

# 高增益印刷指数渐变天线研究与组阵设计\*

李 萍 西安武警工程学院

【摘 要】文章针对UHF频段设计指数渐变天线，以Vivaldi天线为原型，用加载矩形槽线的方法对Vivaldi天线进行优化设计。仿真和实测结果表明，天线在UHF波段具有驻波比低、频带宽的特性。最后采用线阵和并联馈电方式设计天线组阵，对水平组阵的增益仿真结果进行了分析。

【关键词】渐变槽线天线 Vivaldi天线 UHF 组阵

渐变槽线天线TSA (Taper-Slot Antenna) 是一种印制行波天线，沿天线端向辐射。渐变槽线天线是在带电馈线的双开槽线模型的基础上提出的，Janaswamy和Schaubert对这类天线进行了总体分析<sup>[1]</sup>。天线的槽线由较窄过渡到较宽，形成类似喇叭口的形状，向外辐射或接收电磁波。根据槽线变化规律的不同，渐变槽线天线通常有三种结构：线性渐变槽线天线LTSA (Linear Taper-Slot Antenna)、固定宽度槽线天线CWSA (Constant Wide Slot Antenna) 和指数渐变槽线天线Vivaldi (Exponential Taper-Slot Antenna)。Vivaldi天线具有高增益、超宽带等特性，适用于多种通信方式，而且采用印刷天线技术，体积小、成本低，因而得到了极大的关注。本文采用的Vivaldi天线如图1所示。

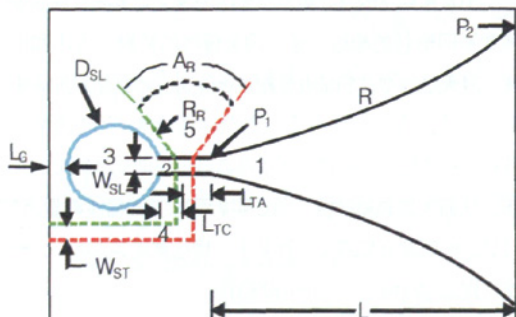


图1 Vivaldi天线结构图

注：1为指数渐变槽线，2为矩形槽线，3为谐振腔，4为微带馈线，5为微带短截线。

## 1 UHF指数渐变槽线天线的设计

### 1.1 微带线—槽线转换器

微带线—槽线转换器由矩形槽线和微带馈线构成，两者印制在介质板的不同表面，交错放置，如图1中矩形槽线和微带馈线重合部分。在分析和设计时，采用等效电路法<sup>[2,3]</sup>，并进行简化，如图2所示。其中， $Z_s$ 为槽线的特性阻抗， $Z_m$ 为微带线的特性阻抗， $Z_s = N^2 Z_m$ 。在实际设计

中，先确定 $Z_s$ ，再根据上式计算出 $Z_m$ ，然后通过查表可得矩形槽线的宽度和微带线的宽度<sup>[4]</sup>。本文设计的天线要求工作在300MHz ~ 1GHz的UHF波段，计算得到矩形槽线宽度 $W_{SL}$ 为1.4mm，微带线的宽度为2.1mm。

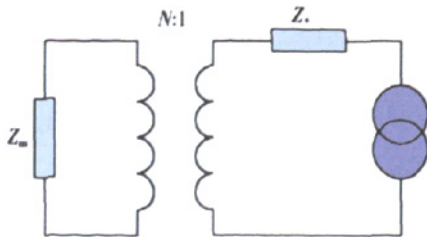


图2 等效电路简化图

\*基金项目：2010陕西省自然科学基金研究计划“宽频带无线接入天线阵列算法与仿真研究”（2010JM8041）。

收稿日期：2010-04-21

## 1.2 指数渐变槽线

指数渐变槽线是Vivaldi天线最基本的部分。要将天线工作频带范围内的导波辐射出去，在设计时应根据需要确定最大、最小开口长度。理论上最大开口应该为天线所需低频波长的1.3倍，但是在实际制作中，由于需要考虑到介质板、所需天线的尺寸和增益等因素，通常取最低频点介质波长的四分之一为最大开口，本文取111mm。渐变槽线的渐变率 $R$ 决定槽线的渐变速度，主要对天线的波束宽度产生影响，本文 $R=0.015\text{mm}^{-1}$ ，得到指数函数的表达式：

$$y=33.3e^{0.015x} \quad (1)$$

## 1.3 加载槽线

加载槽线指的是在Vivaldi天线的渐变辐射面有规律地加载不同形状的槽线，通过调整槽线的数量、大小和位置，对天线的增益和驻波系数进行改善。本文采用加载矩形槽线的方法，如图3所示。天线金属导体上的电流主要分布在边缘处，加载槽线可以提高电流在渐变槽线上的分布，从而改善辐射特性。通过实验可知，当槽线数量为3对时，能够最好地满足设计要求。槽线宽度为30mm，长度分别为140mm、115mm和90mm。

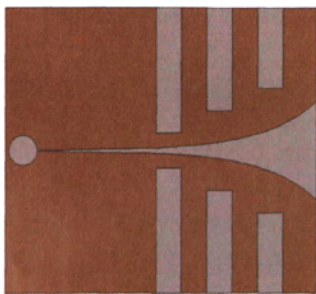


图3 矩形槽线加载图

## 2 仿真与分析

本文采用Ansoft HFSS对所设计的天线进行仿真，结果表明：天线在360MHz的驻波比为1.1，除了454MHz~562MHz外，该天线在312MHz~1.048GHz的频段内驻波比均小于2，具有较宽的带宽；其中驻波比小于1.5的频段有332MHz~420MHz

和604MHz~1011MHz。同时，该天线在1.15GHz~1.25GHz的频段内也能产生谐振，驻波比在2以下，在1.2GHz处为1.17。这主要是因为设计的Vivaldi天线最小开口处取值很小。

根据理论计算，在1GHz~2GHz以内的频率也会产生辐射，但是由于天线加载矩形槽线，使工作频率向低频偏移，在大大减小天线尺寸的同时，降低了天线在1GHz~2GHz频段的特性。天线在800MHz和900MHz的远场E面方向图如图4所示：

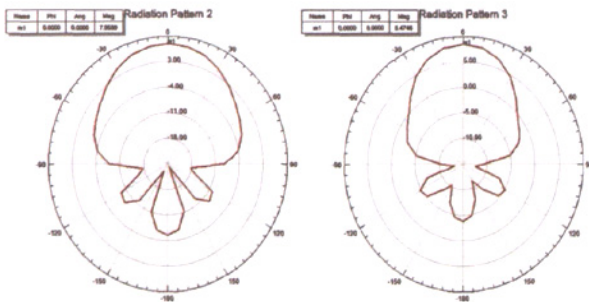


图4 天线远场E面辐射方向图（左图为800MHz、右图为900MHz）

## 3 天线测试

天线的实物和实测结果如图5所示。天线在360MHz和1.24GHz的驻波比分别为1.09和1.10，在300MHz~1.13GHz大部分频段内的驻波比低于2，有800MHz左右的带宽，在600MHz~1.1GHz频段内低于1.5。实测结果表明，天线在UHF波段具有驻波比低、频带宽的特性。

## 4 UHF指数渐变槽线天线的组阵设计

结合天线结构和尺寸，本文采用线阵进行设计。馈电使用并联方式，因为与串联方式相比，并联方式更加适合宽带天线使用。线阵分为水平和垂直两种，如图6所示。水平线阵的增益仿真结果见表1。印制天线单元数的加倍在不考虑馈电损耗的情况下可增加约3dB增益，但是由于单元间距为360MHz波长的 $\lambda/4$ ，相对于800MHz时就是接近 $\lambda/2$ ，而频率越高这个间距与波长的比值就越

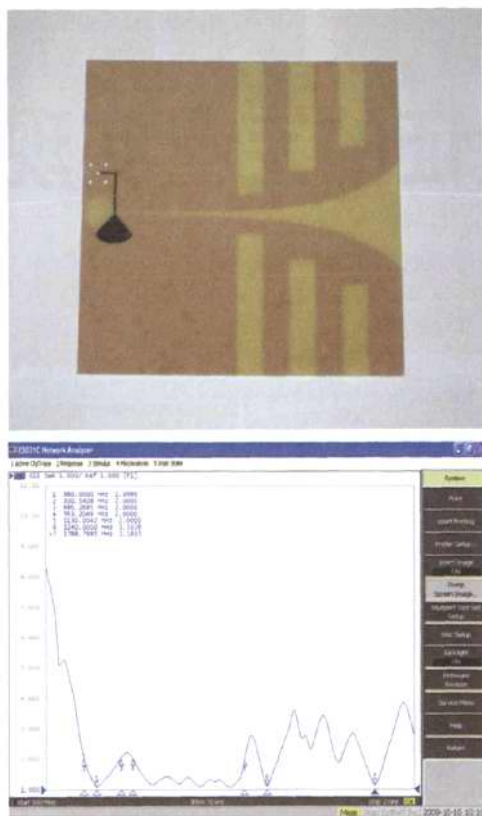


图5 天线实物图(上)和驻波实测图(下)

大,就越有可能出现栅瓣,分散主瓣的辐射;因而在频率较高处增益的提高较少,1.2GHz时6元到12元增益提高为2.38dB。



图6 水平(左)与垂直(右)阵列示意图

表1 水平组阵单元数与主辐射方向上的增益(单元间距为 $\lambda/4$ )

| 单元数 | 360MHz<br>增益(dB) | 800MHz<br>增益(dB) | 900MHz<br>增益(dB) | 1.2GHz<br>增益(dB) |
|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1   | 6.06             | 7.96             | 8.47             | 8.22             |
| 2   | 9.07             | 10.96            | 11.48            | 11.21            |
| 3   | 11.82            | 12.71            | 13.22            | 12.95            |
| 4   | 12.07            | 13.94            | 14.45            | 14.16            |
| 5   | 13.04            | 14.89            | 15.39            | 15.07            |
| 6   | 13.82            | 15.65            | 16.14            | 15.80            |
| 7   | 14.49            | 16.29            | 16.77            | 16.40            |
| 8   | 15.06            | 16.83            | 17.03            | 16.89            |
| 9   | 15.56            | 17.30            | 17.76            | 17.30            |
| 10  | 16.01            | 17.71            | 18.15            | 17.65            |
| 11  | 16.41            | 18.07            | 18.50            | 17.94            |
| 12  | 16.78            | 18.38            | 18.80            | 18.18            |

## 参考文献

- [1] Janaswamy R, Schaubert D H. Analysis of the Tapered Slot Antenna[J]. IEEE Trans Antennas Propag, 1987, AP-35(9): 1058-1065.
- [2] 边莉, 吴群, 傅佳辉. 等效电路法在Vivaldi天线设计中的应用[J]. 黑龙江科技学院学报, 2008, 18(1).
- [3] Chao Deng, Yong-jun Xie. Design of Resistive Loading Vivaldi Antenna[J]. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2008(8): 240-243.
- [4] 闫润卿, 李英惠. 微波技术基础[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997. ★

## 【作者简介】



**李 萍:** 博士, 教授, 技术6级, 文职3级, 西安武警工程学院通信工程系无线教研室主任, 硕士生导师, 中国电子学会高级会员, 陕西科学技术信息研究所科技查新咨询中心专家。有7项科研成果获部级一、二和三等獎, 其中3项为第一完成人; 有两项研究取得国家专利, 均为第一专利人。发表和在国内交流论文40余篇, 其中第一作者20余篇, 有20余篇发表在核心和(ISTP和EI)检索源期刊上。编著教材7本。

## 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](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>