

О.П. Фролов
В.П. Вальд

Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи

Москва
Горячая линия – Телеком
2012

УДК 621.396.67
ББК 32.845
Ф91

Фролов О. П., Вальд В. П.

Ф91 Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи. – М.: Горячая линия–Телеком, 2012. – 496 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-7002-1.

Изложены основные вопросы по проблематике зеркальных антенн для земных станций спутниковой связи (ЗССС): взаимосвязь параметров антенн и параметров систем спутниковой связи, методы расчетов зеркальных антенн, практически исчерпывающая информация об облучателях антенн, вопросы влияния конструктивных элементов антенны на ее характеристики излучения, оценка характеристик излучения зеркальных антенн в ближней зоне, методы измерения параметров антенн для ЗССС.

Для специалистов по спутниковой связи и антенной технике, может быть полезна студентам и аспирантам, специализирующимся в области антенной техники.

ББК 32.845

Адрес издательства в Интернет www.techbook.ru

Справочное электронное издание

Фролов Олег Павлович, Вальд Валерий Павлович
ЗЕРКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ
ДЛЯ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Редактор Ю. Н. Чернышов
Обложка художника В. Г. Ситникова
Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышов

Подписано в печать 28.06.07. Формат 60×90/16. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 31. Изд. № 7002. Заказ №
ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

ISBN 978-5-9912-7002-1

© О. П. Фролов, В. П. Вальд, 2008, 2012
© Оформление издательства
«Горячая линия–Телеком», 2008, 2012

Предисловие

С момента выхода последней книги по тематике, обозначенной в названии, прошло около семи лет. Срок вполне достаточный, чтобы отследить как тенденции основных направлений исследований по данной проблематике, так и результаты последних практических реализаций. Анализ этих данных позволит, в свою очередь, прогнозировать направления дальнейших исследований и разработок на ближайший период. Критическое осмысление откликов на предыдущее издание позволило сформулировать требования, направленные как на целенаправленное видоизменение пропорций между объемами парциальных проблем, рассматриваемых в книге, так и включение в рассмотрение новых вопросов. Добавим, что отмеченные вариации в содержании обусловлены, в том числе, и расширением круга потенциальных читателей или, как это модно теперь говорить, пользователей новой монографии.

Перечислим основных пользователей, которым будет полезна предлагаемая монография:

- специалисты по системам спутниковой связи. Здесь отметим два момента:
 - монография в целом позволит уяснить нынешний уровень достигнутых результатов по выходным параметрам антенн и ожидаемые перспективы;
 - материалы книги, в которой рассматривается влияние параметров антенн на выходные параметры систем спутниковой связи, позволят более рационально выбирать параметры антенны для земной станции спутниковой связи (ЗССС);
- специалисты фирм, связанных как с интегрированием аппаратуры для земных станций спутниковой связи, так и ее эксплуатацией. Приведенные материалы позволят:
 - на всех этапах работы над проектом полностью владеть информацией о нормах и рекомендациях на параметры приобретаемых антенн для ЗССС. Это необходимо, чтобы успешно осуществить вхождение в систему спутниковой связи и пройти сертификационные испытания;
 - изучив современные методы измерения параметров антенн земных станций, осознанно участвовать в приемочных испытаниях закупаемого антенного оборудования;
- научный и инженерно-технический состав, специализирующийся в области исследований и разработок зеркальных антенн иного назначения. Эти специалисты смогут ознакомиться:
 - с практически энциклопедическими сведениями по теории и технике зеркальных антенн. Специалисты по антенной тема-

тике вполне могут рассматривать предлагаемую монографию как справочное пособие по тематикам как более узкой — антенны земных станций, так и более широкой — зеркальные антенны. Основание — более 400 ссылок на публикации, которые содержат исчерпывающую информацию;

- с последними результатами, достигнутыми в этой области антенной техники;

- студенты высших учебных заведений радиотехнических специальностей, где в процесс образования включены курсы по антенной тематике, а так же аспиранты этих заведений, специализирующиеся в области теории и техники зеркальных антенн. Монографию можно рассматривать как пособие по соответствующим разделам курсов.

Обширный опыт непосредственного общения с предполагаемыми пользователями книги убедили авторов в следующем.

Специалистам по системам спутниковой связи, а тем более менеджерам, требуется несколько иное изложение материала, касающегося теоретических аспектов рассматриваемой проблемы, а именно более наглядная (или, простите за жаргон, — «метод объяснения на пальцах»), чем ранее использованная методика изложения, принятая в научно-технических книгах.

Однако сказанное выше не означает, что в книге не должны присутствовать и рассматриваться чисто теоретические антенные вопросы. Напротив, современный уровень предполагаемого читателя вполне адекватен восприятию практически любых по сложности теоретических вопросов. Но при их непосредственном изложении не стоит чураться простых физических моделей или аналогий, наглядно поясняющих излагаемый материал. В этой связи следует отметить, что очень полезен иллюстративный метод представления информации. Это обстоятельство в определенной степени может служить своего рода оправданием наличия в книге большого объема иллюстративного материала.

Читатели заинтересованы в получении информации, которая позволяет им увереннее себя чувствовать при рассмотрении и принятии решения по всему спектру задач (в том числе и по антенным вопросам). В итоге это позволит им более осмысленно принимать необходимые практические решения в бизнесе.

Специалисты-антенщики, как правило, плохо представляют себе некоторые системные проблемы, успешное решение которых невозможно без решения чисто антенных задач. Надеемся, что приведенный материал сможет служить своеобразным катализатором, способствующим увеличению активности специалистов по антенной технике в решении обозначенных в книге системных проблем.

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Параметры зеркальных антенн ЗССС	5
1.1. О связи параметров антенн и параметров ЗССС	5
1.1.1. Диаграммы направленности	5
1.1.2. Усиление антенн ЗССС	16
1.1.3. Кроссполяризационная развязка	17
1.1.4. Согласование	20
1.1.5. Потери при наведении	21
1.2. Требования к антенным системам	22
1.2.1. Российские требования к параметрам антенн	22
1.3. О процедурах проверки соответствия параметров антенн требованиям нормирующих документов	24
1.3.1 О декларировании соответствия средств связи	24
1.3.2 Форма декларации	25
1.3.3 Что такое «Type Approval»?	28
Список литературы к главе 1	30
Глава 2. Однозеркальные антенны	32
2.1. Осесимметричные однозеркальные антенны	33
2.1.1. Основные сведения	33
2.1.2. Усиление антенны	35
2.1.3. Диаграмма направленности антенн	42
2.1.4. Коэффициент отражения	56
2.1.5. Кроссполяризационное излучение	59
2.2. Однозеркальные антенны типа офсет	65
2.2.1. Сравнение однозеркальных осесимметричных антенн и антенн типа офсет	66
2.2.2. Усиление антенн типа офсет	68
2.2.3. Диаграммы направленности	71
2.2.4. Кроссполяризационное излучение	74
2.3. Однозеркальные сферические антенны	82
2.3.1. Распределение поля в фокальной области однозеркальных сферических антенн	82
2.3.2. Однозеркальные сферические антенны с линейным облучателем	84
2.4. Однозеркальные тороидально-параболические антенны	87
Список литературы к главе 2	91
Глава 3. Двухзеркальные антенны	94
3.1. Двухзеркальные осесимметричные антенны	96

3.1.1. Классические схемы осесимметричных двухзеркальных антенн	96
3.1.2. Параметры осесимметричных двухзеркальных антенн	102
3.1.3. Осесимметричные двухзеркальные антенны с модифицированными поверхностями	115
3.1.4. Способы крепления контррефлектора	124
3.2. Двухзеркальные офсетные антенны	131
3.2.1. Классические схемы двухзеркальных офсетных антенн	131
3.2.2. Двухзеркальные офсетные антенны с модифицированными поверхностями	136
3.3. Двухзеркальные антенны с кольцевым фокусом	138
3.3.1. Первые схемы двухзеркальных антенн с кольцевым фокусом	138
3.3.2. Основные схемы двухзеркальных антенн с кольцевым фокусом	144
3.4. Другие схемы двухзеркальных антенн	152
3.4.1. Сферические двухзеркальные антенны	152
3.4.2. Конические двухзеркальные антенны	159
3.5. Многодиапазонные двухзеркальные антенны	161
3.5.1. Основные схемы построения многодиапазонных двухзеркальных антенн	151
3.5.2. Частотнотелективные поверхности	166
Список литературы к главе 3	182
Глава 4. Облучатели	187
4.1. Требования к облучателям	187
4.1.1. Требования по амплитудным диаграммам	188
4.1.2. Требования по фазовым диаграммам	193
4.1.3. Требования по уровню кроссполаризационного излучения	195
4.1.4. Требования по уровню согласования	195
4.1.5. Требования к максимальным габаритным размерам облучателей	196
4.2. Облучатели в виде открытого конца круглого волновода	198
4.2.1. Облучатель в виде открытого конца гладкого круглого волновода	198
4.2.2. Облучатель в виде открытого конца гофрированного круглого волновода	204
4.2.3. Облучатели в виде ОККВ с гофрированной внешней поверхностью	205
4.2.4. Облучатели в виде открытого конца круглого волновода с гофрированными фланцами	208
4.2.5. Облучатели в виде открытого конца круглого волновода с дроссельными фланцами	211
4.3. Облучатели в виде «гладких» рупоров	212
4.3.1. Облучатель в виде пирамидального рупора	212
4.3.2. Облучатель в виде модифицированных пирамидальных рупоров	219
4.3.3. Облучатель в виде конических рупоров	225
4.3.4. Облучатель в виде конического рупора с криволинейной образующей	231
4.3.5. Облучатель в виде конических рупоров с изломом образующих	233

4.3.6. Облучатель в виде рупора со сложным профилем поперечного сечения	235
4.4. Облучатели в виде гофрированных рупоров	237
4.4.1. Облучатель в виде широкоугольных гофрированных рупоров ..	237
4.4.2. Облучатель в виде гофрированных рупоров с малыми углами раскрыва	240
4.4.3. Конверторы мод	244
4.4.4. Гофрированные рупоры с конверторами мод	252
4.4.5. Гофрированные рупоры	263
4.5. Облучатели в виде многомодовых рупоров	271
4.5.1. Многомодовый облучатель на базе гладкого рупора	272
4.5.2. Многомодовый облучатель на базе гофрированного рупора	277
4.6. Рупорные облучатели с диэлектрическими вставками	279
4.6.1. Диэлектрические укрытия облучателей	279
4.6.2. Облучатели с диэлектрической линзой в раскрыве	282
4.6.3. Облучатель с диэлектрическими элементами	291
4.7. Широкополосные облучатели	295
4.8. Облучатели для неосесимметричных однозеркальных антенн	302
4.9. Другие варианты исполнения облучателей	309
Список литературы к главе 4	326
Глава 5. Влияние конструктивных элементов антенны на параметры излучения	332
5.1. Влияние опор	332
5.1.1. Характеристики переизлучения цилиндрических конструкций, размещенных в поле плоской волны	334
5.1.2. Теневое поле наклонных опорных конструкций	346
5.1.3. Конусы переизлучения наклонных опорных конструкций	350
5.1.4. Экспериментальные данные	352
5.1.5. Снижение влияния опорных конструкций	354
5.2. Влияние продольного затенения апертуры антенны	357
5.3. Влияние погрешностей изготовления отражающих поверхностей	359
5.3.1. Влияние статистических погрешностей изготовления отражающих поверхностей	359
5.3.2. Влияние регулярных погрешностей изготовления отражающих поверхностей	367
5.3.3. Снижение влияния погрешностей выполнения отражающих поверхностей антенны на ее характеристики излучения	373
Список литературы к главе 5	379
Глава 6. Антенно-волноводные тракты	382
6.1. Волноводы	382
6.1.1. Вводные сведения	382
6.1.2. Круглые волноводы	387

6.1.3. Прямоугольные волноводы	389
6.1.4. Эллиптические волноводы	391
6.2. Поляризаторы	397
6.2.1. Поляризаторы на базе прямоугольных волноводов	397
6.2.2. Поляризаторы на базе круглых волноводов	403
6.3. Комбайнеры	406
6.3.1. Поляризационные селекторы	407
6.3.2. Волноводные тройники	408
6.3.3. Выполнение комбайнера в виде отдельного блока	409
6.3.4. Выполнение комбайнера в виде устройств, совмещенных с рупорным облучателем	410
6.3.5. Развязка между портами приема и передачи	411
6.3.6. Кроссполяризационная развязка	412
6.3.7. Комбайнеры для двухканальных совмещенных облучателей коаксиального типа	412
6.4. Дегидраторы	417
6.4.1. Назначение и принципы действия дегидраторов	417
6.4.2. Типовые требования к дегидраторам	418
6.4.3. Взаимосвязь параметров дегидратора с параметрами волноводного тракта	420
6.4.4. Конструктивное оформление дегидраторов	422
Список литературы к главе 6	423
Глава 7. Измерение параметров антенн для ЗССС	425
7.1. Измерение диаграмм направленности антенн для ЗССС ...	425
7.1.1. Факторы, влияющие на точность измерения ДН	426
7.1.2. Методики измерения ДН	429
7.2. Измерение усиления антенн для ЗССС	441
7.2.1. Измерение усиления на антенном полигоне	441
7.2.2. Измерение усиления антенн с помощью бортового ретранслятора	449
7.3. Антенные полигоны	451
7.3.1. Минимальная длина трассы антенного полигона	451
7.3.2. Факторы, снижающие точность измерения на антенных полигонах	454
7.4. Измерение добротности антенн для ЗССС	458
7.4.1. Методика измерения шумовой температуры антенны	458
7.4.2. Методики измерения добротности с помощью бортового ретранслятора	460
7.4.3. Методики измерения добротности с помощью радиозвезд	460
7.5. Измерение параметров облучающих устройств	463
7.5.1. Измерение КСВ или коэффициента отражения	463
7.5.2. Измерение развязки между портами	466
7.5.3. Измерение аксиального отношения	466
7.5.4. Измерение амплитудных ДН	467
7.5.5. Измерение фазовых ДН	467

7.6. Типовые методики сертификационных испытаний ЗССС в части антенных систем	469
Список литературы к главе 7	475
Глава 8. Ближняя зона излучения	477
8.1. Поле излучения в ближней зоны круглого раскрыва (апертурный метод)	477
8.1.1. Расчетные соотношения	477
8.1.2. Результаты расчетов и экспериментов	479
8.2. Поле излучения в ближней зоне осесимметричной параболической антенны (метод ГТД)	484
8.3. Поле излучения в ближней зоне раскрыва эллиптической формы (апертурный метод)	485
8.4. Форма для огибающей ДН излучения в сверхближней зоне	486
8.4.1. Вывод расчетного соотношения	486
8.4.2. Обсуждение полученного результата	488
8.5. О дальней зоне излучения зеркальных антенн	489
Список литературы к главе 8	491