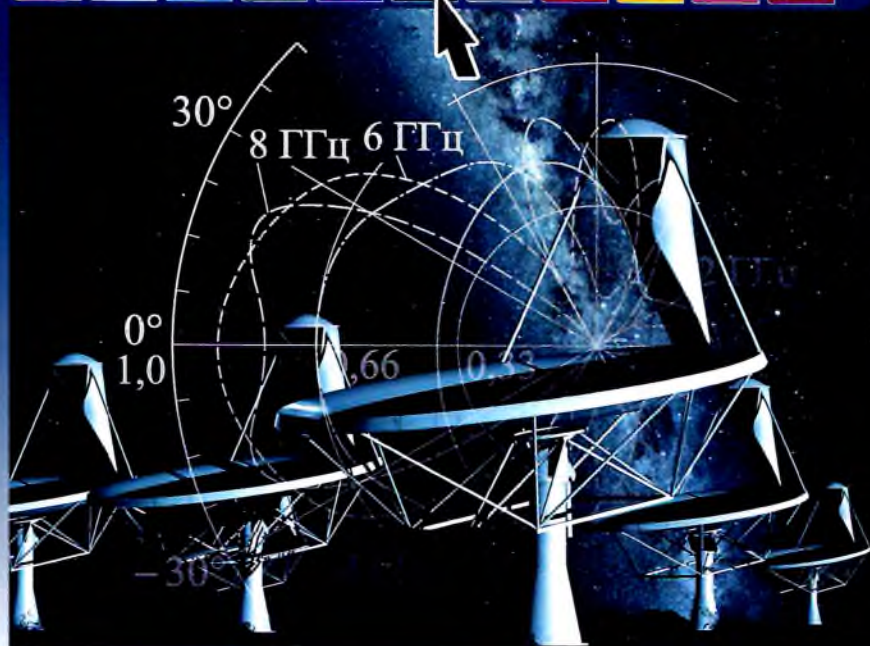


УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

для высших учебных заведений

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ



Устройства СВЧ и малогабаритные антенны



А. Ю. Виноградов
Р. В. Кабетов
А. М. Сомов

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Общие положения теории электромагнитных волн .	5
1.1. Векторы электромагнитного поля. Макроскопические параметры среды. Уравнение непрерывности	5
1.1.1. Поле электрического заряда	5
1.1.2. Теорема Гаусса	7
1.1.3. Принцип суперпозиции и поле системы точечных за- рядов	8
1.1.4. Поле электрического диполя	9
1.1.5. Электрическое поле объемных зарядов	10
1.1.6. Электрическое поле в диэлектрике	11
1.1.7. Электрическое поле в проводящей среде	14
1.1.8. Энергия электростатического поля	15
1.1.9. Магнитное поле постоянного тока	16
1.1.10. Закон полного тока	18
1.1.11. Электромагнитная индукция	19
1.1.12. Энергия магнитного поля	20
1.2. Система уравнений Максвелла	21
1.3. Граничные условия для векторов поля	26
1.3.1. Граничные условия на разделе двух сред	26
1.3.2. Граничные условия на поверхности идеального про- водника	29
1.4. Электрическая и магнитная энергия. Баланс энергии электромагнитного поля	31
1.5. Метод комплексных амплитуд. Комплексная проница- емость. Уравнения монохроматического поля.....	34
1.6. Решение волновых уравнений при заданных источниках возбуждения поля	39
1.7. Эквивалентные источники электромагнитного поля. Принцип Гюйгенса-Френеля.....	43
1.8. Лемма Лоренца. Теорема взаимности	47
1.8.1. Лемма Лоренца для ограниченных и неограниченных объемов	48
1.8.2. Теорема взаимности для элементарных вибраторов ..	50

Вопросы к главе 1	52
2. Основы теории устройств СВЧ	53
2.1. Направляющие системы. Классификация направляе- мых волн	53
2.2. Волновые числа. Фазовая и групповая скорость. Дис- персия	62
2.3. Типы волн в волноведущих линиях СВЧ	68
2.4. Концепция парциальных волн	75
2.5. Теорема Флоке	89
2.6. Пространственные гармоники	80
2.7. Бегущая волна. Быстрые и медленные волны	85
2.7.1. Бегущая волна	85
2.7.2. Быстрые и медленные волны	86
2.8. Импедансные граничные условия	91
2.8.1. Приближенные граничные условия Леонтовича	91
2.8.2. Применение импедансных граничных условий в тео- рии поверхностных волн	93
2.8.3. Усредненные граничные условия	98
2.8.4. Двусторонние граничные условия импедансного типа	99
2.9. Затухание направляемых волн	103
2.9.1. Затухание, обусловленное потерями в заполняющей линию среде	104
2.9.2. Затухание, вызванное потерями в металлических эле- ментах линии передачи	105
2.10. Теория эквивалентных линий	107
2.10.1. Эквивалентные токи и напряжение	107
2.10.2. Волновое сопротивление волноводных элементов	110
2.10.3. Четные и нечетные свойства входного сопротивления	116
2.11. Теорема Фостера	117
2.12. Матрица волновых сопротивлений многополюсника ..	120
2.12.1. Симметрия матрицы волновых сопротивлений	123
2.12.2. Реактивная природа матрицы волновых сопротивле- ний для случая многополюсника без потерь	124
2.12.3. Нормированные матрицы волновых сопротивлений и проводимостей	125
2.13. Матрица рассеяния многополюсника	126
2.13.1. Симметричная матрица рассеяния	129
2.13.2. Матрица рассеяния многополюсника в случае отсут- ствия потерь	130
2.13.3. Матрица рассеяния четырехполюсника	133
2.14. Матрица передачи многополюсника	136

2.14.1. Матрица передачи по напряжению и току	137
2.14.2. Матрица передачи по амплитуде	138
2.14.3. Обобщенная матрица рассеяния для волн мощности	139
2.15. Связанные контуры	148
2.15.1. Понятие связанного контура. Виды связанных контуров	148
2.15.2. Схемы замещения связанных контуров	151
2.15.3. Настройка связанных контуров	153
2.15.4. Частотные характеристики связанных контуров	158
Вопросы к главе 2	160
3. Линии передачи СВЧ	162
3.1. Основные параметры линий СВЧ	162
3.2. Коаксиальные линии	166
3.2.1. Конструкция и виды коаксиальных линий	166
3.2.2. T -волна в коаксиальной линии	167
3.2.3. Другие волны в коаксиальной линии	169
3.3. Конструкция и виды волноводов	170
3.4. Волноводы прямоугольного поперечного сечения	171
3.4.1. Волны типа H в прямоугольных волноводах	171
3.4.2. Волна H_{10} в прямоугольном волноводе	174
3.4.3. Мощность, переносимая волной H_{10}	176
3.4.4. Токи на стенках прямоугольного волновода с волной H_{10}	178
3.4.5. Эквивалентная длинная линия	180
3.4.6. Излучающие и неизлучающие щели в прямоугольном волноводе с волной H_{10}	181
3.4.7. Волны типа E в прямоугольных волноводах	182
3.5. Волноводы круглого поперечного сечения	184
3.5.1. E -волны в волноводах круглого сечения	185
3.5.2. H -волны в волноводах круглого сечения	190
3.5.3. Применение круглых волноводов	194
3.6. Радиальные волноводы	196
3.7. Энергетические потери в волноводах	199
3.8. Возбуждение электромагнитных волн в волноводах ..	203
3.8.1. Возбуждение прямоугольного и круглого волноводов ..	203
3.8.2. Возбуждение радиального волновода элементом Гюйгенса	206
3.8.3. Возбуждение радиального волновода рупорным облучателем	216
3.9. Плоскостные линии с неоднородным заполнением	223
3.9.1. Квазистатистический метод	226

3.9.2. Высокочастотный способ расчета или полноволновый метод	229
3.10. Полосковые линии	230
3.10.1. Симметричная полосковая линия	231
3.10.2. Расчет микрополосковых линий	235
3.10.3. Потери в микрополосковой линии	248
3.10.4. Частотные свойства микрополосковой линии	251
3.10.5. Другие типы микрополосковых линий	252
3.11. Копланарные и связанные линии	257
3.11.1. Копланарные линии	257
3.11.2. Связанные линии	259
3.12. Линии щелевого типа	265
3.13. Замедляющие системы	267
3.13.1. Общие свойства замедляющих систем	269
3.13.2. Коэффициент замедления и длина замедленной волны	272
3.13.3. Сопротивление связи замедляющей системы	273
3.13.4. Энергия поля в ячейке замедляющей системы	275
Вопросы к главе 3	278
4. Объёмные резонаторы	279
4.1. Простые объёмные резонаторы	280
4.1.1. Прямоугольный объёмный резонатор	280
4.1.2. Цилиндрический объёмный резонатор	283
4.1.3. Коаксиальный объёмный резонатор	284
4.2. Добротность объёмных резонаторов	285
4.2.1. Собственная добротность объёмного резонатора	285
4.2.2. Добротность нагруженного объёмного резонатора	286
4.2.3. Влияние добротности на свойства резонатора	287
4.3. Эквивалентные параметры объёмных резонаторов	288
4.4. Объёмные резонаторы сложной формы	288
4.5. Возбуждение объёмных резонаторов	289
Вопросы к главе 4	290
5. Элементы СВЧ и вопросы согласования сопротивлений	291
5.1. Элементы цепей СВЧ с распределёнными параметрами	291
5.1.1. Микрополосковая линия, разомкнутая на конце	292
5.1.2. Щель	293
5.1.3. Ступенька	294
5.1.4. Крестообразное соединение шлейфов	297
5.1.5. Другие виды неоднородностей	298
5.2. Виды соединений линий СВЧ	299

5.2.1. Изгиб	299
5.2.2. Т-образное соединение	301
5.3. Вопросы согласования и трансформации волновых сопротивлений в цепях СВЧ. Виды согласующих элементов	304
5.3.1. Четвертьволновый трансформатор	304
5.3.2. Теория малых отражений	307
5.3.3. Приближенная теория многосекционных четвертьволновых трансформаторов	309
5.3.4. Виноминальный трансформатор	310
5.3.5. Чебышевский трансформатор	313
5.3.6. Метод точного расчета трансформатора Чебышева ..	315
5.3.7. Плавные переходы	318
5.4. Элементы волноводных трактов	325
5.4.1. Волноводные поляризаторы	325
5.4.2. Волноводные селекторы поляризации	326
5.4.3. Согласованные нагрузки	327
5.5. Устройства разделения диапазонов частот	328
5.6. Делители и сумматоры мощности	332
5.7. Направленные ответвители	342
5.7.1. Ответвители на связанных линиях	344
5.7.2. Шлейфный направленный ответвитель	353
5.7.3. Направленный ответвитель Ланге	355
5.7.4. Кольцевой гибридный направленный ответвитель ...	357
5.8. Примеры построения волноводных трактов антенных решеток	362
Вопросы к главе 5	366
6. Микрополосковые антенны	367
6.1. Общие сведения о микрополосковых антеннах	367
6.2. Узкополосные микрополосковые антенны	371
6.2.1. Ленточный микрополосковый вибратор	371
6.2.2. Щелевая микрополосковая антенна	377
6.2.3. Двумерные микрополосковые излучатели	381
6.2.4. Микрополосковые антенны круговой поляризации ..	387
6.3. Широкополосные микрополосковые антенны	390
6.3.1. Расширение рабочей полосы частот микрополосковых антенн	390
6.3.2. Антенна Вивальди	392
6.4. Микрополосковые антенны вытекающих волн	397
6.4.1. Типы волн в микрополосковых антеннах вытекающих волн	399

6.4.2. Режимы распространения в микрополосковых антеннах вытекающих волн	401
6.4.3. Методы расчета импедансных структур периодических микрополосковых антенн вытекающих волн	403
6.4.4. Примеры микрополосковых антенн вытекающих волн	406
6.5. Одно- и многоканальные микрополосковые антенны ..	412
Вопросы к главе 6	414
Приложение 1. Коаксиальные кабели	416
Приложение 2. СВЧ волноводы	422
П2.1. Волноводы жёсткой конструкции	422
П2.2. Гибкие волноводы	422
Список обозначений	427
Список сокращений	430
Литература	431