



А. О. Касьянов

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН

учебное пособие



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Инженерно-технологическая академия

**А. О. КАСЬЯНОВ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
МИКРОПОЛОСКОВЫХ  
АНТЕНН**

*Учебное пособие*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2022

УДК 621.396.67(07)

ББК 32.845я73

К289

*Печатается по решению кафедры радиотехнических и телекоммуникационных систем Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета (протокол № 10 от 27 мая 2022 г.)*

**Рецензенты:**

доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры радиоэлектроники Донского государственного технического университета  
*М. Ю. Звездина*

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информатики и информационных таможенных технологий Ростовского филиала Российской таможенной академии *П. Н. Башлы*

**Касьянов, А. О.**

К289 Проектирование микрополосковых антенн : учебное пособие / А. О. Касьянов ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – 136 с.

ISBN 978-5-9275-4295-6

Учебное пособие посвящено вопросам проектирования микрополосковых антенн, использующих технологию изготовления объемных интегральных микросхем (ОИС) СВЧ. Большинство вопросов, подробно рассмотренных в данном пособии, ранее в учебной литературе не рассматривались и освещались лишь в периодических изданиях и трудах научных конференций, которые были практически недоступны студентам.

Целесообразность издания настоящего пособия, имеющего междисциплинарный характер, обусловлена необходимостью обеспечения учебного процесса по образовательным программам бакалавриата и специалитета по дисциплинам «Электроника» и «Специальные радиоэлектронные устройства».

Пособие предназначено для студентов специальности 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы» и студентов направления подготовки 11.05.02 «Инфокоммуникационные технологии».

УДК 621.396.67(07)

ББК 32.845я73

ISBN 978-5-9275-4295-6

© Южный федеральный университет, 2022

© Касьянов А. О., 2022

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	8
<b>1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ АНТЕНН В ПОЛОСКОВОМ ИСПОЛНЕНИИ</b> .....	9
<b>2. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АНТЕНН В ПОЛОСКОВОМ ИСПОЛНЕНИИ И ИХ ПРИНЦИП РАБОТЫ</b> .....	11
<b>3. ХАРАКТЕРИСТИКИ И РАСЧЕТ АНТЕНН РЕЗОНАТОРНОГО ТИПА</b> .....	17
3.1. Диаграмма направленности антенны .....	18
3.2. Входная проводимость антенны .....	20
3.3. Коэффициенты направленного действия, полезного действия и усиления антенны .....	26
3.3.1. Микрополосковая антенна с прямоугольным излучающим элементом .....	26
3.3.2. Микрополосковая антенна с излучающим элементом в виде диска .....	28
3.4. Порядок расчета антенны и ее характеристики .....	29
<b>4. ЛИНЕЙНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ С ЭЛЕМЕНТАМИ РЕЗОНАТОРНОГО ТИПА</b> .....	35
4.1. Основные соотношения для линейной решетки .....	35
4.2. Расчет антенны по заданным параметрам диаграммы направленности .....	37
4.3. Способы возбуждения элементов резонаторного типа в составе решетки .....	38
4.3.1. Микрополосковая антенная решетка с последовательным возбуждением .....	38
4.3.2. Микрополосковая антенная решетка с параллельным возбуждением .....	40
4.4. Делители Уилкинсона .....	42
4.4.1. Полосковый делитель мощности с равным делением мощности .....	42
4.4.2. Полосковый делитель мощности с неодинаковым распределением мощности .....	43

4.5. Порядок расчета линейной решетки .....	44
<b>5. ПЛОСКИЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ С ЭЛЕМЕНТАМИ РЕЗОНАТОРНОГО ТИПА .....</b>	<b>47</b>
5.1. Основные определения для плоской решетки .....	47
5.2. Множитель направленности плоской синфазной антенной решетки .....	47
5.3. Способы возбуждения элементов резонаторного типа в составе плоской решетки .....	49
5.3.1. Способы возбуждения МПИ в составе плоской антенной решетки .....	49
5.3.2. Возбуждение МПИ из состава плоской МПАР посредством МПЛ .....	50
5.4. Порядок расчета плоской решетки .....	54
5.4.1. Расчет антенной решетки .....	54
5.4.2. Расчет схемы питания .....	55
<b>6. ДРУГИЕ ПОЛОСКОВЫЕ ИЗЛУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>58</b>
6.1. Вибраторные системы с дискретным питанием .....	58
6.2. Вибраторные системы с резонансным возбуждением .....	59
6.3. Излучающие системы бегущих волн .....	60
6.4. Щелевые антенны с полосковой линией питания .....	61
<b>7. ПЕЧАТНЫЕ ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ КАК ИСКУССТВЕННЫЕ ИМПЕДАНСНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ .....</b>	<b>63</b>
7.1. Искусственные импедансные поверхности .....	63
7.2. Моделирование искусственной импедансной поверхности .....	63
7.2.1. Метод расчета $Z$ на основе вычисления поверхностного интеграла отношения напряженностей полей .....	64
7.2.2. Метод расчета $Z$ на основе определения показателя преломления для импедансной поверхности .....	65
7.2.3. Метод расчета $Z$ на основе вычисления коэффициента отражения волн .....	67
7.3. Синтез топологии печатной структуры голографическим методом .....	69

7.4. Искусственные анизотропные импедансные поверхности .....	74
7.5. Голографическое восстановление волнового фронта с помощью анизотропно-проводящей поверхности .....	79
7.6. Итоговые рекомендации по проектированию печатных отражательных антенных решеток как искусственных импедансных поверхностей .....	87
<b>8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОСКОСТНОЙ ЛИНЗЫ ЛЮНЕБЕРГА НА ОСНОВЕ ИМПЕДАНСНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ВИДЕ ПЕЧАТНОЙ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ .....</b>	<b>88</b>
8.1. Области применения и принцип работы линзы Люнеберга .....	88
8.2. Модуляция поверхностного импеданса с помощью печатной решетки отражательного типа .....	90
8.3. Конструктивная реализация плоскостной линзы Люнеберга на основе микрополосковой отражательной антенной решетки .....	95
8.4. Конструирование линзовых антенн Люнеберга на основе импедансных поверхностей в виде микрополосковых ОАР .....	103
8.5. Итоговые рекомендации по проектированию линзовых антенн Люнеберга на основе импедансных поверхностей в виде микрополосковых ОАР .....	111
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>112</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>114</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>117</b>
П1. Зависимость основных параметров диаграммы направленности антенны от амплитудно-фазового распределения тока на её раскрыве .....	117
П2. Пример расчета полоскового восьмиканального делителя мощности .....	120
П3. Эквивалентные схемы микрополосковых дифракционных решеток .....	128