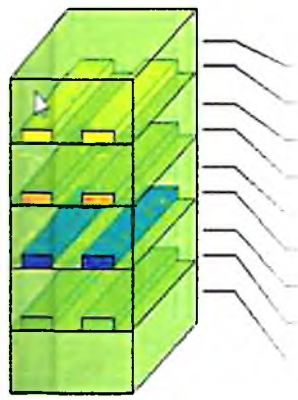
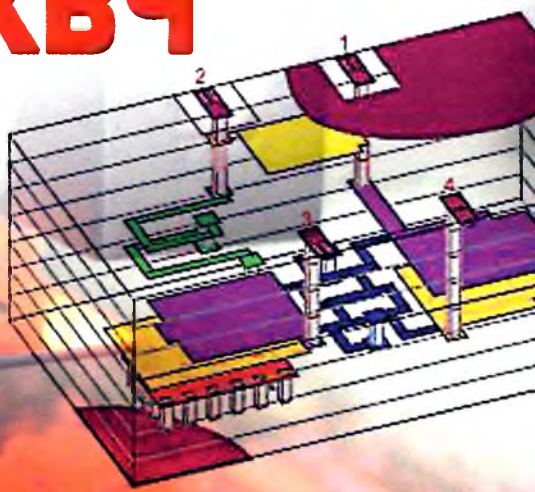
Серия
Системы проектирования

«СОЛОН»

Курушин А.А., Нефёдов Е.И., Смольский С.М.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕМНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СТРУКТУР СВЧ и КВЧ





- Основы моделирования объемных интегральных структур СВЧ и КВЧ
- Методы расчета характеристик линий в многослойных структурах ОИС
- Реализация метода импедансного аналога электромагнитного поля
- Расчеты шумовых и нелинейных характеристик ОИС

Содержание

Содержание **3**

Введение **8**

Условные обозначения **13**

Глава 1. Интегральные структуры СВЧ в радиосистемах **15**

1.1 Развитие технологии MMIC 16
1.2 Характеристики ОИС 21
1.3 Применение гибридных и монолитных ИС 23
1.4 Технологии создания ОИС 27
1.6 Много-чиповые модули ОИС 34
1.7 Интегральные схемы и СВЧ транзисторы в России 37
1.7.1 НИИ 35 (НИИПЭ, НИИ «Пульсар» Москва) 38
1.7.2 Завод «Светлана» 39
1.7.3 ОКБ «Планета» (В.Новгород). 40
1.7.4 НПП«Салют» Н.Новгород 41
1.7.5 МПО «Исток» Фрязино 41
1.7.6 НИИПП г. Томск 44
1.7.7 АО «Российская электроника» 44
1.7.8 ОАО «Интеграл» («Транзистор») в г. Минске. 45
1.8 Развитие САПР предназначенных для проектирования ИС 45
1.9. Моделирование и синтез СВЧ структур с использованием САПР СВЧ 48
1.9.1 Проблемы анализа и моделирования интегральных схем СВЧ 49
1.9.2. Анализ СВЧ структур с активными элементами 55
1.9.3. Многопортовые СВЧ структуры 65
1.9.4. Методы оптимизация и синтеза СВЧ структур 71
1.9.5. Метод Олинера 78
1.10. Выбор электродинамического метода расчета при решении задачи анализа ОИС 81
1.10.1. Анализ СВЧ структур в частотной и временной области 85
1.11. Основные коммерческие программы HFSS, FEKO, CST и COMSOL 85
1.12 Порты в САПР СВЧ 88
1.13. Гибридные методы расчета СВЧ структур 93
1.14. Моделирование физических процессов (температура, излучение) в СВЧ ИС 110
1.15 Работа интегральных СВЧ структур в условиях космоса (мультипакция) 113
1.16 Численный ЭД расчет устройств СВЧ на материалах с анизотропными свойствами 117
1.17 Применение интегральных СВЧ схем в медицине (нагревание биологических объектов, концентрация энергии, положительное и отрицательное действие СВЧ мощности) 119

Глава 2. Основы проектирования объёмных интегральных схем с помощью современных САПР 124
2.1 Несиммметричные и симметричные линии в ОИС 130
2.2 Дискретные порты 134
2.2.1. Операции постпроцессорной обработки дискретного порта 136
2.2.2. Задание дискретных портов для решений Terminal 137
2.3. Опорные земляные плоскости в ОИС 138
2.4. Пример многослойной ОИС 140
2.4.1. Создание многослойной подложки 141
2.4.2. Вырезание формы из прямоугольника слоя ОИС 144
2.4.3. Создание портов на линии 147
2.4.4. Установки на анализ ОИС 148
2.4.5. Постпроцессорная обработка данных расчета 150
2.5. Моделирование симметричных каналов в ОИС 154
Глава 3. Системы автоматизированного проектирования объемных интегральных структур СВЧ 159
3.1. Содержание современных САПР СВЧ 162
3.2. Иерархическая структура проекта 165
3.2.1. Библиотеки компонентов схемы 165
3.2.2. Элементы управления моделированием 167
3.2.1. Оптимизация ОИС 167
3.3. Топология ОИС 168
3.3.1. Методы схемного моделирования 169
3.3.2. Расчет по постоянному току 172
3.3.3. Анализ линейных схем 173
3.3.4. Метод расчета нелинейных характеристик ОИС 174
3.3.5. Метод рядов Вольтерра 176
3.3.6. Анализ переходных процессов 177
3.3.7. Анализ с помощью свертки 178
3.3.8. Анализ шумов 179
3.5. Косимуляция аналоговых и цифровых схем 181
3.6. Электромагнитное моделирование 182
3.6.1. Потребность в программах ЕМ моделирования 182
3.6.2. Ограничения библиотеки компонентов 185
3.6.3. Требования к программе электромагнитного моделирования 186
3.7. Использование и ограничения программ ЭМ моделирования 187
3.8. Типы программ ЭМ моделирования 188
3.9. Численные методы ЭД моделирования 189
3.10. Особенности программ анализа ЭМ поля 194
3.10.1. Решение задачи 197
3.10.2. Постобработка результатов расчета 197
3.11. Коммерческие пакеты САПР 198
3.11.1. Программа EEsof EDA Series IV компании Agilent 200
3.11.2. Agilent EEsof EDA ADS 200
3.11.3. Программа Serenade компании Ansoft 202
3.11.4. AWR Microwave Office 203

3.11. 5. Cadence Analog Artist 204
3.11.6. Optotek MMICAD 204
3.11.7. Программа Genesys компании Eagleware 205
3.12. Коммерческие программы для моделирования ОИС 205
3.12.1. Программа EEsof EDA IC-CAP 205
3.12.2. Программа *LASIMO* (версия 2.1) компании Optotek 206
3.12.3. Программа *COPLAN* 207
3.13. Самые популярные коммерческие пакеты ЕМ моделирования 208
3.13.1. Программа *Momentum* 209
3.13.2. Программы ANSYS HFSS и Ensemble 210
3.13.3. Программа Sonnet EM Suite 211
3.13.4. Программы Sonnet Software и CST Microwave Studio 212
3.13.5. Программа Zeland IE3D и Fidelity 213
3.13.6. Программа *EMSight* компании *AWR* 215
3.13.7. Программа *EMpower* компании *Eagleware* 216
3.13.8. Программа Vector Fields Concerto 216
3.13.9. Программа Faustus Scientific MEFisSTo-2D 216
3.13.10. Программа *Full Wave* 217
3.13.11. Программы MAFIA и *CST SUITE* компании *CST* 217
3.13.12. Программа XFDTD компании Remcom 219
3.13.13. Программа *EMpire* 220
3.13.14. Программа COMSOL Multiphysics 221
3.13.15. Программа FEKO 222

Глава 4. Моделирование линий передачи в объемных интегральных структурах 225

4.1. Симметричная полосковая линия 227
4.2. Микрополосковая линия (несимметричная полосковая). 234
4.2.1. Расчет микрополосковой линии на MWO 236
4.2.2.Расчет микрополосковой линии на HFSS 237
4.3. Дифференциальная микрополосковая линия 238
4.4. Дифференциальная пара полосковых линий 242
4.4.1. Расчет дифференциальной пары полосковых линий на MWO 243
4.4.2. Расчет дифференциальной пары полосковой линии с помощью HFSS 244
4.5. Полосковая структура из 7 линий 247
4.6. Копланарная линия передачи 251
4.6.1. Расчет копланарной линии передачи на MWO 254
4.6.2. Расчет на HFSS отрезка копланарной линии передачи 259
4.6.3. Результаты расчета отрезка копланарного волновода 266
4.7. Копланарный волновод с земляной платой внизу 267
4.8. Установка дифференциальных пар линий 272

Глава 5. Алгоритмы проектирования ОИС 279

5.1. Линии передачи в ИОС 280
5.1.1. Заполнение пустот между слоями 281
5.1.2. Импорт топологии в проект 282

5.1.3. Добавление компонентов в проект 284
5.2. Автоматическое создание и установка портов 285
5.2.1. Дифференциальные порты и порты с одним окончанием 285
5.2.2. Проверка топологии 288
5.2.3. Моделирование следов припоя в ОИС 289
5.2.4.Эффективная проводимость перемычки 290
5.2. Многослойная подложка ОИС 293
5.2.1. Редактор цепей (Net Editor) 296
5.3. Создание схемы и топологии в CST PCB 303
5.3.1. Проверка и редактирования цепей 304
5.3.2. Автоматическое обозначение цепей 305
5.3.3. Прокладка трасс линий передачи 306
5.3.4. Проводящие формы на слоях 308
5.4. Перемычки и площадки 310
5.4.1. Терминалы 314
5.5. Моделирование 315
5.6. Калькулятор импедансов 316
5.7. Компоненты ОИС в PCB 317
5.8. Типы базовых моделей для пассивных приборов 320
5.9. Модели Touchstone 323
5.10. Модели компонентов SPICE 324
5.11. Модели генераторов сигналов 324
5.11.1.Модель генератора пульсирующего напряжения 325
5.11.2. Модель прибора входа-выхода (IBIS) 326
5.12. Типы базовых моделей для источников питания 328
5.12.3. Внесение моделей в композитный составной прибор 332
Глава 6. Методы расчета ОИС в CST PCB STUDIO 335
6.1. Метод линий передачи 2D TL 339
6.1.1. Включение или отключение клемм цепей 343
6.1.2. Процесс вставки чипа в структуру и схему 344
6.1.3. Закладка Meshing в методе 2DTL 345
6.1.4. Выбор формы площадок для перемычек 347
6.1.5. Закладка 2DTL Modeling 350
6.1.6. Выбор модели для моделирования задержки вдоль линий 350
6.1.7. Испытание модели до самых высоких частот 351
6.1.8. Опции расчета ОИС 352
6.1.9. Экспорт модели 353
6.2. Метод расчета 3D FEFD 353
6.2.1. Запуск моделирования методом 3D FEFD 355
6.3. Расчет ОИС во временной области 357
6.4. Установки на решение PCB методом 2DTL 361
6.5.Установки экспорта ОИС в MWS 361
6.6. Моделирование ИС в частотной области 363
6.6.1. Настройки на решение в частотной области в программе 2DTL 367
6.6.2. Установки экспорта в MWS 368
6.7. Моделирование разводки по постоянному току IR-Drop (DC) 369

Глава 7. Практические примеры моделирования ОИС 376
7.1. Расчет характеристик ОИС по линиям питания DC 378
7.1.1. Структура PCB 379
7.1.2.Установки на анализ методом PI 384
7.1.3. Моделирование ОИС методом разбиения пространства 389
7.1.4. Моделирование 397
7.3.Моделирование вертикальных перемычек Via 400
7.4. Экспорт модели 403
7.5. 2D (TL) моделирование 404
7.6. 3D (FE-FD) моделирование 404
7.7. Пример проектирования ОИС 405
7.7.1. Разбиение на сетку и моделирование ОИС методом PEEC 412
7.7.2. Низкочастотная экстракция 428
Заключение 435
Литература 439