

# SENS ' 2 0 0 6

Second Scientific Conference with International Participation  
SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY  
14 – 16 June 2006, Varna, Bulgaria

---

## АНТЕНИ И АНТЕННИ РЕШЕТКИ С ФРАКТАЛОПОДОБНА СТРУКТУРА – ХАРАКТЕРНИ ОСОБЕНОСТИ И ВЪЗМОЖНИ ПРИЛОЖЕНИЯ

**Стилиян Л. Луков**

*Институт за космически изследвания – БАН,  
ул. "Акад. Г. Бончев", бл. 3, 1113 София, България*

## ANTENNAS AND ANTENNA ARRAYS WITH FRACTALLIKE STRUCTURE – A SPESIAL FEATURE AND POSSIBLE APPLICATION

**Stylian L. Lukov**

*Space Research Institute, Buldarian Academy of Sciences (BAS),  
Acad G. Bonchev Str., bl.3, 1113 Sofia, Bulgaria*

**Keywords: antenna, antenna arrays, fractals, fractal structures**

### **Abstract**

*The general principles for construction of a new type antenna systems – the antennas and antenna arrays with fractallike structure are examined in the report. The first antennas of this type are suggested quite lately over ascendancy of the examinations in the fractals in the mathematics. Turn out, the fractal antennas and arrays are very essentially priority over the conventional antennas. This raises the interest for our application in the correspondence regions – the communications, navigations, the radar systems and others. In this reason, the possibility of practical realization of the fractal antennas are considered too in the report.*

### **1. Въведение**

Аntenите и антенните решетки с фракталоподобна структура (ФПС) са един нов тип антенни системи, които бяха предложени съвсем наскоро под влияние на откритието на фракталната геометрия и фракталните структури в математиката и физиката [1-4]. Оказва се, че новият тип антени имат редица предимства в сравнение с традиционните ("гладки") антени, което позволява да се разширят още повече възможностите и областта на приложение на антенните системи в различните видове радиоапаратури.

Въпреки скорошното начало на изследванията на антените с ФПС, публикациите и изобретенията в тази област бързо нарастват, което говори за повишения интерес на специалистите към този тип антени [4-6]. В същото време тук съществуват множество нерешени проблеми, което разкрива широки възможности за изследователска и

приложна дейност. Това налага предварително изясняване на характерните особености на антените с ФПС и насочване на усилията в перспективни направления с оглед евентуалното приложение на новия тип антени в разработваните у нас апаратури.

## 2. Антени с фракталоподобна структура

Тук се имат предвид антени, които имат цялостна структура и могат да се употребяват, както самостоятелно, така и в състава на по-сложни системи – например, като облъчватели на огледални антени, като отделни елементи на антенни решетки и пр. Тогава, в най-общ аспект, под антени с ФПС ще подразбираме такива антени, чиято геометрия се строи по подобие на геометрията на фракталите, имащи единна (свързана) структура. Такива, например, сред известните класически фрактали са “снежинката на Кох”, “салфетката на Серпински” и др. [3].

От друга страна, с термина “фракталоподобен” се подчертава едновременно приликата на разглежданите антенни структури с класическите математически фрактали и отличието им от тях. В литературата се употребяват за тази цел и други понятия, например, “осечени” (“орязани”) фрактали [3], “физически” фрактали [4] и др. Съпоставянето на математическите (“идеални”) и физическите (“реални”) фрактали е посочено отчетливо в [4, Гл. 3, &3].

В съответствие с определението на фракталите [1], можем да посочим, че най-съществена особеност на антените с ФПС е тяхната йерархична самоподобна структура, която се строи на базата на рекурсивен алгоритъм с краен брой итерации. При това, на определен етап се извършва спиране на движението към все по-малки елементи, т.е. “осичане на фрактала отдолу”. Следва да отбележим, че освен отдолу, е възможно и осичане на фрактала “отгоре”, т.е. изпускане на началните елементи и замаяната им с елементи от следващите итерации с цел регуляризация на структурата. Такава операция в литературата не е описана, но същата може да се окаже твърде полезна при конструирането на антената, ако при спазване на точния алгоритъм нейната геометрия се оказва твърде негладка.

Самият алгоритъм за построяване на фрактала може да бъде основан на просто геометрично правило, както е при класическите фрактали, така и по-сложен, чрез съответна компютърна реализация [3].

Друга особеност на антените с ФПС, която е свързана с т.н. фрактална размерност на образуващите фрактали, е междинното положение, което тези антени заемат спрямо традиционните гладки антени. Така, една линейна фрактална антена вече не може да се счита за строго линеен излъчвател, а заема междинно положение между линеен и повърхностен излъчвател, а една повърхностна фрактална антена е всъщност междинна спрямо повърхностен и обемен излъчватели.

Очевидно, голямото разнообразие на алгоритмите за построяване на фракталите ще се отразява и върху многообразието на антените с ФПС. При това, тези антени могат да бъдат от различен тип в зависимост от: изходната топологична размерност - линейни (праволинейни и криволинейни); повърхностни (плоски и непlosки); алгоритъма на фрактала: класически, компютърен и пр.; технологията на изготвяне: проводникови, микролентови и т.н. начина на възбуждане: монополни, диполни, мултиполни и пр.

Възниква резонния въпрос – какви предимства дават фракталните антени в сравнение с традиционните “гладки” (или още “евклидови”) антени, т.е. какви проблеми на антенната техника могат да бъдат решени с тяхното приложение?

Опирайки се на досегашните изследвания [4] можем да посочим, че основно предимство на антените с ФПС е възможността да се постигне още по-голяма широколентовост в сравнение дори и с широко известните широколентови и честотнезависими антени (логопериодични, спирални и пр.). Причина за това е самоподобие на структурата на фракталните антени и наличието на безкрайно много (на практика – голям брой) мащаби в нея.

Друго предимство на антените с ФПС е допълнителната възможност за управление на диаграмата на насоченост (ДН) чрез изменение на фракталната структура. Това позволява да се придвижим напред в решаването на проблема за създаване на “изотропен” излъчвател, проблема за намаление на влиянието на проводящото тяло, върху която е разположена антената и пр.

Посочените предимства на антените с ФПС обуславят повишения интерес към тях с оглед приложението им в различните видове радиотехнически системи с наземно, въздушно и космическо базиране и пр.

Във връзка с горепосочените приложения, твърде перспективно е използването на микролентови антени с ФПС, които по принцип са миниатюрни и могат да се вписват в геометрията на тялото, върху което са разположени - фюзелаж на самолет, корпус на ракета или снаряд и пр.

В литературата [4] се привеждат резултати от теоретичното и експериментално изследване на микролентови антени, построени на базата на класическия фрактал тип “снежинка на Кох”. Един вариант на такава антена с монополно възбуждане, разположена върху проводяща плоскост е изобразен на фиг 1а. Фракталната размерност на образуващия линеен фрактал, в случая - “снежинката на Кох”, както е известно [3], е дробна

$$D=\log 4 / \log 3 \approx 1,2618. \quad (1)$$

Обаче, ако тази антена се строи чрез осичане отгоре (първата итерация) на същия фрактал, то тя има вида, посочен на фиг. 1b., като фракталната ѝ размерност също е дробна, но с намалена стойност

$$D=\log 12 / \log 9 \approx 1,1309. \quad (2)$$

Това е естествено, тъй като чрез процедурата на осичане отгоре фрактална крива се изглажда и се приближава към изходната гладка линия.

Възможно е построяване на фрактална антена, чийто образуващ фрактал е повърхностен. Един такъв фрактал може да бъде построен по аналогия с фрактала “снежинка на Кох”, като за начален елемент вместо отрязък от права се вземе плоска фигура – равностранен триъгълник и върху него се построяват “издатъци” във формата на тетраедри със все по-малки размери. Такъв фрактал не е описан в литературата. Той образно може да бъде наречен “зъбер” и неговата фрактална размерност е

$$D=\log 6 / \log 2 \approx 2,5850. \quad (3)$$

Вариант на антена, построена на базата на фрактала “зъбер”, с монополно възбуждане върху проводяща плоскост е посочен на фиг. 2а.

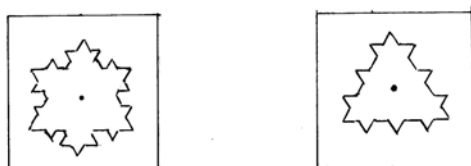
Друг вариант на тази антена на базата на осечен отгоре (първата итерация) фрактал “зъбер” е изобразен на фиг 2b.

В този случай фракталната размерност естествено се намалява

$$D = \log 28 / \log 4 \approx 2,4037.$$

(4)

Представява интерес по-нататъшното теоретично и експериментално изследване на антени от този тип, които по принцип биха могли да бъдат изготвени, например, по модел чрез галванична метализация.

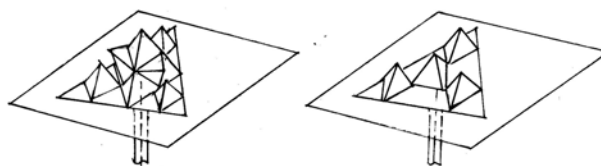


a)

b)

фиг.1

Микролентови фрактали антени, построени на базата на стандартен (a) и осечен отгоре (b) фрактал тип “снежинка на Кох”



a)

b)

фиг.2

Фрактални антени, построени на базата на фрактал тип “зъбер” (a) и “осечен зъбер” (b)

### 3. Антени решетки с фракталоподобна структура

Тук, подобно на предната точка, ще определим антенните решетки (АР) с ФПС като решетки, чиято геометрия, т.е. начин на разположение на елементите и схема на тяхното възбуждане, а също така и разпределението на амплитудите и фазите на възбуждането, наподобява (прилича) на известните фрактални структури.

Оттук проличава, че са възможни различни видове АР с ФПС: АР с фракталоподобно разположение и възбуждане на елементите; АР с фракталоподобен закон на разпределение на амплитудите и фазите (възможно и на поляризацията) на възбуждането; смесени АР.

Към тази класификация се прибавя и стандартната класификация в зависимост от изходната топологичната размерност – линейни (праволинейни и криволинейни) и повърхностни (плоски и изпъкнали) АР.

Ще посочим накратко характерните особености на АР с ФПС в сравнение с традиционните решетки.

На първо място тук проличава йерархичния характер на структурата на решетката, която се състои от отделни субрешетки с намаляващи размери и с йерархична схема на възбуждане (“фрактално дърво”) [4]. В това отношение фракталните АР приличат на нееквидистантните решетки, като разположението на елементите има детерминиран хаотичен характер. В по-общия случай върху детерминирания закон може да бъде наложена и случайна компонента [4].

Втора особеност на АР с ФПС е посочения по-горе детерминиран фрактален закон на разпределение на възбуждането на елементите. Тук също по принцип може да присъствува и случайна компонента.

Ще отбележим и възможностите за решаване на определени въпроси на антенната техника с помощта на АР с ФПС. На първо място тук следва да се отбележи възможността за построяване на разредени АР – проблем, съществуващ при големите решетки, където за намаление на броя на елементите без съществено влошаване на характеристиките на насоченост традиционно се прилага метода на изваждане на елементи по случаен закон. На второ място, чрез прилагане на съответен фрактален закон на възбуждане на АР възникват допълнителни възможности за синтез на антените по зададена диаграма на насоченост. На базата на този метод могат да бъдат синтезирани, както линейни, така и повърхностни решетки.

В литературата [6] се описва метод за синтез на плоска многокръгова АР на базата на обобщени фрактални функции на Вайерщрас. При това множителят на решетката, получаващ се чрез сумиране на полетата на отделните концентрични кръгови субрешетки, се представя като

$$g_N(u) = \sum_{n=1}^N \eta^{(D-2)n} J_0(\eta^n u), \quad (5)$$

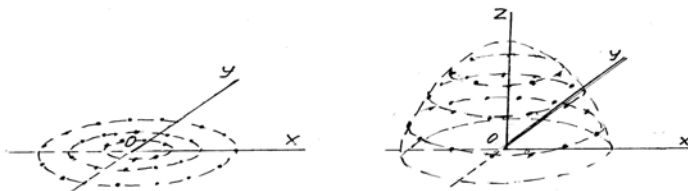
където  $I_n = \eta^{(D-2)n}$  – амплитуда на тока на  $n$ -тия пръстен,  $1 < D < 2$ ,  $\eta > 1$ ,  $J_0(\eta^n u)$  – беселова функция от нулев ред,  $N$  – брой на пръстените.

Този метод може да бъде обобщен, като отделните концентрични кръгови подрешетки вместо на плоскост (фиг.3 а) се разместват в пространството (фиг.3 б). В този случай множителят на решетката следва да се определя от двойната сума

$$g_{MN}(u) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \mu^{(P-2)m} \eta^{(D-2)n} K(\mu^m u) J_0(\eta^n u), \quad (6)$$

където  $K(\mu^m u)$  задава амплитудите на отделните пръстени,  $1 < P < 2$ ,  $\mu > 1$ .

По този начин е възможно да се синтезират непlosки (изпъкнали “конформни”) АР, предимствата на които са възможността за широкоъгълно сканиране на лъча, възможността за вписване в геометрията на тела, върху които са разположени, например, фюзелаж на самолет [7].



a) b)

фиг.3

Фрактални антенни решетки, съставени от концентрични кръгови субрешетки, разположени на плоскост (a) и в пространството (b)

#### 4. Заключение

В доклада са разгледани характерните особености на антените и антенните решетки с фракталоподобна структура. Посочени са основните предимства на тези антени и тяхното възможно приложение в радиотехническите апаратури с гражданско и военно приложение. Обсъжда се и възможността за развитие и обобщение на известните методи за построяване на разглеждания тип антени с оглед перспективите за тяхното приложение в разработваните у нас апаратури и системи.

#### Литература:

- 1.Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature, N.Y. Freeman, 1982, 468 p.
- 2.Bunde A., Halvin S., Fractals in Science, Berlin, Springer-Verlag, 1995, 298 p.
- 3.Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах, Основы теории, пер. с англ., Москва, Постмаркет, 2000р 352 с.
- 4.Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки, Москва, "Университетская книга", 2005, 847 с.
- 5.Borja C., Romeu J. On the Behavior of Koch Island Fractal Boundary Microstrip Patch Antenna //IEEE Trans., 2003, v.AP-51, 6, p. 1281-1291.
- 6.Liang X., Zhensen W., Wenbung W. Synthesis of Fractal Pattern from Concentric-Ring Arrays //Electron Lett. 1996, v. 32, 21, p. 1940-1941.
- 7.Луков С.Л., Томова Д.И. Характерни особености в използването на конформни фазиращи антенни решетки в авиационните сателитни комуникационни системи, Сб. докл. на Юбил. Науч. Сесия "10 години катедра Възд. транспорт", Технич университет, София, 01-03 Октомври 2003.