

# 一种双 U 形缝隙加载的分形多频天线

吴启铎, 张广求, 任 帅

(信息工程大学 信息工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**结合分形结构和加载缝隙的特性, 提出一种多频段天线的设计方法。通过在具有分形结构微带天线的接地板上加载双 U 形缝隙, 在单层微带天线上实现了多频段工作。分形结构的应用, 降低了天线的谐振频率, 该天线尺寸是未加分形天线尺寸的 52%。在接地板加载双 U 形缝隙, 改变了天线的电流路径, 通过改变 U 缝隙的参数, 可以灵活调整天线的谐振频率。根据天线设计的思路, 通过分析、仿真及实测表明, 该天线能工作在 GSM900/GPS/DCS1800/TD-SCDMA 4 种网络模式下。

**关键词:**微带天线; 分形; 多频段; U 形缝隙

中图分类号: TN828.6 文献标识码: A

文章编号: 1671-0673(2010)03-0276-03

## Fractal Multiband Antenna with Dual U-Shape Slot

WU Qi-duo, ZHANG Guang-qiu, REN Shuai

(Institute of Information Engineering, Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Combined with fraction and slot added characteristic, a design of multiband antenna is introduced. Through adding dual U-shape slot to the ground of fractal microstrip antenna, multiband working mode is realized on single layer microstrip antenna. For the application of fractal structure, the resonant frequency is reduced, and its size is 52 percent of the antenna without fraction. In addition, the current route of the antenna is changed, and the resonant frequency can be adjusted flexibly by changing the parameter of the dual U-shape slot. According to the design process combined with analysis, simulation and measurement, four network working modes including GSM900/GPS/DCS1800/TD-SCDMA are shown.

**Key words:** microstrip antenna; fraction; multiband; U-shape slot

随着现代无线通信技术迅速发展, 对天线的要求越来越高。微带天线以其低轮廓、重量轻、低成本和易于制造等优点得到越来越多的研究和应用<sup>[1]</sup>。多频带和宽频带天线广泛运用在个人通信系统、卫星通信系统、综合孔径雷达等许多无线应用领域。因此, 双频或多频成为近年研究的热点。

为使微带天线工作在双频(或多频), 主要方法有以下几种: 多贴片<sup>[2]</sup>、缝隙加载<sup>[3,4]</sup>、集总元件加载(包括短路针)<sup>[3]</sup>、采用分形结构<sup>[5]</sup>。多贴片和集总元件加载通常使天线结构变得复杂, 而缝隙加载可以在单层微带天线上实现双频(或多频), 制作工艺相对简单, 且易于和微波电路集成。在微带天线上加载矩形、U 形等缝隙<sup>[3,4]</sup>, 可使天线工作在双频(或多频), 同时通过调整缝隙参数, 可改变天线的工作频段。

分形几何学是以非规则几何形态为研究对象的几何学, 它的主要特征是自相似和分数维(空间填充性)<sup>[6]</sup>。由于天线形状的自相似, 分形天线容易工作在多频, 同时分形天线的另一个重要特性就是在保持天线现有性能相似的情况下减小天线的尺寸。文献[7]提出了一种用于天线设计的分形结构系统化生成方法, 是产生分形种类的有效方法。本文根据加载 U 形缝隙和采用分形结构的设计方法, 设计出一种工

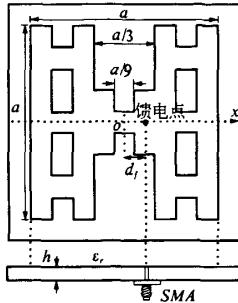
收稿日期: 2009-10-10; 修回日期: 2009-12-24

作者简介: 吴启铎(1982-), 男, 硕士生, 主要研究方向为电磁场与微波技术。

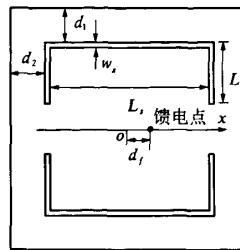
作在多频的微带天线。改变其中相应的参数,可以很方便地调整天线工作频带。通过仿真和实验得到了该种多频天线的一些基本特性。

## 1 天线设计

天线的结构如图1所示,辐射贴片采用正方形为初始图形的分形迭代设计。首先将正方形划分为9个子图形并进行编号(如图2),移去正方形中编号为2和8的子图,将得到的图形在其它子图形中进行迭代,迭代过程如图3。为使天线的结构可物理实现,设计天线时应选取适当的迭代阶数。



(a) 天线的俯视和正视图



(b) 天线的背视图

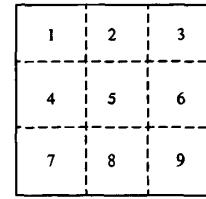


图2 正方形划分子图形编号

图1 天线的结构图

本设计采用2次迭代为天线的基本结构,天线的外围尺寸为 $a \times a$ ,介质层的厚度为 $h$ ,U形缝隙距离上下边界的距离为 $d_1$ ,距离左右边界的距离为 $d_2$ ,缝隙的宽为 $w_1$ ,U形的底边宽为 $L_s$ ,臂长为 $L$ 。两个U形缝隙关于天线的横轴对称,微带天线的馈电点在天线横轴上,离天线的中心点距离为 $d_f$ 。

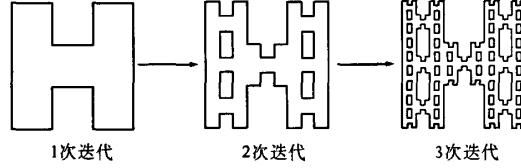


图3 分形的迭代过程

## 2 分析、仿真与测试

用分形结构设计微带天线,拉长了微带天线的电流路径,在使天线的尺寸缩小条件下,降低了天线的谐振频率。分别对未加分形的方形微带天线、经过1次迭代、2次迭代、3次迭代的分形微带天线进行仿真分析,比较各天线的第一个谐振点频率,结果如表1。

由表1可以看出,分形结构的应用,使天线第一个谐振频率分别下降了59.3%,52.0%,45.5%。

图4给出了迭代不同分形阶数时,天线 $S_{11}$ 参数的对比图。可以看出,随着迭代次数的增加,天线的谐振频率向低频移动。当天线的尺寸和分形迭代阶数固定时,天线的工作频率不易于调整。文献[3,4]中,均提到了通过在天线上加载矩形或U形缝隙,可使天线工作在多频段,同时通过改变缝隙的参数,可以方便地调整天线的谐振频率。

本设计中,加载双U形缝隙,改变了天线的电流路径,从而调整天线的谐振频率。经过仿真分析,改变U形缝隙的宽度 $w_1$ 和U形底边宽度 $L_s$ 对天线谐振频率的影响不大,而U形的臂长 $L$ 对天线谐振点的影响较大。如图5,当U形的臂长 $L$ 变长时,天线的谐振频率向低频移动,反之向高频移动。调整U形臂长 $L$ 可以有效调整天线的谐振频率,选取适当 $L$ 值,可以得到预想的设计效果。

根据以上设计思路,建立了一系列的微带天线模型,并进行仿真、分析和测试,得到天线的基本参数为:

表1 不同天线的谐振频率比较

天线类型	$f_0$ (GHz)	百分比(%)
未加分形	1.23	100
1次迭代	0.73	59.3
2次迭代	0.64	52.0
3次迭代	0.56	45.5

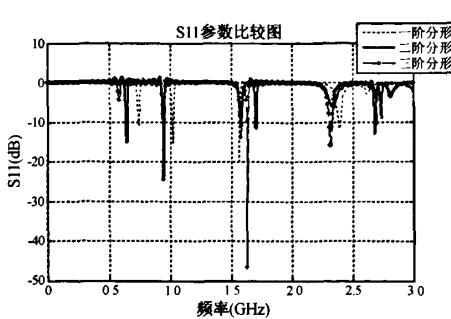


图4 迭代不同分形阶数的S11参数图

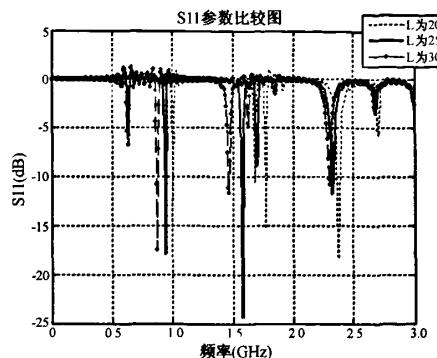


图5 改变L值的S参数图

$a = 81 \text{ mm}$ ,  $d_1 = d_2 = 5.5 \text{ mm}$ ,  $w_s = 2 \text{ mm}$ ,  $L_s = 67 \text{ mm}$ ,  $L = 25 \text{ mm}$ , 天线制作在相对介电常数为 2.2、厚度  $h$  为 1 mm、面积  $100 \times 100 \text{ mm}^2$  的聚四氟乙烯基板上, 采用同轴线背面馈电, 保持馈电点在天线的横轴上, 调节馈电点的位置, 当  $d_f = 10 \text{ mm}$  时, 可以使天线的各个谐振频率得到较好的阻抗匹配。图 6 为天线的实物图。制作出所设计的天线, 采用矢量网络分析仪对天线的  $S_{11}$  参数进行测量, 与仿真结果比较, 如图 7 所示。

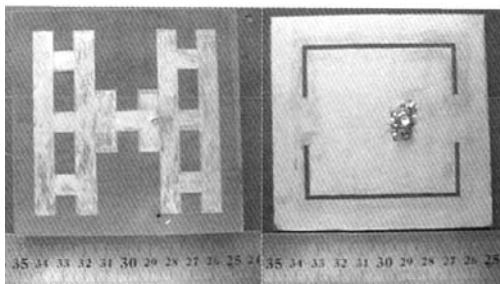


图6 天线实物图

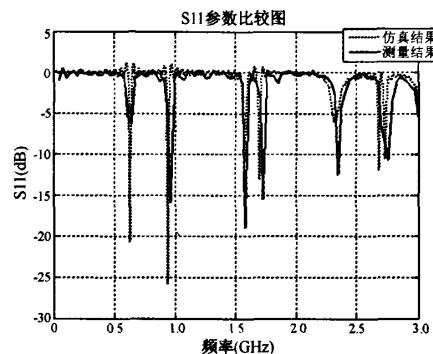


图7 仿真和测量的S参数比较

从测量结果可以看出, 天线的谐振频率点分别为: 0.95、1.58、1.73 和 2.35 GHz, 实测结果和仿真结果相当吻合。天线可工作在 GSM900、DCS1800、GPS、TD-SCDMA 等无线通信网络模式。

### 3 结束语

本文研究分析了一种双 U 形缝隙加载的分形多频天线。根据仿真和实验测试结果, 发现可以通过改变天线的个别参数能方便地调节天线的谐振频率, 使天线适合多种网络模式使用。根据思路设计和制作出了能工作在 GSM900、DCS1800、GPS、TD-SCDMA 等网络模式的多频天线, 测试得到的结果和预计值吻合较好。同时分形结构的应用, 使天线的尺寸降低了 52%。

#### 参考文献:

- [1] 章文勋.世纪之交的天线技术[J].电波科学学报,2000,15(1):97-100.
- [2] Jaume Anguera, Gisela Font, Carles Puente, et al. Multifrequency Microstrip Patch Antenna Using Multiple Stacked Elements [J]. Ieee Microwave And Wireless Components Letters, 2003, 13(3):123-124.
- [3] John Wiley, Sons. Compact and Broadband Microstrip Antennas[M]. New York:A Wiley Interscience Publication,2002.
- [4] 戚冬生,黎滨洪,刘海涛,等.缝隙加载 H 形双频天线[J].电波科学学报,2004,19(1):95-98.
- [5] 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):361-362.
- [6] 高艳华,张广求.分形天线综述[J].现代通信技术,2004,9(3):35-38.
- [7] 单福琪,高葆新.用于天线设计的分形结构系统化生成法[J].微波学报,2006,22(5):26-29.

## 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>