

一种新型分形印刷对称振子的设计

朱 莉, 高向军, 赵海洲, 李亚明

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘 要:研究了一种新型分形曲线,并利用其设计了新型分形印刷对称振子,对它的谐振频率特性和辐射方向图特性进行了研究。利用迭代函数系描述了一种新型分形曲线的生成,并给出了该分形曲线相似维数的表达式。将一阶新型分形曲线应用到印刷对称振子的小型化设计中,仿真结果表明:在不影响对称振子辐射特性的基础上,新型分形印刷对称振子较同等条件下的半波印刷对称振子能够实现 81.5% 的尺寸缩减。因此,该新型分形曲线在印刷对称振子小型化领域具有较大的研究价值。

关键词:印刷对称振子;小型化;分形

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.06.011

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)06-0052-04

对称振子是天线工程技术中应用最广泛的天线。在通信、广播、电视、雷达、导航、遥测、遥感等无线电应用系统中均有应用。印刷对称振子和圆柱对称振子相比,具有剖面低、体积小、重量轻、成本低、便于集成和组成阵列等特点^[1-6],受到越来越多的无线电应用系统设计者的青睐。然而随着无线电应用系统的飞速发展,人们对无线电应用系统小型化提出了更高的要求,印刷对称振子作为无线电应用系统的关键部件,自然也面临着小型化的严峻挑战。

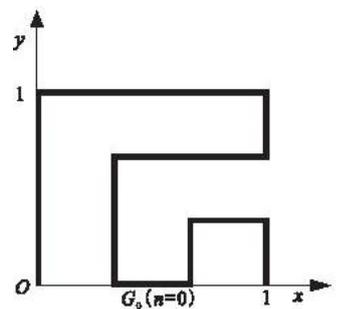
由于具有分形结构的物体都具有空间填充性,如果把分形的这种特性应用到天线设计上,就可以转化为天线的尺寸缩减性。因此分形正成为满足未来产品小型化要求的一种有效方法。目前,国内外的许多研究者对 Koch 曲线单极子^[7]、3/2Curve 分形对称振子^[8]、Hilbert 分形对称振子^[9]以及树状分形单极子^[10]等几种具有典型分形结构的天线做了大量的研究工作,实验已证实这些分形天线普遍具有尺寸缩减性。

本文研究了一种新型分形曲线,并利用其设计了新型分形印刷对称振子,对它的谐振频率特性和辐射方向图特性进行了研究。

1 新型分形曲线的迭代生成

由于大部分分形结构都是由一些与整体以某种方式相似的部分组成的,所以利用迭代函数系来描述分形曲线的生成既简单又方便,因此这里利用迭代函数系描述新型分形曲线的生成如下:该曲线的初始元(G_0)是一条如图 1 所示的折线。

用数学表达式可以表示为:



1 新型分形曲线的初始元

Fig. 1 Initialization of the novel fractal curve

* 收稿日期:2010-03-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60971118)

作者简介:朱 莉(1980-),女,上海人,讲师,博士,主要从事微波技术与天线研究. E-mail:zb-821@163.com

$$G_0 = \begin{cases} y \in [0, 1], x = 0 \\ x \in [0, 1], y = 0 \\ y \in [2/3, 1], x = 1 \\ x \in [1/3, 1], y = 2/3 \\ y \in [0, 2/3], x = 1/3 \\ x \in [1/3, 2/3], y = 0 \\ y \in [0, 1/3], x = 2/3 \\ x \in [2/3, 1], y = 1/3 \\ y \in [0, 1/3], x = 1 \end{cases} \quad (1)$$

该新型分形曲线的迭代函数系为: $W(G_n) = w_1(G_n) \cup w_2(G_n) \cup w_3(G_n) \cup w_4(G_n)$ 。式中:

$$w_1(G_n) = \begin{bmatrix} \frac{2^{n+2}-1}{2^{n+3}-1} & 0 \\ 0 & \frac{2^{n+2}-1}{2^{n+3}-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 - \frac{2^{n+2}-1}{2^{n+3}-1} \end{bmatrix}, (x, y) \in G_n \quad (2)$$

$$w_2(G_n) = \begin{bmatrix} -\frac{2^{n+2}-1}{2^{n+3}-1} & 0 \\ 0 & \frac{2^{n+2}-1}{2^{n+3}-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 - \frac{2^{n+2}-1}{2^{n+3}-1} \end{bmatrix}, (x, y) \in G_n \quad (3)$$

$$w_3(G_n) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{2^{n+2}-1}{2^{n+3}-1} \\ \frac{2^{n+2}-1}{2^{n+3}-1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, (x, y) \in G_n \quad (4)$$

$$w_4(G_n) = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{2^{n+2}-1}{2^{n+3}-1} \\ \frac{2^{n+2}-1}{2^{n+3}-1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, (x, y) \in G_n \quad (5)$$

由此可见,生成的前两阶新型分形曲线的形式见图 2。

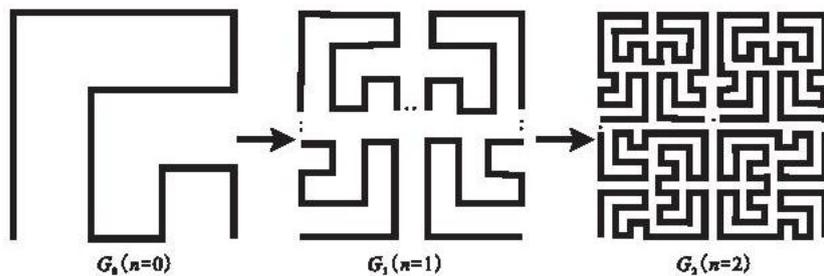


图 2 前两阶新型分形曲线的迭代生成

Fig. 2 Iteration of the novel fractal curve

由于分形曲线的相似维数能够有效地度量分形曲线的空间填充性,维数的不同表明了曲线占据空间的利用率不同,所以下面给出新型分形曲线的相似维数如下:

$$D_s(G_n) = \frac{\ln \left[\frac{(4^{n+2}-1)}{(4^{n+1}-1)} \right]}{\ln \left[\frac{(2^{n+2}-1)}{(2^{n+1}-1)} \right]}, n = 1, 2, \dots \quad (6)$$

式中 n 是新型分形曲线的阶数。

从式(6)可以看出,新型分形曲线的相似维数随着曲线阶数的增加而增大。当新型分形曲线为理想的新颖分形曲线时,即 $n \rightarrow \infty$ 时,其相似维数趋于 2。此时曲线将填满整个平面区域。

2 新型分形印刷对称振子的仿真设计

由于二阶以上的分形曲线相对复杂且小型化效果不再明显,所以这里只利用一阶新型分形曲线设计新型分形印刷对称振子。这里所要设计的新颖分形印刷对称振子的结构及尺寸见图3。图3中的线代表了新型分形印刷对称振子的中线,振子的实际线宽为1.5 mm,该振子印制在介电常数为9.6厚度为0.65 mm的微波复合介质板上。利用 Ansoft HFSS 软件对该振子进行仿真,得到它的反射损耗仿真结果见图4。

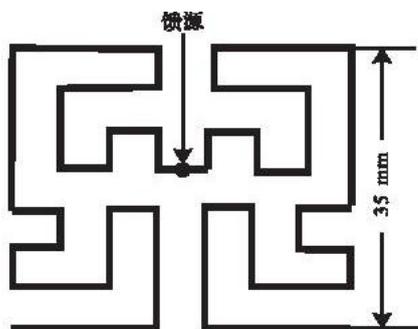
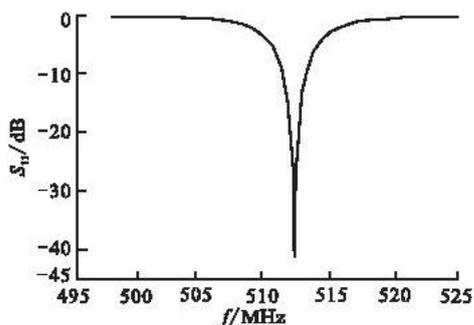


图3 新型分形印刷对称振子

Fig. 3 The novel fractal printed dipole



4 新型分形印刷对称振子的反射损耗仿真结果

Fig. 4 Computed return loss S_{11} of the dipole

从图4中可以看出,新型分形印刷对称振子的谐振频率为513 MHz。为了进行比较,利用 Ansoft HFSS 软件对相同条件(同等横向长度和线宽、同一块微波复合介质板)下的半波印刷对称振子进行仿真,得到半波印刷对称振子的谐振频率为2.76 GHz,由此可见,新型分形印刷对称振子能够实现81.5%的尺寸缩减。

图5给出了新型分形印刷对称振子在513 MHz时的辐射方向图仿真结果。从图5中可以看出,新型分形印刷对称振子工作在513 MHz时,其辐射方向图和半波印刷对称振子的辐射方向图类似,振子在E面的 $\pm 90^\circ$ 上有最大辐射,在H面上为全向辐射(不圆度小于0.67 dB),主辐射方向上振子的交叉极化较小,尤其是H面,其交叉极化低于-36 dB,以至于在图上显现不出来。因此,利用一阶新型分形曲线设计新型分形印刷对称振子不仅能够实现很强的尺寸缩减,而且也不会破坏振子的辐射特性。

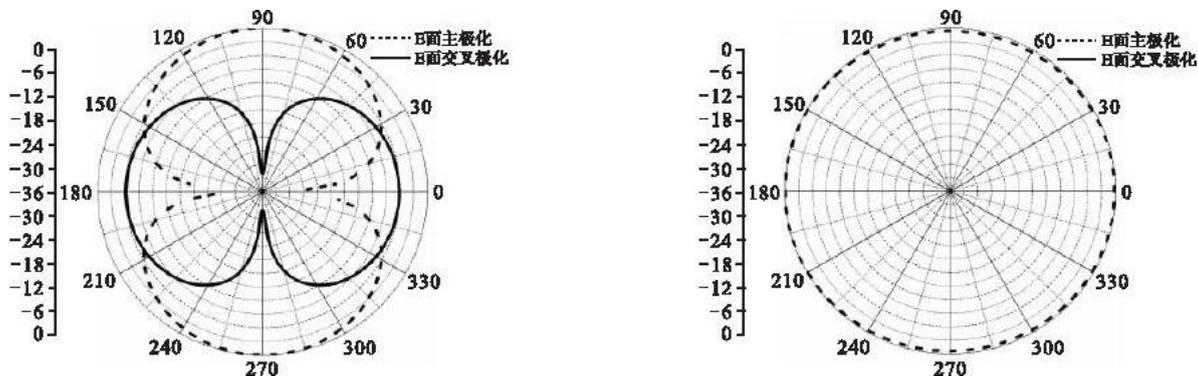


图5 新型分形印刷对称振子在513 MHz时的辐射方向图仿真结果

Fig. 5 Computed plot of the novel fractal printed dipole at 513 MHz

3 结束语

本文所设计的新颖分形印刷对称振子在辐射方向图没有影响的情况下,较之传统的半波印刷对称振子能够实现81.5%的尺寸缩减,这是目前其它分形印刷对称振子所达不到的,因此该新型分形曲线在印刷对称振子小型化领域具有很大的研究价值和广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Fujimoto F, James J R. Mobile Antenna System Handbook[M]. Boston: Artech House, 1994.
- [2] Bayard J R, Cooley M E, Schaubert D H. Analysis of Infinite Arrays of Printed Dipoles on Dielectric Sheets Perpendicular to A Ground Plane[J]. IEEE Trans Antennas and Propagation, 1991, 39(12): 1722 – 1732.
- [3] Douglas H, Werner, Suman Gangu. An Overview of Fractal Antenna Engineering Research[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2003, 45(1): 38 – 56.
- [4] Xi Li, Xiao Xing Yin, Tie Jun Cui, et al. A New Version of Printed Sierpinski Multiband Fractal Antenna [J]. IEEE Trans. Antennas and Propagation, 2004, 52(10): 3457 – 3460.
- [5] John P, Gianvittorio, Yahya Rahmat Samii. Fractal Yagi Antennas; Design, Simulation, and Fabrication [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2004, 41(5): 375 – 380.
- [6] 李明晶. 分形天线技术及其应用[J]. 制导与引信, 2005, 26(4): 39 – 42.
LI Mingjing. The Development and Application of Fractal Antennas[J]. Guidance & Fuze, 2005, 26(4): 39 – 42. (in Chinese)
- [7] Puente C, Romeu J, Cardama A. The Koch Monopole; A Small Fractal Antenna[J]. IEEE Trans on Antenna Propagat, 2000, 48(11): 1773 – 1781.
- [8] 尤启迪. 几种分形技术在天线中的应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
YOU Qidi. Application Research of Several Fractal Technologies on Antenna[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2006. (in Chinese)
- [9] Anguera J, Puente C, Soler J. Miniature Monopole Antenna Based on the Fractal Hilbert Curve[J]. IEEE International Symposium on Antennas and Propagation Digest, 2002, 4(5): 546 – 549.
- [10] 徐良. 若干宽频带天线及分形天线的分析研究 [D]. 西安: 西安交通大学, 1997.
XU Liang. The Research of Several Broadband and Fractal Antenna[D]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University, 1997. (in Chinese)

(编辑: 田新华)

Design of A Novel Fractal Printed Dipole

ZHU Li, GAO Xiang – jun, ZHAO Hai – zhou, LI Ya – ming

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, 713800, Shaanxi, China)

Abstract: A novel fractal curve is proposed by using the Iterated Function System, and the expression of the similarity dimension is presented for the fractal curve. The one – order novel fractal curve is applied in the design of miniaturization of printed dipole, and then the miniaturized printed dipole is simulated and optimized by Ansoft HFSS. The simulation results show that the length of novel fractal printed dipole is 81.5% smaller than that of a conventional printed dipole when the features of the radiation patterns are not changed. So the novel fractal curve is of an important research value in compact printed dipole field.

Key words: printed dipole; compact; fractal