

А. М. Сомов, В. В. Старостин, Р. В. Кабетов

АНТЕННО–ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА

Под редакцией А. М. Сомова

*Допущено УМО по образованию
в области информационной безопасности
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по специализациям специальности
090302 (090106) – «Информационная безопасность
телекоммуникационных систем» и специальности
090201 – «Противодействие техническим разведкам»*

Москва
Горячая линия Телеком
2011

УДК 621.396.67

ББК 32.845

С61

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой систем радиосвязи МТУСИ, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники *М. А. Быховский*; доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой радиоприемных устройств МИРЭА *А. А. Парамонов*

Сомов А. М., Старостин В. В., Кабетов Р. В.

С61 Антенно-фидерные устройства: Учебное пособие / Под ред. А. М. Сомова. — М.: Горячая линия—Телеком, 2011. — 404 с., ил. ISBN 978-5-9912-0152-0.

Книга представляет собой классический курс антенно-фидерных устройств. В учебном пособии на современном уровне изложены общие вопросы теории приемных и передающих антенн, теории антенных решеток, рассмотрены многочисленные антенны, начиная с простейшего диполя и щелевой антенны и заканчивая сложными зеркальными антеннами, указаны особенности антенн для линий связи различных диапазонов частот. Особое внимание уделено вопросам высокочастотного питания антенн и элементам волноводной техники.

Для студентов, обучающихся по специальностям 090106 — «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», 090107 — «Противодействие техническим разведкам», направлению подготовки 090900 — «Информационная безопасность» (профиль «Безопасность телекоммуникационных систем»), будет полезна студентам телекоммуникационных и радиотехнических специальностей, аспирантам и специалистам в области инфокоммуникаций.

ББК 32.845

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Учебное издание

Сомов Анатолий Михайлович

Старостин Владимир Васильевич

Кабетов Роман Владимирович

АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА

Учебное пособие

Учебное пособие подготовлено при поддержке

грантов Президента Российской Федерации

НШ-5.2008.10 и НШ-24.2010.10

Редактор Ю. Н. Чернышов

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 20.09.2010. Формат 60×90 1/16.

Уч. изд. л. 8,0. Тираж 500 экз.

Подписано в печать 20.08.2010. Печать офсетная. Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 25,25. Тираж 500 экз.

ISBN 978-5-9912-0152-0 © А.М. Сомов, В.В. Старостин, Р.В. Кабетов, 2011

© Издательство «Горячая линия—Телеком», 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Глава 1. Общая теория передающих антенн	7
1.1. Поле системы токов в свободном пространстве	7
1.2. Общие характеристики передающих антенн	13
1.2.1. Характеристики направленности антенн	13
1.2.2. Энергетические характеристики антенн	21
1.2.3. Действующая длина и эффективная площадь	24
1.2.4. Поляризация поля, излучаемого антенной	25
1.2.5. Характеристика антенны как нагрузки	26
1.2.6. Рабочий диапазон частот антенны	27
1.2.7. Другие характеристики антенн	28
Вопросы к главе 1	29
Глава 2. Простые проволочные антенны	30
2.1. Поле прямолинейного провода	30
2.2. Поле провода со стоячей волной тока. Симметричный вибратор	31
2.3. Сопротивление излучения и входное сопротивление симметричного вибратора	35
2.4. Широкополосные симметричные вибраторы	39
2.5. Несимметричный вибратор	41
2.6. Увеличение направленности симметричных вибраторов ..	44
2.7. Поле провода с бегущей волной тока. V-образные и ромбические антенны	47
Вопросы к главе 2	54
Глава 3. Щелевые антенны	56
3.1. Конструкции и принцип действия	56
3.2. Применение принципа двойственности для анализа щелевых антенн	57
3.3. Сложные щелевые антенны	59
Вопросы к главе 3	64
Глава 4. Антенны в режиме приёма	65
4.1. Общие характеристики приёмных антенн	65

4.2. Применение принципа взаимности для анализа приёмных антенн	66
4.3. Мощность, передаваемая приёмной антенной в нагрузку	69
4.4. Эквивалентная шумовая температура антенны	71
4.5. Рамочные антенны	75
Вопросы к главе 4	77
Глава 5. Диаграмма направленности системы излучателей	78
5.1. Диаграмма направленности системы излучателей. Теорема умножения диаграмм направленности	78
5.2. Диаграммы направленности линейных решёток из ненаправленных излучателей	81
5.2.1. Множитель линейной эквидистантной решетки	81
5.2.2. Режим нормального излучения	84
5.2.3. Режим наклонного излучения	85
5.2.4. Режим осевого излучения	86
5.2.5. Оптимальные решётки осевого излучения	87
5.2.6. Режим обратного осевого излучения	88
5.2.7. Режим обратного наклонного излучения	89
5.2.8. Линейная непрерывная система	89
5.2.9. Неэквидистантные линейные решетки	90
5.3. Линейные решётки с неравномерным амплитудным распределением	90
5.4. Кольцевые антенные решетки	94
Вопросы к главе 5	96
Глава 6. Многовибраторные антенны	97
6.1. Двухвибраторные антенны	97
6.2. Антенна типа «волновой канал»	99
6.3. Вибраторные антенны бегущей волны	102
6.3.1. Описание антенны и её условные обозначения	102
6.3.2. Принцип действия и электрические характеристики антенны бегущей волны	105
6.3.3. Выбор параметров антенны бегущей волны	108
6.3.4. Сложные антенны бегущей волны с управляемой диаграммой направленности	110
6.3.5. Вертикальная антенна бегущей волны	112
6.4. Синфазная горизонтальная диапазонная антенна	114
6.5. Входные сопротивления многовибраторных антенн. Метод наведённых ЭДС	118
Вопросы к главе 6	122

Глава 7. Антенны вращающейся поляризации	123
7.1. Турникетные антенны	123
7.2. Спиральные антенны	125
Вопросы к главе 7	130
Глава 8. Широкодиапазонные антенны	131
8.1. Принцип самодополнительности и плоские широкополосные вибраторы	131
8.2. Принцип электродинамического подобия	133
8.3. Широкодиапазонные спиральные антенны	134
8.4. Логопериодические антенны	136
Вопросы к главе 8	142
Глава 9. Антенны с металлическими рефлекторами	143
9.1. Антенны обратного излучения	143
9.2. Угловые антенны	144
Вопросы к главе 9	149
Глава 10. Основы теории антенн СВЧ	150
10.1. Методы анализа антенн СВЧ	150
10.2. Основные законы геометрической оптики, применяемые при расчете антенн	152
10.2.1. Закон преломления и закон отражения	153
10.2.2. Уравнение эйконала	153
10.2.3. Оптическая длина пути и принцип Ферма	155
10.3. Диаграмма направленности антенны, имеющей плоский излучающий раскрыв	156
10.4. Коэффициент направленного действия излучающего раскрыва	159
10.5. Диаграмма направленности антенны с прямоугольным излучающим раскрывом	161
10.5.1. Равномерное распределение поля	162
10.5.2. Неравномерное амплитудное распределение поля	163
10.6. Диаграмма направленности антенны с круглым излучающим раскрывом	167
10.7. Влияние на диаграмму направленности фазовых ошибок в раскрыве антенны	170
10.7.1. Линейные фазовые ошибки	171
10.7.2. Квадратичные фазовые ошибки	173
10.7.3. Кубические фазовые ошибки	176
Вопросы к главе 10	178
Глава 11. Рупорные и линзовые антенны	179
11.1. Антенны в виде открытого конца волновода	179

11.2. Рупорные антенны	183
11.2.1. Принцип действия и типы рупорных антенн	183
11.2.2. <i>H</i> -секториальный рупор	185
11.2.3. <i>E</i> -секториальный рупор	189
11.2.4. Пирамидальный рупор	191
11.2.5. Конический рупор	192
11.2.6. Способы уменьшения длины рупора	193
11.2.7. Применение рупорных антенн	195
11.3. Антенна вращающейся поляризации на основе открытого конца волновода и рупорной антенны	195
11.4. Линзовые антенны	197
11.4.1. Назначение и принцип действия линзовых антенн	197
11.4.2. Уравнение профиля линз	200
11.4.3. Ускоряющие металлические линзы	202
11.4.4. Замедляющие линзы из искусственного диэлектрика ..	204
11.4.5. Зонирование линз	205
11.4.6. Линзы с широким сектором качания луча	207
11.4.7. Другие типы линз. Применение линзовых антенн	212
Вопросы к главе 11	212
Глава 12. Зеркальные антенны	214
12.1. Общие сведения	214
12.1.1. Принцип действия и разновидности зеркальных антенн	214
12.1.2. Уравнение профиля зеркала	216
12.1.3. Геометрические свойства параболоидного зеркала	217
12.1.4. Системы координат, используемые при анализе зеркаль- ных антенн	218
12.1.5. Геометрические параметры зеркальных антенн	219
12.2. Применение апертурного метода для расчёта поля излу- чения зеркальной антенны	220
12.2.1. Определение поля в раскрыве	220
12.2.2. Определение поля излучения антенны	223
12.3. Влияние распределения поля в раскрыве на диаграмму направленности параболоидной антенны	225
12.4. Коэффициент направленного действия и коэффициент усиления зеркальных антенн	227
12.4.1. Расчет коэффициента направленного действия и коэф- фициента усиления зеркальных антенн	227
12.4.2. Оптимизация зеркальных антенн для получения макси- мального коэффициента усиления	230
12.4.3. Предельно достижимый коэффициент усиления и точ- ность изготовления зеркальных антенн	232

12.5. Шумовая температура и шумовая добротность зеркальных антенн	235
12.5.1. Расчет шумовой температуры и шумовой добротности зеркальных антенн	235
12.5.2. Оптимизация зеркальных антенн для получения максимальной шумовой добротности	236
12.6. Кроссполяризационное излучение зеркальных антенн ...	239
12.7. Облучатели зеркальных антенн	241
12.7.1. Требования, предъявляемые к облучателям	241
12.7.2. Основные типы облучателей	243
12.7.3. Устранение воздействия зеркала на облучатель	247
12.8. Приближённый расчёт параболической зеркальной антенны	249
12.9. Управление диаграммой направленности зеркальной антенны	251
12.10. Двухзеркальные антенны	253
12.10.1. Принцип действия двухзеркальных антенн	253
12.10.2. Двухзеркальная антенна из параболоида и плоского диска	255
12.10.3. Антенна Кассегрена	256
12.10.4. Антенна Грегори	257
12.10.5. Расчет двухзеркальных антенн	258
12.10.6. Совмещенные зеркальные антенны	261
12.11. Другие типы зеркальных антенн	262
12.11.1. Усеченные параболоиды	262
12.11.2. Зеркальные антенны с вынесенным облучателем	262
12.11.3. Двухзеркальные антенны с кольцевым фокусом	265
12.11.4. Конусно-параболические антенны	266
12.11.5. Антенны с кольцевым контррефлектором	267
12.11.6. Сферические зеркальные антенны	268
12.11.7. Зеркальные антенны с модифицированной формой поверхности	270
12.11.8. Перископические антенные системы, лучеводы и многозеркальные антенны	272
12.12. Способы снижения бокового излучения зеркальных антенн	274
Вопросы к главе 12	277
Глава 13. Антенны бегущих волн	278
13.1. Общие сведения об антеннах поверхностных волн	278
13.2. Плоские линейные антенны поверхностных волн	280
13.2.1. Антенна с диэлектрическим направителем	280

13.2.2. Антенна с ребристым направителем	284
13.3. Стержневые антенны поверхностных волн	285
13.3.1. Стержневая диэлектрическая антенна	285
13.3.2. Ребристо-стержневая антенна	288
13.4. Дисковые антенны поверхностных волн	288
13.5. Антенны вытекающих волн	289
Вопросы к главе 13	296
Глава 14. Антенные решётки	297
14.1. Способы управления положением ДН и задачи, решаемые с помощью антенных решёток	297
14.2. Фазированные антенные решётки	301
14.3. Многолучевые антенные решётки	306
14.4. Адаптивные антенные решётки	311
Вопросы к главе 14	314
Глава 15. Особенности антенн различных диапазонов частот	315
15.1. Особенности антенн СДВ, ДВ и СВ диапазонов	315
15.2. Особенности коротковолновых антенн	319
15.3. Особенности антенн УВЧ и СВЧ диапазонов	322
15.3.1. Общие особенности антенн	322
15.3.2. Опорно-поворотные устройства антенн земных станций спутниковой связи	324
15.3.3. Радиопрозрачные укрытия антенн	327
Вопросы к главе 15	328
Глава 16. Высокочастотное питание антенн. Согласование и симметрирование	329
16.1. Классификация линий передачи	329
16.2. Воздушные и экранированные линии	331
16.3. Металлические волноводы и полосковые линии	335
16.3.1. Закрытые волноводы прямоугольного поперечного сечения	335
16.3.2. Лучевые волноводы	336
16.3.3. Полосковые линии передачи	337
16.4. Методы анализа цепей СВЧ	337
16.4.1. Переход к эквивалентной линии	338
16.4.2. Коэффициент отражения, коэффициент бегущей волны и коэффициент стоячей волны	339
16.4.3. Полное эквивалентное сопротивление линии	341
16.4.4. Реактивные шлейфы	342
16.5. Согласование фидерных линий	343

16.5.1. Задача согласования фидера и антенны	343
16.5.2. Согласование на фиксированной частоте с помощью четвертьволнового трансформатора	346
16.5.3. Согласование с помощью реактивного шлейфа Татаринова	347
16.5.4. Двух- и трехшлейфное согласование	348
16.5.5. Широкополосное согласование	350
16.6. Согласование отдельных участков волноводного тракта .	351
16.6.1. Согласование на фиксированной частоте	351
16.6.2. Волноводные устройства для согласования в полосе частот	353
16.7. Переходные устройства с коаксиального фидера на симметричную антенну	353
16.7.1. Задача, решаемая симметрирующими устройствами ...	353
16.7.2. U-колени	354
16.7.3. Четвертьволновой стакан	355
Вопросы к главе 16	356
Глава 17. Элементы волноводного тракта	357
17.1. Основные свойства ферритов на СВЧ	357
17.2. СВЧ элементы волноводного тракта	363
17.2.1. Возбуждение волн в линиях и связь линии с нагрузкой	363
17.2.2. Трансформаторы типов волн	365
17.2.3. Атенюаторы	366
17.2.4. Нагрузки	367
17.2.5. Тройники	368
17.2.6. Фазовращатели	369
17.2.7. Поляризационные устройства	369
17.2.8. Двойной тройник («магический» Т-мост)	371
17.2.9. Кольцевой мост	371
17.2.10. Вентили	372
17.2.11. Циркуляторы	373
17.3. Волноводный тракт для приёма ортогональных поляризаций	375
17.4. Волноводный тракт для одновременного приёма нескольких диапазонов частот	380
Вопросы к главе 17	383
Список обозначений	385
Список сокращений	387
Литература	390