

ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

С. Н. Калашников, О. А. Белоусов

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор А. В. Иванов

Ключевые слова и фразы: диаграмма направленности; коэффициент направленного действия; плоская эквидистантная фазированная антенная решетка; фазированная антенная решетка; цифровое телевидение.

Аннотация: Рассмотрена методика построения плоской эквидистантной фазированной антенной решетки, состоящей из спиральных излучателей, которая предназначена для систем цифрового эфирного телевидения. Приведены результаты моделирования антенной решетки для систем эфирного цифрового телевидения.

Широкое развитие цифрового эфирного телевидения в настоящее время позволяет решить ряд задач и получить преимущества по отношению к аналоговому телевидению: повышение помехоустойчивости трактов передачи телевизионных сигналов; уменьшение мощности передатчиков; существенное увеличение числа телевизионных программ, передаваемых в том же частотном диапазоне; повышение качества изображения и звука принимаемых телепрограмм; создание телевидения высокой четкости; передача в телевизионном сигнале различной дополнительной информации, превращение телевизионного приемника в многофункциональную информационную систему; создание интерактивных телевизионных систем, при пользовании которыми зритель получает возможность воздействовать на передаваемую программу и т.д.

Однако зона покрытия цифровым телевидением незначительна, особенно на окраинах региона, и требует применения дополнительных направленных антенн и соответствующих усилителей сигнала. Поэтому использование фазированных антенных решеток (**ФАР**) на базовых станциях и ретрансляторах позволит существенно расширить зону покрытия и снизить требования к окончному оборудованию абонента. В качестве такой

Калашников Сергей Николаевич – студент; Белоусов Олег Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», e-mail: jjour314@gmail.com, ТамбГТУ, г. Тамбов.

ФАР предлагается использовать плоскую эквидистантную ФАР на основе цилиндрического спирального излучателя [1, 2], который обеспечивает режим максимального осевого излучения. Здесь преобладают электромагнитные колебания, интенсивно излучаемые всеми витками, поэтому в спирали устанавливается бегущая волна тока, формирующая максимум излучения вдоль оси спирали.

На рисунке 1 представлен общий вид цилиндрической спиральной антенны. Основные геометрические параметры спиральной антенны: l – осевая (общая) длина спирали, м; S – шаг намотки спирали, м; L – длина витка спирали, м; n – число витков спирали; α – угол подъема витка; D – диаметр спирали, м.

Для обеспечения режима осевого излучения диаметр спирали D выбирают так, чтобы длина витка L примерно равнялась средней длине волны тока в спирали

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 0,445 \text{ м}; \quad \nu = 674 \text{ МГц};$$

$$L = \lambda = 0,445 \text{ м}; \quad D = \frac{\lambda}{\pi} = 0,142 \text{ м},$$

где ν – частота вещания, Гц; c – скорость света, м/с.

Для достижения максимальной широкополосности угол α намотки выбирают от 12° до 18° при числе витков от $3 < n < 11$. Примем угол намотки $\alpha = 16^\circ$. Число витков $n = 9$ для обеспечения высокой направленности антенны. Тогда шаг намотки

$$S = L \sin(\alpha) = 0,128 \text{ м}.$$

Общая длина спирали

$$l = S n = 1,153 \text{ м}.$$

Для спиральной антенны формула для расчета коэффициента направленного действия (КНД) примет вид

$$K_{\text{НД}} = 15 \left(\frac{L}{\lambda} \right)^2 n \frac{S}{\lambda} = 32,382.$$

Входное сопротивление для спиральной антенны вычислим по формуле

$$R = 140 \frac{L}{\lambda} = 140 \text{ Ом}.$$

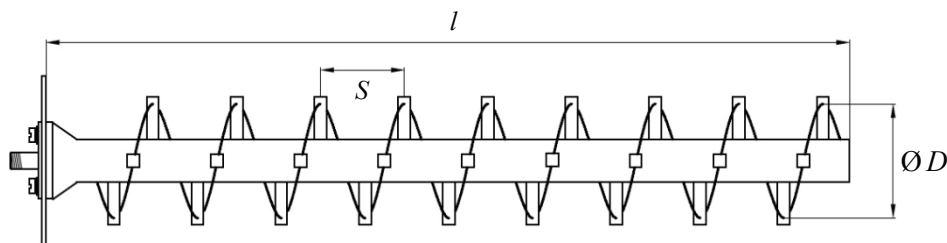


Рис. 1. Общий вид цилиндрической спиральной антенны

Определим нормированные по напряженности поля диаграммы направленности в V и H плоскостях в полярной и декартовой системах координат соответственно для спиральной антенны

$$F(\varphi) = \frac{\sin\left(\frac{nk}{2}\right)(\varepsilon L - S \cos(\varphi))}{n \sin\left(\frac{k}{2}\right)(\varepsilon L - S \cos(\varphi))};$$

$$F(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{nk}{2}\right)(\varepsilon L - S \cos(\theta))}{n \sin\left(\frac{k}{2}\right)(\varepsilon L - S \cos(\theta))},$$

где k – волновое число; ε – коэффициент, учитывающий геометрию спиральной антенны,

$$\varepsilon = \frac{S + \lambda}{L}.$$

Графическое представление диаграммы направленности (ДН) представлено на рис. 2.

Для получения оптимальной диаграммы направленности, а следовательно, необходимого КНД и соответственно коэффициента усиления K_y , необходимо использовать ФАР, состоящую из ряда излучателей [2, 3]. Общий вид плоской эквидистантной ФАР представлен на рис. 3.

В общем случае, для того чтобы в множителе антенная решетка (АР) существовал бы только один главный лепесток, расстояние между излучающими элементами должно лежать в пределах [2]

$$\frac{\lambda}{2} < d < \lambda.$$

Выбираем расстояние $d = \frac{\lambda}{2} = 0,233$ м.

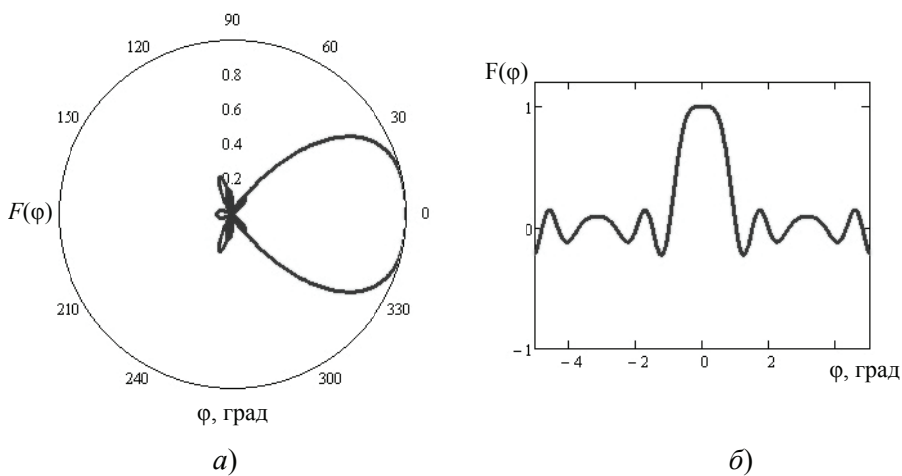


Рис. 2. Нормированная ДН в плоскостях V (а, б) и H (в, г) по напряженности поля в полярной (а, в) и декартовой (б, г) системах координат

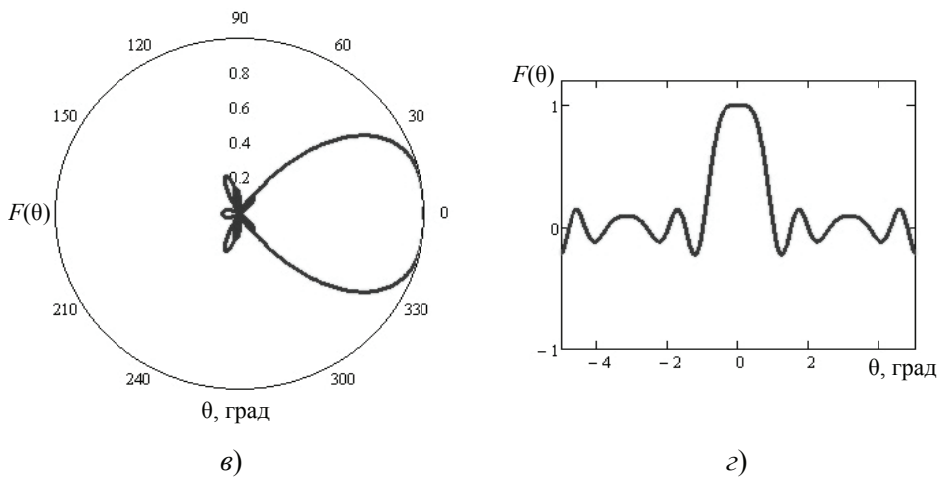


Рис. 2. Продолжение

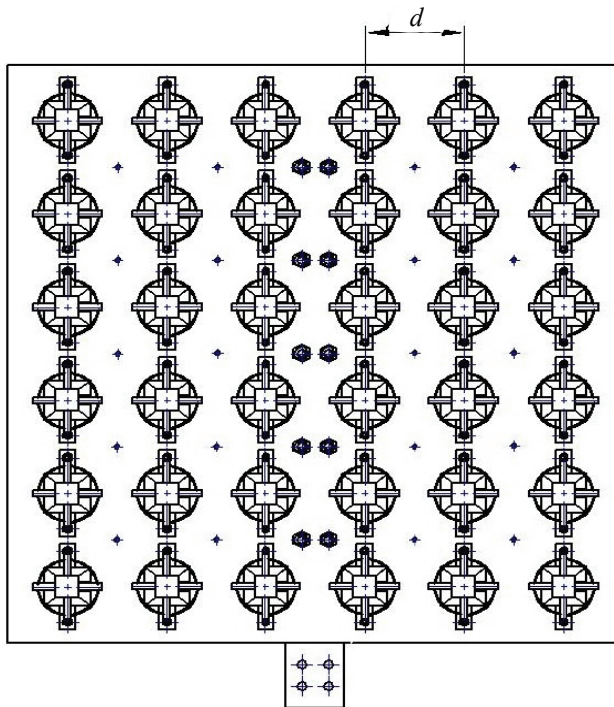


Рис. 3. Фазированная антенная решетка

Множители диаграммы направленности для АР будут иметь следующий вид:

$$F_{mnH}(\theta) = \cos\left(\frac{k d \sin(\theta)}{2}\right);$$

$$F_{mnV}(\varphi) = \cos\left(\frac{k d \sin(\varphi)}{2}\right),$$

где d – расстояния между соседними рядами и этажами АР.

Используя теорему перемножения ДН построим ДН ФАР в вертикальной и горизонтальной плоскостях:

$$F_V(\varphi) = F(\varphi)F_{mnV}(\varphi),$$

$$F_H(\theta) = F(\theta)F_{mnH}(\theta).$$

Графическое представление ДН приведено на рис. 4.

Анализ ДН ФАР показывает, что данная решетка обладает существенными направленными свойствами и имеет неплохой КНД и K_y , что позволяет использовать данную ФАР в системах цифрового эфирного вещания как на базовых станциях, так и на ретрансляторах.

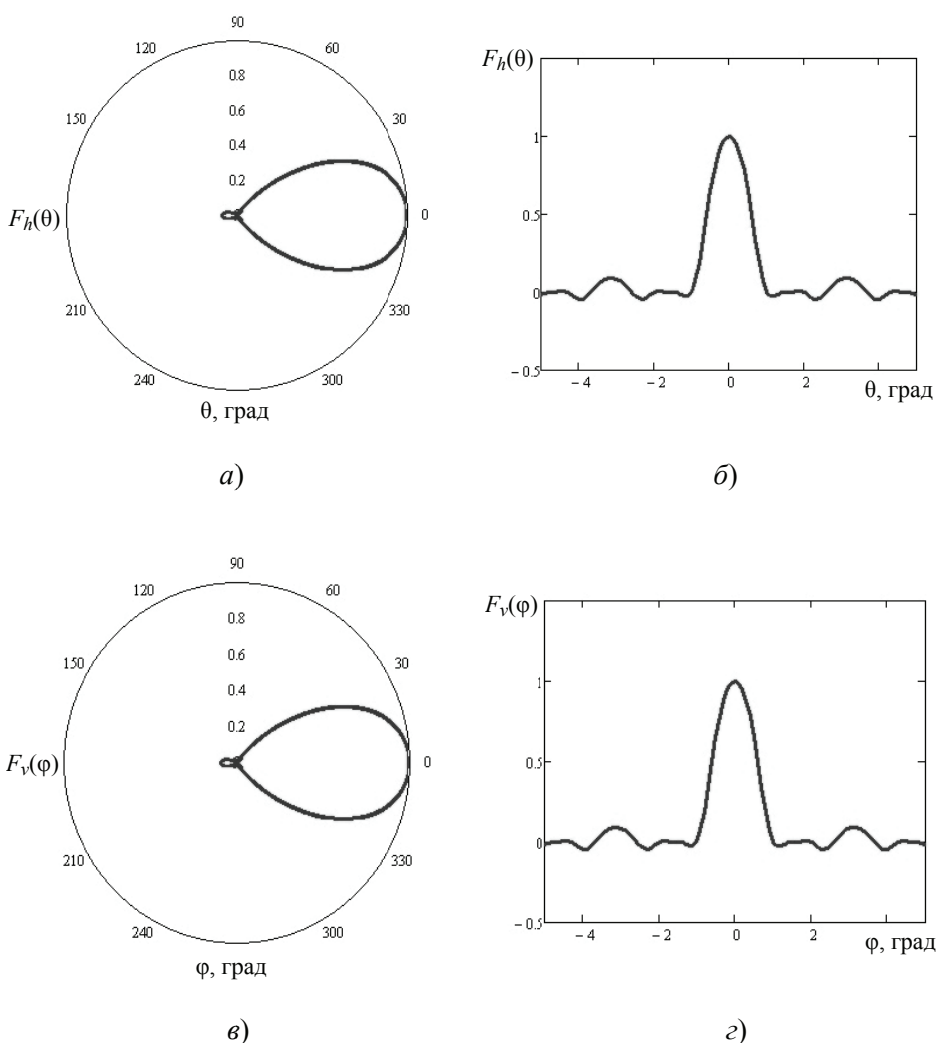


Рис. 4. Нормированная ДН АР по напряженности поля в плоскостях H (а, б) и V (в, г) в полярной (а, в) и декартовой (б, г) системах координат

Таким образом, применение фазированных антенных решеток в системах цифрового вещания стандарта DVB-T2 позволит расширить зону покрытия и обеспечить уверенный прием не только стандартных цифровых каналов, но и каналов в HD-качестве, а также применение данного типа решеток дает возможность снизить мощности передатчиков и повысить энергетические параметры передающих станций в целом, что положительно скажется на энергопотреблении и ресурсе оконечного оборудования.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 14-08-00198, № 14-08-00489.

Список литературы

1. Вендик, О. Г. Антенны с электрическим сканированием (введение в теорию) : учеб. пособие / О. Г. Вендик, М. Д. Парнес ; под ред. Л. Д. Бахрах. – М. : Сайнс-Пресс, 2001. – 232 с.
2. Воскресенский, Д. И. Проектирование фазированных антенных решеток / Д. И. Воскресенский, В. А. Каплун, В. И. Степаненко. – М. : Радиотехника, 2003. – 632 с.
3. Сысоев, А. Н. Математическая модель передающей КФАР / А. Н. Сысоев // Антенны. – 2010. – № 11. – С. 28 – 29.

References

1. Vendik O.G., Parnes M.D., Bakhrakh L.D. (Ed.) *Antenny s elektricheskim skanirovaniem (vvedenie v teoriyu)* (Antenna with an electrical scanning (introduction to the theory)), Moscow: Science Press, 2001, 232 p.
2. Voskresenskii D.I., Kaplun V.A., Stepanenko V.I. *Proektirovanie fazirovannykh antennykh reshetok* (Design of phased arrays), Moscow: Radiotekhnika, 2003, 632 p.
3. Sysoev A.N. *Antenny*, 2010, no. 11, pp. 28-29.

Phased Array Digital Television Systems

S. N. Kalashnikov, O. A. Belousov

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: antenna directivity; digital TV; flat equidistant phased array antenna; phased array antenna; radiation pattern.

Abstract: This paper describes the method of constructing a plane equidistant phased array antenna consisting of spiral radiators, which is designed for digital terrestrial television systems. The results of modeling the antenna array for terrestrial digital TV systems are given.

© С. Н. Калашников, О. А. Белоусов, 2014

Статья поступила в редакцию 11.07.2014 г.