

ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ АНТЕНН ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕТЕЙ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ

**А. С. Ефремова, О. А. Белоусов,
С. Н. Калашников, О. А. Казарян**

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

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

Ключевые слова и фразы: диаграмма направленности; ковер Серпинского; коэффициент стоячей волны; коэффициент направленного действия; коэффициент усиления; фрактальные антенны; электрические малые антенны.

Аннотация: Рассмотрены особенности применения фрактальных антенн, в частности антенны на основе фракталов Серпинского, для систем беспроводного широкополосного доступа четвертого поколения. Для данного типа антенн приведены основные электродинамические характеристики.

На настоящее время существует большое разнообразие различных видов антенн, в зависимости от области применения они имеют различную конструкцию.

Фрактальные антенны – относительно новый класс электрически малых антенн (ЭМА), принципиально отличающийся своей геометрией от известных решений. По сути традиционная эволюция антенн базировалась на евклидовой геометрии, оперирующей объектами целочисленной размерности (линия, круг, эллипс, параболоид и т.п.) [1]. Главное отличие фрактальных геометрических форм – их дробная размерность, что внешне проявляется в рекурсивном повторении в возрастаемом либо уменьшаемом масштабах исходных детерминированных или случайных шаблонов.

Рассмотрим класс фрактальных антенн с ярко выраженными широкодиапазонными свойствами. Характерным примером в этом ряду является решето Серпинского (рис. 1), на котором впервые были изучены много-

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

диапазонные свойства фрактальных антенн [2, 3]. Данная фигура названа по имени польского математика Вацлава Серпинского (1882 – 1969), который в 1916 году впервые исследовал ее свойства.

Первый шаг формирования такого фрактала состоит в удалении из исходного треугольника центрального треугольного сегмента с вдвое меньшей высотой. В образующихся новых треугольниках на втором шаге вновь удаляются центральные части (рис. 2), и далее эта процедура последовательно повторяется требуемое число раз.

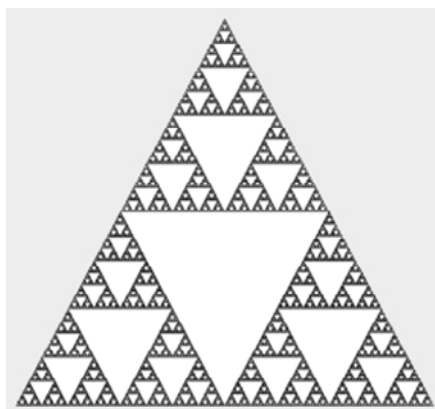


Рис. 1. Пример геометрии решета Серпинского

При создании решета Серпинского для обеспечения протекания тока от одного треугольника к другому края отверстий скругляют. Вторая и последующие резонансные частоты монополя в виде решета Серпинского определяются по упрощенной формуле (1)

$$f_n \approx 0,26 \frac{c}{h} 2^{n-1}, \quad (1)$$

где n – номер резонанса ($n > 2$); c – скорость света, м/с; h – высота наибольшего по размеру треугольного сегмента, м.

Свойство самоподобия фрактальных структур обусловило высокую повторяемость их электромагнитных параметров в различных частотных диапазонах. Речь идет о входном сопротивлении, распределении плотности токов, диаграммах направленности излучения и других параметрах антенн. Все это существенно упрощает их компьютерный расчет и проектирование.

На сегодняшний день существует несколько типов фрактальных антенн, хорошо зарекомендовавших себя в различных стандартах передачи информации. К таким антеннам относят антенны на основе кривой Коха, а также сформированные на основе фрактальных петель Коха и Минковского и др.

Из всего множества фрактальных антенн следует выделить фрактальные антенны на основе ковра Серпинского, обладающие широкополосными свойствами.

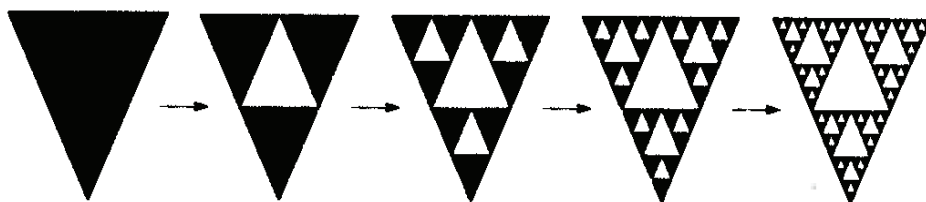


Рис. 2. Пример построения геометрии решета Серпинского

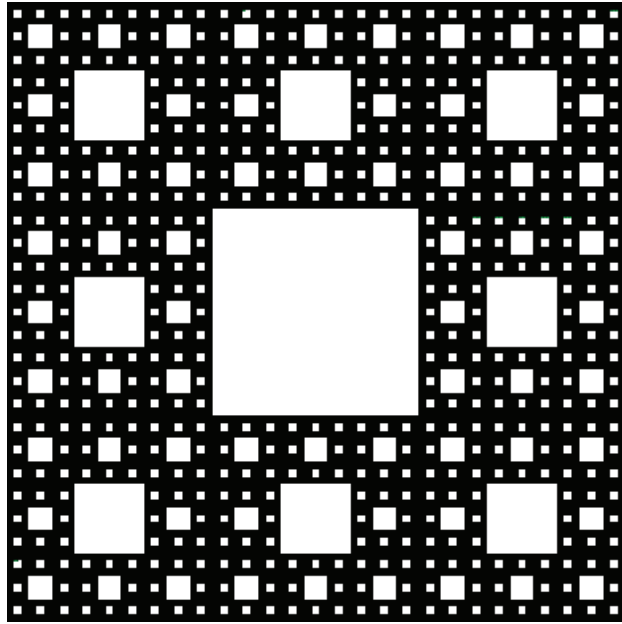


Рис. 3. Фрактальная антенна на основе ковра Серпинского

Для построения ковра Серпинского используются следующие выражения (2):

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}}; \\
 \varepsilon_{r\text{eff}} &= \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2}; \\
 \Delta L &= 0,412h \frac{(\varepsilon_{r\text{eff}} + 0,3) \left[\frac{W}{h} + 0,264 \right]}{(\varepsilon_{r\text{eff}} + 0,258) \left[\frac{W}{h} + 0,8 \right]}; \\
 L_{\text{eff}} &= \frac{c}{2f_0 \sqrt{\varepsilon_{r\text{eff}}}}; \\
 L &= L_{\text{eff}} - 2\Delta L,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где W , L – геометрические размеры антенны, мм; f_0 – рабочая частота, ГГц; ε_r – диэлектрическая проницаемость подложки; $\varepsilon_{r\text{eff}}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость подложки; ΔL – ширина возбуждающего окна, мм; L_{eff} – эффективная длина, мм; h – толщина подложки, мм.

Отмечено, что фрактальные антенны достаточно просты в плане компьютерного моделирования [3, 4], поэтому построим модель фрактальной антенны, функционирующей в диапазоне работы беспроводных сетей четвертого поколения. На рисунке 4 приведена компьютерная модель фрактальной антенны.

Проведем симуляцию работы данной модели. По результатам моделирования получим данные о форме диаграммы направленности антенны, ее усилении в дБи (порядка 6 дБи), а также расчеты значения коэффициента стоячей волны (КСВ). На рисунках 5–7 представлены результаты моделирования: значения электромагнитной составляющей по антенне; диаграмма направленности антенны, а также значения КСВ в данном диапазоне частот. Анализ результатов моделирования показывает, что антенна обладает направленными свойствами, то есть достаточным коэффициентом усиления и коэффициентом направленного действия, а также обладает хорошей широкополосностью в указанном диапазоне частот.

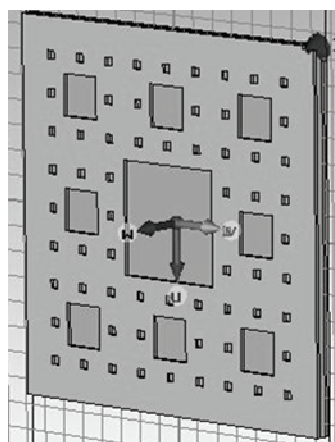


Рис. 4. Компьютерная модель фрактальной антенны

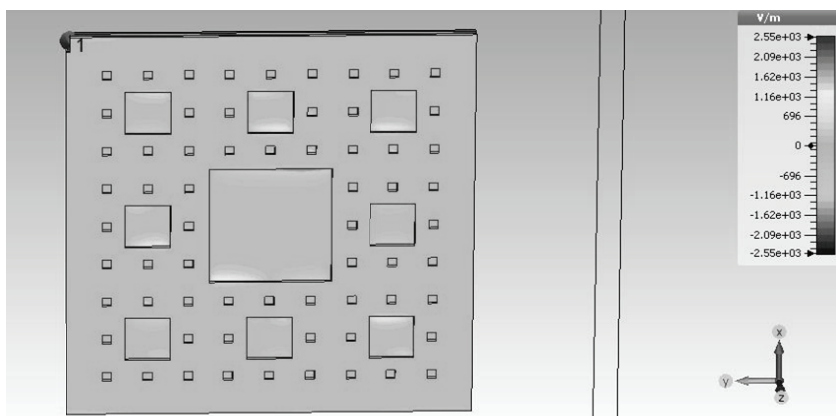


Рис. 5. Распределение электромагнитной составляющей по антенне

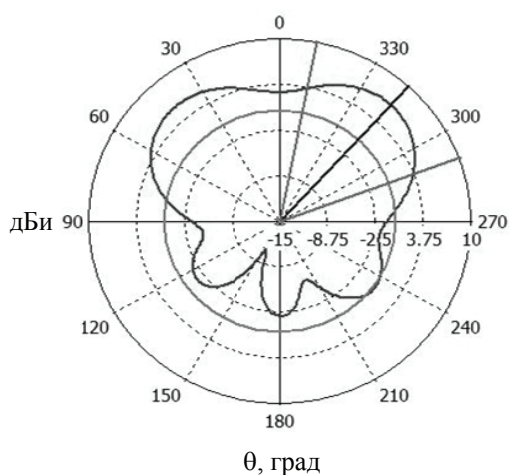


Рис. 6. Диаграмма направленности антенны

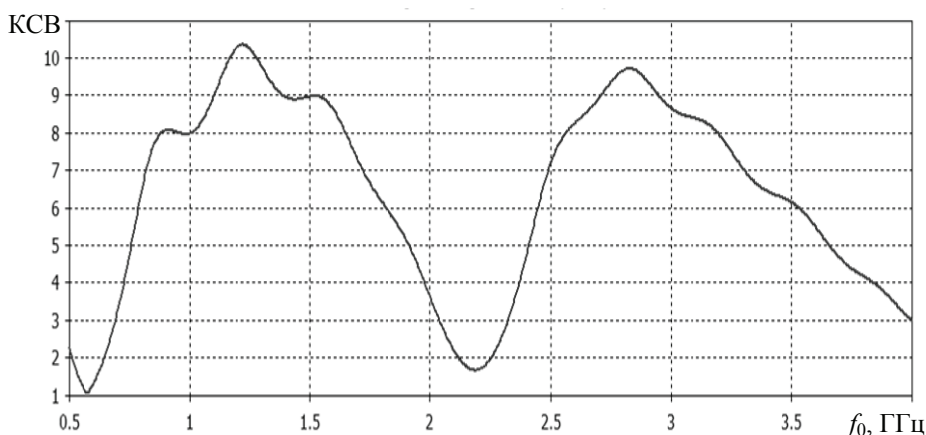


Рис. 7. Значения КСВ антенны

Таким образом, применение данного типа антенн в беспроводных широкополосных сетях четвертого поколения 4G (LTE) позволит обеспечить высокую скорость и стабильность за счет устойчивой зоны покрытия, повысить энергоэффективность как базовых терминалов, так и оконечного оборудования клиента за счет более высокого коэффициента усиления по сравнению с базовым, также появляется возможность реализации технологии передачи данных MIMO (Multiple Input Multiple Output), которая предусматривает вещание посредством N-антенн и прием M-антеннами, причем принимающие и передающие антенны расположены между собой на таком расстоянии, чтобы получить минимальную корреляцию.

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

Список литературы

1. Потапов, А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации / А. А. Потапов. – М. : Логос, 2002. – 664 с.
2. Слюсарь, В. И. Фрактальные антенны / В. И. Слюсарь // Высокие технологии. – 2002. – № 8. – С. 27 – 32.
3. Werner, D. H. On the Synthesis of Fractal Radiation Patterns / D. H. Werner, P. L. Werner // Radio Sci. – 1995. – Vol. 30, No. 1. – P. 29 – 45.
4. Сысоев, А. Н. Математическая модель передающей КФАР / А. Н. Сысоев // Антенны. – 2010. – № 11. – С. 28–29.

References

1. Potapov A.A. *Fraktaly v radiofizike i radiolokatsii* (Fractals in Radiophysics and Radar), Moscow: Logos, 2002, 664 p.
2. Slyusar' V.I. *Vysokie tekhnologii*, 2002, no. 8, pp. 27-32.
3. Werner D.H., Werner P.L. *Radio Sci.*, 1995, vol. 30, no 1, pp. 29-45.
4. Sysoev A.N. *Antenny*, 2010, no. 11, pp. 28-29.

Fractal Antenna for Wireless Broadband Networks of Fourth Generation

**A. S. Yefremova, O. A. Belousov,
S. N. Kalashnikov, O. A. Kazaryan**

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: directive gain; directivity pattern; electrically small antenna; fractal antenna; gain factor; Sierpinski carpet; standing wave ratio.

Abstract: This article examines the features of fractal antennas, application in particular fractal antennas based on Sierpinski fractals for broadband wireless access systems of the fourth generation. Also, the basic electrodynamic characteristics for this type of antennas are given.

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

Статья поступила в редакцию 11.07.2014 г.