

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

УТВЕРЖДАЮ

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

" 23 " сентября 2014 г.



Программа дисциплины

Цифровая связь Б1.В.ДВ

Направление подготовки:	11.06.01 – Электроника, радиотехника и системы связи
Профиль подготовки: телевидения	05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства
Квалификация выпускника:	«Исследователь. Преподаватель-исследователь»

Казань 2014

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 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.

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

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
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	способностью следовать этическим нормам в профессиональной деятельности
УК-6	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
ОПК-3	способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности
ПК-1	способность в соответствии с учебным планом самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области Радиотехники, 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 радиотехники

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.

	Раздел дисциплины	Семестр	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа
1.	Тема 1. Спектральная эффективность каналов	2	2			10
2.	Тема 2. Демодуляция (обнаружение) сигналов с различной модуляцией на фоне	2	4	8		10

	шума.					
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 разделениями 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-definedradio, SDR). Особенности реализации SDR.
7. Цифровые синтезаторы DDS (DirectDigitalSynthesizer). 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 ОСШ, 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	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	1. Основные методы модуляции: амплитудная, амплитудная с подавлением несущей, частотная, фазовая, квадратурная. Сравнение их характерных черт и устойчивость к воздействию шума. 2. Ортогональные многомерные сигналы с частотным сдвигом. Формирование OFDM-сигнала. Прием OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы. 3. Два основных класса цифровых систем связи – системы с передачей ортогональных или неортогональных сигналов. 4. Вероятность битовой и символьной ошибки в гауссовом шумовом канале для сигналов фазовой и

		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	квадратурной амплитудной модуляций. 5. 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). 6. Сравнение производительности систем связи с временным и частотным разделением пользователей. 7. 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.
УК-3	готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по	демонстрировать способность и готовность: - критически анализировать проблемы	1. Смешанные аналого-цифровые радиоприемники или программно-определяемая

	решению научных и научно-образовательных задач	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.	радиосистема (Software-defined radio, SDR). Особенности реализации SDR. 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. 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. 4. 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
УК-5	способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности	демонстрировать способность и готовность: -критически анализировать проблемы по передачи сигналов с цифровой модуляцией; -самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы обработки сигналов; -излагать результаты исследований в виде отчётов, статей и презентаций.	1. Два основных класса цифровых систем связи – системы с передачей ортогональных или неортогональных сигналов. 2. Сравнение производительности систем связи с временным и частотным разделением пользователей. 3. Физический смысл канального кодирования. Декодирование по методу максимального правдоподобия. Мягкое и жесткое принятие решений. Алгоритм сверточного декодирования Витерби.
УК-6	способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	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.	1. 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. 2. Физический смысл канального кодирования. Декодирование по методу максимального

			правдоподобия. Мягкое и жесткое принятие решений. Алгоритм сверточного декодирования Витерби. 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.
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	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 передачи сигналов с цифровой модуляцией; -самостоятельно выбирать и обосновывать критерии и методы обработки сигналов;	1. Сравнение производительности систем связи с временным и частотным разделением пользователей 2. Кодовое разделение пользователей в CDMA-системах 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

		-самостоятельно использовать пакеты прикладных программ для решения поставленных задач; -излагать результаты исследований в виде отчётов, статей и презентаций.	направленности приемного и передающего пунктов.
ОПК-3	способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности	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.	1. 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. 2. 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.

ПК-1	способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области радиотехники, в том числе систем и устройств телевидения, и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	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	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
------	--	---	--

		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;	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.
ПК-2	способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научных исследованиях в области радиотехники, в том числе систем и устройств телевидения	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,	1. Смешанные аналого-цифровые радиоприемники или программно-определяемая радиосистема (Software-defined radio, SDR). Особенности реализации SDR. 2. Цифровые синтезаторы DDS (Direct Digital Synthesizer). Типичные параметры для загрузки в DDS-микросхему. Интерфейс (временная диаграмма) загрузки параметров в DDS.

		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;	Шумовые особенности синтезируемой синусоиды и практическое измерение спектральных оценок в различных полосах. 3. Согласованный фильтр как демодулятор (импульсная характеристика, передаточная функция, выходное ОСШ, примеры). Оптимальный детектор для модуляции без памяти. 4. Кодовое разделение пользователей в CDMA-системах связи. Кодовые псевдослучайные последовательности Уолша. Rake-приёмник (приёмник разнесённых сигналов). Пространственное разделение пользователей. 5. Ортогональные многомерные сигналы с частотным сдвигом. Формирование OFDM-сигнала. Прием OFDM-сигнала. Пропускная способность OFDM-системы. 6. 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.
--	--	--	--

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 науко вихпраць 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.: 60х90 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 протокол №7 «11» сентября 2014 г.