

Приложение 2  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Институт физики

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по научной деятельности КФУ  
Проф. Д.К. Нургалеев

" 29 " сентября 20 15 г.



**Программа дисциплины**

Цифровая связь Б1.В.ДВ

Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия  
Профиль подготовки: 01.04.03 - Радиофизика  
Квалификация выпускника: «Исследователь. Преподаватель-исследователь»

Казань 2015

## **1. КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ**

Целью образовательной программы является подготовка специалистов, способных проводить самостоятельные и научные исследования, разработку приборов и систем передачи данных, основанных на пространственном, временном и кодовом разделении каналов (на примере OFDM модуляции и многоантенных технологий ММО). Основной целью подготовки является объединение теоретических и практических навыков, получаемых во время обучения и выполнения лабораторных работ.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Данная учебная дисциплина включена в раздел «Б1.В.ДВ Дисциплины по выбору» основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре. Осваивается на 2 году обучения, 4семестр. Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке аспирантов.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

Обучающийся, завершивший изучение дисциплины, должен

знать:

- виды модуляций сигналов, оптимизированных для каналов с заданными частотными свойствами, и аппаратные методы их организации;
- способы ортогонализации сигналов, как во временной, так и пространственных областях;
- методы измерений параметров различных узлов современной связной радиоаппаратуры – усилителей, смесителей, модуляторов, направленного ответвителя, или моста, фильтров и усилителей мощности с помощью анализатора цепей, спектроанализатора и векторного генератора сигналов в сантиметровом диапазоне

уметь:

- осуществлять выбор набора ортогональных сигналов, с помощью соответствующего оборудования синтезировать их, так чтобы полученный цифровой канал оказался максимально защищенным от межсимвольной и межканальной интерференции;
- осознанно применять идеи оптимальной спектральной эффективности системы, максимальной скорости передачи данных и емкости сети при решении задач создания радио соединений в беспроводных системах связи с множественностью каналов;
- проводить непосредственные измерения параметров узлов современной связной радиоаппаратуры;
- пользоваться литературными источниками

владеть:

- навыками оптимального выбора видов модуляции для передачи цифровой информации по каналу с заданной частотной характеристикой;
- навыками работы на современной аппаратуре для сбора и обработке экспериментальных данных;
- компьютерными технологиями для обработки и выделения информации из экспериментальных данных;
- навыками создания текстов, описываемых исследуемую тему;

демонстрировать способность и готовность:

- критически анализировать проблемы по передаче сигналов с цифровой модуляцией;
- самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы обработки сигналов;
- самостоятельно использовать пакеты прикладных программ для решения поставленных задач;
- излагать результаты исследований в виде отчетов, статей и презентаций.

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции: УК-1, УК-3, УК-5, ОПК-1, ПК-1, ПК-2.

<b>Шифр компетенции</b>	<b>Расшифровка приобретаемой компетенции</b>
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач
УК-5	способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
ПК-1	способность в соответствии с учебным планом самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области Радиофизики, и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта
ПК-2	способность принимать участие в разработке новых моделей и методов научного исследования в области радиофизики

#### **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

##### **4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины (в часах) по видам нагрузки обучающегося и по разделам дисциплины**

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточной аттестации по дисциплине: зачет в 4 семестре.

	<b>Раздел дисциплины</b>	<b>Семестр</b>	<b>Лекции</b>	<b>Практические занятия</b>	<b>Лабораторные работы</b>	<b>Самостоятельная работа</b>
1.	Тема 1. Спектральная эффективность каналов	2	2			10
2.	Тема 2. Демодуляция (обнаружение) сигналов с различной модуляцией на фоне шума.	2	4	8		10
3.	Тема 3. Канальное (помехоустойчивое) кодирование и декодирование.	2	2			10
4.	Тема 4. Основные методы разделения пользователей в системах связи.	2	2			10

5.	Тема 5. Передача и прием информации в OFDM-системах связи.	2	4	8		10
6.	Тема 6. Генераторы псевдослучайных последовательностей	2	2	2		10
7.	Тема 7. Разнесенная передача. Спектральная эффективность ММО-систем связи.	2	2			12
8.	Итоговая форма контроля	2	0	0		Зачет
8.	Итого		18	18	0	72

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Спектральная эффективность каналов

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Спектр дискретного сигнала. Количество информации в дискретных сообщениях. Модели каналов без памяти (двоичный симметричный канал, дискретный канал, канал с дискретным входом и непрерывным выходом). Спектральная эффективность этих каналов. Шумы в электрических схемах: равновесные флуктуации (тепловой шум, шум Найквиста, шум Джонсона), дробовой и фликкерный (или  $1/f$ ) шумы. Эквивалентные схемы. Способы описания и измерения шумов усилителей. Основные методы модуляции: амплитудная, амплитудная с подавлением несущей, частотная, фазовая, квадратурная. Сравнение их характерных черт и устойчивость к воздействию шума.

### Тема 2. Демодуляция (обнаружение) сигналов с различной модуляцией на фоне шума.

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Основные схемы аналоговых приемников. Приемник прямого усиления. Гетеродинный и супергетеродинный приемник. Приемник прямого преобразования. Основные параметры. Чувствительность, избирательность. Подавление зеркального канала. Динамический диапазон. Показатели воздействия перекрестной модуляции (внеполосных сигналов) и интермодуляционных помех. Смешанные аналого-цифровые радиоприемники или программно-определяемая радиосистема (Software-defined radio, SDR). Особенности реализации SDR. Цифровые синтезаторы DDS (Direct Digital Synthesizer).

Корреляционный демодулятор (основные вероятностные характеристики сигнала и шума на выходе корреляционного приемника, выходное ОСШ, примеры). Согласованный фильтр как демодулятор (импульсная характеристика, передаточная функция, выходное ОСШ, примеры). Оптимальный детектор для модуляции без памяти. Критерий максимума апостериорной вероятности и критерий максимального правдоподобия при детектировании сигналов. Вероятность битовой и символьной ошибки в гауссовом шумовом канале для 2-, 4-ФМ, 16- и 64-КАМ модуляций, а также для сигналов частотной модуляции. Понятие коэффициента использования полосы. Два основных класса цифровых систем связи - системы с передачей ортогональных или неортогональных сигналов.

#### *практическое занятие (8 часа(ов)):*

Вывод уравнений из полной системы уравнений гидродинамики для реальных физических сред. Обобщение уравнений с учетом дисперсионных эффектов высшего порядка, диссипации неустойчивостей. Определение параметров радиоприемных и радиопередающих узлов сантиметрового диапазона

Определение характеристик малошумящего усилителя, усилителя мощности, смесителя и фильтра в гигагерцовом диапазоне с помощью векторного анализатора (VectorNetworkAnalyzer) и анализатора спектра (SpectrumAnalyzer). В настоящее время широкую популярность получили цифровые синтезаторы частоты DDS(DirectDigitalSynthesizer). На примере DDS в виде микросхемы AD9959 изучаются способы управления данной микросхемой и ее спектральные характеристики.

1. Выделение и определение расположения сигнала заданной формы из аддитивной его смеси с шумом.

2. Определение характеристик усилителя мощности с помощью векторного анализатора
3. Определение характеристик усилителя мощности с помощью анализатора спектра
4. Определение характеристик фильтра с помощью векторного анализатора
5. Определение характеристик малошумящего усилителя с помощью анализатора спектра
6. Определение характеристик смесителя с помощью векторного анализатора
7. Программирование рабочих режимов цифрового синтезатора (DDS)
8. Изучение спектральных характеристик цифрового синтезатора (DDS) с помощью анализатора спектра

**Тема 3.** Канальное (помехоустойчивое) кодирование и декодирование.

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Сверточный кодер. Различные представления сверточного кодера (векторы связи, импульсная характеристика, полиномиальное представление, диаграмма состояний и древовидная диаграмма, решетчатая диаграмма). Физический смысл канального кодирования. Декодирование по методу максимального правдоподобия. Мягкое и жесткое принятие решений. Алгоритм сверточного декодирования Витерби. Свойства сверточных кодов (минимальный просвет, способность к исправлению ошибок, эффективность).

**Тема 4.** Основные методы разделения пользователей в системах связи.

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Сравнение производительности систем связи с временным и частотным разделением пользователей. Кодовое разделение пользователей в CDMA-системах связи. Кодовые псевдошумовые последовательности Уолша. Rake-приёмник (приёмник разнесённых сигналов). Пространственное разделение пользователей.

**Тема 5.** Передача и прием информации в OFDM-системах связи.

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Ортогональные многомерные сигналы с частотным сдвигом. Формирование OFDM-сигнала. Прием OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы.

OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing) мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) модуляция как методика борьбы с затуханием высокочастотной составляющей, связанной малой частотной полосой пропускания в длинных кабелях и простых телефонных проводах, без использования сложных фильтров-эквалайзеров. Реализация множества каналов с низкой символьной скоростью передачи как способ ослабления временного рассеяния и межсимвольной интерференции. Аппаратная реализация узлов OFDM. Блоки, реализующие прямое и обратное преобразование Фурье. Квадратурный генератор.

**Практическое занятие (8 часа(ов)):** Аппаратная реализация узлов OFDM.

Разработка блоков, выполняющие генерацию ортогональных сигналов (поднесущих) для заданной последовательности и декодирующие эту последовательность после приема ортогональных сигналов (реализация обратного и прямого преобразования Фурье). Сначала работа выполняется в среде моделирования, затем реализуется на ПЛИС. В конце всей работы изменяются частотные свойства радиоканала и изучаются способы компенсации возникающих искажений.

**Тема 6.** Генераторы псевдослучайных последовательностей

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Детерминированные генераторы псевдослучайных последовательностей. Генераторы псевдослучайных последовательностей с источником энтропии. Базовая схема аппаратного генератора псевдослучайной последовательности - сдвиговый регистр с линейными обратными связями (LFSR – Linear Feedback Shift Register). Генерация примитивных многочленов.

Способы улучшения криптостойкости генерируемых последовательностей. Программная (микропроцессорная) и аппаратная (HDL) реализация генераторов.

**Практическое занятие (2 часа(ов)):** Аппаратная реализация генераторов псевдослучайных последовательностей.

В работе необходимо поэтапно разработать блоки, выполняющие генерацию псевдослучайной последовательности для заданного преподавателем полинома и закодировать с его помощью передаваемую информацию, после чего декодировать ее с помощью второго генератора псевдослучайной последовательности. Сначала работа выполняется в среде моделирования, затем реализуется на ПЛИС. В конце всей работы первоначальный генератор заменить на генератор с большей криптостойкостью генерируемых последовательностей.

**Тема 7. Разнесенная передача. Спектральная эффективность ММО-систем связи. лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Неадаптивная и адаптивная разнесенные передачи. Виды неадаптивной разнесенной передачи - фазовая, временная, ортогональная и пространственно-временная. Адаптивная разнесенная передача. Сравнительная эффективность (вероятность ошибки) методов неадаптивной и адаптивной разнесенных передач. Понятие о пространственном разделении пользователей. Основные свойства канальной матрицы коэффициентов передачи. Спектральная эффективность ММО-системы без обратной связи. Вращение диаграммы направленности приемного и передающего пунктов.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Лекции, включающие использование проблемных ситуаций,  
Самостоятельная работа аспиранта (подготовка к устному опросу),  
Консультации.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

### **Вопросы к практическим занятиям**

**Тема 1.** Спектральная эффективность каналов  
устный опрос, примерные вопросы:

Спектр дискретного сигнала. В чем смысл и выгода спектрального представления? Логарифмическая мера информации. В чем смысл и выгода логарифмической меры информации? Количество информации в дискретных сообщениях. Информационная емкость дискретного и непрерывного сигнала.

Модели каналов без памяти (двоичный симметричный канал, дискретный канал, канал с дискретным входом и непрерывным выходом). Как соотносятся модельные представления о канале распространения и реальные условия распространения радиоволн различных частот. Спектральная эффективность этих каналов.

Шумы в электрических схемах: равновесные флуктуации (тепловой шум, шум Найквиста, шум Джонсона), дробовой и фликкерный (или  $1/f$ ) шумы. Эквивалентные схемы.

Способы описания и измерения шумов усилителей. Основные методы модуляции: амплитудная, амплитудная с подавлением несущей, частотная, фазовая, квадратурная. Сравнение их характерных черт и устойчивость к воздействию шума.

**Тема 2.** Демодуляция (обнаружение) сигналов с различной модуляцией на фоне шума.  
устный опрос, примерные вопросы:

Основные схемы аналоговых приемников. Приемник прямого усиления. Гетеродинный и супергетеродинный приемник. Приемник прямого преобразования. Основные параметры.

Чувствительность. Избирательность. Подавление зеркального канала. Динамический диапазон. Показатели воздействия перекрестной модуляции (внеполосных сигналов) и интермодуляционных помех.

Смешанные аналого-цифровые радиоприемники или программно-определяемая радиосистема (Software-defined radio, SDR). Причины возникновения SDR приемников. Особенности реализации SDR приемников.

Цифровые синтезаторы DDS (Direct Digital Synthesizer).

Основные узлы цифровых приемников: цифровые смесители с переносом частоты вниз и вверх (digital upconverter, DUC и digital upconverter, DDC), перестраиваемый цифровой гетеродин (numerically controlled oscillator, NCO), дециматор с гребенчатым фильтром (decimator, cascaded integrator-comb filter).

Согласованный фильтр как демодулятор (импульсная характеристика, передаточная функция, выходное ОСШ, примеры). Оптимальный детектор для модуляции без памяти.

Вероятность битовой и символьной ошибки в гауссовом шумовом канале для сигналов фазовой и квадратурной амплитудной модуляций.

Корреляционный демодулятор (основные вероятностные характеристики сигнала и шума на выходе корреляционного приемника, выходное ОСШ, примеры). Согласованный фильтр как демодулятор (импульсная характеристика, передаточная функция, выходное ОСШ, примеры). Оптимальный детектор для модуляции без памяти. Критерий максимума апостериорной вероятности и критерий максимального правдоподобия при детектировании сигналов. Вероятность битовой и символьной ошибки в гауссовом шумовом канале для 2-, 4-ФМ, 16- и 64-КАМ модуляций, а также для сигналов частотной модуляции. Понятие коэффициента использования полосы. Два основных класса цифровых систем связи - системы с передачей ортогональных или неортогональных сигналов.

Описание измерительного эксперимента по определению параметров радиоприемных и радиопередающих узлов сантиметрового диапазона

### **Тема 3.** Канальное (помехоустойчивое) кодирование и декодирование.

устный опрос, примерные вопросы:

Сверточный кодер. Различные представления сверточного кодера (векторы связи, импульсная характеристика, полиномиальное представление, диаграмма состояний и древовидная диаграмма, решетчатая диаграмма).

Физический смысл канального кодирования. Декодирование по методу максимального правдоподобия. Мягкое и жесткое принятие решений. Алгоритм сверточного декодирования Витерби.

Свойства сверточных кодов (минимальный просвет, способность к исправлению ошибок, эффективность).

### **Тема 4.** Основные методы разделения пользователей в системах связи.

устный опрос, примерные вопросы:

Сравнение производительности систем связи с временным и частотным разделением пользователей.

Кодовое разделение пользователей в CDMA-системах связи. Кодовые псевдошумовые последовательности Уолша. Rake-приёмник (приёмник разнесённых сигналов). Пространственное разделение пользователей.

### **Тема 5.** Передача и прием информации в OFDM-системах связи.

устный опрос, примерные вопросы:

Ортогональные многомерные сигналы с частотным сдвигом. Формирование OFDM-сигнала. Прием OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы.

OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing) мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) модуляция как методика борьбы с затуханием

высокочастотной составляющей, связанной малой частотной полосой пропускания в длинных кабелях и простых телефонных проводах, без использования сложных фильтров-эквалайзеров.

Реализация множества каналов с низкой символьной скоростью передачи как способ ослабления временного рассеяния и межсимвольной интерференции. Аппаратная реализация узлов ортогональных сигналов на примере OFDM-модуляции. Блоки, реализующие прямое и обратное преобразование Фурье. Квадратурный генератор.

#### **Тема 6. Генераторы псевдослучайных последовательностей**

устный опрос, примерные вопросы:

Базовая схема генератора псевдослучайной последовательности - сдвиговый регистр с линейными обратными связями (LFSR – Linear Feedback Shift Register). Генерация примитивных многочленов. Способы улучшения криптостойкости генерируемых последовательностей. Программная (микропроцессорная) и аппаратная (HDL) реализация генераторов.

#### **Тема 7. Разнесенная передача. Спектральная эффективность ММО-систем связи.**

устный опрос, примерные вопросы:

Неадаптивная и адаптивная разнесенные передачи. Виды неадаптивной разнесенной передачи - фазовая, временная, ортогональная и пространственно-временная. Адаптивная разнесенная передача.

Сравнительная эффективность (вероятность ошибки) методов неадаптивной и адаптивной разнесенных передач. Понятие о пространственном разделении пользователей. Основные свойства канальной матрицы коэффициентов передачи. Спектральная эффективность ММО-системы без обратной связи. Вращение диаграммы направленности приемного и передающего пунктов.

### **7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

#### **7.1. Регламент дисциплины**

#### **7.2. Оценочные средства текущего контроля**

##### **- устный опрос**

В чем смысл и выгода спектрального представления?

Как соотносятся модель канала распространения и реальные условия распространения радиоволн различных частот?

Перечислите основные методы модуляции. Для решения каких задач они используются?

Каковы отличия в схемах и работе приемника прямого усиления, гетеродинного и супергетеродинного приемника?

Как схемотехнически реализовать сверточный кодер?

В чем различие между декодированием по методу максимального правдоподобия и алгоритмом сверточного декодирования Витерби?

Особенности временного, частотного, кодового и пространственного разделения пользователей канала связи.

Как формируются, передаются и принимаются OFDM-сигналы?

В чем преимущества и недостатки использования множества каналов?

Каковы методы математической и схемной реализации генераторов псевдослучайных последовательностей?

Охарактеризуйте основные виды неадаптивной и адаптивной разнесенной передачи.

Что такое ММО-система?

#### **7.3. Вопросы к зачету**

1. Модели каналов без памяти (двоичный симметричный канал, дискретный канал, канал с дискретным входом и непрерывным выходом). Спектральная эффективность этих каналов.
2. Логарифмическая мера информации. Количество информации в дискретных сообщениях. Информационная емкость дискретного и непрерывного сигнала. Модели каналов без



- памяти (двоичный симметричный канал, дискретный канал, канал с дискретным входом и непрерывным выходом). Спектральная эффективность этих каналов.
3. Шумы в электрических схемах: равновесные флуктуации (тепловой шум, шум Найквиста, шум Джонсона), дробовой и фликкерный (или  $1/f$ ) шумы. Эквивалентные схемы. Практические измерения шумов усилителей в сантиметровом диапазоне.
  4. Основные схемы аналоговых приемников. Приемник прямого усиления. Гетеродинный и супергетеродинный приемник. Приемник прямого преобразования. Основные параметры. Чувствительность. Избирательность. Подавление зеркального канала. Динамический диапазон. Показатели воздействия перекрестной модуляции (внеполосных сигналов) и интермодуляционных помех.
  5. Основные методы модуляции: амплитудная, амплитудная с подавлением несущей, частотная, фазовая, квадратурная. Сравнение их характерных черт и устойчивость к воздействию шума.
  6. Смешанные аналого-цифровые радиоприемники или программно-определяемая радиосистема (Software-defined radio, SDR). Особенности реализации SDR.
  7. Цифровые синтезаторы DDS (Direct Digital Synthesizer). Типичные параметры для загрузки в DDS-микросхему. Интерфейс (временная диаграмма) загрузки параметров в DDS. Шумовые особенности синтезируемой синусоиды и практическое измерение спектральных оценок в различных полосах.
  8. Согласованный фильтр как демодулятор (импульсная характеристика, передаточная функция, выходное ОСЧ, примеры). Оптимальный детектор для модуляции без памяти.
  9. Вероятность битовой и символьной ошибки в гауссовом шумовом канале для сигналов фазовой и квадратурной амплитудной модуляций.
  10. Два основных класса цифровых систем связи - системы с передачей ортогональных или неортогональных сигналов.
  11. Сверточный кодер. Различные представления сверточного кодера (векторы связи, импульсная характеристика, полиномиальное представление, диаграмма состояний и древовидная диаграмма, решетчатая диаграмма). Свойства сверточных кодов (минимальный просвет, способность к исправлению ошибок, эффективность).
  12. Физический смысл канального кодирования. Декодирование по методу максимального правдоподобия. Мягкое и жесткое принятие решений. Алгоритм сверточного декодирования Витерби.
  13. Сравнение производительности систем связи с временным и частотным разделением пользователей.
  14. Кодовое разделение пользователей в CDMA-системах связи. Кодовые псевдошумовые последовательности Уолша. Rake-приёмник (приёмник разнесённых сигналов). Пространственное разделение пользователей.
  15. Ортогональные многомерные сигналы с частотным сдвигом. Формирование OFDM-сигнала. Прием OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы.
  16. OFDM (orthogonal frequency-division multiplexing) мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) модуляция как методика борьбы с затуханием высокочастотной составляющей, связанной малой частотной полосой пропускания в длинных кабелях и простых телефонных проводах, без использования сложных фильтров-эквалайзеров.
  17. Реализация множества каналов с низкой символьной скоростью передачи как способ ослабления временного рассеяния и межсимвольной интерференции Аппаратная реализация узлов OFDM. Блоки, реализующие прямое и обратное преобразование Фурье. Квадратурный генератор.
  18. Базовая схема генератора псевдослучайной последовательности - сдвиговый регистр с линейными обратными связями (LFSR – Linear Feedback Shift Register). Генерация примитивных многочленов. Способы улучшения криптостойкости генерируемых последовательностей. Программная (микропроцессорная) и аппаратная (HDL) реализация генераторов.

19. Неадаптивная и адаптивная разнесенные передачи. Виды неадаптивной разнесенной передачи - фазовая, временная, ортогональная и пространственно-временная. Адаптивная разнесенная передача. Вращение диаграммы направленности приемного и передающего пунктов.
20. Сравнительная эффективность (вероятность ошибки) методов неадаптивной и адаптивной разнесенных передач. Понятие о пространственном разделении пользователей. Основные свойства канальной матрицы коэффициентов передачи. Спектральная эффективность ММО-системы без обратной связи.

**7.4. Таблица соответствия компетенций, критериев оценки их освоения и оценочных средств**

Индекс компетенции	Расшифровка компетенции	Показатель формирования компетенции для данной дисциплины	Оценочное средство
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- виды модуляций сигналов, оптимизированных для каналов с заданными частотными свойствами, и аппаратные методы их организации;</li> <li>-способы ортогонализации сигналов, как во временной, так и пространственных областях;</li> <li>-методы измерений параметров различных узлов современной связной радиоаппаратуры – усилителей, смесителей, модуляторов, направленного ответвителя, или моста, фильтров и усилителей мощности с помощью анализатора цепей, спектроанализатора и векторного генератора сигналов в сантиметровом диапазоне</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- осуществлять выбор набора ортогональных сигналов, с помощью соответствующего оборудования</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные методы модуляции: амплитудная, амплитудная с подавлением несущей, частотная, фазовая, квадратурная. Сравнение их характерных черт и устойчивость к воздействию шума.</li> <li>2. Ортогональные многомерные сигналы с частотным сдвигом. Формирование OFDM-сигнала. Прием OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы.</li> <li>3. Два основных класса цифровых систем связи - системы с передачей ортогональных или неортогональных сигналов.</li> <li>4. Вероятность битовой и символьной ошибки в гауссовом шумовом канале для сигналов фазовой и квадратурной амплитудной модуляций.</li> <li>5. Сверточный кодер. Различные представления сверточного кодера</li> </ol>

		<p>синтезировать их, так чтобы полученный цифровой канал оказался максимально защищенным от межсимвольной и межканальной интерференции;</p> <p>- осознанно применять идеи оптимальной спектральной эффективности системы, максимальной скорости передачи данных и емкости сети при решении задач создания радио соединений в беспроводных системах связи с множественностью каналов;</p> <p>- проводить непосредственные измерения параметров узлов современной связной радиоаппаратуры;</p> <p>- пользоваться литературными источниками</p>	<p>(векторы связи, импульсная характеристика, полиномиальное представление, диаграмма состояний и древовидная диаграмма, решетчатая диаграмма). Свойства сверточных кодов (минимальный просвет, способность к исправлению ошибок, эффективность).</p> <p>6. Сравнение производительности систем связи с временным и частотным разделением пользователей.</p> <p>7. Сравнительная эффективность (вероятность ошибки) методов неадаптивной и адаптивной разнесенных передач. Понятие о пространственном разделении пользователей. Основные свойства канальной матрицы коэффициентов передачи. Спектральная эффективность MIMO-системы без обратной связи.</p>
УК-3	<p>готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач</p>	<p>демонстрировать способность и готовность:</p> <p>- критически анализировать проблемы по передаче сигналов с цифровой модуляцией;</p> <p>- самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы обработки сигналов;</p> <p>- самостоятельно</p>	<p>1. Смешанные аналого-цифровые радиоприемники или программно-определяемая радиосистема (Software-defined radio, SDR). Особенности реализации SDR.</p> <p>2. Цифровые синтезаторы DDS (Direct Digital Synthesizer). Типичные</p>

		<p>использовать пакеты прикладных программ для решения поставленных задач; -излагать результаты исследований в виде отчетов, статей и презентаций.</p>	<p>параметры для загрузки в DDS-микросхему. Интерфейс (временная диаграмма) загрузки параметров в DDS. Шумовые особенности синтезируемой синусоиды и практическое измерение спектральных оценок в различных полосах.</p> <p>3. Реализация множества каналов с низкой символьной скоростью передачи как способ ослабления временного рассеяния и межсимвольной интерференции Аппаратная реализация узлов OFDM. Блоки, реализующие прямое и обратное преобразование Фурье. Квадратурный генератор.</p> <p>4. Базовая схема генератора псевдослучайной последовательности - сдвиговой регистр с линейными обратными связями (LFSR – Linear Feedback Shift Register). Генерация примитивных многочленов. Способы улучшения криптостойкости генерируемых последовательностей. Программная (микропроцессорная) и аппаратная (HDL) реализация генераторов</p>
УК-5	<p>способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</p>	<p>демонстрировать способность и готовность: -критически анализировать проблемы</p>	<p>1. Основные схемы аналоговых приемников. Приемник прямого усиления. Гетеродинный и</p>

		<p>по передачи сигналов с цифровой модуляцией;</p> <p>-самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы обработки сигналов;</p> <p>-самостоятельно использовать пакеты прикладных программ для решения поставленных задач;</p> <p>-излагать результаты исследований в виде отчётов, статей и презентаций.</p>	<p>супергетеродинный приемник. Приемник прямого преобразования. Основные параметры. Чувствительность. Избирательность. Подавление зеркального канала. Динамический диапазон. Показатели воздействия перекрестной модуляции (внеполосных сигналов) и интермодуляционных помех.</p> <p>2. Физический смысл канального кодирования. Декодирование по методу максимального правдоподобия. Мягкое и жесткое принятие решений. Алгоритм сверточного декодирования Витерби.</p> <p>3. Неадаптивная и адаптивная разнесенные передачи. Виды неадаптивной разнесенной передачи - фазовая, временная, ортогональная и пространственно-временная. Адаптивная разнесенная передача. Вращение диаграммы направленности приемного и передающего пунктов.</p>
ОПК-1	<p>способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов</p>	<p>владеть:</p> <p>-навыками оптимального выбора видов модуляции для передачи цифровой информации по каналу с заданной частотной характеристикой;</p> <p>-навыками работы на современной аппаратуре для сбора и обработке</p>	<p>1. Сравнение производительности систем связи с временным и частотным разделением пользователей</p> <p>2. Кодовое разделение пользователей в CDMA-системах</p>

	<p>исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>	<p>экспериментальных данных;  - компьютерными технологиями для обработки и выделения информации из экспериментальных данных;  - навыками создания текстов, описываемых исследуемую тему;</p> <p>демонстрировать способность и готовность:  - критически анализировать проблемы по передачи сигналов с цифровой модуляцией;  - самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы обработки сигналов;  - самостоятельно использовать пакеты прикладных программ для решения поставленных задач;  - излагать результаты исследований в виде отчётов, статей и презентаций.</p>	<p>связи. Кодовые псевдошумовые последовательности Уолша. Rake-приёмник (приёмник разнесённых сигналов).  Пространственное разделение пользователей.  3. Неадаптивная и адаптивная разнесенные передачи. Виды неадаптивной разнесенной передачи - фазовая, временная, ортогональная и пространственно-временная.  Адаптивная разнесенная передача. Вращение диаграммы направленности приемного и передающего пунктов.</p>
ПК-1	<p>способность в соответствии с учебным планом самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области Радиофизики, и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</p>	<p>знать:  - виды модуляций сигналов, оптимизированных для каналов с заданными частотными свойствами, и аппаратные методы их организации;  - способы ортогонализации сигналов, как во временной, так и пространственных областях;  - методы измерений параметров различных узлов современной связной радиоаппаратуры – усилителей, смесителей,</p>	<p>1. Модели каналов без памяти (двоичный симметричный канал, дискретный канал, канал с дискретным входом и непрерывным выходом). Спектральная эффективность этих каналов.  2. Логарифмическая мера информации. Количество информации в дискретных сообщениях. Информационная</p>

		<p>модуляторов, направленного ответвителя, или моста, фильтров и усилителей мощности с помощью анализатора цепей, спектроанализатора и векторного генератора сигналов в сантиметровом диапазоне</p> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- осуществлять выбор набора ортогональных сигналов, с помощью соответствующего оборудования синтезировать их, так чтобы полученный цифровой канал оказался максимально защищенным от межсимвольной и межканальной интерференции;</li> <li>- осознанно применять идеи оптимальной спектральной эффективности системы, максимальной скорости передачи данных и емкости сети при решении задач создания радио соединений в беспроводных системах связи с множественностью каналов;</li> <li>- проводить непосредственные измерения параметров узлов современной связной радиоаппаратуры;</li> <li>- пользоваться литературными источниками</li> </ul> <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-навыками оптимального выбора видов модуляции для передачи цифровой</li> </ul>	<p>емкость дискретного и непрерывного сигнала. Модели каналов без памяти (двоичный симметричный канал, дискретный канал, канал с дискретным входом и непрерывным выходом).Спектральная эффективность этих каналов.</p> <p>3. Шумы в электрических схемах: равновесные флуктуации (тепловой шум, шум Найквиста, шум Джонсона), дробовой и фликкерный (или 1/f) шумы. Эквивалентные схемы. Практические измерения шумов усилителей в сантиметровом диапазоне.</p> <p>4. Основные схемы аналоговых приемников. Приемник прямого усиления. Гетеродинный и супергетеродинный приемник. Приемник прямого преобразования. Основные параметры. Чувствительность. Избирательность. Подавление зеркального канала. Динамический диапазон.</p>
--	--	---	---

		<p>информации по каналу с заданной частотной характеристикой;</p> <p>-навыками работы на современной аппаратуре для сбора и обработке экспериментальных данных;</p> <p>-компьютерными технологиями для обработки и выделения информации из экспериментальных данных;</p> <p>- навыками создания текстов, описываемых исследуемую тему</p>	<p>Показатели воздействия перекрестной модуляции (внеполосных сигналов) и интермодуляционных помех.</p>
ПК-2	<p>способность принимать участие в разработке новых моделей и методов научного исследования в области радиофизики</p>	<p>уметь:</p> <p>- осуществлять выбор набора ортогональных сигналов, с помощью соответствующего оборудования синтезировать их, так чтобы полученный цифровой канал оказался максимально защищенным от межсимвольной и межканальной интерференции;</p> <p>- осознанно применять идеи оптимальной спектральной эффективности системы, максимальной скорости передачи данных и емкости сети при решении задач создания радио соединений в беспроводных системах связи с множественностью каналов;</p> <p>- проводить непосредственные измерения параметров узлов современной связной радиоаппаратуры;</p> <p>- пользоваться литературными источниками</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Смешанные аналого-цифровые радиоприемники или программно-определяемая радиосистема (Software-defined radio, SDR). Особенности реализации SDR.</li> <li>2. Цифровые синтезаторы DDS (Direct Digital Synthesizer). Типичные параметры для загрузки в DDS-микросхему. Интерфейс (временная диаграмма) загрузки параметров в DDS. Шумовые особенности синтезируемой синусоиды и практическое измерение спектральных оценок в различных полосах.</li> <li>3. Согласованный фильтр как демодулятор (импульсная характеристика, передаточная функция, выходное ОСШ, примеры). Оптимальный детектор для модуляции без памяти.</li> <li>4. Кодовое разделение</li> </ol>



		<p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-навыками оптимального выбора видов модуляции для передачи цифровой информации по каналу с заданной частотной характеристикой;</li> <li>-навыками работы на современной аппаратуре для сбора и обработке экспериментальных данных;</li> <li>-компьютерными технологиями для обработки и выделения информации из экспериментальных данных;</li> <li>- навыками создания текстов, описываемых исследуемую тему.</li> </ul>	<p>пользователей в CDMA-системах связи. Кодовые псевдошумовые последовательности Уолша. Rake-приёмник (приёмник разнесённых сигналов). Пространственное разделение пользователей.</p> <p>5. Ортогональные многомерные сигналы с частотным сдвигом. Формирование OFDM-сигнала. Прием OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы.</p> <p>6. Базовая схема генератора псевдослучайной последовательности - сдвиговый регистр с линейными обратными связями (LFSR – Linear Feedback Shift Register). Генерация примитивных многочленов. Способы улучшения криптостойкости генерируемых последовательностей. Программная (микропроцессорная) и аппаратная (HDL) реализация генераторов.</p>
--	--	---	---

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Для лучшего освоения лекционного материала по курсу "Цифровая связь" аспиранты делают лабораторные работы по важнейшим из рассматриваемых тем и защищают их. Понимание аспирантами излагаемого материала проверяется путем общей дискуссии по теме лабораторной работы и материалу лекций.

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

### 9.1. Основная литература

1. Дегтярев, А. Н. Метод снижения уровня межканальных помех и межсимвольной интерференции в системах связи и передачи информации [Электронный ресурс] / А. Н. Дегтярев // Збірник наукових праць Академії Військово-Морських Сил імені П. С. Нахімова. - Вып. №4 (16) 2013. - с. 67- 78. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=499304>
2. Многоканальные телекоммуникационные системы. Ч.1. Принципы построения телеком. систем с времен.раздел. каналов: Уч.пос./ А.Б.Тищенко. - М.:ИЦ РИОР:НИЦ ИНФРА-М, 2013 - 104 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=371411>
3. Панин В. В. Основы теории информации: учеб.пособие. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012 - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/4427/>

## 9.2. Дополнительная литература

1. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. — 3-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с. — (Учебная литература для вузов). - ISBN 978-5-9775-0606-  
<http://znanium.com/bookread.php?book=354905>
2. Сидельников В.М. Теория кодирования. М.:Физматлит. - 2008 г. , 324 с. - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/2311/>
3. Защита информации: Учебное пособие / А.П. Жук, Е.П. Жук, О.М. Лепешкин, А.И. Тимошкин. - 2-е изд. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 392 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование:Бакалавриат; Магистратура). (переплет) ISBN 978-5-369-01378-6, 500 экз. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=474838>
4. Теория информации : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 230200 "Информационные системы" / Б. Д. Кудряшов? Санкт-Петербург [и др.] : Питер, 2009 .? 314 с. : ил., табл. ; 24 .? (Учебник для вузов) (Допущено Учебно-методическим объединением) .? на 4-й с. обл. авт.: Кудряшов Б.Д. - д.т.н., проф. ? На обл. в подзаг.: кодирование дискретных источников, кодирование информ. для передачи по каналу с шумом, кодирование с заданным критерием качества? Библиогр.:с. 304-307 (60 назв.) .? Предм. указ.: с. 308-314 .? ISBN 978-5-388-00178-8 (в пер.) , 3000.
5. Лекции. Методы и устройства приема сигналов - <http://www.radioforall.ru/2010-01-17-19-37-41>
6. Статья "Почему в WiMax и LTE используют OFDM" - <http://habrahabr.ru/post/129101/>
7. Понятие о помехах и методы борьбы с ними <https://ru.wikibooks.org/wiki>

## 9.3. Интернет-ресурсы:

1. Сайт, посвященный стандартам сотовой связи. <http://celnet.ru/mimo.php>
2. Оптимальная фильтрация периодического сигнала - <http://www.phys.spbu.ru/library/studentlectures/yanevich/chapter4.html>
3. Сайт стандарта LTE - <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>
4. Рефераты о Информационных технологиях - <http://kunegin.com/ref.htm>
5. Субмодули цифрового приема ADMDDC4x16 v3.0 - <http://www.insys.ru/products/ddc/admddc4x16v30>
6. Журнал Беспроводные технологии <http://www.wireless-e.ru/articles/technologies.php>

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Освоение дисциплины "Цифровая связь" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 12 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Анализатор цепей, спектроанализатор и векторный генератор сигналов. Цифровые КВ приемники ADMDDC4x16 v3.0 и EB510. Отладочные комплекты с FPGACycloneV.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и с учетом рекомендаций по направлению подготовки.

Автор(ы): зав. кафедры радиоастрономии, к.ф.-м.н., доцент Акчурин А.Д.

Рецензент(ы): зав. кафедры радиофизики, д. ф.-м.н., профессор Шерстюков О.Н.

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии Института физики КФУ от 20.05.2015 года, протокол №11.