

文章编号: 0255 - 8297(2004)04 - 0471- 04

双层分形微带贴片天线

汪 伟, 钟顺时

(上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘 要: 给出一种双层分形微带贴片天线, 天线的馈电元和寄生元都进行了 Minkowski 分形处理, 研究了单元分形迭代次数和凹入宽度(indentation width)对天线谐振频率的影响. 加工并测试了试验天线, 计算与实验结果吻合较好. 结果表明, 该新设计比常规矩形贴片天线尺寸小, 并具有较宽的工作带宽和二维对称性, 适合于双极化天线应用.

关键词: 微带天线; 分形; 小型化; 反射损耗; 带宽

中图分类号: TN 822

文献标识码: A

The Stacked Fractal Microstrip Patch Antenna

WANG Wei, ZHONG Shun-Shi

(School of communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: This paper discusses a stacked fractal microstrip antenna in which both the fed patch and the parasitical patch are fractal with Minkowski islands. The effects of the fractal indentation width and the iterative generations on the antenna performance are analysed. A test fractal microstrip antenna is made and the measurement shows good agreement between the numerical calculations and the experimental results. The new design is much smaller in size than a convention rectangular patch antenna. Moreover, it has a medium bandwidth and 2D symmetry, suitable for dual-polarized antenna applications.

Key words: microstrip antenna; fractal; miniaturization; return loss; bandwidth

分形概念最早由 Beoit Mandelbrot 于 1975 年提出, 用以描述复杂的自然界. 分形是事物的形状、形态、结构与组织的分解、分割、分裂与分析^[1]. 分裂和取极限是其两个基本特性, 某些分形结构中个体与整体具有自相似性. 由于其独特的性质, 最近分形结构已引起广大天线工作者的兴趣, 文献[2, 3]中利用分形形式来布局天线阵列, 达到多频、宽频、稀疏布阵和实现低副瓣的目的. 在线天线应用中, 由于电流局限于导体线上, 天线结构上的自相似性带来电磁特性的自相似, 并且可以有效地增加天线的电尺寸, 许多工作者采用 Sierpinski 和 Koch 分形实现了

天线小型化、多频和宽带工作^[4~6]. 在微带贴片天线中, 电流分布于贴片上, 分形改变了电流分布, 使电流沿着曲折的导体面而非简单的几何面分布, 增加了电长度, 因此可以减小天线尺寸, 其代价是带来工作带宽的减小. Koch 分形具有雪花状外形, Carmen Borja^[7]等人对 Koch 岛分形贴片天线特性进行了研究, 通过同轴探针馈电, 与等效的圆贴片相比, 其面积明显减小. 分形实现天线小型化设计带来的好处就是在阵列设计中可以降低天线单元的互耦, 并增加阵列扫描范围, 文献[8]已对这个问题进行了研究.

收稿日期: 2003-07-10; 修订日期: 2004-02-07

基金项目: 国家自然科学基金(60071020); 上海市博士点建设基金(2001)资助项目

作者简介: 汪 伟(1969—), 男, 安徽霍山人, 博士生; 钟顺时(1939—), 男, 浙江瑞安人, 教授, 博导.

万方数据

本文研究了 Minkowski 岛分形^[1]的微带贴片天线特性,为了增加带宽,贴片天线采用双层结构,对两层贴片都进行分形处理,相对于矩形贴片天线而言降低了天线尺寸,又具有宽频特性.在结构形式上与 Koch 岛分形贴片天线相比,此种贴片天线适合共面微带线馈电,便于组成天线阵.与其他天线小型化方法相比^[9,10],由于这种设计方法在结构上是两维对称的且排除了探针和同轴馈电,因此适用于双极化或圆极化天线和天线阵设计.

1 天线结构与性能

采用两点格式法^[11]构造分形天线结构,如图 1 所示.图中符号上标表示迭代次数,下标表示坐标点,选取 $Z_0^0Z_1^1=Z_2^1Z_3^1=Z_1^1Z_5^1=Z_0^0Z_1^0/3$, $Z_1^1Z_2^1=Z_3^1Z_4^1=kZ_0^0Z_1^0/3$,分形的比例系数 k 取值范围在 $0\sim 1$ 之间, $k/3$ 为分形凹入宽度.

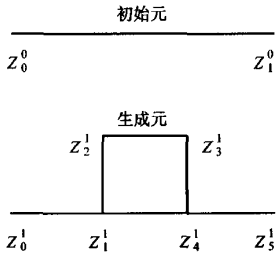


图 1 Minkowski 分形构造

Fig. 1 Iterative method of a Minkowski fractal

根据此方法构造的双层分形天线,如图 2 所示,传统的矩形微带贴片已由 Minkowski 岛分形贴片代替.天线分为三层,位于第一层的馈电单元和位于第三层的寄生贴片都蚀刻在 Rogers 公司的 RT5880 基板上($\epsilon_r=2.2$),厚度取 0.51 mm ,中间是低介电常数($\epsilon_r=1.07$)的泡沫材料填充,厚度为 h .第三层的寄生单元采用倒悬安装方式,使基片兼起天线罩的作用.双贴片凹入宽度记为 W_{fi} 和 W_{pi} .

采用数值方法分析计算了一例 X 波段的双层微带天线,寄生单元初始尺寸为 $10.8\text{ mm}\times 10.8\text{ mm}$,馈电单元为 $10.5\text{ mm}\times 10.5\text{ mm}$.研究了寄生单元的凹入宽度 W_{pi} 分别取 $0.2, 0.5, 0.7, 0.9$ 等值的情况下,天线单元通过一次和两次迭代后频带偏移和带宽的变化.图 3 给出初始天线单元和经过一次迭代并匹配后系列天线单元的反射损耗曲线,可以看出随着分形凹入宽度的增加,谐振频率下移的

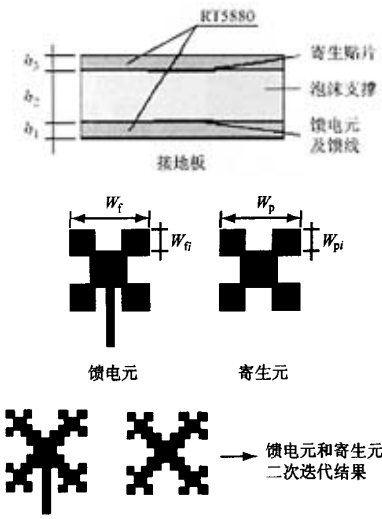


图 2 天线单元结构示意图

Fig. 2 Geometry of the proposed antenna

程度越大.其代价是频带下移得越多,带宽相应减小得越大,这种效应可以从表 1 中清楚地显示出来.

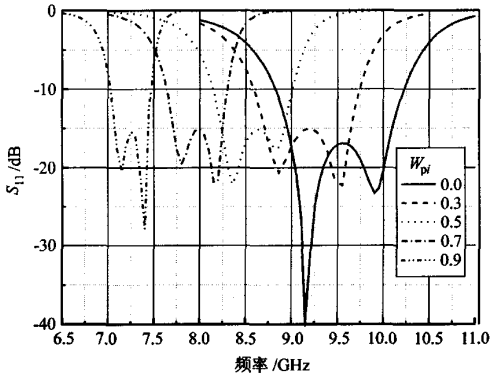


图 3 天线反射损耗相对于频率的变化曲线

Fig. 3 Return loss of fractal antenna vs frequency

表 1 给出了在天线阻抗匹配情况下,寄生单元一系列凹入宽度所对应的馈电元相应的凹入值.从表中看出,两者的凹入宽度是不同的.这是由于经过分形迭代后天线工作带宽降低,相应地,为了达到很好的匹配,寄生单元和馈电元电长度之间的差值应该相应地减小,所以馈电单元与寄生单元的凹入宽度就有所差异.分析中先确定寄生贴片分形结构尺寸,为了达到工作频带内的阻抗匹配,需要适当调节主辐射贴片的凹入宽度和两个贴片之间的支撑泡沫厚度.经过优化计算,得到寄生单元的凹入宽度 W_{pi} 分别为 $0.2, 0.5, 0.7, 0.9$ 等值情况下,馈电单元相对应的凹入宽度值.值得一提的是,在匹配过程中,

两个谐振频率之间的反射损耗都以小于 -15 dB 为目标, 表 1 中也给出了 -15 dB 的工作带宽. 从表中可以看出, 随着凹入宽度的增大, 中心频率逐渐下移, 经过二次分形加剧了这种移动, 同时带宽也进一步降低. 当凹入宽度为 0.9 时, 一次分形得到的天线其中心频率下移了 23.9% , 而二次分形则下移 29.8% . 这意味着, 对给定的中心频率, 所需天线尺寸分别减小 24% 和 30% .

表 1 天线阻抗匹配特性与分形代数和凹入宽度的关系
Table 1 Bandwidth of the antenna vs different iterative-generations and indentation widths

分形次数	寄生元 W_{pi}	馈电元 W_{fi}	中心频率 /GHz	-10 dB 相对带宽/%	-15 dB 相对带宽/%
0	0	0	9.52	14.71	10.97
1	0.3	0.29	9.155	12.56	9.84
2	0.3	0.29	9.19	11.89	8.9
1	0.5	0.47	8.565	10.16	7.81
2	0.5	0.47	8.525	9.97	7.47
1	0.7	0.65	7.985	8.28	6.65
2	0.7	0.65	7.715	7.65	6.62
1	0.9	0.8	7.245	6.21	5.52
2	0.9	0.8	6.68	3.89	2.55

2 数值与实验结果

基于以上分析, 我们加工了一个分形试验天线, 分形天线的寄生单元凹入宽度取为 0.5 , 馈电元为 0.47 , 用 Ansoft 软件 Ensemble 和 HFSS 分别计算的理论和试验值结果比较见图 4, 图中也给出一个 X 波段双层矩形贴片天线参考天线的结果, 两者单元边长 W_0 相同. 参考天线的理论值和试验值吻合较好, 分形天线的理论与实验结果吻合得稍差一些, 估计这是由于加工误差所造成的. 参考天线 -10 dB 反射损耗带宽为 14.1% , 中心频率为 9.285 GHz , 分形天线的 -10 dB 带宽为 11.44% , 中心频率为 8.39 GHz , 可见其中心频率下移了 9.6% . 这意味着天线尺寸约减小了十分之一, 不过, 其带宽也有所减小.

图 5 给出分形天线和参考天线的 E 面和 H 面辐射方向图及其交叉极化理论值, 参考天线的频率为 9.5 GHz , 分形天线的频率为 8.6 GHz , 两者方向图曲线并无多大变化, E 面半功率宽度约为 68° , H 面

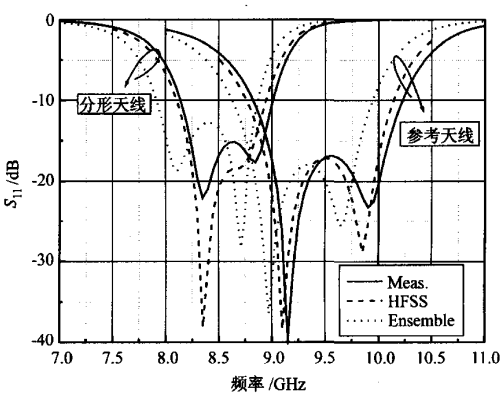


图 4 参考天线和分形天线反射损耗理论与试验值的频率响应曲线

Fig. 4 Simulated and measured return loss of reference and fractal antennas

面半功率宽度约为 86° , 说明矩形贴片天线经 Minkowski 分形对方向图影响很小.

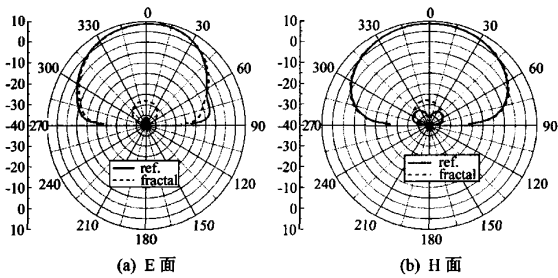


图 5 天线辐射方向图及交叉极化

Fig. 5 Radiation patterns and cross-polarizations of reference and fractal antennas

3 结 论

文中研究了一种双层分形微带贴片天线, 设计计算了一系列不同凹入宽度的分形天线单元, 并加工和测试了一个实验分形天线和一个传统双层微带天线, 实验值和计算值有较好吻合. 与传统天线相比, 分形天线的中心频率下移了 9.6% . 相应地, 可用此方法减小天线的尺寸约十分之一, 并具有约 10.2% 的 -10 dB 反射损耗带宽. 由于采用此结构降低天线尺寸的同时, 导致天线带宽下降, 在实际设计天线时要根据尺寸大小需要和工作带宽要求折中考虑. 鉴于这种小型化天线在结构上是二维对称的, 并且采用微带馈电, 因此适用于双极化或圆极化天线和天线阵设计.

参考文献:

- [1] 吴敏金. 分形信息导论[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,1994.
- [2] Puente Baliarda C, Pous Rafael. Fractal design of multiband and low side-lobe arrays [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 1996, 44(5): 730—739.
- [3] Wernar Douglas H, Haupt Randy L, Werner Pingjuan L. Fractal antenna engineering, the theory and design of fractal antenna arrays[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 1999, 41(5): 37—59.
- [4] Puente Baliarda C, Jordi Romeu, Pous Rafael, *et al.* On the behavior of the Sierpinski multiband fractal antenna[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 1998, 46(4): 517—524.
- [5] Puente Baliarda C, Jordi Romeu, Angel Cardama. The Koch monopole: A small fractal antenna [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2000, 48(11): 1773—1781.
- [6] Puente Baliarda C, Borja Borau C, *et al.* An iterative model for fractal antennas: Application to the Sierpinski Gasket antenna[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2000, 48(5): 713—719.
- [7] Carmen Borja, Jordi Romeu. On the behavior of Koch island fractal boundary microstrip patch antenna [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2003, 51(6): 1281—1291.
- [8] Gianvittorio John P, Yahya Rahmat Samii. Fractal antennas: A novel antenna miniaturization technique and application[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2002, 44(1): 20—35.
- [9] Cui Jui Hai, Zhong Shun Shi, Yu Chun. FDTD analysis of a compact microstrip antenna with C-shaped slot[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2001, 28(3): 170—172.
- [10] Zhong Shun Shi, Cui Jui Hai. Compact dual-frequency microstrip antenna [J]. IEEE AP-S Int Symp dig, 2000, 4: 2196—2199.
- [11] 齐东旭. 分形及其计算机生成[M]. 北京:科学出版社,1994.

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，一直致力和专注于微波、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>