

超高性能微波天线馈源系统的设计

苏丽萍^① 沈 泉^②

【摘要】本文介绍了用于微波接力天线馈源中的 C 波段超高性能馈源系统的设计方法,利用高频结构仿真软件对其进行了优化设计。对一些重要的和不易调整的尺寸用加偏差的方法来确定加工精度。计算结果与实测结果吻合的较好,在 4.4~5GHz 的频段中,整个馈源系统的驻波优于 1.05,交叉极化鉴别率优于 -40dB。

关键词 超高性能馈源系统 高频结构仿真软件

其中喇叭和正交器是关键部件。

一、概 述

近几年来,我国通信事业的飞速发展,微波接力通信天线也不断地发展和完善,卫星通信系统的传送网功能主要通过光纤,地面微波,空中卫星等通信方式来完成。从微波传送系统所采用的新技术及传送容量的角度来看,新一代的同步数字系列 SDH 微波通信系统替代了传统意义上的 PDH 微波通信。为适应正在兴起的 SDH 微波通信中频率复用的发展,我们需要研制超高性能的微波天线。它应具有很高的前后比(F/D),很高的交叉极化鉴别率(XPD)和极低的电压驻波比(VSWR)。因此,超高性能微波天线系统具有低的电压驻波比(VSWR 优于 1.06 或反射损耗大于 30.7dB)和高的交叉极化鉴别率(大于 38dB)。

二、系统组成

超高性能微波天线的馈源系统是由喇叭,正交器,扭波导,弯波导和波导馈线组成。

1. 喇叭

适合超高性能微波天线的馈源的喇叭有多种^{[1][2]}。本馈源采用带有三个扼流槽的平面波纹喇叭,这种平面波纹喇叭具有旋转对称的方向图,低的副瓣,低的交叉极化和稳定的相位中心。喇叭的结构如图 1 所示。它是由一个圆波导和三个同心圆环构成。为了改善喇叭的驻波特性,我们在喇叭口附近对称地放置调配块。为了防止异物等进入喇叭,需对喇叭口进行封闭。通常在喇叭口上加介质薄膜,一般介质薄膜均会使喇叭的驻波变坏,我们利用高频仿真软件对介质的位置与厚度进行调整,使之具有改善驻波的特性。优化后的喇叭驻波优于 1.05。

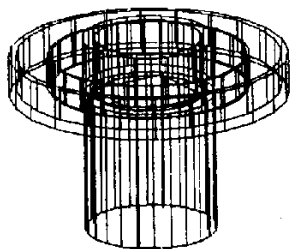


图 1 喇叭结构

① 苏丽萍 信息产业部电子三十九所 工程师
② 沈 泉 信息产业部电子三十九所 主任高工

2. 正交器

在现代天馈系统中,频率复用技术是利用频率资源最经济的方法之一,可达到扩大通信容量的目的。正交极化频率复用技术是用双极化天线来实现的,即在同一频率上利用极化正交特性传输两路独立的信号。正交极化频率复用技术有两种,即双线极化和双圆极化^[3]。正交极化的合成和分离是在馈电系统中实现的。双线极化频率复用是用正交模耦合器(OMT)也称极化分离器(简称正交器)完成的。

正交器是常用的微波元件,但介绍其设计方法的文献较少^[4]。普通的正交器(如图2所示)虽然只表现为三个物理端口,但就电气上来说是四端口器件。这是由于公共端口中有两个正交的主模(圆波导中的 TE_{11}/TE_{11}^* 模或方波导的 TE_{10}/TE_{01} 模)与其他两个端口中各自的基模(矩形波导的 TE_{10} 模或同轴线中的TEM模)匹配。

正交器的作用是分离公共端口中两个正交主模的独立信号并将它们传给单一信号端口的基模,使所有电端口匹配且在两个独立信号之间有高的交叉极化鉴别力。因此,理想正交器的散射矩阵为

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & e^{j\varphi_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{j\varphi_2} \\ e^{j\varphi_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\varphi_2} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

这里端口1和2代表位于物理公共端口的主模,端口3和4是基模接口,例如,分别在端口1与端口3和端口2与端口4之间提供直接连接。其相移滞后分别为 φ_1 和 φ_2 。

正交器的形式有多种,其性能略有差异。一般主波导的形式有圆波导和方波导,在宽频带应用时也可采用四脊波导。与分支波导(也称侧臂)耦合的耦合孔的位置在锥缩(渐变或阶梯)部分,也有用膜片或隔离栅短路耦

合的。本文所介绍的正交器是在较窄的工作频带(10%~20%)内满足高性能和低成本的要求。对高性能而言是要求有较小的反射损耗(VSWR)和高隔离(端口隔离和极化隔离),低成本则要求结构简单,加工方便。

为了保证正交器的性能,其最低工作频率应满足 $f_{\min} > 1.1f_c$ 。这样圆波导正交器的最大工作带宽约为17%,方波导正交器的最大工作带宽约为25%。在这样的带宽内正交器隔离性能仅受结构尺寸和加工对称性的影响。如果大于最高工作频率,由于高次模的影响,正交器的隔离性能将变差。

正交器的设计的准则是抑制高次模的产生,简化结构,保证结构的对称性,用较少的匹配元件实现各个端口的匹配。

正交器设计的关键是方形或圆形波导分支耦合器的结构及两个基模端口的匹配部分。我们所设计的正交器采用如图2所示的形式。整个设计过程中首先确定方波导的尺寸,然后设计直通口的方矩波导阶梯过渡。

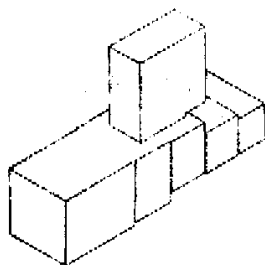


图2 C波段正交器

最后确定侧臂耦合孔位置。选取耦合孔的大小与位置应以尽可能减小对直臂的影响又能很好地耦合极化信号为宜。由于侧臂耦合结构变量较多,对性能影响很大,优化侧臂尺寸是十分必要的。

对微波元件来说,通过求解Maxwell方程这一古典的方法来获得其特性是困难的。由于高速度大容量计算机的出现,促进了各种数值分析方法的发展。在电磁场问题的数值计算领域出现了多种方法,如有限时域差分法(FDTD),模匹配法(MMT),传输线矩阵法(TLM)和有限元法(FEM)等。这些方法对处理各类电磁场问题是部分有效的,但都有所限制。相对而言,有限元法应用比较

成熟,可以处理较多类型的电磁场问题,当然对计算机资源的要求也更高。基于有限元法的高频结构仿真软件 HPHFSS 为解决微波元件的分析方法提供了一种有效的手段。

利用软件优化设计过程实际上是一个加工调试的仿真过程,可以把过去用实验方法确定的尺寸用计算机分析得到。侧臂优化的计算量大,由于侧臂尺寸对直通口性能影响较小而且侧臂匹配的难度较大,对直通口的匹配影响可以选择特定的元件来达到减小的目的。优化侧臂的模型可利用其对称性来减少计算量,弯波导优化后的驻波优于 1.02。扭波导优化后的驻波优于 1.04。

微波元件性能的稳定性是设计的另一个重要目标之一。通常情况下,对于非谐振结构微波元件来说,尺寸对性能影响是平缓的(非激烈变化的),利用微扰结构尺寸的方法可达到检验计算结果,确定制造公差的目的。特别是对性能影响很大的尺寸公差的确定是很有必要的,可为合理分配公差,降低制造成本提供科学依据。

3. 馈源系统的优化设计方法

馈源系统的性能优化是一个十分复杂的问题,各部分的尺寸变化都会影响性能。由于受计算机资源的限制,对整个馈源系统进行优化设计是困难的,采用对各微波元件进行优化设计后,再对各微波元件的连接关系(接口位置)进行优选,可以得到较好的系统

性能。例如,喇叭的最大的回波损耗为 -34dB,正交器的最大回波损耗为 -32dB,通过优选喇叭与正交器的连接尺寸后,正交器加喇叭合成后最大回波损耗为 -32.5dB。

三、计算与实测性能

喇叭优化后的 VSWR 和方向图结果如图 3 所示,方波导正交器优化后的 VSWR 结果如图 4 所示,对正交器中的主要结构尺寸加微扰(尺寸加公差)后计算的 VSWR 如图 5 所示。从仿真结果来看,正交器中的主要结构尺寸的公差要求在 +0.2% ~ +0.4% 是适当的。整个馈源系统的 VSWR 结果如图 6 所示,它的交叉极化鉴别率如图 7 所示。

四、结 论

本文介绍了 C 波段超高性能微波天线的馈源系统的设计方法。给出了计算和实测结果,提出了利用高频结构仿真软件确定微波元件制造公差的方法。整个系统的驻波优于 1.05,交叉极化隔离优于 40dB。该馈源系统已很好地应用于 3.2m 的微波中继天线。

此项工作是在高福民、段玉虎等同志的指导下完成,由副总工程师柯树人校阅了全文,并提出了很好的修改意见,在此表示衷心的感谢!

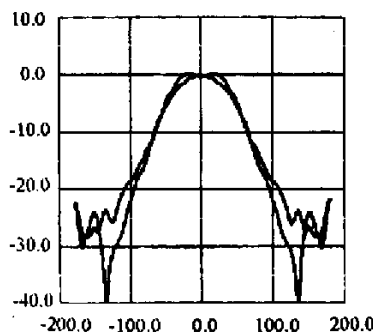
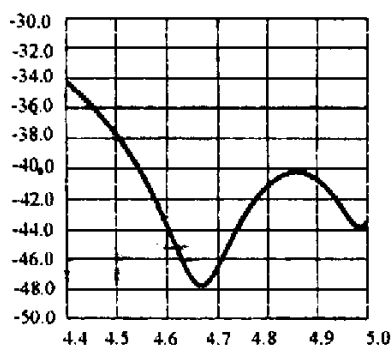


图 3 喇叭优化后的 VSWR 和方向图

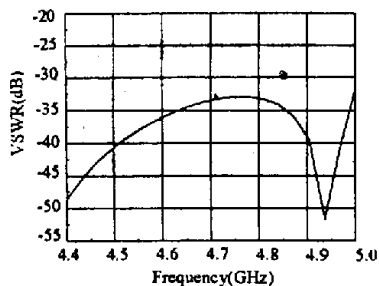


图 4 方波导正交器优化后的 VSWR

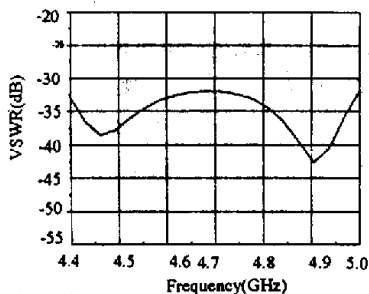


图 5 正交器中主要结构尺寸加微扰后的 VSWR

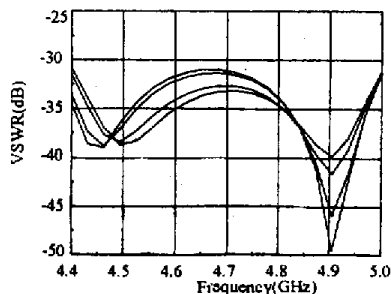
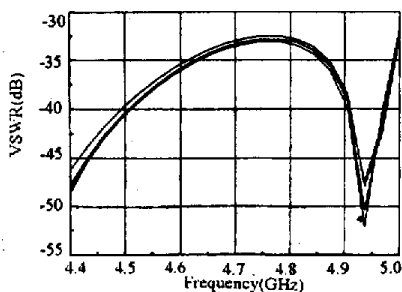


图 6 馈源系统的 VSWR

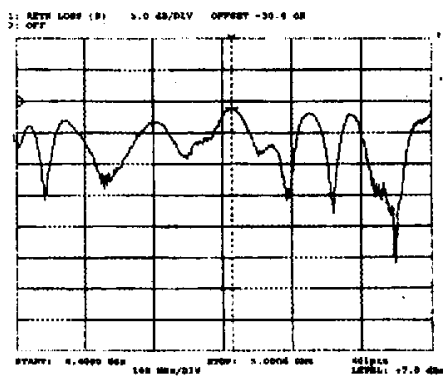
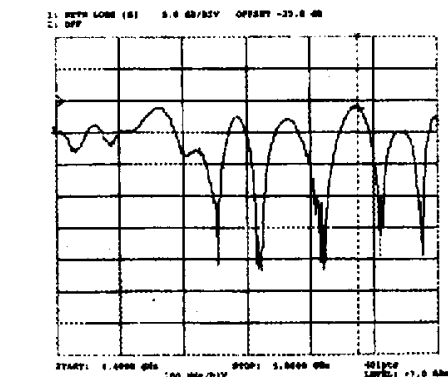


图 7 馈源系统的交叉极化鉴别率

参考文献

- 1 G. F. Koch. Coaxial Feeds for High Aperture

Efficiency and Low Spillover of Paraboloidal Reflector Antennas. IEEE Trans. on AP, 1973, Vol. AP-21(2):164~169

- 2 陈木华. 90°波纹喇叭. 无线电工程, 1991(4):51~56
- 3 INTELSAT EARTH STATION STANDARD (IESS) FOVUMRNY. IESS-207(RCV-2) 10, November 1995
- 4 Jaroslav Uher. Waveguide Components for antenna Feed System: Theory and CAD. Artech House, 1993

(2000-01-13 收到)

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>