

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
<i>Глава первая</i>	
САПР, СМ, модели	13
Введение	13
1.1. Суть имитационного моделирования	15
1.2. Модели	16
1.2.1. Свойства моделей	17
1.3. Иерархия СБИС и уровни проектирования	18
1.3.1. Уровни проектирования	19
1.3.2. Виды моделирования и соответствующие им примитивы	24
1.3.3. Разновидности иерархического проектирования	25
1.3.4. Многоуровневое моделирование	27
1.3.5. Преимущества иерархического подхода	29
1.4. Системный подход к моделированию	30
1.4.1. Детерминистский подход	31
1.4.2. Системный подход	31
1.4.3. Основные понятия общей теории систем	33
1.4.4. Параметры системы	34
1.4.5. Задачи анализа и синтеза объекта	36
1.4.6. Оптимизация качества проектируемого объекта	37
1.5. Классификация моделей	38
1.5.1. Общая классификация моделей	38
1.5.2. Модели схмотехнического уровня	42
1.6. Экономичность и универсальность имитационных моделей	50
1.7. Задачи схмотехнического моделирования СБИС	50
<i>Глава вторая</i>	
Введение в СМ SPICE	54
Введение	54
2.1. Простой пример	55
2.2. Основные этапы развития СМ SPICE	62
2.3. Анализ SPICE-подобных систем моделирования	63
2.4. Структура СМ SPICE	65

2.4.1. Принцип работы	65
2.4.2. Решение систем дифференциальных уравнений	66
2.4.3. Формирование схемных уравнений	68
2.4.4. Моделирование схемы в частотной области (малосигнальный анализ)	69
2.5. Особенности SPICE-подобных СМ третьего поколения	69
2.5.1. Аппаратные ускорители	73
2.6. AIM-SPICE: ликбез	74
2.6.1. Подготовительный этап	75
2.6.2. Выполнение моделирования схемы	77

Глава третья

Механизмы переноса носителей заряда в полупроводниках	85
Введение	85
3.1. Фундаментальные уравнения для моделирования полупроводниковых приборов	85
3.1.1. Пример адаптации фундаментальных уравнений под конкретную структуру	90
3.2. Характеристики некоторых важных полупроводников	92

Глава четвертая

Компоненты с двумя выводами	97
Введение	97
4.1. $p-n$ -переходы	99
4.1.1. $p-n$ -переход в равновесном состоянии	99
4.1.2. Вольт-амперная характеристика идеального диода на $p-n$ -переходе	103
4.1.3. Учет эффектов, имеющих место в реальном диоде	108
4.1.4. Емкость и малосигнальная эквивалентная схема	115
4.1.5. Реализация SPICE-модели диода с $p-n$ -переходом	118
4.2. Гетеропереходы	126
4.2.1. Основные концепции	126
4.2.2. Вольт-амперные характеристики	129
4.2.3. Емкость гетероперехода	131
4.2.4. SPICE-модель диода с гетеропереходом	132
4.3. Переходы «металл-полупроводник»	133
4.3.1. Барьеры Шоттки	133
4.3.2. Омические контакты	139
4.4. Конденсатор структуры «металл-диэлектрик-полупроводник»	142
4.4.1. Заряд на поверхности раздела «диэлектрик-полупроводник»	143
4.4.2. Пороговое напряжение	148
4.4.3. Емкость МДП-структуры	149
4.4.4. Обобщенная зарядоуправляемая модель МДП-структуры ...	153

Глава пятая

Биполярные транзисторы	158
Введение	158
5.1. Основы работы биполярного транзистора	159
5.1.1. Режимы включения	160
5.1.2. Вольт-амперные характеристики биполярного транзистора ..	164
5.1.3. Работа транзистора в качестве усилителя	167
5.2. Моделирование биполярного транзистора	168
5.2.1. Модель Эберса-Молла	169

5.2.2.	Модель Гуммеля-Пуна	175
5.2.3.	Моделирование работы биполярного транзистора в режиме малого сигнала	181
5.3.	Гетеропереходный биполярный транзистор	187
5.3.1.	Принцип работы	187
5.3.2.	Термоэмиссионно-диффузионная модель ГБТ	191
5.3.3.	Учет неидеальных эффектов в модели ГБТ	193
5.3.4.	Реализация модели ГБТ в СМ AIM-SPICE	196
<i>Глава шестая</i>		
Полевые транзисторы		201
Введение		201
6.1.	Основы работы полевых транзисторов	205
6.1.1.	МОП-транзистор	205
6.1.2.	Полевой транзистор на GaAs с барьером Шоттки	208
6.1.3.	Гетероструктурный полевой транзистор	210
6.1.4.	Тонкопленочный полевой транзистор на аморфном кремнии	212
6.1.5.	Тонкопленочный полевой транзистор на поли-Si	214
6.2.	Базовые модели МОП-транзисторов	216
6.2.1.	Аппроксимация плавного канала	216
6.2.2.	Модель Мейера	217
6.2.3.	Простая зарядоуправляемая модель	221
6.2.4.	Модель, учитывающая насыщение скорости дрейфа	226
6.2.5.	Сравнение основных моделей МОП-транзисторов	230
6.2.6.	Реализация базовых моделей МОП-транзистора в программе SPICE	231
6.3.	Основные модели полевого транзистора на GaAs с барьером Шоттки ..	237
6.3.1.	Модель Шокли	237
6.3.2.	Модели, учитывающие насыщение дрейфовой скорости	242
6.3.3.	Реализация основных моделей ПТШ в SPICE	245
6.4.	Основные модели полевых транзисторов на гетероструктуре	248
<i>Глава седьмая</i>		
Универсальные модели полевых транзисторов		256
Введение		256
7.1.	Проблемы адекватного моделирования полевых транзисторов	257
7.2.	Подходы, используемые для синтеза современных моделей ПТ	259
7.3.	Принципы построения универсальной модели полевого транзистора ..	261
7.3.1.	Унифицированная зарядоуправляемая модель полевого транзистора	261
7.3.2.	Неидеальные эффекты	263
7.3.3.	Основы универсальной модели полевого транзистора	272
7.4.	Универсальная модель МОП-транзистора	278
7.4.1.	Статическая модель МОП-транзистора	278
7.4.2.	Динамическая модель МОП-транзистора	281
7.4.3.	Реализация универсальной модели МОП-транзистора в AIM-SPICE	283
7.5.	Универсальная модель ПТШ на GaAs	287
7.5.1.	Статическая модель ПТШ на GaAs	288
7.5.2.	Динамическая модель ПТШ на GaAs	292
7.5.3.	Реализация модели ПТШ на GaAs в AIM-SPICE	296
7.6.	Универсальная модель гетероструктурного полевого транзистора	301

7.6.1. Статическая модель ГПТ	302
7.6.2. Динамическая модель ГПТ	304
7.6.3. Реализация модели ГПТ в AIM-SPICE	306
7.7. Универсальная модель ТПТ на аморфном кремнии	310
7.7.1. Статическая модель α -Si:H ТПТ	312
7.7.2. Динамическая модель ТПТ на α -Si:H	315
7.8. Универсальная модель поли-Si ТПТ	317
7.8.1. Статическая модель поли-Si ТПТ	317
7.8.2. Динамическая модель поли-Si ТПТ	319
7.9. BSIM3-модель МОП-транзистора	320
7.9.1. Пороговое напряжение	321
7.9.2. Эффективная подвижность носителей	323
7.9.3. Обобщенное выражение для тока стока	323
7.9.4. Внутренняя емкостная модель	324
7.9.5. Учет неквазистатических эффектов	325

Глава восьмая

Руководство пользователя AIM-SPICE	333
Введение	333
8.1. AIM-SPICE	334
8.1.1. Первые шаги	335
8.1.2. Синтаксис программы AIM-SPICE	341
8.1.3. Директивы анализа схем	346
8.1.4. Установка начальных значений	351
8.1.5. Настройка параметров и функций	352
8.1.6. Интерактивное управление процессом моделирования	353
8.1.7. Выбор переменных и назначение диапазона их изменения	356
8.1.8. Выбор переменных для сохранения	358
8.1.9. Форматирование графических осей и меток	359
8.1.10. Запуск на моделирование	360
8.1.11. Окончание моделирования	361
8.1.12. Переустановка пределов изменения переменных графика в процессе моделирования	361
8.1.13. Сохранение результатов моделирования	361
8.1.14. Выход из режима моделирования	362
8.1.15. Сообщения об ошибках	362
8.2. Приложение AIM-Postprocessor	363
8.2.1. AIM-Postprocessor	363
8.2.2. Обзор команд графического постпроцессора	379

Глава девятая

Справочное пособие по AIM-SPICE	388
Введение	388
9.1. Описание встроенных моделей компонентов схем	390
9.1.1. Полевые транзисторы на гетероструктуре (HFETs)	391
9.1.2. Нелинейные зависимые источники сигналов	399
9.1.3. Конденсаторы	400
9.1.4. Диоды	401
9.1.5. Полевые транзисторы с управляющим p - n -переходом (JFETs)	404
9.1.6. Взаимосвязанные катушки индуктивности (трансформаторы)	405
9.1.7. Индуктивность, обмотка трансформатора	406

9.1.8.	Полевые транзисторы со структурой «металл-окисел-полупроводник» (МОП, MOSFETs)	406
9.1.9.	Модели тонкопленочных полевых транзисторов	419
9.1.10.	Гетеробиполярные транзисторы (HBTs)	422
9.1.11.	Биполярные транзисторы (BJTs)	425
9.1.12.	Резисторы	428
9.1.13.	Полевые транзисторы со структурой «металл-полупроводник» (ПТШ, MESFETs)	430
9.2.	Независимые источники	436
9.2.1.	Независимые источники тока	436
9.2.2.	Независимые источники напряжения	440
9.3.	Зависимые источники тока и напряжения	441
9.3.1.	Источники напряжения, управляемые напряжением	441
9.3.2.	Источники тока, управляемые током	443
9.3.3.	Источники тока, управляемые напряжением	445
9.3.4.	Источники напряжения, управляемые током	446
9.4.	Дополнительные директивы	448
Приложение. Принципы масштабирования МОП-транзисторов		450
Литература		454