

一种新型圆极化宽带喇叭天线

刘微 韦高 侯新宇

(西北工业大学 西安 710072)

摘要: 介绍了一种新型的椭圆极化的加脊宽带喇叭天线。根据天线的性能要求,馈电端口采用了矩-圆转换器,采用圆波导内置介质片实现了辐射电场的圆极化,采用扼流环抑制旁瓣。使用 Ansoft 公司的 HFSS 软件仿真了该天线,调整各部分的结构尺寸,使得在 7~17 GHz 的工作频带范围之内,天线的方向图满足要求,具有比较宽的半功率波瓣宽度,输入端阻抗匹配,驻波比达到最小,具有很高的承受功率。与实际的测量数据相对比,结果基本吻合。

关键词: 椭圆极化; 加脊喇叭; HFSS

中图分类号: TN821 **文献标识码:** A

Novel circularly polarized broadband horn antenna

Liu Wei Wei Gao Hou Xinyu

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

Abstract: A novel elliptically polarized ridged broadband horn antenna is introduced. The design of the antenna is based on practical need. Square-circular conversion is used in the excitation port. The circular polarized field is realized by dielectric loaded in a waveguide, and choke is used to suppress the sidelobe. The antenna is simulated in HFSS which is developed by Ansoft. After adjusting, the dimension of each part of the antenna can work well between 7 to 17 GHz, the pattern can satisfy the system demand, and impedances are well matched in import. VSWR is up to the minimum and the antenna can receive rather high a power. Simulation experiment shows the results are consistent with the measurement data.

Keywords: elliptically polarized; ridged horn; HFSS

0 引言

宽带天线的发展已有几十年的历史,其中,加脊喇叭因馈电结构简单、有一定的方向性和增益、无后向辐射等优点,在雷达工程领域的应用愈来愈广泛。而在电子侦察和干扰中,考虑到天线要接收任意线极化来波,且其辐射波可由任意线极化天线收到,普遍都采用了圆极化天线。

本文介绍了一种新型的机载椭圆极化的加脊宽带喇叭天线,天线的工作功率很大,最大承受功率为 200 W,工作频率为 7~17 GHz。天线主要由矩-圆转换器、介质-圆波导圆极化器和扼流环 3 部分组成,如图 1 所示。

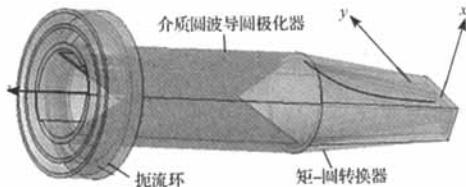


图 1 天线的结构图

1 天线的设计与分析^[1-2]

机载天线要求承受的功率很高,一般的天线无法满足功率的要求,所以设计的时候考虑使用喇叭天线。使用矩-圆转换器完成了从加脊的矩形波导过渡到了圆形波导,为了减少反射,保证天线的 VSWR,制作的时候端口内壁尽量光滑,脊曲线采用了指数型的曲线,保证了天线的阻抗匹配。扼流环的主要作用是使得天线的方向图变宽、旁瓣降低、产生了旋转对称的辐射方向图、交叉极化低且端口的隔离度高。介质-圆波导圆极化器的主要作用是形成圆极化的辐射场^[3]。

1.1 矩-圆转换器的分析与设计

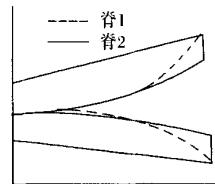
分析加脊后,天线端口的阻抗匹配。假设当 f 趋向于 ∞ 时,利用等效传输线法,求得:

$$Z_{\infty} = \frac{2 \times 120\pi}{\frac{2C_d}{\epsilon} + \frac{a_1}{b_1} + \frac{1}{2} \frac{a}{b} (1 + \frac{a_1}{a})} \quad (1)$$

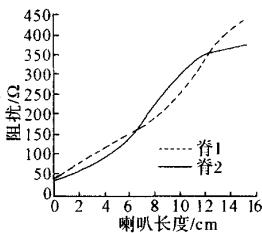
在其他任意频率下的特性阻抗:

$$Z_e = \frac{Z_\infty}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_e)^2}} \quad (2)$$

加脊之后,等效阻抗值降低。而且,脊高越高, Z_e 值就越小。由于脊的高度可调,就可以根据天线的设计要求,选取脊高,以获得不同的特性阻抗。图 2 表明了对于不同的脊的形式,天线的阻抗曲线是不同的。



(a) 不同形状的脊



(b) 对应的阻抗曲线

图 2 不同形状的脊及其对应的阻抗

根据天线的工作要求,天线的底部设计为矩形-圆形模式转换器。矩-圆模式转化器,完成了从矩形波导主模 TE10 模到圆波导主模 TE11 模的转换,它通过矩形波导截面逐渐变形为圆波导截面而实现的。它的主要参数有斜边长度 L 和过渡段的张角 α ,斜边长度采用经验公式 $L = (\lambda_{gTE10} + \lambda_{gTE11})/2$,从而可得张角 $\alpha = \arcsin[(r - b/2)/L]$ 。其中: r 是圆波导半径, b 是矩形波导的窄边尺寸。本文中的 $L = 57.98$ mm, $\alpha = 21.14^\circ$, $r = 14.71$ mm, $b = 8.15$ mm。

1.2 圆极化器的设计

在圆波导内部沿轴向放置 $1/4$ 波长的介质片,可以使两正交分量获得一定的相位差,从而合成的电场为圆极化。圆波导内的 $1/4$ 波长介质片,可以看成对平行和垂直于它的 2 个正交分量分别产生 2 个有效介电常数 ϵ_1 和 ϵ_2 ,相应的波导内波长 λ_{g1} 和 λ_{g2} 分别为:

$$\lambda_{g1} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_1 - (\lambda/\lambda_e)^2}} \quad (3)$$

$$\lambda_{g2} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_2 - (\lambda/\lambda_e)^2}} \quad (4)$$

两分量间的相位差等于:

$$\delta = 2\pi l \left(\frac{1}{\lambda_{g1}} - \frac{1}{\lambda_{g2}} \right) \quad (5)$$

其中: l 为圆波导加载部分的长度。

对于这种极化器,重要的问题是介质片在圆波导内需要旋转多大的角度才能变成某种极化波形式。工程中

常常以不断实验的方法,调整旋转角度以达到理想的极化要求。本文的天线旋转了 -45° 。

1.3 振流环的分析与设计

振流环是套在中心圆波导外的环波导组成的,一般的长度选为 $1/4$ 波长。为了保证效果,本文选择了双振流环的结构。中心圆波导由主模 TE11 模激励,中心波导开口端的辐射是由波导管内壁电流和波导开口端流、波导外壁的电流分布而产生的,外壁电流也要产生绕射场,它与内场电流存在相位差,随外壁电流增加,辐射图迅速畸变,加环波导后,就可以控制波导外壁电流,减小绕射。振流环的尺寸为: $D_1 = 43.5$ mm, $L_1 = 12.42$ mm, $D_2 = 53.4$ mm, $L_2 = 10.35$ mm。

2 天线的仿真、测量结果

采用 Ansoft 公司的 HFSS 软件,仿真设计了这个天线,天线模型见图 1。HFSS 是一个电磁场微波方面仿真软件,设计的理论是有限元理论,将几何模型分成很多个四面体以计算最终的仿真数据。仿真设计首先要建立模型,可以直接在 HFSS9 的编辑环境中建模,也可以在 AutoCAD 等软件中完成后再导入 HFSS 中。然后明确每个物体的介质参数,设置各部分的材料特性。最后,定义激励端口,设置边界条件及仿真频率。当你建立一个问题时,HFSS 可以允许你指定一个频段内的一个或几个频率点。这里用它对天线进行仿真,得到了各个需要的参数曲线,如图 3~7 所示。

3 结 论

天线的材料选为铝,全长 150 mm,其中,矩圆模式转换器长 57 mm,圆极化器长 93 mm。

设计出的天线增益大于 7 dB,轴比小于 2,驻波系数小于 1.8,经过测量,设计的电参数与实际测量的结果基本一致,满足了实际工作对于天线的技术要求。但是在高频区,当工作频率大于 13 GHz 时,天线的 E 面和 H 面的等化性能不是很好,特别是当频率高于 15 GHz 时,主瓣的

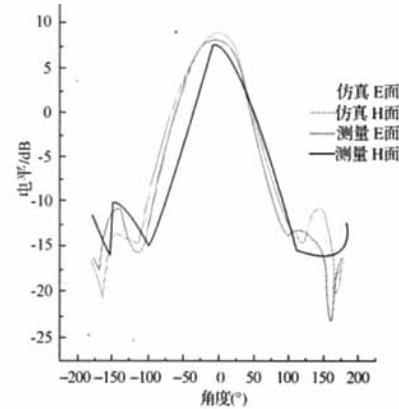


图 3 频率为 7 GHz 时的方向图

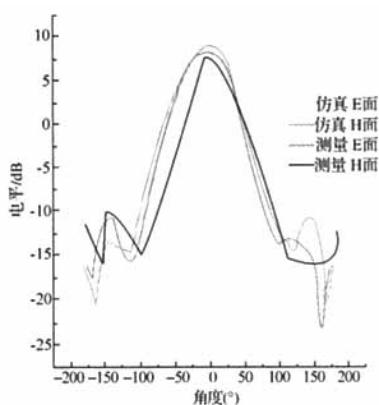


图4 频率为8 GHz时的方向图

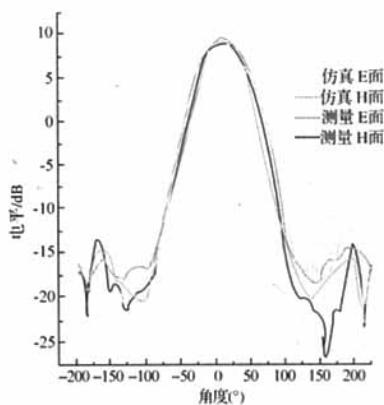


图5 频率为12 GHz时的方向图

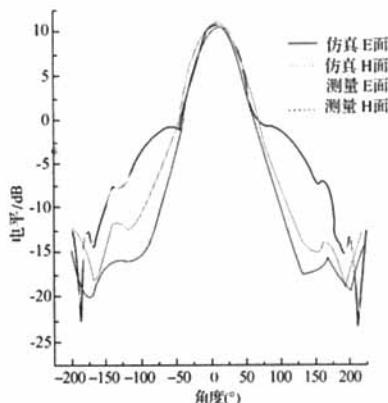


图6 频率为16 GHz时的方向图

3 dB带宽很窄,需要进一步的改进。

参 考 文 献

- [1] WALTON K L, SUNDBERG V C. Broadband ridged

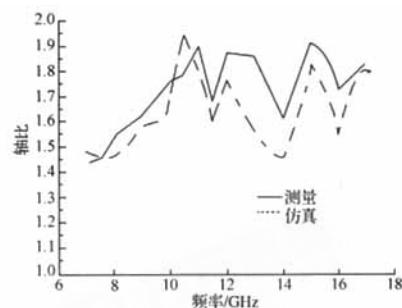


图7 天线的轴比

horn design[J]. *Microwave Journal*, 1964;96-101.

- [2] 刘培国. 恒束宽双极化加脊喇叭天线设计[J]. *微波学报*, 1998, 14 (3) :34-36.
- [3] 宋俊鹏. 天线极化方式[J]. *电子测量技术*, 2003(6): 40-41.
- [4] PYLE J R. The cut off wavelength of TE10 mode in ridged rectangular waveguide of any aspect ratio[C]. *IEEE 2T2MTT*, 1996, 14 (4) :175-183.
- [5] KERR J L, Short axial length broad-band horns[J]. *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, 1973, AP-21:710-714.
- [6] BUMS C, LEUCHTMANN P, VAHLDIECK R. Analysis and simulation of a 1-18-GHz broadband double-ridged horn antenna[J]. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, 2003, 45:55-60.
- [7] 潘宇虎. 天线远场自动测量系统[J]. *电子测量技术*, 2005, 28(3):55-56.
- [8] 韩苑. 单馈点圆极化GPS微带天线的设计[J]. *电子测量技术*, 2006, 29(1):79-80.

作 者 简 介

刘微,女,1979年出生,西北工业大学在读研究生,主要研究方向为微波应用。

地址: 西安市友谊西路 127 号西北工业大学 944 # 信箱, 710072

电话: 029-88488152; Email: liuwei_66@tom.com

韦高,男,40岁,西北工业大学电子信息学院副教授,主要研究方向为微波测量技术、微波通信与微波技术应用。

侯新宇,男,37岁,博士,西北工业大学电子信息学院副教授,主要研究方向为电磁散射理论和算法、频率选择表面等。

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>