

# 宽带单脊波导天线阵设计

金 剑, 汪 伟, 万笑梅

(中国电子科技集团 第38研究所 安徽 合肥 230031)

**摘要:**给出一种宽带单脊波导天线阵的设计,为了增加带宽,天线阵被分成几个子阵形式,通过特殊的激励方式,由一个半高波导功分器馈电。实验得到电压驻波比小于1.5的阻抗带宽为8.5%。

**关键词:**脊波导;缝隙天线;宽带

中图分类号:TN822

文献标识码:B

文章编号:1004-373X(2006)增刊-250-02

## Design of Broadband Single Ridge Waveguide Slot Antenna

JIN Jian, WANG Wei, WAN Xiaomei

(No. 38 Research Institute, China Electronic Technology Corporation, Hefei, 230031, China)

**Abstract:** A new board ridge waveguide slot antenna array is designed in order to increase the bandwidth. An elements array has been designed, fabricated and measured. The array obtained measured 8.5% impedance bandwidth for  $VSWR < 1.5$ .

**Keywords:** ridge waveguide; antenna; broadband

## 1 前 言

波导缝隙天线由于其低损耗、高效率、口径分布容易控制,便于实现低副瓣和易于机械制造等原因,已广泛应用于雷达和通信系统。用作辐射单元的波导缝隙有多种形式(参见文献[1]chapter5,pp138),其中应用最多的是波导宽边纵向细缝和窄边开倾斜缝两种。波导宽边缝隙天线在组成平面阵时,由于其波导宽度尺寸的限制,天线阵E面扫描角通常只能达到±25°,当需要大的扫描角时将出现栅瓣,通过波导加脊来降低波导宽边尺寸是一种行之有效的方法。

缝隙天线阵有行波和驻波两个基本馈电方式,前者是辐射波导一端馈电,另一端接匹配负载,辐射波导内电磁波为行波状态,设计时根据方向图要求,选定口径分布和阵长度,计算缝隙电导分布<sup>[2,3]</sup>;后者辐射单元间距为半个波导波长,终端短路,其工作带宽随着阵中单元数增加而降低,因此,如果要得到较宽的工作带宽,一般要将整个阵分成几个子阵形式,利用功分网络来对多个子阵馈电。

本文给出一种对称单脊波导谐振阵天线的设计,16个单元的天线阵被划分为4个子谐振阵,4个子阵由一个1:4波导功分器激励。采用单脊波导是为了降低线阵的宽度,因此其馈电波导功分器也要满足线阵的宽度限制。我们采用了半高波导H面T形功分结构,基于此结构对对称单脊波导无法激励起TE<sub>10</sub>模,设计中利用一对梯形膜片置于功分器输出端口解决这一问题。设计加工一个工作于X波段的天线阵,测试得到电压驻波比小于

1.5的8.5%工作带宽。

## 2 设计与测试结果

天线结构见图1,天线阵单元数为16个,为了降低天线的宽度,天线阵采用对称单脊波导,辐射缝隙开在波导的上表面(参见文献[4]图1和图2),脊波导基本尺寸表示为:脊宽2a<sub>1</sub>,脊高h,波导宽2a<sub>2</sub>,高a<sub>4</sub>,辐射槽的长2L,宽w,偏离波导中心线距离为x。为了得到较大的工作带宽,将天线分成4个子阵,这样每个驻波子阵只有4个辐射单元,天线阵由一个1:4功分网络馈电。

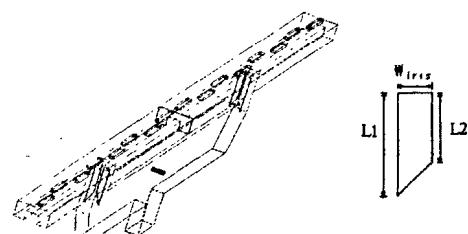


图1 天线结构

对于谐振阵来说,天线工作频带受到辐射单元数目的限制。单元之间中心间距为 $\frac{\lambda_g}{2}$ ,当工作频率发生改变时,辐射缝隙的导纳参数发生变化,波导内的驻波峰值偏离缝隙中心。这两个因素恶化了天线的输入驻波比,使辐射缝隙幅度和相位偏离理论要求的值,从而使天线性能下降。因此,裂缝数越多,则天线的带宽越窄。

谐振阵的输入电压驻波比(VSWR)与裂缝数N及相对带宽B之间的近似关系<sup>[5]</sup>为:

$$VSWR = 1 + \frac{2}{a^2} + \frac{2}{a} \sqrt{1 + \frac{1}{a^2}} \quad (1)$$

式中：

$$a = \frac{1 + \frac{(\pi NB)^2}{3 \cdot 10^4}}{\frac{\pi NB}{300} \left[ 1 + \frac{(\pi NB)^2}{2 \cdot 10^4} \right]}$$

解决带宽问题常用的方法是将天线划分成几个子阵，减少单根辐射波导上的单元数，各个子阵由馈电网络激励。根据式(1)估算，当要求线阵电压驻波比小于1.5时，四元谐振阵工作带宽只有4.7%。由于上述方法忽略了互耦，与天线阵实际值相差较大，为了得到更为精确的估算，需要考虑阵中单元互耦精确计算<sup>[6]</sup>。

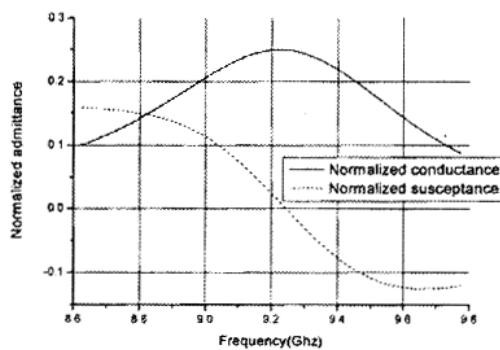


图2 单个辐射缝归一化导纳

根据设计需要，选取脊波导 $a_1 = 6.6, h = 6, a_2 = 10, a_3 = 5$ 。应用计算机仿真分析，确定开槽尺寸与其导纳之间的关系，图2给出了一组优化辐射缝尺寸情况下的归一化导纳值。由于在组阵时存在内部和外部互耦，这些耦合对每个辐射单元的导纳值影响较大，所以设计时，需要考虑阵中互耦因素，在单个缝隙计算尺寸基础上，组阵进行模拟计算，对辐射缝结构参数进行适当调整。

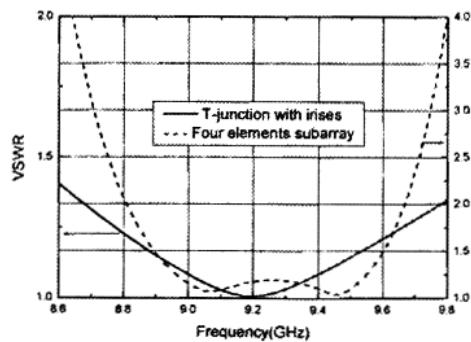


图3 四单元驻波阵和T形

图3给出了4个辐射单元的驻波阵输入反射特性，电压驻波比小于1.5的相对带宽为10.5%，远远高于式(1)的估算值。

接头输入电压驻波比天线激励网络对整个天线性能影响非常大，因此对其优化是必须的。图1所示的馈电网络是由两级T接头组成。为了与脊波导的压缩宽度相适

应，功分器采用半高波导，第一级功分器为简单的波导H-T接头。第二级由半高波导直接对脊波导馈电，由于此种T形结构馈电半高波导不能在脊波导内激励起主模，设计利用一对梯形膜片改变T接头内的对称结构，在脊波导中激励起TE<sub>10</sub>模式。通过仿真计算，改变膜片的大小和切角，得到T功分器的最佳匹配状态。图3给出了优化半高波导到单脊波导T形接头的反射损耗曲线，其中膜片紧贴于耦合缝隙两边。

完成以上设计步骤，将功分网络与4个谐振子阵结合，适当调整各结构参数，优化得到天线阵的最大匹配阻抗带宽。根据设计所得尺寸，加工一个16辐射单元的波导线阵，如图4所示。

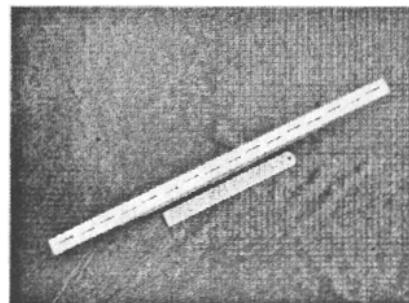


图4 实验天线

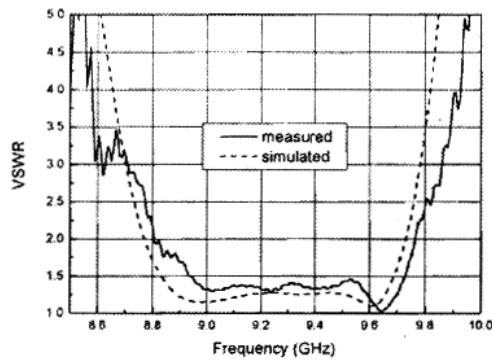


图5 天线阵反射特性

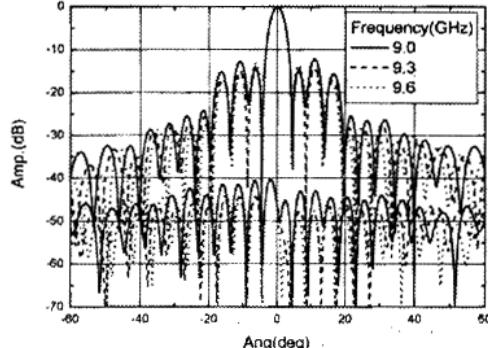


图6 天线阵的辐射方向图和交叉极化

天线的电压驻波比测试结果见图5，与计算结果比较，两者吻合很好。实验结果显示，在8.93~9.73 GHz范  
(下转第254页)

由于埋栅下的电场被表面的栅极扩散所抑制,并且在这附近区域没有暴露的表面,同其他结构相比,埋栅结构隧穿的电子更少,被捕获的也更少。埋栅结构有 a shorter affective gate length 产生更高的电流密度,并且有高的击穿电压。与凹栅结构相比,埋栅结构的饱和电流和击穿电压分别高出 25% 和 22%,最大输出功率高出 50%。具有高的电流密度、高的击穿电压并且减小了表面效应,埋栅结构很有可能在大功率器件上得到使用。

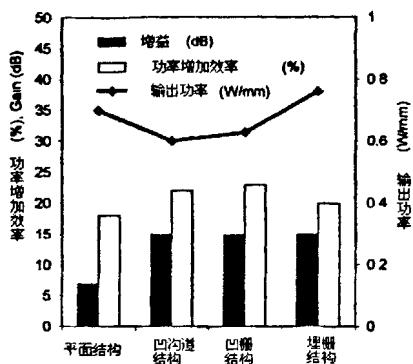


图 6 在  $V_{ds} = 30$  V 4 GHz 下 4 种结构的功率性能对比

但是,无论采用那种结构,都无法消除衬底陷阱对于电流不稳定性的影晌,因此,为了彻底消除陷阱效应,必须采用高纯的半绝缘 SiC 衬底材料。可喜的是,目前已经报道的 Cree 公司制作的最好结果是在 35 mm 4H-SiC 圆片上总共只有 7 个微管,微管密度为  $0.5 \text{ cm}^{-2}$ ,而 50 mm 圆片上的最小微管密度为  $1.1 \text{ cm}^{-2}$ ,使得高性能的 SiC MESFET 商业化前景一片光明<sup>[7]</sup>。

(上接第 251 页)

围内, VSWR 小于 1.5, 相对带宽达到 8.5%。天线的辐射方向图和交叉极化在室内近场测得,图 6 给出高、中、低 3 个频率的辐射方向图及其交叉极化测试值,3 个频率上最大副瓣电平为  $-12.2$  dB, 交叉极化都优于  $-40$  dB。

### 3 结 论

文中给出一种宽带单脊波导天线阵设计,将线阵分为 4 个谐振子阵,由半高波导功分器馈电,应用一对梯形膜片使半高馈电波导对单脊辐射波导有效馈电。这种天线可以应用于宽角扫描或双极化波导天线阵中。

### 参 考 文 献

[1] Hansen R C. Phased Array Antennas [M]. John Wiley &

### 参 考 文 献

- [1] 杨林安,张义门,于春利,等. SiC 功率金属-半导体场效应管的陷阱效应模型[J]. 物理学报,2003,52(2):302-306.
  - [2] K. P. Hilton, M. J. Uren, D. G. Hayes, et al. Suppression of Instabilities in 4H-SiC MESFETs. in Proc. IEEE Int. Symp. High-Performance Electron Device Microwave Optoelectronic Applications, 2000:67-70.
  - [3] H. Cha, C. Thomas, G. Koley, et al. Passivation Effect on Channel-recessed 4H-SiC MESFETs. in Proc. EC-SCRIM, Stockholm, Sweden, 2002.
  - [4] A. Wakabayashi, Y. Mitani, K. Horio. Analysis of Gate-lag Phenomena in Recessed-gate and Buried-gate GaAs MESFETs. IEEE Trans. Electron Devices, 2002, 49:37-41.
  - [5] Ho-Young Cha, C. I. Thomas, G. Koley, et al. Reduced Ttapping Effects and Improved Electrical Performance in Buried-gate 4H-SiC MESFETs. IEEE Transactions on Electron Devices, 2003, 50(70).
  - [6] Frederic Villard, J.-P. Prigent, E. Morvan, et al. Trap-Free Process and Thermal Limitations on Large-Periphery SiC MESFET for RF and Microwave Power. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003, 51(4).
  - [7] J. W. Palmour, S. T. Allen, S. T. Sheppard, et al. Progress in SiC and GaN Microwave Devices Fabricated on Semi-insulating 4H-SiC Substrates - Invited. Cree Research, Inc. 4600 Silicon Drive Durham, NC 27703, USA.
- Sons: NY, 1998.
- [2] R. S. Elliott. Antenna Theory and Design [M]. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981.
  - [3] 钟顺时, 费桐秋, 孙玉林. 波导窄边缝隙阵天线的设计[J]. 西北电讯工程学院学报, 1976, 4(1):165-184.
  - [4] D. Y. Kim, R. S. Elliott. A Design Procedure for Slot Arrays Fed by Single-ridge Waveguide. IEEE Trans. Antennas and Propagat., 1988, 36(11), 1531-1536.
  - [5] T. Takeshima, Y. Isogai. Frequency Bandwidth of Slotted Array Aerial System. Electron. Eng., 1969:201-204.
  - [6] Mazen Hamadallah. Frequency Limitation on Broad-band performance of Shunt Slot Arrays [J]. IEEE Trans. Antenna and Propagat., 1989, 37(7), 817-823.

**作者简介** 金剑男, 1981 年出生, 江苏宿迁人, 2002 年毕业于西安电子科技大学电磁场与微波技术专业, 现为中国电子科技集团第 38 研究所工程师。主要研究领域为天线与微波技术。

## 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>