

A New Type of Ultra-Wideband Antenna with Multi-Notch*

Na Dai¹, Xiaodong Yang^{1,2}, Mingyuan Zhao¹, Xiaoming Zhu¹, Bingxin Yang³

¹College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin

²School of Information Science, Meisei University, Tokyo, Japan

³Wireless Network Optimization Engineer, China Mobile Group Heilongjiang Company Limited Harbin Branch, Harbin

Email: daina5056@sina.com

Received: Aug. 13th, 2012; revised: Aug. 20th, 2012; accepted: Aug. 22nd, 2012

Abstract: A design method of three notch for ultra-wideband antenna (UWB) is presented in this paper. Circular monopole antenna as the prototype of the ultra-wideband antenna, a coplanar-waveguide (CPW) coupled-fed is applied in the antenna. The antenna has a large bandwidth covering the frequency band from 2.4 GHz - 15.1 GHz with return loss larger than 10 dB. Notch characteristics is achieved by complementary split-ring resonator (CSRR) embedded in the circular monopole antenna. Multi-notch is implemented in 3.3 GHz to 4.4 GHz, 5.25 GHz - 5.87 GHz, 11.61 GHz - 12.63 GHz. Thus avoiding interference between the band and other bands of ultra-wideband, and the ultra-wideband antenna has a good omni-directional radiation.

Keywords: UWB; CPW; Multi-Notch; CSRR

一种新型具有多陷波特性的超宽带天线*

代娜¹, 杨晓冬^{1,2}, 赵鸣远¹, 朱晓明¹, 杨冰欣³

¹哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 哈尔滨

²日本明星大学情报学部, 东京, 日本

³中国移动通信集团黑龙江有限公司哈尔滨分公司, 哈尔滨

Email: daina5056@sina.com

收稿日期: 2012年8月13日; 修回日期: 2012年8月20日; 录用日期: 2012年8月22日

摘要: 本文提出了一种三陷波特性的超宽带天线的设计方法。该天线以圆形的单极子天线为原型采用共面波导互耦的馈电方式。天线的辐射频率覆盖的带宽在 2.4 GHz~15.1 GHz, 其相应的回波损耗大于 10 dB。通过在圆形单极子天线中嵌入互耦环缝谐振器(CSRR)实现超宽带的陷波特性的。文中在 3.3 GHz~4.4 GHz, 5.25 GHz~5.87 GHz, 11.61 GHz~12.63 GHz 的三个频段实现了陷波, 可以避免超宽带频段与其他频段之间的干扰。而且超宽带天线(UWB)具有良好的全向辐射特性。

关键词: 超宽带天线; 共面波导; 多陷波; 互耦环缝谐振器

1. 引言

美国联邦通信委员会(FCC)于2002年将3.1 GHz~10.6 GHz 频段划归为超宽带(UWB)的民用使用频段^[1], UWB 系统的设计和应用成为民用无线通信领域激烈竞争的焦点。UWB^[2-5]通信系统不仅要求天线具有

很小的体积、较宽的带宽、一定的辐射效率和全向覆盖特性, 还要具备较好的脉冲信号保真度。然而, 许多 UWB 天线虽具有较大的阻抗带宽和良好的辐射方向图, 却难于制造且不易与射频前端集成。超宽带天线设计的主要要求包括^[1,6]: 在超宽频带(3.1 GHz~10.6 GHz)频段内阻抗匹配、天线小型化以及较低的制作成本^[1,6,7]。常见的小型化 UWB 天线主要包括单极

*资助信息: 黑龙江省自然科学基金重点项目(ZD201115)。

子天线与宽缝隙天线。前者的设计方案主要包括印刷型单极子与板状单极子，一般通过把单极子的形状设计为水滴形、多边形或椭圆形即可获得 UWB 工作特性，后者则一般采用宽缝隙结构，通过调整支节的尺寸参数获得 UWB 特性，其优点是集成度较高。

然而，在超宽带系统指定的频段内已经存在着一些窄带系统，例如在欧洲和美国被分配用于无线局域网(WLAN)服务的 HIPERLAN/2 频带(5.15 GHz~5.35 GHz, 5.470 GHz~5.725 GHz)和 IEEE802.11 a 频带(5.15 GHz~5.35 GHz, 5.725 GHz~5.825 GHz)卫星通信 C 波段上行(3.7 GHz~4.2 GHz)，以及在一些欧洲和亚洲国家用于 WiMAX 服务的 3.3 GHz~3.6 GHz 频带都工作在 UWB 频带内^[7]。这些系统的信号会对超宽带通信产生干扰。

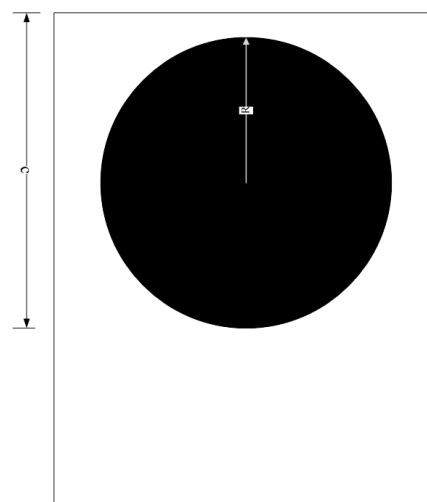
在一些应用中，引入了滤波器以抑制这些窄带系统的干扰，这样就增加了超宽带系统通信的成本和复杂性。所以寻找一种简单而有效的方法使天线实现高的回波损耗，也就是使超宽带天线在 WiMAX 和 WLAN 等的干扰频段内均呈现较大的发射系数，即具有陷波功能。近年来，出现了一些具有陷波功能的超宽带天线^[8]。设计具有陷波功能的超宽带天线的方法有很多，最常用的是在辐射贴片或接地面上开槽的方法，或者是在天线上添加调谐单元或寄生单元。

为使天线具有多陷波特性，本文对文献 1 进行改进，在微带线的梯形上面增加七边形来扩展带宽，通过嵌入互补谐振器^[1,6,7](CSRR)实现超宽带的陷波性能，均能避免对已存在无线通信系统造成干扰。对文中的天线的研究设计采用电磁仿真软件 HFSS13 进行仿真和分析。

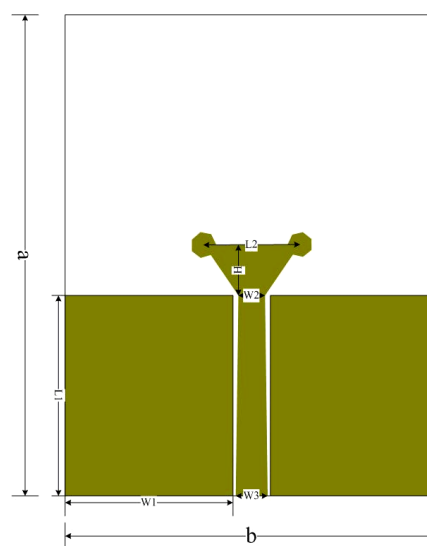
2. 天线的设计

本文对文献 1 的天线进行改进，如图 1(a)和(b)所示，采用共面波导^[2,3,8,9]互耦馈电的超宽带天线^[10]，天线主要包括圆形的辐射贴片和馈电结构，两个结构分别印刷在材料 Rogers RT5880 上，其相应的相对介电常数 $\epsilon_r = 2.2$ ，厚度 $h = 0.4$ mm，介质的损耗正切为 0.0009 的天线前后两个面。

介质板的尺寸 $a = 42$ mm， $b = 32$ mm。辐射贴片由一个圆形的单极子天线构成其半径为 $R = 12$ mm，其中 $c = 25.6$ mm。共面波导的传输线具有 50Ω 的特



(a) Antenna radiating patch monopole antenna
(a) 天线的辐射贴片单极子天线



(b) Feeding structure of antenna
(b) 天线的馈电结构

Figure 1. A coplanar-waveguide (CPW) coupled-fed of antenna (a) Front view and (b) back view

图 1. 共面波导耦合馈电结构天线的(a)前面和(b)后面

性阻抗，传输线的末端采用一个梯形结构添加七边形，七边形是以上底边顶点为中心。梯形上底边长 $L2 = 7.6$ mm，下底边长 $W2 = 1.2$ mm，高 $H = 4$ mm，传输线的宽度采用渐变式结构由 $W3 = 1.6$ mm 到 $W2 = 1.2$ mm，这样可以使天线具有良好的阻抗匹配特性。共面波导两侧矩形尺寸 $L1 = 15.6$ mm， $W1 = 15$ mm。

文章为了使天线具有多陷波的特性，刻蚀了三个互相嵌套的同心圆环，并在其下方进行开口的互耦环缝谐振器(CSRR)^[1,6,7]结构。互耦环缝谐振器是相当于

添加调谐单元实现天线的陷波性能。通过调节金属环的半径和开口缝的大小，来实现天线的三陷波。天线的正面辐射贴片结构如图 2 所示，天线的侧面俯视图如图 3 所示。

图 2 中互相嵌套的同心圆环结构尺寸如下： $R_1 = 4.96 \text{ mm}$ ， $R_2 = 4.78 \text{ mm}$ ， $R_3 = 4.12 \text{ mm}$ ， $R_4 = 3 \text{ mm}$ ， $R_5 = 2.262 \text{ mm}$ ， $R_6 = 2.24 \text{ mm}$ 。开口缝隙宽度 $t = 0.2 \text{ mm}$ 。

3. 天线的特性分析

基于在第二部分的天线设计，我们可以分别对天线刻蚀互补环缝谐振器结构(CSRR)和原本共面波导互耦馈电的超宽带天线进行分析，对比天线的 S_{11} 参数(回波损耗)如图 4 所示。

通过电磁仿真软件 HFSS13 对天线结构进行仿真分析。图 4(a)可以看出天线的 S_{11} (与回波损耗参数成反比)参数小于 -10 dB ，所对应的超宽带带宽为 $2.4 \text{ GHz} \sim 15.1 \text{ GHz}$ 。这个超宽带频率覆盖了所规定的超宽带带宽 $3.1 \text{ GHz} \sim 10.6 \text{ GHz}$ ，表明了天线符合超宽带天线的标准。图 4(b)显示的是天线在刻蚀互耦环缝谐振器后，具有陷波特性的超宽带天线。在频率 $3.3 \text{ GHz} \sim 4.4 \text{ GHz}$ ， $5.25 \text{ GHz} \sim 5.87 \text{ GHz}$ ， $11.61 \text{ GHz} \sim 12.63 \text{ GHz}$ 的范围内天线的回波损耗大于 10 dB ，信号在此三个频率期间产生衰落，使其存在良好的带阻特性。可以避免在通信系统传输中欧洲 Wimax($3.3 \text{ GHz} \sim 3.6$

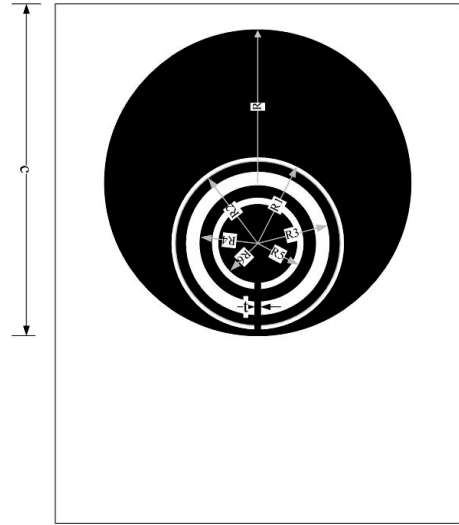


Figure 2. Configuration of band-notched CSRR in front of antenna
图 2. 带有刻蚀 CSRR 的正面的天线结构

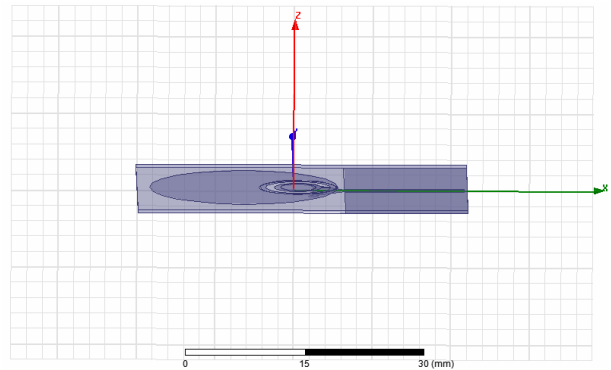
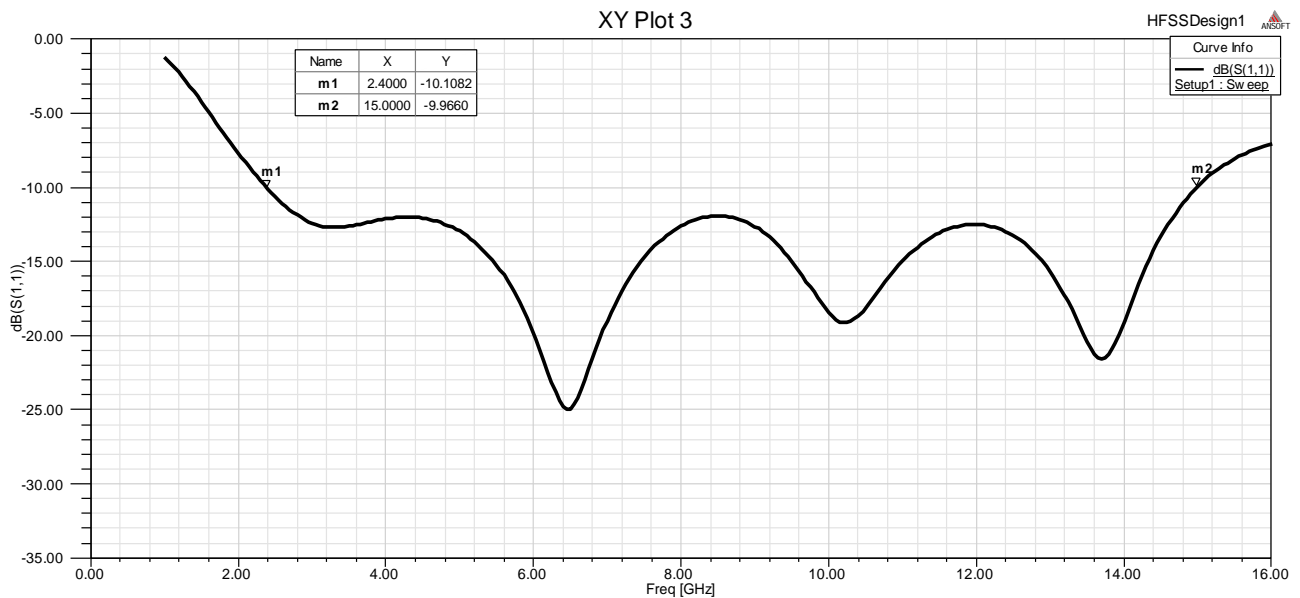


Figure 3. Side view of antenna radiation pattern
图 3. 天线的侧面辐射方向图



(a)

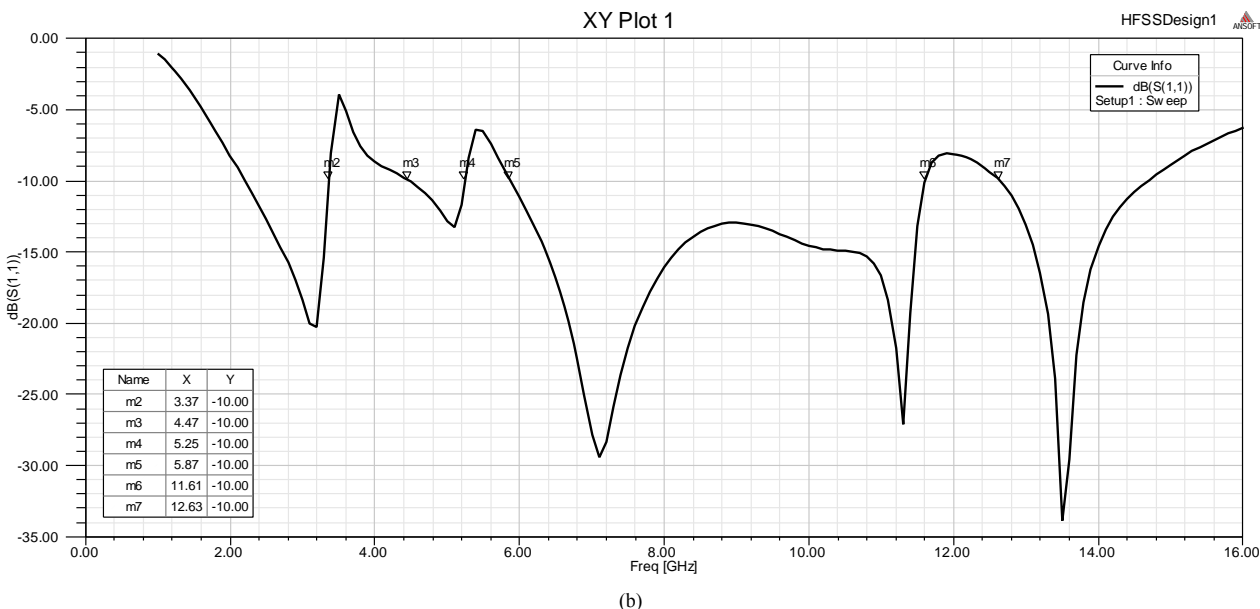


Figure 4. S11 parameter of (a) UWB and (b) band-notched CSRR
图 4. (a) 原始超宽带天线的 S11 参数; (b) 添加 CSRR 的 S11 参数

GHz)、卫星通信 C 波段上行频段(3.7 GHz~4.2 GHz)、Wimax(5.25 GHz~5.850 GHz)、局域网 WLAN(5.725 GHz~5.825 GHz)及卫星通信 Ku 波段的干扰。

从上述对图 4 的仿真结果进行分析, S11 参数(回波损耗)良好的呈现了天线的超宽带特性和天线的带阻特性, 避免了在通信系统传输中其它频段的干扰。

超宽带天线的工作带宽不仅取决于天线的驻波带宽、回拨损耗带宽还取决于天线的辐射方向图的带宽。仿真结果如图 5、图 6 所示, 其中图 5 给出了天线的 3D 辐射方向图, 图 6 给出了 3 GHz、5 GHz、7 GHz、9 GHz、11 GHz、13 GHz 的 E、H 面辐射方向图。

其中图 6 所示的方向图中表 X-Y 面($\theta = 90^\circ$ 时 φ 为变量), 为 E 面的辐射放向图。X-Z 面或 Y-Z 面($\varphi = 0^\circ$ 或 $\varphi = 270^\circ$ 时, θ 为变量), 为 H 面的辐射方向图。由图 5 和图 6 的仿真图, 我们可以全方位进一步分析出天线的辐射特性, 在低频段内无论是 E 面、H 面都有非常良好的辐射特性, 虽然随着频率的增加, 高频段辐射模式进行分裂出现旁瓣, 但是这与单极子天线的辐射模式相似。即使在不同的频率阶段辐射略有偏差, 但是基本满足超宽带天线的全向辐射特性。下面我们将讨论天线的极化特性, 仿真结果如下图 7 的(a)、(b)所示。

图 7(a)所示, 表示除了在 $-180^\circ < \theta < -160^\circ$ 的范围

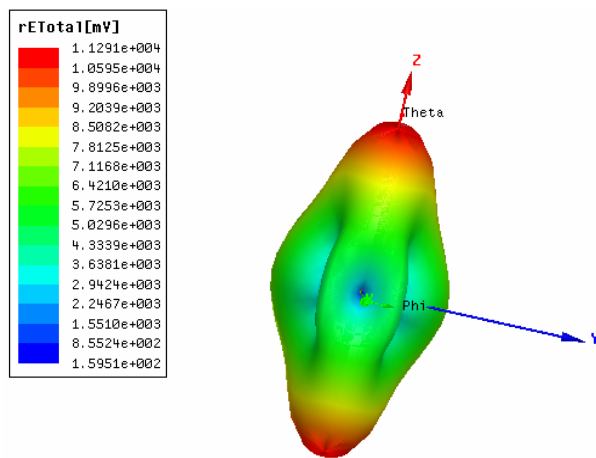
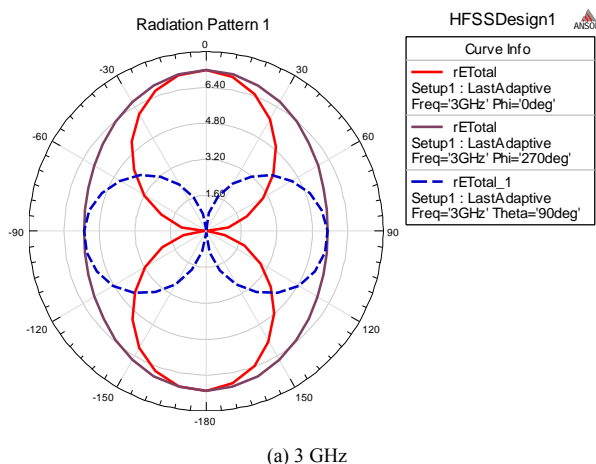


Figure 5. The 3D radiation pattern of the antenna
图 5. 天线的 3D 的辐射图



(a) 3 GHz

一种新型具有多陷波特性的超宽带天线

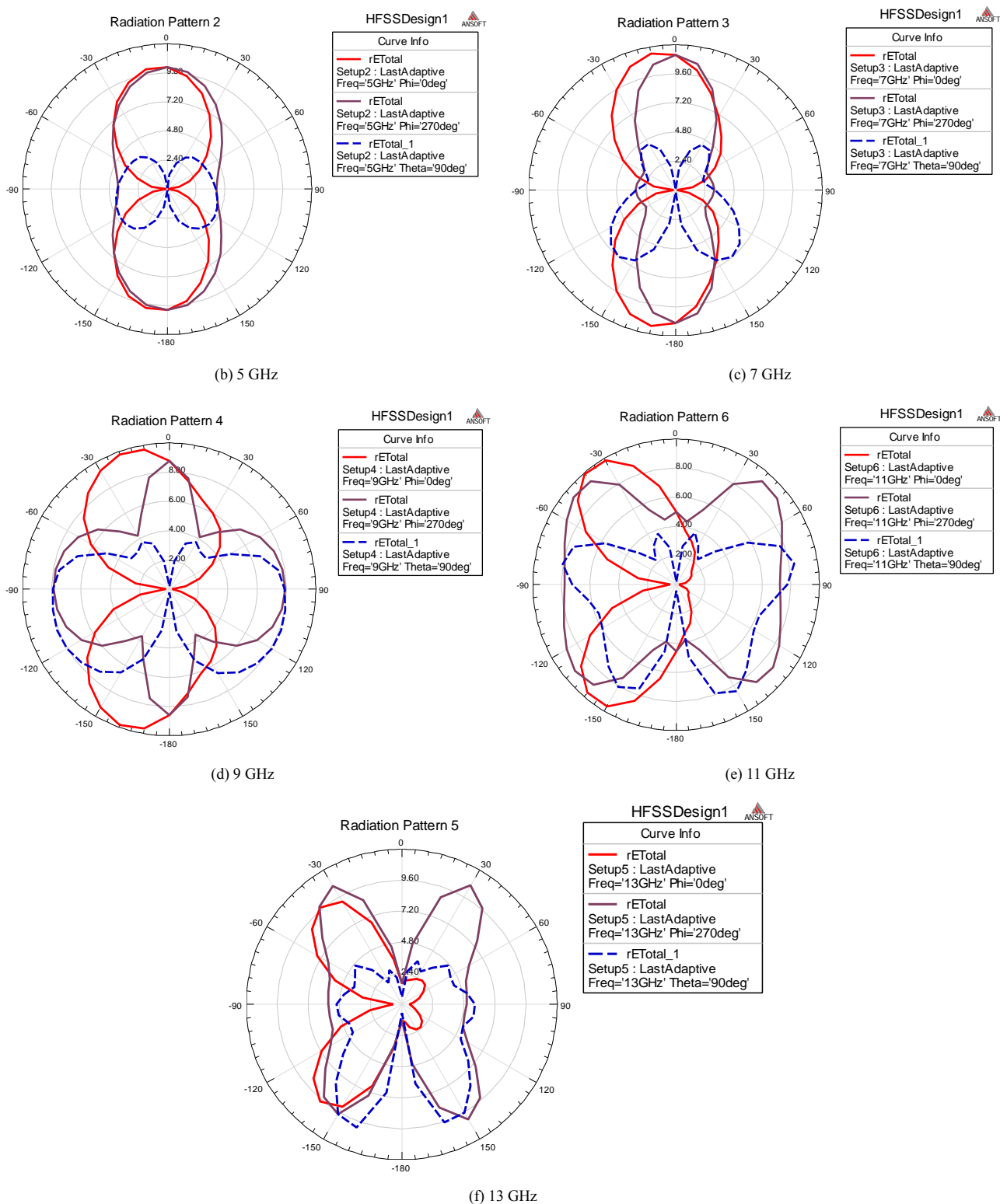


Figure 6. Radiation pattern of the UWB. (a) E and H plane normalized radiation pater of 3 GHz; (b) E and H plane normalized radiation pater of 5 GHz; (c) E and H plane normalized radiation pater of 7 GHz; (d) E and H plane normalized radiation pater of 9 GHz; (e) E and H plane normalized radiation pater of 11 GHz; (f) E and H plane normalized radiation pater of 13 GHz

图 6. 超宽带天线的辐射方向图。(a) 3 GHz 的 E 面 H 面归一化辐射方向图; (b) 5 GHz 的 E 面 H 面归一化辐射方向图; (c) 7 GHz 的 E 面 H 面归一化辐射方向图; (d) 9 GHz 的 E 面 H 面归一化辐射方向图; (e) 11 GHz 的 E 面 H 面归一化辐射方向图; (f) 13 GHz 的 E 面 H 面归一化辐射方向图

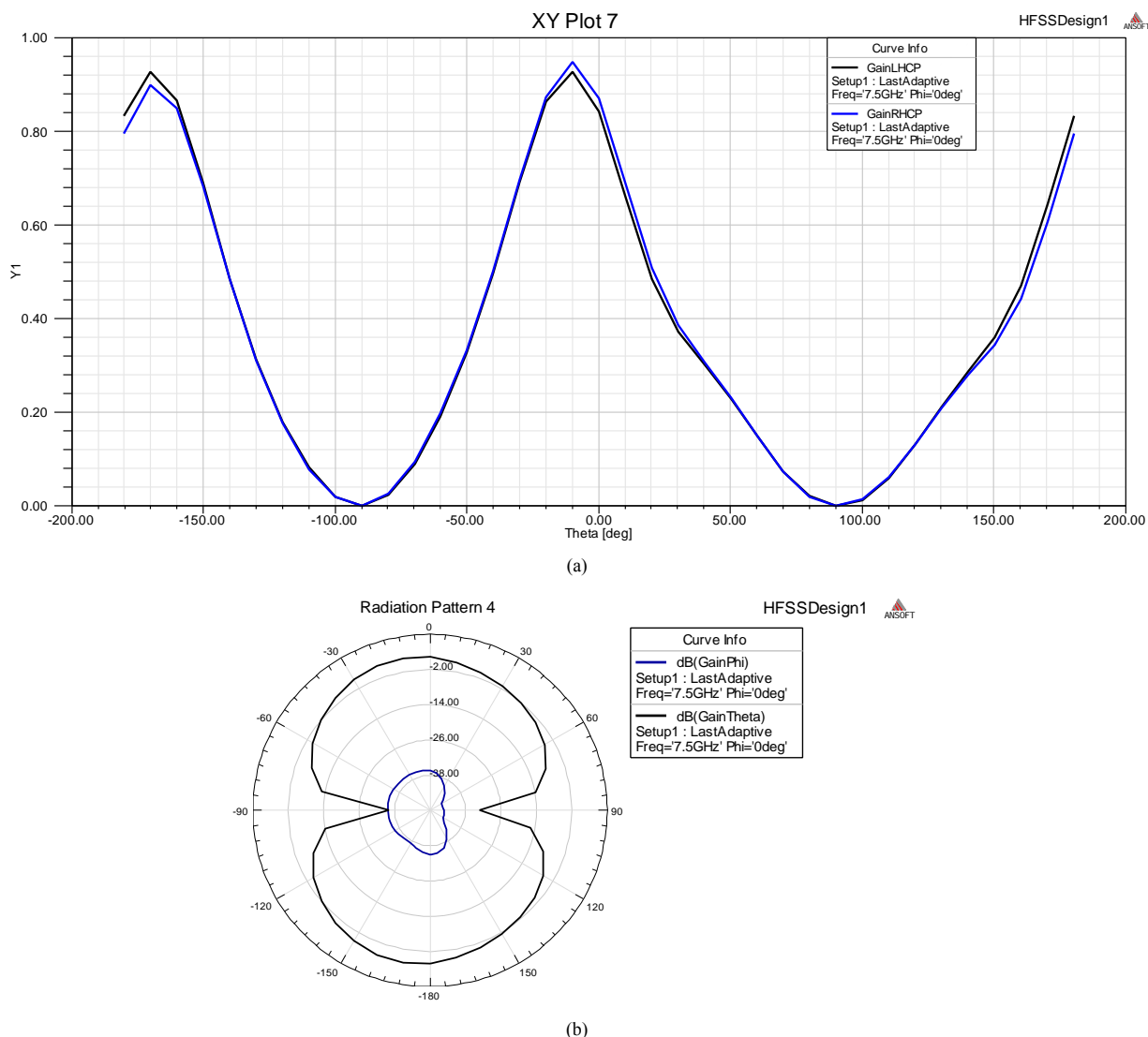


Figure 7. Simulation of the polarization characteristics of the antenna. (a) gain of right-handed and left-handed polarization; (b) the horizontal direction figure of the antenna

图 7. 天线的极化特性仿真。(a) 右旋极化与左旋极化的增益图; (b) 天线的水平面方向图

内有小幅的波动偏差，天线的左旋极化增益和右旋极化增益值相等，说明天线具有线极化特性。从图 7(b) 水平面方向图可知这时候 Gaintheta 比 Gainphi 大很多的，水平极化就是该天线的主极化。

4. 结论

本文提出了一种共面波导耦合式馈电的超宽带天线，在其基础上通过刻蚀互耦环缝谐振器(CSRR)来实现超宽带天线的陷波特性的。天线在 2.4 GHz~15.1 GHz 实现超宽带，有良好的阻抗带宽符合超宽带的带宽范围。为了避免在通信系统传输过程中其他频段的干扰，文章使天线在 3.3 GHz~4.4 GHz, 5.25 GHz~5.87

GHz, 11.61 GHz~12.63 GHz 三个波段内实现带阻特性。同时分析了天线的辐射特性，得出天线的辐射特性基本趋向于全向性符合超宽带天线的要求。该天线体积小，质量轻，便于加工，在超宽带系统中有很好的使用价值。也为后续研究多陷波的超宽带天线提供参考。

参考文献 (References)

- [1] 孙荣辉, 高卫东, 刘汉, 李乐, 沈旭. 单个互补金属开口谐振环双陷波超宽带天线[J]. 探测与控制学报, 2011, 1033(5): 15-19.
- [2] H. Nazli, E. Bicak, B. Turetken and M. Sezgin. An improved design of planar elliptical dipole antenna for UWB applications.

- IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2010, 9: 264-267.
- [3] 钱坤, 庞伟正, 李翔麟, 邹喻. 超宽带宽缝天线的设计与仿真[J]. 应用科技, 2007, 34(10): 21-23.
- [4] 钟玲玲, 邱景辉, 孙博. 超宽带圆片天线的分析与设计[J]. 宇航学报, 2008, 29(4): 1387-1392, 1413.
- [5] 李明, 李迎松, 杨晓冬, 陈炳才. 小型化陷波超宽带天线的研究与设计[J]. 应用科技, 2011, 38(9): 28-31.
- [6] 谭瑞, 龚书喜, 查锋涛. 双陷波特性的单极子超宽带天线[A]. 2009年全国天线年会[C], 成都, 2009: 58-61.
- [7] R. O. Ouedraogo, E. J. Rothwell, A. R. Diaz, K. Fuchi and A. Temme. Miniaturization of patch antennas using a metamaterial-inspired technique. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(5): 2175-2182.
- [8] 晏峰, 姜兴, 黄朝晖. 共面波导馈电的带阻 UWB 天线设计[J]. 电子器件, 2011, 34(3): 255-257.
- [9] V. Shrivastava, Y. Ranga. Ultra wide band CPW-fed printed pentagonal antenna with modified ground plane for UWB applications. IET International Conference on Wireless Mobile and Multimedia Networks, Beijing, 2008: 1-2.
- [10] J. Zhang, X. L. Sun, S. W. Cheung, T. I. Yuk and Z. B. Ni. CPW-coupled-fed elliptical monopole antenna for UWB applications. IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), Santa Clara, 2012: 295-298.