

# 新型超宽带宽波束圆极化天线

钟玲玲, 邱景辉, 白文静, 王楠楠

(哈尔滨工业大学 电子与信息技术研究院, 哈尔滨 150001, E-mail: zhonglingling@hit.edu.cn)

**摘要:**简单介绍了平板圆片单极天线。提出了一种新型的组合单极天线形式,这种天线将四个圆片单极子垂直交叉放置,不仅依然能够在很宽的频带上满足反射损耗的要求,而且该天线具有较宽的波束和波束范围内有较好的圆极化性能等特点。对这种新型天线进行了分析,给出了天线的设计方法,研究了其超宽带性能,详尽讨论了天线的反射损耗、辐射方向图、轴比图,以及增益和群延时特性。分析结果验证了其在实现宽波束圆极化的同时具有良好的超宽带性能。这种新型小型化天线在无线通信、卫星通信和移动通信中具有良好的应用前景。

**关键词:**超宽带;圆片单极天线;宽波束;圆极化

中图分类号: TN82

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2007)05-0742-03

## Novel ultrawide-band wide beam circular polarization antenna

ZHONG Ling-ling, QIU Jing-hui, BAI Wen-jing, WANG Nan-nan

(Dept. Electronics and Communication Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China,  
E-mail: zhonglingling@hit.edu.cn)

**Abstract:** A novel antenna is proposed. Four circular disc monopoles are placed across each other. The improved antenna is not only favorable for satisfying ultrawide-band return loss requirement but also advantageous in realizing the wide beams and good circular polarization performance within the beams. Analyses are conducted to determine the novel antennas' properties. The return loss, radiation patterns, axial ratio, gain and the time domain performance of the antennas are discussed detailedly. The analytic results verify that the novel circular disc monopole ultrawide-band antenna has reliable ultrawide-band performance during realizing wide beam and circular polarization. The novel antenna proposed in this paper is suitable for the wireless, satellite and mobile communication systems with good prospects.

**Key words:** ultrawide-band (UWB); circular disc monopole antenna; wide-beam; circular polarized

近年来,单极天线是超宽带天线的研究热点,它具有制作简单、加工方便、成本低廉、体积小、质量轻等诸多优点<sup>[1-10]</sup>。这种天线虽然能够覆盖无线终端的全部所需频段,在很宽的阻抗带宽上能提供令人满意的辐射性能,但是它不能实现圆极化,而且在俯仰面的方向图不能实现宽波束辐射和接收,因而限制了其在某些特殊场合的应用。

为了展宽波束范围并实现圆极化,本文研究了一种新型的超宽带天线,将4个圆片单极子垂直交叉放置。研究了其阻抗特性和辐射特性,由数

值结果和理论分析得出了天线的基本结构参数,并对于群延时进行了仿真。结果证明,这种天线在保持单极天线良好宽频带性能的同时实现了宽波束圆极化,且结构简单,易于加工。

## 1 超宽带圆片单极天线

### 1.1 天线基本结构

超宽带圆片单极天线由一块地板和垂直于地板的圆盘金属片组成,馈电点为圆片的下端点与地板的正中心。制作天线的材料可以选择厚度1 mm左右的铜板或铁板,切割成半径为r的圆。

### 1.2 圆片单极天线下限频率的确定

超宽带天线最重要的特性就是其阻抗带宽。

从理论上可以将半径为  $r$  的平面圆片单极结构近似等效为高  $l$  半径  $a$  的短圆柱振子。其下限频率的确定方法是, 将圆面积等效为短圆柱振子的表面积, 将圆片高度  $2r$  等效为短圆柱振子的高度  $l$ , 即  $\pi r^2 = 2\pi al$ ,  $2r = l$ , 短圆柱振子的高度  $l$  与波长的对应关系为<sup>[11]</sup>

$$l = 0.24\lambda F. \quad (1)$$

其中:  $F = (l/a)/(1 + (l/a))$ .

则圆片单极子的最低谐振频率为

$$f = 3.2/r. \quad (2)$$

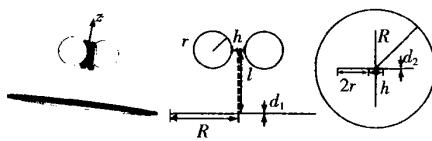
综合上述理论, 对天线进行了仿真设计和分析。采用基于时域有限积分法的专业仿真软件 CST - Microwave Studio 进行仿真分析。得出了最低谐振频率 4 GHz 的圆片单极子天线性能最优结构参数: 辐射单极子半径  $r = 8$  mm; 反射板厚度  $d_1 = 1$  mm, 辐射单极子厚度  $d_2 = 1$  mm。以此为基础, 提出了以下改进的新型超宽带圆片单极天线。

## 2 新型超宽带天线

### 2.1 天线基本结构

保持圆片单极天线的基本圆片结构不变, 将 4 个圆片单极子垂直交叉放置, 共用一块圆形反射板。相对的两个圆片为一组, 在距离最近点采用  $50 \Omega$  同轴线馈电, 为实现圆极化特性, 馈电时两组圆片有  $90^\circ$  的相移, 为减小因结构过于复杂引起的误差, 仿真时采用离散源馈电。如图 1 所示, 圆片单极子半径仍然为  $r$ , 相对的两个单极子间距为  $h$ , 反射板半径为  $R$ , 单极子与反射板距离为  $l$ , 反射板厚度为  $d_1$ , 辐射单极子厚度为  $d_2$ 。

应用 CST 对该天线的参数进行了仿真调整和分析, 得出了新型超宽带宽波束圆极化天线的性能最优结构参数:  $r = 5.75$  mm,  $h = 1$  mm,  $R = 44$  mm,  $l = 17$  mm,  $d_1 = 1$  mm,  $d_2 = 1$  mm。



(a) 天线模型 (b) 正视图 (c) 俯视图

图 1 新型超宽带天线

### 2.2 天线的反射损耗特性分析

图 2 给出了该新型超宽带天线的反射损耗  $S_{11}$  随频率变化。可以看出, 在 4 ~ 15 GHz, 天线的反射损耗均  $< -10$  dB。表明新型超宽带天线反射性能较好, 可以达到约 4 个倍频程的阻抗带宽。

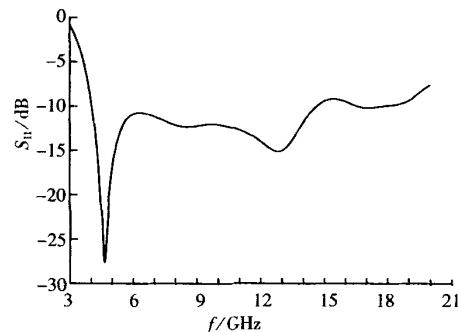
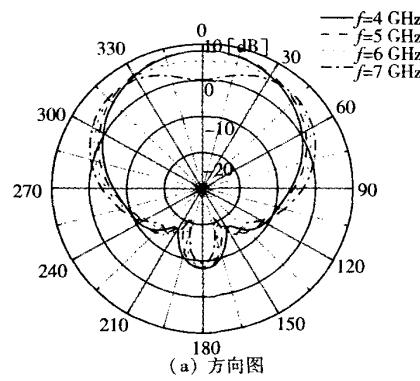


图 2 新型超宽带天线反射损耗的仿真结果

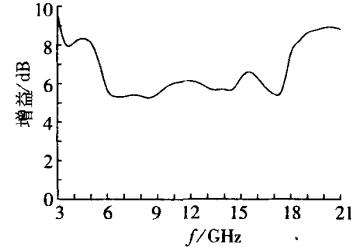
### 2.3 辐射方向图和增益

图 3(a) 为该新型超宽带天线在 4 ~ 7 GHz 时俯仰面方向图的仿真结果。在  $f = 4 \sim 6$  GHz 时, 3 dB 波束宽度  $> 70^\circ$ , 3 个频率上最大增益分别为 8.1、8.1、5.7 dB。当频率上升到 7 GHz,  $z$  轴方向增益出现了凹陷, 其较小的幅度约为 5 dB。本文设计的新型超宽带天线弥补了圆片单极子俯仰面不能实现宽波束辐射和接收的缺点, 在波束宽度内都有较高的增益, 可以满足某些特殊场合的需要。

从图 3(b) 可以看出, 当频率在 3 ~ 20 GHz, 其最大增益范围约为 5.3 ~ 9.6 dB, 变化幅度在 5 dB 以内; 在 5 ~ 17 GHz 范围内, 增益稳定在 6 dB 左右, 上下浮动不超过 1 dB, 最大增益在整个频带内具有良好的稳定性。



(a) 方向图



(b) 增益

图 3 新型超宽带天线的辐射方向图和增益

### 2.4 轴比

图 4 为该新型超宽带天线在 4 ~ 8 GHz 时轴比图的仿真结果。可以看出, 在 4 ~ 7 GHz 频段,

3 dB 波束宽度内轴比  $< 2 \text{ dB}$ , 在 8 GHz 以上,  $z$  轴方向轴比出现了凹陷。说明此新型天线在 4 ~ 7 GHz、宽波束范围内能实现优良的圆极化特性。

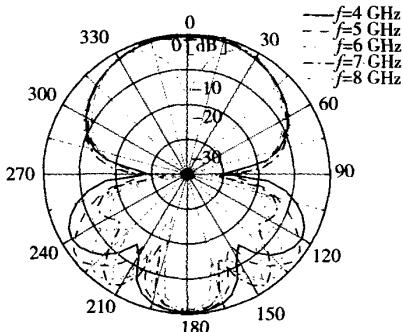


图 4 新型超宽带天线的轴比图

## 2.5 时域特性

理论上,不同的频率分量在同一介质中传输时,到达的时间不同,这是由于传输系统的分布参数引起的。就单一波形而言,基波与多次谐波到达的时间不同,造成波形的后延性失真,在图像表现上为“拖尾”,这在工程中很常见。平坦的群延时表明所有频率被延迟了相同的时间,有利于信号波形的保持。图 5 为该天线的群延时在 3 ~ 20 GHz 内的变化情况。在 4.65 GHz 时,群延时有约 2 ns 的突起,其他频率上群延时均在 0 ns 左右,在整个频带内,群延时较为平坦,保证了这种圆片单极天线脉冲失真小,时域特性良好,能够无失真地辐射和接收时域短脉冲信号。

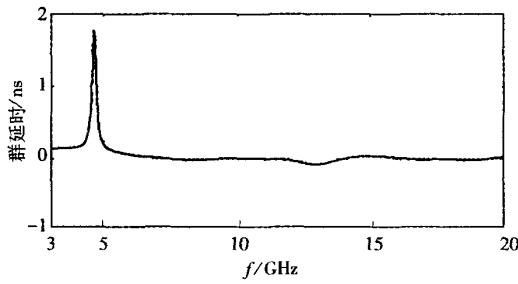


图 5 新型超宽带天线的群延时变化

## 3 结 论

1) 超宽带圆片组合单极天线具有很宽的频带宽度,在 4 ~ 15 GHz, 反射损耗均  $< -10 \text{ dB}$ , 阻抗特性良好。

2) 该天线在俯仰面具有较宽波束(3 dB 波束宽度  $> 70^\circ$ ), 同时在波束范围内有较好的圆极化性能(轴比  $< 2 \text{ dB}$ )。可以显著地展宽天线波束,且具有成本低、体积小、质量轻、结构简单等特点,适用于卫星通信和移动通信等通信系统。

## 参 考 文 献:

- [1] CHEN Zhining, WU Xuanhui, LI Huiqiang, et al. Considerations for source pulses and antennas in UWB radio systems [J]. IEEE Trans Antennas Propag., 2004, 52 (7): 1739 ~ 1748.
- [2] POWELL J. Antenna design for Ultra Wideband Radio [D]. [s. l.]: Electrical Engineering, New Mexico State University, 2004.
- [3] FCC Report and Order for Part 15. Acceptance of Ultra Wideband (UWB) Systems from 3.1—10.6 GHz [R]. Washington, DC: FCC, 2002.
- [4] AGRAWALL N, KUMAR G, RAY K P. Wide-Band planar monopole antennas [J]. IEEE Trans. Antennas Propag., 1998, 46(2): 294 ~ 295.
- [5] AMMANN M J, CHEN Z N. Wideband monopole antennas for multi-band wireless systems [J]. IEEE Antennas Propag. Mag., 2003, 45(2): 146 ~ 150.
- [6] LIANG Jianxin, CHOO C, CHEN Xiaodong, et al. Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems [J]. IEEE Trans. Antennas Propag., 2005, 53(11): 3500 ~ 3504.
- [7] SCHANTZ H. Bottom fed planar elliptical UWB antennas [C]//IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, Virginia, USA: [s. n.], 2003: 219 ~ 223.
- [8] CHENG Chonghu, LV Wenjun, CHENG Yong. Study and design of monopole antenna fed with coplanar waveguide (CPW) [J]. Journal of Microwave, 2003, 19(4): 58 ~ 61.
- [9] SCHANTZ H G. A brief history of UWB antennas [J]. Aerospace and electronic systems magazine, 2004, 19 (4): 22 ~ 26.
- [10] YAZDANDOOST, KOHNO K Y. Ultra wideband antenna [J]. Communications Magazine, 2004, 42(6): 29 ~ 32.
- [11] BALANIS C A. Antenna Theory: Analysis and Design [M]. New York: Harper and Row, 1982, 451 ~ 454.

(编辑 杨 波)

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>