

尚军平, 贾涵秀, 刘少迪, 等. 低频天线测量系统中宽带双极化源天线研究[J]. 电波科学学报, 2016, 31(2): 336-339. DOI:10.13443/j.cjors.2015052202

SHANG J P, JIA H X, LIU S D, et al. Broadband and dual-polarized antenna in low frequency antenna measurement system[J]. Chinese journal of radio science. (in Chinese). 2016, 31(2): 336-339. DOI:10.13443/j.cjors.2015052202

低频天线测量系统中宽带双极化源天线研究

尚军平 贾涵秀 刘少迪 左炎春 胡永浩

(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 低频天线测量系统中采用四脊喇叭天线作为发射源天线, 为实现四脊喇叭天线在低频段的小型化, 设计了一种新型结构: 脊边缘采用铝固体结构, 内部采用蜂窝结构来减小天线尺寸和重量. 利用 HFSS 仿真软件对喇叭天线整体结构参数进行优化, 并对其进行加工测试. 仿真和测试结果表明: 后腔采用可调短路板可抑制驻波奇异点的出现; 实际加工过程中, 将聚四氟乙烯板填充在四个对称脊中间确保脊的对称性, 并得到良好的电性能. 该天线已应用于低频天线测试系统, 在锥形暗室中作为发射源天线来测量汽车天线的方向图.

关键词 低频; 双极化; 四脊喇叭天线; 可调短路板

中图分类号 TN821⁺.1

文献标志码 A

文章编号 1005-0388(2016)02-0336-04

DOI 10.13443/j.cjors.2015052202

Broadband and dual-polarized antenna in low frequency antenna measurement system

SHANG Junping JIA Hanxiu LIU Shaodi ZUO Yanchun HU Yonghao

(National Laboratory of Antennas and Microwave Technology,
Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract To reduce the weight of the dual-polarized quadruple-ridged horn antenna over the frequency range of 75—500 MHz, a composite sandwich structure is used to build the antenna, which comprises solid aluminium and honeycomb materials. The parameters of structure are optimized by Ansoft HFSS software, and an adjustable shorting plate is put at the bottom of the antenna to prevent the occurrence of singularities created by standing waves. A modified Teflon board is inserted into the interspace between the four symmetric ridges. Both simulation results and measurement results show that the satisfied impedance and pattern characteristics for interested bands are obtained.

Keywords low frequency; dual polarization; quad-ridged horn antenna; adjustable shorting plate

引 言

随着电子对抗以及电子侦察技术的发展, 要求天线具有宽频带、极化可变等特性^[1]. 宽带天线在微波测量、电磁兼容性(Electro Magnetic Compati-

bility, EMC)测试、雷达、检测系统和通信系统都有广泛应用. 尤其是在 EMC 测试和天线测量中, 它们的宽带性能允许用户在很宽频率范围内测量而不需要更换测试源天线.

为了适应无载波脉冲型雷达要求, 超宽频天线

收稿日期: 2015-05-22

资助项目: 企业创新基金(HX0110260715)

联系人: 尚军平 E-mail: jpshang@mail.xidian.edu.cn

通常应该具有结构简单、单向辐射、较小的脉冲失真、良好的线性相位和较低的反射损耗等特性。TEM 喇叭天线是探测雷达中最常用的天线,这类天线具有增益高、宽带和色散小以及易于加工等特点^[2]。文献[3]介绍了各种相关的设计和详细的分析,比如对数周期,双椎体,螺旋和喇叭天线。但增益和几何尺寸的限制,使一些像对数周期天线的天线不适合用在某些空间,如锥形暗室^[4]。近年来脊喇叭天线比其他种类的宽带天线使用更广^[5]。随着天线测量的发展,也更加需要在较低频率进行更精确的测量。然而,现有的最低的频率大约是 100 MHz^[6-7]。

车载电台天线频率较低,为满足该类天线测试,研制了一种 75~500 MHz 低频宽带双极化四脊喇叭天线,它在锥形暗室中作为暗室屏蔽体的一部分,在测量天线方向图时作为发射源天线。测量两个主面方向图时只需改变两个激励端口而无需转动源天线。该天线已成功应用于一汽车天线测量系统中,获得较好结果。

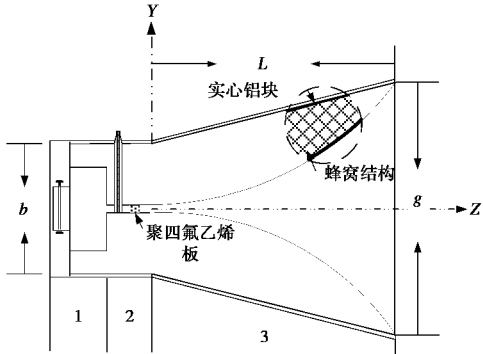
1 双极化四脊喇叭初始尺寸的设计

新型四脊喇叭天线的初始设计与传统喇叭天线相同。该天线横剖面示意图如图 1 所示,它在结构上可以分为三部分:直波导段、同轴-脊波导变换段和带脊喇叭段。在辐射器中加入四个脊用来展宽频带。

为了具备良好的阻抗渐变效果,脊曲线采用指数形式,用修正后的指数函数来确定轴向曲率。在图 1 所示的坐标系中,脊曲线方程为:

$$Y(z) = Y(0) \cdot e^{Mz} + Nz. \tag{1}$$

式中: $M = (1/L) \cdot \ln((g/2 - NL)/Y(0))$, g 为喇叭口面边长, N 一般取经验值 0.02; $Y(0) = d/2$, d 为脊间最小间距。



(1. 直波导 2. 同轴——脊波导转换 3. 带脊喇叭段)
图 1 四脊喇叭横截面剖面示意图

2 四脊喇叭天线结构优化设计

双极化四脊喇叭天线由两个正交的探针馈电,得到垂直极化和水平极化两个极化分量,其主要的性能指标列于表 1。实际结构如图 2。

表 1 双极化四脊喇叭天线性能参数

技术指标	参数值
工作频带	75~500 MHz
端口阻抗	50 Ω
电压驻波比	VSWR≤2, 个别频点 VSWR≤2.25
极化	正交双线极化
增益	5~13 dBi
极化隔离度	≥30 dB
耐受功率	50 W
接口	2XN-50K
尺寸	2 950 mm×2 300 mm×2 300 mm

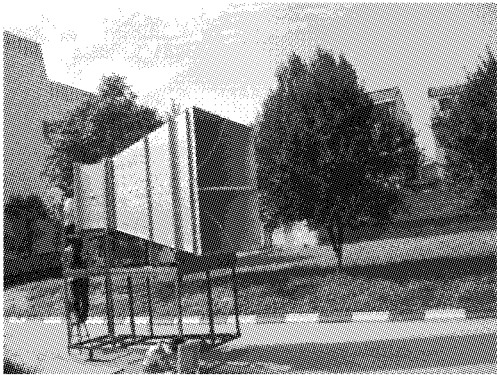


图 2 四脊喇叭天线

2.1 直波导段的优化设计

根据波导传输理论,在脊波导的后端加一段直波导(长度应小于最高工作频率的半个波长),可以滤除被激励出来的 TE₂₀ 模,因此脊波导的可用带宽可扩展到 λ_{c10}: λ_{c30},使单模工作带宽被大大地加宽。为了抑制驻波奇异点的出现,在直波导的底部插入一个方形可调短路腔,通过调节该短路腔可改善天线驻波性能,以获得更低的回波损耗。

2.2 同轴-直波导转换的优化设计

同轴-直波导段天线馈电部分采用 N 型同轴接头,同轴线的导体连在波导的侧壁上,内导体通过一个脊的腔体,连到另一个相对脊上形成单极辐射器,以实现匹配。实际制作中,将内导体末端表面镀上材质较软的良好导电材料,通过挤压方式以保证内导体与脊的良好接触。

仿真表明,电压驻波比和隔离度对双极化四脊喇叭天线两个同轴内导体之间的距离及同轴内导体

与底部波导之间的距离变化很敏感,因此,在天线加工时需要密切关注这两个参数的变化.

为了实现 N 型接头和同轴连接器之间阻抗有效匹配,在它们之间加入过渡锥形渐变结构来维持馈线 $50\ \Omega$ 的输入阻抗,同时,这样做也可以有效提高连接段耐高功率电平.

天线馈电部分由两个正交错开设置的探针组成.为实现天线两个端口驻波比性能的一致性,本文设计了两根直径 $\phi=8.4\text{ mm}$ 的馈电探针,并优化探针间距,使得两馈电端口电压驻波比性能基本一致.

2.3 带脊喇叭段的优化设计

根据喇叭天线理论,设计喇叭天线频率很低,导致天线尺寸和重量较大,结构难以实现.为解决这些问题,喇叭天线的脊边缘采用铝固体结构,内部采用蜂窝结构,如图 1 和图 3 所示.

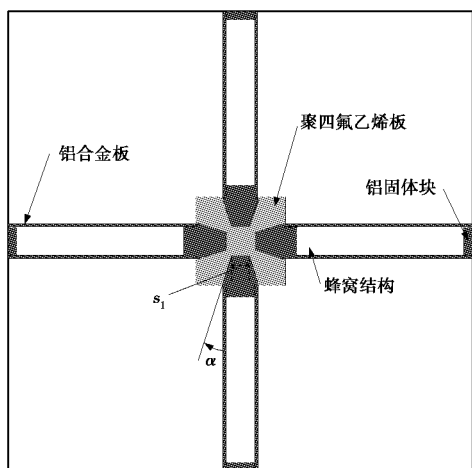


图 3 喇叭天线脊的切角

为确保四个脊正交放置且结构不重叠,保证脊宽和脊间距,在脊的底部加入倒角结构,通过 HFSS 仿真来选择合适的角度 α 和宽度 s_1 . 考虑到实际加工过程中,天线结构易变形,因而将相对介电常数为 ϵ_r 的聚四氟乙烯板插在四个对称脊中间作为支撑. 测量分析发现该聚四氟乙烯板对天线性能影响极小.

2.4 外部支撑设计

天线外部使用金属法兰结构固定喇叭天线以支撑天线庞大的方形结构,如图 2 所示.为使天线移动方便,将其固定在一可移动框架小车上.在 EMC 测试或天线测量中若该天线作发射源天线时,该天线无需转动,只需前后移动即可.

3 天线仿真及实际测量

在四脊喇叭天线初步模型的基础上,为了验证

上述设计和保证模拟结果的正确性,利用基于有限元法的 Ansoft HFSS 模拟高频结构模拟器对该四脊喇叭天线的结构及参数进行进一步优化.

仿真表明,喇叭段长度 L 和喇叭口面边长 g 变化对天线性能影响不大,只需根据波束宽度要求进行微调即可;聚四氟乙烯板对天线性能的影响也很微小.但是要在较宽的工作频带内压低驻波比、保持两个极化端口的驻波比一致性,提高两个端口的隔离度是本文的难点,需要进行大量的优化仿真.优化对象主要是脊波导部分和馈电部分的结构和尺寸.通过对脊间距 d 、脊宽度 s 、脊顶端宽度 s_1 和切角 α 的优化结果表明:天线的驻波比对脊间距 d 最为敏感,优化后 d 取 $20\text{ mm} \pm 0.05\text{ mm}$. s 的变化对驻波比的影响不大,但其取值有一个临界值,超过该临界值则驻波比曲线整体上浮,为减轻重量 s 取临界值 49 mm . α 过大驻波比曲线整体上浮, s_1 过小上下边频的驻波比将大幅增加.另外,底部与脊之间的距离和可调短路板的位置对回波损耗也会产生一定影响.

图 4 给出了该天线的两个激励端口的电压驻波

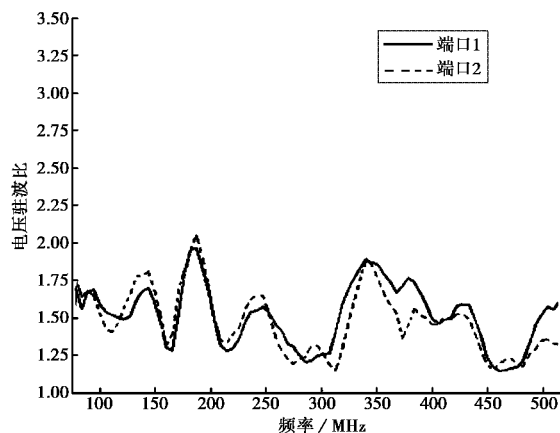


图 4 工作频带每个同轴面上驻波比实测结果

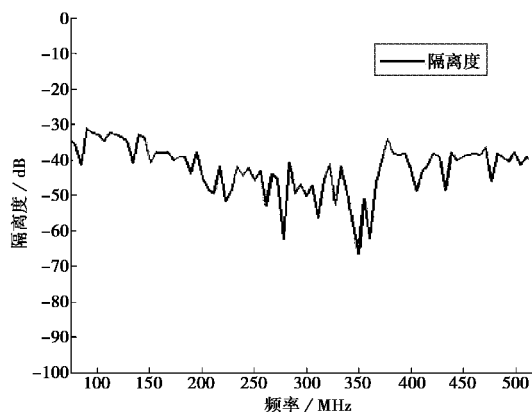


图 5 工作频带两个同轴端口之间的隔离度实测结果

比实测结果,图5给出了两个同轴接口之间的隔离度。测试结果表明,电压驻波比绝大部分小于2.0,隔离度在工作频带内大于30 dB。

增益采用比较法点频测试,测试十个频点水平和垂直极化的增益几乎是相同的,测试结果如图6所示。

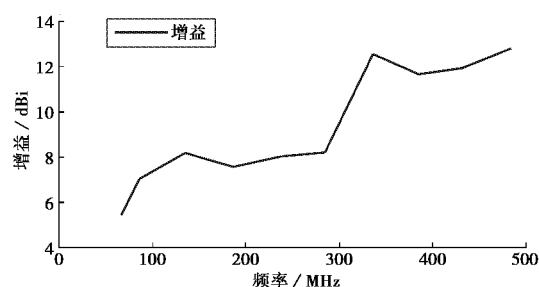


图6 工作频带增益实测结果

4 结 论

本文设计了一种新型75~500 MHz宽带低频双极化四脊喇叭天线。经过仿真建模和优化设计,严格的加工工艺,该天线的两个端口电压驻波比、两个馈电端口的一致性及各端口隔离度均获得良好的结果。该天线在低频端相比其它天线有较大的增益,并可作为微波暗室屏蔽体的一部分,且已成功用于汽车广播天线的EMC测试和天线测量中,如图7所示。



图7 在微波暗室的四脊喇叭天线

参考文献

- [1] 高喜. 宽带、双极化四脊喇叭馈源研究[J]. 电波科学学报, 2013, 28(2): 337-340.
GAO X. Broad band and dual-polarized horn feed source[J]. Chinese journal of radio science, 2013, 28(2): 337-340. (in Chinese)
- [2] 邵金进, 纪奕才, 方广有, 等. 用于公路检测的超宽带横向电磁波喇叭天线[J]. 电波科学学报, 2014, 29(4): 723-728.
SHAO J J, JI Y C, FANG G Y, et al. Ultra-wide band TEM horn antenna for road investigation[J]. Chinese journal of radio science, 2014, 29(4): 723-728. (in Chinese)
- [3] KERR J L. Short axial length broad-band horns[J]. IEEE transactions on Antennas Propagation, 1973, 21(5): 710-714.
- [4] TENIENTE J, GONZALO R, DEL RIO C. Ultra-wide band corrugated Gaussian profiled horn antenna design[J]. IEEE microwave and wireless components letters, 2002, 12(1): 20-21.
- [5] HEMMING L H. Electromagnetic anechoic chambers: a fundamental design and specification guide [M]. New York: IEEE Press, 2002.
- [6] LEFERINK F B J, BOERLE D J G. High field strength in a large volume: the extended double ridged guide vs. the biconical and log-periodic antenna[C]//IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Denver, 24-28 August, 1998, 1: 339-344.
- [7] RODRIGUEZ V. Recent improvements to dual ridge horn antennas: the 200 MHz to 2 GHz and 18 GHz to 40 GHz models[C]. Washington D C: IEEE Computer Society, 2009.

作者简介

尚军平 (1964—), 男, 陕西人, 博士, 副教授, 研究方向为天线近远场测量技术及应用。

贾涵秀 (1991—), 女, 陕西人, 硕士, 研究方向为近场天线测量系统中测量探头应用。