

УДК 621.396.67

ББК 32.845

K289

*Выписка из протокола заседания экспертного совета  
«Инженерные науки» № 5 от 1 июня 2020 г.*

**Рецензенты:**

профессор кафедры информатики и информационных таможенных технологий Ростовского филиала Российской таможенной академии,  
доктор технических наук, доцент *П. Н. Башлы*  
заведующий кафедрой радиофизики ЮФУ,  
доктор физико-математических наук, профессор *Г. Ф. Заргано*

**Касьянов, А. О.**

K289 Апертурные антенны в печатном исполнении. Методы проектирования и области применения : монография / А. О. Касьянов ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. – 203 с.

ISBN 978-5-9275-3762-4

DOI 10.18522/801274252

Рассмотрены вопросы разработки апертурных антенн в печатном исполнении; а также вопросы их электродинамического моделирования, системы автоматизированного проектирования и области применения таких электродинамических структур. Особое внимание уделено вопросам разработки адекватных математических моделей для них с учетом возможности их комплексного использования в современных радиоэлектронных системах, например, для создания зеркальных антенн с плоскими рефлекторами, планарных линз, печатных фазированных антенных решеток и т.д. Описан комплекс вычислительных программ автоматизированного проектирования апертурных антенн в печатном исполнении. Исследованы электродинамические характеристики антенн данного класса и даны рекомендации для их автоматизированного проектирования. Теоретические материалы подкреплены результатами экспериментальных исследований и примерами расчетов. Работа представляет интерес для инженеров, научных работников, аспирантов и магистрантов.

УДК 621.396.67

ББК 32.845

ISBN 978-5-9275-3762-4

© Южный федеральный университет, 2021

© Касьянов А. О., 2021

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ .....	7
ВВЕДЕНИЕ .....	10
ГЛАВА 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАР ПРОХОДНОГО ТИПА В ПЕЧАТНОМ ИСПОЛНЕНИИ .....	17
1.1. Плоские линзовые антенны на основе решеток печатных элементов .....	17
1.1.1. ФАР проходного типа с оптической схемой питания .....	17
1.1.2. Плоские фокусирующие радиолинзы на основе частотно-избирательных поверхностей .....	18
1.1.3. Типы плоских микрополосковых радиолинз .....	18
1.1.4. Применение плоских радиолинз на основе печатных ФАР в качестве антенных систем с обработкой сигналов .....	20
1.1.5. Плоские печатные микроволновые линзы типа «антенна-фильтр-антенна» ( <i>Antenna-Filter-Antenna</i> ) .....	22
1.1.6. Плоские линзовые антенны с перестраиваемой топологией печатных элементов .....	23
1.2. Электродинамическое моделирование плоской спирафазной фокусирующей радиолинзы на основе решеток печатных элементов .....	26
1.2.1. Принцип работы плоской спирафазной фокусирующей линзы .....	26
1.2.2. Математическая модель плоской спирафазной фокусирующей линзы .....	28
1.2.3. Результаты численного моделирования спирафазных антенных решеток и плоской линзовой антенны в целом .....	34
1.2.4. Результаты экспериментальных исследований печатных спирафазных отражательных антенных решеток и плоской линзовой антенны на их основе .....	43
1.3. Применение печатных отражательных решеток для создания микроволновых линз с улучшенными характеристиками .....	49
1.3.1. Постановка задачи .....	49
1.3.2. Принцип работы «свернутой» фокусирующей линзы .....	50

1.3.3. Построение «свернутой» фокусирующей линзы на основе печатных антенных решеток отражательного типа .....	52
Выводы .....	58
<b>ГЛАВА 2. ОДНОЗЕРКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ С ПЛОСКИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ НА ОСНОВЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК .....</b>	<b>62</b>
2.1. Принципы функционирования, конструкции и применения однослойных микрополосковых ОАР .....	62
2.1.1. Общая характеристика .....	62
2.1.2. Микрополосковые ОАР из одинаковых переизлучающих печатных элементов со шлейфами, имеющими различную длину ....	63
2.1.3. Микрополосковые ОАР из переизлучающих печатных элементов одинаковой формы, различающихся размерами .....	64
2.1.4. Микрополосковые ОАР с подвижными элементами .....	65
2.1.5. Микрополосковые дифракционные решетки, фокусирующие рассеянное поле в направлениях незеркального отражения ..	65
2.1.6. Плоские рефлекторы, выполненные по принципу антенн Френеля .....	66
2.2. Конструктивный синтез зеркальной антенны с рефлектором в виде плоской решетки печатных излучателей .....	67
2.2.1. Плоский печатный фазокорректирующий рефлектор .....	67
2.2.2. Электродинамическая модель плоского печатного ФКР ....	68
2.2.3. Выбор конструкции ФКР по результатам численного исследования .....	69
2.3. Комплекс программ электродинамического анализа отражательных АР .....	77
2.3.1. Схема построения и краткая характеристика программного комплекса в целом .....	77
2.3.2. Конструктивный синтез микрополосковых отражательных антенных решеток .....	79
2.3.3. Численный пример .....	82
2.4. Экспериментальное исследование макетов зеркальных антенн с плоскими ФКР .....	87
2.5. Разработка сканирующих антенных систем на основе ЗА с плоскими ФКР .....	89

Оглавление

2.6. Диапазонные свойства ЗА с рефлектором в виде плоской МДР	92
2.7. Расширение функций плоского фазокорректирующего рефлектора при включении импедансных нагрузок .....	93
2.7.1. Постановка задачи расширения функций плоского ФКР ....	93
2.7.2. Расширение диапазона изменения фазовых задержек .....	94
2.7.3. Расширение полосы рабочих частот .....	97
2.7.4. Разработка фазокорректирующего твист-рефлектора ....	99
2.7.5. Сканирующий фазокорректирующий рефлектор .....	101
Выводы .....	102
<b>ГЛАВА 3. ДВУХЗЕРКАЛЬНЫЕ АНТЕННЫ С ПЛОСКИМИ РЕФЛЕКТОРАМИ НА ОСНОВЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК .....</b>	<b>104</b>
3.1. Принцип работы и области применения ДЗА на основе микрополосковых ОАР .....	104
3.2. Методы анализа двухзеркальных антенн на основе микрополосковых ОАР .....	107
3.2.1. Методики расчета фазокорректирующих отражательных печатных решеток .....	107
3.2.2. Спектральный анализ вибраторной отражательной решетки, устанавливаемой на вспомогательном рефлекторе многозеркальной антенны в печатном исполнении .....	108
3.2.3. Методики проектирования основного плоского рефлектора свернутой ОАР .....	111
3.2.4. Приближенный расчет направленных свойств ДЗА на основе печатных ОАР .....	112
3.3. Электродинамическое моделирование двухзеркальных антенн на основе микрополосковых ОАР .....	115
3.3.1. Математическая модель ДЗА Кассегрена в виде печатной отражательной АР .....	115
3.3.2. Топологии элементов ОАР фазокорректирующего твист-рефлектора ДЗА Кассегрена .....	116
3.3.3. Конструктивный синтез топологии элементов ОАР основного зеркала на основе электродинамического моделирования рассеяния волн ФКТР свернутой ДЗА Кассегрена .....	119

Оглавление

3.3.4. Расчет вспомогательного плоского зеркала ДЗА Кассегрена	126
3.3.5. Печатные частотно-избирательные решетки, помещенные между сверхтонкими плоскими диэлектрическими слоями покрытия и подложки	131
3.4. Методика конструктивного синтеза печатного фазокорректирующего твист-рефлектора с улучшенными характеристиками	132
3.4.1. Постановка задачи	132
3.4.2. Определение основных параметров отражательной решетки ФКТР	135
3.4.3. Конструктивный синтез ФКТР на основе решения электродинамических задач	138
3.5. Результаты конструктивного синтеза топологии элементов ОАР основного зеркала	149
3.6. Расчет вспомогательного плоского зеркала ДЗА Кассегрена	156
3.7. Расчет характеристик направленности ДЗА, выполненных из многоэлементных плоских микрополосковых ОАР	159
Выводы	168
<b>ГЛАВА 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ЗАДАЧ</b>	170
4.1. Предпосылки к разработке вопроса исследования режима ФАР	170
4.2. Эффект «ослепления» микрополосковой ФАР	170
4.3. Методики определения углов «ослепления» микрополосковых ФАР	171
4.4. Применение математической модели микрополосковой ОАР	172
4.5. Численные результаты	175
Выводы	182
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	184
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	188