

621,396

П 394

**А. В. Станковский, Р. О. Рязанцев,
С. В. Поленга, Ю. П. Саломатов**

**ПЛОСКИЕ СКАНИРУЮЩИЕ
АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ**

Красноярск
2024

А. В. Станковский, Р. О. Рязанцев, С. В. Поленга, Ю. П. Саломатов

ПЛОСКИЕ СКАНИРУЮЩИЕ АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Красноярск

2024

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

А. В. Станковский, Р. О. Рязанцев, С. В. Поленга, Ю. П. Саломатов

ПЛОСКИЕ СКАНИРУЮЩИЕ АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ

553 154



Красноярск

2024

Издается в рамках государственного задания ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (FSRZ–2023–008).

Рецензенты:

С. Б. Глыбовский, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник физического факультета университета ИТМО,
г. Санкт-Петербург

Р. Г. Галеев, доктор технических наук, генеральный директор АО
«Научно-производственное предприятие «Радиосвязь»,
г. Красноярск

Станковский А. В.

Плоские сканирующие антенные системы: монография / А. В. Станковский, Р. О. Рязанцев, С. В. Поленга, Ю. П. Саломатов. 2024. – 192 с.

Монография посвящена плоским антенным системам с широкоугольным механоэлектрическим сканированием для обеспечения непрерывной работы систем спутниковой связи и передачу данных на мобильных и стационарных терминалах.

Рассмотрены различные структуры квазиоптического управления лучом на основе искусственных диэлектриков и структуры в виде частотно-селективных поверхностей. Исследована низкопрофильная антенная решётка, выступающая в качестве облучателя в плоских отклоняющих, фокусирующих и сканирующих системах. Рассмотрены различные поляризаторы для работы сканирующих антенных систем с источниками электромагнитных волн с круговой поляризацией.

В настоящее время активно разрабатываются и совершенствуются спутниковые системы связи с использованием низкоорбитальных, среднеорбитальных и высокоэллиптических космических аппаратов. В связи с чем

возникает потребность в сканирующих антенных системах для наземных мобильных и стационарных терминалов. На основе рассмотренных в работе антенн могут быть разработаны плоские сканирующие антенные системы, применяемые в таких терминалах.

Монография предназначена для научных работников, радиоинженеров, аспирантов и студентов радиотехнических специальностей; может быть полезна разработчикам перспективных спутниковых систем связи.

ISBN 978-5-6045274-9-8

© Станковский А. В., Рязанцев Р. О.,
Поленга С. В., Саломатов Ю. П., 2024
Все права защищены

Оглавление

Введение	7
1. Антенные системы с широкоугольным механоэлектрическим сканированием.....	10
1.1. Сканирование на основе диэлектрических клиньев	25
1.2. Математическое моделирование.....	32
2. Диэлектрические структуры управления лучом ДН.....	38
2.1. Структуры с линейным фазовым набегом	39
2.2. Зависимость КНД от угла наклона ДН.....	59
2.3. Фокусирующая структура (линзовая антенна).....	60
2.4. Сканирующие антенные системы.....	64
2.5. Многослойные диэлектрические структуры со смещенными отверстиями и линейным фазовым набегом.....	69
2.6. Влияние согласующего слоя	73
2.7. Структуры на основе фазокорректирующих элементов	84
2.8. Изготовление и экспериментальные исследования системы дисков....	101
3. ДОО сканирующих антенн на основе СТС.....	111
3.1. Антенные системы на основе СТС излучателей.....	111
3.2. Волноводно-щелевые АР, выполненные с применением СТС-технологии	119
3.3. Низкопрофильные АР с высокой эффективностью, выполненные с применением СТС-технологии.	123
3.4. Сканирующие антенные системы, выполненные по СТС технологии .	125
3.5. Модель составной части антенной решетки	129
3.6. Экспериментальные исследования макета СЧ АР.....	136
4. Поляризационные характеристики сканирующей АС.....	149
4.1. Прототипы поляризаторов.....	151
4.2. Двухслойный поляризатор на пассивных диполях	155
4.3. Поляризатор из металлических пластин	157

4.4. Двухслойный меандровый поляризатор	160
4.5. Широкополосный трехслойный меандровый поляризатор	165
4.6. Оптимальный размер поляризатора	170
4.7. Измерение поляризационных характеристик	171
Заключение	175
Список сокращений	176
Список литературы	178

Введение

В настоящее время активно разрабатываются и совершенствуются спутниковые системы связи с использованием низкоорбитальных, среднеорбитальных и высокоэллиптических космических аппаратов (КА). Это приводит к тому, что возникает потребность в сканирующих антенных системах (АС) для наземных терминалов (мобильных: автомобиль, поезд, судно; и стационарных), которые могут обеспечить непрерывную работу систем спутниковой связи (ССС) и передачу данных [1], [2], [3]. Введение в эксплуатацию новых спутниковых группировок, использующих негеостационарные орбиты, для связи и дистанционного зондирования Земли, требует постоянного слежения за спутником даже для стационарных терминалов.

Стоит отметить, что в труднодоступных и удаленных местностях, к которым относятся большие территории РФ, зачастую нет возможности организовать наземную связь. В этом случае для обеспечения информационной связанности остаётся единственный вариант – использование спутниковой связи.

Сканирующие АС обеспечивают перемещение максимума диаграммы направленности (ДН) одним из нескольких способов:

- механический (реализуется путём поворота всей антенны и характеризуется наибольшей инерционностью);
- электрический (изменение токов или напряжений при помощи управляющих устройств, приводящее к изменению амплитудно-фазового распределения (АФР) в раскрыве антенны);
- механоэлектрический (с помощью электродвигателей или электромагнитов осуществляющих механическое перемещение одного или нескольких элементов антенны приводящих к изменению АФР).

АС с механическим сканированием зачастую не отвечают требованиям к габаритам и скорости перемещения луча ДН. В то же время, АС с электрическим типом сканирования, имеющие, как правило, малый профиль и высокое быстродействие, изготавливаются на основе специализированных микросхем

иностранным производством. Недоступность или высокая стоимость таких компонентов приводит к невозможности создания на их основе антенн, доступных для массового потребителя. АС с механоэлектрическим типом сканирования – это альтернативные решения для создания низкопрофильных сканирующих антенн, которые представляют наибольший интерес.

Рассматриваемые в рамках данной работы АС по своим характеристикам относятся к механоэлектрическому способу сканирования, поскольку части её перемещаются относительно друг друга без изменения профиля антенны при помощи электродвигателей (механически), но сам принцип управления ДН больше подходит под описание электрического способа сканирования и является квазиоптическим [4], [5], [6], [7].

Монография состоит из четырёх глав, посвященных исследованию плоских сканирующих антенн. В первой главе представлен обзор существующих антенн с механоэлектрическим сканированием, рассмотрен принцип квазиоптического управления лучом ДН на основе отклоняющих структур в виде диэлектрических клиньев, а также приведены результаты математического моделирования такого управления. Вторая глава посвящена исследованию отклоняющих структур на основе искусственных диэлектриков и на основе фазокорректирующих элементов, а также сканирующих антенн на основе таких структур. Приведены результаты электродинамического моделирования и экспериментальных измерений. Дополнительно рассмотрена возможность создания фокусирующих структур, исследованы способы уменьшения обратных потерь, в том числе за счёт использования согласующих слоёв. В третьей главе рассматриваются варианты антенн, которые могли бы быть использованы в составе плоских сканирующих антенных систем, приводятся результаты электродинамического моделирования и экспериментальных исследований макета антенны, выполненной по технологии Continuous Transverse Stub. Четвёртая глава посвящена исследованию поляризационных характеристик сканирующих антенн. Рассмотрены различные варианты поляризаторов, имеющих также плоскую форму, для преобразования

линейной поляризации антенны в эллиптическую. Приводятся результаты электродинамического моделирования и экспериментальных измерений.