

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ЦЕНТР ПРОБЛЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

В. Н. ГРИДИН
Е. И. НЕФЁДОВ
Т. Ю. ЧЕРНИКОВА

Электродинамика структур крайне высоких частот

*Под редакцией
академика О. М. БЕЛОЦЕРКОВСКОГО*



МОСКВА
«НАУКА»
2002

УДК 537
ББК 22.313
Г83

Рецензенты:
академик *В.С. Бурцев*
член-корреспондент РАН *В.П. Иванников*

Гридин В.Н.

Электродинамика структур крайне высоких частот / В.Н. Гридин, Е.И. Нефёдов, Т.Ю. Черникова; [Отв. ред. О.М. Белоцерковский] – М.: Наука, 2002. – 359 с.; ил.

ISBN 5-02-006457-2

В книге изложены идеи, методы расчета, принципы создания и перспективы применения объемных интегральных схем (ОИС), СВЧ и КВЧ. Показана роль ОИС в общей схеме построения систем сверх быстрой обработки информации (ССОИ) непосредственно на СВЧ и КВЧ. Дан обзор основных классов линий передачи (ЛП), используемых в ОИС и приведены основные характеристики по замедлению, потерям, конструктивным особенностям, областям применения и т.д. Обсуждены физические модели и методы математического моделирования ОИС на основе новых типов ЛП. Показана роль ключевых структур и задач в построении отвечающей деятельности теории ОИС.

Для специалистов в области электродинамики.

ISBN 5-02-006457-2

© Российская академия наук, 2002
© Издательство "Наука",
(художественное оформление), 2002

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Использованные сокращения	4
1. Введение	7
2. Фундаментальные принципы ОИС СВЧ и КВЧ	18
2.1. Феномен ОИС	18
2.2. Определение ОИС	19
2.3. Общие принципы ОИС	19
2.4. Линии передачи для ОИС СВЧ и КВЧ. Общие сведения ..	21
3. Физические модели структур ОИС СВЧ и КВЧ и основы их проектирования	31
3.1. Общая концепция построения ОИС КВЧ	31
3.2. Общий подход к анализу ОИС СВЧ и КВЧ. Принцип декомпозиции	36
3.3. Физическое и математическое моделирование ОИС СВЧ и КВЧ	36
3.4. Ключевые структуры и задачи. Эквивалентные граничные условия	38
3.4.1. Общие сведения	38
3.4.2. Нерезонансные структуры	38
3.4.3. Резонансные структуры	40
3.4.4. Эквивалентные граничные условия	41
3.5. Метод параболического уравнения (МПУ)	43
3.6. Методы анализа ОИС СВЧ и КВЧ	45
3.7. ОИС СВЧ с использованием поверхностных акустических волн (ПАВ) и магнитостатических волн (МСВ).....	47
4. Физический анализ и математический аппарат	48
4.1. Математическое моделирование и основы электродинамики ОИС СВЧ и КВЧ	48
4.1.1. Общие замечания	48
4.1.2. Принципы моделирования. Интегральные уравнения. Метод Бубнова—Галёркина	49
4.1.3. Методы подобия	52

4.1.4. Метод Олинера. Обобщенный метод Олинера	54
4.1.5. Регулярные ЛП. Сводные результаты по замедлению	57
4.1.6. Вместо заключения	59
4.2. Топологический подход в проектировании ОИС СВЧ	60
4.2.1. Определение	60
4.2.2. Уравнения Максвелла в топологической форме	61
4.2.3. Простой пример	62
4.2.4. Топологический подход к ОИС	62
4.2.5. Краткое резюме	64
4.3. Интегральные уравнения электродинамики и методы анализа элементов ОИС	64
4.3.1. Интегральные уравнения	65
4.3.2. Адмитансные и импедансные интегральные уравне- ния	69
4.3.3. Некоторые избранные общие сведения об инте- гральных уравнениях, представляющие интерес при анализе, математическом моделировании и проектировании электро- динамических структур	77
4.3.4. Избранные приближенные методы решения инте- гральных уравнений Фредгольма второго рода	82
4.3.5. Особый класс задач электродинамики: некорректные задачи. Интегральные уравнения Фредгольма первого рода	86
4.3.6. Сингулярные интегральные уравнения	95
5. Линии передачи для ОИС СВЧ и КВЧ	105
5.1. Полосковые линии передачи	105
5.1.1. Симметричная полосковая линия передачи	105
5.1.2. Несимметричная полосковая линия	110
5.1.3. Несимметричная полосковая линия. Высшие типы волн. Асимптотическое решение	123
5.1.4. Несимметричная полосковая линия. Методы орто- гонализующей подстановки и почти полного обращения оператора	133
5.1.5. Вычисление тензоров поверхностных адмитансов для ЛП на многослойной изотропной подложке	140
5.1.6. Вычисление тензоров поверхностных адмитансов анизотропных и гиротропных слоев	144
5.1.7. Вычисление элементов матриц импеданса для по- лосковых структур	148
5.1.8. Особенности определения постоянных распростра- нения собственных волн волноведущих структур	149
5.2. Щелевые линии передачи	151
5.2.1. Симметричная щелевая линия	151

5.2.2. Несимметричная щелевая линия (НЩЛ)	161
5.2.3. Копланарные линии передачи	175
5.3. Волноводно-щелевые линии передачи (ВЩЛ)	182
5.3.1. Геометрия. Интегральные уравнения	182
5.3.2. Интегральное уравнение Фредгольма. Четные и нечетные волны	188
5.4. Обобщенная двойная щелевая линия передачи (ОДЩЛ) ..	193
5.4.1. Метод поперечного резонанса. Метод Бубнова—Галёркина	193
5.4.2. Несимметричная ДЩЛ со щелями одинаковой ширины	216
5.4.3. Численно-аналитический подход. Метод почти полного обращения оператора	226
5.5. Реберно-диэлектрические линии передачи	234
5.5.1. Общие замечания	234
5.5.2. Постановка задачи	235
5.5.3. Некоторые численные результаты	237
5.5.4. Обращенная (инвертированная) РДЛ	240
5.5.5. Реберная несимметричная щелевая линия	243
6. Базовые элементы, функциональные узлы, устройства обработки и информационные датчики на ОИС СВЧ и КВЧ	254
6.1. Ввод в проблему. Декомпозиционный подход	254
6.2. Неоднородности в ЛП ОИС	255
6.3. Переходы между различными типами ЛП. Межэтажные переходы	257
6.3.1. Введение. Классификация переходов	257
6.3.2. Сверхширокополосные переходы — переходы с непосредственным гальваническим контактом	258
6.3.3. Широкополосные шлейфные переходы	262
6.3.4. Узкополосные резонансные переходы щелевого типа	266
6.3.5. Тройниковые соединения в ОИС	273
6.3.6. Базовые элементы согласования ОИС	276
6.4. Мостовые схемы	280
6.4.1. Общая схема	280
6.4.2. Гибридный кольцевой мост с обращением фазы	282
6.4.3. Полуволновое гибридное кольцо	287
6.4.4. Гибридное кольцо периметра $3\lambda/2$	291
6.4.5. "Магические" T-соединения	293
6.5. Устройства обработки СВЧ- и КВЧ-сигнала	294
6.6. Информационные датчики	297
6.7. Излучающие устройства и их элементы	299
6.7.1. Общие сведения	299

6.7.2. Элементарные двумерные микрополосковые излучатели	302
6.7.3. Расширение импедансной полосы рабочих частот. Увеличения толщины подложки. Конструкции возбуждающих зондов	307
6.7.4. Расширение импедансной полосы частот МПА за счет изменения топологии излучателя	314
6.7.5. Микрополосковые антенны с многослойными излучателями. Круговая поляризация излучения	316
6.7.6. Линейные микрополосковые антенны. Широкополосные и двухполосные полосковые вибраторные антенны	321
6.7.7. Щелевые широкополосные сканирующие в широком секторе антенные решетки на расширяющихся щелевых линиях	327
6.7.8. Микрополосковые антенны с увеличенной импедансной полосой частот за счет согласующих цепей фильтрового типа	330
6.7.9. Микрополосковые антенны с нелинейными и активными элементами	335
6.7.10. Некоторые выводы	335
7. Физико-технологические аспекты ОИС	337
7.1. Основы. "Стандартная" технология	337
7.2. Гибридная технология	337
7.3. Особенности конструкции	338
7.4. Двух с половиной-мерная технология	340
Заключение	341
Литература	344