

УДК 621.396

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИЛЬИНА-МОРОЗОВА И В ЗАДАЧАХ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИСФОКУСИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



Ю.Е. Седельников
Профессор кафедры
Радиофоники и
микроволновых технологий
КНИТУ-КАИ, доктор
технических наук, профессор
sedhome2013@yandex.ru



Д.А. Веденькин
Доцент кафедры
Радиофоники и
микроволновых технологий
КНИТУ-КАИ, кандидат
технических наук, доцент
denis_ved@mail.ru



А.Ф. Гильфанова
Аспирант кафедры
Радиофоники и микроволновых
технологий КНИТУ-КАИ
gilfanova-almira@mail.ru

Ю.Е. Седельников

Окончил Казанский авиационный институт. Область научных интересов связана с оценкой электромагнитной совместимости, разработкой и анализом антенн и СВЧ устройств и их технических приложений.

Д.А. Веденькин

Окончил Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ. Область научных интересов связана с оценкой электромагнитной совместимости, разработкой и анализом антенн и СВЧ устройств, методами обработки информации и статистической теорией радиотехнических систем.

А.Ф. Гильфанова

Окончила Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ. Область научных интересов связана с анализом антенн и СВЧ устройств, методами передачи и обработки информации в телекоммуникационных сетях.

Аннотация. Рассмотрены способы формирования мультисфокусированного излучения в антенных решетках, функционирующих в зоне ближнего излученного поля. Показано, что метод Ильина-Морозова по преобразованию одночастотного излучения в двухчастотное обладает рядом достоинств и является более предпочтительным. Представлены результаты моделирования мультисфокусированной антенной решетки в области ближнего излученного поля. Представленные результаты показывают, что возможность формирования нескольких максимумов поля позволит повысить эффективность использования сфокусированных антенных решеток в радиотехнических задачах.

Ключевые слова: мультифокусировка, сфокусированные антенные решетки, метод Ильина-Морозова, область фокусировки.

Введение.

Начиная со второй половины 40-х годов XX в. и по настоящее время ведутся научные исследования эффекта трехмерной фокусировки электромагнитного излучения в некоторой области пространства. Известна работа [1], в которой впервые были рассмотрены ограничения, накладываемые на сфокусированные в зоне ближнего излученного поля электромагнитные волны. В работе [2] рассмотрены свойства сфокусированных электромагнитных полей. Существенный вклад в развитие теории сфокусированных антенных решеток внес известный советский ученый Я.С. Шифрин, который в одной из своих работ [3] рассматривал сфокусированные поля в зоне ближнего излученного поля, сформированные случайными антенными решетками. В настоящее время активно ведутся исследования в области

сфокусированных антенных решеток и рассматриваются некоторые прикладные аспекты их применения на кафедре Радиопоники и микроволновых технологий КНИТУ-КАИ под руководством проф. Ю.Е. Седельникова. Особо следует подчеркнуть монографию [4], в которой обобщены результаты исследований антенн и антенных решеток, сфокусированных в зоне ближнего излученного поля, а также их технических приложений.

Однако следует отметить, что несмотря на более чем семидесятилетнюю историю становления и развития теории сфокусированных антенн и антенных решеток вопросы формирования нескольких областей фокусировки одновременно. Рассмотрению данного аспекта и посвящена настоящая работа.

Принципы организации мультисфокусированного излучения.

В современных реалиях наблюдается тенденция к использованию радиотехнических устройств, функциональное назначение которых заключается в формировании распределения электромагнитного поля на расстояниях близких к геометрическим размерам апертуры. К ним можно отнести радиотехнические средства медицинской диагностики, промышленности и сельского хозяйства, радиолокации, телекоммуникационные технологии и многое другое. СВЧ-энергия, ставшая традиционным методом воздействия на материалы и вещества, позволяет расширить круг технологических задач, как, например, разогрев и сушка.

Одним из вариантов реализации мультисфокусированного излучения является способ при котором все излучатели антенной решетки делятся на группы по числу сфокусированных областей, формируя таким образом несколько локальных максимумов напряженностей электромагнитного поля. Иллюстрация подобной идеи представлена на рисунке 1.

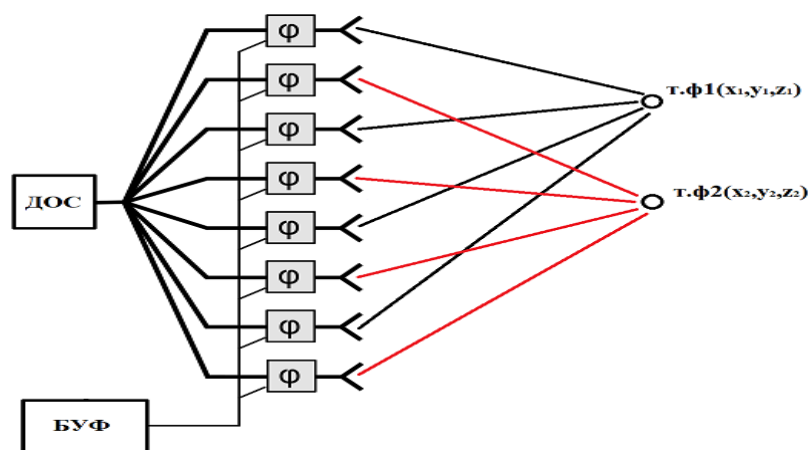


Рисунок 1. Принцип организации мультисфокусированного излучения (ДОС – диаграммообразующая схема, БУФ – блок управления фазами)

При кажущейся простоте подобному решению присущи ряд недостатков. К одному из них можно отнести фактическое разделение единой антенной решетки на ряд отдельных антенных «подрешеток» с меньшим числом излучателей в каждой. Уменьшение числа излучателей неизбежно приведет к снижению эффективности фокусировки и увеличению размеров сфокусированных областей. Иллюстрирующие графики представлены на рисунке 2.

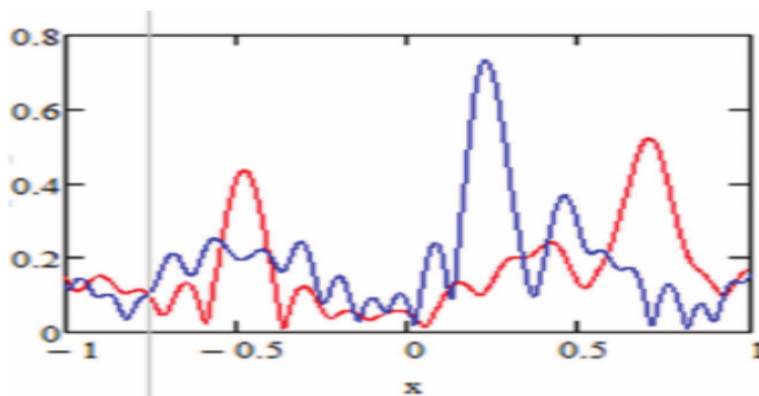


Рисунок 2. Напряженности ЭМ поля при реализации единственной (синяя линия) и двойной (красная линия) фокусировок

Как видно из графиков, представленных на рисунке 2, значения напряженностей электромагнитного поля мультисфокусированного излучения меньше, а поперечные размеры области фокусировки больше, что хорошо согласуется с результатами, отраженными в [4]. Ко второму недостатку относится сложность эффективной и относительно компактной реализации диаграммообразующей схемы особенно при решении задачи адаптивного управления значениями частот, излучаемых отдельными элементарными излучателями. К третьему ограничению можно отнести необходимость отдельной стабилизации значений частот зондирующего излучения, что приведет к усложнению оборудования.

Одним из вариантов преодоления указанных недостатков и ограничений является организация многочастотного излучения с использованием метода Ильина-Морозова [5]. В этом случае каждый из элементов антенной решетки излучает многочастотное излучение, параметры которого подобраны таким образом, чтобы сформировать две независимые друг от друга области фокусировки. Структурная схема подобной антенной решетки представлена на рисунке 3, блок преобразователей частоты по методу Ильина-Морозова находится в фазированном блоке и на рисунке не показан.

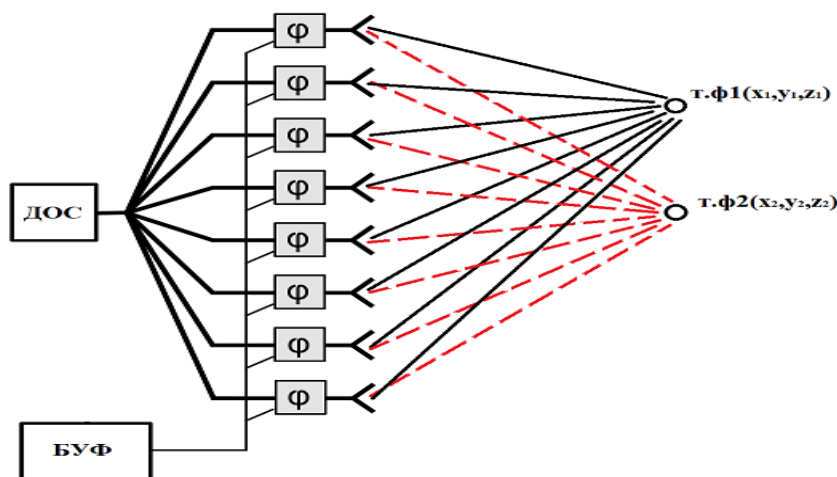


Рисунок 3. Мультисфокусированная антенная решетка с многочастотным излучением

Отметим, что метод Ильина-Морозова к настоящему моменту широко применяется в самых различных областях радиотехники. Несомненными достоинствами применения способа преобразования одночастотного излучения в двухчастотное являются постоянство амплитуд двухчастотного излучения и значения частот, симметричные относительно центральной частоты

с высокой степенью спектральной чистоты. Всё это позволяет значительно повысить эффективность генераторного и диаграммообразующего оборудования, устройств поддержания стабильности частот.

Математическое моделирование мультисфокусированной антенной решетки.

Способ формирования двухчастотного излучения по методу Ильина-Морозова хорошо известен и описан во многих научных трудах, например [6]. Рассмотрим модель линейной сфокусированной антенной решётки со следующими параметрами:

- Количество излучателей – 6 и 11
- Значения частот двухчастотного излучения - 0,95 ГГц и 1,05 ГГц.

Согласно «токовой» модели значения напряженностей электромагнитного поля могут быть оценены по формуле:

$$E(x, y, z) = \sum_{n=1}^{NN} \left[\frac{I_0 * e^{-j*k_1*(R_{\phi i} - R_i(x,y,z))}}{R(x, y, z)} \right],$$

где I_0 – ток, $R_{\phi i}$ – расстояние от i -го излучателя до точки фокусировки, $R_i(x, y, z)$ – расстояние от i -го излучателя до точки наблюдения.

Некоторые результаты моделирования представлены на рисунках 4 и 5.

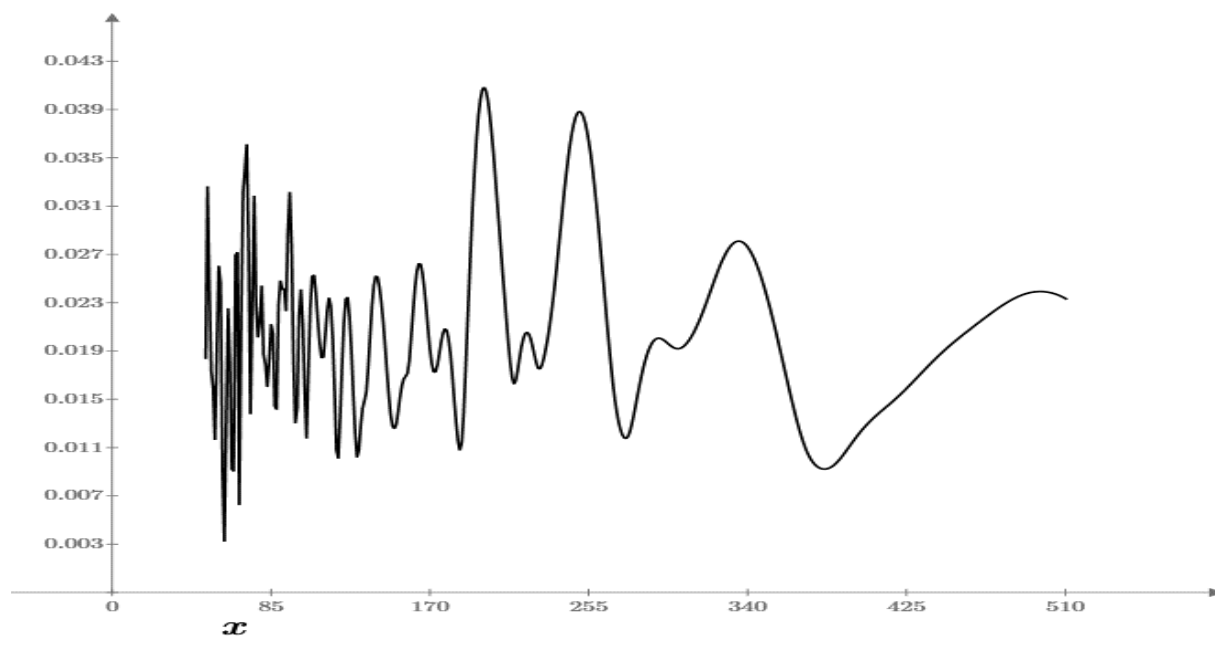


Рисунок 4. Эффект двойной фокусировки многочастотного излучения на дальностях 200 и 250 м. для антенной решетки из 6 излучателей.

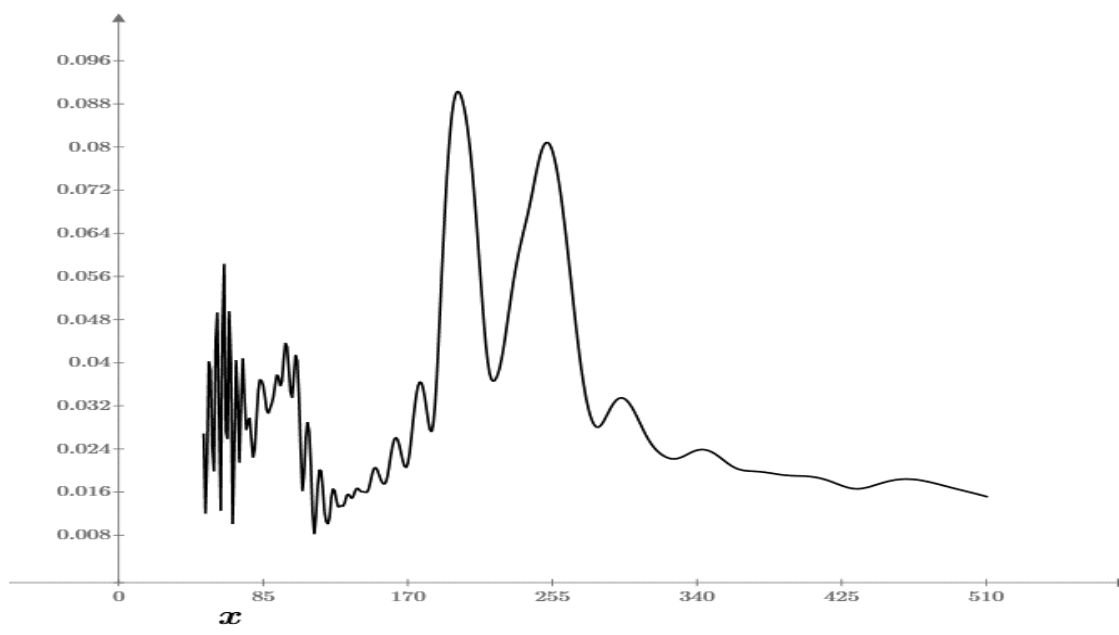


Рисунок 5. Эффект двойной фокусировки многочастотного излучения на дальностях 200 и 250 м. для антенной решетки из 11 излучателей

Как видно из графиков, представленных на рисунках 4 и 5 отдельные области фокусировки имеют четко выраженные обособленные границы, сравнимы по амплитуде и размерам.

Заключение.

Возможность формирования мультисфокусированного излучения открывает перед учеными и специалистами новые возможности по формированию пространственно-распределенных электромагнитных полей с адаптивным управлением числа, местоположения и размеров сфокусированных областей. Использование углубленной аналитики в задачах формирования амплитудно-фазовых распределений возбуждающих токов также позволит повысить эффективность сфокусированных мультисфокусированных апертур.

Список литературы

- [1] R.S. Wehner, Limitations of Focused Aperture Antennas, October 1949.
- [2] W. Sherman, Properties of Focused Apertures in the Fresnel Region, IEEE Trans. Antennas and Propagation, 1962. Т. 10, - №4. – С.399-408.
- [3] Шифрин Я.С. Поле случайных антенных решеток в зоне Френеля / Я.С. Шифрин, В.А. Назаренко // Радиотехника и электроника, 1991. Т.31. С.52-62
- [4] Антенны, сфокусированные в зоне ближнего излученного поля : монография / под общ. ред. Ю.Е. Седельникова, Н.А. Тестоедова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. -Красноярск, 2015. –308 с.
- [5] Ильин Г.И., Морозов О.Г. Патент №: SU 1338647. «Способ преобразования одночастотного когерентного излучения в двухчастотное».
- [6] Нургазизов М.Р. Оптико-электронные системы измерения мгновенной частоты радиосигналов СВЧ-диапазона на основе амплитудно-фазового модуляционного преобразования оптической несущей /дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук // КНИТУ-КАИ, Казань, 2014 г.

APPLICATION OF THE ILYIN-MOROZOV METHOD IN PROBLEMS OF FORMATION OF MULTISFOCUSED ELECTROMAGNETIC RADIATION

Y.E. Sedelnikov

*Professor of Radiophotonics and
Microwave Technologies Department of
KNRTU-KAI, Doctor of Technical
Sciences, Professor*

D.A. Vedenkin

*Associate Professor of
Radiophotonics and Microwave
Technologies Department
KNRTU-KAI, PhD, Associate
Professor*

A.F. Gilfanova

*Postgraduate student of
Radiophotonics and Microwave
Technologies Department of
KNRTU-KAI*

*Department of Radiophotonics and Microwave Technologies
Institute of Radioelectronics, Photonics and Digital Technologies
Kazan National Research Technical University n.a. A.N.Tupolev-KAI, Russia
E-mail: denis_ved@mail.ru*

Abstract. Methods for the formation of multifocused radiation in antenna arrays operating in the zone of the near radiated field are considered. It is shown that the Ilyin-Morozov method for converting single-frequency radiation into two-frequency radiation has a number of advantages and is more preferable. The results of modeling a multifocused antenna array in the region of the near radiated field are presented. The presented results show that the possibility of forming several field maxima will improve the efficiency of using focused antenna arrays in radio engineering problems.

Keywords: multifocusing, focused antenna arrays, Ilyin-Morozov method, focus area.