

УДК 621.36.6:004.9 (075.8)

ББК 32.844-02я73

Т80

Рецензенты: кафедра технологий и средств связи Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н.Ельцина; профессор Российского государственного профессионально-педагогического университета, доктор физ.-мат. наук *А. Д. Ивлиев*

Трухин М. П.

Т80

Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 386 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0449-1.

Рассмотрены методология и технология компьютерного проектирования и моделирования радиотехнических средств. Основное внимание уделено алгоритмическому и математическому обеспечению разработки электронных схем, а также оптимизации вычислительных процедур. Примеры работы алгоритмов иллюстрируются с помощью пакета учебных программ АНАЛИЗ.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» квалификации (степени) «бакалавр» и «магистр», будет полезно для студентов других радиотехнических и инфокоммуникационных специальностей, изучающих вопросы компьютерного проектирования РЭС.

ББК 32.844-02я73

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Трухин Михаил Павлович

**Основы компьютерного проектирования
и моделирования радиоэлектронных средств**

Учебное пособие

Все права защищены.

Любая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения правообладателя

© ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

www.techbook.ru

© М. П. Трухин

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
Часть 1. ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ В ПРОЕКТИРОВАНИИ РЭС	
Глава 1. Концепция проектирования электронных средств	6
1.1. Классификация объектов и видов проектирования электронного изделия	6
1.2. Подэтапы схемотехнического проектирования	11
1.3. Иерархия конструкторского проектирования РЭС ...	13
1.4. Методы решения задач современного синтеза РЭС ..	17
1.5. Автоматизация жизненного цикла электронных изделий	19
Вопросы и упражнения к главе 1	22
Глава 2. Автоматизация схемотехнического проектирования	23
2.1. Задачи автоматизированного схемотехнического проектирования	24
2.2. Требования к математическим моделям и методам решения задач схемотехнического проектирования	30
2.3. Становление и развитие программ проектирования электронных схем	32
2.4. Современные проблемы автоматизации схемотехнического проектирования цифровых схем	38
Контрольные вопросы к главе 2	43
Глава 3. Программные средства разработки электронных схем	44
3.1. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap	45
3.1.1. Назначение и область применения программы Micro-Cap	45
3.1.2. Состав и связи программных модулей Micro-Cap	46
3.1.3. Интерфейс программы Micro-Cap-10	48
3.1.4. Основные функции схемотехнического анализа и синтеза	50
3.1.5. Дополнительные возможности обработки результатов анализа	53

3.2. Система сквозного проектирования OrCAD	58
3.2.1. Назначение и область применения программы OrCAD	59
3.2.2. Состав и связи программных модулей OrCAD	61
3.2.3. Интерфейс OrCAD 16 при схмотехническом моделировании	62
3.2.4. Дополнительные функции схмотехнического анализа и синтеза	66
3.3. Программа моделирования СВЧ-устройств MicroWave Office	67
3.3.1. Назначение и область применения программы MicroWave Office	68
3.3.2. Состав и связи программных модулей MicroWave Office 2009	71
3.3.3. Интерфейс MicroWave Office	73
Контрольные вопросы к главе 3	78
Часть 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И ТОПОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ	
Глава 4. Физические модели компонентов электронных схем	79
4.1. Элементы схем замещения	79
4.2. Модели пассивных компонентов	87
4.3. Модели полупроводникового и туннельного диода ...	94
4.4. Модели транзисторов и операционных усилителей ...	98
4.5. Определение параметров моделей диодов и транзисторов	106
4.5.1. Методы прямого измерения	106
4.5.2. Оптимизация параметров методом наименьших квадратов	108
4.5.3. Программа МОДЕЛЬ	110
Вопросы и упражнения к главе 4	114
Глава 5. PSPICE-модели компонентов электронных средств	116
5.1. Элементы языка описания схем PSPICE	116
5.2. Источники напряжения и тока	121
5.2.1. Независимые идеальные источники	121
5.2.2. Зависимые источники	122
5.3. Пассивные компоненты	125
5.4. Диоды	129
5.5. Транзисторы	130
5.5.1. Биполярный транзистор	130
5.5.2. Полевой транзистор	131
5.5.3. Полевой транзистор с управляющим <i>p-n</i> -переходом .	135
5.6. Макромодели	137

5.6.1. СВЧ-транзистор	138
5.6.2. Операционный усилитель	140
5.7. Программные инструменты разработки моделей	143
Вопросы и задания к главе 5	147

Глава 6. Математические модели топологии электронных схем

6.1. Граф и его связь с топологией эквивалентной схемы .	148
6.1.1. Определения элементов графа	149
6.1.2. Построение графа схемы	152
6.2. Режимы анализа схемы и её топологические образы .	153
6.2.1. Одноместные операции в графе	153
6.2.2. Преобразования графа эквивалентной схемы	154
6.3. Матрично-топологическое описание эквивалентной схемы	156
6.3.1. Структурная матрица	156
6.3.2. Матрица главных сечений	158
6.3.3. Матрица главных контуров	159
6.4. Связи между топологическими матрицами А, П и Г..	161
6.5. Программы ГРАФ и СХЕМА	164
Вопросы и упражнения к главе 6	171

Часть 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Глава 7. Базовые методы формирования уравнений схем

7.1. Математическая модель линейной схемы в однородном базисе	173
7.1.1. Метод контурных токов	176
7.1.2. Метод узловых потенциалов	177
7.1.3. Формирование уравнений схемы с управляемыми ис- точниками	180
7.2. Математические модели схем в смешанном базисе ...	184
7.2.1. Табличный метод формирования уравнений линейной схемы	184
7.2.2. Модифицированный метод узловых потенциалов	190
7.2.3. Машинная модификация узлового метода	193
7.2.4. Ручной узловой анализ активных цепей	195
7.2.5. Сравнение методов формирования уравнений	200
7.3. ЦЕПЬ — программа анализа линейных электронных схем в однородном координатном базисе	200
7.3.1. Описание программы ЦЕПЬ	201
7.3.2. Использование программы ЦЕПЬ для анализа линей- ных схем	204
Вопросы и упражнения к главе 7	207

Глава 8. Метод переменных состояния в анализе электронных схем	208
8.1. Уравнения состояния эквивалентных схем	209
8.2. Математическая модель схемы в методе переменных состояния	213
8.3. Формирование МПС-модели эквивалентной схемы ...	215
8.4. Математическая модель схемы с вырождением	220
8.5. СИСТЕМА — программа автоматического формирования ММС в методе переменных состояния	224
Вопросы и упражнения к главе 8	231
Глава 9. Применение технологий разреженных матриц в расчете электронных схем	232
9.1. Проблемы численного решения большеразмерных систем	232
9.2. Методы решения линейных алгебраических уравнений	235
9.2.1. Прямые методы	236
9.2.2. Итерационные методы	242
9.3. Упорядочение систем линейных алгебраических уравнений	247
9.4. Способы хранения большеразмерных матриц	255
9.4.1. Методы с фиксированным объемом памяти	256
9.4.2. Методы на основе связанных списков	258
Вопросы и упражнения к главе 9	260
Часть 4. НЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ В РЕЖИМЕ БОЛЬШОГО СИГНАЛА	
Глава 10. Машинный анализ нелинейных электронных схем в статическом режиме	261
10.1. Математическая модель схемы в статическом режиме	261
10.2. Универсальные методы решения ММС в статическом режиме	265
10.2.1. Метод простой итерации	267
10.2.2. Метод Ньютона-Рафсона	274
10.3. Специальные методы решения ММС в статическом режиме	279
10.3.1. Метод вариации по напряжению питания	279
10.3.2. Кусочно-непрерывный метод Ньютона-Рафсона ...	281
10.4. СТАТИКА — программа расчёта нелинейных электронных схем в статическом режиме	284
Задачи и упражнения к главе 10	290
Глава 11. Традиционный анализ нелинейных электронных схем в динамическом режиме	291

11.1. Математическая модель схемы в динамическом режиме	291
11.2. Методы численного интегрирования ММС	295
11.2.1. Методы Эйлера	297
11.2.2. Метод трапечий	305
11.2.3. Методы Рунге–Кутты	308
11.2.4. Точность и устойчивость методов интегрирования ..	313
11.3. ДИНАМИКА — программа динамического анализа не- линейных электронных схем	318
11.3.1. Описание программы ДИНАМИКА	318
11.3.2. Использование программы ДИНАМИКА	320
Вопросы и упражнения к главе 11	325
Глава 12. Современные численные методы анализа ди- намических моделей	326
12.1. Линейные многошаговые формулы	326
12.1.1. Методы прогноза	328
12.1.2. Методы коррекции	331
12.1.3. Формулы дифференцирования назад	334
12.1.4. Методы Адамса	337
12.2. Свойства ЛМШ-формул	339
12.2.1. Условия корректности коэффициентов ЛМШ	339
12.2.2. Устойчивость ЛМШ-формул	340
12.2.3. Выбор порядка аппроксимирующего полинома	344
12.2.4. Расчёт локальной ошибки интегрирования	345
12.3. Методы Гира	346
Контрольные вопросы к главе 12	353
Глава 13. Дискретные модели электронной схемы	355
13.1. Простые дискретные модели реактивностей	355
13.1.1. Дискретные модели ёмкости	356
13.1.2. Дискретные модели индуктивности	361
13.1.3. Дискретные модели взаимных индуктивностей	362
13.2. Обобщенные дискретные модели реактивностей	364
13.2.1. Модель ёмкости	365
13.2.2. Модели индуктивностей	368
13.3. Формирование и решение обобщенной дискретной мо- дели	369
13.4. Программа ДИСКРЕТ — расчет линейных электрон- ных схем в динамическом режиме	375
Вопросы и упражнения к главе 13	377
Литература	379