

· 天馈伺系统 ·

中图分类号: TN823

文献标识码: A

文章编号: 1004-7859(2010)05-0064-03

# 具有陷波特性的超宽带分形缝隙天线

任 帅<sup>1</sup>, 张广求<sup>1</sup>, 周 波<sup>2</sup>

(1. 信息工程大学, 郑州 450002; 2. 解放军 63892 部队, 河南 洛阳 471000)

**摘要:**结合超宽带缝隙天线和分形结构的优点,设计了一种具有陷波特性的超宽带分形缝隙天线。选择E形缝隙结构,并在缝隙下边缘采用树状分形,构造半波长谐振结构,实现了天线的陷波功能,有效地避免了超宽带频带范围内的系统干扰。给出了天线设计的总体思路,通过理论分析和仿真测试,对天线的阻抗特性、增益进行了研究。结果表明,该陷波天线的阻抗频带为3 GHz ~ 12 GHz,在5 GHz ~ 6.25 GHz频带内具有陷波特性。同时,分形结构的引入极大地缩小了天线的尺寸。

**关键词:**超宽带; 陷波功能; 宽缝隙; 分形天线; 小型化

## Ultra-wideband Fractal Slotted Antenna with Notched Frequency Characteristics

REN Shuai<sup>1</sup>, ZHANG Guang-qiu<sup>1</sup>, ZHOU Bo<sup>2</sup>

(1. Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

(2. The Unit 63892 of PLA, Luoyang 471000, China)

**Abstract:** Combining the advantages of ultra-wideband slotted antenna and fractal structure, an ultra-wideband fractal slotted antenna with a frequency band notch function is designed. E type slot structure with tree-shaped fraction at the lower edge of the slot is chosen to form half wavelength resonance structure to realize the antenna's band notch function. It can effectively prevent the system interference from the frequency range of ultra-wideband. The overall design process of the antenna is given. The antenna impedance and gain are studied in terms of theoretical analysis and experimental simulation. Results show that the antenna frequency band of impedance is 3 GHz ~ 12 GHz and has the frequency notch in the frequency band of 5 GHz ~ 6.25 GHz. Simultaneously, the antenna's miniaturization is realized by the introduction of the fraction.

**Key words:** Ultra-wide band; notch function; wide-slot; fractal antenna; miniaturization

## 0 引言

随着无线通信的蓬勃发展,超宽带通信系统以其高速的传输速率,较低的功耗得到广泛关注。2002年,美国联邦通信委员会(Federal Communications Commissions)将3.1 GHz ~ 10.6 GHz频段划为超宽带技术的短程商业应用;2007年,欧洲联盟(European Union)也颁布了欧洲标准,把6 GHz ~ 8 GHz作为超宽带频段。这些标准的提出使得超宽带天线设计成为一个新的研究热点,目前,天线工作者提出了许多超宽带天线结构<sup>[1]</sup>。宽缝隙微带天线作为一种典型的超宽带天线,因其具有很宽的阻抗带宽和相对稳定的全向辐射特性,许多文献作过深入的研究分析<sup>[2-3]</sup>,文献[3]中指出,微带馈线与地板宽缝隙形状保持相似,且

尺寸大约为宽缝隙的1/3时可以得到较宽的带宽。

然而,在规定的超宽带(UWB)频带范围内,还存在着例如IEEE802.11a(5.15 GHz ~ 5.825 GHz)的其他标准,为了降低系统之间的相互干扰,传统的解决方式是在天线终端前使用带阻滤波器或采用信号处理技术,这样势必增加了通信系统的复杂度。一种简单的方法是在干扰的频段内使天线出现较大的反射系数,降低天线的发射和接收能力,即天线具有陷波功能。因此,具有陷波功能的超宽带天线近年来得到了广泛的关注与研究,现有文献中对获取天线陷波给出了不同的方法,文献[4]中作者在单极子天线辐射单元上开E形缝隙,缝隙破坏了原先的电流分布,在特定频率上引起反谐振,实现陷波效应。文献[5]中使用共面波导馈电的天线单元代替文献[4]中的单极子天线,同样实现了天线陷波。文献[6]中在共面波导馈电的地板上,靠近馈线处开2个对称的缝隙,缝隙的引入起到了滤波器的作用,实现了对特定频率的陷波。

文献[7]中作者在天线馈线上方加入半圆环结构,采用寄生单元完成陷波功能。文献[8]作者在宽缝隙边缘使用 Koch 分形,引入半波长谐振结构,不但实现了陷波功能,还使天线进一步小型化。

本文以文献[9]中设计的超宽带缝隙天线为基础,结合对文献[9]中分形结构的研究分析,设计了一种具有陷波功能的分形超宽带缝隙天线,该天线陷波频段为 5 GHz ~ 6.25 GHz,极大地减少了对无线局域网的电磁干扰,且分形的引入实现了天线的小型化。

## 1 天线结构

图 1 给出了本文所设计的天线结构,该天线使用 E 形缝隙,缝隙下边缘采用树状分形。天线馈电辐射贴片形状相似与宽缝隙,且尺寸保持与 E 形缝隙大约 1/3 关系,适当调整各边长参数以得到较宽频带上的阻抗匹配。微带线采用渐变结构,满足输入阻抗为  $50 \Omega$  的要求。天线制作在相对介电常数为 2.2, 厚度为 1.6 mm 的介质基板上,介质板尺寸为  $L = 32 \text{ mm}$ ,  $W = 28 \text{ mm}$ , 天线其他尺寸如下:  $L_s = 22.5 \text{ mm}$ ,  $W_s = 22.8 \text{ mm}$ ,  $W_1 = 6.3 \text{ mm}$ ,  $W_2 = 1.35 \text{ mm}$ ,  $L_1 = 2.4 \text{ mm}$ ,  $F_{ws} = 8.5 \text{ mm}$ ,  $F_{w1} = 2.3 \text{ mm}$ ,  $F_{w2} = 1.75 \text{ mm}$ ,  $F_{ww} = 0.6 \text{ mm}$ ,  $F_w = 5 \text{ mm}$ ,  $F_1 = 6.8 \text{ mm}$ ,  $F_{1s} = 8.5 \text{ mm}$ ,  $F_{11} = 1.59 \text{ mm}$ ,  $F_{12} = 9 \text{ mm}$ ,  $F_{13} = 2 \text{ mm}$ ,  $F_u = 1 \text{ mm}$ ,  $S = 1.5 \text{ mm}$ 。

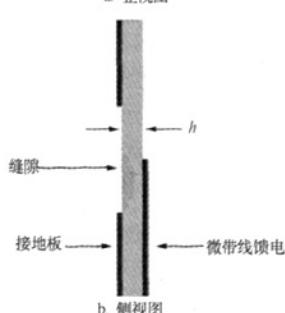
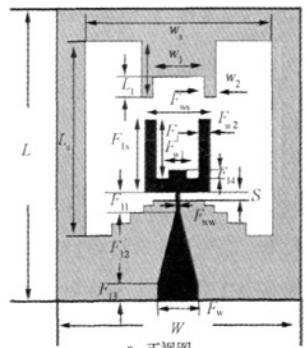


图 1 天线结构示意图

树状分形结构初始单元尺寸为长等于 16.3 mm, 宽等于 1.5 mm 的长方形, 缩放比例为 1.38, 其迭代构造过程如图 2 所示。按照分形迭代思想, 树状分形经过多次迭代后, 其高度趋于固定值, 而周长将趋于无穷大。由于随着迭代次数的增加, 其对电尺寸的贡献越来越小, 且天线制作复杂度和成本也随之增加, 本文综合考虑, 采用三阶迭代实现分形结构。



图 2 树状分形迭代生成过程

## 2 设计原理与仿真测试

文献[8]中使用如图 3 所示的 Koch 分形结构实现陷波功能, 本文对其结构进行了仿真研究, 并对如图 4 所示的 4 种情况分别进行了分析, 仿真结果发现只有缝隙下边缘使用分形结构时能够产生陷波特性, 即下边缘在此结构中作为开路寄生单元, 产生反谐振。

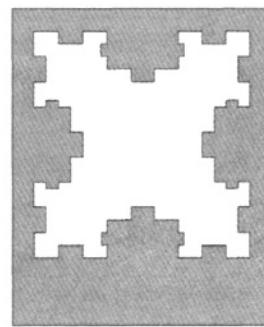


图 3 Koch 分形陷波天线

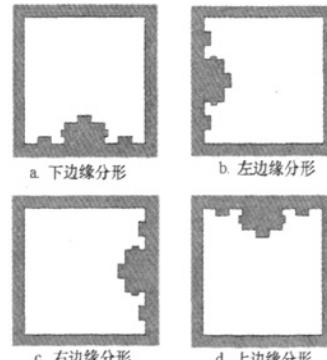


图 4 单边分形示意图

基于以上分析, 可以设想如果在超宽带宽缝隙天线的缝隙下边缘引入半波长谐振结构, 应该能够产生陷波效应, 本文以文献[9]中宽缝隙天线为基础, 采用树状分形结构在宽缝隙下边缘加入开路寄生单元, 达

到了预期的目标。图 5 为根据仿真结果实际制作的天线实物图。

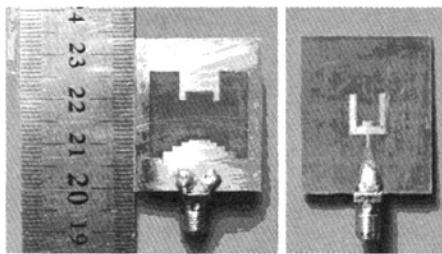


图 5 天线实物图

图 6 为相同尺寸下加入分形和未加入分形天线结构示意图,图 7 为 2 种结构的驻波比较图。由图 7 可以看出,未加入分形的天线工作频率在 6 GHz 以上,而加入分形结构的天线在 5 GHz ~ 6.25 GHz 出现陷波频段,且最低工作频率为 3 GHz,这种天线结构不但实现了陷波功能,还极大的缩小了天线尺寸。

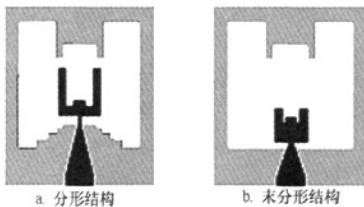


图 6 分形与未分形天线结构示意图

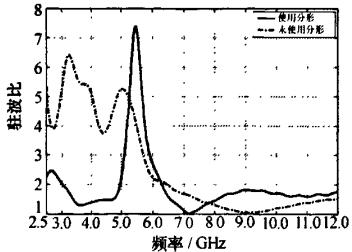


图 7 分形缝隙天线与未分形缝隙天线驻波比值的比较

在天线设计的基础上,利用仿真软件对天线结构进行了电磁分析,并对天线的表面电流分布进行了研究,图 8 给出了 4 个频率点的表面电流分布情况。由图 8 可知,工作频率为 5.4 GHz 时,宽缝隙下边缘周围分布大量表面电流,而其他频率时则相对较少,从而进一步验证了分形结构为半波长谐振结构。同时改变树状分形的尺寸,可以调节陷波中心频率,并用仿真软件给予了验证。

图 9 为所设计陷波天线的仿真增益图,从图中看出,5.4 GHz 时天线增益急剧下降,工作频率与陷波频率之间增益相差 6 dB,满足陷波天线工作要求。

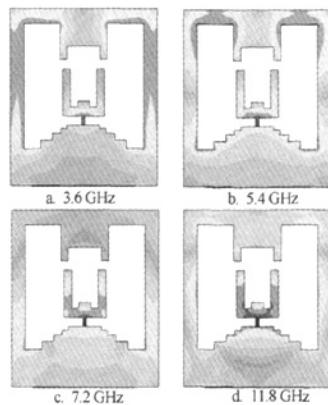


图 8 各频率点的表面电流分布图

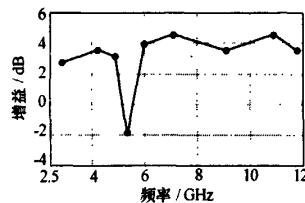


图 9 天线仿真增益图

天线端口的驻波比值使用 Agilent 8722ET 矢量网络分析仪进行测量,如图 10 所示,测量结果和仿真结果基本吻合。

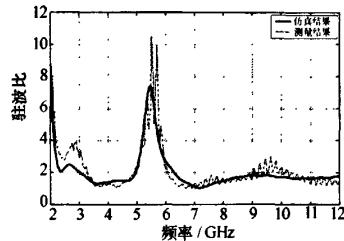


图 10 天线仿真与测量驻波比图

### 3 结束语

使用分形技术与宽缝隙结构,设计仿真了一种具有陷波功能的超宽带分形缝隙天线,为了得到陷波特性,在宽缝隙下边缘使用树状分形,构造开路寄生单元。并利用仿真软件分析了其表面电流分布情况,验证了树状分形对实现天线陷波功能的作用。该天线陷波频段为 5 GHz ~ 6.25 GHz,最低工作频率为 3 GHz。与相同体积普通天线相比,由于在缝隙中使用分形迭代结构使得天线尺寸缩小了近 50%。

(下转第 71 页)

- Shanghai University, 2004: 35~49.
- [5] Zhang Chao, Cui Tie Jun. Negative reflections of electromagnetic waves in a strong chiral medium [J]. Applied Physics Letters, 2007, 91(194101): 1~3.
- [6] Zhang Chao, Cui Tie Jun. Spatial dispersion and energy in a strong chiral medium [J]. Optics Express, 2007, 15(8): 5114~5119.
- [7] Al-Majdi Kadhum, Qi Ming, Al-Moussawy Raed. Characterization of chiral media and the scattering of bi-isotropic [J]. Henan Science, 2008, 26(5): 534~539.
- [8] Klement Dieter, Preisner Jürgen, Volker Stein. Special problems in applying the physical optics method for back-scatter computations of complicated objects [J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1988, 36(2): 228~237.
- [9] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization [C]// IEEE Int. Conference on Neural Network. [S. l.]: IEEE Press, 1995: 1942~1948.
- [10] Shi Y, Eberhart R. Empirical study of particle swarm optimization [C]// IEEE Int. Congress on Evolutionary Computation. [S. l.]: IEEE Press, 1999: 1945~1950.
- [11] Eberhart R, Shi Y. Particle swarm optimization: developments, applications, and resources [C]// IEEE Int. Congress on Evolutionary Computation, [S. l.]: IEEE Press,
- .....
- (上接第 66 页)

## 参 考 文 献

- [1] 钟顺时, 梁仙灵, 延晓荣. 超宽带平面天线技术 [J]. 电波科学学报, 2007, 22(2): 307~315.  
Zhong Shunshi, Liang Xianling, Yan Xiaorong. UWB planar antenna technology [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2007, 22(2): 307~315.
- [2] Kharakhili F G, Fardis M, Dadashzadeh G. Circular slot with a novel circular microstrip open ended microstrip feed for UWB applications [C]// Electromagnetics Research, PIER 68, 2007: 161~167.
- [3] Liu Y E, Lau K L, Xue Q, et al. Experimental studies of printed wide-slot antenna for wide-band applications [J]. Antennas and wireless propagation, 2004, 7(3): 273~275.
- [4] Zhen Cui, Yong Changjiao, Li Zhang, et al. The band-notch function for a printed ultra-wideband monopole antenna with e-shaped slot [J]. Microwave and optical technology, 2008, 8(50): 2048~2052.
- [5] Kim Y, Kwon D H. CPW-fed planar ultra-wideband antenna having a frequency band notch function [J]. Electronics letters, 2004, 40(7): 37~38.
- [6] Pancera E, Modotto E, Locatelli A, et al. Novel design of

2001; 81~86.

- [12] 杨光友. 混合粒子群优化及其在嵌入式智能控制中的应用 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006: 22~66.  
Yang Guangyou. Hybrid particle swarm optimization and its application in embedded intelligent control [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2006: 22~66.
- [13] 汪定伟, 王俊伟, 王洪峰, 等. 智能优化方法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 293~302.  
Wang Dingwei, Wang Jun wei, Wang Hongfeng, et al. Intelligent optimization methods [M]. Beijing: Higher Education Press, 2009: 293~302.
- [14] 高成, 舒永泽. 手征媒质的手征参量  $\zeta$  对反射特性的影响 [J]. 南京航空航天大学学报, 2000, 32(5): 522~526.  
Gao Cheng, Shu Yongze. Influence of chirality admittance  $\zeta$  on reflection characteristics [J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautic, 2000, 32(5): 522~526.

吕丹 女, 1981 年生, 博士研究生。研究方向为电磁散射与辐射。

董创明 男, 1964 年生, 博士, 教授, 博士生导师。研究方向为电磁散射与辐射, 计算电磁学等。

UWB antenna with band-notch capability [C]// European Microwave Week 2007, ECWT. Munich: [s. n.]. 2007, 10: 8~12.

- [7] Zhang G M, Hong J S, Wang B Z. Two novel bandnotched UWB slot antennas fed by microstrip line [C]// Electromagnetics Research, PIER 78, 2008: 209~218.
- [8] 吕文俊, 朱洪波. 超宽带 Koch 分形缝隙天线的陷波特性研究 [J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版, 2008, 28(3): 44~48.  
Lv Wenjun, Zhu Hongbo. On the frequency notched characteristics of ultra-wideband koch fractal slot antenna [J]. Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications: Natural Science, 2008, 28(3): 44~48.
- [9] Aliakbar Dastranj, Ali Imani. Mohammad naser-moghaddasi printed wide-slot antenna for wideband application [J]. Antennas and propagation, 2008, 10(56): 3097~3102.

任帅 男, 1982 年生, 硕士研究生。研究方向为分形宽带天线。

张广求 男, 1962 年生, 教授。研究方向为微波技术与天线。

周波 男, 1982 年生, 助理工程师。研究方向为宽带天线设计。

## 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](http://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](http://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](http://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>