

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ЗАПОРОЖСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
РАДИОПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

## **СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАДИОТЕХНИКА**

Методические указания и контрольные задания  
для студентов заочного отделения  
специальности 7.090701 "Радиотехника"

Утверждено на заседании  
Кафедры радиотехники и  
телекоммуникаций  
Протокол №7 от 20.01.2010 г.

**Запорожье, 2010**

Статистическая радиотехника. Методические указания и контрольные задания для студентов заочного отделения специальности 7.090701 «Радиотехника»

/Сост. Б. Н. Бондарев – Запорожье, ЗНТУ, 2010. – 16 с.

Составители: доц., к. т. н. Б. Н. Бондарев

Ответственный за выпуск – доц., к. т. н. Б. Н. Бондарев

Рецензент

– доц., к.т.н. С.П. Гулин

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие.....	4
1 Рабочая программа дисциплины.....	5
2 Лабораторные и практические занятия .....	8
3 Рекомендуемая литература.....	8
4 Перечень контрольных вопросов .....	9
5 Контрольное задание 1.....	12
6 Контрольное задание 2.....	13
Приложение Нормальный закон распределения. Таблица значений функций $W(x)$ и $F(x)$ .....	15

## ПРЕДИСЛОВИЕ

“Статистическая радиотехника” – одна из базовых дисциплин, обеспечивающих подготовку бакалавров по специальности 6.090701 и специалистов по специальности 7.090701 “Радиотехника”.

Основная цель дисциплины – изучение основ теории случайных процессов, основ статистической теории радиотехнических систем, оптимальных методов приема и обработки сигналов при наличии шумов.

Задачами дисциплины является изучение статистических методов анализа и синтеза радиотехнических устройств и систем при наличии помех, в том числе:

- основ теории случайных процессов;
- статистических характеристик передаваемых сообщений и сигналов;
- типовых моделей радиоканалов и принимаемых радиосигналов;
- статистических критериев приема дискретных сигналов;
- оптимальной обработки сигналов в задачах обнаружения и различения сигналов при наличии помех;
- оптимальной оценки (измерения) информационных параметров сигналов.

Изучение дисциплины “Статистическая радиотехника” требует определенной подготовки по дисциплинам “Теория вероятностей и математическая статистика”, “Сигналы и процессы в радиотехнике”.

Данная дисциплина является основой для дисциплин “Основы теории передачи информации”, “Устройства приема и обработки сигналов”, “Радиотехнические системы”.

Дисциплина на дневном отделении изучается в 5-семестре, на заочном отделении – в 6-м семестре.

Общий объем аудиторных занятий на дневном отделении составляет 108 часов, в том числе: лекций – 36 часов, лабораторных занятий – 18 часов; на заочном отделении – по 6 часов лекций и лабораторных работ.

Студенты заочного отделения выполняют 3 лабораторно-практических работы (в компьютерном классе) и 2 контрольных задания.

На заочном отделении по дисциплине предусмотрен экзамен.

# 1 РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1 Основы теории случайных процессов

Случайные процессы и их классификация. Функции распределения случайных процессов (одномерные и многомерные).

Числовые характеристики (моментные и корреляционные функции) случайных процессов.

Стационарные случайные процессы и их свойства.

Временные характеристики реализаций случайных процессов и их физический смысл. Эргодические случайные процессы.

Энергетический спектр и корреляционная функция эргодического случайного процесса. Теорема Хинчина-Виинера. Ширина энергетического спектра и интервал корреляции. Примеры их вычисления.

Широкополосные и узкополосные случайные процессы. Белый шум.

Корреляционная функция узкополосного случайного процесса.

Нелинейные (функциональные) безынерционные преобразования случайных процессов (одномерный и двумерный случаи). Якобиан преобразования. Примеры нелинейных преобразований. Законы распределения Релея и Райса.

Прохождение случайных процессов через линейные инерционные цепи. Эффективная шумовая полоса линейной цепи. Преобразования корреляционной функции. Нормализация случайных процессов в узкополосных цепях (системах).

Основные свойства нормального случайного процесса. Многомерная плотность вероятности нормального белого шума.

Прохождение случайного процесса через типовое радиотехническое звено (фильтр – амплитудный детектор – фильтр). Законы распределения мгновенных значений амплитуды.

Литература: { 1...14 }

## **1.2 Сообщения, сигналы, помехи, каналы**

Структурная схема радиотехнической системы. Основные преобразования сигналов в РТС. Показатели качества РТС. Оптимизация РТС,

Основные виды и характеристики передаваемых сигналов.

Основные задачи приемника (обнаружение и различение сигналов, воспроизведение формы сигнала, оценка параметров сигналов).

Помехи в радиоканалах. Источники их происхождения. Аддитивные флуктуационные помехи (шумы). Импульсные помехи. Сосредоточенные помехи. Мультипликативные помехи. Замирания. Модели непрерывных каналов (принимаемых сигналов).

Модели дискретных каналов. Вероятности переходов, вероятности ошибок и правильного приема. Пропуск цепи и ложные тревоги

Литература: [5...14]

## **1.3 Линейная фильтрация сигналов**

Задача фильтрации сигналов (исторический аспект).

Оптимальная линейная фильтрация непрерывных (немодулированных) сигналов. Передача с предсказаниями.

Оптимальная линейная фильтрация дискретных сигналов. Оптимальный фильтр при белом шуме. Импульсная реакция оптимального (согласованного) фильтра. Согласованный фильтр как коррелятор. Примеры синтеза согласованных фильтров.

Квазиоптимальные фильтры для дискретных сигналов.

Литература: [5...14]

## **1.4 Прием (различение и обнаружение) дискретных сигналов**

Прием дискретных сигналов как статистическая задача. Выбор гипотез (принятие решений). Статистические критерии приема дискретных сигналов (идеального наблюдателя, среднего риска, отношения правдоподобия, Неймана-Пирсона).

Оптимальный (когерентный) приемник Котельникова для полностью известных дискретных сигналов. Алгоритм работы и структурная схема.

Корреляционный алгоритм и корреляционная схема оптимального приемника. Оптимальный приемник на согласованных фильтрах.

Структурная схема оптимального когерентного обнаружителя.

Потенциальная помехоустойчивость приема (различения) полностью известных сигналов (вывод общей формулы). Помехоустойчивость приема при различных видах сигналов (АМн, ЧМн, ФМн). Кривые помехоустойчивости. Кривые обнаружения когерентного обнаружителя.

Оптимальный некогерентный прием дискретных сигналов с неизвестной фазой. Структурные схемы оптимального приемника (квадратурная и на согласованных фильтрах).

Потенциальная помехоустойчивость некогерентного приема сигналов. Кривые помехоустойчивости и обнаружения.

Оптимальный прием дискретных сигналов со случайными амплитудой и фазой (при быстрых и медленных изменениях параметров). Кривые потенциальной помехоустойчивости.

Неоптимальные методы приема дискретных сигналов (АМн, ЧМн, ОФМ). Помехоустойчивость неоптимальных методов приема.

Литература: [5...14]

## **1.5 Оценка (измерение) информационных параметров дискретных сигналов**

Задача измерения (оценки) параметров дискретных сигналов. Критерии точности (качества) оценки. Байесовские оценки. Функции потерь. Отношение правдоподобия.

Структурная (многоканальная корреляционная) схема для оценки одного неизвестного параметра известного сигнала.

Совместная оценка двух параметров сигнала (временного запаздывания и частотного сдвига). Структурная схема.

Функция неопределенности сигналов по времени и частоте (двумерная автокорреляционная функция). Тело и эллипс неопределенности.

Требования к функциям неопределенности.

Диаграммы неопределенности простых сигналов.

Литература:[5,6,14]

## **1.6 Разрешение сигналов**

Задача разрешения сигналов. Разрешающая способность. Оптимальное разрешение сигналов. Оценка разрешающая способности по времени (дальности) импульсных РЛС.

Литература:[5,6,14]

## **1.7 Сложные сигналы**

Сложные (составные, широкополосные) сигналы. Примеры сложных сигналов. Коды Баркера. ЛЧМ-сигнал, его спектр и корреляционная функция. Двоичные псевдослучайные последовательности ( $M$  – последовательности). Их корреляционные свойства. Фазокодоманипулированные сигналы. Дискретные частотные сигналы (сигналы на основе частотно-временной матрицы).

Сжатие сложных сигналов по времени к спектру.



## **1.8 Прием модулированных сигналов**

Прием модулированных сигналов как задача оценки информационного параметра. Количественная мера помехоустойчивости приема модулированных сигналов (выигрыш системы модуляции, обобщенный выигрыш). Потенциальная помехоустойчивость различных видов модуляции при слабых помехах. Явление порога помехоустойчивости.

Литература: [7,8,9.14]

## **2 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

1. Законы распределения дискретных случайных величин.
2. Законы и функции распределения случайных процессов.
3. Вычисление интервальных вероятностей.
4. Корреляционные функции детерминированных сигналов.
5. Корреляционные функции сложных (широкополосных) сигналов.
6. Двумерные функции автокорреляции.
7. Расчет помехоустойчивости оптимального когерентного обнаружителя.
8. Моделирование оптимального приемника.

## **3.ЛИТЕРАТУРА**

1. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: Радио и связь, 1989. – 653 с.

3. Любой учебник по теории вероятностей.
4. Зюзю А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. – М.: Связь, 1980. – 288 с.
5. Бондарев Б.Н. Статистическая радиотехника. Конспект лекций. Часть I. Запорожье, ЗНТУ, 2000. – 71 с.
6. Бондарев Б.Н. Статистическая радиотехника. Конспект лекций. Часть II. Запорожье, ЗНТУ, 2002. – 84 с.
7. Бондарев Б.Н. Статистическая радиотехника. Конспект лекций. Часть III. Запорожье, ЗНТУ, 2005. – 95 с.

#### **4.ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ**

1. Основные понятия и определения теории вероятностей.
2. Случайные величины. Законы распределения случайных величин.
3. Числовые характеристики случайных величин и их смысл.
4. Многомерные случайные величины и законы распределения.
5. Случайные процессы и их классификация. Функции распределения случайных процессов (одномерные и многомерные).
6. Числовые характеристики (моментные и корреляционные функции) случайных процессов.
7. Временные характеристики реализации случайных процессов и их физический смысл.
8. Стационарные и эргодические случайные процессы.
9. Энергетический спектр случайного процесса. Ширина энергетического спектра.
10. Корреляционная функция эргодического случайного процесса. Теорема Хинчи-Винера. Интервал корреляции.
11. Примеры вычисления корреляционной функции.

12. Узкополосные и широкополосные случайные процессы. Белый шум.
13. Нормальный закон распределения (функции распределения и числовые характеристики).
14. Нелинейные (функциональные) безынерционные преобразования (одномерный случай).
15. Нелинейные преобразования случайных процессов (двумерный случай). Якобиан преобразования.
16. Примеры нелинейных преобразований случайных процессов.
17. Законы распределения Релея и Райса.
18. Прохождение случайных процессов через линейные инерционные цепи. Эффективная шумовая полоса линейной цепи.
19. Нормализация случайных процессов в узкополосных цепях. Основные свойства нормального случайного процесса.
20. Структурная схема радиотехнической системы. Показатели качества. Задача оптимизации.
21. Основные задачи приемника: обнаружение и различие сигналов, воспроизведение формы сигнала, оценка (измерение) параметров сигнала.
22. Помехи в радиоканалах. Классификация, источники происхождения и характеристики.
23. Аддитивные флуктуационные помехи (шумы).
24. Импульсные помехи. Сосредоточенные помехи.
25. Мультипликативные помехи. Замирания и их вероятностные характеристики.
26. Характеристики и модели дискретных каналов. Вероятности переходов и ошибок в дискретном канале. Пропуск цепи и ложные тревоги.
27. Биноминальный закон распределения и его использование.
28. Оптимальная линейная фильтрация непрерывных (неמודулированных) сигналов.

29. Оптимальная линейная фильтрация дискретных сигналов. Оптимальный фильтр при белом шуме.

30. Импульсная реакция оптимального (согласованного) фильтра. Согласованный фильтр как коррелятор.

31. Примеры синтеза согласованных фильтров.

32. Квазиоптимальные фильтры.

33. Прием дискретных сигналов как статистическая задача. Формула Бейеса. Апостериорные вероятности. Гипотезы их решений.

34. Статистические критерии приема (принятия решений) дискретных сигналов (идеального наблюдателя, среднего риска).

35. Статистические критерии приема дискретных сигналов (отношения правдоподобия, Неймана-Пирсона).

36. Оптимальный (когерентный) приемник Котельникова для полностью известных дискретных сигналов. Алгоритм работы и структурная схема.

37. Корреляционный приемник (различитель). Алгоритм работы и структурная схема.

38. Потенциальная помехоустойчивость приема (различения) полностью известных двоичных сигналов (вывод общей формулы).

39. Потенциальная помехоустойчивость приемника при различных системах сигналов (АМн, ЧМн, ФМн). Кривые помехоустойчивости.

40. Оптимальный (когерентный и некогерентный) обнаружитель. Структурные схемы. Кривые обнаружения.

41. Оптимальный (некогерентный) прием дискретных сигналов с неизвестной фазой. Структурные схемы оптимальных некогерентных приемников.

42. Прием сигналов со случайными амплитудой и фазой. Потенциальная помехоустойчивость приема сигналов со случайными параметрами.

43. Неоптимальные методы (схемы) приема сигналов АМн.

44. Неоптимальные методы (схемы) приема ЧМн.
45. Неоптимальные методы (схемы) приема сигналов ОФМ.
46. Задача оценки (измерения) параметров дискретных сигналов (параметров движения объектов). Критерии точности. Функции потерь.
47. Структурная (многоканальная, корреляционная) схема для оценки одного неизвестного параметра известного сигнала.
48. Совместная оценка двух параметров сигнала (временного запаздывания и частотного сдвига) радиосигнала.
49. Функции неопределенности сигналов по времени и частоте (двумерная автокорреляционная функция). Тело и эллипс неопределенности.
50. Диаграммы неопределенности простых сигналов.
51. Задача разрешения сигналов. Разрешающая способность. Оптимальное разрешение. Разрешающая способность по временной задержке (дальности).
52. Прием модулированных сигналов как задача оценки параметров сигналов. Количественная мера помехоустойчивости приема (выигрыш, обобщенный выигрыш).
53. Сложные (составные) сигналы. Простейшие примеры сложных сигналов. Коды Баркера.
54. Сжатие сложных сигналов по времени и спектру.
55. ЛЧМ–сигнал, его спектр и корреляционная функция.
56. Двоичные псевдослучайные последовательности. ФКМ–сигналы.
57. Дискретные частотные сигналы (сигналы на основе ЧВМ).

## 5 КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 1

ЗАДАНИЕ 1.1 Привести определения и дать пояснения понятиям функции распределения (интегральной и дифференциальной) случайных процессов.

ЗАДАНИЕ 1.2 Привести определения и дать пояснения понятию “числовые характеристики случайных процессов”.

ЗАДАНИЕ 1.3 Привести выражения для одномерной и двумерной плотностей вероятностей стационарного нормального случайного процесса и дать пояснения входящих в них числовых параметров.

ЗАДАНИЕ 1.4 Записать выражение для одномерной плотности вероятности нормального закона распределения при математическом ожидании, равном  $\mu$ , и дисперсии, равной  $\sigma^2$ , где  $\mu$  – номер варианта (задается преподавателем). Построить (в масштабе) график  $W(x)$ .

ЗАДАНИЕ 1.5 В условиях задания 1.4 вычислить вероятность нахождения случайной величины ниже уровня  $x_0 = 0,5 \cdot \mu$ . Показать эту вероятность на графике.

Указание: при вычислениях воспользоваться таблицами для интегральной функции нормального закона распределения (см. Приложение).

ЗАДАНИЕ 1.6 Перечислить примеры нелинейных преобразований сигналов (случайных процессов), встречающихся в радиотехнике. Записать общую формулу для плотности вероятности случайного процесса на выходе произвольного нелинейного безынерционного преобразователя.

**ЗАДАНИЕ 1.7** Дать определения и привести выражения для понятий “энергетический спектр” и “ширина энергетического спектра” случайного процесса.

**ЗАДАНИЕ 1.8** Дать определения и привести выражения для понятий “корреляционная функция” и “интервал корреляции” случайного процесса.

**ЗАДАНИЕ 1.9** Дать определение и привести выражение для понятия “эффективная шумовая полоса” линейной цепи.

**ЗАДАНИЕ 1.10** Перечислить основные виды помех в радиотехнических системах и устройствах, источники их происхождения и дать их краткую характеристику.

## **6 КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 2**

**ЗАДАНИЕ 2.1** Нарисовать типовую структурную схему радиотехнической системы и пояснить назначение отдельных ее элементов.

**ЗАДАНИЕ 2.2** Сформулировать и пояснить задачи приемника при приеме различных сигналов.

**ЗАДАНИЕ 2.3** Пояснить, как определяется АЧХ оптимального фильтра для приема (фильтрации) непрерывных (немодулированных) сигналов.

**ЗАДАНИЕ 2.4** Пояснить, как определяются характеристики (частотные и временные) оптимального (согласованного) фильтра для приема (фильтрации) дискретных сигналов.

ЗАДАНИЕ 2.5 Дать пояснение понятию “статистические критерии приема (принятия решений) дискретных сигналов”. Перечислить используемые критерии.

ЗАДАНИЕ 2.6 Записать алгоритм работы и нарисовать структурную схему оптимального (когерентного) приема Котельникова для полностью известных дискретных сигналов.

ЗАДАНИЕ 2.7 Записать алгоритм работы и нарисовать структурную схему оптимального (некогерентного) приемника Котельникова для сигналов с неизвестной фазой.

ЗАДАНИЕ 2.8 Записать выражение для двумерной функции корреляции (функции неопределенности). Дать пояснения для понятий “функция неопределенности”, “тело неопределенности”, “эллипс неопределенности”.

ЗАДАНИЕ 2.9 Рассчитать кривые помехоустойчивости (зависимости вероятности ошибок  $p$  от отношения сигнал шум  $h$ ) при оптимальном когерентном приеме двоичных сигналов с амплитудной, частотной и фазовой манипуляцией. Значения  $h$  выбрать равными 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4. Построить графики полученных зависимостей  $p(h)$ , используются по оси  $h$  линейный масштаб, а по оси  $p$  – логарифмический.

Указания:

1) Вероятность ошибок при когерентном приеме определяется выражением

$$p = 0,5 [1 - \Phi(b \cdot h)],$$

где  $b = 1$  при ЧМ, 1,41 – при ФМ и 0,707 – при АМ.



2) При решении данной задачи надо пользоваться таблицами интеграла вероятностей, приводимыми в справочниках и ниже в Приложении.

ЗАДАНИЕ 2.10 Изобразить структурную схему для оптимальной оценки одного информационного параметра известного сигнала.

### ПРИЛОЖЕНИЕ

Нормальный закон распределения. Таблица значений функций

$$W(x) = \frac{\exp\left(-0.5x^2\right)}{\sqrt{2\pi}} \quad \text{и} \quad V(x) = 0,5 [1 - \Phi(x)]$$

x	W (x)	V (x)	x	W (x)	V (x)
0,00	0,3989	0,5000	2,50	0,0175	0,00621
10	3966	4602	55	0155	00539
20	3910	4207	60	0136	0466
30	3814	3821	65	0119	0403
40	3683	3446	70	0104	0347
50	3521	3085	75	0091	0298
0,60	0,3332	0,2743	2,80	0,00792	0,00255
70	3122	2420	85	688	00219
80	2897	2119	90	595	0187
90	2661	1841	95	515	0159
1,00	2418	1587	3,00	443	0135
1,10	0,2178	0,1357	3,05	0,00386	0,00114
20	1942	1151	10	327	08097
30	1714	0968	15	277	0082
40	1498	0808	20	238	069

x	W (x)	V (x)	x	W (x)	V (x)
50	1295	0668	25	804	058
1,60	0,1109	0,0548	3,30	0,00172	0,000483
70	0940	0446	35	146	0404
80	0789	0359	40	123	0337
90	0656	0287	45	104	0280
2,00	0539	0227	50	087	0233
2,05	0,0488	0,0201	3,55	0,00073	0,000193
10	0440	0179	60	061	0159
15	0396	0158	65	051	0131
20	0355	0139	70	042	0108
25	0317	0129	75	035	0088
2,30	0,0283	0,0107	3,80	0,00029	0,000072
35	0252	0099	85	024	059
40	0224	0082	90	020	049
45	0198	0071	95	017	039
50	0175	0062	4,00	013	032