МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента образования
_____ П. Е. Троян
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Формирование и обработка сигналов систем связи

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки / специальность: **11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**
Направленность (профиль) / специализация: **Оптические системы связи и обработки информации**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **РТФ, Радиотехнический факультет**
Кафедра: **СВЧиКР, Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники**
Курс: **1**
Семестр: **1**
Учебный план набора 2018 года

Распределение рабочего времени

№	Виды учебной деятельности	1 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	18	18	часов
2	Практические занятия	26	26	часов
3	Лабораторные работы	16	16	часов
4	Всего аудиторных занятий	60	60	часов
5	Самостоятельная работа	84	84	часов
6	Всего (без экзамена)	144	144	часов
7	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
8	Общая трудоемкость	180	180	часов
		5.0	5.0	З.Е.

Экзамен: 1 семестр

Томск 2018

Согласована на портале № 36233

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 11 от « 26 » 6 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, утвержденного 30.10.2014 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры РТС «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчик:

доцент каф. РТС	_____	А. В. Новиков
Заведующий обеспечивающей каф. РТС	_____	С. В. Мелихов

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан РТФ	_____	К. Ю. Попова
Заведующий выпускающей каф. СВЧиКР	_____	С. Н. Шарангович

Эксперты:

Доцент кафедры радиотехнических систем (РТС)	_____	В. А. Громов
Доцент кафедры сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР)	_____	А. Ю. Попков

Согласована на портале № 36233

1. Цели и задачи дисциплины

1.1. Цели дисциплины

Формирование представлений об особенностях формирования и обработки сигналов в современных и перспективных системах связи.

1.2. Задачи дисциплины

– Изучение современных методов модуляции.

– Приобретение навыков компьютерного моделирования систем связи.

– Овладение навыками чтения справочной документации, в том числе на английском языке.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Формирование и обработка сигналов систем связи» (Б1.В.ОД.3) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Моделирование устройств и систем связи, Цифровая обработка сигналов систем связи.

Последующими дисциплинами являются: Оптические системы связи и обработки информации, Теория и техника передачи информации, Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем, Теория телетрафика.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ОПК-3 способностью осваивать современные и перспективные направления развития ИКТиСС;

– ОПК-4 способностью реализовывать новые принципы построения инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации;

– ПК-8 готовностью использовать современные достижения науки и передовые инфокоммуникационные технологии, методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области ИКТиСС;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** Роль модуляции в системах передачи информации. Различие между аналоговой и цифровой модуляцией. Роль формирующих фильтров и влияние межсимвольной интерференции. Смысл спектральной плотности мощности белого шума. Базовые методы модуляции: амплитудную (АМ), фазовую (ФМ) и частотную (ЧМ). Спектральный состав сигналов для основных методов модуляции: амплитудной, частотной и фазовой. Особенности ЧМ с непрерывной фазой. Взаимосвязь методов модуляции с классами выходных усилителей мощности. Принципы модуляции множества ортогональных поднесущих (OFDM). Роль OFDM при наличии многолучевости. Влияние фазового шума на производительность систем связи. Отношение сигнал-шум для цифровых систем связи. Про энергетическую и частотную эффективность систем связи. Принципы синхронизации в системах связи. Петлю Костаса. Детектор Гарднера. Об ухудшении степени однозначности фазы восстановленной несущей с ростом битовой скорости передачи. Принципы расширения спектра сигналов в системах связи. Структурные схемы и особенности трех поколений цифровых систем связи по методам формирования и обработки сигналов: аналоговые, гибридные и цифровые. Схемы автоматической цифровой регулировки усиления.

– **уметь** На качественном уровне изображать спектральные диаграммы сигналов с модуляциями: амплитудной (АМ), фазовой (ФМ), частотной (ЧМ) и OFDM. Вычислять спектральную плотность мощности по заданной функции корреляции цифрового потока. Определять уровень боковых лепестков в спектре сигнала. Анализировать "глазковые" диаграммы и сигнальные созвездия. Выбирать вид модуляции. Выбирать класс выходного усилителя мощности исходя из вида модуляции. Моделировать сигналы с АМ, ФМ, ЧМ и OFDM модуляциями и их спектральные плотности мощности.

– **владеть** Методами компьютерного моделирования современных и перспективных систем связи. Элементами проектирования современных и перспективных систем связи.

Согласована на портале № 36233

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		1 семестр
Аудиторные занятия (всего)	60	60
Лекции	18	18
Практические занятия	26	26
Лабораторные работы	16	16
Самостоятельная работа (всего)	84	84
Выполнение индивидуальных заданий	8	8
Оформление отчетов по лабораторным работам	16	16
Проработка лекционного материала	8	8
Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	30	30
Подготовка к практическим занятиям, семинарам	22	22
Всего (без экзамена)	144	144
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость, ч	180	180
Зачетные Единицы	5.0	5.0

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лек., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
1 семестр						
1 Модуляция. Спектральный состав.	2	4	4	9	19	ОПК-3, ОПК-4, ПК-8
2 Формирующий фильтр. Его роль.	3	4	4	9	20	ОПК-3, ОПК-4, ПК-8
3 Согласованный фильтр. Его роль.	2	4	4	9	19	ОПК-3, ОПК-4, ПК-8
4 Частотная и энергетическая эффективность систем связи.	2	4	0	11	17	ОПК-3, ОПК-4
5 Принципы синхронизации в системах связи.	2	0	0	9	11	ОПК-3, ОПК-4
6 Принципы расширения спектра сигналов в системах связи.	2	4	0	11	17	ОПК-3, ОПК-4

Согласована на портале № 36233

7 Частотная манипуляция с непрерывной фазой.	0	0	4	8	12	ОПК-3, ОПК-4, ПК-8
8 Принципы модуляции OFDM.	3	6	0	11	20	ОПК-3, ОПК-4
9 Принципы MIMO.	2	0	0	7	9	ОПК-3, ОПК-4
Итого за семестр	18	26	16	84	144	
Итого	18	26	16	84	144	

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины (по лекциям)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
1 Модуляция. Спектральный состав.	Роль модуляции в системах передачи информации.Различие аналоговой и цифровой модуляции.Требования к спектрам сигналов в современных системах передачи информации.Тепловой шум.Спектральная плотность мощности сигнала.Спектры сигналов с АМ, ФМ, ЧМ и OFDM модуляциями.Три поколения цифровых систем связи: аналоговые, гибридные и цифровые.	2	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	2	
2 Формирующий фильтр. Его роль.	Спектральная плотность случайной последовательности импульсов прямоугольной формы.Скорость спада мощности в зависимости от частоты.Необходимость сглаживания фронтов импульсов.Фильтр "приподнятого" косинуса.Особенности реализации фильтра в цифровом виде: влияние на формируемый спектр факторов дискретности и ограниченности по времени импульсной характеристики; влияние цифро-аналогового преобразователя.	3	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	3	
3 Согласованный фильтр. Его роль.	Тепловой шум как ограничитель производительности систем связи.Согласованный фильтр как фильтр, доставляющий максимум отношению сигнал-шум при наличии аддитивного белого шума.Необходимость согласования амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) формирующего фильтра с АЧХ согласованного.Фильтр "корень" из "приподнятого" косинуса.	2	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	2	

Согласована на портале № 36233

4 Частотная и энергетическая эффективность систем связи.	Связь между "аналоговым" и "цифровым" отношениями сигнал-шум.Нормированная пропускная способность канала.Скорость кодирования.Теорема Шеннона, ее иллюстрация.Предел Шеннона, предел двоичного канала связи: жесткие решения и мягкие решения.	2	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	2	
5 Принципы синхронизации в системах связи.	Когерентность при приеме и обработке сигнала.Восстановление несущей частоты.Петля Костаса.Восстановление тактовых импульсов.Детектор Гарднера.	2	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	2	
6 Принципы расширения спектра сигналов в системах связи.	Достоинства сигналов с расширенным спектром.Псевдослучайные последовательности (М-последовательности).Коды Голда.	2	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	2	
8 Принципы модуляции OFDM.	Иллюстрация недостатка частотного разделения каналов.Иллюстрация ортогональности несущих при выполнении операции дискретного преобразования Фурье (ДПФ).Необходимость циклического префикса для снижения вредного влияния многолучевости.Параметры модуляции OFDM в системах связи 4G LTE.Структурные схемы передатчика и приемника с OFDM.	3	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	3	
9 Принципы MIMO.	Классификация MIMO: SISO (классический вариант), SIMO (разнесенный прием), MISO (разнесенная передача), SU-MIMO (однопользовательское пространственное уплотнение), MU-MIMO (многопользовательское пространственное уплотнение).Структурные схемы MIMO согласно классификации.	2	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	2	
Итого за семестр		18	

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предшествующие дисциплины									
1 Моделирование устройств и систем связи	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2 Цифровая обработка сигналов систем связи		+	+						

Согласована на портале № 36233

Последующие дисциплины									
1 Оптические системы связи и обработки информации	+	+	+		+				
2 Теория и техника передачи информации	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем	+								
4 Теория телетрафика				+					

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Компетенции	Виды занятий				Формы контроля
	Лек.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ОПК-3	+	+		+	Домашнее задание, Отчет по индивидуальному заданию, Конспект самоподготовки, Собеседование, Выступление (доклад) на занятии, Тест
ОПК-4	+	+		+	Домашнее задание, Отчет по индивидуальному заданию, Конспект самоподготовки, Собеседование, Выступление (доклад) на занятии, Тест
ПК-8			+	+	Домашнее задание, Отчет по лабораторной работе, Тест

6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			

Согласована на портале № 36233

1 Модуляция. Спектральный состав.	Изучение спектров сигналов с линейной модуляцией. Показывается влияние формы импульса-носителя и функции корреляции битовой последовательности на спектр формируемого сигнала.	4	ПК-8
	Итого	4	
2 Формирующий фильтр. Его роль.	В системе Matlab изучается формирующий фильтр "приподнятого" косинуса.	4	ПК-8
	Итого	4	
3 Согласованный фильтр. Его роль.	В системе Matlab изучается согласованный фильтр "корень" из "приподнятого" косинуса.	4	ПК-8
	Итого	4	
7 Частотная манипуляция с непрерывной фазой.	Изучение Simulink-модели некогерентного демодулятора частотно-манипулированного сигнала с непрерывной фазой.	4	ПК-8
	Итого	4	
Итого за семестр		16	

8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
1 Модуляция. Спектральный состав.	Расчет спектральной плотности импульсов треугольной формы на основе известной спектральной плотности импульсов прямоугольной формы.Расчет корреляционных функций для некоторых видов модуляции: с линейным преобразованием битов (сумма и разность), с чередованием полярности (AMI, ЧПИ), с циклическим преобразованием (MLT-3).Расчет спектральных плотностей по корреляционным функциям.Построение соответствующих графиков, их анализ.	4	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	4	
2 Формирующий фильтр. Его роль.	Вычисление предельных значений частотной характеристики (ЧХ) фильтра "приподнятого" косинуса для особенных частот.Построение "от руки" графиков амплитудной ЧХ и импульсной характеристики (ИХ) фильтра.Расчет на компьютере с помощью дискретного преобразования Фурье амплитудной ЧХ фильтра по дискретной и финитной ИХ фильтра.Построение "от руки" отклика	4	ОПК-3, ОПК-4

Согласована на портале № 36233

	формирующего фильтра (до цифро-аналогового преобразователя) на заданную битовую последовательность.		
	Итого	4	
3 Согласованный фильтр. Его роль.	Расчет предельных значений частотной характеристики (ЧХ) фильтра типа "корень" из "приподнятого" косинуса для особенных частот с помощью программы компьютерной алгебры SymPy.Построение "от руки" графиков амплитудной ЧХ и импульсной характеристики (ИХ) фильтра.Расчет на компьютере с помощью дискретного преобразования Фурье амплитудной ЧХ фильтра по дискретной и финитной ИХ фильтра.Построение "от руки" отклика согласованного фильтра (в цифровом виде) на заданный входной сигнал.	4	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	4	
4 Частотная и энергетическая эффективность систем связи.	Построение с помощью компьютера графиков зависимости предельной энергетической эффективности кода (дБ) от скорости кодирования (от 0 до 1) для двоичной модуляции (жесткие решения и мягкие решения) и при отсутствии модуляции как таковой.Иллюстрация с помощью компьютера предельного энергетического выигрыша от кодирования.	4	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	4	
6 Принципы расширения спектра сигналов в системах связи.	Генерация псевдослучайных последовательностей (М-последовательностей) с помощью цифровых фильтров.Свойства М-последовательностей.Коды Голда.Расчет полосы частот систем с расширенным спектром.	4	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	4	
8 Принципы модуляции OFDM.	Детальная "от руки" прорисовка сигнала с OFDM для малого числа несущих: отрисовка отдельных несущих и результата их суммирования.Компьютерное моделирование сигнала с OFDM с помощью дискретного преобразования Фурье. Обсуждение особенностей такого сигнала.Моделирование эффекта от многолучевости для двух лучей. Вставка циклического префикса; обсуждение положительного эффекта.	6	ОПК-3, ОПК-4
	Итого	6	
Итого за семестр		26	

9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Согласована на портале № 36233

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
1 семестр				
1 Модуляция. Спектральный состав.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ПК-8, ОПК-3, ОПК-4	Домашнее задание, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	9		
2 Формирующий фильтр. Его роль.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ОПК-3, ОПК-4, ПК-8	Домашнее задание, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	9		
3 Согласованный фильтр. Его роль.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ОПК-3, ОПК-4, ПК-8	Домашнее задание, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	9		
4 Частотная и энергетическая эффективность систем связи.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	2	ОПК-3, ОПК-4	Отчет по индивидуальному заданию, Собеседование, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Выполнение индивидуальных заданий	8		
	Итого	11		
5 Принципы синхронизации в системах связи.	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	8	ОПК-3, ОПК-4	Конспект самоподготовки, Собеседование, Тест
	Проработка лекционного материала	1		

Согласована на портале № 36233

	Итого	9		
6 Принципы расширения спектра сигналов в системах связи.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ОПК-3, ОПК-4	Домашнее задание, Конспект самоподготовки, Тест
	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	6		
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	11		
7 Частотная манипуляция с непрерывной фазой.	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	4	ОПК-3, ОПК-4, ПК-8	Конспект самоподготовки, Отчет по лабораторной работе, Тест
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	8		
8 Принципы модуляции OFDM.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	4	ОПК-3, ОПК-4	Конспект самоподготовки, Собеседование, Тест
	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	6		
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	11		
9 Принципы MIMO.	Самостоятельное изучение тем (вопросов) теоретической части курса	6	ОПК-3, ОПК-4	Выступление (доклад) на занятии, Тест
	Проработка лекционного материала	1		
	Итого	7		
Итого за семестр		84		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		120		

Согласована на портале № 36233

10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
1 семестр				
Выступление (доклад) на занятии		6	6	12
Домашнее задание	4	4	4	12
Конспект самоподготовки	3	3	3	9
Отчет по индивидуальному заданию		6	6	12
Отчет по лабораторной работе	4	6	6	16
Собеседование	1	1	1	3
Тест	2	2	2	6
Итого максимум за период	14	28	28	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	14	42	70	100

11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

Таблица 11.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 - 89	B (очень хорошо)
	75 - 84	C (хорошо)

Согласована на портале № 36233

	70 - 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 - 69	
	60 - 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

12.1. Основная литература

1. Галкин, Вячеслав Александрович. Цифровая мобильная радиосвязь [Текст] : учебное пособие для вузов / В. А. Галкин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Горячая линия - Телеком, 2012. - 592 с. : ил. - (Учебное пособие. Специальность для высших учебных заведений). - Библиогр.: с. 580-581. - Предм. указ.: с. 582-585. - ISBN 978-5-9912-0185-8 : 774.40 р. (наличие в библиотеке ТУСУР - 40 экз.)

2. Волков, Лев Николаевич. Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики : Учебное пособие для вузов / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. - М. : Экотрендз, 2005. - 390[2] с. : ил., табл., портр. - (Библиотека МТС & GSM). - Библиогр.: с. 388-390. - ISBN 5-88405-071-2 : 269.01 р. (наличие в библиотеке ТУСУР - 42 экз.)

12.2. Дополнительная литература

1. Скляр, Бернард. Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение : Пер. с англ. / Б. Скляр ; пер. Гроза Е. Г., пер. А. В. Назаренко, ред. А. В. Назаренко. - 2-е изд., испр. - М. : Вильямс, 2004. - 1099[5] с. : ил, табл. - Библиогр. в конце глав. - Предм. указ.: с. 1093-1099. - ISBN 5-8459-0497-8 : 481.80 р., 438.00 р., 279.20 р. (наличие в библиотеке ТУСУР - 18 экз.)

2. Методы повышения энергетической и спектральной эффективности цифровой радиосвязи: Учебное пособие / Варгаузин В.А., Цикин И.А. - СПб:БХВ-Петербург, 2013. - 352 с. ISBN 978-5-9775-0878-0 [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/943520 (дата обращения: 02.07.2018).

3. Формирование и генерирование сигналов в цифровой радиосвязи: Учебное пособие / В.Т. Першин. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 614 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-16-006703-2, 600 экз. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://znanium.com/catalog/product/405030 (дата обращения: 02.07.2018).

12.3. Учебно-методические пособия

12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Демодуляция цифровых сигналов. Статистический и сигнальный подходы: Учебное пособие / Новиков А. В. - 2018. 51 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7150 (дата обращения: 02.07.2018).

2. Сборник компьютерных лабораторных работ по системам связи: Методические указания к лабораторным работам / Новиков А. В. - 2018. 151 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/7149 (дата обращения: 02.07.2018).

3. Теория электрической связи: Учебное пособие / Акулиничев Ю. П., Бернгардт А. С. - 2015. 196 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/5858 (дата обращения: 02.07.2018).

4. Теория электрической связи: Учебно - методическое пособие для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов / Акулиничев Ю. П. - 2012. 202 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/1758 (дата обращения: 02.07.2018).

12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:

Согласована на портале № 36233

– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется использовать базы данных, информационно-справочные и поисковые системы, к которым у ТУСУРа есть доступ https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная лаборатория информационных технологий

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ)

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 423 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Доска магнитно-маркерная BRAUBERG;
- LMC-100103 Экран с электроприводом Master Control Matte 203*203 см White FiberGlass, черная кайма по периметру;
- Проектор NEC «M361X»;
- Системный блок (16 шт.);
- Мониторы (16 шт.);
- Компьютер;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

– Adobe Acrobat Reader
– Google Chrome
– LibreOffice
– OpenOffice
– PTC Mathcad13, 14
– Scilab

13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Учебная лаборатория информационных технологий

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, помещение для курсового проектирования (выполнения

Согласована на портале № 36233

курсовых работ)

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 423 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Доска магнитно-маркерная BRAUBERG;
- LMC-100103 Экран с электроприводом Master Control Matte 203*203 см White FiberGlass, черная кайма по периметру;
- Проектор NEC «M361X»;
- Системный блок (16 шт.);
- Мониторы (16 шт.);
- Компьютер;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Adobe Acrobat Reader
- Google Chrome
- LibreOffice
- OpenOffice
- PTC Mathcad13, 14
- Scilab

13.1.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например,

Согласована на портале № 36233

текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

14.1.1. Тестовые задания

Согласованный фильтр обеспечивает:

- Минимально короткий по времени отклик на своем выходе
- Максимальное отношение сигнал-шум на своем выходе в определенный момент времени, при условии, что шум — белый
- Снятие закона модуляции (демодуляцию)
- Максимум шенноновской информации на своем выходе

Формирующий фильтр обеспечивает:

- Формирование квадратурных сигналов с заданной формой спектральной плотности
- Формирование узкополосного сигнала на некоторой несущей частоте
- Формирование ортогональных по времени квадратурных сигналов
- Формирование тактовых импульсов для символьной синхронизации

Согласованный фильтр является:

- Линейным фильтром с постоянными параметрами
- Нелинейным фильтром с постоянными параметрами
- Линейным фильтром с переменными параметрами
- Нелинейным фильтром с переменными параметрами

Формирующий фильтр является:

- Линейным фильтром с постоянными параметрами
- Нелинейным фильтром с постоянными параметрами
- Линейным фильтром с переменными параметрами
- Нелинейным фильтром с переменными параметрами

Параметр Roll-off factor формирующего фильтра типа "приподнятый" косинус позволяет:

- Изменить уровень межсимвольной интерференции на своем выходе
- Изменить ширину спектра формируемого сигнала
- Изменить скорость спада мощности вне основной полосы формируемого сигнала
- Изменить амплитуду формируемого сигнала

Межсимвольная интерференция — это:

- Когда время прихода импульса является случайной величиной с ненулевой дисперсией
- Когда импульс влияет на соседние импульсы, накладываясь на них своими "хвостами"
- Когда длительность импульса является случайной величиной с ненулевой дисперсией
- Процесс формирования группового сигнала в системах с кодовым разделением каналов

Межсимвольная интерференция является:

- Вредной
- Полезной
- Зависит от способа формирования сигнала
- Нейтральной

Согласованный фильтр, бывает, заменяют:

- Фильтром нижних частот
- Коррелятором
- Коррелятором с фильтром нижних частот
- Фильтром верхних частот

Согласована на портале № 36233

Коррелятор — это устройство, которое вычисляет:
- Интеграл по времени от входного сигнала
- Произведение опорного сигнала и входного
- Интеграл по времени от произведения опорного сигнала и входного
- Свертку опорного сигнала с входным

Когерентный прием обязательно включает в себя:
- Амплитудный детектор
- Схему выделения сигнала "пилот-тон"
- Контур фазовой автоподстройки частоты
- Процесс формирования опорного колебания с точностью до фазы для последующего снятия закона модуляции

Некогеретный прием обязательно включает в себя:
- Процесс формирования опорного колебания с точностью до частоты для последующего снятия закона модуляции
- Схему выделения сигнала "пилот-тон"
- Контур фазовой автоподстройки частоты
- Частотный детектор

Петля Костаса предназначена для:
- Автоматической подстройки частоты формируемого опорного колебания
- Снятия дифференциального кодирования символов
- Автоматической подстройки частоты формируемого опорного колебания с точностью до фазы
- Удвоения частоты формируемого колебания

Модуляция QPSK позволяет передать:
- 1.5 бита на символ
- 4 бита на символ
- 1 бит на символ
- 2 бита на символ

Модуляция GMSK позволяет передать:
- 1.5 бита на символ
- 4 бита на символ
- 1 бит на символ
- 2 бита на символ

Модуляция QAM-16 позволяет передать:
- 1.5 бита на символ
- 4 бита на символ
- 1 бит на символ
- 2 бита на символ

Более требовательна к отношению сигнал-шум модуляция:
- GMSK
- QPSK
- QAM-16
- BPSK

Более требовательна к линейности выходного усилителя мощности модуляция:
- QAM-16
- OQPSK
- GMSK
- QPSK-pi/4

Усилители мощности по степени линейности делятся на классы:
- A,B,C
- A,B,C; D,E,F
- I, II, III
- 0, 1, 2

Мощность теплового шума на входе малошумящего усилителя приемника прямо

Согласована на портале № 36233

пропорциональна:

- Коэффициенту шума малошумящего усилителя
- Полосе частот принимаемого радиосигнала
- Несущей частоте принимаемого радиосигнала
- Существует сама по себе и ни от чего не зависит

Коэффициент шума малошумящего усилителя это:

- Отношение сигнал-шум на входе усилителя, деленное на отношение сигнал-шум на его выходе
- Уровень собственного шума усилителя, в dBm
- Величина kT, где T — температура окружающей среды, k — постоянная Больцмана
- Разница коэффициентов усиления усилителя (в dB), измеренных для двух опорных температур

Коды Голда примечательны:

- Идеальной автокорреляционной функцией
- Трехзначной функцией взаимной корреляции
- Своей ортогональностью
- Тем, что их изобрел мистер Голд

М-последовательности примечательны:

- Максимальным периодом
- Хорошими взаимно корреляционными свойствами
- Своей ортогональностью
- Равенством количества нулей и единиц

Коды Уолша примечательны:

- Идеальной автокорреляционной функцией
- Наличием последовательности типа "меандр"
- Своей абсолютной независимостью
- Своей ортогональностью

Для систем радиосвязи с расширенным спектром характерна:

- Лучшая защита от непреднамеренных помех и многолучевого распространения сигнала
- Более высокая битовая скорость передачи информации
- Большая плотность мощности излучаемого сигнала
- Заметность в радиоэфире

Системы с кодовым разделением каналов:

- Вытеснили другие технологии разделения каналов ввиду своей исключительности
- Применяются одновременно с другими технологиями разделения каналов
- Практически не применяются ввиду своей сложности
- Отдали "козырную масть" технологии OFDM

Коэффициент расширения спектра в современных (4G) системах радиосвязи варьируется в пределах:

- (4-512)
- (256-1024)
- (4-64)
- (32-128)

Коэффициент расширения спектра равен 256. Отношение сигнал-шум после сжатия (по времени) сигнала с расширенным спектром увеличится на:

- 110 dB
- 48 dB
- 24 dB
- 55 dB

14.1.2. Экзаменационные вопросы

МОДУЛЯЦИЯ. СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ:

Роль модуляции в системах передачи информации.

Различие аналоговой и цифровой модуляции.

Требования к спектрам сигналов в современных системах передачи информации.

Согласована на портале № 36233

Тепловой шум.

Спектральная плотность мощности сигнала.

Спектры сигналов с АМ, ФМ, ЧМ и OFDM модуляциями.

Три поколения цифровых систем связи: аналоговые, гибридные и цифровые.

ФОРМИРУЮЩИЙ ФИЛЬТР. ЕГО РОЛЬ:

Спектральная плотность случайной последовательности импульсов прямоугольной формы.

Скорость спада мощности в зависимости от частоты.

Необходимость сглаживания фронтов импульсов.

Фильтр "приподнятого" косинуса.

Особенности реализации фильтра в цифровом виде: влияние на формируемый спектр факторов дискретности и ограниченности по времени импульсной характеристики; влияние цифро-аналогового преобразователя.

СОГЛАСОВАННЫЙ ФИЛЬТР. ЕГО РОЛЬ:

Тепловой шум как ограничитель производительности систем связи.

Согласованный фильтр как фильтр, доставляющий максимум отношению сигнал-шум при наличии аддитивного белого шума.

Необходимость согласования амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) формирующего фильтра с АЧХ согласованного.

Фильтр "корень" из "приподнятого" косинуса.

ЧАСТОТНАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ СВЯЗИ:

Связь между "аналоговым" и "цифровым" отношениями сигнал-шум.

Нормированная пропускная способность канала.

Скорость кодирования.

Теорема Шеннона, ее иллюстрация.

Предел Шеннона, предел двоичного канала связи: жесткие решения и мягкие решения.

ПРИНЦИПЫ СИНХРОНИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ:

Когерентность при приеме и обработке сигнала.

Восстановление несущей частоты.

Петля Костаса.

Восстановление тактовых импульсов.

Детектор Гарднера.

ПРИНЦИПЫ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ:

Достоинства сигналов с расширенным спектром.

Псевдослучайные последовательности (М-последовательности).

Коды Голда.

ПРИНЦИПЫ МОДУЛЯЦИИ OFDM:

Иллюстрация недостатка частотного разделения каналов.

Иллюстрация ортогональности несущих при выполнении операции дискретного преобразования Фурье (ДПФ).

Необходимость циклического префикса для снижения вредного влияния многолучевости.

Параметры модуляции OFDM в системах связи 4G LTE.

Структурные схемы передатчика и приемника с OFDM.

ПРИНЦИПЫ MIMO:

Классификация MIMO: SISO (классический вариант), SIMO (разнесенный прием), MISO (разнесенная передача), SU-MIMO (однопользовательское пространственное уплотнение), MU-MIMO (многопользовательское пространственное уплотнение).

Структурные схемы MIMO согласно классификации.

14.1.3. Вопросы на собеседование

Какой смысл величины "энергетическая эффективность кодирования"? В чем она измеряется?

Какой смысл величины "частотная эффективность модуляции"? В чем она измеряется?

Что такое пропускная способность канала связи? В чем она измеряется?

Почему пропускная способность канала с мягкими решениями выше (не ниже) пропускной способности канала с жесткими решениями?

Согласована на портале № 36233

Чем платят за повышение частотной эффективности (перечислите известные вам параметры)?

Перечислите известные вам способы восстановления несущей частоты в приемнике.

Расскажите о природе неоднозначности работы петли Костаса на примере модуляции BPSK (ФМн)?

Зачем восстанавливать фазу тактовых импульсов и чем отличается фаза от частоты следования?

Дайте формулу детектора Гарднера. Графически объясните принцип работы этого детектора.

Какие детекторы, кроме детектора Гарднера, вам известны?

Перечислите основные достоинства и недостатки модуляции OFDM.

14.1.4. Темы индивидуальных заданий

БИТОВАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА:

Источник информации создает цифровой поток В мегабит в секунду. На вход

радиолинии с выхода передатчика подается последовательность двоичных радиоимпульсов, модулированных по закону М (М = 1 для АМ, М = 2 для ЧМ с ортогональными сигналами, М = 3 для ФМ). Средняя мощность передаваемых сигналов

обоих видов (0 и 1) равна W. Задана величина ослабления в линии F. На входе приемника присутствует аддитивный белый гауссовский шум со спектральной

плотностью No. Определить битовую вероятность ошибки на выходе идеальной

когерентной системы связи без использования корректирующего кода (Рош1) и при

использовании (n, k)-кода Хэмминга (Рош2).

14.1.5. Темы домашних заданий

Задана функция корреляции битовой последовательности. Определить спектральную плотность мощности и построить ее график на одном периоде.

Код Голда задан двумя полиномами. Записать два произвольных кодовых слова кода Голда.

Дана импульсная характеристика формирующего фильтра. Рассчитать и построить отклик этого фильтра на входную битовую последовательность.

Дана функция корреляции битовой последовательности. Рассчитать спектральную плотность мощности и построить ее график.

С помощью компьютера промоделировать модуляцию MLT-3 с оценкой и построением спектральной плотности мощности.

14.1.6. Темы докладов

Что может дать рядовому пользователю технология MIMO?

14.1.7. Вопросы на самоподготовку

Почему техника OFDM не была реализована сразу после ее теоретического обоснования? Какой "трюк" позволил сделать это в настоящее время?

По каким причинам в системах связи поколения 4G перешли на OFDM, отказавшись от CDMA?

В каких конкретно системах связи применяется MIMO в том или ином виде?

Используется ли в сотовых системах связи 2G/3G/4G пилот-тон для восстановления несущей?

Перечислите три поколения приемников цифровых систем связи (по способам обработки сигналов).

Что такое эффект Доплера и влияет ли он на производительность систем связи с модуляцией OFDM?

14.1.8. Темы лабораторных работ

Изучение Simulink-модели некогерентного демодулятора частотно-манипулированного сигнала с непрерывной фазой.

Изучение спектров сигналов с линейной модуляцией. Показывается влияние формы импульса-носителя и функции корреляции битовой последовательности на спектр формируемого сигнала.

Согласована на портале № 36233

В системе Matlab изучается формирующий фильтр "приподнятого" косинуса.

В системе Matlab изучается согласованный фильтр "корень" из "приподнятого" косинуса.

14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

Согласована на портале № 36233

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 36233