
Электродинамика и антенные системы

УДК 621.396.67

Расчет поля несимметрично сфокусированной линейной антенной решетки

Никитин Олег Рафаилович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и радиосистем. ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: Olnikitin@mail.ru.

Смирнов Валерий Юрьевич – аспирант ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: Valerasic@yandex.ru.

Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького д. 87.

Аннотация: Как известно, фазированные антенные решетки обладают рядом преимуществ перед другими антенными системами. Одной из них является возможность электронного перемещения фокуса антенны. В работе анализируются параметры фокальной области, полученной синфазным сложением волн излучателей в составе одной линейной антенной решетки. Практический интерес представляет размеры фокальной области при отклонении точки фокусировки от оси симметрии системы. В статье приведены результаты компьютерного моделирования амплитудного распределения поля линейной антенной решетки при различных положениях точки фокусировки. Показан сравнительный анализ размеров областей фокусировки в случае симметричного и несимметричного положения точки фокусировки. Из результатов компьютерного моделирования следует, что линейная фазированная антенная решетка может быть сфокусирована в любой точке ближней зоны системы излучателей. Сохранение размеров фокальной области позволяет использовать подобные антенные решетки во многих приложениях медицины и дистанционного зондирования. Возможность фокусировки поля в любой точке пространства позволяет исключить механические перемещения системы, повысить точность позиционирования и повысить энергоэффективность системы. Моделирование так же показало, что фокусировка не в направлении фокальной оси приводит к появлению областей побочной фокусировки, что требует особой внимательности при их использовании.

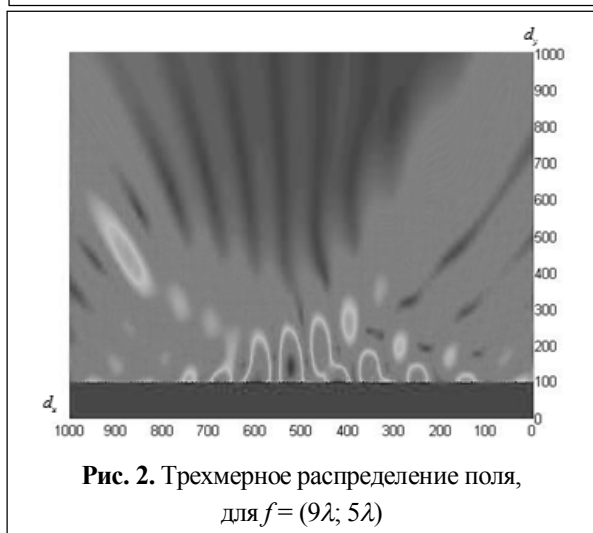
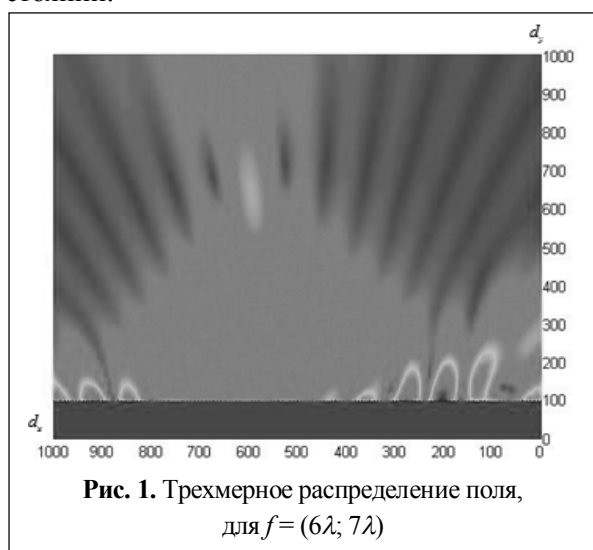
Ключевые слова: фазированные антенные решетки, фокусировка, компьютерное моделирование, побочная фокусировка, распределение поля.

Одной из ключевых особенностей фазированных антенных решеток, обеспечивающей им заслуженную популярность в задачах медицины, картографирования и дистанционного зондирования земли, является возможность электронного перемещения фокуса. В статье [1] показан анализ решеток с различным количеством излучателей, расстоянием между излучателями и расстоянием до точки фокусировки, однако, в работе рассматривается фокусировка исключительно вдоль оси симметрии системы. Практический интерес представляет изучение параметров фокальной области при нарушении симметрии. Область фокусировки, как и в симметричной задаче, представляет из

себя веретенообразный объем, вытянутый вдоль прямой, соединяющей центр симметрии антенной решетки с точкой фокусировки. Важно, что при нарушении симметрии данная прямая приобретает наклон относительно осей координат.

Рассмотрим амплитудное распределение поля линейной фазированной антенной решетки в плоскости, проходящей через саму решетку и точку фокусировки. Алгоритм расчета поля изложен в [1] и реализован в matlab [2]. Основные обозначения, используемые при моделировании: n - общее количество излучателей, L - расстояние между излучателями, изме-

ряемое в длинах волны λ , фокусное расстояние f - расстояние от центра антенной решетки до точки фокусировки (или координата точки). Пусть решетка содержит $n = 11$ изотропных излучателей, отстающих друг от друга на $L = \lambda$. Ограничим плоскость расчета размерами антенной решетки $10\lambda \times 10\lambda$ с шагом $0,01 \lambda$. Для удобства отображения введем следующие величины: $d_x = 0,01\lambda$ и $d_y = 0,01\lambda$ вдоль осей x и y соответственно. На рис. 1-2 представлены распределения амплитуды вектора напряженности электрической составляющей электромагнитного поля для различных фокусных расстояний.



Из представленных рисунков видно, что область фокусировки в системе координат xOy имеет некоторый наклон, что затрудняет выборку значений из матрицы амплитудных зна-

чений, а, следовательно, и оценку ее параметров. Нарушение симметрии приводит к синфазному сложению полей отдельных излучателей не только в заданной точке, но и в некоторых «случайных» точках пространства. Наличие подобных побочных эффектов следует учитывать при проектировании аппаратуры с использованием сфокусированных ФАР. Во многих задачах, наличие таких областей может быть критически важным.

Оценку размеров фокальной области необходимо производить вдоль перпендикулярных прямых, не совпадающих с осями координат. Длину фокальной области будем измерять вдоль прямой, проходящей через центр симметрии решетки и точку фокусировки. Ширина фокальной области измеряется вдоль прямой перпендикулярной первой и проходящей через точку фокусировки. Обозначая координаты точки фокусировки через x_1, y_1 , а координаты центра симметрии антенной решетки через x_2, y_2 , уравнения искомых прямых можно рассчитать по формулам:

$$A: x = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} y - y_1 \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} + x_1,$$

$$B: y = \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} x - x_1 \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} + y_1.$$

Оценим степень «размывания» фокальной области при фокусировке не вдоль оси симметрии. Сечения распределения поля, представленного на рис.1 вдоль прямых A и B , предварительно нормированные относительно максимального значения, изображены на рис. 3 и 4. Так же на этих рисунках представлены аналогичные сечения при фокусировке вдоль фокальной оси.

Сравнивая нормированные зависимости, представленные на рис. 3, можно сделать вывод, что длина области фокусировки по уровню половинной мощности по сравнению с симметричной задачей не увеличивается и составляет порядка $3,5\lambda$. При этом следует помнить, что относительно самой антенной решетки, область фокусировки имеет некоторый наклон.

Не смотря на то, что максимумы сдвинуты относительно друг друга, из рисунка 4 видно, что ширина фокальной области по уровню по-

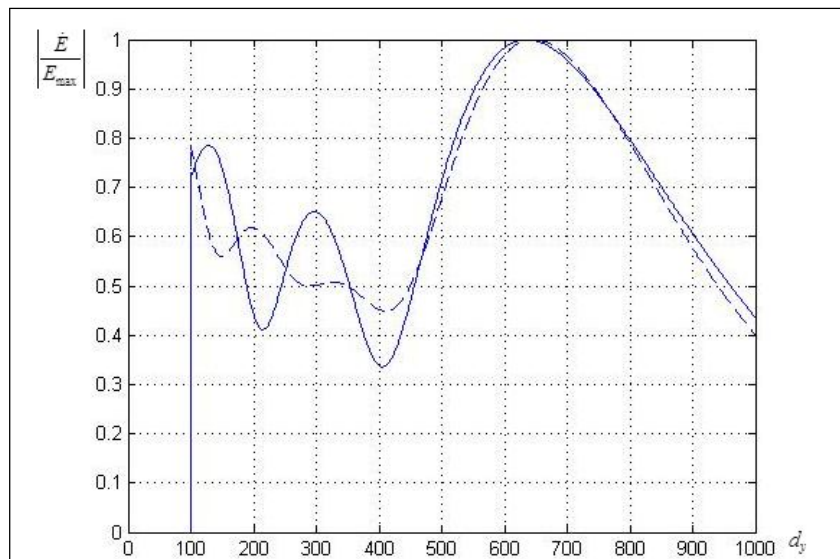


Рис. 3. Сечение поля вдоль прямой A, для случаев $f = (6\lambda; 7\lambda)$ (пунктирная линия) и $f = (5\lambda; 7\lambda)$ (сплошная линия)

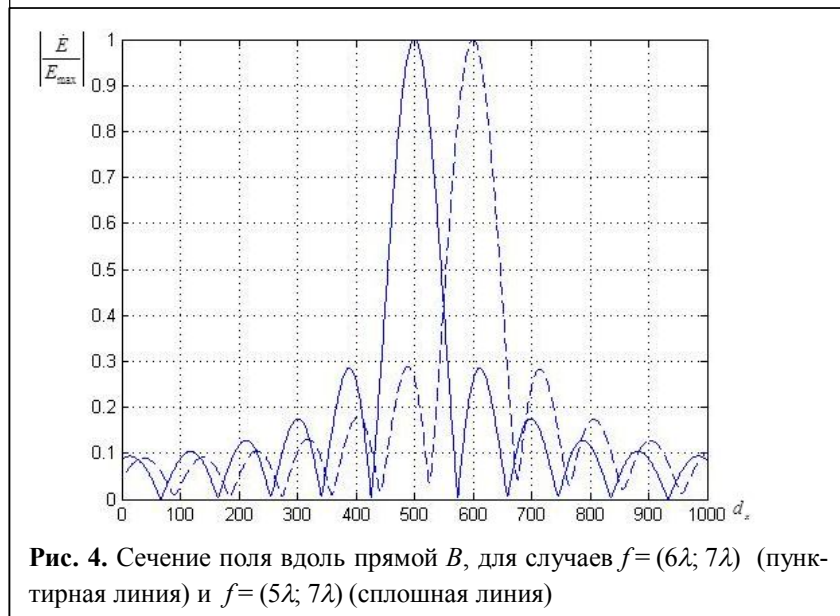


Рис. 4. Сечение поля вдоль прямой B, для случаев $f = (6\lambda; 7\lambda)$ (пунктирная линия) и $f = (5\lambda; 7\lambda)$ (сплошная линия)

ловинной мощности в случае симметрично сфокусированной решетки совпадает с шириной фокальной области при несимметричной фокусировке и составляет порядка $0,7\lambda$.

Таким образом, из рис. 3 и 4 следует, что «размывание» фокальной области в случае несимметричной фокусировки можно считать малозначимым и не учитывать при расчете. Но это требует соответствующей ориентации облучаемого объекта, так как прямая, вдоль которой вытянута фокальная область, имеет наклон к плоскости решетки. При электронном

перемещении фокуса и неподвижном объекте, наклон фокальной оси должен быть учтен.

Заключение

Приведенные результаты позволяют сделать вывод о возможности фокусировки поля антенной решетки не только вдоль оси симметрии, но и в произвольной точке пространства без заметного «расплывания» области фокусировки. Результаты моделирования так же показали возникновения эффекта побочной фокусировки. Предположительно, данный эффект сильнее проявится при использовании плоских сфокусированных ФАР. Подобные антенные решетки могут быть использованы при радиолокационном картографировании, в задачах медицины [3], для обнаружения аномальных участков в теле человека. Возможность фокусировки поля в любой точке пространства позволяет исключить механические элементы в медицинских и радиотехнических приборах, облегчить конструкцию и повысить энергоэффективность.

Литература

1. Смирнов В.Ю., Никитин О.Р. Линейные фазированные антенные решетки, сфокусированные в ближней зоне. Вестник Рязанского Государственного Технического Университета, №4 (выпуск 26), 2008, с. 33-35.
2. Поршнев С.В. Matlab 7. Основы работы и программирования. М.: Бином-Пресс, 2009 г. - 320 с.
3. Гаврилов В.М., Кирюхин А.В., Никитин О.Р., Селиверстов А.А. Применение электромагнитных полей СВЧ в медицине и биологии: учеб. Пособие / Под ред. проф. О. Р. Никитина. - Владимир: ВлГУ, 2001. -140 с.

Поступила 18 сентября 2013 г.

Calculation of the field of the irregularly focused linear antenna array

Nikitin Oleg Rafailovich – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Radio Engineering and Radio Systems Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov.

Smirnov Valery Yuryevich – post-graduate student of the Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov.

Address: 600000 Vladimir, Gorky str., 87.

Abstract: It is well known that phased antenna arrays possess a number of advantages over other antenna systems. One of them is the capability of electronic relocation of the antenna focal point. The parameters of the focal area received by the phase addition of emitter waves in one linear antenna are analyzed in the work. The sizes of focal area in case of focusing point deflection from a symmetry axis of the system are of practical interest. The results of computer simulation of an amplitude field distribution of a linear antenna in different cases of focusing point location are given in the paper. The comparative analysis of focusing area sizes in case of symmetrical and asymmetrical location of the focusing point is demonstrated. The results of computer simulation show that linear phased antenna array can be focused in any point of a near-field zone of emitters system. Keeping the sizes of a focal field allows to use similar antenna arrays in many applications of medicine and a remote sensing. The capability of focusing a field in any point of the space allows to eliminate mechanic relocation of the system, to increase the positioning accuracy and to enhance the system power efficiency. The simulation has also demonstrated that focusing in the direction other than a focal axis results in occurrence of fields with incidental focusing that requires special attention when in use.

Key words: phased antenna arrays, focusing, computer simulation, incidental focusing, field distribution.

References

1. *Smirnov V.Ju., Nikitin O.R.* Linea Phased Antenna Grids Focused in Near Field Zone. Vestnik Rjazanskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta, № 4 (№ 26), 2008, p. 33-35.
2. *Porshnev S.V.* Matlab 7. The Basics of Work and Programming. M.: Binom-Press, 2009, 320 p.
3. *Gavrilov V.M., Kirjuhin A.V., Nikitin O.R., Seliverstov A.A.* The Application of Microwave Electromagnetic Fields in Medicine and Biology: textbook. Ed. by prof. O. R. Nikitin. Vladimir.: VIGU, 2001, 140 p.