

# 一种新型栅栏结构的渐变开槽天线

徐海洋 张 厚 杨亚飞 谢 辉

(陕西三原 25 号信箱 123 分信箱, 713800)

**摘要:** 针对渐变开槽天线在超宽带范围内常具有辐射场型不对称, 增益不够稳定的不足, 本文设计了一种具有新型栅栏结构的超宽带渐变开槽天线, 天线由共面波导馈电, 带宽范围为 1.7GHz~13.3GHz。通过与典型栅栏结构的天线比较可知, 该新型天线在整个工作频带范围内的辐射场型对称, 增益稳定且较高(>7dB), 尤其是对低频段的增益改善较为明显。

**关键词:** 超宽带, 渐变开槽天线, 栅栏

## A Tapered Slot Antenna with New Gratings

Xu Haiyang Zhang Hou Yang Yafei Xie Hui

(123sub-mailbox,25mailbox, San Yuan, Shan Xi,713800)

**Abstract:** The tapered slot antenna (TSA) usually has the faults of asymmetrical radiation patterns and instable gains. In order to solve these problems, a tapered slot antenna with new geometrical gratings was designed. The antenna was fed by a CPW balun. The bandwidth is from 1.7GHz~13.3GHz. In comparison with antenna with typical gratings, the new antenna has more symmetrical radiation patterns, more stable and relatively high gains (>7 dB) in the whole operating bands. The gains in the low frequency section are improved obvious especially.

**Key Words:** Ultra-wide band, Tapered Slot Antenna (TSA), Gratings

## 1 引言

随着高速电子集成电路的快速发展, 为适应小型集成化的需求, 超宽带平面天线的研究与应用引人瞩目<sup>[1][2]</sup>。由于使用场合的限制, 超宽带天线应当具有尺寸小, 成本低, 易于集成加工的特性<sup>[3][4]</sup>。渐变开槽天线是一种平面端射天线, 随着微波毫米波集成技术发展起来。作为超宽带印刷天线家族中的一员, 它在天线外观上, 轻薄短小且制作容易、重量轻巧、成本低且易与主被动电路作串并联连接, 正符合通讯产品未来发展的方向。而且它具有高增益和辐射场型对称的优点<sup>[5]</sup>, 常应用于无线通信和微波成像中。所以研究和设计渐变开槽天线具有非常重要的意义。

本文设计了一种共面波导馈电的渐变开槽天线, 其相对带宽接近 8:1。天线的两端加上新型几何结构的栅栏, 有效改善了天线在低频段的增益, 并

且使得天线在整个工作频段的增益稳定, 辐射场型对称。

## 2 天线的分析与设计

基板参数为影响辐射场型的最重要因素, 制作渐变开槽天线通常选取厚度较薄且介电常数较小的基板, 以达到较好的特性。基板参数选择由实验归纳, 其等效厚度<sup>[6]</sup>

$$t_{\text{eff}} / \lambda_0 = t(\sqrt{\epsilon_r} - 1) / \lambda_0 \quad (1)$$

按照设计准则, 天线等效厚度  $t_{\text{eff}} / \lambda_0$  应介于 0.005 和 0.03 之间, 选择  $\epsilon_r = 4.6$ , 厚度为 1mm 的 FR-4 基板, 使天线在整个宽频范围内等效厚度为 0.0057~0.045 之间。高频段高于 0.03 是由于天线带宽太大, 无法在整个频段满足最佳基板条件。

天线结构如图 1 所示。共面波导通过转接电路

与天线连接,由于天线的输入阻抗主要与渐变始端的槽线宽度有关,所以选择渐变天线的始端宽度等于转接器槽线宽度,以使得槽线和天线的阻抗能够匹配。渐变辐射段长度为120mm,略大于 $2\lambda_0$ ,兼顾了天线的行波特性和小型化。开口宽度为 $\lambda_0$ ,开口边缘离基板边缘 $\lambda_0/2$ <sup>[7]</sup>。为改善方向图,在天线两边设计了如图1所示的栅栏<sup>[8][9]</sup>,此设计可使天线增益稳定、场型对称。天线在低频端增益大大改善,从不加栅栏的4.4dB提高到7.7dB。天线渐变为指数渐变形式<sup>[10]</sup>:

$$y = 0.6e^{0.033x} \quad (2)$$

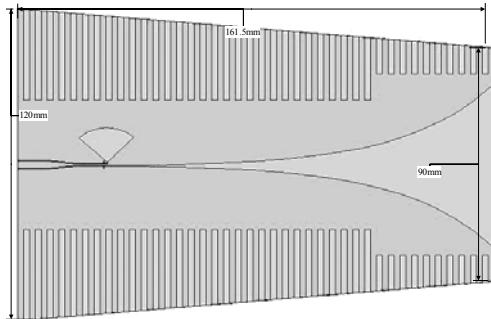


图1 新型渐变开槽天线A

为在Vivaldi天线的边缘设计合适的栅栏,先分析它在低频处的电流分布。天线在1.7GHz处的电流分布如图2所示。

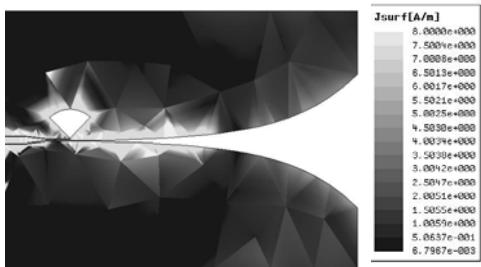


图2 Vivaldi 1.7GHz处的电流分布

由电流分布图可知,在渐变槽附近电流较大,这是有效辐射区,应尽量不破坏。在渐变末端的外沿电流分布较多,这部分电流可能会回流至馈电端,使S11增加且影响辐射场型,应想办法消除。考虑削掉一部分靠近渐变终端的金属,以改善场型。为改善低频段性能,在天线两边加了不同深度的栅栏:靠近辐射终端的栅栏深度较浅,是为了不破坏渐变槽的电流分布;靠近馈源处深度较深是因为该段电流较小,而且一部分电流会从馈源直接流向栅栏,由栅栏辐射出去。由于栅栏深浅不一,两边呈对称

梯形,栅格间距离很小(远小于 $\lambda/4$ ),使得天线两边形成规则偶极子阵,馈源附近的栅栏在辐射效果上起反射作用,而靠近天线开口终端的栅栏起引向作用。整个天线的辐射效果是两边的栅栏辐射和渐变开槽处辐射的叠加,由于两种辐射都有端射效果,使得天线低频处的增益更大,端射效果改善明显。而在高频段,天线波长相对较小,天线电流主要集中于渐变槽附近,所以辐射效果的改善没那么明显,但有一定的改善效果。图3(a)、(b)、(c)分别为天线在1.7GHz、8GHz、12GHz处的电流分布。从图3(a)明显看出1.7GHz处栅栏电流较大,渐变槽附近电流反而不那么明显,这是因为低频处电长度较小,使得行波效应不明显。随着频率升高,天线电长度增大,这时天线电流主要集中于渐变槽附近,行波效果明显,而栅栏的辐射效果随着频率的升高逐渐减弱了,如图3(b)、(c)所示。

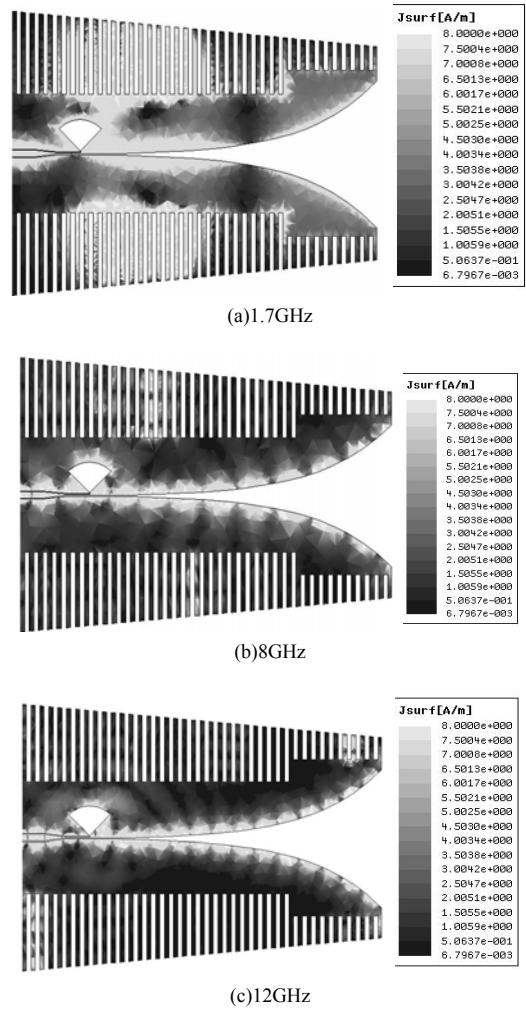


图3 天线的电流分布

栅栏深浅会影响金属表面电流分布，栅栏太深会使电流从中间渐变段直接流向栅栏，从而影响反射损耗和辐射场型，而深度不够对改善场型，提高增益效果不大，所以优化栅栏深度很重要。图 4 为不同栅栏深度  $d$  的低频段  $S_{11}$  图，图示栅栏深度取为  $d=35\text{mm}$  时，反射损耗均在-10dB 以下，且仿真结果显示此时的增益最高。

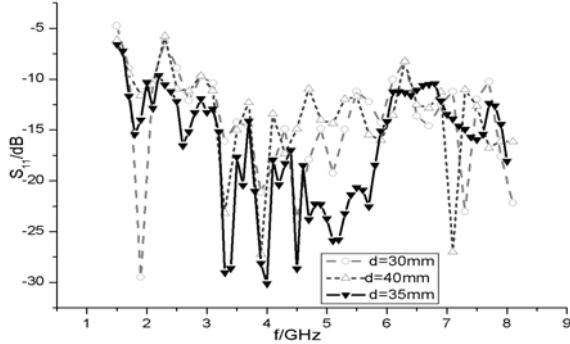


图 4 不同栅栏深度的天线  $S_{11}$  图

### 3 不同栅栏结构的天线对比

将新型栅栏结构的天线与典型栅栏结构<sup>[9]</sup>的天线 B 进行对比。天线 B 除栅栏结构与 A 不一样外，其余尺寸、结构均与之相同，天线 B 结构如图 5 所示。

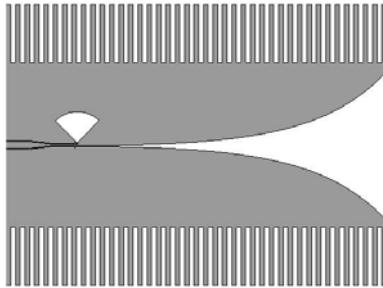


图 5 典型栅栏结构的天线 B

图 6 所示为天线 A、B 在 6GHz 处的 E 面对比图。由图可知，天线 A 具有良好的端射特性，而天线 B 在端射方向出现了明显的凹陷。且天线 A 在整个工作频段增益稳定且较高 ( $>7\text{dB}$ )，在低频段的增益总体改善明显。两种结构的天线在整个工作频段的增益对比如图 7 所示。由图 6、7 可见，新型栅栏结构对辐射场型和增益的改善是明显的。

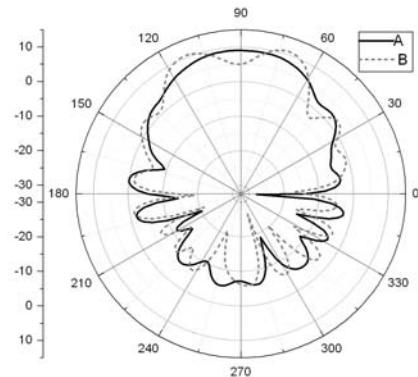


图 6 三种天线的 6GHz E 面方向图比较

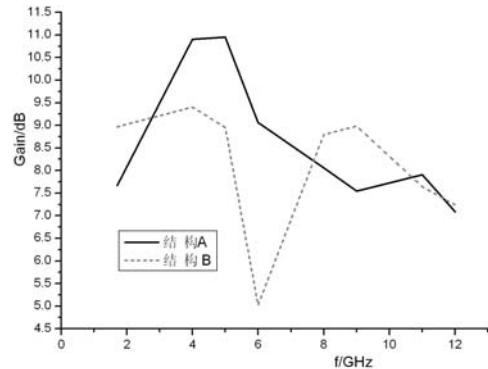
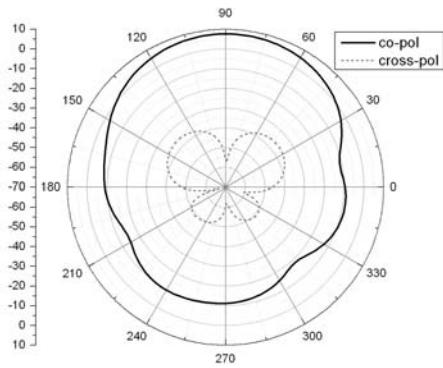


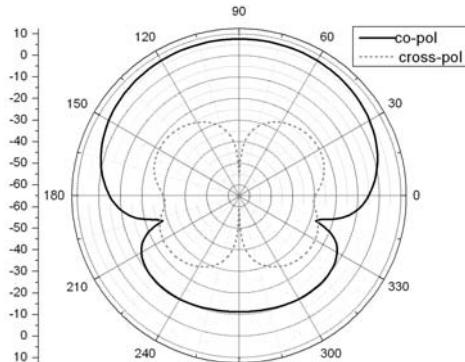
图 7 两种结构的天线增益比较

### 4 方向图仿真结果

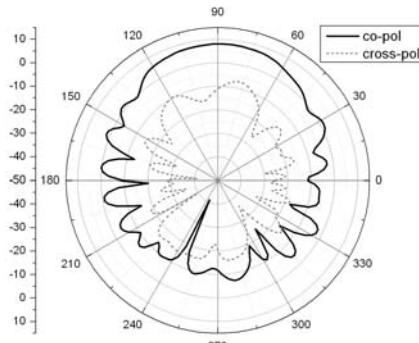
天线的方向图仿真结果如图 8 所示，由结果可以看出，整个工作频段的方向图对称和端射特性良好，高频端的 E 面有些恶化，但主瓣仍具有较对称的端射特性。天线反射损耗如图 9 所示，在 1.7GHz~13.3GHz 范围内均小于-10dB，说明天线具有良好的宽带特性。



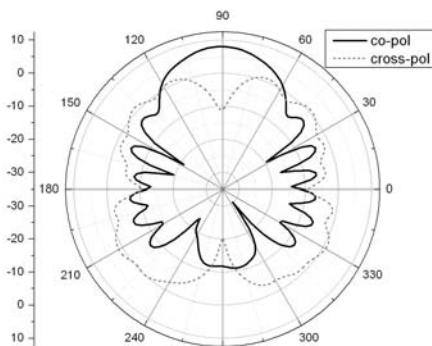
(a) 1.7GHz E 面



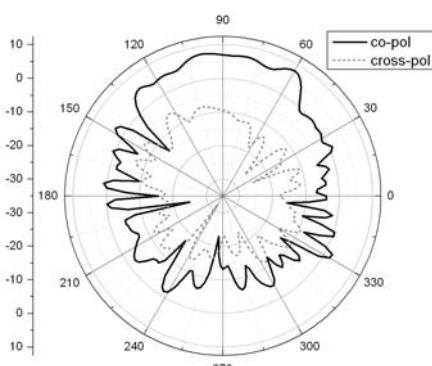
(b) 1.7GHz H 面



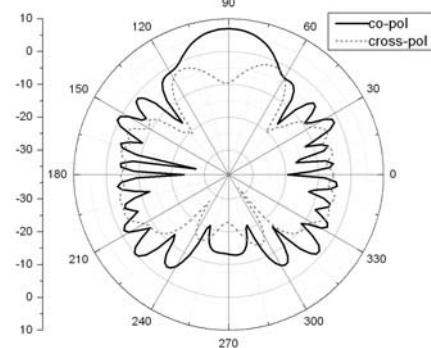
(c) 8GHz E 面



(d) 8GHz H 面



(e) 12GHz E 面



(f) 12GHz H 面

图 8 天线的方向图

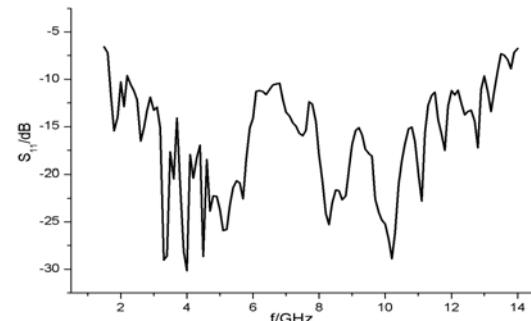


图 9 天线的  $S_{11}$

## 5 结论

超宽带技术作为一种无线通信技术,获得了广泛的应用。本文设计仿真了具有新型栅栏结构的共面波导馈电的渐变开槽天线,仿真结果显示天线在1.7~13.3GHz范围内反射损耗均小于-10dB,说明天线具有良好的带宽特性。将设计的天线与典型栅栏结构的天线B进行对比,结果显示,天线A在整个工作频段都具有良好的对称端射特性,增益较高( $>7$ dB)且稳定,新型栅栏结构对低频段的增益改善明显。

## 参 考 文 献

- [1] 程 勇, 吕文俊, 程崇虎, 曹 伟.一种小型平面超宽带天线的设计与研究[J].电波科学学报. 20062.21(4):582~583.
- [2] 朱永忠, 李萍.一种新型超宽带平面单极子天线[J].电子器件.2007.30(2):804~805.
- [3] Khodaei, G. F., J. Nouriniam, and C. Ghobade, "A practical miniaturized U-slot patch antenna with enhanced bandwidth," Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 3, 47–62, 2008
- [4] Elsadek, H. and D. M. Nashaat, "Ultra miniaturized Eshaped PIFA on cheap foam and FR4 substrates," J. of Electromagn. Waves and Appl., Vol. 20, No. 3, 291–300, 2006.
- [5] K. F. Lee, W. Chen, Advances in Microstrip and Printed Antennas, John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [6] K. S. Yngvesson, D. H. Schaubert, T. L. Korzeniowski, E. L. Kollberg, T. Thungren, and J. F. Johansson, "Endfire Tapered Slot Antennas on Dielectric Substrates," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 33, pp. 1392-1400, Dec. 1985.
- [7] S. Sugawara, Y. Maita, K. Adachi, K. Mori , K. Mizuno. A MM-Wave Tapered Slot Antenna with Improved Radiation Pattern. IEEE MTT-S IMS Dig., Denver, 1997. 959-962,
- [8] Sugawara, S., Y. Maita, K. Adachi, K. Mori, and K. Mizuno, "A MM-wave tapered slot antenna with improved radiation pattern," 1997 IEEE MTT-S IMS Dig., 959–962, Denver, 1997.
- [9] Chen, N. W., C. T. Chuang, and J. W. Shi, "A W-band linear tapered slot antenna on rectangular-grooved silicon substrate," IEEE Antenna and Wireless Propagation Letter, Vol. 6, 90–92, 2007.
- [10] Oraizi, H., "Optimum design of tapered slot antenna profile," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 51, No. 8, 1987–1995, Aug. 2003.

作者简介: 徐海洋, 男, 1983 年生, 博士研究生

张 厚, 男, 1962 年生, 博士生导师

杨亚飞, 女, 1983 年生, 助教

谢 辉, 男, 1984 年生, 助工

## 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](http://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](http://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](http://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>