

宽频带、双极化、四脊喇叭天线的设计

蒋颉 刘培国 何建国

(国防科技大学电子科学与工程学院, 长沙 410073)

摘要: 介绍了作为反射面天线馈源的宽频带、双极化四脊喇叭天线。运用 CST MWS 软件仿真技术, 给出了一种宽带加脊喇叭的简化设计方法, 把四脊喇叭天线的设计分解成脊波导变换部分、激励馈电部分、脊曲线的求解三个部分。简化了脊曲线的求解, 并通过仿真软件进行优化在较宽频带内得到较理想的结果。

关键词: 四脊喇叭, 脊波导, 脊曲线

A Design of Quadruple-ridged Horn Antenna with wide-bandwidth, dual polarization

JIANG jie, LIU peiguo, HE jianguo

(College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology of China, Changsha 410073)

Abstract: The quadruple-ridged horns having wide-bandwidth, dual polarization and being often used as the feed of reflector antenna operating in an extra wide-bandwidth are presented engineering. Basing on CST MWS software simulation technique, the paper suggests a method to simplify the design of quadruple-ridged horn, which is composed of the design of ridged waveguide conversion, excitation and calculation of ridged curve. The method simplifies the calculation of ridged curve, and it gets some ideal result using the simulation software.

Keywords: quadruple-ridged horn; ridged waveguide; ridged curve

1 引言

随着电子对抗、电子侦察及宽频带单脉冲跟踪等技术的发展, 要求天线频带增宽, 极化可变已成为必然趋势。而喇叭天线由于其频带宽, 增益高, 方向性好, 在该领域得到充分的应用和发展, 通常用来作为独立的天线或馈源使用。普通的喇叭天线工作频率受传输波导的尺寸影响外与增益要求, 为了能使喇叭天线在宽频带下工作, 需要对普通喇叭加以改进, 通常采用加脊的方式。其中四脊喇叭天线不仅满足宽频带的要求, 同时能够满足极化可变的要求。本文通过仿真设计了带宽在 5~13.6GHz 的四脊喇叭天线。

2 加脊喇叭天线的分析设计

2.1 四脊波导设计

一般四脊波导部分的横截面示意图如图 1 所示, 它的参数选择是四脊喇叭天线设计的关键。在确定四脊波导参数时^[1], 可将四脊波导看成是由两个双脊波导组成, 因此就将四脊波导的设计问题转换成双脊波导的设计问题, 利用双脊喇叭天线中脊波导的设计方法, 参考文献[3]中对双脊波导奇模截止波长方程所求的关系曲线, 设 $b/a = 1$, $b/b = 0.1$, $a_1/a = 0.15$, 则可得, $\lambda_{CE10}/a \approx 4.75$ 。

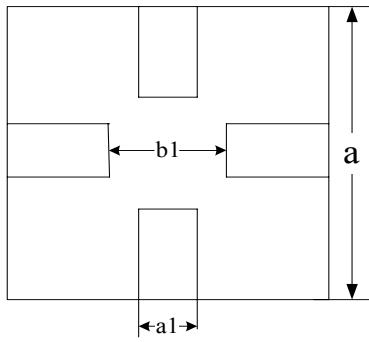


图 1 四脊波导截面示意图

2.2 激励段设计

激励采用同轴—脊波导变换器，和同轴—波导变换器相似，但也有一定的区别。普通波导的阻抗远大于同轴线的阻抗，所以内导体必须深入波导内远离波导壁的地方，以防止失配；而脊波导的阻抗与同轴线的阻抗一致，要求同轴线的外导体连接在脊波导边上，内导体延伸至相对的脊内达到匹配，形成单极辐射器。设计时应加后短路板，形成后腔，其馈电方式和截面图如图 2 所示。调节激励端与后短路板的距离和短路段的脊高，对展宽变换的带宽起很大作用。

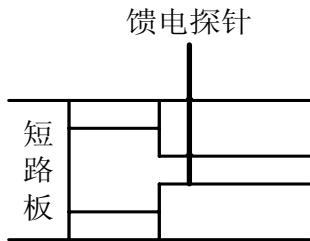


图 2 同轴—脊波导馈电

2.3 脊曲线的求解

脊曲线的求解是脊喇叭设计的关键部分，它是一个指数曲线如图 3 所示(图中 b_2 为 0.5 倍的脊间距、D 为喇叭口径、L 为喇叭的轴长)，其数学形式为：

$$y(x) = A e^{kx} + c x \quad (1)$$

喇叭口面的波阻抗严格分析应从波模理论出发，即喇叭的导行波可分解成各次模，自由空间的球面波也可分解成各次模，二者在喇叭口面上连续，按这种方法需要建立严密的数学模型，计算量也很大。本文简化了设计思想，把喇叭口面的阻抗就看作空气波阻抗，并把它作为喇叭的终端负载，喇叭

本身作为馈源与负载之间的阻抗变换器，喇叭中的脊即起着阻抗匹配的作用。脊喇叭的阻抗计算公式为^[8]：

$$z = \frac{240\pi}{\frac{2C_d}{\epsilon} + \frac{a_2}{b_2} + \frac{1}{2} \frac{a_1}{b_1} \left(1 - \frac{a_2}{a_1}\right)} \quad (2)$$

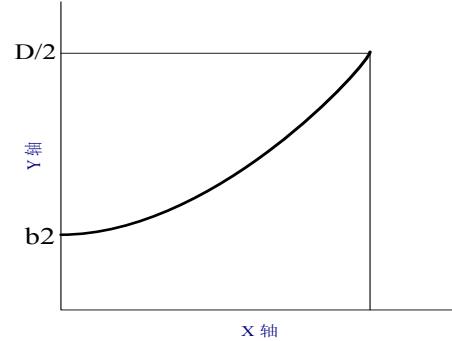


图 3 脊曲线的坐标图

由于脊曲线的起点和终点坐标已知，便可得到有关式(1)的两个联立方程。喇叭 $L/2$ 处的横截面的口径可按比例算出，其阻抗可近似为 $z_{L/2} = \frac{377 + 20}{2} \Omega$ ，将其代入式(2)便可算出 $L/2$ 处的坐标。这样就可得到有关式的第三个联立方程，从而解出式(1)中 A、k、c 的值，得到脊曲线方程。

2.4 模型的建立

脊波导的截止频率为 5GHz，波导边长 $a = 22mm$ ，脊宽 $a_1 = 3.3mm$ ，脊间距 $b_1 = 2.2mm$ ，为避免了脊交叉将脊削为图(4)所示，脊顶端的宽度 $a_2 = 1.6mm$ ，削脊的高度 $b_2 = 1.65mm$ ，宽为 0.85mm，脊长 6mm。

本文在脊波导中每个脊的后面均加入短路直波导，长度为 14.5mm，宽度为 12mm，高度为 5mm；采用同轴探针激励形式，两个馈电端口相互正交，端口探针半径为 0.5mm，插入腔体半径为 1.15mm，第一个馈电端口距离波导口面 4.5mm，第二个馈电端口距离波导口面 2.3mm，馈电端口相互垂直。

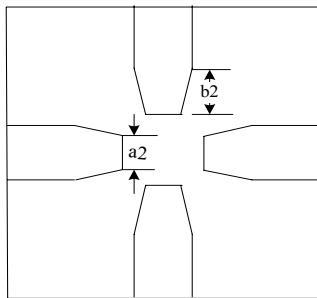


图 4 削减后的脊波导截面图

喇叭口面为正方形，边长为140mm，喇叭长度为160mm。为了保证脊波导部分的脊结构与喇叭段部分的脊结构平滑链接，减少高次模的影响，采用由线性变换逐步过度到指数变换的形式，线性段脊的长度为26mm，后一段脊的脊棱线以指数形式终结在喇叭口面处，其脊棱线的曲线方程为 $y=1.1\exp(0.02596z)$ ，脊宽3.3mm。最终模型如图5所示。

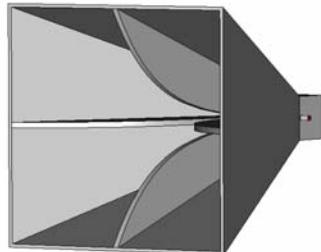


图 5 四脊喇叭模型

3 计算结果

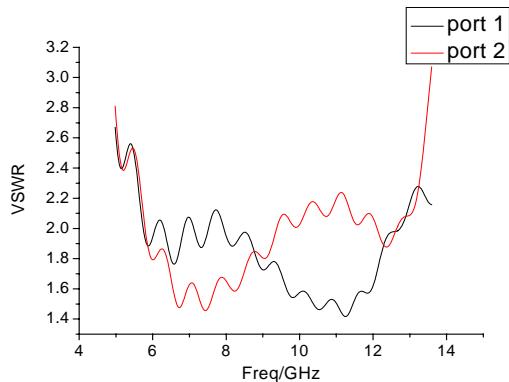


图 6 天线驻波比曲线

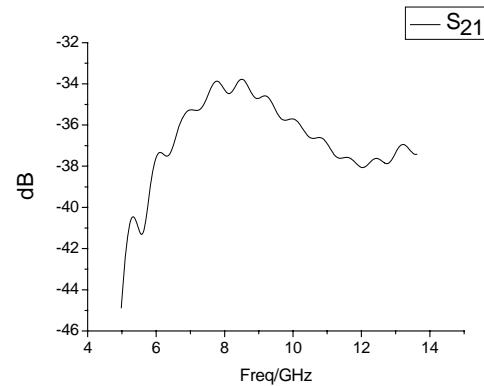


图 7 两馈电端口间隔离度

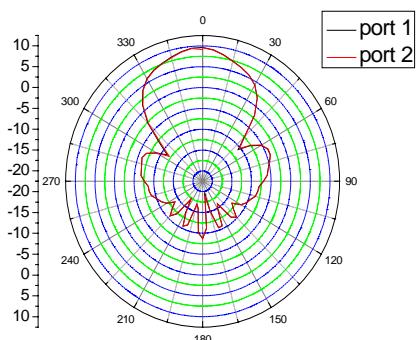


图 8 5GHz 极化方向图

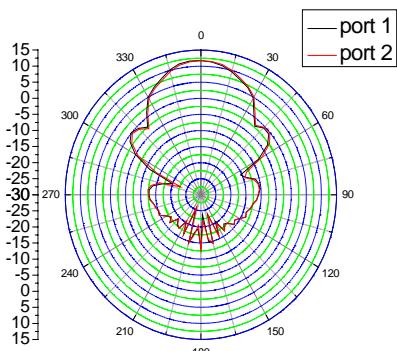


图 9 9GHz 极化方向图

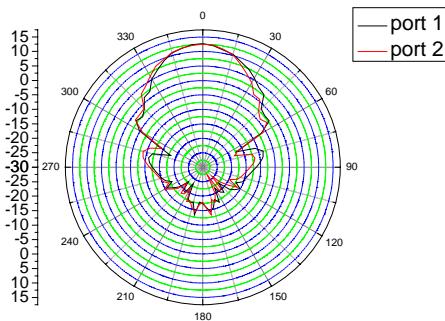


图 10 13.6GHz 极化方向图

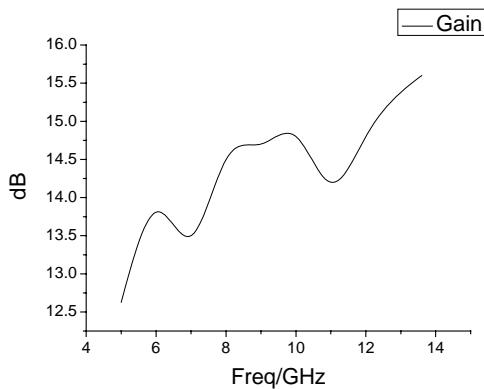


图 11 5~13.6GHz 天线增益曲线

仿真数据结果表明，除二端口在高频率点附近的驻波较高，其余大多都在 2.5 以下；馈电端口之间的隔离度在-30dB 以下，整个工作频带范围内天线的增益都在 12.5dB 以上，而且在整个宽频带内水平极化与垂直极化方向图的一致性很好。

4 结论

本文着重介绍了宽带四脊喇叭天线的简化设计方法，该方法简化了脊曲线的求解，数学计算过程简单，运用 CST MWS 电磁场仿真软件对脊曲线进行了优化，从图 6 到图 11 可看出设计仿真结果来看得到了较理想的匹配结果，证明了本文的方法简单可行。

参 考 文 献

- [1] 刘培国.恒柬宽双极化加脊喇叭天线设计[J].微波学报,1998,14(3):34-36.
- [2] 刘克成.超宽带圆锥 TEM 喇叭天线的分析和设计[J].微波学报,1995,11(1):51-53.
- [3] K.L.Walton and V.C.Sundberg, Broadband ridged horn design, *Microwave Journal*[J], 1964:96-101.
- [4] 傅永生.四脊宽带喇叭天线的分析与研究[D],南京电子工程研究中心,2001.
- [5] 林昌禄.天线工程手册[M],北京:电子工业出版社,2002.
- [6] 鲍小一,蒋全兴.0.2~2GHz 宽带双脊喇叭天线的设计,电讯技术,2006,(2):68-17.
- [7] C.Bums, P.Leuchtmann and R.Vahldieck, Analysis and simulation of a 1-18GHz broadband double-ridged horn antenna[J], *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, 2003, 45(2):55-60.
- [8] 李秀明.宽带双极化喇叭的设计,通讯与测控,2002,26(1)

作者简介：

蒋颉，男，硕士研究生，主要研究领域为生物电磁效应、天线设计等；刘培国，男，教授、博士生导师，主要研究领域为计算电磁学、电磁兼容等；何建国，男，教授、博士生导师，主要研究领域为超宽带技术、电磁兼容等。

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>