МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Телекоммуникаций и основ радиотехники»

«СОГЛАСОВАНО»
Декан ФРТ
_____ / Холопов И.С.
«19» ___06___ 2020 г

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор РОПиМД
_____ / Корячко А.В.
«19» ___06___ 2020 г

Заведующий кафедрой ТОР
_____ / Витязев В.В.
«19» ___06___ 2020 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.01.06 «Цифровая обработка сигналов»

Направление подготовки
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Направленности (профили) подготовки
«Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа»

Уровень подготовки
Бакалавриат

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2020 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» № 930, утвержденного 19.09.2017.

Разработчик

Заведующий кафедрой
«Телекоммуникаций и основ радиотехники» _____ В.В. Витязев

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
«Телекоммуникаций и основ радиотехники»

«____»_____ 2020 г., протокол № _____

Заведующий кафедрой
«Телекоммуникаций и основ радиотехники» _____ В.В. Витязев

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины являются формирование у студентов знаний основ теории и математического аппарата цифровой обработки сигналов (ЦОС), а также навыков их использования при построении современных телекоммуникационных систем. Эта цель достигается изучением теории, методов и алгоритмов преобразования и обработки сигналов в цифровых цепях с применением моделирующей среды MATLAB.

Основные задачи освоения учебной дисциплины:

- определить предмет и задачи информационных технологий реального времени;
- заложить основы теории цифровой обработки сигналов на примере проектирования цифровых фильтров частотной селекции и дискретных преобразований;
- изложить постановку и методику решения задачи аппроксимации в классе КИХ- и БИХ-цепей;
- научить методике анализа влияния собственных шумов и неточного представления весовых коэффициентов на качество работы систем ЦОС;
- дать представление о постановке и решение задачи оптимального проектирования систем ЦОС;
- ознакомить с основами теории двумерных цифровых цепей.

Перечень основных задач профессиональной деятельности выпускников (по типам)

Область профессиональной деятельности (по Реестру Минтруда)	Типы задач профессиональной деятельности	Задачи профессиональной деятельности	Объекты профес-сиональ-ной деятель-ности (или области знания)
06 Связь, информационные и коммуникационные технологии	научно - исследовательский	Проведение экспериментов по заданной методике, анализ результатов и составление рекомендаций по улучшению технико-экономических показателей инфокоммуникационно-го оборудования; проведение измерений и	Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодосту-па

		наблюдений, составление описания проводимых исследований, подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; математическое моделирование инфокоммуникационных процессов и объектов на базе как стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ; составление отчета по выполненному заданию, участие во внедрении результатов исследований и разработок.	

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Цифровая обработка сигналов» изучается по очной форме обучения на 3 курсе в 5 семестре; базируется на знаниях, полученных в ходе изучения следующих дисциплин: иностранный язык, математика, информатика, дискретная математика, теория вероятностей и математическая статистика, теория электрических цепей, вычислительная техника и информационные технологии, общая теория связи.

До начала изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:

знать:

- основные понятия и методы математического анализа, дискретной математики, теории вероятностей и математической статистики;
- основы вычислительной математики и информатики;
- языки программирования (желательно, язык Си и MATLAB);
- основные понятия и модели электрических цепей;
- основы теории дискретизации, ортогональных преобразований и модуляции сигналов;
- иностранный язык.

уметь:

- применять методы математического анализа и дискретной математики для анализа характеристик динамических систем;
- применять математический аппарат теории вероятностей и математической статистики для анализа случайных процессов и статистических характеристик динамических систем;
- разрабатывать блок-схемы алгоритмов обработки сигналов;
- переводить технические тексты с иностранного языка;
- использовать математические модели аналоговых цепей для расчета цифровых фильтров.

владеть навыками:
- разработки программ общего назначения (желательно на языках Си и MATLAB);
- решения систем алгебраических и дифференциальных уравнений;
- ортогональных преобразований, постановки и решения задач аппроксимации;
- анализа временных и частотных характеристик цифровых динамических систем.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ПООП (при наличии) по данному направлению подготовки, а также компетенций (при наличии), установленных университетом.

Рекомендуемые профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения (при наличии)

Задача ПД	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции	Обоснование (ПС, анализ опыта)
Тип задач профессиональной деятельности: **научно-исследовательский**				
Сбор, анализ и обработка статистической информации по работе с телекоммуникационным оборудованием	Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа.	ПК-3. Способен применять современные теоретические и экспериментальные методы исследований с целью	ПК-3.1 Знает основы сетевых технологий, нормативно-техническую документацию, требования технических регламентов, международ-	Инженер технической поддержки в области связи (телекомму-

		создания новых перспективных средств инфокоммуникаций, использованию и внедрению результатов исследований.	ные и национальные стандарты в области качественных показателей работы инфокоммуникационного оборудования ПК-3.2 Умеет работать с программным обеспечением, используемым при обработке информации инфокоммуникационных систем и их составляющих	ника-ций)

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Объем дисциплины по семестрам (курсам) и видам занятий в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоёмкость (объем) дисциплины (модуля) составляет 3 зачётные единицы (ЗЕ) или 108 часов.

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на	**5 (3.1)**			Итого
Недель	16			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	16		16	
Лабораторные	16		16	
Практические	16		16	
Иная контактная работа	0,35		0,35	
Консультирование перед экзаменом и практикой	2		2	
Итого ауд.	50,35		50,35	
Контактная работа	50,35		50,35	
Сам. работа	22,3		22,3	

Часы на контроль	35,35		35,35	
Итого	108		108	

4.2 Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий , (в академических часах)

№	Раздел дисциплины	Общая трудоем-кость, часов	Контактная работа обучающихся с преподавателем						Самост. работа обучаю-щихся	Конт-роль
			всего	лек-ции	прак. зан.	лаб. раб.	ИКР	конс		
	Всего	108	50,35	16	16	16	0,35	2	22,3	35,35
1	ЦОС - информатика реального времени. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях	4	2	2	-	-	-	-	2	-
2	Математиче-ский аппарат описания линейных цифровых цепей и дискретных сигналов. Математиче-ские основы проектирования линейных цифровых фильтров в классе КИХ- и БИХ-цепей. Дискретное преобразование Фурье, алгоритм БПФ, быстрая свертка	46	36	8	12	16	-	-	10	-
3	Основы анализа эффектов квантования в цифровых цепях	14	8	4	4	-	-	-	6	-
4	Математиче-ские основы описания двумерных	6,3	2	2	-	-	-	-	4,3	-

	цифровых цепей и сигналов									
5	Экзамен и консультации	37,7	2,35	-	-	-	0,35	2	-	35,35

4.3 Содержание дисциплины

4.3.1 Лекционные занятия

№ п/п	Темы лекционных занятий	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции	Форма контроля
1	ЦОС – Информатика реального времени. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях	2	ПК-3	экзамен
2	Общее математическое описание цифровых цепей, инвариантных к сдвигу. Математический синтез ЦФ в классе КИХ-цепей. Постановка и решение задачи аппроксимации.	2	ПК-3	экзамен
3	Z-преобразование и его свойства. БИХ-цепи: математическое описание и свойства. Постановка и решение задачи аппроксимации в классе БИХ-цепей	2	ПК-3	экзамен
4	Методы построения структур БИХ-фильтров. БИХ-фильтры 1-го и 2-го порядка: основные характеристики и свойства	2	ПК-3	экзамен
5	Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и его свойства. Алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Быстрая свёртка на основе алгоритма ДПФ.	2	ПК-3	экзамен
6	Шум АЦП. Модель шума квантования. Шум округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной точкой	2	ПК-3	экзамен
7	Ограничение динамического диапазона в системах с фиксированной точкой. Квантование коэффициентов. Колебания предельных циклов	2	ПК-3	экзамен
8	Математические основы описания двумерных цифровых цепей и сигналов.	2	ПК-3	экзамен

4.3.2 Лабораторные занятия

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции	Форма контроля
1	Синтез цифровых КИХ-фильтров и исследование их характеристик	4	ПК-3	зачет
2	Исследование прохождения сигналов через фильтр	4	ПК-3	Зачет
3	Исследование цифровых фильтров с бесконечной импульсной характеристикой	4	ПК-3	зачет
4	Методы проектирования и программная реализация КИХ-фильтров	4	ПК-3	зачет

4.3.3 Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции	Форма контроля
1	Общее математическое описание цифровых цепей, инвариантных к сдвигу. Математический синтез ЦФ в классе КИХ-цепей. Постановка и решение задачи аппроксимации.	2	ПК-3	зачет
2	Z-преобразование и его свойства. Математическое описание линейных цифровых фильтров в классе БИХ-цепей.	2	ПК-3	зачет
3	Математический синтез ЦФ в классе БИХ-цепей. Постановка и решение задачи аппроксимации.	2	ПК-3	зачет
4	Методы построения структур БИХ-фильтров. БИХ-фильтры 1-го и 2-го порядка: основные характеристики и свойства	2	ПК-3	зачет
5	Математические основы проектирования линейных цифровых фильтров в классе КИХ-цепей. Дискретное преобразование Фурье и его свойства.	2	ПК-1	зачет
6	Алгоритм быстрого преобразования Фурье, быстрая свертка.	2	ПК-3	зачет
7	Шум АЦП. Модель шума квантования. Шум округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной точкой	2	ПК-3	зачет
8	Ограничение динамического	2	ПК-3	зачет

	диапазона в системах с фиксированной точкой. Модель Джексона.			

4.3.4 Самостоятельная работа

№ п/п	Темы лекционных занятий	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции	Форма Контроля
1	ЦОС – Информатика реального времени. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях	2	ПК-3	Экзамен
2	Общее математическое описание цифровых цепей, инвариантных к сдвигу. Математический синтез ЦФ в классе КИХ-цепей. Постановка и решение задачи аппроксимации.	2	ПК-3	Экзамен
3	Z-преобразование и его свойства. БИХ-цепи: математическое описание и свойства. Постановка и решение задачи аппроксимации в классе БИХ-цепей	2	ПК-3	Экзамен
4	Методы построения структур БИХ-фильтров. БИХ-фильтры 1-го и 2-го порядка: основные характеристики и свойства	3	ПК-3	Экзамен
5	Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и его свойства. Алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Быстрая свёртка на основе алгоритма ДПФ.	3	ПК-3	Экзамен
6	Шум АЦП. Модель шума квантования. Шум округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной точкой	3	ПК-3	Экзамен
7	Ограничение динамического диапазона в системах с фиксированной точкой. Квантование коэффициентов. Колебания предельных циклов	3	ПК-3	Экзамен
8	Математические основы описания двумерных цифровых цепей и сигналов.	4,3	ПК-3	Экзамен

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонд оценочных средств приведен в Приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ «Оценочные материалы по дисциплине «Цифровая обработка сигналов»)

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Основная литература:

1. Цифровые цепи и сигналы: учеб. пособие / В.В. Витязев; Рязан. гос. радиотехн.. ун-т. Рязань, 2012. 136 с.
2. Цифровая обработка сигналов и MATLAB: уч. пособие / А.И. Соломина, и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013, 512 с.
3. Цифровая обработка сигналов: Метод.указ.к лаб.работам. Ч.1 / Витязев В. В., Линович А. Ю., Товпенко А. В. ; РГРТА. - Рязань, 2003. - 32с.
4. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов / А.Б. Сергиенко – СПб.: БВХ-Питер, 2005, 603 с.
5. Калачиков А.А. Математические основы цифровой обработки сигналов [Электронный ресурс]: методические указания к практическим занятия/ А.А. Калачиков— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2014.— 67 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55481.html.— ЭБС «IPRbooks».

6.2 Дополнительная литература:

1. Алан Оппенгейм Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс]/ Оппенгейм Алан, Шафер Рональд— Электрон. текстовые данные.— М.: Техносфера, 2012.— 1048 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/26906.html.— ЭБС «IPRbooks».
2. Гадзиковский В.И. Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс]/ В.И. Гадзиковский— Электрон. текстовые данные.— М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2015.— 766 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/53863.html.— ЭБС «IPRbooks».
3. Щетинин Ю.И. Анализ и обработка сигналов в среде MATLAB [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ю.И. Щетинин— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2011.— 115 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/44896.html.— ЭБС «IPRbooks».
4. Яковлев А.Н. Цифровая фильтрация и синтез цифровых фильтров [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.Н. Яковлев, Д.О. Соколова— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012.— 64 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45192.html.— ЭБС «IPRbooks».

6.3 Методические указания к практическим занятиям/лабораторным занятиям:

1. Витязев, В.В. Цифровая обработка сигналов : Метод.указ.к лаб.работам. Ч.1 / РГРТА. - Рязань, 2003. - 32с. - Библиогр.:с.31(5 назв.). - б/ц.

6.4 Методические указания к курсовому проектированию (курсовой работе) и другим видам самостоятельной работы

Изучение дисциплины «Цифровая обработка сигналов» проходит в течение 1 семестра. Основные темы дисциплины осваиваются в ходе аудиторных занятий, однако важная роль отводится и самостоятельной работе студентов.

Самостоятельная работа включает в себя следующие этапы:

- изучение теоретического материала (работа над конспектом лекции);
- самостоятельное изучение дополнительных информационных ресурсов (доработка конспекта лекции);
- выполнение заданий текущего контроля успеваемости (подготовка к практическому занятию);
- итоговая аттестация по дисциплине (подготовка к зачету и экзамену).

Работа над конспектом лекции: лекции – основной источник информации по предмету, позволяющий не только изучить материал, но и получить представление о наличии других источников, сопоставить разные способы решения задач и практического применения получаемых знаний. Лекции предоставляют возможность «интерактивного» обучения, когда есть возможность задавать преподавателю вопросы и получать на них ответы. Поэтому рекомендуется в день, предшествующий очередной лекции, прочитать конспекты двух предшествующих лекций, обратив особое внимание на содержимое последней лекции.

Подготовка к практическому занятию или лабораторной работе: состоит в теоретической подготовке (изучение конспекта лекций и дополнительной литературы) и выполнении практических заданий (решение задач, ответы на вопросы и т.д.). Во время самостоятельных занятий студенты выполняют задания, выданные им на предыдущем практическом занятии, готовятся к контрольным работам, выполняют задания типовых расчетов.

Доработка конспекта лекции с применением учебника, методической литературы, дополнительной литературы, интернет-ресурсов: этот вид самостоятельной работы студентов особенно важен в том случае, когда одну и ту же задачу можно решать различными способами, а на лекции изложен только один из них. Кроме того, рабочая программа по дисциплине предполагает рассмотрение некоторых относительно несложных тем только во время самостоятельных занятий, без чтения лектором.

Подготовка к зачету: основной вид подготовки – «свертывание» большого объема информации в компактный вид, а также тренировка в ее «развертывании» (примеры к теории, выведение одних закономерностей из других и т.д.).

7. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) РГРТУ.
2. Электронно-библиотечная система IPRbooks.

8. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

На каждом персональном компьютере (как для студентов, так и для преподавателя) в учебной лаборатории должно быть установлено следующее программное обеспечение:

1) Операционная система Windows XP, Windows 7 Professional или Windows 10 Pro (DreamSpark Membership ID 700565238)
2) Kaspersky Endpoint Security (Коммерческая лицензия на 1000 компьютеров №2922-190228-101204-557-1191, срок действия с 28.02.2019 по 07.03.2021)
3) Adobe Reader (Plat-formClients_PC_WWEULA-ru_RU-20110809-1357 – бессрочно)
4) LibreOffice (Mozilla Public Licence 2.0 – бессрочно)
5) MATLAB, Simulink, Communications Blockset (Transitioned), Communications System Toolbox, DSP System Toolbox, Filter Design Toolbox (Transitioned), Fixed-Point Designer, Signal Processing Toolbox (Concurrent Perpetual Classroom №283300 с 06.10.2009 – бессрочно)

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для освоения дисциплины необходимы следующие материально-технические ресурсы:

1) аудитория для проведения лекционных и практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации, оборудованная маркерной (меловой) доской;

2) аудитория для самостоятельной работы, оснащенная индивидуальной компьютерной техникой с подключением к локальной вычислительной сети и сети Интернет.

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень специализированного оборудования
1	Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, № 423	80 мест, 1 мультимедиа проектор, 1 экран, 1 компьютер, специализированная мебель, доска.

2	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий и лабораторных работ, №422 главного учебного корпуса	30 мест, 11 компьютеров с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ, 1 мультимедиа проектор, 1 экран, специализированная мебель, доска, стенды для проведения лабораторных работ. Возможность подключения к сети «Интернет» проводным способом и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ.

Программу составил
д.т.н., зав. кафедрой
«Телекоммуникаций и основ радиотехники» В.В. Витязев

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Телекоммуникаций и основ радиотехники» (протокол №___ от _____2020).

ПРИЛОЖЕНИЕ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Телекоммуникаций и основ радиотехники»

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
Б1.В.01.06 «Цифровая обработка сигналов»

Направление подготовки
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Направленности (профили) подготовки
«Системы радиосвязи, мобильной связи и радиодоступа»

Уровень подготовки
Бакалавриат

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2020 г

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов, предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной профессиональной образовательной программы.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций, обучающихся целям и требованиям основной профессиональной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности компетенций, приобретаемых обучающимся в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретенных обучающимися в ходе выполнения индивидуальных заданий на лабораторных работах. При оценивании результатов освоения лабораторных работ применяется шкала оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ и их тематика определена рабочей программой дисциплины.

Результат выполнения каждого индивидуального задания должен соответствовать всем критериям оценки в соответствии с компетенциями, установленными для заданного раздела дисциплины.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением теоретического зачета.

Форма проведения зачета – устный ответ с письменным подкреплением (по необходимости).

Дополнительным средством оценки знаний и умений студентов является отчет о проведении лабораторных работ и его защита.

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Вид, метод, форма оценочного мероприятия
1	2	3	4
1	ЦОС – информатика реального времени. Предмет и задачи ЦОС	ПК-3	экзамен
2	Математический аппарат описания линейных цифровых цепей и дискретных сигналов. Математические основы проектирования линейных цифровых фильтров в классе КИХ- и БИХ- цепей. Дискретное преобразование Фурье, алгоритм БПФ, быстрая свертка.	ПК-3	экзамен
3	Основы анализа эффектов квантования в цифровых цепях.	ПК-3	экзамен
4	Математические основы описания двумерных цифровых цепей и сигналов	ПК-3	экзамен

Критерии оценивания компетенций (результатов)

1) Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.
2) Умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи.
3) Качество ответа на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность, логичность.
4) Содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям.
5) Использование дополнительной литературы при подготовке ответов.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине Б1.В.01.06 «Цифровая обработка сигналов» является экзамен с оценкой, оцениваемый по принятой в ФГБОУ ВО «РГРТУ» пятибальной системе: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично».

Критерии оценивания промежуточной аттестации:

– **оценки «отлично»** заслуживает студент, продемонстрировавший всестороннее, систематическое и глубокое понимание материалов, изученных в ходе прохождения практики НИР, проявивший творческие способности и достойный уровень подготовке при выполнении заданий в ходе практики;

– **оценки «хорошо»** заслуживает студент, продемонстрировавший полное знание материала, изученного и освоенного в ходе прохождения практики НИР, успешно выполнивший все предусмотренные задания,

правильно выполнившему практические задания, но допустившему при этом непринципиальные ошибки;

– **оценки «удовлетворительно»** заслуживает студент, продемонстрировавший знание материала, освоенного в ходе прохождения практики, в объеме, необходимом для предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, допустивший погрешности при выполнении практических заданий, но обладающий необходимыми знаниями для их устранения под руководством руководителя практики;

– **оценки «неудовлетворительно»** заслуживает студент, продемонстрировавший серьезные пробелы в знаниях основного материала, допустивший принципиальные ошибки в выполнении заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут работать по выбранной специальности без дополнительной подготовки.

Типовые контрольные мероприятия

Примеры заданий для КР по разделу 2

Раздел 2. Математический аппарат описания линейных цифровых цепей и дискретных сигналов. Математические основы проектирования линейных цифровых фильтров в классе КИХ- и БИХ-цепей. Дискретное преобразование Фурье, алгоритм БПФ, быстрая свертка.

Цель: Изучение математических методов анализа и построения линейных цифровых цепей с заданными свойствами частотной избирательности, в том числе с использованием дискретного преобразования Фурье и алгоритма БПФ.

Вопросы для обсуждения:

1. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.
2. Z-преобразование и его вычисление.
3. Обратное Z-преобразование и его вычисление.
4. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области.
5. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.
6. Передаточные функции и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.
7. Передаточные функции и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка.
8. Оценка устойчивости цифровых цепей по передаточной функции. Карта нулей и полюсов.
9. Частотные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

10. Частотные характеристики цифровых звеньев второго порядка.
11. Дискретное преобразование Фурье и его вычисление. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
12. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
13. Билинейное преобразование и его применение для синтеза ЦФ в классе БИХ-цепей.
14. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.
15. Математическая формализация и решение задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.

Образцы контрольных задач и вопросов

БИЛЕТ № 1-1

1. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + 2x(n-2) + y(n-1) + 2y(n-2) - 3y(n-3)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;1;-1;-1\}; \qquad H = \{1;0,5;0,25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-2

1. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.
2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-3) + 2y(n-1) - y(n-4)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;1;-1;-1\}; \qquad H = \{1;-0{,}5;0{,}25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-3

1. Элементарные цифровые звенья и их графическое отображение.
2. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-3) + x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-5)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;-1;1;-1\}; \qquad H = \{0;0{,}5;0{,}1;0{,}5;0\}$$

БИЛЕТ № 1-4

1. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 3x(n-2) - y(n-1) + 5y(n-4)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;-1;1;-1\}; \qquad H = \{-1;0,5;-0,25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-5

1. Z-преобразование и его свойства
2. Основные этапы проектирования системы ЦОС
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = 3x(n) - x(n-5) + y(n-1) + 2y(n-2) - 4y(n-5)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;1;-1;-1\}; \qquad H = \{0;0,5;0,1;0,5;0\}$$

БИЛЕТ № 1-6

1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.
2. Преобразование Фурье и его связь с Z-преобразованием.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -x(n) + 5x(n-3) + 2y(n-2) - 3y(n-3)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;1;-1;-1\}; \qquad H = \{-1;0,5;-0,25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-7

1. Устойчивость и физическая реализуемость линейных цифровых цепей.
2. Математическое описание цифровых фильтров в классах КИХ- и БИХ-цепей. Сравнительный анализ эффективности двух классов линейных цифровых цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -2x(n) + 4x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-2) - 5y(n-5)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;1;-1;-1\}; \qquad H = \{1;-1;1;-1;0\}$$

БИЛЕТ № 1-8

1. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - x(n-4) + 2y(n-1) + 3y(n-3) - 5y(n-5)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;-1;1;-1\}; \qquad H = \{0;0{,}5;0{,}1;0{,}5;0\}$$

БИЛЕТ № 1-9

1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.
2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - x(n-3) + y(n-1) + y(n-2) - 3y(n-4)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;-1;1;-1\}; \qquad H = \{-1;0{,}5;-0{,}25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-10

1. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.
2. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 4x(n-4) + 2y(n-2) - 3y(n-4)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;-1;1;-1\}; \qquad H = \{1;-1;1;-1;0\}$$

БИЛЕТ № 1-11

1. Элементарные цифровые звенья и их графическое отображение.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + 2x(n-2) + y(n-1) + 2y(n-2) - 3y(n-3)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0;0{,}5;1;0{,}5;0\}; \qquad H = \{1;0{,}5;0{,}25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-12

1. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.
2. Преобразование Фурье и его свойства. Связь с Z-преобразованием.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-3) + 2y(n-1) - y(n-4)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0;0,5;1;0,5;0\}; \qquad H = \{1;-0,5;0,25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-13

1. Z-преобразование и его свойства.
2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-3) + x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-5)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0;0,5;1;0,5;0\}; \qquad H = \{0;0,5;0,1;0,5;0\}$$

БИЛЕТ № 1-14

1. Преобразование Фурье и его связь с Z-преобразованием.
2. Математическое описание цифровых фильтров в классах КИХ- и БИХ-цепей. Сравнительный анализ эффективности двух классов линейных цифровых цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 3x(n-2) - y(n-1) + 5y(n-4)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0;0,5;1;0,5;0\}; \qquad H = \{-1;0,5;-0,25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-15

1. Устойчивость и физическая реализуемость линейных цифровых цепей.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = 3x(n) - x(n-5) + y(n-1) + 2y(n-2) - 4y(n-5)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0;0,5;1;0,5;0\}; \qquad H = \{1;-1;1;-1;0\}$$

БИЛЕТ № 1-16

1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.
2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -x(n) + 5x(n-3) + 2y(n-2) - 3y(n-3)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{1;0,5;0,25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-17

1. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.
2. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -2x(n) + 4x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-2) - 5y(n-5)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{1;-0,5;0,25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-18

1. Элементарные цифровые звенья и их графическое отображение.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - x(n-4) + 2y(n-1) + 3y(n-3) - 5y(n-5)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{0;0,5;0,1;0,5;0\}$$

БИЛЕТ № 1-19

1. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.
2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточ-

ной функцией и разностным уравнением.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - x(n-3) + y(n-1) + y(n-2) - 3y(n-4)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{-1;0,5;-0,25;0\}$$

БИЛЕТ № 1-20

1. Z-преобразование и его свойства.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 4x(n-4) + 2y(n-2) - 3y(n-4)$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{1;-1;1;-1;0\}$$

БИЛЕТ № 2-1

1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
2. Метод частотной выборки.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 0{,}25y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 2\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-2

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).
2. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 3\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-3

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-4

1. Передаточные функции, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни)
2. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:
$$y(n) = 3x(n) - 2x(n-1) + 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$
4. Построить ДПФ дискретного сигнала:
$$y(n) = 0{,}5\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 2\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-5

1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
2. Метод частотной выборки.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:
$$y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2)\,.$$
4. Построить ДПФ дискретного сигнала:
$$y(n) = 2\sin 2\frac{2\pi}{16}n - \cos\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-6

1. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0{,}81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin\frac{2\pi}{16}n - \cos 3\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-7

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.
2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-8

1. Прямая задача оптимального проектирования цифровых фильтров. Метод декомпозиции.
2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) - 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 6\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-9

1. Каноническая, параллельная и последовательная формы БИХ-

фильтров.

2. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0{,}81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n - \cos 5\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-10

1. Передаточная функция, частотная и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.
2. Метод частотной выборки.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 0{,}5x(n) - x(n-1) + 1{,}8y(n-1) - 0{,}82y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin 3\frac{2\pi}{16}n + \cos 5\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-11

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (комплексно-сопряженные корни).
2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) + x(n-1) + 0{,}25y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin 2\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-12

1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
2. Метод частотной выборки.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + 2x(n-1) + 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0{,}5\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 2\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-13

1. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) - x(n-2) - 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0{,}2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-14

1. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.
2. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:
$$y(n) = 3x(n) + 2x(n-1) + 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$
4. Построить ДПФ дискретного сигнала:
$$y(n) = 0{,}3\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 6\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-15

1. Обратная задача оптимального проектирования цифровых фильтров. Метод декомпозиции.
2. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:
$$y(n) = 5x(n) + x(n-1) - 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$
4. Построить ДПФ дискретного сигнала:
$$y(n) = -3\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 3\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-16

1. Каноническая, параллельная и каскадная формы БИХ-фильтров.
2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 3x(n) + x(n-1) + 0{,}81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 7\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-17

1. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) + x(n-1) + 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin 3\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-18

1. Передаточная функции, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.
2. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) + x(n-1) - 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0{,}3\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-19

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).
2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:
$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0{,}81y(n-2).$$
4. Построить ДПФ дискретного сигнала:
$$y(n) = 10\sin\frac{2\pi}{16}n + 5\cos 2\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-20

1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
2. Метод частотной выборки.
3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:
$$y(n) = 0{,}5x(n) + x(n-1) + 1{,}8y(n-1) - 0{,}82y(n-2).$$
4. Построить ДПФ дискретного сигнала:
$$y(n) = \sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 7\frac{2\pi}{16}n.$$

Примеры заданий для КР по разделу 4

Раздел 4. Основы анализа эффектов квантования в цифровых цепях

Цель: Изучение методики анализа эффектов квантования в цифровых цепях.

Вопросы для обсуждения:

1. Эффекты конечной разрядности чисел в цифровых цепях. Линейная модель шума квантования.
2. Шумы округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной запятой.

3. Шумовая модель ЦФ первого порядка и его оценка.
4. Шумовая модель ЦФ второго порядка и его оценка.
5. Вычисление собственного шума на выходе линейной цифровой цепи.
6. Эффекты переполнения в сумматорах и борьба с ними. Ограничение динамического диапазона. Масштабирование.
7. Шумовая модель Джексона и ее применение для масштабирования переменных и оценки собственного шума.
8. Квантование коэффициентов ЦФ и оценка его влияния.

БИЛЕТ № 3-1
1. Эффекты конечной разрядности чисел в цифровых цепях. Линейная модель шума квантования. 2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если: $$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 0{,}25y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-2
1. Шум аналого-цифрового преобразования и его оценка. 2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если: $$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-3
1. Шумы округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной запятой.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-4

1. Шумовая модель ЦФ первого порядка и его оценка.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 3x(n) - 2x(n-1) + 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-5

1. Шумовая модель ЦФ второго порядка и его оценка.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-6

1. Вычисление собственного шума на выходе линейной цифровой цепи.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0{,}81y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-7

1. Эффекты переполнения в сумматорах и борьба с ними. Ограничение динамического диапазона. Масштабирование.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-8

1. Шумовая модель Джексона и ее применение для масштабирования переменных и оценки собственного шума.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) - 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-9

1. Квантование коэффициентов ЦФ и оценка его влияния.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0{,}81y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-10

1. Шумовая модель Джексона и ее применение для расчета масштабирующих множителей.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 0{,}5x(n) - x(n-1) + 1{,}8y(n-1) - 0{,}82y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-11

1. Шум аналого-цифрового преобразования и его оценка.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 0{,}25y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-12

1. Шумы округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной запятой.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2)\,.$$

БИЛЕТ № 3-13

1. Шумовая модель ЦФ первого порядка и его оценка.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2)\,.$$

БИЛЕТ № 3-14

1. Шумовая модель ЦФ второго порядка и его оценка.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 3x(n) - 2x(n-1) + 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-15

1. Вычисление собственного шума на выходе линейной цифровой цепи.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-16

1. Эффекты переполнения в сумматорах и борьба с ними. Ограничение динамического диапазона. Масштабирование.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0{,}81y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-17

1. Шумовая модель Джексона и ее применение для масштабирования переменных и оценки собственного шума.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-18

1. Квантование коэффициентов ЦФ и оценка его влияния.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собст-

венного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) - 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-19

1. Шумовая модель Джексона и ее применение для расчета масштабирующих множителей.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0{,}81y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-20

1. Эффекты конечной разрядности чисел в цифровых цепях. Линейная модель шума квантования.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 0{,}5x(n) - x(n-1) + 1{,}8y(n-1) - 0{,}82y(n-2).$$

Примеры контрольных вопросов в лаборатории

1. Сформулируйте требования, которые предъявляются к проектированию цифрового низкочастотного фильтра.

2. Перечислите элементарные цифровые звенья и представьте их графическое отображение, приведите пример цифровой цепи.

3. Что понимают под метрикой пространства функций и какая метрика используется в теории цифровых цепей?

4. Что понимают под инвариантностью к сдвигу линейной цифровой цепи? Перечислите основные свойства цифровых цепей, инвариантных к сдвигу.

5 . Как связаны вход и выход линейной цифровой цепи?

6. Дайте определение импульсной характеристики цифровой цепи. Как связаны между собой импульсная характеристика цифровой цепи и воспроизводимая функция передачи?

7. Какая цифровая цепь считается устойчивой и физически реализуемой? Назовите условия устойчивости и физической реализуемости линейной цифровой цепи.

8. Как связаны друг с другом вход и выход КИХ-фильтра? Перечислите основные свойства, достоинства и недостатки КИХ-цепей.

9. Сформулируйте задачу аппроксимации желаемой функции передачи в классе КИХ-цепей и назовите основные способы ее решения.

10. Как связаны друг с другом вход и выход БИХ-фильтра? Перечислите основные свойства, достоинства и недостатки БИХ-цепей.

11. Дайте определение Z-преобразования и назовите его основные свойства.

12. Используя Z-преобразование, докажите, что передаточная функция БИХ-фильтра является отношением двух полиномов.

13. Сформулируйте задачу аппроксимации желаемой функции передачи в классе БИХ-цепей и назовите основные способы ее решения.

14. Почему и каким способом выполняется переход к параллельной и последовательной формам реализации БИХ-фильтра?

15. Приведите структурную схему, разностное уравнение, передаточную функцию БИХ-фильтра 1-го порядка и опишите его свойства: АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику.

16. Приведите структурную схему, разностное уравнение, передаточную функцию БИХ-фильтра 2-го порядка и опишите его свойства: АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику.

17. Приведите структурную схему, разностное уравнение, передаточную функцию биквадратной формы БИХ-фильтра 2-го порядка и опишите его свойства: АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику.

18. Дайте определение дискретного преобразования Фурье и назовите его основные отличительные свойства.

19. Как связаны друг с другом дискретный синусоидальный сигнал заданной частоты и его Фурье-образ?

20. Назовите отличительные свойства алгоритма быстрого преобразования Фурье: ограничения и вычислительную эффективность.

21. Перечислите основные операции алгоритма быстрой свертки и условия их реализации.

Вопросы к экзамену по дисциплине «Цифровая обработка сигналов»

1. Основные этапы проектирования системы ЦОС.
2. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.
3. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.
4. Элементарные цифровые звенья и их графическое отображение.
5. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.
6. Дискретное преобразование Лапласа и его связь с Z-преобразованием.
7. Z-преобразование и его свойства.
8. Обратное Z-преобразование и его вычисление.
9. Преобразование Фурье и его связь с Z-преобразованием.
10. Устойчивость и физическая реализуемость линейных цифровых цепей.
11. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области.
12. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.
13. Передаточные функции и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.
14. Передаточные функции и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка.
15. Оценка устойчивости цифровых цепей по передаточной функции. Карта нулей и полюсов.
16. Частотные характеристики цифровых звеньев первого порядка.
17. Частотные характеристики цифровых звеньев второго порядка.
18. Определение уравнений состояния и выхода цифровой цепи по передаточной функции.
19. Математическое описание дискретных сигналов. Связь между спектрами аналогового и дискретного сигналов.
20. Дискретизация узкополосного сигнала. Теорема Котельникова для узкополосных сигналов.
21. Формирование сигнала с одной боковой полосой. Модулятор Уивера.
22. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.
23. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.
24. Математическое описание цифровых фильтров в классах КИХ- и БИХ-цепей. Сравнительный анализ эффективности двух классов линейных цифровых цепей.

25. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.
26. Синтез БИХ-фильтров методом инвариантной импульсной характеристики.
27. Методы синтеза аналоговых фильтров-прототипов.
28. Билинейное преобразование и его применение для синтеза ЦФ в классе БИХ-цепей.
29. Каноническая и каскадная формы БИХ-фильтров.
30. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.
31. Проблемы устойчивости и чувствительности характеристик цифровых БИХ-фильтров.
32. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.
33. Прямая и каскадная формы реализации ЦФ в классе КИХ-цепей.
34. КИХ-фильтры с линейной ФЧХ. Синтез КИХ-фильтров методом окон.
35. Метод частотной выборки и его модификации.
36. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.
37. Цифровые согласованные фильтры и их вычисление методом быстрой свертки.
38. Математическая формализация и решение задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.
39. Прямая и обратная задачи оптимального проектирования цифровых фильтров. Методы декомпозиции.
40. Эффекты конечной разрядности чисел в цифровых цепях. Линейная модель шума квантования.
41. Шум аналого-цифрового преобразования и его оценка.
42. Шумы округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной и плавающей запятой.
43. Шумовая модель ЦФ первого порядка и его оценка.
44. Шумовая модель ЦФ второго порядка и его оценка.
45. Вычисление собственного шума на выходе линейной цифровой цепи.
46. Эффекты переполнения в сумматорах и борьба с ними. Ограничение динамического диапазона. Масштабирование.
47. Шумовая модель Джексона и ее применение для масштабирования переменных и оценки собственного шума.
48. Квантование коэффициентов ЦФ и оценка его влияния.
49. Колебания предельного цикла.
50. Двумерные сигналы и цепи: математическое описание. Типовые двумерные последовательности. Основные операции.
51. Устойчивость и физическая реализуемость двумерных систем. Разделимые системы.
52. Дискретизация двумерных сигналов. Двумерное Z-преобразование и его свойства. Двумерное дискретное преобразование Фурье.
53. Двумерные БИХ-фильтры: описание и свойства.

54. Двумерные КИХ-фильтры. Реализация на основе ДПФ.

Составил
д.т.н., зав. кафедрой
«Телекоммуникаций и основ радиотехники» В.В. Витязев

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Телекоммуникаций и основ радиотехники» (протокол № ___ от _____2020 г.)
Заведующий кафедрой
«Телекоммуникаций и основ радиотехники»,
д.т.н, профессор В.В. Витязев

Заведующий кафедрой ТОР В.В. Витязев