

ЭЛЕКТРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ СИСТЕМЫ ИЗ ОРТОГОНАЛЬНЫХ РАМОЧНЫХ СТРУКТУР

ВЕЛЕГУРА ВЛАДИМИР АЛЕКСЕЕВИЧ

доцент кафедры, кандидат технических наук, доцент.

Южно-Российский Государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Факультет информационных технологий и управления. Кафедра «Автоматика и телемеханика».

346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГПУ(НПИ) им. М.И.Платова. тлф. (8635) 255-297, (8635) 255-739. E-mail: npi_ait@mail.ru.

КРИВЕНЦЕВ ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

начальник учебной части, заместитель начальника кафедры, аспирант.

Южно-Российский Государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Военный учебный центр. Кафедра войск связи.

346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, ЮРГПУ (НПИ) им. М.И.Платова. тлф. (8635) 255-302, (8635) 255-790. E-mail: JunyaEk@yandex.ru.

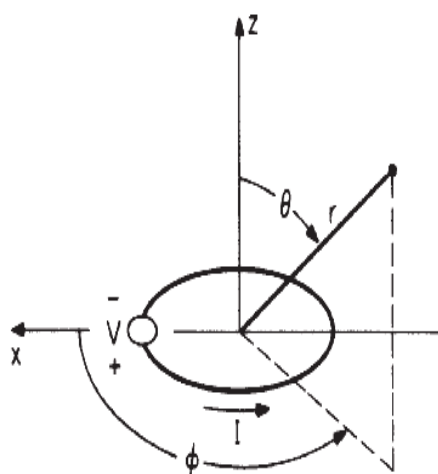


Рис. 1

В системах связи с произвольным расположением корреспондентов в пространстве актуальным является вопрос использования антенных устройств с управляемыми направленными свойствами. Сформировать требуемую характеристику направленности можно путем коммутации и фазирования отдельных электромагнитных структур, объединенных в антенную систему. Примером таких структур могут быть рамочные излучатели (рис. 1).

Комплексные амплитуды проекций векторов электрического и магнитного полей, создаваемых рамкой в дальней зоне, определяются следующими соотношениями [1]:

$$\begin{aligned} \dot{E}_\theta(\theta, \varphi) &= \frac{W_0 f_\theta(\theta, \varphi)}{2\lambda r} e^{-ikr}; \\ \dot{H}_\varphi(\theta, \varphi) &= \frac{\dot{E}_\theta(\theta, \varphi)}{W_0}; \\ \dot{E}_\varphi(\theta, \varphi) &= \frac{W_0 f_\varphi(\theta, \varphi)}{2\lambda r} e^{-ikr}; \\ \dot{H}_\theta(\theta, \varphi) &= -\frac{\dot{E}_\varphi(\theta, \varphi)}{W_0}. \end{aligned} \quad (1)$$

В данных выражениях $W_0 = 120\pi$ - волновое сопротивление свободного пространства, а r - расстояние от начала координат до точки наблюдения.

Комплексные функции $f_\theta(\theta, \varphi)$ и $f_\varphi(\theta, \varphi)$ равны

$$\begin{aligned} f_\theta(\theta, \varphi) &= -i[P_x \sin\theta \cos\varphi - P_z \cos\theta]; \\ f_\varphi(\theta, \varphi) &= iP_x \sin\varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициенты P_x и P_z , входящих в (2), определяются интегралами от функции распределения тока $I(\theta')$ вдоль провода рамки

$$\begin{aligned} P_x &= -\int_0^{2\pi} I(\theta') \sin\theta' e^{ikR[\cos\theta \cos\theta' \cos\varphi + \sin\theta \sin\theta']} d\theta', \\ P_z &= \int_0^{2\pi} I(\theta') \cos\theta' e^{ikR[\cos\theta \cos\theta' \cos\varphi + \sin\theta \sin\theta']} d\theta'. \end{aligned} \quad (3)$$

Чем сложнее конструкция антенны, состоящая из нескольких рамочных излучателей, тем труднее вычислить интегралы (3), а соответственно и оценить её направленные свойства.

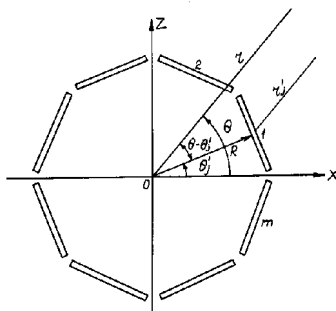


Рисунок 2. Кольцевая решетка

Более приемлемым для расчета поля, является метод моментов.

Метод моментов впервые был предложен Б.В.Брауде [2] для нахождения сопротивления излучения сложных проволочных антенн. Суть метода моментов состоит в представлении проволочной антенны совокупностью элементарных диполей с соответствующими моментами токов, ориентацией и координатами точек их размещения в пространстве. Использование метода моментов подкупает, прежде всего,

простотой нахождения моментов тока отдельных элементов и достаточной для инженерных расчетов точностью.

Представим круглый рамочный излучатель (рис. 2) в виде кольцевой решетки из m диполей, расположенных по окружности в точках с углами $\theta'_j = \frac{\pi}{m}(2j - 1)$, где $j=1,2,..m$. Поле такой решетки может быть найдено с помощью соотношений (1) и (2), где комплексные коэффициенты P_x и P_z определяются как

$$\begin{aligned} P_x &= - \sum_{j=1}^m M_j \sin \theta'_j, \\ P_z &= \sum_{j=1}^m M_j \cos \theta'_j. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь

$$M_j = e^{ikR \cos \alpha_j} \int_{2\pi(j-1)/m}^{2\pi j/m} I(\theta') d\theta', \quad (5)$$

где
(6)

$$\cos \alpha_j = \cos \theta \cos \theta'_j \cos \varphi + \sin \theta \sin \theta'_j.$$

При сосредоточенном возбуждении рамочного излучателя одним генератором, когда функция распределения тока $I(\theta')$ определяется соотношением [3]

$$I(\theta') = -i \frac{V_0}{\pi W} [(A_0 + iB_0) + 2 \sum_{n=1}^4 (A_n + iB_n) \cos n\theta' + p\psi(\theta')], \quad (7)$$

моменты токов отдельных диполей можно записать в виде

$$M_j = -i \frac{V_0}{\pi W} (X_j + iY_j) e^{ikR \cos \alpha_j}, \quad (8)$$

где A_n и B_n - коэффициенты разложения Фурье, а величины X_j и Y_j определяются следующими соотношениями

$$\begin{aligned} X_j &= 2 \left[\frac{\pi}{m} A_0 + 2 \sum_{n=1}^4 \frac{A_n}{n} \sin \frac{\pi n}{m} \cos \frac{\pi n}{m} (2j - 1) \right], \\ Y_j &= 2 \left[\frac{\pi}{m} B_0 + 2 \sum_{n=1}^4 \frac{B_n}{n} \sin \frac{\pi n}{m} \cos \frac{\pi n}{m} (2j - 1) \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Подставляя соотношения (4), с учетом (8) и (9), в выражения (2), получим в окончательной форме соотношения для характеристик направленности вертикальной рамочной антенны, возбуждаемой одним генератором

$$f_{\theta}(\theta, \varphi) = \sum_{j=1}^m [X_j \cos(kR \cos \alpha_j) - Y_j \sin(kR \cos \alpha_j)] \cdot C_1(\theta') +$$

$$+ i \sum_{j=1}^m [X_j \sin(kR \cos \alpha_j) + Y_j \cos(kR \cos \alpha_j)] \cdot C_1(\theta'),$$

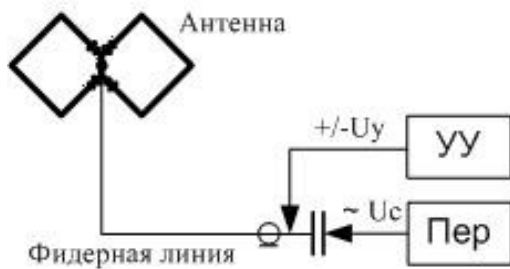
$$f_{\varphi}(\theta, \varphi) = - \sum_{j=1}^m [X_j \cos(kR \cos \alpha_j) - Y_j \sin(kR \cos \alpha_j)] \cdot C_2(\theta')$$

$$- i \sum_{j=1}^m [X_j \sin(kR \cos \alpha_j) + Y_j \cos(kR \cos \alpha_j)] \cdot C_2(\theta')$$

где

$$C_1(\theta') = (\cos \theta \cos \theta'_j + \sin \theta \sin \theta'_j \cos \varphi); \quad C_2(\theta') = \sin \theta \sin \theta'_j \sin \varphi \quad (10)$$

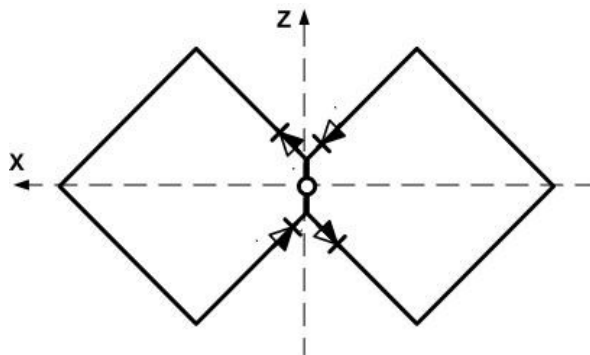
Антенная система с управляемой характеристикой направленности может быть построена из нескольких рамочных излучателей, расположенных определенным образом в пространстве и подключенных к передатчику (Пер). Наиболее оптимальной является коммутация излучателей с помощью твердотельных электронных элементов [4], управляемых сигналами устройства управления (УУ) (рис. 3).



Рисунка 3. Схема управления антенной.

Проведенный анализ электронной базы полупроводниковых коммутирующих элементов показал, что наиболее приемлемыми в этом плане являются динисторы, состояние которых (открыт - закрыт) изменяется под действием

приложенного постоянного напряжения определенной величины и полярности. Это свойство динистора включенного в провод рамки (рис. 4), позволяет дистанционно подключать или отключать соответствующий излучатель к передающему устройству.



Рисунка 4. Схема включения динисторов в провод рамок.

Для оценки возможности электронного управления характеристикой направленности антенны было использовано программное приложение MMANA-GAL [6, 7]. В качестве антенны [5] исследовалась модель (рис. 5), состоящая из 4-х квадратных рамок (1, 2, 3, 4), попарно расположенных в плоскостях XOZ и YOZ. Периметр каждой рамки равен 4 м, что соответствует длине волны для частоты 75 МГц.

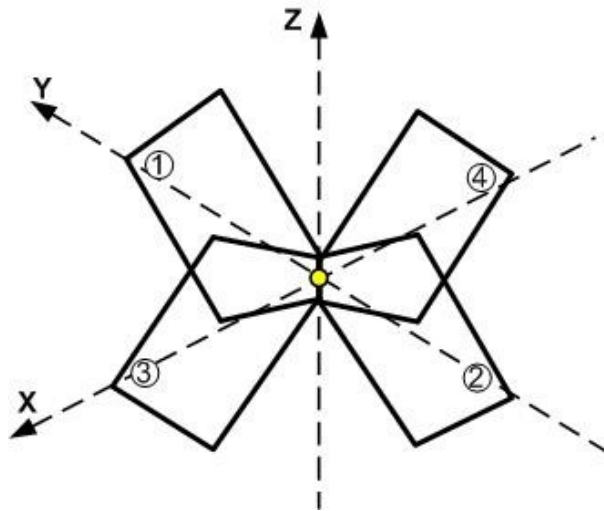


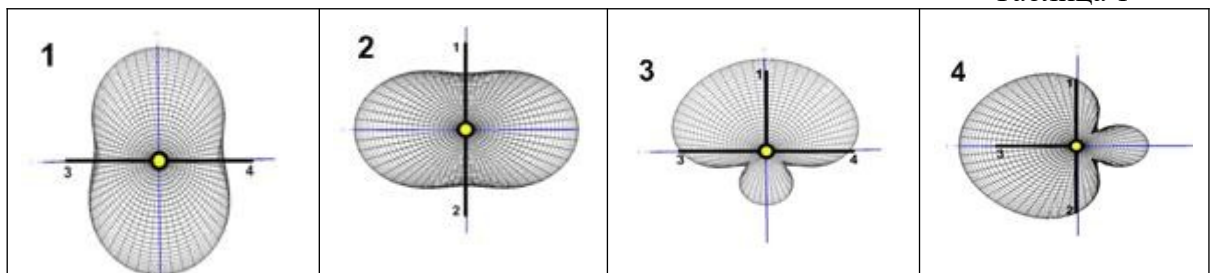
Рисунок 5. Система ортогональных рамочных структур.

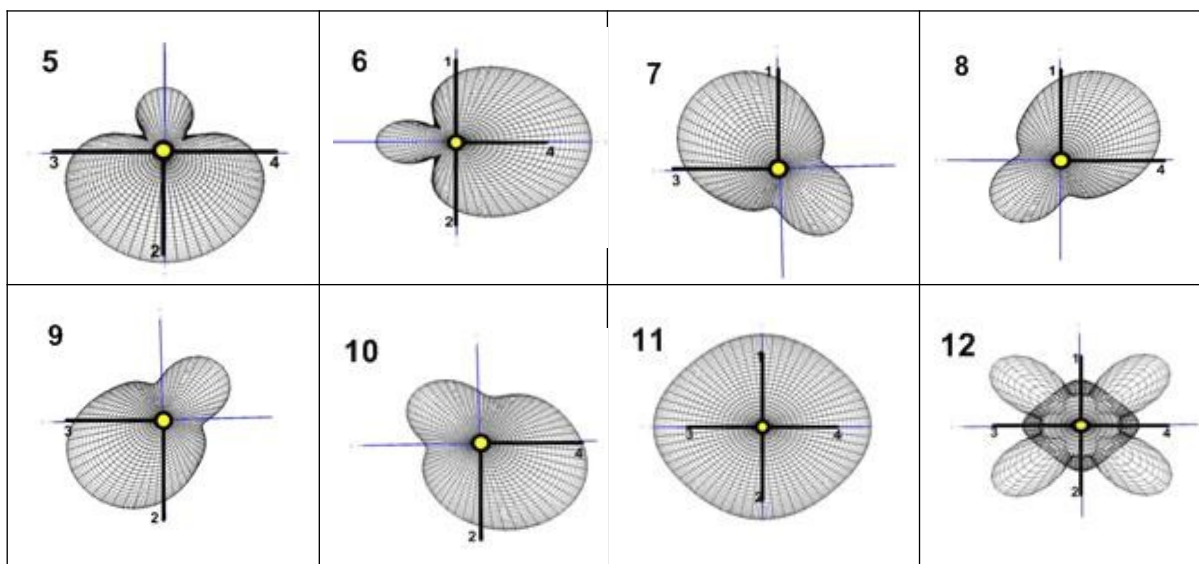
Целью исследования модели являлась зависимость характеристики направленности антенны в горизонтальной плоскости (пл. XOY) от вариантов подключения отдельных рамочных излучателей к общему высокочастотному генератору.

Результаты исследования системы из ортогональных рамочных структур, представлены в таблице 1.

Характеристики направленности системы из ортогональных рамочных структур

Таблица 1





Анализ представленных характеристик направленности (ХН) системы из ортогональных рамочных структур позволяет сделать следующие выводы:

1. При использовании 2-х рамок, расположенных в одной плоскости (1,2) система формирует диаграмму направленности (ДН) с направлением максимума вдоль оси X или Y.

2. При использовании 2-х рамок, расположенных под углом 90° (7,8,9,10) система формирует ДН с максимумом в направлении биссектрисы угла между плоскостями рамок.

3. При использовании 3-х рамок (3,4,5,6) система формирует ДН, максимум которой ориентирован в направлении одиночной рамки. Соответственно рамок 1,3,2 4).

4. При подключении к высокочастотному генератору всех 4-х рамок (11,12) антенная система формирует в горизонтальной плоскости XOY круговую ДН. При этом при изменении частоты с 75 МГц на 150 МГц ДН становится 4-х лепестковой с направлением максимумов под углом 45° к плоскости рамок.

5. Изменяя количество и схему подключения рамок в горизонтальной плоскости можно управлять направлением максимального излучения с дискретным углом в 45° .

ЛИТЕРАТУРА.

1. King R.W. The loop antenna for transmission and reception, in Antenna Theory. Part 1, edited by Collin R.E. and Zucker F.J., 1969, pp. 458-482.
2. Брауде Б.В. К расчету сопротивления излучения передающих антенн. ИЭСТ, №4-5, 1940 г
3. Велегура В.А., Титов В.Ю. Внутренняя задача для кольцевой рамочной антенны.// Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. – 2010. – №1. – С. 37–42.
4. Велегура В.А., Велегура В.Ф., Велегура Е.В. Антенна с управляемой поляризацией: Патент РФ № 2339130 от 19.01.2007 г.
5. Велегура В.А., Кривенцев Е.А. Использование рамочных излучателей для формирования равномерного азимутального покрытия. // Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. – 2019.- №2. – С. 19-22.
6. Гончаренко И.С. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA. - М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио». 2002 - 80 с.: ил.
7. <http://gal-ana.de/basicmm/ru/>.