

# 共面波导馈电矩形开口振子缝隙天线

胡业芳, 李民权

(安徽大学 电子科学与技术学院 安徽 合肥 230039)

**摘要:**为了展宽平面缝隙天线的带宽,设计一种X波段共面波导馈电的矩形宽缝隙振子天线,该天线是在缝隙振子天线的两端开矩形开口,与振子天线形成组合结构。使用高频仿真软件对设计的天线进行仿真分析,结果表明组合结构的天线性能比单一的振子缝隙天线或宽缝天线有大幅度的改善和提高。分析了天线主要参数对天线回波损耗的影响,并在带宽最优的条件下给出一组参数值,此时天线的-10 dB带宽为41.14%(7.24~10.99 GHz),增益为7.5 dB,在所计算的带宽频率内有较稳定的方向图和良好的交叉极化特性。

**关键词:**缝隙天线;振子天线;组合结构;共面波导馈电;宽频带

中图分类号:TN82

文献标识码:A

文章编号:1004-373X(2009)23-098-03

## CPW - Fed Rectangular - opening Dipolar Slot Antenna

HU Yefang, LI Minquan

(School of Electrical Science & Technology, Anhui University, Hefei, 230039, China)

**Abstract:** In order to broaden the bandwidth of planar slot antennas, a X-band CPW-fed wide rectangular slot dipole antenna is designed, rectangular slots are added at the both ends of slot dipole antenna, conformation composite structures with dipole antenna. The antenna is simulated and analysed with high frequency simulation software, The results show that the performance of composite structure antenna is improved and enhanced more than a single dipole antenna or wide slot antenna. The return loss of antenna impacted by main parameters of the antenna is analysed, and a set of parameter when it has the optimal bandwidth under -10 dB of 41.14% (7.24~10.99 GHz), while the gain reach 7.5 dB, there are more stable pattern and a good cross-polarization characteristics in this frequency bandwidth.

**Keywords:** slot antenna; dipole antenna; composite structure; CPW-fed; broadband

## 0 引言

由于平面天线具有厚度薄、重量轻、体积小、低成本、易贴附、易制作等特点,日益被人们所喜爱和研究<sup>[1]</sup>。共面波导馈电的微带缝隙天线因具有易于和有源器件集成,能产生双向的方向图和易于实现宽频带的优点,近年来受到了较多的关注<sup>[2]</sup>。当共面波导和辐射隙位于同一金属层时,其馈电方式主要有电容性电磁耦合和电感性电磁耦合等<sup>[3]</sup>。这就更能满足不同的设计要求,最为常见的就是将共面波导的两个槽直接与缝隙天线相连,这种连接方式利用了共面波导的结构特点且形式简单,本文中用电感性电磁耦合来给天线馈电。共面波导馈电的平面天线结构形式多种多样<sup>[4,5]</sup>,共面波导馈电直缝隙天线就是其中的一种,它通常也被视为一种缝隙振子天线,是目前仍广泛使用的一种天线,当振子长度达到几个波长时,天线表现出高增益,但其方向图和带宽受到限制。增大共面波导馈电缝隙天线带

宽的技术主要有采用蝶形缝隙<sup>[6,7]</sup>,加入宽带调谐枝节<sup>[8]</sup>,带状线加载<sup>[9]</sup>等。

本文讨论了一种振子天线和宽缝天线相结合的缝隙天线,在不同的天线参数时采用高频仿真软件对天线进行仿真分析。结果表明这种组合结构天线,衬底厚度的增加对天线的带宽影响不大,但是能降低谐振频率;宽缝结构的加入大大提高了振子天线的带宽,增益也有所增加。

## 1 天线结构

矩形开口振子天线的结构正视图如图1所示。

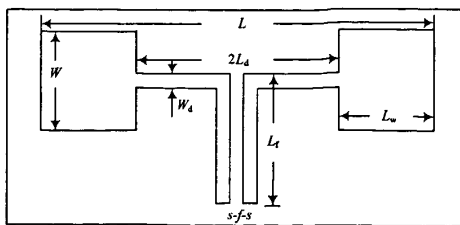


图1 天线结构正视图

图1所示的结构中,共面波导终端短路,馈线直接

与接地板相连,在连接处、终端缝隙周围存在高频电流,因而有磁场能量的存储,所以称之为感性耦合馈电。介质基片是介电常数 $\epsilon_r=2.17$ 的Arlon CuClad217,长 $a=60$  mm,宽 $b=30$  mm,厚度为 $h$ 。缝隙的总长度为 $L$ ,宽度为 $W$ ,其中振子长度的一半为 $L_d$ ,宽缝的长 $L_w=L/2-L_d$ ,共面波导的馈线长度为 $L_f$ ,宽度为 $f$ ,缝隙宽度为 $s$ ,调节 $f$ 和 $s$ 使天线的特征阻抗为 $50\ \Omega$ 。

由于缝隙天线和贴片天线是互补的,故缝隙天线的参数可以运用贴片天线的一些设计方法来确定,本文中缝隙总长度 $L$ 和宽度 $W$ 就是近似用文献[10]的方法来确定:

$$L = 1.6\lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r}, \quad W = 0.5\lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r} \quad (1)$$

式中: $\lambda_0$ 是频率为9 GHz时真空中的波长; $\epsilon_r$ 是介质板的介电常数,因为缝隙天线上是空气而没有介质,式(1)本身不是绝对精确地适合天线的所有区域。当设计的谐振频率为9 GHz时,真正的谐振频率存在一定的偏离,本文选取 $L=40$  mm, $W=12$  mm。图1所示天线中振子结构和宽缝结构是相互影响的,它们共同影响天线的性能。保持缝隙总长度不变,振子变长,宽缝部分就变短,反之亦然。通过调节 $L_d$ 的大小,可以调整振子结构和宽缝结构的比例,通过仿真分析选取一个最佳值,使天线取得较满意的带宽、方向图、增益等性能。选择振子结构和宽缝结构的比例是本文仿真分析的重点。

## 2 仿真结果分析

本文用仿真软件对各个参数进行优化分析,由于天线结构中参数较多且各个参数是相互联系相互影响的,在仿真设计时根据理论分析每个参数对天线性能的可能影响,然后再分别对每个参数进行仿真优化,因此这个过程是个不断修正不断往复的过程,直至最终获得满意的结果。根据仿真分析结果本文首先给定几个参数值,以便于对其他参数进行系统的仿真分析,组合结构天线时取 $L=40$  mm, $W=9$  mm, $s=0.3$  mm, $f=1.2$  mm, $W_f=12$  mm, $W_d=1.2$  mm, $L_d=6.5$  mm。

### 2.1 衬底厚度对天线性能的影响

图2是组合结构天线衬底厚度从0.1 mm变化到0.7 mm时, $S_{11}$ 的变化曲线,从图中可以看出,当厚度逐渐增加时天线的谐振频率逐渐降低。这是由于厚度增加时,衬底的有效介电常数增加,有效介质波长减小,使天线的电尺寸增加,天线的谐振频率也相应降低来保持谐振时的电尺寸不变。而带宽基本不变,所以衬底厚度对带宽影响不大,在制造工艺允许的条件下尽量薄,但是衬底对天线起到支撑的作用,太薄了不易支撑天线,所以本文选用带宽相对较宽的厚度 $h=0.3$  mm。

### 2.2 矩形开口缝隙振子天线的宽带特性

图3是固定天线其他参数不变只改变 $L_d$ 的大小而

得到的一组 $S_{11}$ 曲线,其中当 $L_d=0.9$  mm时,天线为单一结构的宽缝开口天线,从根本上也可以看作一个宽振子天线,从图中可以看到此时的 $-10$  dB带宽仅为8.25%(11.62~12.62 GHz);当 $L_d=20$  mm时,天线为单一结构的振子天线,此时的 $-10$  dB带宽仅为10.3%(11.05~12.25 GHz);当 $0.9$  mm $<L_d<20$  mm时,天线是组合结构天线,由于这个范围较大,根据仿真结果只给出其中的一个 $L_d$ 值,先来做比较说明组合天线的优越性,令 $L_d=7$  mm,此时带宽达到了32.79%(7.47~10.4 GHz),可以看出组合结构天线大幅度地展宽了单一结构天线的带宽。

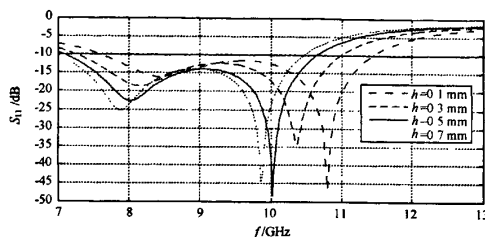


图2 介质厚度对 $S_{11}$ 的影响

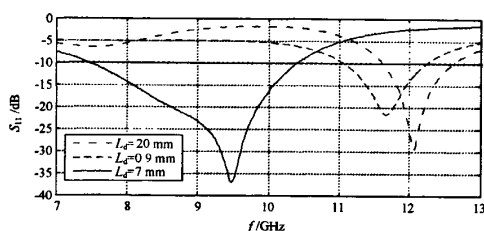


图3  $L_d$ 对 $S_{11}$ 的影响

通过上面的比较可知组合天线能够展宽振子天线的带宽,组合结构中振子天线与宽缝的不同比例有不同的带宽,在理论分析的指导下通过不断地对相关参数进行优化分析,最终得到了一组取得较满意的带宽时的天线结构参数,最终参数值如下: $a=60$  mm, $b=30$  mm, $h=0.3$  mm, $L=40$  mm, $W=9$  mm, $W_d=1.2$  mm, $L_f=12$  mm, $s=0.3$  mm, $f=1.2$  mm, $L_d=6.5$  mm, $L_w=13$  mm。

图4是基于此组数据仿真得到的 $S_{11}$ 曲线。

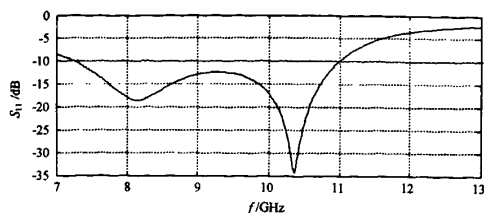


图4 组合结构天线的 $S_{11}$

从图4可以看到天线有两个谐振点,这是振子天线

中引入宽缝结构的结果,也是振子天线的带宽得以展宽的原因,此时带宽可达41.14%(7.24~10.99 GHz),中心频率在9.12 GHz,最小回波损耗值为-34.4 dB。在仿真中发现两个谐振点随着 $L_a$ 的变化而变化, $W$ 的大小也对这两个谐振点有一定影响,这就说明组合天线中振子结构和宽缝结构的合适比例是取得较理想带宽特性的关键。

### 2.3 矩形开口缝隙振子天线的辐射方向图和增益特性

由于方向图是天线在应用中的重要参量,有必要考察上述天线的方向图特性。在此仅给出带宽最优时的矩形开口缝隙振子天线的方向图。图5和图6分别给出当 $f=9$  GHz时此天线的 $E$ 面方向图和 $H$ 面方向图及各自的交叉极化方向图,其中实线是主极化方向图,虚线是交叉极化方向图。

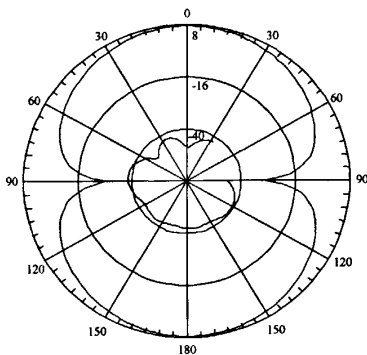


图5 组合结构天线的 $E$ 面方向图及交叉极化图

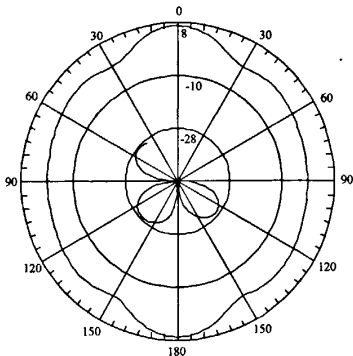


图6 组合结构天线的 $H$ 面方向图及交叉极化图

由图5和图6可以看出, $E$ 面具有双向性, $H$ 面有近乎全向的方向图,交叉极化电平分别低于-45.7 dB和-26 dB,可见该天线有较好的交叉极化性,通过计算发现在工作带宽范围内频率的改变对天线方向图影响很小,所以此类天线在工作带宽内具有比较稳定的方向图。另外从仿真中可以看到天线的增益达7.5 dB,高

于单一结构的振子天线和宽缝天线,可见组合结构天线有利于提高增益。

### 3 结 语

本文讨论分析了一种通过在缝隙振子天线两端开矩形宽缝而得到的矩形开口振子缝隙天线,仿真结果表明引入宽缝以后振子天线的性能得到大幅度的改善和提高,衬底厚度影响谐振频率,对带宽影响不大,而影响带宽的主要是组合结构中振子天线和宽缝开口的相对比例,通过不断的计算仿真分析最终给出了天线的一组设计参数。较宽的带宽, $E$ 面显示双向性, $H$ 面有全向性的趋势,良好的交叉极化特性以及较高的增益使该天线有良好的应用前景。如何改进振子天线和宽缝的连接部分实现振子天线和宽缝的渐变来进一步展宽带宽,以及如何改善天线的方向图使其具有较好的全向性还有待于以后进一步的研究。

### 参 考 文 献

- [1] Soliman E A, Brebels S, Beyne E, *et al.* CPW - fed Cusp Antenna[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 1999, 22(4): 288 - 290.
- [2] Ramesh G, Prakash B, Inder B, *et al.* Microstrip Antenna Design Handbook[M]. London: Artech House Antennas and Propagation Library, 2001.
- [3] Santiago S G, Jean - Jacques Laurin. Study of a CPW Inductively Coupled Slot Antenna[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1999, 47(1): 58 - 64.
- [4] Chung K. Wideband CPW - fed Monopole Antenna with Parasitic Elements and Slots[J]. Electronics Letters, 2004, 40 (17): 1 038 - 1 040.
- [5] Dau - Chyrh Chang, Ming - Yen Liu. CPW - fed Patch Slot Antenna for Multiple Application[A]. Proc. Progress in Electromagnetic Research Symposium[C]. Nanjing, 2004.
- [6] Soliman E A, Brebels S, Delmotte P. Bow - tie Slot Antenna Fed by CPW[J]. Electron. Lett., 1999, 35(7): 514 - 515.
- [7] 牛俊伟, 钟顺时. 一种新型共面波导馈电缝隙天线[A]. 全国微波毫米波会议论文集[C]. 2003.
- [8] Chen Horng - Dean. Broadband CPW - fed Square Slot Antennas with a Widened Tuning Stub[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 2003, 51(8): 1 982 - 1 986.
- [9] Jyh - Ying Chiou, Jia - Yi Sze, Kin - Lu Wang. A Broadband CPW - fed Strip - loaded Square Slot Antenna[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 2003, 51(4): 719 - 721.
- [10] Li K, Cheng C H, Matsui T, *et al.* Coplanar Patch Antennas [A]. IEEE M77 - S Int. Microwave Symp. Dig. [C]. 2001: 402 - 405.

作者简介 胡业芳 男,安徽大学研究生。主要研究方向为天线理论与设计。

李民权 男,安徽大学教授。主要研究方向为电磁散射与射频识别。

## 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>