

文章编号: 2095-4980(2019)05-0832-04

一种超宽带地板开槽单极子天线的设计

王 兵^{1,2}, 魏彦玉²

(1.重庆邮电大学 电子信息与网络工程研究院, 重庆 400065; 2.电子科技大学 电子科学与工程学院, 四川 成都 611731)

摘 要: 研制了一款超宽带印刷单极子天线。通过在接地板和单极子贴片底部开槽, 展宽了天线频带, 改善了天线带内特性, 提高了天线增益。采用 HFSS 软件进行仿真, 对天线模型参数进行优化, 达到最佳设计效果。结果表明, 改进后的天线 -10 dB 阻抗带宽为 2.2~14.6 GHz, 比原不开槽天线的 -10 dB 阻抗带宽增加了 7.2 GHz。天线实现了小型化超宽带的同时, 在整个超宽带匹配频段内, 具有良好的驻波和方向图特性, 在超宽带设备中有着很好的应用前景。

关键词: 超宽带; 单极子天线; 小型化; 开槽

中图分类号: TN821^{+.3}

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201905.0832

Design of a UWB monopole antenna with truncated ground plane

WANG Bing^{1,2}, WEI Yanyu²

(1.Electronic Information and Networking Research Institute, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China; 2.School of Electronic Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 611731, China)

Abstract: The Ultra-Wideband(UWB) printed monopole antenna proposed in this paper is notched in the ground plane and the monopole patch, so that the inner band performance is improved and the bandwidth is further expanded at the high frequency section. The gain of the antenna is improved. The parameters of the antenna are simulated and optimized with HFSS, and the best antenna design is got. The simulated result shows the -10 dB impedance bandwidth of the improved antenna is 2.2-14.6 GHz in contrast to 2.5-7.7 GHz of the initial antenna, as a result, the bandwidth is enhanced by 7.2 GHz. The antenna meets the requirements of the UWB and has good voltage standing-wave ratio performance. Furthermore, good radiation patterns indicate that the proposed antenna is well suited to be integrated within various devices for ultra-wideband application.

Keywords: Ultra-Wideband; monopole antenna; miniaturization; notch

近年来, 无线通信技术发展十分迅猛。超宽带(UWB)通信系统由于其高传输速率、高容量、低功耗等特性在精确定位系统、探地雷达以及短距通信等方面已有广泛应用^[1-3]。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。随着无线通信技术的不断发展, 无论是军事还是民用通信系统, 不仅要求高质量地传输语音、数据和图像等信息, 同时还要求通信系统宽带化和小型化。与此相适应, 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, 天线的宽带化和小型化设计与应用是大势所趋^[4-8]。UWB 天线的设计与研究作为超宽带通信的关键技术, 是近年来天线与传播领域的一大热点^[9-10]。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。一般情况下, 天线的尺寸与天线的效率和带宽性能呈反向变化的关系, 因此需要在尺寸与效率和带宽之间找到平衡^[11-12]。超宽带印刷单极子天线具有质量轻、体积小、低剖面、方向图全向、易于集成等优点, 在无线通信系统中获得了广泛应用^[13-14]。超宽带印刷单极子天线的小型化, 意味着其物理尺寸更小, 风阻更小, 成本更低, 天线具有更好的隐蔽性和稳固耐用性, 但同时要保证天线的带宽以及增益十分困难^[15-16]。本文设计了一款单极子天线, 在天线的接地板和单极子贴片的底部均开三角形槽, 一方面展宽了天线的带宽, 另一方面提高了天线在工作频段内的增益。该天线阻抗相对带宽达到了 147% ($S_{11} \leq -10$ dB), 在最大辐射方向增益可达 6.16 dBi。天线在整个工作频段范围内辐射特

收稿日期: 2018-03-27; 修回日期: 2018-05-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61771117); 重庆邮电大学博士科研基金资助项目(E010A2017009)

性稳定,在超宽带无线通信系统中有着良好的应用前景。

1 天线的结构与仿真

天线的结构和尺寸如图1所示,天线印制在一块厚度为0.762 mm,相对介电常数为2.2的低耗Rogers 5880基板上,天线的平面尺寸为 $W \times L$,实物图如图2所示。该天线采用阻抗为 50Ω 的微带线馈电,微带线的宽度为2.2 mm。介质基板上的辐射贴片尺寸为 $W_1 \times L_1$,对辐射贴片底部进行切角,切角的尺寸为 $a \times b$ 。将印制天线的地板开三角形槽,三角形槽的尺寸为 $m \times n$ 。

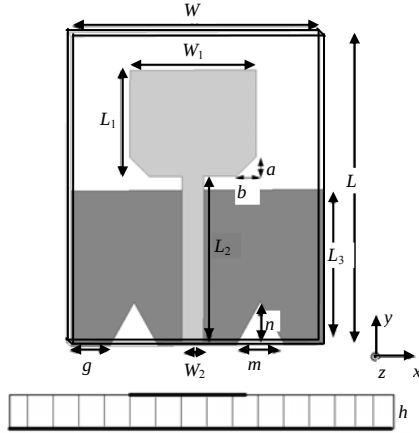


Fig.1 Geometry of the proposed antenna
图1 天线结构图

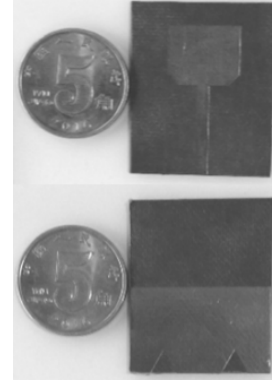


Fig.2 Photograph of fabricated antenna
图2 天线实物图

通过电磁仿真软件 HFSS 对天线各项参数进行优化,得出了天线结构的最终尺寸: $W=32 \text{ mm}$, $L=39 \text{ mm}$, $W_1=18 \text{ mm}$, $L_1=16 \text{ mm}$, $W_2=2.2 \text{ mm}$, $L_2=20 \text{ mm}$, $L_3=19.4 \text{ mm}$, $a=3 \text{ mm}$, $b=3 \text{ mm}$, $m=6 \text{ mm}$, $n=4.5 \text{ mm}$, $g=5 \text{ mm}$, $h=0.762 \text{ mm}$ 。天线工作频带为2.2~14.6 GHz。图3给出了辐射贴片切角、地板开槽天线与辐射天线不切角、地板不开槽天线的阻抗带宽对比图。从图中可以看出,天线-10 dB 阻抗带宽从原来的5.2 GHz 展宽到12.4 GHz,展宽了7.2 GHz,带内特性得到了改善。

为更好地说明辐射贴片切角、地板开槽对天线性能的影响,图4给出了天线与辐射贴片不切角、地板不开槽天线在9 GHz 时的表面电流分布图。从图4(a)可以看出,在9 GHz 时,不开槽天线的电流主要分布在馈线附近,矩形贴片分布电流小,信号大部分被反射,天线的辐射效率低。开槽天线在9 GHz 时的表面电流分布如图4(b)所示。从图中可以看出,馈线附近的电流分布明显小于不开槽天线,信号只有小部分被反射,大部分能量经贴片辐射出去,天线的辐射效率明显高于不开槽天线。从图3和图4的对比可以看出,辐射贴片切角、地板开槽后,不仅天线的带宽得到拓展,天线的辐射性能也得到了提高。

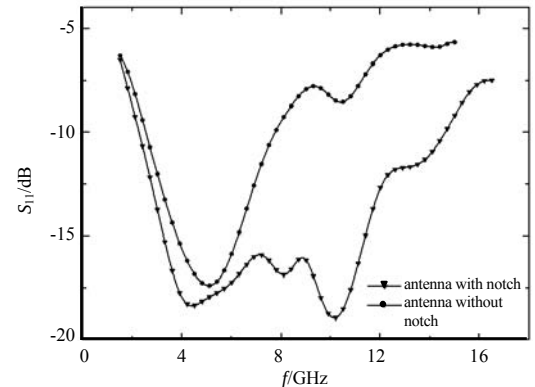


Fig.3 Comparison of return loss in different antennas
图3 开槽与不开槽情况下2种天线反射系数的对比

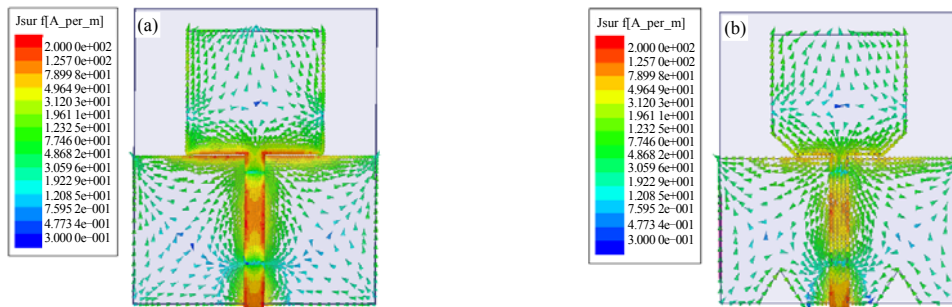


Fig.4 Comparison of simulated surface current distribution at the frequency of 9 GHz
图4 两种天线在9 GHz 处的表面电流分布仿真结果对比

2 天线的仿真与测试结果

图 5 给出了天线反射系数的测试结果与仿真结果,从图中可以看出:测试结果与仿真结果吻合较好,实测图在工作频段内有偏移,存在偏差主要是由于测试环境、SMA 接头的焊接、天线加工的尺寸精确度和介质基板介电常数不均匀等因素,但实测结果与仿真结果总体吻合良好,偏差在可接受的范围内。

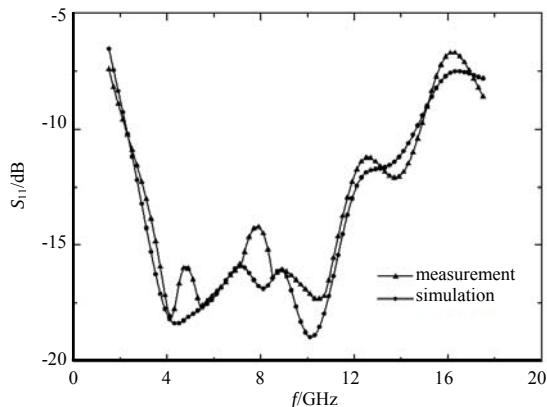


Fig.5 Simulated and measured return loss of the proposed antenna
图 5 天线反射系数的测试结果与仿真结果

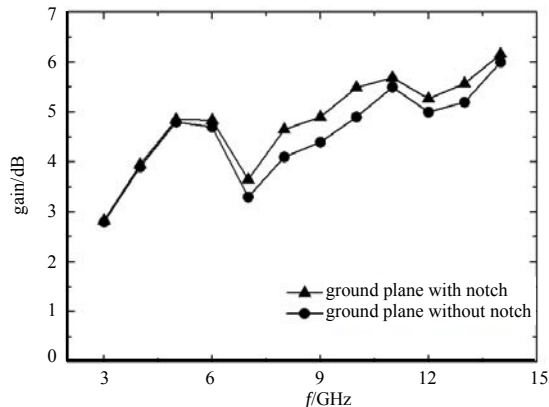


Fig.6 Comparison of simulated maximum gain in different antennas
图 6 地板开槽与不开槽天线的最大增益仿真结果对比

图 6 为地板开槽单极子天线与地板不开槽单极子天线的增益仿真结果对比,在低频段 3~6 GHz 范围内,地板开槽天线的最大增益比地板不开槽天线的最大增益有所增加,但增加不明显。在高频段 6~15 GHz 的频段内,开槽天线的最大增益增加明显。在 10 GHz 时,天线的最大增益从 4.9 dBi 增加到了 5.49 dBi,增加了 12%。这主要是由于在地板上开三角形槽后,天线辐射贴片上的电流得到了增强,天线辐射效率增加,天线增益提高。

图 7 分别是天线在 3 GHz,6 GHz,9 GHz 的辐射方向图仿真结果。从图中可以看出,3 GHz 时, x - z 面,天线的辐射图接近圆形,全方向辐射, y - z 面时,天线的辐射图类似“8”字型,该天线的方向性好,具有很好的对称性,且天线的交叉极化较小。随着频率的升高,在 6 GHz 和 9 GHz 时,天线在 x - z 面的辐射方向图保持接近圆形,保持全向辐射。在 y - z 面虽然天线的辐射方向图有点畸变,但依然保持类似“8”字型辐射,天线辐射特性保持良好。虽然频率升高,天线的交叉极化有所增加,但依然较弱。从上面的分析可以看出,天线在很宽的频段内保持全向辐射,天线辐射良好。高频时,由于接地板辐射出更多的电磁波,从而使得天线的全向性变差。

3 结论

本文设计了一款地板开槽的单极子超宽带天线,该天线采用微带馈电结构,具有结构简单、加工制作容易、性能良好、易于微波电路集成等

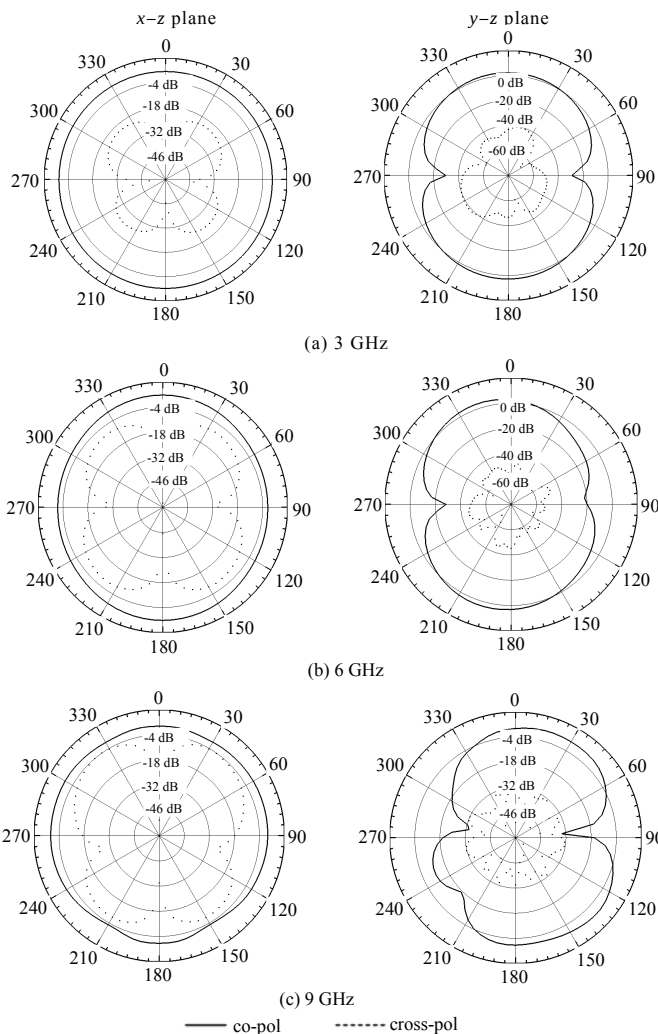


Fig.7 Simulated radiation patterns of the proposed antenna
图 7 天线方向图仿真结果

特点。通过在矩形辐射贴片底部切角来实现超宽带的特性,在接地板开槽使得天线增益得到提高,增加了天线的辐射效率。借助 HFSS 软件对天线进行了仿真优化,天线的 $S_{11} \leq -10$ dB 阻抗带宽为 2.2~14.6 GHz,其相对带宽达到 147%。该天线具有良好的辐射特性和较为稳定的增益,在超宽带通信系统中具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] LIU J, GONG S, XU Y, et al. Compact printed ultra-wideband monopole antenna with dual band-notched characteristics[J]. *Electronic Letters*, 2008, 44(12): 710–711.
- [2] 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. (ZHONG Shunshi. *Microstrip antenna theory and application*[M]. Xi'an, China: Xidian University Press, 1991.)
- [3] LI J, YANG S, GUO Y, et al. Wideband dual-polarized magnetically coupled patch antenna array with high port isolation[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2016, 64(1): 117–125.
- [4] GE L, LUK K M. Linearly polarized and dual-polarized magneto-electric dipole antennas with reconfigurable beamwidth in the H-plane[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2016, 64(2): 423–431.
- [5] LIU N W, ZHU L, CHOI W W, et al. A low-profile aperture-coupled microstrip antenna with enhanced bandwidth under dual resonance[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2017, 65(3): 1055–1062.
- [6] 李茂, 张弘, 李智, 等. 用于平板电脑的小型化 LTE/GSM/UMTS 多频段天线[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2015, 13(4): 596–600. (LI Mao, ZHANG Hong, LI Zhi, et al. Multi-band miniaturized antenna employed in tablet computer for LTE/GSM/UMTS applications[J]. *Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology*, 2015, 13(4): 596–600.)
- [7] ABDOLLAHVAND M, DADASHZADEH G, MOSTAFA D. Compact dual band-notched printed monopole antenna for UWB application[J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2010(9): 1148–1151.
- [8] CHEN X, WU D, YANG L, et al. Compact circularly polarized microstrip antenna with cross-polarization suppression at low-elevation angle[J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2017(16): 258–261.
- [9] 叶喜红, 何芒, 周平源. 宽带宽波束圆极化微带八木天线[J]. 电波科学学报, 2015, 30(4): 759–763. (YE Xihong, HE Mang, ZHOU Pingyuan. Broadband wide beam-width circularly polarized microstrip yagi antenna[J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2015, 30(4): 759–763.)
- [10] LEE H L, LEE B. Compact broadband dual-polarized antenna for indoor MIMO wireless communication systems[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2016, 64(2): 766–770.
- [11] 窦硕鹏, 潘仲明, 张卓航. 一种用于 WSN 的微小型 UWB 雷达天线设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2017, 15(5): 818–822. (DOU Shuopeng, PAN Zhongming, ZHANG Zhuohang. Design of a UWB radar antenna with a miniature configuration for WSN applications[J]. *Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology*, 2017, 15(5): 818–822.)
- [12] GOU Y, YANG S, LI J, et al. A compact dual-polarized printed dipole antenna with high isolation for wideband base station applications[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2014, 62(8): 4392–4395.
- [13] LIANG Z, LIU J, ZHANG Y, et al. A novel microstrip quasi Yagi array antenna with annular sector directors[J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2015, 63(10): 4524–4529.
- [14] 宋跃, 焦永昌, 张福顺, 等. 一种新型超宽带渐变槽线天线设计[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2009, 36(6): 1034–1038. (SONG Yue, JIAO Yongchang, ZHANG Fushun, et al. Design of a novel ultra-wideband tapered slot antenna[J]. *Journal of Xidian University(Natural Science Edition)*, 2009, 36(6): 1034–1038.)
- [15] 曹卫平, 蔡彬. 频率与方向图可重构锯齿偶极子微带天线的设计[J]. 桂林电子科技大学学报, 2014, 34(4): 264–267. (CAO Weiping, CAI Bin. Design of reconfigurable frequency and radiation pattern saw-tooth-dipole microstrip antenna[J]. *Journal of Guilin University of Electronic Technology*, 2014, 34(4): 264–267.)
- [16] SU S W, WONG K L, TANG C L. Ultra-wideband square planar monopole antenna for IEEE 802.16a operation in the 2–11 GHz band[J]. *Microwave and Optical Technology Letter*, 2004, 42(6): 463–466.

作者简介



王 兵(1981–), 男, 四川省乐山市人, 博士, 主要研究方向为微波技术与天线毫米波电路与系统, email: wangbing@cqupt.edu.cn.

魏彦玉(1971–), 男, 河南省平顶山市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为高功率微波电子器件、太赫兹电子器件与系统。