

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №13 от 02 июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ»

Направление: 11.04.01 Радиотехника

Радиотехнические телекоммуникационные устройства и системы

Квалификация: Магистр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Полетаев
Александр Сергеевич
Дата подписания: 17.06.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
Утвердил и согласовал: Ченский Александр
Геннадьевич
Дата подписания: 18.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Устройства генерирования и формирования сигналов» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПК-3 Способен моделировать и разрабатывать математические и физические модели радиоэлектронных средств на схемотехническом и системотехническом уровнях	ПК-3.1

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПК-3.1	Знает структуру типовых технических проектов для развития сети связи	Знать Знать принципы работы и построения структурных схем устройств генерирования, усиления и преобразования аналоговых сигналов, проблемы и методы проектирования, разработки этих устройств и их применения в радиоэлектронной аппаратуре различного назначения. Уметь Уметь анализировать принципиальные схемы отдельных узлов тракта, применять основные методы расчета при решении практических задач; измерять технические характеристики радиопередающего оборудования сети радиодоступа. Владеть Владеть методиками проектирования и расчета электронных узлов радиопередатчиков, а также навыками настройки, эксплуатации и поддержания работоспособности радиотехнических устройств, предназначенных для генерирования и формирования радиосигналов.

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Устройства генерирования и формирования сигналов» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: Нет

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Устройства приема и обработки сигналов», «Производственная практика: преддипломная практика»,

«Информационно-измерительные радиотехнические системы», «Измерения в технике связи»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 1
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	39	39
лекции	13	13
лабораторные работы	13	13
практические/семинарские занятия	13	13
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	42	42
Трудоемкость промежуточной аттестации	27	27
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен	Экзамен

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 1

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Основные функциональные узлы передатчиков	1	2	1	4	3	5	1	8	Отчет по лаборатор ной работе
2	Векторные генераторы сигналов	2	2	2	4	2	4	1	8	Отчет по лаборатор ной работе
3	Способы формирования модулированных сигналов	3	2	3	5	1	4	1	8	Отчет по лаборатор ной работе
4	Методы получения сигналов с расширенным спектром	4	2					3	4	Отчет по лаборатор ной работе
5	Передающие устройства с управляемой диаграммой направленности	5	2					3	4	Контрольн ая работа
6	Помехоустойчиво	6	3					2, 3	10	Контрольн

	е кодирование сигналов									ая работа
	Промежуточная аттестация							27		Экзамен
	Всего		13		13		13		69	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 1

№	Тема	Краткое содержание
1	Основные функциональные узлы передатчиков	Общая структурная схема передатчиков. Усилитель мощности, одноканальные усилители мощности низких частот, УМ с двухфазным возбуждением, повышение КПД в УМ. Цепи подачи питания и смещения. Согласующие цепи. Автогенераторы, трехточечные автогенераторы.
2	Векторные генераторы сигналов	Понятие векторного генератора. Принцип векторного представления сигналов. Квадратурное разложение сигналов. Модульная архитектура генерирующих устройств. Векторный генератор РХ. Структура векторных генераторов. Перенос спектра сигнала в восходящей дискретной системе (ВДС). Цифровой синтезатор частоты. ПЛИС (FPGA). ВЧ / СВЧ смесители.
3	Способы формирования модулированных сигналов	Модуляция в высокоскоростных системах радиосвязи. Двухпозиционные виды модуляции. Модуляция QPSK, квадратуры QPSK, получение QPSK различными способами. Применение формирующего фильтра. Модуляция QAM, получение, созвездие QAM-16, 64, 256. Поворот сигнального созвездия. Помехоустойчивость QAM. Модуляция OFDM? система поднесущих OFDM. Форма и спектр OFDM. Получение OFDM, вставка защитного интервала. Математическая модель OFDM. Получение OFDM при помощи ОДПФ, добавление пилот-сигналов и циклических префиксов (CP). Примеры использования OFDM. Пример эфирного интерфейса в LTE.
4	Методы получения сигналов с расширенным спектром	Сигнал с расширенным спектром. Эффекты и преимущества расширения спектра. Методы расширения спектра. Метод псевдослучайной перестройки рабочей частоты FHSS. Метод линейной частотной модуляции CSS. Расширение псевдослучайной последовательностью DSSS. Коды Баркера. Адресные функции в CDMA. ПСП в CDMA.
5	Передающие устройства с управляемой диаграммой	Направленные антенны. Диаграмма направленности. Фазированная антенная решетка (ФАР). Схемы ФАР. Расчет фазовых сдвигов. Расчет усиления. Цифровая антенная решётка

	направленности	(ЦАР).
6	Помехоустойчивое кодирование сигналов	Пропускная способность канала. Теоремы Шеннона. Канальное кодирование. Классификация помехоустойчивых кодов. Линейные блочные коды. Расстояние в системе Хемминга. Избыточность кода. Коды Хемминга. Кодирование и декодирование устройства. Циклические коды. Коды Голея. БЧХ коды. Коды Рида-Соломона. Сверточные коды. Турбокоды, структура турбокодера. LDPC-коды.

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 1

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Генерирование непрерывных сигналов с АМ, FM	4
2	Передача цифровых сигналов с ASK, FSK, PSK	4
3	Формирование ВЧ сигналов с QAM модуляцией	5

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 1

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Моделирование колебаний с АМ / FM в среде LabVIEW	4
2	Моделирование цифровых сигналов (ASK, FSK, PSK) в среде LabVIEW	4
3	Моделирование сигналов с QAM модуляцией в среде LabVIEW	5

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 1

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	24
2	Подготовка к экзамену	6
3	Проработка разделов теоретического материала	12

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: мультимедийные технологии подачи лекционного материала, обучающие видеозаписи, мастер-классы, групповые дискуссии, решение специальных задач в малых группах, кейс-метод решения задач. Предполагается при изучении некоторых тем использовать опережающее самостоятельное обучение, то есть студенты должны ознакомиться с презентацией и самостоятельно подготовиться к заданной теме, а

на занятиях провести обсуждение этой темы. Такой подход позволяет перейти от автоматического записывания лекционного материала к его вдумчивому изучению. Выполнение лабораторных работ производится с применением компьютерных технологий и моделирующих программ в средах программирования MatCAD; MATLAB, LabVIEW, Multisim. Внедрение вычислительной техники способствует интенсификации процесса обучения, что особенно важно в условиях быстро увеличивающегося объема научно-технической информации, а также помогает освоить основы методов вычислительного эксперимента в условиях интерактивного взаимодействия ЭВМ и студентов, что связано с развитием вопросов теории и разработкой алгоритмов моделирования устройства генерирования и формирования сигналов.

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Полетаев А. С. Устройства генерирования и формирования сигналов : электронный курс / А. С. Полетаев, 2023

5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Хит Р. Цифровые системы радиосвязи. Лабораторный практикум по исследованию процессов физического уровня с использованием оборудования NI URSP : учебное пособие / Роберт Хит-мл.; пер. с англ. В. Е. Засенко [и др.], 2016. - 139.

5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Устройства генерирования и формирования радиосигналов [Текст] : конспект лекций / Иркут. гос. техн. ун-т; [сост. В. Е. Засенко]. Ч. 1, 2005. - 90.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 1 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

Студенты выполняют работы на лабораторных стендах, фиксируют результаты измерений и наблюдений, подготавливают расчетно-графические материалы и отчет в электронном виде. Защита отчетов происходит в форме индивидуального устного собеседования по теме лабораторной работы.

Критерии оценивания.

Выполнены все задания в методических указаниях к лабораторной работе, получены корректные результаты измерений, сформулированы выводы по проделанной работе, даны правильные ответы на контрольные вопросы преподавателя, отчет оформлен с соблюдением всех предъявляемых требований.

6.1.2 семестр 1 | Контрольная работа

Описание процедуры.

В течение 10 минут студенты дают краткие письменные ответы на вопросы, рассмотренные в лекциях текущего контроля. Допускается использование только своих конспектов лекций.

- Тема (раздел): Генераторы с внешним возбуждением. Примеры вопросов:
 1. Дайте определение понятия генератора с внешним возбуждением (ГВВ).
 2. Структурная схема усилителя мощности (УМ).
 3. Объясните назначение основных цепей. Требования, предъявляемые к УМ.
 4. Принципы построения схем УМ.
 5. Охарактеризуйте основные режимы работы АЭ в УМ.
- Тема (раздел): Согласующие цепи.
 1. Согласование сопротивлений каскадов УМ и нагрузки.
 2. Нагрузочные характеристики УМ.
 3. Схемы согласующих фильтров.
 4. Расчет согласующей цепи для повышения сопротивления.
 5. Расчет согласующей цепи для понижения сопротивления.
- Тема (раздел): Автогенераторы.
 1. Автогенераторы на трехполюсных активных элементах. Уравнение баланса трехточечного автогенератора.
 2. Схемы автогенераторов (анализ управляющего сопротивления).
 3. Режимы самовозбуждения автогенераторов.
 4. Цепи питания и смещения автогенератора.
 5. Особенности расчета автогенератора.
- Тема (раздел): Методы модуляции, применяемые для передачи аналоговой информации.
 1. Структурная схема передатчика с угловой модуляцией.
 2. Области применения передатчиков с угловой модуляцией.
 3. Амплитудная модуляция смещением.
 4. Амплитудная модуляция возбуждением.
 5. Коллекторная амплитудная модуляция.
- Тема (раздел): Передача цифровых и дискретных сигналов.
 1. Амплитудная манипуляция цифровых сигналов.
 2. Методы частотной манипуляции для передачи двоичной информации.
 3. Устройства формирования фазоманипулированных сигналов.
 4. Квадратурная амплитудная модуляция.
 5. Принцип передачи сигналов с OFDM модуляцией.
- Тема (раздел): Обработка сигналов, применяемая в цифровых передатчиках.
 1. Что такое квадратурная обработка сигналов, Как она реализуется и для чего применяется?
 2. Как осуществляется квадратурная обработка узкополосных радиосигналов и какие спектральные преобразования ей соответствуют?
 3. Что представляет из себя универсальный квадратурный модулятор?
 4. Объясните понятие «передискретизация» сигналов.
 5. Что такое многоскоростные системы цифровой обработки сигналов?

Критерии оценивания.

Контрольная работа засчитывается, если количество правильных ответов составляет не менее 80% от общего числа вопросов

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПК-3.1	Исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает принципы функционирования различных устройств генерирования и формирования радиосигналов. Выполняет подключение лабораторного оборудования для экспериментального исследования преобразований сигналов в отдельных радиотехнических узлах. Демонстрирует умение настраивать оборудование и средства технического контроля аппаратуры для генерирования и формирования сигналов.	Устное собеседование по теоретическим вопросам и/или выполнение практических заданий.

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 1, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Экзамен относится к итоговому контролю по изучению курса «Устройства генерирования и формирования сигналов». К экзамену допускаются студенты, успешно выполнившие курс практических занятий и защитившие все лабораторные работы. Экзамен проходит в устной форме. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса из различных разделов курса.

Вопросы к экзамену по дисциплине «Устройства генерирования и формирования сигналов»:

1. Общая структурная схема передающих устройств. Основные узлы, функции и параметры передатчика.
2. Структурная схема усилителя мощности (УМ). Принципы построения схем УМ. Параметры и характеристики УМ.
3. Схемы автогенераторов на трехполюсных активных элементах. Уравнение баланса трехточечного автогенератора.
4. Стабильность частоты АГ. Дестабилизирующие факторы и механизмы их влияния

на нестабильность частоты автогенератора.

5. Кварцевый автогенератор, частотные свойства и параметры кварцевых резонаторов. Атомные стандарты частоты.
6. Генераторы, управляемые напряжением (ГУН). Схемы, применение в передающем тракте.
7. Теория частотной автоподстройки частоты. Принцип действия систем фазовой автоподстройки частоты (PLL).
8. Назначение и классификация умножителей частоты. Транзисторные умножители частоты.
9. Способы сложения мощностей активных элементов. Применение и разновидности мостовых схем сложения мощности.
10. Векторное представление сигналов. Комплексная огибающая сигнала и квадратурное разложение сигналов. Квадратурные компоненты АМ, FM, РМ сигналов.
11. Векторные генераторы. Архитектура векторных передатчиков, структурная схема, основные узлы.
12. Формирование дискретных сигналов. Передискретизация сигналов. Перенос спектра сигнала в восходящей дискретной системе (ВДС).
13. Основные принципы построения синтезаторов частот. Схемы цифровых синтезаторов частоты.
14. Применение смесителей в передающих устройствах. Смесители ВЧ/СВЧ сигналов. Кольцевые диодные смесители.
15. Модуляция сигналов в современных системах беспроводной передачи информации. Энергетическая и спектральная эффективность модулированных сигналов.
16. Двухпозиционные и многопозиционные методы модуляции ASK, FSK, PSK. Способы формирования, осциллограммы и спектры.
17. Модуляция QPSK, QAM. Способы формирования, осциллограммы и спектры.
18. Применение формирующих фильтров в модуляторах цифровых сигналов.
19. Модуляция, применяемая для цифрового телевидения стандарта DVB-T, DVB-T2. Особенности реализации. Получение сигнального созвездия.
20. Технология OFDM. Получение OFDM, форма и спектр OFDM сигналов. Преимущества и недостатки OFDM.
21. Использование OFDM в современных радиосистемах. Применение пилот-сигналов и циклических префиксов. Эфирные интерфейсы.
22. Расширение спектра. Свойства сигналов с расширенным спектром. Классификация методов расширения спектра.
23. Способы формирования сигналов с расширенным спектром. FHSS, CSS, DSSS.
24. АКФ шумоподобного сигнала. Псевдослучайные последовательности (ПСП). Использование адресных функций в CDMA.
25. Подключение излучающих антенн в передатчиках. Параметры передающих антенн. Направленные антенны, примеры конструкций.
26. Фазированная антенная решетка (ФАР). Основные принципы управления диаграммой направленности. Классификация ФАР.
27. Канальное кодирование передаваемых сигналов. Теоремы Шеннона и пропускная способность канала.
28. Классификация помехоустойчивых кодов. Корректирующие способности помехоустойчивых кодов. Линейные блочные коды. Коды Хемминга.
29. Циклические коды. Получение CRC кодов. Код Голея. Коды BCH. Код Рида-Соломона.
30. Турбокоды. Структура турбокодера. Код LDPC. Сравнительная характеристика LDPC и турбо кодов.

Пример задания:

Билет №1.

1. Генераторы, управляемые напряжением (ГУН). Схемы, применение в передающем тракте.
2. Технология OFDM. Получение OFDM, форма и спектр OFDM сигналов. Преимущества и недостатки OFDM.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
для получения оценки «отлично» необходимо полностью раскрыть содержание билета.	для получения оценки «хорошо» необходимо верно ответить на все теоретические вопросы.	для получения оценки «удовлетворительно» достаточно правильно ответить на два теоретических вопроса.	студент получает оценку «не удовлетворительно» если не ответил ни на один вопрос.

7 Основная учебная литература

1. Устройства генерирования и формирования радиосигналов [Текст] : конспект лекций / Иркут. гос. техн. ун-т; [сост. В. Е. Засенко]. Ч. 1, 2005. - 90.
2. Хит Р. Цифровые системы радиосвязи. Лабораторный практикум по исследованию процессов физического уровня с использованием оборудования NI URSP : учебное пособие / Роберт Хит-мл.; пер. с англ. В. Е. Засенко [и др.], 2016. - 139.
3. Полетаев А. С. Устройства генерирования и формирования сигналов : электронный курс / А. С. Полетаев, 2023
4. Головин О. В. Устройства генерирования, формирования, приема и обработки сигналов : учебное пособие по специальностям «Средства связи с подвижными объектами» и «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» / О. В. Головин, 2012. - 782.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Методические указания по применению программы схемотехнического моделирования Electronics Workbench / сост. В. Е. Засенко [и др.], 2001. - 41.
2. Прокис Джон Дж. Цифровая связь / Прокис Дж., 2000. - 797.
3. Феер К. Беспроводная цифровая связь: Методы модуляции и расширения спектра / К. Феер, 2000. - 518.
4. Скляр Бернанд. Цифровая связь: Теорет. основы и практ. применение : [Пер. с англ.] / Бернанд Скляр, 2003. - 1099.
5. Першин В. Т. Формирование и генерирование сигналов в цифровой радиосвязи : учебное пособие для вузов по направлению 210000 "Электронная техника, радиотехника и связь" / В. Т. Першин, 2013. - 612.
6. Проектирование радиопередатчиков : учеб. пособие для вузов связи по специальности 201100 "Радиосвязь, радиовещание и телевидение" / [Шахгильдян В. В. и др.], 2000. - 653.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <https://el.istu.edu/course/view.php?id=6900>
2. <http://library.istu.edu/>
3. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. LabView
2. MultiSim 10.1_EDUCATION_25 USER LICENSE _поставка 2010
3. MATLAB_Simulink поставка 2021 г
4. Свободно распространяемое программное обеспечение Anaconda Navigator

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Комплект коммуникационного оборудования на базе National Instruments
2. Макетная плата EmonaDATEX для учебной лабораторной станции виртуальных приборов- платформа NI ELVIS
3. NI PXI
4. NI USRP