

一种带状加载宽缝超宽带天线设计研究

李伟, 邱景辉, 鲁国林, 邓维波

(哈尔滨工业大学电子与信息技术研究院, 哈尔滨 150001)

摘要: 设计了共面波导馈电的圆形宽缝超宽带天线。该天线由宽缝天线变形而来, 在 3GHz~12GHz 的工作频带范围内, 具有平面小型化超宽带特性。通过带状加载圆形缝隙的方法, 改善了此天线的辐射方向图特性。为了阻止其他通信系统对超宽带系统的干扰, 设计时采用开路枝节获得陷波性能。采用基于时域有限积分法的 CST MWS 电磁仿真软件进行分析计算, 表明该天线具有超宽带阻抗带宽特性, 良好的辐射方向图带宽和增益平坦度。天线的测量结果与仿真值保持一致, 能够满足超宽带通信系统应用要求。

关键词: 宽缝天线; 超宽带; 带状加载; 陷波特性

中图分类号: TN82 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1328(2009)02-0712-04

DOI: 10.3873/j.issn.1000-1328.2009.00.054

0 引言

近年来, 超宽带技术作为一种新颖的无线通信技术, 在高分辨率超宽带雷达、精确定位系统等领域有广泛的应用。除此之外, 超宽带技术因具有超强的无线设备连接能力、高性能、低功耗及低成本等特点, 受到短距离无线通信的关注。按照 FCC 相关规定, 3.1GHz~10.6GHz 的频率范围分配给超宽带无线通信业务使用, 然而当前无线局域网的工作频率 5.15GHz~5.35GHz 和 5.725GHz~5.825GHz 也在此范围内, 为避免干扰, 需要对超宽带天线进行陷波设计^[1-3]。另外, 超宽带技术要求天线具有辐射和接收时域脉冲信号的能力, 因此, 脉冲信号无失真传输是超宽带天线的另一研究内容。

传统的超宽带天线有圆盘单极子天线、阿基米德螺旋天线、TEM 喇叭天线、对数周期天线等多种类型。超宽带无线通信系统对天线提出了结构简单、便于集成、小尺寸、高性能等设计要求, 传统的超宽带天线不能满足上述要求, 因此本文研究与设计了一种带状加载宽缝超宽带天线。通过带状加载设计改善其辐射方向图特性, 使该天线具有大于 120% 的相对带宽、相对平坦的增益和近似全向辐射特性, 并且具有较高的波形保真度, 最后对该超宽带天线进行了陷波设计。

1 天线结构特性

缝隙天线有着广泛的应用, 尤其适合低轮廓或嵌入式安装的场合。典型的缝隙天线的缝隙宽度比缝隙长度小很多, 称为窄缝, 在基片很薄的情况下与振子互补。当缝隙宽度与缝隙长度可比拟时, 称为宽缝, 缝隙宽约为 0.1λ (λ 为工作波长), 具有频带宽、对制版公差要求低的优点。缝隙天线的带宽和缝隙的形状大小有很大的关系, 使用宽矩形缝隙时, 缝隙的长宽比对天线的带宽有很大的影响, 椭圆缝隙的长短轴比对带宽的影响较大。在某些设计中采用一些特殊技术来展宽频带, 例如倒圆角、旋转缝隙等^[4,5]。馈电网络的改进设计, 也能够展宽工作带宽。共面波导比常规微带传输线具有易于制作、易与表面贴装元件实现连接、不需要过孔、辐射损耗小、串扰小等优点, 并可有效改善天线带宽特性。因此, 本文的超宽带天线馈电部分采用了共面波导设计。

本文设计的天线结构如图 1 所示, 总尺寸为 $78 \times 60\text{mm}^2$, 基片选择厚度为 1.5mm、相对介电常数为 4.1 的材料, 采用末端为圆形枝节的共面波导馈电圆形宽缝隙, 将共面波导中心导带设计成阶梯状, 以改善天线阻抗匹配特性。为改善天线的辐射方向图, 在圆缝隙中加载带状结构。应用基于时域有限积分法的 CST MWS 电磁仿真软件对重要参数进行

仿真调整和分析^[6],发现圆形缝隙尺寸影响天线的低频特性,圆形馈电枝节影响天线的高频特性,并且缝隙尺寸越大,圆形枝节越小,阻抗带宽越宽。经优化设计得出如下参数:宽缝半径 $R_s = 29\text{mm}$, 馈电枝节半径 $R_p = 8\text{mm}$, 阶梯过渡段长度 $L_s = 6\text{mm}$, 阶梯过渡段宽度 $W_s = 1.7\text{mm}$ 。

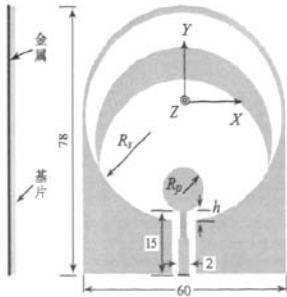


图1 圆形宽缝天线结构图

Fig. 1 Structure of circular wide slot antenna

2 天线频域特性分析

分别建立无带状加载和有带状加载的宽缝天线模型,通过软件仿真计算,优化出最佳尺寸,并按照有带状加载的天线尺寸加工样品进行测量和分析。通过 Agilent E8363B 矢量网络分析仪在暗室中测量,得到天线的反射损耗仿真曲线和测量曲线如图 2 所示。从图 2 中可以看出,宽缝天线在进行带状加载后低频端反射损耗增大,但在 3GHz ~ 12GHz 的频带范围内,反射损耗均小于 -10dB,测试结果显示,相对带宽大于 120%,且与仿真结果吻合较好,满足超宽带特性。

带状加载可有效改善天线的辐射特性,因此对加载前后天线的辐射方向图特性进行研究,测得在 3GHz、7GHz 和 10GHz 时增益分别为 4.6dB、6.1dB 和 4.4dB,并且在工作频带内增益均大于 2.6dB,除了在 7GHz 时天线近似定向辐射,其他频段变化相对平坦。图 3 给出分别在上述三个频点仿真计算的归一化结果,由图 3 可知,无带状加载时低频端方向图分裂严重,加载后有所改善,接近于全向,高频端方向图也得到一定的改善。

3 天线时域特性分析

超宽带天线发射与接收纳秒级脉冲信号,因此仿真时在远场放置探针计算脉冲波形的保真特性,

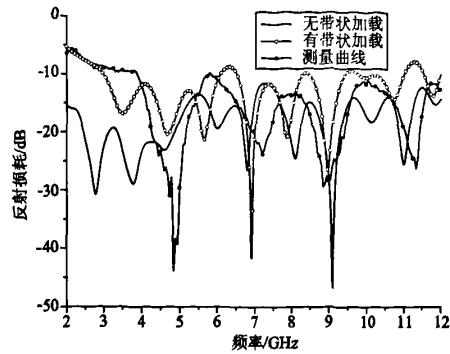
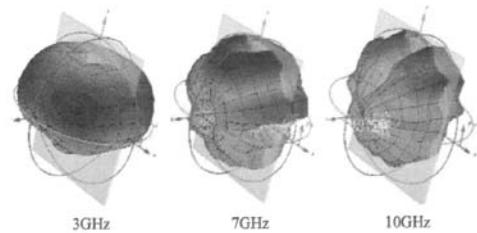


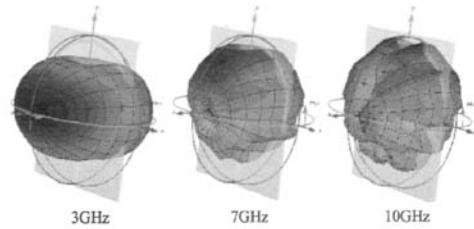
图2 反射损耗的仿真与测试比较

Fig. 2 Simulation and measurement return loss



(a) 加载前辐射方向图

(a) Radiation pattern without loaded



(b) Radiation pattern with loaded

Fig. 3 Radiation pattern with different frequency

从而分析该天线传输特性。入射信号为高斯脉冲,远场信号是输入信号的时间导数,则波形保真系数是远场信号与高斯一阶微分的互相关函数。分析结果如图 4 所示。从图 4 可知,探针接收到的远场信号与一阶高斯脉冲信号波形相似,通过仿真不同方位角接收的信号,可以计算出波形保真系数保持在 0.8 以上,说明该天线具有良好的脉冲波形保真特性。

4 天线陷波特性分析

为防止无线局域网系统对超宽带短距离无线通信的影响,需要对设计的宽缝超宽带天线进行改进,

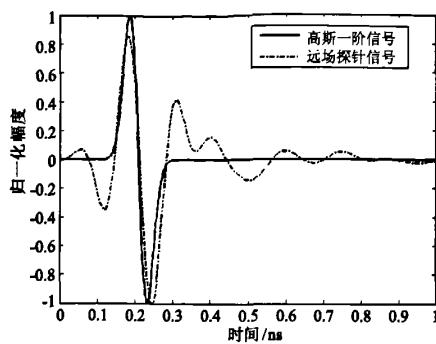


图 4 高斯一阶微分及探针信号

Fig. 4 Differentiated gauss and probe signal

即要求天线在 $5.15\text{GHz} \sim 5.95\text{GHz}$ 频率范围内具有陷波特性。在上述带状加载宽缝天线基础上,采用在其共面波导的圆形末端上加载圆环窄缝隙实现带阻特性,其结构如图 5 所示,开口端距离共面波导中心导带末端 1mm ,缝隙内外半径分别为 $r_1 = 4\text{mm}$, $r_2 = 2.2\text{mm}$ 。开口圆环缝隙的阻带原理类似于 U 形缝隙,当缝隙边缘总长度约等于 λ_g (λ_g 为阳带中心频率点对应的波导波长) 时,该频率附近阳抗实部出现极大值,虚部接近于零,从而产生谐振。

为验证仿真结果,按照优化的设计尺寸制作并测量了陷波天线,图 6 给出陷波天线的仿真与测量的反射损耗曲线。从图 6 中可以看出,阻带的中心频率在 5.35GHz ,阻带范围为 $5.1\text{GHz} \sim 5.8\text{GHz}$,阻带中心频率点由开口圆形缝隙的半径决定,其半径越大,阳带频率越低,而缝隙的宽度决定了阻带的宽度,缝隙越窄阻带越窄。

为分析阻带外与无陷波设计天线方向图的一致性,分别对 3GHz 、 7GHz 和 10GHz 时的方向图进行测量,并与仿真结果进行比较,结果如图 7 所示。在图 7

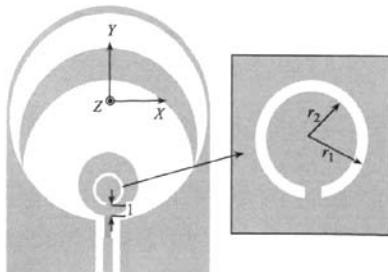


图 5 陷波天线结构图

Fig. 5 Structure of frequency notched antenna

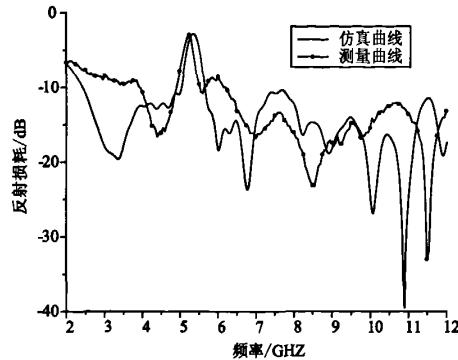


图 6 陷波天线反射损耗

Fig. 6 Return loss of frequency notched antenna

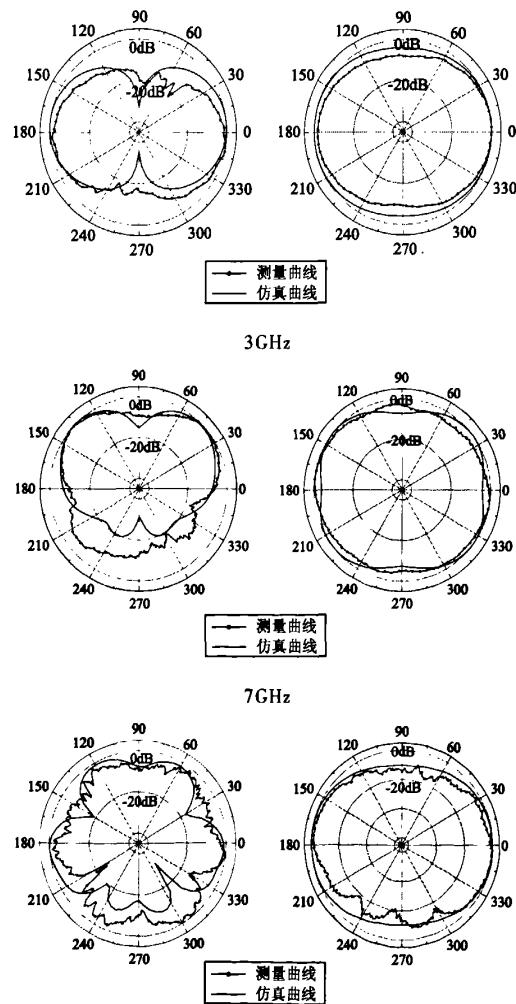


图 7 不同频率下辐射方向图

Fig. 7 Radiation pattern with different frequency

中,左图均为E面(yoz面)方向图,右图均为H面(xoz面)方向图,由图可知,天线H面方向图在整个频段内具有较好的全向辐射特性,随着频率增加,E面方向图接近雪花状。表1为陷波前后部分频点的增益测量结果,在整个频带内增益相对平坦,除阻带内频点外,陷波天线增益与无陷波天线增益保持一致,阻带中心频点5.35GHz处天线的增益为-6.6dB,达到设计要求。本文设计的两种天线实物照片如图8所示。

表1 天线增益测试值

Table 1 Antenna measurement gain

工作频率(GHz)	无陷波天线增益(dB)	陷波天线增益(dB)
3.0	4.6	4.65
5.35	2.8	-6.5
7	6.1	6.0
10	4.4	4.0

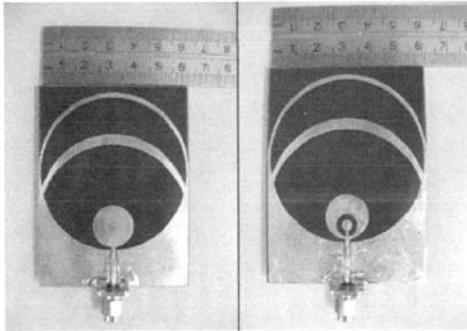


图8 设计天线实物图

Fig. 8 Designed antenna

5 结论

本文对共面波导馈电的圆形宽缝超宽带天线进行了仿真设计研究,应用带状加载的方法,改善了天线的辐射方向图特性。通过在共面波导圆形末端开圆形窄缝的方法获得陷波特性,从而减少其他系统对超宽带通信系统的干扰。使用电磁仿真软件确定

天线的几何尺寸,并在微波暗室对天线实物样品的反射损耗特性、辐射方向图和增益进行了测量。研究结果表明,加载的宽缝超宽带天线和陷波设计后的天线在3GHz~12GHz频率范围内,反射损耗小于-10dB,具有较好的方向图特性和平坦的增益特性以及良好的脉冲波形保真度,同时具有尺寸小、成本低、便于电路集成等优点,适用于超宽带短距离无线通信系统。

参考文献:

- [1] LU Wen-jun, ZHU Hong-bo. Frequency notched wide slot antenna for UWB/2.4GHz WLAN applications[J]. The Journal of China Universities of Post and Telecommunications, 2007, 14(4): 122-125.
- [2] 程勇, 吕文俊, 程崇虎, 等. 多用途陷波小型超宽带天线[J]. 通信学报, 2006, 27(4): 131-135. [CHENG Yong, LV Wen-jun, CHENG Chong-hu, et al. Compact frequency notched ultra-wideband antenna for multiple application[J]. Journal on Communication, 2006, 27(4): 131-135 (in Chinese).]
- [3] Ammann M J, CHEN Zhi-ning. Wideband monopole antennas for multi-band wireless systems[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 45(2): 146-150.
- [4] QU Shi-Wei, LI Jia-Lin, CHEN Jian-xin, et al. Ultra-wideband strip-loaded circular slot antenna with improved radiation patterns[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(11): 3348-3352.
- [5] Lee H L, Lee H J, Yook J G, et al. Broadband planar antenna having round corner rectangular wide slot[C]. IEEE Antennas and Propagation Society Symposium, 2002, 2: 460-463.
- [6] CST Ltd., CST MICROWAVE STUDIO @ 5 User's Manual, 2003.

作者简介:李伟(1979-),男,哈尔滨工业大学电子与信息技术研究院博士生,研究方向为高速飞行器天线技术,超宽带天线技术等。

通信地址:黑龙江省哈尔滨市西大直街92号哈尔滨工业大学341信箱(150001)

电话:(0451)86402923

E-mail:songlsw@163.com

(下转第747页)

- time-frequency analysis method synthesis[J]. Signal Processing, 2003, 19(6): 586 - 589 (in Chinese).]
- [11] 熊良才, 史铁林, 杨叔子. Choi-Williams 分布参数优化及其应用[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2003. 1(31): 103 - 104 [XIONG Liang-cai, SHI Tie-lin, YANG Shu-zi. Parameter optimizing of Choi-Williams distribution and its application[J]. Huazhong Univ. of Sci. & Tech. (Nature Science edition), 2003. 1(31) : 103 - 104 (in Chinese).]
- 作者简介:陈利虎(1980-),男,博士生,主要研究方向为扩跳频通信、无线电侦察技术。
地址:湖南国防科大四院二系无线通信教研室(410073)
电话:13787219742
E-mail:clh2055@163.com

Time-frequency Analysis of Frequency-Hopping Signals

CHEN Li-hu¹, ZHANG Er-yang¹, SHEN Rong-jun²

(1. National University of Defence Technology, Changsha 410073, China;
2. General Equipment Department of P. L. A., Beijing 100080, China)

Abstract: The time-frequency analysis is a powerful tool for the detection of frequency-hopping(FH) signals. A clear time-frequency representation is the precondition of the parameter estimation and the separation of FH signals. To find the appropriate distribution for multiple FH signals, many time-frequency representations, include linear time-frequency representation, bilinear time-frequency distribution, bilinear time-frequency distribution by the reassignment method, different time-frequency analysis synthesis method are simulated and analyzed on the performance of time-frequency concentration and suppression cross-term interference. The results indicate spectrogram, smoothed pseudo WVD(SPWVD), reassignment distribution, nonlinear and linear time-frequency analysis method synthesis can obtain clear representations.

Key words: Frequency-hopping (FH); Time-frequency analysis; Time-frequency concentration; Cross-term interference

(上接第 715 页)

Research on Strip-line Loaded Wide Slot UWB Antenna

LI Wei, QIU Jing-hui, LU Guo-lin, DENG Wei-bo

(School of Electronic and Information Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: A novel circular wide slot ultra wideband antenna fed by coplanar waveguide is designed in this paper. Derived from wide slot antenna, this antenna has the character of miniaturization and planarity which is operated at 3GHz ~ 12GHz frequency band. The radiation pattern character is improved by strip-line loaded in the circular wide slot. To prevent interference from other communication system, frequency notched character is realized by open circuit stub. Simulation results based on CST MWS software with FIT show that this antenna can realize ultra wideband resistance bandwidth character, good radiation pattern bandwidth and gain flatness. Good agreement can be gotten between measurement and simulation results, and this antenna can satisfy ultra wideband communication system application.

Key words: Wide slot antenna; Ultra wideband; Strip-line loaded; Frequency notched character

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>