

# 新型毫米波微带天线 H 槽耦合馈电设计

傅佳辉, 吴 群, 刘 敏, 冯子睿, 杨国辉, 孙凤林

(哈尔滨工业大学航天学院, 哈尔滨 黑龙江 150001)

**摘要:** 针对毫米波段微带天线频带窄, 馈电对天线辐射影响严重等缺点, 提出了一种新型天线单元结构。该单元采用 H 型槽耦合馈电和增加寄生贴片的方法, 实现了天线带宽的增加。此方法可使得带宽达到 11% (VSWR<2)。通过采用多层寄生贴片对单元进一步改进研究, 验证了该单元具有进一步展宽带宽和作为天线罩保护天线的作用, 天线的带宽可达到 22%。

**关键词:** 毫米波; 槽耦合; 馈电; 微带天线

**中图分类号:** TN 82      **文献标志码:** A

## Novel design of millimeter wave H-shaped coupling slot antenna

FU Jia-hui, WU Qun, LIU Min, FENG Zi-rui, YANG Guo-hui, SUN Feng-lin

(School of Astronautics, Harbin Inst. of Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** The traditional millimeter-wave microstrip antenna having a narrow band and causing the severe influence on radiation of antennas by feeding of antennas, a novel antenna element is designed. The bandwidth of the antenna is increased by using the feeding style of a H-shaped coupling slot and adding the parasitic patch. The bandwidth of the antenna is about 11% (VSWR<2). Then, the new structure of the multi-layer parasitic patch element is proposed which expands the bandwidth of the antenna to 22%. It can be used to apply the protection to the antenna and to enhance the antenna bandwidth.

**Keywords:** millimeter wave; coupling slot; feed; microstrip antenna

## 0 引言

现代军事装备高新技术应用不断增多, 对其电子系统的体积、重量、性能的要求越来越严格, 特别是机载、星载以及各类武器系统所需要的电子组件、部件向着短、小、轻、薄、高可靠性、高速度的方向快速发展。在性能方面, 迫切需要电磁兼容性好、不易受电子干扰、雷达散射截面小、具有隐身/反隐身特性的高性能阵列天线。常用的机械扫描式天线已无法满足这些要求, 近些年来, 在面对抗击低空、高速、大机动、多目标和各种手段的电子战上, 电子扫描的相控阵比机械扫描的阵列天线具有更突出的优势<sup>[1-2]</sup>。

电子扫描的相控阵天线扫描速度快、波束控制灵活、抗干扰能力强, 可以同时完成目标搜索、跟踪、引导等多项功能, 能工作在日益复杂和恶化的环境中, 这使得无论在军用还是民用方面都得到了人们的重视<sup>[3]</sup>。相控阵天线是从阵

列天线发展起来的, 为了获得较高的天线增益, 可将多个子天线单元按一定规则排列起来, 形成一个大的阵列天线, 通过电控扫描来改变阵列中各天线单元的信号相位关系, 从而改变了阵列天线方向图的波束指向。相控阵天线有多种形式, 如线阵、平面阵、圆阵、圆柱形阵列、球形阵和共形阵等<sup>[4]</sup>。

馈电系统在相控阵天线系统中占有特别重要的位置, 它将发射机信号按一定的幅度分布和相位梯度馈送给阵面上的每一个天线单元, 以便使得不同阵列单元的发射信号在波束扫描角方向上相干叠加而实现空间功率合成; 或者各个天线单元接收的信号通过功率合成网络进行同相位相加, 以使得阵列接收信号在特定的方向上有最大的响应。相控阵天线在空间形成所需要的波束(如多波束, 和差波束等)也是由馈电网络来完成的<sup>[5]</sup>。

但对于传统的在谐振腔直接进行微带馈电天线来说,

收稿日期: 2007-11-06; 修回日期: 2007-12-20。

基金项目: 航空科学基金(20060112105); CAST 创新基金(CAST200610)资助课题

作者简介: 傅佳辉(1973-), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为微波毫米波电路, 左手介质, MEMS 和电磁兼容, 天线技术。

E-mail: fjh@hit.edu.cn

阻断了贴片部分的辐射,馈线和贴片的接触导致了辐射的降低,在设计大型阵列时,整个馈电网络对阵列的寄生干扰更加严重,这一点在毫米波波段上表现的尤为突出。为了降低寄生干扰,展宽频带,由 Pozar 首次提出的槽耦合微带天线,这种天线具有许多独特的优势,例如避免了馈电网络对天线阵列的辐射干扰,增加天线设计自由度,便于同有源电路集成等<sup>[6]</sup>。但是普通槽耦合天线的带宽比较窄,且后向辐射比较严重,这些问题可以通过加载寄生贴片和选择槽的谐振频率与贴片谐振频率远离的方法加以改善<sup>[7]</sup>;槽形状的改进同样能改善天线的带宽和耦合效率,通过中间地板上的 H 型缝隙耦合对顶层的辐射贴片进行馈电,能够有效地改善带宽,降低反射损耗,提高天线的耦合效率;同时,由于中间地板的存在,有效地减少了馈电对辐射单元的影响<sup>[8]</sup>。本文在 H 槽馈电网络的基础上,设计了一种新型的 H 槽耦合馈电贴片单元这种贴片

单元具有更宽的带宽(11%),寄生辐射小,便于与微波电路集成等优点。

## 1 H 型槽耦合馈电微带天线单元的设计

本文针对传统方法设计的共面馈电的矩形微带天线的带宽比较窄、馈电寄生辐射大等缺点,设计了一种新型的 H 槽耦合馈电贴片单元,这种贴片单元具有更宽的带宽,可达到 11%(带宽为反射系数小于 -10 dB,所对应的频段宽度与工作频率之比),寄生辐射小,便于与微波电路集成等优点。天线的原理框图如图 1 所示。介质 1 和介质 2 的介电常数均为 2.2,厚度分别为  $h=0.25$  mm,  $h_1=0.5$  mm, 采用耦合馈电的方式,能量通过介质中间的 H 型缝隙耦合到上层的辐射贴片。贴片尺寸( $W, L$ ),介质厚度( $h, h_1$ ),中心缝隙长度  $L_s$ 、宽度  $W_s$ 、两边缝隙长  $l_h$ 、宽  $wh$ ,缝隙位置  $S$  和馈线与槽的相对位置  $u$  等参数与天线的性能密切相关。

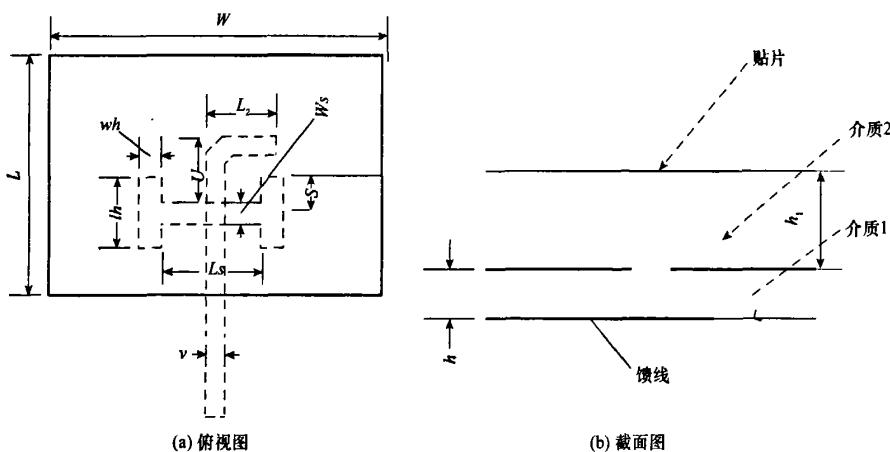


图 1 天线单元结构框图

对于 H 槽的分析可采用传输线模式和腔模式,这两种方法都是构造 H 槽电场分布的准确方法<sup>[9]</sup>。本文采用传输线方法结合横向谐振技术对 H 槽进行分析。我们首先采用传输线理论,对槽线的电场分布进行求导。槽的传输线模式如图 2 所示,槽线的特性阻抗为  $Z_0$ ,传输常数为  $\beta$ 。传输线的长度分别定义为  $L_1$  和  $L_2$ ,分别代表主臂和侧臂的长度。从微带线耦合到主臂的电压为  $V_0$ ,并得到侧臂的阻抗  $Z_2$  约为主臂阻抗  $Z_1$  的两倍。根据传输线理论,沿着 H 槽的每一个臂的电压分布可以认为是入射波和反射波的叠加,因此,可以得出主臂上的电压的绝对值,然后根据电压求出归一化的电场,最后利用横向谐振技术,求出相位常数。

由于耦合馈电的原因,H 型槽的位置不同以及馈电深度的不同会产生不同的天线辐射方向图,因此在设计时需要同时

兼顾天线辐射方向图和反射系数。通常先优化天线的辐射方向图,然后再优化天线谐振频率,最后优化天线的其他参数得到的结构参数列于表 1 中,仿真结果如图 3 所示。

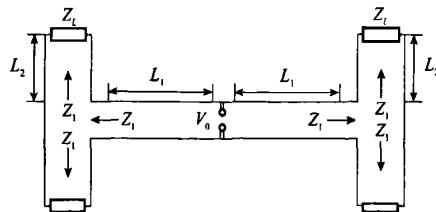


图 2 H 槽馈电的传输线模式

表 1 天线单元尺寸(mm)

$L$	$W$	$L_s$	$W_s$	$wh$	$l_h$	$u$	$S$	$L_2$
2	3.6	1.3	0.2	0.25	0.5	0.7	0.1	0.8

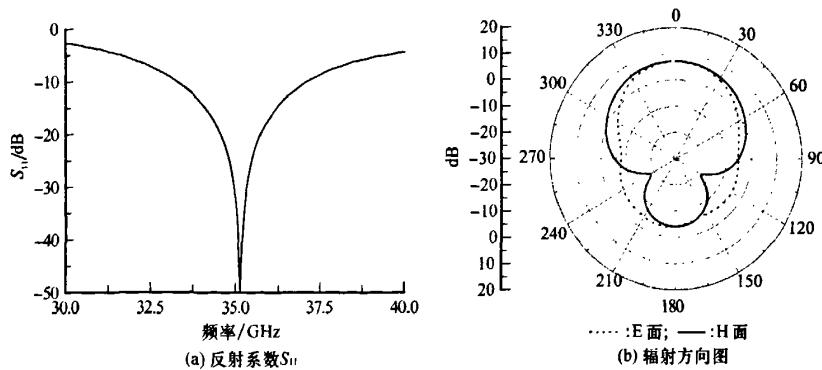


图3 H槽耦合馈电天线仿真结果

图4给出了传统的中心内嵌式微带边馈形式的结构图和该天线的仿真结果。比较图3与图4,可以看出,槽耦合天线的带宽超过10.9% (33.3 GHz~37.1 GHz),远超过

了传统的中心内嵌式微带边馈形式,而且图3(b)显示天线增益达6.54 dB,辐射方向图E面和H面非常接近,馈线对方向图的影响比较小。

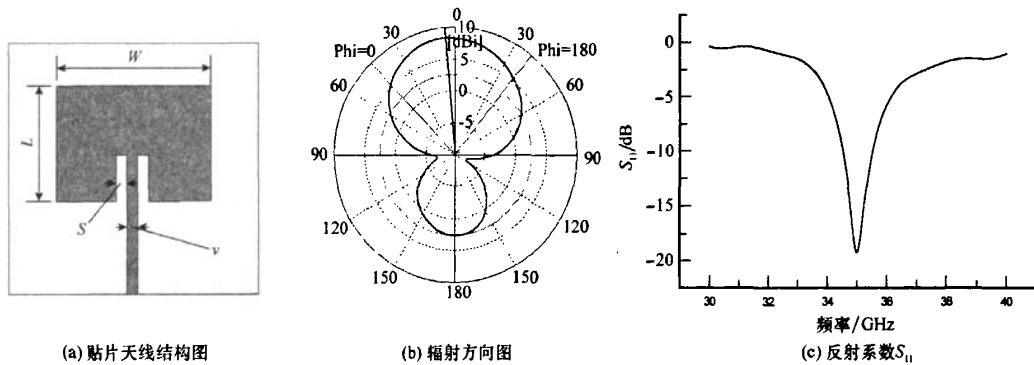


图4 边馈微带天线和仿真结果

## 2 多层寄生贴片天线设计

为了使天线获得更宽的带宽,本文采用多层寄生贴片天线设计。通过采用增加寄生辐射层的方法可以进一步展宽带宽和提高方向性。为了证明该天线单元还具有提高带宽的能力,进一步设计一个具有双层寄生辐射贴片单元。

这次采用高纯度、低损耗、便于与移相器等器件集成的石英片作为介质衬底材料,其介电常数为3.78,介质一共由四层组成,其中第三层为空气层,如图5所示,介质厚度从下往上依次为 $h_0=h_1=0.25$  mm,  $h_2=1$  mm,  $h_3=0.125$  mm,天线输入阻抗为 $75\Omega$ 。仿真结果如图6所示。

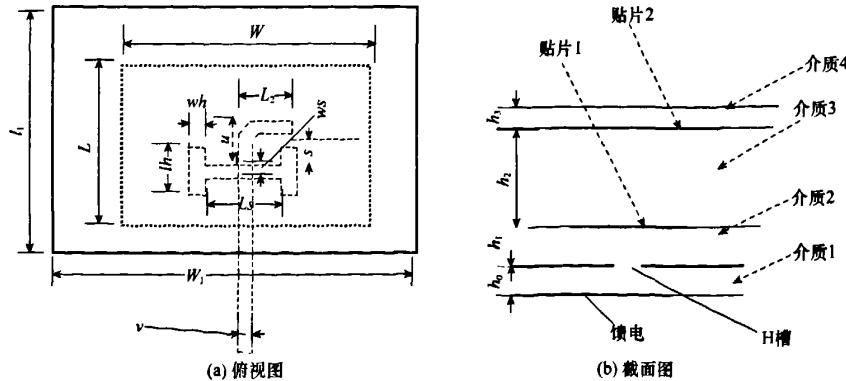


图5 多层寄生贴片结构图

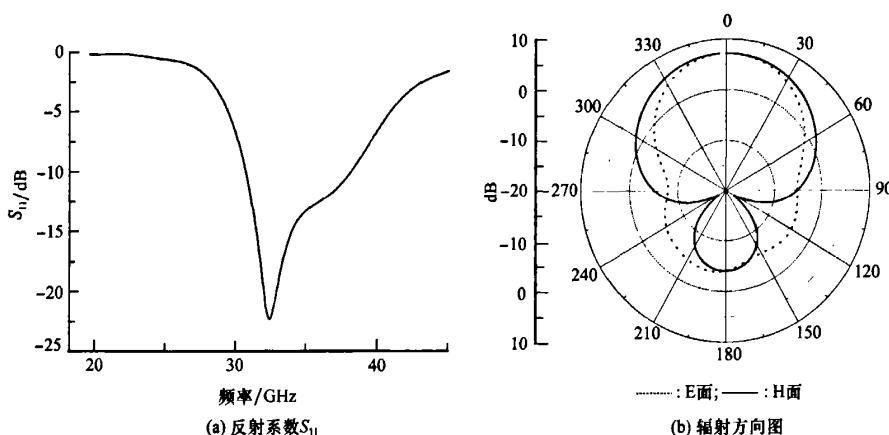


图 6 多层寄生贴片天线仿真结果

从图 6 中可以看出天线的反射损耗带宽增加到 22% (30.6 GHz~38.3 GHz), 增益达到 7.18 dB。同单层贴片相比, 天线的带宽又提高了一倍, 增益也有所增加, 而且最外层介质可用做天线罩, 通过涂覆在天线的外表面起到保护天线的作用。

### 3 结束语

本文针对传统微带天线馈电网络的带宽窄、后向辐射严重的缺点, 设计了一个用于毫米波段新型天线单元, 该单元采用 H 型槽耦合馈电和增加寄生贴片的方法实现减小天线的后向辐射, 提高天线带宽。通过与传统中心内嵌式微带边馈形式的比较, 验证了该单元具有展宽带宽和提高方向性的能力, 带宽超过 10.9% (33.3 GHz~37.1 GHz)。并在此基础上进一步设计了多层寄生贴片单元, 验证了该单元具有进一步展宽带宽和提高方向性的能力, 而且可以把外层介质用作天线罩, 该天线罩不但可以起到保护天线的作用, 而且可以进一步展宽天线的带宽, 带宽达到 22% (30.6 GHz~38.3 GHz)。与传统馈电网络的相比, H 槽耦合馈电的形式对阵列辐射方向图的影响比较小, 旁瓣较低, 克服了传统微带天线频带窄, 馈电对天线辐射影响严重等缺点, 这些特点对实现天线阵的低副瓣是有利的, 这种天线更适合组成电磁兼容性好, 低雷达反射截面, 抗干扰能力强的大型天线阵。

### 参考文献:

[1] 李玉星, 葛俊祥. 毫米波有源柱面共形微带阵列天线的理论与

- 实验研究[J]. 电波科学学报, 1999, 27(6): 61~64.
- [2] Lin S, Wong K. A dual-frequency microstrip-line-fed printed slot antenna[J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2001, 28(6): 373~375.
- [3] 李秋生. 相控阵雷达导引头关键技术初探[J]. 飞航导弹, 2007(6): 55~57.
- [4] 郭健, 沈泉. 一种用于共形相控阵的宽频带宽波束双圆极化微带贴片天线[J]. 现代电子技术, 2007, 8: 145~150.
- [5] 梁仙灵, 钟顺时, 汪伟. 高隔离度双极化微带天线直线阵的设计[J]. 电子学报, 2005(3): 553~555.
- [6] Akiyama A, Hirokawa J, Ando M. Aperture coupled planar feed circuits for a rotating-mode radial line slot antenna[C]// IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2000.
- [7] Jiao Y C, Pan X M, Wang Z M, et al. Novel wideband double H-shaped aperture-coupling microstrip antenna[J]. *Dianbo Kexue Xuebao/Chinese Journal of Radio Science*, 2005, 20(5): 656~659.
- [8] Murakami Y, Chujo W, Chiba I, et al. Dual slot-coupled microstrip antenna for dual frequency operation[J]. *Electronics Letters*, 1993, 29(22): 1906~1907.
- [9] Kurup D, Rydberg A, Hirndi M. Transmission line model for field distribution in microstrip line fed H-slots[J]. *Electronics Letters*, 2001, 37(14): 873~874.

## 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>