

В. А. Неганов

Д. С. Ключев

Д. П. Табаков

УСТРОЙСТВА СВЧ И АНТЕННЫ

Теория и техника
антенн



URSS

**Неганов Вячеслав Александрович,
Клюев Дмитрий Сергеевич,
Табаков Дмитрий Петрович**

**Устройства СВЧ и антенны. Ч. II: Теория и техника антенн / Под ред.
В. А. Неганова. — М.: ЛЕНАНД, 2014. — 728 с.**

В первой части настоящего учебника были рассмотрены методы проектирования и конструктивной реализации устройств СВЧ: линий передачи различных видов, резонаторов, фильтров, фазовращателей, аттенюаторов, тройниковых соединений, направленных ответвителей, различных мостовых соединений, ферритовых устройств (вентилей, циркуляторов, фазовращателей) и СВЧ-устройств на полупроводниковых диодах. Приведены примеры применения устройств СВЧ в радиосвязи, радиолокации, измерительной аппаратуре и т. д.

Во второй части рассматриваются основные разделы теории и техники антенн. Освещаются вопросы расчета и конструирования различных типов антенн (от вибраторных до рупорных и антенных решеток, включая фазированные). Основное внимание уделяется антеннам СВЧ и расчетам их электромагнитных полей в ближней зоне, что очень важно при решении задач электромагнитной совместимости.

В книгу вошел оригинальный материал, полученный авторами. В частности, описан самосогласованный метод расчета электромагнитного поля антенн, позволяющий осуществлять непрерывный переход от поля на излучающей поверхности антенны к полю вне ее и обратно. Этот метод еще называется методом физической регуляризации.

Учебник предназначен для студентов специальностей: 210400 «Радиотехника» и 210601 «Радиоэлектронные системы и комплексы». Может быть использован разработчиками СВЧ-аппаратуры и антенно-фидерных устройств.

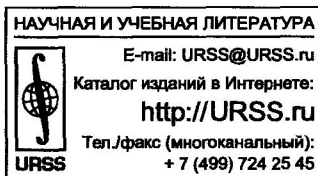
ISBN 978-5-9710-0632-9

© ЛЕНАНД, 2013

14725 ID 175944



9 785971 006329



Содержание

Предисловие.....	3
Список основных сокращений.....	7
Список основных обозначений.....	8

Глава 15. Назначение и классификация антенн10

15.1. Основные понятия теории антенн.....	10
15.2. Структурная схема однолучевой антенны	28
15.3. Многолучевые антенны.....	30
15.3.1. Классификация и схемы построения.....	30

Глава 16. Электродинамические основы теории антенн.....36

16.1. Передающая и приемная антенны.....	36
16.2. Средний баланс энергии и эквивалентные схемы приемной и передающей антенн.....	41
16.3. Расчёт электромагнитных полей, создаваемых заданными электрическими и магнитными токами в однородной изотропной среде.....	46
16.3.1. Уравнения Гельмгольца и электродинамические потенциалы.....	46
16.3.2. Решение векторного уравнения Гельмгольца. Функции Грина.....	47
16.4. Электрические и магнитные волны в безграничной среде.....	49
16.4.1. Электрические и магнитные волны в декартовой системе координат.....	49
16.4.2*. Электрические и магнитные волны в цилиндрической системе координат.....	50
16.4.3*. Электрические и магнитные волны в сферической системе координат.....	52
16.5. Расчёт электромагнитных полей излучающих систем в дальней, промежуточной и ближней областях.....	53
16.5.1. Дальняя зона.....	55
16.5.2. Промежуточная область (зона Френеля).....	57
16.5.3. Ближняя зона.....	58
16.6. Излучение электромагнитных волн элементарными излучателями.....	59

16.6.1. Роль теории элементарных излучателей при определении поля излучения антенн	59
16.6.2. Элементарный электрический вибратор (диполь Герца)	59
16.6.3. Элементарный магнитный излучатель	62
16.6.4*. Элементарная рамка	64
16.6.5*. Элементарный щелевой вибратор (ЭЩВ)	67
16.6.6. Элементарный излучатель Гюйгенса	68
16.7. Некоторые теоремы электродинамики, применяемые в теории антенн	71
16.7.1. Теорема взаимности	71
16.7.2. Принцип двойственности	72
16.7.3. Теорема перемножения при анализе диаграммы направленности системы из дискретных излучателей, одинаково ориентированных в пространстве	73
16.7.4. Множитель направленности для непрерывного распределения электромагнитных источников плоского излучающего раскрытия	76
16.8*. Самосогласованная постановка задач расчета полей излучающих систем	77
16.8.1. Тонкопроволочное приближение электрического вибратора	77
16.8.2. Самосогласованная физическая модель электрического вибратора	79
16.8.3. Сингулярное интегральное представление электромагнитного поля	81
16.8.4. Сингулярное интегральное уравнение	82
16.8.5. Диполь Герца	83

Глава 17. Электрические параметры

антенн

88

17.1. Векторная комплексная диаграмма направленности (ДН) антенны	88
17.1.1. Амплитудная диаграмма направленности	89
17.1.2*. Изображение ДН в пространстве	91
17.1.3. Поляризационные свойства; поляризационный базис	95
17.1.4. Фазовая характеристика антенны	104
17.2. Коэффициенты направленного действия и усиления антенны	106
17.2.1 Коэффициент направленного действия (КНД)	106

17.2.2*.	Коэффициент усиления (КУ).....	107
17.2.3.	Расчет КНД.....	108
17.2.4.	КНД диполя Герца и излучателя Гюйгенса по отношению к изотропному излучателю.....	109
17.3.	Сопротивление излучения.....	109
17.3.1.	Закон сохранения энергии электромагнитного поля в применении к передающим антеннам.....	109
17.3.2.	Мощность излучения антенн.....	109
17.3.3.	Метод интегрирования вектора Умова-Пойнтинга.....	110
17.3.4.	Сопротивление излучения.....	111
17.4.	Входное сопротивление.....	112
17.4.1.	Эквивалентная схема антенны по входному сопротивлению.....	112
17.4.2.	Коэффициент согласования передающей антенны.....	114
17.5.	Коэффициент полезного действия антенны.....	114
17.6*.	Электрическая прочность и высотность антенн.....	115
17.6.1.	Электрическая прочность.....	115
17.6.2.	Высотность антенно-фидерного устройства.....	115
17.7*.	Действующая длина передающей антенны.....	116
17.8*.	Диапазонные свойства передающих антенн.....	118
17.9*.	Некоторые дополнительные связи между параметрами передающей антенны.....	119
17.9.1.	Связь между КНД, действующей длиной и сопротивлением излучения.....	119
17.9.2.	Теорема подобия.....	119
17.10.	Электрические параметры приемных антенн.....	120
17.10.1.	Эквивалентная схема приемной антенны.....	120
17.10.2.	Основные электрические параметры приемной антенны.....	121
17.10.3.	Применение принципа взаимности для расчета параметров антенн.....	124
17.11*.	Энергетические соотношения в цепи приемной антенны и влияние приемной антенны на помехозащищенность радиолинии.....	128
17.11.1.	Режим сильного сигнала в радиолиниях.....	128
17.11.2.	Режим слабого сигнала в радиолиниях.....	132
17.11.3.	Эффективная шумовая температура антенны.....	134
17.12.	Поляризационные характеристики приемных антенн.....	138
17.13*.	Параметры электромагнитной совместимости антенн.....	141

Глава 18. Электрические симметричные вибраторы.....	143
18.1. Классическая постановка задачи о распределении тока по тонкому вибратору. Уравнение Поклингтона.....	143
18.1.1. Интегральное уравнение Халлена-Неганова.....	146
18.2*. Сингулярные интегральные уравнения в теории трубчатых электрических вибраторов.....	148
18.2.1. Самосогласованная физическая модель трубчатого электрического вибратора.....	148
18.2.2. Сингулярное интегральное уравнение для трубчатого вибратора.....	149
18.2.3. Метод решения сингулярного интегрального уравнения.....	153
18.3*. Сингулярное интегральное представление (СИП) электромагнитного поля электрического вибратора.....	155
18.3.1 Сингулярное интегральное представление электромагнитного поля.....	156
18.3.2. Сингулярное интегральное уравнение.....	160
18.3.3. Выражения для составляющих ЭМП, полученные традиционным методом.....	161
18.3.4. Сравнение самосогласованного метода с традиционным подходом.....	163
18.4*. Распределение тока по электрическому вибратору (анализ при самосогласованном подходе).....	163
18.4.1. Распределения поверхностной плотности тока.....	163
18.4.2. Расчет входного сопротивления.....	166
18.4.3. Электромагнитное поле излучения полуволнового электрического вибратора.....	167
18.5*. Криволинейный полосковый вибратор, расположенный на цилиндрической поверхности.....	170
18.5.1. Постановка задачи. Физическая модель вибратора.....	170
18.5.2. Сингулярное интегральное уравнение.....	171
18.5.3. Решение сингулярного интегрального уравнения.....	172
18.5.4. Расчет амплитудной диаграммы направленности криволинейного полоскового вибратора в азимутальной плоскости.....	172
18.6. Приближенное распределение тока по электрическому вибратору, используемое при расчете его характеристик в дальней зоне.....	174
18.7. Электрические параметры прямолинейного симметричного вибратора в дальней зоне.....	177

18.7.1. Напряженность электрического поля, создаваемого симметричным вибратором.....	177
18.7.2. Диаграмма направленности симметричного вибратора.....	179
18.7.3. КНД симметричного вибратора.....	180
18.7.4. Действующая длина симметричного вибратора.....	180
18.7.5. Сопротивления излучения симметричного вибратора.....	181
18.7.6. Входное сопротивление симметричного вибратора.....	182
18.7.7. Настройка и диапазонность симметричных вибраторов. Широкополосные вибраторы. Настройка в резонанс.....	188
18.8*. Петлевой вибратор Пистолькорса.....	193
18.9. Особенности применения симметричных вибраторов.....	196

Глава 19. Кольцевые (рамочные) антенны.....201

19.1. Введение.....	201
19.1.1. Типы кольцевых (рамочных) антенн.....	201
19.1.2. Электрические параметры в дальней зоне электрически малой рамочной антенны.....	201
19.1.3*. Рамки с магнитным сердечником.....	203
19.1.4*. Экранированные рамки.....	206
19.1.5. Питание рамочных антенн.....	208
19.1.6*. Радиодевияция рамочных антенн летательных аппаратов.....	208
19.2. Электрические параметры кольцевых антенн, размеры которых сравнимы с длиной волны, в дальней зоне.....	209
19.2.1. Вывод общих выражений для поля излучения.....	209
19.2.2. Кольцевые синфазные равноамплитудные антенны.....	211
19.2.3. Диаграмма направленности кольцевой синфазной равноамплитудной антенны.....	212
19.2.4. Сопротивление излучения.....	214
19.2.5. Коэффициент направленного действия.....	214
19.3*. Применение сингулярных интегральных уравнений для электродинамического анализа кольцевой антенны.....	215
19.3.1. Постановка задачи. Физические и математические модели антенн.....	216
19.3.2. Бесконечная система сингулярных интегральных уравнений.....	219
19.3.3. Метод решения системы сингулярных интегральных уравнений.....	220

19.3.4. Определение входного сопротивления антенн	221
19.3.5. Анализ распределений поверхностных плотностей токов	223
19.3.6. Диаграммы направленности кольцевых антенн с учетом распределений тока по кольцу	226

Глава 20. Несимметричные вибраторные антенны.....231

20.1. Классификация, типы несимметричных антенн	231
20.1.1. Несимметричные вибраторы со смещенными клеммами	231
20.1.2. Разноплечий вибратор с питанием в середине	233
20.1.3. Вертикальный вибратор над экраном конечных размеров	234
20.2. Несимметричные антенны и метод зеркальных изображений	235
20.2.1. Основные параметры несимметричных антенн	235
20.2.2. Расчет поля и ДН несимметричной антенны	235
20.2.3. КНД несимметричной антенны	236
20.2.4. Действующая длина несимметричной антенны	236
20.2.5. Сопротивление излучения и входное сопротивление несимметричной антенны	237
20.2.6*. Эквивалентная высота горизонтальной части антенны	239
20.2.7*. Несимметричные короткие антенны	239
20.2.8. Учет фазы тока в зеркальном изображении	240
20.3*. Широкополосные несимметричные вибраторы и антенны	242
20.3.1. Дisko-конусная антенна	242
20.4. Диаграммы направленности антенны с учетом влияния земли. Несимметричный вибратор	245
20.5. Особенности применения несимметричных антенн	251
20.5.1. Схемы питания несимметричных антенн	251
20.5.2*. Влияние конечной проводимости земли	253

Глава 21. Антенные решетки.....255

21.1. Антенные решетки и их классификация	255
21.1.1. Методы расчета характеристик антенных решеток	260
21.2. Излучение линейной синфазной решетки	261
21.3. Линейные АР с равноамплитудным возбуждением и линейным изменением фазы	268

21.3.1. Множитель системы линейной АР	268
21.3.2. Режим нормального излучения ($\psi = 0$).....	270
21.3.3. Режим наклонного излучения ($0 < \psi < kd$).....	275
21.3.4. Режим осевого излучения.....	277
21.4*. Влияние неравномерности амплитудного распределения на ДН линейной АР.....	282
21.5*. Влияние фазовых искажений на ДН линейной решетки.....	284
21.6. Излучение двух связанных вибраторов.....	287
21.6.1. Направленные свойства системы из двух связанных вибраторов.....	287
21.6.2. Метод наведенных ЭДС. Сопротивления излучения и входные сопротивления связанных вибраторов.....	290
21.6.3. Расчет наведенного и полного сопротивлений излучения.....	296
21.6.4. Расчет тока в пассивных вибраторах.....	297
21.7*. Обобщение метода сингулярных интегральных уравнений для связанных вибраторов.....	298
21.7.1. Физическая и математическая модели системы из двух трубчатых электрических вибраторов.....	298
21.7.2. Анализ системы двух одинаковых трубчатых электрических вибраторов.....	300
21.7.3. Сравнение метода СИУ и метода наведенных ЭДС для расчета входных собственных и взаимных сопротивлений системы двух одинаковых трубчатых электрических вибраторов.....	301
21.7.4. Электродинамический анализ линейной антенной решетки, состоящей из одинаковых полуволновых вибраторных антенн.....	305
21.8 Директорные антенны (антенны типа "волновой канал").....	306
21.9*. Скрещенные вибраторы с вращающейся поляризацией.....	309
21.9.1. Скрещенные вибраторы.....	311
21.9.2. Пример построения многоэтажной турникетной телевизионной передающей антенны из решетки плоскостных шунтовых вибраторов.....	315
21.10. Коэффициент направленного действия линейных АР.....	317
21.11. Понятие о непрерывном линейном излучателе.....	320
21.12. Плоские антенные решетки.....	322

21.13*. Излучение плоской и пространственной синфазных решеток.....	328
21.14. Решетка с линейным набегом фазы. Антенны с электрическим сканированием	331
21.15*. Антенные решетки с неравноамплитудным распределением.....	336
21.16*. Неэквидистантные антенные решетки.....	339
21.17. Понятие о синтезе антенны по заданной диаграмме направленности.....	342
21.17.1. Задача синтеза антенны.....	342
21.17.2. Приближенный синтез антенны	344
21.17.3*. «Сверхнаправленность».....	344
21.17.4. Классификация основных задач параметрического синтеза распределительных и излучающих систем	345
21.18. Антенны бегущей волны и ДН линейной антенны.....	346
21.19. Коэффициент направленного действия антенны бегущей волны.....	353
21.20*. Полосковые антенны типа «волновой канал» Уда-Яги и антенные решетки.....	355

Глава 22. Щелевые антенны.....356

22.1. Классификация щелевых антенн и их расчет с помощью принципа двойственности	356
22.1.1. Типы щелевых антенн	356
22.1.2. Принцип двойственности.....	357
22.1.3. Поле излучения прямолинейной щелевой антенны.....	358
22.1.4. Проводимость прямолинейной щелевой антенны.....	360
22.1.5. Способы возбуждения прямолинейной щелевой антенны	342
22.2*. Излучение щелей, прорезанных в металлических телах конечных размеров.....	344
22.2.1. Метод поверхностных токов.....	365
22.3. Волноводно-щелевые антенны	370
22.3.1. Возбуждение щелей в волноводе.....	370
22.3.2. Диаграммы направленности одиночной полуволновой щели.....	372
22.3.3*. Эквивалентные параметры щелей в волноводе.....	372
22.3.4*. Многощелевые антенны.....	374
22.3.5. Диаграммы направленности многощелевой антенны.....	376

22.3.6. Эквивалентные схемы многоцелевых антенн	377
22.3.7*. Щелевые антенны и антенные решетки. Антенна Вивальди	378
22.4*. Применение метода сингулярных интегральных уравнений для расчета дифракции плоской электромагнитной волны на прямоугольном отверстии в идеально проводящей плоскости	379
22.4.1. Постановка задачи. Сингулярное интегральное представление (СИП) электромагнитного поля	380
22.4.2. Метод решения двумерного сингулярного интегрального уравнения	383
22.4.3. Численный анализ. Сравнение полученных результатов с дифракцией Френеля	386
Глава 23. Антенны бегущей волны	389
23.1. Излучение прямолинейного провода с бегущей волной тока	390
23.1.1. Диаграмма направленности линейного непрерывного излучателя	390
23.1.2. Коэффициент направленного действия антенны бегущей волны	397
23.2*. Ромбическая антенна	398
23.2.1. Принцип действия	398
23.2.2. Диаграммы направленности	398
23.2.3. Коэффициент полезного действия	400
23.3. Спиральные антенны	401
23.3.1. Классификация и типы спиральных антенн	401
23.3.2. Теория регулярной цилиндрической спиральной антенны	402
23.3.3. Цилиндрическая спиральная антенна как линейная решетка	407
23.3.4. Решетки из нескольких идентичных спиралей	411
23.3.5. Плоские спиральные антенны	411
23.3.6*. Коническая спиральная антенна	416
23.3.7*. Коническая логарифмическая спиральная антенна	416
23.4*. Применение сингулярных интегральных уравнений к электродинамическому анализу цилиндрической спиральной антенны	419
23.4.1. Самосогласованный подход к решению задачи	419
23.4.2. Сингулярное интегральное уравнение	421

23.4.3. Численный анализ цилиндрической спиральной антенны.....	424
23.5. Антенны поверхностных волн.....	431
23.5.1. Основные типы антенн поверхностных волн.....	431
23.5.2. Импедансные антенны.....	433
23.5.3*. Импедансные антенны с гофрированными металлическими структурами.....	437
23.5.4. Антенны вытекающей волны.....	442
23.5.5. Диэлектрические стержневые антенны поверхностных волн. Стержневая диэлектрическая антенна.....	444
23.5.6. Ребристо-стержневая антенна.....	447
23.5.7*. Дисковые антенны поверхностных волн.....	448
23.5.8. Применение антенн поверхностных волн.....	449

Глава 24. Антенны СВЧ в интегральном исполнении.....450

24.1. Классификация печатных полосковых антенн.....	452
24.1.1. Классификация ППА по форме излучающего элемента.....	452
24.1.2. Классификация ППА по виду подстилающей диэлектрической структуры.....	453
24.1.3. Классификация ППА по форме геометрического тела, на котором располагается ППА.....	453
24.1.4. Классификация ППА по способу возбуждения излучающего элемента.....	453
24.2. Полосковые печатные антенны прямоугольной и круглой формы.....	454
24.3*. Печатные резонаторные излучатели для формирования излучения круговой поляризации.....	461
24.4*. Печатные антенные решетки.....	463
24.5*. Применение метода СИУ к расчету микрополосковых антенн.....	466
24.5.1. Постановка задачи. Физическая модель излучателя.....	466
24.5.2. Сингулярное интегральное представление электромагнитного поля.....	470
24.5.3. Сингулярное интегральное уравнение.....	472
24.5.4. Численные результаты.....	474

Глава 25. Частотно-независимые антенны.....477

- 25.1. Принципы построения частотно-независимых антенн..... 477
 25.2. Частотно-независимые спиральные антенны..... 480
 25.3. Логопериодические антенны 484

**Глава 26. Излучающие плоские раскрывы
апертурных антенн.....490**

- 26.1. Внутренняя и внешняя задачи теории
апертурных антенн СВЧ..... 490
 26.2. Внешняя задача излучения плоского раскрыва
(апертуры) антенн СВЧ..... 496
 26.3. Излучение прямоугольной и круглой площадок
при разных амплитудных распределениях поля 499
 26.3.1. Диаграммы направленности прямоугольной
и круглой площадок..... 502
 26.4*. Влияния фазовых искажений
на излучение площадки..... 506
 26.4.1. Линейное изменение фазы 507
 26.4.2. Квадратичное изменение фазы..... 508
 26.4.3. Изменение фазы поля по кубическому закону 509
 26.4.4. Случайные фазовые ошибки 510
 26.5. Коэффициент направленного действия
и эффективная поверхность площадок..... 512
 26.5.1. Площадка произвольной формы
с равноамплитудным синфазным распределением поля..... 513
 26.5.2. Прямоугольная площадка с косинусоидальным
изменением амплитуды синфазного поля..... 513
 26.6. Сравнение множителей направленности
плоского раскрыва различной формы..... 517
 26.6.1. Множитель направленности раскрыва
прямоугольной формы 517
 26.6.2. Множитель направленности круглого раскрыва..... 520
 26.7. Метод эквивалентного линейного излучателя
в анализе плоского раскрыва 521
 26.7.1. Круглый раскрыв..... 521
 26.7.2. Квадратный раскрыв..... 522

**Глава 27. Волноводные излучатели
и рупорные антенны.....523**

- 27.1. Излучение из открытого конца волновода 523

27.1.1. Прямоугольный волновод.....	524
27.1.2*. Круглый волновод.....	526
27.1.3. Оценка открытых волноводов как антенн.....	528
27.2. Электромагнитные рупоры.....	529
27.2.1. Типы электромагнитных рупоров и методы их анализа.....	529
27.2.2. Способы уменьшения длины рупора.....	531
27.2.3. Применение рупорных антенн.....	532
27.3. Рупорные антенны.....	534
27.3.1. Н-плоскостной секториальный рупор.....	534
27.3.2. Е-плоскостной секториальный рупор.....	540
27.3.3. Пирамидальный рупор.....	542
27.3.4. Упрощенный расчет поля излучения рупоров с прямоугольным раскрытием.....	543
27.3.5*. Конический рупор.....	545
27.3.6. Расчет рупорных антенн.....	546

Глава 28. Зеркальные антенны.....548

28.1. Принцип действия зеркальных антенн и элементы их конструкции.....	548
28.1.1. Принцип действия зеркальных антенн.....	548
28.1.2. Зеркало.....	548
28.1.3. Облучатель.....	550
28.1.4. Анализ и синтез зеркальных антенн.....	551
28.1.5. Области применения зеркальных антенн.....	551
28.2. Геометрические характеристики параболических антенн.....	552
28.2.1. Профиль зеркала.....	552
28.2.2. Геометрические характеристики зеркала.....	552
28.2.3. Отражающие поверхности.....	554
28.3. Цилиндропараболические антенны.....	554
28.3.1. Конструктивная схема.....	554
28.3.2. Основные типы облучателей цилиндропараболических антенн.....	554
28.3.3. Распределение амплитуд поля в раскрытии.....	556
28.3.4. Диаграммы направленности.....	557
28.3.5. Коэффициент направленного действия.....	558
28.3.6. Коэффициент усиления.....	558
28.3.7. Оптимальный облучатель и оптимальный угол раскрытия.....	559
28.4. Антенна с зеркалом в виде параболоида вращения (параболическая антенна).....	561

28.4.1. Конструктивная схема.....	561
28.4.2. Основные типы точечных облучателей.....	561
28.4.3. Распределение амплитуд поля в раскрыве параболоида вращения.....	563
28.4.4. Диаграмма направленности параболической антенны.....	564
28.4.5. КИП и коэффициент перехвата.....	564
28.4.6. Выигрыш.....	565
28.5* Антенны с зеркалом в виде вырезки из парабоида вращения.....	565
28.5.1. Зеркала в виде вырезов из парабоида вращения....	565
28.5.2. Симметрично-усеченный парабоид.....	565
28.5.3. Несимметричные вырезки из парабоида вращения.....	566
28.5.4. Облучатели антенн с зеркалом в виде вырезки из парабоида вращения.....	566
28.5.5. Распределение амплитуд поля в раскрыве.....	566
28.5.6. Диаграммы направленности, КНД и КУ.....	566
28.6* Двухзеркальные и многозеркальные антенны.....	567
28.6.1. Конструктивная схема простейшей двухзеркальной антенны.....	567
28.6.2. Основные схемы двухзеркальных антенн.....	567
28.6.3. Диаграмма направленности осесимметричной зеркальной антенны.....	568
28.6.4. Двухзеркальная антенна с большим плоским зеркалом.....	569
28.6.5. Отражатель с поворотом плоскости поляризации на 90°	570
28.7* Зеркальные антенны с диаграммой направленности специальной формы.....	571
28.7.1. Диаграмма направленности специальной формы.....	571
28.7.2. Антенны самолетных радиолокационных бомбоприцелов.....	571
28.7.3. Антенны наземных РЛС обнаружения и целеуказания.....	572
28.8* Технические допуски на размеры зеркальных антенн при изготовлении и в процессе эксплуатации.....	574
28.8.1. Точность изготовления зеркальных антенн.....	574
28.8.2. Отклонение поверхности зеркала от расчетной.....	574
28.8.3. Смещение облучателя из фокуса вдоль оптической оси.....	575

28.8.4. Вынос облучателя из фокуса перпендикулярно оптической оси.....	576
28.9*. Диапазонные свойства зеркальных антенн.....	578
28.9.1. Ширина полосы частот зеркальной антенны.....	578
28.9.2. Диапазонность по согласованию.....	578
28.9.3. Диапазонность зеркальных антенн по направлению излучателя.....	579
28.10*. Расчет характеристик зеркальных антенн методом гиперсингулярных интегральных уравнений.....	580
28.10.1. Постановка задачи. Система гиперсингулярных интегральных уравнений.....	581
28.10.2. Электродинамический анализ зеркальной антенны с рефлектором в виде параболического цилиндра.....	588
Глава 29. Линзовые антенны	594
29.1. Основные типы линзовых антенн.....	594
29.2. Уравнение профиля и толщина линзы.....	597
29.2.1. Замедляющие линзы.....	597
29.2.2. Ускоряющие линзы.....	598
29.2.3. Смещение облучателя.....	598
29.3. Распределение амплитуд поля в раскрыве.....	599
29.3.1. Замедляющие линзы.....	599
29.3.2. Ускоряющие линзы.....	601
29.4*. Зонирование линз.....	602
29.4.1. Замедляющие линзы.....	603
29.4.2. Ускоряющие линзы.....	603
29.5*. Отражение электромагнитных волн от поверхностей линз и меры по его уменьшению.....	604
29.6. Диэлектрические линзы.....	605
29.7. Металлопластинчатые линзы.....	607
29.8. Металлодиэлектрические линзы.....	609
29.9*. Металловоздушные (геодезические) линзы.....	610
29.9.1. Направляющие устройства.....	610
29.9.2. Структура электромагнитного поля.....	611
29.9.3. Вариант металловоздушной линзы.....	611
29.10*. Линзы с переменным коэффициентом преломления (неоднородные линзы).....	612
29.10.1. Неоднородная линза.....	612
29.10.2. Линза Люнеберга.....	613
29.10.3. Модифицированная линза Люнеберга.....	614

Глава 30. Фазированные антенные решетки615

30.1. Общие сведения о фазированных антенных решетках. Схемы построения. Элементная база.....	615
30.1.1. Схемы построения ФАР.....	616
30.1.2. Фазовращатели для ФАР.....	618
30.1.3. Излучатели для ФАР.....	620
30.1.4. Многолучевые и совмещенные ФАР.....	621
30.2*. Пространственно-временная обработка сигнала в антенных системах.....	622
30.3. Основные особенности сканирования.....	627
30.3.1. Одномерное сканирование.....	627
30.3.2. Двумерное сканирование.....	628
30.3.3. Искажения главного лепестка.....	628
30.3.4. Сектор сканирования и число управляющих элементов ФАР.....	629
30.3.5. Полоса пропускания ФАР.....	630
30.3.6. Наибольшая допустимая частота сканирования.....	632
30.4. Антенные решетки с фазовым сканированием.....	633
30.4.1. Фидерное питание.....	633
30.4.2. Пространственное питание.....	634
30.4.3. Плавное изменение сдвига фаз.....	635
30.4.4. Дискретное изменение сдвига фаз.....	637
30.4.5. Характеристики управления и общетехнические характеристики.....	641
30.5*. Антенны с частотным сканированием.....	643
30.6. Линейная решетка СВЧ-излучателей.....	647
30.7*. Многолучевые и совмещенные антенные решетки.....	652
30.8*. Активные ФАР.....	657
30.9. Антенные решетки с обработкой сигнала.....	658
30.9.1. Методы обработки сигнала.....	658
30.9.2. Корреляционные (мультипликативные) антенны.....	658
30.9.3. Антенная система с логическим синтезом.....	659
30.10. Основные применения многолучевых антенн.....	660

Глава 31*. Обтекатели антенн и покрытия объектов, снижающие их радиолокационную видимость.....669

31.1. Обтекатели антенн.....	669
------------------------------	-----

31.1.1. Классификация обтекателей.....	670
31.1.2. Требования, предъявляемые к обтекателям.....	670
31.1.3. Материалы обтекателей.....	671
31.1.4. Особенности конструкций обтекателей.....	672
31.1.5. Выбор структуры стенок обтекателей.....	675
31.1.6. Армированные обтекатели.....	679
31.1.7. Влияние обтекателя на диаграмму направленности антенны.....	679
31.2. Покрытия объектов, снижающие их радиолокационную видимость.....	681
31.2.1. Дифракция плоской электромагнитной волны на идеально проводящем разомкнутом кольце.....	681
31.2.2. Малоотражающее конформное покрытие.....	682

Глава 32. Измерение параметров и характеристик излучения антенн.....688

32.1. Измерение диаграммы направленности.....	688
32.1.1. Метод полигонных (лабораторных) измерений в дальней зоне.....	689
32.1.2*. Метод облета антенны по заданной траектории и астрономический метод измерения.....	691
32.1.3. Коллиматорный и голографический методы измерений.....	692
32.1.4. Измерение диаграммы направленности антенны на моделях.....	693
32.2. Измерение коэффициента усиления антенны.....	694

Список литературы.....696