

М. С. КОСТИН, А. Д. ЯРЛЫКОВ

УСТРОЙСТВА И МОДУЛИ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ

2-е издание

 «Инфра-Инженерия»

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. НАПРАВЛЯЮЩИЕ ЛИНИИ СВЧ, ИХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СПОСОБЫ ВОЛНОВОГО СОГЛАСОВАНИЯ	10
1.1. Классификация направляющих линий СВЧ и их параметры	10
1.2. Коаксиальные линии и их характеристики	12
1.3. Двухпроводные линии и их характеристики	13
1.4. Линии типа «витая пара» и их характеристики	14
1.5. Прямоугольные волноводы и их характеристики	15
1.6. Круглые волноводы и их характеристики	19
1.7. Полосковые линии и их характеристики	21
1.8. Методы и средства волнового согласования в направляющих линиях	24
1.8.1. Согласование четвертьволновым трансформатором	27
1.8.2. Согласование сосредоточенной реактивностью	29
1.8.3. Согласование диэлектрическим трансформатором	31
1.8.4. Согласование коротко-замкнутым шлейфом	32
1.8.5. Согласование тремя реактивными шлейфами	33
Контрольные вопросы	36
ГЛАВА 2. МАТРИЧНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ N-ПОЛЮСНИКОВ СВЧ	37
2.1. Матрицы рассеяния многополюсников	37
2.2. Передаточные волновые матрицы многополюсников	42
Контрольные вопросы	44
ГЛАВА 3. N-ПОЛЮСНИКИ СВЧ И ИХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	45
3.1. Двухполюсные устройства СВЧ	45
3.1.1. Согласование нагрузки	45
3.1.2. Реактивные нагрузки	47
3.1.3. Преобразователи мощности СВЧ-сигналов	49
3.2. Четырехполюсные устройства СВЧ	51
3.2.1. СВЧ-разъемы и соединения	52
3.2.2. СВЧ-переходы (адаптеры)	54
3.2.3. Реактивные нерегулярности в волноводах	57
3.2.4. Волноводные изгибы	59
3.2.5. Атенуаторы	60
3.2.6. Фазовращатели	63
3.2.7. Согласующие трансформаторы сопротивления	67
3.3. Шестиполюсные устройства СВЧ	70
3.3.1. Тройники Y-типа	71
3.3.2. Тройники E- и H-типа	72

3.3.3. Делители мощности	73
3.4. Восьмиполосные устройства СВЧ.....	74
3.4.1. Направленные ответвители	74
3.4.2. Мостовые устройства	81
3.4.3. Делители и соединения Х-типа	87
3.4.4. Кольцевой резонатор бегущей волны	88
3.5. Десяти- и двенадцатиполосные устройства СВЧ	91
Контрольные вопросы.....	95
 ГЛАВА 4. ФЕРРИТОВЫЕ УСТРОЙСТВА СВЧ.....	96
4.1. Ферромагнитические свойства и явления.....	96
4.2. Ферритовые устройства СВЧ на эффекте Фарадея	100
4.2.1. Ферритовые вентили с поперечным подмагничиванием.....	103
4.2.2. Фазовые циркуляторы на ферритовых пластинах.....	105
Контрольные вопросы.....	108
 ГЛАВА 5. РЕЗОНАТОРЫ И ФИЛЬТРЫ СВЧ.....	109
5.1. Резонаторы СВЧ	109
5.1.1. Объемные резонаторы СВЧ и их характеристики.....	109
5.1.2. Эквивалентные схемы резонаторов разных типов и способы возбуждения объемных резонаторов.....	114
5.1.3. Резонаторы открытого типа и их характеристики.....	118
5.1.4. Диэлектрические резонаторы и их характеристики	121
5.1.5. Проходные резонаторы и их характеристики	123
5.1.6. Микрополосковые резонаторы и их характеристики.....	124
5.2. Фильтры СВЧ	131
5.2.1. Низкочастотные прототипированные и синтез фильтров СВЧ	132
5.3. Общие принципы построения фильтров СВЧ на неоднородных линиях.....	134
5.3.1. Построение фильтров СВЧ на микрополосковых линиях.....	137
5.3.2. Построение фильтров СВЧ на микрополосковых резонаторах	141
5.4. Волноводные фильтры СВЧ.....	143
Контрольные вопросы.....	144
 ГЛАВА 6. МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СВЧ	144
6.1. Разомкнутый отрезок микрополосковой линии.....	144
6.2. Прямоугольное симметричное расширение микрополосковой линии.....	145
6.3. Разрыв микрополосковой линии.....	146
6.4. Прямоугольный изгиб микрополосковой линии	147
6.5. Сосредоточенные элементы модулей СВЧ	148
6.5.1. Сосредоточенные резисторы и индуктивности	149
6.5.2. Сосредоточенные емкостные элементы	152
6.6. Квазисосредоточенные микрополосковые элементы.....	154
6.6.1. Микрополосковые отрезки с высоким и низким импедансами	154

6.6.2. Замкнутые и разомкнутые микрополосковые отрезки	
типа шлейф	156
Контрольные вопросы.....	157
ГЛАВА 7. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ	158
7.1. Лавинно-пролетные диоды СВЧ.....	159
7.1.1. Явление лавинного пробоя	161
7.1.2. Режимы работы лавинно-пролетного диода	162
7.2. СВЧ-диод Ганна	166
7.2.1. Эффект Ганна и механизм работы диода	
с объемной неустойчивостью заряда	167
7.2.2. Режимы работы генератора на диоде Ганна	171
7.3. СВЧ-диод с барьером Шоттки.....	173
7.4. Диод СВЧ с управлением импедансом (p-i-n диод)	176
7.5. Транзисторы СВЧ.....	178
7.5.1. Биполярные транзисторы СВЧ	178
7.5.2. Униполярные (полевые) транзисторы СВЧ	190
7.5.2.1. Полевые транзисторы СВЧ с барьером Шоттки	192
7.5.2.2. Эквивалентная схема полевого транзистора СВЧ.....	197
Контрольные вопросы.....	200
ГЛАВА 8. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ МИКРОСБОРКИ И МОДУЛИ СВЧ	201
8.1. Гибридные сборки и модули СВЧ.....	201
8.2. Микросхемы и микромодули СВЧ.....	206
8.3. Функциональные модули СВЧ	210
8.3.1. Модульные генераторы СВЧ	210
8.3.2. Модульные усилители мощности СВЧ	215
8.3.3. Модульные однокаскадные усилители мощности СВЧ	220
8.3.4. Частотно-преобразовательные модули СВЧ.....	225
8.3.4.1. Преобразование частоты в смесителях СВЧ.....	227
8.3.4.2. Характеристики модульных смесителей СВЧ.....	228
8.3.4.3. Небалансные модульные смесители СВЧ.....	231
8.3.4.4. Балансные модульные смесители СВЧ	236
Контрольные вопросы.....	240
ГЛАВА 9. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ	241
9.1. Классификация электронных приборов СВЧ.....	243
9.2. Характеристики электронных приборов СВЧ.....	243
9.3. Триоды и тетроды СВЧ	245
9.3.1. Электронный механизм работы триода СВЧ.....	247
9.4. Клистроны и их характеристики	249
9.4.1. Двухрезонаторный усилитель.....	250
9.4.2. Многорезонаторный усилительный клистрон	254
9.4.3. Отражательные клистроны	256

9.5. СВЧ-лампы бегущей и обратной волны О-типа	261
9.5.1. Лампа бегущей волны О-типа	261
9.5.2. Лампа обратной волны О-типа	267
9.5.3. Гибридные электронные СВЧ-приборы О-типа	271
9.6. Электронные СВЧ-приборы М-типа	272
9.6.1. Лампа бегущей волны М-типа	277
9.6.2. Лампа обратной волны М-типа	280
9.6.3. Многорезонаторный магнетрон	283
9.6.4. Генераторы магнетронного типа	287
Контрольные вопросы.....	288

ГЛАВА 10. ЗАДАЧИ РАСЧЕТА И МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ И МОДУЛЕЙ СВЧ	289
10.1. Одношлейфное согласование линии передачи с нагрузкой	290
10.2. Моделирование микрополоскового аттенюатора	297
10.2.1. Линейное моделирование микрополоскового аттенюатора на резисторах	297
10.2.2. Электромагнитное моделирование микрополоскового аттенюатора	304
10.3. Моделирование фильтра на микрополосковых линиях	309
10.4. Проектирование фильтра нижних частот	317
10.5. Проектирование фильтра верхних частот	330
10.6. Проектирование полосно-пропускающего фильтра	339
10.7. Проектирование делителя мощности	349
10.8. Проектирование линии задержки	356
10.9. Проектирование малошумящего усилителя	363
10.10. Проектирование балансного смесителя на диодах	370
10.11. Проектирование секций проходного волноводного дискретного фазовращателя	382
10.12. Проектирование проходного волноводного дискретного фазовращателя	391
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	393