

А.А. АХУМЯН, Н.Г. ПОГОСЯН, А.А. ГАСПАРЯН, А.А. КУЗАНЯН

МИКРОПОЛОСКОВАЯ ФРАКТАЛЬНАЯ АНТЕННА МИНКОВСКОГО S-ДИАПАЗОНА

Рассмотрена диаграмма направленности фрактальных антенн на основе первой итерации Минковского с линейной и циркулярной поляризацией. Экспериментально и при помощи моделирования подтверждается, что излучатели с фрактальной геометрией ни в чем не уступают широко используемым квадратным микрополосковым излучателям, имея значительное преимущество с точки зрения линейных размеров.

Ключевые слова: фрактальные антенны, итерация, поляризация, диаграмма направленности.

Развитие мобильных телекоммуникационных технологий, радаров и СВЧ датчиков перемещений диктует необходимость разработки новых многоэлементных антенных систем, состоящих из излучателей, имеющих малые размеры и оптимальную конфигурацию. К наиболее распространенным типам таких излучателей относятся квадратные микрополосковые печатные антенны (МПА), преимуществами которых являются малый вес, легкость изготовления, интегрируемость в СВЧ цепи и простота достижения как линейной, так и круговой поляризаций. К основным недостаткам МПА относятся узкополосность как следствие резонансного характера, а также достаточно большие размеры, затрудняющие их интегрирование в антенные решетки с большим углом сканирования диаграммы направленности (ДН). Такие известные методы уменьшения размеров МПА, как применение подложек с высокой диэлектрической проницаемостью и сосредоточенных реактивных элементов, приводят к трудности широкополосного согласования МПА и ухудшению электродинамических параметров. Альтернативным путем является оптимизация геометрии МПА на основе фрактальных технологий.

В настоящей работе приводятся результаты разработки фрактальных МПА в диапазоне 3 ГГц и дается их сравнение с традиционными квадратными МПА.

Фракталы представляют собой геометрические фигуры, рекурсивно повторяющиеся по закону дробной размерности [1,2]. Среди большого разнообразия фрактальных структур наиболее приемлемыми для МПА являются фракталы Минковского [3,4].

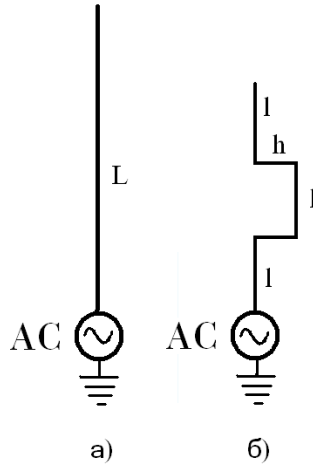


Рис.1. Нулевая (а) и первая (б) итерации Минковского

На рис.1 приведен пример первой итерации фрактального преобразования Минковского прямой дипольной антенны длиной L , которую можно принять за нулевую итерацию. Применяя подобное преобразование к каждому прямому отрезку, можно получить фрактальные диполи высших итераций. Поскольку резонансная частота диполя определяется его длиной, для сохранения ее неизменной при фрактальном преобразовании примем

$$L_{\Sigma,n} = L, \quad (1)$$

где $L_{\Sigma,n}$ - общая длина фрактального диполя n -й итерации [5].

При условии

$$L_{\Sigma,n} = 3l + 2h \quad \text{и} \quad h = \frac{1}{2}l$$

высота фрактального диполя составит

$$L_{\Phi,n} = \left(\frac{3}{4}\right)^n L, \quad (2)$$

т.е. с повышением порядка итерации высота диполя сокращается, что и является основным преимуществом фрактальных антенн. На рис.2 приведен пример фрактального преобразования Минковского квадратной МПА.

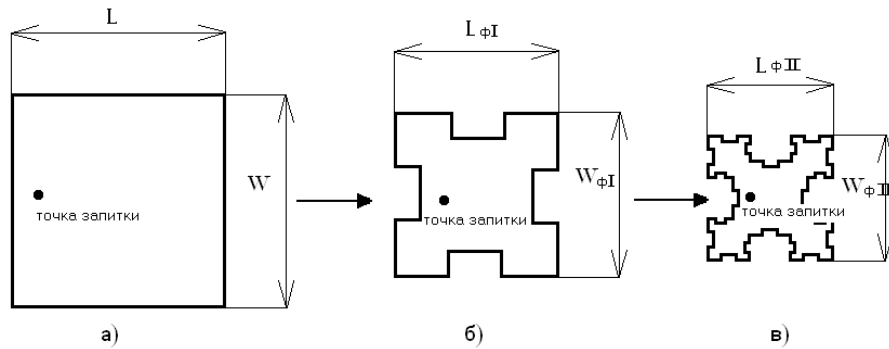


Рис.2. Квадратная (а), первая (б) и вторая (в) итерации фрактального преобразования Минковского

Как видно из рисунка, размер МПА существенно сокращается уже при первых итерациях. Для проверки условия неизменности резонансной частоты (1) проведено моделирование фрактальной и квадратной МПА, результаты которого приведены на рис.3 [6].

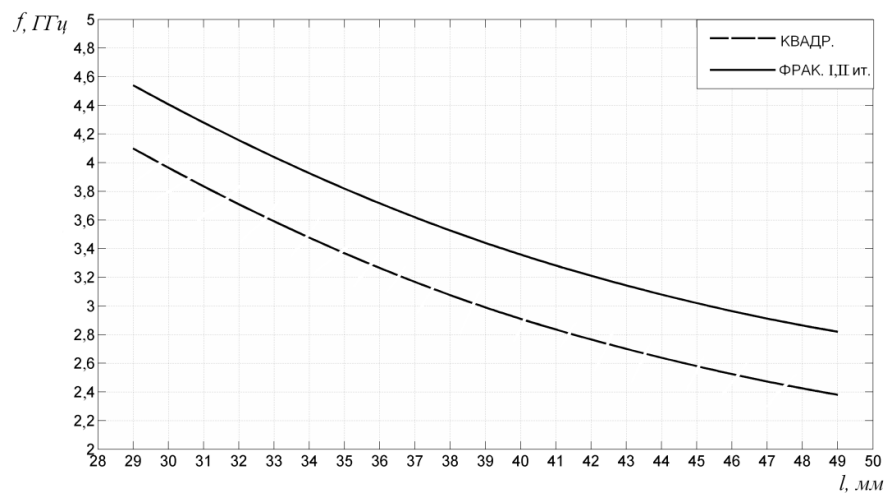


Рис.3. Зависимость резонансных частот нулевой, первой и второй итераций фрактального преобразования Минковского от ломаной кривой

Как видно, при соблюдении условия (1) резонансные частоты фрактальной антенны первой и второй итераций совпадают и превышают соответствующие значения для квадратной МПА на 20%. Учитывая, что резонансная частота квадратных МПА определяется условием

$$L = 0,49 \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}}, \quad (3)$$

где λ - резонансная длина волны; $\epsilon_{\text{эф}}$ - эффективная диэлектрическая проницаемость среды между МПА и земляной плоскостью, для фрактальных МПА Минковского получим эмпирическое соотношение

$$L_{\Sigma, n} = 0,6 \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}}, \quad (4)$$

которое можно использовать при инженерных расчетах.

Выбор точки запитки МПА определяет такие важные параметры излучателя, как согласование с фидером, форма ДН и поляризация излучения [1,2]. В случае фрактальных антенн этот выбор не так тривиален, как при квадратных МПА. Выбор точки запитки нами осуществлен в центральной части фрактала, геометрия которой остается практически неизменной при итерациях высшего порядка.

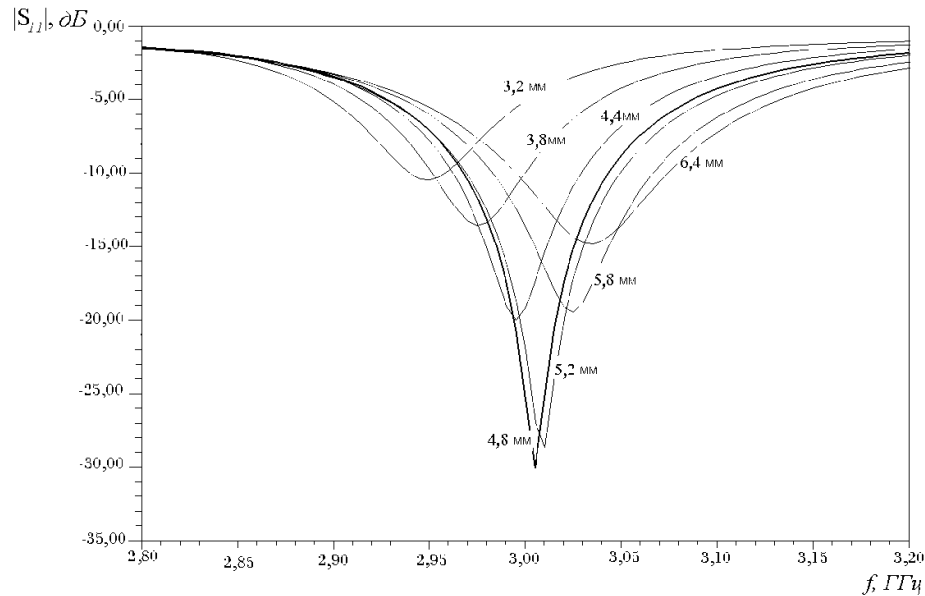


Рис.4. Зависимость $|S_{11}|$ от точек запитки

На рис.4 приведены частотные зависимости коэффициента отражения от координаты точки запитки, полученные в результате симуляции с помощи программы Ansoft HFSS. Как видно, с изменением координат точки запитки связь фидера с резонансной фрактальной МПА меняется от режима слабой связи до пересвязанного с соответствующим изменением коэффициента отражения и

резонансной частоты. Экспериментальные результаты хорошо согласуются с расчетными данными.

Для экспериментального сравнения квадратной и фрактальной МПА были изготовлены макеты антенн с одинаковыми резонансными частотами, равными 3 ГГц (рис.5).

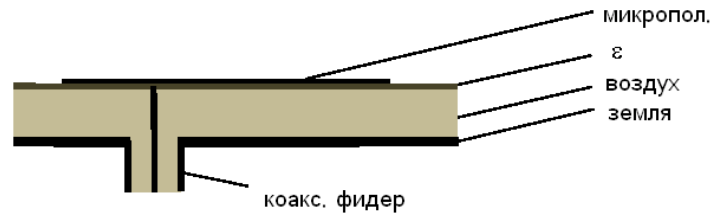


Рис.5. Расположение слоев микрополосковых квадратных печатных антенн

Антенны выполнены на подложках марки duroid с толщиной диэлектрика 1 мм и диэлектрической проницаемостью 2,2 [7]. Известным двухантенным методом, где в качестве эталонной антенны служила аттестованная квадратная МПА, получена диаграмма направленности фрактальной МПА первой итерации Минковского (рис.6).

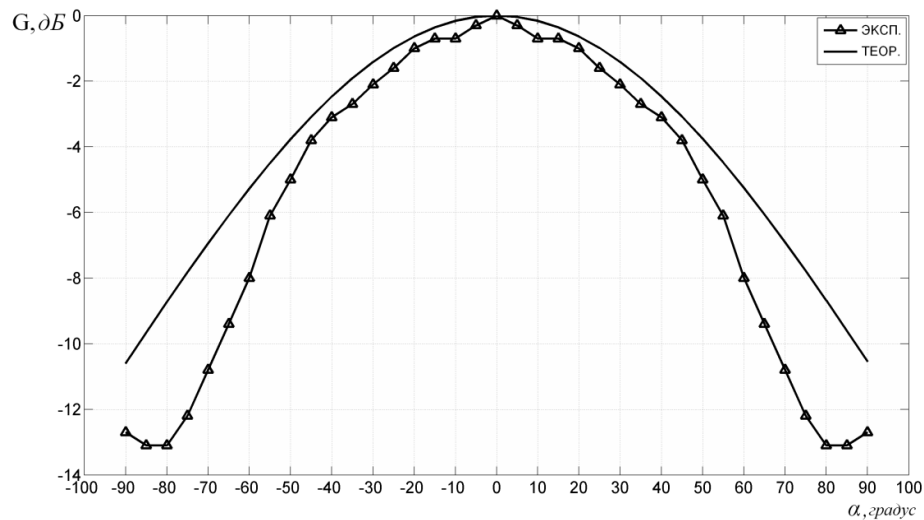
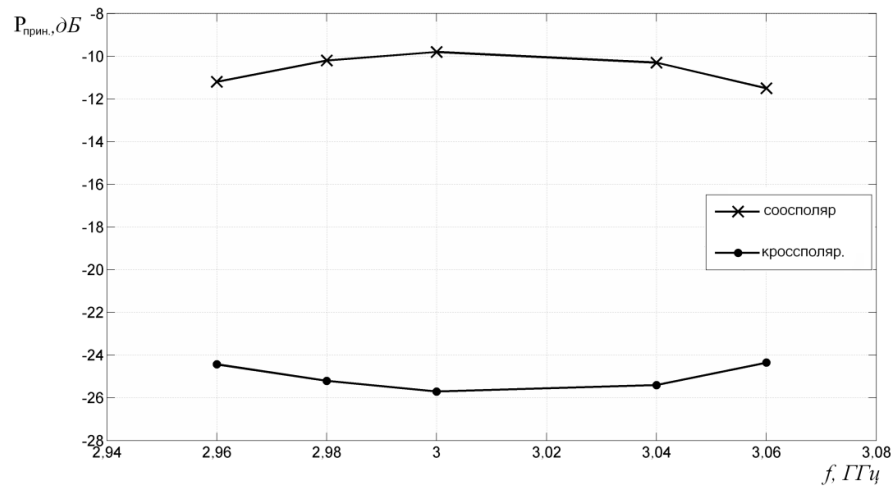


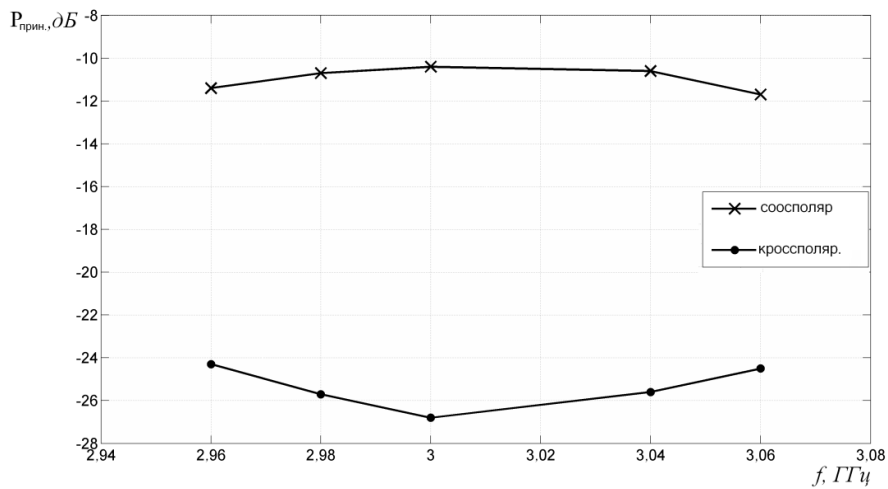
Рис.6. Диаграмма направленности первой итерации фрактального преобразования Минковского на резонансной частоте, равной 3 ГГц

Ширина ДН фрактальной МПА на половинном от максимального значения уровне составила 76° , а квадратной МПА- 62° . Усиление в направлении главного максимума составило 7,2 и 6,1 дБ для квадратной и фрактальной МПА соответственно [8].

Снижение коэффициента усиления и уширение ДН фрактальной МПА обусловлены уменьшением линейных размеров и площади антенны по сравнению с квадратной МПА. Следовательно, применение порядка итерации фрактального преобразования более, чем второго, приведет к недопустимому снижению характеристик антенны.



а)



б)

Рис.7. Линейная (а) и круговая (б) поляризации фрактальной МПА на резонансной частоте, равной 3 ГГц

Для многих применений МПА, в частности в радиолокационных фазированных антенных решетках (ФАР), решающее значение приобретают поляризационные свойства МПА. Излучающий элемент ФАР должен обеспечивать как линейную, так и круговую поляризации с высокой кроссполяризационной развязкой. На рис.7 а, б приведены экспериментальные результаты кроссполяризационной развязки в случае линейной и круговой поляризаций фрактальной МПА. Для обеспечения круговой поляризации использовались две ортогональные точки запитки с квадратным фазовым сдвигом. В качестве тестового излучателя служила спиральная антенна.

Кроссполяризационная развязка фрактальной МПА как для линейной, так и для круговой поляризаций превышает -16 дБ и не уступает квадратной МПА. Таким образом, фрактальные антенны Минковского по электродинамическим параметрам не уступают традиционным квадратным МПА, имея существенно меньшие размеры. Последнее позволяет существенно снизить паразитную связь между излучателями ФАР, приводящую к деградации ДН при больших углах сканирования луча.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Balanis Constantine A.** Antenna theory analysis and design. Third edition. – 2005.
2. **Milligan T.A.** Modern antenna design. – 2005. - P. 285-306.
3. **Douglas H. Werner and Suman Ganguly** An Overview of Fractal Antenna Engineering Reserch // IEEE Antennas and Propagation Magazine. - February 2003. - Vol. 45, No. 1.
4. Investigations into Novel Multi-band Antenna Disigns / **Ross Kyprianov, Bobby Yau, Aris Akexopoulos, Akhilesh Verma and Bevan D. Bates** // DSTO-TN-0719.
5. **Fawwaz J. Jibrael, Feaz F. Shareef and Wafaa S. Mummo.** Small Size and Dual Band of a Quadratic Koch Dipole Fractal Antenna Design // American Journal of Applied Sciences. – 2008. - 5 (12). – P. 1804-1807.
6. **Ali Sadeq Abdulhadi Jalal.** A New Compact Patch Antenna Design for Circular Polarization Applications Based on 3rd Iteration Minkowski-Like Pre-Fractal Geometry // J.Eng. Applied Sci. – 2008. – N 3. – P. 729-734.
7. **Pilevari Salmasi M., Kashani F. H., Azarmanesh M. N.** A novel broadband fractal sierpinski shaped, microstrip antenna // Profress In Electromagnetics Research C. – 2008. - Vol. 4 - P. 179-190.
8. **Zainud-Deen S. H., Malhat H. A., and. Adwadalla K. H.** Fractal antenna for passive UHF RFID applications // Progress In Electromagnetics Research B. - 2009. - Vol. 16. – P. 209-228.

ИРФЭ НАН РА. Материал поступил в редакцию 25.12.2010.

Ա.Ա. ՀԱԽՈՒՄՅԱՆ, Ն.Գ. ՊՈԴՈՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ,
Ա.Ա. ԿՈՒԶՆՅԱՆ

S-SԻՐՈՒՅԹԻ ՄԻՆԿՈՎՍԿՈՒ ՄԻԿՐՈՇԵՐՏԱՅԻՆ ՖՐԱԿՏԱԼ ԱՆՏԵՆԱ

Դիտարկվել է Մինկովսկու առաջին իտերացիայով ֆրակտալային տպասալիկային անտենայի ուղղորդվածության դիագրամը՝ զծային և շրջանային բևեռացմամբ: Մոդելավորմամբ և փորձնականորեն հաստատվել է, որ ֆրակտալային անտենան ոչնչով չի զիջում մեկ ավանդական ուղղանկյուն տպասալիկին, ունենալով զգալի փոքր զծային չափերի առավելություն:

Առանցքային բառեր. ֆրակտալ անտենա, իտերացիա, բևեռացում, ուղղորդվածության դիագրամ:

A.A. HAKHOUMYAN, N.G. POGHOSYAN, A.A. GASPARYAN,
A.A. KUZANYAN

S-BAND MINKOWSKI MICROSTRIP FRACTAL ANTENNA

Radiation patterns of linear and circular polarizations of fractal antennas based on the Minkowski first iteration are presented. Experimental and simulation results show that the emitters with fractal geometry are not inferior to the widely used rectangular microstrip ones, and even have significant advantage as to linear sizes.

Keywords: fractal antennas, iteration, polarization, radiation pattern.