УДК 621.396.67

В. С. Пименов, В. Е. Пониматкин
А. А. Шпилевой, В. С. Кобыляков

ДИПОЛЬНАЯ АНТЕННА СО СТАБИЛИЗИРОВАННЫМ ВХОДНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Статья посвящена разработке малогабаритной антенной системы, характеризуемой равномерным входным сопротивлением во всем диапазоне рабочих частот и конструктивно реализованной на основе фрактальной структуры, а также оптимизации ее параметров с целью улучшения основных эксплуатационных характеристик системы.

The article is devoted to the development of a small-sized antenna system characterized by uniform input impedance over the entire operating frequency range, and structurally implemented on the basis of the fractal structure, as well as the optimization of its parameters in order to improve the basic operational characteristics of the system.

Ключевые слова: малогабаритная антенная система, фрактальная структура, треугольник Серпинского, антенный диполь с улучшенными характеристиками.

Keywords: compact antenna system, fractal structure, Sierpinski triangle, antenna dipole with improved characteristics.

Использование фрактальных структур в конструкциях антенных систем позволяет уменьшить их массогабаритные характеристики без существенного ухудшения основных рабочих параметров (коэффициента полезного действия, частотного диапазона и т. п.) [1—5]. Фрактализация антенны при помощи структуры типа «треугольник Серпинского» [6] фактически не приводит к снижению резонансной частоты [4] и, соответственно, может служить эффективным способом миниатюризации устройства [7]. Задачей авторов являлся поиск оптимальной конструкции антенной системы, обеспечивающей ее наилучшие параметры при минимальных массогабаритных показателях.

Дипольная антенна с фрактальной структурой указанного типа имеет характерное плечо [6; 8], представленное на рисунке 1. Здесь А — точка подключения питания; стрелками показаны направления токов.

Оценочные расчеты параметров антенных систем выполнены при помощи программного пакета *FEKO* компании *EM Software & Systems* на примере диполей 1, 2-й и 3-й итераций.

© Пименов В.С., Пониматкин В.Е., Шпилевой А.А., Кобыляков В.С., 2018

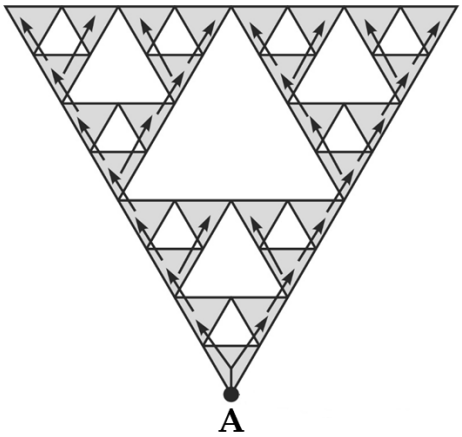

Рис. 1. Плечо дипольной антенны с фрактальной структурой типа «треугольник Серпинского»

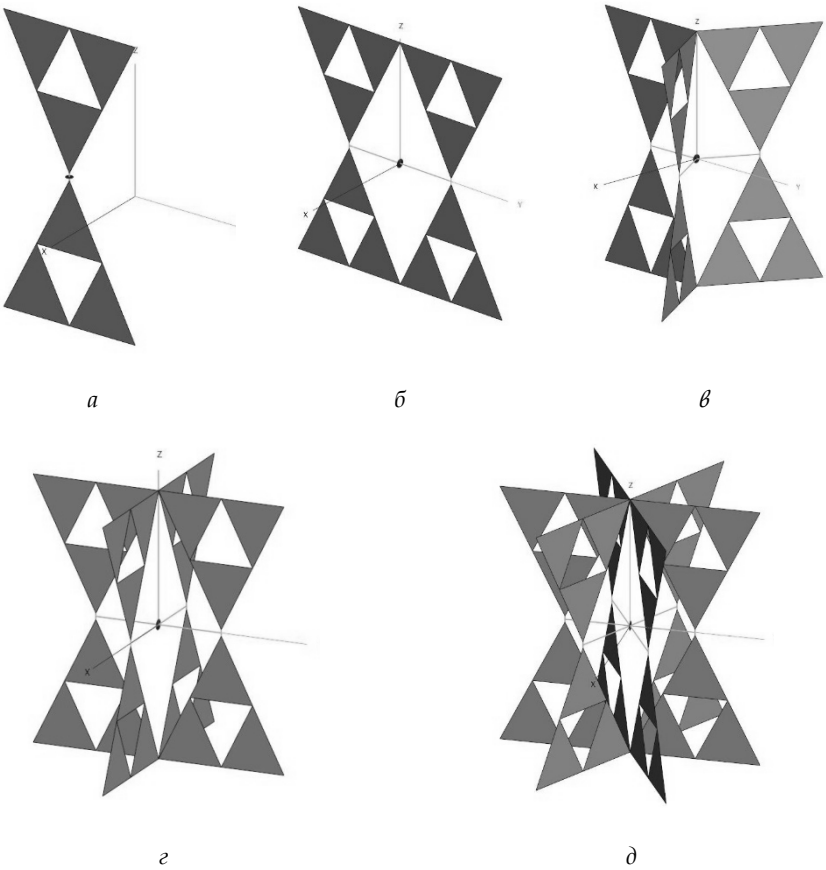

Рис. 2. Синфазная дипольная антенна с фракталом Серпинского 1-й итерации: *а* — одиночный диполь (*Serp1cyl1*); *б* — два диполя (*Serp1cyl2*); *в* — три диполя (*Serp1cyl3*); *г* — четыре диполя (*Serp1cyl4*); *д* — шесть диполей (*Serp1cyl6*)

В частности, для дипольных антенн 1-й итерации второе плечо диполя получается путем поворота исходного плеча на 180° вокруг оси *0X* (модификация 1) — рисунок 2, *а*, зеркальным отображением относительно плоскости *0XY* (модификация 2) — рисунок 2, *б*, расположением трех модификаций под углами 120° друг относительно друга — рисунок 2, *в*, расположением четырех модификаций под углами 90° друг относительно друга — рисунок 2, *г*, расположением шести модификаций под углами 60° друг относительно друга — рисунок 2, *д*. Каждое плечо диполя образует равнобедренный треугольник с высотой h = 0,2 м и основанием a = 0,2 м. Антенна второй модификации аналогична несимметричному треугольному вибратору, находящемуся на плоскости бесконечно протяженной проводящей плоскости. Результаты расчетов параметров антенн в диапазоне коротких волн (КВ) для вариантов 1-й итерации приведены на рисунках 3, 4 и 5.

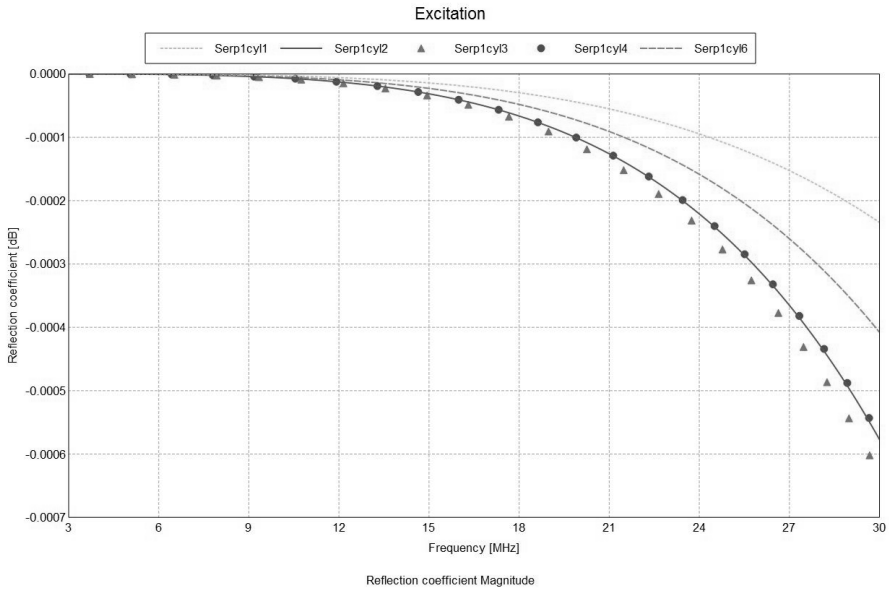

Рис. 3. Коэффициент отражения по входу синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 1-й итерации

Результаты расчетов для синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 1-й итерации в диапазоне от 3 до 30 мГц (диапазон КВ) имеют следующие значения:

— коэффициент отражения варьируется в пределах 0—0,0008, что соответствует удовлетворительной работе всех вариантов антенн (рис. 3);

— активная часть входного сопротивления соответствует наилучшим показателям для варианта *д* (*Serp1cyl1*): сопротивление изменяется от 20 до 50 Ом (рис. 4);

— реактивная часть входного сопротивления имеет оптимальные значения для варианта *д* (*Serp1cyl1*): сопротивление изменяется от –1 до –3 Ом (рис. 5).

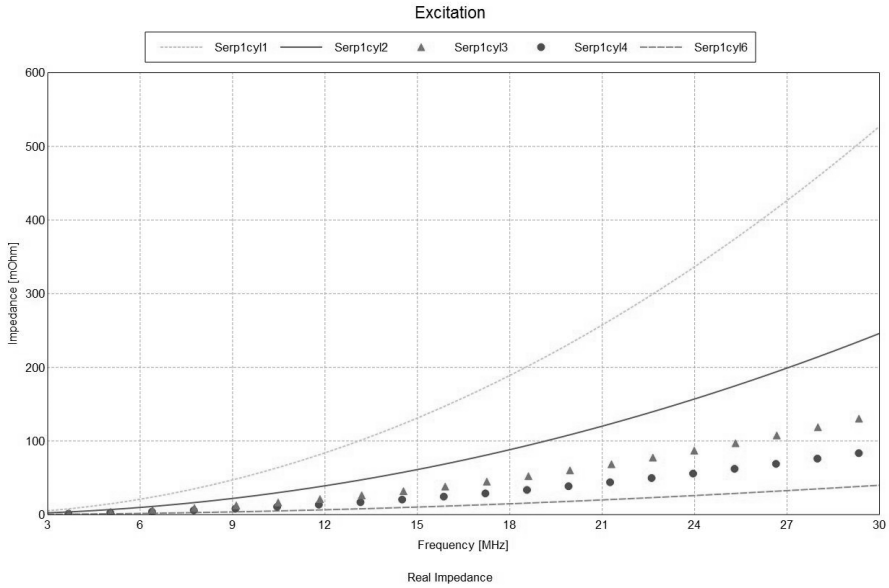

Рис. 4. Активная часть входного сопротивления синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 1-й итерации

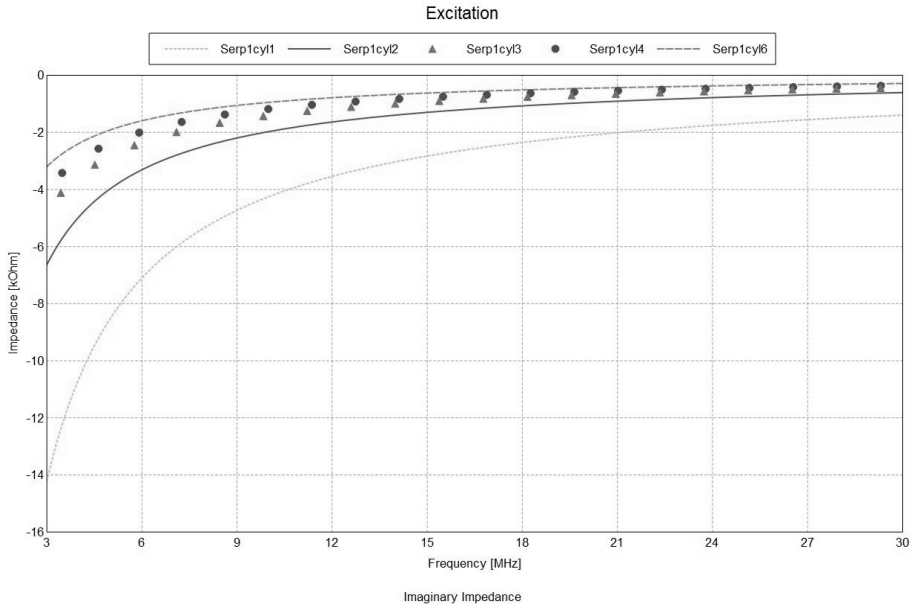

Рис. 5. Мнимая часть входного сопротивления синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 1-й итерации

Таким образом, результаты расчетов синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского в 1-й итерации позволяют охарактеризовать вариант *д* (*Serp1cyl1*) как наилучший для использования в КВ-диапазоне.

Проанализируем параметры антенн в КВ-диапазоне для вариантов 2-й итерации (рис. 6).

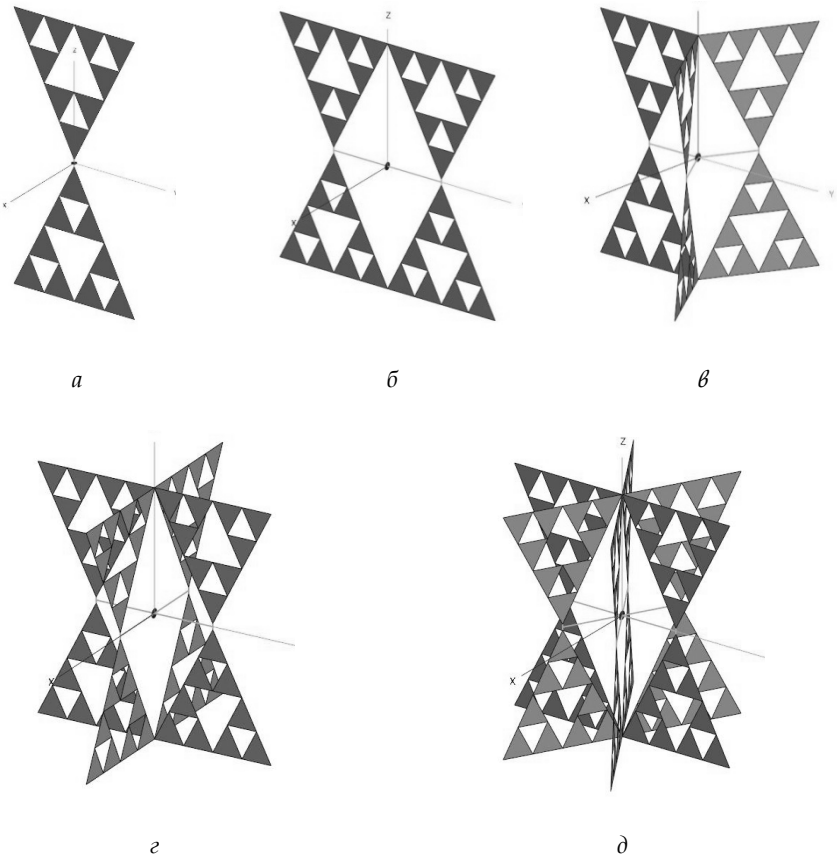

Рис. 6. Синфазная дипольная антенна с фракталом Серпинского 2-й итерации: *а* — одиночный диполь (*Serp2cyl1*); *б* — два диполя (*Serp2cyl2*); *в* — три диполя (*Serp2cyl3*); *г* — четыре диполя (*Serp2cyl4*); *д* — шесть диполей (*Serp2cyl6*)

Расчет параметров синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 2-й итерации в диапазоне от 3 до 30 мГц показывает следующие результаты:

— коэффициент отражения варьируется в пределах 0—0,0005, что соответствует удовлетворительной работе всех вариантов антенн (рис. 7);

— активная часть входного сопротивления для исследованных вариантов соответствует наилучшим показателям для варианта *д* (*Serp2cyl6*): в КВ-диапазоне сопротивление изменяется от 1 до 30 Ом (рис. 8);

— реактивная часть входного сопротивления имеет наилучшие показатели для варианта *д* (*Serp2cyl6*): в КВ-диапазоне сопротивление изменяется от 1 до –3 Ом (рис. 9).

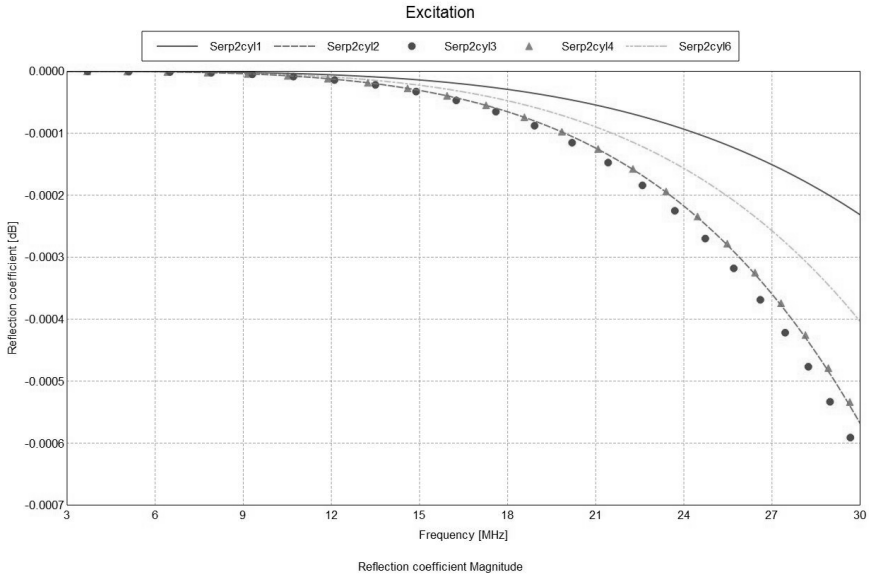

Рис. 7. Коэффициент отражения по входу синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 2-й итерации

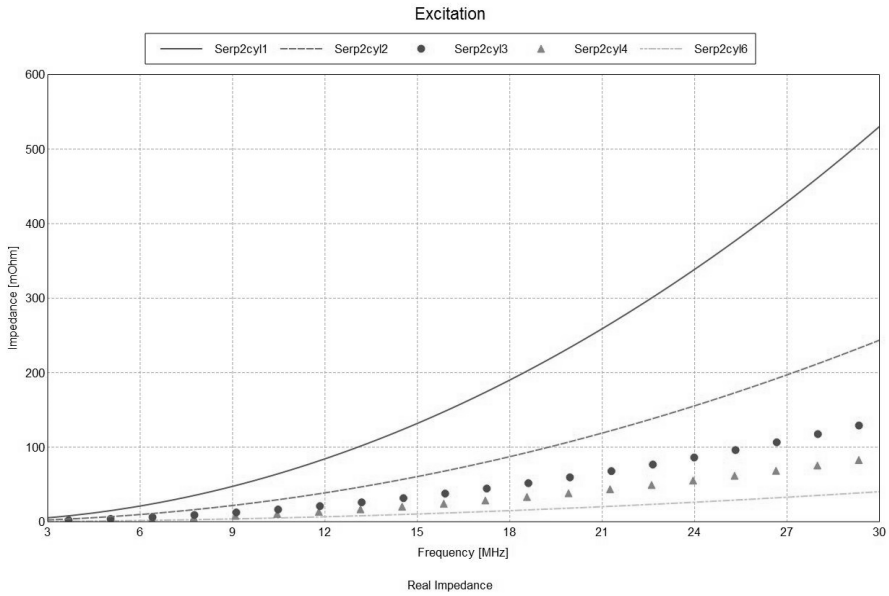

Рис. 8. Активная часть входного сопротивления синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 2-й итерации

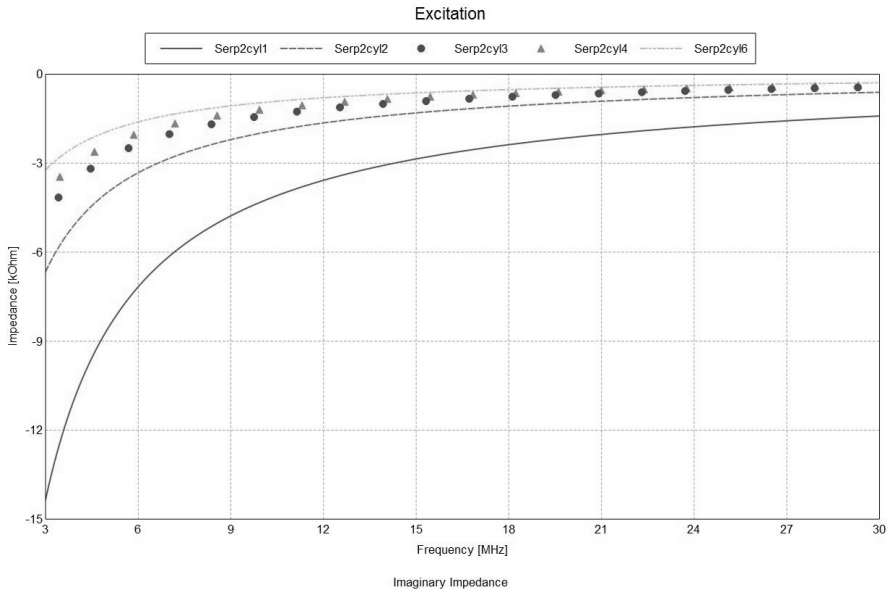

Рис. 9. Мнимая часть входного сопротивления синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 2-й итерации

Таким образом, анализ расчетов синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 2-й итерации также позволяет выделить вариант *д* (*Serp2cyl6*) в качестве оптимального для использования в КВ-диапазоне.

Исследуем параметры антенны в КВ-диапазоне для вариантов 3-й итерации (рис. 10).

Расчеты для синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 3-й итерации в диапазоне от 3 до 30 мГц дают следующие результаты:

— коэффициент отражения варьируется в пределах 0—0,0005, что соответствует удовлетворительной работе всех вариантов антенн (рис. 11);

— активная часть входного сопротивления для исследованных вариантов имеет наилучшие показатели для варианта *д* (*Serp3cyl6*): в КВ-диапазоне сопротивление изменяется от 1 до 30 Ом (рис. 12);

— реактивная часть входного сопротивления имеет наилучшие показатели также для варианта *д* (*Serp3cyl6*): в КВ-диапазоне сопротивление изменяется от 1 до –3 Ом (рис. 13).

Таким образом, исследование возможных конструкций синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского в 3-й итерации позволяет оценить вариант *д* (*Serp3cyl6*) как наилучший для использования в КВ-диапазоне.

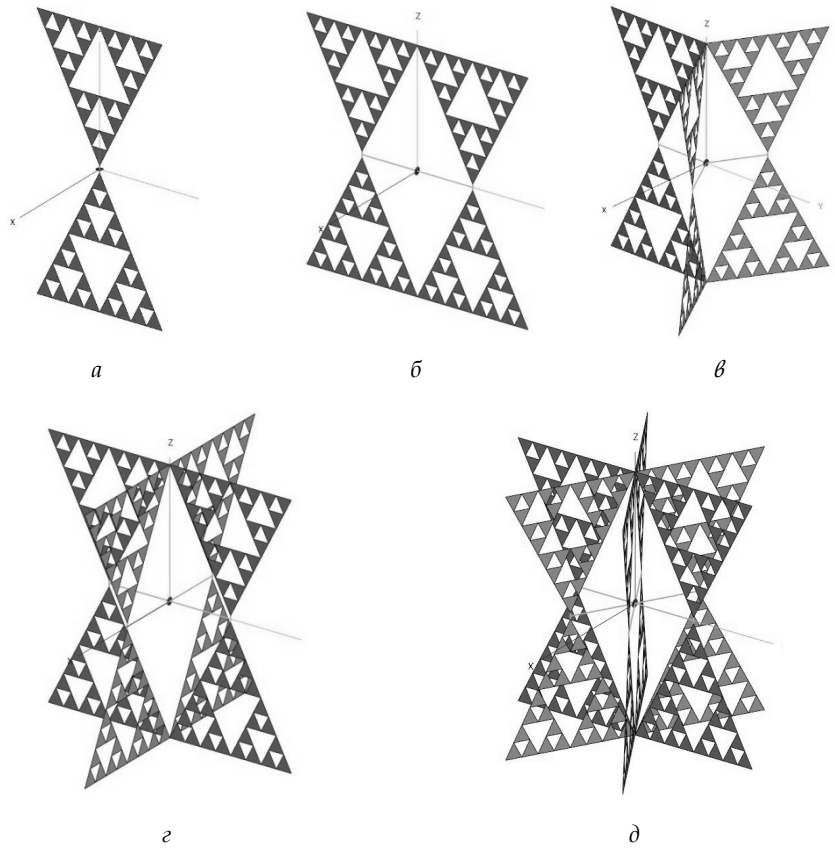

Рис. 10. Синфазная дипольная антенна с фракталом Серпинского 3-й итерации: *а* — одиночный диполь (*Serp3cyl1*); *б* — два диполя (*Serp3cyl2*); *в* — три диполя (*Serp3cyl3*); *г* — четыре диполя (*Serp3cyl4*); *д* — шесть диполей (*Serp3cyl6*)

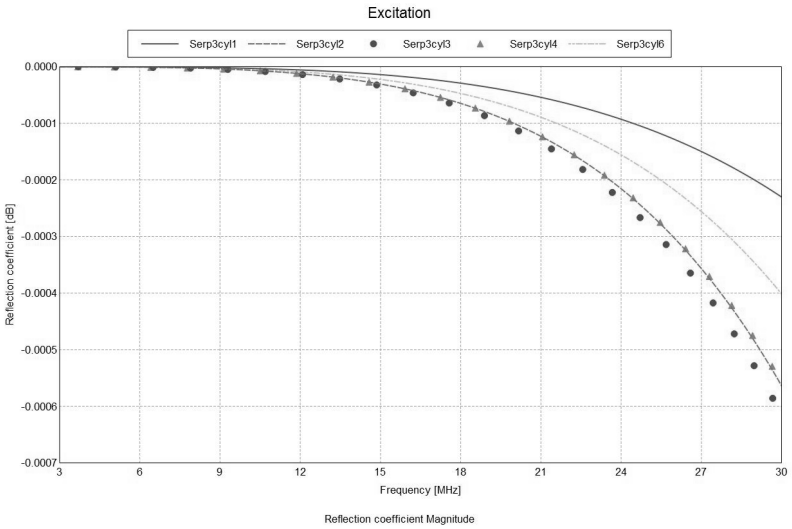

Рис. 11. Коэффициент отражения по входу синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 3-й итерации

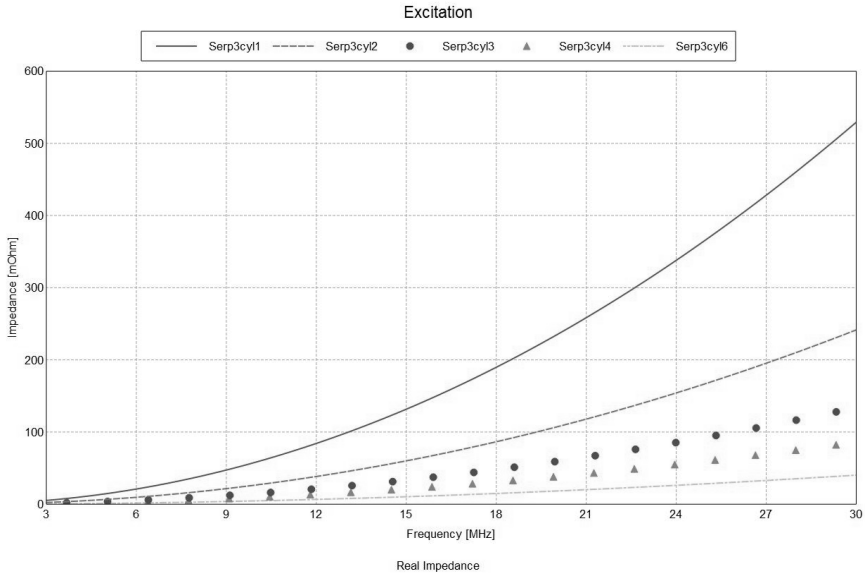

Рис. 12. Активная часть входного сопротивления синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 3-й итерации

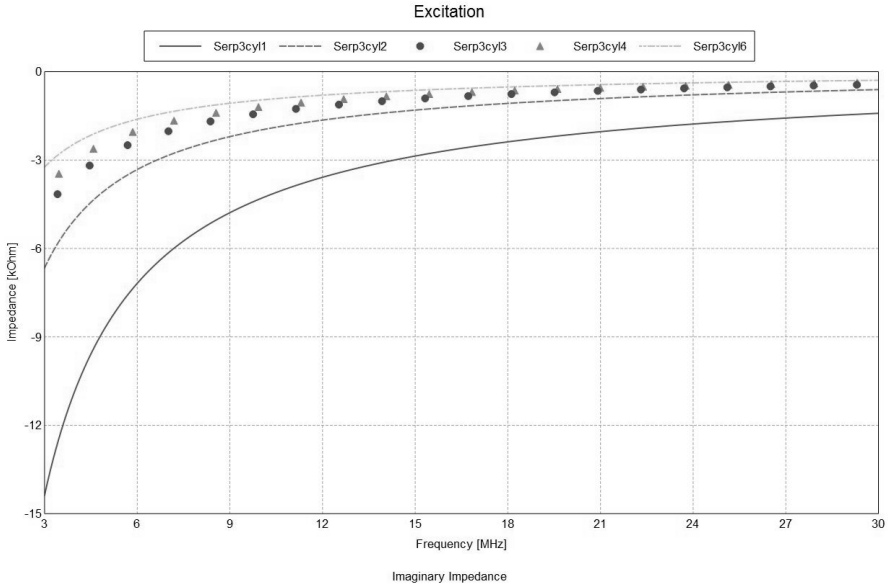

Рис. 13. Мнимая часть входного сопротивления синфазных дипольных антенн с фракталом Серпинского 3-й итерации

Анализ результатов расчетов характеристик синфазных дипольных антенн, фрактализованных при помощи конструкции «треугольник Серпинского», позволяет сделать следующие выводы:

— параметры антенн в 1-й итерации имеют достаточно большие разбросы;

— оптимальные параметры во 2-й и 3-й итерациях имеют антенны, построенные на основе шести диполей с фракталом Серпинского, — (*Serp2cyl6*) и (*Serp3cyl6*);

— параметры для 2-й (*Serp2cyl6*) и 3-й (*Serp3cyl6*) итераций практически идентичны, поэтому данные варианты являются предпочтительными для использования в антенных системах коротковолнового диапазона. Дальнейшее усложнение конструкции антенн нецелесообразно.

Список литературы

1. *Dargham K.N., Jaber S.A., Raad S.F.* Design and Simulation of RFID Aperture Coupled Fractal Antennas // Int. J. Eng. Bus. Manag. 2012. Vol. 4. P. 1—14.

2. *Mehdipour A., Rosca I.D., Sebak A.R. et al.* Full Composite Fractal Antenna Using Carbon Nanotubes for Multiband Wireless Applications // IEEE Antennas Wirel. Appl. 2010. Vol. 9. P. 891—894.

3. *Soh P.J., Vandenbosh G.A.E., Ooi S.L., Husna M.R.N.* Wearable Dual-Band Sierpinski Fractal PIFA Using Conductive Fabric // Electron. Lett. 2011. Vol. 47, iss. 6. P. 365—367.

4. *Vinoy K.J., Pal A.* Dual-Frequency Characteristics of Minkowski-Square Ring Antennas // IET Microw. Antennas Propag. 2010. Vol. 4, iss. 2. P. 219—224.

5. *Stutzman W.L., Tiele G.A.* Antenna Theory and Design. N. Y., 2013.

6. *Слюсар В.* Фрактальные антенны. Принципиально новый тип «ломанных» антенн. Ч. 2 // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2007. №6. С. 82—89.

7. *Puente-Baliarda C.* On the Behavior of the Serpinski Multiband Fractal Antenna // IEEE Transact. Of Antennas Propagation. 1998. Vol. 46. P. 517—524.

8. *Пониматкин В.Е, Типикин А.А, Казаков А.В., Подлубная Г.С.* Дипольная антенна с модифицированной фрактальной структурой типа «треугольник Серпинского» // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2017. №2. С. 63—68.

Об авторах

Владимир Сергеевич Пименов — преп., Калининградский филиал Военного учебно-научного центра Военно-морского флота «Военно-морская академия», Россия.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Виктор Ефимович Пониматкин — канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Андрей Алексеевич Шпилевой — канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Вадим Сергеевич Кобыляков — магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

The authors

Vladimir S. Pimenov, Lecturer, Kaliningrad Branch of Military Educational and Scientific Centre «Naval Academy», Russia.
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Dr Viktor E. Ponimatkin, Senior Research Fellow, I. Kant Baltic Federal University, Russia.
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Dr Andrey A. Shpilevoy, Associate Professor I. Kant Baltic Federal University, Russia.
E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

Vadim S. Kobyliakov, Master's Student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.
E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru