

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 12.07.2024 11:20:02
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:



Руководитель ООП

Б.Б.Педько

«21»

мая

2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Статистическая радиофизика

Закреплена за кафедрой:	Прикладной физики
Направление подготовки:	03.03.03 Радиофизика
Направленность (профиль):	Материалы и устройства радиоэлектроники (беспилотные системы, программно-аппаратные)
Квалификация:	Бакалавр
Форма обучения:	очная
Семестр:	6

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доц., Барабанова Екатерина Владимировна

Тверь, 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

- ознакомление с основными статистическими методами, применяемыми в радиофизических теоретических и экспериментальных исследованиях;
- знакомство с постановкой и решением задач оптимальной обработки сигналов

Задачи:

- усвоение элементов теории случайных процессов, знакомство с основными типами и свойствами случайных процессов, используемых в радиофизике;
- получение навыков решения основных задач спектрально-корреляционного анализа случайных процессов и их преобразований различными системами;
- усвоение основ теории оптимального обнаружения сигналов и решение важнейших практических задач согласованной фильтрации;
- знакомство с природой шумов и флуктуацией в радиотехнических системах

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Математический анализ

Электричество и магнетизм

Теория вероятностей и математическая статистика

Радиоэлектроника

Основы схемотехники

Дифференциальные уравнения

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Научно-исследовательская работа

Технологическая практика

Преддипломная практика

Программно-аппаратные комплексы

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе:	
аудиторные занятия	56
самостоятельная работа	52

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-1.1: Осуществляет формирование технических требований для реализации алгоритмов функционирования радиоэлектронных средств

ПК-3.2: Осуществляет моделирование и проектирование радиоэлектронных средств с применением современных информационных технологий

ПК-4.2: Применяет методы анализа научно-технической информации

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:

зачеты	6
--------	---

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. Случайные процессы и их модели Предмет и методы статистической радиофизики. Случайные процессы. Вероятностные характеристики случайных процессов. Общая классификация случайных процессов. Функции распределения и плотности вероятности случайного процесса. Моментные функции случайного процесса.					
1.1	1. Случайные процессы и их модели	Лек	6	2	Л1.1	
1.2	1. Случайные процессы и их модели	Пр	6	2		
1.3	Случайные процессы и их модели	Ср	6	4		
	Раздел 2. Статистические характеристики случайных процессов.					
2.1	Характеристики случайных процессов	Лек	6	2		
2.2	Характеристики случайных процессов	Пр	6	4		
2.3		Ср	6	4		
	Раздел 3. Характеристическая функция случайного процесса.					
3.1	Характеристическая функция случайного процесса.	Лек	6	2		
3.2	Характеристическая функция случайного процесса.	Ср	6	2		
	Раздел 4. Общие свойства корреляционной функции. Функция корреляции. Функция взаимной корреляции. Функция автокорреляции. Функция ковариации, время затухания.					
4.1	Общие свойства корреляционной функции	Лек	6	2		
4.2	Общие свойства корреляционной функции	Пр	6	2		

4.3	Общие свойства корреляционной функции	Ср	6	4		
	Раздел 5. Стационарные случайные процессы. Классификация случайных процессов по их вероятностным характеристикам. Пример стационарного в узком смысле случайного процесса. Стационарность в широком смысле.					
5.1	Стационарные случайные процессы.	Лек	6	2		
5.2	Стационарные случайные процессы	Пр	6	2		
5.3	Стационарные случайные процессы.	Ср	6	4		
	Раздел 6. Эргодические случайные процессы. Пример эргодического случайного процесса					
6.1	Эргодические случайные процессы. Пример эргодического случайного процесса	Лек	6	2		
6.2	Эргодические случайные процессы. Пример эргодического случайного процесса	Пр	6	2		
6.3	Эргодические случайные процессы. Пример эргодического случайного процесса	Ср	6	4		
	Раздел 7. Энергетические характеристики случайных процессов. Корреляционная функция стационарного процесса. Взаимная корреляционная функция стационарно связанных процессов. Теорема Хинчина – Винера. Взаимная спектральная плотность.					
7.1	Энергетические характеристики случайных процессов.	Пр	6	2		
7.2	Энергетические характеристики случайных процессов.	Лек	6	2		
7.3	Энергетические характеристики случайных процессов.	Ср	6	4		

	Раздел 8. Классификация стационарных в широком смысле процессов по их спектральной плотности мощности. Узкополосные процессы. Белый шум.					
8.1	Классификация стационарных в широком смысле процессов по их спектральной плотности мощности. Узкополосные процессы. Белый шум.	Лек	6	2		
8.2	Классификация стационарных в широком смысле процессов по их спектральной плотности мощности. Узкополосные процессы. Белый шум.	Пр	6	2		
8.3	Классификация стационарных в широком смысле процессов по их спектральной плотности мощности. Узкополосные процессы. Белый шум.	Ср	6	4		
	Раздел 9. Модели случайных процессов.					
9.1	Модели случайных процессов	Лек	6	2		
9.2	Модели случайных процессов	Ср	6	4		
	Раздел 10. Линейные преобразования случайных процессов. Импульсная характеристика. Передаточная функция. Преобразование корреляционных функций и спектров					
10.1	Линейные преобразования случайных процессов. Импульсная характеристика. Передаточная функция.	Лек	6	2		
10.2	Линейные преобразования случайных процессов. Импульсная характеристика. Передаточная функция.	Пр	6	2		
10.3	Линейные преобразования случайных процессов. Импульсная характеристика. Передаточная функция.	Ср	6	4		
	Раздел 11. Интегральные и дифференциальные преобразования случайных процессов.					
11.1	Интегральные и дифференциальные преобразования случайных процессов.	Лек	6	2		

11.2	Интегральные и дифференциальные преобразования случайных процессов.	Пр	6	2		
11.3	Интегральные и дифференциальные преобразования случайных процессов.	Ср	6	4		
	Раздел 12. Фильтрация шума избирательными системами. RC –фильтр. Колебательный контур.					
12.1	Фильтрация шума избирательными системами. RC –фильтр. Колебательный контур.	Лек	6	2		
12.2	Фильтрация шума избирательными системами. RC –фильтр. Колебательный контур.	Пр	6	4		
12.3	Фильтрация шума избирательными системами. RC –фильтр. Колебательный контур	Ср	6	4		
	Раздел 13. Прием сигналов в условиях шумов. Оптимальный фильтр. Согласованный фильтр. Корреляционный прием. Отношение правдо-подобия и обнаружение сигнала. Критерий обнаружения.					
13.1	Прием сигналов в условиях шумов.	Лек	6	2		
13.2	Прием сигналов в условиях шумов.	Пр	6	2		
13.3	Прием сигналов в условиях шумов. Оптимальный фильтр. Согласованный фильтр. Корреляционный прием. Отношение правдо-подобия и обнаружение сигнала. Критерий обнаружения	Ср	6	2		
	Раздел 14. Виды шумов. Тепловой шум. Дробовый шум. Фликер-шум.					
14.1	Виды шумов.	Лек	6	2		
14.2	Виды шумов.	Пр	6	2		
14.3	Виды шумов. Тепловой шум. Дробовый шум. Фликер-шум.	Ср	6	4		

Список образовательных технологий

1	Активное слушание
2	Технологии развития критического мышления
3	Информационные (цифровые) технологии

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

см. приложение

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Пример контрольной работы:

1) Случайная величина x имеет одностороннюю экспоненциальную плотность вероятности

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ ae^{-ax}, & x \geq 0 \end{cases}$$

Найти среднее и дисперсию.

2) Найти математическое ожидание случайной функции (U и V некоррелированные случайные величины):

1. $X(t) = Ue^t$, $MU = 5$

2. $X(t) = Ut^2 + 2t + 1$

3. $X(t) = U\sin 4t + V\cos 4t$, $MU = MV = 1$

3) 1. Найти взаимную корреляционную функцию двух случайных функций:

$$X(t) = t^2U \text{ и } Y(t) = t^3U, \quad DU = 5$$

2. Найти нормированную взаимную корреляционную функцию двух случайных функций:

$$X(t) = tU \text{ и } Y(t) = (t+1)U, \quad DU = 10$$

4) Найти математическое ожидание, корреляционную функцию и дисперсию случайной функции $X(t) = Ut + Vt^2$, где U и V некоррелированные случайные величины: $MU = 4$, $MV = 7$, $DU = 0.1$, $DV = 2$.

5) Задана случайная функция $X(t) = t^2 + U\sin t + V\cos t$, где U и V некоррелированные случайные величины: $MU = MV = 0$, $M(UV) = 0$, $DU = DV = 10$.

Доказать, что $X(t)$ – нестационарная функция

$X(t) - M[X(t)]$ – стационарная функция

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Форма проведения зачета: студенты, освоившие программу курса «Статистическая радиофизика» могут получить зачету по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

На первый модуль отводится 30 баллов, которые распределяются

следующим образом:

- текущий контроль – до 25 баллов;
- рубежный контроль – 5 баллов.

На второй модуль отводится 70 баллов, которые распределяются следующим образом:

- текущий контроль – до 65 баллов;
- рубежный контроль – 5 баллов.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С., Статистическая радиофизика и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах, Москва: Физматлит, 2010, ISBN: 978-5-9221-1204-8, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=67715

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	OpenOffice
5	Mozilla Firefox
6	Mathcad 15 M010
7	MATLAB R2012b
8	Foxit Reader
9	WinDjView
10	ABBYY Lingvo x5
11	Notepad++
12	Cadence SPB/OrCAD
13	Python
14	Lego MINDSTORM EV3
15	Origin 8.1 Sr2
16	Многофункциональный редактор ONLYOFFICE
17	ОС Linux Ubuntu

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)
2	ЭБС ТвГУ
3	ЭБС «Лань»
4	ЭБС «ЮРАИТ»
5	ЭБС «ZNANIUM.COM»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-2026	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, переносной мультимедийный проектор, экран

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Вопросы к зачету:

1. Случайный процесс
2. Математическое ожидание случайного процесса
3. Реализация случайного процесса
4. Сечение случайного процесса
5. Дисперсия случайного процесса
6. Среднее по времени
7. Функция корреляции и ковариации случайного процесса
8. Время затухания
9. Центрированная функция
10. Стационарный случайный процесс
11. Эргодический случайный процесс
12. Спектральная плотность
13. Формулы Винера-Хинчина
14. Белый шум
15. Линейные преобразования случайных процессов
16. Система линейных преобразований с постоянными параметрами
17. Интеграл Дюамеля и импульсная характеристика.
18. Интегрирующие и дифференцирующие преобразования
19. Фильтры
20. RC- и RL-фильтры, передаточная функция.
21. Колебательный контур
22. Оптимальный фильтр
23. Согласованный фильтр
24. Тепловой шум
25. Дробовый шум

І. Вероятность, плотность вероятности, случайные процессы и их модели

1. Случайная величина x имеет плотность вероятности

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ \frac{a}{(1+x)^3} & x \geq 0 \end{cases}$$

Найти a , функцию распределения $F(x)$ и вероятность попадания в отрезок $[0,1]$.

2. Случайная величина x имеет плотность вероятности

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ \frac{2}{(1+x)^3} & x \geq 0 \end{cases}$$

Найти среднее x и ее дисперсию.

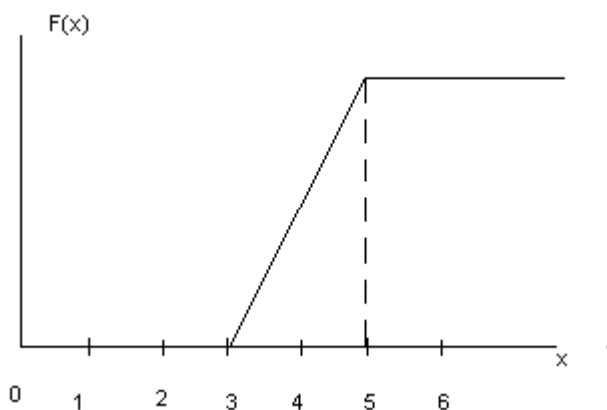
3. Непрерывная случайная величина x равномерно распределена на интервале $a < x < b$. Найти плотность вероятности, функцию распределения и дисперсию.

4. Случайная величина x имеет одностороннюю экспоненциальную плотность вероятности

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ \lambda \exp(-\lambda x) & x \geq 0 \end{cases}$$

Найти среднее x и дисперсию.

5. Функция распределения $F(x)$ задана графически



Найти ее аналитическое выражение, плотность вероятности, вероятность того, что x примет значение от 3,5 до 4,5.

6. Плотность вероятности $f(x)$ случайной величины x имеет вид

$$f(x) = \alpha \exp(-|x|) \quad -\infty < x < \infty$$

Найти α , среднее, дисперсию и вероятность попадания x в интервал $-1 < x < 1$.

7. Случайный процесс представляет собой аддитивную смесь полезного сигнала и шума

$$y(t) = S(t) + n(t),$$

где $n(t)$ – помеха с известным математическим ожиданием $mn(t) = 0$ и дисперсией $Dn(t) = Dn$.

Найти математическое ожидание и дисперсию процесса $y(t)$

8. При какой плотности вероятности $f_\phi(\phi)$ процесс $U(t) = a \cos(\omega t + \phi)$ будет стационарным в широком смысле.

9. Случайный процесс имеет реализацию вида

$$x(t) = a \cos \omega_0 t + b \sin \omega_0 t$$

с постоянным ω_0 и случайными a и b . Найти условие стационарности в широком смысле.

10. Пусть $x(t)$ - белый шум. Найти функцию корреляции $\Psi_y(t_1, t_1)$ для Винеровского случайного процесса $y(t)$, интеграла от $x(t)$

$$y(t) = \int_0^t x(t') dt'$$

11. Найти корреляционную функцию $K_\xi(\tau)$ и спектральную плотность $S_\xi(\omega)$ для стационарного случайного процесса

$$\xi(\tau) = A_0 \cos(\omega_0 \tau + \phi)$$

где A_0 и ω_0 - постоянные амплитуда и частота, а начальная фаза ϕ равномерно распределена на интервале $[-\pi, \pi]$, то есть

$$f_\phi(\phi) = \frac{1}{2\pi} \quad -\pi \leq \phi \leq \pi$$

12. Найти корреляционную функцию $K_\xi(\tau)$ и спектральную плотность $S_\xi(\omega)$ для стационарного случайного процесса

$$\xi(\tau) = A \cos(\omega \tau + \phi)$$

где A, ω и ϕ - независимые случайные амплитуда, частота и начальная фаза; A, ω заданы одномерными плотностями вероятности $f_A(A), f_\omega(\omega)$, а начальная фаза ϕ равномерно распределена на интервале $[-\pi, \pi]$, то есть

$$f_\phi(\phi) = \frac{1}{2\pi} \quad -\pi \leq \phi \leq \pi$$

13. Найти спектральную плотность процесса $\xi(t)$ с нулевым матожиданием и корреляционной функцией

$$K_\xi(\tau) = \sigma^2 \exp(-\alpha |\tau|)$$

14. Найти спектральную плотность процесса $\xi(t)$ с нулевым матожиданием и корреляционной функцией

$$K_\xi(\tau) = \sigma^2 \exp(-\alpha |\tau|) \cos(\omega_0 \tau)$$

15. Найти корреляционную функцию $K_\xi(\tau)$ для низкочастотного прямоугольного спектра

$$S_\xi(\omega) = \begin{cases} S_0 & |\omega| \leq h \\ 0 & |\omega| > h \end{cases}$$

16. Найти корреляционную функцию $K_\xi(\tau)$ для стационарного процесса с односторонней спектральной плотностью $S_{0\xi}(\omega) = \begin{cases} C_0 & |\omega - \omega_0| \leq \Delta\omega \\ 0 & |\omega - \omega_0| > \Delta\omega \end{cases}$

17. Найти корреляционную функцию $K_\xi(\tau)$ для стационарного процесса с односторонней спектральной плотностью

$$S_{0\xi}(\omega) = C_0 \exp\left\{-\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2h^2}\right\}$$

18. Найти корреляционную функцию $K_\xi(\tau)$ и спектральную плотность $S_\xi(\omega)$ для случайного процесса с амплитудной модуляцией

$$\xi(\tau) = A \cos(\omega\tau + \phi)$$

где A, ω и ϕ - независимые случайные амплитуда, частота и начальная фаза; A, ω заданы одномерными плотностями вероятности $f_A(A), f_\omega(\omega)$, а начальная фаза ϕ равномерно распределена на интервале $[-\pi, \pi]$, то есть

$$f_\phi(\phi) = \frac{1}{2\pi} \quad -\pi \leq \phi \leq \pi$$

II. Отклик линейной системы на шумовое воздействие

1. Найти корреляционную функцию на выходе идеальной дифференцирующей цепи

$$y(t) = \frac{dx(t)}{dt},$$

когда на входе стационарный процесс $x(t)$.

2. Найти корреляционную функцию на выходе цепи, описываемой выражением

$$y(t) = \frac{dx(t)}{dt} + x(t),$$

когда на входе стационарный процесс $x(t)$.

3. Найти корреляционную функцию на выходе идеальной интегрирующей цепи

$$y(t) = \int_0^t x(t') dt',$$

когда на входе стационарный процесс $x(t)$.

4. Найти спектр и корреляционную функцию на выходе дифференцирующей RC цепи, когда на входе белый шум.

5. Найти спектр и корреляционную функцию на выходе интегрирующей RC цепи, когда на входе белый шум.

6. Найти спектр и корреляционную функцию на выходе идеального фильтра с АЧХ

$$C(\omega) = \begin{cases} 1 & |\omega - \omega_0| \leq \Delta_c / 2 \\ 0 & |\omega - \omega_0| > \Delta_c / 2 \end{cases} \quad \omega \geq 0$$

когда на входе белый шум.

7. Найти спектр и корреляционную функцию на выходе идеального фильтра с АЧХ

$$C(\omega) = \exp\left\{-\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\beta^2}\right\} \quad \omega \geq 0$$

когда на входе белый шум.