

一种紧凑高隔离度的双极化微带天线单元设计

张 杰 尹应增 任学施 苏振华 席 磊

(西安电子科技大学天线与微波技术国家重点实验室, 西安 710071)

摘 要: 本文运用临近耦合与口径耦合的馈电方式, 设计了一种工作于 Ku 波段、高端口隔离度、低交叉极化和低后向辐射的双极化微带贴片单元。采用四层介质板结构, 剖面为 1.27mm, 两个端口的馈线分别位于接地板两侧, 减小了馈线的寄生辐射对方向图的影响。仿真结果表明, 在 500MHz ($V_{SWR} < 1.5$) 的工作带宽内, 增益为 7.15dB, 单元的端口隔离度低于 -53dB, 极化隔离度低于 -55dB, 前后比低于 -22dB, 为实现高隔离度的双极化微带天线阵打下基础。

关键词: 双极化, 口径耦合馈电, 隔离度, 交叉极化, 后向辐射

Design of a Compact Dual-polarization Microstrip Antenna Element with High Isolation

Zhang Jie Yin Yingzeng Ren Xueshi Su Zhenhua Xi Lei

(Institute of Antennas and Electromagnetic Scattering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: In this paper, a Ku-band compact dual-polarization microstrip antenna element with high isolation, low cross-polarization and low back-radiation is presented. This antenna is fed by the method of cross-slot coupling to realize dual-polarization. By using four medium flies, the section plane of antenna is 1.27mm. To reduce the affect of feed lines on radiation, two feed lines are placed on the side of earth-plate. In the bandwidth ($V_{SWR} < 1.5$) of 500MHz, the gain is 7.15dB, the isolation of two ports is under -53dB, the isolation of polarization is under -55dB, the back-radiation is under -22dB. The design of high isolation dual-polarization microstrip antenna array can base on this element.

Keywords: Dual-polarization; Aperture-coupled; Isolation; Cross-polarization; Back-radiation

1 引言

随着现代无线通信技术的快速发展, 全球定位系统(GPS)、卫星通信、合成孔径雷达(SAR)、无线个人通信(WLAN)等领域都需要重量轻、剖面低、易共形的双极化天线。而微带天线具有馈电方式和极化形式多样化的优点, 并且易与馈电网络和有源电路集成一体化, 已成为印刷天线类的主角。

天线的极化指天线在最大辐射方向上电场矢量的取向, 频谱资源日益紧张的现代卫星通信领域迫切需要天线具有双极化功能。因为双极化天线能发射或接收两个正交的电磁波, 在同一带宽内可以发射两种信号, 这有利于实现频率复用和收发一体,

将通信容量提高一倍。在地面通信中可实现极化分集和抗多径衰落; 在合成孔径雷达中, 多极化可以获得更加详尽的各种散射体的信息, 易于对目标的探测和识别, 随着分辨率要求的提高, 极化隔离度要求越来越高。

通常用微带线直接给方形贴片馈电的双极化微带天线, 端口隔离度和极化隔离度一般只有 -20dB~-25dB 左右。本文分析并设计了一种十字型口径耦合馈电的双极化贴片天线, 馈线采用分支线型结构, 并分别位于接地板的两侧, 具有较高的端口隔离度、低交叉极化和低后向辐射特性。作为双极化微带阵列天线的单元, 非常适合双极化工作模式的合成孔径雷达天线应用和抗多径干扰高要求的移动通信系统的需要。

2 天线单元的结构设计

本单元采用正方形微带贴片，因为正方形微带贴片具有良好的极化辐射对称性且易于加工制造。口径耦合的馈电方式是 Pozar 于 1985 年提出的，与共面微带线和同轴探针馈电相比，口径耦合馈电具有如下优点：辐射贴片与馈电网络可以置于地板两侧，减小了馈线对辐射贴片的影响；采用耦合馈电能增大天线的带宽，较好的实现阻抗匹配；辐射贴片和馈电网络可以选择不同的介质板，并能单独进行优化设计，增大了设计的灵活性和自由度。

该天线单元的结构如图 1 所示，由四层微带介质板构成。辐射贴片蚀刻在第一层介质板上，边长为 a ；水平极化端口（port1）的微带馈线蚀刻在第二层介质板上，主馈线为 50Ω 微带线，两分支馈线长为 l_1 ，宽为 w_1 ；第三层介质板上为位于贴片正下方的开有十字槽的金属地板，槽长为 m ，槽宽为 n ；垂直极化端口(port2)的微带馈线蚀刻在第四层介质板上，两分支线长为 l_2 ，宽为 w_2 。介质板材料选用相对介电常数为 2.2 的 RogerRT/Duroid5880，其中第一，二层介质板的厚度为 0.381mm，第三，四层介质板的厚度为 0.254mm，天线的总厚度为 1.27mm，实现了低剖面特性。

天线通过两个端口在不同层上的正交馈电实现了水平/垂直双极化辐射，水平极化和垂直极化端口的激励分别通过临近耦合和缝隙耦合实现。耦合缝隙位于贴片单元的正下方，微带馈线采用分支线结构，使得天线在结构上具有很高的对称性，减小了因不对称结构造成的电磁场畸变对天线性能的恶化；两端口馈线分别位于接地板两侧，减小了其寄生辐射的相互干扰和对天线方向图的影响，所以这种结构的微带天线具有较高的端口隔离度和低交叉极化特性。

3 天线单元的仿真及结果分析

基于上述的分析和设计方法，利用仿真软件 HFSS 对单元结构进行电磁全波仿真优化。得到各几何参数为： $a = 5.24\text{mm}$ ， $l_1 = 5.3\text{mm}$ ， $w_1 = 0.4\text{mm}$ ， $m = 3.2\text{mm}$ ， $n = 0.2\text{mm}$ ， $l_2 = 5\text{mm}$ ， $w_2 = 0.7\text{mm}$ ，仿真模型如图 2 所示。

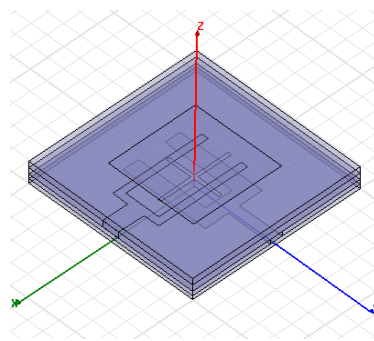


图 1 单元的仿真建模结构

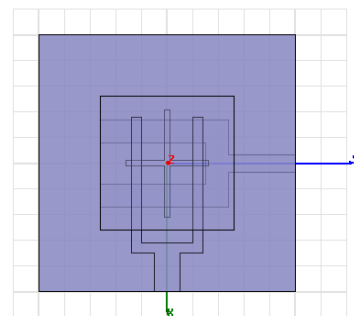


图 2 单元结构俯视图

天线单元工作的中心频率为 17GHz，通过仿真优化，可以得到两个端口的电压驻波比、端口隔离度、方向图及交叉极化特性曲线如图 3~图 6 所示：

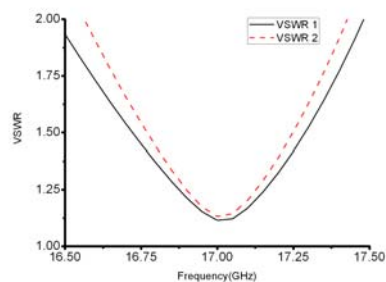


图 3 两个端口的驻波曲线

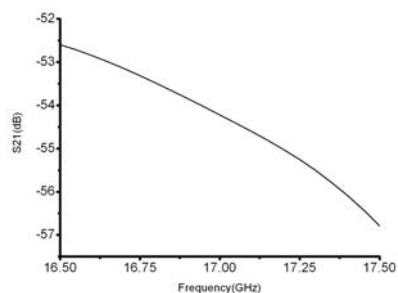


图 4 端口隔离度曲线

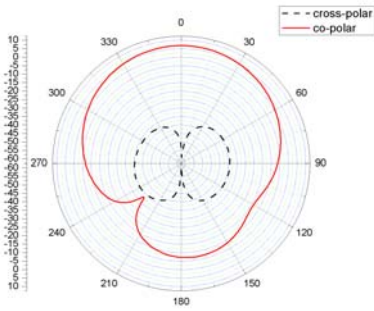


图5 水平极化端口 E 面及交叉极化方向图

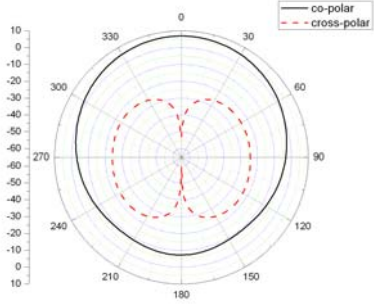


图6 水平极化端口 H 面及交叉极化方向图

由图 3 所示的天线驻波比曲线可以看出，单元两个端口的驻波在 16.75GHz~17.25GHz 的 500MHz 带宽内小于 1.5。由图 4 可以看出，17GHz 时单元的端口隔离度为-54.22dB，在带宽内端口隔离度的变化范围是-55.25dB~-53.31dB。由图 5 和图 6 可以看出，天线单元在 17GHz 的增益为 6.84dB，E 面和 H 面的极化隔离度都达到-60dB，前后比为-14dB。垂直极化端口的辐射方向图与水平极化端口的方向图具有相似的特性，不再一一列出。从仿真结果可以看出，天线单元实现了较高的端口隔离度和极化隔离度特性，保证两种极化工作模式不相互干扰，实现了良好的双极化性能。

4 单元结构的改进与分析

为了减小后向辐射，提高前后比，在第四层介质板下面可以放置一个与介质板大小相等的金属地板，垂直极化端口成为带状线馈电。通过仿真优化，在端口隔离度和极化隔离度基本不变的情况下，单元的前后比可以提高到-22dB，但垂直极化端口的电压驻波比带宽减小到 400MHz。

微带天线是一种谐振式天线，等效为一个高 Q

值的并联谐振电路，对于薄微带天线，其驻波不大于 ρ 的相对带宽为^[5]：

$$BW = \frac{\rho - 1}{\sqrt{\rho Q}} \times 100\%$$

此式说明，降低谐振电路的 Q 值可以展宽微带天线的工作频带。在金属接地板的适当位置“开窗”可改变微带天线的辐射条件和阻抗特性，降低谐振电路的 Q 值而展宽频带。为了提高前后比的同时不减小带宽，可以在第四层介质板下面放置一个开孔的金属地板，如图 7 所示。通过仿真优化，圆孔半径为 1.5mm 时两个端口的电压驻波比、端口隔离度、方向图及交叉极化特性曲线如图 8~图 10 所示：

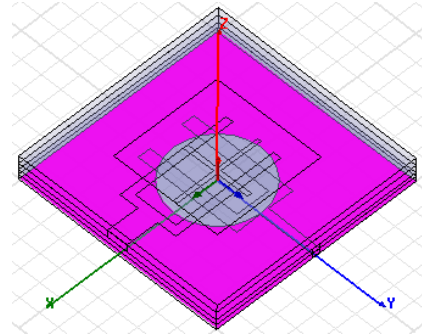


图7 加开孔地板的单元结构

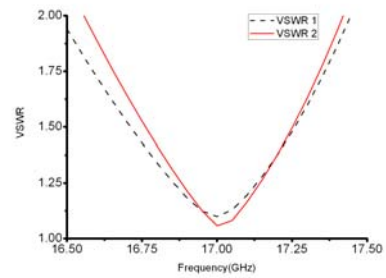


图8 地板开孔后两个端口的驻波曲线

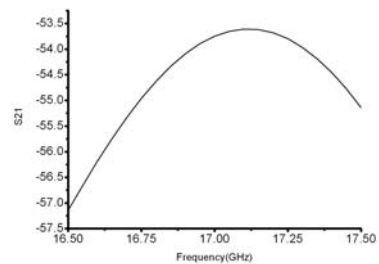


图9 加开孔地板后的端口隔离度曲线

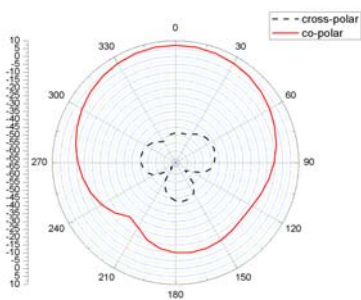


图 10 加开孔地板后水平极化端口 E 面及交叉极化方向图

由图 8 所示的天线驻波比曲线可以看出，加开孔地板后单元两个端口的驻波在 16.75GHz~17.25GHz 的 500MHz 带宽内小于 1.5。由图 9 可以看出，17GHz 时单元的端口隔离度为 -53.75dB，在带宽内端口隔离度的变化范围是 -54.96dB~-53.75dB。由图 10 可以看出，天线单元在 17GHz 的增益为 7.16dB，极化隔离度达到 -55.68dB。单元加开孔地板后的前后比为 17.28dB，提高了 3.28dB，有效地降低了后向辐射。

通过对改进单元结构后的仿真分析可知，在第

四层介质板下面加金属地板可以将辐射方向图的前后比提高 8dB，但驻波比带宽下降到 400MHz。在保证驻波带宽、端口隔离度和极化隔离度基本不变的情况下，加开孔地板可以将前后比提高 3.28dB，从而有效地降低了后向辐射并提高了单元增益。

5 结论

本文基于仿真计算设计了一个工作在中心频率 17GHz，带宽为 500MHz 的双极化微带天线单元。采用分支线型馈线和十字型口径耦合的馈电方式，实现了高端口隔离度、极化隔离度和低后向辐射特性。单元采用四层介质板结构，厚度为 1.27mm。两个端口的馈线分别位于地板两侧，减小了馈线的寄生辐射对天线方向图的影响，并可以单独对馈电网络进行设计，为实现高隔离度的双极化微带天线阵打下基础。

参考文献

- [1] K.Ghorbani and R.B.Waterhouse, Dual Polarized Wide-Band Aperture Stacked Patch Antennas, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.52, NO.8, August 2004.
- [2] S.Gao and T.S.Yeo, A Broad-Band Dual-Polarized Microstrip Patch Antenna With Aperture Coupling, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.51, NO 4, April 2003.
- [3] Luis Inclan, Jose-Luis and Eva Rajo-Iglesias, High Isolation Proximity Coupled Multilayer Patch Antenna, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.56, NO 4, April 2008.
- [4] S.Gao and A.Sambell, Dual-polarized broad-band microstrip antenna fed by proximity coupling, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.53, pp.526-530, Jan 2005.
- [5] 钟顺时. 微带天线理论与应用. 西安电子科技大学出版社, 1991.

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>