

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ НАПРАВЛЕННЫХ ОТВЕТВИТЕЛЕЙ	5
1.1. О задаче дифракции электромагнитных волн на малых отверстиях	6
1.2. О коэффициентах поляризуемости отверстий связи	9
1.3. О близости отверстий связи к резонансу	15
1.4. Учёт толщины общей стенки волноводов, связанных через малое отверстие	16
1.4.1. Круглые отверстия связи	17
1.4.2. Узкие щели	17
1.5. О влиянии на дипольные моменты отверстий близко расположенных параллельных металлических экранов и изломов поверхности	19
1.5.1. Малое отверстие в общей стенке двух плоских волноводов	20
1.5.2. Коэффициенты поляризуемости круглого отверстия, прорезанного в общей стенке двух плоских волноводов	21
1.5.3. Коэффициенты поляризуемости прямоугольного отверстия, прорезанного в общей стенке двух плоских волноводов	24
1.5.4. Влияние узких стенок волноводов на характеристики рассеяния малого квадратного отверстия	26
1.6. Переходное ослабление элемента связи в общей стенке двух волноводов	26
1.6.1. Переходное ослабление круглого отверстия	28
1.6.2. Переходное ослабление поперечной и продольной щели и их комбинаций	30
1.6.3. Сравнение связи двух волноводов через одиночное круглое и квадратное отверстие	34
1.7. О собственной направленности круглых апертур	36
1.8. Сравнительный анализ апертур различной конфигурации	38
Глава 2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ВОЛНОВОДНЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ОТВЕТВИТЕЛЕЙ	40
2.1. Ответвитель Бете	40
2.2. Ответвители на перпендикулярных волноводах	43
2.3. Направленный ответвитель Швингера	47
2.4. Направленный ответвитель Риблета	48
2.5. Многоэлементные направленные ответвители	49
2.5.1. Направленные ответвители со многими элементами связи	51
2.5.2. Аппроксимация характеристики направленности	53
2.5.3. Синтез многоэлементных направленных ответвителей с учётом собственной направленности элементов связи	54
2.5.4. Синтез многоэлементных направленных ответвителей с сильной связью	60
2.6. О синтезе волноводных направленных ответвителей с круглыми отверстиями связи	63
Глава 3. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНОВОДНЫХ НАПРАВЛЕННЫХ ОТВЕТВИТЕЛЕЙ	65
3.1. Представление направленных ответвителей в виде восьмиполюсников. Матрица рассеяния восьмиполюсника	65

3.2. О направленности восьмиполюсников.....	67
3.3. О некоторых соотношениях для направленных ответвителей.....	68
3.4. Обозначения и параметры направленных ответвителей.....	70
3.5. Вносимые потери направленного ответвителя за счёт связи.....	73
3.6. Влияние диссипативных потерь на характеристики направленных ответвителей.....	73
3.7. Измерение направленности волноводных направленных ответвителей....	76
3.8. Расчётные параметры и экспериментальные характеристики волноводных направленных ответвителей миллиметрового диапазона волн.....	81
3.8.1. Ответвители с многоэлементной областью связи на круглых отверстиях .	81
3.8.2. Широкополосные волноводные направленные ответвители на квадратных отверстиях связи для коротковолновой части миллиметрового диапазона волн .	84
3.9. О резонансном изменении направленности в волноводных направленных ответвителях.....	87
Глава 4. МОДОСЕЛЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕННЫЕ ОТВЕТВИТЕЛИ.....	92
4.1. Основные принципы и параметры модовой селекции.....	93
4.2. Конструкции модоселективных направленных ответвителей.....	95
4.2.1. Ответвители волн H -типа ($H_{10}, H_{01}, H_{20}, H_{11}$).....	95
4.2.2. Направленные ответвители волны E_{11}	97
4.3. О синтезе модоселективных направленных ответвителей методом фазовой селекции.....	100
4.4. Сверхширокополосный направленный ответвитель волны H_{10}	103
4.5. Параметры систем связи и экспериментальные характеристики некоторых типов модоселективных направленных ответвителей.....	106
4.6. Об особенностях конструктивного исполнения некоторых типов модоселективных направленных ответвителей.....	109
4.7. Заключение.....	115
Глава 5. НАПРАВЛЕННЫЕ ОТВЕТВИТЕЛИ МНОГОМОДОВОЙ МОЩНОСТИ.....	117
5.1. Принцип построения волноводных направленных ответвителей многомодовой мощности.....	118
5.2. О связи коаксиала с прямоугольным волноводом через систему малых наклонных щелей.....	119
5.3. Коэффициенты переходного ослабления направленных ответвителей многомодовой мощности. Оптимизация угла наклона щели.....	120
5.4. Расчётные характеристики некоторых типов направленных ответвителей многомодовой мощности по переходному ослаблению.....	122
5.5. О синтезе направленных ответвителей многомодовой мощности по направленности.....	123
5.6. Влияние интерференции волн разных типов на погрешность отбора.....	125
5.7. Волноводно-коаксиальные направленные ответвители с уменьшенным количеством отборников.....	126
5.7.1. НОММ с четырьмя отборниками.....	127
5.7.2. НОММ с шестью коаксиальными отборниками.....	127
5.8. Конструкции широкополосных направленных ответвителей многомодовой мощности и экспериментальное исследование их характеристик.....	131
Глава 6. ВОЛНОВОДНЫЕ ДЕЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ.....	137
6.1. Широкополосные волноводные делители мощности.....	139

6.1.1. Трёхдецибелльные волноводные делители мощности	139
6.1.2. Широкополосные волноводные делители мощности с произвольным коэффициентом деления мощности	145
Глава 7. ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ВОЗБУДИТЕЛИ-ПРИЁМНИКИ ВОЛН ВЫСШИХ ТИПОВ	147
7.1. Преобразователи волны H_{10} в волну H_{20}	147
7.2. Преобразователи волны H_{10} в волну H_{m0}	148
7.3. Преобразователи волны H_{10} в волну H_{mn}	150
7.4. Возбудители волны типа E_{11} в прямоугольном (E_{01} в круглом) волноводе	152
7.5. Возбуждение волн типа H_{mn} (E_{mn}) высоких порядков	153
7.6. О расчёте возбудителей волны H_{mn}	154
7.7. Возбудители смесей волн высших типов	157
7.8. Фильтры волн высших типов	159
Глава 8. МНОГОГРЕБЕНЧАТЫЕ ВОЛНОВОДЫ	161
8.1. Многогребенчатый волновод и его эквивалентная схема	162
8.2. Определение критических длин волн H_{m0}	163
8.3. Определение волнового сопротивления многогребенчатого волновода на волне H_{10}	167
8.4. Характеристики одногребенчатых (П- и Н-) волноводов	173
8.4.1. Критические длины волн одногребенчатых волноводов	173
8.4.2. Волновое сопротивление одногребенчатого волновода	174
8.4.3. Распределение напряжённости электрического поля E в поперечном сечении одногребенчатого волновода	175
Глава 9. ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ ФИЛЬТРЫ НИЖНИХ ЧАСТОТ	179
9.1. Расчёт широкополосных волноводных фильтров нижних частот по характеристическим и рабочим параметрам	180
9.2. Волноводные гофрированные фильтры	185
9.3. Волноводные диэлектрические фильтры	189
9.3.1. Анализ волноводных диэлектрических фильтров	190
9.3.2. Волноводные гофрированные фильтры с частичным диэлектрическим заполнением	193
9.4. Вафельные фильтры	197
9.4.1. Анализ вафельных структур	197
9.4.2. Согласование фильтрующих структур с трактом	201
9.4.3. О влиянии высших типов волн на характеристики широкополосных волноводных фильтров нижних частот	204
9.4.4. О методике расчёта вафельных фильтров	206
9.5. Вафельные фильтры на повышенные уровни допустимой проходящей мощности	210
9.5.1. Каскадные вафельные фильтры	210
9.5.2. Параллельное включение фильтрующих структур	212
9.6. Конструкции и характеристики вафельных фильтров	213
9.7. О поглощающих волноводных фильтрах нижних частот	217
9.8. Фильтр подавления гармоник	220
Глава 10. ВОЛНОВОДНЫЕ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ	223
10.1. Общие сведения о полосовых фильтрах	223
10.2. О реализации схем полосовых фильтров на сверхвысоких частотах	230

10.2.1. Частотное преобразование Ричардса. Тождества Куроды	230
10.2.2. Применение отрезков передающих линий в качестве резонаторов	232
10.2.3. Применение диафрагм при реализации схем полосовых фильтров на сверхвысоких частотах	234
10.2.4. Стержневые резонаторы полосовых фильтров	236
10.2.5. Объёмный резонатор на основе двух диафрагм	238
10.3. Резонаторные фильтры с четвертьволновыми связями	241
10.4. Фильтры с непосредственными связями	247
10.5. Волноводные полосно-пропускающие фильтры на фин-лайн и с металлическими резонаторными пластинами	249
10.5.1. Фильтры с металлическими пластинами в E -плоскости — приближённый расчёт на основе эквивалентных схем с импедансными инверторами	251
10.5.2. Анализ полосно-пропускающих фильтров на фин-лайн и с продольными металлическими резонаторными пластинами, базирующийся на теории поля ...	253
10.5.3. Расчётные размеры и экспериментальные характеристики полосно-пропускающих фильтров	257
10.5.4. Об автоматизированном проектировании полосно-пропускающих фильтров	259
Глава 11. ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ ПОЛОСОВЫЕ ФИЛЬТРЫ.	261
11.1. Полосовые фильтры с механической перестройкой резонаторов	261
11.1.1. О способах перестройки резонаторов	261
11.1.2. Перестраиваемый индуктивный резонатор	263
11.1.3. Перестраиваемый ёмкостный резонатор	266
11.1.4. Перестраиваемый индуктивно-ёмкостный резонатор	268
11.1.5. Перестраиваемые многозвенные фильтры	270
11.2. Полосовые фильтры на ферритовых резонаторах с магнитной перестройкой	273
11.2.1. Ферритовые резонаторы	273
11.2.2. О добротности ферритовых резонаторов	276
11.2.3. Двухканальные полосовые ферритовые фильтры	279
11.2.4. О сопряжении ферритовых полосовых фильтров в двухканальной системе	284
Глава 12. ПОЛОСНО-ЗАГРАЖДАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ. ЧАСТОТНО-РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ (ДУПЛЕКСЕРЫ, ДИПЛЕКСЕРЫ).	287
12.1. Общие сведения о полосно-заграждающих фильтрах	287
12.2. Резонаторы, используемые при реализации волноводных полосно-заграждающих фильтров	290
12.3. Волноводный полосно-заграждающий фильтр на линейных резонаторах.	292
12.4. Амплитудно-частотные характеристики полосно-заграждающих фильтров	293
12.5. О потерях, вносимых полосно-заграждающим фильтром в полосе отражения	297
12.6. О волноводных полосно-заграждающих фильтрах с магнитной перестройкой	298
12.7. Частотно-разделительные устройства (дуплексеры и диплексеры)	298
12.8. Конструкции и характеристики некоторых типов волноводных диплексеров	300
Глава 13. ВОЛНОВОДНЫЕ ТРОЙНИКИ И МОСТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ	304
13.1. Т-образные соединения прямоугольных волноводов со связью через диафрагму	305

13.1.1. Последовательное сочленение двух волноводов в плоскости E	305
13.1.2. Параллельное Т-образное соединение прямоугольных волноводов со связью через диафрагму в плоскости H	309
13.2. Волноводные E - и H -тройники	311
13.3. Параметры эквивалентных схем волноводных E - и H -тройников	315
13.4. Двойной волноводный EH -тройник (магический Т)	317
13.4.1. Описание EH -тройника и его эквивалентная схема	317
13.4.2. Матрица рассеяния двойного волноводного тройника	319
13.4.3. О согласовании двойного волноводного тройника	321
13.4.4. Конструкция и электрические характеристики двойных волноводных тройников миллиметрового диапазона волн	322
13.4.5. Свёрнутый двойной волноводный тройник	325
13.4.6. О некоторых применениях двойных волноводных тройников	326
13.5. Волноводные щелевые мосты	329
13.5.1. Устройство и принцип действия	329
13.5.2. Матрица рассеяния щелевого моста	331
13.5.3. О применении волноводно-щелевых мостов	333
13.6. Волноводный многодырочный мост	335
13.7. Волноводные кольцевые мосты	335
13.8. Квадратурные мосты и волноводные схемы для формирования квадратурных сигналов	337
13.8.1. Квадратурные мосты	337
13.8.2. Схема на основе двойных волноводных тройников и трёхдецибелного направленного ответвителя	341
Глава 14. ВОЛНОВОДНЫЕ АТТЕНЮАТОРЫ	343
14.1. Назначение аттенюаторов и их классификация	343
14.2. Параметры аттенюаторов	344
14.3. Фиксированные волноводные аттенюаторы	346
14.3.1. Аттенюаторы на объёмных вставках из поглощающих материалов	346
14.3.2. Предельные аттенюаторы	347
14.3.3. Аттенюаторы с поглощающими стенками	349
14.4. Аттенюаторы на отрезках волноводов с поглощающими пластинами	350
14.5. Прямоугольный волновод с поглощающей пластиной	355
14.6. О дисперсионных свойствах прямоугольного волновода с резистивной пластиной произвольной ширины в E -плоскости	358
14.7. Резистивная пластинка произвольной ширины в диагональной плоскости прямоугольного волновода	361
14.8. Переменные аттенюаторы поляризационного типа	364
14.8.1. Принцип действия	364
14.8.2. О расчёте конструктивных и радиотехнических параметров поляризационного аттенюатора	368
14.8.3. Отсчётные устройства поляризационных аттенюаторов	370
14.9. Параметры развязывающих, фиксированных и поляризационных аттенюаторов миллиметровых волн	372
14.10. Поляризационные аттенюаторы с электрическим управлением и цифровой системой отсчёта. Программируемые меры ослабления	375
14.11. Поглощающие аттенюаторные пластины	376
14.11.1. Резистивная плёнка произвольной ширины в диаметральной плоскости круглого волновода	476

14.11.2. О дисперсионных свойствах волноводов при учёте толщины диэлектрического слоя поглощающих пластин.....	378
14.11.3. Виды поглощающих пластин и их согласование в волноводных аттенуаторах	382
14.12. Волноводные аттенуаторы на направленных ответвителях	384
14.13. Переменные аттенуаторы на волноводных направленных ответвителях..	390
14.14. Электрически управляемые аттенуаторы.....	391
14.14.1. О рin-диодах.....	392
14.14.2. О схемах PIN-аттенуаторов.....	395
Глава 15. ВОЛНОВОДНЫЕ НАГРУЗКИ И МЕРЫ ОТРАЖЕНИЯ	397
15.1. Назначение и типы волноводных нагрузок	397
15.2. Согласованные нагрузки	398
15.3. Волноводные короткозамыкающие поршни	400
15.3.1. Конструкции подвижных волноводных короткозамыкателей	400
15.3.2. Основные принципы и метод расчёта	403
15.3.3. Короткозамыкатели для многомодовых волноводов.....	406
15.4. Волноводные меры отражения	406
15.4.1. Ступенчатые волноводные нагрузки	407
15.4.2. Ступенчатые волноводные нагрузки со смещением	408
15.4.3. Отражающие нагрузки-вставки	411
15.4.4. Подвижные меры отражения	412
Глава 16. ФАЗИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА. ПОЛЯРИЗАТОРЫ.....	414
16.1. Фазирующие устройства и методы изменения фазы.....	414
16.2. Механические фазосдвигатели и фазовращатели	415
16.2.1. Волноводные фазосдвигатели	415
16.2.2. Волноводные фазовращатели	416
16.3. Дифференциальные фазовые секции на круглых волноводах.....	419
16.4. Поляризационный фазовращатель	421
16.5. Фазовращатель Фокса.....	425
16.6. Волноводные поляризаторы	427
16.6.1. Общие сведения о поляризации электромагнитных волн	427
16.6.2. Конструкции волноводных поляризаторов	429
Глава 17. ВОЛНОВОДНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ФЕРРИТАХ	433
17.1. Свойства ферритов (общие сведения)	433
17.1.1. Тензоры магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости.....	433
17.1.2. Фарадеевское вращение (распространение волны в направлении подмагничивающего поля).....	437
17.2. Волноводные ферритовые фазовращатели	438
17.3. Гиратор.....	441
17.4. Волноводные ферритовые вентили.....	442
17.5. Волноводные циркуляторы.....	446
17.5.1. Четырёхплечевые циркуляторы на основе мостов и невзаимных фазосдвигателей	447
17.5.2. Четырёхпортовый поляризационный циркулятор.....	450
17.5.3. Трёхпортовые (Y-) циркуляторы.....	452
17.5.4. Вентили и циркуляторы миллиметровых волн фирмы Millitech (США)...	454
Глава 18. ВОЛНОВОДНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ.....	456
18.1. Области излучения	457

18.2. Характеристики направленности антенн	458
18.2.1. Диаграмма излучения	458
18.2.2. Изотропная, направленная и ненаправленная диаграммы. Главные диаграммы	460
18.2.3. Ширина диаграммы направленности	461
18.2.4. Лепестки диаграммы направленности	461
18.3. Энергетические характеристики антенн	462
18.3.1. Коэффициент направленного действия	462
18.3.2. Коэффициент усиления антенны	464
18.3.3. Эффективная площадь и шумовая температура приёмных антенн	466
18.4. О поляризационных характеристиках антенн	467
18.5. Требования к волноводным излучателям, используемым в качестве облучателей антенн (общие замечания)	468
18.6. Простейшие волноводные облучатели	470
18.6.1. Метод анализа излучения открытых волноводов	471
18.6.2. Излучение открытого круглого волновода	472
18.6.3. Излучение открытого прямоугольного волновода	474
18.6.4. Облучатели в виде открытого круглого волновода	475
18.7. Усовершенствованные облучатели на круглом волноводе	476
18.7.1. Облучатели в виде открытого цилиндрического гофрированного волновода	476
18.7.2. Облучатели в виде круглых волноводов с коаксиальными насадками	478
18.8. Рупорные облучатели	479
18.8.1. Пирамидальный рупор	479
18.8.2. Конический рупор	486
18.8.3. Модификации конического рупора	489
18.9. Гофрированные конические рупоры	491
18.9.1. Узкополосные рупоры	493
18.9.2. Широкополосные (скалярные) рупоры	496
18.9.3. О кроссполяризации гофрированных рупоров	499
18.9.4. Расчёт геометрии гофра	501
18.9.5. Применение скалярных рупоров в конструкциях двухполосных облучателей	501
18.9.6. О расчёте двухполосного скалярного рупора	503
Глава 19. ВОЛНОВОДЫ И ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО И СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ ВОЛН	506
19.1. Особенности распространения и применения миллиметровых (мм) и субмиллиметровых (субмм) волн	506
19.2. Линии передачи миллиметровых и субмиллиметровых волн	508
19.3. Требования к регулярным прямоугольным волноводам измерительных трактов	512
19.4. Международный стандарт IEEE 1785 для полых металлических волноводов в диапазонах частот выше 110 ГГц	515
19.5. Размерные допуски и электрические характеристики волноводов по стандарту IEEE 1785-1	517
19.6. Фланцы и фланцевые соединения волноводов миллиметрового диапазона волн	519
19.7. Применение фланцев в миллиметровом диапазоне волн	525

19.7.1. Рассогласование, вносимое фланцевым соединением за счёт допусков на волноводные каналы и присоединительные размеры стандартных фланцев по ГОСТ 13317-89.....	525
19.7.2. Влияние возможных перекосов и смещений фланцев MIL SPEC. Антиперекосные фланцы.....	526
19.7.3. О проблемах, связанных с использованием волноводных фланцев в диапазоне коротких мм и субмм волн.....	530
19.8. Новые фланцы для одномодовых волноводов выше 110 ГГц.....	532
Глава 20. СВЕРХРАЗМЕРНЫЕ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВОЛНОВОДЫ ДЛЯ ДИАПАЗОНА КОРОТКИХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ И СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН.....	534
20.1. Типы волн и основные свойства металлодиэлектрических волноводов...	535
20.2. Возбудитель волны LM11 в металлодиэлектрическом волноводе.....	540
20.3. Потери из-за неидеальной стыковки двух металлодиэлектрических волноводов.....	542
20.3.1. Сочленение МДВ со смещением центров.....	542
20.3.2. Несовпадение размеров стыкуемых МДВ.....	545
20.3.3. Сочленение двух МДВ с поворотом осей.....	546
20.4. Излом металлодиэлектрического волновода.....	547
20.5. Модовые фильтры.....	547
Глава 21. УСТРОЙСТВА НА МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ.....	552
21.1. Делители мощности и направленные ответвители.....	552
21.2. Фазовый модулятор.....	556
21.2.1. Принцип действия.....	556
21.2.2. Анализ фазового модулятора.....	557
21.2.3. О методике расчёта фазового модулятора.....	559
21.2.4. Конструктивная реализация фазового модулятора.....	563
21.3. Согласованные объёмные нагрузки.....	565
21.4. Переменный аттенюатор-делитель на периодических системах.....	565
21.4.1. Принцип действия аттенюатора.....	565
21.4.2. О расчёте ослабления аттенюатора.....	567
21.5. Невзаимные устройства.....	571
21.5.1. Принцип построения невзаимных устройств на МДВ.....	571
21.5.2. Квазиоптический вентиль.....	572
21.6. Согласование с помощью диэлектрического слоя пустого металлодиэлектрического волновода и волновода, заполненного диэлектриком.....	577
21.7. Преобразователь мощности на металлодиэлектрическом волноводе.....	581
Приложение 1. Аппроксимирующие функции и полиномы.....	583
Приложение 2. Структура электромагнитных волн в прямоугольном волноводе.....	587
Приложение 3. Стандартные сечения прямоугольных волноводов и их рабочие диапазоны частот.....	590
Приложение 4. Номограммы для расчёта параметров многогребенчатых волноводов.....	591
Приложение 5. Анализ волноводной бифуркации.....	592
Приложение 6. Исследование магнитного поля в зазоре постоянных магнитов с конусообразными полюсами.....	599

Приложение 7. Дисперсионное интегральное уравнение для цилиндрического волновода, содержащего резистивную плёнку.....	602
Приложение 8. Метод возмущений для волноводов.....	606
Приложение 9. Поля в волноводе круглого сечения.....	608
Приложение 10. Расчёт параметров коаксиального волновода с прямоугольным внешним и круглым внутренним проводниками.....	610
Приложение 11. Расчёт отражения от стыка со смещением двух полубесконечных волноводов.....	614
ЛИТЕРАТУРА.....	617