

超宽带圆片天线的分析与设计

钟玲玲, 邱景辉, 孙博

(哈尔滨工业大学电子与信息技术研究院, 哈尔滨 150001)

摘要: 宽频带是当前天线领域的研究热点之一。圆片单极天线是一种馈电简单的超宽带天线, 给出了这种天线的设计方法, 通过仿真与实验验证了该天线良好的超宽带特性。以此为基础, 进一步研究了几种圆片单极天线的变形形式, 包括平板圆片单极天线、旋转角度圆片单极天线、折叠圆片单极天线以及四个圆片单极子形成的组合天线。对于各种新型圆片天线进行了理论分析, 分别计算了天线的反射损耗和辐射方向图随频率的变化规律。通过分析表明这些天线不仅能够在很宽的频带上满足反射损耗的要求, 而且对于传统的圆片单极天线进行了有效的改进, 实现了平板化、小型化、宽波束、圆极化等不同的特性。它们在卫星通信和移动通信中具有良好的应用前景。

关键词: 超宽带天线; 圆片单极天线; 平板天线; 小型化; 宽波束; 圆极化

中图分类号: TN82 文献标识码: A 文章编号: 1000-1328(2008)04-1387-06

0 引言

随着射频电子技术的飞跃和超宽带无线电设备的发展, 超宽带天线技术也在不断的发展。近年来, 超宽带天线已广泛应用于现代航空、航天以及民用通信等各个方面^[1]。因此, 设计出一种尺寸小、结构简单、性能良好的超宽带天线具有重大的现实意义。

近年来提出的超宽带天线主要以双锥天线的各种演变形式为主, 这包括蝶形天线、泪滴天线、渐变槽缝天线等及其变形形式。其中由 W. Stohr 所提出的圆片单极天线具有很宽的阻抗带宽和稳定的相位中心^[2]。它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。

本文将着重介绍超宽带圆片天线的设计方法, 详细分析其超宽带性能。在此基础上, 提出几种新型的超宽带天线: 平板圆片单极天线能够实现平板化, 缩小天线的体积空间; 旋转角度圆片单极天线、折叠圆片单极天线在高度上实现天线的小型化; 四圆片天线在展宽天线波束的同时, 能够实现圆极化特性。通过电磁仿真软件, 将详细讨论各种圆片宽带天线的性能, 并对天线的阻抗、方向图以及轴比等特性进行分析。

1 超宽带圆片单极天线

超宽带圆片单极天线的基本结构如图 1(a)所

示, 天线由地板和垂直于地板的圆片金属片组成, 采用同轴馈电的方式, 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 1mm 左右的金属板, 切割成半径为 r 的圆。

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 R 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 $\pi r^2 = 2\pi Rl$, $2r = l$, 如图 1(b)所示。

短圆柱振子的下限频率为

$$f_L = 7.2/(l + R) \quad (1)$$

综合以上条件参数, 可以得到圆片单极子的最低谐振频率为

$$f_L = 3.2/r \quad (2)$$

上式中, r 的单位是厘米(cm), f_L 的单位是 GHz^[3]。

根据图 1(a)建立模型, 以圆片半径为 25mm 的圆片单极超宽带天线为例进行仿真和实验。本文所采用的仿真软件是专业天线仿真软件 CST-Microwave Studio, 它能够直接给出 S 参量、方向图等结果^[4]。本天线测试采用 Anritsu 公司的 37247D 网络分析仪。

图 1(c)表示的是圆片单极超宽带天线反射损耗测量与仿真结果的比较。从图中可以看出, 测量与仿真结果在 14GHz 以下形状基本一致, 而且反射损耗数值的测量结果优于仿真结果; 在 14~17GHz 的频率范围内, 测量与仿真结果差别较大, 这主要是

由于加工工艺、加工精度、实验环境对测量结果产生的影响,且频率越高影响越大。但总体而言,在 1~20GHz 的频率范围内反射损耗的测量与仿真结果都大致能保证在 -10dB 以下。由于实验仪器的限制,仅测量了 40MHz~20GHz 频率范围内的反射损耗,但可以预见到,该尺寸的圆片单极超宽带天线至少具有 20 个倍频程的阻抗带宽。

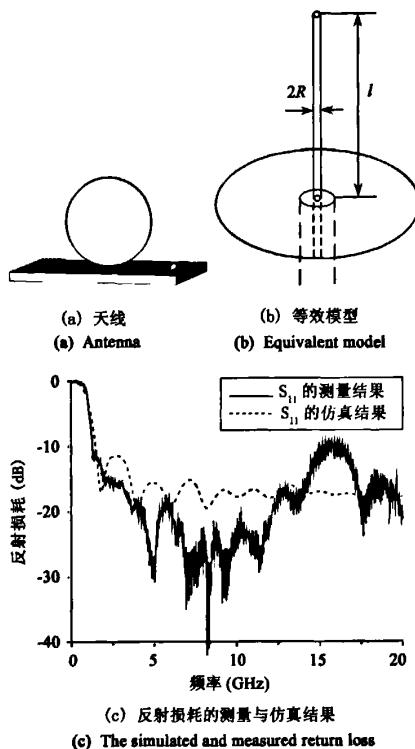


图 1 超宽带圆片单极天线

Fig. 1 Circular disc monopole UWB antenna

近年来,单极天线是超宽带天线的研究热点,除了上面提到的圆片单极天线,国内外对于方片、五边形和六边形的天线均有所报道^[5~8]。但它们都不是平面结构,因为其反射板均是垂直于辐射器的,这耗费了很大的体积空间,因此有必要进一步研究超宽带圆片单极子的平板化技术。

2 超宽带平板圆片单极天线

平板单极天线将反射板与圆片单极子置于一个平面之内,这使得结构更加紧凑,因而更具实用价值。

2.1 天线基本结构

平板圆片单极天线的基本结构如图 2(a)所示,上端保持圆片单极子的基本结构不变,圆片半径为

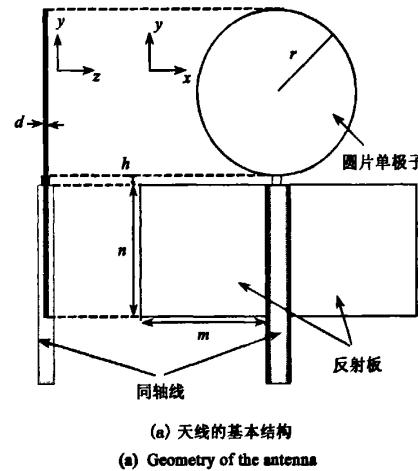
r ,下端地板由两块矩形金属片组成(边长分别为 m 、 n),与圆片共面对称放置。天线采用同轴馈电的方式,馈电间隙 h 。

为了分析天线的基本性能,选取一个基本的天线结构尺寸:辐射单极子半径 $r = 10.7\text{mm}$;矩形地板 $m = n = 16.4\text{mm}$;馈电高度 $h = 0.6\text{mm}$;地板和辐射单极子厚度 $d = 1\text{mm}$,根据前面提到的理论,该圆片单极天线所对应的下限频率为 3GHz。

2.2 天线性能分析

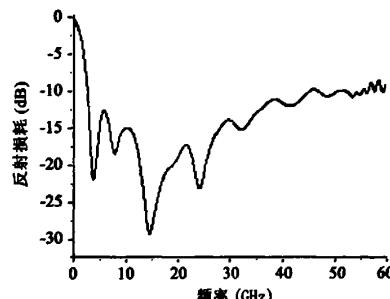
图 2(b)给出了上述尺寸的圆片单极天线反射损耗随频率变化的仿真结果(0~60GHz)。从图中可以看出,在 2.5~55GHz 的超宽频率范围内,天线的反射损耗均小于 -10dB;在 10~28GHz 的频率范围内,天线的反射损耗均小于 -15dB。因此,这种圆片单极天线仍然至少具有 20 个倍频程的阻抗带宽。

图 2(c)和 2(d)表示该天线在 3GHz、5GHz、10GHz 时辐射方向图的仿真结果。从图中可以看出,该天线在 E 面($x-y$ 平面)的方向图与传统的



(a) 天线的基本结构

(a) Geometry of the antenna



(b) 天线反射损耗 S_{11} 的仿真结果

(b) Simulated return loss of the antenna

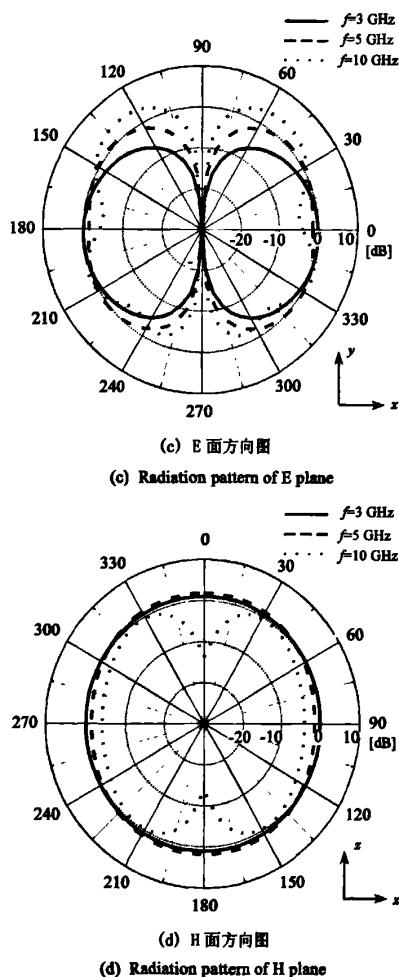


图2 平板圆片单极天线

Fig.2 Planar circular disc monopole

单极子天线基本相同, H面($x-z$ 平面)在3GHz、5GHz的方向图近似全向,虽然在10GHz时, z 轴方向出现了凹陷,但总体而言,该天线在较宽的频率范围内方向图是较为稳定的。

在此基础上,考虑在垂直于平板天线的平面上进行扩展,在高度上进一步实现天线的小型化。

3 旋转角度圆片单极天线

3.1 天线基本结构

保持平板圆片单极天线的基本结构参数不变,将圆片单极子绕反射器的上边缘旋转角度 ϕ ,如图3(a)所示,从图中可以看出,在一定程度上降低了圆片单极天线的高度,实现了小型化。

3.2 天线性能分析

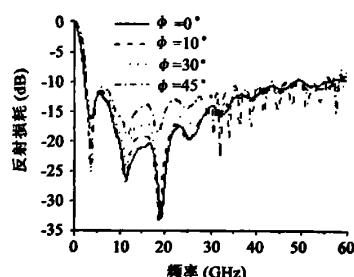
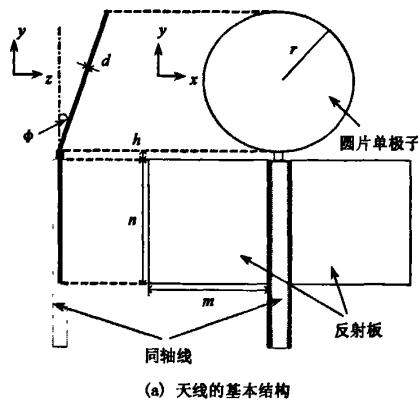
图3(b)给出了旋转角度圆片单极天线在 $\phi = 0^\circ$ (不旋转)、 $\phi = 10^\circ$ 、 $\phi = 30^\circ$ 、 $\phi = 45^\circ$ 时反射损耗随频率变化的仿真结果(0~60GHz)。从图中可以看出,反射损耗值随着角度值 ϕ 的增大而增大,但在2.5~55GHz的频率范围内,在四个角度上的反射损耗值仍然小于-10dB。

图3(c)和3(d)表示在 $\phi = 30^\circ$ 时,该天线在3GHz、6GHz、10GHz时辐射方向图的仿真结果。从图中可以看出,在3GHz时,该天线E面的方向图关于x轴和y轴都呈对称分布;当频率上升到6GHz和10GHz, y 轴方向增益增大;在各个频率上,该天线在H面的方向图近似全向而且关于z轴呈对称分布,当天线谐振频率升高,其方向图略有起伏,但程度不大。

4 折叠圆片单极天线

4.1 天线基本结构

保持平板圆片单极天线的基本结构参数不变,将圆片单极子在距其下边缘 w 处直角折叠,圆片单极子的最终高度为 w ,如图4(a)所示。



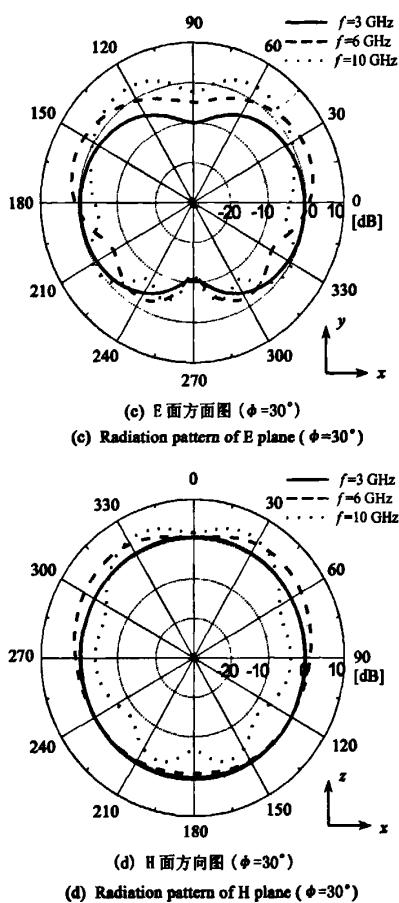


图 3 旋转角度圆片单极天线

Fig.3 Disc monopole with a certain angle

4.2 天线性能分析

图 4(b)给出了该超宽带折叠圆片单极天线分别在 $w = 2r = 21.4\text{mm}$ (不折叠)、 $w = 15\text{mm}$ 、 $w = 10.7\text{mm}$ (从中点折叠)、 $w = 5\text{mm}$ 时反射损耗随频率变化的仿真结果($0 \sim 60\text{GHz}$)。从图中可以看出,圆片单极子折叠以后,相比较不折叠的情况其反射损耗会有上下浮动,但是浮动范围并不大;在 $2.5 \sim 55\text{GHz}$ 的频率范围内,在四个折叠高度上的反射损耗值仍然能够保持均小于 -10dB 。

图 4(c)和图 4(d)表示 $w = 15\text{mm}$ 时,该天线在 10GHz 、 30GHz 、 50GHz 时辐射方向图的仿真结果。从图中可以看出,该天线在 E 面的方向图是关于 y 轴对称分布的,随着频率的变化,方向图出现了小范围的波动起伏;天线在 H 面的方向图是关于 z 轴对称分布的,与 E 面方向图类似的规律是 30GHz 和 50GHz 方向图的基本一致。

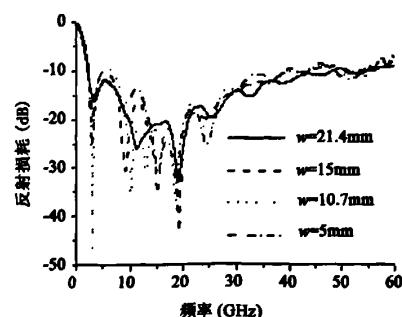
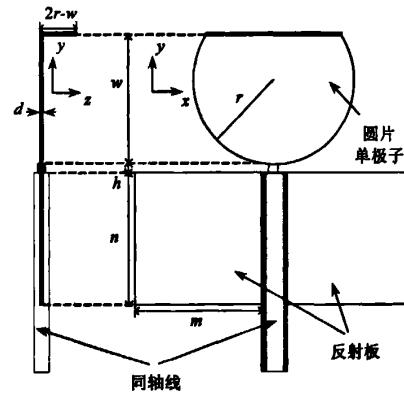
前面提到的圆片单极天线虽然能够覆盖无线终端的全部所需频段,在很宽的阻抗带宽上能提供令人满意的辐射性能,但是在俯仰面不能实现宽波束辐射和接收,限制了其在某些特殊场合的应用。

5 四圆片超宽带宽波束圆极化天线研究

为了展宽波束范围,本文继续研究了一种新型的超宽带天线,它将四个圆片单极子垂直交叉放置。在超宽带研究中,圆极化天线显有涉及,但是一些微波器件公司已经研制出带宽达 13GHz 的宽带移相器,如中国西安恒达微波技术开发公司、Hittite Microwave 等,它们可以提供 0° 到 100° 的可变相移。本文应用宽带移相器,将两组正交放置的圆片在馈电时加上 90° 的相移,实现了超宽带频率范围内的宽波束圆极化特性。

5.1 天线基本结构

保持圆片单极天线的基本圆片结构不变,将四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 欧姆



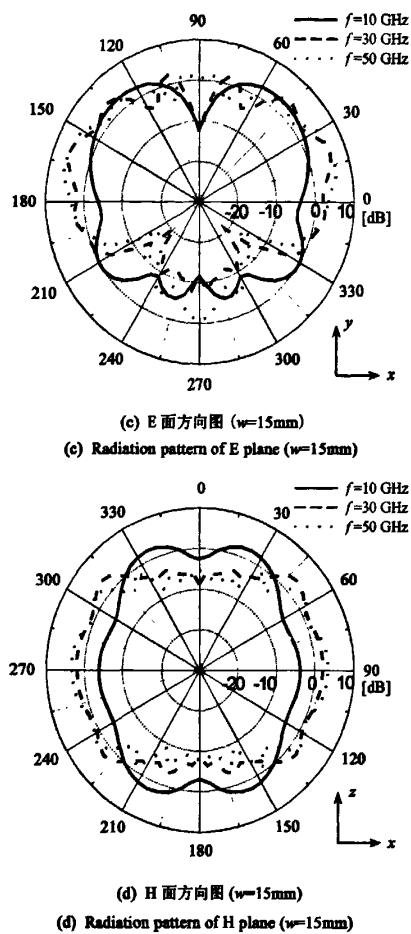


图4 折叠圆片单极天线

Fig.4 Disc monopole pucker a certain length

同轴线馈电。如图5(a)和图5(b)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 。

利用上述圆片单极天线下限频率确定的原理公式进行基本参数设计并利用CST进行仿真优化分析,得出了最低谐振频率4GHz的圆片单极子天线性能最优结构参数:辐射单极子半径 $r=8\text{mm}$;反射板厚度 $d_1=1\text{mm}$,辐射单极子厚度 $d_2=1\text{mm}$ 。以此为基础,对四圆片组合天线的参数进行了逐一的仿真调整和分析,最后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: $r=5.75\text{mm}$, $h=1\text{mm}$, $R=44\text{mm}$, $l=17\text{mm}$, $d_1=1\text{mm}$, $d_2=1\text{mm}$ 。

5.2 天线性能分析

图5(c)给出了该新型超宽带天线的反射损耗

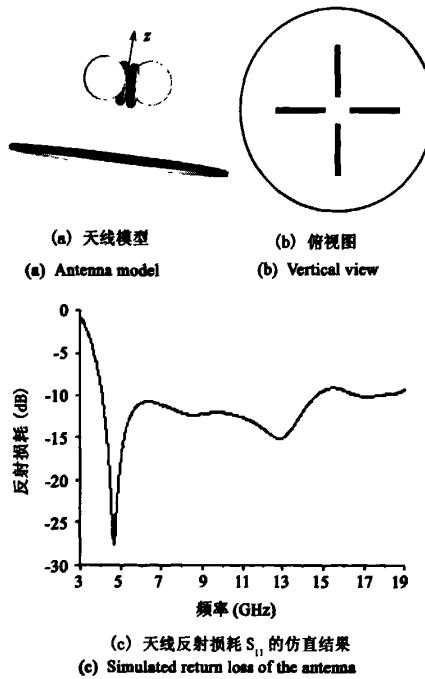
随频率变化的仿真结果。从该图中可以看出,在4~15GHz频率范围内,天线的反射损耗小于-10dB。该结果表明,这种新型超宽带天线反射损耗性能较好,可以达到约4个倍频程的阻抗带宽。

图5(d)表示该新型超宽带天线在4~7GHz时的俯仰面方向图。在 $f=4\text{GHz} \sim 6\text{GHz}$ 时,3dB波束宽度大于70°。这种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,可以满足某些特殊场合的需要。

图5(e)表示该新型超宽带天线在4~7GHz时轴比的仿真结果。从图中可以看出,在4~7GHz频段,3dB波束宽度内轴比<2dB,8GHz以上, z 轴方向轴比出现凹陷。该结果说明此天线在4~7GHz、宽波束范围内能够实现优良的圆极化特性。

6 结论

本文首先着重介绍了圆片单极超宽带天线的设计方法和理论分析过程,给出了圆片单极超宽带天线下限工作频率 f_L 的估算公式,证明下限工作频率取决于天线圆片半径,通过仿真和测试,验证了该天线至少具有20个倍频程的阻抗带宽。之后进一步研究天线的平板化技术,提出平板圆片单极天线,分析结果表明,该天线在2.5GHz至55GHz的频率范



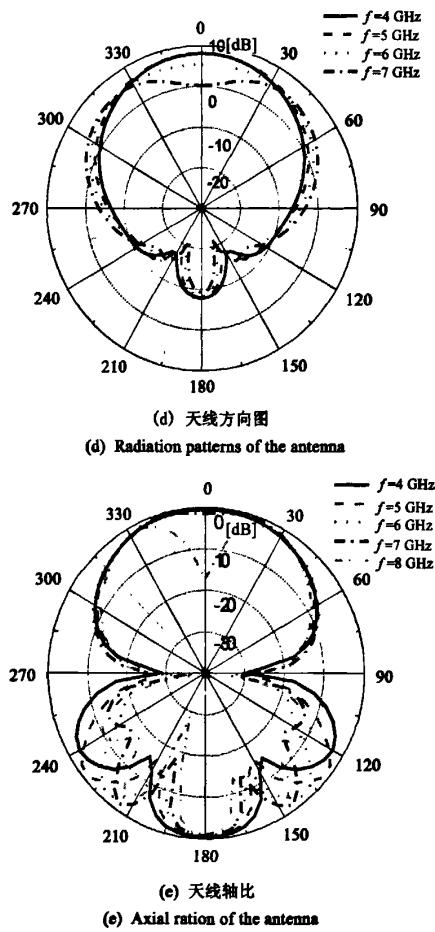


图 5 组合圆片单极天线

Fig.5 Assembled disc monopoles

围内,反射损耗均小于 -10dB ,在 H 面可以实现近似全向的辐射。在此基础上,对平板形式的圆片单极天线进行了改进,圆片单极子绕反射器上边缘旋转一个角度或是直接折叠,这两种形式的天线在不牺牲天线阻抗特性的同时实现了圆片单极超宽带天线高度上的小型化。最后本文又提出了一种四圆片宽波束圆极化天线,这种天线在 4GHz 至 15GHz 的频率范围内,反射损耗小于 -10dB ,3dB 波束宽度大于 70° ,并且能够实现较好的圆极化性能。这几种新型超宽带天线对于单极天线进行了有效的改进,且

具有成本低、体积小、重量轻、结构简单等特点,适用于卫星通信和移动通信等通信系统,为今后超宽带天线的设计提供了有价值的参考。

参考文献:

- [1] 杨莘元,殷潜,毕晓艳,吕威. 基于解相关算法的直扩超宽带系统路径间干扰抑制[J]. 宇航学报, 2007, 28(5): 1278 - 1282.
[YANG Shen-yuan, YIN Qian, BI Xiao-yan, LV Wei. Interpath interference suppression scheme for DS-UWB communication systems based on decorrelating algorithm[J]. Journal of Astronautics, 2007, 28(5): 1278 - 1282(in Chinese).]
- [2] ZHAO Chuan-dong. Analysis on the properties of a coupled planar dipole UWB antenna[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, 2004, 3(1): 317 - 320.
- [3] Balanis C A. Antenna Theory: Analysis and Design[M]. Second Edition. New York: Harper and Row, 1997: 451 - 454.
- [4] 张敏. CST 微波工作室用户全书[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2004: 1 - 11. [ZHANG Min. CST Ltd., CST MICROWAVE STUDIO® 5 User's Manual[M]. ChengDu: UESTCP, 2004: 1 - 11 (in Chinese).]
- [5] 郭安波,陈惠民. 平面单极天线的设计[J]. 无线电工程, 2005, 35(2): 26 - 28. [GUO An-bo, CHEN Hui-min. Design of planar monopole antenna[J]. Radio Engineering, 2005, 35(2): 26 - 28(in Chinese).]
- [6] Schantz H G. Bottom fed planar elliptical UWB antennas[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, Reston, Virginia: 2003: 219 - 223.
- [7] Agrawall N P, Kumar G, Ray K P. Wide-band planar monopole antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1998, 46(2): 294 - 295.
- [8] Ammann M J, CHEN Zhi-ning. Wideband monopole antennas for multi-band wireless systems[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 45(2): 146 - 150.



作者简介: 钟玲玲(1980-)女,博士研究生,电磁场与微波技术专业,研究方向为微波毫米波天线、微波毫米波电路等。

通信地址: 哈尔滨工业大学 341 信箱(150001)

电话:(0451)86402923

E-mail:zhonglingling@hit.edu.cn

(下转第 1413 页)

641 – 650.

- [8] Singh A D, Youn H Y. A modular fault-tolerant binary tree architecture with short links[J]. IEEE Trans. on Computers, 1991, 40(7): 882 – 890.
- [9] Yang C S, Zu L P. A reconfigurable modular fault-tolerant binary tree architecture[C]// 12th Annual International Phoenix Conference on Computers and Communications, 1993.



作者简介:周庆瑞(1971-),男,博士,中科院空间中心博士后,研究方向为高性能星载总线,星载计算机以及演化硬件。
通信地址:北京市海淀区中关村南二条一号,中科院空间中心(100080)
电话:(010)62582867
E-mail:qrzhou@caesar.ac.cn

On Reliability of Physical Topology for IEEE1394

ZHOU Qing-rui^{1,2}, SUN Hui-xian¹

(1. Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;
2. China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China)

Abstract:The use of commercial bus standards in space-mission is the highest-payoff application. While using commercial bus standards enable significant cost reductions, it is a great challenge for us to deliver a highly-reliable long-term survivable system employing them that are not developed to mission-critical application. IEEE1394 is a high performance commercial bus, and begins to be used in avionics recently. In order to meet the high-reliable need, we must make deep study of the reliability of IEEE1394 bus. In this paper, the reliability of several physical topologies for IEEE1394 bus was qualitatively analyzed and quantitative evaluated. And at last, two fault-tolerant and high-reliable designs for 1394 are proposed.

Key words: IEEE1394; Physical topology; Reliable; Fault-tolerant

(上接第 1392 页)

Analysis and Design of Ultrawide-band Circular Antenna

ZHONG Ling-ling, QIU Jing-hui, SUN Bo

(Dept. of Electronic & Communication Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract:Wide band is one of the hottest issues in the current researches on antennas. The circular monopole antenna is a kind of ultrawide-band antennas with simple feeding network. The design method of the antenna was presented in this paper. Through simulations and experiments, it was demonstrated that the antenna had good ultrawide-band performance. On this basis, further study was applied to several novel types of circular monopole antennas, including planar circular disc monopole, circular disc monopole with a certain angle, circular disc monopole pucker a certain length and the assembled disc monopoles which were composed of four circular discs. The novel antennas were theoretic analyzed, and the return loss and radiation patterns of the antennas were discussed. The analytic results verified that the novel antennas could not only satisfy the requirements of return loss in a wide frequency band but also effectively improve the characteristics of the traditional monopole antenna. Planarity, miniaturization, wide beam and circular polarization characteristics of the monopole antenna were realized. The novel antennas are suitable for the satellite and mobile communication systems with good prospects.

Key words: Ultrawide-band antenna; Circular monopole antenna; Planar antenna; Miniaturization; Wide-beam; Circular polarization

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)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)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)，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>