

## 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

**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

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).

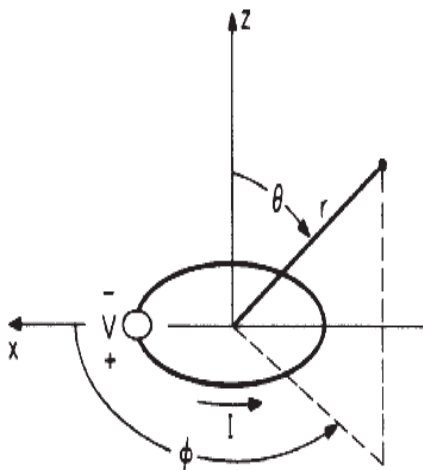


Рис. 1

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

$$\begin{aligned} \dot{E}_\theta(\theta, \phi) &= \frac{W_0 f_\theta(\theta, \phi)}{2\lambda r} e^{-ikr}; \\ \dot{H}_\phi(\theta, \phi) &= \frac{\dot{E}_\theta(\theta, \phi)}{W_0}; \\ \dot{E}_\phi(\theta, \phi) &= \frac{W_0 f_\phi(\theta, \phi)}{2\lambda r} e^{-ikr}; \\ \dot{H}_\theta(\theta, \phi) &= -\frac{\dot{E}_\phi(\theta, \phi)}{w_0}. \end{aligned} \quad (1)$$

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

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

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

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

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

Чем сложнее конструкция антенны, состоящая из нескольких рамочных излучателей, тем труднее вычислить интегралы (3), а соответственно и оценить её направленные свойства. Более приемлемым для расчета поля, является метод моментов.

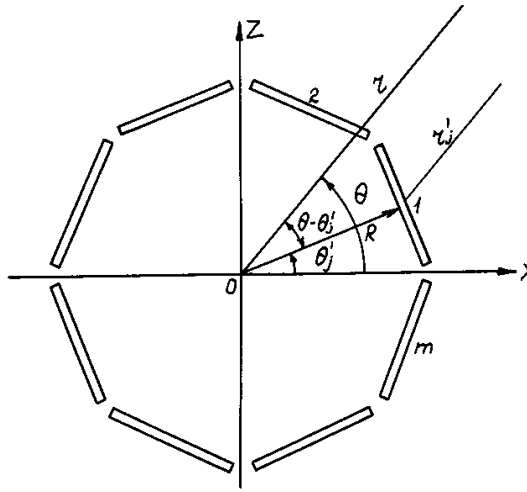


Рисунок 2. Кольцевая решетка

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

$$P_x = - \sum_{j=1}^m M_j \sin \theta_j', \quad P_z = \sum_{j=1}^m M_j \cos \theta_j'. \quad (4)$$

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

$$\cos \alpha_j = \cos \theta \cos \theta_j' \cos \phi + \sin \theta \sin \theta_j'. \quad (6)$$

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

$$\begin{aligned} f_\theta(\theta, \phi) &= \sum_{j=1}^m [X_j \cos(kR \cos \alpha_j) - Y_j \sin(kR \cos \alpha_j)] \cdot C_1(\theta') + \\ &+ i \sum_{j=1}^m [X_j \sin(kR \cos \alpha_j) + Y_j \cos(kR \cos \alpha_j)] \cdot C_1(\theta'), \\ f_\phi(\theta, \phi) &= - \sum_{j=1}^m [X_j \cos(kR \cos \alpha_j) - Y_j \sin(kR \cos \alpha_j)] \cdot C_2(\theta') - \\ &- i \sum_{j=1}^m [X_j \sin(kR \cos \alpha_j) + Y_j \cos(kR \cos \alpha_j)] \cdot C_2(\theta'), \end{aligned}$$

где

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

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).

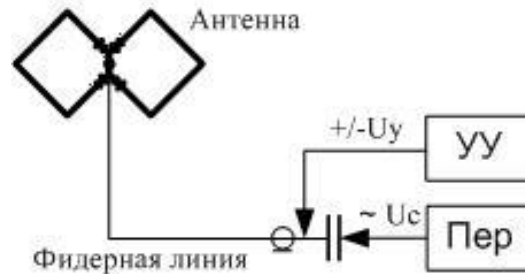
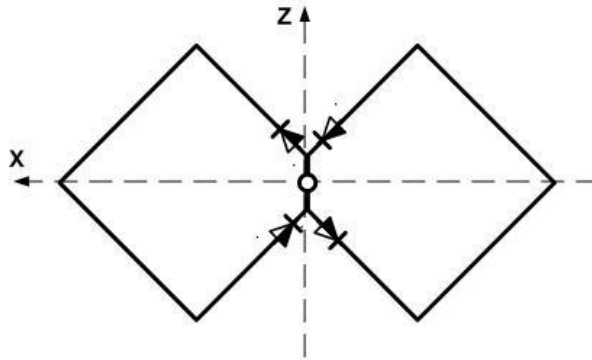


Рисунок 3. Схема управления антенной.

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 диносторов 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.

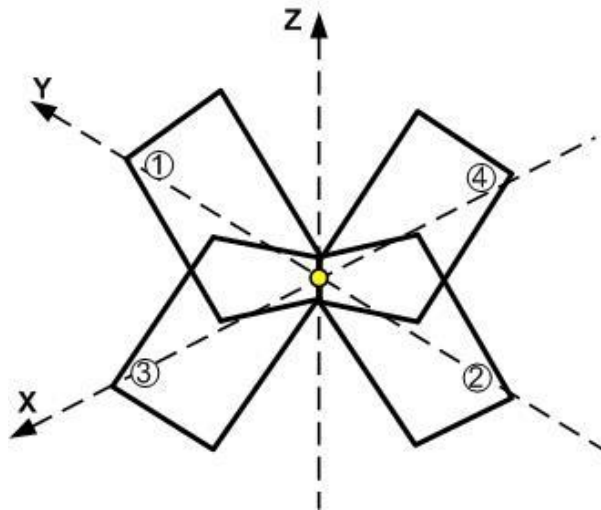


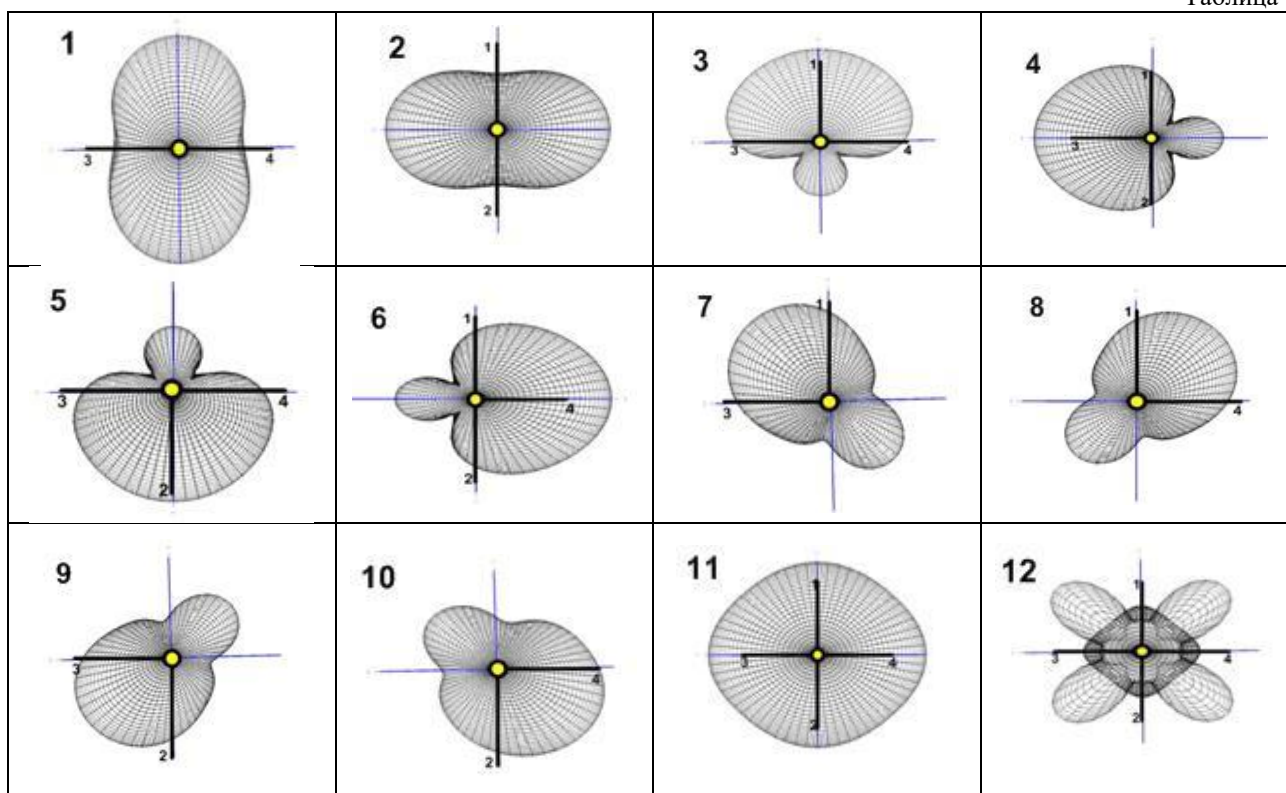
Рисунок 5. Система ортогональных рамочных структур.

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  $90^\circ$  (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 вех 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  $45^\circ$  к плоскости рамок.
5. Изменяя количество и схему подключения рамок в горизонтальной плоскости можно управлять направление максимального излучения с дискретным углом в  $45^\circ$ .

#### 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/>.