

一种三极化共形天线

钟 华, 张志军, 陈文华, 冯正和

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘 要: 本文提出了一种新型共形三极化天线. 该天线有三个独立的端口, 最多可以接收空间一点上可能存在的三个独立的电场极化分量. 为了验证设计, 制造了一个原型天线并对其进行了测量, 测量结果与仿真结果吻合. 测得天线驻波比小于 3:1 的带宽范围是 150MHz. 天线为三层结构, 总高度 10mm.

关键词: 极化; 共形天线

中图分类号: TN822

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2009) 06-1334-04

A Conformal Tri-polarization Antenna

ZHONG Hua, ZHANG Zhi-jun, CHEN Wen-hua, FENG Zheng-he

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This paper proposes a novel conformal tri-polarization antenna, which has three independent ports and is capable of receiving up to three independent components of electric field at single location. To verify the design, a prototype antenna was manufactured and measured. The measured result agrees well with the simulations. The measured VSWR 3:1 bandwidth covers 150MHz. The antenna consists of three stacked layers with a total height of 10mm.

Key words: polarization; conformal antenna

1 引言

MIMO 无线通信技术的研究是当前无线通信研究的一个重要内容. MIMO 系统的核心思想是在通信系统发射机和接收机两端同时使用多个天线, 充分利用无线多径信道的空间自由度 (Spatial Degree of Freedom) 以提高系统容量与传输速率. MIMO 技术被认为是在丰富多径的环境中适应不断增长的容量需求的强有力的解决方法^[1,2]. Bell 实验室的研究人员对 MIMO 系统的研究工作表明, MIMO 系统具有使系统容量成倍提高的能力, 若发射天线为 M 个, 接受天线为 M 个, 则系统容量可以达到单天线系统的 M 倍^[3].

许多已发表的文章中都提到线性单极化阵列的 MIMO 系统, 而多极化天线则刚开始受到关注. Andrews 等人^[1]在他的文中提到, 在复杂多径环境中, 具有多极化性质的天线能够提高无线通信信道容量. A S Konanur 在他的文中提出一种由圆环和偶极子构成的矢量天线, 研究结果表明多极化天线 MIMO 阵列比相同天线单元数的单极化天线阵列的信道容量更大^[2]. 因为不同极化方向的分支之间相关系数很低, 完全可看作相互独立的收发通道. 因此, 多极化天线可以利用更少的体积实现

更多的统计独立多径通道, 从而有效地提高系统容量和传输速率.

从信号传播的角度来说, 一个平面波只能有两个极化方式. 本文的三极化提法是针对接收端, 在空间一点, 可以有多个平面波同时入射. 这些平面波的电场矢量经过投影以后, 可以得到三个独立的电场极化分量, 本文提出的天线最多可以接收三个独立分量, 所以定义为三极化天线. 这里的前提必须是多个平面波入射, 如果只有一个平面波, 电场本身最多只有两个极化方式, 天线也就不可能接收到三个独立的极化分量了.

三极化天线充分利用空间坐标系三个轴方向相互正交的特点, 设计出三个正交方向极化, 在有限的体积内实现三个独立的收发通道. Das 等人^[4]研究出一种由双极化圆形贴片和单极子构成的三极化天线. Gray 等人^[5]在他的文中介绍了一种由双极化介质谐振器和单极子构成的三极化天线. Itoh 等人^[6]则提出了一种由两个垂直缝隙和单极子构成的三极化天线.

现有的三极化天线都采用了立体结构, 这使它们的应用范围受到了相当的限制. 而共形天线结构具有强度高、外形隐蔽、占用空间少等优点, 在实际工程中已经得到了广泛的应用. 本文提出的三极化天线是一种共形天

收稿日期: 2008-03-17; 修回日期: 2008-12-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (No. 2007CB310605); 国家 863 计划项目 (No. 2007AA01Z284); 国家自然科学基金 (No. 60771009)

线. 该天线实现了三个正交的极化, 在 $2.49 \sim 2.65$ GHz 的范围内驻波比小于 3:1. 三端口共形结构有效地节省了天线的体积, 整个天线的高度为 10mm, 天线辐射单元尺寸为 $35\text{mm} \times 35\text{mm}$, 天线地板尺寸为 $70\text{mm} \times 70\text{mm}$. 三个端口间的隔离度皆优于 -15dB . 该天线可以广泛应用于个人、车载移动通信领域.

2 天线的结构设计

在矩形贴片上使用两个馈点进行馈电是设计双极化天线较常用的方法^[4]. 本文采用了此种方法对矩形贴片进行馈电形成双极化, 天线的结构如图 1 所示. 图 1(a) 中, 通过将两个馈电点 $P1$ 和 $P2$ 分别设置于正方形贴片的 X 、 Y 方向对称轴上, 可以激励起电场与 X 、 Y 轴线平行的两个相互正交的极化辐射模式.

由于正方形贴片上激励起的两个正交模式在贴片中心处的电场皆为零, 所以可以在正方形贴片中心处加入短路销钉或其它的短路条件而不对两个正交模产生影响. 本文提出的设计方案正是利用了这种短路边界条件, 将一根同轴线从贴片中心点穿过. 同轴线的内导体伸出外导体 5mm, 在顶部和一个圆盘相连, 构成圆盘加载的单极子天线. 这个单极子天线激励起的电场和 Z 轴平行. 在单极子天线的工作模式中, 正方形贴片被用作大地. 这个同轴过孔设计借鉴了文献^[3]的设计思想.

与文献^[3]不同, 本文采用了圆盘加载单极子天线而不是四分之一波长单极子天线作为辐射单元, 从而有效地减小了单极子的高度. 在 2.6GHz 的工作频率, 四分之一波长单极子天线需要 29mm 的高度, 传统的加载单极子天线通常也有 15mm 的高度. 为了保证共形的要求, 本文采用的圆盘加载单极子天线的高度为 5mm. 随着加载单极子天线高度的降低, 加载圆盘和大地之间的等效并联电容值开始增加, 从而导致加载单极子天线的端口匹配恶化. 为了抵消等效并联电容的影响, 需要在天线输入端引入并联电感, 并通过调整并联电感的大小, 使并联电感、电容构成的谐振电路在天线的工作频段内谐振而对消, 从而实现纯阻特性的天线输入阻抗.

天线的具体尺寸如图 1 所示, 图 1(a) 和图 1(b) 分别是天线的俯视图和侧视图. 整个天线体积为 $70\text{mm} \times 70\text{mm} \times 10\text{mm}$. 如图 1(b) 所示, 天线结构分为 3 层. 最低层金属是贴片天线的大地, 面积为 $70\text{mm} \times 70\text{mm}$. 中间层金属是正方形贴片天线, 尺寸为 $35\text{mm} \times 35\text{mm}$. 贴片天线和金属大地之间的间距为 5mm, 由一块厚度为 5mm、介电常数为 2.65 的介质填充. 贴片天线馈电点 $P1$ 和 $P2$ 位于 X 、 Y 方向对称轴上, 距贴片边缘皆为

7mm. 最顶层金属是单极子天线的加载圆盘, 距离正方形贴片 5mm, 测试和仿真模型中填充介质为空气, 工程设计中为了保证机械强度, 可以用高发泡率的泡沫塑料做支撑. 加载圆盘的直径是 15mm. 加载单极子天线的馈电点 $M1$ 位于整个天线结构的中心点.

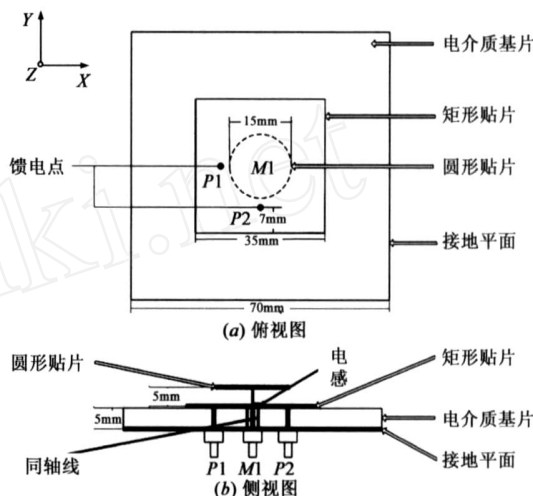


图1 三极化天线的结构图

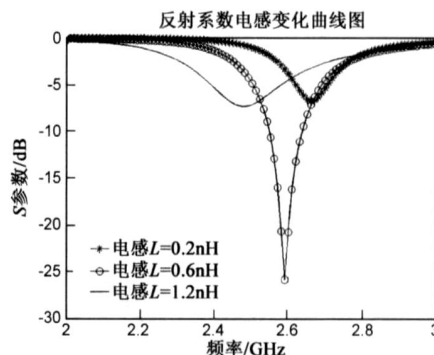


图2 单极子 S_{11} 与并联电感

图 2 显示了并联电感对加载单极子端口匹配特性的影响. 由图可见当单极子加载圆盘为 15mm 时, 并联电感为 0.6nH 时加载单极子达到最佳匹配. 减小并联电感值可以使谐振频率降低, 增加电感值使频率升高, 但这两种情况的天线端口匹配都会受到影响. 图 3 显示了单极子加载圆盘尺寸对频率的影响. 当并联电感

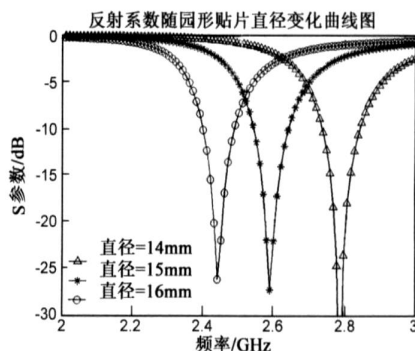


图3 单极子 S_{11} 与圆形贴片直径

为 0.6nH 时,加载圆盘半径为 14mm,15mm 和 16mm 时,谐振频率分别为 2.4GHz,2.58GHz 和 2.79GHz.

3 天线的实测结果及分析

为了验证设计方案的正确性,我们制造出了如图 4 所示的原型天线并对其 S 参数和方向图进行了测量. 实际天线三端口的驻波比测量结果如图 5 所示. 各端口驻波比小于 3 1 的带宽范围测量结果分别如下: S_{11} (单极子端口 $M1$) 带宽 2.49 - 2.65GHz, S_{22} (贴片天线端口 $P1$) 带宽 2.42 - 2.65GHz, S_{33} (贴片天线端口 $P2$) 带宽 2.46 - 2.70GHz.

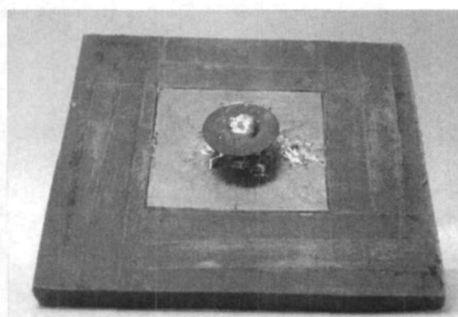


图4 三极化天线原型

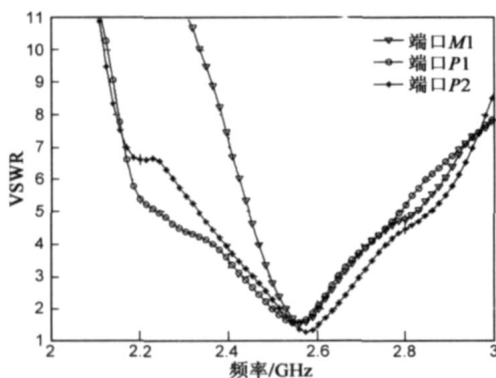


图5 三端口的反射系数实测曲线

任意两端口间的隔离度如图 6 所示. 端口 $P1$ 和端口 $P2$ 间的隔离度在频带范围内低于 -20dB. 端口 $P1$ 和 $M1$ 、端口 $P2$ 和端口 $M1$ 间的隔离度皆低于 -15dB. 测量结果表明,三个端口间相互隔离度效果比较理想,

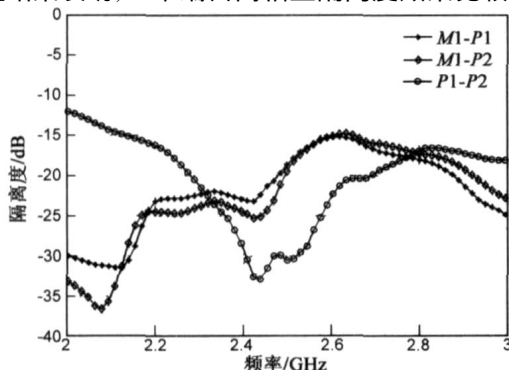


图6 任两个端口的隔离度在频带范围内的变化曲线

三个端口可以独立工作.

图 7 为各端口实测方向图. 为了便于方向图的比较,所有的方向图都进行了相应的归一化. 图 7(a)、(b) 所示为端口 $M1$ 的 XZ 、 YZ 面方向图.

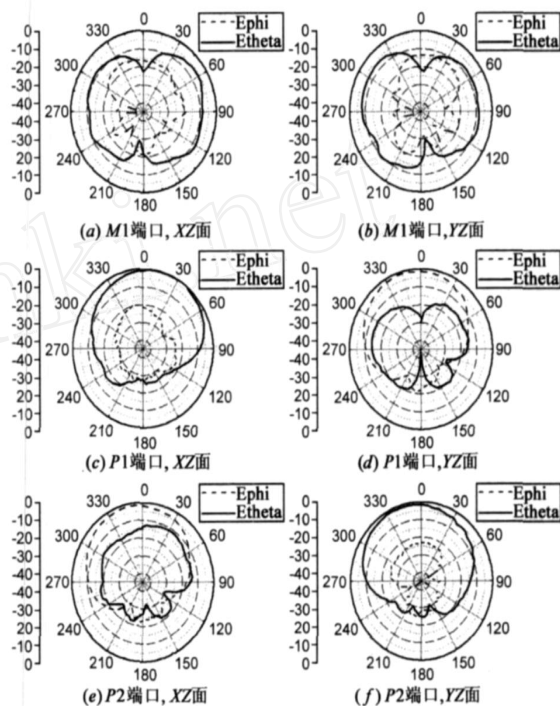


图7 三极化实测辐射方向图

图 7 为三极化天线的实测方向图. 从图 7(a)(b) 可以看出,端口 $M1$ 的方向图的最大值在 XY 构成的水平面内,接收的电场分量平行于 Z 轴. 从图 7(c)、(d) 结果可知,端口 $P1$ 的方向图最大值在正 Z 方向,接收的电场分量平行于 X 轴. 从图 7(e)、(f) 可知,端口 $P2$ 的方向图最大值也在正 Z 方向,接收的电场分量平行于 Y 轴. 可见天线的三个端口可以分别接收平行于 X , Y , Z 三个正交轴的电场分量.

4 结束语

本文基于设计一个高度为 10mm 的新颖小型三极化天线. 本文采用在矩形贴片上加载圆形贴片单极子的方法来实现三个方向极化. 研究了此种天线的特性,并对其进行了实验验证,实测数据和理论分析结果吻合. 三个端口的带宽均大于 150MHz,天线端口 $P1$ 和端口 $P2$ 的隔离度优于 -20dB,端口 $P1$ 和 $M1$ 的隔离度、端口 $P2$ 和端口 $M1$ 的隔离度都优于 -15dB. 随着无线通信的不断发展,对通信的信道容量要求越来越高,对天线的体积要求越来越小,多极化、小型化的天线模式将成为今后研究的热点之一.

参考文献:

- [1] M R Andrews, P P Mitra, R deCarvalho. Tripling the capacity of wireless communications using electromagnetic polarization

- [J]. Nature, 2001, 409(1): 316 - 318.
- [2] A S Konanur, K Gosalia, S H Krishnamurthy, B Hughes, G Lazzi. Increasing wireless channel capacity through MIMO systems employing co-located antennas [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2005, 53(6): 1837 - 1844.
- [3] G J Foschini, M J Gans. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas [J]. Wireless Personal Communications, 1998, 6(3): 311 - 355.
- [4] Das N K, Inoue T, Taniguchi T, Karasawa Y. An experiment on MIMO system having three orthogonal polarization diversity branches in multipath-rich environment [A]. Proceeding of 2004 60th IEEE Vehicular Technology Conference [C]. Los Angeles, USA: IEEE, 2004(2): 1528 - 1532.
- [5] Gray D, Watanabe T. Three orthogonal polarization DR-monopole ensemble [J]. Electronics Letters, 2003, 39(10): 766 - 767.
- [6] K Itoh, R Watanabe, T Matsumoto. Slot-monopole antenna system for energy-density reception at UHF [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1979, 27(4): 485 - 489.

作者简介:

钟 华 女, 硕士生. 1984 年出生于湖南岳阳. 2006 年于清华大学电子工程系, 获工学学士学位. 现在清华大学电子工程系攻读硕士学位. 主要研究方向为电磁场与微波, 包括微带天线, 极化天线等.

张志军 男, 教授、博导. 1971 年出生于北京. 于 1992、1995 获电子科技大学本科、硕士学位. 于 1999 年获清华大学博士学位. 1999 至 2002 在 University of Utah、University of Hawaii 先后担任博士后、研究助理教授、助理研究员. 2002 至 2007 先后在 Amphenol、Nokia、Apple 公司的美国部门担任高级工程师、工程经理、资深工程师等职. 2007 年 8 月由清华大学“百人计划”引进. 主要研究领域为移动天线、阵列天线、电波传播. E-mail: zjzh @singhua. edu. cn

陈文华 男, 助理研究员. 1980 年出生于江西南昌. 2001 获电子科技大学本科学位, 获免试直博资格. 于 2006 年 7 月获清华大学博士学位. 曾获四川省优秀大学毕业生、清华大学清华之友一等奖学金等奖励. 现任清华大学微波工程与天线实验室主任. 在国际期刊和会议上已发表论文 20 余篇, 其中 SCI 检索 6 篇, EI 检索 10 篇.

冯正和 男, 教授、博导. 1945 年出生于上海. 主要从事智能天线技术, 微波毫米波技术, 电磁场理论与数值方法, 无线数字通信, 时空信号处理, 微波测量等领域的教学和科研工作.