

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Муромский институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**
(МИ ВлГУ)

Кафедра *РТ*

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель директора по УР
Д.Е. Андрианов
_____ 20.05.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Цифровые синтезаторы частот

Направление подготовки

11.04.01 Радиотехника

Профиль подготовки

*Системы и устройства передачи, приема и
обработки сигналов*

Семестр	Трудоем- кость, час./зач. ед.	Лек- ции, час.	Практи- ческие занятия, час.	Лабора- торные работы, час.	Консуль- тация, час.	Конт- роль, час.	Всего (контак- тная работа), час.	СРС, час.	Форма промежу- точного контроля (экз., зач., зач. с оц.)
2	180 / 5	16	16	16	3,6	2,35	53,95	99,4	Экз.(26,65)
Итого	180 / 5	16	16	16	3,6	2,35	53,95	99,4	26,65

Муром, 2025 г.

1. Цель освоения дисциплины

Цель дисциплины: формирование знаний, связанных с научными исследованиями с применением систем цифрового синтеза в радиоэлектронных устройствах, ознакомить и приобщить магистрантов к практической и научно-исследовательской работе по этой тематике.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Цифровые синтезаторы частот» базируется на знаниях, полученных студентами в области математических и естественно-научных дисциплин, в большей степени математики и физики, а также дисциплин «Радиотехнические цепи и сигналы», «Радиопередающие устройства», «Радиоприемные устройства», «Цифровые устройства и микропроцессоры», изучаемых при обучении по направлению бакалавриата.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1 Обладает способностью проводить исследования в целях совершенствования радиоэлектронных устройств и систем	ПК-1.3 Разрабатывает алгоритмы и проводит исследования в целях совершенствования функциональных узлов радиоэлектронных устройств	знать основные методы формирования сигналов, обеспечения основных характеристик устройств формирования сигналов (ПК-1.3) уметь формулировать и решать задачи, используя математический аппарат и численные методы для анализа и синтеза синтезаторов частот (ПК-1.3)	тесты к текущему контролю
ПК-2 Способность разрабатывать и модернизировать радиоэлектронные устройства и блоки	ПК-2.1 Разрабатывает структурные, функциональные и принципиальные схемы радиоэлектронных устройств и систем	знать основные структурные и функциональные схемы построения синтезаторов частот (ПК-2.1) Уметь составлять принципиальные схемы синтезаторов частот (ПК-2.1)	тесты к текущему контролю
	ПК-2.2 Использует средства компьютерного моделирования в целях модернизации и совершенствования радиоэлектронных устройств и блоков	уметь применять средства компьютерного моделирования при модернизации и совершенствовании систем частотного синтеза (ПК-2.2)	

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

4.1. Форма обучения: очная

Уровень базового образования: высшее.

Срок обучения 2г.

4.1.1. Структура дисциплины

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником							Самостоятельная работа	Форма текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации(по семестрам)
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	КП / КР	Консультация	Контроль		
1	Введение. Общие сведения о синтезе частот. Методы синтеза частот.	2	2								тестирование
2	Основные параметры синтезаторов частот	2	2	6	4					12	тестирование
3	Прямой аналоговый синтез	2	2							10	тестирование
4	Косвенный синтез частоты	2	2	6	4					32	тестирование
5	Прямой цифровой вычислительный синтез	2	2	4	4					25	тестирование
6	Гибридные методы синтеза. Источники колебаний опорной частоты. Заключение	2	6		4					20,4	тестирование
Всего за семестр		180	16	16	16		+	3,6	2,35	99,4	Экз.(26,65)
Итого		180	16	16	16			3,6	2,35	99,4	26,65

4.1.2. Содержание дисциплины

4.1.2.1. Перечень лекций

Семестр 2

Раздел 1. Введение. Общие сведения о синтезе частот. Методы синтеза частот.

Лекция 1.

Введение. Общие сведения о синтезе частот. Некогерентный синтез. Прямой когерентный синтез. Косвенный когерентный синтез (2 часа).

Раздел 2. Основные параметры синтезаторов частот

Лекция 2.

Основные параметры синтезаторов частот: побочные составляющие, фазовые шумы, широкополосность и скорость переключения (2 часа).

Раздел 3. Прямой аналоговый синтез

Лекция 3.

Прямой аналоговый синтез: принцип, схемы, достоинства и недостатки (2 часа).

Раздел 4. Косвенный синтез частоты

Лекция 4.

Косвенный синтез частоты на основе фазовой автоподстройки (PLL) (2 часа).

Раздел 5. Прямой цифровой вычислительный синтез

Лекция 5.

Прямой цифровой вычислительный синтез (ЦВС) (2 часа).

Раздел 6. Гибридные методы синтеза. Источники колебаний опорной частоты. Заключение

Лекция 6.

Гибридные методы синтеза. Основные свойства, классификация (2 часа).

Лекция 7.

Структурные схемы гибридных синтезаторов на основе ФАПЧ и ЦВС (2 часа).

Лекция 8.

Источники колебаний опорной частоты: кварцевые генераторы, атомные стандарты частоты (2 часа).

4.1.2.2. Перечень практических занятий

Семестр 2

Раздел 2. Основные параметры синтезаторов частот

Практическое занятие 1

Побочные составляющие в выходном сигнале синтезаторов частот. Определения, расчет (2 часа).

Практическое занятие 2

Фазовые шумы синтезаторов частот: основные понятия, определения. Стабильность источников колебаний опорных частот. Виды шумов. Фазовые шумы основных устройств синтезаторов частот (2 часа).

Практическое занятие 3

Аппроксимация спектральной плотности мощности фазовых шумов. Методы снижения шумов. Методы измерения фазовых шумов (2 часа).

Раздел 4. Косвенный синтез частоты

Практическое занятие 4

Структурные схемы систем ФАПЧ. Расчет фазовых шумов систем ФАПЧ (2 часа).

Практическое занятие 5

Цифровые вычислительные синтезаторы: принцип работы, схемы. Спектральная плотность мощности фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов (2 часа).

Практическое занятие 6

Расчет фазовых шумов цифровых вычислительных синтезаторов (2 часа).

Раздел 5. Прямой цифровой вычислительный синтез

Практическое занятие 7

Система фазовой автоподстройки частоты. Основные понятия о системах регулирования с обратной связью. Аналоговые и цифровые системы ФАПЧ. Работа петли ФАПЧ (2 часа).

Практическое занятие 8

Примеры расчета фазовых шумов гибридных синтезаторов частот на основе цифровых вычислительных синтезаторов и систем ФАПЧ (2 часа).

4.1.2.3. Перечень лабораторных работ

Семестр 2

Раздел 2. Основные параметры синтезаторов частот

Лабораторная 1.

АНАЛИЗ УРОВНЕЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ ФАЗОВЫХ ШУМОВ СИНТЕЗАТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА В СРЕДЕ MATLAB (4 часа).

Раздел 4. Косвенный синтез частоты

Лабораторная 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗАТОРА НА ОСНОВЕ ФАПЧ (4 часа).

Раздел 5. Прямой цифровой вычислительный синтез

Лабораторная 3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО СИНТЕЗАТОРА (4 часа).

Раздел 6. Гибридные методы синтеза. Источники колебаний опорной частоты. Заключение

Лабораторная 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТ (4 часа).

4.1.2.4. Перечень тем и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Перечень тем, вынесенных на самостоятельное изучение:

1. Основные параметры интегральных синтезаторов.
2. Схемные реализации прямых аналоговых синтезаторов.
3. Варианты систем фазовой автоподстройки частоты.
4. Уравнение системы ФАПЧ и его решение.
5. Передаточные функции системы ИФАПЧ с различными типами фильтров.
6. Параметры цифровых вычислительных синтезаторов и их зависимость от параметров звеньев.
7. Интегральные цифровые синтезаторы частот.
8. Основные виды гибридных синтезаторов и их параметры.

Для самостоятельной работы используются методические указания по освоению дисциплины и издания из списка приведенной ниже основной и дополнительной литературы.

4.1.2.5. Перечень тем контрольных работ, рефератов, ТР, РГР, РПР

Не планируется.

4.1.2.6. Примерный перечень тем курсовых работ (проектов)

1. Разработка и исследование модели цифрового вычислительного синтезатора, работающего на образцах тактовой частоты.
2. Разработка и исследование модели цифрового вычислительного синтезатора.
3. Разработка и исследование модели спектральной плотности мощности фазовых шумов системы ИФАПЧ с делителями частоты.
4. Разработка и исследование модели спектральной плотности мощности фазовых шумов системы ИФАПЧ со смесителем в обратной связи.
5. Разработка и исследование модели спектральной плотности мощности фазовых шумов цифрового вычислительного синтезатора.
6. Разработка и исследование модели спектральной плотности мощности фазовых шумов гибридного синтезатора частот.
7. Разработка и исследование модели спектральной плотности мощности фазовых шумов двухкольцевой системы ИФАПЧ.

5. Образовательные технологии

В процессе изучения дисциплины применяется контактная технология преподавания (за исключением самостоятельно изучаемых студентами вопросов). При проведении

практических работ применяется имитационный или симуляционный подход. Шаги решения задач студентам демонстрируются при помощи мультимедийной техники. В дальнейшем студенты самостоятельно решают аналогичные задания.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Фонды оценочных материалов (средств) приведены в приложении.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

7.1. Основная учебно-методическая литература по дисциплине

1. Шостак А.С. Формирование и передача сигналов. Часть 1 [Электронный ресурс]: курс лекций/ Шостак А.С. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 154 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14029>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю - <http://www.iprbookshop.ru/14029>

2. Шостак А.С. Формирование и передача сигналов. Часть 2 [Электронный ресурс]: курс лекций/ Шостак А.С. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 90 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14030>. – ЭБС «IPRbooks», по паролю - <http://www.iprbookshop.ru/14030>

3. Ромашов В.В., Ромашова Л.В. Цифровые синтезаторы частот: Учебное пособие для студентов образовательных программ 11.04.01 Радиотехника, 11.03.01 Радиотехника, 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. (3,2 Мб). - Муром: МИ ВлГУ, 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-R). –Систем. требования: процессор x86 с тактовой частотой 500 МГц и выше; 512 Мб ОЗУ; Windows XP/7/8; видеокарта SVGA 1280x1024 High Color (32 bit); привод CD-ROM. - Загл. с экрана. - ISBN 978-5-8439-0354-1 - https://evrika.mivlgu.ru/index.php?mod=book_inf&com=view_inf&book_id=2878

4. Якименко, К. А. Гибридные синтезаторы частот : учебное пособие / К. А. Якименко, В. В. Ромашов. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2025. — 114 с. — ISBN 978-5-4497-4169-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/148557.html>. - <https://www.iprbookshop.ru/148557.html>

5. Ромашов, В. В. Цифровые синтезаторы частот : практикум / В. В. Ромашов, А. Н. Докторов, К. А. Якименко. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2025. — 85 с. — ISBN 978-5-4497-4145-5. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/148565.html> - <https://www.iprbookshop.ru/148565.html>

7.2. Дополнительная учебно-методическая литература по дисциплине

1. Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А. Системы фазовой автоподстройки частоты - М.: Связь. - 1972. - 445 с. - 2 экз.

2. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи. - М.: Радио и связь, 1991. - 264 с. - 3 экз.

3. Манассевич В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование: Пер. с англ. / Под ред. А.С. Галина, - М.: Связь, 1979. - 384 с. - 3 экз.

4. Формирование прецизионных частот и сигналов: Учеб. пособие / Н.П. Ямпурин, В.В. Болознев, Е.Ф. Сафонова, Е.Б. Жалнин. – Нижний Новгород: Нижегородский. гос. техн. ун-т., 2003. – 187 с.: ил. - 5 экз.

5. Белов, Л.А. Формирование стабильных частот и сигналов: учебное пособие для вузов. – М.: Академия, 2005. – 224 с.: ил. – Библиогр.: с. 218-220. – (Высшее профессиональное образование). 10 экз. 621.374(075.8) - 10 экз.

6. Белов, Л.А. Синтезаторы частот и сигналов: учеб. пособие. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2002. – 80 с.: ил. – (Серия «Конспекты лекций по радиотехническим дисциплинам») 5 экз. 621.374.4(075.8). - 5 экз.

7. Радиотехнические и телекоммуникационные системы (журнал ВАК). - www.rts-md.com

7.3. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

В образовательном процессе используются информационные технологии, реализованные на основе информационно-образовательного портала института (www.mivlgu.ru/iop), и инфокоммуникационной сети института:

- предоставление учебно-методических материалов в электронном виде;
- взаимодействие участников образовательного процесса через локальную сеть института и Интернет;
- предоставление сведений о результатах учебной деятельности в электронном личном кабинете обучающегося.

Информационные справочные системы:

Синтезаторы частот фирмы Analog Device (www.analog.com).

Радиотехнические системы <http://rateli.ru/>

Программное обеспечение:

Microsoft Office Standard 2010 Open License Pack No Level Academic Edition
(Государственный контракт №1 от 10.01.2012 года)

MathWorks Academic new Product Concurrent License (Гражданско-правовой договор бюджетного учреждения №1 от 10.01.2014 года)

Mozilla Firefox (MPL)

Adobe Reader XI (Общие условия использования продуктов Adobe)

Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный Russian Edition. 500-999 Node 2 year Educational Renewal (продление) (Гражданско-правовой договор бюджетного учреждения №2020.526633 от 23.11.2020 года)

РЕД ОС (Соглашение №140/05-21У от 18.05.2021 года о сотрудничестве в области науки, развития инновационной деятельности)

7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

iprbookshop.ru

evrika.mivlgu.ru

rts-md.com

analog.com).

rateli.ru

mivlgu.ru/iop

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вычислительный центр кафедры радиотехники

Рабочая станция HP Core 2 DUO, 3 GHz; 2 GB, DVD-RW/HP 19" 3 шт.; принтер HP P2015dn; сканер Epson V200Photo; маршрутизатор 3Com Switch; проектор NEC; экран настенный.ПК Djitech монитор АЛОС 12 шт.

9. Методические указания по освоению дисциплины

Для успешного освоения теоретического материала обучающийся: знакомится со списком рекомендуемой основной и дополнительной литературы; уточняет у преподавателя, каким дополнительным пособиям следует отдать предпочтение; ведет конспект лекций и прорабатывает лекционный материал, пользуясь как конспектом, так и учебными пособиями.

На практических занятиях пройденный теоретический материал подкрепляется решением задач по основным темам дисциплины. Занятия проводятся в компьютерном классе,

используя специальное программное обеспечение. Каждой подгруппе обучающихся преподаватель выдает задачу, связанную с разработкой и программной реализацией алгоритмов обработки информации. В конце занятия обучающие демонстрируют полученные результаты преподавателю и при необходимости делают работу над ошибками.

До выполнения лабораторных работ обучающийся изучает соответствующий раздел теории. Перед занятием студент знакомится с описанием заданий для выполнения работы, внимательно изучает содержание и порядок проведения лабораторной работы. Лабораторная работа проводится в компьютерном классе. Обучающиеся выполняют индивидуальную задачу компьютерного моделирования в соответствии с заданием на лабораторную работу. Полученные результаты исследований сводятся в отчет и защищаются по традиционной методике в классе на следующем лабораторном занятии. Необходимый теоретический материал, индивидуальное задание, шаги выполнения лабораторной работы и требование к отчету приведены в методических указаниях, размещенных на информационно-образовательном портале института.

Самостоятельная работа оказывает важное влияние на формирование личности будущего специалиста, она планируется обучающимся самостоятельно. Каждый обучающийся самостоятельно определяет режим своей работы и меру труда, затрачиваемого на овладение учебным содержанием дисциплины. Он выполняет внеаудиторную работу и изучение разделов, выносимых на самостоятельную работу, по личному индивидуальному плану, в зависимости от его подготовки, времени и других условий

Курсовая работа выполняется в соответствии с методическими указаниями на курсовую работу. Обучающийся выбирает одну из указанных в перечне тем курсовых работ, исходя из своих интересов, наличия соответствующих литературных и иных источников. В ходе выполнения курсовой работы преподаватель проводит консультации обучающегося. На заключительном этапе обучающийся оформляет пояснительную записку к курсовой работе и выполняет ее защиту в присутствии комиссии из преподавателей кафедры.

Форма заключительного контроля при промежуточной аттестации – экзамен. Для проведения промежуточной аттестации по дисциплине разработаны фонд оценочных средств и балльно-рейтинговая система оценки учебной деятельности студентов. Оценка по дисциплине выставляется в информационной системе и носит интегрированный характер, учитывающий результаты оценивания участия студентов в аудиторных занятиях, качества и своевременности выполнения заданий в ходе изучения дисциплины и промежуточной аттестации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению *11.04.01 Радиотехника* и профилю подготовки *Системы и устройства передачи, приема и обработки сигналов*

Рабочую программу составил *д.т.н. заведующий кафедрой Ромашов В.В.* _____

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры *РТ*

протокол № 12 от 09.04.2025 года.

Заведующий кафедрой *РТ* _____ *Ромашов В.В.*
(Подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии факультета

протокол № 9 от 15.05.2025 года.

Председатель комиссии ФИТР _____ *Кутарова Е.И.*
(Подпись) (Ф.И.О.)

Фонд оценочных материалов (средств) по дисциплине
Цифровые синтезаторы частот

1. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплине

Оценочные средства для текущего контроля знаний приведены в <https://www.mivlgu.ru/iop/course/view.php?id=100>.

Общее распределение баллов текущего контроля по видам учебных работ для студентов

Рейтинг-контроль 1	выполнение и защита 1 лабораторной работы, выполнение курсовой работы, контрольный тест первой контрольной недели	15
Рейтинг-контроль 2	выполнение и защита 1 лабораторной работы, выполнение курсовой работы, контрольный тест второй контрольной недели	15
Рейтинг-контроль 3	выполнение и защита 1 лабораторной работы, выполнение курсовой работы, контрольный тест третьей контрольной недели	20
Посещение занятий студентом	журнал группы	5
Дополнительные баллы (бонусы)	за активность на занятиях	5
Выполнение семестрового плана самостоятельной работы	Учитывается в вопросах тестов	0

2. Промежуточная аттестация по дисциплине

Перечень вопросов к экзамену / зачету / зачету с оценкой.

Перечень практических задач / заданий к экзамену / зачету / зачету с оценкой (при наличии)

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в <https://www.mivlgu.ru/iop/mod/quiz/view.php?id=7907>.

Методические материалы, характеризующие процедуры оценивания

На основе заданий в системе MOODLE формируются тесты для магистрантов, состоящие из 10 теоретических вопросов и 5 практических заданий. Вопросы из блоков 2 и 3 магистрант изучает при выполнении лабораторных работ и курсовом проектировании, по итогам защиты курсовой работы ему выставляется оценка и количество набранных баллов. При сдаче экзамена студент получает доступ в систему тестирования, после ответов на вопросы ему начисляются баллы. С учетом индивидуального семестрового рейтинга, защиты курсовой работы и полученных баллов формируется итоговый рейтинг и оценка студента.

Максимальная сумма баллов, набираемая студентом по дисциплине равна 100.

Оценка в баллах	Оценка по шкале	Обоснование	Уровень сформированности компетенций
Более 80	«Отлично»	Содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному	Высокий уровень
66-80	«Хорошо»	Содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками	Продвинутый уровень
50-65	«Удовлетворительно»	Содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки	Пороговый уровень
Менее 50	«Неудовлетворительно»	Содержание курса не освоено, необходимые практические навыки работы не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки	Компетенции не сформированы

3. Задания в тестовой форме по дисциплине

Примеры заданий:

Дайте определение некогерентного синтеза частот

Каким параметром оцениваются шумовые свойства источников колебаний

Какие синтезаторы называются гибридными

Полный перечень тестовых заданий с указанием правильных ответов, размещен в банке вопросов на информационно-образовательном портале института по ссылке <https://www.mivlgu.ru/iop/question/edit.php?courseid=100&category=30046%2C764&qshowtext=0&qshowtext=1&recurse=0&recurse=1&showhidden=0>

Оценка рассчитывается как процент правильно выполненных тестовых заданий из их общего числа.