

# 一种双频双圆极化层叠结构微带天线的设计

张勇虎 周力 欧钢

(国防科技大学电子科学与工程学院卫星导航研发中心, 长沙 410073)

**摘要:** 对一种新型的双频双圆极化微带贴片天线进行了研究, 该天线可发射L波段的左旋圆极化信号, 接收S波段的右旋圆极化信号。天线采用双馈点馈电的层叠结构, 利用宽带功分移相器设计馈电网络, 为双馈点提供双圆极化所需的激励电流。贴片和馈电网络上附加短截线, 通过调整短截线的长度, 即可微调谐振频率, 使得天线的调试十分方便, 又提高了天线的收发隔离度。该天线结构简单, 调试方便, 为便携式卫星通信机提供了一种实用的小型化收发天线。

**关键词:** 微带贴片天线, 双圆极化, 双频, 馈电网络, 隔离度

## Design of a Dual-band Dual-Polarization Stacked Microstrip Patch Antenna

ZHANG Yong-hu, ZHOU Li, OU Gang

(*Satellite Navigation and Positioning R&D Center, School of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China*)

**Abstract:** A novel dual-band dual-polarization stacked microstrip patch antenna is analyzed and designed. It transmits left-hand circularly polarized (LHCP) signals on L band and receives right-hand circularly polarized (RHCP) signals on S band. The antenna has been realized by two stacked square patches with tuning stubs, which are fed by two quadrature pins placed symmetrically on the two main axis. The amplitude and phase relationship between the two pins to maintain circular polarization is obtained by wide band 90° hybrid coupler. Changing the length of stubs of patches and feeding networks can adjust the resonance frequency and improve the isolation between transmission port and receiving port. The antenna's structure is simple and adjustment is easy. It is practical to be used as a miniature antenna for portable Satellite Communication receiver.

**Key words:** Microstrip patch antenna, Dual circular polarization, Dual-band, Feeding network, Isolation

## 引言

便携式卫星通信机的天线要求具有以下特性: 双频段双圆极化工作; 收发隔离要求高, 使耦合进入接收天线端口的发射信号功率尽量小; 宽波束、高增益、体积小、剖面低、便于缩小接收机的整机体积。

微带天线是一个不错的选择, 因为它具有平面结构且有重量轻、体积小、剖面低、制造容易、成本低等优点<sup>[1]</sup>。微带天线实现双频段操作的常用做法是使用层叠结构<sup>[2,3]</sup>, 由工作在两个频段的微带天线层叠起来, 形成双频天线。圆极化天线的常用实现方法是单馈点馈电<sup>[4]</sup>, 利用微扰电流的方式, 分离得到两个幅度相等但相位相差90°的简并模。这

种单馈点天线的缺点是对加工误差敏感, 不易调试。使用双馈点馈电<sup>[5]</sup>是实现圆极化的另一种常用做法, 直接在馈电点馈入等振幅且相位相差90°的电流。与单馈源相比, 它需要额外的馈电网络为馈电点提供等幅且相位差90°的激励电流, 结构较复杂, 但是受加工误差的影响小, 而且便于调试。

本文设计一种采用双馈点馈电的层叠结构微带贴片双频天线, 利用宽带功分移相器设计馈电网络, 为双馈点提供双圆极化所要求的幅度和相位激励。天线的微带贴片和馈电网络附加短截线, 通过调整短截线的长度可调整天线的谐振频率、馈点输入阻抗和提高天线的收发隔离度, 从而补偿加工误差对天线性能的影响, 方便天线的调试。此天线的结构简单, 馈电网络实现容易, 对加工误差不敏感,

\* 收稿日期: 2005-08-17; 定稿日期: 2005-12-07

便于加工制造和大批量生产,目前已经成功应用于便携式卫星通信机。

## 1 天线结构

双层微带天线的结构示于图1。该天线由工作在两个频段的左旋圆极化微带天线和右旋圆极化层叠,形成双频双圆极化天线。相同形状的顶层贴片和底层贴片同心放置于介质基板之上,高频段天线贴片放在上层,低频段发射天线贴片放在下层。发射天线的贴片大于接收天线的贴片,可以作为接收天线的地。双层印制板的接地面作为发射天线的地层,另一面设计馈电网络。为了缩小天线体积,两层介质基板采用高介电常数的介质板,厚度 $h_1=h_2=2.54\text{mm}$ 。双层印制板采用FR4板材,介电常数 $\epsilon_r=4.6$ ,厚度 $h_3=1\text{mm}$ 。采用双馈点馈电方式实现圆极化,上层贴片是同轴馈电,底层贴片是电磁耦合馈电。正交放置的两个同轴探针直接焊接于顶层贴片,但不与底层贴片接触,探针周围留有直径为 $D$ 的圆孔。

顶层贴片和底层贴片均由正方形贴片外加四个短截线构成。顶层贴片和底层贴片形成两个谐振回路,分别谐振于S频段和L频段的工作频带。由于天线加工制造过程中的尺寸误差和介质基板的介电常数不均匀等因素,会导致天线的谐振频率偏移和馈点输入阻抗改变,从而影响天线的效率和轴比性能。通过改变短截线的长度可以微调谐振频率和馈点的输入阻抗<sup>[6]</sup>:短截线长度增加,则天线谐振频率下降,馈点输入阻抗减小。宽的短截线有利于增大调谐范围,但是调谐步进变化量下降。

馈电网络主要由宽带功分90°移相器构成,接收天线端口和发射天线端口互相隔离,如图2。对于接收天线而言,探针1与探针2的幅度相等,但探针1超前探针2相位90°,因此接收天线是右旋圆极化;对于发射天线而言,探针1与探针2幅度相等,但探针1滞后探针2相位90°,因此发射天线是左旋圆极化。调谐线段 $Stub_1$ 和 $Stub_2$ 用于改善功分移相器的端口匹配,提高端口隔离度。

双层微带天线的结构复杂,要得到精确的分析结果,必须用严格的全波分析方法进行分析。为了简化设计,天线的初始尺寸利用腔模理论<sup>[7]</sup>的计算公式推出,最终的尺寸利用三维电磁仿真软件CST

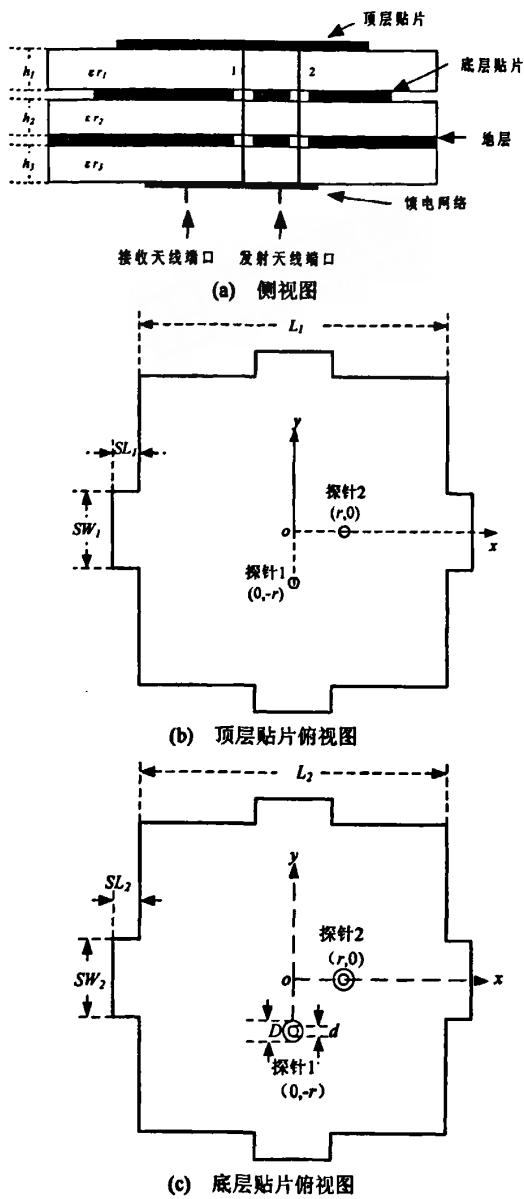


图1 微带天线结构示意图

优化仿真得到。CST软件通过合适的网格划分可以得到准确的仿真结果。通过优化正方形贴片边长、馈点位置、短截线的长度等参数,使天线的轴比、增益等指标满足设计要求。

最终满足设计指标的天线尺寸如下:接收天线贴片边长 $L_1=18\text{mm}$ ,短截线尺寸为 $SL_1=0.5\text{mm}$ , $SW_1=1.4\text{mm}$ ,发射天线贴片边长 $L_2=26.6\text{mm}$ ,短截线尺寸为 $SL_2=2.1\text{mm}$ , $SW_2=5\text{mm}$ ,探针距贴片中心距离 $r=4.4\text{mm}$ 。

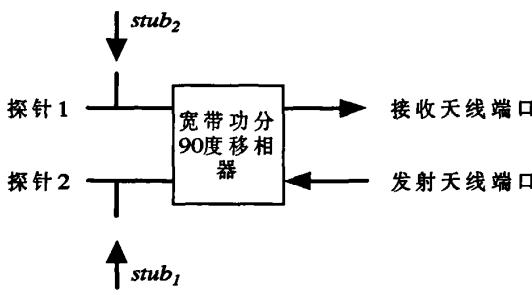
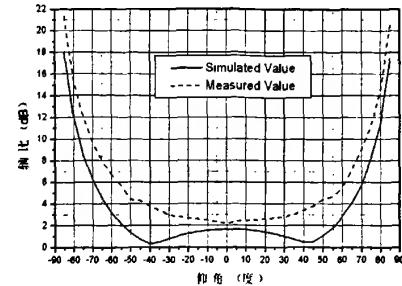


图 2 馈电网络示意图

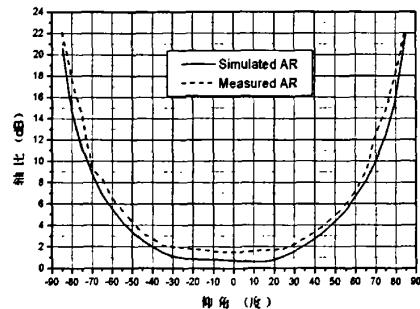
## 2 仿真和实验结果

根据上述优化后的参数设计制造了天线原型，在微波暗室中测试了天线圆极化增益和轴比指标，并把测试结果与仿真结果对比分析。天线的  $S_{11}$  实测结果如图 3。从图中可以看出发射天线端口谐振于 L 频段，接收天线端口谐振于 S 频段。轴比实测结果和仿真结果如图 4。圆极化增益测试和仿真结果如图 5。测试结果表明，接收天线的  $5^\circ$  低仰角圆极化增益大于  $-5\text{dBic}$ ，发射天线的  $5^\circ$  低仰角圆极化增益大于  $-4\text{dBic}$ 。仰角  $30^\circ$  以上，轴比小于  $6\text{dB}$ 。可以看出，天线的测试结果曲线和仿真结果曲线趋势一致，二者略有出入。这是因为仿真时，

天线的两个馈源信号是理想的，二者幅度相等，相位相差  $90^\circ$ ；而在实际中，馈电网络存在幅度和相位误差，导致激励给馈点的信号之间存在幅度和相位存在误差，从而影响了天线的辐射特性。

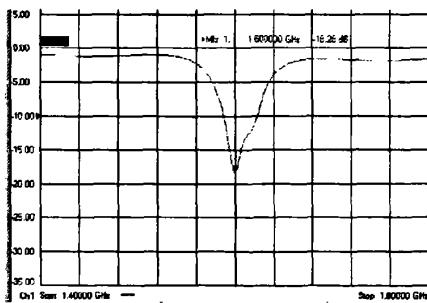
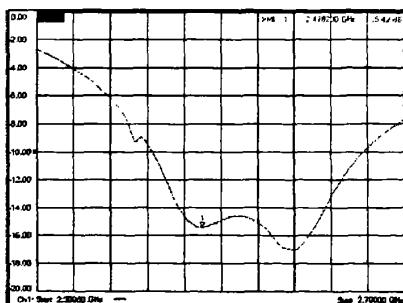
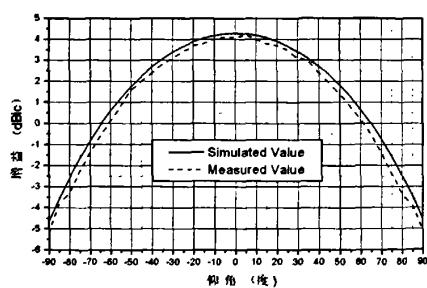


(a) 发射天线的轴比仿真与实测值

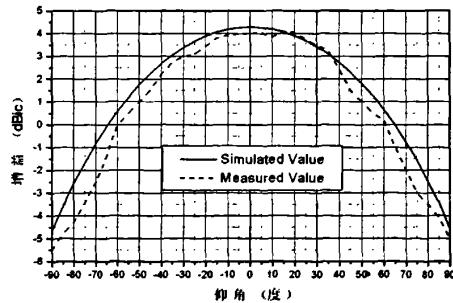


(b) 接收天线的轴比仿真与实测值

图 4 天线的轴比仿真值与测量值

(a) 发射天线的  $S_{11}$  实测值(b) 接收天线的  $S_{11}$  实测值图 3 天线的  $S_{11}$  实测值

(a) 发射天线的圆极化增益仿真与实测值

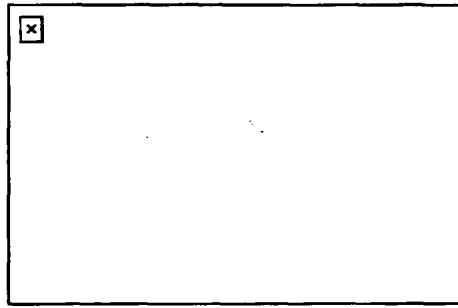


(b) 接收天线的圆极化增益仿真与实测值

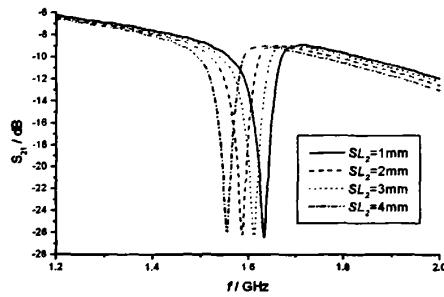
图 5 天线的圆极化增益仿真值与实测值

天线隔离度可通过网络分析仪测出, 网络分析仪1端口接发射天线端口, 2端口接接收天线端口, 测出发射频段上的 $S_{21}$ 幅度值, 它表示耦合进入接收天线端口的发射信号功率与发射端口入射信号功率之比, 此即为天线的收发隔离度。天线的收发隔离度取决于宽带功分移相器的端口隔离度。宽带功分移相器在各端口均良好匹配于 $50\Omega$ 时, 隔离度一般能达到 $30\text{dB}$ , 但是由于同轴探针电感效应、加工误差等因素会造成馈点阻抗不是 $50\Omega$ , 而是一个复数阻抗, 这就导致宽带功分移相器的端口隔离度下降。

由此可以看出, 提高天线收发隔离度的途径有两个: (1) 选用高隔离度的宽带功分移相器; (2) 采取措施, 补偿馈点阻抗变化, 使功分移相器的输出端口接近匹配良好。其中措施一受制于器件指标, 措施二可通过调整发射贴片四周的短截线长度 $SL_2$ 和馈电网络上的短截线 $stub_1$ 和 $stub_2$ 实现。调整贴片四周的短截线长度可改变馈点的阻抗实部和虚部, 改变 $stub_1$ 和 $stub_2$ 的长度可补偿馈点的阻抗虚部。因此通过这两个措施可使功分移相器的输出端口阻抗近似为 $50\Omega$ , 提供良好匹配, 从而提高收发隔离度。



(a) 短截线长度对谐振频率的影响



(b) 短截线长度对收发隔离度的影响

图6 发射天线贴片的短截线长度对谐振频率和收发隔离度的影响

图6为调整发射贴片短截线长度 $SL_2$ 时, 谐振频率和收发隔离度的变化情况。 $SL_2=2\text{mm}$ 时, 发射频带内的 $S_{11}$ 和 $S_{21}$ 最小, 此时发射天线谐振频率恰好谐振于发射频带, 收发隔离度指标达到 $27\text{dB}$ 。 $SL_2$ 减小, 谐振频率变大,  $SL_2$ 增加, 谐振频率变小。这说明调整短截线长度可以微调谐振频率和提高天线的收发隔离度。

### 3 结论

本文介绍了层叠结构的微带贴片双频双圆极化天线及其馈电网络的设计。通过在微带贴片四周加四个贴片短截线, 优化短截线的长度来满足两个频带内的轴比和低仰角增益要求, 利用宽带功分移相器实现双圆极化所要求的两个馈点间的幅度相位关系, 通过调整馈电网络的短截线长度改善功分移相器的输出匹配, 从而提高天线收发隔离度。该天线结构简单, 调试方便, 为便携式卫星通信机提供了一种实用的小型化收发天线。

### 参 考 文 献

- [1] Ramesg Garg. Microstrip Antenna Design Handbook [M]. Artech-house, USA, 2001
- [2] Mittra R, et al.. Microstrip patch antennas for GPS applications [C]. IEEE Trans. 1993; 1478-1481
- [3] Boccia, L, Amendola, G, and Di Massa, G. A dual frequency microstrip patch antenna for high-precision GPS applications [J]. IEEE Wireless. Propagation. Letters., 2004,3:157-160
- [4] Waterhouse, R. B., Design of probe-fed stacked patches [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1999, 47(12):1780-1784
- [5] Vasistha, P. and Vishvakarma, B. R., Some studies on microstrip square patch stacked antenna with 90 deg hybrid feed for dual band operation [C]. 1998:341-344
- [6] Du Plessis M, John Cloete. Tuning stubs for microstrip-patch antennas[J]. IEEE Trans Antennas Propagation, 1994, 36 (6): 52 ~ 56
- [7] 张钩, 刘克诚. 微带天线理论与工程[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988

张勇虎 男, 1978年生, 河南人, 湖南长沙国防科技大学电子科学与工程学院通信与信息系统专业博士研究生, 研究方向: 射频系统、微带天线、卫星通信机系统设计。

E-mail: sunlight\_nudt@sina.com

周力 男, 1975年生, 云南人, 湖南长沙国防科技大学电子科学与工程学院讲师, 博士, 研究方向为电磁场与微波技术、宽带小型化天线等。

## 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](http://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](http://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](http://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>