2010

УДК 621.391.82

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДИРЕКТОРНЫХ АНТЕНН В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

### С.А. ЧЕКАН

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

Поступила в редакцию 2 сентября 2009

С использованием метода интегральных уравнений рассмотрено взаимное влияние директорных антенн, расположенных в ближней зоне в составе группы. В качестве параметра, характеризующего степень влияния антенн друг на друга, используется коэффициент развязки и коэффициент передачи мощности.

Ключевые слова: метод интегральных уравнений, коэффициент развязки, директорная антенна, группа антенн.

#### Введение

Входное сопротивление и диаграмма направленности директорной антенны при наличии другой директорной антенны существенно зависят от их взаимодействия между собой. Степень взаимодействия зависит от параметров взаимодействующих антенн и волнового расстояния между ними. В работе методом интегральных уравнений в тонкопроволочном приближении исследованы вопросы взаимодействия двух директорных антенн при произвольном их взаимном положении в ближней зоне друг друга и произвольных параметрах. В качестве основного показателя, характеризующего степень взаимодействия антенн, использован коэффициент развязки, равный отношению мощности на входе активной (возбуждаемой) антенны к мощности на входе пассивной антенны.

#### Математическая модель

Математическая модель взаимодействия директорных антенн разрабатывалась с использованием известного интегрального уравнения Поклингтона для тока в тонком проводнике [1]

$$\int_{0}^{L} \mathbf{I}(l_q) Z(l_p, l_q) dl_q = U(l_p), \qquad (1)$$

где  $I(l_q)$  — искомый ток, ядро интегрального уравнения  $Z(l_p, l_q)$  определяется выражением:

$$Z(l_{p}, l_{q}) = 30[G(l_{p}, l_{q})(\vec{l}_{o}, \vec{S}_{o}) - \frac{1}{k^{2}} \frac{d^{2}G(l_{p}, l_{q})}{dl_{p}dl_{q}}],$$
(2)

где  $\vec{l}_{o}$  — касательная к точке *P*, расположенной на поверхности проводника,  $\vec{S}_{o}$  — касательная к точке *Q*, расположенной на оси проводника.

Правая часть (1) зависит от распределения стороннего поля, возбуждающего проводник:

$$U(l_p) = -i\frac{1}{k} (\vec{E}_{cm}, \vec{S}_o).$$
<sup>(3)</sup>

Функция Грина определяется выражением:

$$G(l_{p}, l_{q}) = \frac{e^{-ikR}}{R},$$
(4)

где R определяется расстоянием между соответствующими координатами начала, либо конца сегментов.

Уравнение (1) решается численно методом Галеркина. Ток  $I(l_q)$  ищется в виде разложения по системе известных базисных функций  $f_m(l_q)$ , где m — номер функции:

$$I(l_{q}) = \sum_{m=1}^{\infty} I_{m} f_{m}(l_{q}).$$
(5)

Для сведения уравнения (1) к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) в качестве базисных и весовых функций использованы кусочно-постоянные функции. В результате СЛАУ принимает вид:

$$\sum_{m=1}^{M} \mathbf{I}_m K_{mn} = U_n , \qquad (6)$$

где

$$K_{mn} = \int_{0}^{L} \int_{0}^{L} Z(l_{p}, l_{q}) f_{m}(l_{q}) g_{n}(l_{p}) (\vec{l}_{o}, \vec{S}_{o}) dl_{q} dl_{p},$$
(7)

$$U_n = \int_0^L U(l_p) g_n(l_p) \cdot dl_p \,. \tag{8}$$

Результатом решения СЛАУ будет распределение токов в каждом сегменте разбиения проводников исследуемых антенн.

После вычисления распределения токов, вычисляется коэффициент развязки

$$S_{12} = 10 \lg \frac{I_A^2}{I_{II}^2},$$
(9)

либо коэффициент передачи мощности

$$S_{21(M)} = 10 \lg \frac{I_{II}^2}{I_A^2},$$
(10)

где  $I_A$  — ток в центре вибратора активной антенны,  $I_{\Pi}$  — ток в центре вибратора пассивной антенны.

На основании описанной математической модели была разработана программа численного моделирования проволочных антенн. Программа позволяет рассчитывать характеристики и параметры одиночной директорной антенны различной геометрии, а также исследовать взаимодействие двух директорных антенн, произвольно расположенных в свободном пространстве. При этом можно оценивать влияние пассивной директорной антенны на характеристики активной по изменению диаграммы направленности, КНД и входного сопротивления по сравнению с этими же величинами для изолированной антенны.

#### Основная часть

Моделирование проведено на частоте 300 МГц. Приводимые результаты могут быть пересчитаны на любую другую частоту с использованием принципа масштабирования. Размеры элементов директорной антенны подобраны так, чтобы на заданной частоте в антенне сохранялся режим излучения с максимумом диаграммы направленности (ДН) вдоль оси Z и минимальным излучением в обратном направлении при равенстве нулю реактивной составляющей входного сопротивления.

Вначале рассмотрим взаимодействие двух директорных антенн, расположенных в плоскости Е (рис. 1).



Рис. 1. Взаимодействие директорных антенн в плоскости Е

Для последующей иллюстрации влияния пассивной директорной антенны на характеристики активной на рис. 2,*а* приводятся диаграммы направленности изолированной директорной антенны с двумя директорами, а также приводятся значения коэффициента направленного действия (КНД) и входного сопротивления (*R* — активная часть входного сопротивления, *X* — реактивная часть входного сопротивления).

На рис. 2, $\delta$  показаны ДН активной антенны при наличии пассивной антенны. Пассивная директорная антенна имеет такую же геометрию, как и активная (линейный рефлектор, два директора), расположена относительно нее на расстоянии 0,5 $\lambda$  в плоскости *E*.



Рис. 2. Диаграммы направленности: *a* — изолированной директорной антенны с двумя директорами; *б* — директорной антенны в присутствии пассивной антенны на расстоянии 0,5λ в плоскости Е

Как видно из этих рисунков, влияние второй антенны проявляется в искажении диаграммы направленности, КНД и входного сопротивления.

Для дальнейшей количественной и качественной оценки взаимного влияния директорных антенн друг на друга было проведено моделирование взаимодействия директорных антенн с линейным рефлектором и числом директоров от 0 до 8. В качестве показателя взаимодействия антенн рассмотрена зависимость коэффициента передачи мощности  $S_{21}$  от волнового расстояния между антеннами  $D/\lambda$ . Эта зависимость показана на рис. 3.

Так как дополнительная антенна размещается в плоскости E, то ДН в плоскости E становится асимметричной относительно оси Z. При увеличении расстояния ДН постепенно приобретает симметрию.



Рис. 3. Зависимость коэффициента передачи мощности (КПМ) от волнового расстояния между антеннами, расположенными в плоскости Е

При расположении антенн в плоскости *H* влияние пассивной антенны на характеристики активной увеличивается по сравнению со случаем расположения антенн в плоскости *E*. Это проиллюстрировано на рис. 4.



Рис. 4. Зависимость КПМ от волнового расстояния между директорными антеннами с двумя директорами, расположенными в плоскостях Е и Н

Для оценки влияния пассивной антенны на входное сопротивление активной антенны были проведены исследования зависимости активной и реактивной частей входного сопротивления от волнового расстояния между антеннами при расположении их в плоскости E и плоскости H. Исследовалось взаимодействие директорных антенн с различным числом проводников рефлектора  $N_r$  (рефлектор плоский, число директоров  $N_d=5$ ). Соответствующие зависимости приводятся далее (рис. 5).



Рис. 5. Зависимость входного сопротивления активной директорной антенны: a — активной части входного сопротивления, от волнового расстояния между взаимодействующими антеннами, расположенными в плоскости Е друг относительно друга;  $\delta$  — реактивной части, от волнового расстояния между взаимодействующими антеннами, расположенными в плоскости Н друг относительно друга

Оценка этих зависимостей подтверждает ранее указанную закономерность о том, что директорные антенны в плоскости *H* взаимодействуют в большей степени, чем в плоскости *E*.

Для этих же директорных антенн (плоский рефлектор с различным числом  $N_r$ ) проводилось исследование их взаимодействия в составе группы. На следующих рисунках приведены зависимости коэффициента развязки (КР) от углов поворота антенн (рис. 6, 7). Из этих графиков видно, что применение плоского рефлектора по сравнению с линейным рефлектором приводит к увеличению КР, а, следовательно, уменьшению их взаимного влияния. Увеличение числа проводников в плоском рефлекторе к заметным изменениям КР не приводит.

В обоих случаях исследуемые антенны первоначально находились на одной оси, совпадающей с осью *OZ*. Вращалась активная антенна вокруг оси *OY* (в плоскости *XZ*). Число директоров в антеннах  $N_d$ =5.



Рис. 6. Зависимость КР от угла поворота активной антенны, которая находится со стороны рефлектора пассивной антенны (поворот в плоскости *XZ*, *D*=1,5λ)



Рис. 7. Зависимость КР от угла поворота активной антенны, которая находится со стороны директора пассивной антенны (поворот в плоскости *XZ*, *D*=0,5λ)

Зависимость КР от отношения линейных размеров всех элементов активной и пассивной антенн (коэффициента *M*) для директорных антенн с пятью директорами и линейным рефлектором показана на рис. 8. Антенны расположены в плоскости *E* или *H* на расстоянии половины длины волны. Коэффициент *M* показывает во сколько раз размеры пассивной директорной антенны больше размеров активной директорной антенны.



Рис. 8. Зависимость КР от масштабирующего коэффициента

Как видно из этих зависимостей, наименьший коэффициент развязки наблюдается в случае равенства линейных размеров взаимодействующих антенн (*M*=1).

#### Заключение

Методом интегральных уравнений исследовано взаимное влияние директорных антенн при их расположении в составе группы в ближней зоне. Получены численные характеристики.

Исследование показало, что присутствие пассивной антенны в ближней зоне активной директорной антенны приводит к изменению ее основных характеристик — ДН, входного сопротивления, КНД; влияние пассивной директорной антенны на характеристики активной сильнее проявляется в плоскости *H*, чем в плоскости *E*; коэффициент развязки минимален (взаимодействие максимально) при одинаковых геометрических параметрах взаимодействующих директорных антенн. Кроме того, использование плоского рефлектора приводит к увеличению коэффициента развязки, по сравнению с линейным рефлектором. При этом увеличение числа проводников в плоском рефлекторе не приводит к каким-либо заметным изменениям степени взаимодействия между антеннами.

## INTERACTIONS OF WIRE ANTENNAS IN NEAR-FIELD ZONE

# S.A. CHEKAN

### Abstract

With use of a method of the integrated equations cross agency of the Yagi aerials which have been had in a near-field region as a part of group is observed. In the capacity of the parametre characterising extent of agency of antennas against each other, the decoupling coefficient and the coefficient of transfer of power are used.

### Литература

1. Митра Р. // Вычислительные методы в электродинамике. М., 1977.