

具有二次 Koch 分形边界的圆极化微带天线

林澍^{1,2}, 张雪莹², 王宇蝶², 刘圣英², 邱景辉², 王进祥³

(1. 哈尔滨工业大学 电子科学与技术博士后科研流动站, 黑龙江 哈尔滨 150080;

2. 哈尔滨工业大学 电子与信息工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;

3. 哈尔滨工业大学 微电子科学与技术系, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要:设计了一种单馈点圆极化微带天线。微带贴片采用二次 Koch 分形边界的贴片结构,通过底馈方法激励起两个相互正交的简并模实现圆极化;采用 CST Microwave Studio[®] 软件进行了仿真,其结果表明,在微带贴片的对角线上适当位置用探针馈电,可以实现圆极化辐射。对具有介质损耗的天线进行了仿真,结果与理想介质的差异较大。设计了一个右旋圆极化微带天线,并进行了测试。该天线工作于 1.575 GHz;VSWR 小于 2 的阻抗带宽为 51 MHz;轴比为 4 dB;增益为 3.8 dB;贴片尺寸为 42.4 mm×42.4 mm,可以用作 GPS 天线。

关键词:微带天线; 圆极化; Koch 分形; GPS

中图分类号:TN82-34

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2011)02-0093-03

Circularly Polarized Microstrip Antenna with Quadratic Koch Fractal Boundary

LIN Shu^{1,2}, ZHANG Xue-ying², WANG Yu-die², LIU Sheng-ying², QIU Jing-hui², WANG Jin-xiang³

(1. Electronic Science and Technology Post-Doctoral Research Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China;

2. School of Electronics and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China;

3. Department of Microelectronics Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: A Koch fractal boundary circularly polarized microstrip antenna with single feeding point is presented. The microstrip patch has a quadratic Koch fractal boundary structure which stimulates two orthogonal degenerate modes to realize circular polarization by feeding at the bottom. The antenna simulation is performed with CST Microwave Studio[®] software. The simulation results show that the antenna can realize the characteristic of circular-polarization with the feeding position on the diagonal line of the patch. The antenna with dielectric loss of board is simulated, and the results differ from those in perfect dielectric, which is embodied in the decrease of the gain and the increase of axial ratio. A dextrorotatory circularly polarized microstrip antenna is proposed and tested, which works at 1.575 GHz with impedance bandwidth of 3.2% at VSWR less than 2, and whose axial ratio is 4 dB and gain is 5 dB. The size of the antenna is 42.4 mm×42.4 mm, and it can be used as GPS antenna.

Keywords: microstrip antenna; circular-polarization; Koch fractal; GPS

0 引言

全球卫星定位系统(GPS)的通信设备对天线要求是能够提供右旋圆极化且均匀涵盖上半球形的场型,要求天线的辐射方向图具有宽波束和良好的旋转对称性,此外,还要求天线有良好的广角圆极化特性^[1]。微带天线具有体积小,重量轻,低剖面,易于集成和制造等优点^[2],在卫星定位系统领域获得了广泛应用。微带天线实现圆极化的条件是,通过馈电激励起两个极化方向正交、幅度相等、相位相差 90°的线极化波。

当前微带天线实现圆极化方法主要有 3 种单馈点

法^[3]、多馈点法^[4]和多元法^[5]。单馈点法基于空腔模型理论,利用简并模分离元产生两个正交极化的简并模,可以采用微扰法实现,如切角、开槽^[6]、异形边界^[7-8]等。多馈点法采用多个馈点馈电,由馈电网络实现圆极化工作条件。多元法使用多个线极化辐射元,原理与多馈点法相似,只是将每一馈点分别对一个线极化辐射元馈电。

分形贴片是实现单馈点圆极化天线的一种重要手段。本文主要研究了一种可用于 GPS 系统的具有 Koch 分形贴片边界的单馈点圆极化微带天线,利用电磁仿真软件 CST Microwave Studio[®] 仿真和实验的手段研究其特性,并通过调整实现了天线在 1.575 GHz 处的圆极化特性。

1 天线的设计

Koch 分形^[9-10]边界的微带天线结构如图 1 所示。图 1 中给出了 Koch 分形贴片的生成过程,逐次将一线段中间的 1/3 长度部分用两段折线代替,就形成了 Koch 分形曲线;然后形成以该曲线为边界的分形贴片,最终形成一种分形结构的微带天线。设最外层贴片边长为 $L = W = l, \theta_x = \theta_y = \theta$, 经过 n 次迭代,则贴片的边长 l_n 为:

$$l_n = \left(\frac{2\cos\theta + 1}{3\cos\theta} \right)^n l \quad (1)$$

将分形贴片印刷于相对介电常数 $\epsilon_r = 4.4$ 、厚度为 3 mm 的 FR4 基板的一面,另一面为地板,用 50Ω 的同轴线探针馈电,即构成了 Koch 分形边界微带贴片天线,这里采用的是 $n=1,2$ 两种分形情况。

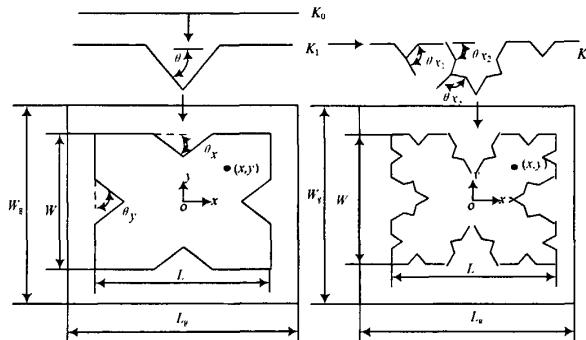


图 1 Koch 方形分形微带天线贴片的结构

利用 CST Microwave Studio[®] 软件对 Koch 分形微带天线进行仿真,在经过大量仿真的基础之上,可以得出如下规律:

(1) 对于一次和二分形贴片来说,贴片尺寸与通频带中心频率对应波导波长成正比,由式(1)可知,在确定贴片边长和角度之后,贴片的结构也就确定下来了。贴片边长与通带中心频率对应的波导波长的关系为:

$$\frac{L}{\lambda_g} = 0.45 \sim 0.47 \quad (2)$$

式中: L 为 Koch 分形贴片的边长; λ_g 为通带中心频率对应的波导波长。由此式即可调整天线的工作频点,这与普通微带贴片天线类似。需要注意的是,当 θ 的值较大时(45°),式(2)取 0.45;当 θ 的值较小时(35°),式(2)取 0.47。由于分形次数对式(2)的取值影响不大,仅与一次分形时 θ 的取值有关(因为 θ 所取的值低于 45°),所以边长的增加并不多,不会有明显的尺寸缩减效果。

(2) 贴片采用 Koch 分形边界结构以及对角线馈电,可以形成两个正交的简并模 TM_{01} 模和 TM_{10} 模;在贴片对角线上的适当位置馈电,可使这两个模式具有等

幅度和 90° 相位差,从而实现圆极化。该圆极化方式可以通过对贴片通频带附近的史密斯圆图仿真得到验证,如图 2 所示。史密斯圆图阻抗曲线上的尖端说明在此处产生了两个简并模,这种情况所产生的圆极化往往带宽较窄。

(3) 图 1 中所示的馈电结构为右旋圆极化天线,若在关于 x 轴或 y 轴的对称点处馈电,则为左旋圆极化天线。

(4) 二次 Koch 分形边界的微带贴片天线与一次分形天线相比,轴比特性会得到改善。

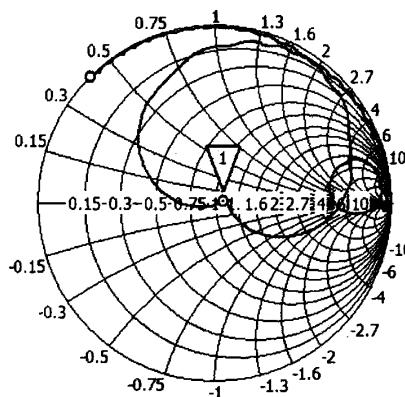


图 2 史密斯圆图阻抗随频率变化曲线仿真结果

2 仿真结果

根据上述对天线结构的研究结果和 GPS 系统的要求,可以进行如下指标的天线设计。

如工作频带 $1565 \sim 1585$ MHz;右旋圆极化,轴比低于 7 dB;增益大于 2 dB。最终得到的天线结构参数如下:

二次 Koch 分形贴片长 $L = W = 42.4$ mm, $\theta_{x1} = 51.9^\circ, \theta_{x2} = 23.0^\circ, \theta_{x3} = 66.0^\circ, \theta_{y1} = 40.3^\circ, \theta_{y2} = 35.3^\circ, \theta_{y3} = 54.0^\circ$, 介质基板为边长 $L_g = W_g = 70$ mm, 厚 $h = 3$ mm, 相对介电常数为 $\epsilon_r = 4.4$, 损耗正切为 0.025 的 FR4 基板;同轴探针馈电,馈电位置距离中心点距离 $x=y=5.0$ mm。仿真结果如图 3 所示,其中损耗正切为 0 的情况是理想的无耗介质情况。

在介质为无耗时,设计的天线在 $1550 \sim 1601$ MHz 范围内, VSWR 小于 2, 具有 51 MHz (3.2%) 的阻抗带宽,且在 1575 MHz 处具有 5.9 dB 的增益和 1.4 dB 的轴比;在介质为有耗时,驻波系数升高,且轴比和增益特性均变差,轴比升至 6.7 dB,圆极化增益降至 2.5 dB,但还是满足指标要求。仿真结果还说明,在介质为均匀介质时,无论是否存在损耗,天线的方向图均具有良好的旋转对称性。

3 实验结果

采用FR4基板制作了一个前面所仿真的天线，并进行了测试，结果如图4所示。天线的测试结果表明，

考虑了介质损耗的仿真结果与实测结果吻合较好，说明在天线的仿真研究中，介质损耗是必须考虑的因素。天线的增益测量值在1575 MHz时为3.8 dB，轴比为4 dB，均满足指标要求。

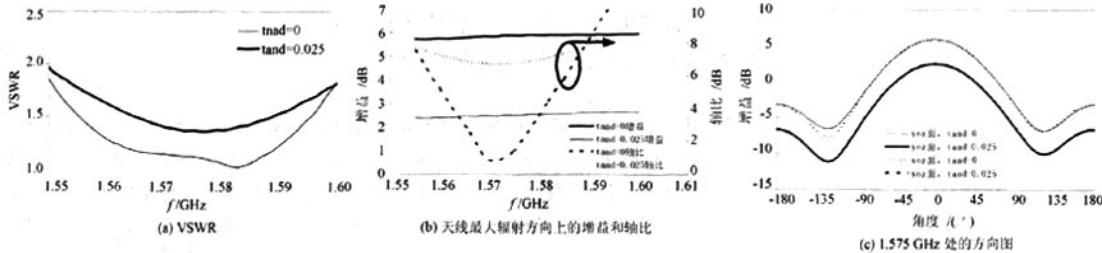


图3 所设计的Koch分形天线仿真结果

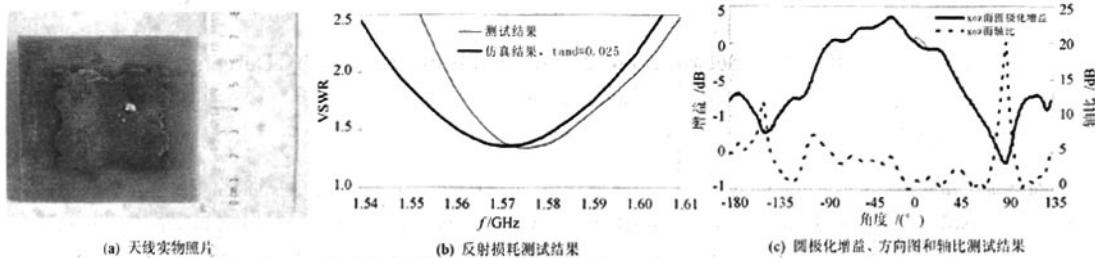


图4 天线实物及测试结果

4 结语

研究了一种具有二次Koch分形边界、单馈点、用于GPS系统的圆极化微带贴片天线，对它的设计过程进行了详细论述，并得出了仿真与测试结果。这种天线具有51 MHz的阻抗带宽，若采用的介质材料损耗较大的话，其增益相对较低，但是也能够满足GPS系统的要求，如果能够采用低损耗介质，则轴比特性和增益可以进一步提高。

参考文献

- [1] 商锋,王保平.GPS圆极化微带天线的研究[J].弹箭与制导学报,2009,29(3):193-194,198.
- [2] 鲍尔I J,布哈蒂亚P.微带天线[M].梁联伟,寇廷耀,译.北京:电子工业出版社,1984.
- [3] 王骞,席晓莉.小型双频圆极化微带天线[J].现代电子技术,2008,31(5):87-88,92.
- [4] 陈腾博,焦永昌,张福顺.一种宽频带圆极化微带天线的设计[J].空间电子技术,2006(3):61-64.
- [5] 王玉峰,何帅,朱永建,等.一种CPW馈电圆形缝隙宽带圆极化天线[J].通信对抗,2008(4):39-41.
- [6] 李强,鄢泽洪,张小苗.一种新的小型圆极化微带天线[J].空间电子技术,2005(4):52-56.
- [7] 林澍,韩雪,李文军,等.分形圆极化双频微带天线[C]//2009年全国天线年会论文集(上册).成都:电子工业出版社,2009:110-112.
- [8] RAO P Nageswara, SARMA N V S N. Fractal boundary circularly polarized single feed microstrip antenna [J]. Electronics Letters, 2008, 44(12): 713-714.
- [9] PUENTE C, ROMEU J, POUS R, et al. Small but long Koch fractal monopole [J]. Electronics Letters, 1998, 34(1): 9-10.
- [10] 刘英,龚书喜,郭晖,等.用于天线RCS减缩的分形微带贴片天线[J].电子学报,2004,32(9):1530-1531.
- [11] 邵晓亮,邹永庆.X波段宽带圆极化微带天线的设计[J].现代电子技术,2010,33(1):100-102.

作者简介:林澍 男,1979年出生,辽宁丹东人,博士后,讲师。主要研究方向为天线小型化技术、分形天线技术。

张雪莹 女,1989年出生,黑龙江哈尔滨人,哈尔滨工业大学电子与信息工程学院学生。

王宇碟 女,1988年出生,黑龙江哈尔滨人,哈尔滨工业大学电子与信息工程学院学生。

刘圣英 男,1988年出生,黑龙江哈尔滨人,哈尔滨工业大学电子与信息工程学院学生。

邱景辉 男,1960年出生,黑龙江集贤人,博士,教授,博士生导师。研究方向为微波毫米波电路与天线。

王进祥 男,1968年出生,黑龙江哈尔滨人,博士,教授,博士生导师。研究方向为VLSI/SoC设计方法及其实现技术。

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)，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>