

Design of Monopole UWB Antenna Using Complementary Split-Ring Resonator Loading with Triple Band-Notched Function*

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

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

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

³China Mobile Group Heilongjiang Company Limited Harbin Branch, Harbin

Email: zhaomingyuan216@163.com

Received: Sep. 19th, 2012; revised: Sep. 27th, 2012; accepted Oct. 10th, 2012

Abstract: This paper puts forward a new kind of monopole UWB (Ultra wideband) antenna based on the CSRR (Complementary Split-Ring Resonator) with triple band-notched characteristics. Antenna is fed by a 50 Ω microstrip line. With a CSRR structure on the monopole patch unit, dual-band filtering properties in the WiMAX (3.3 - 3.6 GHz) and C-band (3.7 - 4.2 GHz) for satellite communication systems are achieved. Using a symmetrical CSRR structure loading on the ground, WLAN (5.15 - 5.825 GHz) band-notched characteristics is obtained. Changing the parameters of the CSRR structure, the effects of S11 parameters, voltage standing wave ratio (VSWR) and radiation characteristics are analyzed. The designed antenna has an impedance bandwidth of 2.7-8.5 GHz for VSWR less than 2.

Keywords: CSRR; UWB Antenna; Band-Notch

基于 CSRR 的三陷波单极子超宽带天线的设计*

赵鸣远¹, 杨晓冬^{1,2}, 代娜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: zhaomingyuan216@163.com

收稿日期: 2012 年 9 月 19 日; 修回日期: 2012 年 9 月 27 日; 录用日期: 2012 年 10 月 10 日

摘要: 本文提出了一种基于互补环缝谐振器 CSRR(Complementary Split-Ring Resonator)的三陷波单极子超宽带天线。天线采用 50 Ω 微带馈电, 通过在单极子贴片单元上加载一个 CSRR 结构, 实现了 WiMAX 频段(3.3~3.6 GHz)和卫星通信 C 波段(3.7~4.2 GHz)的双陷波。在地板上引入一对对称的 CSRR 结构, 实现了 WLAN 频段(5.15~5.825 GHz)的陷波。改变 CSRR 的结构参数, 分析了其对天线 S11 参数、电压驻波比(VSWR)及辐射特性的影响。在驻波比(VSWR)小于 2 的情况下带宽达到了 2.7~8.5 GHz, 符合超宽带天线的要求。

关键词: CSRR; 超宽带天线; 陷波

1. 引言

2002 年美国联邦通信委员会(FCC)批准将 3.1~10.6 GHz 的频段范围开放, 用于室内超宽带(UWB)

无线通信^[1]。超宽带天线是指相对带宽大于等于 20%, 绝对带宽大于等于 500 MHz 的用于 UWB 频段的天线, 因其具有稳定的增益和良好的辐射特性而成为了研究的重点。

随着各种无线网络技术的发展, 有限的频带范围

*资助信息: 黑龙江省自然科学基金重点项目(ZD201115)。

内分布着众多的窄带系统。例如：无线局域网(WLAN, Wireless Local Area Networks)服务的 HIPERLAN/2 频带(5.15~5.35 GHz, 5.47~5.725 GHz)和 IEEE802.11a 频带(5.15~5.35 GHz, 5.725~5.825 GHz), 在一些欧洲和亚洲国家用于 WiMAX 服务的频带(3.3~3.6 GHz), 及用于通信卫星传输信号的 C 波段(3.7~4.2 GHz), X 波段(7.25~7.75 GHz, 7.9~8.4 GHz)都工作在 UWB 系统中。这些窄带系统工作在超宽带的频带范围之内, 会对超宽带系统产生干扰^[2]。如何实现超宽带系统与其它窄带天线通信系统的兼容受到了广泛的关注。

本文对传统的单极子超宽带天线进行改进, 通过在贴片单元上加载一个 CSRR 结构, 适当的选择 CSRR 的结构参数, 使其在需要的频率上产生谐振, 相当引入了一个相应频上的滤波器, 从而实现了 WiMAX 和卫星通信 C 波段的双陷波。在天线的接地板上加载了一对对称的 CSRR 结构, 通过有限元法(FEM)对 CSRR 结构的间距进行优化仿真, 实现了 WLAN 频段的陷波。

2. 天线的结构

2.1. CSRR 的结构及其等效电路

如图 1 所示, 互补环缝谐振器 CSRR 是由两个开口的环形缝隙组成的, 通过在金属介质上蚀刻两个同心的开口环得到^[3]。CSRR 可等效为一个电容与电感串联组成的谐振回路, 其中电感是由两个半环的电感并联而成的。在具有陷波特性的超宽带天线的设计中, 在辐射贴片或接地板上蚀刻 CSRR 相当于在相应的频率上引入了一个滤波器, 从而实现了天线的“陷波”特性。

文献[3]中作者通过在单极子辐射贴片上蚀刻一个 CSRR 结构, 实现了在 3.4 GHz 和 5.75 GHz 两个频段上的陷波特性的。文献[4]中作者通过在单极子天线的接地板上蚀刻一个 CSRR 结构, 实现了 3.4~4.0 GHz 和 4.92~6 GHz 的双陷波。文献[5]对共面波导馈电的超宽

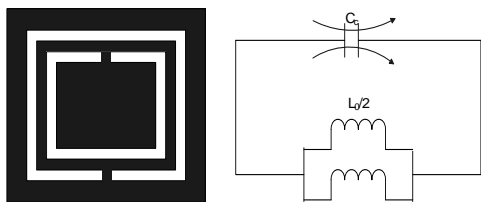


Figure 1. Structure and equivalent circuit of the CSRR
图 1. CSRR 结构示意图及其等效电路

带四陷波天线进行了设计, 通过在天线的中心带上蚀刻一个 CSRR 结构实现了双陷波, 并在接地板上引入一对对称的 CSRR 与窄槽线的耦合结构, 从而实现了超宽带天线的四陷波。

通过对天线的仿真设计发现, 在单极子贴片及其地板上蚀刻 CSRR 结构可以实现超宽带天线的陷波特性的。本文通过在单极子贴片上蚀刻的一个 CSRR 及地板上蚀刻的一对对称的 CSRR 结构来实现超宽带天线的三陷波。CSRR 结构的数量越多, 可形成的陷波频点就越多。但两个 CSRR 的距离过近会产生互耦, 会对谐振特性产生影响; 而增加两个 CSRR 间的距离则会使天线的尺寸增大。

2.2. 基于 CSRR 的三陷波单极子超宽带天线

本文在传统的单极子超宽带天线的基础上, 通过在单极子贴片及接地板上引入 CSRR 结构来实现陷波特性的。在单极子贴片的圆形贴片上蚀刻一个开口方向相同的圆形 CSRR 结构。地板采用部分地结构, 在地板上蚀刻一个“工”形槽, 可以有效的扩展天线的带宽^[6]。在地板两侧各蚀刻了一个开口方向相反的方形的 CSRR 结构, 适当的调节这两个对称的 CSRR 之前的距离, 可以实现 WLAN 波段的陷波功能。如图 2 所示为基于 CSRR 的三陷波单极子超宽带天线的正视图和后视图。天线的整体尺寸为 30 mm × 34 mm × 1.5 mm, 介质基板的相对介电常数为 2.65。采用 50 Ω 微带线馈电。

优化后的天线的基本结构尺寸如表 1 所示。

3. 天线的仿真

根据表 1 中的物理参数, 基于有限元法(FEM)对

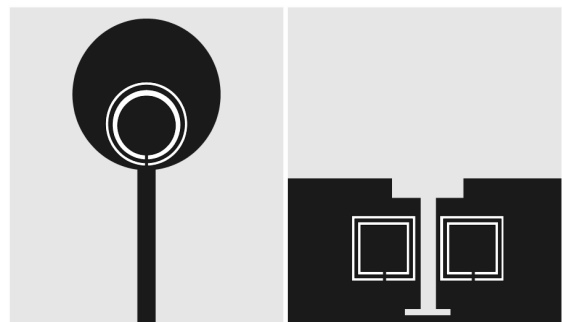


Figure 2. The front and back of the monopole UWB antenna based on CSRR with triple band-notched function
图 2. 基于 CSRR 的三陷波单极子超宽带天线的正视图和后视图

Table 1. Structure and size of the proposed antenna
表 1. 天线的基本结构尺寸

参数	值(mm)	参数	值(mm)
圆形贴片直径 D	8.75	基板高 Hsub	1.5
圆形 CSRR 外环半径 Ro	5	基板宽 Wsub	30
圆形 CSRR 外环宽度 A	0.3	基板长 Lsub	34
圆形 CSRR 内环半径 Ri	4.1	接地板长 Lg	34
圆形 CSRR 内环宽度 B	0.6	接地板宽 Wg	16
圆形 CSRR 缺口宽度 C	0.2	宽横槽长 L1	9
方形 CSRR 外环半径 ro	8	宽横槽宽 W1	2.1
方形 CSRR 外环宽度 a	1	窄横槽长 L3	7
方形 CSRR 内环半径 ri	6	窄横槽宽 W3	0.8
方形 CSRR 内环宽度 b	1	馈电微带线宽 d	2.3
方形 CSRR 缺口宽度 c	0.2	馈电微带线长 L	17
方形 CSRR 的中心距离 S1	15	窄竖槽长 L2	2.3
方形 CSRR 与边缘距离 S2	4.5	窄竖槽宽 W2	11.9

设计天线进行仿真优化，得到的电压驻波比 VSWR，如图 3 所示，该天线在 3.1~3.4 GHz (WiMAX 频段)、4~4.4 GHz(卫星通信 C 波段)及 5.2~6.1 GHz(WLAN 频段)三个频段电压驻波比 VSWR ≥ 2，即产生了陷波。工作频率为 2.8~8.8 GHz，相对带宽为 103%(S₁₁ < -10 db)，满足超宽带天线的设计需要。

由于超宽带天线在整个频带范围内的各项性能指标都是和频率有关的函数，因此只采用阻抗带宽来描述天线的超宽带特性是不够的，还必需考查天线是否具有稳定的方向图。图 4 中给出了 4.2 GHz 和 6.4 GHz 两个方向的辐射方向图，从图中看到天线在两个频率上的方向图基本一致，而且 H 面有近似全向的辐射特性。

4. 对称 CSRR 结构对天线陷波性能的影响

4.1. 对称 CSRR 结构对 WLAN 波段陷波性能的影响

如图 5 所示，黑色曲线为无对称 CSRR 结构的 VSWR 曲线，红色曲线为有对称 CSRR 结构的 VSWR 曲线。

从图中可以看出，选择合适的参数后，在接地板上添加对称的 CSRR 结构可以实现 WLAN 频段上的第三个陷波波段。

4.2. 对称 CSRR 两环间距对陷波性能的影响

CSRR 是一种谐振结构，它的谐振特性是产生陷

波的原因^[8]。当电磁波的电场沿 CSRR 表面的法方向时，CSRR 上会产生电谐振响应，谐振频率为：

$$\omega = \sqrt{\frac{2}{\pi LC}}$$

其中，L 是环路的总电感，C 是内外缝隙间总电容。

当馈源的频率与 CSRR 的谐振频率相同时，大部分能量被反射回去，辐射效率很低，即所谓的“陷波”。

由上式可知，适当的调节内外缝隙间总电容 C，使谐振频率 ω 与馈源的频率相同即可实现在谐振频率上的陷波。通过仿真实验发现，内外缝隙间的总电容与两环的间距有关。改变两环间距，内外缝隙间总电容随之变化，CSRR 的谐振频率也会发生相应的变化。两环间距过大或过小都会直接影响天线的陷波性能。

CSRR 内外缝隙间的距离为 d，缝隙宽度为 a，图 6 为当 a = 1 mm，d 取不同值时天线的 VSWR 曲线。

图中黑色、蓝色、红色曲线分别为当 d = 1 mm、1.5 mm、2 mm 时天线的 VSWR 曲线。改变缝隙宽度对天线的陷波特性和性能产生了影响，尤其是当缝隙宽度从 d 增加至 2 d 时，天线的陷波性能严重恶化。

因此为了保证良好的陷波性能，通过仿真发现内外缝隙间的距离应取 d 的 0.5~1.5 倍较为合适。这个范围内，CSRR 的谐振频率变化不大，对天线陷波性能的影响较小。

5. 结论

本文设计了一种基于 CSRR 结构的三陷波单极子

基于 CSRR 的三陷波单极子超宽带天线的设计

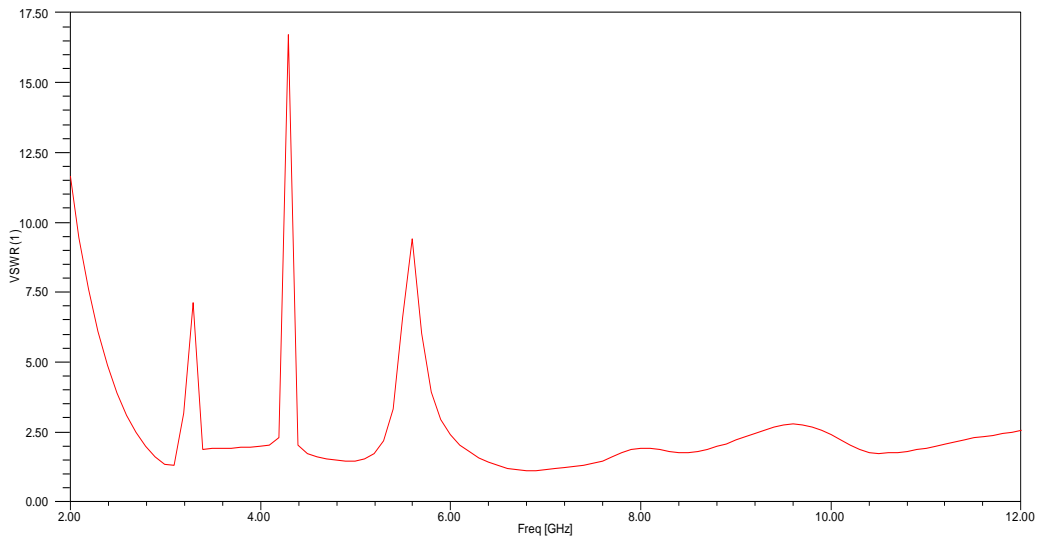


Figure 3. The VSWR of the proposed antenna
图 3. 天线电压驻波比图

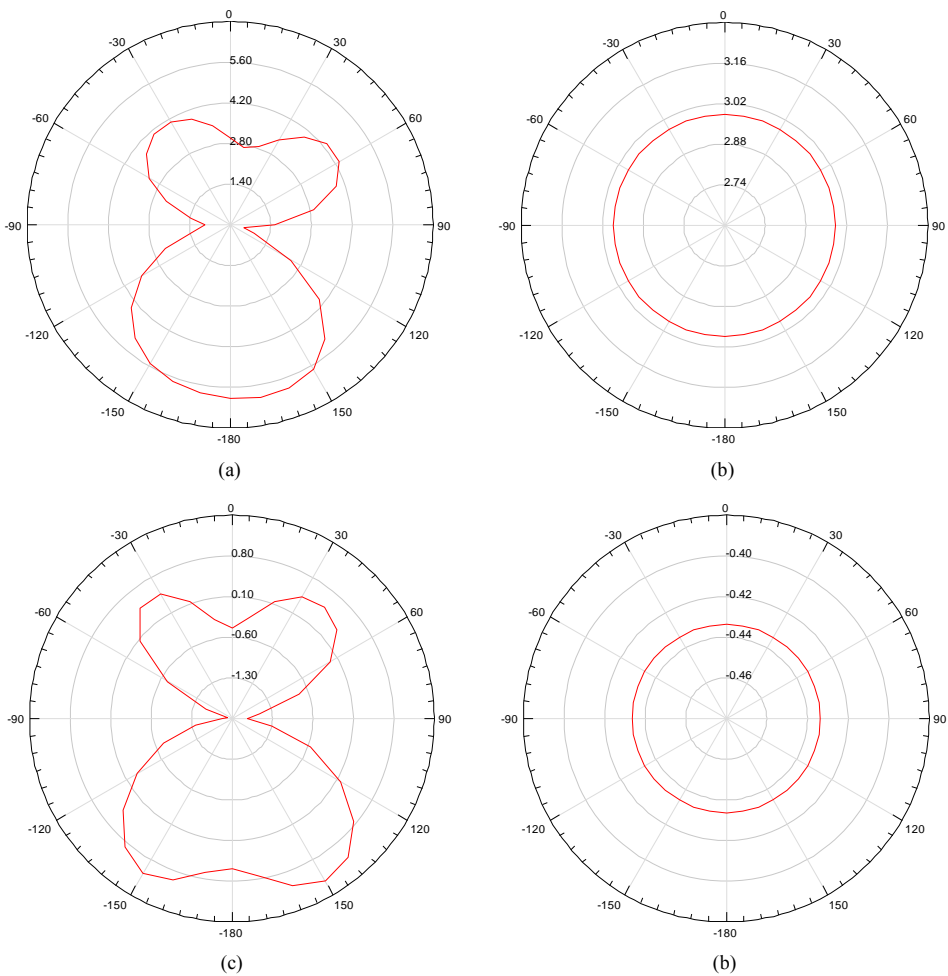


Figure 4. (a) Radiation pattern on E-plane at 4.2 GHz; (b) Radiation pattern on H-plane at 4.2 GHz; (c) Radiation pattern on E-plane at 6.4 GHz; (d) Radiation pattern on H-plane at 6.4 GHz
图 4. (a)频率为 4.2 GHz 时的 E 面方向图; (b)频率为 4.2 GHz 时的 H 面方向图; (c)频率为 6.4 GHz 时的 E 面方向图; (d)频率为 6.4 GHz 时的 H 面方向图

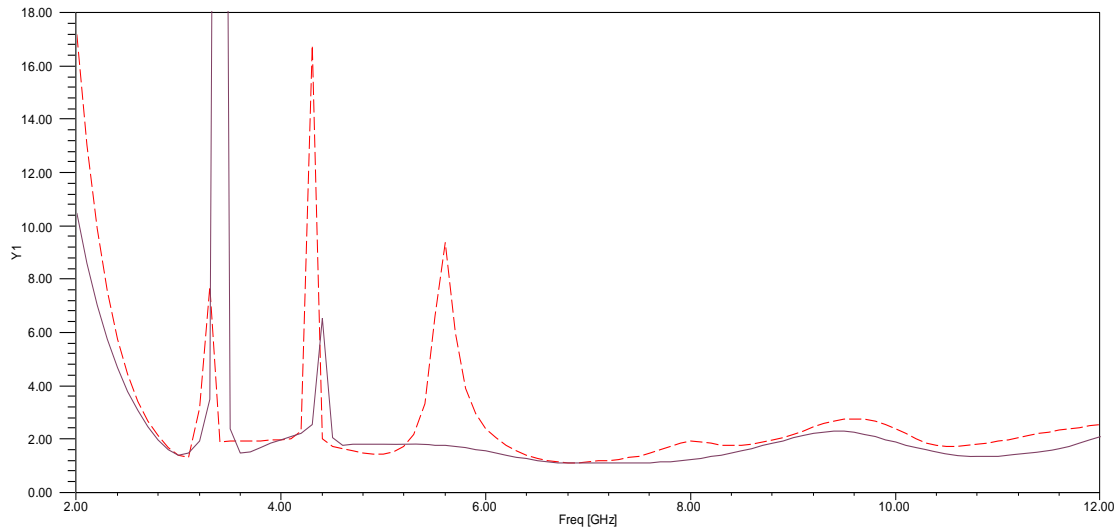


Figure 5. The VSWR of the antenna with and without CSRR
图 5. 有无对称 CSRR 结构的天线 VSWR 曲线对比

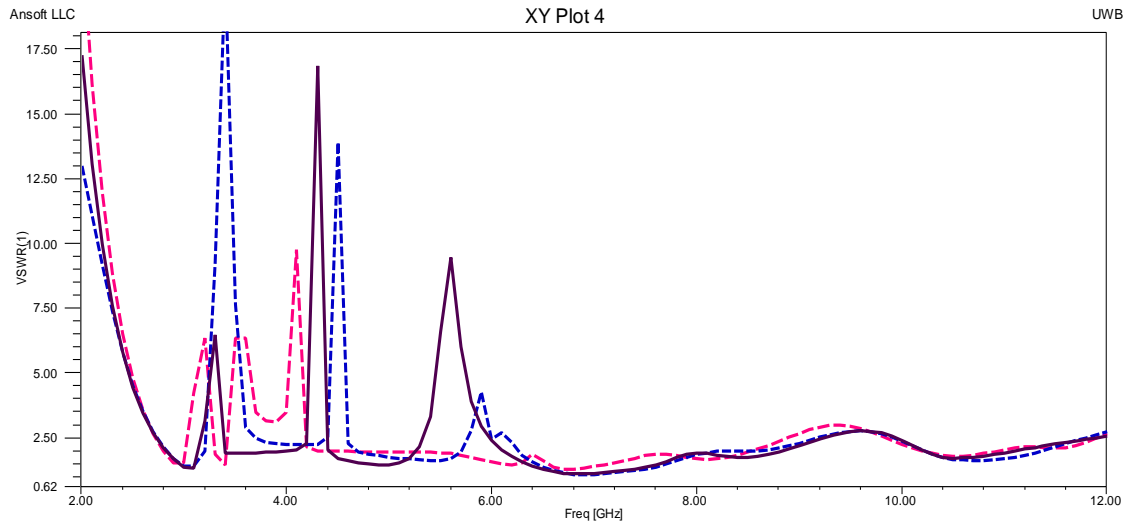


Figure 6. When $a = 1 \text{ mm}$, the VSWR of the designed antenna with different d
图 6. 当 $a = 1 \text{ mm}$ 时, d 取不同值是天线的 VSWR 曲线

超宽带天线。通过在单极子贴片上引入一个圆形 CSRR 结构, 实现了 WiMAX 频段和卫星通信 C 波段的双陷波。在此基础上, 在刻有“工”字型槽的接地板上蚀刻了一对对称的方形 CSRR 结构, 从而实现了 WLAN 频段的三陷波。对接地板上对称 CSRR 结构的两环间距对陷波性能的影响进行了仿真研究, 定性地给出了满足天线陷波特性的有效距离。

参考文献 (References)

- [1] 何晓阳等. 基于单个 CSRR 结构的超宽带天线[Z]. 成都: 2009 年全国天线年会, 2009: 838-840.
- [2] 钱坤等. 超宽带宽缝天线的设计与仿真[J]. 应用科技, 2007, 34(10): 21-23.
- [3] 宋晗. 互补开环谐振器/互补螺旋谐振器在微波器件设计中的应用[D]. 南京航空航天大学, 2011.
- [4] 谭瑞, 龚书喜, 查锋涛. 双陷波特性的单极子超宽带天线[Z]. 成都: 2009 年全国天线年会, 2009: 58-61.
- [5] 孙荣辉等. 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(5): 15-19.
- [6] M. Zhang, et al. A novel ultrawideband planar antenna with dual band-notched performance. Microwave and Optical Technology Letters, 2010, 52(1): 90-92.
- [7] Y. Cao, J. Wu and H. Yang. Design of CPW-fed monopole antenna with quadruple band-notched function for UWB application. International Conference on Computational Problem-Solving (ICCP), 2011: 353-356.
- [8] 李明等. 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.