

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<i>Глава первая</i>	
ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	
1.1. Задачи автоматизации функционального проектирования радио- электронных устройств . . . . .	5
1.2. Компоненты радиоэлектронного устройства . . . . .	9
1.3. Уравнения математической модели радиоэлектронного устройства	12
1.4. Постановка задачи дискретизации . . . . .	17
1.5. О методах решения нелинейных уравнений . . . . .	20
1.6. О методах решения задачи оптимизации . . . . .	25
1.7. Организация вычислительного процесса при решении уравнений электрической схемы . . . . .	31
<i>Глава вторая</i>	
МОДЕЛИ КОМПОНЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ	
2.1. Общие вопросы построения математических моделей компонентов РЭУ . . . . .	35
2.2. Макромодели для линейного режима . . . . .	37
2.3. Модели полупроводниковых приборов . . . . .	42
2.3.1. Модели биполярного транзистора . . . . .	42
2.3.2. Модель интегрального МДП-транзистора для режима большого сигнала . . . . .	44
2.4. Макромодели аналоговых ИС . . . . .	45
2.4.1. Операционный усилитель . . . . .	45
2.4.2. Макромодели умножителя . . . . .	48
2.4.3. Макромодели логарифмических и антилогарифмических устройств	52
2.4.4. Макромодель делителя . . . . .	52
2.5. Макромодели цифровых ИС . . . . .	53
2.5.1. Макромодель двухходового вентиля НЕ—И . . . . .	53
2.5.2. Макромодель JKRS-триггера . . . . .	55
2.6. Моделирование статических магнитных полей. Определение па- раметров моделей трансформаторов . . . . .	57
2.7. Математическая модель нелинейного трансформатора . . . . .	61
2.8. Моделирование теплового режима РЭУ . . . . .	64
2.8.1. Поток тепла через стенку . . . . .	65
2.8.2. Тонкая пластинка . . . . .	66
2.8.3. Охлаждаемая плита . . . . .	66
2.8.4. Переход тепла через границу раздела . . . . .	67
<i>Глава третья</i>	
АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ	
3.1. Исходные предпосылки . . . . .	68
3.2. Алгоритм Гаусса . . . . .	68
3.3. Оценка ошибок решения линейных уравнений . . . . .	71
3.4. Определение ошибок округления алгоритма Гаусса и выбор главного элемента . . . . .	73
3.5. Матрицы специального вида . . . . .	77
3.6. Решение линейных алгебраических уравнений электрической цепи по методу динамического программирования . . . . .	82

3.7. Построение алгоритма решения линейной системы на основе обобщения метода динамического программирования . . . . .	88
3.8. Алгоритм обобщенного динамического программирования . . . . .	91
3.9. Алгоритмы выбора порядка исключения . . . . .	97
3.10. Алгоритм решения сеточных линейных уравнений, основанный на методе динамического программирования . . . . .	103
3.11. Решение нелинейных уравнений РЭУ . . . . .	109
3.12. Реализация на ЭВМ алгоритмов LU-разложения . . . . .	112
3.13. Реализация на ЭВМ алгоритмов динамического программирования . . . . .	115
3.14. Сравнительная оценка на ЭВМ различных алгоритмов выбора порядка исключения переменных и уравнений . . . . .	119

#### Глава четвертая

##### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НА ЭВМ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ, ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОЛЕЙ В РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

4.1. Предварительные замечания о методах интегрирования . . . . .	121
4.2. Дискретизация дифференциальных уравнений в методе ФДН . . . . .	123
4.3. Устойчивость процессов численного интегрирования . . . . .	125
4.4. Применение экстраполяции интегрируемых переменных . . . . .	130
4.5. Дискретные модели компонентов схем при методе ФДН . . . . .	131
4.6. Вывод выражения для текущей ошибки интегрирования . . . . .	140
4.7. Выбор шага и порядка метода интегрирования . . . . .	142
4.8. Задачи анализа линейных РЭУ . . . . .	146
4.9. Сравнительная оценка методов анализа линейных схем во временной области . . . . .	147
4.10. Анализ линейных схем в частотной области . . . . .	150
4.11. Алгоритм вычисления переходных процессов по частотным характеристикам схемы . . . . .	154
4.12. Алгоритмы вычисления переходных процессов резонансных схем с высокой добротностью . . . . .	157
4.13. Адаптивный частотный анализ процессов . . . . .	164
4.14. Алгоритмы расчета периодических и переходных процессов в нелинейных слабодемпфированных системах . . . . .	170
4.15. Построение системы алгебраических уравнений для численного расчета статических магнитных полей . . . . .	184

#### Глава пятая

##### ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

5.1. Общая характеристика задач оптимального проектирования РЭУ . . . . .	188
5.2. Методы построения целевых функций при оптимизации РЭУ . . . . .	190
5.2.1. Электрические фильтры . . . . .	197
5.2.2. Группа устройства резонансного типа . . . . .	198
5.2.3. Импульсные устройства . . . . .	199
5.2.4. Сильнодемпфированные системы . . . . .	199
5.3. Поинтервальная оценка качества характеристик РЭУ . . . . .	199
5.4. Методы решения задач оптимизации, основанные на концепции сопряженных уравнений . . . . .	206
5.5. Организация вычислительного процесса и примеры решения задач оптимизации РЭУ . . . . .	214

#### Глава шестая

##### КОМПЛЕКС ПРОГРАММ АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

6.1. Общие требования к комплексу . . . . .	218
6.2. Состав, основные функции и взаимодействие программ комплекса анализа и оптимизации . . . . .	219
6.3. Последовательность этапов машинного анализа и оптимизации . . . . .	224
6.4. Входной язык комплекса анализа и оптимизации РЭУ . . . . .	225

6.4.1. Элементарные конструкции языка . . . . .	227
6.4.2. Операторы присваивания, цикла, управления и перехода . . . . .	229
6.4.3. Оператор ввода данных о схеме и компонентах РЭУ и оператор выдачи результатов моделирования . . . . .	231
6.4.4. Описания . . . . .	234
6.4.5. Оператор задания функций оптимизации . . . . .	237
6.4.6. Процедуры . . . . .	237
6.4.7. Операторы базирования, записи, считывания и редактирования . . . . .	239
6.4.8. Служебные операторы . . . . .	241
6.5. Использование входного языка для моделирования РЭУ . . . . .	241
6.6. Пакет программ моделирования плоскостепенных магнитных полей при сложной конфигурации границ раздела различных сред . . . . .	246
6.7. Примеры практического применения комплекса программ . . . . .	248
6.7.1. Операционный усилитель . . . . .	248
6.7.2. Усилитель видеосигналов . . . . .	251
6.7.3. Генератор синусоидальных сигналов . . . . .	255
6.7.4. Четырехквadrанный умножитель . . . . .	256
6.7.5. Стабилизатор напряжения . . . . .	259
6.7.6. Полосовой фильтр . . . . .	260
6.7.7. Магнитная отклоняющая система . . . . .	261
6.8. Моделирование РЭУ в диалоговом режиме . . . . .	263
Список литературы . . . . .	266

Залман Михайлович Бененсон,  
 Михаил Ростиславович Елистратов,  
 Лев Константинович Ильин,  
 Сергей Владимирович Кравченко,  
 Дмитрий Михайлович Сухов,  
 Михаил Абрамович Удлер

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ НА ЭВМ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Под редакцией **З. М. Бененсона**

Редактор Э. М. Горелик  
 Художественный редактор Н. А. Игнатьев  
 Технический редактор Г. З. Кузнецова  
 Корректор И. Г. Зыкова

ИБ № 146 («Сов. радио»)

Сдано в набор 17.03.81. Подписано в печать 18.06.81. Т-21542  
 Формат 60×90 1/16 Бумага книжно-журнальная Гарнитура литературная  
 Печать высокая Усл. п. л. 17,0 Усл. кр.-отт. 17,0 Уч.-изд. л. 19,2  
 Тираж 25 000 экз. Изд. № 19534 Зак. 124 Цена 1 р. 20 к.  
 Издательство «Радио и связь», Москва, Главпочтамт, а/я 693

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома  
 при Государственном комитете СССР  
 по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
 129041, Москва, Б. Переяславская, 46