

УДК 519.87:537.86:621.396.677.45

Моделирование диаграммы направленности от системы спиральных излучателейМ.А. Бурнин

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. О.В. Богданов
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
 E-mail: mab54@tpu.ru

Modeling of the radiation pattern from a system of spiral radiatorsM.A. Burnin

Scientific Supervisor: Prof., Dr. O.V. Bogdanov
 Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
 E-mail: mab54@tpu.ru

Abstract. A digital model of an emitter has been built in COMSOL Multiphysics with a non-trivial phase surface shape. Radiators with circular polarization are selected as the basic elements of the system. Electromagnetic fields and radiation patterns in the far field have been studied.

Key words: Modeling; radiation; radiation pattern; circular polarization.

Введение

Моделирование диаграмм направленности для излучателей играет важную роль в проектировании и оптимизации антенных систем. Диаграмма направленности показывает, как антенна излучает или принимает сигналы в зависимости от пространственных характеристик. Это помогает определить оптимальное расположение и ориентацию антенны для достижения максимальной эффективности при передаче или приеме сигналов. Моделирование источников излучения позволяет анализировать различные характеристики антенн, такие как направленность, усиление, угловые характеристики излучателя, поляризация, эффективность и уплотнение пропускной способности. Эти данные помогают выбрать наиболее подходящую антенну для конкретного приложения и оптимизировать ее работу. Кроме того, моделирование диаграмм направленности позволяет предсказать взаимодействие сигналов от различных антенн, что помогает избежать помех и интерференции в радиочастотных системах. В работе представлена схема источника излучения из излучателей с круговой поляризацией [1–5]. Особое расположение излучателей в пространстве и сдвиг фаз позволил смоделировать источник излучения с нетривиальной формой фазовой поверхности поля. Практическое применение таких схем может быть полезно при разработке источников излучения с улучшенной диаграммой направленности и увеличенной плотностью передачи данных [1–7].

Экспериментальная часть

Метод конечных элементов аппроксимирует поля внутри каждого элемента K_e с помощью базисных функций φ_i : $E \approx \sum_{i=1}^N E_i \varphi_i$, $H \approx \sum_{i=1}^N H_i \varphi_i$ (1). Область вокруг модели определяется как вакуум, а самый внешний слой поглощает все исходящие волны и предотвращает отражение от границ расчетной области. Создаем систему уравнений Максвелла, учитывающую наличие поглощающих материалов: $\int [(\nabla \times E) \cdot \varphi_i + (j\omega\mu H + \sigma_m H) \varphi_i] dV = 0$ (2) и $\int [(\nabla \times H) \cdot \varphi_i + (j\omega\mu E + \sigma_e E) \varphi_i] dV = 0$ (3). Базовый элемент излучает волны на частоте 300 ГГц ($\lambda=1$ мм). Радиус окружности на которой расположены излучатели $R \approx 2\lambda$. Фазы излучателей сдвинуты друг относительно друга на величину $\varphi_i = \frac{2\pi li}{6}$ (4), $i = \overline{1, 6}$.

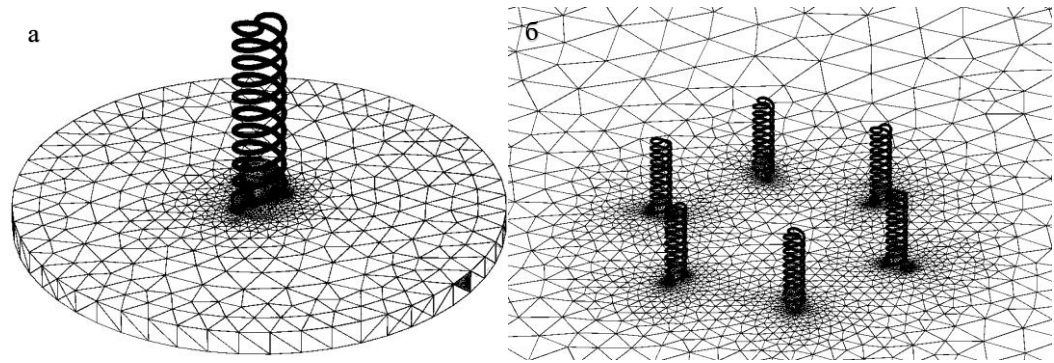


Рис. 1. Цифровой макет излучателя: а) Базовый излучатель. Радиус винтовой антенны и толщина заземления равны 160 мкм, шаг спирали 250 мкм, число витков 5, длина контактного пина 48 мкм. б) Система

Таблица 1

Параметры расчетной сетки нормальной модели

Наименование параметра сетки	Значение
Minimum element size	0,19990 мм
Maximum element size	5,5810E-5 мм
Maximum element growth rate	1,5
Curvature factor	0,6
Resolution of narrow regions	0,5

Результаты

Базовой элемент имеет круговую поляризация, система излучателей также сохраняет это свойство.

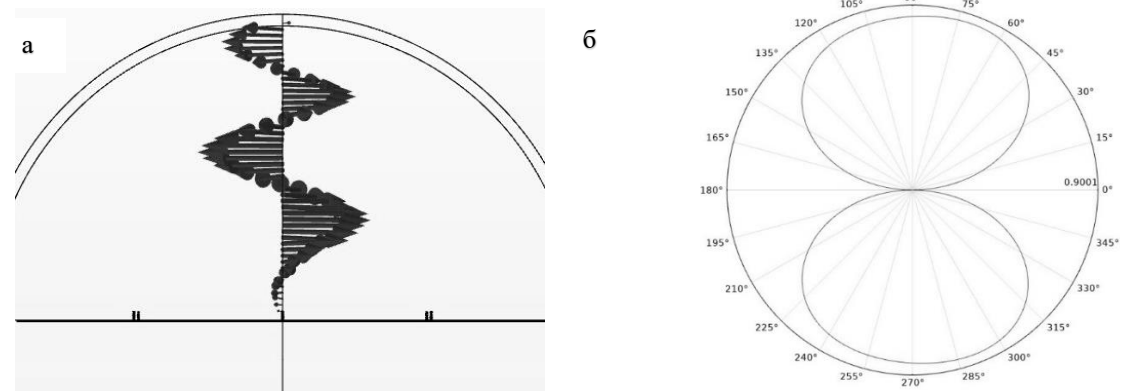


Рис. 2. Поляризация $\vec{E}$ системы (а);
Диаграмма направленности $\vec{E}$ базового излучателя (б)

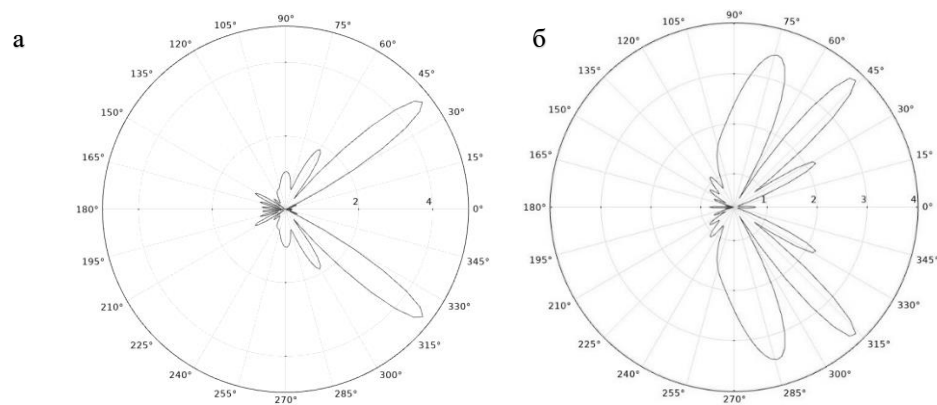


Рис. 3. Сдвиг по фазе $l = 0$ (а); Сдвиг по фазе $l = 1$ (б)

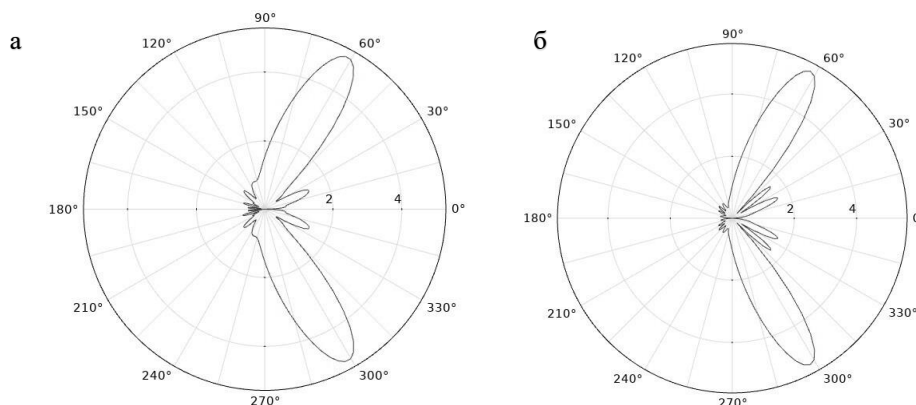


Рис. 4. Сдвиг по фазе $l = 2$ (а); Сдвиг по фазе $l = 3$ (б)

Заключение

Параметр l позволяет управлять углом отклонения основного лепестка от оси системы. Система не излучает вдоль оси из-за симметрии расположения излучателей и заданного фазового распределения. Это может быть полезно для задач, где требуется подавление излучения в определенном направлении.

Список литературы

1. Chen R.J. Hybrid Circular Array and Luneberg Lens for Long-Distance OAM Wireless Communications // IEEE Access. – 2023. – Vol. 71, № 1. – P. 486–488.
2. Jha P., Wu K. Orbital Angular Momentum Wave and Propagation // IntechOpen. – 2010. – 30 с.
3. Kazinski P.O. Multiplexing signals with twisted photons by a circular arc phased array // Annals of Physics. – 2024. – Vol. 169610. – P. 1–13.
4. Noor S.K. A Review of Orbital Angular Momentum Vortex Waves for the Next Generation Wireless Communications // IEEE Access. – 2021. – Vol. 10, № 1109. – P. 89471–89575.
5. Zhao L. Ultra-wide band OAM Antenna Based on Circular Phased-array Conical Dielectric Resonator // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10, № 1109. – P. 2176–2179.
6. Бурнин М.А. Моделирование источника излучения с нетривиальной формой фазовой поверхности // Сборник статей всероссийской молодежной научной конференции, посвященной 85-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ, профессора Гришина Анатолия Михайловича «Все грани математики и механики». – Томск: Изд-во ООО "СТТ", 2024. – С. 25–29.
7. Comsol Application Gallery Circularly Polarized Antenna for GPS Applications // Application ID: 15835: сайт. 2024. – URL: <https://www.comsol.com>.