

Design of UWB Antenna with the WiMAX Band-Notched Characteristic

Zhijun Tang*, Zhihao Zeng, Jie Zhan, Zaifang Xi

School of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan Hunan
Email: *zjtang@hnust.edu.cn

Received: Dec. 4th, 2015; accepted: Dec. 19th, 2015; published: Dec. 25th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Considering the effects of ultra wideband communication systems on the operation of the other existing wireless communication systems, a kind of UWB antenna with WiMAX notched-band is proposed. The size of the antenna is 0.8 mm × 30 mm × 34 mm. A circular arc shaped T patch is used as the radiating element of the antenna, and a notched band is realized by embedding the L shaped slot on the radiating patch. The simulation results show that the bandwidth of the antenna is 2.9 - 10.8 GHz with the notched band of 3.3 - 3.7 GHz; the average gain of the antenna is about 4.0 dBi; and it has a stable quasi omnidirectional radiation characteristic. The antenna can meet the application requirements of a variety of ultra wideband communication systems.

Keywords

Ultra-Band Antenna, Notch Characteristic, T-Shaped Patch, L-Shaped Slot

具有WiMAX陷波特性的超宽带天线设计

唐志军*, 曾智豪, 詹杰, 席在芳

湖南科技大学信息与电气工程学院, 湖南 湘潭

Email: *zjtang@hnust.edu.cn

收稿日期: 2015年12月4日; 录用日期: 2015年12月19日; 发布日期: 2015年12月25日

*通讯作者。

文章引用: 唐志军, 曾智豪, 詹杰, 席在芳. 具有 WiMAX 陷波特性的超宽带天线设计[J]. 天线学报, 2015, 4(2): 9-16.
<http://dx.doi.org/10.12677/ja.2015.42002>

摘要

考虑到超宽带通信系统对现有其它无线通信系统运行的影响,设计一种具有WiMAX陷波特性的超宽带天线。该天线尺寸大小为 $0.8\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 34\text{ mm}$,采用圆弧状T形贴片作为辐射单元,并通过在该辐射贴片上开L形槽来实现陷波特性的。仿真实验结果表明:天线的带宽为 $2.9\sim 10.8\text{ GHz}$,同时具有 $3.2\sim 3.8\text{ GHz}$ 的陷波,平均增益约为 4.0 dBi ,并具有稳定的准全向性辐射特性。该天线能够满足多种超宽带通信系统的应用要求。

关键词

超宽带天线, 陷波特性的, T形贴片, L形槽

1. 引言

超宽带通信技术(UWB, Ultra-Wide Band)是一种以极低功率谱密度在短距离内高速传输数据的宽带无线通信技术。认定超宽带天线有两种不同的标准:一种定义是1990年由美国国防部先进研究项目署(DARPA)报告提出,指分数带宽超过25%的天线;另一种定义最近由联邦通信委员会(FCC)提出,将25%改为20%。同时FCC规定 $3.1\text{ GHz}\sim 10.6\text{ GHz}$ 之间总共 7.5 GHz 带宽范围属于UWB使用频段。超宽带技术具有带宽大、传输速率高、抗干扰性强等优点,因此被广泛应用于通信、雷达和军事等领域[1]-[3]。作为超宽带通信系统的重要组成部分,超宽带天线这几年受到了越来越多的关注和重视,许多具有不同形状辐射贴片或缝隙的单极子UWB天线相继被提出。

然而,UWB系统的宽频特性将干扰现有其它无线通信系统的运行。如IEEE WiMAX网络($3.3\sim 3.7\text{ GHz}$)就工作在UWB频带内。因此,设计具有陷波特性的UWB天线就显得十分重要。目前,国内外学者在设计超宽带天线时,为使天线具有陷波特性的,采用了多种不同技术来实现目的,例如,可以在天线的结构中附加寄生结构单元贴片[4] [5],使用分形结构[6] [7],改变调谐枝节结构[8] [9],嵌入不同形状大小的槽[10]-[13]等。其中在辐射贴片或者介质板上嵌入不同形状大小槽的方法应用最为广泛。嵌入槽结构天线比较容易产生陷波,槽的大小,形状,宽窄等参数皆对产生陷波的性能有直接影响,可以决定产生陷波的频率范围,陷波峰值的大小以及带宽等,然而对整个频带内阻抗匹配影响并不大。常规槽嵌入方法是使槽口成线性,即槽口宽度很窄,可以改变槽口长度来调节陷波特性的,灵活性大大增加。槽的形状是各式各样的,比如直线形、T形、H形、O形等。不管槽的形状如何变化,其目的大多是通过改变天线的表面的电流分布来使得陷波具有不同的特性。

基于此,文中设计了一种具有WiMAX陷波的小型微带超宽带天线。天线的辐射单元采用T形贴片,通过在该T形辐射贴片上嵌入L形槽,使其在窄带WiMAX频段($3.3\sim 3.7\text{ GHz}$)产生陷波,避免对其产生干扰。此外,采用微带反馈传输线和局部接地的方法,使得所设计的超宽带天线在较宽的频带内具有良好的阻抗匹配,高增益和准全向辐射特性。

2. 天线结构设计

文中所设计的超宽带天线的结构如图1所示。从图1中可以看出,天线为T形弧状结构,为了缩减天线尺寸,该天线由辐射贴片、介质基板和地平面三层组成,其尺寸为 $0.8 \times 30 \times 34\text{ mm}^3$,介质基板采用FR4材料,厚度为 0.8 mm ,介电常数为4.4。在介质基板上的一面附着金属片作为辐射贴片,辐射贴片的窄末端与微带线相连进行馈电,使用CST微波工作室进行天线的建模与仿真工作。计算仿真设置天

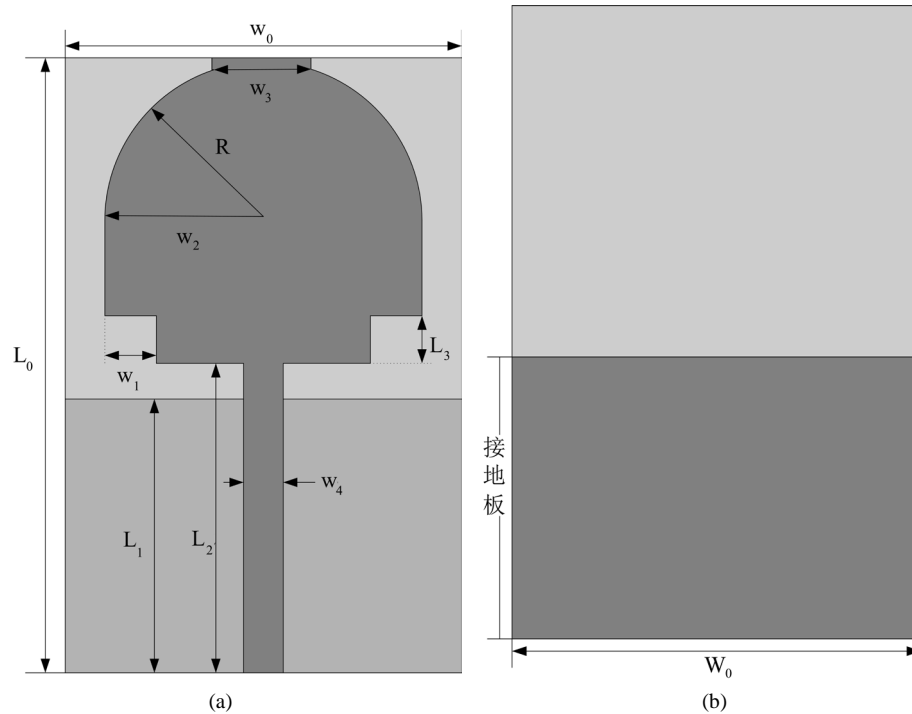


Figure 1. The geometry of the antenna: (a) top view, (b) back view
图 1. 天线几何结构: (a) 正面, (b) 背面

线特征阻抗为 50Ω ，使天线对传输线系统具有良好的性能匹配。同时， 50Ω 是作为标准特性阻抗，是根据空气同轴线中最小衰减条件和最大功率容限条件折衷考虑的，也是大多数射频测试仪器的输入特性阻抗。介质基板的另一面附着一层矩形的金属片作为接地板，接地板长度为 W_0 ，宽度为 L_1 。

根据上文所阐述的设计原理和步骤，使用电磁仿真软件 CST 微波工作室对天线进行初始化设计，天线的几何结构尺寸参数如图中所示。图 1 中天线的几何结构主要参数分别为： $W_0 = 30\text{ mm}$ ， $W_1 = 4\text{ mm}$ ， $W_2 = 11\text{ mm}$ ， $W_3 = 6\text{ mm}$ ， $W_4 = 2.2\text{ mm}$ ， $L_0 = 34\text{ mm}$ ， $L_1 = 12\text{ mm}$ ， $L_2 = 12.8\text{ mm}$ ， $L_3 = 4\text{ mm}$ ， $R = 11\text{ mm}$ 。

通常，判断一个超宽带天线是否有意义，最终取决于它能否与超宽带设备成功地集成在一起。该文中设计的天线具有较小的体积和较低的剖面尺寸，符合小型天线的设计规范，方便实现该天线与小型超宽带系统的良好性能匹配与集成化设计。在天线的设计过程中，通常可以通过仿真结果来分析出天线尺寸参数的变化对天线性能指标的影响规律，从而快速有效地对天线结构进行优化，从而更好地完成天线设计，以满足需求。

阻抗匹配是天线的重要参数之一，良好的阻抗匹配可以得到最高的功率传输和效率。天线匹配的质量通常采用驻波比(VSWR)或回波损耗参数 S_{11} 来衡量。驻波比 $VSWR < 2$ ， S_{11} 低于 -10 dB 左右的情况属于较好的一类。从现实的意义上来说，第一，现代超宽带天线不需要覆盖尽可能宽的频带，它只要也必须覆盖某种特定的频带即可，从这一点上说，多余的带宽会恶化系统的性能，反而是无效带宽；第二，它与多窄带天线不同的是，在同一时间内，它使用的哪怕不是全部工作带宽也是绝大部分带宽。通过仿真分析的结果，从图 2、图 3 中可以看出，在满足回波损耗小于 -10 dB 或 $VSWR < 2$ 的条件下，该天线的阻抗带宽为 $2.9\sim 10.8\text{ GHz}$ ，该带宽可以覆盖整个 FCC 规定的 UWB 频段。该天线在整个频段内辐射性能良好，不存在无效带宽，具有准全向辐射的特性。

为了使天线的实用性更强，应用性更好，考虑在 WiMAX 频段内产生陷波，以避免对现有 WiMAX

系统的影响, 增强天线在实际工作中的实用性, 下面考虑分析优化改变天线的结构, 使之在 3.3~3.7 GHz 内产生陷波。

3. 陷波超宽带天线设计与分析

为了使该天线具有陷波的特性, 在贴片上嵌入 L 形槽。L 形槽的宽度为 S , 总长度为 $L = L_s + L_d$, L_s 为 L 形槽的长边, L_d 为 L 形槽的短边, 如图 4 所示。该 L 形开槽可使天线产生陷波特性。其中谐振频率可近似由下列公式计算。

$$\varepsilon_{eff} \approx \frac{\varepsilon_r + 1}{2} \quad (1)$$

$$f_{notched} = \frac{c}{2L\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \quad (2)$$

其中, ε_{eff} 为有效介电常数, $f_{notched}$ 为谐振频率, ε_r 为介质板的介电常数, c 为光速。L 为折线型结构单元的长度。通过分别改变 L 形开槽位置和长度, 可使天线在 WiMAX 频段内电压驻波比 $VSWR > 2$ (或 $S_{11} > -10$ dB), 在 FCC 的其他频段内 $VSWR < 2$ (或 $S_{11} < -10$ dB), 优化了超宽带天线的特性, 实现天线的陷波

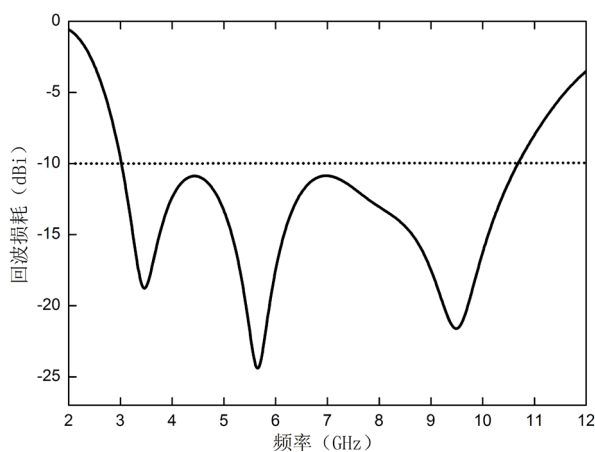


Figure 2. The return loss of the antenna

图 2. 天线的回波损耗

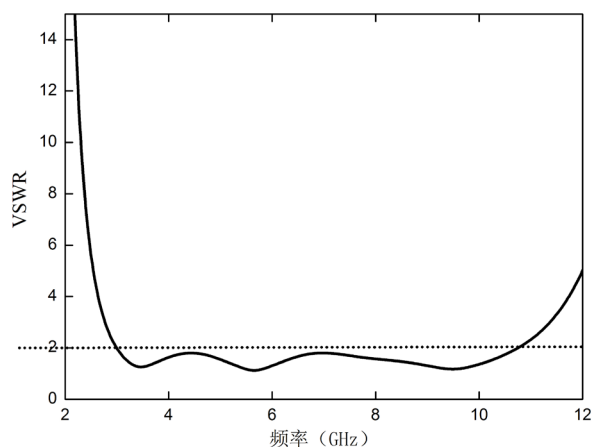


Figure 3. The VSWR of the antenna

图 3. 天线的驻波比

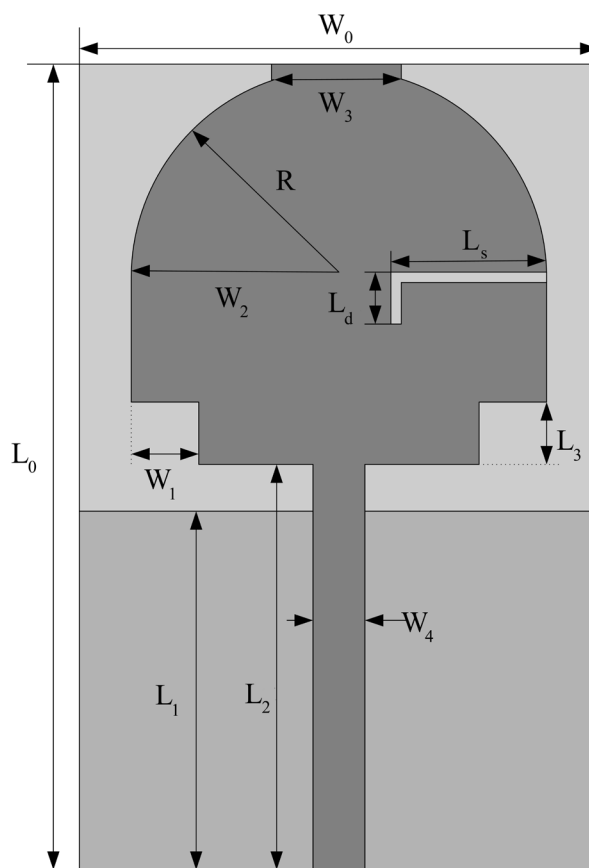


Figure 4. The geometry of the antenna with a slot
图 4. 开槽后的天线几何结构(正面)

特性，以避免对窄带 WiMAX 系统工作的影响，从而增强了天线的实用性。

在进行参数研究之前，利用电磁仿真软件 CST 微波工作室对天线表面电流分布进行了分析。在通带内天线的表面均匀分布着电流，而在阻带内天线的表面电流集中在圆弧状 L 形槽附近。这表明圆弧状 L 形槽结构能够通过改变天线的表面电流分布，从而形成 L 形槽的参数谐振结构，使天线实现陷波功能。经过多次仿真计算，将槽的各个参数大致确定，对参数的值在小范围变化中进行优化设计。L 形槽宽度 S 为 0.2 mm ，长边长 L_s 为 12 mm ，短边长 L_d 为 1 mm 。槽在不同的位置，使陷波产生的频段也不同。如图 4 所示，文中天线通过 CST 微波工作室的建模仿真分析，优化其参数，确定了嵌入槽的位置。而 L 形槽长边和短边使用不同的参数，其辐射特性也会有很大的不同。通过在建模仿真中发现，L 形槽的长边越长，陷波位置向低频率段偏移，而 L 形槽短边则可以控制陷波的频段宽度，经过多次仿真分析，当长边长 L_s 为 12 mm ，短边长 L_d 为 1 mm 时，陷波的位置正好在 $3.2\sim 3.8\text{ GHz}$ 频段。可以知道 L 形槽的各个参数对陷波中心频率的影响程度，即 L 形槽中多个参数都对陷波中心频率有较大影响。可以通过调整 L 形槽中的一个影响较大的参数将陷波控制在理想的位置，并通过改变 L 形槽的长边或短边的长度对陷波中心进行微调，使中心频率的位置更为准确。相对于线形槽只能靠改变槽的长度参数来控制陷波位置，L 形槽结构的优势在于能够以槽参数组合的形式来达到此目的。显然，这样的陷波结构更加灵活，更能够适应实际生产和应用的需要。

通过仿真分析，具有陷波特性的天线的回波损耗如图 5 所示。从图 5 中可以看出，天线在 $3.2\text{ GHz}\sim 3.8\text{ GHz}$ 频段附近产生陷波，其回波损耗 $S_{11} > -10\text{ dB}$ 。从图 6 中也可以看出，在 $2.9\text{ GHz}\sim 10.8\text{ GHz}$ 频率范

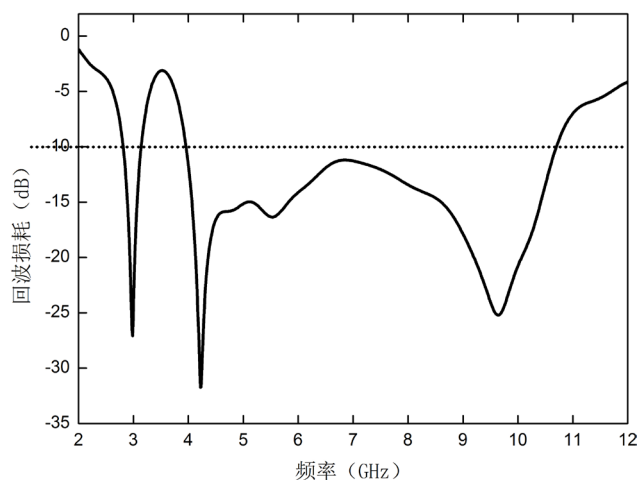


Figure 5. The return loss of the antenna with a notched characteristic
图 5. 具有陷波特性的天线的回波损耗

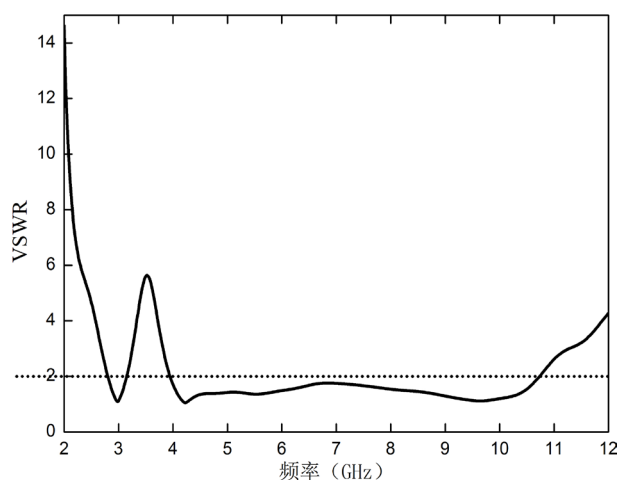


Figure 6. The VSWR of the antenna with a notched characteristic
图 6. 具有陷波特性的天线的驻波比

围内，除了在 3.2 GHz~3.8 GHz 频段内天线驻波比(VSWR)都小于 2，符合预期的性能要求，达到了设计目的。

从应用的角度考虑，超宽带天线在具备陷波特性的同时，需要在通带内具备较高的天线增益，以及全向性或准全向性远场辐射特性。图 7 为天线增益随工作频率变换曲线，为了更好地说明天线的阻带增益特性，图中只显示 2.0 GHz~6.0 GHz 频率范围内的增益曲线。从图 7 中可以看出，天线在通带内增益较大，而在 3.2~3.8 GHz 频段内增益曲线产生了凹陷，也就是说，在阻带范围内天线的增益明显下降，表明了该天线具有良好的阻带特性。

图 8 和图 9 分别为该天线在 3 GHz、6 GHz、9 GHz 的 E 面和 H 面远场辐射方向图。从图 8 可以看出，E 面的远场辐射方向图呈哑铃形状，各个频段的辐射特性具有对称、近似等幅和准全向性特点，天线的 E 面辐射特性与单极子 UWB 天线类似。从图 9 可以看出，3 GHz 和 6 GHz 的 H 面的远场辐射方向图在整个频段内近似为等幅和全向性，而 9 GHz 的 H 面的远场辐射方向图呈侧压缩的“8”字形，幅值也小于 3 GHz 和 6 GHz 的远场。这说明该天线的低频段 H 面远场辐射性能优于高频段 H 面远场辐射性能。

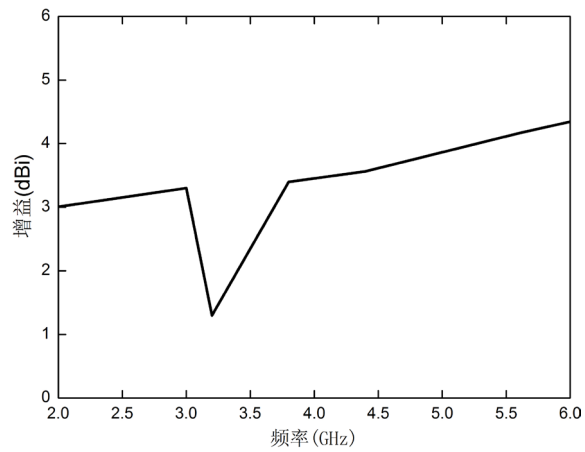


Figure 7. The gain of the antenna

图 7. 天线的增益

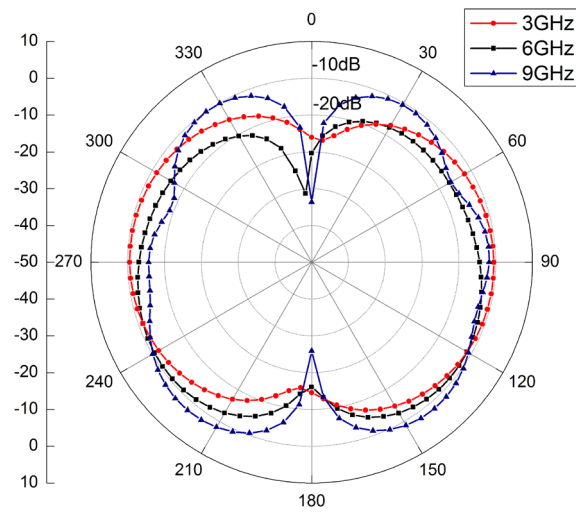


Figure 8. Radiation performance of the antenna in E-plane

图 8. 天线 E 面辐射特性

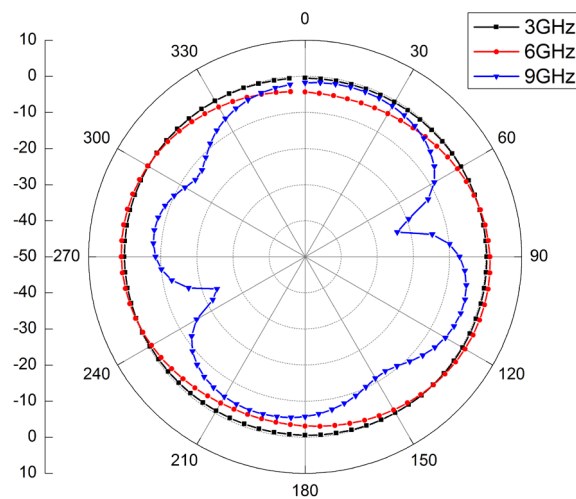


Figure 9. Radiation performance of the antenna in H-plane

图 9. 天线 H 面辐射特性

4. 结论

文中提出一种具有 WiMAX 频段陷波特性的超宽带天线。该天线的陷波结构由辐射贴片上嵌入的 L 形槽产生。对 L 形槽的参数研究表明, 相对于线形槽, 这种开槽结构能够灵活地用槽参数组合的形式更有效地对陷波中心频率进行控制。同时, 通过实验仿真结果分析, 表明该天线具有良好性能。

基金项目

国家自然科学基金(61377024, 61274026, 61376076); 湖南省教育厅青年项目(14B060); 湖南省科技计划项目(2014FJ2017, 2013FJ2011)。

参考文献 (References)

- [1] Chen, Z.N., See, T.S.P. and Qing, X.M. (2007) Small Printed Ultrawideband Antenna with Reduced Ground Plane Effect. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **55**, 383-388. <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2006.889823>
- [2] Zayd, W., Ismail, A. and Isal, M.M. (2009) Improved Performance of UWB Antenna by Substrate Perforation and Slit Notch. *IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications*, Kuala Lumpur, 15-17 December 2009, 33-36.
- [3] Li, W.W., Cai, L.S. and You, B.Q. (2009) Design of Printed Notched-Monopole UWB Antenna. *IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems*, 20-22 November 2009, 271-274.
- [4] Antonino-Daviu, E., Cabedo-Fabres, M. and Ferrando-Bataller, M. (2010) Modal Analysis and Design of Band-Notched UWB Planar Monopole Antennas. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **58**, 1457-1467. <http://dx.doi.org/10.1109/TAP.2010.2044323>
- [5] Li, T., Zhai, H.Q. and Li, G.H. (2012) Compact UWB Band-Notched Antenna Design Using Interdigital Capacitance Loading Loop Resonator. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **11**, 724-727. <http://dx.doi.org/10.1109/LAWP.2012.2204851>
- [6] Su, S.-W., Wong, K.-L. and Chang, F.-S. (2005) Compact Printed Ultra-Wideband Slot Antenna with a Band-Notched Operation. *Microwave and Optical Technology Letters*, **45**, 128-130. <http://dx.doi.org/10.1002/mop.20746>
- [7] Hu, S.-J., Wang, G.-M. and Zheng, L. (2012) Design of a Novel Triangular Wideband Microstrip Slot Antenna with Band-Notched Characteristic. 2012 *5th Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM)*, Harbin, 27-30 May 2012, 191-194.
- [8] Li, B., Hong, J.S. and Wang, B.Z. (2012) Switched Band-Notched UWB/Dual-Band WLAN Slot Antenna with Inverted S-Shaped Slots. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **11**, 572-575. <http://dx.doi.org/10.1109/LAWP.2012.2200228>
- [9] Emadian, S.R., Ghobadi, C. and Nourinia, J. (2012) Bandwidth Enhancement of CPW-Fed Circle-Like Slot Antenna with Dual Band-Notched Characteristic. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **11**, 543-546. <http://dx.doi.org/10.1109/LAWP.2012.2199274>
- [10] 程勇, 吕文俊, 程崇虎. 一种小型陷波多用途超宽带天线[J]. *微波学报*, 2007, 23(1): 20-24.
- [11] 叶亮华, 褚庆昕. 一种小型的具有良好陷波特性的超宽带缝隙天线[J]. *电子学报*, 2010, 38(12): 2862-2867.
- [12] Li, W.T., Hei, Y.Q., Feng, W., *et al.* (2012) Planar Antenna for 3G/Bluetooth/WiMAX and UWB Applications with dual Band-Notched Characteristics. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **11**, 61-64. <http://dx.doi.org/10.1109/LAWP.2012.2183671>
- [13] Mehranpour, M., Nourinia, J. and Ghobadi, C. (2012) Dual Band-Notched Square Monopole Antenna for Ultrawideband Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **11**, 172-175. <http://dx.doi.org/10.1109/LAWP.2012.2186552>