

一种共面波导馈电的多模指数渐变开槽天线

王剑 张厚 李圭源

(空军工程大学导弹学院雷达工程系， 西安 713800)

wangnancy@eyou.com

摘要：通过分析共面波导传输线工作模式的特性，本文设计的馈源部分可以激励起共面波导模式(CPW)和耦合槽线模式(CSL)；接着，设计了一种新型的指数渐变开槽天线，采用馈源产生的两种模式，天线可以发射和/差波束形式的方向图；最后，运用基于有限元法的商业软件 HFSS 对天线进行了仿真计算，通过分析结果，在 5.8GHz—9.0GHz，天线工作于 CPW 模式，发射差波束形式的方向图；在 6.7GHz—8.0GHz，天线工作于 CSL 模式，发射和波束形式的方向图，其中，两种模式可以单独工作也可以同时工作，并且在工作频率范围内，天线的两个馈入端口具有较好的隔离度 (<-17dB)。

关键词：共面波导； 和/差波束天线； 耦合槽线模式； 仿真软件

A CPW-fed Multimode Exponential tapered Antenna

WANG Jian ZHANG Hou LI Guiyuan YIN YingZeng

(Department of Radar Engineering, Missile Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 713800, China)

Abstract: On the basis of the transmission characteristic of CPW, the proposed feed sector in this paper can stimulate two transmission modes: such as CPW mode (coplanar waveguide) and CSL mode (coupled slotline), and then, a novel exponential tapered antenna is designed and can produce sum/difference beams by use of two different modes, respectively. Finally, the simulated results are given by use of HFSS (a commercial simulated software), and from these results, it can be noted that this antenna can eradiate difference beam from 5.8GHz to 9.0GHz, and meanwhile, it can eradiate sum beam from 6.7GHz to 8.0GHz. And moreover, the sum beam port and the difference beam port have good isolation degree, which is almost below -17dB.

Keywords: coplanar waveguide; sum/difference beams antenna; coupled slotline mode; simulating softwar

1 引言

伴随着无线电通信的发展，当前的交通工具通常会装有大量的无线电设备，如：个人通信设备、导航设备和雷达等。进一步说，未来的汽车将被称作“移动中的办公室”或者是“移动中的国际互联网终端”。但是，由于无线电服务设备的骤增必然会引起车载天线数量的增加；因此，成本、重量和电磁兼容问题也成为车载天线发展的一个重要的限制因素。

对于智能交通工具上雷达天线的研究主要集中在前向雷达与后向雷达。其中前向雷达主要为汽车导航提供速度信息和换巷时的防撞信息，而后向雷达可以避免倒车时的碰撞，而完成这一任务（实现这一目标）通常需要四个探头或者是多个天线来提供比较全面的信息；然而，多天线必然会引起前面提到的各种问题。因此，为了保证在实现汽车导

航功能的同时而又不引起相关的负面影响，多功能天线便应运而生。多功能天线是指单个天线可以工作于多种模式^{[1][2]}，完成多个天线的功能，而且应该具有足够小的体积，平面结构和易于集成。

针对上述问题，本文提出了一种两个输入端口的渐变耦合槽线天线，端口1工作产生差波束形式方向图，端口2工作产生和波束形式方向图，两种波束在最大方向上有着互补的特性；第二部分介绍了馈源部分的工作原理，并给出了馈源的几何结构；第三部分设计了可以发射两种模式的指数渐变天线。第四部分运用电磁仿真软件验证了设计的多模天线，并分析了计算结果。

2 馈源部分的设计

共面波导结构最早由C.P.Wen于1969年提出，并得到了广泛的应用。如图1所示，共面波导线可以传输两种基本模式^[3-5]。一种是共面波导传输模式

(CPW模式)；另一种是耦合槽线模式(CSL模式)，其中在缝中的电场矢量方向用箭头显示。在共面波导线构成的器件中，共面波导模式是工作模式，它是准TEM模式。而对于耦合槽线模式，它通常是一种需要抑制的寄生模式，例如使用空气桥结构。它不属于TEM模式并且很少被研究。然而，两种模式均可以用来激励天线。

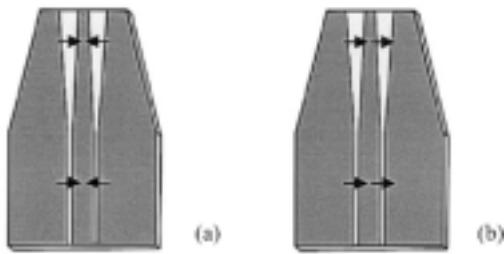


图1 共面波导传输线中两种模式

(a) 共面波导模式 CPW ;(b) 耦合槽线模式 CSL

在实际的工作应用中，直接由SMA头产生耦合槽线模式是不可能的，本文采用共面波导馈电的耦合过渡来激励起耦合槽线模式。其中馈电结构如图2所示。

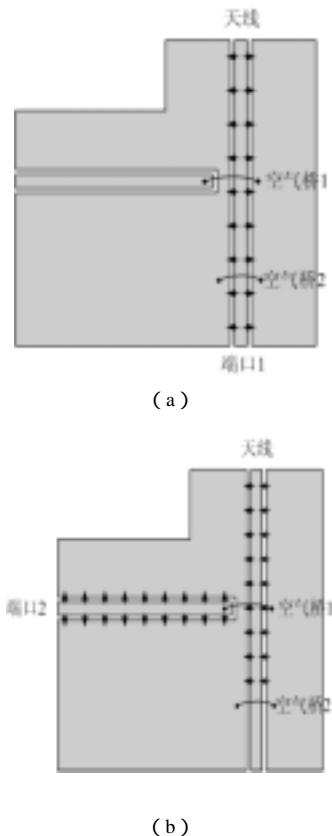


图2 CPW 饲电部分的工作原理图：(a)差波束，(b)和波束

在设计的馈电结构中，两种模式可以同时激励也可以单独激励。这一无源网络是基于共面波导线来设计的三端口器件，其中，端口1与端口2连接同轴线电缆，而另一端口与天线连接。两个共面波导线通过空气桥1实现能量的耦合，空气桥2抑制端口2的输入能量进入端口1。

在图2.a中，激励信号通过端口1进入馈电网络，在共面线中激励起了宽频带的CPW模式，并馈入天线。在图2.b中，端口2仍然激励起CPW模式，但是，CPW模式信号通过空气桥1耦合到另一共面波导线上，并激励起了CSL模式的信号。对于CSL模式信号，空气桥2起到了短路的作用并把CSL信号反射回去，因此，CSL信号几乎全部传到了天线。

本文设计的馈源结构如图3所示，采用低成本的FR4介质板，其介电常数4.4，高度为1.6mm；对于端口1与端口2均采用特性阻抗 50Ω 的共面波导传输线，因此取中心导带宽度为3mm，两端缝隙宽度为0.3mm。其它参数如图3中所示。为了增加端口2的耦合强度，采用了与中心导带宽度相同的金属片来设计空气桥结构，并设计两个空气桥高于介质板为1.6mm。

3 天线部分的设计

指数渐变槽线天线(ETSA)是一种端射行波类印刷天线，其辐射单元具有较宽的带宽，并可获得中等高的增益^[6-10]。但一般结构的ETSA单元，尚存在副瓣电平较高，两个平面波瓣的等化性欠佳等缺点[3]。对此，提出一种新型耦合槽线天线结构(CSTA)，如图4所示。该结构除了具有一般ETSA的优点，并可以发射CPW模式与CSL模式，达到一个天线工作在两种不同的状态。

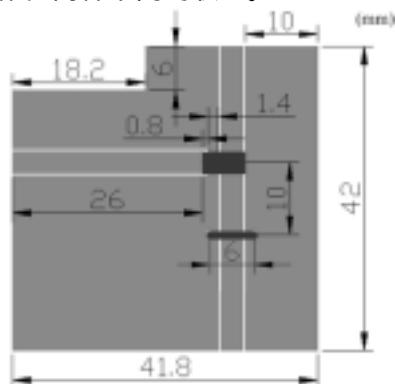


图3 本文设计馈电部分的结构图

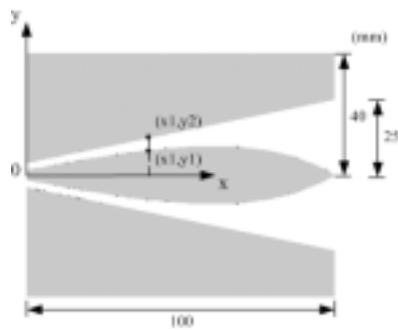


图4 本文设计天线部分的结构图

本文对渐变开槽天线部分采用指数渐变的形式，在图4中所示的坐标系下， $y_2 - y_1$ 随 x 满足指数变化规律，假设上半空间的曲线为函数 $f(x)$ ，则有：

$$ax + b - f(x) = c + e^{kx} \quad (1)$$

其中参数 a 、 b 通过 $(0, 1.8)$ ， $(100, 25)$ 直线方程的两点法求出，参数 c 、 k 通过 $f(0) = 1.5$ ， $f(100) = 0$ 求出。 $(0, 1.8)$ 是通过与馈源相一致来确定。

所以得出：

$$f(x) = 0.232x + e^{0.316x} + 0.5 \quad (2)$$

4 计算结果

图5所示为本文设计多模天线的整体效果图。通过分别对两个端口馈电来产生不同模式的波束，几何参数的选取在前两个部分已经给出。天线的S参数曲线在图6中给出，对于激励CPW模式的端口，在5.8GHz—8.9GHz回波损耗小于-10dB，高频端主要是取决于空气桥1的耦合部分（即两个共面波导线的间距），如果没有激励CSL模式的端口，开槽天线就具有超宽带特性，高频特性良好。对于激励CSL模式的端口，在6.6GHz—8.1GHz回波损耗小于-10dB，它的频带特性主要由空气桥1的耦合部分和空气桥2与空气桥1间距来决定。正如上文的分析，空气桥2起到了隔离的作用，两个端口具有较好的隔离特性。

图7给出了天线工作于7.5GHz时的远场方向图。从的外形上看，本文提出的天线基本上实现发射两种不同特性的波束，当端口1工作时，天线发射差波束的方向图，当端口2工作时，天线发射和波束的方向图。并且对于“差波束”具有30dB的零深。同时，天线也存在和波束瓣电平较高和对称性能差等不足，主要原因是：馈电部分的不对称性

引起的。

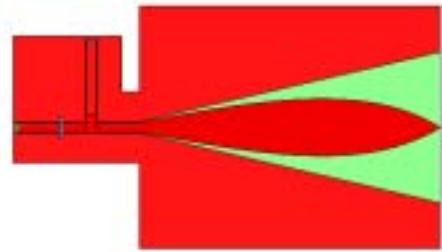


图5 天线的整体效果图

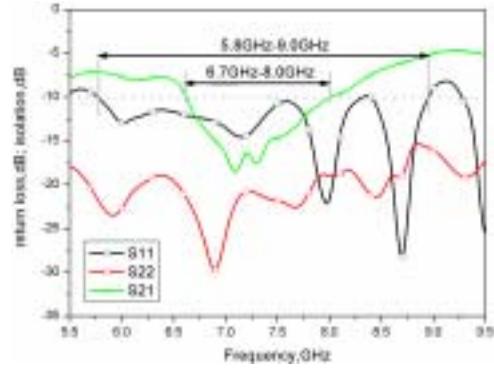


图6 天线的S参数曲线
(端口1、端口2的回波损耗以及隔离度)

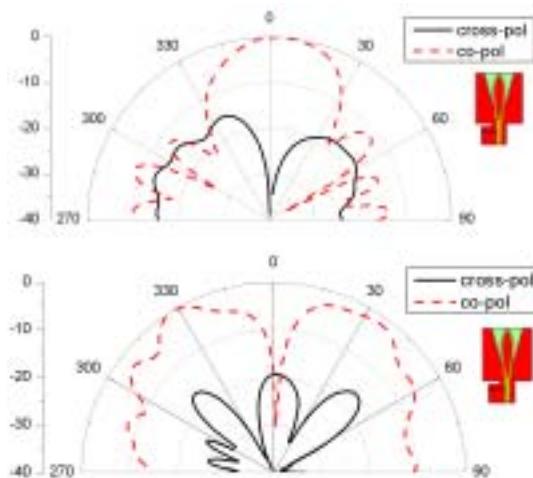


图7 天线工作于7.5GHz时，和波束与差波束远场方向图

5 结论

通过对设计的多模天线进行仿真计算，验证了设计的理念——利用馈源在天线中激励起共面波导模式和耦合槽线模式来产生不同的方向图。天线在5.8GHz—9.0GHz产生“差波束”形式的方向图；在6.7GHz—8.0GHz，产生“和波束”形式的方向图，

两种状态可以单独工作也可以同时工作，满足车载前向雷达与后向雷达的应用需求；同时，采用共面波导结构来实现，天线具有具有低剖面，重量轻和低成本的特性。而且，这种具有内嵌式几何结构的天线也便于阵列天线的设计。

参考文献

- [1] K.M.Lee and R.S.Chu, “Design and analysis of a multimode feed horn for a monopole feed,” IEEE Trans. Antennas Propag, 1988,36(2):171-181
- [2] L.Zhu and K.Wu, “New Planar Dual-Mode Filter Using Cross-slotted Patch Resonator for Simultaneous Size and Loss Reduction”, IEEE Trans Microw Theory and Techniques., 1999,47(5):650-654
- [3] 康锴, 章文勋, “耦合渐变槽线天线及其和差波束的矩量法分析” 微波学报, 2000,16(1):2-6
- [4] N. Dib, “Comprehensive study of CAD models of several coplanar waveguide (CPW) discontinuities” IEE Proc Microw. Antenna Propag., 2005, 152(2):69-76
- [5] Eberhard Gschwendtner and Werner Wiesbeck, “Ultra-Broadband Car Antenna for Communications and Navigation Applications” IEEE Trans Antenna and Propogation, 2003, 51(8): 2020 - 2027
- [6] 徐海洋, 张厚, 王剑, “一种平面开槽超宽带天线的设计与研究” 探测与控制学报, Vol.30, No.4, Aug.2008
- [7] 游明儒, “微波宽频天线设计” 台北 :国立中央大学通讯工程研究硕士论文, 2005
- [8] K.Hettak, G.Y.Delisle S.Tardif at.el, “A Novel Wideband Chebychev Tapered Slot Antenna Using Broadband CPW to Slotline Transition”, Antennas and Propagation Society International Symposium, 2008. IEEE, 2008,5(11):1 - 4
- [9] Yu Jian Cheng, Wei Hong, and Ke Wu, “Design of a Monopulse antenna Using a Dual V-Type Linearly Tapered Slot Antenna (DVLTSa)”, IEEE Trans. Antenna and Propagation, 2008,56(9):2903-2909
- [10] Z.Hao, W.Hong, J.Chen, X.Chen, and K.Wu, “A novel feeding technique of antipodal linearly tapered slot antenna array,” in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest, Jun,2005: 1641-1643.

作者简介：王剑(1980-)，男(汉族)，山西省太原市人，博士研究生，主要研究工作是天线理论与工程设计。

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>