

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 ± 1.5 MHz 和 $450 \text{ MHz} \pm 1.5$ 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 40 dB, VSWR 小于 2.0, 增益大于 3 dBc, 0 dB 增益宽度及 3 dB 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 ± 1.5 MHz and $450 \text{ MHz} \pm 1.5$ 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 40 dB, VSWR is less than 2.0 and the radiation gain of the proposed antenna is larger than 3 dBc. 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 10~20 dB^[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

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路, 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

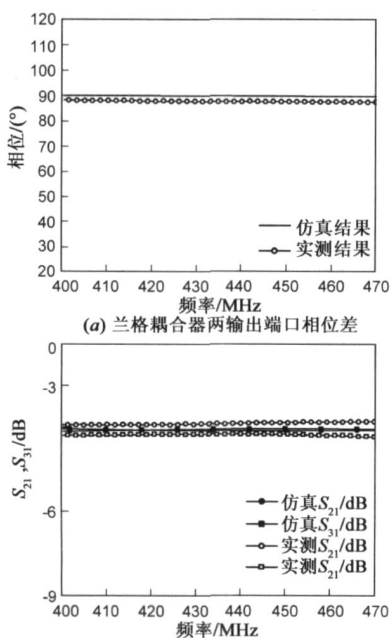


图5 兰格耦合器输出相位和幅度参数

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 $\text{VSWR} < 2$ 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 $20 \sim 30\text{dB}$, 图 4 也证明了这一点. 天

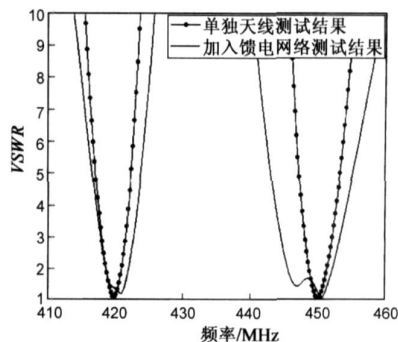


图6 天线输入端口的电压驻波比

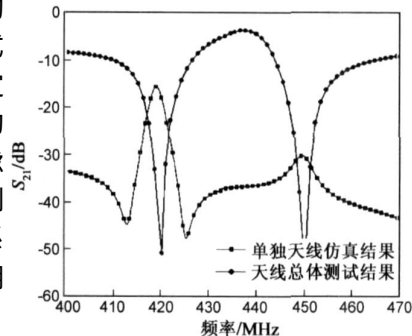


图7 天线两端口间的隔离度实测结果

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.

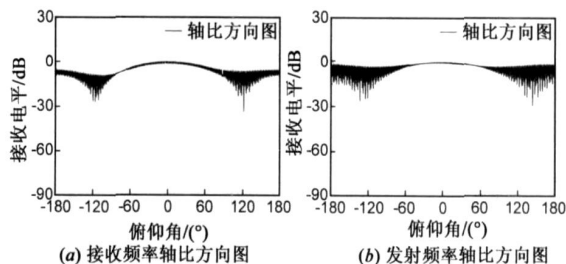


图8 天线轴比方向图

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 $yo z$ 面方向图, 如图 6(a)、(b) 所示, 接收端 (450MHz) 的 $x\alpha$ 和 $y\alpha$ 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 $\pm 40^\circ$ 俯仰角内增益大于 0dBc 的要求. 仿真及实测结果表明, 该天线具有大

于 80° 的 0dB 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。

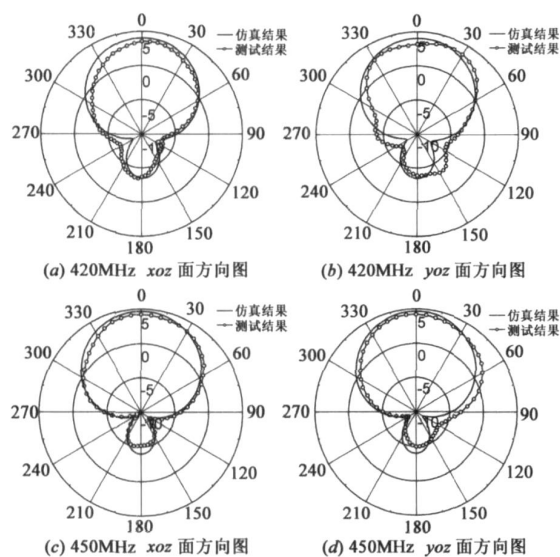


图9 天线远场方向图

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.
- [5] 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)
- [6] Wong K L. Compact and Broadband Microstrip Antennas[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc 2002. 87-159.
- [7] Adrian A, Schaubert D H. Dual aperture coupled microstrip antenna for dual or circular polarization[J]. Electronic Letters, 1987, 23(23): 1226-1228.
- [8] 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.
- [9] 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)
- [10] Luis Incár Sánchez, José Luis Vázquez Roy, Eva Rajo Iglecias. High isolation proximity coupled multilayer patch antenna for dual frequency operation[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2008, 56(4): 1180-1183.
- [11] Pozar D M. Microwave Engineering[M]. 3rd Edition. New York: John Wiley & Sons Inc, 2007. 349-352.
- [12] 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: jlflee@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。