

Кольцевая антенная решетка S-диапазона круговой поляризации

Артём С. Антонов, Александр В. Кочетов, Екатерина А. Хвостова

АО «НПП «Радар ммс»

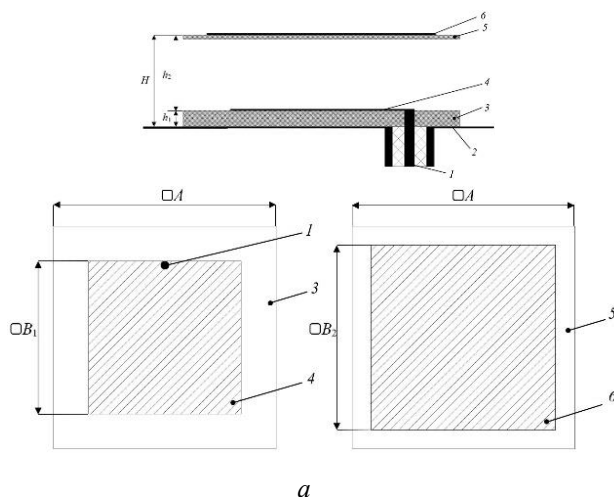
УДК 621.396.677.33

Аннотация. В докладе приведены результаты разработки антенной решетки S-диапазона. Конфигурация решетки и конструкция одиночного элемента позволяет излучать и принимать сигналы наносекундной длительности, в т. ч. круговой поляризации. Представлены результаты электродинамического моделирования разработанной антенной решетки и экспериментального исследования макетного образца.

Ключевые слова: антенные решетки, круговая поляризация, S-диапазон

I. ВВЕДЕНИЕ

S-диапазон частот остается весьма востребованным в современных системах радиолокации, радионавигации, радиоастрономии и космических исследований, а также в метеорологии, цифровом радиовещании и мобильной связи. Ключевое преимущество S-диапазона перед более высокочастотными диапазонами, такими как Ка и Ку, заключается в его значительно большей устойчивости к неблагоприятным погодным условиям. В этой связи перед разработчиками антенных решеток (АР) для S-диапазона стоят две взаимосвязанные актуальные задачи: эффективное сужение диаграммы направленности (ДН) при сохранении компактности решетки и расширение ее рабочей полосы частот. Целью данной работы является разработка широкополосной антенной решетки S-диапазона с возможностью сужения диаграммы направленности для повышения ее практической значимости в перечисленных приложениях.



II. КОНСТРУКЦИЯ АНТЕННОГО ЭЛЕМЕНТА И РЕШЕТКИ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одиночный излучающий элемент. Конструктивно одиночный элемент решетки выполнен в виде каскадной квадратной микрополосковой антенны (рис. 1а). Основание антенны образует нижний резонатор (4), питаемый коаксиальным штырем (1), проходящим через основание металлического экрана (2). Верхний резонатор (6) возбуждается посредством электромагнитной связи с нижним. Оба резонатора размещены на диэлектрических подложках (3,5) из материала FR-4.

На рис. 1б представлены расчетная и измеренные частотные зависимости коэффициента отражения одиночных элементов. Экспериментально подтвержденная рабочая полоса частот, определяемая по уровню $S_{11} < -10$ дБ, составляет 20% в S-диапазоне. Достигнутая ширина полосы соответствует временному разрешению порядка 2 нс для передаваемых сигналов. Основные геометрические параметры антенны приведены в табл. 1. Нормированная трехмерная диаграмма направленности излучателя на центральной частоте представлена на рис. 2.

Концепция каскадного возбуждения резонаторов находит отражение в известных работах [1, 2], предлагаемая же конструкция оптимизирована для решения поставленных задач.

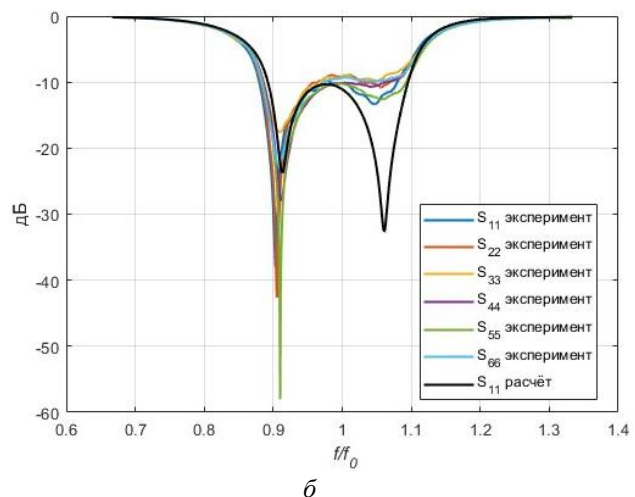


Рис. 1. Сечение антенны плоскостью элемента питания и поперечные размеры резонаторов (а); расчетная и экспериментальная частотные зависимости коэффициента отражения от входа антенны (б)

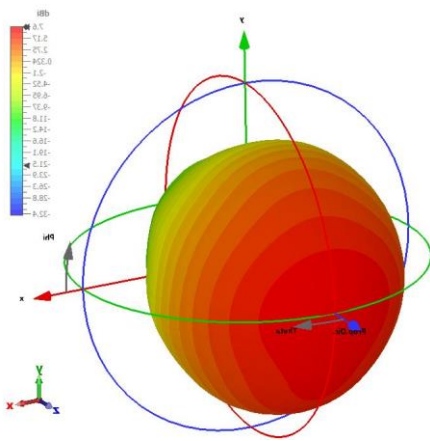


Рис. 2. Трехмерная ДН одиночной антенны на центральной частоте рабочего диапазона

ТАБЛИЦА I. ОСНОВНЫЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АНТЕННЫ

Обозначение параметра	Размер, отнесенный к длине волны
A	0.35λ
B	0.23λ
B1	0.29λ
H	0.12λ
h1	0.02λ
h2	0.1λ

III. АНТЕННАЯ РЕШЕТКА И МЕТОДЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Разработанная АР интегрирует шесть идентичных элементов, равномерно распределенных по окружности диаметром λ – длина волны на центральной частоте рабочего диапазона. Каждый элемент ориентирован с последовательным азимутальным поворотом на 60° относительно предыдущего (рис. 3).

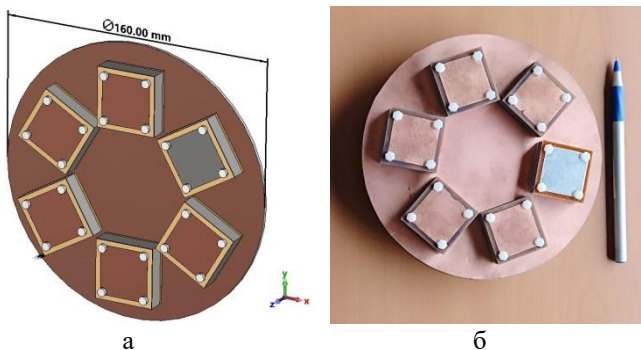


Рис. 3. Компьютерная модель разработанной антенной решетки (а) и фотография изготовленного экспериментального образца (б)

В работе исследованы два основных режима возбуждения АР:

1. Режим круговой поляризации (КП): реализуется путем равноамплитудного возбуждения элементов с циклическим фазовым сдвигом 60° (амплитудная и фазовая ДН – рис. 4а, 5а)
2. Синфазный режим: характеризуется равноамплитудным возбуждением без фазового сдвига между элементами (амплитудная и фазовая ДН – рис. 4б, 5б).

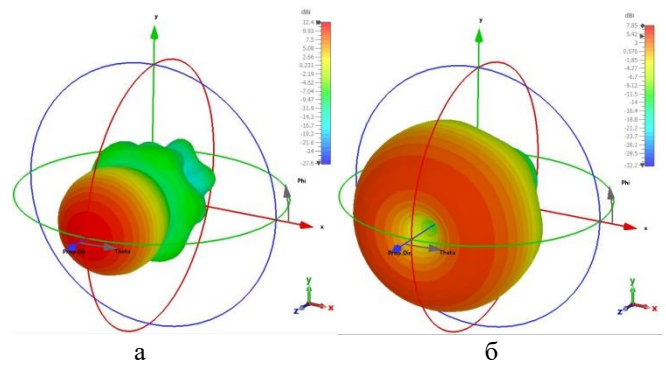


Рис. 4. Трехмерные ДН АР в режиме КП (а) и в синфазном режиме (б)

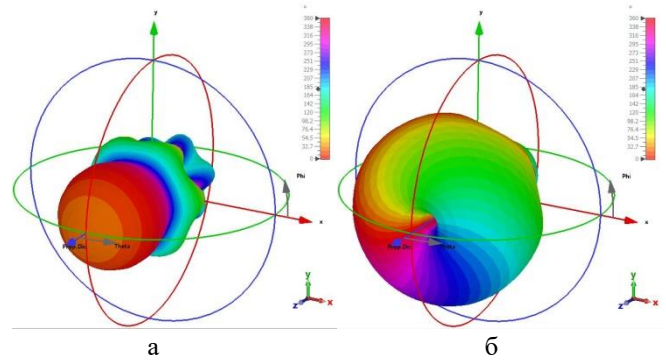


Рис. 5. Трехмерные фазовые ДН АР в режиме КП (а) и в синфазном режиме (б)

Ключевым наблюдением является возникновение выраженного провала в главном направлении синфазной ДН, совпадающего с направлением максимума ДН в режиме КП. Данный эффект обусловлен деструктивной интерференцией полей в синфазном режиме вследствие специфической пространственно-поляризационной структуры расположения элементов. Это позволяет эффективно формировать разностную ДН с существенно зауженным главным лепестком. При работе АР в составе радиолокатора реализация фазовых смещений возможна на этапе цифровой обработки сигналов с использованием соответствующих векторов весовых коэффициентов.

Экспериментальные результаты демонстрируют возможность сужения ширины ДН по уровню половинной мощности с 36° в режиме КП до 2° . Результаты эксперимента для пеленгации цели, расположенной на угловом направлении $\theta=2^\circ$ приведены на рис. 6. Принцип поляризационного сужения ДН для одиночных элементов обсуждается в [3]; настоящее исследование развивает этот подход для антенных решеток.

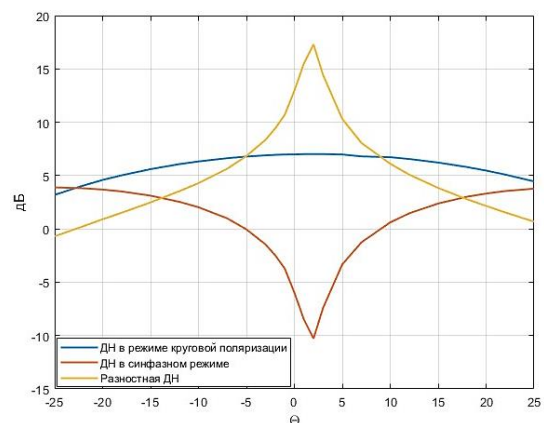


Рис. 6. Экспериментальные ДН

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе экспериментально продемонстрирована компактная кольцевая антенная решетка S-диапазона, обеспечивающая широкою полосу рабочих частот и уникальную возможность поляризационного управления шириной ДН. Ключевым результатом является достижение сверхсужения главного лепестка разностной ДН. Предложенная архитектура решетки позволяет сохранить малые габариты, критически важные для практических применений. Достигнутое сочетание широкой полосы пропускания, компактности и крайне узкой ДН существенно расширяет функциональность антенных систем S-диапазона для задач радиолокации и навигации. Полученные экспериментальные результаты подтверждают высокую эффективность поляризационного метода сужения ДН в многоэлементных конфигурациях, открывая перспективы для создания систем с высоким угловым разрешением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Jaume Anguera, Carles Puente, and Carmen Borja, «A Procedure to Design Stacked Microstrip Patch Antenna Based on a Simple Network Model». *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 30. №3 pp. 149-151 August 2001.
- [2] Антонов А.С., Балландович С.В., Костиков Г.А., Савельев В.А., Сорокин А.А., Сугак М.И. Многослойная печатная антенная решетка круговой поляризации // Сборник трудов 17-й научной молодежной школы с международным участием «Материалы и технологии гибкой электроники», 13-14 ноября 2014 г., СПб, Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 25-29.
- [3] Банков С.Е. Антенны спутниковых навигаторов. Москва: Изд-во «Перо», 2014. 693 с.