

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.....	70
3.4.	Обозначения и параметры направленных ответвителей.....	71
3.5.	Вносимые потери направленного ответвителя за счёт связи.....	72
3.6.	Влияние диссипативных потерь на характеристики направленных ответвителей.....	73
3.7.	Измерение направленности волноводных направленных ответвителей.....	74
3.8.	Расчётные параметры и экспериментальные характеристики волноводных направленных ответвителей миллиметрового диапазона волн.....	75
3.8.1.	Ответвители с многоэлементной областью связи на круглых отверстиях.....	76
3.8.2.	Широкополосные волноводные направленные ответвители на квадратных отверстиях связи для коротковолновой части миллиметрового диапазона волн.....	77
3.9.	О резонансном изменении направленности в волноводных направленных ответвителях.....	78
Глава 4. МОДОСЕЛЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕННЫЕ ОТВЕТВИТЕЛИ.....		
4.1.	Основные принципы и параметры модовой селекции.....	79
4.2.	Конструкции модоселективных направленных ответвителей.....	80
4.2.1.	Ответвители волн H -типа ($H_{10}, H_{01}, H_{20}, H_{11}$).....	81
4.2.2.	Направленные ответвители волны E_{11}	82
4.3.	О синтезе модоселективных направленных ответвителей методом фазовой селекции.....	83
4.4.	Сверхширокополосный направленный ответвитель волны H_{10}	84
4.5.	Параметры систем связи и экспериментальные характеристики некоторых типов модоселективных направленных ответвителей.....	85
4.6.	Об особенностях конструктивного исполнения некоторых типов модоселективных направленных ответвителей.....	86
4.7.	Заключение.....	87
Глава 5. НАПРАВЛЕННЫЕ ОТВЕТВИТЕЛИ МНОГОМОДОВОЙ МОЩНОСТИ.....		
5.1.	Принцип построения волноводных направленных ответвителей многомодовой мощности.....	88
5.2.	О связи коаксиала с прямоугольным волноводом через систему малых наклонных щелей.....	89
5.3.	Коэффициенты переходного ослабления направленных ответвителей многомодовой мощности. Оптимизация угла наклона щели.....	90
5.4.	Расчётные характеристики некоторых типов направленных ответвителей многомодовой мощности по переходному ослаблению.....	91
5.5.	О синтезе направленных ответвителей многомодовой мощности по направленности.....	92
5.6.	Влияние интерференции волн разных типов на погрешность отбора.....	93
5.7.	Волноводно-коаксиальные направленные ответвители с уменьшенным количеством отборников.....	94
5.7.1.	НОММ с четырьмя отборниками.....	95
5.7.2.	НОММ с шестью коаксиальными отборниками.....	96
5.8.	Конструкции широкополосных направленных ответвителей многомодовой мощности и экспериментальное исследование их характеристик.....	97
Глава 6. ВОЛНОВОДНЫЕ ДЕЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ.....		
6.1.	Широкополосные волноводные делители мощности.....	98

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	10
10.2.2.	Применение отрезков передающих линий в качестве резонаторов	10
10.2.3.	Применение диафрагм при реализации схем полосовых фильтров на сверхвысоких частотах	10
10.2.4.	Стержневые резонаторы полосовых фильтров	10
10.2.5.	Объёмный резонатор на основе двух диафрагм	10
10.3.	Резонаторные фильтры с четвертьволновыми связями	10
10.4.	Фильтры с непосредственными связями	10
10.5.	Волноводные полосно-пропускающие фильтры на фин-лайн и с металлическими резонаторными пластинами	10
10.5.1.	Фильтры с металлическими пластинами в E -плоскости — приближённый расчёт на основе эквивалентных схем с импедансными инверторами	10
10.5.2.	Анализ полосно-пропускающих фильтров на фин-лайн и с продольными металлическими резонаторными пластинами, базирующийся на теории поля	10
10.5.3.	Расчётные размеры и экспериментальные характеристики полосно-пропускающих фильтров	10
10.5.4.	Об автоматизированном проектировании полосно-пропускающих фильтров	10
Глава 11. ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ ПОЛОСОВЫЕ ФИЛЬТРЫ		
11.1.	Полосовые фильтры с механической перестройкой резонаторов	10
11.1.1.	О способах перестройки резонаторов	10
11.1.2.	Перестраиваемый индуктивный резонатор	10
11.1.3.	Перестраиваемый ёмкостный резонатор	10
11.1.4.	Перестраиваемый индуктивно-ёмкостный резонатор	10
11.1.5.	Перестраиваемые многозвенные фильтры	10
11.2.	Полосовые фильтры на ферритовых резонаторах с магнитной перестройкой	10
11.2.1.	Ферритовые резонаторы	10
11.2.2.	О добротности ферритовых резонаторов	10
11.2.3.	Двухканальные полосовые ферритовые фильтры	10
11.2.4.	О сопряжении ферритовых полосовых фильтров в двухканальной системе	10
Глава 12. ПОЛОСНО-ЗАГРАЖДАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ. ЧАСТОТНО-РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ (ДУПЛЕКСЕРЫ, ДИПЛЕКСЕРЫ)		
12.1.	Общие сведения о полосно-заграждающих фильтрах	10
12.2.	Резонаторы, используемые при реализации волноводных полосно-заграждающих фильтров	10
12.3.	Волноводный полосно-заграждающий фильтр на линейных резонаторах	10
12.4.	Амплитудно-частотные характеристики полосно-заграждающих фильтров	10
12.5.	О потерях, вносимых полосно-заграждающим фильтром в полосе отражения	10
12.6.	О волноводных полосно-заграждающих фильтрах с магнитной перестройкой	10
12.7.	Частотно-разделительные устройства (дуплексеры и диплексеры)	10
12.8.	Конструкции и характеристики некоторых типов волноводных дуплексеров	10
Глава 13. ВОЛНОВОДНЫЕ ТРОЙНИКИ И МОСТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ		
13.1.	T-образные соединения прямоугольных волноводов со связью через диафрагму	10

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 многорыночный 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 аттенюаторах	382
14.12.	Волноводные аттенюаторы на направленных ответвителях	384
14.13.	Переменные аттенюаторы на волноводных направленных ответвителях..	390
14.14.	Электрически управляемые аттенюаторы.....	391
14.14.1.	О pin-диодах.....	392
14.14.2.	О схемах PIN-аттенюаторов.....	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.....	410
15.4.4.	Подвижные меры отражения	410
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.....	416
16.4.	Поляризационный фазовращатель.....	417
16.5.	Фазовращатель Фокса.....	417
16.6.	Волноводные поляризаторы	417
16.6.1.	Общие сведения о поляризации электромагнитных волн	417
16.6.2.	Конструкции волноводных поляризаторов	418
Глава 17.	ВОЛНОВОДНЫЕ УСТРОЙСТВА НА ФЕРРИТАХ	419
17.1.	Свойства ферритов (общие сведения)	419
17.1.1.	Тензоры магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости.....	419
17.1.2.	Фарадеевское вращение (распространение волны в направлении подмагничивающего поля).....	420
17.2.	Волноводные ферритовые фазовращатели.....	420
17.3.	Гиратор.....	420
17.4.	Волноводные ферритовые вентили.....	420
17.5.	Волноводные циркуляторы.....	420
17.5.1.	Четырёхплечевые циркуляторы на основе мостов и невзаимных фазосдвигателей	420
17.5.2.	Четырёхпортовый поляризационный циркулятор	420
17.5.3.	Трёхпортовые (Y-) циркуляторы.....	420
17.5.4.	Вентили и циркуляторы миллиметровых волн фирмы Millitech (США).....	420
Глава 18.	ВОЛНОВОДНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ	421
18.1.	Области излучения	421

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.....	528
19.8.	Новые фланцы для одномодовых волноводов выше 110 ГГц.....	529
Глава 20. СВЕРХРАЗМЕРНЫЕ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВОЛНОВОДЫ ДЛЯ ДИАПАЗОНА КОРОТКИХ МИЛЛИМЕТРОВЫХ И СУБМИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН.....		
20.1.	Типы волн и основные свойства металлодиэлектрических волноводов.....	530
20.2.	Возбудитель волны LM11 в металлодиэлектрическом волноводе.....	531
20.3.	Потери из-за неидеальной стыковки двух металлодиэлектрических волноводов.....	532
20.3.1.	Сочленение МДВ со смещением центров.....	533
20.3.2.	Несовпадение размеров стыкуемых МДВ.....	534
20.3.3.	Сочленение двух МДВ с поворотом осей.....	535
20.4.	Излом металлодиэлектрического волновода.....	536
20.5.	Модовые фильтры.....	537
Глава 21. УСТРОЙСТВА НА МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ.....		
21.1.	Делители мощности и направленные ответвители.....	538
21.2.	Фазовый модулятор.....	539
21.2.1.	Принцип действия.....	540
21.2.2.	Анализ фазового модулятора.....	541
21.2.3.	О методике расчёта фазового модулятора.....	542
21.2.4.	Конструктивная реализация фазового модулятора.....	543
21.3.	Согласованные объёмные нагрузки.....	544
21.4.	Переменный аттенюатор-делитель на периодических системах.....	545
21.4.1.	Принцип действия аттенюатора.....	546
21.4.2.	О расчёте ослабления аттенюатора.....	547
21.5.	Невзаимные устройства.....	548
21.5.1.	Принцип построения невзаимных устройств на МДВ.....	549
21.5.2.	Квазиоптический вентиль.....	550
21.6.	Согласование с помощью диэлектрического слоя пустого металлодиэлектрического волновода и волновода, заполненного диэлектриком.....	551
21.7.	Преобразователь мощности на металлодиэлектрическом волноводе.....	552
	Приложение 1. Аппроксимирующие функции и полиномы.....	553
	Приложение 2. Структура электромагнитных волн в прямоугольном волноводе.....	554
	Приложение 3. Стандартные сечения прямоугольных волноводов и их рабочие диапазоны частот.....	555
	Приложение 4. Номограммы для расчёта параметров многогребенчатых волноводов.....	556
	Приложение 5. Анализ волноводной бифуркации.....	557
	Приложение 6. Исследование магнитного поля в зазоре постоянных магнитов с конусообразными полюсами.....	558

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