

doi:10.3969/j.issn.1007-7162.2014.02.017

表面开十字形辐射槽的新型 GNSS 贴片天线的研究和应用

李庚禄¹,林福民¹,张华福²

(1. 广东工业大学 物理与光电工程学院, 广东 广州 510006;
2. 广州中海达卫星导航技术股份有限公司, 广东 广州 511400)

摘要: 研究了一种表面开十字形辐射槽的新型贴片天线,并与同频率的一般贴片天线做性能对比,研究结果表明,此类新型贴片天线具有频带宽和形状小的突出优点。将其应用于一种精确测量型的 GNSS 双频天线设计,充分展宽了天线的阻抗带宽和轴比带宽,设计的天线可以接收全频段 GNSS 导航系统信号。采用 HFSS 软件仿真的结果显示,它的阻抗带宽、轴比带宽、增益和相位中心稳定性等性能参数都较好,并且表现出良好的圆极化性能和小型化效果,尤其适合于手持式精确导航终端,具有良好的应用前景。

关键词: 贴片天线; 十字形槽; 带宽; 小型化; 圆极化

中图分类号: TN965. 2

文献标志码: A

文章编号: 1007-7162(2014)02-0090-05

Research and Application of a Novel GNSS Microstrip Patch Antenna with a Cross Slot Cut in the Patch

Li Geng-lu¹, Lin Fu-min¹, Zhang Hua-fu²

(1. School of Physics and Optoelectronic Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;
2. Hi-Target Surveying Instrument Co., Ltd, Guangzhou 511400, China)

Abstract: A novel microstrip patch antenna with a cross-slot cut in the patch is proposed and studied. The research results show that, compared with general microstrip antennas of satellite navigation, the new antenna with much wider band and smaller size has outstanding advantages,. The new patch antenna with a cross-slot cut in the patch was applied to the design of dual band navigation antenna for high-precision GNSS applications, and the impedance bandwidth and axial ratio bandwidth were effectively enhanced. The designed antenna had enough bandwidth to cover the all band of Global Navigation Satellite System (GNSS). Good performance of impedance, axial ratio, gain and phase center stability were obtained by simulation of HFSS. Simulation results show that the antenna has good circular polarization performance, and it is compact as well, so it is especially suitable for handheld high-precision navigation terminals and is promising in application.

Key words: patch antenna; cross slot; bandwidth; compact; circular polarization

由于微带贴片天线具有形状小、成本低、易共形和易加工等优点^[1],选择特定的贴片形状和馈电方式还很容易获得圆极化模式,因此被广泛应用于卫星导航领域。然而一般的微带贴片天线存在工作带宽窄(典型值 1% ~ 3%)的缺点,不适合应用于精确

测量双频导航接收机^[2]. 虽然通过降低微带天线介质基板的介质常数或增加基板厚度,可以拓宽其工作带宽,但拓宽量非常有限^[3],而且随着天线的基板厚度增加,体积增大;若在矩形微带贴片上开一个或多个平行于边沿的短缝^[4-5],可以略微减小天线的尺

收稿日期: 2013-02-20

基金项目: 广东省中山市产学研结合项目(2010cxy001)

作者简介: 李庚禄(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为测量型的 GNSS 有源微带天线。

寸;采用耦合馈电、多点馈电、中心短路钉或贴片切角等^[6-13]改进措施,有助于适当提高贴片天线性能,但都难以大幅提高天线的工作带宽和轴比带宽。

本文研究了一种新型贴片天线,采用表面开十字形辐射槽和四点馈电的方法,不仅大幅展宽了天线工作带宽和轴比带宽,还明显地缩小了天线的尺寸。笔者将这种新型贴片天线应用于一种精确测量型的 GNSS(Global Navigation Satellite System, 全球卫星导航系统)双频宽带贴片天线,设计了一款小型化可以覆盖 GPS、GLONASS、GALILEO 和中国北斗二代四套卫星系统的双频导航航天线。与常规的双频圆极化天线相比,该天线的整体尺寸明显缩小,在两层基板中间没有引入其他介质层,结构紧凑,易于加工。

1 开十字形辐射槽的贴片天线

1.1 开十字形辐射槽贴片天线的结构和原理

如图 1 所示,天线是方形的微带贴片,在方形的对角线中心处表面开 4 个辐射槽,使之成十字形,中心增加短路钉使其保持零电位,并且在贴片轴线上选择合适的位置采用特性阻抗为 50Ω 的同轴探针进行馈电。开十字形槽起到曲流作用,将增大等效电感,使谐振频率明显下降,所以特定频率的贴片天线尺寸缩小;十字形槽产生的较强辐射相当于增加了较大的损耗电阻,结果使工作模式的 Q 值下降,从而大幅提高了带宽。

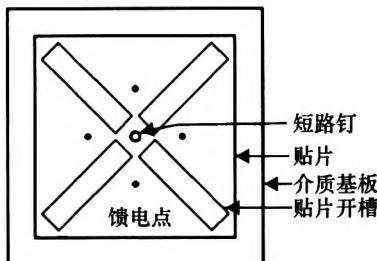


图 1 表面开十字形辐射槽的贴片天线

Fig. 1 Microstrip patch antenna with a cross slot cut in the patch

1.2 与一般贴片天线的性能对比

笔者设计一个单频四馈点天线,将新型贴片天线与同频率的一般贴片天线进行性能对比。两种天线介质基板用 TLY-5 材料,厚度 4.0 mm,相对介电常数为 2.65,馈电点距中心均为 10.3 mm,介质基板大小均为 75 mm,地板大小均为 144 mm;新型贴片辐射槽长 19.5 mm,槽宽 4 mm,如图 2 所示。由于这两种结构模型的尺寸缺少经验公式^[14]计算,可先利用矩形微带天线贴片尺寸经验公式^[3]计算出初值,

然后借助高频电磁场仿真软件进行仿真和优化。

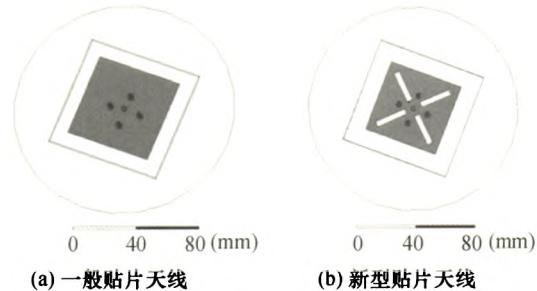


图 2 HFSS 仿真模型

Fig. 2 Simulation models of HFSS

通过仿真发现,槽长度对微带天线的工作频率有较大影响,相同贴片尺寸,十字形槽的长度越长,天线的谐振频率越低;十字形槽的宽度对天线的谐振频率也有些影响,槽越宽,天线的谐振频率越低,但槽宽对谐振频率影响并不是很明显。两种贴片天线的仿真结果见表 1。从表 1 可见,一般贴片天线工作频段只能覆盖 GPS L1 频带,而新型贴片天线可以覆盖 4 个在运行导航系统的 L1 频段。

表 1 一般贴片与新型贴片仿真结果对比

Tab. 1 Comparing the simulation results of general and novel microstrip patch

贴片类型	贴片边长 /mm	阻抗带宽 (中心频率) /MHz	中心频率处波束范围/(°)	右旋最大增益 /dBi
一般	55.8	31(1575)	138	7.798
新型	50.9	92(1590)	142	7.792

由此可见,开十字形槽之后,贴片天线的工作带宽大幅提高,贴片尺寸明显下降,与一般不开槽的贴片天线相比,贴片尺寸缩小约 1/10,带宽提高约 2 倍。增益则变化很小。

图 3 是制作的实物,在微波暗室中测试结果与仿真结果基本吻合,测试结果见图 4~图 5。



图 3 天线样品

Fig. 3 The antenna sample

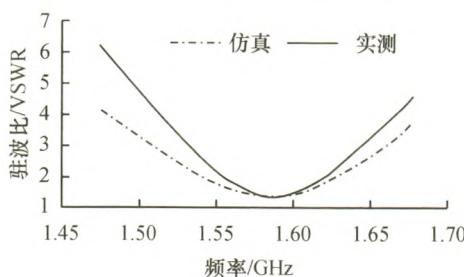
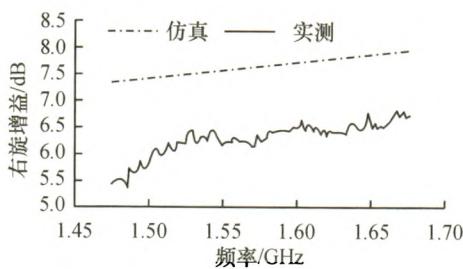


图 4 阻抗带宽

Fig. 4 Impedance bandwidth

图 5 右旋增益 ($\varphi=0^\circ, \theta=0^\circ$)Fig. 5 RHCP Gain ($\varphi=0^\circ, \theta=0^\circ$)

2 开十字形辐射槽的贴片天线应用

2.1 新型 GNSS 双频宽带贴片天线的设计

多 GNSS 系统组合导航技术受到越来越多的关注,因为它有助于接收机观测到更多的星座,不但提高了定位的能力,还能免受单一系统制约。采用双频导航可以补偿电离层延时,提高定位测量精度^[15-16]。作为开十字形辐射槽的贴片天线的一个应用例子,笔者设计了一款适合于多 GNSS 系统组合导航精确定位的双频天线,覆盖了 4 个在运行导航系统的 L1:1 559 ~ 1 620 MHz 和 L2:1 165 ~ 1 289 MHz 频段。天线采用双层微带贴片叠加形式,上层贴片采用开十字辐射槽的新型贴片天线,用于接收频率较低的 L2 频段信号;下层采用普通的圆形贴片天线,用于接收频率较高的 L1 频段信号,并在每层贴片上增加调谐锯齿^[17],如图 6 所示。由于工作于频率较低的 L2 频段的开十字辐射槽贴片天线有效缩小了贴片面积,其贴片面积比工作于频率较高的 L1 频段的普通贴片天线还小,所以可以将工作于 L2 频段的开十字辐射槽贴片天线置于上层,工作于 L1 频段的普通贴片天线置于下层。这种新型结构对于提高导航精确和稳定性,并使导航终端小型化具有重要意义。

2.2 馈电结构的设计

为了保证天线相位中心稳定性,提高天线测量精度,每层微带贴片采用了均匀轴向对称的 4 点同轴馈电^[18],见图 6。同时为了减少上下层之间馈电相

互影响,尽量使两者馈点相距远一些。馈电网络将每个馈电点的信号移相后合路,如图 7 所示,结果获得良好的圆极化信号输出。

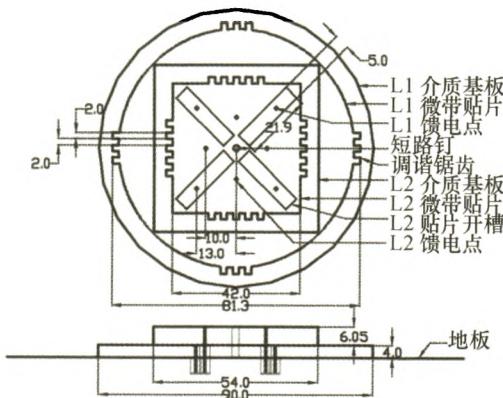


图 6 双频宽带贴片天线的结构

Fig. 6 Model of the dual-band patch antenna

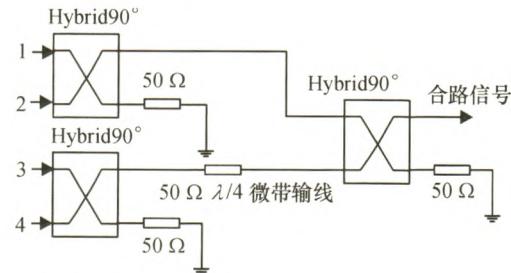


图 7 天线四馈点馈电网络

Fig. 7 The feeding network of the quadrifilar antenna utilizing 3dB couplers

2.3 新型 GNSS 双频宽带贴片天线的性能仿真

上层介质基板用 RF-60 材料,厚度 6.05 mm,相对介电常数为 6.15;下层介质基板用 TLY-5 材料,厚度 4.0 mm,相对介电常数为 2.20。由于天线的可调参数比较多,先将地板和调谐锯齿尺寸固定下来,结合经验公式计算尺寸初值,采用 HFSS 软件对其各项性能参数进行仿真计算,并综合调谐锯齿、槽的长宽、馈电点位置等对其进行优化,最终得到符合设计要求的天线结构。

图 8 ~ 图 11 分别给出了天线两个频段的阻抗带宽、右旋最大增益、轴比以及相位平坦度的仿真结果。

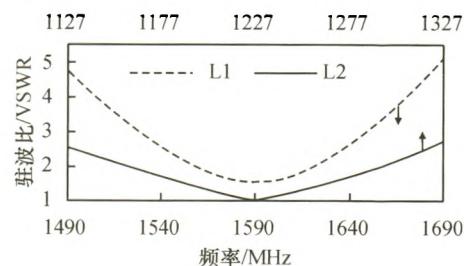


图 8 阻抗带宽

Fig. 8 Impedance bandwidth

从图 8 可以看出, 驻波比 VSWR < 2.0 的工作频带为 L1: 1 559 ~ 1 621 MHz, L2: 1 158 ~ 1 293 MHz, 可以覆盖 4 种在运行的导航系统的 L1 和 L2 频段, 达到设计目标的要求.

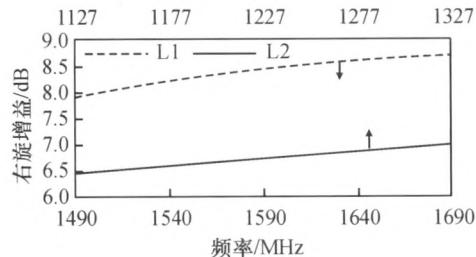


图 9 右旋增益($\varphi=0^\circ$, $\theta=0^\circ$)

Fig. 9 RHCP gain ($\varphi=0^\circ$, $\theta=0^\circ$)

从图 9 可以看出, 在工作频段内, 天线正上方的增益为: L1: 8.32 ~ 8.52 dB; L2: 6.57 ~ 6.87 dB. 增益比较大, 并且带内平坦度好.

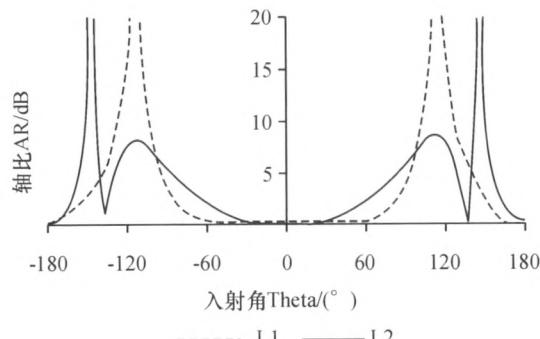


图 10 中心频率处轴比($\varphi=0^\circ$)

Fig. 10 Axial ratio of center frequency ($\varphi=0^\circ$)

从图 10 可以看出, 对应于方位角 $\varphi=0^\circ$ 时, 在入射角 θ 为 L1: -68° ~ 68°、L2: -86° ~ 86° 的范围内, 圆极化的轴比 AR < 3.0, 可见其圆极化性能良好.

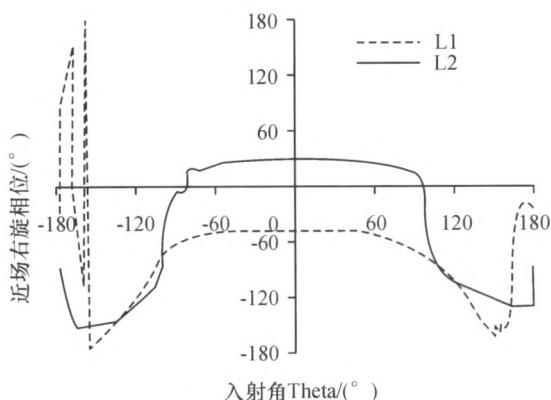


图 11 中心频率处相位中心变化($\varphi=0^\circ$)

Fig. 11 Phase center variations of center frequency ($\varphi=0^\circ$)

通过近场拟合, 从图 11 中可以看出, 对应于方

位角 $\varphi=0^\circ$ 时, 入射角 θ 在 -75° ~ 75° 的范围内, 上半空间相位的变化很小, 所以其相位中心稳定性较好.

3 结论

本文提出了一种表面开十字形辐射槽的新型贴片天线并对其进行详细分析, 结果表明, 与同频率的一般贴片天线相比, 此类新型贴片天线具有频带宽和形状小的优点. 本文还将其应用于一种实用型覆盖多星系的双频卫星导航天线, 仿真结果显示, 在端口匹配良好的前提下, 该双频天线在较宽的工作频段内获得较大的增益和轴比带宽, 可以覆盖在运行的 4 个导航系统的 L1 和 L2 频段. 由于表面开十字形辐射槽的贴片天线大幅缩小了面积, 所以可以将工作在较低频段 L2 的介质基片置于较高频段 L1 的介质基片之上, 使双频导航天线进一步小型化, 而且结构简单, 易于加工.

本文所设计的新型双频宽带导航天线, 具有 4 个在运行导航系统全覆盖和小型化的突出优点, 有望在高精度导航定位和测量方面获得广泛应用, 尤其适合于作为手持式精确导航终端的双频有源天线.

参考文献:

- [1] 马小玲, 丁丁. 宽频带微带天线技术及其应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006, 1-3.
- [2] 付世强, 房少军, 王钟葆, 等. 多模卫星定位导航系统的宽带天线 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(11): 1811-1814.
Fu S Q, Fang S J, Wang Z B, et al. Wide-band terminal antenna for multi-mode satellite navigation [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008, 40(11): 1811-1814.
- [3] Balanis C A. Antenna Theory Analysis and Design [M]. 3rd Edition. USA Hoboken: John Wiley & Sons, 2005, 811-864.
- [4] Wong K L, Hsu W H, Wu C K. Single-feed circularly polarized microstrip antenna with a slit [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 1998, 18(4): 306-308.
- [5] Wong K L, Wu J Y. Single-feed small circularly polarized square microstrip antenna [J]. Electronics Letters, 1997, 33(22): 1833-1834.
- [6] 汪雪刚, 李瑞, 吴多龙, 等. GPS 双频圆极化微带天线的设计 [J]. 广东工业大学学报, 2011, 28(2): 43-46.
Wang X G, Li R, Wu D L, et al. The design of dual-band circularly polarized patch antennas for GPS [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2011, 28(2): 43-46.

- [7] Targonski S D, Pozar D M. Design of wideband circularly polarized aperture-coupled microstrip antennas [J]. *Antennas and Propagation*, 1993, 41(2): 214-219.
- [8] Lau K L, Luk K M. A wide-band circularly polarized L-probe coupled patch antenna for dual-band operation [J]. *Antennas and Propagation*, 2005, 53(8): 2636-2644.
- [9] 胡明春, 杜小辉, 李建新. 宽带宽角圆极化微带贴片天线设计 [J]. *电波科学学报*, 2001, 16(4): 441-446.
Hu M C, Du X H, Li J X. Design of broad-band and wide-angle circularly polarized microstrip patch antennas [J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2001, 16(4): 441-446.
- [10] 汪霆雷, 朱旗, 王少永. 加载短路钉微带天线的理论分析 [J]. *微波学报*, 2006, 22(3): 37-39.
Wang T L, Zhu Q, Wang S Y. Theoretical analysis of microstrip antennas loaded with shorting-pin [J]. *Journal of Microwaves*, 2006, 22(3): 37-39.
- [11] 杨眉, 李全明. 一种相位中心稳定的微带天线设计 [J]. *电子测量技术*, 2006, 29(5): 213-214.
Yang M, Li Q M. Design of microstrip antenna with stable phase center [J]. *Electronic Measurement Technology*, 2006, 29(5): 213-214.
- [12] Chen W S, Wu C K, Wong K L. Novel compact circularly polarized square microstrip antenna [J]. *Antennas and Propagation*, 2001, 49(3): 340-342.
- [13] Biliotti F, Vegini C. Design of high-performing microstrip receiving GPS antennas with multiple feeds [J]. *Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2010, 9: 248-251.
- [14] Nasimuddin. Microstrip Antennas [M]. Yugoslavia Rijeka: InTech, 2011, 173-179.
- [15] 高阳, 董树荣, 王德苗. GPS 天线技术及其发展 [J]. *无线通信技术*, 2008, 17(4): 34-39.
Gao Y, Dong S R, Wang D M. Development of antennas for global position system [J]. *Wireless Communication Technology*, 2008, 17(4): 34-39.
- [16] Boccia L, G. Amendola, G. Di Massa. A dual frequency microstrip patch antenna for high-precision GPS applications [J]. *Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2004, 3(1): 157-160.
- [17] Plessis M D, Cloete J. Tuning stubs for microstrip-patch antennas [J]. *Antennas Propagation Magazine*, 1994, 36(6): 52-56.
- [18] Gary R. Lennen, Wilfred Hand, Brian Westfall. GPS receiver with N-point symmetrical feed double-frequency patch antenna: US5515057 [P]. 1996.

(上接第 77 页)

- [7] Li Z H, Muller J P, Cross P. Interferometric synthetic aperture radar InSAR atmospheric correction: GPS, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), and InSAR integration [J]. *J Geophys Res*, 2005, 110(B03410): DOI: 10.1029/2004JB003446.
- [8] Wadge G, Webley P W, James I N, et al. Atmospheric models, GPS and InSAR measurements of the tropospheric water vapour field over Mount Etna [J]. *Geophys Res Lett*, 2002, 29(19): doi:10.1029/2002GL015159.
- [9] Puyssegur B, Michel R, Avouac J P. Tropospheric phase delay in interferometric synthetic aperture radar estimated from meteorological model and multispectral imagery [J]. *J Geophys Res*, 2007, 112: (B05419): doi: 10.1029/2006JB004352.
- [10] Jolivet R, Grandin R, Lasserre C, et al. Systematic InSAR tropospheric phase delay corrections from global meteorological reanalysis data [J]. *Geophys Res Lett*, 2011, 38(L17311): doi:10.1029/2011GL048757.
- [11] Wright T, Parsons B, Fielding E. Measurement of interseismic strain accumulation across the North Anatolian Fault by satellite radar interferometry [J]. *Geophys Res Lett*, 2001, 28(10): 2117-2120.
- [12] Ferretti A, Prati C, Rocca F. Permanent scatterers in SAR interferometry [J]. *IEEE T Geosci Remote Sens*, 2001, 39(1): 8-20.
- [13] Berardino P, Fornaro G, Lanari R, et al. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms [J]. *IEEE Trans Geosci Remote*, 2002, 40(11): 2375-2383.
- [14] Garthwaite M C, Wang H, Wright T J. Broadscale interseismic deformation and fault slip rates in the central Tibetan Plateau observed using InSAR [J]. *J Geophys Res*, 2013, 118(9): 5071-5083.
- [15] Rosen P A, Hensley S, Peltzer G, et al. Updated repeat orbit interferometry package released [J]. *Eos Trans AGU*, 2004, 85(5): 47.
- [16] Parsons B, Wright T, Rowe P, et al. The 1994 Sefidabeh (eastern Iran) earthquake revisited: new evidence from satellite radar interferometry and carbonate dating about the growth of an active fold above a blind thrust fault [J]. *Geophys J Int*, 2006, 164(12): 202-217.

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>