

超宽带圆极化喇叭天线馈源的仿真与实现

景振毅 王彬虎 袁乃昌

(国防科学技术大学电子科学与工程学院, 长沙 410073)

摘要: 本文采用同轴加载脊波导的结构设计了超宽带圆极化喇叭天线馈源。在设计中采用短阶梯和渐变式阻抗匹配方法,很好的改善了阻抗匹配效果,提高了馈源的传输性能,仿真结果表明该馈源工作频带达到一个倍频程,相对带宽达到 90%。实际加工馈源样品,测试结果表明在设计频带内能够满足工程需要。

关键词: 圆极化, 天线馈源, 脊波导, 阻抗匹配

Simulation and Realization of Antennas feed for UWB Circular Polarization Horn

JING zhen-yi, WANG bin-hu, YUAN nai-chang

(School of Electronic Science and Engineering, NUDT, Changsha 410073, China)

Abstract: In this paper, coaxial-ridge wave guide construction is adopted to design antennas feed for UWB circular polarization horn. In the design, the short ladder and the gradual changing impedance matching method is used. Thus the matching effect of impedance is well improved and the transmission performance is greatly enhanced too. The simulations show that the working band wide can reach to one octave, while its relative band wide can reach to 90%. The test results of this design prove that the design could satisfy the projects' requirement in its designing band wide.

Keywords: circular polarization, antennas feed, ridge wave guide, impedance matching

1 引言

同轴—矩形波导转换器是是雷达设备、精确制导和微波测试电路中的重要无源连接器件,它已广泛地用于微波领域。近几年来在毫米波领域尤其在毫米波低频端亦有所应用。但由于同轴一波导转换器相对带宽较窄^{[1][2]},难以达到 70% 以上的带宽,在超宽带天线系统中的应用受到限制。

本文基于实际工程的需要,采用同轴加载脊波导的结构,仿真并实现了某新型超宽带圆极化喇叭天线的前端馈源部分,其工作频带在 5.3-14.3GHz,带宽达到了 91.8%。实际加工了天线馈源,实际测量结果表明在所设计频带内,天线驻波均小于-10dB,满足了工程需要。

2 结构及原理分析

由于天线工作在倍频程, 普通结构难以达到宽

带要求, 为了满足工程需要, 该天线的馈源部分采用同轴加载脊波导的结构, 其截面结构如图 1 所示。

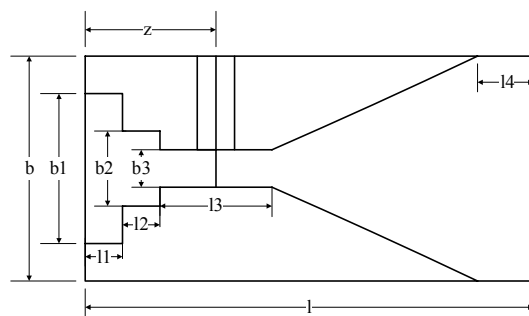


图 1 同轴加脊波导馈电端面剖面图

脊波导又称为脊形波导，它是矩形波导的一种变化形式，分为单脊波导和双脊波导两种结构形式。与规则矩形波导相比，具有低主模截止频率、宽频带、尺寸小和低阻抗特性，适合作为宽频带天线的馈电波导。

脊波导与矩形波导的情形相似, 也可以传输 TE

波和 TM 波，而且它的主模也是 TE_{10} 波。此外，双脊波导可以看成是由单脊波导及其镜像构成，所以它对于 TE_{m0} 具有相同的截止频率及截止波长。在图 2 中显示了单脊波导的横截面及其 TE_{10} 波截止时的等效电路^{[3][4]}。图中 C 为不连续电容，取决于 b' ，不连续性将产生高次模。假定有两副平行线，其电长度为 θ_1 、 θ_2 ，特性阻抗为 Z_{01} 、 Z_{02} 。

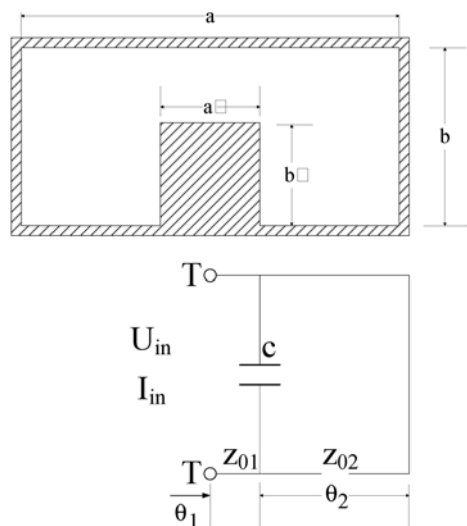


图 2 单脊波导的横截面及等效电路

取等效网络输入电压为 U_{in} ，输入电流为 I_{in} ，由等效电路可知

$$\begin{bmatrix} U_{in} \\ I_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & jZ_{01}\sin\theta \\ \frac{j\sin\theta}{Z_{01}} & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j\beta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & jZ_{02}\sin\theta_2 \\ \frac{j\sin\theta_2}{Z_{02}} & \cos\theta_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

截至条件为

$$Z_{in} = \frac{U_{in}}{I_{in}} \rightarrow \infty \quad (2)$$

此时可得

$$1 - \frac{Z_{02}}{Z_{01}} \tan\theta_1 \tan\theta_2 - \beta Z_{02} \tan\theta_2 = 0 \quad (3)$$

这是一个关于 λ_c 的超越方程，通过 MATLAB 程序可以解出 λ_c 。

矩形波导的等效阻抗为^[5]

$$Z_e = \frac{b}{a} Z_w = \frac{b}{a} \frac{\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2}} \quad (4)$$

其中 $\lambda_c = 2a$ 。而脊形波导可以看作宽边皱缩了的矩形波导，因此脊形波导的等效阻抗不妨也写成类似的形式：

$$Z_{e1} = \frac{b}{a_1} \frac{\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2}} \quad (5)$$

a_1 是脊形波导的等效宽边， $\lambda_c = 2a_1 > 2a$ 是脊形波导的截止波长。由上式可以看出，脊波导的有效阻抗较之波导相对降低，有利于与同轴线进行匹配。

在同轴加载脊波导馈源中我们主要采用了两种匹配形式：阶梯式阻抗匹配和渐变式阻抗匹配。在实际应用中，为了降低驻波，拓宽工作频带，前向匹配过渡段的设计应稍长一些，如果这部分采用阶梯式阻抗匹配需要设计较多的阶梯，各阶梯带来的不连续性影响修正起来比较困难，而且不能保证宽频带的应用，采用渐变式阻抗匹配则避免了阶梯不连续性的影响。渐变式阻抗匹配的渐变线设计有多种方法，如：双曲线、抛物线、贝塞尔线、指数线和切比雪夫型等。本文考虑到加工的难度，前向匹配段直接采用直线型过渡。而后向匹配段由于距离较短，易直接采用阶梯匹配，多采用四分之一波长阶梯阻抗匹配，在本文中为缩短馈源尺寸，采用短阶梯阻抗匹配，其长度可以是 1/8、1/16 甚至 1/32。

3 仿真结果及参数分析

本文采用基于有限积分方法的 CST 软件进行仿真，其仿真模型如图 3 所示，剖面图如图 1 所示。仿真参数在计算机优化后，得到具体设计尺寸如下：波导口径为 31.25×15.62mm；同轴电缆为外半径 2mm，内半径 0.6mm，填充介质为 $\epsilon_r=2.08$ 的聚四氟乙烯；同轴线圆心到波导左臂的距离为 $z=7.1\text{mm}$ ，脊波导脊宽 $a'=5.4\text{mm}$ ，脊波导高度为 $b_3=1.7\text{mm}$ ；脊波导上两节阶梯在 1 方向长度 $l_1=3\text{mm}$ ， $l_2=1.53\text{mm}$ ，左端阶梯高度 $b_1=5.5\text{mm}$ ，右端阶梯高度 $b_2=2.3\text{mm}$ ； $l_3=7.5\text{mm}$ ， $l_4=3\text{mm}$ ；总长度 $l=37.7\text{mm}$ 。仿真得到的回波反射系数 S11 如图 4，在频带 5.3-14.3GHz 内，回波反射系数小于 15dB，即驻波比小于 1.37。

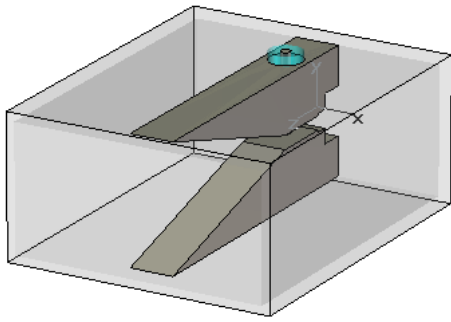


图3 CST 仿真模型

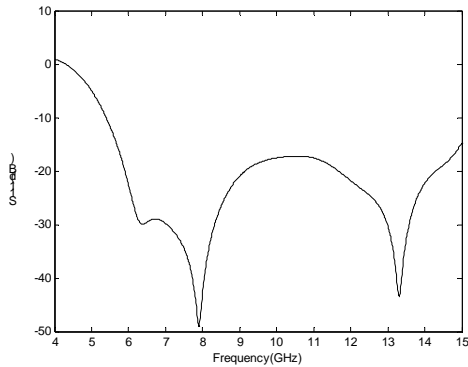


图4 回波反射系数 S11 数值仿真结果

从上面的数值仿真结果,可以看出,在整个频带内有两个谐振峰分别处于 7.89GHz 和 13.31GHz。在馈源的实际加工中,由于单个脊波导阶梯高度的加工尺寸误差,将双倍反应在仿真参数 b_1 、 b_2 、 b_3 的变化上,因此在数值仿真中对参数 b_1 、 b_2 、 b_3 进行了重点仿真分析。实际在其他参数不变的情况下,改变参数 b_1 和 b_3 ,得到如图 5 所示的仿真结果,由于参数 b_2 变化对于仿真结果影响不大,这里没有列出。

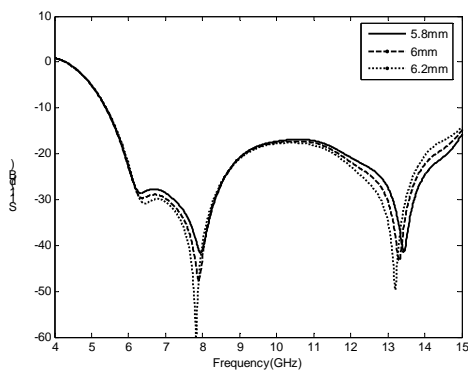


图5 (a) 参数 b_1 改变对 S11 的影响

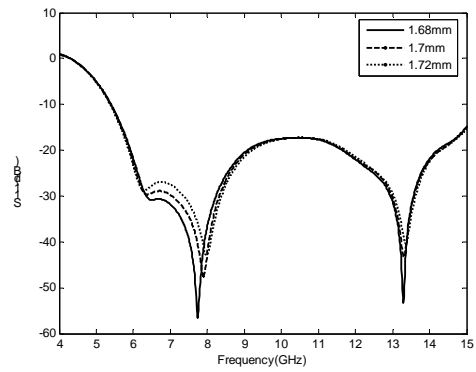


图5 (b) 参数 b_3 改变对 S11 的影响

由数值仿真结果可以看出,参数 b_3 和 b_1 的改变将分别影响前后两个谐振频点的位置,当参数值变大时,频点向较低的频率移动,反之亦然。

4 实验结果

馈源加工实物如图 6 所示,外形尺寸为 $42 \times 41 \times 32.5\text{mm}$,同轴电缆采用常用的外半径为 2mm,内半径为 0.6mm,介电常数 ϵ_r 为 2.08 的标准 50Q 同轴电缆。为确保了测量结果的可靠性,在实际测量中采用安捷伦矢量网络分析仪 8363,对该馈源的反射系数 S11 进行了测量,测量结果如图 7 所示。在频带 5.3-14.3GHz 内, S11 均小于 -10dB,与仿真结果相比,变化趋势基本吻合,但曲线波纹较多,回波反射系数整体抬高,这是加工精度所造成的,主要加工误差来自脊波导。实际测量结果在工作频带 5.3-14.3GHz 范围内满足工程需要。



图6 馈源实物图

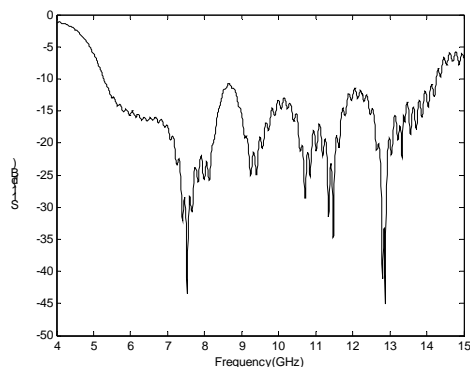


图 7 回波反射系数 S11 实际测量结果

5 结论

本文采用同轴加载脊波导的结构设计了某新型超宽带圆极化喇叭天线馈源。通过数值仿真的方法分析了影响馈源反射系数的主要参数，得到的结论与馈源实际测量结果相符合。对实际加工馈源进行测量，测试结果与仿真结果基本一致，达到了设计要求。

参 考 文 献

- [1] 周焱, 苏东林. 周期性结构在毫米波波导同轴转换中的应用. 北京航空航天大学学报, 2006, 32(4): 412-416
- [2] T. Rizawa, IL Pendleton. Broadband coax-waveguide Transitions. Particle Accelerator Conference. 1995
- [3] 林昌禄、宋锡明等. 圆极化天线[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1986
- [4] J. R. Pyle, The Cutoff Wavelength of the TE_{sub.10} Mode in Ridged Rectangular Waveguide of Any Aspect Ratio, IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, vol. MTT 14, No. 4, pp. 175-183, Apr. 1966.
- [5] N. Marcuvit, Waveguide Handbook, Rad, Lab. Series, Vol. 10, McGraw Hill, 1951
- [6] 毛钧杰. 电磁场与微波工程基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

作者简介:

景振毅: 男, 1982, 硕士研究生, 主要研究方向天线设计, 电磁带隙(EBG)结构, 微波测量。王彬虎: 男, 1986, 硕士研究生, 主要研究方向电磁场测量, 微波电路设计等。袁乃昌, 男, 教授, 博导, 主要研究领域为目标与环境特性、超宽带技术及光子晶体等。

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,一直致力和专注于微波、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>