Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Артеменков Михаил Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 09.11.2026 18:40:57
Уникальный программный ключ:
a63b74166e8f4fc17bd1e0462725f79e393bfdf9

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Смоленский государственный университет»

Кафедра радиотехники

«Утверждаю»
Проректор по учебно-
методической деятельности
_____Ю.А. Устименко
«25» декабря 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Б1.О.11Методы и алгоритмы цифровой обработки информации

Направление подготовки**01.04.02 Прикладная математика и информатика**
Направленность (профиль) **Математическое и программное обеспечение цифровых радиотехнических систем и комплексов**

Форма обучения:очная
Курс – 1
Семестр – 2
Всего зачетных единиц – 4; часов – 144
Форма отчетности: экзамен – 2 семестр.

Программу разработал: доктор технических наук, профессор Ю.И. Савинов

Одобрена на заседании кафедры
«02» сентября 2025 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой _____ Зайцев А.В.

Смоленск
2025

1.Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Методы и алгоритмы цифровой обработки информации» включена в обязательную часть образовательной программы по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика (направленность (профиль) – Математическое и программное обеспечение цифровых радиотехнических систем и комплексов).

Для освоения дисциплины «Методы и алгоритмы цифровой обработки информации» студент должен обладать базовыми знаниями, умениями и навыками, полученными в результате изучения школьного курса физики и математики и дисциплин подготовки бакалавра в области радиотехники.

Изучение дисциплины «Методы и алгоритмы цифровой обработки информации» позволяет создать условия, необходимые для формирования у студентов современного естественнонаучного мировоззрения и целостной научной картины мира, а также заложить фундамент для более глубокого понимания и осмысленного применения специальных знаний в различных областях науки. В результате изучения дисциплины «Методы и алгоритмы цифровой обработки информации» студенты приобретают знания, умения и навыки, необходимые для автоматизированного проектирования радиоэлектронных систем, разработки нормативно-технической документации для создания проектов современных радиоэлектронных устройств.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
ОПК-4. Способен комбинировать и адаптировать существующие информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности	**Знать:** основные типы задач профессиональной деятельности и методы их решения с учетом требования информационной безопасности и с применением современных информационно-коммуникационных технологий; **Уметь**: корректно использовать современные информационные технологии и программные средства для решений задач в профессиональной деятельности, комбинировать их и адаптировать под конкретные прикладные задачи; **Владеть**: навыками решения прикладных задач с применением современных программных средств.
ПК-1. Способен к проведению научных исследований, включая постановку задачи исследования, моделирование объектов и процессов в целях оптимизации их параметров, проведение экспериментальных исследований и подготовку отчетов и публикаций	**Знает**: принципы подготовки и проведения научных исследований, математические и информационные модели, методы моделирования сигналов, процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия радиотехнических систем и комплексов, методы разработки эффективных алгоритмов решения научно-исследовательских задач, способы организации и проведения экспериментальных исследований. **Умеет**: планировать порядок проведения научных исследований, формулировать и решать задачи, использовать математический аппарат и численные методы для анализа, синтеза и моделирования радиотехнических систем и комплексов, применять алгоритмы решения исследовательских задач с использованием современных языков программирования, самостоятельно проводить экспериментальные исследования. **Владеет**: навыками выбора теоретических и

	экспериментальных методов исследования, математическим аппаратом для решения задач теоретической и прикладной радиотехники, методами исследования и моделирования объектов радиотехники, навыками разработки стратегии и методологии исследования радиотехнических систем и комплексов, навыками проведения исследования с применением современных средств и методов.
ПК-2. Способен проектировать программное и информационное обеспечение, вычислительные модели и модели данных для реализации элементов новых (или известных) программных продуктов в области цифровых радиотехнических систем и комплексов	**Знает:** структуру программного обеспечения, основные требования к его проектированию, методики разработки и анализа блок-схем алгоритмов, современные языки программирования, технологии программирования. **Умеет:** проектировать программное и информационное обеспечение в области цифровых радиотехнических систем и комплексов, формулировать требования к программным продуктам, создавать блок-схемы алгоритмов функционирования разрабатываемых программных продуктов, оценивать их вычислительную сложность. **Владеет:** методами и приемами формализации и алгоритмизации поставленных проектных задач по созданию программного обеспечения.
ПК-3. Способен разрабатывать программное обеспечение цифровых радиотехнических систем и комплексов	**Знает:** архитектуру аппаратной платформы, синтаксис, принципы и особенности программирования (в том числе кроссплатформенного, распределенного и параллельного программирования), стандартные библиотеки выбранного языка программирования, стандарты реализации интерфейсов устройств, технологии разработки и отладки программных продуктов, принципы информационного построения сетевого взаимодействия, методики тестирования программного обеспечения. **Умеет:** использовать методы и приемы формализации и алгоритмизации поставленных задач, применять выбранный язык программирования для написания программного кода, осуществлять отладку программного обеспечения. **Владеет:** основными методами и приемами разработки и отладки программных продуктов.

3. Содержание дисциплины

Углубленный анализ дискретных сигналов и систем

Современный спектральный анализ. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и быстрое преобразование Фурье (БПФ): обзор алгоритмов (Кули-Тьюки, по основанию 2/4). Артефакты ДПФ/БПФ: "просачивание" спектра, разрешающая способность, эффект расщепления. Оконные функции: назначение, сравнительный анализ (Хэнна, Хэмминга, Блэкмана, Кайзера), выбор окна. Оценка спектральной плотности мощности (СПМ): непараметрические методы (периодограмма, Уэлча). Параметрические методы спектрального оценивания: модели авторегрессии (AR), Юла-Уокера.

Теоретико-системный подход в цифровой области. Z-преобразование как основной аппарат анализа ЛСС. Передаточная функция, нули и полюсы. Условия устойчивости и физической реализуемости. Анализ частотной характеристики по расположению нулей и полюсов. Структуры реализации цифровых фильтров (прямая, каноническая, каскадная, параллельная): сравнительный анализ сложности и шумовых характеристик.

Синтез и анализ цифровых фильтров

Синтез нерекурсивных (КИХ) фильтров. Особенности КИХ-фильтров: устойчивость, линейность ФЧХ (Типы I-IV). Метод взвешивания (оконный метод): синтез, сравнение окон. Метод частотной выборки. Оптимальный синтез: метод наименьших квадратов (LS) и алгоритм Ремеза (Чебышевская аппроксимация). Специализированные КИХ-фильтры: дифференциаторы, преобразователи Гильберта.

Синтез рекурсивных (БИХ) фильтров. Особенности БИХ-фильтров: нелинейная ФЧХ, высокая избирательность. Синтез на основе аналоговых прототипов: Баттерворта, Чебышева, Золотарева (эллиптические). Метод билинейного Z-преобразования: синтез, частотное преобразование. Метод инвариантности импульсной характеристики. Прямые методы синтеза в Z-области.

Многоскоростная и адаптивная обработка сигналов

Многоскоростная цифровая обработка сигналов. Основы децимации (понижающая дискретизация) и интерполяции (повышающая дискретизация). Проектирование фильтров-дециматоров и интерполяторов. Условие отсутствия наложения. Эффективные полифазные структуры реализации. Каскадная (многоступенчатая) децимация и интерполяция. Изменение частоты дискретизации на рациональный множитель.

Адаптивная фильтрация. Принципы адаптивной фильтрации. Основная структура и области применения (идентификация, подавление помех, предсказание). Алгоритмы адаптации: наименьших средних квадратов (LMS), нормализованный NLMS. Рекурсивный алгоритм наименьших квадратов (RLS): концепция и сравнение с LMS. Практические аспекты: выбор шага адаптации, сходимость, устойчивость.

Алгоритмы модуляции, демодуляции и синтеза сигналов

Цифровые гетеродины и преобразователи частоты. Принцип прямого цифрового синтеза (DDS) сигналов. Цифровые квадратурные преобразователи (смесители). Одноступенчатый и многоступенчатый перенос спектра. Цифровые системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Синтез и обработка сложных сигналов. Генерация широкополосных и псевдослучайных сигналов (ЛЧМ, ФМн). Алгоритмы цифровой демодуляции (АМ, ЧМ, ФМ). Корреляционная обработка и согласованная фильтрация в цифровой области. Оценка параметров сигнала (задержка, доплеровское смещение).

Специализированные и современные направления ЦОС

*Введение в пространственную обработку сигналов.*Основы обработки сигналов антенных решеток.Адаптивная компенсация помех и формирование диаграммы направленности.Алгоритмы оценки числа источников и их направлений прихода.

Перспективные алгоритмы и аппаратная реализация. Слепоеразделениесигналов.Вейвлет-анализ для нестационарных сигналов.Особенности реализации алгоритмов ЦОС на специализированных процессорах (ЦПОС, ПЛИС).

4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий		
			Лекции	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1.	**Углубленный анализ дискретных сигналов и систем**	**28**	**4**	**4**	**20**
1.1	Современный спектральный анализ	14	2	2	10
1.2	Теоретико-системный подход в цифровой области	14	2	2	10
2.	**Синтез и анализ цифровых фильтров**	**28**	**4**	**4**	**20**
2.1	Синтез нерекурсивных (КИХ) фильтров	14	2	2	10
2.2	Синтез рекурсивных (БИХ) фильтров	14	2	2	10
3.	**Многоскоростная и адаптивная обработка сигналов**	**31**	**4**	**4**	**23**
3.1	Многоскоростная цифровая обработка	15	2	2	11

	сигналов				
3.2	Адаптивная фильтрация	16	2	2	12
4.	**Алгоритмы модуляции, демодуляции и синтеза сигналов**	**14**	**2**	**2**	**10**
4.1	Цифровые гетеродины и преобразователи частоты. Синтез и обработка сложных сигналов	14	2	2	10
5.	**Специализированные и современные направления ЦОС**	**16**	**2**	**2**	**12**
5.1	Введение в пространственную обработку сигналов. Перспективные алгоритмы и аппаратная реализация	16	2	2	12
6.	**Экзамен**	**27**	-	-	**27**
	ИТОГО	**144**	**16**	**16**	**85+27**

5. Виды учебной деятельности
Занятия лекционного типа

Лекция № 1.*Современные аспекты дискретного спектрального анализа.* Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и его свойства (теоретические основы). Быстрое преобразование Фурье (БПФ): обзор алгоритмов Кули-Тьюки (с прореживанием по времени и частоте). Алгоритмы БПФ для произвольного числа точек (смешанно-основные алгоритмы). Эффекты и артефакты при спектральном анализе: "просачивание" спектра, разрешающая способность. Применение оконных функций (Уэлча, Блэкмана-Харриса, Кайзера) для управления артефактами. Метод периодограммы и его модификации (Уэлча, Бартлетта) для оценки спектральной плотности мощности (СПМ) случайных процессов. Параметрические методы спектрального оценивания (модели AR, MA, ARMA). Алгоритм БПФ с комплексными сигналами и его применение в радиотехнике. Сравнительный анализ методов спектрального оценивания: область применения, достоинства и недостатки.

Лекция № 2.*Теоретико-системный подход к цифровым фильтрам.Z-преобразование.*Z-преобразование как основной аппарат анализа линейных стационарных систем (ЛСС). Передаточная функция, нули и полюсы. Связь с импульсной характеристикой. Условия устойчивости и физической реализуемости цифровых систем. Анализ частотной характеристики по расположению нулей и полюсов на Z-плоскости. Структуры реализации цифровых фильтров: прямая, каноническая, транспонированная, каскадная (последовательная), параллельная. Сравнение структур с точки зрения вычислительной сложности, чувствительности к ошибкам округления и скорости накопления ошибки. Алгоритмы анализа прохождения сигнала через систему: разностное уравнение, свертка, частотный метод. Анализ искажений, вносимых цифровой системой: амплитудные, фазовые, групповое время запаздывания.

Лекция № 3.*Синтез КИХ-фильтров: от классических методов к оптимальным.* Особенности КИХ-фильтров: устойчивость, линейность ФЧХ. Метод взвешивания (оконный метод): синтез, сравнение оконных функций. Метод частотной выборки: синтез, достоинства и проблемы. Метод наименьших квадратов (LS) для синтеза КИХ-фильтров. Алгоритм Ремеза (Чебышевская, или равноволновая, аппроксимация) для оптимального синтеза. Синтез фильтров с линейной ФЧХ (типы I, II, III, IV) и их применение. Синтез дифференциаторов и преобразователей Гильберта на основе КИХ-фильтров. Многочастотные КИХ-фильтры. Практические аспекты: оценка порядка фильтра, масштабирование коэффициентов.

Лекция № 4.*Синтез БИХ-фильтров: от аналоговых прототипов к прямым методам.* Особенности БИХ-фильтров: высокая избирательность, нелинейная ФЧХ, вопросы устойчивости. Метод инвариантности импульсной характеристики: синтез, область применения, явление наложения. Билинейное Z-преобразование: синтез, частотное преобразование, компенсация искажений. Синтез на основе аналоговых

прототипов: Баттерворта, Чебышева I и II рода, Золотарева (эллиптические). Метод согласования Z-преобразования. Прямые методы синтеза в цифровой области: метод наименьших квадратов (LS), метод Юла-Уокера. Синтез цифровых интеграторов и дифференциаторов на основе БИХ-фильтров. Преобразование типов фильтров (ФНЧ -> ФВЧ, ПФ, РФ) в цифровой области. Сравнительный анализ методов синтеза БИХ-фильтров.

Лекция № 5.*Многоскоростная цифровая обработка сигналов.* Основные понятия: децимация (понижающая дискретизация) и интерполяция (повышающая дискретизация). Фильтры-дециматоры и фильтры-интерполяторы. Условия отсутствия наложения спектров. Полифазные структуры: эффективная реализация дециматоров и интерполяторов. Каскадная (многоступенчатая) децимация и интерполяция для снижения вычислительной сложности. Изменение частоты дискретизации на рациональный множитель. Полосовые децимация и интерполяция. Цифровые гетеродины. Децимация и интерполяция узкополосных сигналов (например, в системах связи). Применение в радиотехнике: цифровые понижающие и повышающие преобразователи частоты, анализаторы спектра, аудиотехника.

Лекция № 6.*Адаптивная цифровая фильтрация.* Понятие адаптивного фильтра. Основная структура и область применения (подавление помех, систем идентификация, выравнивание каналов, предсказание сигналов). Критерии оптимальности: минимум среднеквадратической ошибки (MSE). Алгоритм наименьших квадратов (LMS): вывод, свойства (скорость сходимости, неустранимая ошибка). Нормализованный алгоритм NLMS. Рекурсивный алгоритм наименьших квадратов (RLS): вывод, сравнение с LMS. Адаптивные шумоподавители, адаптивные линии задержки. Применение в радиолокации и связи: адаптивное подавление помех, адаптивные антенные решетки (введение). Оценка вычислительной сложности адаптивных алгоритмов.

Лекция № 7.*Алгоритмы цифрового преобразования частоты и синтеза сигналов.* Цифровые гетеродины: принцип работы, достоинства и недостатки. Цифровые квадратурные преобразователи (смесители): одноступенчатое и многоступенчатое преобразование. Цифровая фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ, DPLL). Алгоритмы цифровой демодуляции сигналов с амплитудной (АМ), частотной (ЧМ) и фазовой (ФМ) модуляцией. Синтез сложных сигналов (линейно-частотно-модулированные - ЛЧМ, фазоманипулированные - ФМн) в цифровой форме. Генерация псевдослучайных последовательностей (ПСП) и их применение. Корреляционная обработка сигналов: алгоритмы вычисления взаимной корреляции, обнаружение сигналов на фоне помех. Согласованная фильтрация в цифровой области и ее реализация.

Лекция № 8. *Специализированные и современные алгоритмы ЦОС.*Введение в пространственно-временную обработку сигналов (для адаптивных антенных решеток). Алгоритмы слепого разделения сигналов. Вейвлет-преобразование и его применение для анализа нестационарных сигналов. Алгоритмы сжатия сигналов с потерями и без потерь (с акцентом на речевые и аудиосигналы). Обработка сигналов с использованием искусственных нейронных сетей. Алгоритмы оценки параметров сигналов (частота, фаза, время прихода). Особенности реализации алгоритмов ЦОС на процессорах цифровой обработки сигналов (ЦПОС, DSP) и программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС, FPGA).

Занятия семинарского типа (лабораторные занятия)

Лабораторная работа № 1.*Анализ сигналов: от БПФ к параметрическим методам спектрального оценивания*

Цели работы:

1. Экспериментально исследовать свойства и артефакты ДПФ/БПФ (эффект «просачивания», разрешающая способность).

2. Освоить методику применения оконных функций для улучшения качества спектральных оценок.

3. Сравнить эффективность непараметрических (периодограмма) и параметрических (модель Юла-Уокера) методов оценки спектральной плотности мощности (СПМ).

Приборыи принадлежности:

Персональный компьютер с установленным ПО (MATLAB, Python с библиотеками NumPy/SciPy или аналог).

Задания:

1. Сгенерировать тестовые сигналы: сумму двух гармоник с близкими частотами и аддитивным белым гауссовским шумом.

2. Рассчитать и построить амплитудный спектр сигнала с помощью БПФ без использования окна. Проанализировать наблюдаемые эффекты.

3. Повторить расчет спектра, применив окна Хэнна, Хэмминга и Блэкмана. Сравнить результаты по ширине главного лепестка и уровню боковых лепестков.

4. Оценить СПМ сигнала методом Уэлча и с помощью параметрического метода (модель авторегрессии, AR). Сравнить разрешающую способность методов для гармоник с близкими частотами.

5. Сделать выводы о применимости различных методов для анализа детерминированных и случайных компонент сигнала.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается эффект «просачивания» спектра и чем он вызван?
2. Как выбор оконной функции влияет на разрешающую способность и динамический диапазон спектра?
3. Объясните принцип метода периодограммы Уэлча.
4. В чем основное преимущество параметрических методов спектрального анализа перед непараметрическими?
5. Как выбрать порядок p для авторегрессионной модели?
6. Как наличие шума влияет на точность оценки частоты гармонического сигнала по БПФ?

Лабораторная работа № 2.*Реализация и анализ структур цифровых фильтров*

Цели работы:

1. Исследовать влияние различных структур реализации (прямая, каноническая, каскадная) на шум квантования.

2. Практически изучить связь расположения нулей и полюсов с АЧХ и ФЧХ системы.

3. Проанализировать искажения, вносимые цифровым фильтром.

Приборы и принадлежности:

Персональный компьютер с установленным ПО (MATLAB, Python).

Задания:

1. По заданной передаточной функции H(z) синтезировать три структуры реализации: прямую II формы, каноническую и каскадную из биквадратных звеньев.

2. Подать на вход фильтров тестовый сигнал (импульс, ступенька, сумма гармоник) и получить выходные сигналы для всех структур. Убедиться, что они идентичны при точных вычислениях.

3. Провести анализ АЧХ и ФЧХ системы. Сопоставить графики с расположением нулей и полюсов на Z-плоскости.

4. Смоделировать эффекты конечной разрядности: провести расчет с округлением результатов умножения в каждой структуре. Оценить уровень шума квантования на выходе для каждой структуры.

5. Построить график группового времени запаздывания (ГВЗ). Проанализировать, является ли ФЧХ фильтра линейной.

Контрольные вопросы:

1. Какая из структур (прямая, каноническая, каскадная) является наиболее предпочтительной с точки зрения минимизации шума округления и почему?
2. Как наличие полюса вблизи единичной окружности влияет на АЧХ и импульсную характеристику фильтра?
3. Что такое групповое время запаздывания и почему его постоянство важно для передачи сигналов?
4. Объясните, чем вызвано появление шума квантования в цифровых фильтрах.
5. Как связаны импульсная характеристика и расположение полюсов передаточной функции?

Лабораторная работа № 3.*Синтез и сравнение КИХ-фильтров*

Цели работы:

1. Освоить методику синтеза КИХ-фильтров методом взвешивания (оконный метод) и методом Ремеза (Чебышевская аппроксимация).
2. Сравнить фильтры, синтезированные разными методами, по порядку, равномерности ошибки аппроксимации и уровню боковых лепестков.
3. Синтезировать специализированный КИХ-фильтр (дифференциатор или преобразователь Гильберта).

Приборы и принадлежности:

Персональный компьютер с установленным ПО (MATLAB, Python).

Задания:

1. Синтезировать ФНЧ с заданными граничными частотами и допустимыми пульсациями методом взвешивания, используя окна Хэмминга и Кайзера.
2. Синтезировать тот же ФНЧ с использованием алгоритма Ремеза (оптимальный метод).
3. Сравнить полученные фильтры: построить их АЧХ в линейном и логарифмическом масштабе, определить порядок фильтра для каждого метода.
4. Синтезировать КИХ-дифференциатор или преобразователь Гильберта заданного порядка.
5. Пропустить через синтезированные фильтры тестовый сигнал и проанализировать правильность их работы.

Контрольные вопросы:

1. В чем основное преимущество алгоритма Ремеза перед оконными методами?
2. Как параметр beta окна Кайзера влияет на компромисс между шириной главного лепестка и уровнем боковых?
3. Почему КИХ-фильтры, синтезированные оконным методом, не являются оптимальными в смысле минимума среднеквадратической ошибки?
4. Какие типы КИХ-фильтров (I-IV) обладают строго линейной ФЧХ?
5. Объясните принцип действия КИХ-преобразователя Гильберта.

Лабораторная работа № 4.*Синтез и анализ БИХ-фильтров*

Цели работы:

1. Освоить методику синтеза БИХ-фильтров билинейным Z-преобразованием на основе аналоговых прототипов.
2. Исследовать эффект частотного преобразования (warppingeffect) и его влияние на АЧХ.
3. Сравнить характеристики БИХ-фильтров, синтезированных разными методами.

Приборы и принадлежности:

Персональный компьютер с установленным ПО (MATLAB, Python).

Задания:

1. Синтезировать ФНЧ Баттерворта и эллиптический ФНЧ с заданными параметрами (частота среза, неравномерность в полосе пропускания, затухание в полосе подавления) с помощью билинейного Z-преобразования.
2. Построить АЧХ, ФЧХ и карту нулей и полюсов синтезированных фильтров. Проанализировать устойчивость.
3. Исследовать эффект частотного преобразования: сравнить АЧХ аналогового прототипа и полученного цифрового фильтра.
4. Выполнить преобразование синтезированного ФНЧ в ФВЧ и полосовой фильтр (ПФ).
5. Сравнить порядок и АЧХ фильтров Баттерворта и Чебышева при одинаковых требованиях.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается эффект частотного преобразования при билинейном Z-преобразовании?
2. Почему эллиптический фильтр имеет меньший порядок по сравнению с фильтром Баттерворта при аналогичных требованиях?
3. Как обеспечить устойчивость БИХ-фильтра, синтезированного билинейным преобразованием?
4. Чем метод инвариантности импульсной характеристики принципиально отличается от билинейного преобразования?
5. Почему полюсы БИХ-фильтра всегда должны находиться внутри единичного круга на Z-плоскости?

Лабораторная работа № 5.*Децимация и интерполяция сигналов*

Цели работы:

1. Исследовать процессы децимации и интерполяции и связанные с ними эффекты наложения спектров.
2. Освоить методику проектирования и применения полифазных структур для эффективной реализации.
3. Практически реализовать каскадную децимацию.

Приборы и принадлежности:

Персональный компьютер с установленным ПО (MATLAB, Python).

Задания:

1. Сгенерировать широкополосный сигнал. Выполнить его децимацию с разными коэффициентами M без использования антиалиасингового фильтра и пронаблюдать эффект наложения спектров.
2. Спроектировать КИХ-фильтр для децимации с заданным коэффициентом M. Реализовать децимацию с фильтрацией, убедиться в отсутствии наложения.
3. Реализовать полифазную структуру для дециматора и сравнить ее вычислительную эффективность с прямой реализацией.
4. Реализовать интерполяцию с коэффициентом L с использованием полифазной структуры.
5. Реализовать двухкаскадную децимацию для большого коэффициента, сравнить сложность с однокаскадной реализацией.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте условие отсутствия наложения спектров при децимации.
2. В чем заключается вычислительное преимущество полифазных структур?
3. Почему при интерполяции фильтр должен быть ФНЧ с частотой среза Fs/(2L)?
4. В каких случаях целесообразно применять каскадную (многоступенчатую) децимацию?
5. Какова роль фильтрации на этапе интерполяции?

Лабораторная работа № 6.*Адаптивная фильтрация на основе алгоритма LMS*

Цели работы:

1. Изучить принципы работы адаптивного фильтра на примере задачи системной идентификации.
2. Практически исследовать влияние параметров алгоритма LMS (шаг сходимости mu) на скорость адаптации и ошибку.
3. Реализовать адаптивный шумоподавитель.

Приборы и принадлежности:

Персональный компьютер с установленным ПО (MATLAB, Python).

Задания:

1. Смоделировать задачу системной идентификации: создать неизвестную систему (БИХ-фильтр), подать на ее вход и на вход адаптивного фильтра один и тот же широкополосный сигнал.
2. Реализовать алгоритм LMS. Подобрать шаг сходимости mu для обеспечения устойчивой работы.
3. Исследовать процесс сходимости: построить график изменения нормы вектора весов или ошибки во времени для разных mu.
4. После сходимости сравнить АЧХ неизвестной системы и адаптивного фильтра.
5. Реализовать схему адаптивного шумоподавления, где полезный сигнал искажен аддитивным шумом, а на вспомогательный вход подается шум, коррелированный с помехой.

Контрольные вопросы:

1. Объясните, как шаг сходимостиmuвлияет на скорость адаптации и неустранимую ошибку алгоритма LMS.
2. В чем заключается принцип работы адаптивного шумоподавителя?
3. Чем алгоритм NLMS отличается от базового LMS и в каких случаях он предпочтительнее?
4. Что произойдет, если выбрать значениеmuслишком большим?
5. Каковы основные допущения, при которых алгоритм LMS работает оптимально?

Лабораторная работа № 7.*Цифровые гетеродины и синтез сложных сигналов*

Цели работы:

1. Изучить принцип работы и реализовать цифровой гетеродин (DDS).
2. Освоить методику цифрового квадратурного преобразования частоты.
3. Сгенерировать сложные радиотехнические сигналы (ЛЧМ, ФМн).

Приборы и принадлежности:

Персональный компьютер с установленным ПО (MATLAB, Python).

Задания:

1. Реализовать простейший DDS для генерации комплексной экспоненты (синус и косинус) заданной частоты.
2. Сгенерировать однотональный АМ-сигнал. Реализовать его квадратурное преобразование (перенос спектра) на нулевую частоту и выделить огибающую.
3. Сгенерировать линейно-частотно-модулированный (ЛЧМ) импульс с заданной девиацией частоты и длительностью.
4. Сгенерировать фазоманипулированный (ФМн) сигнал (например, код Баркера) и построить его автокорреляционную функцию (АКФ).
5. Реализовать алгоритм вычисления взаимно-корреляционной функции для обнаружения задержки известного сигнала (кода Баркера) в шумах.

Контрольные вопросы:

1. Опишите основные компоненты DDS и принцип формирования выходной частоты.
2. В чем преимущество квадратурной (I/Q) обработки сигналов перед реальной?

3. Какова функция неопределенности ЛЧМ сигнала и каковы ее преимущества?

4. Почему коды Баркера обладают «идеальной» автокорреляционной функцией и где это свойство применяется?

5. Как отношение сигнал/шум на входе влияет на точность оценки задержки сигнала по максимуму взаимной корреляции?

Лабораторная работа № 8.*Пространственно-временная обработка: адаптивная компенсация помех*

Цели работы:

1. Познакомиться с основами пространственно-временной обработки сигналов.

2. Реализовать простейший адаптивный компенсатор помех на основе алгоритма LMS.

3. Исследовать эффективность компенсации в зависимости от соотношения сигнал/помеха.

Приборы и принадлежности:

Персональный компьютер с установленным ПО (MATLAB, Python).

Задания:

1. Смоделировать двухканальную систему: основной канал содержит полезный сигнал и помеху; вспомогательный канал – только помеху, коррелированную с помехой в основном канале.

2. Реализовать адаптивный компенсатор, где вспомогательный сигнал подается на вход адаптивного фильтра, а ошибка (разность между основным сигналом и выходом фильтра) используется для адаптации весов по алгоритму LMS.

3. Оценить спектры сигналов на основном и вспомогательном входах до компенсации и спектр ошибки (очищенного сигнала) после компенсации.

4. Исследовать, как изменение угла прихода помехи (моделируемое задержкой во вспомогательном канале) влияет на эффективность компенсации.

5. Оценить выигрыш в отношении сигнал/помеха на выходе компенсатора.

Контрольные вопросы:

1. Объясните принцип работы адаптивного компенсатора помех. Почему помеха подавляется, а сигнал – нет?

2. Какова роль задержки Δ в схеме компенсатора?

3. Что произойдет, если помеха во вспомогательном канале не будет коррелирована с помехой в основном канале?

4. Каковы основные ограничения рассмотренной схемы компенсатора?

5. Как можно обобщить эту задачу на случай многоканальной (антенной решетки) системы?

Самостоятельная работа

1. Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ.

Методические рекомендации для студентов по организации самостоятельной подготовки к лабораторным занятиям. Подготовка к лабораторным занятиям включает в себя изучение теоретического материала по теме занятия, подготовку ответов на вопросы к защите лабораторной работы, а также, в случае необходимости, обработку результатов измерений и вычисление погрешностей. Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы приведены в планах лабораторных занятий. Выполнение студентами данного вида самостоятельной работы проверяется преподавателем на соответствующем лабораторном занятии.

Выполнение лабораторной работы включает в себя три основных этапа:

1) *Самостоятельная подготовка студента к выполнению лабораторной работы*. На данном этапе студент самостоятельно изучает методические указания по выполнению лабораторной работы, учебную литературу по теме лабораторной работы, выполняет заготовку отчета и изучает программы автоматизации проектирования.

2) *Выполнение лабораторной работы (проведение эксперимента) и обработка экспериментальных данных*. На данном этапе студент получает допуск к выполнению лабораторной работы и проводит эксперимент, занося полученные данные в заготовку отчета. Все результаты моделирования и проектирования обязательно контролируются преподавателем, который отмечает их правильность своей подписью в отчете. Затем студент самостоятельно проводит необходимый анализ, а при необходимости обработку результатов эксперимента и на основании полученных данных делает вывод о достижении цели лабораторной работы.

3) *Защита лабораторной работы* включает в себя проверку преподавателем письменного отчета студента о выполненной лабораторной работе, а также беседу преподавателя со студентом по вопросам, касающимся теории изучаемого явления, методики проведения моделирования или автоматизированного проектирования, обработки полученных экспериментальных данных.

2. Самостоятельное изучение отдельных вопросов курса

Часть теоретических вопросов курса выносится на самостоятельное изучение студентами. При самостоятельном изучении вопроса студент должен познакомиться с содержанием соответствующей темы по одному из учебников, указанных в списке основной литературы, при необходимости могут использоваться источники из списка дополнительной литературы, а также рекомендованные ресурсы сети «Интернет». По каждому вопросу необходимо составить конспект, по возможности включающий следующие пункты:

– краткая история развития, появления метода или его текущее состояние;

– основные ключевые понятия, математические основы рассматриваемого метода;

– основные формулы, уравнения, критерии оценки, используемые для описания и анализа процесса;

– качественные и количественные показатели, используемые для оценки эффективности вычислительных экспериментов. Примеры критериев оценки и сравнительного анализа методов.

– описание конкретных примеров использования методов в научной и технической практике. Иллюстративные случаи из областей прикладной математики, физики, информатики и других смежных наук.

– обзор текущих проблем и трудностей, возникающих при внедрении методов. Перспективы развития и пути преодоления существующих барьеров.

Конспекты, составленные студентами, проверяются преподавателем во время лабораторных занятий, зачета.

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение

1. Алгоритмы БПФ с произвольным основанием
2. Модели MA и ARMA для спектрального оценивания
3. Точные методы анализа шума квантования в цифровых фильтрах
4. Дробное преобразование Фурье (FrFT)
5. Синтез БИХ-фильтров методом наименьших квадратов
6. Метод частотной маскировки для КИХ-фильтров
7. Адаптивные БИХ-фильтры
8. Синтез и применение ALLPASS-фильтров
9. Алгоритм Калмана-Бьюси
10. Слепая компенсация искажений канала
11. Субполосная адаптивная фильтрация
12. Вейвлет-преобразование и вейвлет-пакеты
13. Компенсация доплеровского смещения
14. Некогерентное цифровое детектирование

15. Синтез и обработка OFDM-сигналов
16. Оценка частоты и фазы (PLL CostasLoop)
17. Bit-Accurate моделирование
18. CIC-фильтры
19. Методы понижения вычислительной сложности
20. Сжатие выборок (CompressedSensing)
21. Применение нейронных сетей в ЦОС
22. Квантование с шумом (Dithering)
23. Алгоритмы для систем MIMO
24. Цифровые предыскажения (DPD)
25. Оценка и синхронизация символов

6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

1. Подготовка конспекта по вопросам курса, выносимым на самостоятельное изучение (перечень вопросов курса, выносимых на самостоятельное изучение, приведен в разделе «Самостоятельная работа»).

Критерии оценивания конспектов

Показатель	Количество баллов
1) Соответствие представленного материала поставленному вопросу	1
2) Полнота изложения ответа (представлены все необходимые теории, понятия, факты и пр.)	1
3) Логика изложения материала (материал выстроен в логической последовательности, соблюдается схема причина – следствие, предпосылка – вывод)	1
4) Глубина изложения ответа (представлены не только основные положения теорий и законы, но и получены и обоснованы выводы из них)	1
5) Конспект сопровождается рисунками и схемами, необходимыми для пояснения теоретических положений	1
6) Приведены примеры использования описанных явлений, теорий и устройств на практике	1
7) При подготовке ответа на вопрос использованы дополнительные источники информации	1
8) Работа оформлена грамотно, не содержит опечаток и ошибок, форматирование текста соответствует общепринятым требованиям	1
9) Представлен краткий устный доклад на практическом занятии по вопросу, выносимому на самостоятельное изучение	1
10) Студент ответил на дополнительные вопросы преподавателя по конспекту	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 10

2. Выполнение и защита лабораторной работы (задания к лабораторным занятиям и вопросы для защиты приведены в планах лабораторных занятий)

Критерии оценивания лабораторной работы

Показатель	Количество баллов
1) Лабораторная работа выполнена вовремя на соответствующем занятии в соответствии расписанием	1
2) По результатам выполнения лабораторной работы получены корректные результаты и данные	1
3) Отчет по лабораторной работе соответствует шаблону и содержит все необходимые пункты	1
4) Отчет по лабораторной работе включает в себя результаты моделирования по всем обязательным пунктам задания	1
5) Отчет по лабораторной работе содержит все необходимые чертежи и графики	1
6) На защите лабораторной работы студент дал правильные и полные ответы на поставленные преподавателем контрольные вопросы (5 вопросов)	1* 5 вопросов
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 10

6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Форма промежуточной аттестации – **экзамен**.

Для определения уровня сформированности компетенций применяется процедура независимой оценки. Независимая оценка уровня сформированности компетенций осуществляется комиссией (с возможностью привлечения внешних экспертов со стороны работодателей). В состав комиссии входят 3 преподавателя: заведующий кафедрой – председатель комиссии и независимый эксперт, преподаватель, читающий дисциплину «Методы и алгоритмы цифровой обработки информации», преподаватель кафедры – независимый эксперт. Экзамен проходит в традиционной форме – по билетам. В билет включены 2 теоретических вопроса и 1 практическое задание. Ответ студента оценивается коллегиально, путем голосования. Каждый член комиссии имеет один голос. При расхождении оценок у преподавателей, решающим является голос заведующего кафедрой.

Вопросы для подготовки к экзамену (Экзаменационные вопросы)

1. Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и его свойства
2. Быстрое преобразование Фурье (БПФ): алгоритмы и применение
3. Z-преобразование: свойства и применение для анализа систем
4. Дискретная свертка: методы вычисления и применение
5. Классификация цифровых фильтров: КИХ и БИХ
6. Синтез КИХ-фильтров методом взвешивания
7. Синтез КИХ-фильтров методом частотной выборки
8. Оптимальный синтез КИХ-фильтров (алгоритм Ремеза)
9. Синтез БИХ-фильтров на основе аналоговых прототипов
10. Билинейное Z-преобразование: свойства и применение
11. Структуры реализации цифровых фильтров
12. Сравнительный анализ КИХ и БИХ фильтров
13. Многоскоростная обработка сигналов: децимация и интерполяция
14. Полифазные структуры для многоскоростной обработки
15. Адаптивная фильтрация: основные принципы

16. Алгоритм LMS и его модификации
17. Рекурсивный алгоритм наименьших квадратов (RLS)
18. Цифровые гетеродины и синтезаторы частот (DDS)
19. Цифровые квадратурные преобразователи
20. Синтез и обработка сложных сигналов (ЛЧМ, ФМн)
21. Корреляционная обработка сигналов
22. Согласованная фильтрация в цифровой области
23. Алгоритмы оценки параметров сигналов
24. Пространственно-временная обработка сигналов
25. Адаптивная компенсация помех
26. Методы спектрального анализа случайных процессов
27. Параметрические методы спектрального оценивания
28. Эффекты конечной разрядности в цифровых системах
29. Шумы квантования в цифровых фильтрах
30. Особенности реализации алгоритмов ЦОС на ПЛИС и процессорах ЦОС
31. Применение ЦОС в радиолокационных системах
32. Цифровая обработка в системах связи
33. Алгоритмы цифровой демодуляции сигналов
34. Методы оценки и обеспечения устойчивости цифровых систем
35. Анализ качества цифровых фильтров

Практические задания (примеры)

1. Рассчитать и построить амплитудный спектр сигнала с помощью БПФ без использования окна. Проанализировать наблюдаемые эффекты

2. По заданной передаточной функции H(z) синтезировать три структуры реализации: прямую II формы, каноническую и каскадную из биквадратных звеньев.

3.Синтезировать ФНЧ с заданными граничными частотами и допустимыми пульсациями методом взвешивания, используя окна Хэмминга и Кайзера.

4. Синтезировать ФНЧ Баттерворта и эллиптический ФНЧ с заданными параметрами (частота среза, неравномерность в полосе пропускания, затухание в полосе подавления) с помощью билинейного Z-преобразования.

5. Спроектировать КИХ-фильтр для децимации с заданным коэффициентом M. Реализовать децимацию с фильтрацией, убедиться в отсутствии наложения.

6. Сгенерировать однотональный АМ-сигнал. Реализовать его квадратурное преобразование (перенос спектра) на нулевую частоту и выделить огибающую.

7. Смоделировать двухканальную систему: основной канал содержит полезный сигнал и помеху; вспомогательный канал – только помеху, коррелированную с помехой в основном канале.

Критерии и показатели оценивания ответа студента по уровням

Оценка 10/ "Отлично"выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении практического задания систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной дисциплины, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы; точное использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; обладает способностью самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации; демонстрирует полное и глубокое усвоение содержания основной и дополнительной

литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; демонстрирует умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин.

Оценка 9/"Отлично"выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной дисциплины;точное использование научной терминологии, грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; обладает способностью самостоятельно и творчески решать сложные задачи в нестандартной ситуации в рамках учебной дисциплины; демонстрирует полное усвоение содержания основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; демонстрирует умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им аналитическую оценку.

Оценка 8/"Отлично"выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной дисциплины;использование научной терминологии, грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; умение делать обоснованные выводы и обобщения; владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; обладает способностью самостоятельно решать сложные задачив рамках учебной дисциплины; демонстрирует полное усвоение содержания основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; демонстрирует умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им аналитическую оценку.

Оценка 7/"Хорошо"выставляется студенту, которыйдемонстрирует при выполнении заданий систематизированные, глубокие знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной дисциплины;использование научной терминологии, грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; умение делать обоснованные выводы и обобщения; владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; обладает способностью свободно решать типовыезадачив рамках учебной дисциплины; демонстрирует усвоение содержания основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; демонстрирует умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им аналитическую оценку.

Оценка 6/"Хорошо"выставляется студенту, которыйдемонстрирует при выполнении заданий достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной дисциплины;использование необходимой научной терминологии, грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы; умение делать обобщенные и обоснованные выводы; владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении научных и профессиональных задач; обладает способностью решать типовыезадачив рамках учебной дисциплины; демонстрирует усвоение содержания основной и дополнительной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; демонстрирует умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку.

Оценка 5/"Удовлетворительно"выставляется студенту, которыйдемонстрирует при выполнении заданий достаточные знания в объеме учебной дисциплины; минимальное использование необходимой научной терминологии, достаточно

грамотное изложение ответа на вопросы, но с нарушением логической последовательности; умение делать выводы с допущением несущественных ошибок; недостаточное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать только в решении стандартных (типовых) задач;умение решать стандартные(типовые)задачив рамках учебной дисциплины с минимальной долей самостоятельностипод руководством преподавателя; демонстрирует усвоение содержания основной литературы, рекомендованной рабочей программой дисциплины; умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку; умение под руководством преподавателя решать стандартные(типовые)задачи, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

Оценка 4/"Удовлетворительно" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий достаточный объем знанийв рамках учебной дисциплины;научная терминология используется редко, при ответе на вопросы демонстрируется нарушение логической последовательности; владение инструментарием учебной дисциплины только при решении стандартных (типовых) задач; низкий уровень культуры исполнения заданий.

Оценка 3/"Неудовлетворительно" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий недостаточный объем знанийв рамках учебной дисциплины;научная терминология не используется;в ответах на вопросы демонстрируется существенные логические ошибки; слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность при решении стандартных (типовых) задач.

Оценка 2/"Неудовлетворительно" выставляется студенту, который демонстрирует при выполнении заданий фрагментарные знанияв рамках учебной дисциплины;научная терминология не используется или используется неграмотно;в ответах на вопросы демонстрируется грубые логические ошибки; невладение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность при решении стандартных (типовых) задач.

Оценка 1/"Неудовлетворительно" выставляется студенту, который демонстрирует отсутствие приращения знаний и компетентности в рамках учебной дисциплины.

Таблица перевода оценок из 10-ти бальной системы в 5-ти бальную систему

Оценка по 10-ти бальной системе	Оценка по 5-ти бальной системе
10, 9, 8	5 «отлично»
7, 6	4 «хорошо»
5, 4	3 «удовлетворительно»
3, 2, 1	2 «неудовлетворительно»

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

7.1. Основная литература

1. Вадутов О.С. Электроника. Математические основы обработки сигналов: учебник и практикум для вузов. – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 307 с. – URL: https://urait.ru/bcode/537281.

2. Воропаева О.Ф. Основы численного анализа динамических систем: учебник для вузов. – М.: Издательство Юрайт, 2025. –164 с. – URL: https://urait.ru/bcode/568925.

3. Белов Л. А. Радиоэлектроника. Формирование стабильных частот и сигналов: учебник для вузов – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 268 с. – URL: https://urait.ru/bcode/563824.

4. Коломейцева М. Б. Системы автоматического управления при случайных воздействиях: учебник для вузов – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 101 с. – URL: https://urait.ru/bcode/557536.

5. Нефедов В. И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 319 с. – URL: https://urait.ru/bcode/561145.

6. Попов В. П. Основы теории цепей: учебник для вузов – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 602 с. – URL: https://urait.ru/bcode/558329.

7.2 Дополнительная литература

1. Лайонс, Р. Цифровая обработка сигналов [Текст] /Р. Лайонс; Пер. с англ. под ред. А.А.Бритова. - 2-е изд. - М.: Бином-Пресс, 2006. - 656 с.

2. Лэй, Э. Цифровая обработка сигналов для инженеров и технических специалистов[Текст]: Практическое руководство /Э. Лэй; Перев. с англ. Н.С. Соголюб. - М.: Группа ИДТ, 2007.- 336 с.

3. Смит С. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство [Электронныйресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – Москва: ДМК Пресс, 2011. – 720 с. – Текст :электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/60986

4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 751 с. : ил. (7 экз)

5. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. 3-е изд., испр. – М.: Техносфера, 2012. – 1048 с. (Мир радиоэлектроники). ISBN 978-5-94836-329-5

6. Умняшкин С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов: учебное пособие. – М.: Форум, 2012. – 304 с.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. **https://www.analog.com/** – Официальный сайт AnalogDevices с технической документацией, applicationnotes и примерами проектов синтезаторов частот.
2. **https://www.ti.com/** – Официальный сайт TexasInstruments с ресурсами по проектированию синтезаторов частот и инструментами проектирования.
3. **https://www.ieee.org/** – Сайт IEEE с научными статьями и публикациями по синтезаторам частот и смежным темам.
4. **https://www.microwaves101.com/** – Энциклопедия микроволновой техники с разделами по синтезаторам частот и PLL.
5. **https://www.rfglobalnet.com/** – Ресурс для RF-инженеров с техническими статьями и новостями в области синтезаторов частот.
6. **https://www.edaboard.com/** – Международный форум по электронике с разделами по проектированию синтезаторов.
7. **https://www.allaboutcircuits.com/** – Образовательный ресурс с техническими статьями и учебными материалами по синтезаторам частот.
8. **https://www.gaussianwaves.com/** – Блог с техническими статьями по проектированию синтезаторов и цифровой обработке сигналов.
9. **https://www.electronics-notes.com/** – Ресурс с учебными материалами по синтезаторам частот и RF-технике.
10. **https://www.qsl.net/** – База знаний для радиолюбителей с практическими материалами по синтезаторам частот.

8. Материально-техническое обеспечение

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная стандартной учебной мебелью, мультимедиапроектором, ноутбуком, колонками и интерактивной доской.

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа (лабораторных занятий), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная стандартной учебной мебелью и оборудованием, необходимым для проведения лабораторных работ.

Помещение для самостоятельной работы – компьютерный класс с доступом к сети «Интернет» и ЭИОС СмолГУ.

9. Программное обеспечение

MicrosoftOpenLicense (Windows 8, 10, Server, Office 2003-2016), лицензия 66975477 от 03.06.2016 (бессрочно), система компьютерной математики MathCAD, среда программирования LabVIEWCommunityEdition (свободная лицензия).

Обучающимся обеспечен доступ к ЭБС «Юрайт», а также доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.