

УДК 621.396.67.012.12

А.А. Савочкин, доцент, канд. техн. наук,

А.А. Нудьга

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: savochkin_mail@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОДИАПАЗОННЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ АНТЕНН

В работе исследованы многодиапазонные антенны, выполненные на основе фрактальных структур. Выполнено моделирование антенны на основе салфетки Серпинского и модифицированной фрактальной антенны в пакете электродинамического анализа FEKO. Проведено экспериментальное исследование характеристик излучения и согласования изготовленных макетов антенн. Представлены сравнительные результаты моделирования и эксперимента. Показана возможность практического использования антенн указанного типа.

Ключевые слова: многодиапазонная антенна, фрактал, салфетка Серпинского.

При разработке современных систем связи остро стоит вопрос выбора типа эффективной антенной системы, обеспечивающей заданные характеристики в рабочем диапазоне частот. Однако в силу необходимости создания высокоскоростных систем для передачи информации все чаще возникает потребность в организации работы системы связи в нескольких диапазонах частот. Поэтому разработчики современных антенн уделяют значительное внимание широкополосным и многодиапазонным структурам.

В данной работе анализируется возможность использования антенн, выполненных на основе фрактальной геометрии. Фрактами называют геометрические объекты: линии, поверхности, пространственные тела, имеющие сильно изрезанную форму и обладающие свойствами самоподобия. Слово фрактал произошло от латинского слова *fractus* и переводится как дробный или ломанный [1, 2].

В настоящее время фрактальные антенны приобретают популярность благодаря своей компактности и многодиапазонности. Разработка новых вариантов фрактальных антенн осуществляется в основном разработчиками телекоммуникационного оборудования. Свое применение фрактальные антенны уже находят в медицине, военных приложениях, сотовых системах связи на базовых станциях и мобильных терминалах [3].

С целью создания многодиапазонной антенны рассмотрим антенну на основе регулярного фрактала – салфетки Серпинского (рисунок 1, а, рисунок 9, а) [2], и модифицированную антенну, полученную путем исключения элементов дробления в верхней части излучающей структуры (рисунок 5, а, рисунок 9, б). Высота излучающего элемента равна 88 мм. Экраны антенн выполнены в виде металлических пластин размером 0,4 на 0,4 м. Такое построение антенн упрощает реализацию системы питания, поскольку дополнительное симметрирование в этом случае не требуется. Геометрия антенны выбрана для обеспечения работы в диапазонах вблизи следующих частот — 1,74, 3,51, 6,95, 13,89 ГГц.

Расчет характеристик антенн выполнялся в программе электродинамического анализа FEKO, при рекомендуемом системой FEKO количестве элементов разбиения. Рассмотрим некоторые результаты расчета характеристик фрактальной антенны, выполненной на основе салфетки Серпинского. На рисунке 1 изображена диаграмма направленности (ДН) антенны для частоты 1,74 ГГц, а на рисунке 2 – для частоты 13,89 ГГц. Представленные результаты показывают увеличение неравномерности ДН по

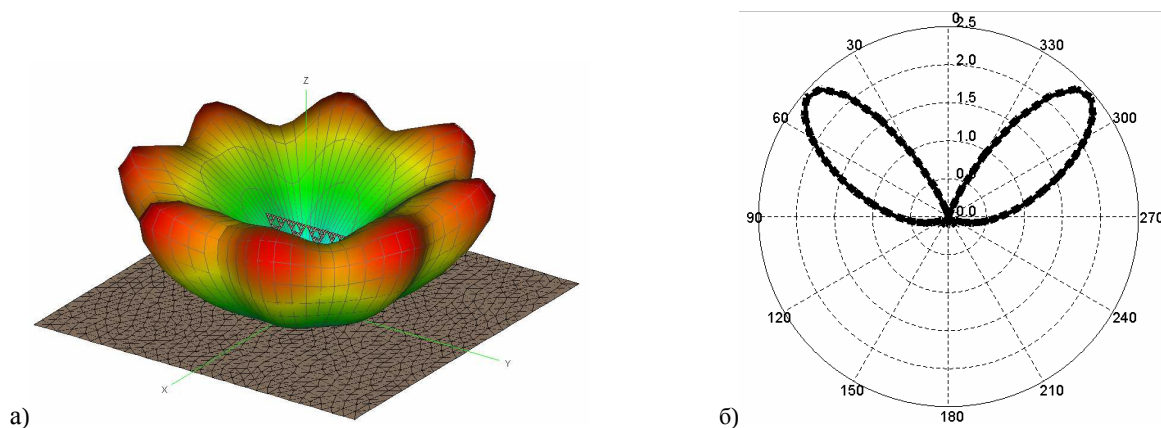


Рисунок 1 — ДН антенны на основе салфетки Серпинского на частоте 1,74 ГГц:
(а) в трехмерном виде, (б) сечения ДН в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ сплошная и $\varphi = 90^\circ$ пунктирная линия

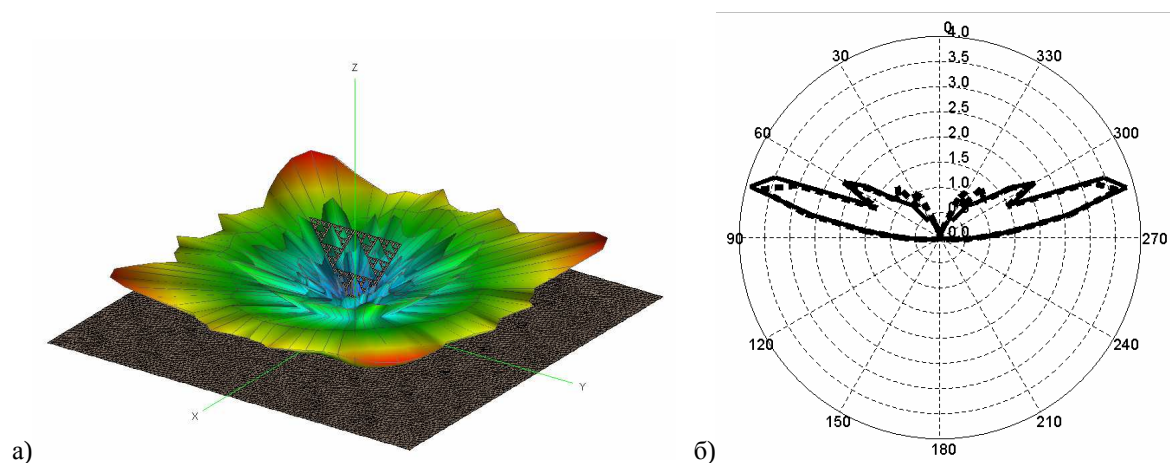


Рисунок 2 — ДН антенны на основе салфетки Серпинского на частоте 13,89 ГГц:
(а) в трехмерном виде, (б) сечения ДН в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ сплошная и $\varphi = 90^\circ$ пунктирная линия

мере увеличения рабочей частоты. На всех рассмотренных частотах форма ДН антенны близка к осесимметричной. Рассмотрим результаты расчета входных характеристик антенны на основе салфетки Серпинского: зависимости входного сопротивления (рисунок 3) и коэффициента стоячей волны (рисунок 4) от частоты.

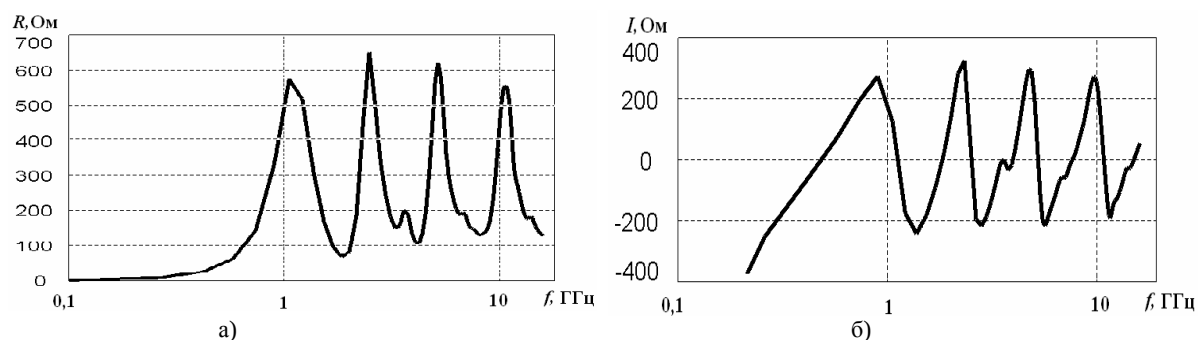


Рисунок 3 – Зависимость входное сопротивление антенны на основе салфетки Серпинского от частоты:
(а) активная часть; (б) реактивная часть

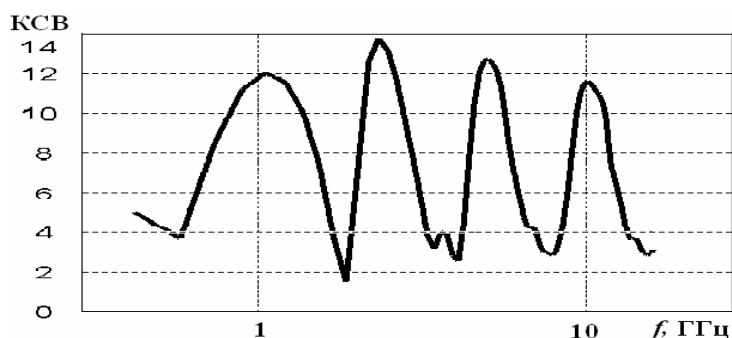


Рисунок 4 – КСВ фрактальной антенны на основе салфетки Серпинского в диапазоне частот

Из графиков зависимости входного сопротивления на рисунке 3 видна периодичность входного сопротивления, которая подтверждает возможность использования антенны для работы в нескольких диапазонах частот. Зависимость КСВ (см. рисунок 4) показывает возможность согласования антенны на резонансных частотах фрактальной структуры. Однако уровень согласования не достаточно мал с практической точки зрения, так как минимальное значение КСВ составляет 1,8...2,2.

Рассмотрим некоторые результаты расчета характеристик модифицированной фрактальной антенны. На рисунке 5 изображена ДН антенны на частоте 1,74 ГГц, а на рисунке 6 — на частоте 13,89 ГГц.

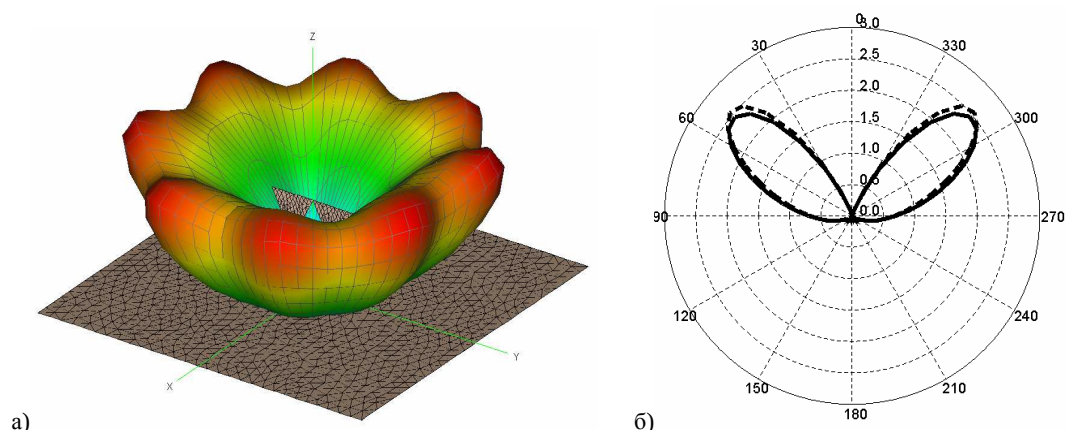


Рисунок 5 — ДН модифицированной антенны на частоте 1,74 ГГц:
(а) в трехмерном виде, (б) сечения ДН в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ сплошная и $\varphi = 90^\circ$ пунктирная линия

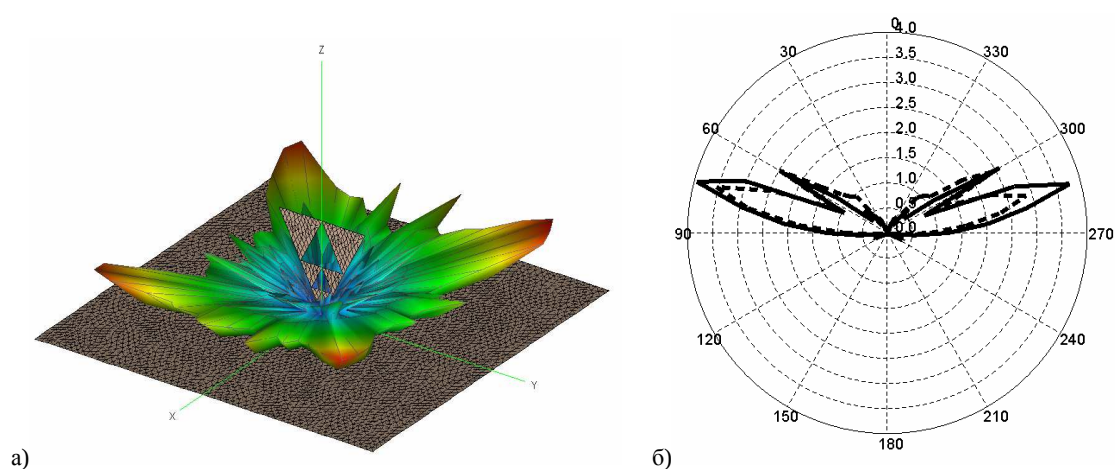


Рисунок 6 — ДН модифицированной антенны на частоте 13,89 ГГц:
(а) в трехмерном виде, (б) сечения ДН в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ сплошная и $\varphi = 90^\circ$ пунктирная линия

Представленные результаты показывают увеличение неравномерности ДН по мере увеличения рабочей частоты. На всех рассмотренных частотах форма ДН антенны близка к осесимметричной. Характер ДН модифицированной антенны в целом аналогичен ДН антенны выполненной на основе салфетки Серпинского.

Рассмотрим результаты расчета входных характеристик модифицированной антенны: зависимости входного сопротивления (рисунок 7) и коэффициента стоячей волны (рисунок 8) от частоты.

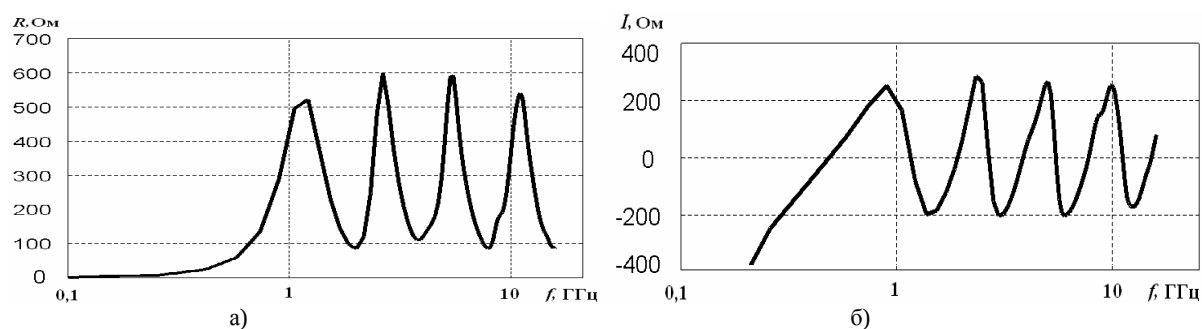


Рисунок 7 — Зависимость входное сопротивление модифицированной антенны от частоты:
(а) активная часть; (б) реактивная часть

Результаты расчета входного сопротивления (см. рисунок 7) показывают, что модифицированная антенна также как и классическая обладает явной периодичностью входного сопротивления. Зависимость КСВ (см. рисунок 8) аналогична случаю антенны на основе салфетки Серпинского. Минимальный уровень КСВ составляет 1,9...2,1

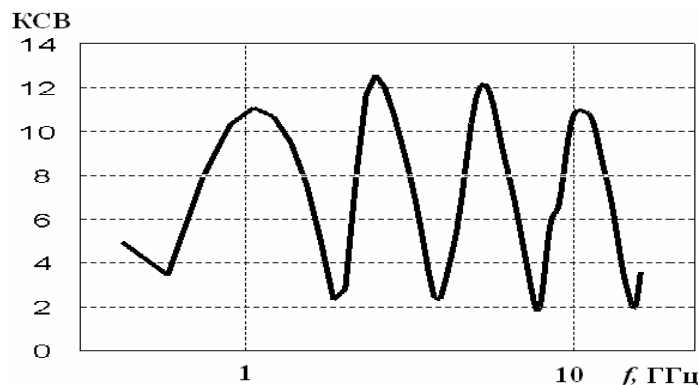


Рисунок 8 – КСВ модифікованої фрактальної антени в діапазоні частот

В таблиці 1 приведені розрахункові характеристики фрактальної антени на основі салфетки Серпинського і модифікованої фрактальної антени.

Таблиця 1 – Сравнительная характеристика фрактальных антенн

Частота, ГГц	Фрактальная антенна на основе салфетки Серпинского				Модифицированная фрактальная антенна			
	Активная часть входного сопротивления, Ом	Реактивная часть входного сопротивления, Ом	Коэффициент стоячей волны	Коэффициент усиления	Активная часть входного сопротивления, Ом	Реактивная часть входного сопротивления, Ом	Коэффициент стоячей волны	Коэффициент усиления
1,74	1,48	– 440	2,65	2,4	1,82	– 430	2,2	2,5
3,51	6,5	– 162	90	2,25	15,8	– 22	200	1,7
6,95	30	16	1,9	3	29	13,5	1,9	3,4
13,89	125	220	10,2	3,8	120	195	9,1	3,7

Результаты расчета показывают, что переход от фрактальной структуры к модифицированной не приводит к изменению свойств антенны, следовательно, влияние ячеистой структуры в верхней области излучающей структуры не существенно. Однако величина расчетного КСВ не достаточно мала, т.к. минимально значение КСВ составляет 1,7...1,9. Коэффициент усиления антенн изменяется в диапазоне 1,7...3,8, что также подтверждает возможность использования антенн в практических приложениях.

Для практического исследования фрактальных структур были изготовлены макеты антенн: антенны на основе салфетки Серпинского и модифицированной фрактальной антенны. Фотографии макетов антенн показаны на рисунке 9. Макеты антенн изготовлены методом травления на основе фольгированного стеклотекстолита FR-4 толщиной 1 мм.

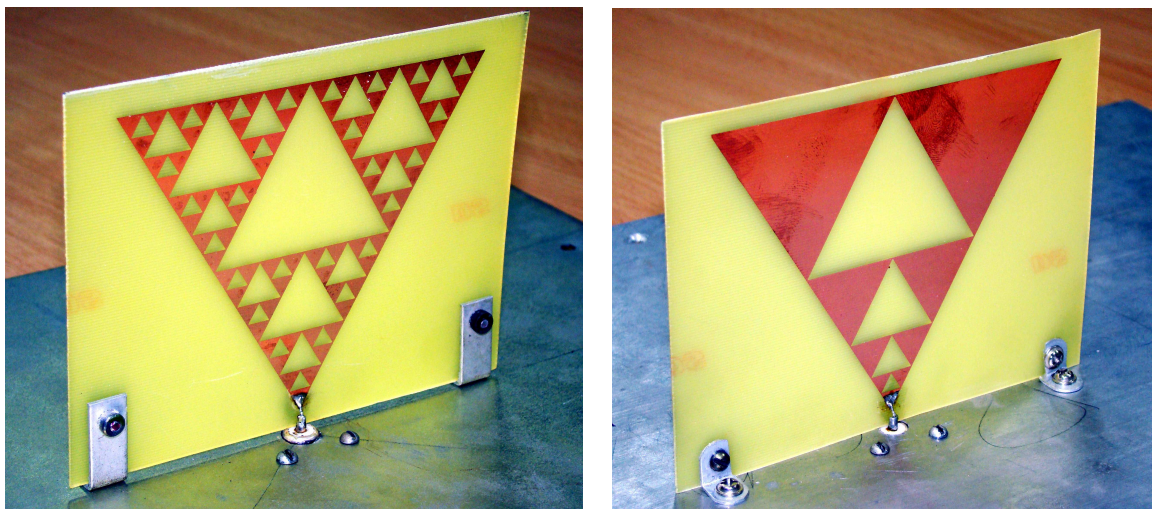
Экспериментальное исследование ДН производилось методом вышки в дальней зоне. Для измерения входных характеристик использовался прибор типа HP Agilent 3062.

Некоторые экспериментальные результаты показаны на рисунках 10 – 14.

На рисунке 10 изображены ДН фрактальной антенны выполненной на основе салфетки Серпинского на частоте 1,78 ГГц, в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$. Ширина ДН главного лепестка в плоскости $\varphi = 0^\circ$ для частоты 1,78 ГГц составила около 40° . На рисунке 11 изображены ДН фрактальной антенны на частоте 8,8 ГГц, в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$. Ширина ДН главного лепестка в плоскости $\varphi = 0^\circ$ для частоты 8,8 ГГц составила около 20° .

На рисунке 12 изображены ДН модифицированной фрактальной антенны на частоте 1,78 ГГц, в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$. На рисунке 13 изображены ДН фрактальной антенны на частоте 8,8 ГГц, в плоскостях $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$.

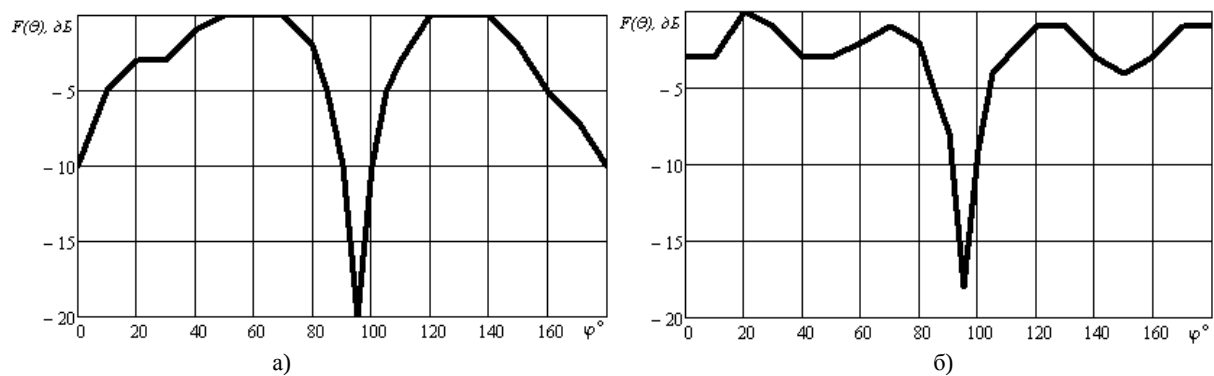
На рисунке 14 приведены экспериментальные зависимости КСВ от частоты для двух макетов антенн в диапазоне от 0,5 до 3 ГГц.



а)

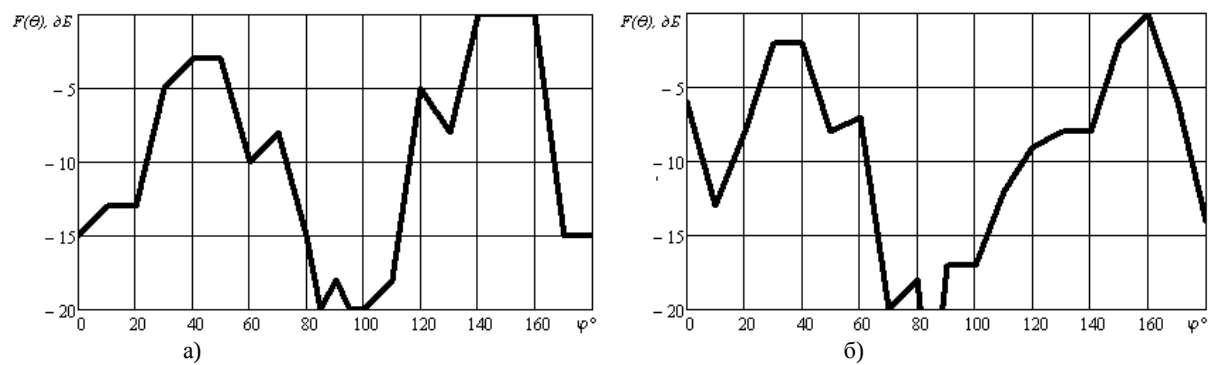
б)

Рисунок 9 — Макеты антенн: а) антенна на основе салфетки Серпинского; б) модифицированная антенна



а)

б)

Рисунок 10 — Экспериментальные ДН антенны на основе салфетки Серпинского на частоте 1,78 ГГц:
а) в плоскости $\varphi = 0^\circ$; б) в плоскости $\varphi = 90^\circ$ 

а)

б)

Рисунок 11 — Экспериментальные ДН антенны на основе салфетки Серпинского на частоте 8,8 ГГц:
а) в плоскости $\varphi = 0^\circ$; б) в плоскости $\varphi = 90^\circ$

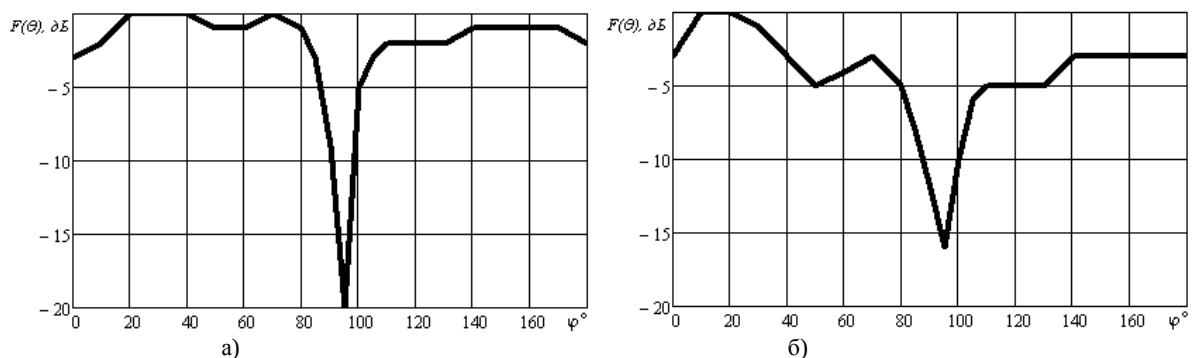


Рисунок 12 — Экспериментальные ДН модифицированной фрактальной антенны на частоте 1,78 ГГц:
а) в плоскости $\varphi = 0^\circ$; в плоскости $\varphi = 90^\circ$

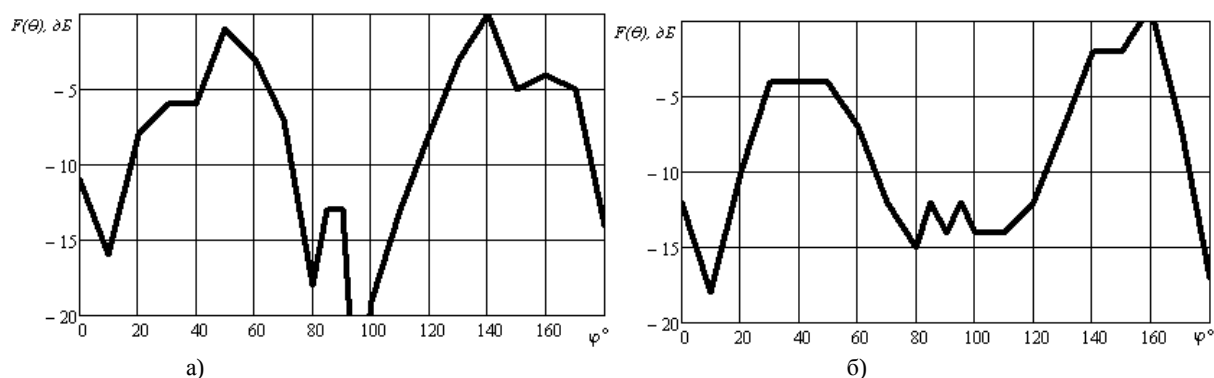


Рисунок 13 — Экспериментальные ДН модифицированной фрактальной антенны на частоте 8,8 ГГц:
а) в плоскости $\varphi = 0^\circ$; в плоскости $\varphi = 90^\circ$

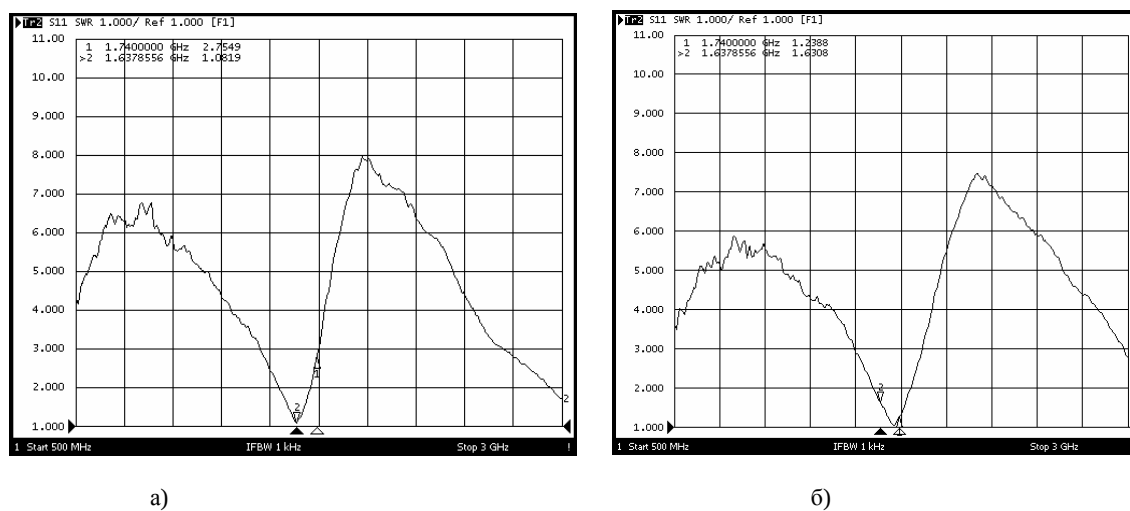


Рисунок 14 — Экспериментальные зависимости КСВ от частоты:
а) антенны на основе салфетки Серпинского; б) модифицированной антенны

Результаты экспериментального исследования макетов антенн подтверждают возможность использования программ электродинамического моделирования, поскольку характер расчетных и экспериментальных ДН аналогичен. Однако по экспериментальным данным минимальный уровень КСВ составляет 1,06...1,2, что является достаточным для практического использования антенн.

Таким образом, в ходе теоретического исследования установлено, что стандартного разбиения на элементарные элементы в программе *FEKO* достаточно, для обеспечения сбалансированного режима работы между точностью и временем, затраченным на расчет.

Сравнение характеристик антенны выполненной на основе салфетки Серпинского и модифицированной фрактальной антенны доказало возможность создания структуры упрощенной конструкции, без ухудшения характеристик антенны.

Результаты измерения ДН показали, что исследуемые фрактальные антенны формируют ДН близкую по форме к осесимметричной в диапазоне частот.

На высоких частотах диапазона наблюдается изрезанность формы ДН. Важно, что результаты расчетов и моделирования в программе *FEKO* согласуются между собой. В целом экспериментальные исследования ДН макетов антенн подтверждают результаты расчетов.

Анализ КСВ макетов антенн показывает, что в ходе проведенных изменений был получен хороший уровень согласования. Полученные экспериментально результаты согласования для фрактальной и модифицированной антенн лучше оценок при компьютерном моделировании, и они отвечают практически требованиям.

В ходе дальнейших исследований планируется создание фрактальной антенны для работы в диапазонах частот с меньшим относительным разном и определение возможности создания широкополосных антенн на основе фрактальных структур.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Божокін С.В. Фрактали і мультифрактали / С.В. Божокін, Д.А. Паршин. — М.: Іжевськ. 2001. — 128 с.
2. Потапов А.А. Фрактали в радіофізиці і радіолокації / А.А. Потапов. — М.: Логос, 2002. — 664 с.
3. Fractal Antenna Systems Inc. [Електронний ресурс]. — Електрон. текстові дані (262 883 bytes). — Massachusetts: Fractal Antenna Systems Inc., 2010. — Режим доступу: <http://www.fractenna.com/index.html> Monday, 6 December 2010 11:07:00.

Поступила в редакцію 13.12.2010 г.

Савочкін О.А., Нудьга О.О., Дослідження багатодіапазонних фрактальних антен

У роботі дослідженні багатодіапазонні антени, які виконані на основі фрактальних структур. Виконано моделювання антен на основі серветки Серпинського та модифікованої фрактальної антени у пакеті електродинамічного аналізу *FEKO*. Проведено експериментальне дослідження характеристик випромінювання та погодження виготовлених макетів антен. Представлені порівняльні результати моделювання та експериментування. Виявлена можливість практичного використання антен вказаного типу.

Ключові слова: багатодіапазонна антена, фрактал, серветка Серпинського.

Savochkin A.A., Nudga A.A. Investigation of multiband fractal antennas

The multiband antennas designed base on fractal structures are researched in the article. Modeling of an antenna is carried out on the base of the Serpinskiy napkin and the modified fractal antenna in a package of electrodynamic analysis of the software *FEKO* is carried out. The experimental study of the irradiation features and coordination of the developed models of the antennas is conducted. The comparative results of modeling and experiment are presented. Possibility of the practical use of the antennas of the specified type is shown.

Keywords: multiband antenna, fractal, Serpinsky's napkin.