

分形圆极化双频微带天线

林澍^{1,2} 韩雪² 李文军² 杨彩田² 邱景辉² 王进祥³

(哈尔滨工业大学电子科学与技术博士后科研流动站, 哈尔滨 150080)¹; (哈尔滨工业大学电子与信息工程学院, 哈尔滨 150080)²; (哈尔滨工业大学微电子科学与技术系, 哈尔滨 150080)³

摘要: 研究了一种单馈点右旋圆极化双频微带天线。通过双层贴片实现双频, 微带贴片采用 Crown 方形分形结构, 通过激励起两个相互正交的简并模实现圆极化。采用 CST MWS®软件进行仿真, 结果表明在微带贴片的对角线临近区域用探针馈电, 可以实现圆极化辐射。用 FR4 材料做介质基片制作了天线实物并进行测试, 该双频天线在 1.616GHz 和 2.49GHz 两个频点处, 阻抗带宽(VSWR<2)为 2.4%, 6dB 轴比带宽为 2%, 增益 0dB 以上, 实验结果与仿真结果基本吻合。

关键词: 微带天线, 圆极化, 分形, 双频

A Fractal Circular-Polarization and Dual-Frequency Microstrip Antenna

Lin Shu^{1,2} Han Xue² Li Wen Jun² Yang Cai Tian² Qiu Jing Hui² Wang Jinxiang³

(Electronic Science and Technology post-doctoral research center, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150080, China)¹; (School of Electronics and Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150080, China)²; (Department of Microelectronics Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150080, China)³

Abstract: A right circular-polarization and dual-frequency microstrip antenna with single feeding point is presented. Double-patch is used to achieve dual-frequency. The microstrip patch has Crown fractal structure which generates two orthogonal modes to realize circular polarization. The antenna is simulated on the software CST MWS®. The simulation results show that the antenna can realize the characteristic of circular-polarization with the feeding position around the diagonal line of the patch. The antenna is manufactured on FR4 board and measured. The experimental results show that the antenna work at 1.616GHz and 2.49GHz, the impedance bandwidth (VSWR <2) up to 3%, 6dB axial ratio bandwidth of 2%, gain more than 0dB, the experimental results coincide with the simulation results.

Keywords: Microstrip Antennas; Circular-Polarization; Fractal; Dual-Frequency

1 引言

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, 在卫星通信、卫星定位系统等各个领域获得了广泛应用。而圆极化微带天线在当前的应用愈加广泛。圆极化天线可接收任意线极化的来波, 且其辐射波也可由任意线极化天线收到, 故电子侦察和干扰中普遍采用圆极化天线^[1]。

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的、幅度相等的、相位相差 90°

的线极化波。当前微带天线实现圆极化主要有三种方法, 分别是单馈点法^[2]、多馈点法^[3]和多元法^[4]。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。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。

本文结合微带天线及分形技术的优点, 研究并设计了二阶形式的 Crown 方形分形双频圆极化微带天线。利用 CST MWS®软件对可用于“北斗”系统的双频圆极化微带天线进行了建模仿真, 制作了相

应的天线并做了测试，考虑到天线的实用化，对天线做了结构调整。实验结果表明该天线工作在 1.616GHz 和 2.49GHz 处，阻抗带宽(VSWR<2)达 3%，6dB 轴比带宽为 2%，增益 0dB 以上，与仿真结果吻合，可满足“北斗”系统要求。

2 双频微带天线单元的设计

Crown 分形微带天线^[5-6]贴片结构如图 1 所示。图中给出了 Crown 分形贴片的生成过程，逐次将边长为前次分形结构一半的图形内嵌，最终形成一种自相似的分形结构，其中灰色区域为金属贴片，白色区域为空白区。设最外层贴片边长为 L ，经过 n 次迭代，中心方形的边长 l_n 满足^[7]

$$l_n = \frac{L}{2^{2^n - 1}} \quad (1)$$

将分形贴片印刷于相对介电常数 $\epsilon_r=2.32$ 、厚度为 3mm 基板的一面，另一面为地板，用 50 欧姆的同轴探针馈电，即构成了 Crown 方形分形微带天线。分别设计上述结构的工作频率为 1616MHz 和 2490MHz 的两个圆极化微带天线，天线的结构参数列于表 1 中，电参数的仿真结果列于图 2 中。在仿真中没有考虑导体和介质损耗。

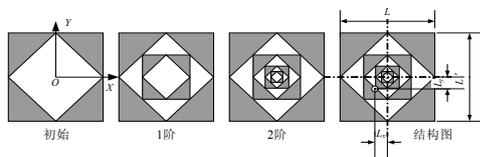


图 1 Crown 方形分形微带天线贴片的结构

表 1 中的数据是利用 CST MWS[®]软件对 Crown 方形分形微带天线进行仿真的基础之上得到的，通过仿真研究可以得出如下规律：

表 1 微带天线单元的参数

参数	天线 1(1616MHz)	天线 2(2490MHz)
介质板边长	70mm	50mm
L	49.7mm	32.5mm
L'	51.8mm	33.9mm
L _x	6.5mm	4.2mm
L _y	6.5mm	4.2mm
相对带宽	3.85%	3.98%
贴片电尺寸	0.42λ _g	0.42λ _g

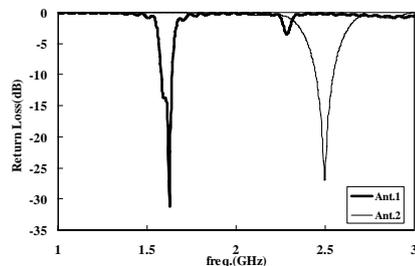


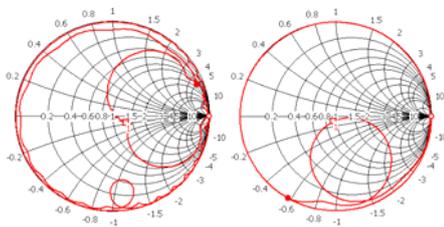
图 2 天线 1 和 2 的反射损耗仿真结果

① 对于 2 阶分形贴片来说，由式(1)可知，贴片边长确定之后，内部的结构也就确定下来，而贴片边长与通带的中心频率对应介质波长的关系如(2)式：

$$L = 0.42\lambda_g \quad (2)$$

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。

② 贴片采用 Crown 方形分形结构可以形成两个正交的简并模 TM_{01} 模和 TM_{10} 模，在贴片上选择适当的位置馈电，使这两个模式具有等幅度和 90° 相位差，从而能够实现圆极化。这一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 3 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。



a) 天线 1 b) 天线 2

图 3 史密斯圆图阻抗随频率变化曲线仿真结果

仿真结果表明：利用 50 欧姆同轴探针馈电时，馈电位置在方形贴片对角线附近天线的圆极化带宽会显著增加，选取其他位置则圆极化带宽很窄。经过仿真优化本文选取表 1 中的馈电位置使圆极化带宽达到最宽。

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

④ 在文献[6]中采用改变贴片长宽比可对其圆极化特性进行改进，根据其中结论本文采用长宽比为 1.04 的贴片进行优化。

3 双频微带天线的设计

根据以上对于天线结构的研究结果和“北斗”卫星导航通信的要求，确定天线设计指标如下：

- ① 天线工作频带为 $1616 \pm 10\text{MHz}$ 和 $2490 \pm 10\text{MHz}$ ；
- ② 右旋圆极化；
- ③ 轴比优于 6dB ；
- ④ 圆极化增益优于 0dBi 。

在第 2 部分仿真的基础之上，采用如图 4 所示的天线结构。两层介质板的相对介电常数均为 4.5，其中贴片 1 既充当辐射贴片又起到贴片 2 地板的作用，可以实现微带天线的双频特性。由于两个贴片之间的相互影响以及贴片 1 的分形结构，将第 2 部分设计的贴片 1 和 2 直接层叠馈电后会导致频率偏移，还需要进行仿真调试，调试的内容如下：① 上下贴片的相对位置；② 上下贴片的边长；③ 馈电位置；④ 介质板尺寸。最终通过 CST 仿真所得到的天线结构参数列于表 2 中，仿真结果列于图 5~图 6 中。天线在 1616MHz 的频带宽度为 31MHz (1.9%)，轴比 -2.6dB ， 2490MHz 的频带宽度为 55MHz (2.2%)，轴比 -2.8dB ，满足指标要求。

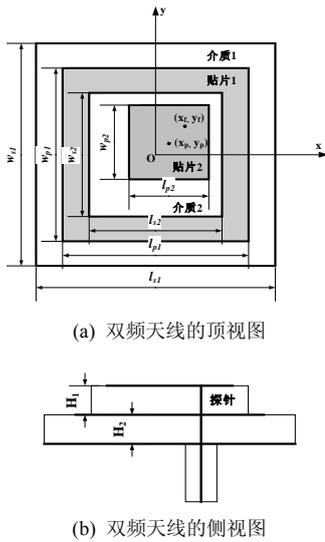


图 4 分形圆极化双频微带天线仿真模型

表 2 微带天线的参数 (单位: mm)

参数	数值	参数	数值	参数	数值
l_{s1}	60	l_{s2}	36	x_p	1.5
w_{s1}	60	w_{s2}	36	y_p	4.8
l_{p1}	36.5	l_{p2}	24.2	x_f	4.7
w_{p1}	37.6	w_{p2}	25.2	y_f	8.0
H_1	3	H_2	3		

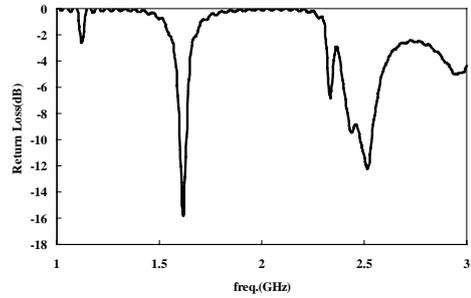
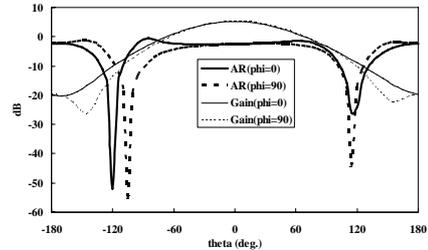
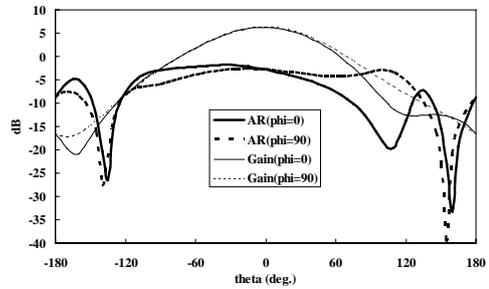


图 5 双频右旋圆极化微带天线的反射损耗



a) $f=1616\text{MHz}$

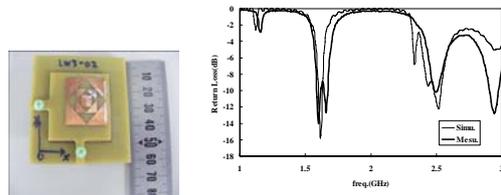


b) $f=2490\text{MHz}$

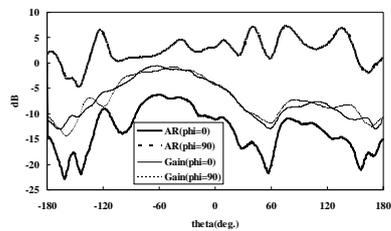
图 6 双频右旋圆极化微带天线的轴比和增益

4 实验结果

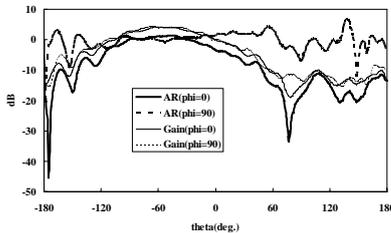
根据上述仿真结果，采用 FR4 敷铜板制作了天线如图 7 a)所示，考虑到天线的加固问题，在上层介质板两侧延伸出一条加固带，并用介质螺丝将上下两个介质板固定，仿真证明不影响天线性能，天线测试结果见图 7。



a) 天线实物照片 b) 反射损耗测试结果



c) 1616MHz 圆极化增益和方向图测试结果



d) 2490MHz 圆极化增益和方向图测试结果

图 7 天线实物及测试结果

天线测试结果为：阻抗带宽 1616MHz 处 2.4%，2490MHz 处 2.4%；圆极化增益 1616MHz 处 -0.5dB，2490MHz 处 4.4dB；轴比在 1616MHz 处 3.1dB，2490MHz 处 0.13dB，6dB 轴比带宽均为 2%，满足指标要求。

5 结论

研究了一种单馈点的可用于“北斗”卫星导航系统的圆极化微带天线，对它的设计过程进行了详细论述并得出了仿真和测试结果。从仿真和实验结果可以看出，这种天线具有良好的阻抗带宽，由于采用的介质材料损耗较大，所以增益相对较低，但是也能够满足系统要求，如果能够采用低损耗介质，则增益可以进一步提高。

参考文献

- [1] 薛睿峰,钟顺时.微带天线圆极化技术概述与进展[J].电波科学学报, 2002, 17(4): 331~336
- [2] 韩庆文, 邓松, 王韬. 单点背馈圆极化微带天线的设计与实现[J]. 重庆大学学报. 2008, 31(1): 50~51
- [3] K-L Wong, T-W Chiou. Broad-band single-patch circularly polarized microstrip antenna with dual capacitively coupled feeds[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation. 2001, 49(1): 41~47
- [4] Burkhard Schiek and Jurgen Kohler. A method for broad-band matching of microstrip deferential phases shifters[J]. IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. 1977, 25(8): 666~671
- [5] Dehhoda, P.Tavakoli. A circularly polarized microstrip fractal antennas[C]. 2004 Antennas and Propagation Society International Symposium. 2004, 4: 3453~3456
- [6] El-Damak A.R., Ghali H., Ragaie,H.F.. Circularly polarized fractal slot antenna[C]. 2005 European Microwave Conference. 2005, 1: 4
- [7] 林澍, 邱景辉, 张晓阳, 任河, 杨彩田. 一种应用于 GPS 的分形圆极化微带天线. 第十三届海峡两岸无线电技术研讨会. 2008, 6

作者简介:

林澍, 男, 1979 年生, 辽宁省丹东市人, 毕业于哈尔滨工业大学, 博士后, 现任哈尔滨工业大学讲师, 主要研究方向为天线分析与设计。

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)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),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>