

Метод проектирования сфокусированных антенных решеток с оптимизацией эффективности передачи энергии

Р.К. Хайбуллин¹, К.Н. Каримов¹, Ю.В. Липатов¹

¹Казанский Национальный Исследовательский Технический Университет им. А.Н. Туполева – КАИ, К. Маркса 31, Казань, Россия, 420111

Аннотация. В работе использован новый метод с использованием оптимизации эффективности передачи энергии для разработки сфокусированных антенных решеток. Теория оптимизации использует влияния взаимного соединения в конструкции и позволяет получить более точное и легкое контролируемое фокусное расстояние. Для проверки этого убеждения применительно к антенным решеткам предложен метод проектирования. Результаты исследования показывают работоспособность метода.

1. Вступление

Сфокусированная антенная решетка – антенная решетка, позволяющие сфокусировать энергию антенны к малой точке в ближнем поле. Цель развития этого вида антенны приходит от потребностей медицинских применений [2] и передачи беспроводных энергий микроволнами. В медицинском применении СВЧ-фокусировка желательна для максимального нагрева раковых тканей без нагрева здоровых тканей, прилегающих к опухоли.

Для достижения более высокой эффективности и во избежание отрицательных эффектов ближней зоны поля, антенны должны иметь приемлемые уровни боковых лепестков и фокусное расстояние. Оптимальным распределением поля является угловая вытянутая сфероидальная амплитуда со сферическим фазовым фронтом в области 90 градусов [3]. Тем не менее, нет хороших методик для оптимального рассеивания непрерывного распределения апертуры по элементам массива для разработки сфокусированной антенной решетки. Наиболее популярной является квадратичная фазированная решетка [5], которая была спроектирована с квадратичным распределением фаз, которая в какой-то степени позволила получить сфокусированный луч. Однако уровни боковых лепестков сконструированной антенны с этим методом высоки. Было предложено уменьшить уровни боковых лепестков квадратичной фазы и Дольфа-Чебышева амплитудным методом. Это позволило получить хорошую картину поля. Однако расчетное положение фокуса получилось отличной от измеряемого.

Для достижения желаемых свойств мы предлагаем метод проектирования сфокусированной антенной решетки, который основан на оптимизации эффективности передачи энергии между антенной решеткой и тестовой антенной. В подложке 4x4 была собрана тестовая антенна для

проверки результатов измерений. Фокусное расстояние расположено более точно и может быть легко проконтролировано. Результаты измерений и моделирования поля представлены ниже.

2. Проектирование антенны

Как показано на рис.1а, антенна сконструирована на подложке марки FR4 с толщиной 3мм, обратная сторона заземлена. В качестве элемента массива была разработана плата, в которой размещены излучатели. Расстояние между излучателями составляет 62мм (рис. 1б). «Фокусная цель» помещена на 10 см от излучающей платы. Сеть питания разработан согласно оптимизированному результату для получения соответствия амплитуд и фаз.



Рисунок 1. (а) Геометрия элемента. $W=28$ мм, $L=29$ мм, $W_1=5.8$ мм, $W_2=3$ мм, $L_1=11$ мм (б) фотография созданной сфокусированной антенной решетки.

На рис. 2 показано распределение поперечного электрического поля по оси антенны относительно осевого расстояния отверстия. Видно, что максимальная интенсивность достигается при 8 см, что очень близко к ожидаемому результату 10 см.

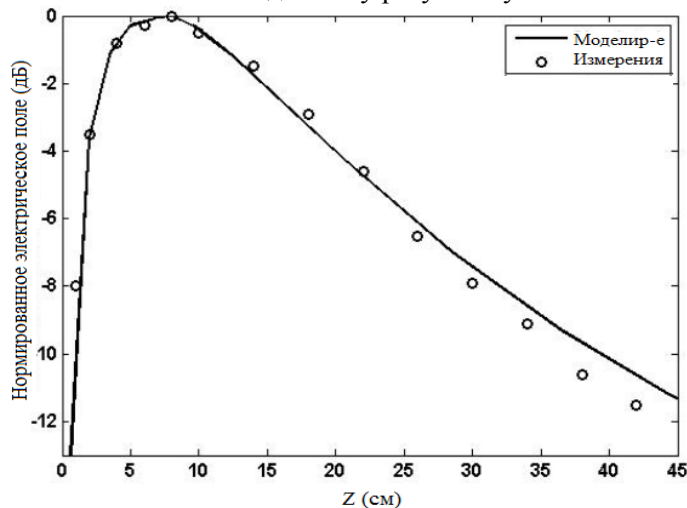


Рисунок 2. Смоделированная и измеренная нормированные напряженности электрического поля микрополосковой антенны от осевого расстояния.

Нормированные распределения электрического поля антенны в плоскостях максимальной интенсивности показаны на рис. 3 и рис. 4. Как показывают рисунки, небольшие боковые лепестки появляются на уровне -20 дБ.

Согласно результатам исследований, уровни боковых лепестков составляют не более 0.5 дБ. Такой уровень боковых лепестков никак не может повлиять на характеристики антенной решетки.

На рис. 5 показано моделируемое нормированное распределение электрического поля при максимальной интенсивности.

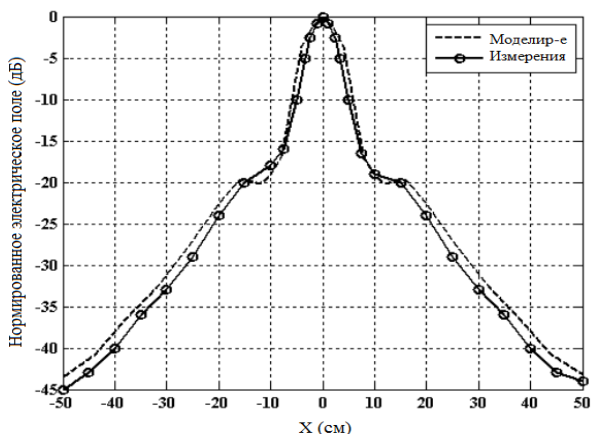


Рисунок 3. Измеренная и моделируемая (нормированные) распределения электрического поля сфокусированной антенны в фокальной плоскости. E – плоскость.

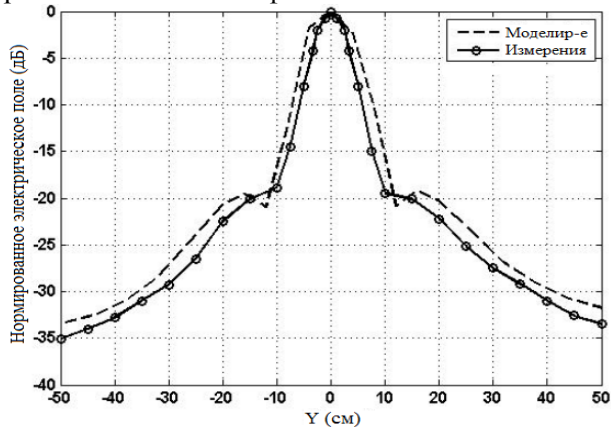


Рисунок 4. Измеренная и моделируемая (нормированные) распределения электрического поля сфокусированной антенны в фокальной плоскости. H – плоскость.

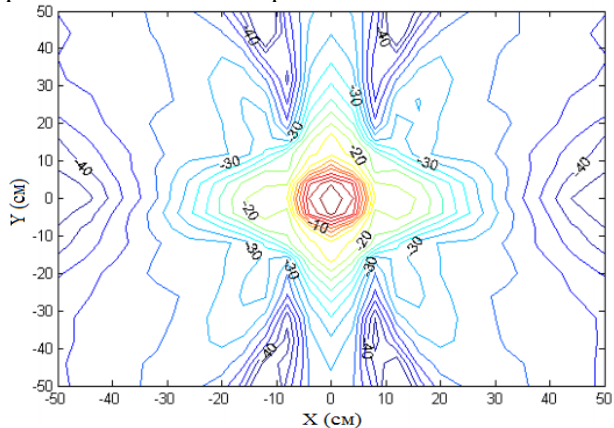


Рисунок 5. Моделируемое электрическое распределение поля (нормализованное) сфокусированной антенной решетки в плоскости максимальной интенсивности.

Таблица 1. Распределение амплитудно-фазового возбуждения сфокусированной антенной решетки.

Номер порта	Ампл.	Фаза (град)	Номер порта	Ампл.	Фаза (град)	Номер порта	Ампл.	Фаза (град)	Номер порта	Ампл.	Фаза (град)
1	0.13	0	5	0.19	-75	9	0.19	-75	13	0.13	0
2	0.19	-75	6	0.4	-150	10	0.4	-150	14	0.19	-75
3	0.19	-75	7	0.4	-150	11	0.4	-150	15	0.19	-75
4	0.13	0	8	0.19	-75	12	0.19	-75	16	0.13	0

3. Выводы

В этой работе рассмотрен новый метод проектирования сфокусированных антенных массивов с оптимизацией эффективности передачи энергии. Антенная решетка 4×4 изготовлена для проверки рассматриваемого метода. По сравнению с другими решениями, новый метод позволяет более точно выбрать фокусное расстояние с низким уровнем боковых лепестков. Рассмотренный метод может быть использован при рассмотрении антенных решеток с более крупными габаритами.

4. Литература

- [1] Лоан, Д.Т. Оптимизация усиления фокусирующей решетки ближнего поля для применения в гипертермии / Д.Т. Лоан, С.Ли // Теория Техники. – 1989. – Т. 37. – С. 1630-1633.
- [2] Кси, Ф. Оптимальная конструкция антенной решетки для приема энергии / Ф. Кси, Г.М. Янг, Г. Вен // Беспроводные антенные системы. – 2013. – Т. 12. – С. 155-158.
- [3] Вен, Г. Обратное рассеяние проводящих мишеней в фокальной плоскости сфокусированной апертуры / Г. Вен, В. Лин // Журнал UEST Китая. – 1995. – Т. 24, № 4. – С. 366.
- [4] Вен, Г. Усиление обратного рассеяния с помощью электромагнитного воздействия // Журнал UEST Китая. – 1996. – Т. 25, № 8. – С. 177-184.
- [5] Богосанович М. Микрополосковая антенная решетка с лучом, сфокусированным в ближней зоне для применения в бесконтактной микроволновой промышленности / М. Богосанович, А.Г. Вильямсон // Измерительные системы. – 2007. – Т. 56, № 6. – С. 2186-2195.
- [6] Каримкаши, С. Сфокусированная микрополосковая антенная решетка с использованием ближнего поля Дольфа-Чебышева / С. Каримкаши, А.А. Кишк // Антенные системы. – 2009. – Т. 57, № 12. – С. 3813-3820.
- [7] Вен, Г. Основы прикладной электродинамики. – Нью-Йорк, 2010. – 273 с.
- [8] Воскресенский, Д. И. Антенны и устройства СВЧ (Проектирование фазированных антенных решеток): Учебн. пособие для вузов // Д. И. Воскресенский, Р. А. Грановская, Н. С. Давыдова и др.; под ред. Д. И. Воскресенского. – М.: Радио и связь, 1981.
- [9] Сазонов, Д.М. Антенны и устройства СВЧ: учебник для радиотехнических спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1988.

Method of designing focused antenna arrays with optimization of energy transfer efficiency

R.K. Haibullin¹, K.N. Karimov¹, Yu.V. Lipatov¹

¹Kazan National Research Technical University. A.N. Tupolev - KAI, K. Marks str. 31, Kazan, Russia, 420111

Abstract: a new method is used to optimize the energy transfer efficiency for the development of focused antenna arrays. The optimization theory uses the effects of interconnection in the design and allows for a more accurate and easier controlled focal length. To test this belief in relation to antenna arrays, a design method is proposed. The results of the study show the efficiency of the method.