

# **Теоретические и экспериментальные исследования**

---

**N E W S**

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES**

ISSN 1991-346X

Volume 6, Number 304 (2015), 40 – 46

## **THE MULTI-FREQUENCY PROPERTIES OF ANTENNAS BASED ON FRACTAL STRUCTURES**

**A. K. Imanbayeva, A. A. Temirbayev, T. A. Namazbayev, S. A. Khohlov**

IETP, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: amirkhan.temirbayev@kaznu.kz

**Key words:** fractal antennas, Sierpinski triangle (fractal), Minkowski fractal, S-parameter, Ansoft HFSS, computer modelling.

**Abstract.** Fractal antennas are multiband and can be used to operate simultaneously on multiple frequencies without signal amplification. They are also compact. The aim of this work is to study and analyze a variety of dishes based on fractals, as well as analysis of the influence of the substrate on the properties considered fractal antennas. In this article we used a modified Sierpinski fractal, and Minkowski fractal. Fractal antennas have previously been modeled in the package Ansoft HFSS. We have considered the steps of computer modeling of fractal antenna. In the simulation, we selected several primary iteration of fractals. For modified Sierpinski fractal was chosen the first three iterations, and for fractal Minkowski chose the first two iterations. We have shown the frequency distribution, as well as reducing or increasing the power of the individual resonances depending on the substrate material, i.e. the value of the dielectric constant.

The results showed that the fractal antennas have a multifrequency properties, i.e. antennas may operate at multiple frequency bands. The results indicate the competitiveness of fractal antennas.

УДК 621.396.67.012.12

## **МНОГОЧАСТОТНОЕ СВОЙСТВО АНТЕНН НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР**

**А. К. Иманбаева, А. А. Темирбаев, Т. А. Намазбаев, С. А. Хохлов**

НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** фрактальная антенна, треугольник Серпинского (фрактал), фрактал Минковского, S-параметр, Ansoft HFSS, компьютерное моделирование.

**Аннотация.** Фрактальные антенны являются многодиапазонными и могут быть использованы для работы одновременно на нескольких частотах без усиления сигналов. Они также являются компактными. Целью данной работы является исследование и анализ антенн на основе различных фракталов, а также анализ влияния подложки на свойства рассмотренных фрактальных антенн. В работе были использованы модифицированный фрактал Серпинского и фрактал Минковского. Моделирование антенн на основе фрактальных структур производилась в программном пакете Ansoft HFSS. Рассмотрены этапы компьютерного моделирования фрактальной антенны. При моделировании были выбраны несколько начальных итерации фракталов. Для модифицированного фрактала Серпинского были выбраны первые три итерации, а для

фрактала Минковского – первые две итерации. Была показана зависимость распределения частот, а также уменьшение или увеличения мощности отдельных резонансов в зависимости от подложки материала, т.е. от значения диэлектрической проницаемости.

Полученные результаты показали, что фрактальные антенны имеют свойства многочастотности, т.е. антенны могут работать на нескольких частотных диапазонах. Полученные данные показывают конкурентоспособность фрактальных антенн.

**Введение.** Антенны являются неотъемлемой частью коммуникационных систем. В развитии беспроводных систем связи для антенн должны быть свойственны следующие характеристики: широкополосность и сверхширокополосность, широкая диаграмма направленности и минимальные размеры для конструкции. Однако решать эти задачи приходится в условиях ограниченности основных ресурсов, таких как спектр и мощность. Так как все больше и больше устройств становятся мобильными, технология будущего столкнется с проблемой перегрузки спектра, и основной задачей станет обеспечение сосуществования различных беспроводных устройств. Таким образом, учитывая ограниченный доступный диапазон частот, удовлетворение спроса на более высокие пропускную способность и скорости передачи представляет собой актуальную задачу, требующую технических решений, совместимых с устройствами, работающими в различных частотных диапазонах.

В этой связи, при разработке современных систем связи остро стоит вопрос выбора типа эффективной антенной системы, обеспечивающей заданные характеристики в рабочем диапазоне частот. Вышеуказанные задачи могут решать фрактальные антенны, приобретающие в последнее время популярность благодаря своей компактности и многодиапазонности. Однако теория фрактальных антенн на данный момент в мире практически не развита, поэтому возникает ряд задач при создании самих фрактальных антенн. Антenna в виде фрактала по сравнению с традиционной антенной использует пространство эффективнее. Из-за таких форм энергопотребление также может улучшиться.

Целью этой работы является исследование и анализ антенн на основе модифицированного фрактала Серпинского и фрактала Минковского, а также исследование влияния подложки на свойства фрактальной антенны.

**Этапы конструирования фрактальной антенны.** В работе были использованы фрактал Минковского и модифицированный фрактал Серпинского. При конструировании были выбраны несколько начальных итераций фракталов. Для модифицированного фрактала Серпинского были выбраны первые три итерации (рисунок 1), а для фрактала Минковского – первые две итерации (рисунок 2). Антенны фрактальной формы были смоделированы в программном пакете Ansoft HFSS, которая предназначена для получения S-параметров и трехмерного моделирования электромагнитного поля методом конечных элементов.

Для антены в форме фрактала Серпинского была использована подложка ArlonTC600 (диэлектрическая проницаемость 6.15) с размерами 40x40x2.3 мм [1]. Подложка ArlonTC600 использовалась как основная подложка для антены. Чтобы проверить влияние подложки на антенну были еще выбраны следующие подложки: Arlon CuClad 250 GT (с диэлектрической проницаемостью 2.5) и Arlon TC350 (с диэлектрической проницаемостью 3.5). Сопоставление подложек было продемонстрировано с использованием третьей итерации модифицированного фрактала Серпинского.

При моделировании антены в форме фрактала Минковского была использована подложка FR4\_ероху (с диэлектрической проницаемостью 4.4) с размерами 45x50x1.5 мм [2]. В обоих антенных на задних сторонах подложки при моделировании был использован рефлектор. S-параметры антенн рассчитывались в районе от 1 до 10 ГГц.

**Результаты эксперимента.** На рисунках 3–6 показаны результаты S-параметров, соответствующие итерациям модифицированного фрактала Серпинского. На основе полученных графиков можно сказать, что для основного вида антены мы имеем 4 резонансных частоты: 2, 4.63, 6.04 и 8.57 ГГц, соответственно. Из них можно выделить только одну частоту, соответствующей 4.63 ГГц, как ярко выраженной на основном фоне (рисунок 3).

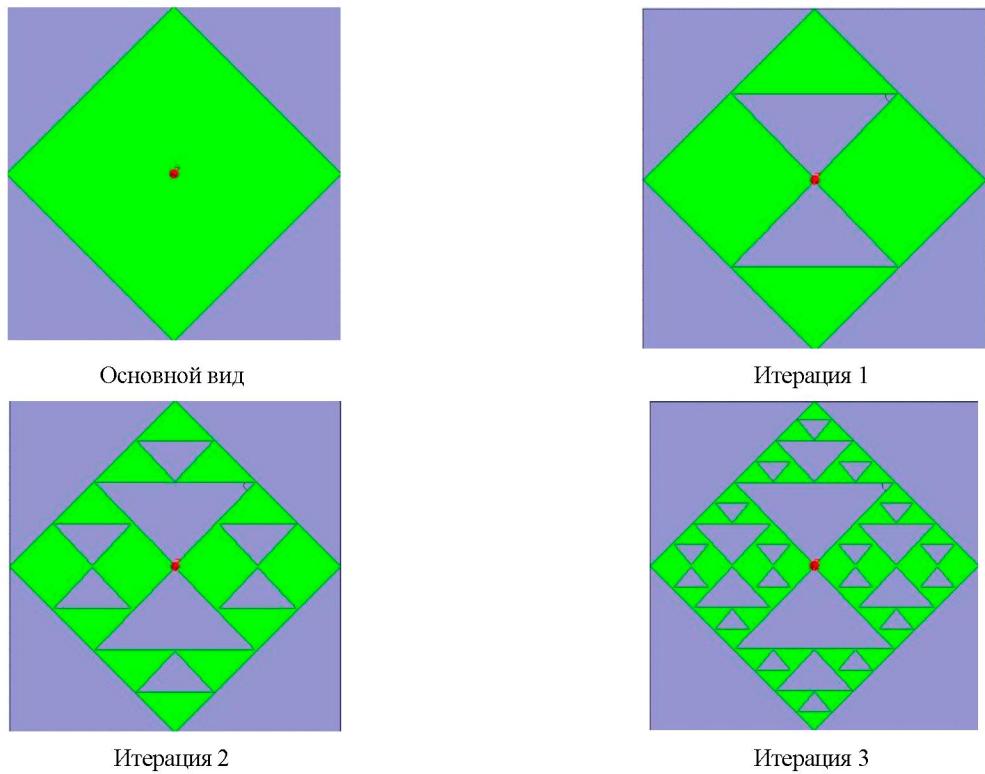


Рисунок 1 – Начальный вид и первые три итерации модифицированного фрактала Серпинского

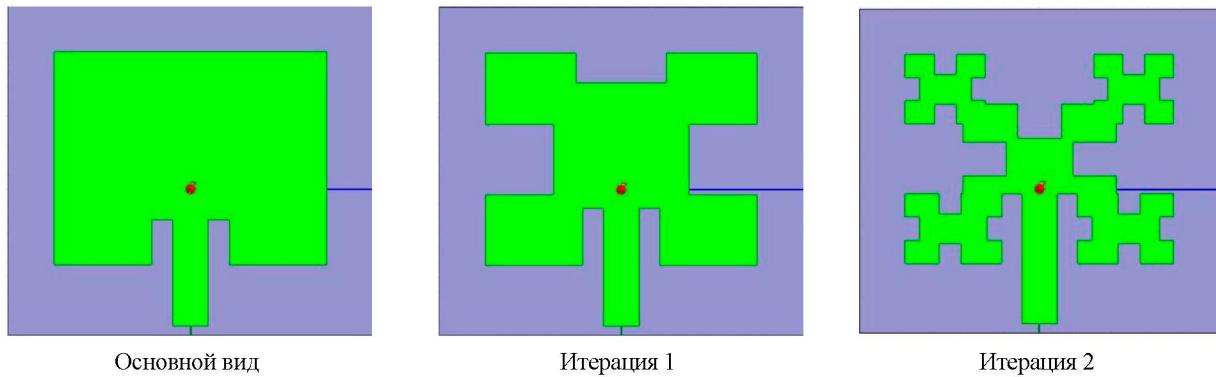


Рисунок 2 – Начальный вид и первые две итерации фрактала Минковского

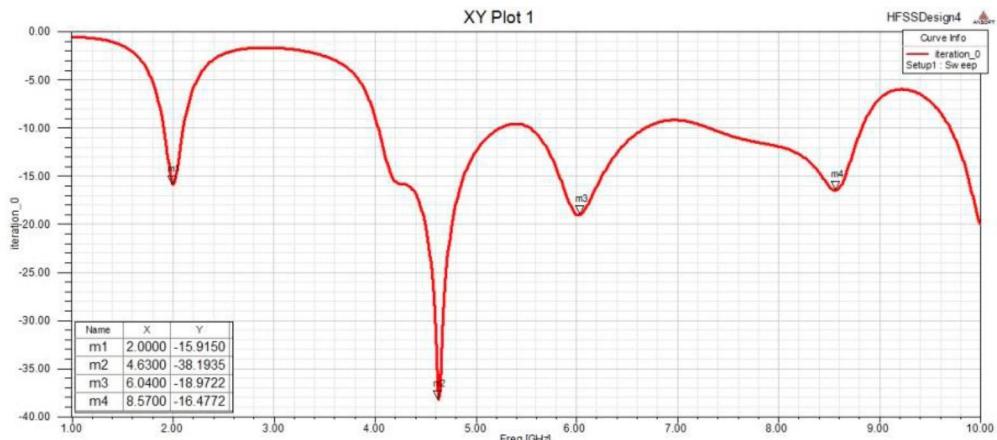


Рисунок 3 – S-параметр для основного вида антенны до изменения(фрактал Серпинского)

В антенне, имеющей форму первой итерации фрактала Серпинского, присутствуют следующие частоты: 1.74, 4.64 и 8.62 ГГц. Здесь можно увидеть, что из двух частот возникающих в 0-й итерации, а именно 4.63 ГГц и 6.04 ГГц, получается одна широкая резонансная частота, равной 4.64 ГГц. Также первая резонансная частота сдвигается в более низкую область частот (рисунок 4).

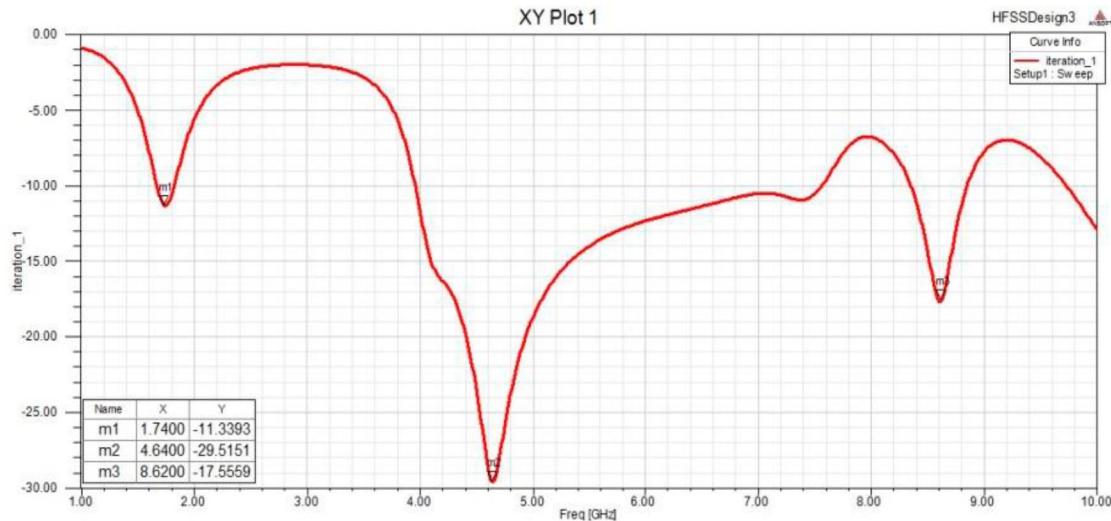


Рисунок 4 – S-параметр антенны соответствующей первой итерации фрактала Серпинского

У антенны на основе второй итерации фрактала Серпинского появились частоты, соответствующие 1.66, 8.16 и 9.38 ГГц (рисунок 5). Из графика можно увидеть, что резонансные частоты, которые наблюдались в двух предыдущих антенных исчезают полностью и появляются новые частоты, при этом одна резонансная частота находится в области более высоких частот, однако, число резонансов не увеличивается в зависимости от второй итерации. Здесь также наблюдаются всего три резонансные частоты.

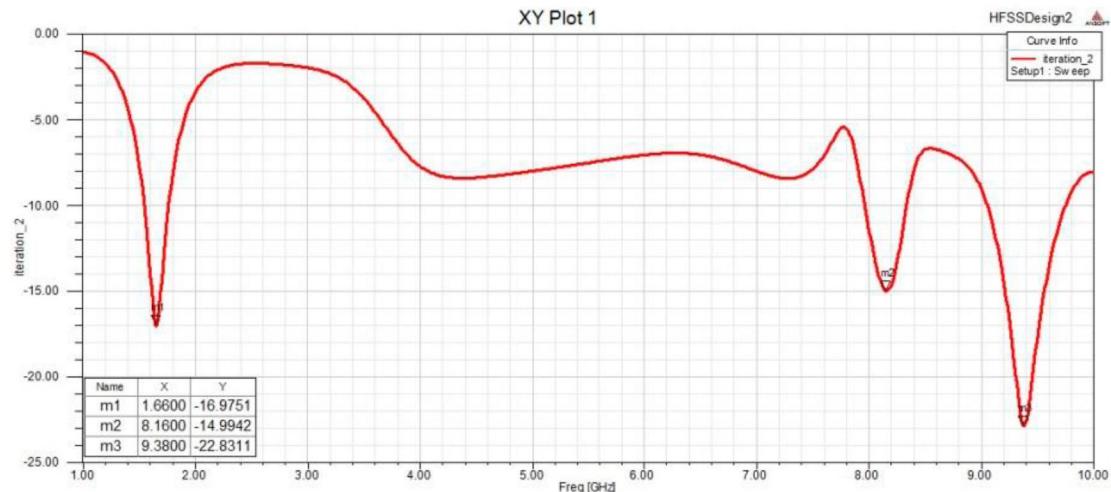


Рисунок 5 – S-параметр антенны соответствующей второй итерации фрактала Серпинского

В антенне на основе третьей итерации фрактала Серпинского происходит качественный скачок. Здесь появляются целых 6 резонансных частот и все с хорошей мощностью. Резонансы соответствуют частотам: 1.62, 4.01, 4.95, 6.71, 8.13 и 9.35 ГГц (рисунок 6). Если сравнивать свойство антенны на основе нулевой итерации (основная ромбообразная форма) с антенной на основе третьей итерации фрактала, то можно наблюдать увеличение резонансных частот в два раза, что в свою очередь показывает многодиапазонность антенн на основе фрактальных структур.

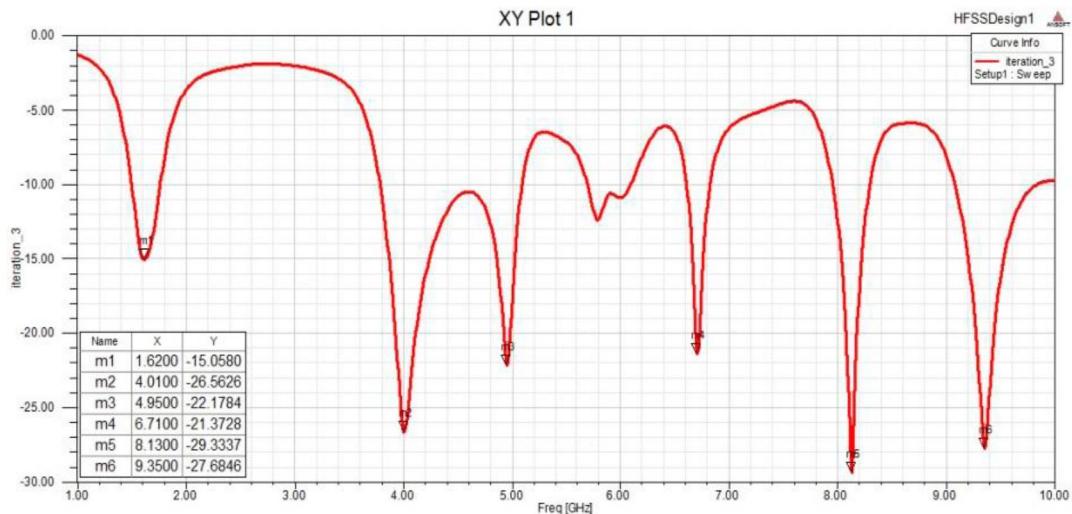


Рисунок 6 – S-параметр антенны соответствующей третьей итерации фрактала Серпинского

Вторая антенна, которая была смоделирована нами имела вид фрактала Минковского. Нами было показано, что данная антенна также имеет ряд преимуществ перед простой планарной антенной. На рисунках 7, 8 показаны результаты S-параметров для антенн с основной (нефрактальной) формой и на основе фрактала второй итерации, соответственно.

Как видно из рисунка 7, в антенне, сконструированной с помощью нефрактальной формы, наблюдаются пять основных резонансов: 2.44, 3.83, 5.04, 8.05 и 9.1 ГГц.

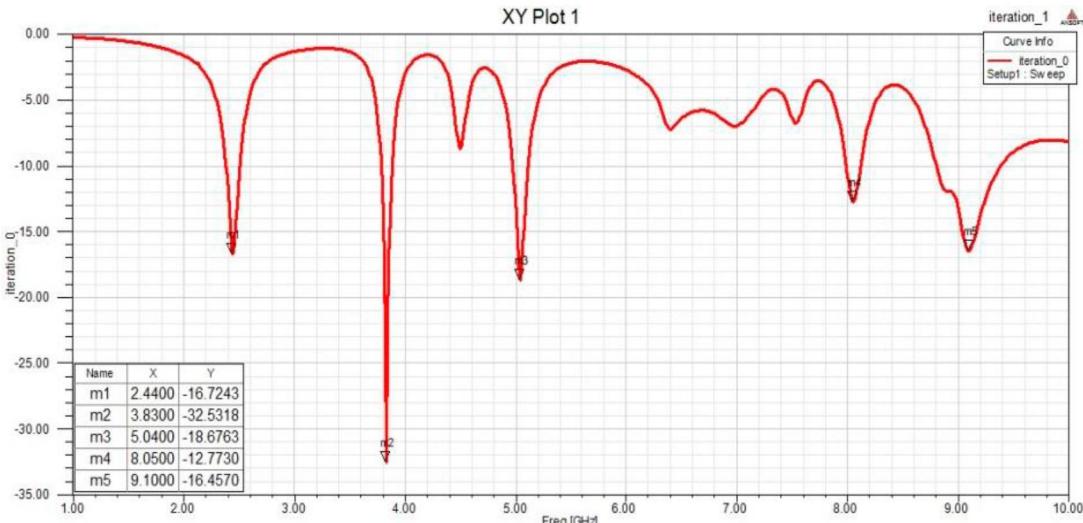


Рисунок 7 – S-параметр антенны сконструированной с помощью нефрактальной формы  
(данная форма соответствует нулевой итерации фрактала Минковского)

В антенне сконструированной на основе первой итерации фрактала Минковского наблюдаются четыре резонансных частоты. При этом исчезают те резонансы, которые близки к области высоких частот. Здесь не наблюдается качественного изменения, поэтому приведем сразу результаты по моделированию антенны на основе второй итерации фрактала Минковского.

В ходе моделирования антенны сконструированной на основе второй итерации фрактала Минковского мы получили следующие резонансные частоты: 1.33, 5.13, 5.62, 7.14 и 8.08 (рисунок 8). Как видно из рисунка 8, увеличение итерации данного фрактала привело к изменению распределения частот. При этом мощность всех полученных резонансных частот увеличивается. Данное свойство показывает еще одно преимущество фрактальных антенн, т.е. кроме многодиапазонности фрактальные антенны обладают еще и свойством усиления сигналов.

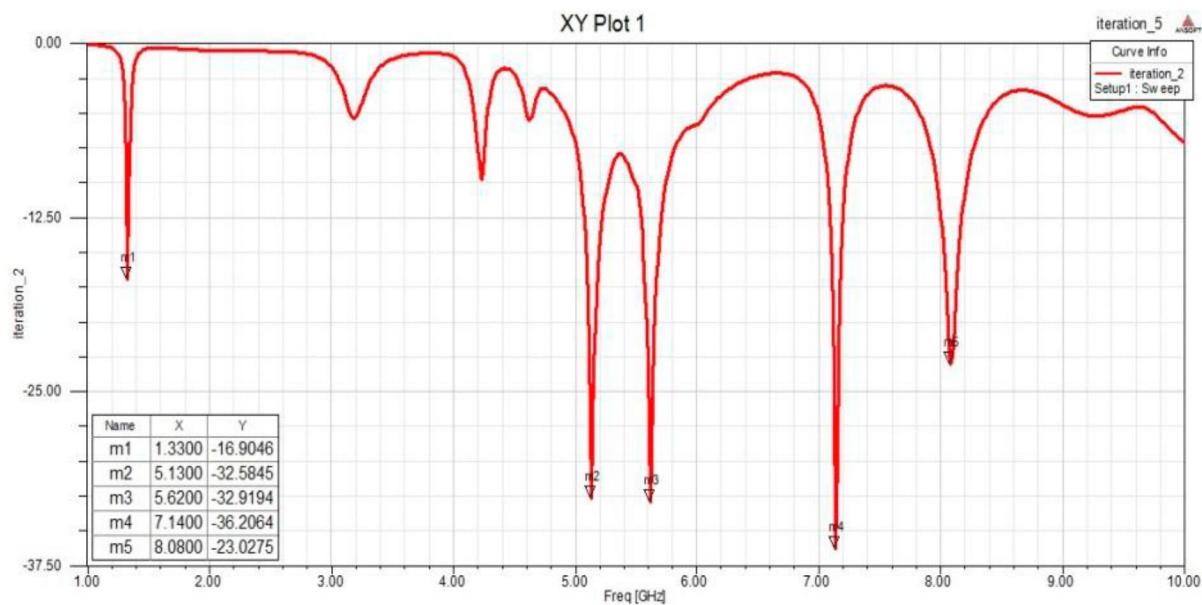


Рисунок 8 – S-параметр антенны соответствующей второй итерации фрактала Минковского

Вторая часть эксперимента была относительно подложки антенны. При моделировании с разными подложками выяснилось то, что основные резонансные частоты смешались, а также некоторые из них гасились или увеличивались. На рисунке 9 показаны S-параметры при трёх различных материалах подложки. Результаты показывают, что наиболее хорошей подложкой для антенны является подложка из материала Arlon\_TC600 с диэлектрической проницаемостью 6.15.

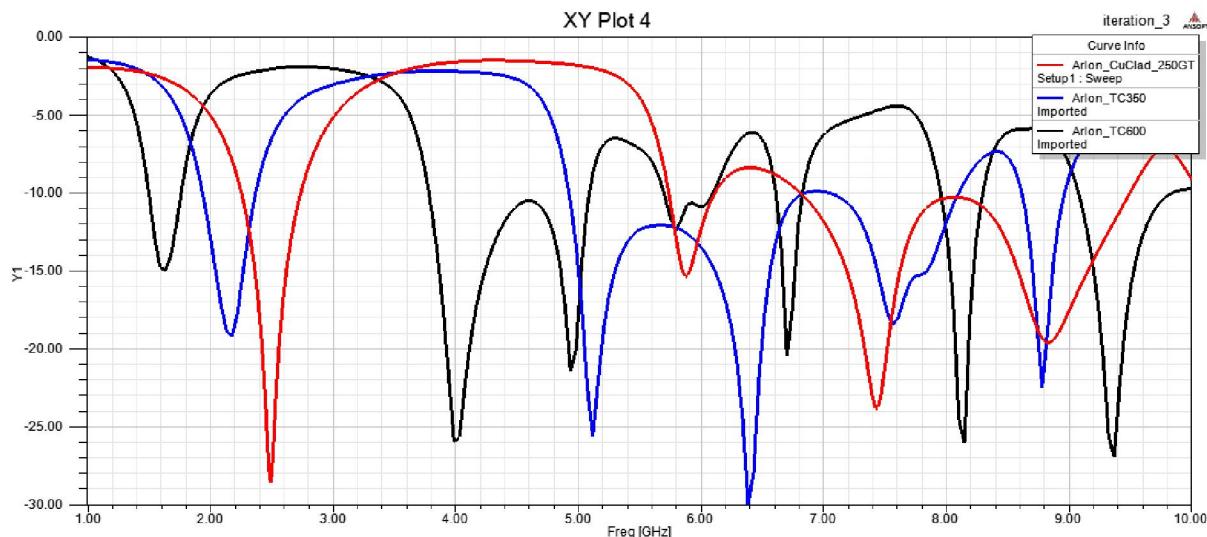


Рисунок 9 – Влияние подложки на свойство фрактальной антенны

**Заключение.** На основе полученных результатов можно заключить, что при некоторых итерациях фрактала может присутствовать широкополосность, при этом данное свойство наблюдается при высоких итерациях.

Фрактальные антенны могут быть использованы в беспроводных технологиях как сотовая связь, LTE 4G, WiMAX. Для этого должны быть учтены соответствующие частоты при конструировании. Из-за свойства многочастотности фрактальной антенны есть возможность конструирования антенн соответствующих нескольким беспроводным технологиям.

*Настоящая работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта №3837/ГФ4.*

## **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Jawad K. Ali, Zaid A. Abed AL-Hussain, Ammer A. Osman and Salim Ali J. A New Compact Size Fractal Based Microstrip Slot Antenna for GPS Applications // Conference: Progress In Electromagnetics Research Symposium. PIERS Proceedings, Kuala Lumpur, Malaysia, March 27–30, 2012. – P.700-703.

[2] C. de Oliveira E.E., H. da F. SilvaP. A.L.P.S. Campos and SandroGoncalves da Silva Overall size antenna reduction using fractal elements // Microwave and Optical Technology Letters 2009. – Vol.51, №3. –P. 671-675.

## **REFERENCES**

- [1] Jawad K. Ali, Zaid A. Abed AL-Hussain, Ammer A. Osman and Salim Ali J. *A Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, Kuala Lumpur, Malaysia, March 27–30, 2012, 700-703 (in Eng.)  
[2] C. de Oliveira E.E., H. da F. Silva P. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2009, 51, 3,. 671-675 (in Eng.).

## **ФРАКТАЛДЫҚ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ НЕГІЗІНДЕ ЖАСАЛЫНГАН АНТЕННАЛАРДЫҢ ҚӨПЖИЛІКТІК ҚАСИЕТТЕРИ**

**А. К. Иманбаева, А. А. Темірбаев, Т. А. Намазбаев, С. А. Хохлов**

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** фракталдық антенна, Серпинский үшбұрышы (фракталдық, Минковский фракталы, S-параметрі, Ansoft HFSS, компьютерлік модельдеу).

**Аннотация.** Фракталдық антенналар көп диапазонды болады, сондыктан, олар сигналды қүшейтпестен бірнеше жиіліктерде бір уақытта жұмыс жасай алады. Фракталдық антенналар тағыда жинақы болады. Бұл макалада фракталдық формаларға негізделген антенналар модельденген және олардың қасиеттері талқыланған. Серпинскийдің модификацияланған және Минковскийдің фракталдары пайдаланылды. Фракталдық антенналар Ansoft HFSS программалық пакетінде модельденді. Фракталдық антенналардың компьютерлік модельдеу этаптары қарастырылды. Түрлендірілген Серпинский фрактал үшін бірінші үш қадамдары алынды, ал Минковский фракталы үшін – бірінші екі қадамы. Жиіліктердің таралу байланысы, және материалдың түптесеміне байланысты, яғни диэлектрикалық өтімділігінің мәніне, жеке резонанстардың құттарының төмендеу немесе ұлғаю көрсетілді.

Алынған нәтижелер фракталдық антенналардың көпдиапазондық қасиеттерін, яғни бір уақытта бірнеше жиіліктік диапазондарда жұмыс істей алатындығын көрсетті. Алынған берілгендер фракталдық антенналардың бәсекеге жарамдылығын көрсетті.

*Поступила 03.11.2015 г.*