Карл Ротхаммель

Антенны

Том 1

ROTHAMMELS
ANTENNENBUCH

vollkommen neu bearbeitet und erweitert von
Dipl.-Ing. Alois Krischke

11., aktualisierte und erweiterte Auflage

Franckh-Kosmos
Verlags-GmbH&Co., Stuttgart

КАРЛ РОТХАММЕЛЬ

АНТЕННЫ

ТОМ 1

Издание одиннадцатое, полностью переработанное и дополненное
инж. Алоизом Кришке

ДМК ПРЕСС
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Москва

ББК 32.973-04
Р58

Ротхаммель К., Кришке А.
Р58 Антенны. Том 1.: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс. – 416 с.: ил.

ISBN 5-85648-715-X

Настоящее издание является переводом книги известного немецкого радиолюбителя К. Ротхаммеля (11-е издание).

Содержание книги по сравнению с предыдущим выпуском расширено и дополнено за счет новейших технических разработок; при этом сохранено прежнее разделение по трем главным направлениям: основные понятия, типы антенн и их конструкции.

Во всех главах обновлены списки литературы, а в сведения о патентах включен год подачи заявки (дата приоритета).

Книга предназначена для радиолюбителей, желающих расширить свои знания в области построения и практического использования антенных устройств.

ББК 32.973-04

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность наличия технических и просто человеческих ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 3-440-07018-2 © Franckh-Kosmos Verlags-GmbH&Co., Stuttgart
ISBN 5-85648-715-X © ДМК Пресс

Содержание

Предисловие 11

1. Электромагнитные волны 13
1.1. Электромагнитное поле 14
1.1.1. *Электрическое поле* 14
1.1.2. *Магнитное поле* 15
1.1.3. *Зависимость между электрическим и магнитным полями* 15
1.1.4. *Переменное электромагнитное поле* 15
1.1.5. *Плоские волны* 16
1.1.6. *Напряженность электрического поля* 16
1.1.7. *Поляризация электромагнитных волн* 17
1.1.8. *Классификация радиоволн* 18

2. Распространение электромагнитных волн 19
2.1. Атмосфера Земли 19
2.1.1. *Тропосфера* 19
2.1.2. *Стратосфера* 20
2.1.3. *Ионосфера* 20
2.2. Поверхностная и пространственная волны 21
2.2.1. *Распространение поверхностной волны* 21
2.2.2. *Распространение пространственной волны* 21
2.3. Распространение коротких волн 25
2.3.1. *Солнечная активность* 25
2.3.2. *Солнечная активность и ионосфера* 28
2.3.3. *Распространение волн любительских КВ диапазонов* 32
2.4. Распространение метровых волн 34
2.4.1. *Квазиоптическое распространение волн* 34
2.4.2. *Сверхдальняя связь* 35
2.5. Распространение сверхдлинных радиоволн 39
2.6. Отражение, рефракция и дифракция 39
2.7. Замирание (фединг) 40
2.8. Разнесение 40

3. Принцип действия и характеристики антенн 43
3.1. Полуволновый вибратор 43
3.1.1. *Распределение тока и напряжения в полуволновом вибраторе* 43
3.1.2. *Импеданс антенны* 45
3.1.3. *Сопротивление излучения* 46
3.1.4. *Полуволновый вибратор как колебательный контур* 46
3.1.5. *Коэффициент укорочения* 47
3.1.6. *Эффективные длина и высота полуволнового вибратора* 49
3.2. Направленность и усиление антенны 50
3.2.1. *Диаграмма направленности* 50
3.2.2. *Закономерности излучения полуволнового вибратора* 52
3.2.3. *Усиление и коэффициент направленности* 57
3.3. Шумы антенн 62
3.4. Петлевой вибратор 64
3.5. Волновый вибратор 66

4. Типы антенн ... 69
4.1. Введение ... 69
4.2. Классификация антенн ... 69
4.3. Элементы излучателей ... 70
4.3.1. *Простейшие излучатели* ... 70
4.3.2. *Линейные антенны* ... 70
4.3.3. *Фигурные антенны* ... 70
4.3.4. *Рамочные антенны* ... 71
4.3.5. *Щелевые антенны* ... 71
4.3.6. *Активные антенны* ... 71
4.4. Групповые излучатели ... 71
4.4.1. *Линейные группы* ... 72
4.4.2. *Плоскостные группы* ... 72
4.4.3. *Пространственные группы* ... 72
4.4.4. *Группы с сетевым питанием* ... 72
4.5. Строение излучателей ... 72
4.5.1. *Плоские структуры* ... 73
4.5.2. *Пространственные структуры* ... 73
4.6. Апертурные излучатели ... 73
4.6.1. *Рефлекторные антенны* ... 73
4.6.2. *Рупорные антенны* ... 73
4.6.3. *Линзовые антенны* ... 73
4.6.4. *Диэлектрические антенны* ... 74
4.6.5. *Антенны на рассеянных волнах* ... 74

5. Питание антенн ... 76
5.1. Фидеры ... 76
5.1.1. *Волновое сопротивление проводника* ... 76
5.1.2. *Двухпроводная линия* ... 80
5.1.3. *Коаксиальный кабель* ... 81
5.1.4. *Затухание в высокочастотных линиях* ... 82
5.1.5. *Рекомендации по применению высокочастотных линий* ... 84
5.1.6. *Характеристики высокочастотных линий* ... 85
5.1.7. *Однопроводный фидер* ... 86
5.2. Физические свойства высокочастотных линий ... 88
5.2.1. *Распределение напряжения в двухпроводной линии* ... 88
5.2.2. *Добавочные потери в линии вследствие стоячих волн* ... 90
5.2.3. *Двухпроводная линия в качестве согласующего элемента* ... 93
5.3. Способы питания антенн ... 96
5.3.1. *Согласованный фидер* ... 96
5.3.2. *Настроенный фидер* ... 97

6. Согласующие и трансформирующие элементы ... 101
6.1. Дельта-согласование ... 101
6.2. Согласующий Т-трансформатор ... 102
6.3. Гамма-согласование ... 103
6.4. Омега-согласование ... 104
6.5. Четвертьволновый трансформатор ... 105
6.6. Согласующий шлейф ... 107
6.7. Согласование с помощью дискретных радиокомпонентов ... 112
6.7.1. *Г-образный элемент* ... 112
6.7.2. *Мост Бушеро в качестве согласующего элемента* ... 114
6.7.3. *Т-образный элемент* ... 115
6.7.4. *П-образный элемент* ... 115
6.7.5. *Резонансное преобразование* ... 115
6.8. Широкополосный трансформатор ... 116

7. Симметрирующие и запирающие цепи ... 118
7.1. Введение ... 118
7.2. Основные принципы ... 119

7.3. Симметрирующие цепи ... 120
7.3.1. *Трансформаторы* ... 120
7.3.2. *Петлевые шлейфы* ... 123
7.3.3. *Симметрирующие шлейфы* ... 125
7.3.4. *Симметрирующие мосты* ... 129
7.3.5. *Симметрирующие объемные контуры* ... 130
7.4. Блокирующие цепи ... 132
7.4.1. *Резонансные фильтры* ... 132
7.4.2. *Широкополосные затворы* ... 134
7.4.3. *Поглотители* ... 136
7.5. Специальные способы ... 138
7.5.1. *Симметрирование подбором сопротивлений* ... 138
7.5.2. *Схема X/2* ... 139
7.5.3. *Симметрирование по электрическому полю* ... 139
7.5.4. *Симметрирование с помощью резонатора* ... 139
7.5.5. *Симметрирование с помощью объемного контура* ... 139
7.5.6. *Клинообразные симметрирующие трансформаторы* ... 140
7.5.7. *Трансформатор на ответвителях* ... 140
7.5.8. *Полуволновый барьер* ... 140
7.5.9. *Симметрирующий трансформатор на базе петлевого вибратора* ... 141
7.5.10. *Гамма-согласование* ... 141
7.5.11. *Омега-согласование* ... 141
7.5.12. *L-согласование* ... 141
7.5.13. *Емкостный трансформатор* ... 142

8. Связь фидера с оконечным каскадом передатчика ... 145
8.1. Подключение согласованных фидеров ... 146
8.1.1. *Подключение коаксиальных кабелей* ... 146
8.1.2. *Подключение симметричного согласованного фидера* ... 149
8.2. Подключение согласованных фидеров ... 151
8.3. Согласование передатчика с фидером ... 155
8.3.1. *Базовый СЛП* ... 155
8.3.2. *Т-образный СЛП* ... 155
8.3.3. *СЛП на последовательно-параллельных емкостях* ... 155
8.4. Промышленное согласование антенн ... 156
8.5. Применение согласующих устройств ... 157

9. Практика высокочастотных антенн ... 159
9.1. Обзор ... 159
9.1.1. *Полуволновый излучатель* ... 159
9.1.2. *Длиннопроводные антенны* ... 160
9.1.3. *Поперечные (рамочные) излучатели* ... 160
9.1.4. *Вращающийся направленный излучатель* ... 161
9.1.5. *Вертикальные антенны* ... 161
9.2. Лучшая антенна дальней связи ... 163
9.3. Доказательность оценок усиления ... 164
9.4. Затраты на направленные антенны ... 165

10. Полуволновые излучатели ... 167
10.1. Однодиапазонные вибраторы ... 167
10.1.1. *Y-образная антенна* ... 167
10.1.2. *Вибратор с коаксиальным фидером* ... 167
10.1.3. *Суррогатный вибратор* ... 168
10.1.4. *Петлевой вибратор* ... 168
10.2. Многодиапазонные вибраторы ... 169
10.2.1. *Антенны типа «Цеппелин»* ... 169
10.2.2. *Антенна Виндома* ... 172
10.2.3. *Согласованный трехдиапазонный вибратор* ... 178
10.2.4. *Согласованный четырехдиапазонный вибратор* ... 178
10.2.5. *Многодиапазонный вибратор* ... 179

10.2.6. *Многодиапазонная антенна G5RV* ... 181
10.2.7. *Вибраторы с запирающим контуром* ... 184
10.3. Компактные антенны ... 189
10.3.1. *Вложенные многодиапазонные вибраторы* ... 189
10.3.2. *Укороченные вибраторы* ... 190
10.3.3. *Проволочная пирамида* ... 191
10.4. Угловые вибраторы ... 192
10.4.1. *Волновый угловой вибратор с круговой диаграммой направленности* ... 193
10.5. Наклонные антенны ... 194
10.6. Широкополосные вибраторы ... 194
10.6.1. *Волновые вибраторы* ... 194
10.6.2. *Антенна T2FD* ... 195
10.6.3. *Замкнутый широкополосный вибратор* ... 197
10.7. Антенны особой формы ... 198
10.7.1. *Оптимизированный вибратор* ... 198
10.7.2. *Удлиненный вибратор* ... 198
10.8. Настройка вибратора ... 199

11. Длиннопроводные антенны ... 202
11.1. Г-образные антенны ... 204
11.2. Антенна Фукса ... 206
11.3. Многодиапазонная антенна DL7AB ... 207
11.4. V-образная антенна ... 208
11.4.1. *Звезда из V-образных антенн* ... 210
11.4.2. *Составные V-образные антенны* ... 211
11.4.3. *Тупоугольная V-образная антенна* ... 211
11.5. Открытая ромбическая антенна ... 212
11.6. Удлиненный двойной «Цеппелин» ... 212
11.7. Длиннопроводная шестидиапазонная антенна K4EF ... 214

12. Апериодические длиннопроводные антенны ... 217
12.1. Замкнутая длиннопроводная антенна ... 217
12.2. Однопроводная антенна бегущей волны ... 218
12.3. Замкнутые V-образные антенны ... 220
12.4. Замкнутые ромбические антенны ... 221
12.4.1. *Питание ромбической антенны* ... 222
12.4.2. *Нагрузочное сопротивление* ... 222
12.4.3. *Устройство ромбической антенны* ... 223
12.4.4. *Многодиапазонный режим* ... 224
12.4.5. *Специальные типы ромбических антенн* ... 224

13. Излучатели с поперечным излучением ... 227
13.1. Вибраторные ряды ... 227
13.2. Вибраторный столбец ... 229
13.3. Вибраторные группы ... 230
13.4. Практические варианты проволочных направленных антенн ... 231
13.4.1. *Двухэлементный коллинеарный вибратор* ... 231
13.4.2. *Антенна Франклина* ... 232
13.4.3. *Синфазная горизонтальная антенна* ... 233
13.4.4. *Квадратная рамочная антенна DJ4VM* ... 235
13.4.5. *Двусторонний излучатель* ... 236
13.4.6. *Многоэтажный волновый вибратор* ... 238
13.4.7. *Шестиэлементная антенна* ... 238
13.4.8. *Антенна Брюса* ... 239
13.4.9. *Антенна Стербы* ... 239

14. Продольные излучатели ... 242
14.1. Направленная антенна W8JK ... 243
14.2. Однонаправленные продольные излучатели ... 246

14.2.1. *Остронаправленная антенна ZL* ... 246
14.2.2. *Антенна HB9CV* ... 248
14.2.3. *Переключаемый двухэлементный направленный излучатель* ... 251

15. Направленные антенны с волновыми петлевыми вибраторами ... 253
15.1. Квадратная рамка как элемент антенны ... 253
15.2. Горизонтальный прямоугольник ... 255
15.3. Дельтообразная рамка ... 256
15.4. Волновые рамки с рефлекторами ... 258
15.4.1. *Квадратный куб* ... 258
15.4.2. *Кольцевая остронаправленная антенна* ... 262
15.4.3. *Антенна «птичья клетка»* ... 263
15.4.4. *Волновые рамочные антенны с активным рефлектором* ... 265
15.4.5. *Направленные антенны с дельтообразными рамками* ... 269
15.5. Сравнение волновых петлевых излучателей ... 272

16. Направленные поворотные излучатели с пассивными элементами ... 274
16.1. О расходах на создание направленных поворотных антенн ... 276
16.2. Горизонтальный двухэлементный поворотный направленный излучатель ... 278
16.3. Горизонтальная трехэлементная директорная антенна ... 279
16.4. Питание направленных вращающихся антенн ... 280
16.5. Несущая траверса антенны ... 281
16.6. Монтаж направленной антенны на несущей опоре ... 281
16.7. Особые типы однодиапазонных направленных вращающихся антенн ... 282
16.7.1. *X-образная направленная антенна* ... 282
16.7.2. *Антенна G3LDO* ... 283

17.Направленные антенны с укороченными элементами ... 286
17.1. Миниатюрная направленная антенна VK2AOU ... 287
17.2. Миниатюрная направленная антенна W8YIN ... 289
17.3. Укороченный излучатель 10-метрового диапазона на удилищах ... 290
17.4. Укороченная рамочная антенна ... 290

18. Многодиапазонные направленные излучатели ... 293
18.1. Трехдиапазонная направленная поворотная антенна G4ZU ... 293
18.1.1. *Образец для копирования остронаправленной трехдиапазонной антенны G4ZU* ... 297
18.1.2. *Модификация антенны G4ZU* ... 300
18.2. Трехдиапазонная остронаправленная антенна VK2AOU ... 301
18.3. Трехдиапазонная остронаправленная антенна DL1FK ... 304
18.4. Трехдиапазонная остронаправленная антенна W3DZZ ... 307
18.5. Трехдиапазонная рамочная антенна VK2AOU ... 309
18.6. Многодиапазонная рамочная антенна DJ4VM ... 313
18.7. Многодиапазонные антенны Delta-Loop с простыми рамками ... 317
18.7.1. *Укороченная двухдиапазонная антенна Delta-Loop* ... 317
18.7.2. *Трехдиапазонная антенна Delta-Loop* ... 317
18.7.3. *Многодиапазонная антенна Delta-Loop HB9ADQ* ... 318
18.8. Вложенные многодиапазонные директорные антенны ... 320
18.8.1. *Двухдиапазонная директорная антенна KH6OR на 20 и 15 м* ... 320
18.8.2. *Двухдиапазонная директорная антенна с вложенными элементами W8FYR на 20 и 15 м* ... 321
18.8.3. *Двухдиапазонная директорная антенна с вложенными элементами W4KFC на 15 и 10 м* ... 321
18.8.4. *Конструкция остронаправленной антенны VK2ABQ* ... 321
18.9. Вложенные трехдиапазонные двойные рамочные антенны ... 324
18.9.1. *Трехдиапазонная рамочная антенна W4NNQ* ... 324
18.9.2. *Трехдиапазонная рамочная антенна CQ-PA* ... 327
18.9.3. *Вантовая трехдиапазонная рамочная антенна* ... 329
18.9.4. *Многодиапазонные рамочные антенны с директорами* ... 332
18.9.5. *Трехдиапазонная антенна типа «птичья клетка»* ... 336

18.10. Прочие многодиапазонные антенны Delta-Loop ... 337
18.10.1. *Вложенные многодиапазонные дельтообразные антенны* ... 337
18.10.2. *Комбинированная многодиапазонная антенна Delta-Loop* ... 338
18.11. Рамка с низким цоколем ... 340
18.12. Логопериодические антенны ... 341
18.12.1. *Введение* ... 341
18.12.2. *Логопериодические вибраторные антенны* ... 341
18.12.3. *Логопериодические директорные антенны* ... 347
18.12.4. *Логопериодические антенны с уголковыми вибраторами* ... 348

19. Коротковолновые антенны вертикальной поляризации ... 351
19.1. Высокочастотное заземление ... 351
19.1.1. *Сеть заземления* ... 352
19.1.2. *Противовес* ... 354
19.2. Параметры вертикальных антенн ... 354
19.3. Свойства излучения вертикальных антенн ... 356
19.4. Конструкции вертикальных антенн с круговым излучением ... 359
19.4.1. *Антенна Groundplane* ... 359
19.4.2. *Вертикальные полуволновые излучатели и вибраторные ряды* ... 372
19.4.3. *Т- и Г-образные антенны вертикальной поляризации* ... 376
19.4.4. *Коаксиальные вертикальные антенны* ... 378
19.4.5. *Двухдиапазонная Т-образная антенна* ... 379
19.5. Вертикально поляризованные антенны для работы в многодиапазонном режиме ... 380
19.5.1. *Многодиапазонные антенны Groundplane с переключаемыми удлиняющими катушками* ... 380
19.5.2. *Переключаемые многодиапазонные вертикальные антенны* ... 383
19.5.3. *Многодиапазонные вертикальные антенны без переключений* ... 386
19.5.4. *Вертикальные многодиапазонные антенны с многодиапазонными контурами* ... 388
19.5.5. *Двухдиапазонная вертикальная антенна W1JF для 30 и 12 м* ... 392
19.6. Вертикально поляризованные кольцевые антенны ... 393
19.6.1. *Антенна DDRR* ... 393
19.6.2. *Полуволновая кольцевая антенна* ... 396
19.7. Вертикально поляризованные широкополосные антенны ... 396
19.7.1. *Вертикальная многодиапазонная антенна T2FD* ... 397
19.7.2. *Диско-конусная антенна* ... 397
19.7.3. *Двухконусные широкополосные антенны* ... 402
19.8. Антенны Delta-Loop вертикальной поляризации ... 403
19.8.1. *Антенна Delta-Loop с концевой емкостью (антенна TLDL)* ... 404
19.8.2. *Половинчатая антенна Delta-Loop* ... 405
19.9. Направленные антенны вертикальной поляризации ... 406
19.9.1. *Двухэлементная вертикальная антенна со сменными элементами* ... 407
19.9.2. *Остронаправленная антенна с быстрой сменой ориентации* ... 408
19.9.3. *Двухэлементная антенна Delta-Loop на 3,5 МГц* ... 409
19.10. Специальные типы антенн ... 412
19.10.1. *Коротковолновые спиральные антенны* ... 412