

# Оглавление

<b>Введение</b> .....	3
<b>Глава 1. Методы расчета характеристик проволочных антенн</b> .....	8
1.1. Общие подходы к расчету характеристик проволочных антенн. Тонкопроволочное приближение.....	8
1.2. Напряженность поля и диаграмма направленности сложной проволочной антенны .....	10
1.2.1. Напряженность поля тонкого провода с током .....	10
1.2.2. Диаграмма направленности тонкого прямолинейного отрезка провода .....	12
1.2.3. Диаграмма направленности прямолинейного провода в режиме стоячей волны тока .....	13
1.2.4. Диаграмма направленности прямолинейного провода в режиме бегущей волны тока .....	13
1.2.5. Диаграмма направленности криволинейного провода с током .....	14
1.3. Электродинамические методы анализа проволочных антенн .....	15
1.3.1. Классификация электродинамических методов анализа проволочных антенн .....	15
1.3.2. Геометрия задачи и интегральные уравнения .....	16
1.3.3. Модели возбуждения проволочной структуры .....	21
1.3.4. Методы решения интегральных уравнений .....	27
1.3.5. Базисы и весовые функции .....	32
1.3.6. Методы численного интегрирования .....	36
1.3.7. Методы решения системы линейных алгебраических уравнений .....	38
1.3.8. Расчет основных характеристик антенн .....	41
Вопросы к главе 1 .....	43
Задания по главе 1 .....	44
<b>Глава 2. Проектирование антенн ВЧ диапазона</b> .....	45
2.1. Особенности проектирования антенн ВЧ диапазона ..	45
2.1.1. Влияние земной поверхности на диаграмму направленности антенны .....	46
2.1.2. Диаграмма направленности вертикального вибратора, расположенного над земной поверхностью .....	49
2.1.3. Диаграмма направленности горизонтального вибратора, расположенного над земной поверхностью .....	51
2.2. Синфазные горизонтальные диапазонные антенны ..	53
2.3. Логопериодические антенны ВЧ диапазона .....	60

2.4. Вибраторные антенны бегущей волны .....	68
2.4.1. Описание антенны и её условные обозначения .....	68
2.4.2. Расчет характеристик антенн бегущей волны .....	71
2.4.3. Выбор параметров антенн бегущей волны .....	75
2.5. Одно- и многопроводные антенны бегущей волны ...	77
2.6. Ромбические антенны ВЧ диапазона .....	81
Вопросы к главе 2 .....	87
Задания по главе 2 .....	87
<b>Глава 3. Проектирование проволочных антенн ОВЧ и УВЧ диапазонов .....</b>	<b>89</b>
3.1. Особенности проектирования антенн ОВЧ и УВЧ диапазонов .....	90
3.2. Антенны типа «волновой канал» (антенны Уда-Яги)	91
3.2.1. Расчет диаграммы направленности и КНД .....	93
3.2.2. Расчет сопротивлений и токов в вибраторах .....	96
3.3. Логопериодические проволочные антенны .....	98
3.4. Антенные решетки на основе симметричных вибраторов .....	101
3.5. Проволочные антенны с рефлекторами .....	107
3.5.1. Вибраторные антенны с плоским рефлектором .....	109
3.5.2. Антенны обратного излучения .....	111
3.5.3. Вибраторные антенны с уголковым рефлектором ...	113
3.6. Зигзагообразные антенны .....	119
3.6.1. Зигзагообразные антенны Харченко .....	119
3.6.2. S-образная антенна .....	122
3.6.3. Биквадратная вибраторная антенна .....	123
3.6.4. Зигзагообразная антенна с разомкнутыми ветвями ..	124
3.6.5. Зигзагообразная антенна с размыканием проводов по углам квадратов .....	126
3.6.6. Удлиненная зигзагообразная антенна .....	128
3.6.7. Двойная зигзагообразная антенна .....	130
3.6.8. Z-образная антенна .....	131
3.6.9. Двойная Z-образная антенна .....	132
3.6.10. Сложные зигзагообразные антенны .....	134
3.7. Ромбические антенны УВЧ диапазона .....	140
3.7.1. Синфазные решетки из ромбических антенн .....	140
3.7.2. Объемная ромбическая и полиромбическая антенны	143
3.7.3. Ромбические антенны с рефлектором .....	147
3.8. Спиральные антенны .....	149
Вопросы к главе 3 .....	153
Задания по главе 3 .....	158
<b>Глава 4. Проектирование щелевых антенн .....</b>	<b>161</b>

4.1. Общие сведения о щелевых антеннах .....	161
4.1.1. Внутренняя и внешняя проводимости щели .....	163
4.1.2. Резонансная длина щели .....	164
4.1.3. Ширина щели .....	165
4.2. Волноводно-щелевые антенны .....	166
4.2.1. Методы расчета волноводно-щелевых антенн .....	169
4.2.2. Согласование с питающим волноводом .....	173
4.2.3. Направленные свойства волноводно-щелевых антенн .....	175
4.2.4. Порядок расчета волноводно-щелевых антенн .....	178
Вопросы к главе 4 .....	179
Задания по главе 4 .....	180
<b>Глава 5. Методы анализа антенн СВЧ .....</b>	<b>181</b>
5.1. Классификация методов анализа антенн СВЧ .....	181
5.2. Диаграмма направленности антенны с плоским излучающим раскрытием .....	184
5.3. Коэффициент направленного действия излучающего раскрытия .....	186
5.4. Диаграмма направленности антенны с раскрытием прямоугольной формы .....	189
5.4.1. Равномерное распределение поля .....	189
5.4.2. Неравномерное амплитудное распределение поля ...	191
5.5. Диаграмма направленности антенны с раскрытием круглой формы .....	195
5.6. Влияние фазовых распределений поля в раскрытии антенны на её диаграмму направленности .....	198
5.6.1. Линейные фазовые ошибки .....	199
5.6.2. Квадратичные фазовые ошибки .....	200
5.6.3. Кубические фазовые ошибки .....	204
5.7. Шумовая температура антенн в режиме приёма .....	205
5.7.1. Яркостная шумовая температура окружающей среды .....	206
5.7.2. Яркостная шумовая температура атмосферы и гладкой земной поверхности .....	207
5.7.3. Учет воздействия шумов окружающей среды на шумовую температуру антенны. Действующая шумовая температура среды .....	208
5.7.4. Упрощения расчета теплового излучения среды ...	214
5.7.5. Шумовая температура для «неровной диффузной» почвы .....	217
5.7.6. Шумовая температура антенн с осесимметричной диаграммой направленности .....	219
Вопросы к главе 5 .....	221
Задания по главе 5 .....	222
<b>Глава 6. Проектирование рупорных и линзовых антенн .....</b>	<b>223</b>

6.1. Рупорные антенны .....	223
6.1.1. Излучение открытого конца волновода .....	224
6.1.2. Принцип действия и типы рупорных антенн .....	227
6.1.3. <i>H</i> -секториальный рупор .....	229
6.1.4. <i>E</i> -секториальный рупор .....	232
6.1.5. Пирамидальный рупор .....	234
6.1.6. Конический рупор.....	235
6.2. Антенные решетки на основе рупорных антенн .....	237
6.3. Рупорно-параболические антенны .....	239
6.4. Линзовые антенны.....	240
6.4.1. Назначение и принцип действия линзовых антенн ...	240
6.4.2. Уравнение профиля линз.....	243
6.4.3. Расчет направленных свойств линзовых антенн .....	245
6.4.4. Ускоряющие металлические линзы .....	247
6.4.5. Ускоряющие линзы из проволочных сеток.....	248
6.4.6. Замедляющие линзы из искусственного диэлектрика	249
6.4.7. Зонирование линз .....	250
6.4.8. Линзы с широким сектором качания луча.....	252
Вопросы к главе 6 .....	255
Задания по главе 6 .....	255
<b>Глава 7. Зеркальные антенны для радиорелейных ли-</b>	
<b>ний связи .....</b>	<b>257</b>
7.1. Требования к антеннам радиорелейных линий (РРЛ)	
связи. Классификация антенн РРЛ.....	257
7.2. Осесимметричные однозеркальные антенны .....	262
7.2.1. Уравнение профиля зеркала .....	262
7.2.2. Геометрические свойства параболоидного зеркала ...	263
7.2.3. Системы координат, используемые при анализе зер-	
кальных антенн.....	263
7.2.4. Геометрические параметры зеркальных антенн.....	265
7.3. Токовый метод расчёта зеркальных антенн.....	265
7.4. Апертурный метод расчёта однозеркальных антенн..	267
7.4.1. Распределение поля в раскрыве .....	267
7.4.2. Расчёт диаграммы направленности антенны.....	270
7.5. Уточнение методов расчёта зеркальных антенн .....	272
7.6. Влияние распределения поля в раскрыве на диаграм-	
му направленности параболоидной антенны.....	276
7.7. Энергетические характеристики однозеркальных ан-	
тенн.....	278
7.7.1. Расчет коэффициента направленного действия и ко-	
эффициента усиления зеркальных антенн.....	279
7.7.2. Оптимизация зеркальной антенны на максимум ко-	
эффициента усиления.....	282

7.7.3. Предельно достижимый коэффициент усиления и точность изготовления зеркальных антенн .....	284
7.8. Неосесимметричные зеркальные антенны .....	288
7.9. Облучатели зеркальных антенн .....	288
7.9.1. Облучатель в виде пирамидального рупора .....	289
7.9.2. Облучатель в виде конического рупора .....	291
7.9.3. Облучатель для управления шириной диаграммы направленности антенны в одной плоскости .....	294
7.9.4. Спиральные облучатели .....	301
Вопросы к главе 7 .....	302
Задания по главе 7 .....	303
<b>Глава 8. Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи .....</b>	<b>304</b>
8.1. Основные требования к антеннам земных станций спутниковой связи (ЗССС). Диапазоны частот .....	304
8.2. Шумовая температура и шумовая добротность антенн ЗССС .....	308
8.2.1. Зоны земной поверхности, существенно влияющие на шумовую температуру зеркальных антенн .....	312
8.2.2. Предельные значения шумовой добротности земных станций .....	316
8.2.3. Шумовые температуры и шумовые добротности земных станций спутниковой связи с антеннами малого размера .....	320
8.2.4. Технические возможности уменьшения шумовой температуры антенн. Оптимизация приёмной системы на максимум шумовой добротности .....	321
8.3. Учет дифракционных эффектов на кромках зеркал антенны .....	323
8.4. Облучатели антенн ЗССС .....	327
8.4.1. Конический ребристый рупор .....	328
8.4.2. Конический рупор с изломом линейной образующей .....	332
8.5. Волноводный тракт антенн ЗССС .....	333
8.6. Малошумящие усилители ЗССС .....	335
8.7. Опорно-поворотные устройства антенн ЗССС .....	338
Вопросы к главе 8 .....	340
Задания по главе 8 .....	341
<b>Глава 9. Несимметричные однозеркальные антенны типа офсет для РРЛ и ССС .....</b>	<b>342</b>
9.1. Особенности расчёта антенн с вынесенным облучателем .....	342
9.2. Расчёт направленных свойств офсетных параболических антенн .....	344

9.3. Геометрия параболической антенны с вынесенным облучателем и её диаграмма направленности . . . . .	347
9.4. Учёт диаграммы направленности облучателя . . . . .	353
9.5. Шумовая температура и шумовая добротность неосесимметричных антенн . . . . .	355
Вопросы к главе 9 . . . . .	359
Задания по главе 9 . . . . .	359
<b>Глава 10. Двухзеркальные антенны для земных станций спутниковой связи . . . . .</b>	<b>360</b>
10.1. Двухзеркальные осесимметричные антенны . . . . .	360
10.1.1. Схемы и принцип действия двухзеркальных антенн . . . . .	360
10.1.2. Расчёт направленных свойств . . . . .	361
10.2. Модификация формы поверхности двухзеркальных антенн . . . . .	364
Вопросы к главе 10 . . . . .	367
Задания по главе 10 . . . . .	367
<b>Глава 11. Многолучевые зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи . . . . .</b>	<b>368</b>
11.1. Особенности использования многолучевых антенн . . . . .	368
11.2. Торoidalные многолучевые антенны . . . . .	370
11.3. Геометрия тороидальной однозеркальной антенны с вынесенным облучением . . . . .	372
11.4. Направленные свойства МЛА . . . . .	375
11.5. Многолучевые двухзеркальные антенны . . . . .	376
11.5.1. Форма зеркал двухзеркальной антенны . . . . .	376
11.5.2. Расчет направленных свойств . . . . .	379
11.5.3. Основные энергетические характеристики . . . . .	383
11.5.4. Шумовая температура и шумовая добротность . . . . .	385
11.5.5. Двухзеркальная МЛА диапазона $C$ . . . . .	386
11.6. Многолучевая зеркальная антенна для работы со спутниками на краю видимого сектора ГСО . . . . .	387
11.6.1. Однозеркальная ненаклонная МЛА . . . . .	388
11.6.2. Алгоритм расчета диаграммы направленности однозеркальной ненаклонной МЛА . . . . .	390
11.6.3. Наведение парциальных лучей на выбранные ИСЗ . . . . .	391
11.6.4. Определение расстояний от облучателя до точек зеркала . . . . .	394
11.6.5. Диаграммы направленности облучателя . . . . .	395
11.6.6. Распределение амплитуд поля в раскрытии антенны . . . . .	396
11.6.7. Фазовое распределение поля в раскрытии антенны . . . . .	396
11.6.8. Диаграмма направленности антенны . . . . .	397

11.6.9. Двухзеркальная ненаклонная МЛА .....	397
Вопросы к главе 11 .....	400
Задания по главе 11 .....	401
<b>Глава 12. Бортовые многолучевые гибридные зеркаль-</b>	
<b>ные антенны для спутников связи .....</b>	<b>402</b>
12.1. Многостанционный доступ с помощью частотного, пространственного и поляризационного разделения с многолучевыми антеннами .....	402
12.2. Бортовые гибридные зеркальные антенны для спутниковых систем связи с сотовой конфигурацией зон обслуживания .....	405
12.2.1. Геометрические соотношения .....	407
12.2.2. Расфазировка поля в раскрыве от облучателей, вынесенных из фокуса .....	409
12.2.3. Парциальные диаграммы направленности .....	411
12.3. Расчёт зон покрытия земной поверхности .....	414
12.3.1. Ориентация парциальных диаграмм антенны .....	414
12.3.2. Определение зон покрытия бортовой антенны .....	418
12.4. Расчёт зон покрытия земной поверхности с учетом ослабления радиоволн в атмосфере .....	421
12.4.1. Модель Земли .....	421
12.4.2. Модель геостационарной орбиты .....	422
12.4.3. Системы координат, используемые при расчёте .....	423
12.4.4. Модель радиотрассы спутник-Земля .....	425
12.4.5. Модель бортовой антенны .....	428
Вопросы к главе 12 .....	429
Задания по главе 12 .....	430
<b>Глава 13. Проектирование антенн бегущих волн и микрополосковых антенн .....</b>	<b>431</b>
13.1. Антенны поверхностных волн .....	431
13.1.1. Замедляющие структуры и поверхности .....	433
13.1.2. Стержневые антенны .....	449
13.1.3. Плоские антенны поверхностных волн .....	454
13.1.4. Дисковые антенны поверхностных волн .....	457
13.2. Антенны вытекающей волны .....	459
13.3. Микрополосковые антенны .....	470
Вопросы к главе 13 .....	479
Вопросы к главе 13 .....	480
Список сокращений .....	481
Список обозначений .....	483
Литература .....	486