

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



Технологический институт  
Федерального государственного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Южный федеральный университет»

«СОГЛАСОВАНО»

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой РТС

Декан радиотехнического факультета

В. Т. Лобач

С. Г. Грищенко

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ / \_\_ учеб.год

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 200\_\_ / \_\_ учеб.год

# УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС (УМК)

учебной дисциплины

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ  
СИГНАЛОВ

Таганрог

2008 г.

# 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

## 1.1. Цель преподавания дисциплины

Целью дисциплины «Проектирование устройств обработки сигналов» является формирование системного подхода к анализу, оптимизации техническому проектированию радиоэлектронных и телекоммуникационных систем.

## 1.2. Задачи преподавания дисциплины

В результате изучения дисциплины студенты должны знать:

- современное состояние и тенденции развития радиоэлектронных средств (РЭС);
- принципы, методы, алгоритмы и структуры, используемые при построении РЭС;
- методы анализа основных характеристик РЭС;
- критерии эффективности;
- методику оптимизации РЭС по совокупности технико-экономических показателей.

В результате изучения дисциплины студенты должны уметь

- по заданным исходным данным формализовать постановку задачи;
- произвести выбор методов, алгоритмов и структур при построении РЭС;
- выполнить анализ основных характеристик РЭС;
- осуществить выбор предпочтительного варианта построения РЭС и оптимизацию по совокупности технико-экономических показателей.

## 1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины

*Высшая математика:*

- дифференциальное и интегральное исчисление;
- теория вероятностей;
- преобразовать Фурье, Даламбера.

*Физика:*

- электромагнетизм.

*Основы теории цепей и сигналов:*

- передаточные характеристики;
- функции неопределенности сигналов.

*Основы обработки сигналов в РЭС:*

- оптимальные алгоритмы обнаружения и оценивания сигналов.

*Радиолокация, радионавигация, радиосистемы передачи информации:*

- принцип построения РЭС и режим их работы;
- виды и характеристики радиолокационных сигналов;
- алгоритмы и структуры РЭС;
- анализ основных характеристик РЭС.

#### **1.4. Междисциплинарные связи дисциплины в общем перечне дисциплин ОПП**

Для специальности 210304 «Радиоэлектронные системы» по направлению подготовки дипломированных специалистов 210300 «Радиотехника» данная дисциплина имеет связи с такими дисциплинами как «Радиотехнические цепи и сигналы», «Радиотехнические системы передачи информации», «Прикладная информатика», «Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоустройств и радиосистем», «Технико-экономическое проектирование РТС».

Для специальности 210402 «Средства связи с подвижными объектами» по направлению подготовки дипломированных специалистов 210400 «Телекоммуникации» данная дисциплина имеет связи с такими дисциплинами как «Теория электрической связи», «Основы теории систем связи с подвижными объектами», «Прикладная информатика», «Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств», «Системы и сети связи с подвижными объектами», «Технико-экономическое проектирование средств связи».

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ



Технологический институт  
Федерального государственного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Южный федеральный университет»

Образовательная профессиональная программа (ОПП)

210304 «Радиоэлектронные системы»,

210402 «Средства связи с подвижными объектами»

Факультет \_\_\_\_\_ радиотехнический

Выпускающая кафедра по ОПП \_\_\_\_\_ РТС

## 2. УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ»

Кафедра \_\_\_\_\_ РТС

Форма обучения \_\_\_\_\_ очная \_\_\_\_\_ Срок обучения \_\_\_\_\_ 6 лет

Технология обучения \_\_\_\_\_ стандартная \_\_\_\_\_ Курс \_\_\_\_\_ 6 Семестр  
11

Академические часы 100		
Учебных занятий	-	36 час.
<b>Из них:</b>		
лекций		
практических	-	36 час.
лабораторных	-	- час.
самостоятель-	-	- час.
ных	-	- час.
индивидуаль-	-	- час.
ных	-	- час.
курсовая работа		
<b>Промежуточный рейтинг-контроль (зачет)</b>		<b>11 се- местр</b>
<b>Итоговый рейтинг- контроль (экзамен)</b>		<b>100</b>

Зачетные единицы _____		
Учебных занятий	-	100 баллы
<b>Из них:</b>		
лекций		
практических	-	60 балл.
лабораторных	-	балл.
самостоятель-	-	балл.
ных	-	40 балл.
индивидуаль-	-	балл.
ных	-	балл.
курсовая работа		
<b>Промежуточный рейтинг-контроль (зачет)</b>		<b>11 семестр</b>
<b>Итоговый рейтинг- контроль (экзамен)</b>		<b>100</b>

Таганрог 2008 г.

## **2.1. Темы теоретического курса**

- а) радиомониторинг сложных сигналов;
- б) обнаружители и измерители девиации частоты широкополосных частотно-модулированных сигналов (ЧМС);
- в) автокорреляционные частотные дискриминаторы при оценивании средней и модулирующей частот широкополосных ЧМС.

## **2.2. Описание учебных модулей**

### **2.2.1. УЧЕБНЫЙ МОДУЛЬ «РАДИОМОНИТОРИНГ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ»**

#### **Комплексная цель 1 модуля**

— ознакомление с целями, задачами и условиями проведения радиомониторинга сложных сигналов.

#### **Краткое изложение программного материала по 1 модулю**

Формулируются постановка задачи радиомониторинга, состояние проблемы, модели радиообстановки, исходные условия.

#### **Проектное задание**

По заданной модели радиообстановки сформулировать требования к техническим характеристикам средств радиомониторинга, как

- рабочий частотный диапазон;
- быстродействие;
- динамический диапазон входных сигналов.

#### **Квалиметрия по 1 модулю**

##### **1. Вопросы для самопроверки**

1. Какие задачи решаются при первичной обработке информации?
2. Какие задачи решаются при вторичной обработке информации?
3. Какие задачи решаются при третичной обработке информации?
4. Какие задачи решаются в режиме экспресс-анализа?
5. Какие задачи решаются в режиме детального анализа?
6. Какие задачи решаются в режиме перехвата информации?
7. Как организуется поиск радиоизлучений при использовании пространственной селекции?
8. Как организуется поиск радиоизлучений при использовании частотной селекции?
9. Как организуется поиск сигналов при использовании временной селекции?
10. Как организуется поиск сигналов при использовании кодовой селекции?
11. Какие требования предъявляются к моделям радиообстановки?
12. Какие технические требования предъявляются к антенно-фидерным

устройствам средств радиомониторинга?

13. Какие технические требования предъявляются к линейному тракту приемника средств радиомониторинга?

14. Какие технические требования предъявляются к обнаружителям?

15. Какие технические требования предъявляются к классификаторам?

16. Какие технические требования предъявляются к устройству частотной автоподстройки частоты?

17. Какие технические требования предъявляются к системе автоматической регулировки усиления?

18. Какие технические требования предъявляются к устройству фазовой автоподстройки частоты?

19. Какие технические требования предъявляются к демодуляторам?

20. Назовите основные области применения аналоговых сложных сигналов?

21. Назовите основные области применения цифровых сложных сигналов?

22. Сравните аналоговые и цифровые системы связи?

23. Какие основные характеристики у двухпозиционных фазоманипулированных сигналов?

24. Какие основные характеристики у четырехпозиционных фазоманипулированных сигналов?

25. Какие достоинства и недостатки у многопозиционных фазоманипулированных сигналов?

26. Какие основные характеристики у псевдослучайной манипулирующей последовательности?

27. Какие основные характеристики у меандровой манипулирующей последовательности?

28. Какие основные характеристики у манипулирующей последовательности на основе кода Баркера?

29. Какие основные характеристики у манипулирующей M-последовательности?

30. Какие основные характеристики у периодических манипулирующих последовательностей?

31. Какие основные характеристики у амплитудно-модулированных сигналов?

## 2. Тесты для самопроверки

**Тест 1.** Чему равна ширина спектра частотно-модулированного сигнала с гармоническим законом, если индекс модуляции равен 10, а частота модуляции равна 10 кГц?

**Ответы:** 1) 10 кГц; 2) 50 кГц; 3) 100 кГц; 4) 280 кГц.

**Тест 2.** При каком значении индекса модуляции частотно-модулированного сигнала с гармоническим законом функция Бесселя нулевого порядка равна 0?

**Ответы:** 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 2,4.

**Тест 3.** При каком значении индекса модуляции частотно-модулированного сигнала с гармоническим законом функция Бесселя первого порядка достигает максимального значения?

**Ответы:** 1) 0,5; 2) 0,8; 3) 3; 4) 1,5.

**Тест 4.** Чему равен коэффициент корреляции частотно-модулированного сигнала с гармоническим законом, если произведения девиации частоты на временной сдвиг равняется 0,5?

**Ответы:** 1) 1; 2) 0,3; 3) 0,1; 4) 0,7.

### 3. Таблица для переводов ответов в оценку

№ теста	Ответ № 1	Ответ № 2	Ответ № 3	Ответ № 4
Тест № 1				✓
Тест № 2				✓
Тест № 3				✓
Тест № 4				✓

Знаком «✓» обозначены правильные ответы. При наличии у студента трех или четырех правильных ответов — оценка «зачет», при прочих вариантах количества правильных ответов — оценка «незачет».

### Список литературы к 1 модулю

1. Дятлов А.П. Обнаружители и измерители параметров сигналов в радио-контроле: Учебное пособие. — Таганрог: ТРТУ, 1993.
2. Дятлов А. П., Кульбикаян Б. Х. Радиомониторинг излучений спутниковых радионавигационных систем. — М.: Радио и связь, 2006.

## 2.2.2. УЧЕБНЫЙ МОДУЛЬ «ОБНАРУЖИТЕЛИ И ИЗМЕРИТЕЛИ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ (ЧМС)»

### Комплексная цель 2 модуля

— изучение принципов построения обнаружителей и измерителей девиации широкополосных частотно-модулированных сигналов.

### Краткое изложение программного материала по 2 модулю

— изучение алгоритмов и структур, принципа действия и методики анализа основных характеристик обнаружителей и измерителей девиации частоты широкополосных ЧМС.

### Проектное задание

Рассчитать величину выходного отношения сигнал/помеха по напряжению  $g$  и нормированного порога  $g_{пор}$  в энергетическом обнаружителе при заданных значениях вероятности ложных тревог  $P_{лт}$  и вероятности правильного обнаружения  $P_{по}$ .

## Квалиметрия по 2 модулю

### 1. Вопросы для самопроверки

1. Какие основные характеристики у гауссовых случайных процессов?
2. Какие основные характеристики у негауссовых случайных процессов?
3. Какие основные характеристики у стационарных случайных процессов?
4. Какие основные характеристики у нестационарных случайных процессов?
5. Какие основные характеристики у эргодических случайных процессов?
6. Какие основные характеристики у неэргодических случайных процессов?
7. Какие должны быть условия приема согласованного по спектру?
8. К чему приводит наличие априорной неопределенности по частоте?
9. Выбор типов обнаружителей в зависимости от уровня априорной неопределенности?
10. Какие достоинства и недостатки у когерентных обнаружителей?
11. Какие достоинства и недостатки у когерентных обнаружителей с квадратурной обработкой?
12. Какие достоинства и недостатки у энергетических обнаружителей?
13. Какие достоинства и недостатки у автокорреляционных обнаружителей?
14. Какие технические требования предъявляются к средствам обработки, обеспечивающим сжатие сложных сигналов во времени?
15. Какие технические требования предъявляются к средствам обработки, обеспечивающих свертку спектра сложных сигналов?
16. Провести сравнение обнаружителей на основе согласованной фильтрации и корреляционной обработки.
17. При каких условиях необходимо использовать для расчета характеристик обнаружения нормальный закон распределения выходного эффекта?
18. При каких условиях необходимо использовать для расчета характеристик обнаружения закон Релея-Райса распределения выходного эффекта?
19. Приведите сравнение характеристик нормального закона и закон Релея-Райса распределения выходного эффекта.
20. Почему снижается помехоустойчивость обнаружения при приеме сигналов на фоне нестационарной гауссовой помехи?
21. Какие основные характеристики у частотно-модулированных сигналов с гармоническим законом?
22. Какие основные характеристики у линейно-частотно-модулированного сигнала?
23. Какие основные характеристики у двухпозиционного частотно-модулированного сигнала?
24. Какие основные характеристики у сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты?
25. Какие основные характеристики у частотно-модулированного сигнала с пилообразным законом изменения частоты?
26. От каких характеристик, перечисленных в вопросах 21—25, зависит



величина базы?

27. Какие достоинства и недостатки у частотно-модулированных сигналов с гармоническим законом изменения частоты по сравнению с фазоманипулированными сигналами?

28. Какие достоинства и недостатки у линейно-частотно-модулированных сигналов по сравнению с фазоманипулированными сигналами?

29. Какие достоинства и недостатки у частотно-модулированных сигналов с пилообразным законом изменения частоты по сравнению с фазоманипулированными сигналами?

30. Какие достоинства и недостатки у сигналов псевдослучайной перестройкой рабочей частоты по сравнению с фазоманипулированными сигналами?

## 2. Тесты для самопроверки

**Тест 1.** Чему равно входное отношение сигнал/шум по мощности, если отношение спектральной плотности сигнала к спектральной плотности помехи равно 10, а ширина спектра сигнала в 10 раз превышает эквивалентную шумовую полосу линейного тракта приемника?

**Ответы:** 1) 10; 2) 5; 3) 3; 4) 1.

**Тест 2.** Чему равен выигрыш в отношении сигнал/шум по напряжению за счет свертки спектра частотно-модулированного сигнала с гармоническим законом изменения частоты, если отношение ширины спектра сигнала к полосе пропускания следящего фильтра равно 100?

**Ответы:** 1) 100; 2) 50; 3) 30; 4) 10.

**Тест 3.** Чему равна разрешающая способность по частоте в последовательном спектральном анализаторе, если скорость перестройки гетеродина по частоте равняется  $10^{10}$  Гц/с?

**Ответы:** 1)  $10^8$  Гц; 2)  $10^7$  Гц; 3)  $10^6$  Гц; 4)  $10^5$  Гц.

**Тест 4.** Какой должна быть верхняя граничная частота фильтра нижних частот в квадратурных каналах автокорреляционного частотного дискриминатора, если частота модуляции равна 10 кГц, а девиация частоты равна 1 МГц?

**Ответы:** 1)  $10^6$  Гц; 2)  $3 \cdot 10^5$  Гц; 3)  $10^5$  Гц; 4)  $\leq 10^4$  Гц.

## 3. Таблица для переводов ответов в оценку

№ теста	Ответ № 1	Ответ № 2	Ответ № 3	Ответ № 4
Тест № 1				✓
Тест № 2				✓
Тест № 3				✓
Тест № 4				✓

Знаком «✓» обозначены правильные ответы. При наличии у студента трех или четырех правильных ответов — оценка «зачет», при прочих вариантах количества правильных ответов — оценка «незачет».

## **Список литературы ко 2 модулю**

1. Дятлов А. П., Дятлов П. А. Анализ и моделирование обнаружителей и демодуляторов связанных сигналов: Учебное пособие № 3793. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005.
2. Дятлов А. П., Дятлов П. А. Анализ и моделирование демодуляторов сигналов: Методические указания к лабораторно-практическим занятиям № 3500. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.

### **2.2.3. УЧЕБНЫЙ МОДУЛЬ «АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ЧАСТОТНЫЕ ДИСКРИМИНАТОРЫ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ СРЕДНЕЙ И МОДУЛИРУЮЩЕЙ ЧАСТОТ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ (ЧМС)»**

#### **Комплексная цель 3 модуля**

— изучение принципов построения автокорреляционных частотных дискриминаторов, предназначенных для оценивания средней и модулирующей частот широкополосных частотно-модулированных сигналов.

#### **Краткое изложение программного материала по 3 модулю**

— изучение алгоритмов и структур, принципа действия и методики анализа основных характеристик автокорреляционных частотных дискриминаторов, предназначенных для оценивания средней и модулирующей частот широкополосных частотно-модулированных сигналов.

#### **Проектное задание**

Рассчитать значения среднеквадратичной погрешности оценивания частоты в автокорреляционном частотном дискриминаторе при известных таких параметрах, как шумовая полоса пропускания линейного тракта приемника и выходное отношение сигнал/помеха по напряжению.

#### **Квалиметрия по 3 модулю**

##### **1. Вопросы для самопроверки**

1. Приведите алгоритм и структуру автокорреляционного частотного дискриминатора с типовой структурой?
2. Приведите алгоритм и структуру автокорреляционного частотного дискриминатора с корреляционно-фильтровой обработкой?
3. Приведите алгоритм и структуру автокорреляционного частотного дискриминатора с квадратурной обработкой?
4. Перечислите основные характеристики автокорреляционных частотных дискриминаторов.
5. Произведите сравнение различных типов автокорреляционных частотных дискриминаторов.
6. Произведите сравнение автокорреляционного частотного дискриминатора с частотным дискриминатором на расстроенных контурах.
7. Произведите сравнение автокорреляционного частотного дискримина-

тора с цифровым частотомером.

8. Произведите сравнение автокорреляционного частотного дискриминатора с последовательным спектроанализатором.

9. Произведите сравнение автокорреляционного частотного дискриминатора с параллельным спектроанализатором.

10. Назовите области применения корреляционных методов обработки сигналов в радиомониторинге.

11. Назовите области применения спектральных методов обработки сигналов в радиомониторинге.

12. Какая связь крутизны дискриминационной характеристики автокорреляционного частотного дискриминатора с основными характеристиками средств радиомониторинга?

13. Какая связь среднеквадратичной погрешности оценивания частоты в автокорреляционном частотном дискриминаторе с шириной рабочего частотного диапазона?

14. Чем обусловлена многозначность отсчета частоты в автокорреляционных частотных дискриминаторах?

15. Чем определяется количество шкал в автокорреляционном частотном дискриминаторе?

16. От каких характеристик средств радиомониторинга зависит чувствительность автокорреляционного частотного дискриминатора?

17. Чем объясняется возможность уменьшения среднеквадратичной погрешности оценивания частоты в автокорреляционном частотном дискриминаторе при приеме периодических частотно-модулированных сигналов?

18. Из каких соображений выбирается величина временного сдвига, вносимого линией задержки, входящей в состав автокорреляционного частотного дискриминатора?

19. Из каких соображений выбирается верхняя граничная частота фильтра нижних частот в квадратурных каналах автокорреляционного частотного дискриминатора?

20. Чем отличается обработка информации в автокорреляционных частотных дискриминаторах в режимах оценивания средней частоты и оценивания девиации частоты?

21. Чем отличается обработка информации в автокорреляционных частотных дискриминаторах при оценивании средней частоты и модулирующей частоты?

22. Чем отличается обработка информации в автокорреляционных частотных дискриминаторах в режимах оценивания средней частоты и амплитуды сигнала?

23. Чем отличается обработка информации в автокорреляционных частотных дискриминаторах в режимах оценивания средней частоты и интервала корреляции сигналов?

24. Какая существует связь между среднеквадратичной погрешностью оценивания частоты и диапазоном однозначного отсчета частоты в автокорреляционном частотном дискриминаторе?

25. Какая существует связь между среднеквадратичной погрешностью оценивания частоты и величиной модулирующей частоты частотно-модулирующего сигнала в автокорреляционном частотном дискриминаторе?

26. Какая существует связь между среднеквадратичной погрешностью оценивания частоты и количеством шкал, используемых в автокорреляционном частотном дискриминаторе?

27. Какая существует связь между среднеквадратичной погрешностью оценивания частоты и постоянной времени усреднения на выходе автокорреляционного частотного дискриминатора?

28. Перечислите энергетические информативные признаки частотно-модулированных сигналов?

29. Перечислите частотные информативные признаки частотно-модулированных сигналов?

30. Перечислите временные информативные признаки частотно-модулированных сигналов?

## 2. Тесты для самопроверки

**Тест 1.** Чему должна быть равна минимальная крутизна дискриминационной характеристики автокорреляционного частотного дискриминатора при заданной ширине рабочего частотного диапазона  $\Delta f_n = 10^7$  Гц и известной ширине спектра сигнала  $\Delta f_c = 10^6$  Гц?

**Ответы:** 1)  $10^{-6}$  1/Гц; 2)  $3 \cdot 10^{-6}$  1/Гц; 3)  $10^{-7}$  1/Гц; 4)  $3,14 \cdot 10^{-7}$  1/Гц.

**Тест 2.** Чему должна быть равна минимальная крутизна дискриминационной характеристики автокорреляционного частотного дискриминатора при заданном рабочем частотном диапазоне  $\Delta f_n = 10^7$  Гц и известном диапазоне однозначного отсчета частоты  $\Delta f_{\text{одн}} = 10^5$  Гц?

**Ответы:** 1)  $2 \cdot 10^{-4}$  1/Гц; 2)  $3 \cdot 10^{-6}$  1/Гц; 3)  $10^{-7}$  1/Гц; 4)  $3,14 \cdot 10^{-5}$  1/Гц.

**Тест 3.** Чему должна быть равно максимальное значение крутизны дискриминационной характеристики автокорреляционного частотного дискриминатора при радиомониторинге частотно-модулированного сигнала с частотой модуляции  $f_\Omega = 10$  кГц и девиацией частоты  $f_{\text{дев}} = 10^5$  Гц?

**Ответы:** 1)  $10^{-5}$  1/Гц; 2)  $2 \cdot 10^{-5}$  1/Гц; 3)  $6 \cdot 10^{-5}$  1/Гц; 4)  $3,14 \cdot 10^{-4}$  1/Гц.

**Тест 4.** Рассчитать допустимое значение среднеквадратичной погрешности оценивания частоты в автокорреляционном частотном дискриминаторе при заданной ширине рабочего частотного диапазона  $\Delta f_n = 10^7$  Гц и эквивалентной шумовой полосе пропускания линейного тракта приемника  $\Delta f_s = 6 \cdot 10^5$  Гц для доверительной вероятности  $P_{\text{дов}} = 0,997$ ?

**Ответы:** 1)  $10^7$  /Гц; 2)  $10^6$  Гц; 3)  $3 \cdot 10^5$  Гц; 4)  $10^5$  Гц.

### 3. Таблица для переводов ответов в оценку

№ теста	Ответ № 1	Ответ № 2	Ответ № 3	Ответ № 4
Тест № 1				✓
Тест № 2				✓
Тест № 3				✓
Тест № 4				✓

Знаком «✓» обозначены правильные ответы. При наличии у студента трех или четырех правильных ответов — оценка «зачет», при прочих вариантах количества правильных ответов — оценка «незачет».

#### Список литературы ко 3 модулю

1. Дятлов А.П. Автокорреляционные частотные дискриминаторы: Учебное пособие. — Таганрог: ТРТУ, 1988.
2. Дятлов А. П., Кульбикаян Б. Х. Радиомониторинг излучений спутниковых радионавигационных систем. — М.: Радио и связь, 2006.
3. Дятлов А. П., Дятлов П. А. Руководство к циклу лабораторных работ «Моделирование автокорреляционных частотных дискриминаторов» № 4212. — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008.
4. Дятлов А. П., Дятлов П. А. Анализ и моделирование обнаружителей и демодуляторов связных сигналов: Учебное пособие № 3793. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005.
5. Дятлов А. П., Дятлов П. А. Анализ и моделирование демодуляторов сигналов: Методические указания к лабораторно-практическим занятиям № 3500. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003.

### **3. Формы и методы контроля усвоения программного материалы**

#### **3.1. Форма контроля**

3.1.1. Совместная работа преподаватель—студент.

3.1.2. Проверка знаний теории.

3.1.3. Проверка результатов расчетов по рефератам, контрольным и индивидуальным работам.

#### **3.2. Методы контроля**

3.2.1. Контрольные опросы.

3.2.2. Проведение лекционно-практических занятий.

### **4. Индивидуальные занятия**

4.1. Ознакомление с системой моделирования MicroCap V—IX (4 часа).

4.2. Анализ типового радиозвена.

а) энергетический обнаружитель (4 часа);

б) автокорреляционное устройство (4 часа).

4.3. Анализ демодуляторов ФМ сигналов (6 часов)

### **5. Формы и методы самостоятельной работы**

5.1. Формы самостоятельной работы по курсу.

5.1.1. Изучение отдельных вопросов теории, подробно и доступно изложенных в учебных пособиях.

5.1.2. Выполнение типовых расчетов, связанных с решением учебных и инженерных задач.

5.2. Методы проведения контроля самостоятельной работы по курсу.

5.2.1. Совместная работа преподаватель—студент.

5.2.2. Консультации.

5.2.3. Лекционно-практические занятия.

5.2.4. Обсуждение итогов расчетов.

5.2.5. Экспертиза технических решений.

### **6. Список вопросов к зачету**

1. Какие задачи радиомониторинга решаются в ходе первичной обработки информации?

2. Какие задачи радиомониторинга решаются в ходе вторичной обработки информации?

3. Какие задачи радиомониторинга решаются в ходе третичной обработки информации?

4. Какие задачи радиомониторинга решаются на этапе экспресс-анализа?

5. Какие задачи радиомониторинга решаются в режиме детального анализа?

6. Какие задачи радиомониторинга решаются в режиме перехвата инфор-

мации?

7. Какие предъявляются требования к моделям радиообстановки при проведении радиомониторинга?

8. Сравнение аналоговых и цифровых систем связи.

9. К чему приводит наличие априорной неопределенности по частоте?

10. Выбор типа обнаружителей в зависимости от уровня априорной неопределенности.

11. Требования к устройствам обработки информации для обеспечения сжатия сложных сигналов во времени.

12. Требования к устройствам обработки информации для обеспечения свертки спектра сложных сигналов.

13. Произвести сравнение обнаружителей на основе согласованной фильтрации и корреляционной обработки.

14. Сравните характеристики нормального и Релея-Райса законов распределения случайных процессов.

15. Почему снижается помехоустойчивость обнаружения при приеме сигналов на фоне нестационарной гауссовой помехи?

16. Приведите основные характеристики частотно-модулированного сигнала с гармоническим законом.

17. Приведите основные характеристики сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты.

18. Достоинства и недостатки частотно-модулированного сигнала с гармоническим законом по сравнению с фазоманипулированными сигналами.

19. Приведите алгоритм и структуру автокорреляционного частотного дискриминатора с квадратурной обработкой.

20. Перечислите основные характеристики автокорреляционных частотных дискриминаторов.

21. Произведите сравнение автокорреляционный частотный дискриминатор с частотным дискриминатором на расстроенных контурах.

22. Произведите сравнение автокорреляционного частотного дискриминатора с цифровыми частотомерами.

23. Какая связь существует между величиной крутизны дискриминационной характеристики автокорреляционного частотного дискриминатора и основными характеристиками средств радиомониторинга?

24. Чем обусловлена многозначность отсчета частоты в автокорреляционных частотных дискриминаторах?

25. От каких характеристик средств радиомониторинга зависит чувствительность автокорреляционного частотного дискриминатора?

26. Чем объясняется возможность уменьшения среднеквадратичной погрешности оценивания частоты в автокорреляционном частотном дискриминаторе при приеме периодических частотно-модулированных сигналов?

27. Чем отличается обработка информации в автокорреляционных частотных дискриминаторах в режимах оценивания средней частоты и оценивания девиации частоты?

28. Чем отличается обработка информации в автокорреляционных частот-

ных дискриминаторах при оценивании средней частоты и модулирующей частоты?

29. Какая существует связь между среднеквадратичной погрешностью оценивания частоты и диапазоном однозначного отсчета частоты в автокорреляционном частотном дискриминаторе?

30. Перечислите частотные информативные признаки частотно-модулированных сигналов?

## 7. ПРИМЕР ЗАДАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПРОРАБОТКЕ

### 7.1. Анализ основных характеристик у радиоканала, представленного в виде типового радиозвена (ТРЗ)

По заданным:

а) структуре радиоканала, представленного на рис. 1, где ИС — источник сигнала;  $A_{\Pi}$ ,  $A_{\text{ПР}}$  — антенны передатчика и приемника;  $r$  — расстояние между антеннами;  $У$  — усилитель высокой частоты;  $С_{\text{м}}$  — смеситель;  $С_{\text{Ч}}$  — синтезатор частоты;  $УПЧ$  — усилитель промежуточной частоты;  $ИП$  — измерительный преобразователь (1-ый режим: обнаружение (квадратичный детектор); 2-ой режим (когерентный детектор));  $ВУ$  — видеоусилитель;  $РУ$  — решающее устройство;  $\Phi$  — фидер;

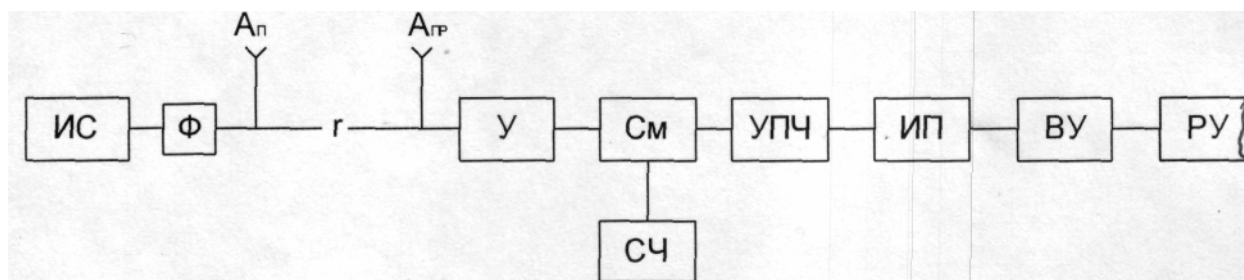


Рис. 1

б) плотности потока мощности на входе  $A_{\text{ПР}}$   $W(\text{Вт}/\text{м}^2)$ ;  $r(\text{м})$ ;  $\lambda(\text{м})$ ; коэффициенту шума приемника  $N_{\text{ш}}$ ; входного сопротивления приемника  $R_{\text{вх}}(\text{Ом})$ ; входного сопротивления  $РУ$   $R_{\text{ру}}(\text{Ом})$ ; напряжение на входе  $РУ$   $U_{\text{ру}}(\text{В})$ ; отношения сигнал/помеха по напряжению на выходе  $ВУ$   $g$ ; виду модуляции (ФМ-2, ФН-4), рассчитать мощность источника сигнала  $P_{\text{ИС}}$  коэффициенты усиления  $G_{\Pi}$ ,  $G_{\text{ПР}}$  антенн  $A_{\Pi}$  и  $A_{\text{ПР}}$ , добротность приемного устройства  $Q_{\text{ПР}} = G_{\text{ПР}}/T_{\Sigma}$ , реальную чувствительность  $P_{\text{ПР}}$ , максимально допустимую скорость передачи информации  $R(\text{бит}/\text{с})$ , количество каскадов в приемном устройстве  $n_{\text{ПР}}$ .

### 7.2. Методические указания к заданию «Анализ основных характеристик радиоканала, представленного в виде ТРЗ».

1. Анализ характеристик ИС ( $P_{\text{ИС}}$ ,  $G_{\Pi}$ ) осуществляется на основе использования уравнения для расчета плотности потока мощности на выходе  $A_{\text{ПР}}$   $P_{\text{ИС}}G_{\Pi} = 4\pi r^2 W/b_{\text{ПР}}$ ,  $P_{\Sigma} = 10\lg P_{\text{ИС}}G_{\Pi}(\text{дБВт})$ , где  $b_{\text{ф}} = 0,8$  — потери в фидере;  $P_{\Sigma}$  — ЭИИМ.



При использовании зеркальных антенн в ИС диаметр находится в пределах  $d_{\Pi} \in [0,5;5]$  м. Для выбранного студентом значения  $d_{\Pi}$  имеем

$$G_{\Pi} = \left( \frac{\pi d_{\Pi}}{\lambda} \right)^2 \eta_g,$$

где  $\eta_g = 0,55$  — коэффициент использования поверхности антенны.

После расчета  $G_{\Pi}$  имеем  $P_{ИС} = \frac{4\pi r^2 W}{b_{\phi} G_{\Pi}}$ .

2. Анализ основных характеристик приемного устройства (Пр) может быть выполнен на основе соотношений

$$P_{вх} = P_{\Pi P}; \quad P_{вх} = W S_{\Pi P}; \quad S_{\Pi P} = \frac{\pi d_{\Pi P}^2}{4} \eta_g,$$

$P_{\Pi P} = kT_0 N_{ш} \Delta f_{ЛТ} g_{вх}^2$ ,  $kT_0 N_{ш} = 4 \cdot 10^{-2}$  Вт/Гц чувствительность приемника (ПрУ);  $S_{\Pi P}$  — эквивалентная площадь приема антенны  $A_{\Pi P}$ ;  $N_{ш}$  — коэффициент шума приемника (ПрУ);  $\Delta f_{ш}$  — эквивалентная шумовая полоса пропускания линейного тракта (ЛТ) ПрУ;  $g_{вх}^2$  — отношение сигнал/помеха по мощности на входе приемника (ПрУ);  $\eta_g = 0,55$ ;  $P_{вх}$  — мощность сигнала на входе ПрУ.

3. Анализ добротности  $Q_{\Pi P}$  осуществляется на основе использования соотношений  $Q_{\Pi P} = 10 \lg G_{\Pi P} / T_{\Sigma}$  (дБ/К);  $G_{\Pi P} = \left( \frac{\pi d_{\Pi P}}{\lambda} \right)^2 \eta_g$ ;  $T_{\Sigma} = T_0 N_{ш}$ ;  $T_0 = 273$  °К;

$$T_{\Pi P} = (N_{ш} - 1) T_0,$$

где  $G_{\Pi P}$  — коэффициент усиления антенны  $A_{\Pi P}$ ;  $T_{\Sigma}$  — эквивалентная шумовая температура ПрУ совместно с антенно-фидерным трактом по шкале Кельвина;  $T_{\Pi P}$  — эквивалентная шумовая температура собственно ПрУ по шкале Кельвина.

4. При анализе  $g_{вх}^2$  необходимо учитывать, что ИП ПрУ работает в двух режимах: обнаружения и демодуляции.

а) Для режима энергетического обнаружения при  $g_{вх}^2 < 1$  и выбранного студентом  $\Delta f_{ЛТ} T \in [10^2, 10^4]$ ;  $g_{вх1}^2 = \frac{g}{\sqrt{\Delta f_{ЛТ}}}$ ,  $T = K_{\phi} / \Delta f_{ЛТ}$ , где  $T$  — постоянная интегрирования в режиме обнаружения,  $K_{\phi} \in [10^2, 10^4]$  — коэффициент фильтрации.

б) Для режима демодуляции на основе использования когерентного детектора имеем

$$g_{вх2}^2 = \frac{g^2}{\cos^2 \Delta\phi}, \quad \cos \Delta\phi = 1 - \Delta\phi^2 / 2; \quad \Delta\phi < 1 \text{ раз, где } \Delta\phi \text{ — фазовый сдвиг между}$$

входным сигналом и опорным напряжением за счет наличия фазо-частотных искажений в ЛТ ПрУ.

5. Анализ полосы пропускания линейного тракта ПрУ А/лг, постоянна ин-

тегрирования ВУ Т и максимально возможной скорости передачи информации R осуществляется из следующих соотношений:

$$\Delta f_{ЛТ} = P_{ПР}/kT_0 N_{ш} g_{ВХ}^2; R = \Delta f_{ЛТ} \log_2 M/(1 \div 1,4); T = K_{Ф}/\Delta f_{ЛТ};$$

$$M_1 = 2 \text{ для ФМ-2}; M_2 = 4 \text{ для ФМ-4}.$$

6. Анализ коэффициентов передачи и количества каскадов в ПрУ в режиме обнаружения осуществляется на основе использования соотношения Найквиста

$$N_{ш} = N_{У} + \frac{N_{СМ} - 1}{K_{РУ}} + \frac{N_{ПЧ} - 1}{K_{РУ} K_{РСМ}} + \frac{N_{Д} - 1}{K_{РУ} K_{РСМ} K_{РПЧ}} + \frac{N_{ВУ} - 1}{K_{РУ} K_{РСМ} K_{РПЧ} K_{РД}};$$

$$K_{РЛТ} = K_{РУ} K_{РСМ} K_{РПЧ}; K_{РСМ} = 0,1; K_{РД} = 100 P_{Д} \text{ при } P_{Д} \leq 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$N_{СМ} = N_{ПЧ} = N_{Д} = N_{ВУ} = 3,$$

где  $N_{У}$ ,  $N_{СМ}$ ,  $N_{ПЧ}$ ,  $N_{Д}$ ,  $N_{ВУ}$  — коэффициенты шума усилителя высокой частоты (У), смесителя (СМ), УПЧ, квадратичного детектора (Д), видеоусилителя (ВУ);  $K_{РУ}$ ,  $K_{РСМ}$ ,  $K_{РПЧ}$ ,  $K_{РД}$ ,  $K_{РВУ}$ ,  $K_{РЛТ}$ ,  $K_{Р}$  — коэффициенты передачи по мощности У, СМ, УПЧ, Д, ВУ, линейного тракта и приемника в целом;  $P_{Д}$  — мощность сигнала на входе детектора;  $P_{РУ}$  — мощность сигнала на входе РУ.

Коэффициент передачи ПрУ равен

$$K_{Р} = K_{РЛТ} K_{РД} K_{РВУ} = P_{РУ}/P_{ПР}; P_{РУ} = \frac{U_{РУ}^2}{R_{РУ}} = U_{ПОР}.$$

6.1. Для случая, когда  $N_{ш} < 10$  можно использовать соотношения

$$N_{ш} = N_{У} + \frac{N_{ПЧ} - 1}{K_{РУ} K_{РСМ}} \text{ при } K_{РЛТ} K_{РД} \geq 10, K_{РУ} K_{РСМ} \geq 1;$$

$$K_{Р} = 10 K_{РВУ}; P_{Д} = K_{РЛТ} P_{ПР}; K_{РУ} = 100 K_{РЛТ} P_{ПР};$$

$$K_{РЛТ} \geq \frac{1}{\sqrt{10 P_{ПР}}} \approx K_{ПРЧ}; K_{РСМ} = 10^{-1}; K_{РУ} \geq 10; K_{Р} = P_{ПОР}/P_{ПР}; K_{РВУ} = P_{ПОР}/10 P_{ПР}.$$

6.2. Для случая, когда  $N_{ш} > 100$  можно использовать соотношения

$$N_{ш} = \frac{N_{ВУ} - 1}{K_{РЛТ} K_{РД}} \text{ при } K_{РЛТ} K_{РД} \geq 10^{-2}, K_{РЛТ} = \sqrt{\frac{2}{10^2 N_{ш} P_{ПР}}}; K_{Д} = K_{РЛТ} K_{ПР}; K_{РСМ} =$$

$$10^{-1};$$

$$K_{РД} = 14 \sqrt{\frac{P_{ПР}}{N_{ш}}} K_{РВУ} = K_{Р}/K_{РЛТ} K_{РД};$$

$$K_{Р} = P_{ПОР}/P_{ПР}; K_{РД} = K_{РЛТ}/K_{РСМ} = \sqrt{\frac{2}{N_{ш} P_{ПР}}}.$$

7. Определение количества каскадов в ПрУ

$$K_{Р} = K_{РУ} K_{РСМ} K_{РПЧ} K_{РД} K_{РВУ} = P_{ПОР}/P_{ПР};$$

$$K_{РПЧ} = K_{УПЧ}^2; K_{РВУ} = K_{УВУ}^2,$$

$K_{УПЧ}$ ,  $K_{УВУ}$  — коэффициенты усиления УПЧ и ВУ по напряжению.

Количество каскадов в УВЧ  $n_{У}$  определяется из соотношения

$n_{У} = \text{ent}[\log_{K_{У1}}, K_{РУ}] + 1$ ; где  $K_{У1}$  — коэффициент передачи УВЧ по мощности;  $\text{Ent}[\dots]$  — целое число (целая часть какого-то числа).

Количество каскадов в УПЧ  $n_{ПЧ}$  ИВУ  $n_{ВУ}$  определяется из соотношений

$$n_{ПЧ} = \text{ent}[\log_{K_{ПЧ1}}, K_{УПЧ}] + 1,$$

$$n_{\text{ВУ}} = \text{ent}[\log_{K_{\text{ВУ}1}}, K_{\text{УВУ}}] + 1,$$

где  $K_{\text{ПЧ}1}$ ,  $K_{\text{ВУ}1}$  — коэффициенты усиления одного каскада УПЧ и ВУ по напряжению.

В тех случаях, когда для реализации СМ и ИП требуется использовать по одному каскаду, общее количество каскадов в ПрУ равно

$$n_{\text{ПР}} = n_{\text{У}} + n_{\text{ПЧ}} + n_{\text{ВУ}} + 2.$$

Общие исходные данные

$$R_{\text{ВХ}} = 50 \text{ Ом}; R_{\text{РУ}} = 1000 \text{ Ом}; U_{\text{РУ}} = 1 \text{ В}; g = 3,1 \text{ (10 дБ)};$$

$$N_{\text{СМ}} = N_{\text{ПЧ}1} = N_{\text{Д}} = N_{\text{ВУ}} = 3;$$

$$K_{\text{У}1} = K_{\text{ПЧ}1} = K_{\text{ВУ}1} = 10; K_{\text{РСМ}} = 10^{-1};$$

$$b_{\Phi} = 0,8; \eta_g = 0,55; \Delta\phi \in [0,1; 1] \text{ рад};$$

$$\Delta f_{\text{ЛГ}} \text{ Г} \in [10^2, 10^4]; d_{\text{П}} \in [0,5; 5] \text{ м}; d_{\text{ПОР}} \in [0,5; 5] \text{ м}$$

Исходные данные для различных вариантов

№ варианта	W (Вт/м <sup>2</sup> )	r (м)	$\lambda$ (м)	Вид модуляции (ФМ-2, ФМ-4)	N <sub>ш</sub>
1					

# КАРТА

методической обеспеченности учебной дисциплины

*Проектирование устройств обработки сигналов*

для магистров образовательной профессиональной программы

по направлению «Радиотехника»

Автор, название, год издания	Количество экземпляров	
	На кафедре	НТБ

## 1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Дятлов А.П. <i>Автокорреляционные частотные дискриминаторы: Учебное пособие. — Таганрог: ТРТУ, 1988.</i>	30	30
2. Дятлов А.П. <i>Анализ и моделирование обнаружителей и демодуляторов связанных сигналов. — Таганрог: ТРТУ, 2005.</i>	30	40
3. Дятлов А. П., Кульбикаян Б. Х. <i>Радиомониторинг излучений спутниковых радионавигационных систем. — М.: Радио и связь, 2006.</i>	10	10

## 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

---

---

## 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ, КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ТВОРЧЕСКИМ ЗАДАНИЯМ

1. Дятлов А.П. <i>«Моделирование генераторов ФМС» Методические указания № 3880. Таганрог, ТРТУ, 2006.</i>	30	30
2. Дятлов А.П. <i>«Моделирование АЧД» Методические указания № 4212. Таганрог, ТРТУ, 2008.</i>	30	30

## 4. ОБУЧАЮЩИЕ ПРОГРАММЫ: АОС, АУК, уч.САПР, АСНИ и др.

1. <i>Micro-Cap (5—9);</i>
----------------------------