

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ЗАПОРОЖСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

## **РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

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

Утверждено на заседании  
Кафедры радиотехники и  
телекоммуникаций  
Протокол № 15 от 23.05.2005 г.

**Запорожье, 2010**

Радиотехнические системы. Методические указания и контрольные задания для студентов заочного отделения специальности 7.090701 «Радиотехника»  
/Сост. Б. Н. Бондарев – Запорожье, ЗНТУ, 2010. – 14 стр.

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
1.1 Введение.....	5
1.2 Физические основы радиолокации и радионавигации.....	5
1.3 Измерение дальности и скорости.....	5
1.4 Измерение угловых координат.....	6
1.5 Защита от пассивных помех.....	6
1.6 Пассивная радиолокация.....	6
1.7 Спутниковые РТС.....	7
1.8 РТС радиопротиводействия.....	7
1.9 Системы подвижной связи.....	7
1.10 Ориентировочный перечень лабораторных работ.....	7
2 Перечень рекомендуемой литературы.....	8
3 Примерный перечень экзаменационных вопросов.....	8
4 Контрольное задание.....	10
Приложение. Кривые обнаружения оптимального обнаружителя..	14

## ПРЕДИСЛОВИЕ

"Радиотехнические системы" – первая из никла системотехнических дисциплин при подготовке бакалавров, инженеров и магистров по специальности "Радиотехника". В ней рассматриваются физические основы радиолокации, радионавигации и связи, основные методы и принципы построения радиотехнических систем различного назначения. Далее за ней по учебному плану следуют дисциплины "Теория радиотехнических систем", "Проектирование радиотехнических систем", "Системы и сети передачи информации".

Данная дисциплина изучается после дисциплин "Статистическая радиотехника", "Основы теории передачи информации", "Радиоприемные устройства", "Радиопередающие устройства". На заочном отделении она изучается в 9-м семестре.

Основная форма изучения для студентов-заочников – самостоятельная проработка по рекомендуемой литературе. Следует отметить, что в настоящее время нет более или менее современного учебника по дисциплине "Радиотехнические системы".

В "Указаниях" приведена рабочая программа дисциплины с иностранным указанием рекомендуемой литературы, перечень рекомендуемой литературы, ориентировочный перечень лабораторных работ, ориентировочный перечень экзаменационных вопросов, задание на контрольную работу с краткими методическими указаниями. В приложении приведены кривые обнаружения оптимального обнаружителя, необходимые при выполнении контрольного задания.

# 1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1 Введение

Предмет и задачи курса. Радиотехнические системы и их классификация (передачи информации, извлечения информации, разрушения информации, радиоуправления). Радиолокационные и радионавигационные системы. Тактические и технические параметры радиотехнических систем. Диапазоны радиочастот и их использование. [1], с.11-16.

## 1.2 Физические основы радиолокации и навигации

Физические основы измерения дальности, скорости, угловых координат. Методы радиолокации.

Характеристики радиолокационных целей. Эффективная площадь рассеяния. Статистические свойства ЭПР и отраженных сигналов.

Дальность действия РТС (систем связи и систем радиолокации) в свободном пространстве. Определение чувствительности приемника. Уравнение дальности и его анализ. Дальность действия РТС с учетом влияния земли.

Радиотехнические методы измерения координат и их производных. Радионавигационные параметры. Угломерный, дальномерный, псевдодальномерный, разностно-дальномерный методы.

Методы обзора пространства.

Индикаторные устройства РЛС и РНС.

Классификация РЛС и РНС.

[1], с. 161-173; [2], с. 169-189; [3], с. 178-228, 243-257.

## 1.3 Измерение дальности и скорости

Методы измерения дальности (амплитудный, частотный, фазовый). Их характеристики. Цифровые измерители дальности.

Следящие измерители дальности импульсной и непрерывной РЛС (с ЧМ, со сложным ФКМ-сигналом).

Измерение радиальной скорости. Импульсные доплеровские системы. Одноканальные и многоканальные системы. „Слепые скорости” и методы борьбы с ними.

Разрешающие способности РЛС по дальности и скорости.

[1], с.173-192; [2], с. 122-145; [3], с.281-296, 357-376.

#### **1.4 Измерение угловых координат**

Пеленгационные характеристики измерителей угловых координат. Методы измерения угловых координат при использовании ненаправленных и направленных антенн (фазовый, амплитудный, по максимуму, по минимуму, равносигнального направления). Индикаторы кругового обзора.

Следящие измерители угловых координат. Одноканальные и многоканальные системы. Амплитудные суммарно-разностные системы. Фазовые суммарно-разностные системы.

[1], с. 194-212; [2], с. 145-168; [3], с. 377-414.

#### **1.5 Защита от пассивных помех**

Характеристики пассивных помех. Селекция движущихся целей. Когерентно-импульсные РЛС. Импульсно-доплеровские РЛС. Компенсация помех. Цифровая фильтрация в системах СДЦ. Вторичная обработка сигналов.

[1], с. 215-225; [2], с. 190-208; [3], с. 258-272.

#### **1.6 Пассивная радиолокация**

Физические основы радиотеплокации. Обнаружение радиотепловых сигналов. Радиометры. Измерение координат объектов.

[1], с. 226-230; [2], с. 208-220; [3], с. 429-438

## **1.7 Спутниковые РТС**

Спутниковые радиотехнические системы и комплексы. Орбиты движения и системы спутников. Траекторные измерения. Системы единого времени. Примеры спутниковых радионавигационных систем (NAVSTAR. ГЛОНАСС) и систем связи.

[1], с. 339-358; [2], с. 258-281, 361-394; [7], [8].

## **1.8 РТС радиопротиводействия**

Радиоэлектронная борьба. Радиоразведка и радиоподавление. Основные виды помех. Методы защиты от активных помех. Выбор систем сигналов. Использование сложных (широкополосных) сигналов.

[2], с. 410-428; [3], с. 439-447, [9].

## **1.9 Системы подвижной связи**

Системы мобильной связи. Сотовые сети. Системы и стандарты подвижной связи (с частотам, временным и кодовым разделением) [10, 11].

## **1.10 Ориентировочный перечень лабораторных работ**

1. Оптимальный когерентный обнаружитель (расчет кривых обнаружения).
2. Импульсный метод дальнометрии (РЛС "Наяда-5).
3. Амплитудный метод пеленгации (радиокомпас РК-10).
4. Частотный метод дальнометрии (радиовысотомер РВ-5).
5. Исследование радиолокационного ЛЧМ-сигнала.
6. Цифровые методы измерения дальности и угловых перемещений.

## **2 ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Чердынцев В. А. Радиотехнические системы. – Минск: Высшая школа, 1988. – 370с.
2. Дымова А.И., Альбац М. Е., Бонч-Бруевич А. М. Радиотехнические системы. – М.: Сов. Радио., 1975, – 440 с.
3. Радиотехнические системы. Под ред. Казаринова Ю.М., М: Высшая школа, 1990. – 446с.
4. Информационные технологии в радиотехнических системах. – М.: Из-во МГТУ, 2004. – 768с.
5. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. – М. Радио и связь, 1973, – 536с.
6. Теоретические основы радиолокации. Под ред. Дулевича В. Е.–М.: Сов. Радио, 1978, – 607с.
7. Глобальная спутниковая навигационная система ГЛОНАСС. – М.: ИПРЖ, 1999. – 560с.
8. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. – М.: ЭкоТрендз, 2000. – 267с.
9. Демин В.П. и др. Радиоэлектронная разведка и радиомаскировка. – М.: МАИ, 1997. – 156с.
10. Громаков Ю. А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М: ЭкоТрендз, 2000.
11. Невдяев Л. М. Мобильная спутниковая связь. – М: Связь, 2000.

## **3 ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ**

1. Радиотехнические системы. Определения и классификация.
2. Диапазоны радиочастот и их использование в РТС.
3. Физические основы радиолокации. Принципы измерения дальности, скорости, угловых перемещений.
4. Радиотехнические методы измерения координат и их производных. Системы координат. Радионавигационные параметры.
5. Угломерный и дальномерный методы измерения координат.
6. Псевдодальномерный и разностно-дальномерный методы измерения координат.



7. Характеристики радиолокационных объектов.
  8. Дальность действия РЛС в свободном пространстве.
  9. Дальность действия РЛС с учетом влияний земли.
  10. Дальность действия систем радиосвязи.
  11. Анализ основного уравнения радиолокации.
  12. Статистические критерии приема радиолокационных сигналов (отношения правдоподобия, Неймана-Пирсона).
  13. Измерение дальности. Амплитудный метод измерения дальности.
  14. Фазовый метод измерения дальности и его характеристики.
  15. Частотный метод измерения дальности и его характеристики.
  16. Методы радиолокационного обзора пространства.
  17. Устройства отображении радиолокационной информации.
- Индикаторы кругового обзора.
18. Следящий измеритель дальности импульсной РЛС.
  19. Следящие измерители дальности РЛС с ЧМ и ФКМ-сигналами.
  20. Измерение радиальной скорости в непрерывных и импульсных РЛС. "Слепые" скорости.
  21. Следящие измерители скорости.
  22. Разрешающие способности РЛС по дальности и скорости.
  23. Измерители угловых координат. Пеленгационные характеристики. Фазовый метод измерения при использовании ненаправленных антенн.
  24. Амплитудные методы измерения угловых координат при использовании ненаправленных антенн.
  25. Амплитудные методы измерения угловых координат при использовании направленных антенн.
  26. Следящие измерители угловых координат. Одноканальные системы.
  27. Многоканальные следящие измерители угловых координат. Амплитудные суммарно-разностные системы.
  28. Фазовые суммарно-разностные системы.
  29. Характеристики пассивных помех. Селекция движущихся цепей.

30. Когерентно-импульсные РЛС с внутренней когерентностью. Черезпериодная компенсация (ЧПК).
31. "Слепые" скорости и методы борьбы с ними.
32. Пассивная радиолокация. Обнаружение сигналов и измерение координат объектов.
33. Радиометры в пассивной радиолокации.
34. РТС радиоэлектронной борьбы. Радиоразведка и радиоподавление.
35. Выбор систем сигналов и помех при радиоэлектронной борьбе.
36. Системы мобильной связи.
37. Системы и стандарты мобильной связи.
38. Спутниковые радиотехнические системы. Орбиты движения и траекторные измерения.
39. Системы единого времени. Примеры космических радионавигационных систем (NAVSTAR, ГЛОНАСС).

#### 4 КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

ЗАДАЧА 1. Определить, каким дальностям до объектов (целей) соответствует время запаздывания отраженных сигналов, равное  $n$  мкс,  $n$  мс,  $n$  сек,  $n$  мин? ( $n$  – номер варианта, равный порядковому номеру студента в журнале).

ЗАДАЧА 2. Полагая расстояние между РЛС и объектом равным  $n \cdot 100000$  м, определить минимальное значение периода повторения зондирующих импульсов для однозначного измерения дальности.

ЗАДАЧА 3. Определить расстояние прямой видимости между РЛС и объектом, если высота подъема антенны РЛС  $h_1 = 10 \cdot n$  (м), а объекта над землей  $h_2 = 1000 \cdot n$  (м).

ЗАДАЧА 4. Определить число импульсов в пачке, поступающей на вход приемника импульсной РЛС кругового обзора, если число оборотов антенны  $N_{об} = 2 \cdot n$  об/мин, период повторения зондирующих импульсов  $T_{п} = 2 \cdot n$  мс, ширина диаграммы направленности  $\Phi = 0,5 \cdot n$  град.

ЗАДАЧА 5. Определить доплеровский сдвиг частоты отраженных сигналов, если рабочая волна РЛС равна 10 см, а радиальная составляющая скорости движения объекта составляет  $n \cdot 1000$  км/час.

ЗАДАЧА 6. Рассчитать и построить характеристики обнаружения (зависимости вероятности правильного обнаружения  $P_{пр. об.} = D$  от отношения сигнал/шум  $h^2 = 0...100$ ) для сигналов в виде одиночного радиоимпульса и пачки радиоимпульсов длиной  $N$  со случайной начальной фазой и флуктуирующей по релеевскому закону амплитудой при заданной вероятности ложной тревоги  $F = P_{лт}$ . Количество импульсов в пачке и вероятности ложной тревоги  $F = 10^{(-r)}$  взять из табл. 1.

Литература: [2], с. 60-63, [3], с. 51-59.

### Методические указания

1. При релеевских флуктуациях (замираниях) сигналов  $D$ ,  $F$  и  $h^2$  связаны простым соотношением

$$D = F^{1/(1+0,5 \cdot h^2)}$$

2. В случае пачечного сигнала при расчете учесть, что энергия сигнала и отношение сигнал/шум при когерентном накоплении возрастают в  $N$  раз (на  $10 \cdot \lg N$ , дб). При некогерентном накоплении энергетический выигрыш уменьшается по сравнению со случаем когерентного накопления на величину, которую сложно рассчитать. При решении задачи рекомендуется потери в выигрыше по сравнению с когерентным накоплением приближенно оценить величиной  $2 \cdot \lg N$  (дб) (при  $N < 100$ ).

ЗАДАЧА 7. Определить максимальную дальность действия РЛС, полагая, что на границе зоны обнаружения вероятность правильного обнаружения  $D = 0,5$  при вероятности ложной тревоги  $F = 10^{(-r)}$ . Импульсная мощность зондирующего сигнала  $P = 1$  МВт; коэффициент усиления антенны  $G = 10000$ ; коэффициент шума приемника  $K_{ш} = 4$ ; эквивалентная температура  $T = 290$  К; общий коэффициент потерь в приемнике  $K_{п} = 10$  дБ;

Остальные технические характеристики (длина волны, эффективная площадь рассеяния цели  $S_{\Sigma}$ , длительность импульса) приведены в табл.1.

Литература: [2], с.169-171, [2], с.158-171.

Таблица 1

Номер задачи	Параметр	Размерность	Номер варианта									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	г N	– –	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4
			3	4	5	6	4	8	9	10	11	12
7	l $S_{\Sigma}$ Ти	см $m^2$ мкс	3	10	20	3	10	20	3	10	20	3
			1	5	10	20	1	5	10	20	1	5
			1	3	5	1	3	5	1	3	5	1
9	Ти	мкс	1	3	7	10	50	0,5	10	3	1	0,5
10	Ти Ти	мкс	0,1	1	3	7	10	прямоугольный				
			гауссов					0,1	1	3	7	10

### Методические указания

1. При определении дальности необходимо воспользоваться основным уравнением радиолокации и кривыми обнаружения  $D = f(h^2)$ .

2. При определении чувствительности приемника воспользоваться выражением

$$P_{пр. \min} = k \cdot T \cdot F \cdot K_{ш} \cdot K_{п} \cdot h^2,$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,

$F$  – полоса пропускания приемника из задачи 10,

$K_{ш}$  – коэффициент шума реального приемника,

$K_{п}$  – коэффициент потерь в приемнике из-за неточной реализации алгоритмов обработки сигналов.

**ЗАДАЧА 8.** Во сколько раз и в какую сторону изменится максимальная дальность действия, если при неизменности части параметров изменить использованные в задаче 7 параметры из табл. 1 на значения, указанные в соседнем столбце справа. Дать физические объяснения.

**ЗАДАЧА 9.** Рассчитать разрешающую способность по дальности РЛС, использующей зондирующие импульсные сигналы с заданной длительностью (табл. 1).

Литература: [2], с. 82-87; [3], с. 131-140.

**ЗАДАЧА 10.** Вычислить ширину полосы пропускания УПЧ, выполняющего роль согласованного фильтра, для радиоимпульсов с прямоугольной или гауссовской огибающей длительностью  $T_i$  (табл. 1).

### **Методические указания**

Эффективная шумовая полоса квазиоптимального фильтра для указанных форм импульсов определяются соответственно величинами:

$$F_{\text{э}} = 1,37/T_i \quad \text{и} \quad 0,72/T_i$$

ПРИЛОЖЕНИЕ. Кривые обнаружения оптимального обнаружителя

