая для полного описания гауссовского случайного процесса.
11. Ковариационная матрица n отсчетов случайного процесса и ее основные свойства.
12. Основные свойства гауссовских случайных процессов. Выражение n -мерных моментных функций гауссовского случайного процесса с нулевым средним значением через ковариационную функцию.
13. Стационарные случайные процессы. Понятия стационарности в узком и широком смысле, их взаимоотношение.
14. Стационарность квазидетерминированных случайных процессов (рассмотреть на примерах $X(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + j)$; $X(t) = S(t + t_0)$, где j и t_0 - случайные величины, $S(t)$ - периодическая детерминированная функция).
15. Эргодичность случайных процессов. Вывод необходимых и достаточных условий эргодичности по отношению к среднему значению.
16. Привести пример стационарного, но неэргодического случайного процесса (статистического ансамбля) с доказательством и обсуждением причин неэргодичности.
17. Необходимые и достаточные условия эргодичности по отношению к корреляционной функции случайного процесса (для произвольного и гауссовского процессов).
18. Достаточное условие эргодичности случайного процесса по отношению к одномерной плотности вероятности. Экспериментальное определение одномерной плотности вероятности эргодического случайного процесса.

19. Общее описание совокупности двух случайных процессов. Понятие статистической независимости двух случайных процессов. Взаимные корреляционная и ковариационная функции. Понятие некоррелированности двух случайных процессов.
20. Понятия стационарности, эргодичности, гауссовости совокупности двух случайных процессов. Разобрать пример двух стационарных, но нестационарно связанных случайных процессов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Коллоквиум)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компет	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно

енций (индик атора достиж ения компет енций)	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».

	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Раздел 1. Элементы теории случайных процессов.

1.1. Определение и вероятностное описание случайного процесса.

Понятие статистического ансамбля. Вероятностное описание случайного процесса с помощью многомерных плотностей вероятностей. Основные свойства многомерных плотностей вероятностей. Условные плотности вероятностей, их свойства и связь с многомерными безусловными плотностями вероятностей.

1.2. Классификация случайных процессов по их вероятностному последствию.

Совершенно случайные процессы, марковские процессы и их описание. Уравнение Смолуховского для условной плотности вероятности марковского процесса.

Квазидетерминированные случайные процессы.

1.3. Многомерные характеристические, моментные и кумулянтные функции случайного процесса.

Характеристическая функция, определение и свойства. Моментные и кумулянтные функции, их взаимосвязь. Корреляционная и ковариационная функции случайного процесса. Коэффициент корреляции.

1.4. Гауссовские случайные процессы.

Многомерная характеристическая функция и плотность вероятностей гауссовского процесса.

Информация необходимая для полного описания гауссовского случайного процесса.

Ковариационная матрица отсчетов случайного процесса. Основные свойства гауссовских случайных процессов.

1.5. Стационарные и эргодические случайные процессы.

Понятие стационарности в узком и широком смысле. Усреднение по статистическому ансамблю и по времени. Эргодичность случайных процессов. Необходимые и достаточные условия эргодичности по отношению к среднему значению, корреляционной функции, одномерной плотности вероятности. Экспериментальное измерение основных статистических характеристик эргодических случайных процессов.

1.6. Совокупности случайных процессов.

Общее описание совокупности двух случайных процессов. Статистическая независимость случайных процессов. Взаимные корреляционные и ковариационные функции.

Стационарность, эргодичность, гауссовость совокупности двух случайных процессов.

Раздел 2. Спектрально - корреляционный анализ случайных процессов.

2.1 Корреляционные функции.

Свойства корреляционных функций нестационарных и стационарных случайных процессов.

Среднее значение и корреляционная функция производной и интегрального преобразования от случайного процесса.

2.2. Спектрально-корреляционный анализ сигналов 1-ой группы с конечной энергией.

Спектральная плотность энергии, функция корреляции первого рода и их свойства.

Преобразование сигналов первой группы линейными системами.

2.3. Спектрально-корреляционный анализ сигналов II-ой группы с конечной мощностью.

Спектральная плотность мощности. Соотношение между спектральной плотностью мощности и корреляционной функцией для стационарных случайных процессов (формула Винера-Хинчина). Спектральная плотность мощности нестационарных сигналов II-ой группы. Функция корреляции второго рода. Ширина спектра случайного процесса, ее связь со временем корреляции. Узкополосные случайные процессы. Амплитуда и фаза случайного процесса.

Представление узкополосного случайного процесса с помощью квадратурных компонент.

Преобразование сигналов II-ой группы линейными системами. Приближение “белого” шума.

2.4. Совместные (взаимные) спектральные плотности энергии и мощности случайных процессов.

Взаимные функции корреляции первого и второго рода. Взаимные спектры, синфазная и квадратурная составляющие взаимных спектров. Взаимная спектральная плотность мощности входа и выхода линейной системы, выходных сигналов двух линейных систем. Основные неравенства для взаимных спектров. Функция когерентности. Применение взаимных корреляционных функций и спектров для определения источников шума и каналов его распространения.

2.5. Спектрально-корреляционный анализ нелинейных преобразованных случайных процессов.

Спектрально-корреляционный анализ нелинейных безынерционных преобразований (НБП) случайных гауссовских процессов. Выражение корреляционной функции выходного процесса в виде ряда по ковариационной функции входного процесса. Взаимная корреляционная и ковариационная функции входа и выхода НБП.

Раздел 3. Элементы теории оптимальной обработки сигналов.

3.1 Классификация задач оптимальной обработки сигналов.

Статистическая модель канала связи. Оптимальное обнаружение, различение, измерение параметров, фильтрация сигналов.

3.2. Оптимальное обнаружение сигналов при дискретных наблюдениях.

Двухальтернативная постановка задачи. Критерий идеального наблюдателя. Отношение правдоподобия. Структурная схема оптимального обнаружителя. Другие критерии оптимальности. Обнаружение детерминированного полезного сигнала на фоне гауссовских помех.

3.3. Оптимальное обнаружение сигналов при непрерывных наблюдениях.

Функционал отношения правдоподобия. Случай обнаружения детерминированного сигнала на фоне белого гауссовского шума. Корреляционный приемник. Согласованный фильтр.

Отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра. Анализ эффективности оптимального обнаружителя.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Задача 1.

На вход квадратичного детектора $y = ax^2$ подается гауссовский случайный процесс $x(t)$ с корреляционной функцией

$K_x[\tau] = \sigma_x^2 e^{-\frac{|\tau|}{\tau_0}} \cos(\omega_0 \tau)$ Найти корреляционную функцию, спектральную плотность мощности и одномерную плотность вероятности на выходе детектора.

Задача 2

На вход квадратичного детектора $h=ax^2$ поступает узкополосный амплитудно-модулированный сигнал

$$x(t)=A[1+x(t)]\cos(\omega_0 t+j)$$

фаза которого – случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[-\pi;\pi]$. Найти корреляционную функцию и спектральную плотность мощности сигнала на выходе квадратичного детектора, считая, что $x(t)$ – стационарный гауссов процесс с нулевым средним значением и корреляционной функцией

$$K_x[\tau] = \sigma_x^2 e^{-\alpha|\tau|} \quad (x(t) \text{ и } j - \text{статистически независимы}).$$

Задача 3

Постоянный сигнал m на выходе приемника маскируется аддитивным стационарным гауссовым шумом: $x(t)=lm+x(t)$. Вероятность наличия сигнала ($l=1$) равна p , а отсутствия ($l=0$) – $q=1-p$. Производится N выборок выходного процесса через одинаковый интервал Dt , превышающий время корреляции шума. Найти алгоритм обработки отсчетов, минимизирующий полную вероятность ошибки обнаружения сигнала. Проанализировать, как зависит минимальная вероятность ошибки $P_{ош}$ от таких параметров, как N , s_x , m , положив $P=0,5$ (m – известная детерминированная константа).

Задача 4

Случайный процесс $x(t)$ представляет собой сумму квадратурных составляющих:

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

где $A_c(t)$ и $A_s(t)$ - статистически независимые гауссовы случайные процессы с равными нулю средними значениями и с одинаковыми дисперсиями σ^2 . Этот же случайный процесс может быть записан в следующем виде:

$$x(t)=A(t)\cos[\omega_0 t-j(t)], \quad \text{где } j - \text{случайная начальная фаза процесса } x(t), \quad A = \sqrt{A_s^2 + A_c^2} - \text{случайная амплитуда.}$$

Найти вероятностные распределения

а) случайного процесса $x(t)$

б) случайной амплитуды A

в) случайной начальной фазы j

Задача 5

$$y = 2x \cdot l(x) = \begin{cases} 2x, & x > 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

На вход нелинейного безынерционного элемента с характеристикой

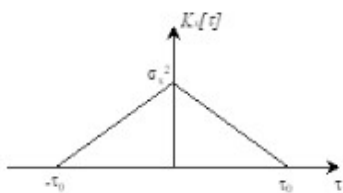
подается случайный телеграфный процесс, принимающий два значения $+a$, $-a$ с равной вероятностью. Смена знака происходит в случайные моменты времени. Вероятность того, что на временном интервале длительности T произойдет ровно m смен знаков описывается законом

$$P(m, T) = \frac{(\lambda T)^m}{m!} e^{-\lambda T}$$

Пуассона и равна

Найти корреляционную функцию и спектральную плотность мощности процесса на выходе.

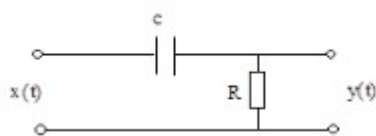
Задача 6



На вход экспоненциального детектора $y(t) = \exp(ax)$, подается гауссовский шум с корреляционной функцией $K_x[t]$, показанной на рисунке. Найти спектральную плотность мощность этого шума. Вычислить корреляционную функцию процесса $y(t)$ на выходе экспоненциального детектора

Задача 7

На вход дифференцирующей цепочки (см. рис) подается стационарный шум $x(t)$ с известной корреляционной функцией $K_x[t]$ и спектром $S_x(w)$. Найти спектр и корреляционную функцию на выходе цепочки. В качестве примера рассмотреть



случай $K_x[\tau] = \sigma_x^2 e^{-\frac{|\tau|}{\tau_0}}$ и определить условия, при которых цепочка действительно дифференцирует входной процесс, т.е.

Задача 8

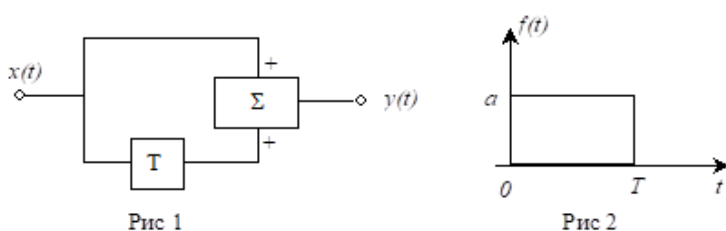
Пусть $x(t)$ – стационарный гауссовский процесс с заданной корреляционной

функцией $K_x[\tau] = \sigma_x^2 e^{-\frac{|\tau|}{\tau_0}} + \langle x \rangle^2$ Найти функцию корреляции $K_x[\tau]$ и спектральную плотность мощности производной.

Проанализировать одномерную плотность вероятности производной.

Задача 9

На вход цепочки (рис. 1) поступает пуассоновский импульсный случайный процесс (форма элементарного импульса дана на рис.2). Найти и сравнить корреляционные функции и спектральные плотности мощности на входе и выходе цепочки. (Амплитуды входных импульсов считать постоянной)

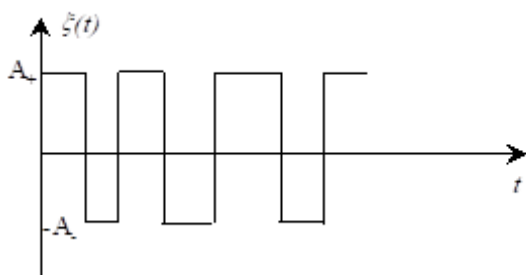


Задача 10

На вход квадратичного детектора $h=x^2$ поступает телеграфный сигнал $x(t)$, принимающий в случайные моменты времени значения $x=A_+$ и $x=A_-$ с равной вероятностью (см. рис). Вероятность того, что на интервале времени длительностью $|t|$ значение $x(t)$ изменится N раз, описывается законом Пуассона, т.е.

$$P(N, |\tau|) = \frac{(\lambda |\tau|)^N}{N!} e^{-\lambda |\tau|}$$

где λ – среднее число изменений значения $x(t)$ в единицу времени. Найти корреляционные функции и спектральные плотности мощности процессов на входе и выходе квадратичного детектора. Рассмотреть отдельно частный случай $x=A_+=A_-$



Задача 11

Скорость частицы претерпевает случайные изменения около среднего значения V_0 . Считая флуктуации $\xi(t)$ стационарным случайным процессом с $\langle \xi \rangle = 0$, вычислить среднеквадратичное значение флуктуаций $r(t) = x(t) - \langle x \rangle$ координаты $x(t)$ частицы в момент времени t , спектральную плотность мощности флуктуаций скорости $S_{\xi}(t)$ считать известной; принять, что $x=0$ при $t=0$. Рассмотреть асимптотическое поведение частицы при $t \gg \tau_{\text{кор}}$ ($\tau_{\text{кор}}$ - время корреляции $\xi(t)$).

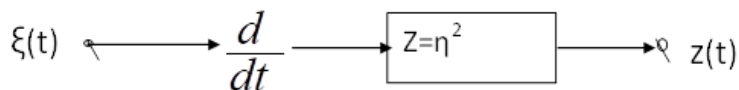
Задача 12

На вход системы, блок-схема которой приведена на рисунке, поступает нормальный стационарный процесс с функцией корреляции:

Найти корреляционную функцию на выходе системы и спектральную

плотность $K_{\xi}(\tau) = \sigma_{\xi}^2 e^{-\tau^2 / \tau_0^2}$

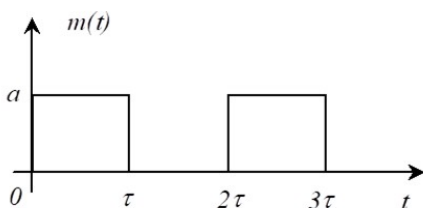
мощности на входе дифференцирующего звена.



Задача 13

На вход фильтра, согласованного с сигналом $m(t)$ (см. рис.), поступает аддитивная смесь сигнала и "белого" шума $x(t) = m(t) + \xi(t)$ ($K_x[t] = D\xi(t)$).

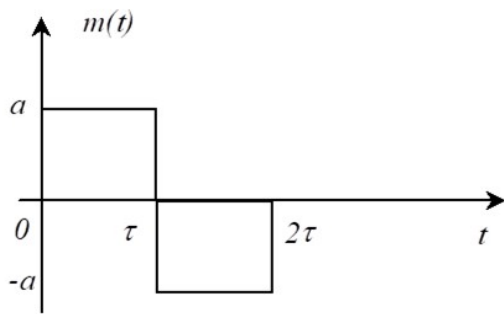
Найти импульсную переходную характеристику, отклик на полезный сигнал, корреляционную функцию шумовой составляющей на выходе, отношение сигнал/шум на выходе и предложить схему реализации фильтра.



Задача 14

На вход фильтра, согласованного с сигналом $m(t)$ (см. рис.), поступает аддитивная смесь сигнала и "белого" шума $x(t) = m(t) + \xi(t)$ ($K_x[t] = D\xi(t)$).

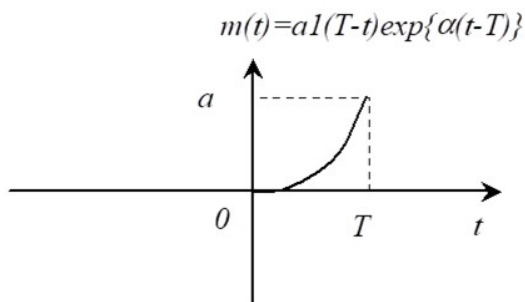
Найти импульсную переходную характеристику, отклик на полезный сигнал, корреляционную функцию шумовой составляющей на выходе, отношение сигнал/шум на выходе и предложить схему реализации фильтра



Задача 15

На вход фильтра, согласованного с сигналом $m(t)$ (см. рис.), поступает аддитивная смесь сигнала и "белого" шума $x(t)=m(t)+\xi(t)$ ($K_X[t]=D_X d(t)$).

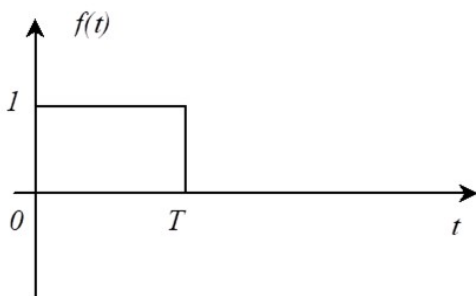
Найти импульсную переходную характеристику, отклик на полезный сигнал, корреляционную функцию шумовой составляющей на выходе, отношение сигнал/шум на выходе и предложить схему реализации фильтра.



Задача 16

Найти общее выражение для спектра мощности и корреляционной функции процесса на выходе интегрирующей RC – цепочки, на вход которой подается пуассоновский импульсный случайный процесс (форма элементарного импульса $f(t)$ показана на рисунке).

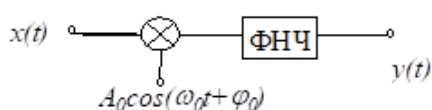
Проанализировать эти выражения в предельных случаях $T \ll RC$, $T \gg RC$.



Задача 17

Рассматривается система*, состоящая из перемножителя и фильтра низкой частоты (ФНЧ), где A_0 , ω_0 , j_0 – постоянные амплитуда, частота и фаза местного гетеродина, а полоса пропускания W_0 ФНЧ удовлетворяет неравенствам $a \ll W_0 \ll \omega_0$.

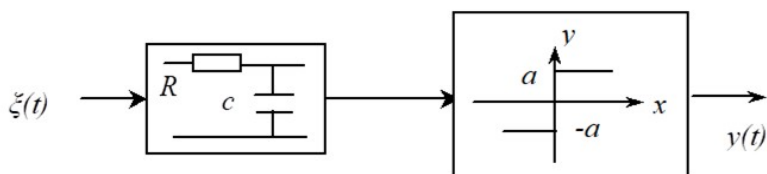
На вход системы подается узкополосный случайный процесс $x(t)$ с корреляционной функцией, где $a \ll \omega_0$. Найти спектральную плотность мощности на выходе системы S_y



*Такого вида системы используются для приема и передачи информации.

Задача 18

На вход последовательно соединенных RC – цепочки и симметричного ограничителя $y = 2a \times 1(x)$ – а поступает «белый» гауссовский шум $x(t)$. Найти одномерную плотность вероятности и корреляционную функцию процесса на выходе (см.рис.). $\langle x(t) \rangle = 0$



Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Рытов Сергей Михайлович. Введение в статистическую радиофизику : учеб. для вузов. Ч. 1. Случайные процессы. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Наука, 1976. - 494 с. : рис. - 1.25., 125 экз.
2. Тихонов Василий Иванович. Статистическая радиотехника. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1982. - 624 с. : ил. - 2.90., 95 экз.
3. Левин Борис Рувимович. Теоретические основы статистической радиотехники. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1989. - 656 с. - 8280.00., 6 экз.

Дополнительная литература:

1. Прохис Джон Дж. Цифровая связь = Digital Communications : пер. с англ. под ред. Д. Д. Кловского. - М. : Радио и связь, 2000. - 800 с. : ил. - ISBN 5-256-01434-X, 007-051726 : 190.00., 3 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<http://www.rfwave.unn.ru/sites/default/files/maltsev.pdf>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Аудиторный фонд ННГУ.

Аудитория для работы с мультимедийным проектором. Учебно-лабораторный интерактивный комплекс «Специальные радиотехнические системы» для проведения занятий для студентов с использованием современного оборудования по теоретическим основам специальных радиотехнических систем, предусмотренных программой, оснащенное высокотехнологичным оборудованием: 4 базовых модуля лабораторного комплекса «Устройства генерирования и формирования сигналов» для проведения лабораторно-практических занятий по изучению радиопередающих устройств, устройств генерирования и формированию сигналов; сменный блок «Автогенераторы» для выполнения лабораторно-исследовательских работ по изучению принципов генерации в составе комплекса по изучению теоретических основ специальных радиотехнических систем или в составе базовых модулей лабораторного комплекса «Устройства генерирования и формирования сигналов»; офисное и мультимедийное оборудование, включая оборудование для представления презентаций и организации видеоконференцсвязи, специализированная мебель. СОП «Лаборатория мобильных систем связи».

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 11.05.02 - Специальные радиотехнические системы.

Автор(ы): Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Мальцев Александр Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 25 мая 2023 г., протокол № 04/23.