

A Novel Dual Band-Notched UWB Antenna

Kunlin Cui

Equipment Department of the Navy Aircraft Office, Beijing

Email: yutaohuangshimei@126.com

Received: Mar. 1st, 2015; accepted: Mar. 12th, 2015; published: Mar. 16th, 2015

Copyright © 2015 by author 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

The proposed antenna achieved 3.7 - 3.9 GHz and 5 - 5.9 GHz dual band-notched characteristics with opening an annular slot on the radiating patch and etching a pair of symmetrical curved slot on the ground on the basis of a new planar ultra-wideband antenna, which effectively suppressed the interference of the satellite C-band and wireless LAN frequency band signal on UWB system. The notch characteristics and principle of the antenna were analyzed. The designed antenna were given physical processing and tested. Finally, the antenna radiation pattern and gain characteristics were studied. The results show that the antenna has high application value with excellent performance, simple structure and easy integration.

Keywords

Ultra-Wideband Antenna, Double Band-Notched Characteristics, Annular Slot, Curved Slot

一种新颖的双陷波UWB天线

崔坤林

海装飞机办公室，北京

Email: yutaohuangshimei@126.com

收稿日期：2015年3月1日；录用日期：2015年3月12日；发布日期：2015年3月16日

摘要

在一款新型平面超宽带天线的基础上，通过在辐射贴片上开一个环形槽、在接地板上开一对对称的弯槽，

实现了3.7~3.9 GHz和5~5.9 GHz的双陷波特性，有效地抑制了卫星C波段和无线局域网频段的信号对超宽带系统的干扰。对天线的陷波特性及原理进行了分析，并对所设计的天线进行了实物加工和测试，最后研究了天线的方向图和增益特性。结果显示，该天线性能优良，结构简单，易于集成，具有较高的应用价值。

关键词

超宽带天线，双陷波特性，环形槽，弯槽

1. 引言

随着航空航天领域无线通信的快速发展，超宽带(Ultra-wideband, UWB)通信技术以其成本低、数据传输速率高、具有穿透性强、发射功率低、抗多径干扰能力强等优点引起了通信技术领域极大的重视。2002年2月，美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission, FCC)将3.1~10.6 GHz频段划归为超宽带的民用频段[1]；2006年下半年，日本政府开放的超宽带无线系统的频段为3.4~4.8 GHz和7.25~10.25 GHz；2007年，欧洲联盟(European Union)也将3.4~4.8 GHz和6 GHz~8.5 GHz作为超宽带频段。此后，超宽带技术进入了蓬勃发展的时代，满足超宽带系统要求的超宽带天线的设计也引起了广大科研工作者关注。

超宽带系统工作在3.1~10.6 GHz，在这7.5 GHz带宽内，包含着C波段卫星通信系统(3.7~4.2 GHz)和无线局域网(WLAN, 5.15~5.825 GHz)等系统的窄带信号，工作带宽交叠的系统势必会相互产生干扰，影响各个系统的正常工作，因此，需要在超宽带工作带宽内对窄带信号进行抑制，而常规的超宽带天线达不到这一要求。在超宽带系统内引入带阻滤波器滤除窄带信号，这种方法可行，但势必增大系统的复杂度和成本，因此，设计具有陷波功能的超宽带天线成为了解决这一问题的首选方法。

近年来，出现了一些实现超宽带天线陷波功能的方法，可以总结如下：改变辐射贴片结构[2]-[8]、改变馈线结构[9] [10]和改变地板结构[11]-[14]，这些方法总的目的都是使得天线电流分布发生变化，从而在所需要的频段实现陷波功能。

基于以上研究背景，本文在笔者先前设计的一款工作带宽在3~16 GHz的超宽带天线基础上，通过在辐射贴片和接地板上分别开一个环形槽和一对对称的弯槽，在3.7~3.9 GHz和5~6 GHz实现了双陷波特性，抑制了C波段卫星通信系统(3.7~4.2 GHz)和无线局域网(WLAN, 5.15~5.825 GHz)的窄带信号对超宽带系统的干扰。

2. 天线的结构

图1为本文所设计的双陷波UWB天线的结构示意图。通过在天线辐射贴片上开一半波长的环形槽，可以在此波长对应的频率位置实现陷波，其对应关系如式(1)所示。此外，在接地板上开一对对称的弯槽，也可以在相应频段产生陷波。最终得到本文所设计的新型超宽带天线的具体尺寸参数如表1所示。制作该天线的材料选用相对介电常数 $\epsilon_r = 3.5$ 、基板尺寸为31 mm × 35 mm、厚度H = 1.5 mm的聚四氟乙烯。

$$L_d = \frac{c}{f_{\text{notch}} \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \quad (1)$$

式中： L_d 表示环形槽的总长度， c 表示光速， f_{notch} 表示陷波中心频率， ϵ_r 表示介质的相对介电常数。

利用电磁仿真软件CST对不陷波、在贴片开槽实现单陷波及在贴片和地板都开槽实现双陷波的超宽带天线的驻波比进行计算，所得结果如图2所示。可见，天线在贴片开环形槽后在3.7~3.9 GHz实现了单

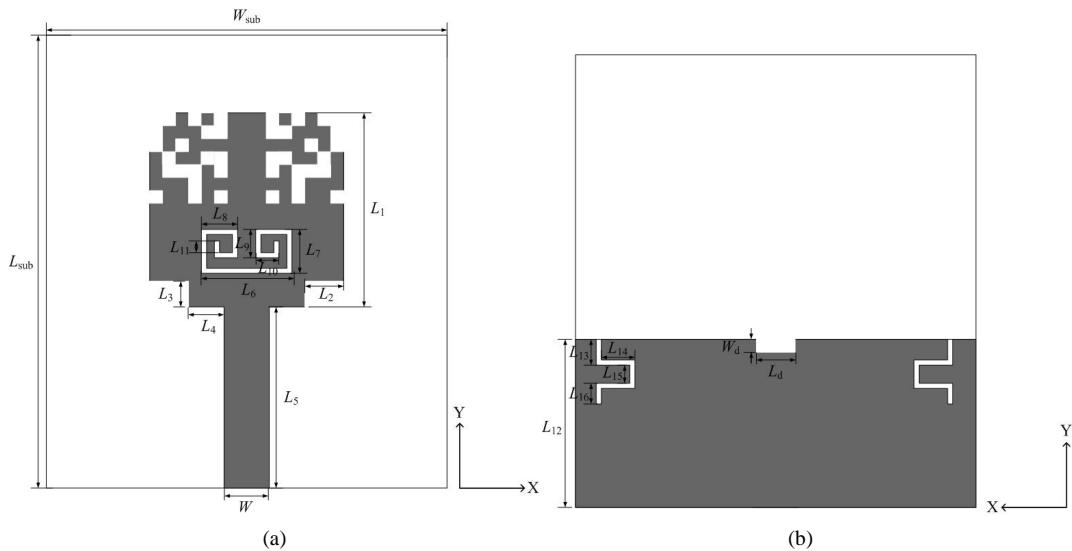


Figure 1. Structure of antenna: (a) front view; (b) back view
图 1. 天线的结构示意图：(a) 正视图；(b) 背视图

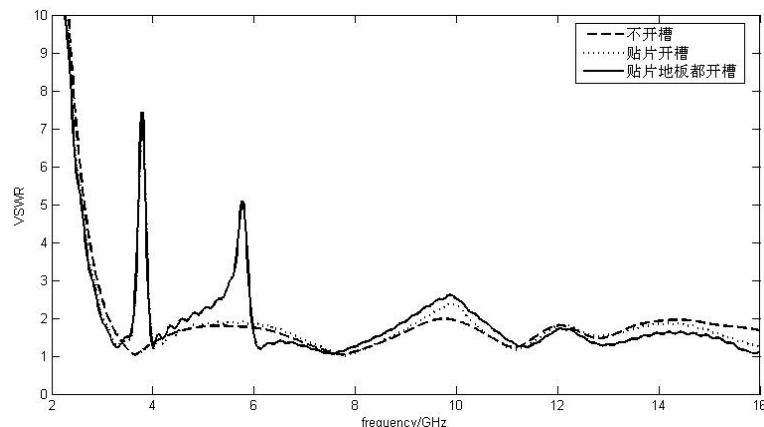


Figure 2. The voltage standing wave character comparison of the no-slitting antenna, slotted patch antenna, slotted patch and ground antenna
图 2. 天线不开槽、贴片开槽和贴片地板都开槽的电压驻波特性比较

Table 1. Dimension parameters of antenna structure (mm)

表 1. 天线结构中的尺寸参数(单位: mm)

L_{sub}	W_{sub}	W	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}
35	31	3.5	15	3	2	2.75	14	8	3.5	3.5	2.5	2.5
L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}	L_{15}	L_{16}	L_d	W_d					
1	13	2	2.5	1	1.3	3	1					

陷波功能，在此基础上在接地板上开弯槽后，天线在 5~5.9 GHz 实现了陷波功能，并且从图中可以看出，在接地板上开槽对 3.7~3.9 GHz 的陷波频段及整个超宽带系统的非陷波频段几乎不产生影响。最终所设计的天线在 3.7~3.9 GHz 和 5~5.9 GHz 频段具有良好的陷波特性，有效的抑制了卫星 C 波段和 WLAN 频段对超宽带系统的干扰。由此可见，贴片地板都开槽与贴片开槽的区别主要是实现对天线在 5~5.9 GHz 的陷波功能。

3. 天线的陷波特性分析

为了更深刻地了解天线的陷波特性，并且在以后能够灵活的设计出所需要频段陷波的陷波超宽带天线，下面将应用 CST 研究环形槽的长度和弯槽的长度变化对天线陷波性能的影响。

图 3 为环形槽中 L_x 的变化对天线陷波性能的影响，其中 $L_x = L_{10} + L_{11}$ 。由图可见， L_x 的变化仅对 4 GHz 左右的陷波产生影响，因此，环形槽使得天线在卫星 C 波段产生陷波，并且随着 L_x 的减小，陷波中心频率增大， $L_x = 3.5$ mm 时，陷波中心频率在 3.8 GHz 左右，当 L_x 减小到 1.5 mm 时，陷波中心频率增大至 4.1 GHz 左右。

图 4 为接地板上弯槽的长度对天线电压驻波比的影响。由图可见， L_{16} 的变化仅对 5~6 GHz 左右的陷波频段产生影响，因此，弯槽使得天线在 WLAN 频段产生陷波，并且随着 L_{16} 的增大，陷波中心频率减小， $L_{16} = 1.3$ mm 时，陷波中心频率在 5.8 GHz 左右，当 L_{16} 增大到 2.7 mm 时，陷波中心频率减小至 5 GHz 左右。

通过上述仿真分析，环形槽和弯槽仅对各自的陷波频段产生影响，对其他频段不产生影响，因此，可以通过调节环形槽和弯槽的长度来实现不同频段上的陷波功能，凸显了设计的灵活性。

当天线的结构发生变化时，天线的电流分布将会发生变化，当电流在某一频率时集中在某个位置，电磁能量也聚集在此，能量无法正常发射，即导致了我们所观察到得陷波现象，这就是天线的陷波原理。为了能够直观观察天线的陷波原理，图 5 给出了双陷波 UWB 天线的电流分布情况。在通带 8 GHz 处，

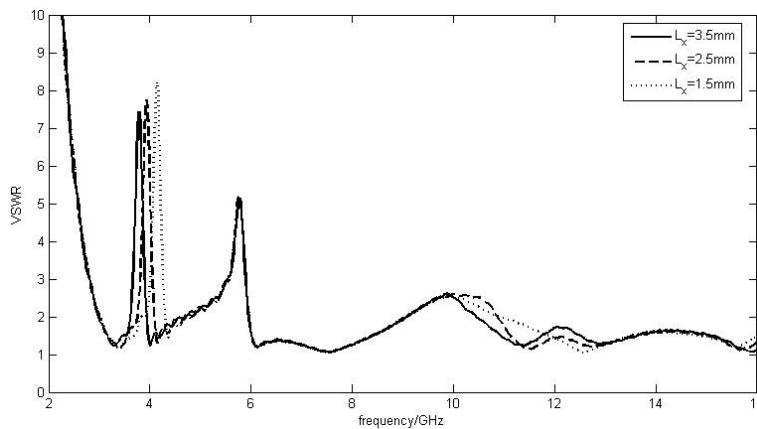


Figure 3. The voltage standing wave ratio versus the length of ring slot
图 3. 环形槽长度对天线电压驻波比的影响

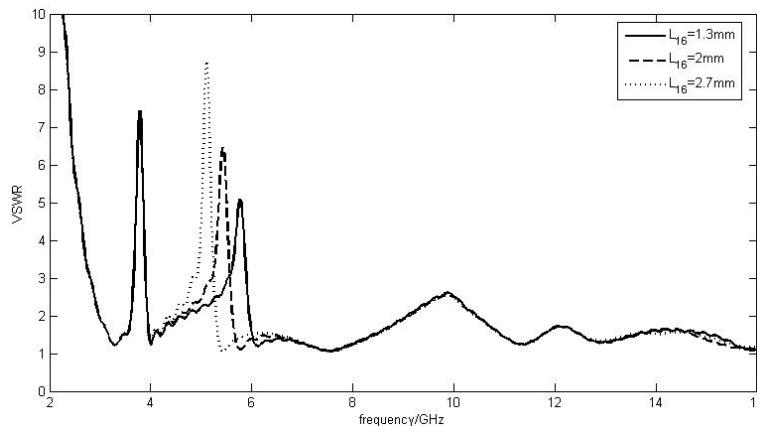


Figure 4. The voltage standing wave ratio versus the length of curl slot
图 4. 弯槽长度对天线电压驻波比的影响

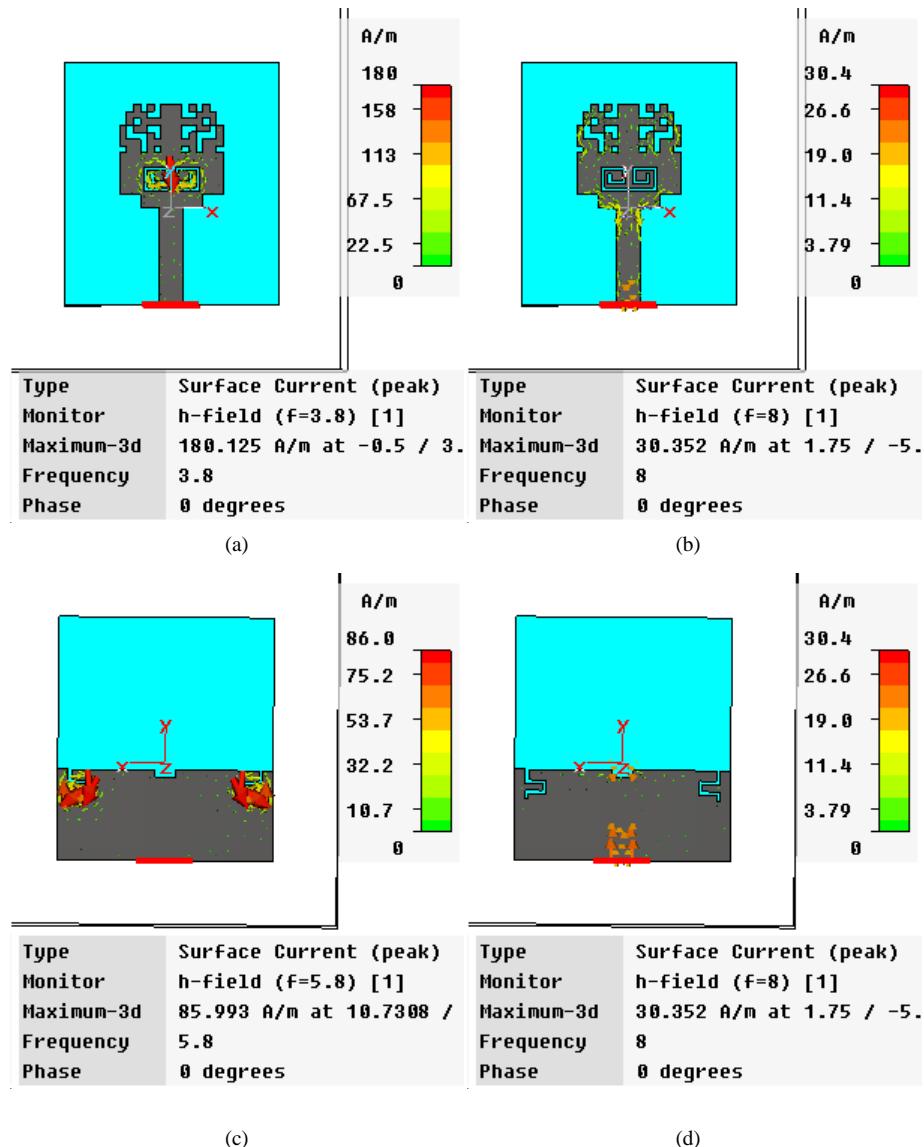


Figure 5. The current distribution of dual band-notched UWB antenna

图 5. 双陷波 UWB 天线电流分布

电流很小且几乎均匀的分布于贴片和地板上；在陷波频率 3.8 GHz 和 5.8 GHz 处，电流分别主要集中在环形槽和弯槽附近，电磁能量聚集无法正常辐射，实现陷波[15]。

4. 实验结果

利用 CST 仿真软件设计的天线仅仅是用在理论上适用于超宽带系统，还需要将其加工成实物，对其性能进行测试，来验证所设计天线的正确性及实用性。所加工的新型的双陷波 UWB 天线的实物照片如图 6 所示。利用矢量网络分析仪对所加工天线的电压驻波比进行了测量，图 7 为实测与仿真的电压驻波比对比结果。

从图 7 中可以看出，天线在 3~16 GHz 的非陷波频段内电压驻波比小于 2，在 3.7~3.9 GHz 和 5~5.9 GHz 两个陷波频段电压驻波比增大，尤其是两个陷波频段中心频率处，电压驻波比均在 5 以上，天线在这两个频段上收发能力显著下降，能够有效的对卫星 C 波段和 WLAN 系统的信号进行抑制。测试结果和仿真

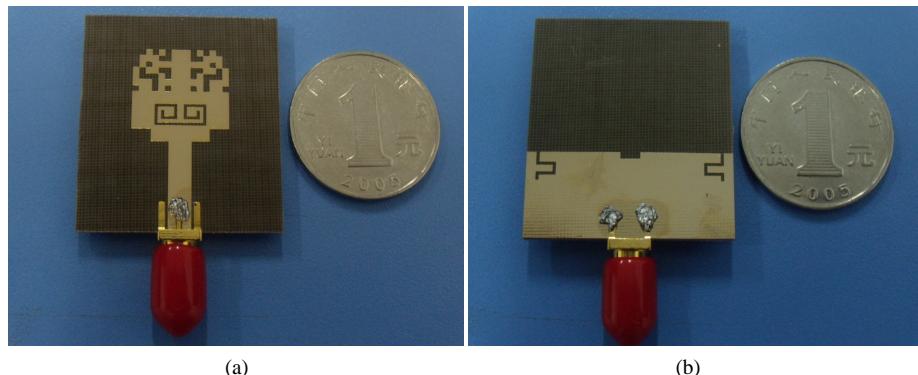


Figure 6. The pictorial picture of UWB antenna: (a) front view; (b) back view
图 6. UWB 天线的实物照片：(a) 正视图；(b) 背视图

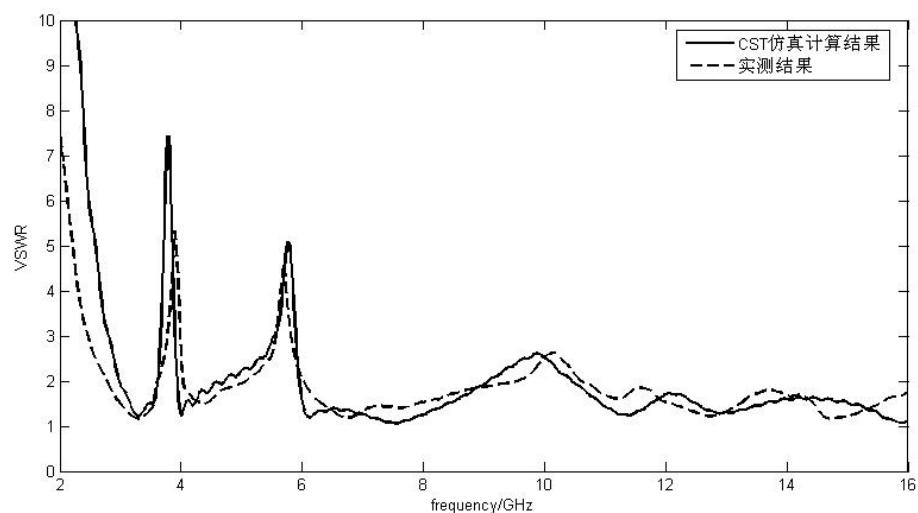


Figure 7. The voltage standing wave ratio comparison between measured results and simulation results
图 7. 天线的电压驻波比的实测结果与仿真结果对比

计算结果基本吻合，作者分析两者存在的误差主要原因有：天线加工误差、SMA 同轴接头的焊接误差和材料特性误差，此外，测量条件和人为操作等因素也会对测量结果产生影响。

天线的频域特性包括阻抗带宽、方向图和增益特性等，因此，要确定一个天线是否适用于超宽带系统，进观察电压驻波比是不够的，还需要观察方向图带宽和增益特性。

选取 4 GHz、6 GHz 和 8 GHz 3 个频率点对天线远场进行仿真，得到图 8 归一化辐射方向图。从图中可以看出，天线 H 面(x-z)方向图在工作频段内具有全向性，E 面(y-z)方向图基本呈现“8”字形，这些都达到了超宽带天线设计的要求。

图 9 为天线加入环形槽和弯槽前后的增益特性曲线对比。由图可见，不开槽时，天线在整个工作频段内具有较好的增益特性，并呈现逐渐增大的趋势；开槽后，天线在中心频率为 3.8 GHz 和 5.8 GHz 的两个窄带频段处增益显著下降，能够有效的对两个窄带频段进行抑制，达到了设计要求。

5. 结论

本文在一款超宽带天线的基础上，通过在辐射贴片上开一个环形槽、在接地板上开一对对称的弯槽实现了 3.7~3.9 GHz 和 5~5.9 GHz 的双陷波特性，有效地抑制窄带信号对 UWB 通信系统的干扰。研究了

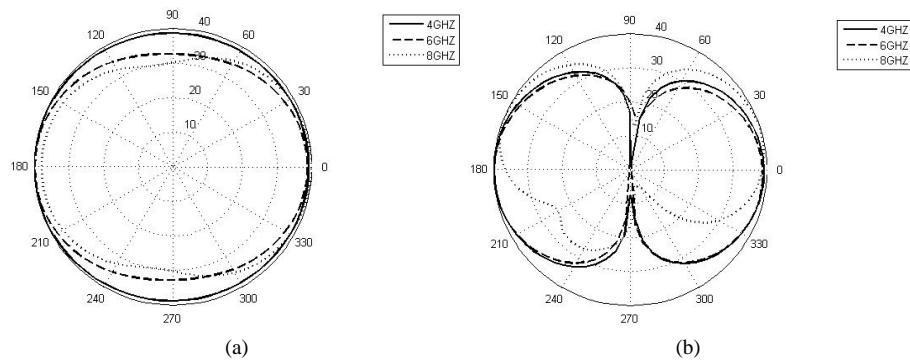


Figure 8. The radiation pattern in E-plane and H-plane: (a) The radiation pattern in H-plane; (b) The radiation pattern in E-plane

图 8. 天线的 H 面和 E 面归一化辐射方向图：(a) H 面方向图；(b) E 面方向图

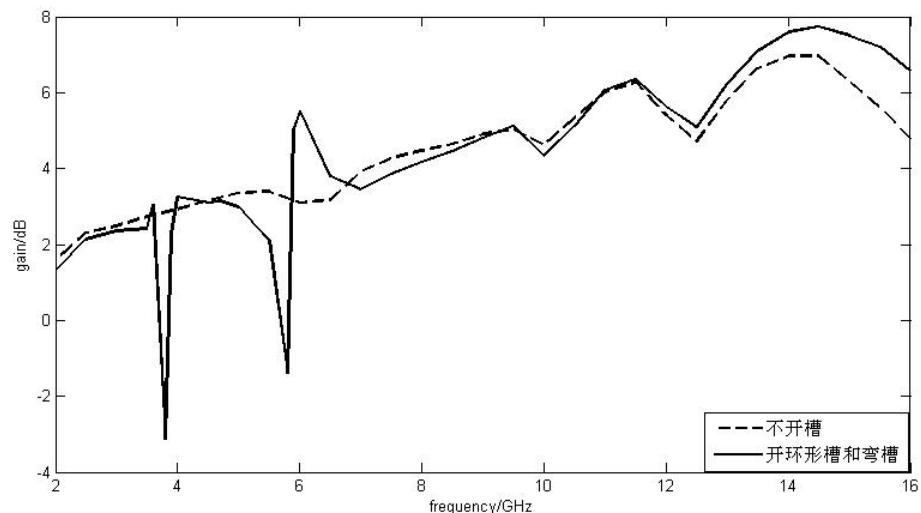


Figure 9. The gain graph of antenna with ring slot and curl slot and no ring slot and curl slot
图 9. 天线加入环形槽和弯槽前后的增益特性曲线

天线的尺寸参数对天线陷波特性的影响，分析了天线的陷波原理。将设计的天线加工成实物，实测结果和仿真结果基本吻合，并研究了天线的方向图和增益特性。结果显示，所设计的天线性能优良，结构简单，能够与其他电子器件集成，具有广泛的应用价值。

参考文献 (References)

- [1] Federal Communications Commission (2002) First report and order in the matter of revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems. Tech. Rep. ET-Docket 98-153, FCC 02-48.
- [2] Cho, Y.J., Kim, K.H., Choi, D.H., et al. (2006) A miniature UWB planar monopole antenna with 5-GHz band-rejection filter and the time-domain characteristics. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **54**, 1453-1460.
- [3] Bialkowski, M.E. and Abbosh, A.M. (2008) Design of UWB planar antenna with improved cut-off at the out-of-band frequencies. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **7**, 408-410.
- [4] Gheethan, A.A. and Anagnostou, D.E. (2012) Dual band-reject UWB antenna with sharp rejection of narrow and closely-spaced bands. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **60**, 2071-2076.
- [5] Foudazi, A., Hassani, H.R. and Nezhad, S.M.A. (2012) Small UWB planar monopole antenna with added GPS/GSM/WLAN bands. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **60**, 2987-2992.
- [6] Kim, K.-H. and Park, S.-O. (2006) Analysis of the small band-rejected antenna with the parasitic strip for UWB. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **54**, 1688-1692.

- [7] Ojaroudi, M., Yazdanifard, Sh., Ojaroudi, N. and Sadeghzadeh, R.A. (2011) Band-notched small square-ring antenna with a pair of T-shaped strips protruded inside the square ring for UWB applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **10**, 227-230.
- [8] Ojaroudi, M., Ghanbari, G., Ojaroudi, N. and Ghobadi, C. (2009) Small square monopole antenna for UWB applications with variable frequency band-notch function. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **8**, 1061-1064.
- [9] Sun, J.Q., Zhang, X.M., Chen, J.Y., et al. (2010) Ultrawideband planar monopole antenna with dual band-notched characteristics. 2010 *International Symposium on Signals Systems and Electronics*, Nanjing 17-20 September 2010, 1-3.
- [10] Zhang, Y., Hong, W., Yu, C., et al. (2008) Planar ultrawideband antennas with multiple notched bands based on etched slots on the patch and/or split ring resonators on the feed line. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **56**, 3063-3068.
- [11] Zaker, R., Ghobadi, C. and Nourinia, J. (2009) Bandwidth enhancement of novel compact single and dual band-notched printed monopole antenna with a pair of L-shaped slots. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **57**, 3978-3983.
- [12] Abdollahvand, M., Dadashzadeh, G. and Mostafa, D. (2010) Compact Dual band-notched printed monopole antenna for UWB application. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **9**, 1148-1151.
- [13] Zaker, R., Ghobadi, C. and Nourinia, J. (2008) Novel modified UWB planar monopole antenna with variable frequency band-notch function. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **7**, 112-114.
- [14] Li, W.T., Shi, X.W. and Hei, Y.Q. (2009) Novel planar UWB monopole antenna with triple band-notched characteristics. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, **8**, 1094-1098.
- [15] 叶亮华, 褚庆昕 (2010) 一种小型的具有良好陷波特性的超宽带缝隙天线. *电子学报*, **12**, 2862-2866.