


МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по УВР

 А.Г. Жуковский

«30» 08 2021 г.

Цифровая обработка сигналов Б1.О.12 рабочая программа дисциплины

Кафедра Направление подготовки системы связи Профиль	Общенаучной подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и Защищенные системы и сети связи Многоканальные телекоммуникационные системы Системы радиосвязи и радиодоступа Сети связи и системы коммутации
Формы обучения	очная, заочная

Распределение часов дисциплины по семестрам (для очной формы обучения), курсам (для заочной формы обучения)

Вид учебной работы	ОФ		ЗФ	
	ЗЕ	часов	ЗЕ	часов
Общая трудоемкость дисциплины, в том числе (по семестрам, курсам):	3	108/5	3	108/3
Контактная работа, в том числе (по семестрам, курсам):		38/5		14/3
Лекции		12/5		6/3
Лабораторных работ		26/5		8/3
Практических занятий		-		-
Семинаров		-		-
Самостоятельная работа		70/5		94/3
Контроль		-		-
Число контр. работ (по курсам)				
Число КР (по семестрам, курсам)				
Число КП (по семестрам, курсам)				
Число зачетов с разбивкой по семестрам		1/5		1/3
Число экзаменов с разбивкой по семестрам				

Программу составил:

Доцент кафедры ОНП, к.ф.-м.н., доцент Бородин А.В.

Рецензент(ы):

Заведующий кафедрой ИТСС к.т.н., доцент Юхнов В.И.

Рабочая программа дисциплины

«Цифровая обработка сигналов»

Разработана в соответствии с ФГОС ВО направления подготовки **11.03.02 ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ**, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 сентября 2017 г. N 930.

Составлена на основании учебных планов направления **11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи**, профилей «Защищенные системы и сети связи», «Многоканальные телекоммуникационные системы», «Сети связи и системы коммутации», «Системы радиосвязи и радиодоступа», одобренного Учёным советом СКФ МТУСИ, протокол №1 от 30.08.2021г., и утвержденного директором СКФ МТУСИ 30.08.2021г.

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
«Общенаучной подготовки»

Протокол от «30» 08 2021 г. № 1

Зав. кафедрой *В.С.И.* Конкин Б.Б.

Визирование для использования в 20__/20__ уч. году

Утверждаю

Зам. директора по УВР _____

«__» _____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена на заседании кафедры
«Общенаучной подготовки»

Протокол от «__» _____ 20__ г. № _____

Зав. кафедрой _____

Визирование для использования в 20__/20__ уч. году

Утверждаю

Зам. директора по УВР _____

«__» _____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена на заседании кафедры
«Общенаучной подготовки»

Протокол от «__» _____ 20__ г. № _____

Зав. кафедрой _____

Визирование для использования в 20__/20__ уч. году

Утверждаю

Зам. директора по УВР _____

«__» _____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена на заседании кафедры
«Общенаучной подготовки»

Протокол от «__» _____ 20__ г. № _____

Зав. кафедрой _____

Визирование для использования в 20__/20__ уч. году

Утверждаю

Зам. директора по УВР _____

«__» _____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена на заседании кафедры
«Общенаучной подготовки»

Протокол от «__» _____ 20__ г. № _____

Зав. кафедрой _____

1. Цели изучения дисциплины

Целями изучения дисциплины «Цифровая обработка сигналов» являются:

- изучение алгоритмов дискретизации и квантования сигналов, теории Z-преобразования дискретных сигналов и разностных уравнений дискретных систем;
- изучение принципов действия, характеристик, параметров и особенностей устройства цифровых фильтров, освоение алгоритмов синтеза цифровых фильтров;
- приобретение студентами знаний и навыков практического использования цифровых сигнальных процессоров, а также базовых ячеек микропроцессоров при разработке и эксплуатации средств связи.

2. Планируемые результаты обучения

Изучение дисциплины направлено на формирование у выпускника способности решать следующие профессиональные задачи в соответствии с *технологической деятельностью*.

Результатом освоения дисциплины являются сформированные у выпускника следующие компетенции:

Компетенции выпускника, формируемые в результате освоения дисциплины (в части, обеспечиваемой дисциплиной)	
ОПК-3. Способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности	
Знать:	методы хранения и обработки цифровых сигналов с помощью нерекурсивной и рекурсивной цифровой фильтрации; алгоритмы синтеза цифровых фильтров.
Уметь:	синтезировать цифровой фильтр с целью обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности
Владеть:	методами определения характеристик и параметров цифровых фильтров и их компьютерного исследования

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Требования к предварительной подготовке обучающегося (предшествующие дисциплины, модули, темы):	
1.	Б1.О.06 «Дискретная математика»
2.	Б1.О.15 «Электроника»
3.	Б1.О.16 «Теория электрических цепей»
Последующие дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо:	
1.	Б1.В.13 (ЗССС) «Многоканальные цифровые системы передачи и средства их защиты»
2.	Б1.В.17 (МТС) «Технологии цифрового телерадиовещания»
3.	Б1.В.17 (СРиРД) «Технологии цифрового телерадиовещания»
4.	Б1.В.13 (СССК) «Цифровые системы передачи»

4. Структура и содержание дисциплины

4.1 Очная форма обучения, 4 года (всего 108 часов, 38 часов контактной работы)

Код зан.	Тема и краткое содержание занятия	Вид зан.	Кол. часов	Компетенции	УМИО
Курс 2, Семестр 3					
Модуль 1. Цифровые сигналы. Общие сведения. – 54 (18+36) часов					
1.1	<u>Лекция 1. Предмет и содержание дисциплины, ее место и роль в подготовке специалиста.</u> Порядок изучения дисциплины, рекомендуемая литература, формы контроля и отчетности, области применения цифровой обработки сигналов. <u>Классификация сигналов. Структурная схема преобразования сигналов при цифровой обработке.</u>	Лек.	2	ОПК-3	Л1.1, Л2.1 Л2.2
1.2	Погрешность квантования. Понятие кванта цифрового отсчета. Методы оценки погрешности квантования.	СРС	6	ОПК-3	Л1.1, Л2.1, Л2.2
1.3	<u>Лекция 2. Дискретизированные сигналы.</u> 1. Теорема Котельникова. Частота Найквиста. 2. Математические модели дискретных сигналов. Процедура дискретизации сигнала. 3. Структура спектра дискретизованного сигнала	Лек.	2	ОПК-3	Л1.1, Л2.1, Л2.2
1.4	Z-преобразование сигналов и системных функций. Определение z-преобразования. Пространство z - полиномов. Аналитическая форма z-образов. Свойства z - преобразования. Применение преобразования. Обратное z - преобразование.	СРС	6	ОПК-3	Л1.1, Л2.1 Л3.1
1.5	<u>Лекция 3. Преобразование дискретных сигналов.</u> 1. Дискретное преобразование Фурье 2. Свертка дискретных сигналов.	Лек.	2	ОПК-3	Л1.1, Л1.2, Л2.1 Л2.2
1.6	Связь Фурье-преобразования и Z-преобразования последовательностей.	СРС	6	ОПК-3	Л1.1, Л2.1 Л2.2
1.7	<u>Лабораторная работа 1.</u> Исследование спектров ДПФ различных сигналов. Спектр периодического сигнала. Спектр прямоугольного импульса. Спектр суммы гармонических сигналов.	Лаб.	4	ОПК-3	Л1.1 Л2.1 Л3.1
1.8	Спектр периодического сигнала. Спектр прямоугольного импульса. Спектр суммы гармонических сигналов.	СРС	6	ОПК-3	Л1.1 Л2.1 Л3.1

1.9	<u>Лабораторная работа 2.</u> Численные методы осуществления преобразования Фурье. Прямое Фурье-преобразование сигнала, амплитудный и фазовый спектры. Обратное Фурье преобразование.	Лаб.	4	ОПК-3	Л1.1 Л3.1
1.10	Прямое Фурье-преобразование сигнала, амплитудный и фазовый спектры. Обратное Фурье преобразование.	СРС	6	ОПК-3	Л1.1 Л3.1
1.11	<u>Лабораторная работа 3.</u> Исследование нерекурсивных цифровых фильтров 1-го и 2-го порядков. Синтез фильтров по заданным характеристикам. Исследование переходной характеристики. Отклик фильтра на гармонический сигнал.	Лаб.	4	ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л3.1
1.12	Синтез фильтров по заданным характеристикам. Исследование переходной характеристики. Отклик фильтра на гармонический сигнал.	СРС	6	ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л3.1
Модуль 2. Фильтрация в цифровой области. Способы описания цифровых фильтров – 54 (20+34) часов					
2.1	<u>Лекция 4. Цифровые фильтры на основе разностных уравнений и дискретной временной свертки</u> 1. Цифровые фильтры: определение, классификация. 2. Разностное уравнение. Временная свертка 3. Передаточная функция, импульсная характеристика ЦФ.	Лек.	2	ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л2.2
2.2	Отображение нулей и полюсов цифрового фильтра на комплексной Z – плоскости. Взаимосвязь передаточной функции, разностного уравнения, переходной и импульсной характеристик. Связь между коэффициентами, нулями и полюсами для каскадной и параллельной форм реализации ЦФ.	СРС	4	ОПК-3	Л1.1 Л2.1 Л2.2
2.3	<u>Лекция 5. Нерекурсивные цифровые фильтры</u> 1. Определение. Разностное уравнение. 2. Частотные характеристики 3. Структурная схема.	Лек.	2	ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1
2.4	Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ- фильтров.	СРС	6	ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л2.2
2.5	<u>Лекция 6. Рекурсивные цифровые фильтры</u> 1. Определение. Разностное уравнение. 2. Частотные характеристики. Устойчивость фильтров 3. Структурная схема.	Лек.	2	ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л2.2

2.6	Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ- фильтров. Искажения АЧХ при расчете КИХ-фильтров. Оконные функции. Синтез КИХ-фильтр методом частотной выборки. Согласованный фильтр и его реализация в цифровой области.	СРС	6	ОПК-3	Л1.1 Л1.2 Л2.1 Л3.1
2.7	<u>Лабораторная работа 4.</u> Проектирование цифрового КИХ- фильтра. Синтез КИХ-фильтра по алгоритму усреднения; синтез КИХ-фильтра методом весовых (оконных) функций; синтез КИХ-фильтра методом минимального среднего квадрата ошибки; исследование характеристик синтезированных фильтров.	Лаб.	4	ОПК-3	Л1.1 Л1.3 Л3.1
2.8	Синтез КИХ-фильтра методом весовых (оконных) функций; синтез КИХ-фильтра методом минимального среднего квадрата ошибки; исследование характеристик синтезированных фильтров.	СРС	6	ОПК-3	Л1.2 Л3.1
2.9	<u>Лабораторная работа 5.</u> Расчет цифрового БИХ - фильтра нижних частот Баттерворта	Лаб.	4	ОПК-3	Л1.2 Л1.3 Л3.1
2.10	Метод билинейного преобразования при различных видах аппроксимации фильтров-прототипов; синтез передаточной функции ЦФ по аналоговому прототипу методом билинейного преобразования; исследование переходной и амплитудно-частотной характеристики фильтра.	СРС	6	ОПК-3	Л1.2 Л1.3 Л3.1
2.11	<u>Лабораторная работа 6.</u> Исследование технических характеристик цифровых сигнальных процессоров. Методические ошибки алгоритма линейной интерполяции. Ошибки шага квантования. Точность вычисления тригонометрической функции и быстродействие ЦСП.	Лаб.	6	ОПК-3	Л1.2 Л3.1
2.12	Методические ошибки алгоритма линейной интерполяции. Ошибки шага квантования. Точность вычисления тригонометрической функции и быстродействие ЦСП.	СРС	6	ОПК-3	Л3.1
Итого -108 часов					

4.2 Заочная форма обучения, 5 лет (всего 108 часов, 14 часов контактной работы)

Код зан.	Тема и краткое содержание занятия	Вид зан.	Кол. часов	Компетенции	УМИО
Курс 3, Семестр 5					
Модуль 1. Цифровые сигналы. Общие сведения. – 36 (4+32) часов					
1.1	<u>Лекция 1. Предмет и содержание дисциплины, ее место и роль в подготовке специалиста.</u> Порядок изучения дисциплины, рекомендуемая литература, формы контроля и отчетности, области применения цифровой обработки сигналов. <u>Классификация сигналов.</u> <u>Структурная схема преобразования сигналов при цифровой обработке.</u>	Лек.	2	ОПК-3	Л1.1, Л1.2, Л2.1, Л2.2
1.2	<u>Лекция 2. Дискретизированные сигналы.</u> 1. Теорема Котельникова. Частота Найквиста. 2. Математические модели дискретных сигналов. Процедура дискретизации сигнала. 3. Структура спектра дискретизованного сигнала.	Лек.	2	ОПК-3	Л1.1, Л1.2, Л2.1, Л2.2
1.3	Преобразование дискретных сигналов. Дискретное преобразование Фурье. Свертка дискретных сигналов; Погрешность квантования. Понятие кванта цифрового отсчета. Методы оценки погрешности квантования. Z-преобразование сигналов и системных функций. Определение z-преобразования. Пространство z - полиномов. Аналитическая форма z-образов. Свойства z - преобразования. Применение преобразования. Обратное z - преобразование.	СРС	32	ОПК-3	Л1.1, Л1.2, Л2.1, Л2.2
Курс 3, Семестр 6					
Модуль 2. Биполярные и полевые транзисторы. Оптоэлектронные приборы. – 72 (10+62) часов					
2.1	<u>Лекция 3. Цифровые фильтры на основе разностных уравнений и дискретной временной свертки</u> 1. Цифровые фильтры: определение, классификация. 2. Разностное уравнение. Временная свертка 3. Передаточная функция, импульсная характеристика ЦФ.	Лек.	2	ОПК-3	Л1.1, Л1.2, Л2.1, Л2.2
2.2	<u>Лабораторная работа 1.</u> Исследование спектров ДПФ различных сигналов. Спектр периодического сигнала. Спектр прямоугольного импульса. Спектр суммы гармонических сигналов.	Лаб.	4	ОПК-3	Л1.1, Л3.1
2.3	<u>Лабораторная работа 2.</u> Численные методы осуществления преобразования Фурье. Прямое Фурье-преобразование сигнала, амплитудный	Лаб.	4	ОПК-3	Л1.1, Л3.1

	и фазовый спектры. Обратное Фурье преобразование.				
2.4	Нерекурсивные цифровые фильтры. Определение. Разностное уравнение. Частотные характеристики. Структурная схема. Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ- фильтров. Рекурсивные цифровые фильтры. Определение. Разностное уравнение. Частотные характеристики. Устойчивость фильтров. Структурная схема. Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ- фильтров. Искажения АЧХ при расчете КИХ- фильтров. Оконные функции. Синтез КИХ-фильтр методом частотной выборки. Согласованный фильтр и его реализация в цифровой области.	СРС	62	ОПК-3	Л1.1, Л1.2, Л2.1, Л2.2, Л3.1
Итого -108 часов					

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Рекомендуемая литература				
5.1.1. Основная литература				
Код	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Кол.
Л1.1	Гадзиковский В.И..	Методы проектирования цифровых фильтров	М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 414с.	Э1
Л1.2	Попов О.Б.	Компьютерный практикум по цифровой обработке аудиосигналов: учебное пособие (Гриф УМО)	М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 176с.	Э2
Л1.3	Мартюшев Ю.Ю.	Практика функционального цифрового моделирования в радиотехнике: учебное пособие (Гриф УМО)	М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 188с.	Э3
5.1.2 Дополнительная литература				
Код	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Кол.
Л2.1	Сергиенко А.Б.	Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов	СПб.: Питер, 2003	7
Л2.2	Солонина А.И, Улахович Д. А, Арбузов С. М.	Основы цифровой обработки сигналов: Учебное пособие	СПб.: БХВ Петербург, 2005	3

Л2.3	Воробьев С.Н..	Цифровая обработка сигналов: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования	М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 318с.	12
5.1.3 Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся				
Код	Авторы, со- ставители	Заглавие	Издательство, год	Кол.
Л3.1	Бородин А.В.	Цифровая обработка сигналов. Методическое пособие для проведения лабораторных работ	СКФ МТУСИ: Ростовн/Д, 2019	Э4
4.2 Электронные образовательные ресурсы				
Э1	http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=560412			
Э2	http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=245479			
Э3	http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=333227			
Э4	http://www.skf-mtusi.ru/?page id=659			
4.3 Программное обеспечение				
П.1	SMath Studio			
П.2	EXCEL			
П.3	DSP			
П.4	Advanced Grapher			

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

6.1 МТО лекционных занятий	
1	Лекционная аудитория, оснащенная проектором, ПК (ноутбуком), экраном.
6.2 МТО лабораторных работ и практических занятий	
1	Компьютеры
6.3 МТО рубежных контролей, зачетов, экзаменов	
1	Компьютерные аудитории с возможностью выхода в локальную сеть Филиала и Интернет.

7. Методические рекомендации для обучающихся по самостоятельной работе

Самостоятельная работа студентов является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих курсов (систем), а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, зачетам и экзаменам.

Постановку задачи обучаемым на проведение самостоятельной работы преподаватель осуществляет на одном из занятия, предшествующему данному.

Методику самостоятельной работы все обучаемые выбирают индивидуально.

Студентам очной формы обучения при освоении вопросов для самостоятельного изучения, представленных в подразделе 4.1, рекомендуется соблюдать последовательность их изучения, представленную в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Учебный материал, выносимый на самостоятельное изучение студентам очной формы обучения

№	Темы, разделы, вынесенные на самостоятельную подготовку, вопросы для подготовки к практическим и лабораторным занятиям; курсовые работы, содержание контрольных работ и др.	Часов всего: 70	Неделя
Модуль 1		36	1-8
1	Погрешность квантования. Понятие кванта цифрового отсчета. Методы оценки погрешности квантования.	6	1-2
2	Z-преобразование сигналов и системных функций. Определение z-преобразования. Пространство z - полиномов. Аналитическая форма z-образов. Свойства z - преобразования. Применение преобразования. Обратное z - преобразование.	6	3
3	Связь Фурье-преобразования и Z-преобразования последовательностей.	6	4
4	Спектр периодического сигнала. Спектр прямоугольного импульса. Спектр суммы гармонических сигналов.	6	5-6
5	Прямое Фурье-преобразование сигнала, амплитудный и фазовый спектры. Обратное Фурье преобразование.	6	7
6	Синтез фильтров по заданным характеристикам. Исследование переходной характеристики. Отклик фильтра на гармонический сигнал.	6	8
Модуль 2		34	9-16
1	Отображение нулей и полюсов цифрового фильтра на комплексной Z – плоскости. Взаимосвязь передаточной функции, разностного уравнения, переходной и импульсной характеристик. Связь между коэффициентами, нулями и полюсами для каскадной и параллельной форм реализации ЦФ.	4	9-10
2	Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ- фильтров.	6	10-11

3	Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ- фильтров. Искажения АЧХ при расчете КИХ- фильтров. Оконные функции. Синтез КИХ-фильтр методом частотной выборки. Согласованный фильтр и его реализация в цифровой области.	6	11-12
4	Синтез КИХ-фильтра методом весовых (оконных) функций; синтез КИХ-фильтра методом минимального среднего квадрата ошибки; исследование характеристик синтезированных фильтров.	6	13-14
5	Метод билинейного преобразования при различных видах аппроксимации фильтров-прототипов; синтез передаточной функции ЦФ по аналоговому прототипу методом билинейного преобразования; исследование переходной и амплитудно-частотной характеристики фильтра.	6	15
6	Методические ошибки алгоритма линейной интерполяции. Ошибки шага квантования. Точность вычисления тригонометрической функции и быстродействие ЦСП.	6	16

Таблица 3.2 – Учебный материал, выносимый на самостоятельное изучение студентам заочной формы обучения

№	Темы, разделы, вынесенные на самостоятельную подготовку, вопросы для подготовки к практическим и лабораторным занятиям; курсовые работы, содержание контрольных работ и др.	Часы на изучение Всего часов 94
Модуль 1		
1	Преобразование дискретных сигналов. Дискретное преобразование Фурье. Свертка дискретных сигналов. Погрешность квантования. Понятие кванта цифрового отсчета. Методы оценки погрешности квантования. Z-преобразование сигналов и системных функций. Определение z-преобразования. Пространство z - полиномов. Аналитическая форма z-образов. Свойства z - преобразования. Применение преобразования. Обратное z - преобразование.	32
Модуль 2		
2	Нерекурсивные цифровые фильтры. Определение. Разностное уравнение. Частотные характеристики. Структурная схема. Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ- фильтров. Рекурсивные цифровые фильтры. Определение. Разностное уравнение. Частотные характеристики. Устойчивость фильтров. Структурная схема. Линейная ФЧХ в КИХ-фильтрах. Симметричные и антисимметричные импульсные характеристики КИХ- фильтров. Искажения АЧХ при расчете КИХ-фильтров. Оконные функции. Синтез КИХ-фильтр методом частотной выборки. Согласованный фильтр и его реализация в цифровой области.	62

Дополнения и изменения в Рабочей программе