

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра цифровых технологий и машинного обучения

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С. Огнев

(подпись)

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Радиотехнические цепи и сигналы (Часть 2)»

Направление подготовки
«11.03.01 Радиотехника»

Направленность (профиль)
«00 Радиотехника»

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «25» апреля 2023 года

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является базовая подготовка в областях прохождения модулированных сигналов через линейные радиотехнические цепи и основ статистической радиотехники.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина является обязательной для изучения и относится к обязательной части Блока 1 раздела «Теоретические основы радиотехники» (Б1.О.22.02).

Дисциплина требует знаний, умений и навыков, полученных при изучении дисциплин «Основы теории цепей», «Радиотехнические цепи и сигналы (Часть 1)», а также базовых математических знаний и умений из курсов «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Теория функций комплексной переменной», «Дифференциальные уравнения и операционное исчисление», «Теория вероятностей и математическая статистика». Знания, умения и навыки, полученные при изучении дисциплины, используются студентами при изучении специальных дисциплин и в НИРС.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Общепрофессиональные компетенции		
ОПК-1 Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ИД-ОПК-1.1 Осуществляет постановку задачи, выбирает способ её решения	Уметь: – находить и критически анализировать информацию, необходимую для решения поставленной задачи; – рассматривать возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки Владеть: – навыками определения ожидаемых результатов решения типичных задач в областях прохождения модулированных сигналов через линейные радиотехнические цепи и основ статистической радиотехники.
	ИД-ОПК-1.2 Применяет математический аппарат, физические законы и теории для решения прикладных и теоретических задач.	Знать: – математический аппарат спектрального и корреляционного анализа сигналов; – характеристики случайных величин и радиотехнических процессов; – основы оптимальной линейной фильтрации. Уметь:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
		- рассчитывать характеристики детерминированных и случайных сигналов на выходе радиотехнических цепей.

4. Объём, структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет **4** зачёт. ед., **144** акад. час.

Дисциплина реализуется с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ), предоставляемых электронной образовательно-информационной средой ЯрГУ им. П.Г. Демидова – Moodle ЯрГУ.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоёмкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам) Формы ЭО и ДОТ (при наличии)
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Прохождение модулированных сигналов через линейные радиотехнические цепи	5	4	2	2			5	Отчёт по лабораторной работе
2	Характеристики случайных величин	5	2	2		1		5	Контрольная работа № 1
3	Характеристики случайных процессов	5	5	3	3	1		5	Отчёт по лабораторной работе
4	Воздействие случайных процессов на линейные цепи	5	7	2		1		5	Коллоквиум по темам №№ 1-4. Отчёт по лабораторной работе
5	Узкополосные случайные процессы	5	7	3	4	1		5	Устный опрос
6	Нелинейные преобразования случайных процессов	5	5	2	4	1		5	Отчёт по лабораторной работе
7	Оптимальная линейная фильтрация	5	4	3	4			5	Отчёт по лабораторной работе Контрольная работа № 2
	Всего		34	17	17	5		35	
	Промежуточная аттестация	5				2	0,5	33,5	Экзамен
	ИТОГО	5	34	17	17	7	0,5	68,5	144
	в том числе с ЭО и ДОТ								

Содержание разделов дисциплины

Тема № 1

Прохождение модулированных сигналов через линейные радиотехнические цепи

1. Исходные положения.
2. Методы анализа прохождения сигналов через линейные радиотехнические цепи
 - Метод комплексных амплитуд.
 - Метод интеграла Дюамеля.
 - Спектральный метод.
 - Операторный метод.
3. Математические модели модулированных сигналов и частотно-избирательных цепей
 - Представление во временной и частотной области.
 - Изображение по Лапласу.
4. Методика использования операторного метода для анализа прохождения манипулированных сигналов через радиотехнические цепи.
5. Прохождение модулированных сигналов через высокودобротный резонансный усилитель
 - Прохождение сигнала с гармонической амплитудной модуляцией.
 - Прохождение радиоимпульса с прямоугольной огибающей.
 - Прохождение радиосигнала со скачком фазы.
 - Прохождение радиосигнала со скачком частоты.
6. Прохождение сигнала с гармонической частотной модуляцией через усилитель с произвольной добротностью.

Тема № 2

Характеристики случайных величин

1. Исходные положения.
2. Равномерный закон распределения случайных величин.
3. Нормальный (гауссовский) закон распределения случайных величин.
4. Совместный закон распределения случайных величин.
5. Корреляция случайных величин.
6. Функции от случайных величин.

Тема № 3

Характеристики случайных процессов

1. Определение случайного процесса
 - Одномерная и многомерная плотности вероятности.
 - Стационарность.
2. Числовые характеристики стационарных случайных процессов.
3. Плотность вероятности случайного процесса в виде детерминированной функции со случайными параметрами.
4. Корреляционная функция случайного процесса. Взаимно корреляционная функция двух случайных процессов.
5. Энергетический спектр стационарного случайного процесса. Теорема Винера-Хинчина.
6. Примеры стационарных случайных процессов.
 - Белый шум.
 - Белый шум с ограниченным спектром.
 - Шум с равномерным спектром в полосе частот от ω_1 до ω_2 .
7. Источники шумов в радиотехнических устройствах

- Тепловой шум.
- Дробовой шум.
- Источники шума в транзисторах.

Тема № 4

Воздействие случайных процессов на линейные цепи

1. Спектральный метод анализа.
2. Корреляционный метод анализа.
3. Воздействие белого шума на линейные цепи.
4. Воздействие случайных процессов на RC -цепь
 - Исходные положения.
 - Воздействие белого шума на RC -цепь.
 - Собственный шум RC -цепи. Энергетический спектр шума на выходе цепи с малой и большой постоянными времени.
 - Воздействие произвольного коррелированного шума на RC -цепь. Характеристики выходного шума сильно инерционной и слабо инерционной цепей.
5. Воздействие широкополосных случайных сигналов на узкополосные цепи
 - Общая теория
 - Воздействие белого шума на одноконтурный резонансный усилитель
 - Собственный шум колебательного контура

Тема № 5

Узкополосные случайные процессы

- 1 Статистические характеристики огибающей и фазы узкополосных случайных процессов
 - Исходные положения.
 - Статистические характеристики сопряженного процесса $y(t)$.
 - Статистические характеристики синфазной $A(t)$ и квадратурной $B(t)$ составляющих огибающей $E(t)$ узкополосного случайного процесса $x(t)$.
 - Плотность вероятности огибающей $E(t)$ (Закон Рэлея) и фазы $\varphi(t)$. Основные моменты закона Рэлея: математическое ожидание, средний квадрат, дисперсия огибающей.
 - Корреляционная функция огибающей $E(t)$.
 - Пример нахождения корреляционной функции $R_E(\tau)$ огибающей $E(t)$ узкополосного случайного процесса $x(t)$ по заданной корреляционной функции $R_x(\tau)$ процесса $x(t)$.
2. Статистические характеристики огибающей $E(t)$ и фазы $\varphi(t)$ суммы гармонического сигнала и узкополосного нормального шума
 - Исходные положения.
 - Совместная плотность вероятности огибающей $E(t)$ и фазы $\varphi(t)$.
 - Плотность вероятности огибающей $E(t)$.
 - Плотность вероятности фазы $\varphi(t)$.
 - Корреляционная функция огибающей $E(t)$.

Тема № 6

Нелинейные преобразования случайных процессов

1. Определение плотности вероятности при нелинейных преобразованиях случайных процессов
 - Исходные положения.
 - Безынерционные нелинейное преобразование

- плотность вероятности случайного процесса на выходе безынерционного нелинейного элемента с кусочно-линейной характеристикой при воздействии на его входе нормального случайного процесса,

- плотность вероятности случайного процесса на выходе линейного детектора огибающей при воздействии на его входе узкополосного нормального случайного процесса.

- Амплитудное детектирование

- плотность вероятности случайного процесса на выходе квадратичного детектора огибающей при воздействии на его входе узкополосного нормального случайного процесса.

2. Определение корреляционной функции при безынерционных нелинейных преобразованиях случайных процессов:

- Прямой метод.

- Определение корреляционной функции при полиномиальном представлении характеристики нелинейного элемента.

- Связь между корреляционными функциями и энергетическими спектрами случайных процессов на входе и выходе квадратичного детектора.

Тема № 7

Оптимальная линейная фильтрация

1. Оптимальный (согласованный) фильтр, обеспечивающий максимальное отношение известного сигнала к шуму

- Общая теория.

- Согласованный фильтр для прямоугольного импульса.

2. Квазиоптимальный фильтр для прямоугольного импульса.

3. Оптимальный фильтр, обеспечивающий минимум среднеквадратической погрешности приема случайных сигналов.

Темы практических занятий соответствуют темам лекций.

Перечень лабораторных работ:

Лабораторная работа № 1 "Исследование прохождения сигнала с гармонической амплитудной модуляцией через избирательную цепь"

Лабораторная работа № 2 "Исследование законов распределения случайных сигналов"

Лабораторная работа № 3 "Прохождение случайных сигналов через линейную цепь"

Лабораторная работа № 4 "Прохождение случайных сигналов через нелинейную цепь"

Лабораторная работа № 5 "Исследование согласованного фильтра для прямоугольного видео- и радиоимпульса"

5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные

направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

Лабораторная работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами, экспериментальная работа с моделями реальных объектов.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT» http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети “Интернет”, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник. М.: ЛЕНАНД, 2016. – 528 с.

http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=305228&cat_cd=YARSU

2. Жуков В. П. Задачник по курсу "Радиотехнические цепи и сигналы": учеб. пособие для вузов. / В. П. Жуков, В. Г. Карташев, А. М. Николаев; М-во высш. и сред. спец. образования СССР - М.: Высшая школа, 1986.

http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=375562&cat_cd=YARSU.

б) дополнительная литература

1. Иванов М. Т., Сергиенко А. Б., Ушаков В. Н.. Радиотехнические цепи и сигналы:

Учебник для вузов / Под ред. В. Н. Ушакова. С-Пб.: Питер, 2014. 336 с

http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=296234&cat_cd=YARSU

2. Гоноровский И. С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. пособие для вузов. — 5-е изд., испр. и доп. — М.: Радио и связь, 1994. 480 с.

http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=328746&cat_cd=YARSU

3. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. -М.: Высшая школа, 2002. 212 с.

http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=354308&cat_cd=YARSU

в) ресурсы сети “Интернет”:

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- ☐ учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- ☐ учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- ☐ учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- ☐ учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- ☐ учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- ☐ помещения для самостоятельной работы;
- ☐ помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации, а также материалам онлайн курса «Радиотехнические цепи и сигналы (часть 2)», размещённого на образовательной онлайн площадке ЯрГУ им. П.Г. Демидова (LMSMoodle).

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся. (Для проведения лабораторных работ группа обучающихся делится на две подгруппы).

Авторы:

Профессор кафедры
цифровых технологий и
машинного обучения, д.т.н., профессор

Ю.А. Брюханов

Доцент кафедры
цифровых технологий и
машинного обучения, к.т.н.

А.И. Топников

**Приложение № 1 к рабочей программе дисциплины
«Радиотехнические цепи и сигналы (Часть 2)»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,
характеризующих этапы формирования компетенций**

**Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

Задания для самостоятельной работы

Задания по теме № 1. Прохождение модулированных сигналов через линейные радиотехнические цепи

Задачи 5.6-5.17, 8.2-8.44, 9.1-9.21 (Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 2002. 214 с.).

Задания по теме № 2. Характеристики случайных величин

Задачи 6.9-6.28 (Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 2002. 214 с.).

Задания по теме № 3. Характеристики случайных процессов

Задачи 7.2-7.15, 10.23-10.29 (Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 2002. 214 с.).

Задания по теме № 4. Узкополосные случайные процессы

Задачи 7.21-7.27 (Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 2002. 214 с.).

Задания по теме № 5. Воздействие случайных процессов на линейные цепи

Задачи 10.2-10.22 (Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 2002. 214 с.).

Задания по теме № 6. Нелинейные преобразования случайных процессов

Задачи 11.32-11.35 (Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 2002. 214 с.).

Задания по теме № 7. Нелинейные преобразования случайных процессов

Задачи 16.2-16.14 (Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. Руководство к решению задач. – М.: Высшая школа, 2002. 214 с.).

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации
Задания для контрольных работ:

Контрольная работа № 1

Вариант 1

Задача №1. Дана случайная величина X с интегральной функцией распределения

$$F_X(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ \frac{1}{2}x, & 0 \leq x < 1 \end{cases}$$

а) Найти $P\left(\frac{1}{2} < X \leq 1\right)$, $P\left(\frac{1}{2} < X < 1\right)$ и $P(X > 2)$.

б) Определить тип случайной величины.

Задача №2. Дана ДСВ X , описываемая биномиальным распределением с параметрами (n, p) :

$$p_X(k) = P(X = k) = C_n^k p^k (1-p)^{n-k}, \quad k = 0, 1, \dots, n, \quad 0 < p < 1,$$

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}.$$

Найти математическое ожидание m_X и дисперсию σ_X^2 ДСВ X .

Вариант 2

Задача №1. Дана дискретная случайная величина (ДСВ) X . Доказать следующие математические выражения:

а) $P(a < X \leq b) = F_X(b) - F_X(a)$;

б) $P(a \leq X \leq b) = F_X(b) - F_X(a) + P(X = a)$;

в) $P(a < X < b) = F_X(b) - F_X(a) - P(X = b)$;

б) $P(a \leq X < b) = P(X = a) + F_X(b) - F_X(a) - P(X = b)$.

Задача №2. Дана НСВ X , описываемая плотностью вероятности Рэлея с параметром σ^2 :

$$W_X(x) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0, \end{cases}$$

Найти математическое ожидание m_X и дисперсию σ_X^2 НСВ X .

Вариант 3

Задача №1. Дана НСВ X с плотностью вероятности $W_X(x)$:

$$W_X(x) = \begin{cases} k(2x - x^2), & 0 < x < 1, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где k – некоторая константа. Найти величину k и вероятность $P(X > 1)$.

Задача №2. Дана НСВ X , описываемая гауссовской плотностью вероятности с параметрами m и σ^2 :

$$W_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad -\infty < x < \infty.$$

Найти математическое ожидание m_X и дисперсию σ_X^2 НСВ X .

Вариант 4

Задача №1. Дана НСВХ с плотностью вероятности

$$W_X(x) = \{k(x - x^2), 0 < x < 1, |$$

где k – некоторая константа. Найти величину k и интегральную функцию распределения $F_X(x)$.

Задача №2. Дана ДСВ X , описываемая геометрическим законом распределения ДСВ:

$$p_X(x) = P(X = x) = (1 - p)^{x-1} \cdot p, x = 1, 2, 3, \dots, 0 < p < 1.$$

Найти математическое ожидание m_X и дисперсию σ_X^2 ДСВ X .

Контрольная работа № 2

Вариант 1

Задача №1. Найти автокорреляционную функцию стационарного случайного процесса $X(t)$ со спектральной плотностью мощности $S_X(\Omega) = \frac{4}{\pi(1+\Omega^2)}, -\infty < \Omega < \infty$.

Задача №2. Даны два независимых случайных процесса $X_1(t)$ и $X_2(t)$, которые в момент времени t_1 описываются НСВ $X_1(t_1)$ и $X_2(t_1)$, соответственно. Пусть случайные величины $X_1(t_1)$ и $X_2(t_1)$ описывают вышеозначенные процессы в момент времени t_1 , тогда двумерная плотность вероятности, связанная с этими случайными величинами, будет представима в виде произведения одномерных плотностей вероятностей для $X_1(t_1)$ и $X_2(t_1)$:

$$W_{X_1 X_2}(x_1, x_2; t_1) = W_{X_1}(x_1; t_1) W_{X_2}(x_2; t_1).$$

Пусть случайный процесс $Y(t) = X_1(t) + X_2(t)$ описывается в момент времени случайной величиной $Y(t_1)$. Определить плотность вероятности $W_Y(y_1; t_1) =$

$\int_{-\infty}^{\infty} W_{X_1}(x_1; t_1) W_{X_2}(y_1 - x_1; t_1) dx_1$ случайной величины $Y(t_1)$, если $W_{X_1}(x_1; t_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x_1^2}{2}}$,

а $W_{X_2}(x_2; t_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x_2^2}{2}}$.

Вариант 2

Задача №1. Известно, что спектральная плотность мощности стационарного случайного процесса $X(t)$ имеет следующий вид:

$$S_X(\Omega) = \frac{8}{\pi(1+\Omega^2)}, -\infty < \Omega < \infty.$$

Найти дисперсию случайного процесса $X(t)$ в определенный момент времени.

Задача №2. Даны два независимых случайных процесса $X_1(t)$ и $X_2(t)$, которые в момент времени t_1 описываются НСВ $X_1(t_1)$ и $X_2(t_1)$, соответственно. Пусть случайные величины $X_1(t_1)$ и $X_2(t_1)$ описывают вышеозначенные процессы в момент времени t_1 , тогда двумерная плотность вероятности, связанная с этими случайными величинами, будет представима в виде произведения одномерных плотностей вероятностей для $X_1(t_1)$ и $X_2(t_1)$:

$$W_{X_1 X_2}(x_1, x_2; t_1) = W_{X_1}(x_1; t_1) W_{X_2}(x_2; t_1).$$

Пусть случайный процесс $Y(t) = X_1(t) + X_2(t)$ описывается в момент времени случайной величиной $Y(t_1)$. Определить плотность вероятности $W_Y(y_1; t_1)$ случайной величины $Y(t_1)$.

Вариант 3

Задача №1. Найти спектральную плотность мощности стационарного случайного процесса $X(t)$, зная его автокорреляционную функцию $K_X(\tau) = D \cdot e^{-\alpha|\tau|}$, $\alpha > 0$.

Задача №2. Дан случайный процесс $X(t)$, который в момент времени t_1 описывается НСВ $X(t_1)$, характеризуемой гауссовской плотностью вероятности с параметрами m и σ^2 :

$$W_X(x_1; t_1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_1-m)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x_1 < \infty.$$

Определить плотность вероятности $W_Y(y_1; t_1)$ случайной величины $Y(t_1)$, определяющей случайный процесс $Y(t)$ в момент времени t_1 и связанной с $X(t_1)$ следующим образом:

$$Y(t_1) = \{a\{X(t_1)\}^2, X(t_1) > 0, |$$

где a – положительная, вещественная константа.

Вариант 4

Задача №1. Найти автокорреляционную функцию стационарного случайного процесса $X(t)$ со спектральной плотностью мощности $S_X(\Omega) = \{S_0, |\Omega| \leq \Omega_0, |$

Задача №2. Дан случайный процесс $X(t)$, который в момент времени t_1 описывается НСВ $X(t_1)$, характеризуемой гауссовской плотностью вероятности с параметрами m и σ^2 :

$$W_X(x_1; t_1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_1-m)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x_1 < \infty.$$

Доказать, что плотность вероятности $W_Y(y_1; t_1)$ случайной величины $Y(t_1)$, определяющей случайный процесс $Y(t)$ в момент времени t_1 и связанной с $X(t_1)$ следующим образом:

$$Y(t_1) = aX(t_1) + b,$$

является гауссовской плотностью с математическим ожиданием $am + b$ и дисперсией $a^2\sigma^2$.

Контрольная работа № 3

Вариант 1

Задача №1. Вычислить выход согласованного фильтра на интервале $(0, T)$ для сигнала вида:

$$s(t) = \{e^{-t}, 0 < t < T, |$$

Задача №2. Найти частотную характеристику оптимального фильтра $H(j\Omega)$, которая максимизирует $\left(\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}}\right)_o$ для случая, когда входной шум не является белым.

Вариант 2

Задача №1. Рассмотрим передачу сигнала с использованием частотной манипуляции, то есть

$$s_i(t) = \{s_0(t) = A\cos(\Omega_0 t), 0 < t < T, |$$

Доказать, что вероятность ошибки на выходе оптимального детектора, то есть детектора, состоящего из согласованного фильтра и схемы принятия решения на основе критерия максимального правдоподобия, будет определяться следующим выражением:

$$P_e \approx 1 - \Phi\left(\sqrt{\frac{A^2 T}{2N}}\right), \Omega_0 T \gg 1, \Omega_1 T \gg 1 \text{ и } (\Omega_1 - \Omega_0) T \gg 1,$$

где $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{y^2}{2}} dy$, а $N/2$ – спектральная плотность мощности входного шума $n(t)$.

Задача №2. Найти выход RC -цепи (напряжение снимается с конденсатора) и определить максимальное значение $\left(\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}}\right)_o$, если входной сигнал $s(t)$ представляет прямоугольный импульс амплитуды A , заданный на интервале $(0, T)$.

По итогам изучения дисциплины в конце семестра проводится экзамен.

Отчёты по лабораторным работам

При выполнении лабораторной работы оформляется отчёт с целью, задачами, методами, статистической обработкой результатов, выводами. Производится защита лабораторных работ в форме собеседования по результатам и ответов на контрольные вопросы по теме работы.

Задания для самостоятельной работы

Критерии оценивания домашних заданий, ответов на вопросы, решений задач

Показатели	Критерии
Ответ	Верный, с правильными единицами измерения (для размерных величин).
Формулы	Корректные, применимые в условиях данной задачи, в стандартных обозначениях или обозначения раскрыты.
Решение	Имеются приводящие к ответу выкладки.
Графики	Построенная зависимость имеет верный вид, по осям указаны аргумент и имя функции со своими единицами, есть шкалы на осях, нанесены контрольные метки, соответствующие заданию.
Схемы	Представлен правильный набор элементов или блоков в стандартных обозначениях, правильно соединённых друг с другом, указаны их номиналы (если это возможно по имеющимся данным), указаны места соединения или шины.
Объяснения (ответы на смысловые вопросы)	Даны развёрнутые, корректные ответы на все вопросы, с отсылками к наименованиям и формулировкам законов, указанием методов, аргументация логичная.

Шкала оценивания:

0 баллов – полное отсутствие критерия, работа не сдана в срок;

1-4 балла – частичное выполнение критерия;

5 - 7 баллов – (в основном) выполнение критерия,

8-10 баллов -полное выполнение критерия

Суммируются баллы за каждое задание.

Оценка проставляется по количеству набранных баллов:

менее 50% от максимально возможного количества баллов - неудовлетворительно,

от 51 до 69% от максимально возможного количества баллов - удовлетворительно,
 70-85% от максимально возможного количества баллов - хорошо,
 86-100% от максимально возможного количества баллов – отлично.

ВНИМАНИЕ!!! При рейтинговой системе оценки знаний все виды заданий должны быть выполнены студентом в течение семестра по установленным преподавателем срокам на каждое задание.

Вопросы к защите лабораторных работ приведены в методических указаниях к каждой работе.

Критерии оценивания ответов на вопросы при защите лабораторной работы

Показатели	«Зачтено»	«Не зачтено»
Формулы	Корректные, применимые в условиях данной задачи, в стандартных обозначениях или обозначения раскрыты.	В базовых выражениях допущены ошибки
Графики	Построенная зависимость имеет верный вид, по осям указаны аргумент и имя функции со своими единицами, есть шкалы на осях, нанесены контрольные метки, соответствующие заданию.	Вид зависимостей неверный
Схемы	Представлен правильный набор элементов или блоков в стандартных обозначениях, правильно соединённых друг с другом, указаны их номиналы (если это возможно по имеющимся данным), указаны места соединения или шины. Указано назначение элементов схемы.	Неверный набор элементов или неверное их соединение, в том числе неверная полярность включения
Объяснения (ответы на смысловые вопросы)	Даны развёрнутые, корректные ответы на все вопросы, с отсылками к наименованиям и формулировкам законов, указанием методов, аргументация логичная.	Объяснение отсутствует

По итогам изучения дисциплины в конце семестра проводится экзамен.

Список вопросов для экзамена

1. Методы анализа прохождения сигналов через линейные радиотехнические цепи
 - Метод комплексных амплитуд.
 - Метод интеграла Дюамеля.
 - Спектральный метод.
 - Операторный метод.
2. Математические модели модулированных сигналов и частотно-избирательных цепей
 - Представление во временной и частотной области.
 - Изображение по Лапласу

3. Методика использования операторного метода для анализа прохождения манипулированных сигналов через радиотехнические цепи.
4. Прохождение модулированных сигналов через высокودобротный резонансный усилитель
 - Прохождение сигнала с гармонической амплитудной модуляцией.
 - Прохождение радиоимпульса с прямоугольной огибающей.
 - Прохождение радиосигнала со скачком фазы.
 - Прохождение радиосигнала со скачком частоты.
5. Прохождение сигнала с гармонической частотной модуляцией через усилитель с произвольной добротностью.
6. Равномерный закон распределения случайных величин.
7. Нормальный (гауссовский) закон распределения случайных величин.
8. Совместный закон распределения случайных величин.
9. Корреляция случайных величин.
10. Плотность вероятности функции от случайных величин.
11. Случайные процессы
 - Определение. Одномерная и многомерная плотности вероятности.
 - Стационарность.
12. Числовые характеристики стационарных случайных процессов.
13. Плотность вероятности случайного процесса в виде детерминированной функции со случайными параметрами.
14. Корреляционная функция случайного процесса. Взаимно корреляционная функция двух случайных процессов.
15. Энергетический спектр стационарного случайного процесса. Теорема Винера-Хинчина.
16. Примеры стационарных случайных процессов.
 - Белый шум.
 - Белый шум с ограниченным спектром.
 - Шум с равномерным спектром в полосе частот от ω_1 до ω_2 .
17. Источники шумов в радиотехнических устройствах
 - Тепловой шум.
 - Дробовой шум.
 - Источники шума в транзисторах.
18. Спектральный метод анализа воздействия случайных процессов на линейные цепи.
19. Корреляционный метод анализа воздействия случайных процессов на линейные цепи.
20. Воздействие белого шума на линейные цепи.
21. Воздействие случайных процессов на RC -цепь
 - Исходные положения.
 - Воздействие белого шума на RC -цепь.
 - Собственный шум RC -цепи. Энергетический спектр шума на выходе цепи с малой и большой постоянными времени.
 - Воздействие произвольного коррелированного шума на RC -цепь. Характеристики выходного шума сильно инерционной и слабо инерционной цепей.
22. Воздействие широкополосных случайных сигналов на узкополосные цепи
 - Общая теория
 - Воздействие белого шума на одноконтурный резонансный усилитель
 - Собственный шум колебательного контура
23. Статистические характеристики огибающей и фазы узкополосных случайных процессов

- Исходный $x(t)$ и сопряженный $y(t)$ случайные процессы и их связь с синфазной $A(t)$ и квадратурной $B(t)$ составляющими огибающей $E(t)$ узкополосного случайного процесса $x(t)$.

- Статистические характеристики сопряженного процесса $y(t)$.

- Статистические характеристики синфазной $A(t)$ и квадратурной $B(t)$ составляющих огибающей $E(t)$ узкополосного случайного процесса $x(t)$.

- Плотность вероятности огибающей $E(t)$ (закон распределения Рэлея) и фазы $\varphi(t)$ узкополосного случайного процесса $x(t)$. Основные моменты закона Рэлея: математическое ожидание, средний квадрат, дисперсия огибающей.

- Корреляционная функция огибающей $E(t)$ узкополосного случайного процесса $x(t)$.

- Пример нахождения корреляционной функции $R_E(\tau)$ огибающей $E(t)$ узкополосного случайного процесса $x(t)$ по заданной корреляционной функции $R_x(\tau)$ процесса $x(t)$.

24. Статистические характеристики огибающей $E(t)$ и фазы $\varphi(t)$ суммы гармонического сигнала и узкополосного нормального шума

- Исходные положения.

- Совместная плотность вероятности огибающей $E(t)$ и фазы $\varphi(t)$.

- Плотность вероятности огибающей $E(t)$.

- Плотность вероятности фазы $\varphi(t)$.

- Корреляционная функция огибающей $E(t)$.

25. Определение плотности вероятности при нелинейных преобразованиях случайных процессов

- Безынерционные нелинейные преобразования.

- Плотность вероятности случайного процесса на выходе безынерционного нелинейного элемента с кусочно-линейной характеристикой при воздействии на его входе нормального случайного процесса.

- Плотность вероятности случайного процесса на выходе линейного детектора огибающей при воздействии на его входе узкополосного нормального случайного процесса.

- Амплитудное детектирование

- Плотность вероятности случайного процесса на выходе квадратичного детектора огибающей при воздействии на его входе узкополосного нормального случайного процесса.

26. Определение корреляционной функции при безынерционных нелинейных преобразованиях случайных процессов:

- Прямой метод.

- Определение корреляционной функции при полиномиальном представлении характеристики нелинейного элемента.

- Связь между корреляционными функциями и энергетическими спектрами случайных процессов на входе и выходе квадратичного детектора.

27. Оптимальный (согласованный) фильтр, обеспечивающий максимальное отношение известного сигнала к шуму

- Общая теория.

- Согласованный фильтр для прямоугольного импульса.

28. Квазиоптимальный фильтр для прямоугольного импульса.

29. Оптимальный фильтр, обеспечивающий минимум среднеквадратической погрешности приема случайных сигналов.

Экзамен принимается по билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса.

**Приложение № 2 к рабочей программе дисциплины
«Радиотехнические цепи и сигналы (Часть 2)»**

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основными формами изложения учебного материала по дисциплине являются лекции, практические и лабораторные занятия. Для успешного освоения дисциплины очень важно выполнение заданий, предлагаемых персонально тем самостоятельных заданий, и обсуждение их на практических занятиях. На практических занятиях проводится устный опрос. Критерии оценивания ответов и заданий приведены в рабочей программе. В этой же системе оцениваются выполненные задания для самостоятельной работы (за исключением докладов).

Критерии оценивания самостоятельных заданий

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (<i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i>)	Полное	Полное
Полнота ответа	Вопросы билета раскрыты на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Рисунки (если требуются)	Имеются	Корректные	Корректные

Критерии оценивания ответов на вопросы опроса на практических занятиях

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (<i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i>)	Полное	Полное
Полнота ответа	Вопрос раскрыт на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок

Критерии оценивания ответов на вопросы билета

Критерий	Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (на «хорошо»)	Высокий уровень (на «отлично»)
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (<i>не относящееся к вопросу не подлежит проверке</i>)	Полное	Полное
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры	Много примеров	Есть практически ко всем утверждениям
Содержание ответа	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Исчерпывающий полный ответ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

Для самостоятельной работы рекомендуется использовать издания, указанные в списке основной и дополнительной литературы.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

1. Личный кабинет (http://lib.uniyl.ac.ru/opac/bk_login.php) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk_cat_find.php) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/паролю.

3. Электронная картотека «Книгообеспеченность» (http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.

4. Электронные библиотечные системы, на которые имеется подписка ЯрГУ, перечень см. [http://www.lib.uniyl.ac.ru/content/resource/net_res\(1\).php](http://www.lib.uniyl.ac.ru/content/resource/net_res(1).php)

5. Материалы сайта <http://matlab.exponenta.ru/index.php>, посвященного вопросам моделирования цифровых цепей и сигналов.