

文章编号:1005-6122(2008)01-0035-05

含有寄生单元的倒 F 天线分析与设计*

姜铁华¹ 苏东林¹ 丁轲佳¹ 王国玉^{1,2}

(1. 北京航空航天大学电子信息工程学院,北京市 100083;

2. 洛阳市 061 信箱,洛阳 471000)

摘要: 提出了在普通倒 F 天线的两侧和底部同时添加寄生单元的改进倒 F 天线,该天线与普通的倒 F 天线相比有更宽的带宽。设计了一个工作于中心频率 1.2GHz 的改进倒 F 天线。对该天线的电气特性进行了仿真计算,并对天线主要结构参数对谐振频点和阻抗带宽的影响进行了详细分析。该天线相对带宽达到了 33% ($VSWR < 2$),约为普通倒 F 天线阻抗带宽的 4 倍,有效地拓宽了传统倒 F 天线的工作带宽,在宽带通信系统中有较好的应用前景。

关键词: 倒 F 天线,寄生单元,宽带

Design of the Low-profile Inverted-F Antenna with Multi-parasitic Elements

JIANG Tie-hua¹, SU Dong-lin¹, DING Ke-jia¹, WANG Guo-yu^{1,2}

(1. School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China; 2. Mailbox061, Luoyang 471000, China)

Abstract: In this paper, an improved low-profile inverted-F antenna is presented. Compared with conventional inverted-F antenna, this antenna can produce wider frequency bandwidth by adding parasitic elements on two sides and in the bottom simultaneously. The influence of primary structure parameters on the input impedance and resonance frequency is analyzed. Based on the study above, an improved low-profile inverted-F antenna with three parasitic elements at 1.2GHz is designed, simulated and analyzed. It can be concluded from the good result that the frequency bandwidth can reach 33% for $VSWR = 2$, which is more than four times as wide as that of a conventional inverted-F antenna. This antenna has great potential in practical application.

Key words: Inverted-F antenna, Parasitic elements, Wideband

引言

倒 F 天线因其具有轮廓低等优点,在飞行体和便携式通信设备中得到了深入研究和广泛应用。倒 F 天线由倒 L 天线改进而来,因倒 L 天线的输入阻抗很低,为增加其辐射电阻,在垂直单元的顶端反方向再增加一段倒 L,即构成倒 F 天线。这种低轮廓结构的倒 F 天线常被用于火箭和飞机上。常规的用细导线制造的倒 L 和倒 F 天线频带都比较窄,典型的倒 L 天线带宽只有中心频率的百分之一或更低,普通倒 F 天线的带宽也小于 8%~10%,固有的窄频带特性限制了其在某些应用领域的发展。因

此,研究如何展宽倒 F 天线的阻抗带宽具有十分重要的实际意义。

目前,天线设计人员已采取多种方法来展宽倒 L 和倒 F 天线的阻抗带宽。文献[1]给出了一种在无限大平面上带有一个寄生单元的折叠倒 L 天线,该天线具有双边带特性,调整两个谐振频率相互靠近时,天线在工作频率上的带宽可达 16.5%。文献[2]中采用的双线倒 F 天线(DW-IFA)和双带线倒 F 天线(DS-IFA),可分别获得 12% 和 17~18% 的相对带宽。文献[3]给出了在倒 F 天线两侧添加寄生单元的倒 F 天线,适当调整寄生单元的位置和长度后,可使阻抗带宽达到 26%。此外,有关倒 F 天线

* 收稿日期:2006-10-10;定稿日期:2007-01-15

基金项目:国家自然科学基金航空科技联合基金(10577004),高等学校学科创新引智计划(B07009)。

双频和多频设计的研究也有报道,如文献[4]给出了一种三边带的天线,可使天线分别工作于三个不同的频段。

在上述研究的基础上,本文改进了含有寄生单元的倒F天线的结构,提出了一种含有三个寄生单元的倒F天线。这种天线采用添加三个寄生单元的方式,在中心频率两侧分别产生两个临近的高频和低频谐振点,从而更大程度的展宽天线带宽。此外,高频端的寄生单元放于普通倒F天线的下部,因而与普通倒F天线相比,天线占用空间及结构复杂性相对变化不大,天线整体结构仍属于低轮廓天线。采用此结构,文中设计了一个工作于中心频率1.2GHz的改进倒F天线。从谐振耦合电路的角度阐述天线的设计原理,对天线进行了电性能分析,给出了主要参数对带宽的影响。分析结果表明,天线在中心频率1.2GHz时相对带宽达到了33% (VSWR < 2),约为普通倒F天线阻抗带宽的4倍,很好的满足了工程应用要求,同时该设计思想和方法可以进一步推广到平面倒F天线的设计,在宽带通信及其它电子系统中有较好的应用前景。

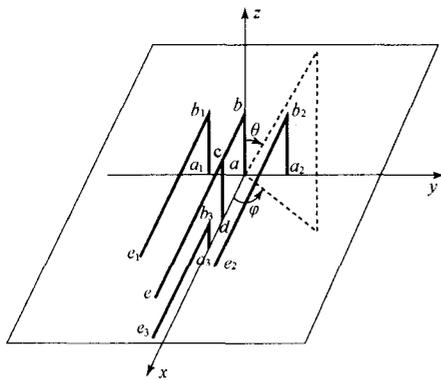


图1 天线结构示意图

1 天线结构及分析

1.1 天线结构

含有三个寄生单元的倒F天线的几何结构如图1所示。天线用细导线制造,放于无限大平面上。 $abcde$ 为激励单元,即普通的倒F天线, $a_1b_1e_1$ 和 $a_2b_2e_2$ 为低频谐振寄生单元, $a_3b_3e_3$ 为高频谐振寄生单元,通过空间与激励单元相耦合。倒F天线的高为 h ,长为 l ,低频寄生单元的高和长分别为 h_{p1} 和 l_{p1} ,高频寄生单元的高和长分别为 h_{p2} 和 l_{p2} 。即有如下关系:

$$\begin{aligned} |ab| &= h, |a_1b_1| = |a_2b_2| = |cd| = h_{p1}, \\ |a_3b_3| &= h_{p2}, |be| = l, |b_1e_1| = |b_2e_2| = l_{p1}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |b_3e_3| &= l_{p2} \quad |ab| = d_{p1}, |a_3d| = d_{p2}, \\ |aa_1| &= |aa_2| = sy \end{aligned}$$

天线在 a 点用 50Ω 同轴线馈电。通过调整 a 点和 d 点间的距离 d_{p1} , a_3 点和 d 点的距离 d_{p2} 以及寄生单元与受激单元的间距 sy 可以改善输入端口的阻抗特性,实现宽带谐振。

1.2 含有寄生单元倒F天线的辐射原理

将含有寄生单元的倒F天线分为馈电激励单元和耦合寄生单元两部分。受激单元被馈电后向空间辐射电磁波,使寄生单元中产生感应电流从而也产生辐射,寄生单元相对于受激单元的电流幅度及相位关系依赖于该寄生单元的调谐。

假设单元1为寄生单元,单元2为受激单元,则单元间的电路关系为^[5]

$$\begin{aligned} 0 &= I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12} \\ V_2 &= I_1 Z_{21} + I_2 Z_{22} \end{aligned} \quad (1)$$

则有

$$\frac{I_1}{I_2} = m e^{j\alpha} = -\frac{Z_{12}}{Z_{11}} \quad (2)$$

式中

$$\begin{aligned} m &= \sqrt{\frac{R_{12}^2 + X_{12}^2}{R_{11}^2 + X_{11}^2}} \\ \alpha &= \pi + \arctg \frac{X_{12}}{R_{12}} - \arctg \frac{X_{11}}{R_{11}} \end{aligned} \quad (3)$$

其中, $Z_{12} = R_{12} + jX_{12}$ 为受激单元和寄生单元间的互阻抗, $Z_{11} = R_{11} + jX_{11}$ 为寄生单元的自阻抗。

可以看出,寄生单元上感应电流的幅度和相位取决于寄生单元本身的自阻抗和它与受激单元之间的互阻抗。所以调节寄生单元的尺寸及与受激单元之间的距离可以改变互阻抗,从而改变天线的输入阻抗。总体来说,任何两块金属之间电容的大小,随间距的增大而减小,随金属体尺寸的增大而增大。

然而一般传输线的参数 L 、 C (单位长度电感电容)沿线是均匀的,特性阻抗为常数,而天线的参数沿线是变化的。此外,理想传输线是无损耗的,但天线要辐射功率,相当于一有耗传输线。所以受激单元和寄生单元之间感应耦合的问题比较复杂,因此进行严格的理论分析十分困难,采用数值计算是一种有效的途径。

1.3 含寄生单元倒F天线参数特性分析

为了比较天线的主要参数对谐振频率及阻抗带宽的影响,明确天线的辐射机理,采用基于有限元法的高频仿真软件HFSS对各主要设计参数进行了计算分析。设计天线工作中心频率为1.2GHz,各参数

数值分别为: $h = 22.95\text{ mm}$, $h_{p1} = 22.95\text{ mm}$, $h_{p2} = 18.2$; $sy = 6.3\text{ mm}$; $l = 41.45\text{ mm}$, $l_{p1} = 44.5\text{ mm}$, $l_{p2} = 33.85\text{ mm}$, $d_{p1} = 8.75\text{ mm}$, $d_{p1} = 4.25\text{ mm}$ 。以该组参数为基准,天线各主要参数变化对谐振频率的影响情况如下图所示。

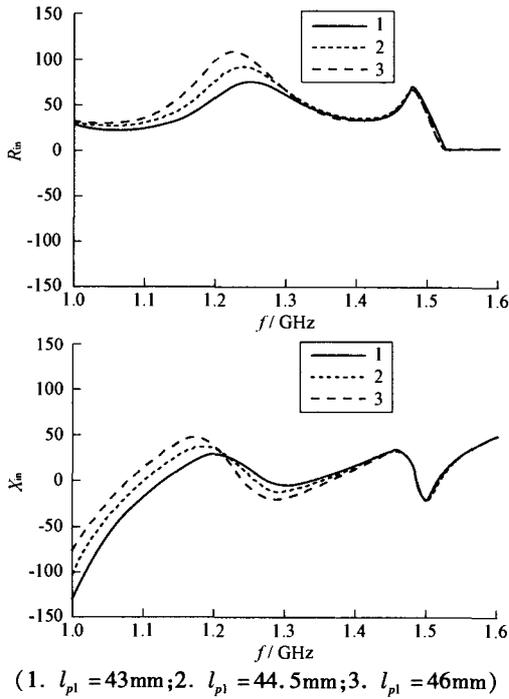


图2 输入阻抗随 l_{p1} 的变化情况

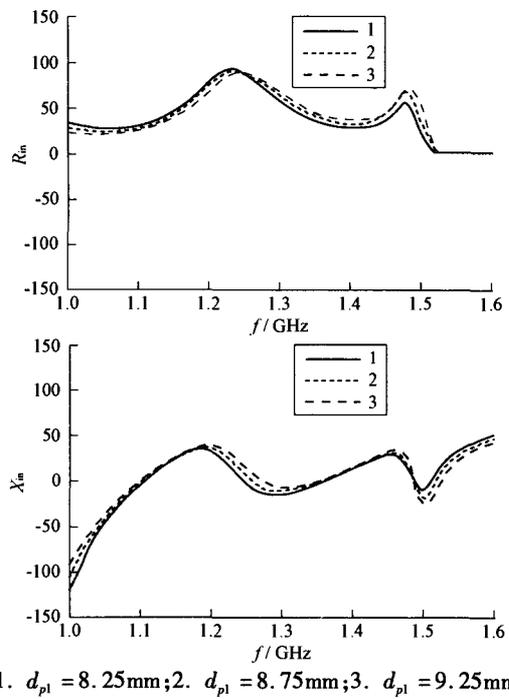


图3 输入阻抗随 d_{p1} 的变化情况

由图中曲线可以得到如下结论:

(1) 含有三个寄生单元的倒F天线在工作频带

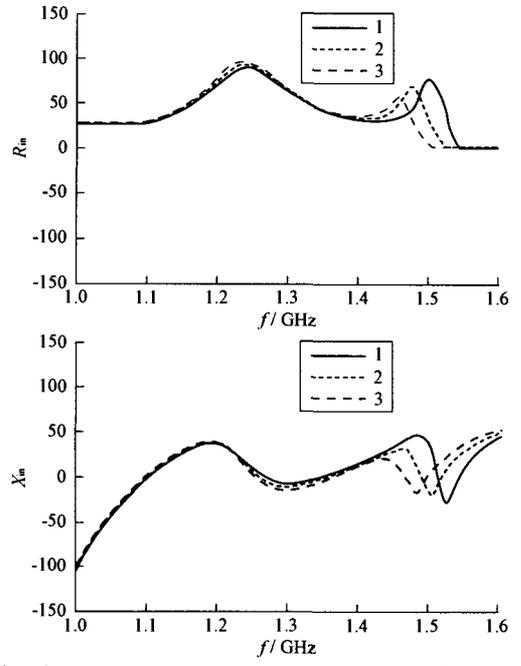


图4 输入阻抗随 h_{p2} 的变化情况

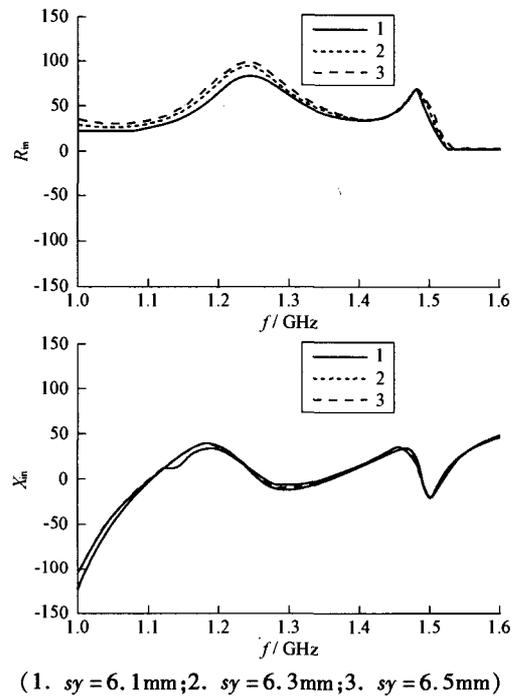


图5 输入阻抗随 sy 的变化情况

内,可以产生三个独立的频率谐振点。

(2) 低频谐振点主要由两侧寄生单元的长度 l_{p1} 决定,低频谐振点随 l_{p1} 的增大而减小,且 l_{p1} 大小的变化对中频和高频谐振点都影响很小。

(3) 高频谐振点主要由距离 d_{p1} 决定,高频谐振点随 d_{p1} 的增大而增大,且 d_{p1} 大小的变化对低频和中频谐振点都影响很小。

(4) d_{p2} 和 h_{p2} 都会对中频和高频谐振点产生影

响,其中对中频谐振点影响较小,对高频谐振点影响明显,对低频谐振点几乎不产生影响。

(5)参数 s_y 的大小对三个谐振点的影响很小,适当的改变 s_y 的大小可以调整三个谐振频率之间的阻抗值,使之达到整体的带宽。

这些结果对于倒F天线的频带扩展和阻抗匹配具有重要意义。

2 数值仿真与计算结果

通过上述仿真可以知道,根据馈电位置的选择,分别调整高频端和低频端寄生加载段的长度,能够改变高频和低频的谐振频率,使得馈电点的位置发生了相对性的改变,这样一方面调整了频率特性,另一方面改变了阻抗特性。如果两个寄生加载段长度选择好就可以使谐振点落在所希望的频率点上,同时又能实现良好的匹配状态。我们设计了工作中心频率为1.2GHz的含有三个寄生单元的倒F天线,采用以上方法进行调整,得到了一组最佳参数(参数在1.3节中作为仿真的对比基础给出),此时它的阻抗及驻波比曲线见图6。为了对比,将普通倒F天线、含有两侧寄生单元的倒F天线、含有三个寄生单元的倒F天线的驻波特性曲线也一并给出。

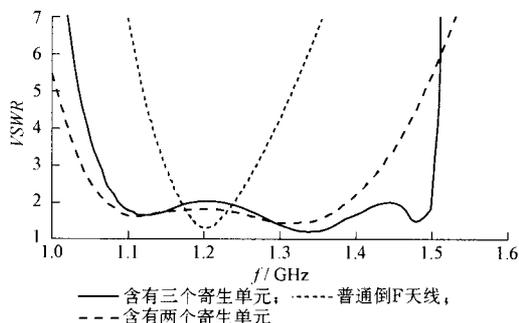


图6 驻波比变化图

从图中可见,含有三个寄生单元的倒F天线的阻抗呈现宽频带特性,阻抗带宽达到了33%。而普通倒F天线的阻抗带宽为8%、含有两侧寄生单元的倒F天线的阻抗带宽为26%。由此可见,几个寄生单元的适当结合可以有效地增大天线带宽。

图7、图8和图9分别给出了工作频率为1.2GHz时普通倒F天线、含有两侧寄生单元的倒F天线以及含有三个寄生单元的倒F天线在 $x-z$ 平面和 $y-z$ 平面的辐射方向图,用以检验添加寄生单元后对原天线方向图的影响情况。其中 $x-z$ 平面对应 $\varphi=0^\circ$ 的曲线, $y-z$ 平面对应 $\varphi=90^\circ$ 的曲线。

从图中可见,添加寄生单元后,天线的方向图变

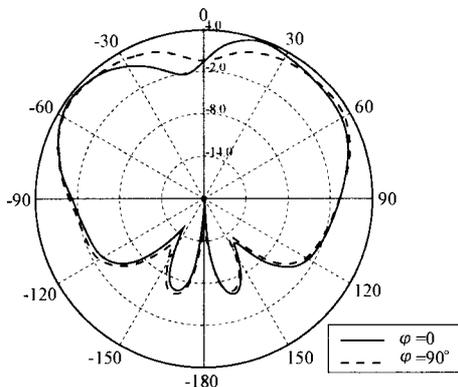


图7 普通倒F天线方向图

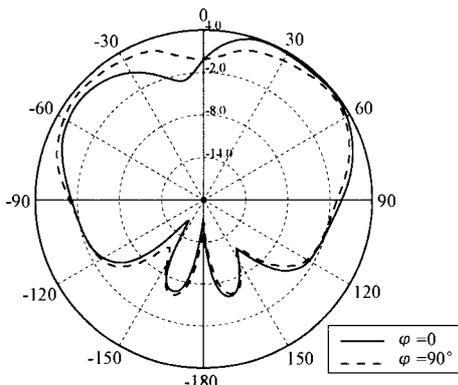


图8 含有两个寄生单元的倒F天线方向图

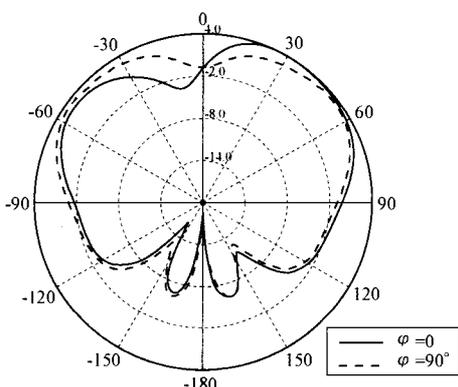


图9 含有三个寄生单元的倒F天线方向图

化很小,基本与未加任何寄生单元的普通倒F天线的方向图相同。

3 结语

本文对含有三个寄生单元的倒F天线进行了详细的研究,分析了天线各主要参数对谐振频率和阻抗带宽的影响,并对普通倒F天线和同时添加两个、三个寄生单元的倒F天线的驻波特性和辐射方向图变化进行了比较分析。本文提出了一种在普通倒F天线的两侧和底部同时添加寄生单元的改进

倒F天线,该天线与普通的倒F天线相比有更宽的带宽,同时高频端的寄生单元被放于倒F天线的下部,因而没有明显增大原天线的尺寸和增加天线结构的复杂性。我们设计了一个工作于中心频率1.2GHz的倒F天线,该天线驻波(VSWR)小于2的相对阻抗带宽达到了33%,约为普通倒F天线阻抗带宽的4倍。这种改进的倒F天线具有较宽的带宽,且为一种低轮廓结构,可应用于火箭和飞机上。

参 考 文 献

- [1] Oh K, Hirasawa K. A dual-band inverted-L-folded-antenna with a parasitic wire. Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004
- [2] Olmos M, Hristov H D, Feick R. Inverted-F antenna

with wideband match performance. Electronics letters, 2002,38(16):845~847

- [3] Nakano H, Mimaki H. Low-profile inverted-F antenna with parasitic elements on an infinite ground plane. IEE Proc.-Microw. Antennas Propag., 1998,145(4):321~325
- [4] Liu Duixian, Gaucher Brian. A new multiband antenna for WLAN/Cellular applications. Vehicular Technology Conference, 2004
- [5] John D. Kraus, Ronald J. Marhefka. 天线. 北京:电子工业出版社,2004

姜铁华 女,1980年生,博士研究生。主要研究方向为天线设计,电磁兼容等。

(上接第25页)

- [6] 葛德彪,闫玉波. 电磁场时域有限差分方法. 西安:西安电子科技大学出版社,2002. 146~167
- [7] Kelley D F, Luebbers R J. Piecewise linear recursive convolution for dispersive media using FDTD. IEEE Trans Antennas Propagat, 1996,44(6):792~797

李毅 1977年生,湖南人。2006年6月于国防科学技术

大学电子科学与工程学院获得博士学位。现为海军工程大学电力电子技术研究所讲师,主要从事电磁散射,电磁兼容及微波电路等研究工作。

袁乃昌 男,1965年生,安徽人。国防科技大学电子科学与技术系主任、教授、博士生导师。主要从事目标环境电磁特性,超宽带雷达,光子晶体等方向研究。

(上接第28页)

参 考 文 献

- [1] Mittra R, Chan C H, Cwick T. Techniques for analyzing frequency selective surface-A review[J]. Proc. IEEE, 1988,76(2):1593~1615
- [2] Bertoni H L, Cheo L S, Tamir T. Frequency selective reflection and transmission by a periodic dielectric layer. IEEE Trans Antennas Propagat, 1989, 37: 78~83
- [3] Gedney S D, Lee J F, Mittra R. A Combined FEM/MoM Approach to Analyze the Plane Wave Diffraction by Arbitrary Gratings. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1992, 2(40): 50~54
- [4] 杨利,徐善驾. 介质周期结构频率选择特性的多模

网络分析. 电子学报,1999,27(3)

- [5] 徐欧,何小祥. 波导介质不连续性问题 FEM/PML 方法分析. 微波学报,2003, 19(2)
- [6] (美)金建铭著,王建国译. 电磁场有限元法,西安:西安电子科技大学出版社,1998

冯奎胜 男,1979年生,博士生,主要从事电磁计算、智能天线方面的研究。

谢春健 男,1971年生,博士生,主要从事电磁计算,通信、雷达信号处理方面的研究。

许家栋 男,1948年生,博士生导师,主要从事电磁场与微波技术方面的研究。

射频和天线设计培训课程推荐

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,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 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。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



HFSS 学习培训课程套装

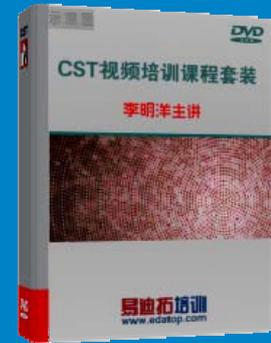
该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



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,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

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



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并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
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,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>