

平衡馈电韦尔弟天线研究

许庆丰 叶素珍

(船舶重工集团公司 723 所, 扬州 225001)

摘要: 韦尔第天线 (Balanced antipodal Vivaldi 天线) 具有宽频带、宽角的特性, 采用带线馈电, 易于与微波电路集成, 且其体积小, 重量轻, 易于加工, 在电子对抗领域具有很广泛的用途。本文分析了 Balanced antipodal Vivaldi 天线的辐射特性及带宽特性, 并将实测结果与理论计算进行了对比。对于 E 面电场分布的不对称性, 给出了一种解决方法, 采用该方法后, 有效地改善了 E 面方向图在低频时的不对称性。

关键词: 宽带, 韦尔第天线, 槽线天线

Research of Balanced Antipodal Vivaldi Antenna

Xu Qingfeng Ye Suzhen

(The 723 Institute of CSIC, Yangzhou 225001, China)

Abstract: The balanced antipodal vivaldi antenna fed by stripline is a kind of wideband wide-angle antenna, being the small size and light in weight, and convenient to be integrated with the microwave module, it has the broad application in ECM. The radiating property and the frequency band property of the antenna have been analyzed and verified by measuring, furthermore the unbalanced field distribution in E plane has been adjusted in some way.

Keywords: Wideband; Vivaldi; Tapered slot antenna

1 引言

槽线天线 (Tapered slot antenna) 由于具有宽带、宽角、低交叉极化、易于与微波电路集成等优点而倍受青睐。TSA 天线最早由 Lewis et al 于 1974 年提出, 其后 Gibson 于 1979 年也对其进行了研究, 并命名为“Vivaldi”。传统的 TSA 天线由渐变张开的槽线印制于微波基片上构成, 通常由微带线或带状线馈电。

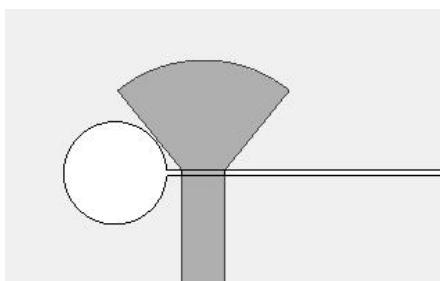


图 1 TSA 天线馈电电路

根据其渐变形状的不同, TSA 天线分为: 线性渐变 TSA (LTSA)、线性常数渐变 TSA (Linear-constant TSA)、指数线渐变 TSA (Exponential TSA) 等。其中指数线张口, 微带线馈电的 TSA 通常被称为 Vivaldi 天线。这些天线虽然具有较好的宽带、宽角特性, 但是在设计时需要一个高效能的带线—槽线转换 (如图 1), 因此, 天线带宽常常受限于馈电电路的性能。而对于 Antipodal Vivaldi 天线 (图 2) 来说, 则不存在这个问题。这种天线对传统的 Vivaldi 天线进行了改进, 馈电从微带线平滑过渡到双线, 然后各自向反方向展开, 构成渐变张开的槽线。采用这种馈电形式带宽甚至可以做到 40:1[2]。但是, 在 Antipodal Vivaldi 天线中, 电场是不对称的, 高频时其电场会严重倾斜, 甚至可以达到 90 度[3], 导致很高的交叉极化。因此, 更受欢迎的形式是 Balanced antipodal Vivaldi 天线 (简称 BAV)。这种天线将馈电形式由微带线改成了带状线, 其电场上下对称, 但其左右电场并不对称, 由此而产生的一系列问题将在下面进行讨论。

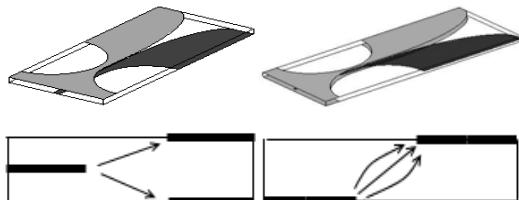


图 2 Antipodal Vivaldi、Balanced antipodal Vivaldi 天线及其口面电场分布

2 Balanced antipodal Vivaldi 天线设计

目前，对于该天线并没有太多的设计规则[1]，大部分工作依赖于数值计算，但可以初步确定一些基本的尺寸。在此，渐变曲线的形状选择椭圆曲线，在[2]中认为，椭圆曲线的张口可以得到相似的 E 面和 H 面波束宽度。对于单个天线来说，开口的宽度决定了频带的最低频率，通常开口应不小于最低频率的二分之一波长，实际并不需要这么大，但天线的总宽度不应过小。端口阻抗取 50Ω ，由此可以确定带状线的线宽。

经过初始参数的确立，对其进行了优化设计，并进行了加工，如图 3 所示。天线实物长度 100mm（另有 10mm 的延伸段，用以改善口面与空气的匹配），宽 26.5mm，开口宽度 15mm，椭圆渐变段长度 57mm。图 4—图 6 是实测的回波损耗及 E 面、H 面方向图与计算结果进行的比较。

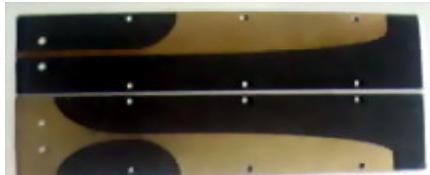


图 3 Balanced antipodal Vivaldi 天线实物照片

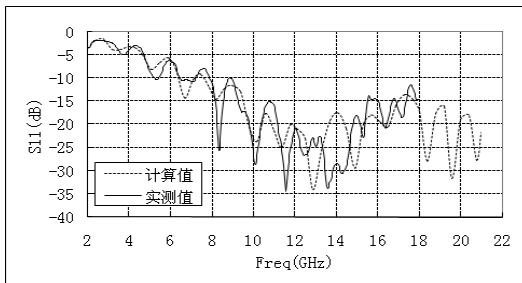


图 4 回波损耗 (S11)

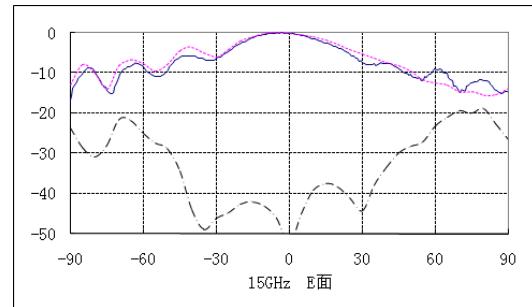
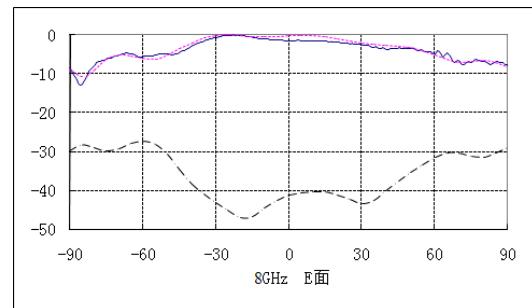


图 5 8GHz、15GHz E面方向图实测与计算比较

—— 实测值
····· 计算值
- - - 交叉极化 (计算值)

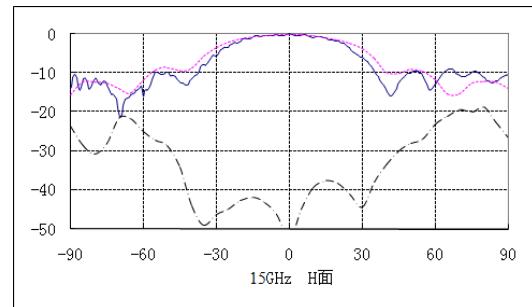
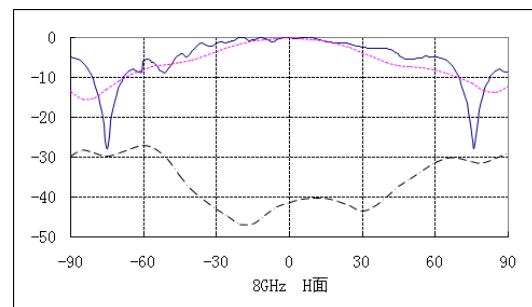


图 6 8GHz、15GHz H面方向图实测与计算比较

—— 实测值
····· 计算值
- - - 交叉极化 (计算值)

从上面的回波损耗和方向图计算测试比较结果来看，理论计算与实测结果是相当吻合的。实际的频率只测量到 18GHz，从输入回波损耗的计算结果可以看出，该天线在高端还有很大的扩展空间，其

宽带特性由此可见。E 面和 H 面的波束宽度比较相似，从而验证了[2]中关于椭圆曲线的作用的相关论述，到高端 18GHz 处，E 面和 H 面 3dB 波束宽度约为 40°。

3 改进型 Balanced antipodal Vivaldi 天线

由图 5 进一步分析得到，一般的 BAV 天线在频率低端，E 面方向图最大辐射方向偏离了中心，在低频时可达到 20°至 30°。本文前面已经提到，由于带状线馈电的 BAV，其口面处左右电场不对称，导致了方向图的不对称。为此，有必要对原 BAV 天线进行修正。经过仿真优化计算，在结构上引入了不对称性，借以消除这种 E 面电场偏头现象。改进后 BAV 天线模型如图 7，计算结果如图 8—图 10。

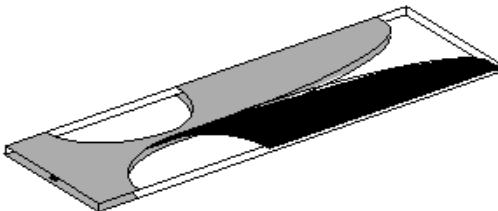


图 7 改进型 Balanced antipodal Vivaldi 天线

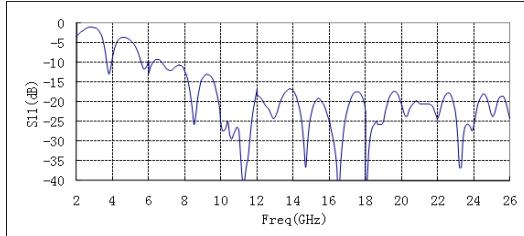


图 8 回波损耗（计算值）

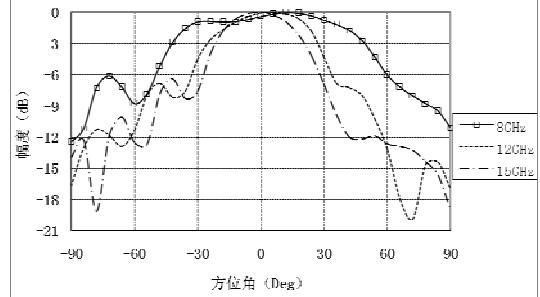


图 9 E 面电场方向图（计算值）

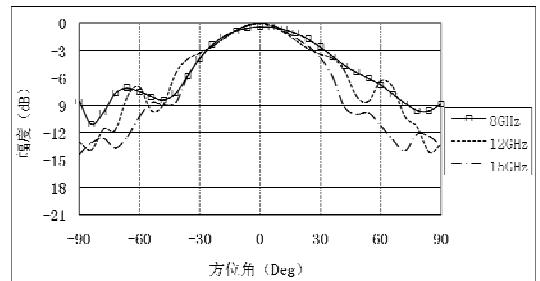


图 10 H 面电场方向图（计算值）

从图 9、图 10 可以看到，E 面电场在低频时的不对称性得到了有效的改进。E 面电场在 8GHz 时，原来最大辐射方向偏移了近 30°，经过修正后，辐射最大值基本保持在 0° 方向上。12GHz、15GHz 原来的偏移角度不大，经过修正后，基本保持了方向图的对称性。H 面波束和未修正的 BAV 天线基本一致，依然保持良好的对称性。

4 结束语

Balanced antipodal Vivaldi 天线具有频带宽、体积小、重量轻、易于加工等诸多优点，具有很高的应用价值。本文在仿真计算与实测结果高度吻合的基础上，通过不对称结构的引入，对 Balanced antipodal Vivaldi 天线结构进行重构，在带宽达到三个倍频程的同时，有效地解决了 E 面波束不对称的问题，使得 Balanced antipodal Vivaldi 天线的性能更加完善。

参 考 文 献

- [1] Hai Fong lee, "Advances in microstrip and printed antennas," John Wiley & Sons, Inc. 1997
- [2] Langley J. D. S, "Balanced antipodal Vivaldi antenna for wide bandwidth phased arrays," IEE Proc. -Microw. Antennas propag., vol.143, No.2, April 1996, pp.97-102.
- [3] Jan Peeters weem., "Broadband element array onsiderations for ska," Perspectives on Radio Astronomy: Technologies for Large Antenna Array, pp. 59–67, 1999.

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>