

基于分形理论的方形锯齿结构微带天线研究

张 瑜, 漆世楷, 李 莎

(河南师范大学 物理与信息工程学院,河南 新乡 443007)

摘要:构建了一种类似于 Koch 分形的带有方形锯齿结构的微带贴片天线,通过在微带贴片天线两侧加方形锯齿来研究微带贴片天线的辐射特性。随着分形阶数及所加方形锯齿数的增加,微带贴片天线表现出各种不同的特性。当所加方形锯齿达到一定数量时,微带天线可抑制高次谐波的干扰。通过 Hfss13.0 软件仿真得到了分形天线的反射系数 s_{11} 参数、电压驻波比及辐射方向图等,这些参数表明,当分形阶数为 1,2 时,天线具有倍频作用,当分形阶数为 10~20 时,天线具有明显的抑制高次谐波的能力。最后,对 10 阶分形天线进行了实物加工与测量,实验结果与仿真结果吻合较好。

关键词:分形天线;Koch 曲线;微带贴片天线;锯齿结构

中图分类号: TM615 **文献标识码:**A

Study on Square Notched Microstrip Antenna Based on Fractal Theory

ZHANG Yu, QI Shikai, LI Sha

(College of Physics and Information Engineering, Henan Normal University, Xinxiang 443007, China)

Abstract: A kind of microstrip patch antenna that similar to Koch fractal structure with a square notched structure was fabricated. Through adding square notched structure on both sides of microstrip patch antenna to study the radiation property. Along with the increase of fractal order number and the square notch number, the microstrip patch antenna shows various features. When the number of the square notch adds to a certain amount, the microstrip patch antenna can suppress the high harmonic interference. The reflection coefficient s_{11} , voltage standing wave ratio and radiation pattern of the fractal antenna have been obtained using Hfss13.0 software. The results proved that when the fractal order number is 1, 2, the antenna have a role of frequency multiplication; while the fractal order number is 10-20, the antenna can suppress the interference of higher harmonic. Finally, a 10 order fractal antenna has been fabricated and measured. The experimental results and simulation results have a good agreement with each other.

Key words:fractal antenna;Koch curve;microstrip patch antenna;notched structure

0 引言

1975 年, 法国数学家 B. Mandelbrot 提出分形概念后, 分形理论作为一门学科即被广泛的应用。其中分形天线作为具体应用之一得到广泛关注。分形天线主要分为分形线天线、分形面天线、分形体天线及分形天线阵列等^[1]。

近年来, 分形理论在微带天线领域得到了广泛的应用。利用 Minkowski 分形环设计微带天线来缩减天线雷达散射截面(RCS)^[2], 同时还能减缩单元间的耦合, 提高天线阵列的辐射性能。将分形利用到微带天线的基板开槽中, 实现了在辐射性能降低不多情况下较好地实现了整个频带 RCS 减缩效

果^[3]。利用 Fibonacci 分形树设计微带天线, 所设计的树形微带天线与未采用树形分形的微带天线相比具有很好的尺寸缩减特性和超宽带特性^[4-5]。设计了一种加袖双 Koch 分形天线, 这种分形天线比单 Koch 分形天线具有更低的谐振频率, 同时可改善天线的高频端特性^[6]。

本文利用一种类似于 Koch 分形的方法, 将工作在 2.45 GHz 的矩形微带天线的两侧宽度边长进行非规则分形处理, 利用 Hfss13.0 软件分析了不同分形阶数($n=1, 2, 3, 10$)时微带天线的反射系数 s_{11} , 最后对 1~ n 阶分形天线的 s_{11} 仿真参数进行了统计处理, 得到该类天线抑制高次谐波能力同分形

阶数的关系曲线。当 $n=1, 2$ 时, 微带天线分别在 4.9 GHz, 7.35 GHz 处有谐振点, 当 $n=3$ 时, 微带天线在 9.8 GHz 处谐振现象不明显, 相反是受到抑制。随着 n 的增加, 当 $n>10$ 时, 此时微带天线除在基频 2.45 GHz 处有很好谐振外, 高于 2.45 GHz 的高次谐波分量都得到很好的抑制。从对 1~ n 阶分形天线高次谐波抑制能力统计图可知道, 当 $n=10\sim 20$ 时天线都有良好的抑制高次谐波能力。

1 类 Koch 分形天线结构

首先根据微带天线设计方法设计一个谐振频率在 2.45 GHz 的传统的矩形微带天线(其增益在 7 dB 以上), 其结构及仿真参数如图 1 所示。微带天线长 $L=29.52$ mm, 宽 $W=41.40$ mm(经过优化), 采用 Rogers R04003 作为基板, 其相对介电常数 $\epsilon_r=3.55$, 基板高 5 mm。采用偏离坐标中心的同轴馈电方式, 馈电中心点坐标为 (9.5 mm, 0, 0), 此时在 2.45 GHz 发生谐振的天线增益为 7.4 dB, 驻波比为 1.3, $s_{11}=-17.27$ dB。类 Koch 分形方形锯齿结构的微带天线设计就是以该矩形形状作为 0 阶类 Koch 分形模型。

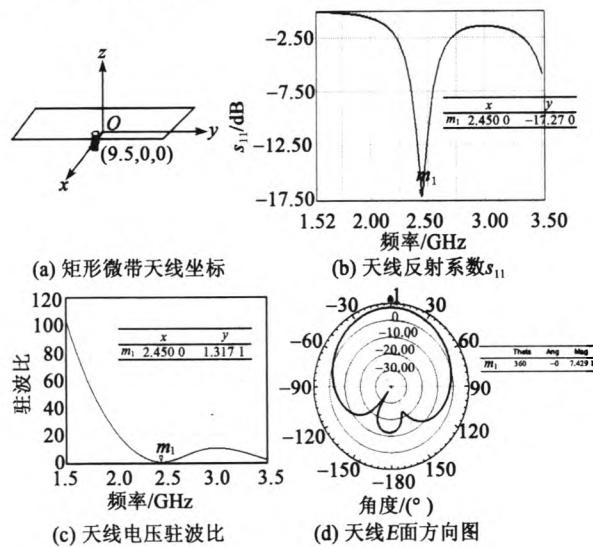


图 1 矩形微带天线及其仿真参数

严格的 Koch 分形是将一段线段平均分成 3 等分, 以中间段为边长作等边三角形或正方形完成一阶分形, 再将等边三角形或正方形的边长平均分成 3 等分, 以中间等分为边长作同样的等边三角形或正方形完成二阶分形, 依此类推直到 n 阶分形, 如图 2 所示。传统的 Koch 分形具有很强的空间填充性, 利用 Koch 分形理论来设计天线, 能够缩减天线尺寸。为了研究非规则分形对微带天线辐射性能的影

响, 采用一种类似于 Koch 分形的非规则分形, 如图 2 所示, 将一段线段平均分成 3 等分, 以中间段为边长作正方形完成一阶分形。2 阶, 3 阶分形是将线段分别平均分成 5 等分, 7 等分时, 以第偶数段为边长作正方形完成。依此类推直到 n 阶分形。

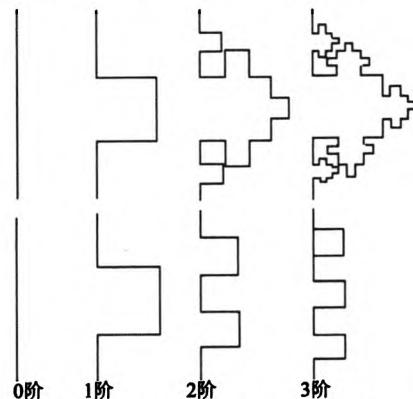


图 2 Koch 分形与类 Koch 分形结构

正是基于这种类 Koch 分形方法, 我们将矩形微带天线一侧的宽度边长作类 Koch 分形处理。根据微带天线设计理论, 当微带天线长度不变, 适当改变其宽度对微带天线的谐振频率不会有太大的影响。由此, 将微带天线的两侧宽度边长做类 Koch 分形处理, 而长度保持不变, 这样经过多次类 Koch 分形处理后, 微带天线的辐射特性变化不大。

2 类 Koch 分形天线辐射特性

在 2.45 GHz 微带天线宽度边长上作一阶类 Koch 分形, 得到的一阶分形天线的仿真参数如图 3 所示。由图可知, 微带天线谐振为 4.9 GHz 时, $s_{11}=-13.8$ dB, 增益达到 7 dB, 证明该一阶类 Koch 分形天线能将 0 阶分形天线基频倍频的作用。

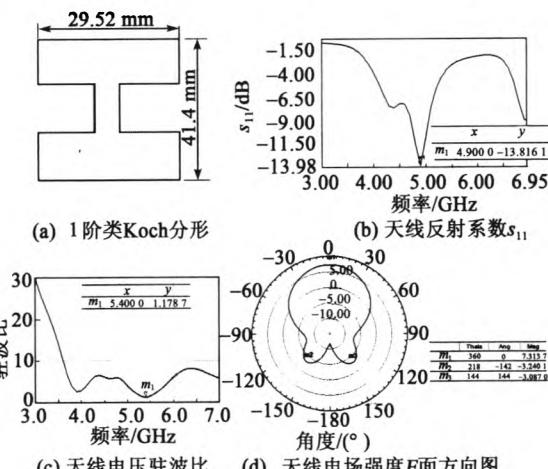


图 3 1 阶类 Koch 分形及其仿真参数

图 4(a)、(b) 分别为 2 阶类 Koch 分形天线及其

仿真参数。由图4(b)可看出,微带天线在7.3 GHz左右达到谐振,此时 $s_{11} = -7.4$ dB。从而证明此2阶类Koch分形天线也有倍频作用。由图4(b)可知,此时2阶类Koch分形天线的 s_{11} 偏大,天线的回波损耗严重,天线在7.3 GHz左右的谐振性能不好,这可能由于采用的类Koch分形方形锯齿结构有抑制高次谐波的作用。3阶类Koch分形天线及其仿真参数如图4(c)、(d)所示。由图可知,预期的2.45 GHz四倍频处的谐振点不明显,9.8 GHz处的 s_{11} 值很大,天线的回波损耗严重。

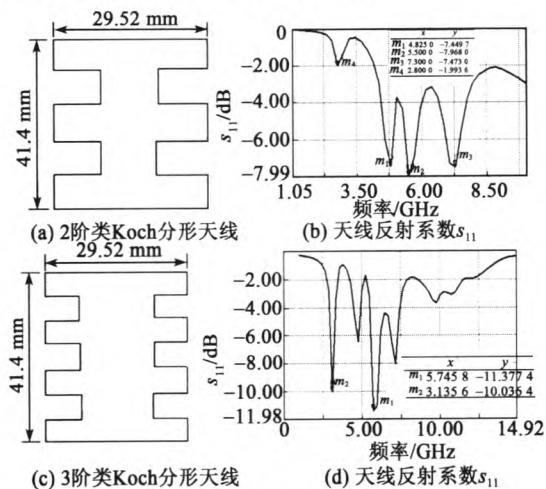


图4 2、3阶类Koch分形天线结构及其 s_{11}

随着 n 的不断增加,天线宽度两侧的直线渐渐由方形锯齿结构折线代替,该宽度辐射边长总长度没有变化,但宽度里面的间隙变小了。故采用类似Koch分形的结构,没有采用严格的Koch和Minkowski分形等典型分形结构,一方面严格的Koch和Minkowski分形主要用于天线尺寸的缩减和减少天线雷达的RCS上,另一方面采用这种非规则分形结构更有利于保持天线自身的辐射性能。采用这种非规则结构,电流在宽度边界上不再是严格的直线流动,而是沿着方形锯齿结构边界曲线流动,这有利于保持天线在原来的工作模式TM10下工作。设计 n 阶分形天线时,保持天线长度不变,采用同轴线馈电的方式馈电,根据分形的阶数适当调整馈电的位置,保证天线获得 50Ω 的匹配阻抗。

图5为0阶2.45 GHz微带天线及其仿真参数和10阶类Koch分形微带天线及其仿真参数。对2.45 GHz微带天线从1~10 GHz的进行频率扫描发现,工作在2.45 GHz的传统矩形微带天线不仅在2.45 GHz有谐振点,在更高的频点有多个谐振点,这样造成该矩形天线易受高次谐波的干扰,特别

是在无线通信技术快速发展的现代,对收发天线抗干扰的指标越来越严格,传统的简单几何形状微带天线将不能很好的适应要求。由图5(c)、(d)可看出,当采用10阶类Koch分形方形锯齿结构设计天线时,此时天线工作的中心频率为2.45 GHz,扫频范围为1~10 GHz,通过仿真获得到的 s_{11} ,从图5(b)可看出,此时天线在2.45 GHz频率有唯一的谐振点,其他频点的高次谐波受到抑制。与传统的矩形微带天线相比,这种天线具有良好的抑制高次谐波的能力。

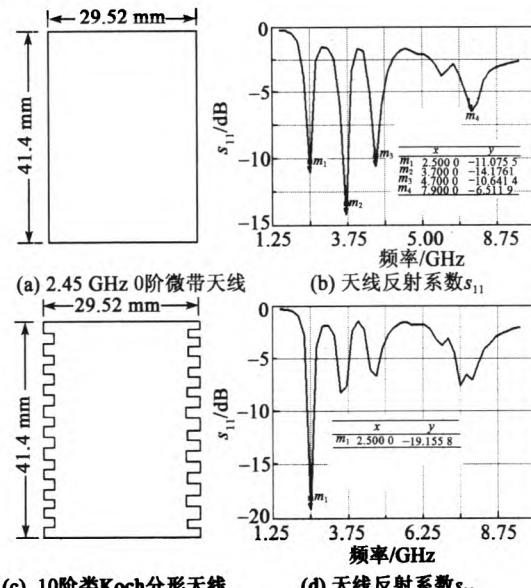


图5 0阶和10阶类Koch分形天线及其 s_{11}

为进一步研究 n 阶类Koch分形天线的辐射特性,采用HFSS13.0仿真软件得到了类Koch分形天线分形阶数 n 同抑制高次谐波能力的关系,如图6所示。当 $n=1\sim 5$ 时,天线抑制谐波的能力很差;随着 n 的增加,当 $n=10$ 时,天线抑制高次谐波的性能已很好;当 $10 < n < 20$ 时,天线都有很好的抑制高次谐波能力;当 $n > 20$ 时,天线抑制谐波的能力开始下降; $n=50$ 时基本丧失了抑制高次谐波的能力。

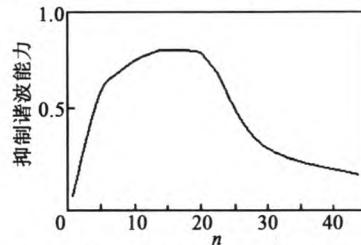


图6 天线抑制高次谐波能力同分形阶数的关系

3 类Koch 10阶分形天线的制作与测试

在实验室自己加工制作了一个10阶类Koch

分形天线，并进行了测试，天线实物图及 s_{11} 的仿真结果和测试结果对比如图 7 所示。由图可知，天线的仿真结果与测试结果基本吻合，只是测试结果的工作频点有很小的偏移，但仍在频带范围内，应是加工的不精确和测试误差造成，从而证明了该 10 阶类 Koch 分形天线具有良好的抑制高次谐波的能力。

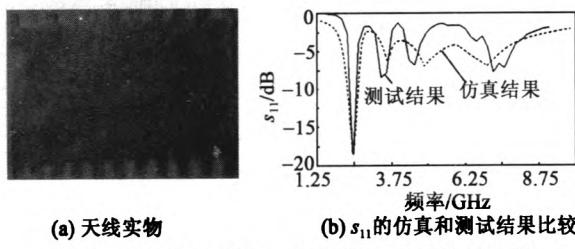


图 7 天线实物及其 s_{11} 的仿真和测试结果比较

4 结束语

本文首次提出了这种类 Koch 分形方形锯齿结构微带天线，这种类 Koch 分形锯齿结构微带天线的 1 阶、2 阶分形天线具有很好的倍频作用。分形阶数为 10~20 时，该天线具有良好的抑制高次谐波的能力。经过实践检验，测试结果和仿真结果具有

很好的一致性。在天线的设计中，根据实际需要，可灵活选择分形的阶数来达到倍频，抑制高次谐波等功能。同时，在采用这种类 Koch 分形的方法设计天线时，与严格按 Koch 和 Minkowski 分形设计天线相比，结构更简单，更易实现。因此，该天线在射频识别（RFID）等领域具有广阔的应用前景。

参考文献：

- [1] 陈文灵. 分形几何在微波工程中的应用研究 [D]. 西安：空军工程大学，2008.
- [2] 刘英. 分形在天线雷达散射截面减缩中的应用 [J]. 微波学报, 2003, 19(2): 28-30.
- [3] 张宏波, 龚书喜, 贺秀莲. 分形开槽缩减微带天线 RCS [J]. 微波学报, 2006, 22(6): 34-36.
- [4] OZBOKIS B, KUSTEPLI A. The resonant behavior of the fibonacci fractal tree antennas [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50(4): 1046-1050.
- [5] PARK JONG K, AN HEE S, LEE Jung N. Design of the treeshaped UWB antenna using fractal concept [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2008, 50(1): 144- 150.
- [6] 王琪, 阮成礼, 孙益军, 等. 加袖双 Koch 分形天线的研究 [J]. 电子科技大学学报, 2004, 33(4): 361-364.

（上接第 758 页）

- [7] 郑学梅, 邬春明, 曲朝阳, 等. 基于 ZigBee 无线传感器网络的病患监护系统 [J]. 科技创新导报, 2009, 33(6): 27- 28.
ZHENG Xuemei, WU Chunming, QU Chaoyang, et al. A monitoring system for patient based on Zigbee technology [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2009, 33(6): 27-28.
- [8] 肖玮, 涂亚庆, 王杰, 等. 液体点滴的无线智能监测系统设计与实现 [J]. 电子测量技术, 2008, 31(1): 133-136.

XIAO Wei, TU Yaqing, WANG Jie, et al Wireless intelligent monitoring system of liquid dropping in the therapy [J]. Electronic Measurement Technology, 2008, 31 (1): 133-136.

- [9] 刘圣蓉, 刘亚东, 李章勇. 一种 ZigBee 的无线串口设计 [J]. 数字通信, 2012, 39(3): 49-51.
LIU Shengrong, LIU Yadong, LI Zhangyong. Design of ZigBee to COM coordinator [J]. Digital Communication, 2012, 39(3): 49-51.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>