

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан факультета радиотехники и электроники

Небольсин В.А.

«31» августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

**«Математическое моделирование радиотехнических устройств»**

**Направление подготовки — 11.04.01 «Радиотехника»**

**Магистерская программа — «Радиотехнические средства обработки  
и защиты информации в каналах связи»**

**Квалификация выпускника — магистр**

**Нормативный период обучения — 2 года**

**Форма обучения — очная**

**Год начала подготовки — 2021**

Автор программы

/А.В. Останков/

Заведующий кафедрой  
радиотехники

/А.В. Останков/

Руководитель ОПОП

/А.В. Останков/

**Воронеж 2021**

# 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Цели дисциплины

Изучение базовых принципов и методов формирования математических моделей типовых радиотехнических устройств в процессе их разработки, а также принципов численной оптимизации проектных решений.

## 1.2. Задачи освоения дисциплины:

- познакомить с методологией компьютерного моделирования радиотехнических устройств на различных уровнях их описания (схемотехническом, функционально-логическом, структурном);
- научить методам численного решения типовых задач, возникающих при разработке или оптимизации радиоустройства;
- сформировать навыки математического моделирования типовых радиотехнических устройств с помощью стандартных программных средств на персональном компьютере.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Математическое моделирование радиотехнических устройств» относится к дисциплинам факультативной части (блока ФТД).

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Математическое моделирование радиотехнических устройств» направлен на формирование компетенции:

ПК-2 — Способен выполнять моделирование объектов и процессов с целью анализа и оптимизации их параметров с использованием имеющихся средств исследований, включая пакеты прикладных программ.

Код компетенции	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	<b>знать</b> ключевые положения методологии компьютерного моделирования и оптимизации радиотехнических устройств
	<b>уметь</b> применять основные методы математического моделирования для анализа и параметрического синтеза радиотехнических устройств
	<b>владеть</b> навыками математического моделирования радиотехнических устройств с помощью стандартных программных средств на персональном компьютере

#### 4. ОБЪЁМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоёмкость дисциплины «Математическое моделирование радиотехнических устройств» составляет 2 з.е.

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам занятий:

##### очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестр
		1
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	30	30
В том числе:		
лекции	10	10
лабораторные работы	20	20
<b>Самостоятельная работа</b>	42	42
Виды промежуточной аттестации		зачёт
Общая трудоёмкость академические часы	72	72
з.е.	2	2

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

##### 5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоёмкости по видам занятий

##### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекции	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Методы математического моделирования радиотехнических устройств	Понятие математической модели и их классификация. Декомпозиционный подход к моделированию радиотехнических устройств. Математические модели пассивных и активных компонентов радиотехнических устройств. Примеры формальных моделей. Топологические основы формирования математической модели схемы радиотехнического устройства. Методы математического моделирования радиотехнических устройств во временной области: топологические методы, метод переменных состояния. Особенности математического моделирования цифровых устройств: синхронные и асинхронные алгоритмы, моделиро-	6	12	22	40

		вание многозначными алфавитами. Методы математического моделирования в частотной области. Применение матриц классической и волновой теории для моделирования радиоустройств. Методы математического моделирования микроволновых радиоустройств, рассеивающих и излучающих электромагнитные волны.				
2	Оптимизация проектных решений	Приведение задачи разработки (оптимизации) радиоустройства к задаче нелинейного программирования. Поиск методы решения задачи нелинейного программирования без ограничений для функции многих переменных и их сравнительная характеристика. Статистические методы оптимизации и их сравнение по эффективности с целенаправленными методами поиска. Генетические алгоритмы оптимизации. Формулировка задачи нелинейного программирования с нелинейными ограничениями. Метод штрафных и барьерных функций. Методы учёта дестабилизирующих факторов.	4	8	20	32
<b>Итого</b>			<b>10</b>	<b>20</b>	<b>42</b>	<b>72</b>

## 5.2. Перечень лабораторных работ

Номер раздела	Наименование лабораторной работы	Объём, часов
1	Моделирование отклика нелинейного сопротивления на внешнее воздействие	4
1	Моделирование радиотехнических цепей во временной области	4
1	Моделирование радиотехнических цепей в частотной области	4
2	Поиск оптимального решения на основе эволюционного алгоритма	4
2	Идентификация параметров элементов радиотехнической цепи на основе экспериментальных данных	4

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы учебным планом не предусмотрено.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1. Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе: «аттестован» или «не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-2	знать ключевые положения методологии компьютерного моделирования и оптимизации радиотехнических устройств	Знание теории и готовность к ее обсуждению при защите лабораторной работы	Выполнение в срок и защита лабораторной работы	Невыполнение в срок или неудовлетворительная защита лабораторной работы
	уметь применять основные методы математического моделирования для анализа и параметрического синтеза радиотехнических устройств	Готовность применять методы моделирования в рамках выполнения лабораторной работы	Выполнение в срок и защита лабораторной работы	Невыполнение в срок или неудовлетворительная защита лабораторной работы
	владеть навыками математического моделирования радиотехнических устройств с помощью стандартных программных средств на персональном компьютере	Демонстрация приобретенных навыков моделирования на компьютере в рамках выполнения лабораторной работы	Выполнение в срок и защита лабораторной работы	Невыполнение в срок или неудовлетворительная защита лабораторной работы

#### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в первом семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе: «зачтено» или «не зачтено».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-2	знать ключевые положения методологии компьютерного моделирования и оптимизации радиотехнических устройств	Знание теории и готовность к её изложению при защите лабораторных работ и на зачёте	Продемонстрированы знание и понимание теории, способность к её обсуждению	Продемонстрированы непонимание теории или неспособность её обсуждать
	уметь применять основные методы математического моделирования для анализа и параметрического синтеза радиотехнических устройств	Готовность применять методы моделирования при выполнении лабораторных работ и задания на зачёте	Продемонстрирован правильный ход выполнения задания	Задание не выполнено
	владеть навыками математического моделирования радиотехнических устройств с помощью стандартных	Демонстрация приобретенных навыков моделирования на компьютере в рамках выполнения ла-	Продемонстрирован правильный ход выполнения задания	Задание не выполнено

	программных средств на персональном компьютере	бораторной работы		
--	--	-------------------	--	--

## 7.2. Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1. Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

Укажите верное утверждение:

- 1) Один объект может иметь только одну модель.
- 2) Разные объекты не могут описываться одной моделью.
- 3) Электрическая схема – это модель электрической цепи.
- 4) Модель полностью повторяет изучаемый объект.

Укажите неверное утверждение:

- 1) Натурные модели – реальные объекты, в уменьшенном или увеличенном виде воспроизводящие внешний вид, структуру или поведение моделируемого объекта.
- 2) Информационные модели описывают объект-оригинал на одном из языков кодирования информации.
- 3) Динамические модели отражают процессы изменения объектов во времени.
- 4) За основу классификации моделей может быть взята только предметная область, к которой они относятся.

Укажите компонентное уравнение, которым можно описать в частотной области такой элемент радиотехнического устройства как конденсатор.

$$1) u(t) = C \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad 2) \dot{U}_m = \frac{1}{j\omega C} \cdot \dot{I}_m \quad 3) \dot{I}_m = \frac{1}{j\omega C} \cdot \dot{U}_m \quad 4) i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt}$$

В модели полупроводникового диода сопротивление, параллельное нелинейному управляемому источнику тока, отражает ... сопротивление диода.

- 1) объемное
- 2) прямое
- 3) дифференциальное
- 4) сопротивление утечки

Характеристика нелинейного элемента интерполируется степенным полиномом, затем рассчитываются амплитуды гармоник отклика по известному воздействию. Такие действия составляют суть ... метода моделирования нелинейного радиоустройства в режиме ...

- 1) явного ... малого сигнала
- 2) неявного ... большого сигнала
- 3) явного ... большого сигнала

4) неявного ... малого сигнала

### **7.2.2. Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

1. Изложите методику описания вольтамперной характеристики (ВАХ) нелинейного сопротивления кубическими сплайнами. В чём отличие сплайн-интерполяции от полиномиальной интерполяции ВАХ? Зачем при этом нужны значения производных второго порядка в узлах интерполяции?

2. Изложите методику описания ВАХ нелинейного сопротивления с нижним загибом кусочно-линейной функцией. В каких случаях проходную ВАХ транзистора целесообразно аппроксимировать кусочно-линейной функцией?

3. Изложите методику расчёта спектра отклика нелинейного сопротивления методом угла отсечки тока? На основе временной диаграммы, полученной по интерполированной сплайнами ВАХ?

4. Изложите методику решения дифференциального уравнения цепи методом структурного моделирования. Какие элементы содержит структурная схема модели цепи, реализованная по её дифференциальному уравнению? Как зависит их число от порядка цепи? Как при этом определяются коэффициенты по ветвям обратной связи? Можно ли таким способом моделировать цепи с нелинейным элементом?

5. Изложите методику решения дифференциального уравнения цепи методом переменных состояния. Как от дифференциального уравнения можно перейти к системе уравнений состояния цепи? Какими способами можно решить систему уравнений состояния? Что представляет собой переменная состояния цепи? Уравнение наблюдения?

6. В чём состоит суть частотного (спектрального) метода анализа? Каким образом при его использовании получают спектр входного воздействия, комплексную частотную характеристику цепи, временное описание выходного сигнала?

7. Изложите методику моделирования матричным методом составного линейного четырёхполюсника, образованного соединением транзистора с ОЭ и резистора, включенного в цепь эмиттера. Как выполнить экспериментальную проверку моделирования?

8. Изложите методику моделирования матричным методом составного линейного четырёхполюсника, образованного соединением транзистора с ОЭ и резистора, включенным между базой и эмиттером. Как в этом случае выполнить экспериментальную проверку моделирования?

### **7.2.3. Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. Чем отличается интерполяция ВАХ нелинейного элемента от её аппроксимации? При каком способе аналитического описания ВАХ необходимо минимизировать среднеквадратическую ошибку приближения? При каком способе необходимо составлять и решать систему алгебраических уравнений?

2. Какова методика описания ВАХ нелинейного сопротивления полиномом? Как зависит от максимальной степени полинома число алгебраических уравнений в системе или число слагаемых в интерполяционной формуле Лагранжа? В каких случаях проходную ВАХ транзистора целесообразно аппроксимировать полиномом?

3. Как правильно выбрать интервал дискретизации входного сигнала при моделировании его прохождения через цепь с предварительной дискретизацией и последующим использованием дискретной свёртки? Какими способами можно интерполировать выходной сигнал при недостаточно малом интервале дискретизации?

4. Как зависит степень искажения сигнала при его прохождении через ФНЧ от соотношения длительности сигнала и граничной частоты полосы пропускания фильтра? Как влияет ширина полосы пропускания ФНЧ на точность его моделирования при использовании дискретной свёртки и фиксированном интервале дискретизации входного сигнала?

5. Как влияет включение в цепь эмиттера резистора (ведение последовательной отрицательной обратной связи по току) на исследуемые в работе параметры транзистора? Как это объяснить физически? Используя теорию линейных цепей с обратной связью?

### **7.2.4. Примерный перечень вопросов для подготовки к зачёту**

1. Понятие математической модели радиотехнического устройства и их классификация.

2. Декомпозиционный подход к моделированию радиоустройств.

3. Математические модели пассивных и активных компонентов радиоустройств.

4. Топологические основы формирования математической модели схемы радиоустройства.

5. Топологический метод математического моделирования радиоустройств во временной области.

6. Метод переменных состояния для математического моделирования

радиоустройств во временной области.

7. Особенности математического моделирования цифровых устройств.

8. Методы математического моделирования в частотной области.

9. Применение матриц классической и волновой теории для моделирования радиоустройств.

10. Методы математического моделирования микроволновых радиоустройств, рассеивающих и излучающих электромагнитные волны.

11. Методы учёта дестабилизирующих факторов.

12. Приведение задачи разработки (оптимизации) радиоустройства к задаче нелинейного программирования.

13. Поисковые методы решения задачи нелинейного программирования без ограничений для функции многих переменных.

14. Статистические методы оптимизации и их сравнение по эффективности с целенаправленными методами поиска.

15. Генетические алгоритмы оптимизации.

16. Формулировка задачи нелинейного программирования с нелинейными ограничениями. Метод штрафных и барьерных функций.

### **7.2.5. Примерный перечень для подготовки к экзамену**

Экзамен учебным планом предусмотрен.

### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

На этапах текущего контроля студент за качественное выполнение и успешную защиту каждой лабораторной работы может получить до 5 баллов. Максимальное количество набранных студентами баллов на этапах текущего контроля – 25.

Зачёт проводится по билетам, каждый из которых содержит два вопроса-задания. Максимальное количество набранных баллов по билету – 25. Максимальное количество набранных баллов по билету и баллов, полученных на этапах текущего контроля, составляет 50.

Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 35 баллов. Оценка «Зачтено» ставится, если студент набрал 35 и более баллов.

### **7.2.7. Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Методы математического моделирования радиотехнических устройств	ПК-2	Защита лабораторных работ, вопросы-задания на зачете
2	Оптимизация проектных решений	ПК-2	Защита лабораторных работ, вопросы-задания на зачете

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При преподавании дисциплины в качестве процедур оценивания знаний, умений и навыков используются индивидуальные задания для выполнения лабораторных работ и контрольные вопросы для их защиты, а также вопросы - задания на зачёте.

Защита лабораторных работ выполняется методом устного опроса по контрольным вопросам, представленным в соответствующих методических материалах.

Задания к зачёту включают два вопроса - задания, первый из которых предназначен для проверки знаний, второй – умений и навыков. Использование конспектов лекций или учебной литературы, а также мобильных телефонов, планшетов, ноутбуков и/или иных устройств, предоставляющих беспроводную связь, не допускается. Время подготовки ответа по заданиям составляет 15 мин. Затем выполняется проверка ответа и выставляется оценка по двухбалльной системе в соответствии с указанными выше требованиями.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Трухин, М.П. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств [Электронный ресурс]: лабораторный практикум / М.П. Трухин. — Электрон. дан. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 136 с. — Режим доступа: [URL: http://www.iprbookshop.ru/66563.html](http://www.iprbookshop.ru/66563.html)

2. Останков, А.В. Радиотехнические сигналы и линейные цепи для их обработки: Исследование на основе имитационного моделирования [Текст]: учеб. пособие / А.В. Останков. — Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2008. — 161 с.

3. Останков, А.В. Нелинейные радиотехнические цепи: Исследование на основе имитационного моделирования [Текст]: учеб. пособие / А.В. Останков. — Воронеж: ГОУВПО «ВГТУ», 2009. — 158 с.

4. Литвиненко, В.П. Моделирование и вычисления: учеб. пособие / В.П. Литвиненко. — Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2015. — 101 с.

5. Математическое моделирование радиотехнических устройств [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам № 1, 2 для студентов направления 11.04.01 «Радиотехника» (программа магистерской подготовки «Радиотехнические средства обработки и защиты информации в каналах связи») очной формы обучения / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", Каф. радиотехники; сост. : А. В. Останков. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2022. - Электрон. текстовые и граф. данные (755 Кб).

**8.2. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

1. Система компьютерной математики свободного доступа.
2. Система схемотехнического моделирования свободного доступа.

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Компьютерный класс кафедры радиотехники с объединенными в локальную сеть персональными компьютерами с установленными системами компьютерной математики и схемотехнического моделирования и анализа электрических схем свободного доступа.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Математическое моделирование радиотехнических устройств» читаются лекции и проводятся лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в литературе. С темой лекции следует ознакомиться заранее и до ее начала проработать по учебным пособиям теоретический материал. Прослушав лекцию, необходимо в этот же день просмотреть её материал по конспекту и проработать наиболее сложные и непонятные моменты.

Лабораторные работы выполняются методом моделирования на персональном компьютере в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ. К каждой работе следует готовиться: проработать теоретический материал, выполнить домашнее расчетное задание, оформить заготовку отчета. В процессе выполнения работы необходимо сформировать окончательный отчет, внося экспериментальные результаты и выводы в заготовку отчёта. Стандартным явлением должна стать защита работы сразу после её выполнения.

Большое значение по формированию компетенции имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о возможных видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится устным опросом при защите результатов лабораторных работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины.

	Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторные работы	Работа с конспектом лекций, просмотр рекомендуемой литературы. Изучение теоретических материалов и подготовка домашних заданий к лабораторным работам. Выполнение исследований. Формирование выводов и рекомендаций по моделированию и оптимизации радиотехнических устройств.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: – работу с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспекта лекций; – выполнение домашних заданий и расчетов; – работу над темами для самостоятельного изучения; – подготовку к промежуточной аттестации.
Подготовка к зачёту	При подготовке к зачёту необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и выполненные исследования на лабораторных занятиях.