

文章编号:1005-6122(2007)06-0044-04

小型多馈源宽频微带天线分析与设计*

孙莉 周力 欧钢 张勇虎

(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: 本文着重研究了提高轴比带宽的方法。从多馈源实现圆极化的机理出发,从理论上分析证明了采用多馈源技术可有效展宽轴比带宽。在小型微带贴片天线上,设计馈电网络,采用探针馈电,为贴片提供等幅、相位相差90°的激励,形成圆极化。仿真及实测结果表明,这种天线与单馈点天线相比,展宽了轴比带宽,提高了低仰角不圆度指标。

关键词: 微带天线,圆极化,小型化,宽频带

Analysis and Design of a Compact Multi-Feed Broadband Microstrip Antenna

SUN Li, ZHOU Li, OU Gang, ZHANG Yong-hu

(Satellite Navigation R&D Center, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: This paper focuses on how to improve the axial ratio bandwidth. Starting from the mechanism of the circular polarization realizing through the multi-point feed, the application of this technology can effectively improve the axial ratio bandwidth theoretically. On the small microstrip antenna, a feed network which provides two excitations in equal amplitudes, 90 degrees in phase offset for the patches to form the circular polarization through two probes was designed. Both simulation and test results illustrated that this kind of microstrip antenna improves the axial ratio bandwidth and circular polarization purity in low elevation compared to the single feed point antenna.

Key words: Microstrip antenna, Circular polarization, Miniaturization, Broad band

引言

应用卫星导航设备的各种场合中,在保证精度的同时,都希望设备又小又轻,所以设备的小型化就显得极为重要。微带天线具有体积小、重量轻、易于得到各种极化,易集成^[1]等优点,是便携式卫星导航接收机天线的主要实现方式之一。

卫星的导航信号采用的是右旋圆极化方式,微带天线实现圆极化的基本方法有单馈法、多馈法和多元法;实现方式有切角、准方形、表面开槽、带有谐波枝节和正交双馈等^[2]。馈电方式可采用同轴馈电、探针馈电和孔径耦合馈电等。

实现微带天线小型化的方法有天线加载、采用高介电常数材料基片、采用特殊形式^[3]、使用新材料(如光电子带隙、高温超导及有机磁性材料^[2])

等。在小型化的基础上,展宽微带天线的阻抗带宽,方法有增加寄生单元、增加辐射单元介质基片的厚度、减小辐射单元介质基片的相对介电常数、利用阻抗匹配网络^[4]、天线加载、采用多层介质基片,采用特殊形式^[5]等。

目前,对展宽轴比带宽的研究较少,采用馈电位置顺序旋转技术^[6]多个馈点馈电,可有效展宽轴比带宽,提高低仰角增益不圆度指标,但缺乏对其展宽轴比带宽的理论分析。本文从多馈源实现圆极化的机理出发,从理论上分析证明了采用多馈源技术可有效展宽轴比带宽。在理论分析的基础上,设计了一种多馈源的小型化微带天线;由于体积受限,只采用了两个馈电点激励。实测证明,与单馈点天线相比,其轴比带宽和低仰角增益不圆度指标都得到了有效提高。

* 收稿日期:2006-08-02;定稿日期:2006-10-18

1 理论分析

1.1 多馈点实现方法

单馈法利用简并模式产生圆极化,轴比带宽较窄。而且小的馈电位置改动会引起大的激励扰动改变,实际天线调试困难。

多个馈点为单个贴片天线馈电,可采用馈电位置顺序旋转技术。其馈电激励的相位存在适当的偏移,对增加圆极化轴比带宽,减少交叉极化有显著的效果。此技术已成熟应用于圆极化天线阵的设计^[6]。把单个贴片天线各馈点激励的模式看成是天线阵中各阵元形成的模式,则对于采用 M 个馈电点馈电来设计单个贴片天线,其第 m 个馈电点馈电相位 ϕ_{em} 有如下公式:

$$\phi_{em} = (m-1) \frac{p\pi}{M}, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

其中 p 为整数,且 $0 < p < M$,并保证最后一点的相位不超过 2π 。

每个馈电点的物理位置选择要有一定的对称性。经仿真验证,固定好第一个馈电点位置,其它馈电点依次绕天线中心旋转排列,各馈电点旋转度数间隔为馈电的相位差。在 $p < M$,且最后一个馈电点位置没有旋到第一个馈电点位置的情况下,可获得好的轴比带宽。

1.2 多馈点轴比带宽理论分析

两馈点 $M=2, p=1$ 时,两垂直场分量为

$$E_x = E_1 \sin(\omega t - \beta z) \quad (2)$$

$$E_y = E_2 \sin(\omega t - \beta z + \delta) \quad (3)$$

$z=0$ 处,

$$E_x = E_1 \sin \omega t \quad (4)$$

$$E_y = E_2 (\sin \omega t \cos \delta + \cos \omega t \sin \delta) \quad (5)$$

将式(4)代入式(5),整理得

$$aE_x^2 - bE_x E_y + cE_y^2 = 1 \quad (6)$$

其中 $a = \frac{1}{E_1^2 \sin^2 \delta}$, $b = \frac{2 \cos \delta}{E_1 E_2 \sin^2 \delta}$, $c = \frac{1}{E_2^2 \sin^2 \delta}$ 。

构造椭圆方程

$$\frac{E_x^2}{A^2} + \frac{E_y^2}{B^2} = 1 \quad (7)$$

其中

$$E_x' = E_x \cos \theta - E_y \sin \theta$$

$$E_y' = E_x \sin \theta + E_y \cos \theta$$

$$A = \sqrt{\frac{2}{a + c + \sqrt{(a - c)^2 + b^2}}} \quad (8)$$

$$B = \sqrt{\frac{2}{a + c - \sqrt{(a - c)^2 + b^2}}} \quad (9)$$

所以

$$AR = \frac{A}{B} =$$

$$\sqrt{\frac{(E_1/E_2)^2 + 1 - \sqrt{(E_1/E_2)^4 + 1 + 2 \cos 2\delta (E_1/E_2)^2}}{(E_1/E_2)^2 + 1 + \sqrt{(E_1/E_2)^4 + 1 + 2 \cos 2\delta (E_1/E_2)^2}}} \quad (10)$$

1.2.1 两馈点幅度不等时

馈电网络介质板的介电常数记为 ϵ_r 、厚度记为 h 、微带线宽度记为 W ,由微带线理论得微带线的有效相对介电常数 ϵ_{re} 为

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (11)$$

微带线传输准 TEM 波的相波长 λ_p 为

$$\lambda_p = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (12)$$

其中, c 为真空中光速, f 为频率。

设在馈电网络中,根据中心频点设计的提供 90° 相差的线长为 x ,频率变化后,其实际提供的相位差为 δ° 。则

$$\frac{\delta}{x} = \frac{360}{\lambda_p}$$

整理得

$$\delta = \frac{360 x f \sqrt{\epsilon_{re}}}{c} \quad (13)$$

假设各频点处两馈点幅度比 E_1/E_2 的值相等,把式(11)代入式(8),则可求得两馈点的幅度比 E_1/E_2 取不同值时所对应的轴比带宽变化,如图 1 所示。

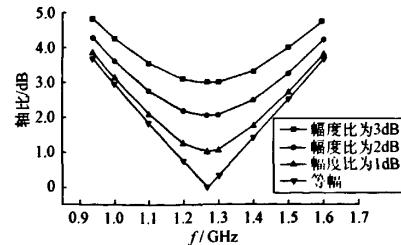


图 1 不等幅馈电轴比带宽

1.2.2 中心频点两馈点相位差与设计要求存在偏差时

在馈电网络中,根据中心频点设计的提供 90° 相差的线长 x ,改为提供相差 94.2° 的线长。再根据 1.2.1 中的推导过程,可算出两频点相位差与设计

要求值90°相差4.2°时,两馈点等幅和幅度比为2dB两种情况下的轴比带宽变化分别示于图2和图3中。由图可以看出:中心频点的设计偏差对轴比带宽的影响较小,轴比带宽只存在一个偏移。

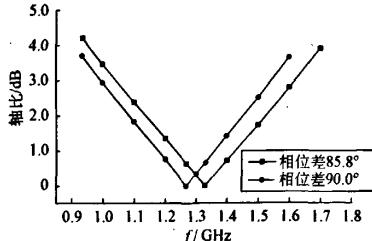


图2 等幅中心频点相位差偏移时的轴比带宽变化

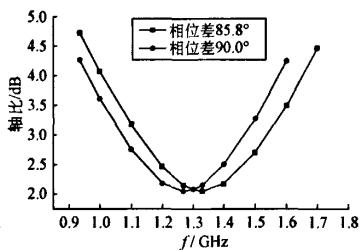


图3 幅度比为2dB且中心频点相位差偏移时的轴比带宽变化

1.2.3 假设各馈点幅度相等

假设各个馈点的幅度相等,互耦很小,可以忽略,只是频率不同改变了馈电间的相位关系。在实际实现时,一般通过带隔离功能的功分器实现等幅馈电,不同线长实现相差,所以,这种假设是合理的。

在忽略馈点幅度不一致性及互耦影响的理想情况下,对多馈点天线的轴比带宽进行理论分析。

两馈点时,在 $E_1/E_2 = 1$ 的情况下,式(8)可简化为

$$AR = \tan \frac{\delta}{2} \quad (12)$$

四馈点时取 $M=4, p=2$ 的情况,即馈电相位差90°, $z=0$ 处,两垂直场分量为

$$E_x = E_1 \sin \omega t - E_3 \sin(\omega t + 2\delta) \quad (13)$$

$$E_y = E_2 \sin(\omega t + \delta) - E_4 \sin(\omega t + 3\delta) \quad (14)$$

在 $E_1 = E_2 = E_3 = E_4$ 的情况下,同理可得出

$$AR = \sqrt{\frac{1 - 2\cos^3 \delta}{1 + 2\cos^3 \delta}} \quad (15)$$

馈电网络按照中心频率设计的各个馈电点的馈电相位变化。在有效频带内,随着频率变化,各馈电点的馈电相位也相应改变,因此会影响到中心频点以外的圆极化纯度。二馈点和四馈点轴比变化的理

论计算对比如图4。

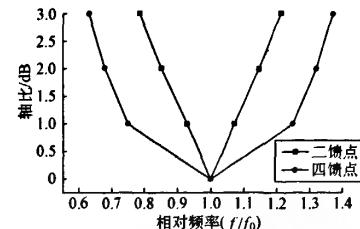
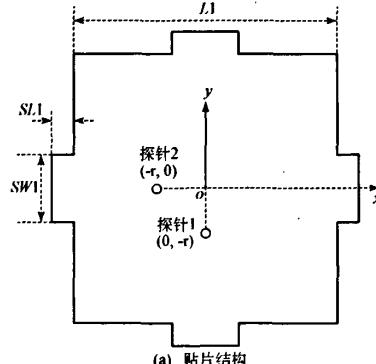


图4 二馈点和四馈点轴比理论计算对比

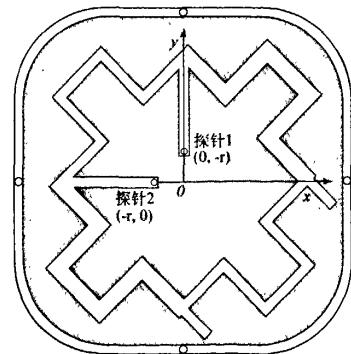
经理论分析计算,证明了采用多馈源技术可以有效提高天线的轴比带宽,双馈源3dB轴比带宽可达42.6%,四馈源可达74%。

2 设计实例

馈点越多,轴比性能越好,但馈电网络实现越复杂,体积要求越大。由于卫星接收机的天线严格限制了其体积,所以本天线设计选择采用两个馈电点,由两个幅度相同、相位相差90°的线极化正交,形成圆极化。贴片结构及馈电网络设计如图5。



(a) 贴片结构



(b) 馈电网络

2.1 仿真分析

对天线的设计进行了仿真,并与单馈点天线进

行比较。其中单馈法实现圆极化采用的是在贴片上开槽来产生两个辐射正交极化的简并模。

单双馈点的法向轴比带宽仿真结果如图6。由仿真对比结果可以看出,单馈圆极化纯度受频率变化影响大,轴比带宽很窄;双馈由两个幅度相等、相位相差90°的激励,产生两正交的线极化,形成圆极化,其受频率变化引起的相位误差较小,展宽了天线的轴比带宽。由仿真结果可看出,馈电点数的增加可以明显改善天线的轴比带宽。

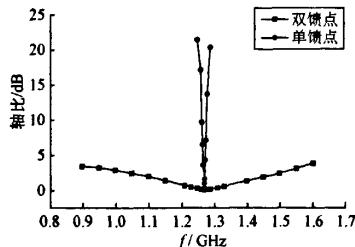


图6 单双馈点轴比仿真结果比较

2.2 实测结果

分别对实际制作的单馈点天线和双馈点天线进行测试。轴比的测试结果如图7。

单馈在仿真时谐振频点处也会获得很好的轴比,约0.3dB,但实际制作、调试存在的误差,使其很难实现。实际制作的这款单馈点贴片天线谐振频点处法向轴比为3dB多。采用多馈源技术进行设计,实际制作出来的天线电性能指标与仿真结果不存在太大的出入,天线的调试变得简单方便。本文双馈仿真时使用了理想的等幅、相位相差90°的两个激励,实际天线中由馈电网络来产生等幅、相位相差90°的两个激励。由于材料介电误差和制造公差等的存在,实际天线的轴比有一定的变差,轴比带宽有一定的减小,其轴比实测小于3dB的带宽约有10MHz。

天线的低仰角10°不圆度指标对比如图8。单馈点天线的低仰角10°不圆度指标大于3dB,而双馈点天线的低仰角10°不圆度指标小于3dB。

仿真和实测结果都说明了采用馈电位置顺序旋转技术有效提高了天线的轴比带宽和低仰角不圆度指标。

3 结论

采用馈电位置顺序旋转技术,多个馈点馈电设计的微带贴片天线,可有效提高轴比带宽和低仰角增益不圆度指标,并且实现简单。本文从理论上分

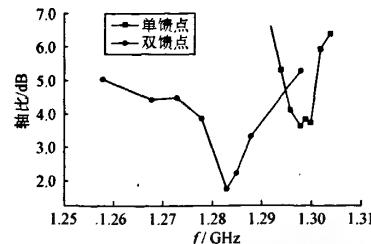


图7 天线轴比的测试结果

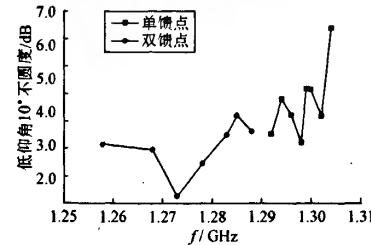


图8 天线低仰角10°不圆度的测试结果

析证明了采用多馈源技术可有效展宽轴比带宽,并采用此技术设计了小型化的两个馈电点的微带天线,与单馈点天线相比,提高了轴比带宽和低仰角增益不圆度。

参 考 文 献

- [1] 党怀锁,刘廷广. 微带天线的反设计研究. 探测与控制学报,1999,21(1):35~39
- [2] 薛睿峰,钟顺时. 微带天线圆极化技术概述与进展. 电波科学学报,2002,17(4):331~336
- [3] 薛睿峰,钟顺时. 微带天线小型化技术. 电子技术,2003(3):62~64
- [4] 刘章发,吕善伟,李世智. 改进的宽频带微带天线的设计方法. 北京航空航天大学学报. 2000,26(1):15~18
- [5] 王聪敏,高向军. 微带天线的宽频带技术. 电子对抗技术,2003,18(5):23~26
- [6] Hall P S, Dahele J S, James J R. Design principles of sequentially fed, wide bandwidth, circularly polarized microstrip antennas. IEE Proceedings, 1989, 136(5):381~389

孙 莉 女,1981年生,现为国防科技大学电子科学与工程学院博士生。主要研究方向为宽带小型化微带天线。

E-mail: lily810910@126.com

周 力 男,1975年生,国防科技大学电子科学与工程学院讲师,博士。主要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)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>