

## 加袖双Koch分形天线的研究

王 琪, 阮成礼, 孙益军, 何庆强

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

**【摘要】**构建了一种形式新颖的加袖双Koch分形天线,运用矩量法,研究了天线谐振特性随不同几何参数如弯折角、袖间距以及袖长度等的变化规律,并将遗传算法引入到适合于移动通信GSM和DCS系统的双带单极子天线的设计。研究结果表明,双Koch分形天线比单Koch分形天线具有更低的谐振频率,而且随着弯折角的增加而降低。加袖后的分形天线可有效地改善天线的高频段特性,袖长和袖间距对高频特性有较强的调节作用。

**关键词** 分形天线; Koch曲线; 弯折角; 谐振特性; 优化设计; 遗传算法

中图分类号 TN82

文献标识码 A

## Investigation on the Dual Koch Fractal Antenna with Sleeves

Wang Qi, Ruan Chengli, Sun Yijun, He Qingqiang

(School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** A novel dual-koch fractal antenna with sleeves is presented, and dependences of its resonant parameters on the indentation angles, the half cone angles, the sleeve space and the sleeve height are investigated by using the method of moment. Based on these discussions, a double-band unipole antenna for application of GSM/DCS is designed by using the genetic algorithm. All the analyses show that dual-Koch fractal antenna has much lower resonant frequency than single-koch fractal antenna, and the resonant frequency decreases with increase of the indentation angle. The sleeves can effectively improve the performance of the fractal antenna at high resonant frequency. That is, its space and its height have excellent ability to tune at high resonant frequency.

**Key words** fractal antenna; Koch curve; indentation angle; resonant characteristics; optimization design; genetic algorithm

单极子天线由于结构简单、全向辐射等方面的突出优点,在通信系统中得到广泛的应用。为了适应现代通信不断朝着小型化方向发展的要求,设计出紧凑型单极子天线具有特别的重要性。Koch曲线因其具有很强的空间填充属性,因而近年来在实现天线小型化设计中受到广泛的重视和深入的研究<sup>[1~3]</sup>。研究表明,随着迭代次数的增加,koch曲线将有效地增加天线的电长度,从而改善天线的电性能。

本文引入一种形式新颖的更具一般结构的双Koch分形天线,分形曲线的弯折角任意可变,克服了有关文献只研究弯折角为60°的情况。运用矩量法数值计算<sup>[4]</sup>,研究了天线的谐振特性随弯折角和半锥角的关系,得到一般规律。在双Koch分形天线两侧对称放置二根金属带,使其在高频端产生第二谐振模式,研究了谐振特性随袖长和袖间距的关系。将遗传算法应用到各个几何参量的优化设计,得到适合于移动通信系统GSM和DCS波段的双频带天线。

收稿日期: 2004-01-13

作者简介: 王 琪(1956-),男,博士生,副教授,现工作单位为盐城师范学院物理系,主要从事小天线宽频带特性方面的研究。

# 1 加袖双Koch分形天线的谐振特性

加袖双Koch天线的一般结构及其尺寸如图1所示,其中 $\alpha$ 为半锥角, $\beta$ 为分形曲线的弯折角。在双Koch分形天线两侧加上二根金属线(双袖),是为了改善天线的高频端特性。用 $n$ 表示分形迭代的次数, $r_1$ 代表分形天线的线半径, $r_2$ 代表袖的线半径,其他几何参数在图上标示。天线的谐振特性与 $h_1$ , $h_2$ , $h_3$ , $w$ , $d$ , $r_1$ , $r_2$ , $\alpha$ , $\beta$ , $n$ 共10个独立变量相关联。由于双Koch天线谐振特性随不同迭代次数 $n$ 的变化规律与单Koch天线的变化规律基本一致<sup>[2]</sup>,因此本文着重研究在一定频率范围内,用电压驻波比(Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)表示的天线的谐振特性与 $\beta$ , $\alpha$ , $h_3$ 和 $d$ 的关系。

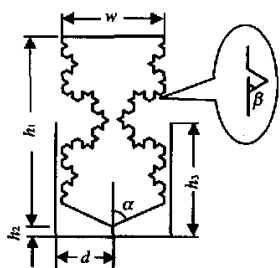


图1 加袖双Koch分形天线

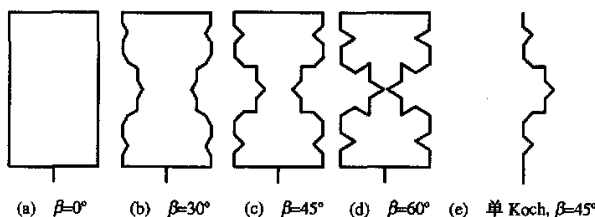


图2 不同弯折角的双Koch分形天线

## 1.1 无袖双Koch天线谐振特性随 $\beta$ 的变化关系

对Koch曲线天线的研究往往局限于弯折角 $\beta=60^\circ$ 的结构<sup>[1~3]</sup>,将其推广到 $\beta$ 为任意角的更为一般情况。图2绘制了弯折角 $\beta=0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ 无袖双Koch分形天线构造,有关天线参数是: $h_1=50$ , $h_2=5$ , $w=30$ , $r_1=0.2$ , $n=2$ , $\alpha=90^\circ$ ,长度单位为mm。为便于比较,图2中同时给出了相同高度的 $\beta=45^\circ$ 的单Koch曲线。图3所示计算了相对应的VSWR的频率响应关系。结果表明,随着弯折角 $\beta$ 的增加,天线的谐振频率显著朝低频方向移动,而对于相同弯折角的双Koch天线与单Koch曲线天线比较,更有效地降低了天线的谐振频率,因此增加弯折角是天线小型化的有效途径。当然,随着谐振点的降低,谐振点的VSWR增加了,这可通过多种补偿方法得到改善。

## 1.2 无袖双Koch天线谐振特性随 $\alpha$ 的变化关系

在总高度 $h_1+h_2$ 恒定以及其他几何参数不变的前提下,半锥角 $\alpha$ 的改变对天线的谐振特性也有比较明显的影响。图4所示计算了 $\beta=45^\circ$ 时,天线的VSWR随 $\alpha$ 角的变化规律。可看出,随着 $\alpha$ 角增加,无袖双Koch分形天线的谐振点朝着低频方向移动,当 $\alpha=90^\circ$ 时,谐振点频率最低,这是与天线有效电长度的增加相对应的。

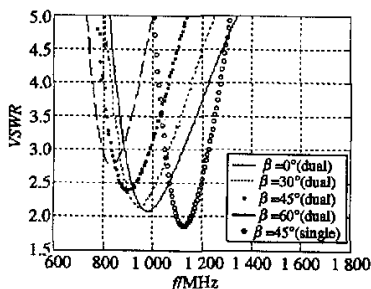


图3 VSWR与弯折角 $\beta$ 的关系

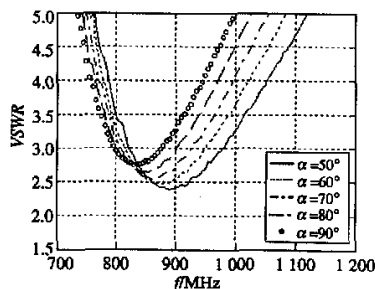


图4 VSWR与半锥角 $\alpha$ 的关系

## 1.3 加袖双Koch天线谐振特性随 $d$ 的变化关系

加袖后双Koch天线的一般结构如图1所示。由于当袖与天线比较靠近时,将产生耦合作用,从而会导致在指定频率范围内第二谐振模式的激励,形成可供应用的第二个频带。图5所示计算了天线的谐振特性曲线随不同袖间距 $d$ 的关系。有关参数是: $\beta=45^\circ$ , $h_3=38$ , $r_2=0.1$ ,其他参数不变。结果表明,袖的存在,在频率的高端形成了新的谐振点,随着袖间距 $d$ 的增加,对低端谐振频率的影响很小,但使高端谐振频率降低,

且高端谐振点的VSWR变大。当 $d$ 很大时, 高频端谐振点消失, 退变为无袖双Koch分形天线的谐振特性。

#### 1.4 加袖双Koch天线谐振特性随 $h_3$ 的变化关系

图6所示研究了加袖双Koch天线的谐振特性随袖高度 $h_3$ 的变化关系, 计算中取 $d=16.8$ , 其他参数同上。从图中看出, 随着 $h_3$ 的改变, 天线与袖之间的耦合程度发生变化, 使谐振点位置呈现特定的变化规律。表现为: 1)  $h_3$ 的变化对低频端谐振点影响很小, 但对高端谐振点影响很大。2) 在一定高度范围内,  $h_3$ 减小使高端谐振点向高端移动, 且VSWR降低, 直至最小。如果进一步减小袖高度, 高端谐振频率将跃变到一个更高的频点, 此后随 $h_3$ 的减小谐振点向低频端移动, 且VSWR增加。

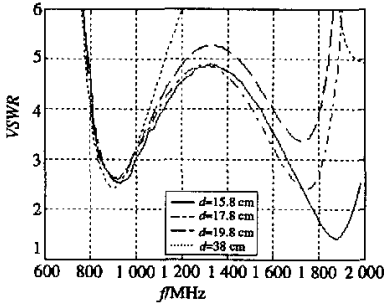


图5 VSWR与袖间距 $d$ 的关系

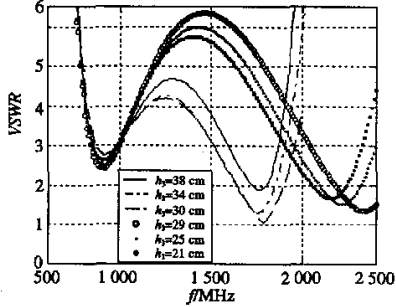


图6 VSWR与袖高度 $h_3$ 的关系

## 2 加袖双Koch天线的双带优化设计

随着个人通信系统的迅速发展, 要求有小尺寸并能够在GSM/DCS双频带工作的单根天线, GSM/DCS所对应的工作频率是900 MHz和1 800 MHz。根据以上讨论, 加袖双Koch分形天线可以实现这种设计。由于天线的谐振特性与10个独立变量密切相关, 如何从中选出满足设计要求的最佳参数, 这是一项十分耗时的工作。将遗传算法引用到天线的优化设计近年来获得了极大成功<sup>[5]</sup>, 这种基于自然选择和进化基础上的搜索方法能以很快的速度准确地获取最优的天线参数。以图1天线工作在900 MHz和1 800 MHz时的VSWR最小为目标来优化天线的设计。取代表迭代次数, 从而决定计算是否收敛的“后代”数为40; 取代表天线取样数, 从而决定收敛值优秀程度的染色体个数也为40。根据这些设定, 优化得到的双Koch分形单极子天线的一组参数值如下:  $h_1=56$ ,  $h_2=3$ ,  $h_3=36$ ,  $w=28$ ,  $\alpha=82^\circ$ ,  $\beta=43^\circ$ ,  $n=2$ ,  $d=16$ ,  $r_1=0.2$ ,  $r_2=0.1$ , 用这些参数构建天线计算得到的VSWR随频率的变化曲线如图7所示, 可见天线准确地工作在GSM/DCS所对应的频率并基本满足了驻波要求。为了验证结果的可靠性, 图中同时给出了用商用仿真软件IE3D对同一问题的计算, 仿真中用带状线替代线状线, 并取带状线宽度为对应的线直径的2倍<sup>[6]</sup>。仿真曲线与计算曲线较好地吻合, 特别是在谐振点附近的一致性表明了本文计算方法的正确性。图中还计算了在天线馈电端加载10  $\Omega$ 电阻后的VSWR曲线, 可以看出, 加载有效地降低了低端谐振点的驻波比, 而对高频端谐振点驻波的影响是较小的。

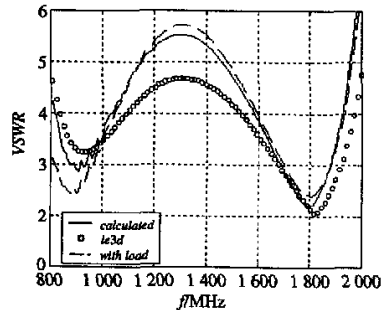


图7 优化参数的VSWR

## 3 结束语

Koch分形天线由于其空间填充属性, 有利于天线的小型化设计。双Koch天线比单Koch天线可更有效地降低谐振频率。随着分形迭代次数的增加或弯折角的增加, 将使天线谐振频率进一步向低频方向移动。加袖后的双Koch天线可以形成新的谐振点, 且随着袖间距和袖高度的改变, 可有效地改变高端谐振点的位置和驻波比。运用遗传算法优化设计, 实现了可同时工作在GSM/DCS频段的紧凑型双带单极子天线。

(下转第390页)

maintain precision while optimizing the algorithm for use with the Motorola 56800E processor. All rounding operations were performed with the 56800E rounding capabilities through the MPYR and MACR instructions<sup>[3]</sup>. The precision and accuracy were confirmed by testing the output of the function against the output of a floating point C implementation and deriving the RMS error over the 8x8 block data. The program size and execution speed are shown in Tab.1. Tab.2 shows the time statistic of compressing an image and some captured pictures.

Tab. 1 Program cycle count and memory

Code Segment	Cycle Count	Program Words
Init	7	4
Data	30	7
Kernel	1 303	109

Tab. 2 Time of image compression

Image size	Compression quality	Compression time/s
640×480	80	0.7
1 024×768	80	2.0

4 Conclusion and Prospect

The structure of DSP makes it efficient for image compression. The on-chip MAC (Multiplier-Accumulator) is a fast and high-performance way to execute calculation of FFT or DCT. It can be widely used in low cost solution of digital camera, MP3 and other applications.

References

[1] JPEG(ISO/IEC JTC1/SC2/WG8). Digital compression and coding of continuous still picture[S]. ISO/IEC CD10918  
[2] Wu Weiyu. Multimedia developers'guide[M]. Dalian: Publishing House of Dalian Science and Engineering University, 1994  
[3] Motorola. Motorola DSP56800 User Manual[Z]. 2000

编辑 漆 蓉

(上接第363页)

参 考 文 献

[1] Werner D H, Ganguly S. An overview of fractal antenna engineering research[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2003, 1(45): 38-57  
[2] Puente C, Romeu J, Cardama A. The koch monopole: a small fractal antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2000, 11(48): 1 773-1 781  
[3] Best S R. On the resonant properties of the Koch fractal and other wire monopole antennas[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, 2002, 3(1): 74 -76  
[4] Harrington R F. Field computation by moment methods[M]. New York: The Macmillan Company, 1968  
[5] Johnson J M, Rahat-Samii Y. Genetic algorithms in engineering electromagnetics[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 1997, 4(39): 7-21  
[6] Balanis C A. Antenna theory, analysis and design[M]. NewYork: Wiley, 1982

编辑 孙晓丹

## 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](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>