

一种新颖的 Koch 分形缝隙天线研究

秦冲, 陈鹏, 刘盛纲

(电子科技大学 物理电子学院 四川成都 610054)

摘要:设计了一种新颖的多频带天线。给出了传统矩形波导的归一化宽度公式,并介绍了 Koch 曲线的基本概念,利用电磁仿真软件 HFSS 对天线的电特性进行仿真优化。Koch 分形结构具有自相似性,故天线具有良好的多频带特性,通过讨论,设计出了 3 个谐振频率,分别为 3.9 GHz, 4.5 GHz 和 13.4 GHz,而且该天线面积小,约为 78.7 mm×40 mm。

关键词:Koch; 分形天线; 基片集成波导; 波导缝隙天线

中图分类号: TN820

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2008)15-051-02

Study of a Novel Koch Fractal Slot Antenna

QIN Chong, CHEN Peng, LIU Shenggang

(School of Physical Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, 610054, China)

Abstract: A novel multi-band antenna is designed. An experimental formula is given for the normalized width of the traditional rectangular waveguide, and the basic accept of Koch curve is introduced. The parameters of antenna are simulated and optimized by the simulator of HFSS. The structure of the Koch fractal antenna is self-similar, so it has a good multi-band characteristics, the multi-band characteristics of antenna is also discussed in the paper, three resonant frequency are designed, which are 3.9 GHz, 4.5 GHz and 13.4 GHz. And the antenna which is about 78.7 mm×40 mm is small.

Keywords: Koch; fractal antenna; substrate integrated waveguide; waveguide slot antenna

1 引言

近几年来,很多学者对基片集成波导(SIW)缝隙天线进行了研究,并取得了较多的研究成果^[1]。基片集成波导是一种印刷在介质基片上的新型波导结构,由其构成的毫米波和亚毫米波部件及子系统具有高 Q 值、高功率容量、易集成等优点。

然而,近年来随着超宽带无线通信技术的发展和移动通信的普及,人们对天线的宽带化和小型化设计提出更高的要求。传统的天线都是建立在欧几里德空间之上的,占据了一定的空间,不利于天线的设计。而且大部分都是外露天线,由一些固定元件构成,隐蔽性不好,集成度不高。分形几何是通过迭代产生的具有自相似特性的几何结构,它的整体与局部之间以及局部与局部之间都具有自相似性,因此分形是一种与标度无关的几何。研究发现将分形几何用于天线设计当中,不论在天线的尺寸方面,还是在频率特性方面都显现出了传统天线无法比拟的优势。

本文根据典型的 Koch 分形结构和基片集成波导缝隙天线理论,利用 Ansoft 公司的 HFSS 软件,设计出一种具有多频带特性的基片集成波导缝隙天线。

2 基片集成波导和传统矩形波导之间的关系

如图 1 所示,介质基片的上下表面均为金属化层,在介质基片中相隔一定距离制作两排金属化通孔(Metallic vias),于是在上下金属面和两排金属化孔之间就形成了一个类矩形波导的结构,称作基片集成波导^[2]。

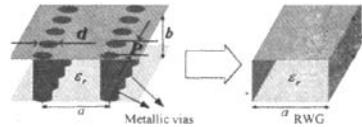


图 1 基片集成波导与传统矩形波导

基片集成波导和传统矩形金属波导之间的等效关系式^[3]可表示如下:

$$\bar{a} = \xi_1 + \frac{\xi_2}{\frac{p}{d} + \frac{(\xi_1 + \xi_2 - \xi_3)}{(\xi_3 - \xi_1)}} \quad (1)$$

其中, \bar{a} 为传统矩形金属波导的归一化宽度,且:

$$\xi_1 = 1.0198 + \frac{0.3465}{\frac{a}{p} - 1.0684}$$

$$\xi_2 = -0.1183 - \frac{1.2729}{\frac{a}{p} - 1.2010}$$

$$\xi_3 = 1.0082 - \frac{0.9163}{\frac{a}{p} + 0.2152}$$

公式相对误差低于 1%, 传统矩形金属波导的宽为:

$$a_{RWG} = \bar{a} \quad (2)$$

根据式(1)和式(2), 可以直接从基片集成波导的结构参数 a, p, d 推出相应的传统矩形金属波导的宽度。

3 Koch 曲线的形成过程

Koch 曲线的生成方法就是把一条直线等分成三段, 也就是采用的标度因子为 $1/3$, 将中间的一段用具有一定夹角的两条等长的折线段来代替, 形成一个生成元, 然后用生成元对每个直线段进行代换, 经 n 次迭代就可得到 n 阶曲线。数学意义上的曲线是无穷次迭代的产物, 称作理想的分形曲线, 它处处连续却处处不可微。要把一副天线加工成这种理想的形状当然是不可能的, 对于天线工程来说, 我们只能加工成曲线的有限次迭代的形式, 又称作预分形天线。图 2 给出了夹角为 60° 时 Koch 曲线的形成过程(0 阶到 2 阶)。显然, 这种结构具有自相似性。

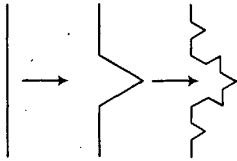


图 2 Koch 曲线的迭代生成过程(0 阶到 2 阶)

4 天线的设计

4.1 天线的几何尺寸

如图 3 所示, 基片集成波导 2 阶 Koch 分形缝隙天线, 只需要改变 Koch 分形的阶数, 就可以设计成 0 阶和 1 阶 Koch 分形缝隙天线。该天线采用了相对介电常数为 2.94 的介质基片, 它的厚度为 2 mm, 金属通孔的直径 d 为 0.8 mm, 金属化孔阵的周期 p 为 1.2 mm, Koch 分形缝隙宽度为 1.2 mm。其他的几何参数如表 1 所示。

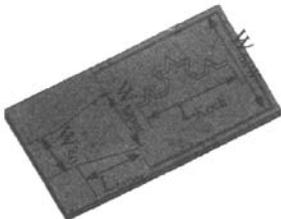


图 3 基片集成波导 2 阶 Koch 分形缝隙天线

表 1 基片集成波导 2 阶 Koch 分形缝隙天线的几何参数

符号	尺寸/mm
W_{50}	13
L_{taper}	20.5
W_{taper}	21
L_{Koch}	33
W_{SW}	36

4.2 天线的性能分析

利用 Ansoft 公司的 HFSS 软件, 分别计算了迭代 0 次、迭代 1 次、迭代 2 次的 Koch 分形缝隙天线的反射损耗特性如图 4 所示。

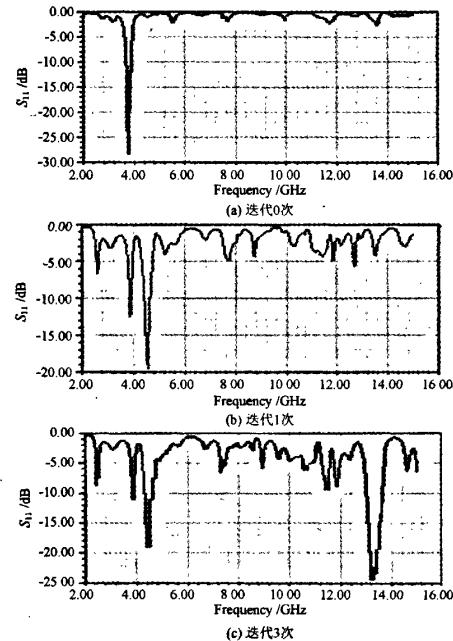


图 4 基片集成波导 Koch 分形缝隙天线的 S 参数

分形天线由于结构的自相似性导致了它在每个谐振频率点上的电磁特性的自相似性^[4], 分形天线谐振点的个数与分形结构层次之间存在某一固定关系, 即每深入一个层次, 则增加一个谐振点, 并且在这些谐振点上保持相同或近似的电磁特性。如图 4(a)所示, 迭代 0 次的 Koch 天线实际上是矩形缝隙天线, 谐振频率为 3.9 GHz。比较图 4(b)与图 4(a)可以看出, 迭代 1 次的 Koch 天线具有两个明显的谐振点, 分别为 3.9 GHz 和 4.5 GHz, 而从图 4(c)可以看出迭代 2 次的 Koch 天线具有三个明显的谐振点, 分别为 3.9 GHz, 4.5 GHz 和 13.4 GHz。

上述 Koch 天线迭代的标度因子为 $1/3$, 根据分形理论^[7], 所以迭代 2 次时, 增加的谐振点(13.4 GHz)应该是迭代 2 次时增加的谐振点(4.5 GHz)的 3 倍。但是

(下转第 56 页)

者三维频谱图进行测量。用调制域窗口进行测量,其横轴为时间,纵轴为频率;频率跳变的点很清楚,用光标测量时只要添加两个光标点就可以测出跳频速率。

综上所述,实时频谱仪旨在迎接动态数字射频信号的相关测量挑战,如 WLAN 和蓝牙等突发分组传输。实时频谱分析的基本概念是其能够触发 RF 信号,把时间同步的数据无缝捕获到内存中,然后在多个域中分析这些信号,进而可靠地检测和检定随时间变化的数字射频信号。

6 结语

蓝牙 v1.2 和 v2.0 采用复杂的数字射频信号,可以用通信系统仿真软件进一步了解其工作原理。使用实时频谱仪可以大大提升跳频信号的测试水平,填补过去测试手段无法测量项目的空白,如:跳频信号的功率测量等。据了解,美国国家仪器有限公司正在考虑研发虚拟实时频谱仪。实时频谱仪还能应用于 RFID 电子标签、W-CDMA 和 Zigbee 等系统的测试领域,为数字射频工程师提供了一个崭新的、完全的和高效的测试方案。

作者简介 都伊林 男,1961 年出生,高级实验师。长期从事电子线路教学与研究工作。

马 强 男,1962 年出生,副教授。主要研究方向为数字水印和图像处理。

参 考 文 献

- [1] 马建仓,罗亚军,赵玉亭.蓝牙核心技术及应用[M].北京:科学出版社,2003.
- [2] 樊昌信.通信原理[M].5 版.北京:国防工业出版社,2002.
- [3] 黄智伟.蓝牙硬件电路[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [4] [加]Roy Blake.无线通信技术[M].周金萍,唐伶俐,译.北京:科学出版社,2004.
- [5] 金纯.蓝牙技术[M].北京:电子工业出版社,2001.
- [6] 严紫建,刘元安.蓝牙技术[M].北京:北京邮电大学出版社,2001.
- [7] Matsumoto, Hubotas, Morikuram, et al. $\pi/4$ — Shift QPSK Coherent Detection Demodulator for TMDA/TDD Systems [C]. Secaucus, NJ, IEEE Vehicular Technology Conf., 1993.
- [8] Kobayashik, Matsumoto, Sekik, et al. A Full Digital Modem for Offset Type Modulation Schemes[J]. Third IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceeding, 1992.
- [9] 傅民仓,冯立杰,李文波.短距离无线网络通信技术及其应用[J].现代电子技术,2006,29(11):15—17,20.

(上接第 52 页)

由于对于这种基片集成波导形式的 Koch 天线,不是理想的分形结构,所以只是接近 $1/3$;另外在实际应用中,Koch 结构的迭代次数只能是有限次,因而它不可能是理想的分形结构,所以其谐振频率之比不会严格等于 $1/3$ 。

由图 4 可以看出,随着分形层次的增加,每深入一次迭代,前一次迭代形成的谐振点对应的 S 参数就会变大。迭代 0 次时出现的谐振点 3.9 GHz 对应的 S 参数是 -28 dB,迭代 2 次时谐振点 3.9 GHz 对应的 S 参数是 -11 dB。

5 结语

分形天线的研究在国内现在还只是初步的,此天线还有许多有待改进的地方。给定所需要的几个频段,如何设计出满足要求的 Koch 结构的天线是一个实际工程问题。在前面所述的 Koch 结构,采用的标度因子为 $1/3$,而实际上在天线的设计中,标度因子可以是 0 与 1 之间的任意数值,这样就可以根据某些给定的频段,进行灵活设计。在设计过程中,为了使所设计的天线满足所需要的频段要求,可以利用 HFSS 软件对设

计参数进行调整,这样会很快得到所需要的设计参数,既省时省力,又节约成本,从而大大提高了天线设计工作的效率。

参 考 文 献

- [1] 郝张成.基片集成波导技术的研究[D].南京:东南大学,2006.
- [2] 孙兴华.基片集成波导缝隙阵天线设计[D].南京:东南大学,2005.
- [3] Li Yan, Wei Hong. Simulation and Experiment on SIW Slot Array Antennas[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2004, 14(9): 446—448.
- [4] 田铁红,周正,分形天线的应用研究[J].无线电工程,2003,33(3):16—20.
- [5] 樊明延,冯正和,张学霞.新型宽带双枝倒平面集成天线[J].微波学报,2002,18(1):20—22.
- [6] 占腊民,董天临.分形天线的特性与应用[J].无线电通信技术,2003,29(1):7—22.
- [7] 刘英,龚书喜,傅德民.用于多频通信的微带分形贴片天线[J].微波学报,2001,17(4):76—79.

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>