

正交缝隙耦合馈电宽带圆极化微带天线设计

张 昭, 曹祥玉*, 李思佳, 郭 蓉

(空军工程大学信息与导航学院, 陕西西安, 710077)

摘要 为了实现圆极化微带天线的频带拓宽和增益提高,在缝隙耦合天线的基础上,设计了一种 Ku 频段正交缝隙耦合馈电的宽带圆极化微带天线。该天线以双层方形贴片为辐射单元,在拓展天线阻抗带宽的同时提高了增益;采用微带线结合正交左旋缝隙结构实现耦合馈电,通过优化缝隙结构改善了天线轴比特性。测量结果表明:阻抗带宽($VSWR < 2$)和轴比带宽($AR < 3$ dB)分别达到 22.5%和 16.2%,轴比带宽内天线增益均大于 9 dBi。该结构天线以其简单的馈电设计为宽带圆极化微带天线设计提供了一定的参考价值。

关键词 微带天线;宽频带;圆极化;正交左旋缝隙

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2014.02.014

中图分类号 TN82 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2014)02-0057-05

Design of Wideband Circularly Polarized Microstrip Antenna Fed by Orthogonal Slots

ZHANG Zhao, CAO Xiang-yu*, LI Si-jia, GUO Rong

(Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: On the basis of aperture coupled antenna, a wideband circularly polarized microstrip antenna coupled by orthogonal slots is designed in Ku band to broaden the bandwidth and improve the gain. In the antenna a layered structure with two square patches is taken as radiating elements, so the gain is improved with the broadening of the bandwidth. Coupling feedstructure is realized by adopting microstrip line with left-hand orthogonal slots (Left-Hand Orthogonal Slots) and the axial ratio is improved by optimizing slots size. The measured results show that 22.5% ($VSWR < 2$) bandwidth and 16.2% 3 dB axial ratio bandwidth are achieved respectively and the gain is better than 9 dBi within 3 dB axial ratio bandwidth. The feed design of the antenna in the above structure is simple, and provides a reference for designing circularly polarized microstrip antenna.

Key words: microstrip antenna; wide band; circular polarization; left-hand orthogonal slots

现阶段圆极化微带天线具有体积小、剖面低、易共形、能接收任意线极化来波等优点在卫星通信领

域中拥有广阔的应用前景,因此对其研究具有重要意义^[1-2]。但是由于圆极化微带天线阻抗带宽和轴

收稿日期:2013-10-09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61271100);陕西省自然科学基金资助项目(2012JM8003)

作者简介:张 昭(1990—),男,陕西宝鸡人,硕士生,主要从事微带天线,电磁场数值计算研究。E-mail:bjzhangzhao323@163.com

*通信作者:曹祥玉(1964—),女,教授,博士生导师,主要从事天线与电磁兼容、电磁超阶级材料等研究。E-mail:gjgj9694@163.com

引用格式:张昭,曹祥玉,李思佳,等.正交缝隙耦合馈电宽带圆极化微带天线设计[J].空军工程大学学报:自然科学版,2014,15(2):57-61. ZHANG Zhao, CAO Xiangyu, LI Sijia, et al. Design of wideband circularly polarized microstrip antenna fed by orthogonal slots[J]. Journal of air force engineering university: natural science edition, 2014, 15(2): 57-61.

比带宽通常较窄、增益较低需要进一步的研究。

针对拓展圆极化轴比带宽、提高天线增益的问题,文献[3]提出一种双层贴片结构,利用威尔金森功分器通过H形口径耦合馈电,轴比带宽虽达到30%,但增益仅大于6 dBi;文献[4~5]深入介绍了通过微带巴伦为4个L型探针馈电的单贴片圆极化微带天线,3 dB轴比带宽均达到了80%,但带内增益仅在3 dBi以上;文献[6~7]应用三馈电方式实现圆极化辐射,3 dB轴比带宽分别达到19.8%和33%,带内增益大于3 dBi;以上设计虽然轴比带宽得到很大扩展,但是馈电网络的设计都很复杂,且带内增益较低。单馈电方式的圆极化微带天线虽无需额外电路,但它所能提供圆极化带宽较窄,文献[8]选择双层方形倒角贴片为辐射单元,分别采用微带线边馈和耦合馈电,其天线单元3 dB轴比带宽分别达到8.0%和11.67%;文献[9]通过在双层微带天线的圆环贴片上加载面积适当的矩形缝隙对的方式辐射圆极化波,其3 dB轴比带宽为12%;文献[10]采用同轴馈电双层贴片结构使轴比带宽扩展至13.5%,带内增益约7.5 dBi。

为了进一步展宽天线的工作频带和提高天线的增益,本文提出采用正交不等长缝隙耦合馈电的Ku频段双层贴片宽带圆极化微带天线。该结构微带天线以非常简单的馈电方式实现了宽频带高增益圆极化辐射,在卫星通信领域应用前景广阔。

1 天线单元设计

为扩展圆极化轴比带宽、提高增益、简化馈电网络设计,提出了2种正交缝隙耦合馈电的Ku频段层叠结构圆极化微带天线,其结构见图1。

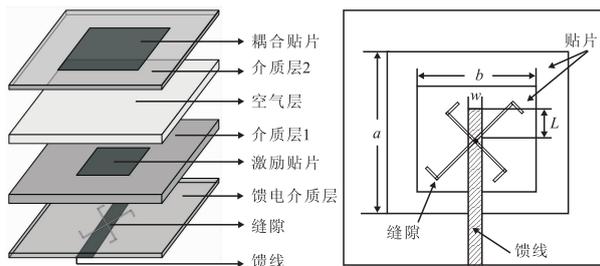


图1 天线结构

Fig.1 Antenna structure

整个天线结构从下至上依次为馈电介质层、介质层1、空气层、介质层2,开路微带馈线位于馈电介质层下表面,下层贴片印制在介质层1的上表面,上层贴片印制在介质层2的下表面。缝隙部分由2个末端带拐角的不等长矩形缝隙正交组成,根据缝隙所在平面法向与缝隙末端拐角指向,依次将其记作正交左旋缝隙(Left-Hand Orthogonal Slots,

LHOS)型和正交右旋缝隙(Right-Hand Orthogonal Slots,RHOS)型,见图2。

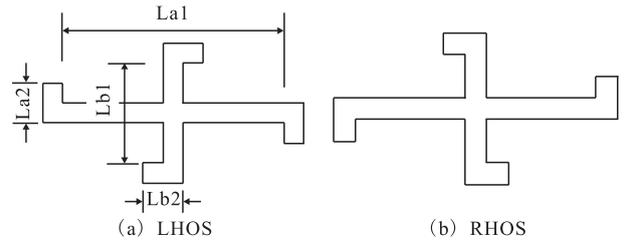
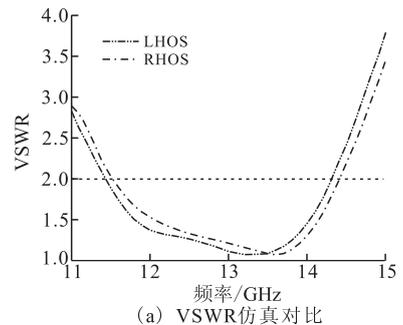


图2 LHOS型和RHOS型结构

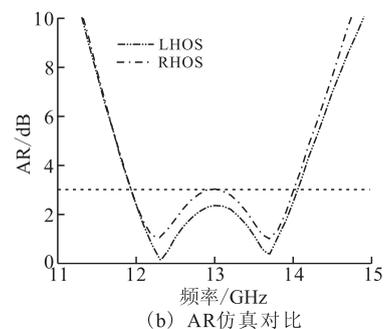
Fig.2 Structures of LHOS and RHOS

2 参数分析

为分析缝隙末端拐角指向对天线性能的影响,在天线尺寸参数相同的条件下,分别对LHOS型和RHOS型天线的VSWR和AR进行了仿真对比,结果见图3。由图3可知,对于右旋圆极化波,LHOS型缝隙会延长电流路径,使谐振频带向低频移动,相对带宽增大;RHOS型缝隙会使天线交叉极化分量增大,导致轴比特性恶化。



(a) VSWR仿真对比



(b) AR仿真对比

图3 LHOS型和RHOS型天线仿真结果对比

Fig.3 Comparison of simulated LHOS and RHOS

通过上述分析,选择LHOS型缝隙设计圆极化天线,先根据驻波比确定贴片尺寸,再优化缝隙结构尺寸。缝隙末端的拐角等效为电抗性负载^[11],实现圆极化辐射的同时,极大地减小了馈电网络的复杂性。根据文献[12]的论述,缝隙的宽度固定在很小值,主要通过改变长度调节谐振频率和谐振电阻。

利用Ansoft HFSS 14.0仿真软件分别对LHOS型缝隙结构的参数La1、Lb1、La2和Lb2进

行分析,仿真结果见图 4。其他参数如下: $a = 7.4$ mm, $b = 5.5$ mm, $w = 1.2$ mm, $L = 2$ mm,缝隙宽度均为 0.2 mm。

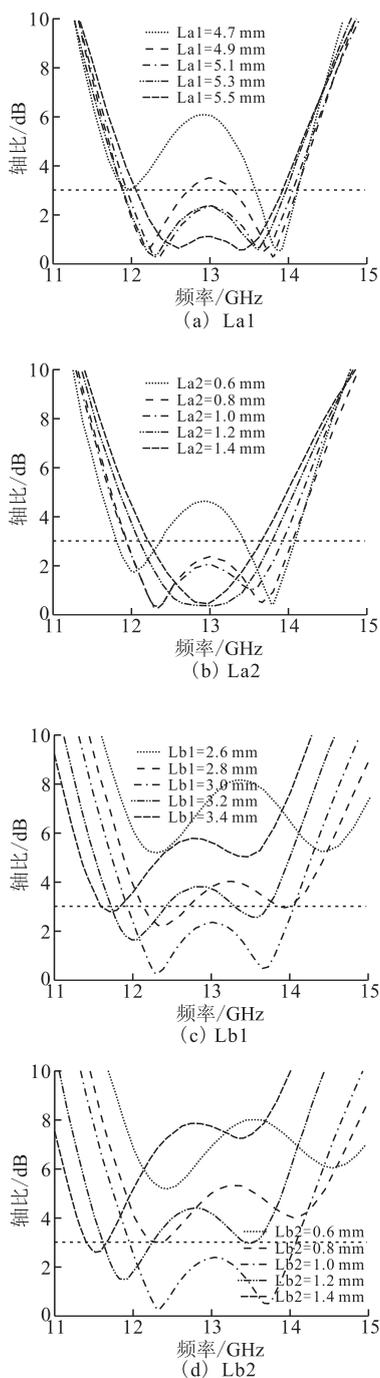


图 4 不同缝隙尺寸的轴比结果

Fig.4 AR results of different slot parameters

由图 4(a)、(b)可知,随着 La_1 和 La_2 的增大 2 个谐振点逐渐靠近,并且 2 个谐振点之间的轴比值逐渐减小;由图 4(c)、(d)可知,随着 Lb_1 和 Lb_2 的增大,2 个谐振点频率逐渐向低频移动,两谐振点之间的轴比值先减小后增大。由此可知,短缝隙主要影响谐振频点位置,长缝隙主要影响谐振点之间的距离,故适当选取缝隙长度值可以达到扩展 3 dB 轴比带宽的目的。

当频率为 13 GHz 时,LHOS 型天线上下层辐射贴片表面电流分布结果见图 5。相位以 90° 间隔从 0° 增加到 270° 。由图 5(a)可知,相位为 0° 时,电流方向主要指向 $-y$ 方向;相位为 90° 时,电流方向主要指向 $+x$ 方向;相位为 180° 时,电流方向主要指向 $+y$ 方向;相位为 270° 时,电流方向主要指向 $-x$ 方向;同理分析下层贴片可知,该天线辐射右旋圆极化波。需要指出的是,将馈线绕 z 轴旋转 90° 后所形成的天线将辐射左旋圆极化波^[13],由于结构的轴对称性,这 2 种极化方式天线的其他性能必然相同。

图 5 贴片表面电流分布
Fig.5 Distribution of surface current

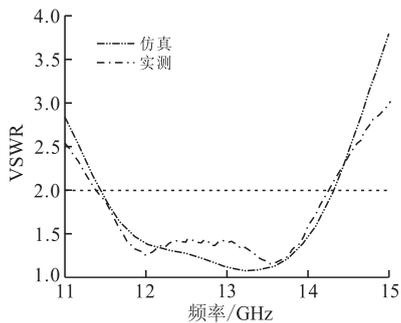
3 实测分析

加工制作了 LHOS 型圆极化微带天线,天线实物见图 6。利用 Agilent N5230C 矢量网络分析仪、云傲 AT-1 转台、标准增益喇叭天线和宽频带增益喇叭天线构成远场测试环境,对天线的 VSWR 进行了测试,利用极化瓣图法^[14-15]测量出天线的极化瓣图,进而得到天线的 AR。图 7 中,仿真 $VSWR < 2$ 和 $AR < 3$ dB 的频率范围分别是 11.45~14.31 GHz 和 12.0~14.0 GHz,相对带宽分别为 22.2% 和 15.4%,实测 $VSWR < 2$ 和 $AR < 3$ dB 的频率范围分别是 11.38~14.26 GHz 和 11.9~14.0 GHz,

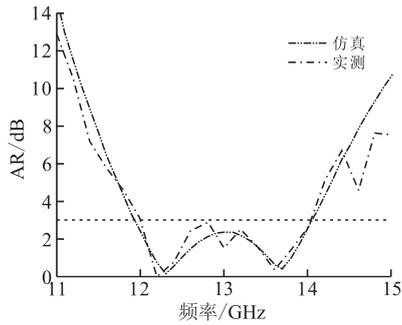
相对带宽分别为 22.5% 和 16.2%，实测与仿真结果基本吻合，验证了设计的可靠性。阻抗带宽与轴比带宽均向低频有略微偏移，这可能是上下贴片中心未完全对正和空气层厚度不均匀导致。

图 6 天线实物图

Fig.6 Fabricated antenna



(a) VSWR结果对比

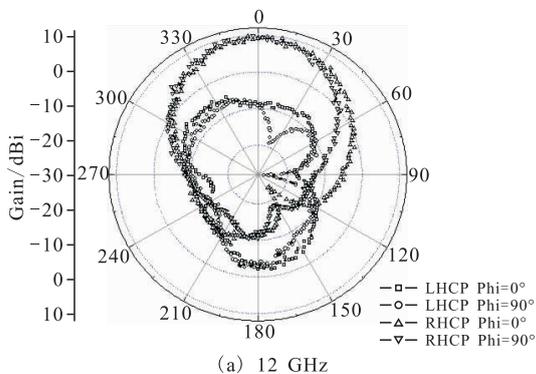


(b) AR结果对比

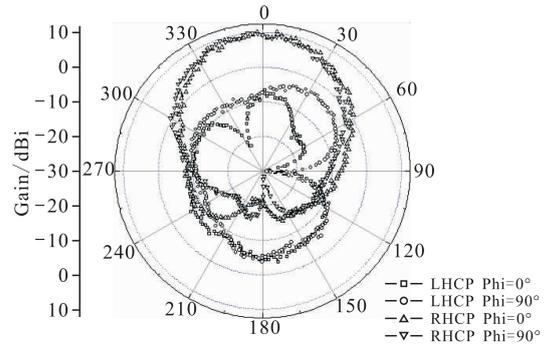
图 7 VSWR 和 AR 实测结果

Fig.7 Measured VSWR and AR results

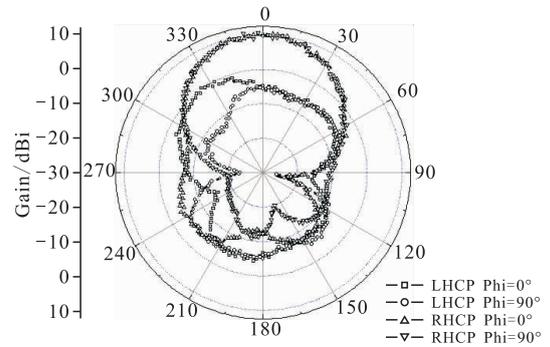
选取 12 GHz、13 GHz 和 14 GHz 3 个频点测试了方向图，结果见图 8。3 个频点处的主辐射方向增益均大于 9 dBi，交叉极化抑制在主辐射方向大于 15 dB，反映了天线良好的右旋圆极化特性。



(a) 12 GHz



(b) 13 GHz



(c) 14 GHz

图 8 各频点实测方向图

Fig.8 Measured radiation patterns

4 结语

采用微带线结合正交缝隙结构馈电的层叠微带天线，对缝隙结构和尺寸对天线性能的影响进行了讨论和优化，实现了宽频带圆极化微带天线的设计。加工制作了 LHOS 型天线，实测结果表明该天线阻抗带宽达到 22.5%，3 dB 轴比带宽达到 16.2%，3 dB 轴比带宽内增益均大于 9 dBi。该天线具有良好的宽带圆极化和高增益性能，且馈电简单、结构紧凑，在卫星通信领域具备一定的应用前景。

参考文献(References):

- [1] 宋小弟, 冯恩信, 傅君眉. 一种新型小型圆极化 GPS 微带天线的设计与实现[J]. 西安电子科技大学学报, 2009, 36(6): 1108-1113.
SONG Xiaodi, FENG Enxin, FU Junmei. Design and implementation of a novel miniaturized circularly polarized GPS microstrip antenna[J]. Journal of Xidian university, 2009, 36(6): 1108-1113. (in Chinese)
- [2] 赵红梅, 牛艳娟, 刘藤. 新型小型化 GPS 天线设计[J]. 电讯技术, 2010, 50(1): 107-110.
ZHAO Hongmei, NIU Yanjuan, LIU Teng. A novel compact GPS antenna[J]. Telecommunication engineering, 2010, 50(1): 107-110. (in Chinese)
- [3] 周军, 王玉峰, 周江昇. 一种宽频圆极化 H 形缝耦合微带天线设计[J]. 微波学报, 2010, 26(S1): 153-156.

- ZHOU Jun, WANG Yufeng, ZHOU Jiangsheng. Design of a broadband circularly-polarized h-sharped aperture-coupled microstrip antenna[J]. Journal of microwave, 2010, 26(S1): 153-156. (in Chinese)
- [4] Bian Lei, Guo YongXin, Ong L C, et al. Wideband circularly-polarized patch antenna[J]. IEEE transactions on antennas propagation, 2006, 54(9): 2682-2686.
- [5] Guo Yong-Xin, Khoo Kah-Wee, Ong Ling Chuen. Wideband circularly polarized patch antenna using broadband baluns[J]. IEEE transactions on antennas propagation, 2008, 56(2): 319-326.
- [6] 林晨, 张福顺, 朱杨, 等. 具有稳定相位中心的三馈点圆极化微带天线[J]. 电波科学学报, 2011, 26(4): 715-721.
- LIN Chen, ZHANG Fushun, ZHU Yang, et al. Triple-fed circular polarized microstrip antenna with stable phase center[J]. Chinese journal of radio science, 2011, 26(4): 715-721. (in Chinese)
- [7] 钱祖平, 刘宗全, 冯卫华, 等. 一种新型宽带宽波束圆极化微带天线的设计[J]. 电波科学学报, 2011, 26(6): 1170-1175.
- QIAN Zuping, LIU Zongquan, FENG Weihua, et al. Design of a new circularly-polarized broadband microstrip antenna with beamwidth[J]. Chinese journal of radio science, 2011, 26(6): 1170-1175. (in Chinese)
- [8] 朱莉, 王光明, 高向军, 等. 一种新型宽带圆极化微带天线的设计[J]. 微波学报, 2008, 24(3): 21-24.
- ZHU Li, WANG Guangming, GAO Xiangjun, et al. Design of a new circular polarization broadband microstrip antenna[J]. Journal of microwave, 2008, 24(3): 21-24. (in Chinese)
- [9] 杨帅, 冯全源. 缝隙加载的宽频带圆极化微带天线[J]. 探测与控制学报, 2009, 31(5): 77-80.
- YANG Shuai, FENG Quanyuan. Slot-loaded circularly polarized broadband microstrip antenna[J]. Journal of detection & control, 2009, 31(5): 77-80. (in Chinese)
- [10] Nasimuddin, Esselle Karu P, Verma A K. Wideband circularly polarized stacked microstrip antennas[J]. IEEE antennas and wireless propagation letters, 2007, 6: 21-24.
- [11] Jung Chae-Hyun, Lim Sang-Ho, Myung Noh-Hoon. Analysis of an H-shape cross slotted aperture-coupled microstrip patch antenna[C]//Asia pacific microwave conference. Singapore: IEEE press, 2009: 1890-1893.
- [12] 张辉, 张晓发, 闫敦豹, 等. 基于 H 形缝隙耦合的宽带圆极化微带天线[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(4): 991-993.
- ZHANG Hui, ZHANG Xiaofa, YAN Dunbao, et al. Broadband circularly polarized H-shaped aperture-coupled microstrip patch antenna[J]. Journal of electronics & information technology, 2007, 29(4): 991-993. (in Chinese)
- [13] George Thomas K, Praveen G. A novel wideband circularly polarized printed antenna[J]. IEEE transactions on antennas propagation, 2012, 60(12): 5564-5570.
- [14] Jacobsen S, Rolfsnes H O, Paul R. Characteristics of microstrip muscle-loaded single-arm archimedean spiral antennas as investigated by FDTD numerical computations[J]. IEEE trans on biomedical engineering, 2005, 52(2): 321-330.
- [15] Lee M, Kramer A K, Chen C C, et al. Distributed lumped loads and lossy transmission line model for wideband spiral antenna miniaturization and characterization[J]. IEEE trans on antennas propagation, 2007, 55(10): 2671-2678.

(编辑:徐楠楠)