

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
радиофизики

наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины



(Корчагин Ю.Э.)
подпись, расшифровка подписи
31.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.13 - Цифровая обработка сигналов

Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**
03.03.03 Радиофизика
- 2. Профиль подготовки/специализация:** физика информационных систем и телекоммуникаций, компьютерные технологии передачи информации, микроэлектроника.
- 3. Квалификация выпускника:** Бакалавр
- 4. Форма обучения:** Очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Радиофизики
- 6. Составители программы:** Кондратович П.А., к.ф-м.н., без звания
- 7. Рекомендована** Кафедрой радиофизики Научно-методическим советом физического факультета, протокол №5 от 31.08.2023
- 8. Учебный год:** 2027/2028 **Семестр(ы)/Триместр(ы):** 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- формирование у студентов комплекса знаний, умений и навыков, позволяющих осуществлять цифровую обработку сигналов и радиосигналов в частности
- освоение современных пакетов прикладных программ MATLAB/OCTAVE для решения задач цифровой обработки сигналов и технических вычислений

Задачи учебной дисциплины:

- освоить методы спектрального анализа цифровых сигналов
- изучить принципы работы и основные архитектуры современных аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей
- овладеть навыками синтеза и анализа цифровых фильтров по средствам пакета MATLAB/OCTAVE
- усвоить основы квадратурной обработки цифровых сигналов

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Курс «Цифровой обработки сигналов» относится к вариативной части блока Б1, формируемой участниками образовательных отношений.

Курс «Цифровой обработки сигналов» имеет универсальный характер применения при разработке и анализе любых цифровых систем передачи, обработки и хранения информации, и обусловлен современными реалиями цифровизации научно-исследовательских и инженерно-конструкторских областей профессиональной деятельности.

Освоение курса «Цифровой обработки сигналов» базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных на курсах «Теория вероятностей и математическая статистика», «Математический анализ», «Электричество и магнетизм», «Радиотехнические цепи и сигналы», «Теоретические основы радиотехники».

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3.1	Обрабатывает полученные результаты исследований с использованием стандартных методов (методик)			Знать: - стандартные методы анализа и обработки цифровых данных и сигналов Уметь: - определить и применить метод цифровой обработки наиболее подходящий для решения конкретной практической задачи обработки радиосигналов и цифровых данных; - использовать навыки работы с рассматриваемым в курсе современным программным обеспечением Matlab/Octave; Владеть: - навыками использования стандартных методов обработки сигналов по средствам программного обеспечения Matlab/Octave
ПК-3.2	Применяет при обработке данных стандартное и оригинальное программное обеспечение			Знать: - базовые принципы работы и возможности программных продуктов Matlab/Octave применительно к области цифровой обработки сигналов

				<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать программное обеспечение Matlab/Octave для оценки спектральных составляющих цифровых сигналов; - синтезировать, анализировать и применять на практике цифровые фильтры; - применять методы квадратурной обработки цифровых сигналов; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методами дискретизации полосовых и низкочастотных сигналов; - методами проектирования цифровых фильтров, применяемых в компьютеризированных вычислительных комплексах с целью повышения их эффективности и устойчивости;
ПК-3.3	Оформляет результаты лабораторного или компьютерного эксперимента в соответствии с действующими требованиями			<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать программные комплексы Matlab/Octave для формирования отчетов, курсовых и дипломных работ
ПК-4.7	Проводит анализ известных готовых технических решений цифровых электронных блоков, формирует набор их возможных реализаций и производит их обоснованный выбор			<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - общие закономерности применения методов цифровой обработки в современных и перспективных радиофизических комплексах; - использовать существующие программные средства анализа радиоэлектронной аппаратуры; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - реализовать модель-прототип и проводить ее анализ по средствам расширения Simulink программного продукта Matlab; - проводить синтез и анализ цифровых фильтров, по средствам расширения FDA tool программного продукта Matlab; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - расширением FDA tool программного продукта Matlab; - расширением Simulink программного продукта Matlab;
ПК-4.8	Владеет базовыми знаниями в области цифровой электроники			<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные современные архитектуры аналого-цифровых (АЦП) и цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП); - принципы физической реализации цифровых фильтров в аппаратуре; - архитектурные особенности аппаратурной реализации целочисленной арифметики и арифметики с плавающей запятой <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - осуществить выбор архитектуры, разрядности и частоты тактирования АЦП/ЦАП в соответствии с поставленной практической задачей; - оценить возможность применимость электронной аппаратуры для реализации

				соответствующего цифрового алгоритма обработки сигнала;
ПК-4.12	Применяет знания в области анализа и обработки сигналов для решения профессиональных задач			<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные методы, используемые при цифровой обработке сигналов <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применить соответствующие методы цифровой обработки для решения типовых задач фильтрации, спектрального анализа, квадратурной обработки сигналов <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - программным комплексом Matlab/Octave
ПК-5.1	Разрабатывает алгоритм функционирования компонентов программных продуктов, необходимых для решения профессиональных задач			<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные компоненты программного продукта Matlab/Octave <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - разрабатывать и реализовывать при помощи программного продукта Matlab/Octave алгоритмы для решения профессиональных задач обработки и анализа цифровых данных
ПК-5.2	Создает программный код, используя современные среды разработки программных продуктов			<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные команды и функции m-языка Matlab/Octave; - основные возможности пакетов прикладных программ Matlab/Octave для решения задач технических вычислений; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - работать в среде Matlab/Octave; - писать код на m-языке Matlab/Octave; - использовать средства отладки Matlab/Octave; - использовать toolbox расширения программного продукта Matlab/Octave; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками написания программного кода; - навыками решения типовых задач цифровой обработки сигналов;

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) — 5 / 180.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) _____ экзамен _____

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ семестра	№ семестра	...
Аудиторные занятия	68	7		
в том числе:	лекции	34	7	
	практические	-	-	
	лабораторные	34	7	
Самостоятельная работа	76	7		
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (экзамен – <u> </u> час.)	Экзамен -36	7		
Итого:	180			

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
1. Лекции			
1.1	Общие сведения о цифровой обработке сигналов	Понятия аналогового, дискретного, квантованного и цифрового сигналов. Основные теоремы и положения ЦОС.	ЦОС
1.2	Особенности спектрального анализа цифровых сигналов. Периодическая дискретизация.	Дискретное преобразование Фурье (ДПФ), быстрое преобразование Фурье (БПФ). Основные свойства ДПФ. ДПФ типовых сигналов. Интерпретация ДПФ. Эффекты утечки спектральных составляющих, методы их уменьшения. Периодическая дискретизация. Методы оцифровки полосовых и низкочастотных сигналов.	ЦОС
1.3	Шумы квантования.	Двоичные форматы данных. Ошибки квантования. Основные качественные и количественные характеристики шумов квантования. Методы уменьшения их влияния.	ЦОС
1.4	Общие сведения о аналого-цифровом (АЦП) и цифро-аналоговом преобразовании (ЦАП).	Основные архитектуры и принципы работы АЦП и ЦАП. Основные статические и динамические характеристики. Области применимости основных архитектур АЦП и ЦАП.	ЦОС
1.5	Цифровая фильтрация	Преобразование Лапласа дискретного сигнала, фильтрация дискретного сигнала. Понятия полюсов и нулей, s-плоскости, области устойчивости. Z-преобразование. Преобразование s-плоскости в z-плоскость. Свойства z- преобразования. Передаточная характеристика и разностное уравнение дискретного фильтра. Основные виды цифровых фильтров. Понятие дискретной свертки. Формы реализации цифровых фильтров. Шумы квантования в цифровых фильтрах и методы их оценки.	ЦОС
1.6	Основы квадратурной обработки сигналов	Комплексная огибающая полосового сигнала. Универсальный квадратурный модулятор. Выделение комплексной огибающей полосового радиосигнала. Квадратурный гетеродин. Понятие сигнального созвездия. Преобразование Гильберта, основные свойства. Аналитический сигнал. Квадратурный формирователь аналитического сигнала. Однополосная модуляция (SSB).	ЦОС
2. Практические занятия			
2.1	-		
2.2	-		
3. Лабораторные занятия			
3.1	Дискретное преобразования Фурье	Теоретический и экспериментальный (с помощью программного комплекса Matlab/Octave) расчет и построение спектров периодически дискретизированных сигналов. Изучение влияния эффекта «утечки» спектральных составляющих на спектральный состав цифрового сигнала. Изучение влияния неоднозначности представления сигналов в частотной области в случае дискретизации полосовых и низкочастотных сигналов.	ЦОС

3.2	Особенности аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразований	Теоретический и экспериментальный (с помощью программного комплекса Matlab/Octave) расчет и исследование влияния шумов квантования при аналого-цифровом и цифро-аналоговом преобразованиях. Изучение влияния выборки с запасом по частоте и фильтра защиты от зеркальных частот.	ЦОС
3.3	Цифровая фильтрация	Теоретический и экспериментальный (с помощью расширения FDA tool программного продукта Matlab) синтез и анализ цифровых фильтров. Анализ влияния конечной разрядности на устойчивость цифровых фильтров. Экспериментальная фильтрация цифровых данных и анализ спектральных составляющих.	ЦОС
3.4	Квадратурная обработка	Теоретическое и экспериментальное (с помощью расширения Simulink программного продукта Matlab) создание упрощенной идеальной модели системы связи. Понятие полосовых квадратурных сигналов в частотной области.	ЦОС

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Общие сведения о цифровой обработке сигналов	2	-	-	4	6
2	Особенности спектрального анализа цифровых сигналов. Периодическая дискретизация.	8	-	10	22	40
3	Шумы квантования.	4	-	4	12	20
4	Общие сведения о аналого-цифровом (АЦП) и цифро-аналоговом преобразовании (ЦАП).	8	-	6	10	24
5	Цифровая фильтрация	8	-	8	18	34
6	Основы квадратурной обработки сигналов	4	-	6	10	20
	Итого:	34		34	76	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины: (рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: указание наиболее сложных разделов, работа с конспектами лекций, презентационным материалом, рекомендации по выполнению курсовой работы, по организации самостоятельной работы по дисциплине и др.)

Для обучающихся, кроме прослушивания лекционного курса, необходимо изучение методических материалов, составленных специально для углубленного его понимания, а так же просмотр дополнительного видеоматериала по цифровой обработке и работе с программным комплексом MATLAB размещенного в соответствующем разделе ЭУМК онлайн-курса «ЦОС». Наиболее сложными для понимания студентами являются разделы изучающие следующие темы: неоднозначность частотного представления цифровых сигналов при периодической дискретизации, принципы работы АЦП и ЦАП, понимание дискретной свертки, квадратурная обработка сигналов.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006
2	Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение 2-е издание, исправленное. — Москва; Санкт-Петербург; Киев: Вильямс, 2003 — 1104 с.
3	Айфичер Э.С. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э.С. Айфичер, Б.У. Джервис. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992с
4	Оппенгейм А, Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. - Москва: Техносфера, 2006. – 856с.
5	Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб: Питер, 2003. – 608с

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Дьяконов В.П. MATLAB полный самоучитель / В.П. Дьяконов – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
2	Алексеев Е. Р., Чеснокова О. В. Введение в Octave для инженеров и математиков: / Е. Р. Алексеев, О. В. Чеснокова — М.: ALT Linux, 2012. — 368 с.
3	Сато Ю. Без паники! Цифровая обработка сигналов / Ю.Сато. – М.: Додэка-XXI, 2010. – 176с.
4	Хемминг Р.В. Цифровые фильтры / Р.В. Хемминг. – М.: Сов.радио, 1980.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
1	Видео лекции "Введение в MATLAB" – URL : https://www.youtube.com/watch?v=fcrhXfXcbD8&list=PLmu_y3-DV2_nKd7epECPEbTVamsmEmMMI
2	Видео лекции "Введение в Octave" – URL : https://www.youtube.com/watch?v=E4yOa0yEkMk&list=PLZuZy1qxOI-I_NRhJ0-yyssBj-srhnPmj
3	Видео лекция "Проектирование цифровых фильтров в MATLAB" – URL : https://www.youtube.com/watch?v=fxvxaTyZ6vw
4	Видео лекция "Введение в Simulink MATLAB" – URL : https://www.youtube.com/watch?v=_gDsghQ-Y1s&list=PLmu_y3-DV2_k0FqQSqWVKE0cW-eSPUSTq
5	Дополнительная информация по курсу «ЦОС» – URL : http://www.dsplib.ru/
6	ЭУМК «ЦОС» – URL : https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=6958

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы, онлайн-курсы, ЭУМК

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
-	-
-	-

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При выполнении лабораторных работ используются следующие программные продукты: пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений MATLAB, свободная программная система для математических вычислений, использующая совместимый с MATLAB язык высокого уровня - Octave.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

1. Учебная лаборатория кафедры.

2. Персональные компьютеры – 15 шт.

3. Программы «MATLAB», Octave.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Общие сведения о цифровой обработке сигналов			Текущий контроль, сдача лабораторных работ
2.	Особенности спектрального анализа цифровых сигналов. Периодическая дискретизации.	ПК-3.1; ПК-3.2; ПК-3.3; ПК-5.1; ПК-5.2		Текущий контроль, сдача лабораторных работ
3.	Шумы квантования.	ПК-3.1; ПК-3.2; ПК-3.3;		Текущий контроль, сдача лабораторных работ
4.	Общие сведения о аналого-цифровом (АЦП) и цифро-аналоговом преобразовании (ЦАП).	ПК-3.1; ПК-3.2; ПК-3.3;		Текущий контроль, сдача лабораторных работ
5.	Цифровая фильтрация	ПК-5.1; ПК-5.2		Текущий контроль, сдача лабораторных работ
6.	Основы квадратурной обработки сигналов	ПК-4.7; ПК-4.8; ПК-4.12;		Текущий контроль, сдача лабораторных работ
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				<i>Перечень вопросов Практическое задание</i>

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

_____ лабораторных работ _____

(наименование оценочного средства текущего контроля успеваемости)

Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа №1 «Дискретизация непрерывных сигналов. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Утечка ДПФ. Шумы квантования в аналогоцифровом преобразователе (АЦП). Особенности цифро-аналогового преобразования (ЦАП)»

Лабораторная работа №2 «Цифровая фильтрация»

Лабораторная работа №3 «Квадратурная обработка сигналов»

Описание технологии проведения

Зачеты по лабораторным работам принимаются по мере их выполнения студентами. Студенты выполняют лабораторные работы и формируют отчеты по результатам их выполнения. После проверки отчетов преподавателем задаются вопросы в соответствии с учебной программой по теме лабораторной работы. На основании полученных ответов определяется уровень компетенции студентов и выносится итоговая оценка выполненной лабораторной работы.

Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Отчеты о выполнении лабораторных работ должны быть представлены в виде отдельных m-файлов, содержащих коды на языке MATLAB. Результаты выполнения кодов m-файлов должны формировать графики и требуемые данные в соответствии с заданиями лабораторных работ.

Критерии оценивания	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Лабораторные работы выполнены в полном объеме и сформированы отчеты, обеспечивающие корректные результаты. Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области ЦОС затрагиваемой в лабораторных работах.	Пороговый уровень	Зачтено
Лабораторная работы не выполнены в полном объеме или обучающийся не владеет понятийным аппаратом данной области ЦОС затрагиваемой в лабораторной работе.		Не зачтено

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

_____ вопросов к экзамену _____
(наименование оценочного средства промежуточной аттестации)

Перечень вопросов к экзамену и порядок формирования КИМ

Описание технологии проведения

Экзамен проводится в устной или письменной форме, по билетам (КИМ), составленным в соответствии с программой курса на основании экзаменационных вопросов. Для более полной оценки знаний студентов им задаются вопросы в соответствии с учебной программой по теме билета. На основании полученных ответов определяется уровень компетенции студентов и выносится итоговая оценка.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом радиотехники;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение применять методы цифровой обработки в задачах, анализа спектральных составляющих цифровых сигналов, квадратурной обработки цифровых сигналов, анализа границ применимости аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей с заданными тактико-техническими данными, синтеза и анализа цифровых фильтров;
- 5) умение применять теоретические знания для решения практических задач.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Критерии оценивания	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области цифровой сигналов	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен к решению типовых задач, однако допускает ошибки при отклонении вопроса от стандарта.	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет частично теоретическими основам дисциплины, фрагментарно способен к решению типовых задач не умеет применять теоретические знания к практическим задачам	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при ответах на простые вопросы, решать даже типовые задачи не умеет		Неудовлетворительно

Контрольно- измерительные материалы (КИМ) формируются на основании перечня вопросов к экзамену путем выбора трех произвольных вопросов для формирования одного экзаменационного билета.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Понятия аналогового, дискретного, квантованного и цифрового сигналов.
2. Теорема Найквиста — Шеннона.
3. Неоднозначность представления дискретного сигнала в частотной области.
4. Дискретизация низкочастотных сигналов.
5. Дискретизация полосовых сигналов.
6. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Свойства ДПФ. Обратное ДПФ.
7. Особенности спектрального анализа при использовании ДПФ.
8. Методы повышения точности ДПФ.
9. ДПФ обобщенной прямоугольной функции.
10. ДПФ комплексной синусоиды.
11. ДПФ действительного синусоидального сигнала.
12. Быстрое преобразование Фурье. Алгоритмы БПФ с децимацией по времени и частоте.
13. Двоичные форматы с фиксированной запятой.
14. Понятия старшего и младшего значащих разрядов, усечение и округление данных, ошибки переполнения.
15. Ошибки квантования в аналого-цифровом преобразователе (АЦП). Мощность шума квантования, отношение сигнал/шум квантования, эффективное число бит.
16. Двоичные форматы с плавающей запятой. Формат IEEE P754.
17. Основные архитектуры АЦП: конвейерные.
18. Основные архитектуры АЦП: последовательного приближения.
19. Основные архитектуры АЦП: сигма-дельта.
20. Основные архитектуры цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП): на основе масштабирования токов.
21. Основные архитектуры ЦАП: на основе масштабирования напряжений.
22. Основные архитектуры ЦАП: на основе масштабирования зарядов.
23. Статические характеристики АЦП/ЦАП.
24. Динамические характеристики АЦП/ЦАП.
25. Преобразование Лапласа дискретного сигнала, фильтрация дискретного сигнала.

26. Понятия полюсов и нулей, S -плоскости, области устойчивости.
27. Z -преобразование. Преобразование S -плоскости в Z -плоскость. Свойства Z -преобразования.
28. Передаточная характеристика и разностное уравнение дискретного фильтра. БИХ и КИХ фильтры.
29. Понятие свертки дискретного сигнала.
30. Каскадная форма реализации рекурсивных фильтров.
31. Прямая и каноническая формы реализации биквадратного звена.
32. Шумы квантования в цифровых фильтрах. Методы расчета масштабных множителей.
33. Методы оценки шумов квантования в цифровых фильтрах.
34. Комплексная огибающая полосового сигнала.
35. Универсальный квадратурный модулятор.
36. Выделение комплексной огибающей полосового радиосигнала. Квадратурный гетеродин.
37. Понятие сигнального созвездия.
38. Преобразование Гильберта, основные свойства. Аналитический сигнал.
39. Квадратурный формирователь аналитического сигнала.
40. Однополосная модуляция.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление/специальность: 03.03.03 Радиофизика

шифр и наименование направления/специальности

Дисциплина: Б1.В.13 Цифровая обработка сигналов

код и наименование дисциплины

Профиль подготовки: *Физика информационных систем и коммуникаций, компьютерные технологии передачи информации, информационные системы и технологии, компьютерная электроника, микроэлектроника и полупроводниковые приборы в соответствии с Учебным планом*

Форма обучения: Очная

Учебный год: 2026/2027

Ответственный исполнитель

Зав кафедрой радиофизики
должность, подразделение



подпись

(Ю.Э. Корчагин) 31.08. 2024 г.
расшифровка подписи

Исполнители

Доц. каф. радиофизики
должность, подразделение



подпись

(П.А. Кондратович) 31.08. 2024 г.
расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО

Куратор ООП по направлению/специальности



подпись

(Ю.Э. Корчагин) 31.08.2024 г.
расшифровка подписи

Начальник отдела обслуживания ЗНБ



подпись

(Н.В. Белодедова) 31.08. 2024 г.
расшифровка подписи

Программа рекомендована НМС физического факультета

(наименование факультета, структурного подразделения)

протокол № 5 от 31.08.2024 г.