

**А. А. Авксентьев,  
Н. Г. Воробьев,  
Г. А. Морозов,  
Н. Е. Стахова**

# **УСТРОЙСТВА СВЧ ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

# **УСТРОЙСТВА СВЧ ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ**

*Учебное пособие*

*2-е издание, переработанное и дополненное*

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2024

УДК 621.372

ББК 32.88

У82

*Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим управлением КНИТУ-КАИ*

Авторы:

Авксентьев А. А., Воробьев Н. Г., Морозов Г. А., Стахова Н. Е.

Рецензенты:

кафедра радиофизики Института физики  
Казанского федерального университета;  
канд. техн. наук, эксперт ФГ РОС филиала ПАО «МТС»  
в Республике Татарстан *С. П. Лахтин*

**У82      Устройства СВЧ для радиоэлектронных систем :**  
учебное пособие / [Авксентьев А. А. и др.]. – 2-е изд., пере-  
раб. и доп. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. –  
156 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-1698-6

Рассмотрены основные сведения о линиях передачи СВЧ, элемен-  
тах фидерных трактов, делителях мощности, устройствах с диодными и  
ферритовыми элементами. Приводятся сведения о применении метода  
декомпозиции к расчету устройств СВЧ, вопросы для самоподготовки.

Для обучающихся по направлениям и специальностям институтов  
радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий всех форм обучения  
и аспирантов.

УДК 621.372

ББК 32.88

ISBN 978-5-9729-1698-6 © Авксентьев А. А., Воробьев Н. Г., Морозов Г. А., Стахова Н. Е., 2024

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2024

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
Раздел 1. ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ СВЧ.....	6
§ 1.1. Основные определения .....	6
§ 1.2. Поле в линии передачи, нагруженной на конце.....	9
§ 1.3. Свойства отрезков линий передачи.....	13
§ 1.4. Согласование линий передачи с нагрузкой.....	17
Контрольные вопросы .....	20
Раздел 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕПЕЙ СВЧ .....	21
§ 2.1. Импедансные и волновые параметры устройств .....	21
§ 2.2. Нормированные параметры .....	28
§ 2.3. Матрицы рассеяния некоторых простейших многополюсников .....	32
§ 2.4. Использование метода декомпозиции при расчете СВЧ-устройств .....	36
§ 2.5. Многополюсники, описываемые матрицами со специальными свойствами.....	42
Контрольные вопросы .....	45
Раздел 3. ЭЛЕМЕНТЫ СВЧ-ТРАКТОВ .....	47
§ 3.1. Коаксиальные тракты .....	47
3.1.1. Элементы крепления внутреннего проводника.....	47
3.1.2. Изгибы, повороты .....	52
3.1.3. Измерение диаметра поперечного сечения .....	53
3.1.4. Разъемы.....	54
3.1.5. Вращающиеся сочленения .....	54
3.1.6. Четвертьволновые трансформаторы .....	56
§ 3.2. Полосковые тракты .....	57
§ 3.3. Тракты на прямоугольных волноводах.....	59
3.3.1. Изгибы, повороты, скрутки.....	59
3.3.2. Соединения волноводов .....	60
3.3.3. Разветвления волноводов .....	61
3.3.4. Реактивные отражающие волноводные элементы.....	63
3.3.5. Волноводные аттенюаторы .....	64
§ 3.4. Элементы трактов на круглых волноводах .....	65
3.4.1. Преобразователь поляризации на круглом волноводе .....	65
3.4.2. Вращающееся сочленение.....	67

§ 3.5. Волноводные переходы.....	67
3.5.1. Переход от прямоугольного волновода к круглому с волной $E_{01}$ .....	67
3.5.2. Переход от прямоугольного волновода с волной типа $H_{10}$ к круглому с волной типа $H_{11}$ .....	69
3.5.3. Переходы между коаксиальными и полосковыми линиями и волноводами .....	70
Контрольные вопросы .....	70
<b>Раздел 4. ДЕЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ И НАПРАВЛЕННЫЕ ОТВЕТВИТЕЛИ .....</b>	<b>72</b>
§ 4.1. Простейшие делители мощности .....	72
4.1.1. Использование симметричного тройника в качестве делителя .....	74
4.1.2. Расчет делителя, согласованного по входу.....	74
4.1.3. Делители с большим числом выходов .....	79
4.1.4. Делители мощности с последовательным соединением каналов.....	81
4.1.5. Волноводные делители мощности .....	82
4.1.6. Делители мощности оптического типа .....	84
4.1.7. Недостатки простейших делителей мощности .....	85
§ 4.2. Направленные ответвители.....	86
§ 4.3. Делители мощности с развязанными выходами .....	91
4.3.1. Делитель из направленного ответвителя.....	91
4.3.2. Кольцевой делитель мощности.....	92
4.3.3. Широкополосные развязанные делители мощности .....	95
§ 4.4. Устройства с ферритовыми сердечниками в диапазонах метровых и дециметровых волн .....	96
Контрольные вопросы.....	104
<b>Раздел 5. УПРАВЛЯЕМЫЕ И НЕВЗАЙМНЫЕ УСТРОЙСТВА СВЧ.....</b>	<b>106</b>
§ 5.1. Принципы работы устройств с ферритами.....	106
5.1.1. Магнитная проницаемость намагниченного феррита .....	106
5.1.2. Волноводный резонансный вентиль .....	111
5.1.3. Коаксиальные и полосковые резонансные вентили.....	113
5.1.4. Невзаимные фазовращатели .....	115
5.1.5. Поляризатор на эффекте Фарадея .....	116
5.1.6. Вентиль на смещении поля .....	120
5.1.7. Циркуляторы .....	121

§ 5.2. Принципы построения управляемых устройств	
с <i>p-i-n</i> -диодами.....	123
5.2.1. Эквивалентные схемы диодов .....	123
5.2.2. Простейшие СВЧ-выключатели на <i>p-i-n</i> -диодах .....	125
5.2.3. Схемы устройств подачи управляющих напряжений .....	129
5.2.4. Полупроводниковый переключатель .....	131
5.2.5. Проходной фазовращатель на коммутируемых отрезках линии передачи .....	132
5.2.6. Управляемые отражательные фазовращатели.....	133
5.2.7. Управляемые аттенюаторы .....	135
§ 5.3. Применение сегнетоэлектриков в устройствах СВЧ.....	137
§ 5.4. Анализ свойств управляемых схем СВЧ .....	139
5.4.1. Нагруженное мостовое устройство .....	139
5.4.2. Схема из двух мостовых устройств, соединенных через фазовращатель.....	141
5.4.3. Управляемый делитель мощности .....	143
Контрольные вопросы.....	146
Список литературы.....	148