

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Радиофизический факультет, кафедра электродинамики
Лаборатория физических основ и технологий беспроводной связи

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА СВЧ УЗЛОВ
СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ**

Курс лекций для студентов радиофизического факультета ННГУ

Авторы: *В.Б. Гильденбург, Г.А. Марков*

Нижний Новгород 2005

Содержание

	стр.
Введение	3
1. Волны в линиях передачи	5
1.1. Общие свойства и основные типы волн в линиях передачи	
1.2. Граничные условия для различных типов волн в идеальной линии. Условие существования главной (ТЕМ) волны. Закрытые и открытые линии	
1.3. Дисперсионное уравнение. Волновые моды. Критическая частота. Длина волны, фазовая и групповая скорости. Волны в прямоугольном и круглом волноводах	
1.4. Затухание волн в линиях передачи	
1.5. Телеграфные уравнения для ТЕМ волн. Коаксиальная и микрополосковая линии	
1.6. Расчет отражений в линии. Формула преобразования импедансов. Согласование линии с нагрузкой	
1.7. Возбуждение линий передачи заданными источниками	
2. Резонаторы	34
2.1 Собственные электромагнитные колебания в идеальных полых резонаторах	
2.2. Затухание собственных колебаний в полых резонаторах	
2.3. Возбуждение резонатора заданными источниками	
2.4. Другие типы резонаторов. Описание на языке LC контуров	
3. Элементы СВЧ цепей	47
3.1 Четырехполюсники в СВЧ цепях	
3.2. Фильтры СВЧ	
3.3. Многоплечные СВЧ узлы	
3.4. Согласование СВЧ цепей	
3.5. Широкополосное согласование	
3.6. Вентиль	
3.7. Циркуляторы	
3.8. Управляющие СВЧ устройства	
3.9. Управляемые фильтры	
3.10. Коммутационные диоды СВЧ	
3.11. Балансный модулятор	
3.12. Балансные смесители	
3.13. Заключительные замечания	
Приложение. Метод конечных разностей во временной области	79

Введение

Развитие вычислительной техники, создание и совершенствование глобальной информационной сети и мобильных коммуникационных систем требуют освоения все более высокочастотных средств связи. В настоящее время наиболее подготовленной технически, широкополосной и информационноёмкой является СВЧ радиосвязь, охватывающая диапазон частот от 300 МГц до 300 ГГц (длины волн от 1 м до 1 мм). Диапазон СВЧ превышает по своей ширине сумму всех других более длинноволновых диапазонов связи. Разработка цепей и устройств СВЧ связи в настоящее время идет сразу по нескольким направлениям. Прежде всего, это освоение новых структурных материалов с полупроводниковыми, сегнетоэлектрическими, ферритовыми, сверхпроводящими и прочими включениями, позволяющими в едином технологическом процессе создавать большие гибридные интегральные схемы.

Для понимания работы интегральных схем необходимо познакомиться с физическими основами теории и элементами конструкции СВЧ трактов и устройств, обеспечивающих функционирование приборов и линий связи. Выполнению этой задачи призван служить настоящий курс лекций.

Курс состоит из трех глав. В первых двух главах кратко излагается основы электродинамики важнейших типов линий передачи (направляющих систем) и резонаторов – главных элементов всех устройств СВЧ связи. Рассмотрены пространственные распределения и дисперсионные характеристики волновых полей в этих структурах, процессы передачи и поглощения энергии, основы теории их возбуждения сторонними источниками.

В третьей главе вводятся основные понятия теории СВЧ цепей, рассматриваются конструкции и анализируются свойства элементарных, так называемых аналоговых, СВЧ устройств – частотных фильтров, направленных ответвителей, делителей мощности, согласующих и невзаимных элементов, фазовращателей и модуляторов. Заметим, что несмотря на прогресс альтернативных методов обработки сигналов, основанных на использовании цифровых технологий, разработка соответствующих преобразователей (АЦП и ЦАП) наталкивается в верхней части СВЧ диапазона (на частотах более 1 ГГц) на определенные трудности, так что описанные аналоговые устройства в этой (основной) части СВЧ диапазона пока остаются столь же значимыми, как и прежде.

В Заключении курса кратко обозначены некоторые наиболее интересные и перспективные на наш взгляд современные тенденции в разработке и конструировании СВЧ устройств, основанные на успехах технологии изготовления новых электродинамических и электромеханических систем.

Мы не ставили перед собой в этом курсе задачу изложения вычислительных методов электродинамики. Эти методы играют важную роль в современной электродинамике СВЧ, но несомненно должны быть предметом отдельной дисциплины, поскольку они опираются фактически на весь накопленный к настоящему времени арсенал средств вычислительной математики. Мы ограничились лишь одной иллюстрацией на эту тему, снабдив курс Приложением, представ-

ляющим собой перепечатку текстов, размещенных на нескольких Web-сайтах, в которых описан дифференциально-разностный численный метод FDTD, находящий в настоящее время широкое применение в решении задач расчета электромагнитного поля в разнообразных СВЧ устройствах.

Данный курс написан по заказу Лаборатории физических основ и технологий беспроводной связи Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. В основу курса положены лекции по различным разделам электродинамики, которые авторы читают на радиофизическом факультете ННГУ. Глава 1 написана В.Б. Гильденбургом, глава 3 – Г.А. Марковым, глава 2 – совместно.

В качестве учебных пособий, на которые опирается курс и которые могут быть дополнительно рекомендованы студентам, укажем следующие.

1. Л.А. Вайнштейн, Электромагнитные волны, М.: Радио и связь, 1988.
2. В.В. Никольский, Т.И. Никольская, Электродинамика и распространения радиоволн, М.: Наука, 1989.
3. В.И. Вольман, Ю.В. Пименов, Техническая электродинамика, М.: Связь, 1971.
4. Дж. Л. Альтман, Устройства сверхвысоких частот, М.: Мир, 1968.
5. И.В. Лебедев, Техника и приборы СВЧ, М.: Высшая школа, 1969.
6. Л.Г. Малорацкий, Л.Р. Явич, Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях, М.: Сов. радио, 1972.
7. А.Д. Григорьев, Электродинамика и техника СВЧ, М.: Высшая школа, 1990.
8. Д.М. Сазонов. Антенны и устройства СВЧ, М.: Высшая школа, 1988.
9. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств, под ред. В.И. Вольмана, М.: Радио и связь, 1982.
10. В.В. Фриск, Основы теории цепей, Лабораторный практикум на персональном компьютере, М.: СОЛОН-Пресс, 2002.