

一种具有高隔离度的双频双圆极化卫星通信天线

李建峰¹,孙保华¹,张军²,刘其中¹

(1. 西安电子科技大学天线与微波技术国家重点实验室,陕西西安 710071;

2. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所小卫星工程部,上海 200050)

摘要: 提出了一种新型的用于卫星通信的双频双圆极化多层微带贴片天线。该天线采用兰格耦合器正交馈电,分别在 $420 \pm 1.5\text{MHz}$ 和 $450\text{MHz} \pm 1.5\text{MHz}$ 的收发频率实现右旋和左旋圆极化辐射,且满足单一天线收发双工的通信要求;采用耦合贴片馈电方式和附加集总电路滤波网络,有效地改善了两端口之间的收发隔离度。此外,该天线采用高介电常数的介质基板减小了天线尺寸。兰格耦合器采用曲折线技术减小了馈电网络的结构尺寸(约 74.6%)。仿真和实测结果吻合良好,在工作频带内收发隔离度大于 40dB, VSWR 小于 2.0, 增益大于 3dBi, 0dB 增益宽度及 3dB 轴比宽度均达到 80°。

关键词: 高隔离度; 兰格耦合器; 耦合馈电; 双频双圆极化; 微带天线

中图分类号: TN820 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2009) 12-2829-04

Dual Frequency and Dual Circular Polarization Antenna with High Isolation for Satellite Communication

LI Jian-feng¹, SUN Bao-hua¹, ZHANG Jun², LIU Qi-zhong¹

(1. National Key Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China;

2. Microsatellite R&D department, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

Abstract: A novel dual frequency and dual circular polarization multilayer microstrip antenna for satellite communication is presented. The proposed antenna can realize right circularly polarized radiation and left circularly polarized radiation simultaneously at $420 \pm 1.5\text{MHz}$ and $450\text{MHz} \pm 1.5\text{MHz}$ by using the Lange-coupler as an orthogonal feeding network. And, the duplex communication is achieved for the single antenna. The patch coupled feeding and additional lumped filtering network improve isolation effectively. In addition, the antenna is constructed with high permittivity dielectric substrate, which can help to reduce the antenna size. The Lange-coupler size is miniaturized (about 74.6%) with the meander-line structure. A good agreement is achieved between the simulation and the experiment results. In the operating frequency band, the isolation is more than 40dB, VSWR is less than 2.0 and the radiation gain of the proposed antenna is larger than 3dBi. The measured results show that both of the 3 dB axial ratio and the 0 dB gain width reach up to 80 degrees.

Key words: high isolation; lange-coupler; coupled feeding; dual circular polarization; microstrip antenna

1 引言

随着空间技术的发展,卫星通信已成为人类社会生活中不可或缺的通讯手段之一。由于圆极化天线具有抗干扰和接收能力强等优点,被广泛应用于卫星通讯中。圆极化天线通常有四臂螺旋、十字交叉阵子、微带天线等形式^[1]。其中,由于四臂螺旋、交叉阵子这类天线轮廓较高、重量较重,不利于集成到移动终端设备。而微带天线以其特有的优势,如轮廓低、重量轻、成本小、易共形等,在卫星通信中得到了广泛的应用。考虑到抗干扰等因素,卫星通信上下行频率一般不同(频率间隔甚至相差较大),极化方式通常也不一样。这就对天线提出了双

频双极化的要求。为此,许多文献提出了双频双极化天线^[2~5],但其中大部分研究的是双线极化、线极化和圆极化或同种旋向的双极化方式。在具有较大的上下行频率间隔的收发频率上实现不同的左右旋圆极化双工通信仍然是一个值得研究的方向。另外,由于高次模、寄生辐射及色散特性的影响,微带天线的隔离度一般只有 10~20dB^[6]。较差的端口的隔离度将严重影响通信质量,特别是在收发双工一体天线中,接收信号的强度通常比发射信号强度弱得多,更加容易被干扰。因此,如何获得高隔离度是卫星通信中一个非常迫切的问题。针对某卫星移动终端通信天线的具体要求,本文提出了一种新型的具有高隔离度的双频双圆极化多层微带贴片天

线。该天线在接收和发射频率($420 \pm 1.5\text{MHz}$ 和 $450\text{MHz} \pm 1.5\text{MHz}$)上, 分别实现右旋圆极化和左旋圆极化。采用耦合馈电和附加滤波网络相结合技术, 显著地提高了天线的收发隔离度。

2 天线结构及分析

本文设计的天线系统由微带天线、馈电网络和滤波网络三部分组成。微带天线结构如图 1 所示, 所用的介质基板为 Taconic 公司的 RF - 60(tm), $\epsilon_r = 6.15$, 尺寸为 $L \times L$ 。底层、中间层、顶层介质基板厚度分别为 h_1 、 $h_2 - h_1$ 、 $h_3 - h_2$ 。天线的辐射贴片分别位于底层和顶层介质板的上表面, 通过探针连接中间层上表面的两个耦合片对天线进行耦合馈电。底层

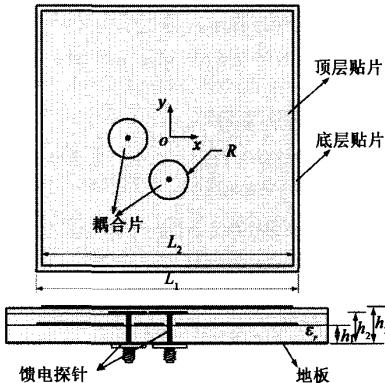


图1 微带天线结构图

和顶层天线贴片尺寸分别为 $L_1 \times L_1$ 和 $L_2 \times L_2$, 中间层耦合馈电单元是一对半径 R 的圆形金属片, 其圆心(即馈电探针位置)距中心位置的距离为 R_1 。

天线的馈电网络采用兰格耦合器, 其结构如图 2 所示。图 2(a)为常规的兰格耦合器, 其耦合区长度为中心频率的四分之一波长左右。图 2(b)为本文提出的采用曲折线技术的新型兰格耦合器, 其制作材料仍为 Taconic 公司的 RF - 60(tm), $\epsilon_r = 6.15$, 尺寸为 $L_3 \times W_3$, 厚度 $h = 2.25\text{mm}$, 耦合区缝隙间隔和线宽分别为 s 和 w 。兰格耦合器地板和天线的地板共地相连接, 其端口 2 和 3 作为输出端口分别和微带天线 y 轴和 x 轴上的两个馈电探针相连, 其位置由优化后的天线的探针位置及极化方式决定。

图 3 给出了完整天线系统的等效示意图。其中, 连接发射端口和接收端口的 T 型电路是集总元件组成的滤波网络部分。馈电网络和微带天线部分在图中分别表示为一个四端口网络和一个二端口网络。

采用探针直接馈电的双端口微带贴片天线的隔离度往往比较差, 这是因为在工作频段内, 特别是在低

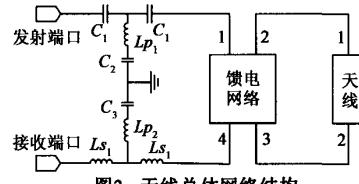


图3 天线总体网络结构

端频率上, 输入信号直接通过一个输入端口返回到另一输入端口。此时, 在该端口能够得到较小的驻波, 但这正是由于两端口之间较差的隔离度造成的, 输入信号并没有被天线完全地辐射出去, 而是部分地通过另一端口直接返回。文献[7]提出了一种具有较高隔离度的微带天线, 但其结构较为复杂且工作模式为双线极化, 不适合本文的双圆极化及结构紧凑的要求。文献[8]采用了一种分布形式电路来提高隔离度, 但在 UHF 频段, 分布元件的尺寸较大, 不适合小型化的要求。为此, 本文采用耦合馈电和附加集总元件滤波网络相结合的技术, 有效地提高收发端口之间的隔离度。首先, 采用耦合片对天线进行耦合馈电, 由图 7 可以看出, 在发射频段隔离度大于 30dB , 但仍然不能够满足系统 40dB 隔离度的要求, 特别是在接收频段隔离度甚至小于 20dB 。为了进一步改善收发隔离度, 在发射端口和接收端口分别加入高通滤波网

络和低通滤波网络。由于其采用集总元件、结构尺寸较小, 在天线加工过程中将其集成在兰格耦合器的基板上。如图 4

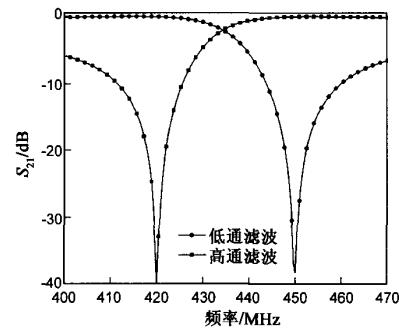


图4 滤波网络测试结果

所示, 在工作频带内该低插入损耗滤波网络提高天线 $20 \sim 30\text{dB}$ 的隔离度。在接收和发射的中心频率点, 甚至可以得到高于 35dB 的隔离度。

由于该天线的实际要求是同时在双频工作且要实现不同的圆极化方式, 这就要求馈电网络不仅要实现等功率分配, 还要在不同的频率实现相反的 90° 相位差。常规的功分移相网络有 90° 电桥、环行器、采用集总元件的电路等。综合考虑较宽的带宽、稳定的线性相位差、较小的差损、较小的尺寸以及在不同的频率上实现相反的相位差等因素, 本文采用兰格耦合器作为天线的馈电网络^[9,10]。

兰格耦合器的端口 1 作为输入, 则端口 2、3 是输出, 4 端口为隔离端口, 端口 2 和 3 相比, 输出信号幅度相同, 相位超前 90° ; 端口 4 作为输入则相位滞后 90° 。因

此用端口 1 作为天线的发射频段馈电端口实现左旋圆极化,用端口 4 作为接收频段馈电端口实现右旋圆极化^[1].传统的兰格耦合器如图 2(a)所示,其耦合区长度为工作频段中心频率的四分之一波长($\lambda/4$).在 UHF 频段,此长度超出该卫星通信移动终端给定的空间要求.为了能够在严格控制的狭小空间内集成馈电网络,只有对传统的兰格耦合器进行改进,本文采用一种新型的曲折线结构兰格耦合器,与传统的兰格耦合器相比,其尺寸从 130mm 减小到 33.8mm,减小了约 74% 左右.值得一提的是,传统的兰格耦合器采用跳线短接各个耦合支节,该方法不易于工程操作、稳定性差且需占用额外高度空间.为此,本文采用 0Ω 电阻来替代短路跳线,在需要接入电阻的地方预留出焊盘,从而实现和短接跳线相同的效果.该方法操作简便且更加稳定牢固,具有较高的工程应用价值.

3 仿真和实测结果

首先,对兰格耦合器、滤波网络和天线部分进行单独的仿真和测试,然后把馈电网络和滤波网络加入天线进行总体的测试.采用 HFSS10.0 对天线和兰格耦合器进行仿真和优化,在 Ansoft Designer 中对滤波网络进行优化设计.天线部分优化后的参数为: $L = 178\text{mm}$, $L_1 = 139.5\text{mm}$, $L_2 = 133.3\text{mm}$, $h_1 = 2.25\text{mm}$, $h_2 = 4\text{mm}$, $h_3 = 4.5\text{mm}$, $R = 10.5\text{mm}$, $R_1 = 22.3\text{mm}$.兰格耦合器的最终优化参数为: $L_3 = 33.8\text{mm}$, $W_3 = 13.5\text{mm}$, $w = 9.8\text{mil}$, $s = 7\text{mil}$.滤波网络中, $C_1 = 11.6\text{pf}$, $C_2 = 1\text{pf}$, $C_3 = 1\text{pf}$, $L_{p1} = 142.5\text{nH}$, $L_{p2} = 126.7\text{nH}$, $L_{s1} = 11.7\text{nH}$.

兰格耦合器通过 1 端口馈电时,2、3 端口的幅度和相位关系如图 5 所示.图 5(a)表明两端口输出信号相位差的仿真结果为 90°左右,实测结果为 88°左右且具有良好的线性关系;图 5(b)表明两端口输出信号幅度仿真结果为 -3.1dB 左右.由于介质材料本身不可避免地存在着损耗以及加工误差的存在,两端口实际输出的幅度分别为 -2.9dB

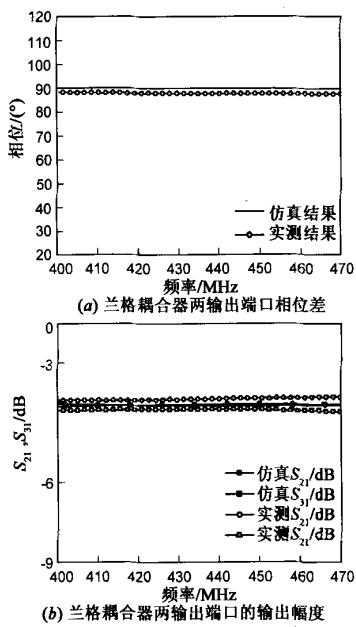


图 5 兰格耦合器输出相位和幅度参数

和 -3.2dB.从 4 端口进行馈电和从 1 端口进行馈电具有类似的 S 参数,这里不在赘述.

该多层微带天线采用热压合技术制作完成,其电压驻波比和隔离度分别如图 6 和图 7 所示.由图 6 可知,该天线满足收发频段 $VSWR < 2$ 的驻波带宽要求.由图 7 可以看到,单独天线的发射端隔离度大于 30dB,接收端的隔离度大于 15dB.该结果表明,耦合馈电和常规的直接馈电方式相比能够一定地改善天线的隔离度.加入滤波网络后的测试结果表明,系统的隔离度明显提升了 20~30dB,图 4 也证明了这一点.天

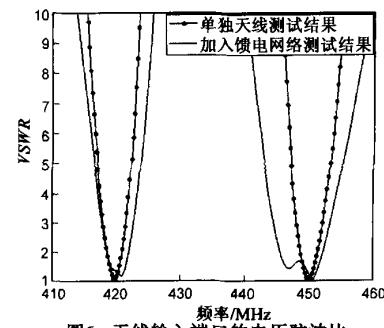


图 6 天线输入端口的电压驻波比

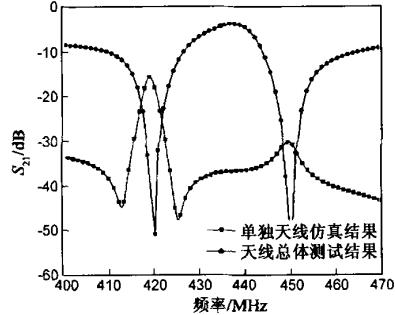


图 7 天线两端口间的隔离度实测结果

线总体测试结果表明,在收发工作频带内隔离度大于 40dB,在工作频段的中心频率点甚至能够达到 50dB 左右的隔离度.仿真和测试结果显示收发两端口具有较好的一致性.

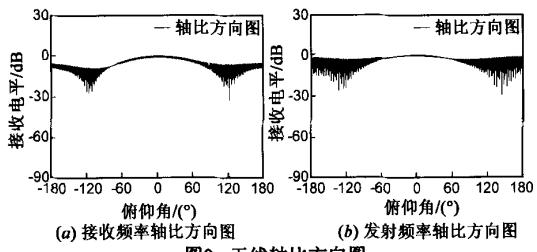


图 8 天线轴比方向图

在微波测量暗室对天线进行了远场方向图测试.天线的轴比特性如图 8 所示,实测结果表明该天线在收发频率上的 3dB 轴比宽度都能达到 $\pm 40^\circ$.

图 9 给出了天线远场增益方向图的仿真和实测结果,发射端(420MHz)的 xoz 和 yoz 面方向图,如图 6(a)、(b)所示,接收端(450MHz)的 xoz 和 yoz 面方向图,如图 6(c)、(d)所示.由图 9 可知,在接收和发射频率,天线的最大方向增益大于 3dBc 且满足 $\pm 40^\circ$ 仰角内增益大于 0dBc 的要求.仿真及实测结果表明,该天线具有大

于 80° 的 0dBc 增益波束宽度和 3dB 轴比波束宽度, 其宽波束特性非常适合于卫星通信的要求.

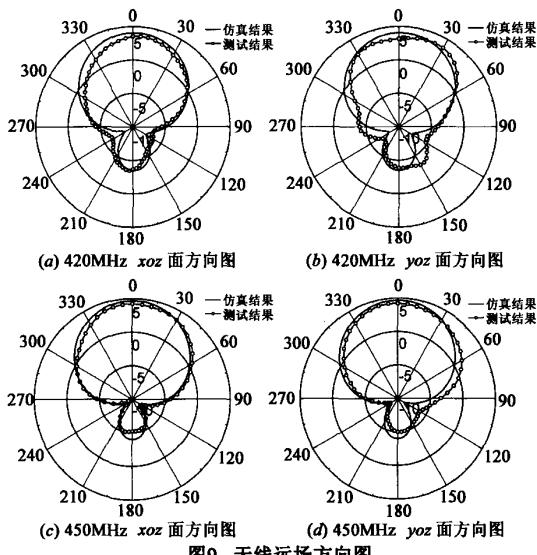


图9 天线远场方向图

4 结论

本文提出了一种新型的双频双圆极化多层微带贴片天线. 该天线采用兰格耦合器作为馈电网络, 实现双频双圆极化的双工通信. 通过附加耦合片馈电和在收发端口加入集总滤波网络, 显著地改善了天线系统的隔离度, 在整个收发工作频带内隔离度大于 40dB. 此外, 本文设计的兰格耦合器采用曲折线技术, 有效地减小了馈电网络的结构尺寸, 且采用 0Ω 电阻替代传统的短接跳线, 使其牢靠度和易操作性都有了明显的改善. 该天线适用于卫星双工通信, 通过同比缩放可以用于 4G、6G 等通信网络中. 另外, 由于该天线具有低轮廓特性, 非常适合集成于移动终端设备.

参考文献:

- [1] Balanis C A. Antenna Theory: Analysis and Design [M]. 3rd Edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. 4, 70 – 80.
- [2] Ying S, Qiu J H, Yuan Y S. Research on dual polarization wideband antenna [A]. 2008 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology [C]. Nanjing: IEEE Press, 2008, 4: 1851 – 1853.
- [3] Huang J, Hussein Z A, Petros A. A VHF microstrip antenna with wide-bandwidth and dual-polarization for sea ice thickness measurement [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(10): 2718 – 2722.
- [4] 张勇虎, 周力, 欧钢. 一种双频双圆极化层叠结构微带天线的设计 [J]. 微波学报, 2006, 22(增刊): 25 – 28.
- Zhang Yonghu, Zhou Li, Ou Gang. Design of a dual-band dual-polarization stacked microstrip patch antenna [J]. Journal of Microwaves, 2006, 22(supplement): 25 – 28. (in Chinese)
- [5] Wong K L. Compact and Broadband Microstrip Antennas [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc 2002. 87 – 159.
- [6] Adrian A, Schaubert D H. Dual aperture-coupled microstrip antenna for dual or circular polarization [J]. Electronic Letters, 1987, 23(23): 1226 – 1228.
- [7] 梁仙灵, 钟顺时, 汪伟. 高隔离度双极化微带天线直线阵的设计 [J]. 电子学报, 2005, 33(3): 731 – 734.
- Liang Xianling, Zhong Shunshi, Wang Wei. Design of a dual-polarized microstrip patch antenna with high isolation [J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(3): 731 – 734. (in Chinese)
- [8] Luis Inclán-Sánchez, José-Luis Vázquez-Roy, Eva Rajo-Iglesias. High isolation proximity coupled multilayer patch antenna for dual-frequency operation [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2008, 56(4): 1180 – 1183.
- [9] Pozar D M. Microwave Engineering [M]. 3rd Edition. New York: John Wiley & Sons Inc, 2007. 349 – 352.
- [10] Lange J. Interdigitated stripline quadrature hybrid [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1969, 17 (12): 1150 – 1151.

作者简介:



李建峰 男, 1981 年 7 月出生于河南荥阳. 西安电子科技大学电磁场与微波技术专业在读博士研究生. 主要研究方向为宽带小型化天线及智能天线.

E-mail: jflee@mail.xidian.edu.cn



孙保华 男, 1969 年 6 月出生于河北晋州. 博士、副教授、硕士生导师. 1996, 2001 年在西安电子科技大学分别获得工学硕士和工学博士学位. 主要研究方向为宽带小型化天线, 智能天线及射频电路.

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>