

**ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский)
университет**



Утверждено
Директор Института
Агаронян А.К.

«30» апреля 2025 г., протокол № 05
Утвержден Ученым Советом ИФИ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: **Б1.О.05 «Расширенная цифровая
связь»**

Автор (ы) Эйрамджян Сурен Геворкович, к.т.н.
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: **11.04.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи**

Наименование образовательной программы: **Беспроводные
коммуникации и сенсоры**

Согласовано:

Вр. и.о. заведующего Кафедрой Телекоммуникаций
Сиволенко Э. Р.



(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

- 1.1.** Учебная программа «Расширенная цифровая связь» ориентирована на подготовку высокопрофессиональных кадров в области телекоммуникаций, которые должны обладать основополагающими знаниями и навыками цифровых коммуникационных устройств, методами формирования и обработки цифровых сигналов, т.к. последние являются неотъемлемой частью современных телекоммуникационных систем и сетей. Актуальной практической задачей дисциплины является подготовка магистрантов к творческому профессиональному восприятию последующих специальных дисциплин.
- 1.2.** Данная дисциплина теснейшим образом взаимосвязана с последующими дисциплинами: основы связи, цифровые системы связи, построение телекоммуникационных сетей и систем, теория связи и т.д.
- 1.3.** Магистрант должен
- **знать** основы по курсам: математического анализа, аналитической геометрии, векторной алгебры и векторного анализа, дифференциальных уравнений, по общим курсам физики - электричество и магнетизм, теория цепей, а также теорию сигналов.
 - **уметь** применять знания при решении соответствующих задач,
 - **владеть** навыками интегрального, дифференциального, векторного и матричного исчислений.
- 1.4.** Дисциплины, изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины следующие - физика I, II, III, IV, математика I, II, III, IV, теория цепей, теория сигналов и т.д.

Код компетенции (в соответствии рабочим с учебным планом)	Наименование компетенции (в соответствии рабочим с учебным планом)	Код индикатора достижения компетенции (в соответствии рабочим с учебным планом)	Наименование индикатора достижений компетенций (в соответствии рабочим с учебным планом)
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования	УК-6.1; УК-6.2;	Знает методики самооценки, самоконтроля и саморазвития с использованием подходов здоровьесбережения. Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального

	<i>на основе самооценки</i>		развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности, применять методики самооценки и самоконтроля, применять методики, позволяющие улучшить и сохранить здоровье в процессе жизнедеятельности. Владеет технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни.
ОПК-1	Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем своей профессиональной деятельности, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	УК-6.3; ОПК-1.1; ОПК-1.2; ОПК-1.3;	Знает принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и умеет оценивать их достоинства и недостатки Умеет проводить экспериментальные исследования систем передачи, распределения, обработки и хранения информации Владеет навыками реализации новых принципов и методов обработки и передачи информации в современных инфокоммуникационных системах и сетях.
ОПК-2	Способен реализовывать новые принципы и методы исследования современных инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации	ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3;	Знает технические характеристики и экономические показатели разработок в области радиоэлектронной техники, действующие нормативные требования и государственные стандарты. Умеет осуществлять патентный поиск, проводить сбор, анализ и систематизацию научно-исследовательской информации, формулировать цели и задачи научно-исследовательских работ. Владеет навыками разработки и анализа вариантов создания радиоэлектронного устройства или радиоэлектронной системы на основе синтеза накопленного опыта, изучения литературы.
ОПК-3	Способен приобретать, обрабатывать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению задач	ОПК-3.1	Знает принципы построения локальных и глобальных компьютерных сетей, типовые процедуры применения проблемно-ориентированных прикладных

ОПК-4	своей профессиональной деятельности	ОПК-3.2	программных средств в дисциплинах профессионального цикла и профессиональной сфере деятельности Умеет использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности научной и образовательной сфер деятельности Владеет передовым отечественным и зарубежным опытом при проведении исследований, проектировании, ПГУ технологических процессов и эксплуатации инфокоммуникационных систем, сетей и устройств.
		ОПК-3.3	
	Способен разрабатывать и применять специализированное программно-математическое обеспечение для проведения исследований и решении проектно-конструкторских и научно-исследовательских задач	ОПК-4.1	
	Код индикатора достижения компетенций	ОПК-4.2	
ПК-1		ОПК-4.3	Знает основные методы обработки экспериментальных данных с помощью современного специализированного программно-математического обеспечения при решении научно-исследовательских задач Умеет использовать современное специализированное программно-математическое обеспечение для решения задач приема, обработки и передачи информации и проведения исследований в области инфокоммуникаций Владеет методами компьютерного моделирования и обработки информации с помощью специализированного программно-математического обеспечения
	Способен использовать современные достижения науки и передовые инфокоммуникационные технологии, методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области ИКТ и СС, ставить задачи исследования, выбирать методы	ПК-1.1;	Знает методики сбора, анализа и обработки статистической информации инфокоммуникационных систем Умеет проводить исследования характеристик телекоммуникационного оборудования и оценки качества предоставляемых услуг Владеет навыками анализа научно-технической проблемы на основе подбора и изучения литературных и патентных источников, а также навыками проведения экспериментальных работ.
		ПК-1.2;	
		ПК-1.3;	

ПК-2	экспериментальной работы с целью совершенствования и созданию новых перспективных инфокоммуникационных систем		
	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные исследования для решения научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и методов исследования	ПК-2.1; ПК-2.2; ПК-2.3;	Знает общие принципы функционирования и архитектуру аппаратных, программных и программно-аппаратных средств администрируемой сети Умеет пользоваться контрольно-измерительными приборами и аппаратурой, анализировать сообщения об ошибках в сетевых устройствах и операционных системах. Владеет навыками мониторинга установленных сетевых устройств и программного обеспечения, выявления и устранения сбоев и отказов сетевых устройств.
	Способен организовывать и проводить экспериментальные испытания с целью оценки и улучшения качества предоставляемых услуг связи, соответствия требованиям технических регламентов, международных и национальных стандартов и иных нормативных документов	ПК-5.1; ПК-5.2; ПК-5.3	Знает основы архитектуры, устройства и функционирования вычислительных систем, стандарты информационного взаимодействия систем. Умеет собирать данные для анализа показателей качества программных технических средств инфокоммуникационной системы и анализировать системные проблемы обработки системы. Владеет навыками обнаружения и определения причин возникновения критических инцидентов при работе системного программного обеспечения
ПК-7	Способен к выполнению работ по обеспечению функционирования телекоммуникационного	ПК-7.1	Знает основы сетевых технологий, стандарты и методы защищенной передачи данных в корпоративных сетях современные технологии и стандарты

грамотно эксплуатировать устройства цифровой связи, со строгим соблюдением правил техники безопасности.

- **иметь** понимание современных тенденций развития цифровых систем и устройств связи.

- **владеть** навыками практической работы с системами и устройствами цифровой связи, а также современной измерительной аппаратурой для исследования и тестирования таковых.

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах -144 и зачетных единицах - 4) (удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах	Распределение по семестрам					
		<u>I</u> сем	<u>II</u> сем	<u>III</u> сем	<u>IV</u> - сем.	<u> </u> сем	<u> </u> сем.
1	2	3	4	5	6	7	8
1.Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	144			144			
1.1.Аудиторные занятия, в т. ч.:	32			32			
1.1.1.Лекции	16			16			
1.1.2.Практические занятия, в т. ч.	16			16			
1.1.2.1. Обсуждение прикладных проектов							
1.1.2.2. Контрольные работы							
1.1.2.3. Другое (указать)							
1.1.3.Семинары							
1.1.4.Лабораторные работы							
1.1.5.Другие виды (практические работы)							
1.2.Самостоятельная работа, в т. ч.:	76			76			
1.2.1. Подготовка к экзаменам	30			30			
1.2.1.1.Другое (указать)							
1.3. Консультации	10			10			
1.4. Другие методы и формы занятий	36			36			
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	Экзамен 36			Экзам ен 36			

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)	Семинары (ак. часов)	Практ. Занятия (ак. часов)	Лабор. (ак. часов)
1	2=3+4+5+6 +7	3	4	5	6
Введение	-	-	-	-	-
Раздел 1. Цифровые устройства и их архитектуры.	8	4	-	4	-
<i>Тема 1.1. Системы на чипах, их архитектуры.</i>	3	1	-	2	
<i>Тема 1.2. Цифровая модуляция.</i>	3	1	-	2	
<i>Тема 1.3. БПФ, Комплексный спектр.</i>	2	2	-	-	
Раздел 2. Цифровое формирование сигналов	6	4	-	2	
<i>Тема 2.1. Комплексная модуляция (IQ), оцифровка по Найквисту, Оконные функции и искажения цифрования.</i>	2	1	-	1	
<i>Тема 2.2. Битовая и символьная скорость, типы цифровой модуляции.</i>	2	1	-	1	
<i>Тема 2.3. Измерения параметров цифровых приемных устройств, Коэффициент ошибок по битам и пакетам (BER, PER).</i>	2	2	-	-	
Раздел 3. Измерения цифровых сигналов	8	4	-	4	
<i>Тема 3.1. Спектральный анализ (скалярный и векторный)</i>	2	1	-	1	
<i>Тема 3.2. Канальные искажения, полоса сигнала, фазовые шумы и их влияния на цифровые сигналы.</i>	2	1	-	1	
<i>Тема 3.3. Квадратурные искажения и их влияние на цифровые модуляции.</i>	3	1	-	2	

<i>Тема 3.4. Фазовые шумы, Коэффициент шума, Гармонические искажения, Интермодуляционные искажения и влияние на качество цифровой связи.</i>	1	1	-	-	
Раздел 4. Расширение спектра в цифровой связи	4	2	-	2	
<i>Тема 4.1. Прямое расширение спектра, системы с кодовым разделением каналов.</i>	3	2	-	1	
<i>Тема 4.2. Расширение спектра с псевдослучайной перестройкой частоты.</i>	1	-	-	1	
Раздел 5. Разделение каналов	8	4	-	4	
<i>Тема 5.1. Частотное и временное разделение каналов.</i>	4	2	-	2	
<i>Тема 5.2. Ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM)</i>	2	1	-	1	-
<i>Тема 5.3. Системы с множественными выходами и входами (MIMO) и пространственное разделение каналов.</i>	2	1	-	1	-
ИТОГО	32	16	-	16	

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

РАСШИРЕННАЯ ЦИФРОВАЯ СВЯЗЬ

Введение

Содержание дисциплины. Понятие устройств цифровой передачи и приема сигналов.

Раздел 1. Цифровые устройства и их архитектура.

Тема 1.1. Системы на чипах, их архитектуры.

Архитектуры цифровых приемопередающих устройств, современные системы на одном чипе или кристалле (SOC).

Тема 1.2. Цифровая модуляция.

Типы модуляции: аналоговая и цифровая, разница, преимущества и недостатки цифровой модуляции.

Тема 1.3. БПФ, Комплексный спектр.

Цифровая обработка сигналов и преобразование спектра, Преобразование Фурье (дискретное и быстрое) как инструмент обработки сигналов, понятия скалярного и комплексного спектров сигнала.

Раздел 2. Цифровое формирование сигналов

Тема 2.1. Комплексная модуляция (IQ), оцифровка по Найквисту, Оконные функции и искажения цифрования.

Понятие комплексной модуляции, формирование квадратуры (IQ) и ее применение в формировании цифровых сигналов. Понятие критерий Найквиста, понятие зон Найквиста и их влияние при оцифровке сигналов. Оконные функции в качестве инструмента против искажений возникающих в следствие оцифровки (когерентной и некогерентной).

Тема 2.2. Битовая и символьная скорость, типы цифровой модуляции.

Понятие символов в цифровой модуляции, взаимосвязь символьной и битовой скорости, а также зависимость от схемы модуляции.

Тема 2.3. Измерения параметров цифровых приемных устройств, Коэффициент ошибок по битам и пакетам (BER, PER).

Методы и средства измерения приемных устройств цифровой связи, изучение чувствительности, а также зависимость коэффициентов ошибок по битам и пакетам от них.

Раздел 3. Измерения цифровых сигналов

Тема 3.1 Спектральный анализ (скалярный и векторный).

Ознакомление с различными методами измерения сигналов, временная и частотная зависимость, спектральный анализ сигналов, скалярные и векторные анализаторы сигналов и их применение при исследовании цифровых сигналов.

Тема 3.2. Канальные искажения, полоса сигнала, фазовые шумы и их влияния на цифровые сигналы.

Понятие канала, его спектральные характеристики, такие как полоса, мощность в полосе, спектральная маска, а также их искажения в следствие фазовых шумов опорных генераторов (гетеродинов) и т.д.

Тема 3.3. Квадратурные искажения и их влияние на цифровые модуляции

Понятие квадратурных искажениях во время квадратурной модуляции (IQ Impairments), разбаланс квадратуры, деформация, постоянный сдвиг и т.д., и влияние на цифровую модуляцию, возникновение вектора ошибки (EVM, MER).

Тема 3.4. Фазовые шумы, Коэффициент шума, Гармонические искажения, Интермодуляционные искажения и влияние на качество цифровой связи..

Опорные генераторы и их фазовые шумы, коэффициент шума примененных устройств, гармонические искажения генераторов, а также нелинейность усилительных трактов приводящих к интермодуляционным искажениям, влияние перечисленных явлений на качество цифрового сигнала.

Раздел 4. Расширение спектра в цифровой связи

Тема 4.1. Прямое расширение спектра, системы с кодовым разделением каналов.

Ознакомление с методом прямого расширения сигналов путем использования псевдослучайных последовательностей, формирование шумоподобных сигналов.

Тема 4.2. Расширение спектра с псевдослучайной перестройкой частоты..

Ознакомление с понятием расширения спектра путем псевдослучайной перестройки радио частоты (ППРЧ), а также с понятиями быстрой и медленной перестройки частоты. Шума и помехозащищенность таких сигналов.

Раздел 5. Разделение каналов

Тема 5.1. Частотное и временное разделение каналов.

Изучение методов увеличения каналов путем разделения частот (FDM), а также использование временного разделения для передачи и приема сигналов в различные периоды времени (слотов) с использованием одних и тех же частот (TDM). Примеры систем с использованием частотным и временным разделением.

Тема 5.2. Ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM).

Изучения ортогонального частотного мультиплексирования, понятие многолучевости и работы систем с OFDM в таких условиях, метод формирования и обработка сигналов.

Тема 5.3. Системы с множественными входами и выходами (MIMO) и пространственное разделение каналов..

Изучение систем с множественными входами и выходами (MIMO), понятие многоэлементных систем и фазированных антенных решеток, формирования многолучевых структур, а также пространственного разделения каналов.....

2.3.3. Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума

Наименование практических работ
--

1. Оцифровка, скалярный и векторный спектр
2. Комплексная модуляция (IQ)
3. Цифровые модуляции и их виды
4. Исследование антиалайзинговых фильтров.
5. Коэффициент шума, Фазовый шум и влияние на цифровые сигналы
6. Частотное, временное и кодовое разделение каналов (FDM, TDMA и CDMA)
7. Ортогональное частотное мультиплексирование (OFDM)
8. Множественные входы/выходы (MIMO) и пространственное разделение

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Учебные методические пособия
- Вычислительная техника для обеспечения практического изучения материала методом симуляций и мат обработки
- Измерительные ВЧ/СВЧ приборы (Векторный Анализатор Сигналов, Генератор сигналов и т.д.)
- Проектор

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)		Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
Вид учебной работы/контроля	M1 ¹	M2	M1	M2	M1	M2		
Контрольная работа (при								

¹ Учебный Модуль

наличии)								
Устный опрос (при наличии)								
Тест (при наличии)								
Лабораторные работы (при наличии)		1						
Письменные домашние задания (при наличии)								
Реферат (при наличии)								
Эссе (при наличии)								
Проект (при наличии)								
Другие формы (при наличии)								
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей						0.5		
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей						0.5		
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.4
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								(Экзамен) 0.6
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

3. Теоретический блок (указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)

Рекомендуемая литература

а) Базовый учебник

DIGITAL. COMMUNICATIONS. Fundamentals and Applications. Second Edition.

BERNARD SKLAR. *Communications Engineering Services*, Tarzana, California.

б) Основная литература:

RF Measurement Fundamentals, Course Manual. © 2008–2010 National Instruments Corporation

в) Другие источники:

1. <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/digital-modulation>
2. <https://www.scribbr.com/methodology/sampling-methods/>
3. <https://www.ni.com/en/perspectives/5-rf-transmitter-measurements-every-engineer-should-know.html>
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Spread_spectrum
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Code-division_multiple_access
6. <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/orthogonal-frequency-division-multiplexing>
7. <https://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>

Практический блок

Программные средства освоения дисциплины

Платформа графической разработки систем моделирования, управления и тестирования
LabVIEW

4. Фонды оценочных средств (указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).

Перечень итоговых контрольных вопросов

1. Структура современного цифрового примемопередающего модуля.
2. Преобразование Фурье – ДПФ, БПФ
3. Комплексная модуляция и демодуляция (IQ), методы и способы.
4. Когерентная и некогерентная оцифровка и оконные функции.
5. Современная система цифровой коммуникации и основы модуляций.
6. Понятия EVM и MER.
7. Цифровые модуляции, типы и спектральная эффективность.
8. Искажения или нарушения квадратуры (IQ Impairments) и их влияния.
9. Понятие BER и методы его проверки
10. Измерения чувствительности цифрового приемника.

11. Методы расширения спектра
12. Расширение спектра прямой последовательностью (DSSS)
13. Расширение спектра по ППРЧ (FHSS)
14. Множественный доступ с кодовым разделением (CDMA)
15. Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM)
16. Системы с множественным входом и множественным выходом (MIMO)

5. Методический блок

Методика преподавания

Во время каждого занятия преподаватель представляет материал по теме дня и вовлекает группу в обсуждение. Практичный характер курса предполагает активное вмешательство каждого студента в процессы представления и обсуждения темы. За преподавателем закреплена ответственность придерживаться тематики данного занятия и предоставлять необходимые фундаментальные знания и концепции.

После завершения изучения каждой из программ будет проведена контрольная работа для закрепления навыков.