

基于 HFSS 的不同形状微带贴片天线的仿真设计

张天瑜

(无锡市广播电视大学 机电工程系, 江苏 无锡 214011)

摘 要:微带贴片天线的贴片形状是影响天线性能的重要因素.通过 HFSS 软件对矩形微带贴片天线和圆形微带贴片天线进行设计与仿真,比较了两种不同形状贴片天线的尺寸以及各自的 S 参数图、方向图和输入阻抗图.仿真结果表明两种微带贴片天线都存在带宽过窄的问题.综合考虑天线的各项性能指标,矩形微带贴片天线要优于圆形微带贴片天线.

关键词:微带贴片天线;S 参数;方向图;输入阻抗;HFSS 仿真

中图分类号:TN 823 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-3873-(2008)04-0121-05

1 引言

微带贴片天线是一种使用微带贴片作为辐射源的天线,它具有剖面低、体积小、重量轻、可共形、易集成、馈电方式灵活、便于获得线极化和圆极化等优点.目前已在移动通信、卫星通讯、导弹遥测、多普勒雷达等许多领域获得了广泛的应用.其中贴片的形状是影响天线性能的重要因素之一,它直接影响着天线的带宽、频率、增益等指标.在微带贴片天线的设计过程中,由于多项技术指标是互相联系、互相影响的,所以需要对天线的性能指标进行综合考虑,从而来选择符合实际需要的贴片形状^[1-5].本文通过 Ansoft 公司的 HFSS 软件分别对矩形和圆形两种常见的微带贴片天线进行设计和仿真,并对其天线性能进行了比较与分析.

2 仿真设计

2.1 HFSS 仿真软件的介绍

高频结构仿真器(High Frequency Structure Simulator, HFSS)是一款界面友好、功能完备、采用有限元法的三维全波电磁场仿真软件,可分析仿真任意三维无源结构的高频电磁场,能直接得到特征阻抗、传播常数、S 参数及电磁场、辐射场、天线方向图等结果.它广泛应用于航空、航天、电子、半导体、计算机、通信等多个领域,具有以下特色功能:(1)用户可以通过交互式界面输入高频元件或电路的几何结构、材料类型、端口位置、端口特性阻抗定义线等参数.

(2)可以按用户指定的精度计算多端口结构端口处的 S 参数.(3)能以电场强度 E 和磁场强度 H 作为基本物理量,从麦克斯韦(Maxwell)方程出发,求解微波元件中的电场和磁场的分布和各种曲线及图形.(4)可以同时分析多个微波元件,即进行并行处理.(5)能够与频域/时域的电路仿真器 Nexxim 和 Ansoft Designer 实现动态链接,拥有方便的原理图集成和仿真数据的管理,具备功能强大而高效的电磁场设计流程.

2.2 HFSS 仿真设计的过程

(1)设定 HFSS 软件运行参数,如设定解算类型、是否复制几何图形的边界、是否打开各工具窗口等.(2)打开新的工程,并在工程中插入一个或多个 HFSS 设计(insert HFSS design).(3)根据天线设计时的技术指标以及计算所得到的天线参数,如天线的尺寸、材料、激励、边界等,获得仿真天线模型^[6].(4)设置仿真天线模型的分析参数,如插入远场设置、解算频率、起始频率、终止频率、扫频模式、扫描次数,并进行校验分析.(5)根据仿真天线模型来获得天线对应的特性图,如 S 参数图、方向图、输入阻抗图.

2.3 矩形微带贴片天线的设计与仿真

设在接地板未开缝的情况下,中心频率 $f_c = 2.34$ GHz,接地板的尺寸为 $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$,介质板材料为 FR4,相对介电常数 $\epsilon_r = 4.4$,介质板的厚度 $h = 1.6\text{ mm}$.

矩形微带贴片天线的各参数通过下列公式计算^[7]:

收稿日期:2008-07-27

作者简介:张天瑜(1980-),男,江苏无锡人,现为无锡市广播电视大学机电工程系讲师,江南大学硕士.研究方向:通信、电工电子、控制、小波领域的研究.

$W < \frac{c}{2f_r} \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right]^{-1/2}$ c 为光速 W 为贴片的宽度 (1)

$$\Delta l = 0.412 h \frac{(\epsilon_r + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_r - 0.258)(W/h + 0.8)}$$

Δl 为等效延伸长度 (2)

$$L = \frac{\lambda_g}{2} - 2\Delta l \quad L \text{ 为贴片的长度} \quad (3)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10}{W} h \right]^{-1/2}$$

ϵ_e 为等效介电常数 (4)

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \quad \lambda_0 \text{ 为电磁波波长} \quad (5)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_e}} \quad \lambda_g \text{ 为等效电磁波波长} \quad (6)$$

设辐射边界的长宽略大于接地板与介质板的长宽,其顶部高于贴片 $\lambda_0/4$.

GND 尺寸: $L_c \geq L + 0.2\lambda_g$ L_c 为接地板的长度 (7)

$W_c \geq W + 0.2\lambda_g$ W_c 为接地板的宽度 (8)

建立坐标系,其中 X 轴代表微带天线的贴片长度, Y 轴代表微带天线的贴片宽度, Z 轴代表微带天线的贴片高度,则同轴馈线的位置为 $(\chi_p, 0, 0)$.

$$\text{其中 } \chi_p = \frac{2}{L} - \frac{L}{\pi} \arccos \sqrt{\frac{5W}{6\lambda_0}} \quad (9)$$

矩形微带贴片天线模型的参数设置如下所示:

GND(- 25, - 25, 0) $dx = 50, dy = 50, dz = 0$
rectangle pec

Sub(- 25, - 25, 0) $dx = 50, dy = 50, dz = 1.6$
box FR4_epoxy

Patch(- 12, - 8, 1.6) $dx = 24, dy = 16, dz = 0$
rectangle pec

Coax(- 3.45, 0, 0) $dx = 1.15, dy = 0, dz = - 1.6$
cylinder vacuum

Port(- 3.45, 0, - 1.6) $dx = 1.15, dy = 0, dz = 0$
circle

Coax_pin(- 3.45, 0, 0) $dx = 0.5, dy = 0, dz = - 1.6$
cylinder pec

Probe(- 3.45, 0, 0) $dx = 0.5, dy = 0, dz = 1.6$
cylinder pec

Airbox(- 35, - 35, 30) $dx = 70, dy = 70, dz = - 30$
box vacuum

通过计算可得,贴片的宽度 $W = 24 \text{ mm}$,贴片的长度 $L = 16 \text{ mm}$,由此贴片的面积为 $S = 348 \text{ mm}^2$.

以上是采用背馈式的矩形微带贴片天线^[8],利用 HFSS 软件进行仿真所得的天线模型,如图 1(a)所示.

2.4 圆形微带贴片天线的设计与仿真

为了方便对照,设圆形微带贴片天线与上述的

矩形微带贴片天线具有相同的中心频率、介质板材料、相对介电常数及介质板厚度^[9].

在频率较低时(小于 2 GHz),圆形微带贴片天线贴片半径的计算公式为:

$$a = \frac{1.841 \times c}{2\pi f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (10)$$

在频率较高时(大于 2 GHz),圆形微带贴片天线的贴片半径还与介质板的厚度有关,其计算公式为:

$$a_e = a \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left(\ln \frac{\pi a}{2h} + 1.7726 \right) \right]^2 \quad (11)$$

由于使用理论半径所设计出的天线无法满足天线的实际使用性能,所以圆形贴片的实际半径要比理论值大得多,并且需要通过不断调整仿真参数来满足天线的设计要求^[10].通过多次调整与仿真,最后获得圆形微带贴片天线模型的参数设置如下:

Sub(- 23, - 23, 0) $dx = 46, dy = 46, dz = 1.6$
box FR4_epoxy

GND(- 23, - 23, 0) $dx = 46, dy = 46, dz = 0$
rectangle pec

Patch(0, 0, 1.6) $dx = 17.7, dy = 0, dz = 1.6$
rectangle pec

Coax(- 6.9, 0, 0) $dx = 0.9246, dy = 0, dz = - 1.6$
cylinder vacuum

Coax_pin(- 6.9, 0, 0) $dx = 0.402, dy = 0, dz = - 1.6$
cylinder pec

Probe(- 6.9, 0, 0) $dx = 0.402, dy = 0, dz = 1.6$
cylinder pec

Port(- 6.9, 0, - 1.6) $dx = 0.9246, dy = 0, dz = - 1.6$
circle

Cut(- 6.9, 0, 0) $dx = 0.9246, dy = 0, dz = 0$
circle

通过计算可得:贴片半径 $a = 17.7 \text{ mm}$,则贴片的面积为 $S = 983 \text{ mm}^2$.

以上是采用背馈式的圆形微带贴片天线,利用 HFSS 软件进行仿真所得的天线模型,如图 1(b)所示.

2.5 两种微带贴片天线的性能比较

在矩形微带贴片天线与圆形微带贴片天线仿真模型的基础上,通过 HFSS 软件设置相关的分析参数,最终获得天线的特性图,包括 S 参数图,方向图以及输入阻抗图,它们分别如图 2、图 3 和图 4 所示.

S 参数是在波端口处电磁波的反射功率与入射功率之比,它和阻抗匹配有关,并且决定着驻波比. S 参数图是描述天线的 S 参数随频率变化的图形.一般认为 S 参数小于 - 10 dB 时,天线才能正常工作,此时的驻波比大致为 2. 绝对频带宽度定义为 S 参

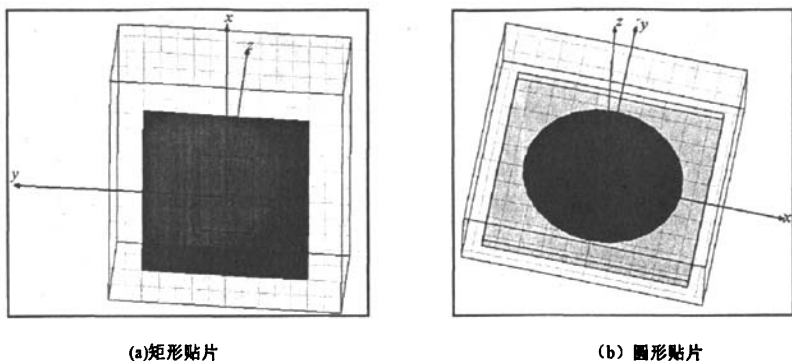


图1 微带贴片天线的仿真模型

数小于 -10 dB 的频率范围. 相对频带宽度定义为绝对带宽与中心频率之比. 在图 3(a)中, 矩形微带贴片天线的中心频率为 2.34 GHz, 上截止频率为 2.38 GHz, 下截止频率为 2.30 GHz, 绝对频带宽度为 0.08 GHz, 相对频带宽度为 3.42% , S 参数的最低点为 -20.58 dB. 在图 3(b)中, 圆形微带贴片天线的中心频率为 2.32 GHz, 这是由于为了获得效果更好的 E 面与 H 面的空间增益, 导致天线的中心频率产生了微小的偏移. 其上截止频率为 2.36 GHz, 下截止频率为 2.28 GHz, 绝对频带宽度为 0.08 GHz, 相对频带宽度为 3.45% , S 参数的最低点为 -39.55 dB.

方向图是用来表示天线的辐射参量随空间方位变化的图形. E 面和 H 面分别反映了天线在 XOZ 面和 YOZ 面上的增益大小. 通过图 3(a)和图 3(b)的比较可以发现两种不同形状的微带贴片天线的对称性都较好, 在 Z 轴方向上, 两者的辐射强度都达到最大值. 其中矩形微带贴片天线的增益为 2.069 dB, 圆形微带贴片天线的增益为 1.013 dB. 由此可得, 矩形微带贴片天线的 E 面和 H 面在 Z 轴方向上辐射较强要强于圆形微带贴片天线, 其方向性较圆形微带贴片天线更好.

天线的输入阻抗是天线馈电端输入电压与输入

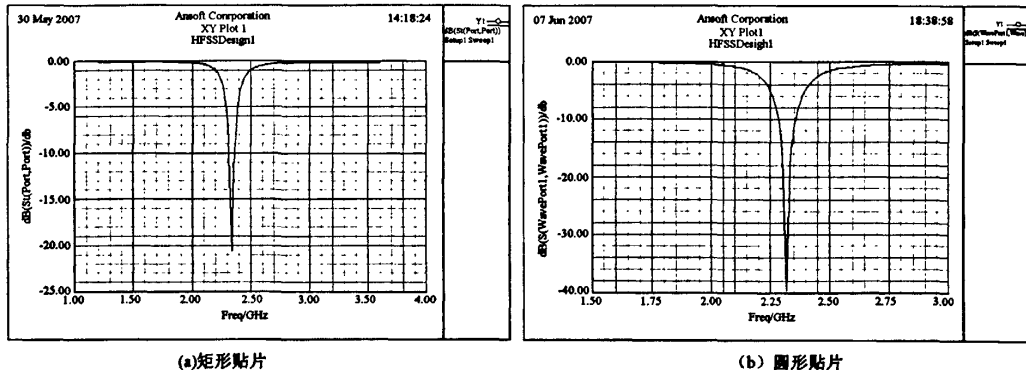


图2 S参数图

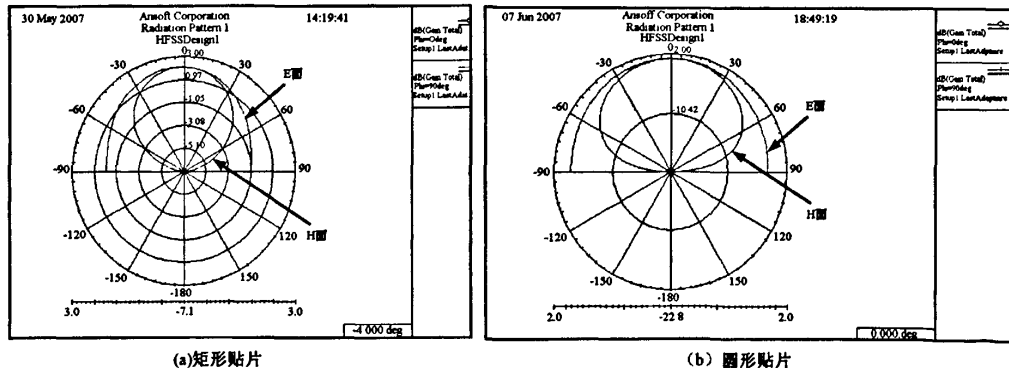
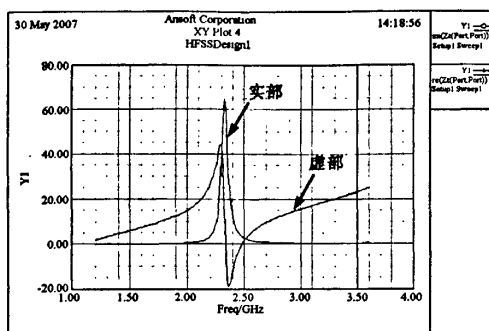
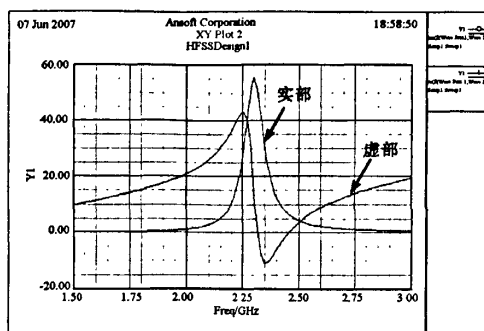


图3 方向图



(a) 矩形贴片



(b) 圆形贴片

图4 输入阻抗图

电流的比值^[11,12].输入阻抗图是描述天线的输入阻抗随频率变化的图形.当输入阻抗的虚部为零时,如果实部等于 $50\ \Omega$,则天线与馈线达到阻抗完全匹配,此时 S 参数可以达到很小.在图 4(a)中,当矩形微带贴片天线输入阻抗的虚部为零时,实部为 $50.14\ \Omega$,并且在虚部接近零时,实部下降比较平滑,所以阻抗匹配很好.在图 4(b)中,当圆形微带贴片天线输入阻抗的虚部为零时,实部为 $50.71\ \Omega$,并且在虚部接近零时,实部下降也比较平滑,所以阻抗匹配略逊色于矩形微带贴片天线.

通过对矩形微带贴片天线与圆形微带贴片天线的比较,可以得到以下结论:

(1)贴片形状的不同对微带天线的带宽影响不大,两种贴片天线的相对带宽都非常窄,在 3.4% 左右,这是微带贴片天线的一个重大缺陷.随着双模态滤波、多层缝隙耦合、双极化、半 U 型开缝等先进技术在扩频方面的不断发展,微带贴片天线的带宽将得到有效的扩展^[13-15];

(2)在中心频率相同、介质板材料相同、相对介电常数相同、介质板厚度相同的前提下,满足天线设

计要求的圆形贴片面积是矩形贴片面积的 2.56 倍,这样矩形微带贴片天线在尺寸上就更占优势;

(3)对比两种贴片天线的方向图可知,矩形微带贴片天线的增益是 2.069 dB;而圆形微带贴片天线的增益只有 1.013 dB,矩形微带贴片天线的方向性更具优势;

(4)不论是矩形微带贴片天线还是圆形微带贴片天线,其输入阻抗的频率特性都较好,两种天线与馈线都可以很好的达到阻抗匹配^[16].

3 结语

随着 EDA 技术的飞速发展,HFSS 已经成为微带天线设计人员不可缺少的工具.通过 HFSS 软件的仿真分析,可以直观地看出矩形微带贴片天线与圆形微带贴片各自的优缺点,在一般情况下(具体要求贴片形状的微带天线除外)矩形微带贴片天线相对于圆形微带贴片天线的优势非常明显,无论从贴片的尺寸大小还是增益上,矩形微带贴片天线都应是首选.随着扩频技术的发展,微带贴片天线的应用领域将会变得越来越广.

参考文献

- [1]钟顺时.微带天线理论与应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,1991.
- [2]王扬智,张麟兮,韦高.基于 HFSS 新型宽频带微带天线仿真设计[J].系统仿真学报,2007,19(11):2603 ~ 2606.
- [3]Chair R, Kishk A A, Lee K F. Comparative study on the mutual coupling between different sized cylindrical dielectric resonators antennas and circular microstrip patch antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(3): 1011 ~ 1019.
- [4]Lee S, Woo J, Ryu M, et al. Corrugated circular microstrip patch antennas for miniaturisation[J]. Electronics Letters, 2002, 38(6): 262 ~ 263.
- [5]Mak C L, Luk K M, Lee K F, et al. Experimental study of a microstrip patch antenna with an L-shaped probe[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2000, 48(5): 777 ~ 783.
- [6]Wang J J, Zhang Y P, Kai M C, et al. Circuit model of microstrip patch antenna on ceramic land grid array package for antenna - chip codesign of highly integrated RF transceivers[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(12): 3877 ~ 3883.
- [7]王斌,曲新波,张宏苏.短路针加载矩形微带贴片天线的研究[J].军事通信技术,2006,27(4):58 ~ 61.
- [8]梁秀珍,谭克俊,邵佑诚.小型矩形微带贴片天线的理论分析[J].大连海事大学学报(自然科学版),2002,28(2):66 ~ 68.
- [9]伍刚,张小平.基于腔模理论对圆形微带天线的研究[J].微计算机信息,2007,23(9):162 ~ 163.
- [10]Verma A K, Nasimuddin. Analysis of circular microstrip patch antenna as an equivalent rectangular microstrip patch antenna on iso/anisotropic thick substrate[J]. IEEE Proceedings: Microwaves, Antennas and Propagation, 2003, 150(4): 223 ~ 229.
- [11]Jaisson D. Simple model for computing the input impedance of a rectangular patch antenna with electromagnetic coupling[J]. IEEE Proceedings-Microwaves, Antennas and Propagation, 2005, 152(6): 476 ~ 480.

- [12] Burum N, Sipus Z. Input impedance and mutual coupling of spherical rectangular microstrip patch antennas[C]. ICECom 2003. 17th International Conference on Applied Electromagnetics and Communications, 2003: 209 ~ 212.
- [13] Abunjaileh A I, Hunter I C, Kemp, A H. Application of dual-mode filter techniques to the broadband matching of microstrip patch antennas[J]. IET Microwaves, Antennas and Propagation, 2007, 1(2): 273 ~ 276.
- [14] Matin M A, Sharif B S, Tsimenidis C C. Dual layer stacked rectangular microstrip patch antenna for ultra wideband applications[J]. IET Microwaves, Antennas and Propagation, 2007, 1(6): 1192 ~ 1196.
- [15] Gao S, Li L W, Leong M S, et al. A broad-band dual-polarized microstrip patch antenna with aperture coupling[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 51(4): 898 ~ 900.
- [16] 丁毅, 王光明, 苏文然. 一种新型单层单贴片宽带圆形微带天线[J]. 弹箭与制导学报, 2007, 27(5): 274 ~ 276.

The Simulation Design for Different Patch Shape of Microstrip Patch Antenna Based on HFSS

ZHANG Tian-yu

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Wuxi Radio & Television University, Wuxi 214011, China)

Abstract: The patch shape of microstrip patch antenna is the important factor which affects the performance of antenna. The rectangular microstrip patch antenna and the circular one are designed and simulated with HFSS. Comparison has been made between the two different patch antennas, such as the size, S-parameters chart, pattern and input impedance chart. The simulation result shows that the bandwidth of two microstrip patch antenna is too narrow. By comprehensive consideration of each performance index, the rectangular microchip antenna is better than the circular one.

Key words: microstrip patch antenna; S-parameters; pattern; input impedance; HFSS simulation

(上接第 120 页)

- [5] Silva J. B., et al. Preparation of Composites of Nickel Ferrites Dispersed in Silica Matrix[J]. J. Magn. Magn. Mater, 2001, 139: 226-230.
- [6] Yan S. F., et al. Preparation of $\text{Ni}_{0.66}\text{Zn}_{0.33}\text{Cu}_{0.1}\text{Fe}_{0.9}\text{O}_4/\text{SiO}_2$ Nanocomposites by sol-gel Method[J]. J. Cryst. Growth, 2004, 262: 415-419.
- [7] 孔令兵, 等. 氧化铁/二氧化硅多孔凝胶玻璃的制备[J]. 西安交通大学学报, 1995, 29: 23-28.
- [8] Ennas G., et al. Iron and iron-oxide on silica nanocomposites prepared by the sol-gel method[J]. J. Mater. Res, 2002, 17: 590-596.
- [9] Huang X. H., Chen Z. H. A study of nanocrystalline NiFe_2O_4 in a silica matrix[J]. Materials Research Bulletin, 2005, 40: 105-113.

Influence of Drying Temperature on $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ Nanocomposites

CHEN Jing-yan, QI Hai-yan, HE Xiao-guang

(College of Physics, Changchun Normal University, Changchun 130032, China)

Abstract: $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ nano-composites were prepared by the sol-gel method. The influence of drying temperature on the microstructure and crystalline size of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$ nano-composites were investigated by TG/DTA and XRD. Furthermore, the influence of the initial drying temperature on particle size of CoFe_2O_4 suggests that a well-established silica network provides more restriction on the growth of CoFe_2O_4 particles.

Key words: sol-gel method; $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{SiO}_2$; drying temperature; grain size

HFSS 视频培训课程推荐

HFSS 软件是当前最流行的微波无源器件和天线设计软件, 易迪拓培训(www.edatop.com)是国内最专业的微波、射频和天线设计培训机构。

为帮助工程师能够更好、更快地学习掌握 HFSS 的设计应用, 易迪拓培训特邀李明洋老师主讲了多套 HFSS 视频培训课程。李明洋老师具有丰富的工程设计经验, 曾编著出版了《HFSS 电磁仿真设计应用详解》、《HFSS 天线设计》等多本 HFSS 专业图书。视频课程, 专家讲解, 直观易学, 是您学习 HFSS 的最佳选择。



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>

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>



更多 HFSS 视频培训课程:

- **两周学会 HFSS —— 中文视频培训课程**

课程从零讲起, 通过两周的课程学习, 可以帮助您快速入门、自学掌握 HFSS, 是 HFSS 初学者的最好课程, 网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/1.html>

- **HFSS 微波器件仿真设计实例 —— 中文视频教程**

HFSS 进阶培训课程, 通过十个 HFSS 仿真设计实例, 带您更深入学习 HFSS 的实际应用, 掌握 HFSS 高级设置和应用技巧, 网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/3.html>

- **HFSS 天线设计入门 —— 中文视频教程**

HFSS 是天线设计的王者, 该教程全面解析了天线的基础知识、HFSS 天线设计流程和详细操作设置, 让 HFSS 天线设计不再难, 网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/4.html>

- **更多 HFSS 培训课程**, 敬请浏览: <http://www.edatop.com/peixun/hfss>

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,一直致力和专注于微波、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相关培训课程和 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>