

平面小型化双陷波天线设计

刘阿玄, 陈 蕾, 钟显江, 刘淑芳

(西安电子科技大学天线与微波技术国家重点实验室, 陕西西安 710071)

摘 要: 本文设计了一种具有双频陷波特性的平面小型化单极子天线. 该天线由开有 π 型与 W 型缝隙的辐射贴片和一对 L 型分支组成. L 型分支的作用是能够激励额外谐振, 从而增加阻抗带宽, π 型和 W 型缝隙能够实现双陷波特性的. 该天线可以实现超过 130% 的带宽 (2.77 ~ 13.62 GHz), 最大的特点是具有 $12 \times 18 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 的小型化尺寸. 最终的仿真和测试结果显示其在整个超宽带频段内具有良好的陷波特性和增益和全向辐射特性.

关键词: 小型化; 单极子天线; 双陷波性能; 超宽带应用

中图分类号: TN821 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2016)10-2495-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2016.10.030

A Miniaturized Planar Monopole Antenna with Dual Band-Notched Function for UWB Applications

LIU A-xuan, CHEN Lei, ZHONG Xian-jiang, LIU Shu-fang

(Science and Technology on Antenna and Microwave Laboratory, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: A novel miniaturized planar monopole antenna for ultra-wideband (UWB) applications with dual band-notched function is proposed in this paper. The proposed antenna consists of an ordinary square radiating patch with a π -shaped slot, a modified W-shaped slit and a pair of L-shaped branches. By adding the pair of L-shaped branches, additional resonances are excited and wider impedance bandwidth can be produced. To generate dual band-notched characteristics, a π -shaped slot in the radiating patch surrounded by a modified W-shaped slit is etched. The antenna provides a wide usable fractional bandwidth of more than 130% (2.77 - 13.62GHz). In addition, the designed antenna has a small size of $12 \times 18 \times 1.6 \text{ mm}^3$ while showing the band-rejection performance, covering all the 3.5/5.5-GHz WiMAX, 4-GHz C-bands and 5.2/5.8-GHz WLAN. Simulated and measured results show good band-notched functions, stable gain and nearly omnidirectional radiation patterns of the proposed antenna over the entire UWB frequency.

Key words: miniaturized; monopole antenna; dual band-notched function; UWB applications

1 引言

自从 2004 年美国联邦通信协会 (FCC) 发布了 3.1 ~ 10.6 GHz 可用于商业通信的超宽带频带^[1], 该频带得到了广泛的关注^[2]. 在超宽带 (UWB, Ultra-WideBand) 通信系统中, 关键的技术就是设计一种可以覆盖整个工作频段, 实现宽带特性的天线. 由于单极子天线具有结构简单、尺寸小、成本低等优点, 因此其可被用于大量的研究中以设计成不同的结构^[3,4].

UWB 的频率范围为 3.1 ~ 10.6 GHz, 在该范围内会对已存在的无线通信系统造成干扰, 比如 WiMAX (3.3 ~ 3.6 GHz)、C 频段 (3.7 ~ 4.2 GHz) 和 WLAN (5.2 ~ 5.8 GHz), 所以具有单频陷波或者双频陷波特性的超宽

带天线非常重要. 近些年研究出了很多可以形成陷波特性的单极子天线, 最为广泛的方法就是在贴片上或者地板上开槽, 比如 U 型槽、C 型槽^[5-8]. 还有一种形成陷波的方法是在辐射单元或地板附近引入寄生带^[9-12], 但是由于其体积大、结构复杂的缺点导致加工成本的增加和天线难以集成.

本文将介绍一种平面小型化双陷波天线. 首先, 由两个 L 型分支组成的馈线能够获得更宽的带宽, 并且可以覆盖整个 UWB 频带. 然后在辐射贴片上开 W 型缝隙形成单陷波特性的, 最后开 π 型缝隙, 最终产生双陷波特性的. 本文中所设计的天线与其他陷波天线相比最具有特点的地方在于尺寸小、带宽宽, 并且在未使用寄生贴片

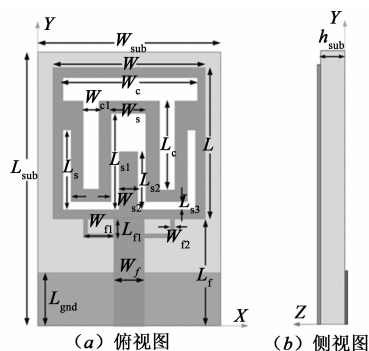
的情况下在 2.77 ~ 13.62GHz 频段产生双陷波,并且呈现出良好的增益和辐射特性.本文中设计天线的最大优点为小型化,表 1 为近两年有关双陷波天线的文章对比.

表 1 与近两年相关文章的对比 单位(mm³)

参考	本文	文献[13]	文献[14]
尺寸	12 × 18 × 1.6	26 × 27.3 × 5.1	20 × 27 × 1
参考	文献[15]	文献[16]	文献[17]
尺寸	26 × 32 × 1.6	12.9 × 35 × 1.6	25 × 30 × 1.5

2 天线模型

本文所设计的天线由 50Ω 微带线馈电,印制在介电常数为 4.4、尺寸为 12 × 18 × 1.6mm³ 的 FR4 介质板上,如图 1 所示.天线的主要结构包括矩形辐射贴片、双 L 型分支的馈线和地板.介质板背面是宽为 W_{sub} 、长为 L_{gnd} 的导体地板.天线结构各参数的最终结果在表 2 中.



(c) 加工实物图

图 1 天线结构图

表 2 天线结构尺寸表 单位(mm)

参数	W_{sub}	L_{sub}	h_{sub}	W_f	L_f	W	L
尺寸	12	18	1.6	2	7	10	10
参数	W_c	L_c	W_{s1}	W_s	W_{s2}	W_{s3}	L_s
尺寸	7.9	5.8	1	2.4	2.6	1.4	5.5
参数	L_{s1}	L_{s2}	L_{s3}	W_{f1}	W_{f2}	L_{f1}	L_{gnd}
尺寸	6.3	4.3	0.5	2	0.4	1.3	3.5

2.1 UWB 天线设计

天线通过增加 L 型枝节可以提高阻抗带宽,如图 2 所示^[9].图 3 是图 2 中三种不同天线所对应的 S_{11} 特性

仿真图.如图 3 所示,通过一对 L 型枝节可以拓展低频段与高频段的带宽,最终使得天线覆盖范围达 2.77 ~ 12.67GHz.

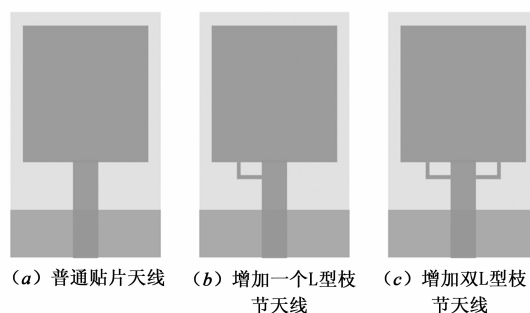


图 2

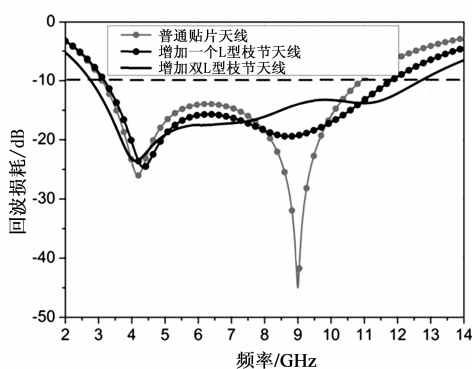


图 3 图 2 所示天线的 S_{11} 仿真结果

2.2 具有双陷波特性的 UWB 天线

因为对所存在的无线通信系统容易造成干扰(比如 WiMAX、C 波段和 WLAN),因此具有单频陷波和双频陷波功能的 UWB 天线显得尤为重要.如图 4 所示,首先为了在 3.4 ~ 4.5GHz 波段内产生较大的反射系数,因此在辐射贴片上开 W 型缝隙.在第一个陷波频率 3.8GHz 处,电流集中在天线结构的内外表面,因此产生了单陷波频率.然后为了在 5.2 ~ 5.8GHz 频段也产生陷波,则在辐射贴片上开 π 型缝隙,最终可以实现双陷波功能.

如图 4(c) 中所示,W 型缝隙和 π 型缝隙可以扰乱谐振响应并且可以起到半波长谐振结构的作用.因此只需要调节他们的尺寸就可以得到想要的陷波特性.缝隙($L_{1,2}$)的尺寸可以由以下公式进行计算:

$$L_{1,2} = \frac{c}{2f_{\text{notch}} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{\text{eff}} \approx \frac{\epsilon_r + 1}{2} \quad (2)$$

式中 c 为自由空间中的光速, ϵ_r 是介质板的介电常数, ϵ_{eff} 为有效介电常数, f_{notch} 为陷波频段的中心频率.在设计最初我们可以用式(1)计算得出缝隙总长度的参考

值,然后再对天线结构进行调节得到最终结果.

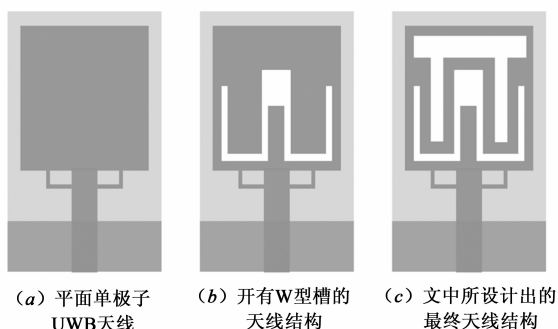
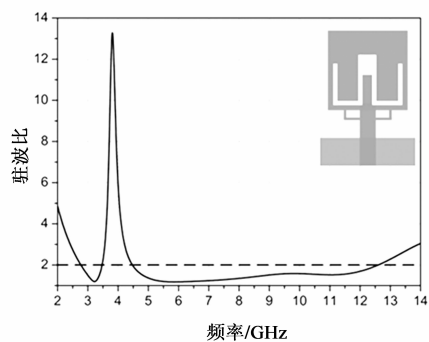
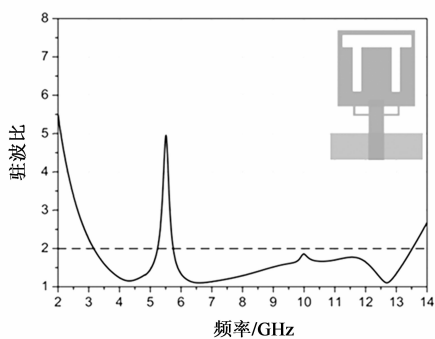


图4

如图 5 所示,为两个陷波分开时的驻波比,第一个陷波频段为 3.47 ~ 4.48GHz,是由 W 型缝隙产生的,其表面电流分布如图 6(a) 所示,电流聚集在缝隙的内外边缘处,因此在陷波频率附近产生高衰减. 如图 5(b) 所示,第二个陷波频段为 5.24 ~ 5.86GHz,是由 π 型缝隙产生的,其表面电流分布如图 6(b) 所示. 最后,图 7 为本文天线的驻波比结果,由图可知该天线产生了双陷波特性的,并且可用带宽超过了 130% (2.77 ~ 13.62GHz).



(a) 在3.8GHz (第一个陷波频率)

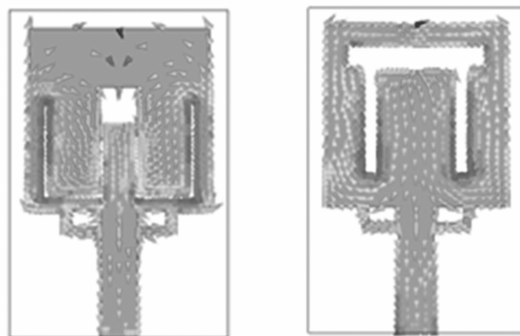


(b) 在5.5GHz (第二个陷波频率)

图5 两种缝隙在单独情况下的驻波比的仿真结果

3 结果和讨论

为了讨论缝隙的尺寸参数对天线性能的影响情况,其讨论结果如图 8 所示. 使用 HFSS 软件对天线进



(a) 在3.8GHz (第一个陷波频率)(b) 在5.5GHz (第二个陷波频率)

图6 两种缝隙在单独情况下的表面电流分布图

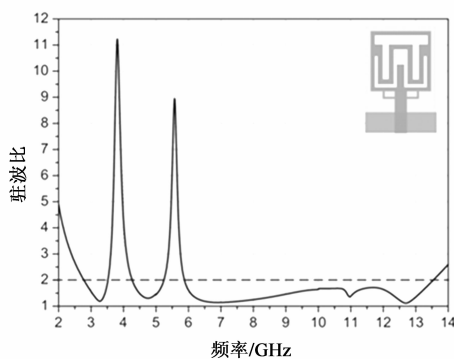


图7 天线驻波比仿真结果图

行仿真.

如图 8 所示,图中是缝隙为不同尺寸时的驻波比. 这五种情况分别规定为表 3 中的 1、2、3、4 和 5. 情况 2 和 3 改变了 π 型缝隙的尺寸,如图可知对低频影响较小,第一个陷波频率都在 3.8GHz,但是对高频影响较大,所以 π 型缝隙的尺寸影响高频. 情况 4 和 5 改变了 W 型缝隙的尺寸,由图可知对低频影响较大,对高频基本无影响. 因此,两个缝隙相互独立并且之间无影响. 所以,相比较于其它天线,本文所设计的天线可以仅仅调节两个相对独立的缝隙便可得到所需要的陷波特性.

表 3 缝隙不同尺寸的 5 种情 单位 (mm)

情况	W_c	L_c	L_s	L_{s1}
1	7.9	5.8	5.5	6.3
2	7	5.8	5.5	6.3
3	7.9	5.3	5.5	6.3
4	7.9	5.8	4.5	6.3
5	7.9	5.8	5.5	5.8

为了清楚多谐振和双陷波特性的,如图 9 所示为辐射贴片表面电流分布图,图 9(a) ~ (c) 分别为频率为 3.4GHz,4.8GHz 和 12.7GHz 的电流分布情况. 图 9(a) 和图 9(b) 中的电流分别主要集中在 W 型缝隙的内外

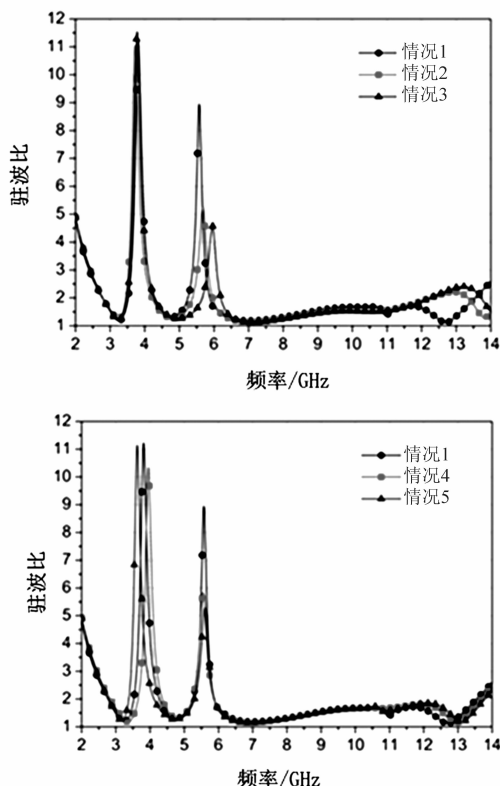


图8 缝隙尺寸在不同情况下所对应的驻波比

边缘和 π 型缝隙的内外边缘,从而形成了谐振频率,天线在这些频点的阻抗变化是由谐振特性所决定的.由图 9(c) 我们看到产生了一个新的 12.7GHz 额外谐振频率,电流聚集在馈线上,产生这样结果的原因主要是因为该天线结构改变了输入阻抗的电容和电感,同时两个 L 型分支也增加了表面电流路径,三个谐振模式互相耦合从而提高了阻抗带宽.

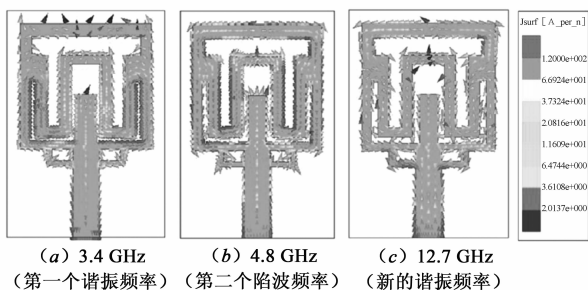
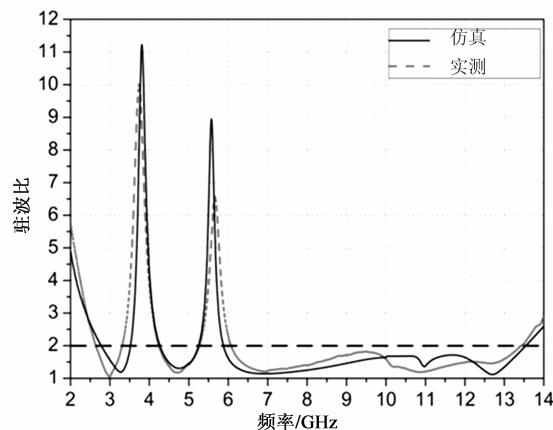


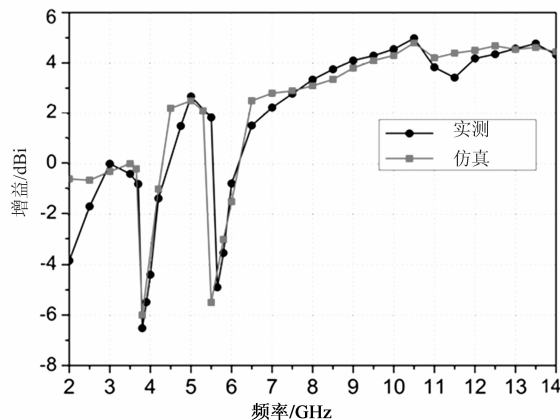
图9 辐射贴片表面电流分布图

对本文所设计的天线模型进行实物加工及测试,图 10(a) 为天线的驻波特性图.加工后的天线的频带为 2.77 ~ 13.62GHz,两个被抑制的频段在 3.44 ~ 4.24GHz 和 5.26 ~ 6.12GHz.测试结果与预期结果的差异主要在于天线的制造误差和介质板的介电常数.除此,加工过程中也应该考虑到焊接的精确度.天线增益的仿真和测试结果

如图 10(b) 所示,天线在 3.8GHz 和 5.57GHz 的增益分别为 -6.8dB 和 -5.3dB,所对应的口径效率分别为 49.5% 和 32.9%,在非陷波频段增益大于零比较稳定.



(a) 天线驻波比的仿真与测试结果图



(b) 天线增益的仿真与测试结果图

图10

图 11 所示,为天线 E 面和 H 面方向图的测试结果 (左侧为 E 面,右侧为 H 面),可以看出天线在整个带宽内的辐射特性.在 E 面,辐射方向图在非常宽的频带内具有双向性. H 面,辐射方向图在三个频点处是全向的.

4 结论

本文设计了一种能够产生单陷波和双陷波功能且具有宽带特性的单极子天线.该天线结构简单紧凑,尺寸仅为 $12 \times 18 \times 1.6 \text{ mm}^3$,可以用于小型化设备中.天线的工作频率在除去两个频段 (3.44 ~ 4.24GHz 和 5.26 ~ 6.12GHz) 的 2.77 ~ 13.6GHz 超宽带频段.实物的测试结果表现了良好的阻抗特性、全向性和增益特性.因此,由于其结构简单、尺寸紧凑等良好的特性,该天线可以很好的被用于超宽带系统中.

参考文献

[1] 叶亮华,褚庆昕.一种小型的具有良好陷波特性的超宽带

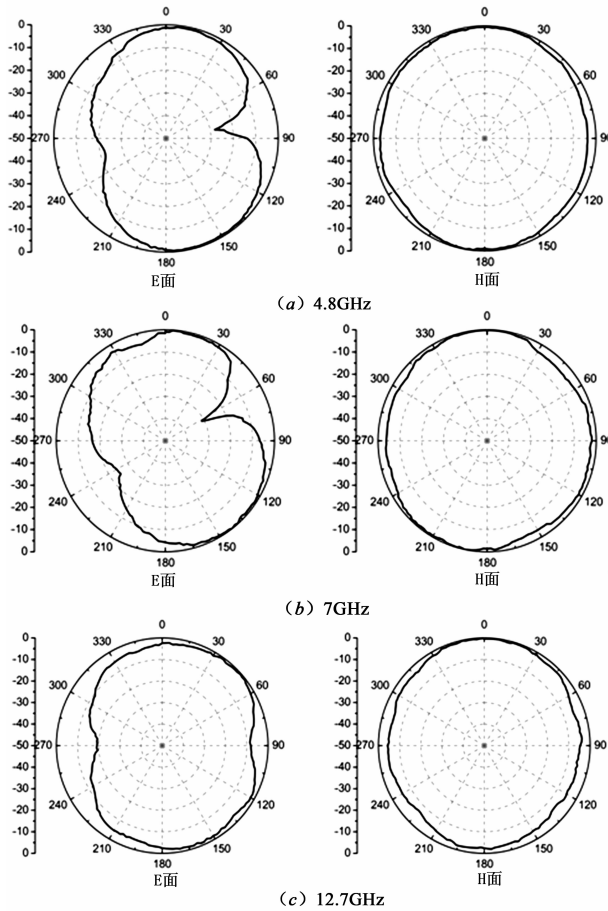


图11 天线辐射方向图的测量结果

缝隙天线[J]. 电子学报, 2010, 38(12): 2862 – 2866.

YE Liang-hua, CHU Qing-xin. Improved notch-band slot UWB antenna with small size[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(12): 2862 – 2866. (in Chinese)

- [2] 刘国培, 刘克成, 等. 一种新型超宽带平面天线的 FDTD 分析[J]. 电子学报, 2000, 28(6): 86 – 88.

LIU Pei-guo, LIU Ke-cheng, HE Jian-guo, YIN Jia-xian, ZHANG Guang-fu. FDTD analysis of an ultra-wide band planar antenna[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(6): 86 – 88. (in Chinese)

- [3] M J Ammann, The pentagonal planar monopole for digital mobile terminals; bandwidth considerations and modelling [J]. Eleventh International Conference on Antennas and Propagation, 2001, 480(1): 82 – 85.
- [4] Jihak Jung, Wooyoung Choi, et al. A small wideband microstrip-fed monopole antenna[J]. Microwave and Wireless Components Letters, 2005, 15(10): 703 – 705.
- [5] Z H Wu, F Wei, et al. A compact quad band-notched UWB monopole antenna loaded one lateral L-shaped slot[J]. Progress in Electromagnetics Research, 2013, 139: 303 – 315.
- [6] Wen-Tao Li, Xiao-Wei Shi, Yong-Qiang Hei. Novel planar

UWB monopole antenna with triple band-notched characteristics [A]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters [C]. USA: IEEE Press, Vol. 8, 2009. 1094 – 1098.

- [7] R Movahedinia, M Ojaroudi, et al. A compact UWB band-notched printed monopole antenna with defected ground structure [J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011, 10(11): 1380 – 1385.
- [8] Qing-Xin Chu, Ying-Ying Yang. A compact ultrawideband antenna with 3.4/5.5 GHz dual band-notched characteristics [J]. IEEE Transactions Antennas and Propagation, 2008, 56(12): 3637 – 3644.
- [9] Emadian S R, Ghobadi C, et al. Bandwidth enhancement of CPW-fed circle-like slot antenna with dual band-notched characteristic [A]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters [C]. USA: IEEE Press, Vol. 11, 2012. 543 – 546.
- [10] Ojaroudi N, Ojaroudi M, et al. Dual band-notched small monopole antenna with novel W-shaped conductor backed-plane and novel T-shaped slot for UWB applications [J]. Microwaves, Antennas & Propagation, 2013, 7(1): 8 – 14.
- [11] Abdollahvand M, Dadashzadeh G, Mostafa D. Compact dual band-notched printed monopole antenna for UWB application [A]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters [C]. USA: IEEE Press, Vol. 9, 2010. 1148 – 1151.
- [12] Tong Li, Huiqing Zhai, et al. Compact UWB antenna with tunable band-notched characteristic based on microstrip open-loop resonator [A]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters [C]. USA: IEEE Press, Vol. 11, 2012. 1584 – 1587.
- [13] Junhui Wang, Yingzeng Yin, et al. Trapezoid UWB antenna with dual bandnotched characteristics for WiMAX/WLAN bands [J]. IET Journals & Magazines on Electronics Letters, 2013, 49(11): 685 – 686.
- [14] Peng Gao, Ling Xiong, et al. Compact printed wide-Slot UWB antenna with 3.5/5.5-GHz dual band-notched characteristics [A]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters [C]. USA: IEEE Press, Vol. 12, 2013. 983 – 986.
- [15] Jalil YE, Chakrabarty C K, et al. A compact ultra wide-band antenna with dual band-notched design [A]. Proceedings of the 7th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS) [C]. USA: IEEE Press, 2013. 1 – 5.
- [16] Pechrkool T, Hongnara T, et al. A dual band-notched UWB monopole antenna with C-shaped slot and hairpin slot [A]. IEEE TENCON Spring Conference [C]. USA: IEEE Press, 2013. 43 – 46.
- [17] Liu Hao, Xu Ziqiang, et al. Design of compact UWB pla-

nar antenna with dual band-notched for WLAN and WiMAX [A]. International Workshop on Microwave and

Millimeter Wave Circuits and System Technology (MM-WCST) [C]. USA: IEEE Press, 2013. 44 - 46.

作者简介



刘阿玄 女, 1990 年 11 月出生于陕西省西安市. 2013 年本科毕业于西安电子科技大学电子信息工程专业, 同年考入西安电子科技大学读研究生至今, 主要研究方向为方向回溯阵列天线.

E-mail: liuaxuan2015@163.com



陈 蕾 女, 副教授, 1982 年 3 月出生于陕西省宝鸡市. 2010 年于西安电子科技大学获电磁场与微波专业博士学位. 主要研究方向为平面天线设计和方向回溯阵列天线.