

doi:10.3969/j.issn.1006-7043.2009.10.018

共面波导宽频带微带缝隙天线的设计与分析

姜宇,肖鸿,刘兴鹏,滕巍

(哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:为了扩展微带的天线频宽,减小微带天线尺寸,扩大其在小型化宽频带通信系统的应用,提出一种改进的基于共面波导(CPW)的宽频带微带缝隙天线。采用较低介电常数($\epsilon_r=2.2$)和厚度薄($h=0.8\text{ mm}$)的材料作为微带天线基板,使得天线尺寸缩减了30%。利用CST Microwave Studio仿真软件对其进行仿真,得出输入反射系数曲线 S_{11} 和辐射方向图,其中心工作频率为3.52 GHz,获得52%的阻抗带宽($S_{11} < -10\text{ dB}$),频率范围是3.07~4.11 GHz,频带得到展宽。根据对影响天线性能的主要物理参数进行仿真、分析和优化,得到理想天线尺寸。实验结果表明,共面波导宽频带微带缝隙天线比传统微带贴片天线性能有了较大的提高,采用共面波导馈电是可行性和有效性的。

关键词:共面波导;宽频带缝隙微带天线;CST仿真;输入反射系数

中图分类号:TN 821.3 文献标识码:A 文章编号:1006-7043(2009)10-1180-05

Design and analysis of a CPW-fed broadband microstrip slot antenna

JIANG Yu, XIAO Hong, LIU Xing-peng, TENG Wei

(College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: An improved coplanar waveguide (CPW) based broadband microstrip slot antenna was developed that expands antenna bandwidth and reduces size. This should increase the antenna's usefulness in small communication systems. A thinner material ($h=0.8\text{ mm}$) with a lower dielectric constant ($\epsilon_r=2.2$) was used as the substrate, reducing the required size by 30%. Simulation software-CST Microwave Studio-was used to simulate the antenna and from this its reflection coefficient curve S_{11} and radiation pattern were obtained. The results of the simulation show that the central frequency is 3.52 GHz, the impedance bandwidth is 52% ($S_{11} < -10\text{ dB}$), and the frequency range is 3.07~4.11GHz, showing that bandwidth is significantly broadened. By analysis and optimization of the main parameters influencing the antenna's performance in the simulation, the ideal size for the antenna was determined. The result shows that the performance of CPW broadband microstrip slot antennas can be greatly improved compared to traditional microstrip patch antennas, and the feasibility and effectiveness of the CPW feed were also verified.

Keywords: coplanar waveguide; broadband slot antenna; CST simulation; return loss

微带天线是一种使用微带贴片作为辐射元的天线,它具有剖面低、体积小、重量轻、易于加工、便于获得圆极化的优点,并且有利于集成,在各种通信设备上得到了广泛的应用^[1]。但是,微带天线频带较窄的突出缺点又限制了它的实际应用^[2]。目前在高频应用上,采用更多的是微带缝隙天线,它具有对加工精度要求低,可用标准的光刻技术在敷铜电路

板上进行生产的优点,尤其是微带宽缝天线更是有效地拓宽了频带^[3-5]。共面波导宽频带缝隙天线比普通的微带贴片天线的带宽要宽,后者设计产生的带宽小于百分之几,而前者利用共面波导给矩形缝隙馈电,并在缝隙中引入了一个T形的宽带微带贴片,通过调节宽带微带贴片和接地板间的距离,辐射缝隙和馈线间可获得良好的阻抗匹配,能够获得百分之几十的阻抗带宽^[6-7]。在文献[8]中设计了一种共面波导馈电的宽频带缝隙天线,天线是制作在FR4基板材料上的,由于FR4的损耗较大,降低了天线的效率,而且天线尺寸也过大(72 mm ×

收稿日期:2008-05-12。

基金项目:黑龙江省博士后基金资助项目(LRB06-102);哈尔滨市科技创新人才研究专项资金资助项目(2007RFQXC026)。

作者简介:姜宇(1974-),女,副教授,硕士生导师, E-mail: jianyu2006@hrbeu.edu.cn。

72 mm),限制了将其集成到便携通信设备中。

本文改进了这种共面波导宽频带缝隙天线,采用低损耗、低介电常数的材料作为该天线的基板,来保证天线具有较高的效率,减小天线的尺寸,以便于应用于小型便携无线通信设备中,并利用 CST Microwave Studio 仿真软件对该天线进行了建模和仿真,详细分析了天线设计的几个关键参数及其对天线性能的影响,实验测试表明该天线的有效性和共面波导馈电的可行性。

1 天线结构

共面波导宽频带缝隙天线的结构主要由以下几部分组成:接地板、微带贴片、基板、馈线,如图 1 所示。所使用的基板为具有低损耗、低介电常数、厚度小、柔韧性较好的聚四氟乙烯环氧树脂强化材料 RT5880,基板厚度 $h = 0.8$ mm,介电常数 $\epsilon_r = 2.2$ 。该天线采用矩形贴片与微带线进行馈电,接地板上的缝隙为正方形。

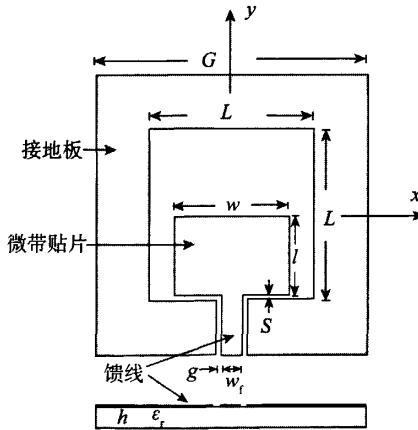


图 1 共面波导宽频带缝隙天线的结构

Fig. 1 Geometry of the proposed CPW-fed slot antenna with a widened tuning stub

天线的各个参数是相互关联的,为保证共面波导馈线的特性阻抗为 50Ω ,在计算时要折中考虑。若给定基板厚度和介电常数时,天线结构的几个主要参数可由式(1)~(5)计算得到,设计的天线具体物理参数如表 1 所示。

$$w = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2}, \quad (1)$$

$$l = 0.5\lambda_0 \sqrt{\epsilon_r} - 0.824h \frac{(\epsilon_r + 0.3)(w + 0.264h)}{(\epsilon_r - 0.258)(w + 0.8h)}, \quad (2)$$

$$G = L + 0.2\lambda_g, \quad (3)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{w} \right)^{-1/2}, \quad (4)$$

$$\lambda_g = \lambda_0 \sqrt{\epsilon_r}. \quad (5)$$

式中: f_r 、 ϵ_r 、 ϵ_e 、 λ_g 、 λ_0 、 h 分别为谐振频率、有效介电常数、介电常数、介质内波长、自由空间波长、基板厚度。

表 1 天线的物理参数

Table 1 The physical parameters of the antenna

参数	尺寸/mm
基板尺寸 G	50.0
缝隙尺寸 L	30.0
贴片宽度 w	24.0
贴片长度 l	15.5
贴片与缝隙间距 S	0.50
馈线与缝隙间距 g	0.50
馈线宽度 w_f	6.37
基板厚度 h	0.80
介电常数 ϵ_r	2.20

2 天线的仿真

利用 CST Microwave Studio 仿真软件对上述参数的天线进行建模仿真,CST Microwave Studio 仿真软件(CST MWS 或 CST 微波工作室)是德国 CST (computer simulation technology) 公司为快速、精确仿真电磁场高频问题而专门开发的 EDA 工具,是基于 PC 机 Windows 环境下的仿真软件,可以仿真各种天线和微波器件,广泛应用于移动通信、无线通信(蓝牙系统)、信号集成和电磁兼容等领域^[9]。

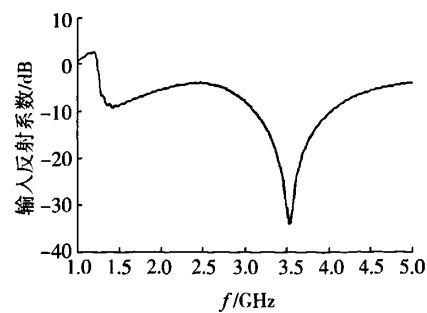
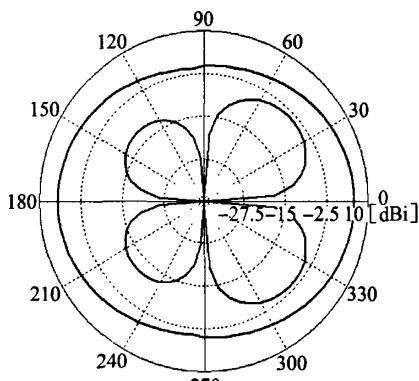


图 2 输入反射系数 S_{11} 曲线

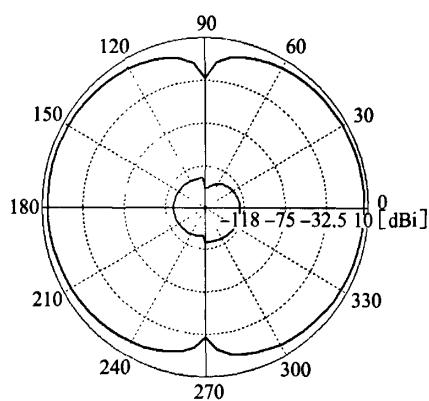
Fig. 2 Simulated return loss against frequency for the antenna

根据表1中天线物理参数,利用CST仿真软件进行建模仿真得到输入反射系数 S_{11} ,如图2所示。通过计算,该天线中心工作频率为3.52 GHz,获得了52%的阻抗带宽($S_{11} < -10$ dB),频率范围为3.07~4.11 GHz,这与普通微带贴片天线相比,性能有了很大的提高。

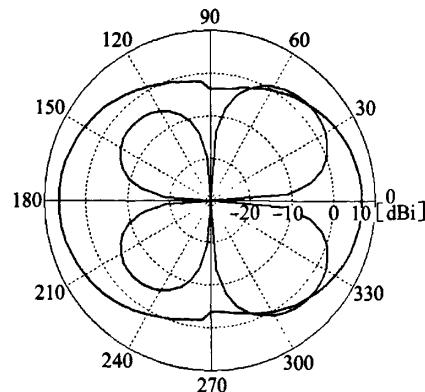
在实际分析中阻抗带宽不足以说明天线的实际带宽,必须对天线不同工作频率下的方向图进行仿真计算才能确定方向图带宽。图3(a)~(d)分别表示天线在工作频率为3.5 GHz和4.0 GHz情况下, $z-y$ 平面(E面)与 $z-x$ 平面(H面)的辐射方向图及其交叉极化。由图3可以看出天线工作在3.5 GHz和4.0 GHz时,它们的E面方向图和H面方向图基本保持一致。



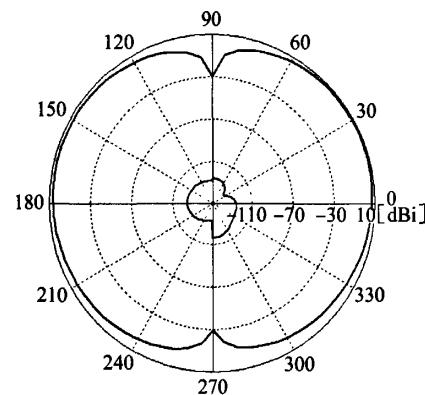
(a) $f = 3.5$ GHz 时 E 面方向图



(b) $f = 3.5$ GHz 时 H 面方向图



(c) $f = 4.0$ GHz 时 E 面方向图



(d) $f = 4.0$ GHz 时 H 面方向图

图3 f 为3.5 GHz和4.0 GHz时的E面和H面方向图

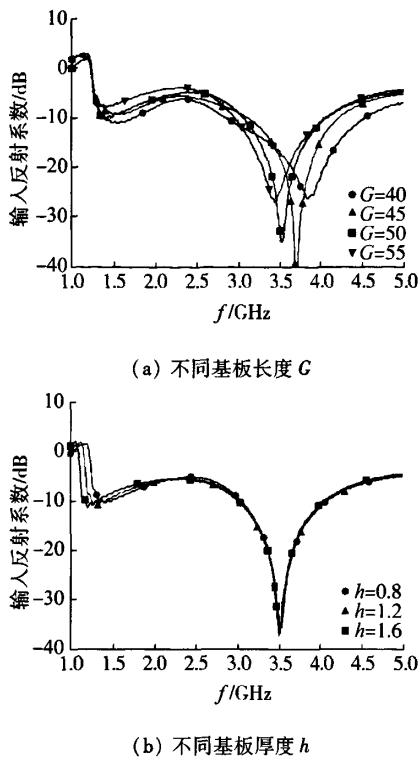
(外部曲线为共面极化,内部曲线为交叉极化)

Fig. 3 E plane and H plane radiation patterns for the antenna studied with $f = 3.5$ GHz and 4.0 GHz

3 天线各参数对其性能的影响

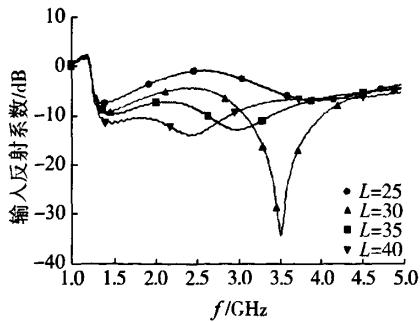
3.1 基板尺寸

在上述的天线模型中分别改变基板长度 G 和厚度 h ,保持其他参数不变。图4(a)、(b)分别为天线输入反射系数 S_{11} 随基板长度 G 和厚度 h 变化的频率特性曲线,仿真结果表明随着基板长度的变化特性曲线波动不是很明显,说明天线的输入反射特性与基板长度的关系并不是太显著,这有利于天线的小型化设计,而基板厚度并没有改变输入反射特性曲线,这和传统微带贴片天线有所不同,增加传统微带天线的基板厚度可展宽带宽。为减小天线的尺寸,方便设计,一般选取基板厚度为0.8 mm。

图4 不同基板长度和厚度的输入反射系数 S_{11} Fig. 4 Simulated return loss against frequency S_{11} for various ground plane lengths and thickness

3.2 缝隙尺寸 L

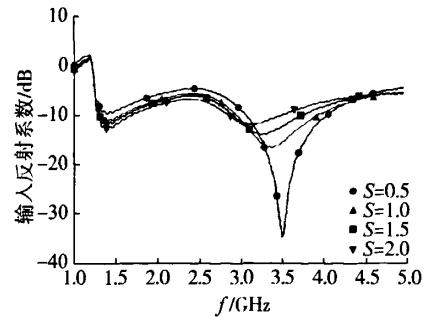
改变缝隙尺寸 L , 保持其他参数不变, 天线输入反射系数 S_{11} 随缝隙尺寸变化的频率特性曲线如图 5 所示。随着接地板缝隙尺寸的减小, 输入反射系数 S_{11} 增大, 当 $L = 30$ mm 时天线带宽性能最为理想。

图5 不同缝隙尺寸的输入反射系数 S_{11} Fig. 5 Simulated return loss against frequency S_{11} for various slot dimensions

3.3 贴片与缝隙间距 S

改变贴片与缝隙间距 S , 保持其他参数不变, 天线输入反射系数 S_{11} 随贴片与缝隙间距变化的频率

特性曲线如图 6 所示。随着贴片与缝隙间距 S 的增大, 输入反射系数 S_{11} 也相应的增大, 天线的性能降低, 当 $S = 0.5$ mm 时天线带宽最佳。

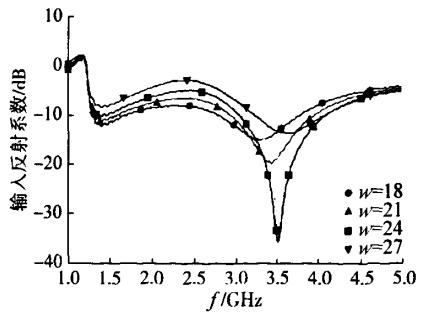
图6 不同贴片与缝隙间距 S 的输入反射系数 S_{11} Fig. 6 Simulated return loss against frequency S_{11} for various spacings

3.4 微带贴片尺寸

改变微带贴片尺寸, 保持其他参数不变的情况下, 天线输入反射系数 S_{11} 随微带贴片尺寸变化的频率特性曲线如图 7(a)、(b) 所示。从图中可以看出贴片长度选取 $w = 24$ mm, $l = 15.5$ mm 时符合天线的性能要求, 而馈线宽度对天线性能影响甚微, 在实际设计中不做主要考虑因素。

通过改变天线的物理参数, 分析对其性能的影响, 可以得出:

- 1) 基板尺寸、基板厚度和微带贴片馈线宽度对天线的性能影响甚微;
- 2) 缝隙尺寸 L 、贴片尺寸和贴片与接地板平面间距 S 对天线性能影响显著;
- 3) 为展宽天线的带宽, 一般可以降低基板介电常数 ϵ_r 来实现, 其 ϵ_r 的范围可从 1 ~ 25, 而 2.5 左右的最为普遍;
- 4) 影响天线性能的因素多, 在实际设计中需权衡利弊, 折中处理。

(a) 不同贴片宽度 w

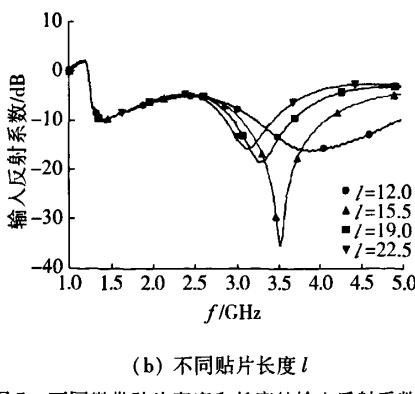


图 7 不同微带贴片宽度和长度的输入反射系数 S_{11}
Fig. 7 Simulated return loss against frequency S_{11} for various tuning-stub widths and lengths

4 结束语

微带天线的窄频带特性限制了其大范围应用,因为许多应用场合都要求通信系统必须具备较宽的频带。采用共面波导馈电是可以实现的一种展宽微带天线频带的有效途径,这种结构馈电电路和接地板缝隙共面,结构简单、误差小、易于加工,有利于天线的设计和应用。利用 CST 仿真软件对共面波导宽频带缝隙天线进行仿真,得出天线各个参数对其性能的影响,结果表明共面波导馈电的可行性和有效性。在保证天线特性的条件下,设计天线结构较传统结构有较大幅度缩减,而频带得到扩展,这对设计共面波导宽频带缝隙天线和展宽天线带宽具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 钟顺时. 微带天线理论与应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991:2-5.

- [2] STUTZMAN W L, THIELE G A. 天线理论与设计 [M]. 朱守正, 安同一, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2006:3-8.
- [3] GOLDBERG M. Stability criteria for criteria for finite difference approximations to parabolic systems [J]. Applied Numerical Mathematics, 2000, 33(15): 509-515.
- [4] 钱 坤, 庞伟正, 李翔麟, 邹 喻. 超宽带宽缝天线的设计与仿真 [J]. 应用科技, 2007, 34(10): 21-23.
QIAN Kun, PANG Weizheng, LI Xianglin, ZHOU Yu. The design and simulation of the ultra-wideband wide slot antenna [J]. Applied Science and Technology, 2007, 34(10):21-23.
- [5] 杨晓冬, 陈 彭, 佟 浩. 一种半 U 型开槽叠层宽带微带天线的设计 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008, 29(3): 299-304.
YANG Xiaodong, CHEN Peng, TONG Hao. A broadband stacked microstrip antenna with half U-slot coupling [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2008, 29 (3): 299-304.
- [6] 王聪敏, 高向军. 微带天线的宽频带技术 [J]. 电子对抗技术, 2003, 18(5): 23-27.
WANG Congmin, GAO Xiangjun. Technologies of broadband microstrip antenna [J]. Electronic Warfare Technology, 2003, 18(5):23-27.
- [7] JUNTUNEN J S, TSIBOUKIS T D. Reduction of numerical dispersion in FDTD method through artificial anisotropy [J]. IEEE Trans Microwave Theory Tech, 2000, 48(4): 582-588.
- [8] CHEN H D. Broadband CPW-Fed square slot antennas with a widened tuning stub [J]. IEEE Trans Antennas and Propagation, 2003, 51(8): 1982-1986.
- [9] 张 敏. CST 微波工作室用户全书(卷一/卷二) [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2004:5-7.

[责任编辑: 孟 玮]

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)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)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),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>