

文章编号: 1001 - 893X(2011)08 - 0121 - 04

新型超宽带单极子天线的设计*

徐海洋, 张 厚, 梁建刚, 王洪光

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:研制了一款超宽带印刷单极子天线, 通过在接地板上开方形槽, 展宽带宽的同时也改善了带内特性。再在金属贴片顶部开扇形槽, 进一步在高频段展宽了频带。实测结果显示, 改进后的天线 - 10 dB 阻抗带宽为 2.1 ~ 25.5 GHz, 而原不加槽天线的仿真带宽为 2 ~ 11.4 GHz, 带宽展宽了 14 GHz。仿真和实测结果显示, 天线在 2.5 GHz、8 GHz、25 GHz 的方向图对称性良好。

关键词:超宽带; 单极子天线; 开槽

中图分类号: TN821 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-893x.2011.08.025

Design of a Novel Ultra-wideband Monopole Antenna

XU Hai-yang, ZHANG Hou, LIANG Jian-gang, WANG Hong-guang

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

Abstract: The UWB (Ultra-wideband) printed planar antenna in this paper is notched in the ground plane, so that the bandwidth is expanded, and the inner band performance is improved, too. Then through notching in the top of the patch, the bandwidth is further expanded at the high frequency section. The measured result shows that the - 10 dB impedance bandwidth of the improved antenna is 2.1 ~ 25.5 GHz in contrast to 2 ~ 11.4 GHz of the simulated bandwidth of the initial antenna, as a result, the bandwidth enhances 14 GHz. The simulated and measured results show that the radiation patterns are very symmetrical at 2.5 GHz, 8 GHz and 25 GHz.

Key words: ultra-wideband (UWB); monopole antenna; notch

1 引言

超宽带 (Ultra - Wideband, UWB)^[1-5] 技术作为一种无线通信技术, 具有小范围的超强无线设备连接能力, 而且拥有低功耗、高性能和低成本无线数据通信能力, 在精确定位系统、探地雷达以及短距通信等方面已有广泛的应用。随着微波集成电路 (MIC) 技术和超大规模集成电路 (VLSIC) 技术的快速发展, 以及各种新材料和新工艺的应用, 通信电子设备的体积日益小型化, 其处理信息的能力也日益朝着智能化和宽带化发展。天线作为发射和接收电磁波的设备, 是无线通信系统中不可或缺的组成部分。相应地, 系统对天线提出的要求也越来越高, 不仅要求

天线适应小型化发展, 而且还要满足电性能指标, 尤其是带宽和效率。因此, 天线的宽带和小型化设计与应用是大势所趋。UWB 天线的设计与研究作为超宽带通信的关键技术之一, 是近年来天线与传播领域的一大热点。为适应小型集成化的需求, 超宽带平面天线的研究与应用引人注目。一般来说, 天线的尺寸越小, 天线的效率和带宽性能就会呈反向变化的关系, 因此需要在尺寸与效率和带宽之间找到平衡。超宽带印刷单极子天线具有重量轻、体积小、低剖面、方向图全向、易于共形和集成等优点, 在短距离无线通信系统中获得了广泛的应用。文献 [6] 给出了一种超宽带单极子天线, 天线的带宽范围为接地板分别印制在介质板的两侧, 实现了天线的

* 收稿日期: 2011 - 04 - 14; 修回日期: 2011 - 06 - 07

宽带化,天线带宽范围为 2.48 ~ 14.86 GHz。文献[7]设计了一款作为参考天线的单极子天线,将天线的接地板边缘作了圆滑处理,带宽范围覆盖了 FCC 所规定的 3.1 ~ 10.6 GHz 的带宽。

本文设计的单极子天线,在天线的接地板上开矩形槽,并在单极子贴片的顶端开扇形槽,大大展宽了天线的带宽,天线的 -10 dB 仿真带宽范围为 2.0 ~ 26 GHz,实测结果为 2.1 ~ 25.5 GHz。天线在整个工作频段范围内辐射特性稳定,方向图对称。

2 天线结构与性能分析

天线印制在介电常数为 4.6、厚度为 0.8 mm 的介质板上,贴片和接地板分别印制在介质板的两边。为改善天线的匹配并展开带宽,分别在接地板上开方形槽和在圆形贴片顶端开扇形槽。方形槽和扇形槽的尺寸均是通过优化计算得出:

首先在不加方形槽的情况下,优化方形槽的尺寸,然后在固定优化好的方形槽尺寸的情况下优化扇形槽尺寸,分别对扇形槽半径和槽宽两个参数进行优化。

为防止波束倾斜,接地板两边进行了切角圆滑处理。天线的结构如图 1 所示。

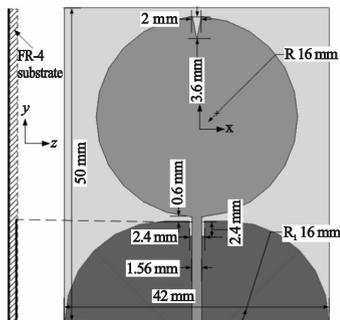


图 1 天线结构图
Fig.1 Geometry of the antenna

超宽带印刷单极子天线是由圆柱阵子天线演变而来,因此可以将之与圆柱阵子做某种方式的等效,从而分析其性能。从理论上可将半径为 r 的单极子印刷贴片结构近似等效成高为 L 、半径为 R 的圆柱阵子。超宽带印刷单极子天线的下限频率的确定方法可借用平面单极子天线的相关公式。文献[8,9]分别对平面单极子天线作了不同的表述。文献[8]确定下限频率(单位为 GHz)的表达式为

$$f_L = \frac{904}{4\pi L + W_1 + W_2} \quad (1)$$

式中, L 为圆形贴片的长度即 $2R$; W_1 、 W_2 分别为等效上边缘和下边缘宽度,这里分别等效为上、下半圆的水平投影长度,即直径 $2R$ 。

该公式得到的估算误差在 $\pm 9\%$ 以内, L 、 W_1 、 W_2 单位均为 m,该公式得到的图 1 下限频率估算值为 1.94 GHz。

文献[9]确定下限频率(单位为 GHz)的表达式为

$$f_L = \frac{32}{R} \quad (2)$$

式中, R 的单位为 mm,利用该公式得到的天线下限频率的估算值为 2 GHz,这与式(1)估算的 1.94 GHz 结果非常接近。

为展宽天线带宽,改善阻抗匹配,在天线的接地板上开方形槽,在贴片上开扇形槽,方形槽和扇形槽的尺寸通过 Ansoft HFSS 仿真软件优化选取。为显示开槽的必要性和优越性,图 2 给出了不加槽、加方形槽和同时加方形、扇形槽的反射损耗曲线。其中不加槽的原天线仅给出了 1 ~ 15 GHz 频段,另外两种情况给出了 1 ~ 31 GHz 频段。图中显示,在 2 ~ 11.4 GHz 范围内,不加槽时 S_{11} 在个别频点附近还在 -10 dB 以上,同时加矩形和扇形槽时比仅加方形槽的反射损耗总体上有所减小,但减小不明显。在 1 ~ 30 GHz 范围内,由图可以看出,同时加矩形和扇形槽时的 -10 dB 阻抗带宽范围为 2 ~ 26 GHz,而仅加方形槽的带宽范围为 2.1 ~ 19.8 GHz,带宽在高频段展宽了 6 GHz 以上。

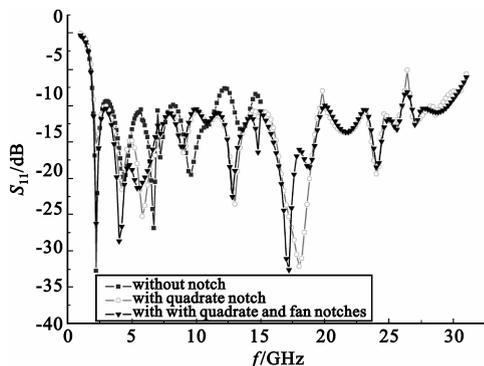


图 2 不同加槽情况的 S_{11} 对比
Fig.2 Comparison of S_{11} in different cases

3 天线的仿真与测试结果

图 3 是天线 S_{11} 仿真与测试结果的对比,由图可知,天线的 -10 dB 仿真阻抗带宽为 2 ~ 26 GHz,而测

试的带宽范围为 2.1 ~ 25.5 GHz,天线的下限频率与文献[8,9]的预估值均吻合较好。图中显示,仿真与测试结果总体吻合较好,但存在一些差异,其中高频段差异比低频段差异明显。分析原因主要是加工误差和焊接工艺造成的,而且测试的实验室环境也对测试结果产生了一定的影响。

图 4 是天线在不同频点的方向图,其中图 4(a)、(b)、(c)、(d)为天线的仿真与实测结果对比图,图 4(e)、(f)分别为天线在 25 GHz 的 E 面和 H 面仿真结果。由图可知,天线在 2.5 GHz、8 GHz、25 GHz 频点上,E 面和 H 面的方向图对称性良好。仿真结果显示方向图在 25 GHz 恶化,其中 E 面的锯齿化现象明显;H 面在 $\theta = 15^\circ、165^\circ、195^\circ、345^\circ$ 附近凹陷,而且

25 GHz 时的 E 面和 H 面交叉极化现象均较为明显。

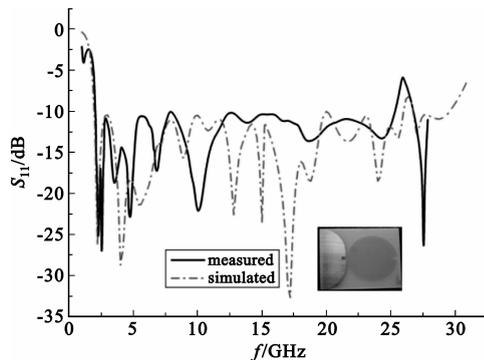


图 3 天线 S_{11} 仿真与测试结果对比
Fig.3 Comparison of simulated and measured results in S_{11}

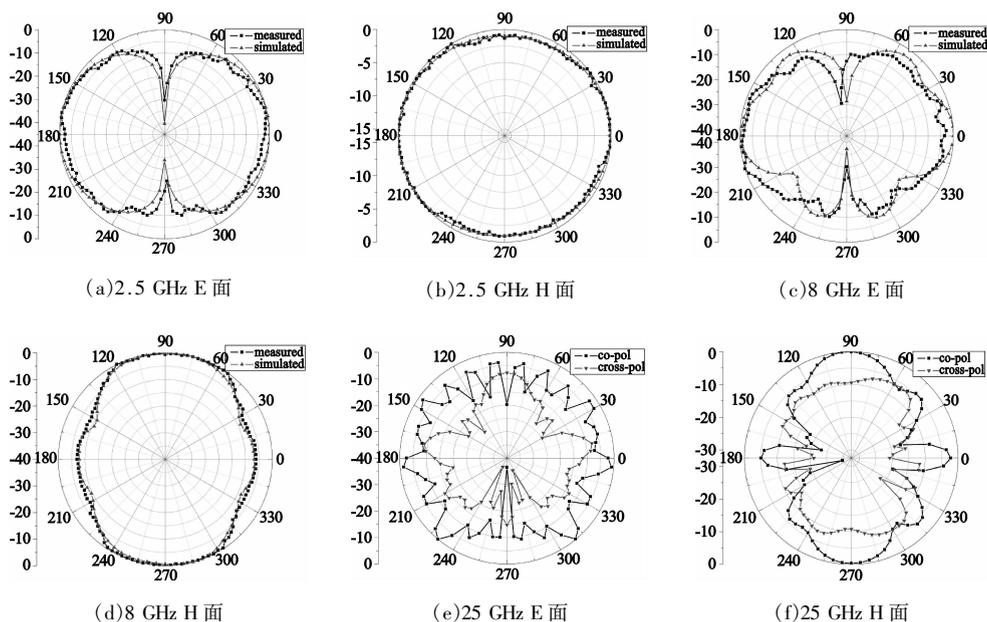


图 4 天线的方向图
Fig.4 Radiation patterns of the antenna

4 结 论

超宽带印刷单极子天线作为超宽带家族中非常重要的一员而应用广泛。本文设计的超宽带天线,通过在接地板上开方形槽和在贴片上开扇形槽,天线的 -10 dB 阻抗带宽由不开槽时的 2 ~ 11.4 GHz (且该频段内有个别点附近的反射损耗略大于 -10 dB) 展宽为 2.1 ~ 25.5 GHz,大大展宽了天线的带宽。仿真和测试结果显示,天线的方向图在整个频段内对称性良好。此外,方向图在高频段 25 GHz 恶化,且交叉极化明显。该天线具有频带宽、低剖

面、辐射全向且对称的优良特性,适用于卫星通信和移动通信等通信系统。

参考文献:

[1] 陈克难,王欣,刘文红. 超宽带 UWB 天线设计[J]. 核电子学与探测技术,2009, 29(2): 376 - 378.
CHEN Ke - nan, WANG Xin, LIU Wen - hong. Design of UWB antennas[J]. Nuclear Electronics and Detection Technology, 2009, 29(2): 376 - 378. (in Chinese)

[2] ZHONG Shun - shi, LIANG Xian - ling. Progress in ultra - wideband planar antennas[J]. Journal of Shanghai University (English Edition), 2007, 11(2): 95 - 101.

[3] 吕文俊,朱洪波. 陷波特性和平面超宽带天线的研究进

- 展[J]. 电波科学学报, 2009, 24(4): 780 - 785.
- LV Wen - jun, ZHU Hong - bo. On the frequency notched planar ultra - wideband antennas[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2009, 24(4): 780 - 785. (in Chinese)
- [4] 刘乘源, 李迎松, 杨晓东, 等. 基于等效面积法的 UWB 天线设计[J]. 系统仿真技术, 2009, 5(4): 263 - 267.
- LIU Cheng - yuan, LI Ying - song, YANG Xiao - dong, et al. Design of UWB antenna basec on equivalent area[J]. System Simulation Technology, 2009, 5(4): 263 - 267. (in Chinese)
- [5] Huang C Y, Hsia W C. Planar elliptical antenna for ultra - wideband communications [J]. Electronics Letters, 2005, 41(6): 296 - 297.
- [6] Hu S, Chen H, Law C L. Backscattering cross section of ultra - wideband antennas [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter, 2007(6): 70 - 73.
- [7] 姜文, 龚书喜, 洪涛, 等. 低雷达截面的超宽带扇形天线 [J]. 电子学报, 2010, 38(9): 2162 - 2165.
- JIANG Wen, GONG Shu - xi, HONG Tao, et al. Fan - shaped antenna with low RCS for ultra - wideband application [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(9): 2162 - 2165. (in Chinese)
- [8] Zhantao Yang, Li Li, Huazhi Wang. Investigation on ultra - wideband printed circular monopole antenna with frequency - notched [C] // Proceedings of IEEE 2008 International Conference on Microwave Milimeter Wave Technology. Nanjing: IEEE, 2008: 1858 - 1861.
- [9] 钟玲玲, 邱景辉, 孙博. 超宽带圆片单极子天线的分析

与设计[J]. 宇航学报, 2008, 29(4): 1387 - 1413.

ZHONG Ling - ling, QIU Jing - hui, SUN Bo. Analysis and design of ultrawide - band circular antenna [J]. Journal of Astronautics, 2008, 29(4): 1387 - 1413. (in Chinese)

作者简介:

徐海洋(1983—), 男, 四川广安人, 2009年获硕士学位, 现为空军工程大学导弹学院博士研究生, 主要研究方向为天线与电磁兼容;

XU Hai - yang was born in Guang'an, Sichuan Province, in 1983. He received the M.S. degree in 2009. He is currently working toward the Ph.D. degree. His research concerns antenna and electromagnetic compatibility.

Email: xuhaiyang.88@163.com

张厚(1962—), 男, 河北武安人, 2002年获博士学位, 现为空军工程大学教授、博士生导师, 主要研究方向为天线与电磁兼容;

ZHANG Hou was born in Wu'an, Hebei Province, in 1962. He received the Ph.D. degree in 2002. He is now a professor and also the Ph.D. supervisor. His research concerns antenna and electromagnetic compatibility.

梁建刚(1975—), 男, 安徽肥东人, 2004年获博士学位, 现为副教授、硕士生导师, 主要研究方向为微波电路与系统。

LIANG Jian - gang was born in Feidong, Anhui Province, in 1974. He received the Ph.D. degree in 2004. He is now an associate professor and also the instructor of graduate students. His research concerns microwave circuit and system.