

УДК 621.396.67 (075.8)

ЭФФЕКТИВНАЯ ПЛОЩАДЬ РАССЕЯНИЯ ВИБРАТОРНЫХ АНТЕНН В ШИРОКОЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ

АЛЬ-РИФАИ АБДУЛЬМУИН

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

Поступила в редакцию 4 июля 2006

Анализируется зависимость диаграммы рассеяния и эффективной площади рассеяния директорной антенны в широкой полосе частот. Используется метод интегральных уравнений.

Ключевые слова: директорная антенна, эффективная площадь рассеяния, диаграмма рассеяния, метод интегральных уравнений.

Введение

Поле рассеяния антенн, облучаемых внешним источником (например, радиолокатором), является существенным демаскирующим фактором радиосистемы даже в том случае, когда радиосистема находится в режиме "молчания" и ее антенная система нагружена на согласованную нагрузку. При облучении антенной системы, находящейся в пассивном состоянии (неизлучающей), полем внешнего источника в антенной системе наводятся токи проводимости — в металлических элементах и токи поляризации — в диэлектрических элементах. Часть мощности, отдаваемой этими токами, поступает в фидерную линию, подключенную к антенной системе. Другая часть мощности переизлучается непосредственно в пространство и дает вклад в эффективную площадь рассеяния (ЭПР). Эта составляющая ЭПР в одних публикациях называется неуправляемой, в других — структурной. Далее эту составляющую ЭПР будем обозначать СЭПР. Величина СЭПР связана с характеристиками и параметрами антенны в режиме излучения, т.е. зависит от конструкции антенны и частоты.

В метровом и дециметровом диапазонах волн в качестве антенн систем радиосвязи в радиолокационных системах широко используются директорные антенны. В ряде работ исследуются рассеивающие свойства директорной антенны, но в весьма узкой полосе частот, соответствующей рабочему диапазону директорной антенны в режиме излучения. В то же время средства радиолокационной разведки работают в широкой полосе частот. Поэтому представляет интерес исследование ЭПР директорной антенны вне ее рабочего диапазона частот. Далее приводятся результаты расчета диаграммы рассеяния и значения однопозиционной ЭПР при облучении директорной антенны плоской электромагнитной волной (ЭМВ) с различных направлений при линейной поляризации, совпадающей с поляризацией директорной антенны в режиме излучения. Этот случай наиболее интересен, так как соответствует максимуму ЭПР.

Метод и результаты анализа

При нахождении распределения тока в элементах антенны использован метод интегральных уравнений [1]. По распределению тока в элементах антенны поле рассеяния определялось методом векторного потенциала электрического поля. Значение ЭПР (далее ЭПР обозначена символом σ) определялось с использованием известной формулы [1]:

$$\sigma = 4\pi R^2 \left(\frac{E_s}{E_i} \right)^2, \quad (1)$$

где R — расстояние от рассеивающей антенны до точки наблюдения, в которой определяется поле рассеяния; E_i — амплитуда поля облучающей волны в точке расположения рассеивающей антенны; E_s — амплитуда поля рассеяния в точке наблюдения. Однопозиционная ЭПР (σ_1) соответствует полю рассеяния в направлении, обратном направлению распространения облучающей волны. Двухпозиционная ЭПР (σ_2) определяется соотношением:

$$\sigma_2 = \sigma_{\max} F^2(\theta, \varphi), \quad (2)$$

где $F(\theta, \varphi)$ — значение нормированной диаграммы рассеяния в направлении, определяемом углами θ, φ сферической системы координат; σ_{\max} — ЭПР в направлении максимума $F(\theta, \varphi)$.

Объектом исследования является директорная антенна, схематически показанная на рис. 1. Исследована диаграмма рассеяния и ЭПР для случая, когда ко входу антенны подключена согласованная нагрузка. В рабочем диапазоне частот такая ЭПР является структурной составляющей (СЭПР). Вне рабочего диапазона частот входное сопротивление антенны существенно отличается от его значения в рабочем диапазоне, антенна не согласована с нагрузкой. Поэтому рассчитанное значение ЭПР практически является полной ЭПР.

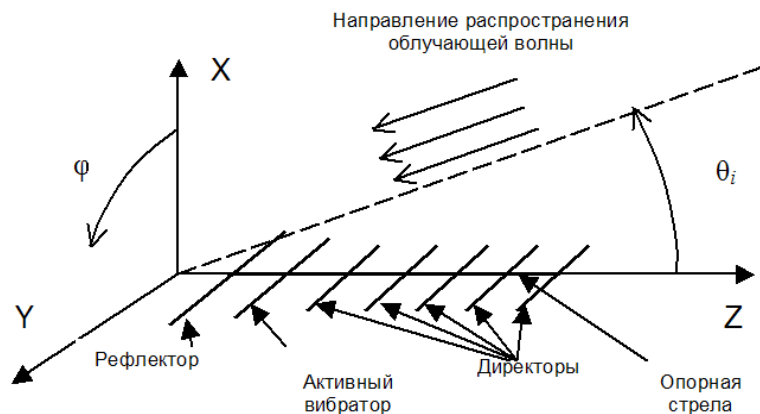


Рис. 1. Директорная антенна

Угол θ_i определяет направление распространения облучающей ЭМВ. Рассмотрены случаи изменения угла θ_i в плоскости E (плоскости YZ) и в плоскости H (плоскости XZ). Исследована зависимость ЭПР от конструктивных параметров директорной антенны: числа директоров, размеров и формы рефлектора (рассмотрены случаи не только линейного рефлектора, но и плоского и уголкового). При изменении числа директоров размеры всех элементов директорной антенны подбирались так, чтобы обратное излучение в режиме передачи было минимальным и на средней частоте рабочего диапазона (f_0) директорная антенна имела равную нулю реактивную часть входного сопротивления. На всех графиках зависимости ЭПР от различных параметров приведены значения ЭПР, нормированные к квадрату длины волны (σ/λ^2). Исследования проведены в диапазоне частот с восьмикратным перекрытием.

На графиках (рис. 2) приведена зависимость $\text{ЭПР}/\lambda^2$ для симметричного вибратора от нормированной частоты f/f_0 для двух случаев — короткого замыкания входа вибратора и подключения ко входу согласованной нагрузки. Частота f_0 соответствует полуволновому резонансному вибратору. В известных источниках, например [2, 3], приводится зависимость

полной ЭПР от нормированной частоты в узкой полосе частот — пунктирная кривая на рис. 2 в узком диапазоне около значения $f/f_0=1$. Как видно, СЭПР полуволнового вибратора, в отличие от полной ЭПР (на входе короткое замыкание), имеет минимум в рабочем диапазоне полуволнового вибратора. При увеличении частоты ЭПР, испытывая колебания, возрастает. На рис. 3 показана зависимость однопозиционной ЭПР от нормированной частоты симметричного вибратора с линейным рефлектором. Две кривые, соответствующие облучению антенны навстречу оси антенны и вдоль оси, практически совпадают, т.е. значения ЭПР при облучении антенны навстречу и вдоль оси антенны близки друг к другу. Величина ЭПР после достижения максимума при резонансной частоте слабо зависит от частоты, а затем существенно возрастает с ее ростом.

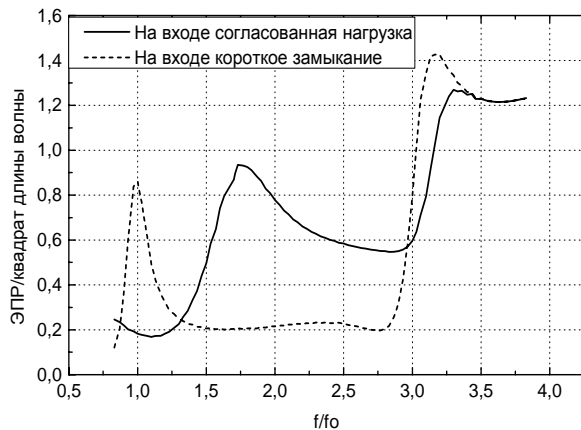


Рис. 2. Зависимость ЭПР симметричного вибратора от частоты

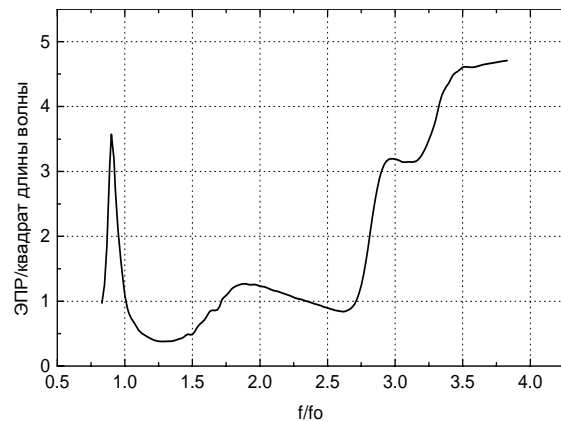


Рис. 3. Зависимость ЭПР симметричного вибратора с линейным рефлектором от частоты

Исследована зависимость ЭПР от числа директоров (N_d) в антенне в широкой полосе частот. На рис. 4 показана зависимость однопозиционной ЭПР от нормированной частоты для антенны с разным числом директоров. Как видно, во всех случаях наблюдаются общие закономерности:

на резонансной частоте, соответствующей равенству нулю реактивной части входного сопротивления, наблюдается максимум ЭПР — рис. 3;

в интервале изменения нормированной частоты 1,2–3,0 ЭПР антенны, согласованной в рабочем диапазоне частот, существенно меньше резонансного значения и слабо зависит от частоты;

при дальнейшем увеличении частоты ЭПР существенно возрастает и принимает большие значения, что связано с сужением главного лепестка диаграммы рассеяния;

значения ЭПР, соответствующие облучению антенны вдоль оси антенны и навстречу оси, практически совпадают.

Заметим, что на частоте $f=3,8 f_0$ (на рис. 4 эта частота соответствует максимуму ЭПР для антенны с пятью и десятью директорами) антенна не согласована с нагрузкой, и значения СЭПР, как ранее отмечалось, практически равны полной ЭПР.

На рис. 5,а показана диаграмма направленности антенны с пятью директорами, ее входное сопротивление и значения коэффициента стоячей волны (КСВ) в линиях с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом на средней частоте рабочего диапазона (при численном моделировании частота $f_0=300$ МГц), на рис. 5,б — диаграмма направленности той же антенны на частоте $f=3,8 f_0$.

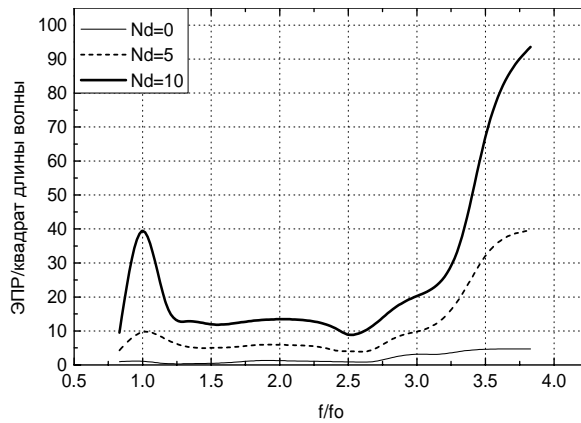


Рис. 4. Зависимость ЭПР от частоты

Для сравнения на рис. 6 показана диаграмма рассеяния той же антенны при облучении ее плоской электромагнитной волной навстречу оси антенны и вдоль оси на рабочей частоте антенны. Как видно, значения СЭПР для этих двух случаев облучения отличаются несущественно. Диаграмма рассеяния при облучении навстречу оси антенны близка по форме к диаграмме направленности.

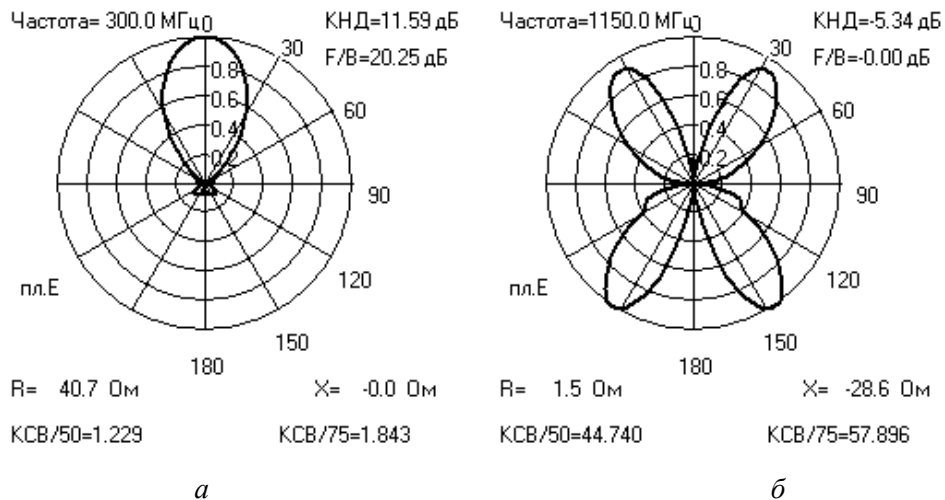


Рис. 5. Диаграммы направленности (режим излучения) на частоте $f_0=300$ МГц (а) и $f=3,8 f_0$ (б)

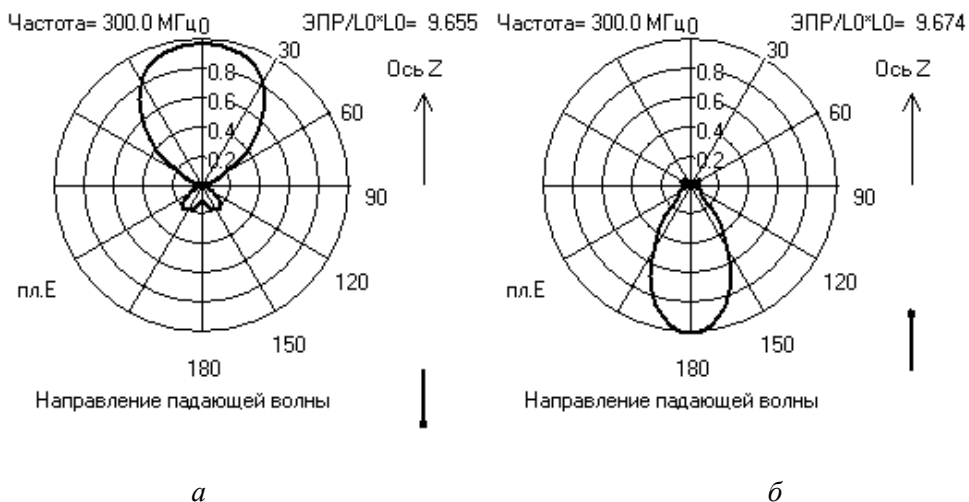


Рис. 6. Диаграмма рассеяния на рабочей частоте директорной антенны: а — облучение навстречу оси антенны; б — облучение вдоль оси антенны

Вне рабочего диапазона директорной антенны диаграмма рассеяния существенно отличается от диаграммы направленности. Для иллюстрации сказанного на рис. 7 показаны диаграммы рассеяния директорной антенны с пятью директорами на частоте $f=3,8 f_0$ при облучении антенны навстречу и вдоль оси антенны. Из сравнения рис. 5,б и рис. 7 видно это существенное различие. Все приведенные графики диаграмм направленности и диаграмм рассеяния соответствуют плоскости E . В плоскости H картина аналогична, но главный лепесток диаграммы рассеяния шире и уровень боковых лепестков больше.

Численный анализ показал, что опорная стрела крепления директоров антенны (рис. 1) несущественно меняет диаграмму рассеяния в плоскости E на рабочей частоте директорной антенны и существенно вне этой полосы.

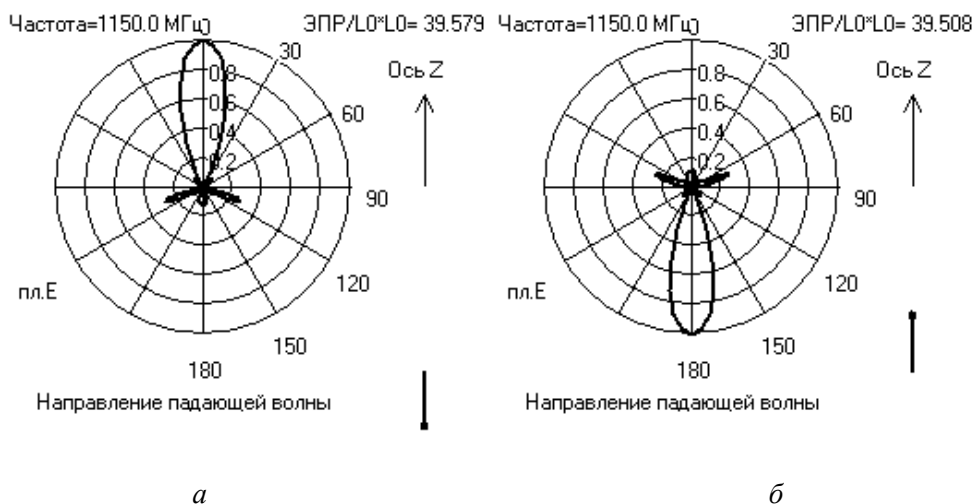


Рис. 7. Диаграмма рассеяния на частоте $f=3,8 f_0$:
 а — облучение навстречу оси антенны; б — облучение вдоль оси антенны

Заключение

Проведенные исследования зависимости эффективной площади рассеяния директорной антенны от ее геометрических параметров и частоты показали, что ЭПР директорной антенны имеет максимум на средней частоте рабочего диапазона f_0 . При увеличении частоты ЭПР сначала уменьшается, оставаясь почти постоянной, затем существенно возрастает на частоте $3,8 f_0$. Основной вклад в ЭПР дает структурная составляющая поля рассеяния, поэтому не удастся уменьшить ЭПР путем нагрузки входа антенны на широкополосную согласованную нагрузку при работе антенны в режиме приема или находящейся в режиме "молчания".

RADAR CROSS SECTION (RCS) OF DIPOLE ANTENNAS IN WIDE BAND

ALRIFAI ABDOUL MOUEN

Abstract

The RCS and cross diagram of Uda-Yagi antennas in wide band are analyzed. In the work the method of the integrated equations is used.

Литература

1. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р.Митры. М., 1977.
2. Справочник по радиолокации: В 4 т. Т. 1. Редактор М. Скольник / Пер. с англ.; Под ред. Я.С. Иццоки. М., 1976.
3. Сидоренко С.Т. // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2004. № 1. С. 66–72.