

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.10.3>

УДК: 621.396.677

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ ГИГАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА С РЕКУРСИВНЫМ ТОПОЛОГИЧЕСКИМ РИСУНКОМ

В. Е. Драч^{1,2}, Р. А. Мишенев², А. А. Шмелькова²

¹ Сочинский государственный университет, 354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Пластунская, д. 94.

² Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2.

Статья поступила в редакцию 04 октября 2021 г.

Аннотация. Развитие телекоммуникационных устройств демонстрирует впечатляющий прогресс в последние десятилетия. В настоящее время разрабатывается широкий спектр многофункциональных телекоммуникационных устройств беспроводной связи, имеющих малые массогабаритные характеристики, т. к. это портативные устройства. Одним из важнейших элементов таких устройств является антенна. К антенне предъявляется целый ряд противоречивых требований: широкая полоса частот, компактные размеры, простая технология изготовления, низкая цена, способность работать в нескольких частотных диапазонах и т. п. Одним из перспективных видов сверхширокополосных антенн с высоким коэффициентом усиления являются фрактальные антенны с рекурсивным топологическим рисунком.

Ключевые слова: фрактал, антенна, сверхширокополосный, HFSS, моделирование.

Abstract. For decades the development of telecommunications devices shows an inspiring progress. Nowadays, a wide range of multifunctional wireless telecommunications devices with small weight and size characteristics is being developed, since these are portable devices. One of the most important elements of such a device is the antenna. The antenna has a number of conflicting requirements: a

wide frequency band, compact size, simple manufacturing technology, low price, the ability to work in several frequency bands, etc. One of the promising types of ultra-wideband antennas with a high gain is fractal antennas with a recursive topological pattern.

Key words: fractal, antenna, UWB, HFSS, modeling

Введение.

В настоящее время теория и техника антенн является одной из наиболее быстро развивающихся областей радиотехники. Современные достижения в теории и технике антенн основываются на последних достижениях в физике и математике. В связи с необходимостью миниатюризации антенн, применяемых в мобильных устройствах, происходит внедрение методов фрактальной геометрии в радиотехнику. В течение последних десятилетий наблюдается возрастающий интерес к исследованию и конструированию фрактальных антенн [1]. Создается огромное количество многофункциональных телекоммуникационных устройств беспроводной связи, имеющих малые массогабаритные характеристики. Такие устройства широко применяются в радарх подповерхностного зондирования, радарх наблюдения сквозь стены, автомобильных радарх, медицинских системах визуализации и системах связи. Наиболее перспективными являются устройства, совместимые с Bluetooth, Wi-Fi, GSM-стандартами, работающими в беспроводных локальных сетях, а также системах спутниковой, наземной радиосвязи и телевидении (С-, Х-, Ku-диапазоны).

Основные научные исследования в области создания сверхширокополосных устройств сосредотачиваются на разработке новых геометрических форм и поиске новых материалов диэлектрической подложки. В качестве диэлектрической подложки в микрополосковых устройствах (и антеннах, в частности) используется множество различных материалов, как керамических на основе бинарного соединения алюминия с кислородом [2], так и на основе органических соединений. Диапазон значений диэлектрической

проницаемости лежит в очень широких пределах, но наиболее часто применяются материалы с диэлектрической проницаемостью 2–20 [3].

Раньше, ввиду высокой рентабельности конструкции, микрополосковые антенны использовались совместно с земляным полигоном, действующим как отражатель [4, 5]. Такие антенны использовали канонические формы излучающего элемента: треугольные, прямоугольные, круглые и т. д.

В современных беспроводных системах все чаще применяются антенны с излучающим элементом, выполненном в виде сложной иррегулярной структуры, которые не описываются правилами евклидовой геометрии. Ключевыми преимуществами, так называемых фрактальных антенн являются их улучшенные широкополосные характеристики и пассивность к частотам нерабочего диапазона [6].

Моделирование сверхширокополосной антенны

Фрактальная антенна с шестиугольным излучающим элементом уже рассмотрена в [7]. В данной статье рассматривается подобный конструктив с дополнительной пятой итерацией и возможностью использования такого решения на частотах выше 5 ГГц.

Предлагаемый топологический рисунок излучающего элемента (ИЭ) представлен на рис. 1, на котором показаны шаги итерации при последовательном приближении к результирующей геометрии. Как видно из рис. 1, антенна представляет собой структуру, образованную из шестиугольников.

Вместе с излучающим элементом, на рис. 1 показаны поверхности нулевого потенциала (плоскости «земли» или ПЗ), расположенные симметрично относительно копланарного волновода.

Моделирование антенного устройства и численные эксперименты произведены с помощью САПР ANSYS Electronics Desktop с интегрированным модулем анализа сложных элементов СВЧ-схем HFSS.

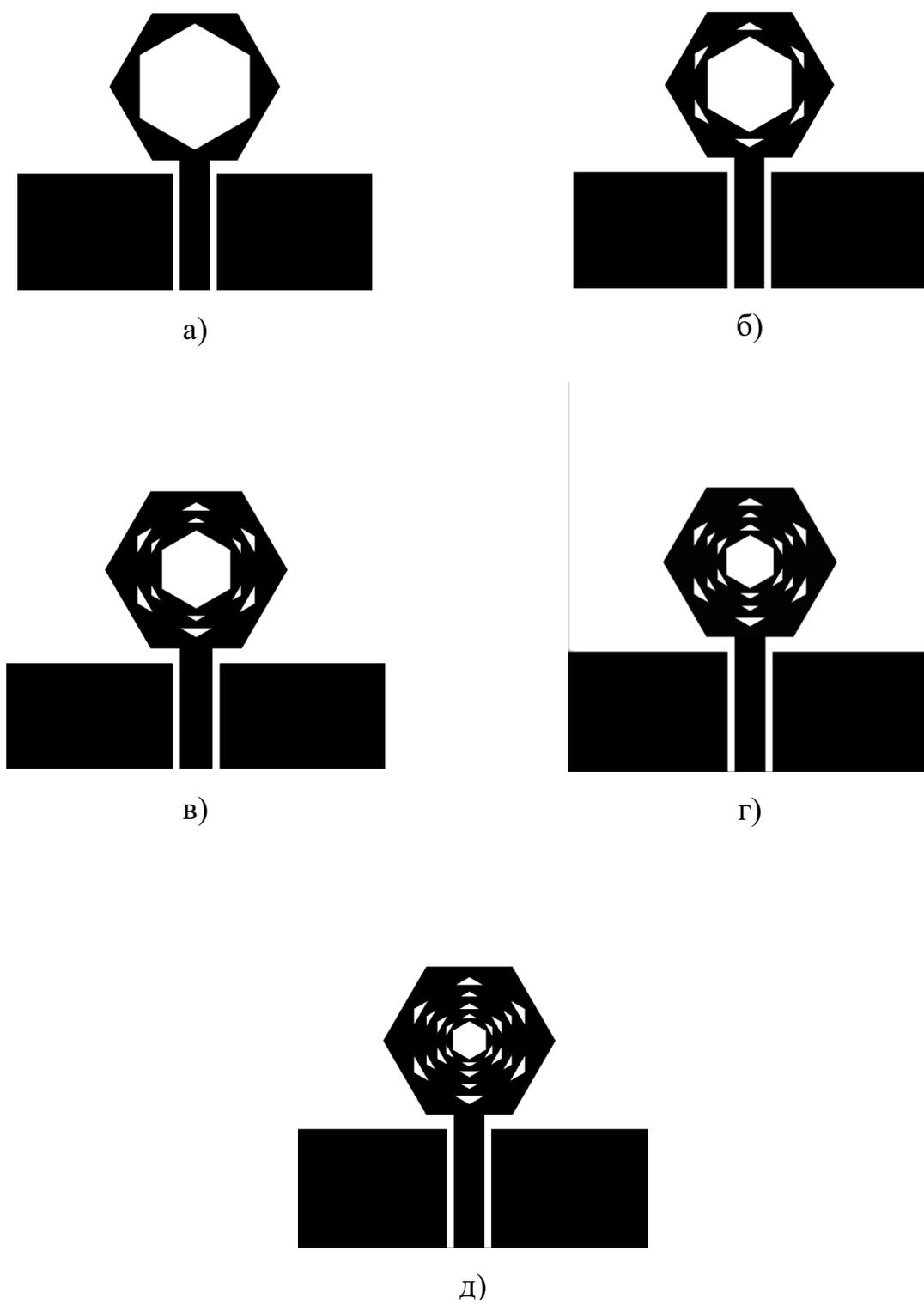


Рис. 1. Предлагаемый топологический рисунок антенного устройства: а) первая итерация, б) вторая итерация, в) третья итерация, г) четвертая итерация, д) пятая итерация.

В настоящее время данная САПР называется Ansys Electronics Desktop (до версии 15.0, т. е. до 2013 года, она называлась Ansys HFSS), и теперь она

поддерживает сразу модуль Maxwell (2D/3D/Circuit), 2D и Q3D Extractor (популярные симуляторы для моделирования параметров линий), SI-Wave (к проектам типа Circuit можно подключать решатель или Nexxim, или SI-Wave на выбор) и IcePak. Однако, с 2019 года Desktop переименована в ANSYS Electronics Suite. Решатели Nexxim, HSPice интегрированы в тип проектов "Circuit Design". Решатели Nexxim, SI-Wave, PlanarEM и привычный HFSS интегрированы в тип проектов "HFSS 3D Layout".

В нашем случае, при разработке топологии, излучающий элемент, центральный проводник (ЦП), плоскость земли размещены на лицевой стороне диэлектрической подложки толщиной 1,6 мм и габаритными размерами 24x26 мм. При этом расстояние «ПЗ – ЦП» и «ПЗ – ИЭ» приняты равными 0,5 и 1 мм соответственно. В качестве материала подложки выбран стеклотекстолит FR4 со значением диэлектрической проницаемости 4,4. Значения остальных параметров, используемых в процессе моделирования, представлены на рис. 2.

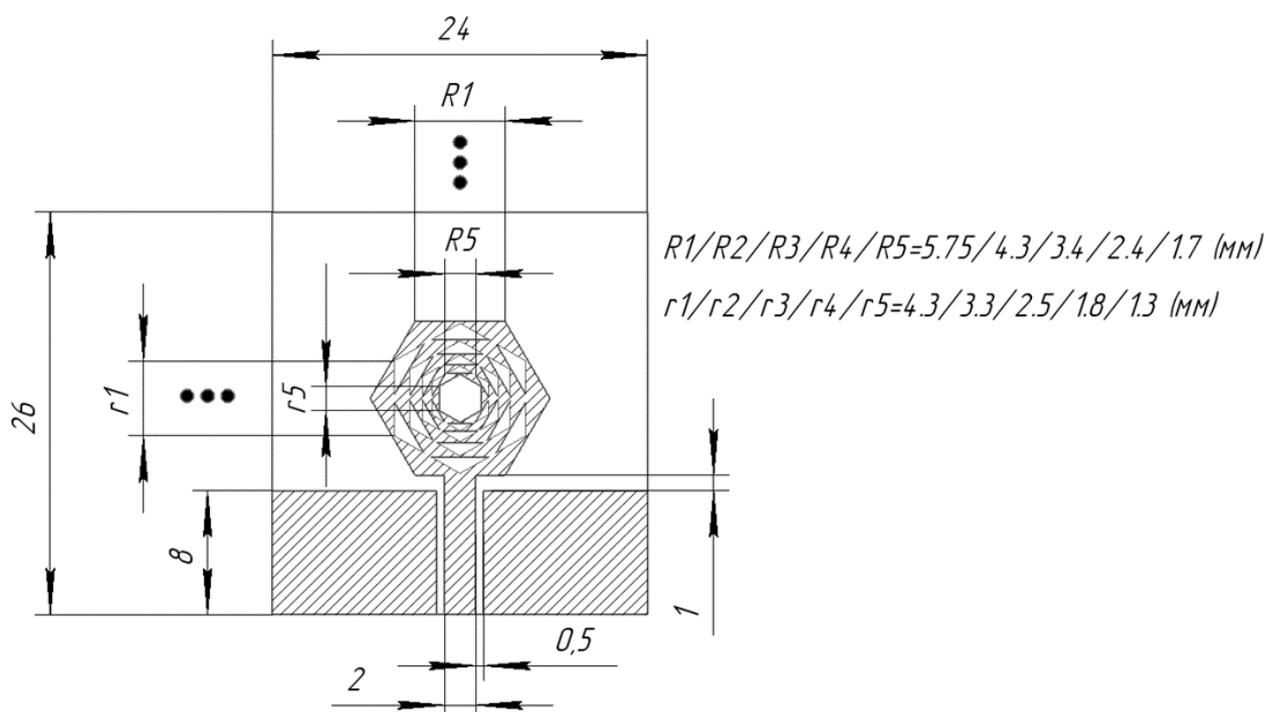


Рис. 2. Параметры топологического рисунка.

Ширина центрального проводника рассчитана исходя из величины волнового сопротивления $Z=50$ Ом. Известно, что антенны с очень широкой

полосой и копланарным волноводом имеют хорошую диаграмму направленности, пригодную для широкополосной передачи [8].

Излучающий элемент возбуждается при помощи копланарного волновода, состоящего из центрального проводника, плоскости земли и расположенного перпендикулярно ему копланарного волноводного порта, как показано на рис. 3.

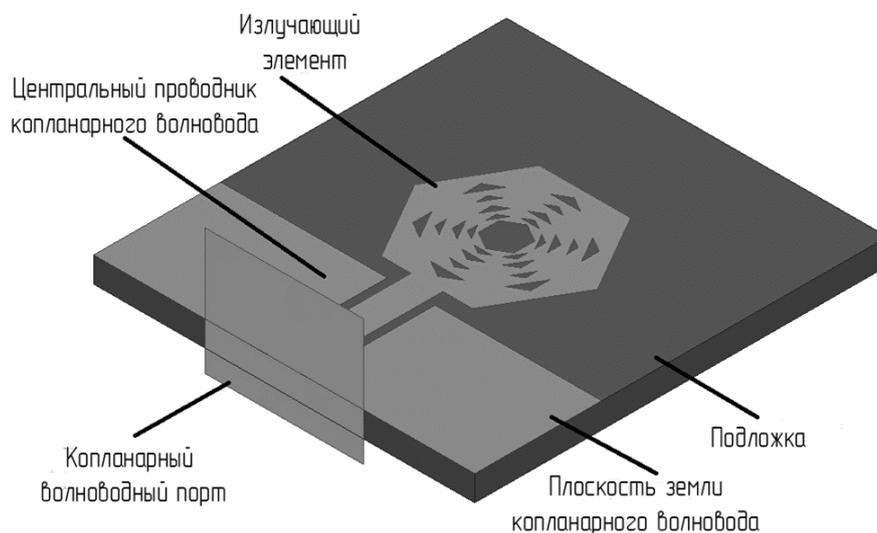


Рис. 3. Структура предлагаемого антенного устройства.

Рис. 4 иллюстрирует динамику изменения коэффициента отражения от входа. Введение пятой итерации приводит к возникновению четырех резонансных частот: 6.2 ГГц, 10.1 ГГц, 13.1 ГГц, 16.5 ГГц. Соответствующие этим значениям полосы пропускания: 2.9 ГГц, 2.8 ГГц, 1.8 ГГц, 4.2 ГГц измерены относительно эталонной линии -10 дБ. Значения коэффициента отражения для резонансных частот: -33.09 дБ, -20.1 дБ, -14.7 дБ, -32.4 дБ.

Диаграммы направленности в дальней зоне для четырёх резонансных частот в плоскостях Е и Н представлены на рис. 5.

Можно заметить, что для всех резонансных частот излучение в Н-плоскости почти всенаправленно. На частотах 6,2 ГГц и 10,1 ГГц наблюдается стабильная диаграмма направленности в Е-плоскости. Стабильность диаграммы направленности позволяет рекомендовать к применению предложенный вариант для работы в системах наземной и спутниковой радиосвязи [9] на частотах выше 5 ГГц.

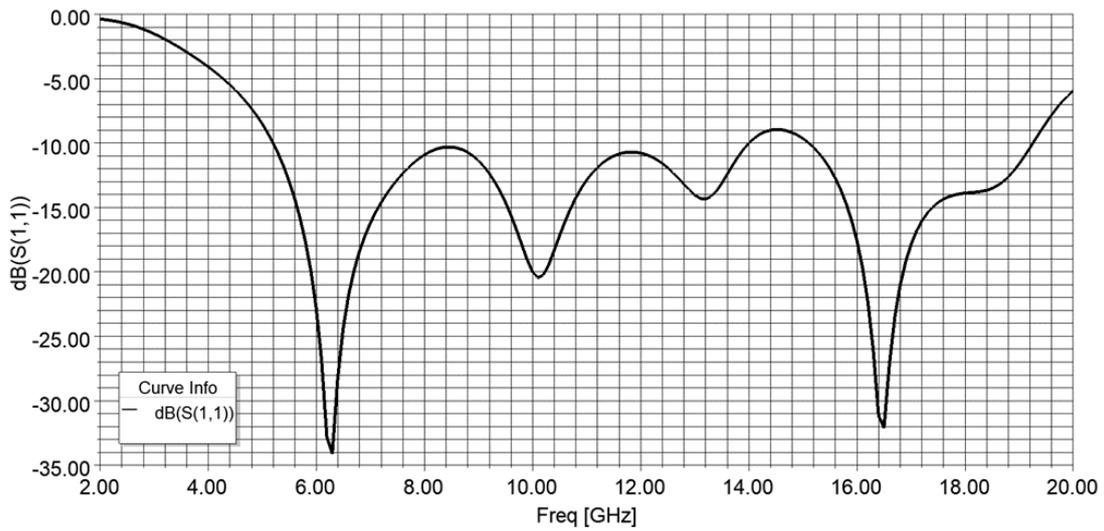


Рис. 4. Динамика изменения коэффициента отражения от частоты.

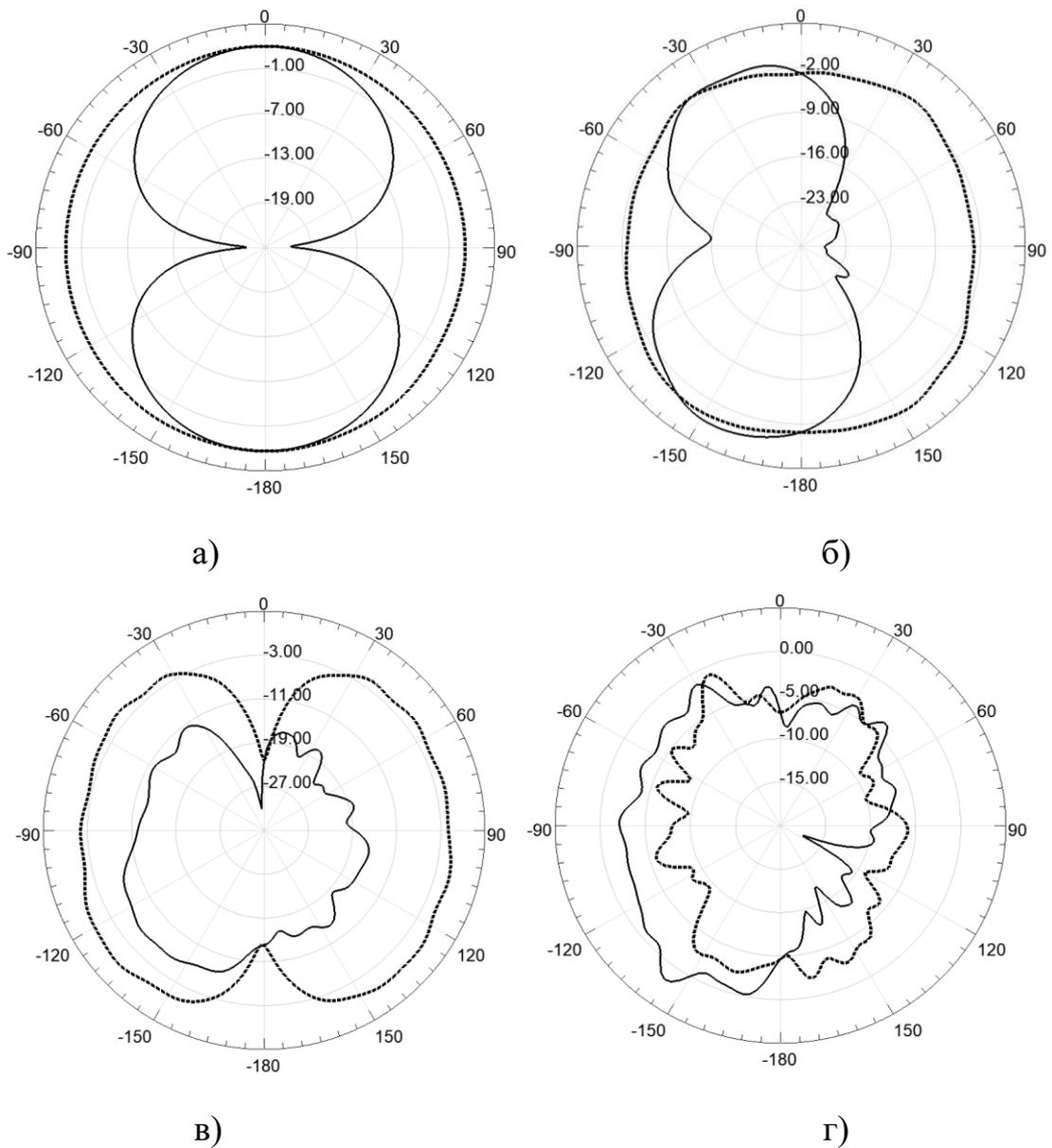


Рис. 5. Диаграммы направленности в Е и Н плоскостях (пунктирная линия):
а) 6.2 ГГц, б) 10.1 ГГц, в) 13.1 ГГц, г) 16.5 ГГц.

Заключение.

В статье рассмотрена сверхширокополосная антенна с рекурсивной топологией на базе шестиугольника, описана область применения и построена компьютерная модель, учитывающая пять шагов итераций. Основные параметры антенны были получены с использованием САПР ANSYS Electronics Desktop.

Простота исполнения и стабильность диаграммы направленности позволяют рекомендовать применение антенны в С, Х и Ку- диапазонах.

Несомненными преимуществами данной антенны являются компактность, простота изготовления, низкая себестоимость, гибкость применения в сверхширокополосных прикладных задачах. Результаты моделирования показали, что рассматриваемая антенна обладает хорошей направленностью и коэффициентом усиления по сравнению с обычной патч-антенной.

В качестве дальнейшего развития работы планируется исследование влияния различных диэлектрических материалов, в том числе подложек фирмы Rogers на электрофизические свойства антенны, а также анализ диссипативных потерь в излучающем элементе.

Литература

1. Plichev V.Y. Investigation of characteristics of fractal wire antennas made in the form of Koch curve. *European Journal of Natural History*. 2021. No.2. P.41-46.
2. Симин А., Холодняк Д. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот СВЧ на основе керамики с низкой температурой обжига. *Компоненты и Технологии*. 2005. №49. <https://kit-e.ru/svch/integralnye-shemy-sverhvysokih-chastot-svch/>.

3. Абдрахманова Г.И., Багманов В.Х. Сверхширокополосная антенна на основе фрактальных структур. *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2013. Т.3. №3. С.52-59.
4. Romeu J., Soler J. Generalized Sierpinski fractal multiband antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2001. V.49. No.8. P.1237-1239.
5. Krzysztofik W.J. Take advantage of fractal geometry in the antenna technology of Modern Communications. *11th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*. 2013. P.419-428.
6. Потапов А.А., Матвеев Е.Н. Фрактальная электродинамика, скейлинг фрактальных антенн на основе кольцевых структур и мультимасштабные частотно-избирательные 3D-среды или фрактальные "сэндвичи": переход к фрактальным наноструктурам. *Радиотехника и электроника*. 2010. Т.55. №10. С.1157-1177.
7. Yogaprasad K., Anitha V.R. CPW Fed Hexa-to-Hexa Fractal Antenna for Multiband Applications. *Microelectronics, Electromagnetics and Telecommunications. Springer Singapore: Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2019. V.655. P.277-283.https://doi.org/10.1007/978-981-15-3828-5_29.
8. Mezache Z. Analysis of multiband graphene-based terahertz square-ring fractal antenna. *Ukrainian Journal of Physical Optics*. 2020. V.21. No.2. P.93-102.
9. Samadpour-Hendevari M., Pourziad A., Nikmehr S. Design methodology of the fractal annular ring antennas with the wideband operation. *IET Microwaves Antennas & Propagation*. 2019. V.13. No.14. P.2464-2469.

Для цитирования:

Драч В.Е., Мишенев Р.А., Шмелькова А.А. Моделирование сверхширокополосной антенны с рекурсивным топологическим рисунком. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.10.3>