



А. М. Пилипенко

# Методы математического и компьютерного моделирования элементов и устройств инфокоммуникационных систем

учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-технологическая академия

**А. М. ПИЛИПЕНКО**

**МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И КОМПЬЮТЕРНОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ  
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

*Учебное пособие*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2023

УДК 621.396.6+519.6 (075.8)

ББК 32.84я73

П324

*Печатается по решению кафедры теоретических основ радиотехники*

*Института радиотехнических систем и управления*

*Южного федерального университета (протокол № 10 от 31 мая 2023 г.)*

**Рецензенты:**

профессор кафедры «Радиоэлектронные и электротехнические системы и комплексы» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала)

Донского государственного технического университета, доктор

технических наук, профессор *В. И. Марчук*

доцент кафедры антенн и радиопередающих устройств Института

радиотехнических систем и управления Южного федерального университета,

кандидат технических наук *А. В. Демьяненко*

**Пилипенко, А. М.**

П324 Методы математического и компьютерного моделирования элементов и устройств инфокоммуникационных систем : учебное пособие / А. М. Пилипенко ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. – 130 с.

ISBN 978-5-9275-4533-9

В учебном пособии представлены материалы лекций и лабораторный практикум по дисциплине «Методы математического и компьютерного моделирования элементов и устройств инфокоммуникационных систем». Учебное пособие предназначено для студентов магистратуры, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, а также может использоваться научными работниками, студентами и аспирантами вузов инженерных, физико-математических и IT-направлений и специальностей.

Учебное пособие подготовлено в рамках проекта «Разработка нового учебного курса "Методы математического и компьютерного моделирования элементов и устройств инфокоммуникационных систем"» – победителя грантового конкурса для преподавателей магистратуры 2022/2023 Стипендиальной программы Владимира Потанина.

УДК 621.396.6+519.6 (075.8)

ББК 32.84я73

ISBN 978-5-9275-4533-9

© Южный федеральный университет, 2023

© Пилипенко А. М., 2023

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ПАКЕТЫ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	7
1.1. Базовые программы схемотехнического моделирования .....	7
1.2. Коммерческие пакеты схемотехнического моделирования.....	7
1.3. Свободно распространяемые программы схемотехнического моделирования.....	14
1.4. Проблемы применения пакетов схемотехнического моделирования.....	17
2. ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ЦЕПЕЙ.....	18
2.1. Основные этапы автоматизированного анализа цепи .....	18
2.2. Формализованное представление уравнений электрического равновесия цепи в SPICE-симуляторах.....	19
2.3. Топологические уравнения и топологические матрицы .....	19
2.4. Компонентные уравнения и компонентные матрицы .....	26
2.5. Основная система уравнений цепи в матричной форме .....	30
2.6. Уменьшение размерности системы уравнений цепи.....	32
2.7. Метод переменных состояния .....	38
3. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ.....	42
3.1. Общие сведения о численных методах решения ОДУ.....	42
3.2. Разностные схемы численных методов решения ОДУ, применяющиеся в SPICE-симуляторах.....	43
3.3. Неявные методы Рунге – Кутты .....	46
3.4. Точность и устойчивость численных методов решения ОДУ .....	50
3.5. Тестовые задачи для оценки эффективности методов численного анализа радиотехнических цепей .....	64
3.6. Гибридные методы численного анализа радиотехнических цепей ..	91
3.7. Автоматический выбор шага и порядка методов численного решения ОДУ в программах схемотехнического моделирования.....	99

*Содержание*

---

4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА.....	107
4.1. Контрольные вопросы и задания .....	107
4.2. Лабораторный практикум.....	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	124