

文章编号 1005-0388(2008)02-0385-04

# 分形倒 L 天线的研究\*

王琪<sup>1</sup>☆ 何庆强<sup>2</sup>

(1. 南京工程学院 通信工程学院, 江苏 南京 211167)

(2. 电子科技大学 物理电子学院, 四川 成都 610054)

**摘要** 构建了一种紧凑结构的分形倒 L 天线, 用矩量法对天线的阻抗特性、辐射方向图特性和天线电流分布作分析研究, 并进行实验验证。结果表明, 分形倒 L 天线不仅大大降低了天线的高度, 而且有效地缩减了天线的水平长度, 是天线小型化设计的重要方法。

**关键词** 分形倒 L 天线; 单极子; Koch 曲线; 矩量法

**中图分类号** TN82      **文献标志码** A

## Analysis and design of fractal inverted-L antenna

WANG Qi<sup>1</sup> HE Qing-qiang<sup>2</sup>

(1. Communication Engineering Department of Nanjing Institute of Technology,

Nanjing Jiangsu 211167, China; 2. School of Physical Electronics,

University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 610054, China)

**Abstract** A novel compact fractal inverted-L antenna is presented. The antenna impedance characteristics, radiation patterns and current distribution are analyzed by employing the method of moments. The simulation results and measured data show that the antenna has excellent performances with lower resonant frequency and shorter overall height and horizontal length.

**Key words** fractal inverted-L antenna; monopole; Koch curve; method of moments

## 1 引言

现代通信的发展对天线的小型化、低轮廓提出了越来越高的要求<sup>[1]</sup>。天线小型化的一种方法是添加接地板, 利用金属导体的镜像效应, 可使天线的尺寸减小一半。采用倒 L 或倒 F 结构是天线小型化和低剖面设计的另一种行之有效的方法, 由于在天线的上部作了弯折, 使天线垂直元高度大大减小。低轮廓的倒 L 天线(ILA)的一个重要特点在于其产生的场具有垂直和水平两种极化, 这对改善城市通信质量是十分有益的<sup>[2]</sup>。然而 ILA 的水平长度并不短, 通常为 1/4 波长。

用分形曲线来构建天线是近年来的热门课题<sup>[3~6]</sup>, 人们常利用其空间填充能力来增加天线的

电长度, 提高天线的辐射能力, 实现天线的小型化设计。研究表明, 用 Koch 曲线构建的天线十分有效地改善了天线的性能, 其中最为重要的电磁特性是随迭代次数的增加, 大大降低了天线的谐振频率。本文是在倒 L 天线基础上将其水平线元改为 Koch 曲线, 构建了一种称为分形倒 L 单极子天线(FILA), 其特点是水平元的长度可以大大缩减, 这为紧凑结构实用型倒 L 天线的设计提供了方法。文中通过矩量法仿真技术<sup>[7,8]</sup>和实验方法研究天线的阻抗特性、辐射方向图特性以及天线上的电流分布特性。

## 2 FILA 的设计

ILA 是由一短单极子作为垂直元和一接在单极

\* 收稿日期: 2006-08-24.

基金项目: 南京工程学院引进人才科研启动基金资助项目

☆E-mail: yc\_wq@163.com

万方数据

子末端的水平元构成,如图 1 所示。一般而言,垂直元的高度远小于波长,是电小的。典型的倒 L 天线高度只有  $0.01\lambda$ ,而其水平部分长度则比较长,通常在  $1/4$  波长。ILA 天线实质上是低轮廓天线,可看作是一短单极子天线用长顶线进行加载。由于顶的存在,使天线的输入电抗减小,改善了天线的匹配性能。

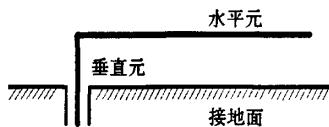


图 1 ILA 的基本结构

低轮廓结构是 ILA 最有吸引力的特性,但需要增加比较长的水平元,这无疑增加了天线的横向尺寸。如果将水平线元用 Koch 分形曲线来取代,则可以在相似天线性能的前提下,大大缩小横向尺寸,实现天线的进一步小型化。

所构建的 FILA 的实验模型如图 2 所示,天线的垂直元是一高为  $h=35$  mm, 直径为 2 mm 的铜柱体。水平线元改为 Koch 曲线,也是用铜导体构成,长度为  $L=15.1$  cm, 弯折角为  $60^\circ$ , 其横截面为正方形,大小为  $2 \times 2$  mm<sup>2</sup>, 在数值计算中可等效为直径为 2 mm 的圆柱<sup>[9]</sup>。图 3 给出了实验模型 FILA 的阻抗特性曲线,包括数值计算和用矢量网络分析仪测量的结果,迭代次数为 3,弯折角为  $60^\circ$ ,理论与实验较好地相吻合。

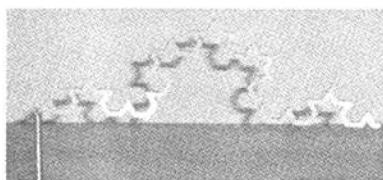
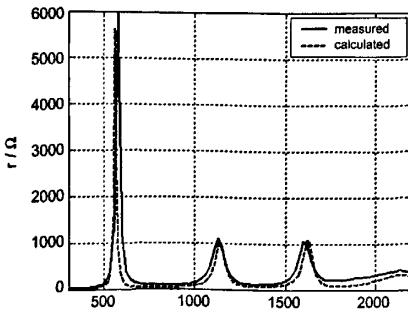
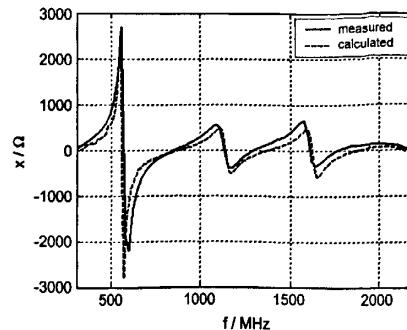


图 2 ILA 实验模型



(a) 输入电阻



(b) 输入电抗

图 3 FILA 数值计算与实验比较

### 3 FILA 的阻抗特性

FILA 主要研究在高度  $h$  和长度  $L$  不变的条件下,天线性能随弯折次数  $n$  和弯折角  $\alpha$  的关系。这里所研究的尺寸仍与实验模型相同,但将  $\alpha$  扩展到任意角,  $n$  任意。利用函数迭代系统<sup>[4]</sup>,可以构建任意  $n$  和任意  $\alpha$  的 Koch 分形曲线。图 4 绘出了  $n=3$  和  $\alpha=30^\circ$  的分形曲线。

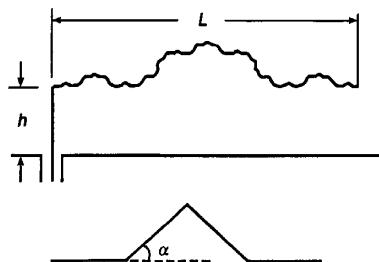
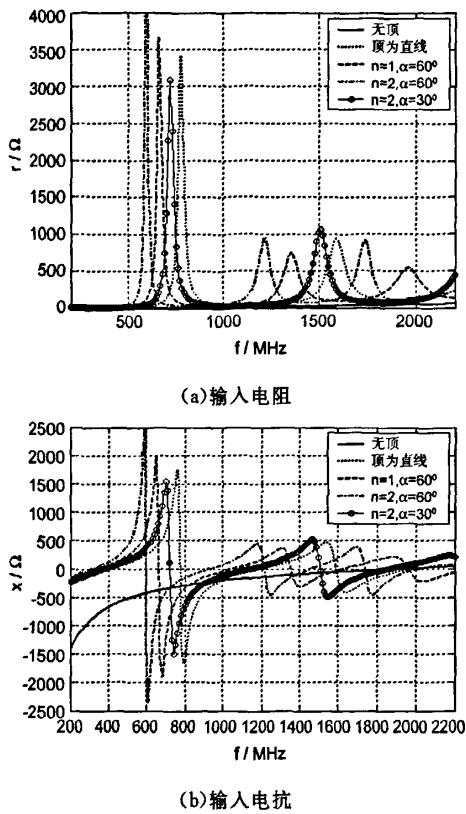


图 4 FILA 数值模型( $n=3, \alpha=30^\circ$ )

一般 ILA 的分析方法<sup>[10]</sup>是先计算出水平元的输入阻抗和垂直元的特性阻抗,再将水平阻抗折算为垂直天线的输入阻抗,从而将水平元的长度折算为垂直元的长度。这样,天线的总高度就是原有垂直元长度与等效水平元长度之和,因此可以按无顶天线求其电流分布,最后将此电流分布还原为有顶天线的电流分布,再用来计算天线的辐射方向图等。对于含有分形结构体的天线,用上述分析方法是困难的,对这种结构的天线,可采用基于矩量法的 NEC<sup>[7]</sup> 技术。

图 5 对几种典型结构的分形 ILA 阻抗与频率的关系进行了计算,并与无分形以及无顶加载的单极子进行比较。计算频率范围为 200~2200 MHz, 对应于  $kh=0.15\sim1.6$ ,  $k(h+L)=0.8\sim8.6$ 。

通过分析可得到以下结论:1)对于无顶加载的

图 5 FILA 阻抗随  $n$  和  $\alpha$  的变化规律

通常的单极子天线,辐射电阻非常小,第一谐振频率很高,大约在 2 GHz 左右,在计算频率范围内,天线主要呈电容性。2)对于 ILA,与无顶比较,大大降低了谐振频率,提高了天线的辐射能力。3)如果引用 FILA,则与直线加载 ILA 比较,进一步降低了谐振频率,在低频段提高了辐射电阻,而且随着迭代次数  $n$  的增加变得更加明显。4)分形曲线的弯折角是改变天线输入特性的重要手段,弯折角的增加,使得弯折线的实际长度增加,谐振频率进一步下降。

需要提出的是,弯折角的增加,分形弯曲使天线的高度增加了,这不利于天线的低剖面,可以通过增加迭代次数但减小弯折角的方法来获得同样的电特性,或者可以将图 4 中向上的弯折改为向下弯折,这样既不会显著改变天线的电性能,也不会改变天线的低剖面。

#### 4 FILA 的辐射特性及电流分布

FILA 典型的三维辐射方向图如图 6 所示,所取的天线结构是  $n=2, \alpha=30^\circ$ 。三个频点分别是 200, 400 和 600 MHz, 这分别代表电小尺寸、第一谐

振点尺寸以及电大尺寸。可以看出,对电小尺寸,方向图与无顶加载的单极子天线的辐射方向图相同,即水平方向为圆,竖直方向为  $\infty$  形状。当频率增加至天线的第一谐振点即 400 MHz 时,方向图有一定变形,但与 200 MHz 的方向图差别并不十分明显。当频率增至 600 MHz, 为电大尺寸时,天线方向图发生了很大的改变,表现在 Z 方向有较强的辐射。

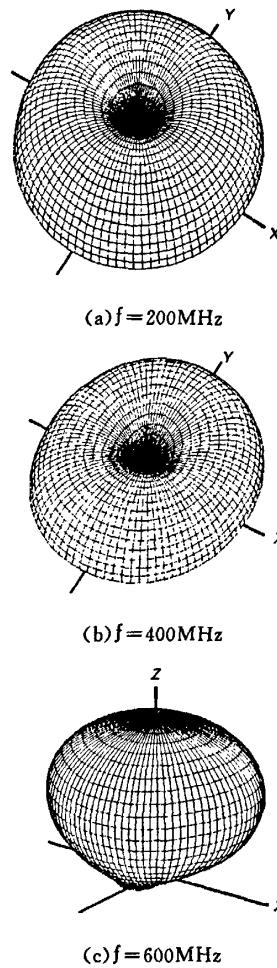


图 6 分形 ILA 三维辐射方向图

辐射方向图的形状取决于天线上的电流分布,通过建立电场积分方程(EFIE),并借助矩量法,利用 NEC 程序,可以求出结构体上的电流<sup>[7,8]</sup>。图 7 计算了 FILA 三个频点的电流分布,图中用粗线表示强电流的分布区域。电流分布清楚地表明,对电小尺寸的 FILA,电流主要集中在竖直线元上,因此辐射方向图与无顶单极子类同。天线加顶的作用是使垂直元顶端的电流不再为零,天线上电流腹点提

高了,因而增大了辐射电阻,分形线的引入比直线元在电流提升效果方面更为明显。当频率增加至400 MHz时,强电流分布区域覆盖了整个竖直线元,并扩展到分形曲线的初始部分。当频率达到600 MHz时,强电流分布于分形线上近乎中间部位。电流分布的变化改变了天线的特性,形成图6所示的各种频率的方向图。值得一提的是,倒L天线的辐射必须考虑地面的影响,不论频率高低,天线的水平段上均分布有电流,只不过频率较低时,水平段的辐射被地面镜像电流的辐射较好的抵消了,而频率较高时抵消程度差。

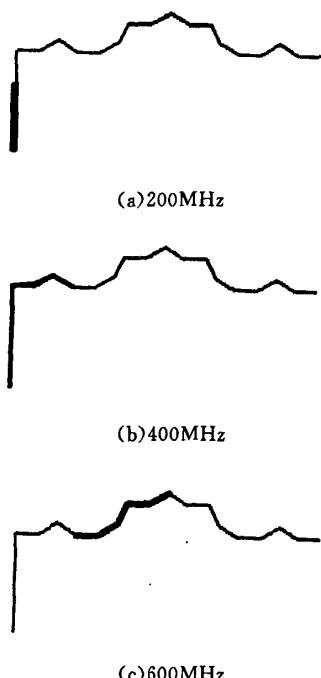


图7 分形 ILA 电流分布  
(粗线为强电流分布区域)

## 5 结论

倒L天线具有低剖面、小尺寸的几何特性,辐射场又具有垂直和水平两种极化,因此在工程中应用十分广泛。本文提出的新型结构的分形倒L天线,可在相同谐振条件下有效地减少水平线元的长度,这为天线的小型化设计提供了可供选择的途径。数值计算揭示了天线阻抗、辐射方向图以及电流分布的规律,所构建的实验模型较好地与数值计算相吻合。

## 参考文献

- [1] A K Skrivervik, J -F Zurcher, O Staub, et al.. PCS antenna design: The challenge of miniaturization[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2001, 43(4): 12-27.
- [2] T Taga. Analysis of planar inverted-F antennas and antenna design for portable radio equipment [M]. Norwood: Artech House, 1992.
- [3] C Puente, J Romeu, R Pous, J Ramis , et al.. Small but long koch fractal monopole[J]. Electronics Letters, 1998, 34(1): 9-10.
- [4] D H Werner, R L Haupt and P L Werner. Fractal antenna engineering: The theory and design of fractal antenna arrays [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 1999, 41(5): 37-58.
- [5] D H Werner and S Ganguly. An overview of fractal antenna engineering research[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2003, 45(1): 38-57.
- [6] 刘英,龚书喜,傅德民.分形天线的研究进展[J].电波科学学报,2002,17(1):54-58.  
Liu Y,Gong S X,Fu D M. The advances in development of fractal antennas [J]. Chinese Journal of Radio Science,2002,17(1):54-58.
- [7] R F Harrington. Field computation by moment methods[M]. New York: The Macmillan Company, 1968.
- [8] A Fourie and D Nitch. SuperNEC: antenna and indoor-propagation simulation program[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine2000, 42(3): 31-48.
- [9] C A Balanis. Antenna theory, analysis and design [M]. New York: Wiley, 1982.
- [10] 谢处方,邱文杰.天线原理与设计[M].西北电讯工程学院出版社,1985, 76-77.



王琪 (1956—),男,江苏人,教授,博士,中国电子学会高级会员。主要研究方向为天线理论与技术、计算电磁学等。



何庆强 (1977—),男,重庆人,电子科技大学在读博士生。主要研究方向为天线理论与技术、计算电磁学等。

## 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>