

新型定向超宽带天线*

钟玲玲, 邱景辉, 张宁, 孙博

(哈尔滨工业大学电子与通信工程系, 哈尔滨 150001)

【摘要】 基于圆片单极天线是一种结构简单的超宽带天线, 研究了一种新型的超宽带天线, 它将4个圆片单极天线垂直交叉放置作为馈源并采用平板反射面, 实现定向以及双极化或圆极化特性。分析了2种变形形式: 将平板反射器换为抛物面反射器, 实现高增益特性; 将圆片振子变形, 实现更宽的低频端阻抗带宽。通过电磁仿真软件, 计算了天线的S参数和辐射方向图随频率的变化规律。分析表明文中的天线对于传统的圆片单极天线有了有效的改进, 实现了超宽带、定向辐射、双极化、圆极化、高增益等不同的特性, 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; 定向天线; 双极化; 圆极化; 高增益

中图分类号: TN82 文献标识码: A

Two Novel Directional Ultra Wide-band Antennas

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

(Dept. of Electronics and Communication Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

【Abstract】 The circular monopole antenna is a kind of ultra wide-band antennas with simple structure. Firstly a novel ultra wide-band antenna was studied. Four circular disc monopoles were placed across each other. They were considered as the feeds, and the reflection plane is planar. It could achieve directional radiation, dual polarization or circular polarization characteristics. On this basis, further study was carried out for two other novel antennas. The first one is changing the planar reflector to parabolic one, and the purpose was to realize high gain characteristic. The other one is changing the circular disc shape, and the purpose was to realize wider lower band. The novel antennas were theoretically analyzed, and the S-parameter and radiation patterns of the antennas were calculated with electromagnetism simulation software. The analytical results verify that the characteristics of the traditional monopole antenna is effectively improved by the novel antennas. Ultra wide-band, directed radiation, dual-polarization, circular polarization, and high gain characteristics of the antenna are realized. The novel antennas are suitable for satellite and mobile communication systems with good prospects.

【Key words】 Ultra wide-band antenna; circular monopole antenna; directional antenna; dual polarization; circular polarization; high gain

0 引言

近年来, 超宽带天线广泛应用于电子对抗系统、超宽带雷达、卫星通信、探雷等军事方面, 在高速无线LAN、家庭网络及无线电话等方面也有广泛的需求。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^[1-3]。

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、重量轻等诸多优点^[4-10]。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, 但是它不能实现双极化或者圆极化、定向、高增益的

辐射和接收, 因而限制了其在某些特殊场合的应用。

本文在圆片单极天线的基础上研究了新型的定向超宽带天线, 为了实现定向辐射和双极化或者圆极化特性, 将4个圆片单极子垂直交叉放置; 为了实现高增益定向特性, 将平板反射器变换为抛物面反射器; 为了进一步展宽低频带宽, 将圆片振子变形。同时, 还分析了新型定向天线的阻抗和辐射特性, 通过一系列数值结果和理论分析来证明这种新型天线的优良特性。

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所示, 天线由一块地板和垂直于地板的圆形金属片组成, 馈电

* 收稿日期: 2008-04-12 修订日期: 2008-06-15

基金项目: “十一五”预研项目

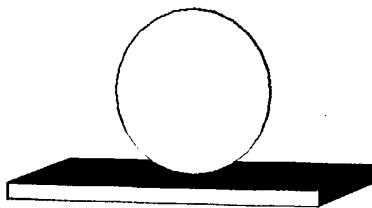


图1 超宽带圆片单极天线

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。

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 $\pi r^2 = 2\pi a l$, $2r = l$, l 与波长的对应关系^[1]

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

式中: $F = (l/a)/(1 + l/a)$ 。

综合式(1),可得圆片单极子的最低谐振频率

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

式中: r 的单位是cm; f 的单位是GHz。

综合上述理论,对天线进行了仿真设计和分析。本文所采用的仿真软件是基于时域有限积分法的专业仿真软件CST-Microwave Studio。CST是一个快速精确的用于微波无源器件及天线仿真、分析和设计的专业软件,它能够直接给出S参量、方向图等结果,对于结构比较精细的天线,采用CST来分析和仿真更为方便和快捷。

2 圆片振子馈电平板反射面天线

保持圆片单极天线的基本结构不变,将4个圆片单极子垂直交叉放置,共用1块圆形反射板,相对的2个圆片为1组,形成偶极子,它们在距离最近点采用 50Ω 同轴线馈电。如图2所示,圆片半径仍然为 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 。

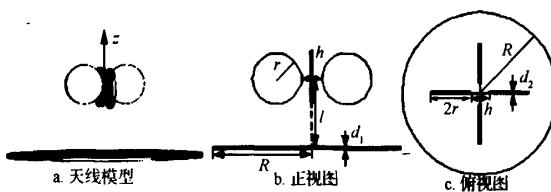


图2 圆片振子馈电平板反射面天线

在圆片单极天线基本模型的基础上,应用CST对该天线的参数进行了逐一的仿真调整和分析,最后得出了圆片振子馈电平板反射面天线的性能最优结构参数: $r = 37\text{ mm}$, $h = 3.5\text{ mm}$, $R = 300\text{ mm}$, $l = 110\text{ mm}$, $d_1 = 1\text{ mm}$, $d_2 = 1\text{ mm}$ 。需说明的是,由于软硬件的条件限制,只能将最高频率设定在5 GHz,此外,为使馈电容易实现,2组圆片偶极子之间有2 mm的高度差。

天线2个端口的反射损耗和隔离度的仿真结果如图3所示。从反射损耗曲线可以看出,2个端口的反射损耗在0.64 GHz~4 GHz的频率范围内均小于-8 dB,且有很好的一致性,这说明这种新型超宽带天线反射损耗性能较好,它至少可以达到约6个倍频程的阻抗带宽;从隔离度曲线可以看出,2个端口之间的隔离度大于45 dB,这说明2组互相垂直的偶极子之间的隔离性较好。

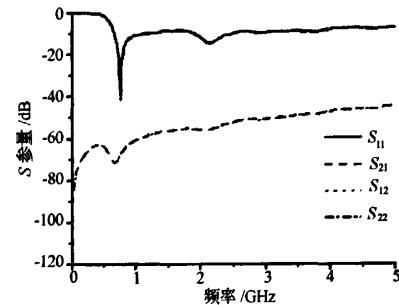


图3 圆片振子馈电平板反射面天线的S参量

2.1 圆片振子馈电平板反射面双极化天线

在宽带测向系统等应用场合,需要宽带天线能提供2个正交极化。通常采用正交放置的对数周期振子天线、双极化喇叭或平面旋螺天线等满足上述要求,但总是存在纵向尺寸大、E面和H面波瓣宽度不一致、工作频带不够宽等缺点。针对以上情况,对于圆片振子馈电平板反射面天线的2个端口采用同幅度等相位馈电,使其实现宽频带双极化性能。

图4是天线2端口频率分别在1 GHz、2 GHz、3 GHz时, $\varphi = 0^\circ$ 和 $\varphi = 90^\circ$ 的方向图,从图中可以看到,在 $f = 1\text{ GHz}$ 和 $f = 2\text{ GHz}$ 时,3 dB波瓣宽度都在 50° 以上,具有良好的方向性,当 $f = 3\text{ GHz}$ 时, z 轴方向出现了凹陷。总体而言,天线在较宽频率范围内实现了双极化,它为超宽带双极化天线的设计提供了一种新思路。

2.2 圆片振子馈电平板反射面圆极化天线

在国内外的超宽带研究中,圆极化天线鲜有涉及。这里将圆片振子馈电平板反射面天线两组正交圆片在馈电时加上 90° 的相移,实现了超宽带频率范围内的宽波束圆极化特性。

图5表示该新型超宽带天线在1 GHz~4 GHz时

俯仰面方向图的仿真结果($\varphi = 0^\circ$)。与双极化的情况类似,在 $f=1$ GHz 和 $f=2$ GHz 时,3 dB 波束宽度大于 60° ,2 个频率上最大增益分别为 5.5 dB 和 7.2 dB。当频率上升到 3 GHz,z 轴方向增益出现了凹陷。

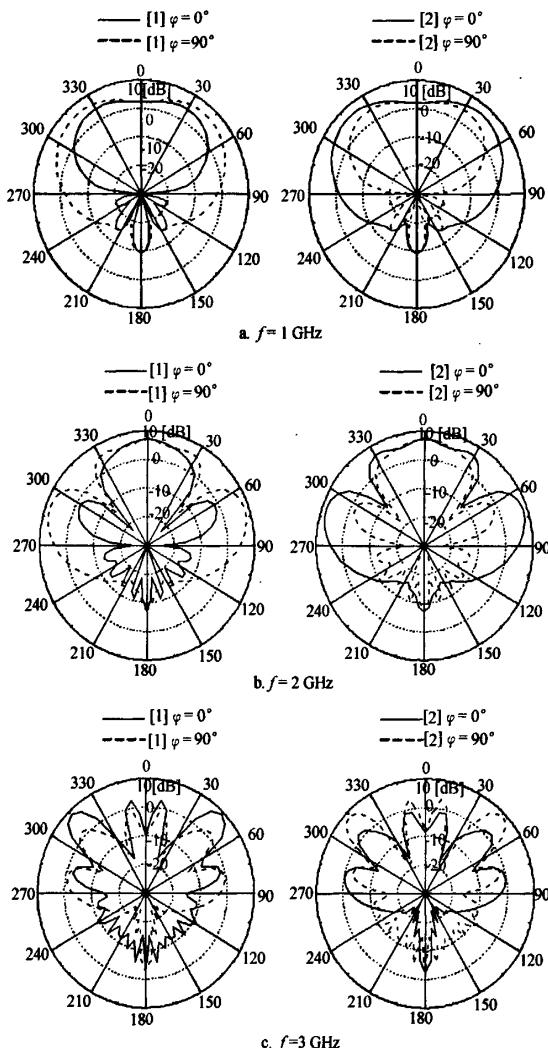


图 4 圆片振子馈电平板反射面双极化天线的方向图

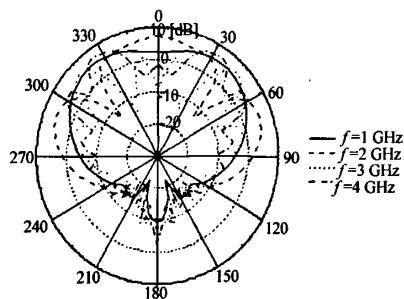


图 5 圆片振子馈电平板反射面圆极化天线的方向图

图 6 是天线的最大增益随频率的变化关系,图中可以看出,频率在 0.5 GHz ~ 5 GHz 范围内,最大增益范围为 6.5 dB ~ 9 dB,基本稳定在 8 dB 左右,上下变化幅度在 2.5 dB 以内,最大增益在整个频带内具有良好的稳定性。

图 7 表示该新型天线在 1 GHz ~ 3 GHz 时轴比的仿真结果。图中可以看出,在 1 GHz ~ 2 GHz 频段,3 dB 波束宽度内轴比小于 -2 dB,在 3 GHz 以上,z 轴方向轴比出现了凹陷。该结果说明此新型天线在宽波束范围内能够实现优良的圆极化特性。

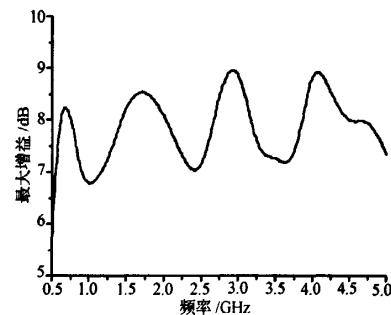


图 6 圆片振子馈电平板反射面圆极化天线的最大增益

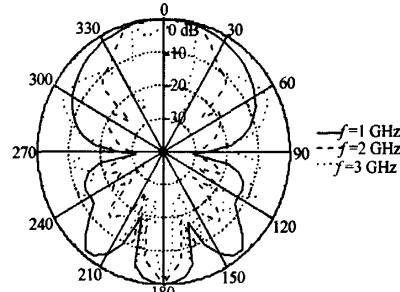


图 7 圆片振子馈电平板反射面圆极化天线的轴比

总体而言,这种新型超宽带圆极化天线弥补了圆片单极子俯仰面不能实现宽波束圆极化辐射和接收的缺点,而且在波束宽度内都有较高的增益,这样可以满足某些特殊场合的需要。

3 圆片振子馈电抛物面天线

在上一节的基础上将平板反射器换为抛物面反射器,实现宽波束定向高增益特性。高增益 UWB 天线兼有高增益和超宽带双重特性,高增益一般是利用大口径或阵列天线来实现,超宽带是利用超宽带馈源来实现。

天线抛物面口径直径 900 mm,焦距比 0.36,高度 157 mm,两对振子片交叉放置,实现双极化,其结构如图 8 所示。

图9是圆片振子馈电抛物面天线反射损耗和隔离度的仿真结果,从图中可以看出,2个端口的反射损耗在0.8 GHz~5 GHz的频率范围内均小于-8 dB,在频带范围内互相垂直的2个端口的隔离度大于50 dB。

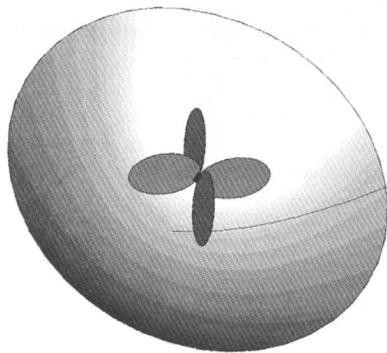


图8 圆片振子馈电抛物面天线

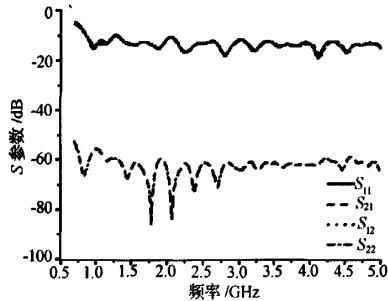


图9 圆片振子馈电抛物面天线的S参量

圆片振子馈电抛物面天线的远区场方向图如图10所示,其主瓣宽度在频率为1 GHz和2 GHz时大于10°,频率为3 GHz和4 GHz时大于5°,并且该天线在整个带宽内的增益均大于14 dB,相比较上面提到的圆片振子馈电平板反射面天线有较大的改善。

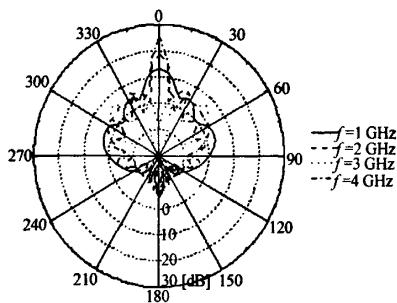


图10 圆片振子馈电抛物面天线的方向图

4 改进的抛物面天线

为了进一步拓展带宽,对上面的天线进行改进,使用焦径比为0.25的抛物面,把其中的圆片振子变形。

把圆片变成狭长形,两侧为一大一小2个半圆,中间平滑过渡。其S参量的仿真结果如图12所示,反射损耗从0.5 GHz~5 GHz范围内小于-8 dB,在频带范围内互相垂直的2个端口的隔离度大于45 dB。这种改进的抛物面天线将低频带宽拓展到0.5 GHz,而且其波瓣宽度和增益与改进前基本保持不变,如图13所示,其主瓣宽度在频率为1 GHz约为20°,在频率为2 GHz时约为10°,频率为3 GHz和4 GHz时大于5°,并且该天线在整个带宽内的增益仍然大于14 dB。

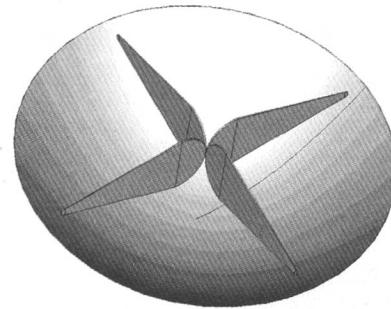


图11 改进的抛物面天线

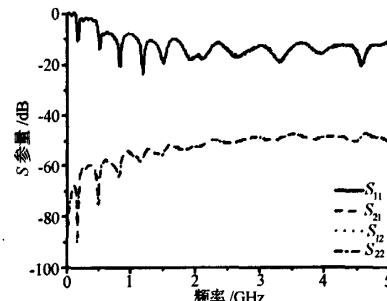


图12 改进抛物面天线的S参量

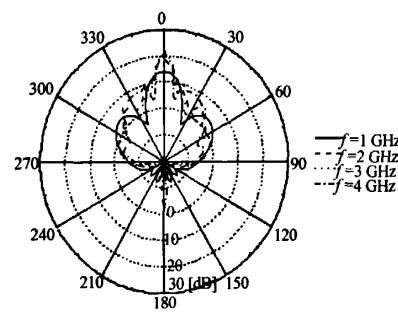


图13 改进抛物面天线的方向图

5 结束语

本文详细地阐述了几种新颖的超宽带定向天线的特性。在圆片单极天线的基础上,分析它们的基本原理和设计方法,并对这些新型定向天线的阻抗特性以

及辐射效果进行了研究,得到了明确和有效的量化结果。分析结果表明,这些天线都具有很宽的频带宽度,阻抗特性良好。圆片振子馈电平板反射面天线在俯仰面具有较宽波束,其3 dB波束宽度大于50°,同时在波束范围内能够实现较好的线极化和圆极化性能;圆片振子馈电的抛物面天线在1 GHz~4 GHz的频率范围内增益大于14 dB,可以实现高增益定向辐射和接收的功能;改进的抛物面天线在保持高增益的基础上实现了更宽的低频端频带宽度。这些新型超宽带定向天线对于单极天线进行了有效的改进,可以显著地展宽天线波束,实现高增益定向特性,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] Chen Z N, Wu X H, Li H F, 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]. U S A: 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]. FCC, Washington, DC, 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 J X, CHOO C, Chen X D, 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. USA Virginia: IEEE, 2003.
- [8] Cheng C H, Lv W J, Cheng Y. 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.

钟玲玲 女,1980年生,在读博士研究生。研究方向为微波毫米波天线、微波毫米波电路。

(上接第78页)

将反谐振频率归一化为1 rad/s, -0.4 KsNm的阶跃扰动在20s时加入,阶跃响应如图6所示。

5 结束语

对比2种方法的图片,可以看出,具有扭转力矩微分反馈系统比扭转力矩反馈系统极点配置范围广,抑制振动的能力强。

参 考 文 献

- [1] Ohmae T, Matsuda T, Kanno M, etc. A microprocessor based motor speed regulator using fast response state observer for reduction of torsional vibration [J]. IEEE Trans. Industrial Electronics, 1987, 23(5): 863~871.
- [2] Sugiura K, Hori Y. Vibration suppression in 2 and 3 mass

system based on the feedback of imperfect derivative of the estimated torsional torque [J]. IEEE Trans. Industrial Electronics, 1996, 43(1): 56~64.

- [3] Zhang G, Furusho J. A practical PID controller design for speed servo system [J]. Tran IEEE Japan, 1998, 118-D (9): 1095~1096.
- [4] Zhang Guoguang. Comparison of control schemes for two-inertia system [C]// IEEE 1999 Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems. Hong Kong: IEEE Press, 1999.

赵 真 女,1981年生,硕士研究生。研究方向为精密雷达伺服系统中控制方法、伺服系统设计与仿真等。

程望东 男,1963年生,研究员级高级工程师。研究方向为现代控制理论在精密雷达伺服系统中的应用、复合控制技术及系统仿真与测试技术等。

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>