

УДК 621.396.67 (075.8)

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАССЕЯНИЯ МАЛОЭЛЕМЕНТНЫХ ЛИНЕЙНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДИРЕКТОРНЫХ АНТЕНН

О.А. ЮРЦЕВ, АЛЬ-РИФАИ АБДУЛЬМУИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 21 апреля 2006

Рассматривается диаграмма рассеяния и эффективная площадь рассеяния линейных синфазных антенных решеток директорных антенн. Приводятся результаты численного моделирования решеток с использованием метода моментов.

Ключевые слова: антенная решетка, директорная антенна, эффективная площадь рассеяния, метод моментов.

Введение

Вопросам рассеяния поля антенных решеток посвящен ряд статей. Так, в работе [1] рассматриваются характеристики рассеяния 8-элементной линейной решетки из полуволновых вибраторов без рефлекторов методом S-матрицы. В известных работах не рассмотрены характеристики рассеяния антенных решеток из директорных антенн. Этому вопросу посвящена настоящая статья. Исследуется зависимость диаграммы рассеяния (ДР) и эффективной площади рассеяния (ЭПР) от числа излучателей в антенной решетке, от направления падения облучающей плоской волны и параметров отдельного излучателя.

Объект и метод анализа характеристик рассеяния

Объектом исследования является линейная антенная решетка (АР) из директорных антенн (ДА). Схема расположения излучателей показана на рис. 1. Излучатели показаны условно в виде прямоугольников. Обозначения геометрических параметров решетки и отдельного излучателя: D_x — расстояние между соседними излучателями по оси X; M_x — число излучателей в решетке по оси X; N_d — число директоров в директорной антенне. Другие геометрические параметры (длина вибратора директорной антенны, расстояния между рефлектором и вибратором, между вибратором и директорами, длина директоров) выбирались из условия равенства нулю реактивной части входного сопротивления на средней частоте выбранного для моделирования диапазона частот.

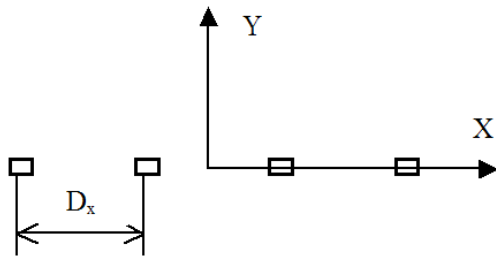


Рис. 1. Антенная решетка

Поскольку характеристики рассеяния связаны с характеристиками излучения (диаграммой направленности — ДН, коэффициентом направленного действия — КНД, входным сопротивлением — $Z=R+iX$), анализировались характеристики излучения и рассеяния.

Моделирование проводилось численно. Объект исследования — антенна, состоящая из тонких по отношению к длине волны проводников. Поэтому использован метод моментов [2] — интегральное уравнение (ИУ) Поклингтона, импульсные функции — в качестве базисных и

весовых при сведении интегрального уравнения к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Эффективная площадь рассеяния определялась по полю рассеяния при нагрузке входов директорных антенн на короткое замыкание и согласованную нагрузку. Численное моделирование проведено в диапазоне частот со средней частотой 300 МГц. Средняя частота выбрана произвольно, но полученные результаты могут быть пересчитаны на любую другую частоту с соблюдением правила масштабирования антенны. Во всех случаях рассчитывалась ЭПР (обозначается символом σ), нормированная к квадрату длины волны (σ/λ^2). ЭПР при коротком замыкании входа директорных антенн далее обозначена символом σ (полная ЭПР), при согласованной нагрузке на входе антенны — символом σ_s (структурная составляющая). Антенная составляющая ЭПР обозначается символом σ_a . Директорные антенны в решетке ориентируются так, чтобы плоскостью E была плоскость XZ , плоскостью H — плоскость YZ . Ось директорной антенны ориентирована вдоль положительных значений координаты z . Далее это направление обозначается символом $+Z$, обратное направление — символом $-Z$.

Результаты численного моделирования

Для выяснения зависимости ЭПР антенной решетки от числа излучателей предварительно рассмотрена АР из излучателей в виде полуволнового резонансного вибратора с линейным рефлектором. На рис. 2, 3 показаны ДР в плоскости E одного излучателя при облучении плоской волной, распространяющейся вдоль $+Z$ и вдоль $-Z$ для случая короткого замыкания входа антенны и подключения ко входу согласованной нагрузки. На рис. 2, 3 показаны также значения σ_s/λ^2 (длина волны обозначена символом $L0$). Как видно, ДР и ЭПР существенно зависят от направления распространения облучающей электромагнитной волны и от нагрузки на входе антенны. Зависимость ДР от нагрузки особенно проявляется при облучении антенны волной в направлении $+Z$.

Поле рассеяния зависит от того, на какое сопротивление нагружены входы излучателей. В реальной антенной решетке входы излучателей согласованы с линиями передачи, т.е. нагружены на согласованные нагрузки. Входное сопротивление каждого излучателя зависит от того, возбужден только этот излучатель, а остальные находятся в пассивном режиме, или все излучателя возбуждены. Причем в первом случае входное сопротивление возбуждаемого излучателя зависит от нагрузки пассивных излучателей, во втором случае входное сопротивление излучателя зависит от амплитудно-фазового распределения возбуждения излучателей решетки. На рис. 4 показана зависимость входного сопротивления центрального излучателя рассматриваемой линейной решетки от числа излучателей M_x , рассчитанная для двух случаев: кривые 1 соответствуют возбуждению всех излучателей с равномерным амплитудно-фазовым распределением, кривые 2 соответствуют случаю, когда возбужден только центральный излучатель, а все остальные нагружены на короткое замыкание.

В конечной антенной решетке входное сопротивление зависит также от места положения излучателя в решетке, так как от этого места зависит степень взаимодействия каждого излучателя со всеми остальными. Поэтому амплитудно-фазовое распределение возбуждения излучателей, установившееся в решетке за счет взаимодействия, отличается от амплитудно-фазового распределения стороннего возбуждения излучателей. При численном

моделировании входы излучателей нагружались на сопротивление, комплексно-сопряженное входному сопротивлению излучателя в составе решетки.

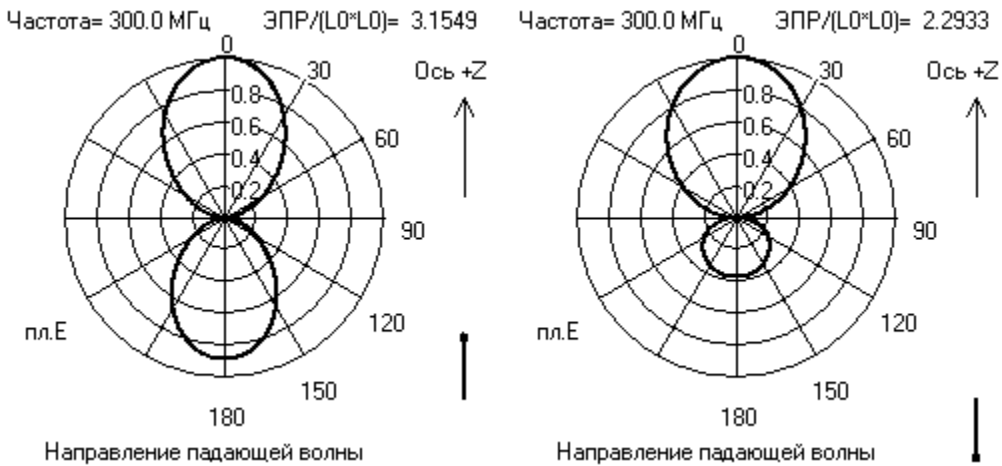


Рис. 2. Режим рассеяния. На входе антенны короткое замыкание

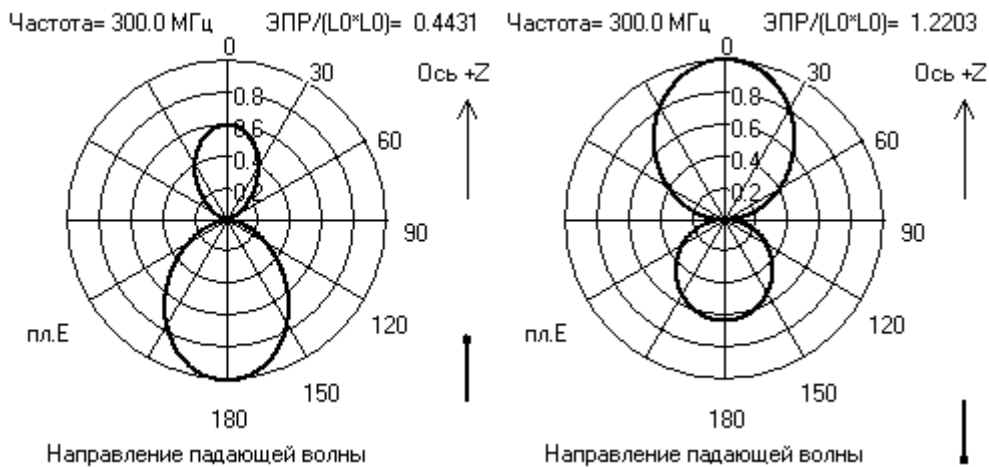


Рис. 3. Режим рассеяния. На входе антенны согласованная нагрузка

Рассчитана зависимость нормированной ЭПР от числа излучателей при $D_x/\lambda=0,55$ при облучении решетки вдоль $-Z$ для случая, когда ко входам излучателей подключена согласованная нагрузка и когда все излучатели закорочены. В первом случае ЭПР представляет собой структурную составляющую σ_s , соответствующую полю рассеяния, создаваемому излучением проводников антенны, возбуждаемых плоской волной. Во втором случае поле рассеяния есть сумма поля излучения токов, наводимых в проводниках антенны плоской волной, и поля, переизлученного антенной в результате отражения токов в линии передачи от короткозамыкающей нагрузки. ЭПР, соответствующая этому суммарному полю, есть полная ЭПР (σ). Рассчитана также антенная составляющая ЭПР (σ_a) по формуле $\sigma_a=\lambda_2 G_a/4\pi$, где G_a — коэффициент усиления антенны. В решетке из излучателей в виде симметричного вибратора с линейным рефлектором составляющие σ_s и σ_a практически совпадают (отличаются на доли процента). Полная составляющая σ превышает σ_a вдвое. На рис. 5 показана зависимость σ_a/λ^2 от числа излучателей в решетке — кривая 1 и зависимость σ/λ^2 — кривая 2. Этот результат означает, что в решетке из указанных излучателей антенная и структурная составляющие поля рассеяния синфазны.

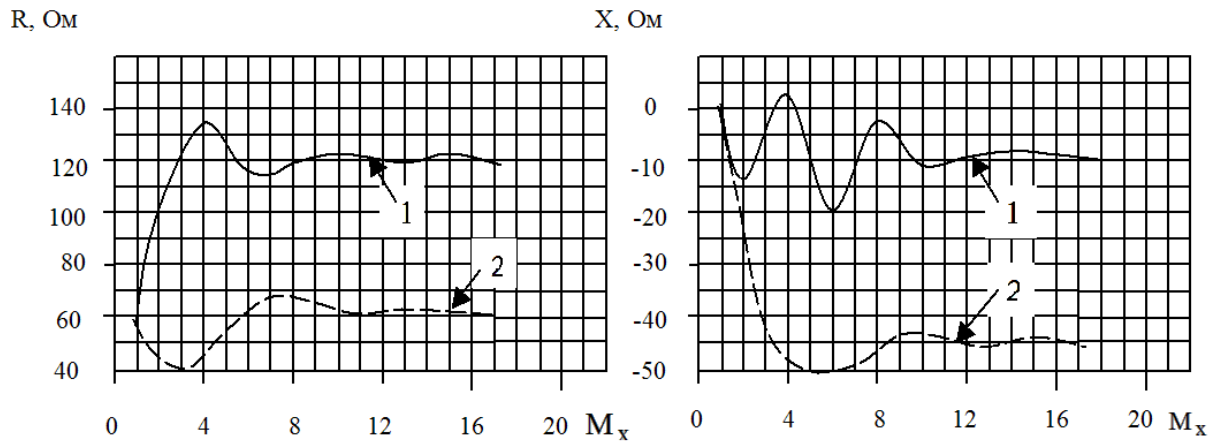


Рис. 4. Зависимость входного сопротивления от числа излучателей

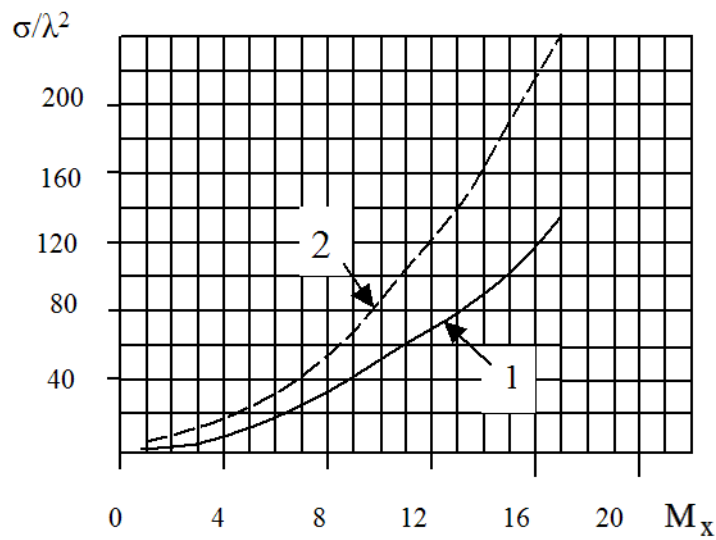


Рис. 5. Зависимость нормированной ЭПР от числа излучателей решетки

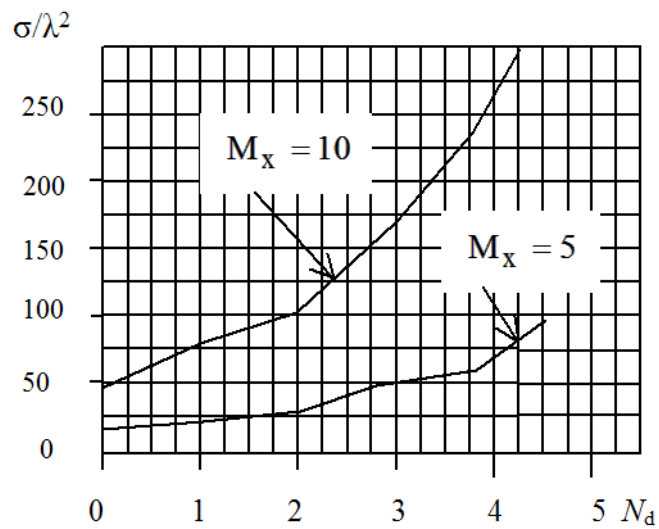


Рис. 6. Зависимость ЭПР антенной решетки от числа директоров

Проведено численное моделирование решетки из излучателей в виде симметричного вибратора с линейным рефлектором с несколькими директорами. На рис. 6 показана

зависимость структурной составляющей ЭПР от числа директоров N_d в антенне при двух значениях числа излучателей в решетке $M_x=5$ и $M_x=10$. Установлено, что с ростом числа директоров меняется соотношение между антенной и структурной составляющими ЭПР. Если при $N_d=1$ эти составляющие почти одинаковы, то с ростом числа директоров антенная составляющая растет значительно быстрее структурной составляющей. Этот результат связан с тем, что в режиме излучения размеры элементов антенны выбраны так, чтобы КНД был максимальным. При этом все вибраторы директорной антенны правильно сфазированы. В режиме рассеяния при облучении волной, распространяющейся навстречу оси антенны, фазировка вибраторов директорной антенны нарушается, расширяется главный лепесток диаграммы рассеяния по сравнению с диаграммой направленности.

Заключение

Рассмотрена эффективная площадь рассеяния малоэлементной антенной решетки директорных антенн в зависимости от числа излучателей в решетке и числа директоров в одном излучателе. Показано, что полная ЭПР решетки, соответствующая короткому замыканию входов директорных антенн, растет быстрее, чем число излучателей в решетке. Структурная составляющая ЭПР растет с увеличением числа директоров N_d . При числе директоров $N_d < 2$ структурная составляющая практически равна антенной составляющей ЭПР. С ростом числа директоров антенная составляющая растет быстрее, чем структурная составляющая ЭПР.

SCATTERING CHARACTERISTICS OF FEW-ELEMENT LINEAR ANTENNA ARRAY FROM UDA-YAGI ANTENNAS

O.A. YURTSEV, ALRIFAI ABDOUL MOUEN

Abstract

Scattering diagram and Radar Cross Section of linear inphase Uda-Yagi antenna array are analyzed. The results of antenna array numerical modeling by moment method are presented.

Литература

1. Сазонов Д.М., Школьников А.М. // Радиотехника и электроника. 1974. Т. 19, № 4. С. 679–683.
2. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры. М., 1977.