

# 圆极化双层微带天线的研究

孙向珍

(北京遥测技术研究所 北京 100076)

**文 摘** 利用经验公式和软件仿真结合的方法分别设计 S 波段、C 波段的圆极化双层微带天线,在驻波比 VSWR 小于 2 的情况下,天线的阻抗带宽达到 18.2%。对双层微带天线工作在不同频段时的圆极化特性进行研究,并对 C 波段出现的轴比变差、方向图不对称问题提出了改进措施。

**主题词** 微带天线 宽带 圆极化

## 前 言

微带天线因具有体积小、剖面低、馈电方式灵活的优点而得到广泛应用。但单层微带天线的带宽只有 0.7%~7%,这使得微带天线的适用范围大为缩小。为此,研究了多种方法来扩展微带天线的阻抗带宽,叠层微带天线是其中一个有效的措施<sup>[2~9]</sup>。

至今为止,多数文献只着眼于扩展天线的阻抗带宽,没有涉及到天线的圆极化性能。文献[4]指出,使用一层高介电常数基片和一层低介电常数基片的两层贴片天线的 3dB 轴比带宽可以达到 32%。但文献中天线采用的是边馈方式,也没有给出带内的驻波比(VSWR)。事实上,如果激励单元采用介电常数大于 5 的基片(如文献中所用的  $\epsilon_r=10.4$  的基片),天线的阻抗带宽会减小。文献[6]给出一种宽带宽角圆极化微带贴片天线的设计方法,其阻抗带宽的 VSWR<2 和 3dB 轴比带宽达到 20%以上。但天线只工作于 L 波段,并且结构复杂,采用了 7 层介质基片和 4 个 L 探针近耦合馈电。这使天线的可调参数过多、结构安装复杂,在工程中运用会有难度。

本文利用经验公式和软件仿真结合的方法分别设计了 S 波段、C 波段的圆极化双层微带天线,在驻波比 VSWR<2 的情况下,天线的阻抗带宽达到 18.2%。对双层微带天线工作在不同频段时的圆极化特性进行了研究,并针对 C 波段出现的轴比变差、方向图不对称问题提出了改进措施。

## 1 该微带天线的设计

该双层微带天线的结构示于图 1。

d1、d3 是介质基片, d2 是空气层。天线的下层导体贴片为激励单元, 上层导体贴片为寄生单元。上下两层贴片采用相同的形状, 同心放置。这两个导体贴片形成了两个谐振回路, 具有两个谐振频率。通过选择合适的介质基片、馈电位置、贴片形状、贴片间距, 可以调整这两个谐振频率, 使这两个频率适当接近, 从而形成频带大大展宽的双峰谐振电路。使用双馈点馈电方式实现圆极化, 极化电桥和天线背靠背相接。

### 1.1 天线参数的计算

双层微带天线的结构十分复杂, 要得到精确的分析结果, 必须用严格的全波分析法进行分析。在实际

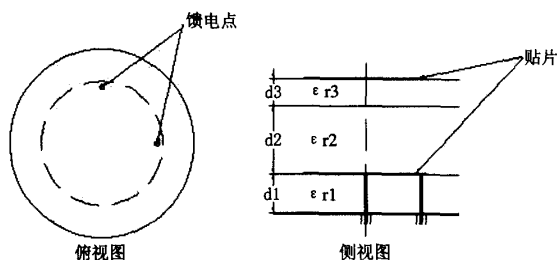


图 1 双层微带天线

的工程中,往往采用一些经典公式<sup>[3,9]</sup>初步确定天线的尺寸,获得天线设计的起点。

设激励单元和寄生单元的谐振频率分别为  $f_1$ 、 $f_2$ 。贴片形状为正方形,激励单元和寄生单元的边长分别为  $w_1$ 、 $w_2$ ,则有:

$$\begin{cases} f_1 = \frac{c}{2w_{e1} \sqrt{\epsilon_{e1}}} \\ f_2 = \frac{c}{2w_{e2} \sqrt{\epsilon_{e2}}} \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $c$  为自由空间中的光速;

$$\begin{cases} w_{ei} = w_i + \Delta w_i \\ \Delta w_i = 0.412d_{ei} \frac{\epsilon_{ei} + 0.3}{\epsilon_{ei} - 0.258} \cdot \frac{\frac{w_i}{d_{ei}} + 0.264}{\frac{w_i}{d_{ei}} + 0.8} \end{cases} \quad (i = 1, 2) \quad (2)$$

$$\begin{cases} d_{e1} = d_1 \\ d_{e2} = d_1 + d_2 + d_3 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \epsilon_{ei} = \frac{\epsilon_{ci} + 1}{2} + \frac{\epsilon_{ci} - 1}{2} \left(1 + \frac{10d_{ei}}{w_i}\right)^{-\frac{1}{2}} \\ \epsilon_{c1} = \epsilon_{r1} \\ \epsilon_{c2} = \frac{d_{e2}}{\frac{d_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\epsilon_{r2}} + \frac{d_3}{\epsilon_{r3}}} \end{cases} \quad (i = 1, 2) \quad (4)$$

当贴片形状为圆形,激励单元和寄生单元的半径分别为  $a_1$ 、 $a_2$  时,则有

$$\begin{cases} f_i = \frac{1.841c}{2\pi a_{ei} \sqrt{\epsilon_{ei}}} \\ a_{ei} = a_i \left[1 + \frac{2d_{ei}}{\pi a_i \epsilon_{ei}} \left(\ln \frac{\pi a_i}{2d_{ei}} + 1.7726\right)\right]^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (i = 1, 2) \quad (5)$$

根据上述公式,选择基片的介电常数、厚度,可以得到贴片的大小。

## 1.2 基片的选择

设计时,基片的选择很重要。文献[2]指出,当下层贴片上一阶模的幅度远远大于上层贴片上的时,可以获得最大的阻抗带宽。这要求上层贴片是“松耦合”的,也就是下层基片的介电常数要高于上层基片的。当二者的介电常数相等或上层基片的介电常数高于下层基片的时,天线的阻抗带宽会减小。但同时,基片的介电常数不能过高,否则也会使天线性能变差。

采用探针馈电,探针会引入感抗,这需要靠贴片的容抗补偿。如果下层贴片太厚,感抗太大,难以补偿,这将使天线的阻抗带宽缩小。所以设计时,基片的厚度也应选择合适。

另外,两层贴片之间的距离( $d_3$ )对天线的方向图、增益有很大的影响。当  $d_3$  逐渐增大时可以分为三个区域:①  $d = 0 \sim 0.14\lambda$ ,方向图具有好的边射特性,频带展宽且增益增大;②  $d = 0.16\lambda \sim 0.29\lambda$ ,H 面方向图不对称,E 面方向图在边射方向出现凹陷;③  $d = 0.3\lambda \sim 0.37\lambda$ ,又形成边射方向图,增益增至 10dB,带宽减小至 1.3%。

## 2 天线的仿真和实验结果

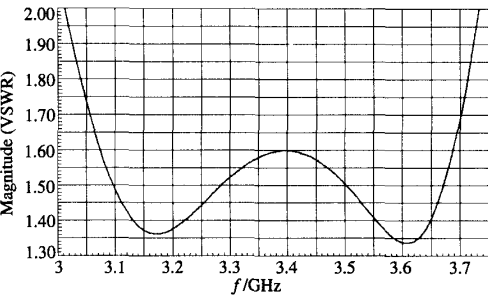
### 2.1 S 波段天线

贴片的形状选为圆形,天线的尺寸如下:下层基片的介电常数为 2.7,厚度为 2mm;上层基片的介电常

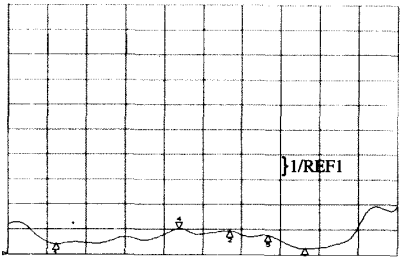
数为 2.55,厚度为 1mm;下层贴片的直径为 16.4mm;上层贴片的直径为 16.5mm;中间空气层的厚度为 7mm。上层基片通过 4 个直径为 4.1mm、高为 7mm 的介质棒固定在下层基片上,两个馈电点落在下层贴片相互垂直的两条中心对称线上。

2.1.1 天线的驻波比

S 波段天线驻波比的仿真、实验结果示于图 2。图 2(a)是仿真结果,图 2(b)是天线不接极化电桥时的测试结果,图 2(c)是天线接极化电桥后的测试结果。



(a) S 波段双层微带天线 VSWR 仿真结果



(b) S 波段双层微带天线 VSWR 测试结果(不接电桥)

由图 2 可以看出,天线的测试曲线和仿真曲线趋势一致。天线不接电桥时,VSWR<2 的阻抗带宽可以达到 22.5%;天线接电桥时,VSWR<2 的阻抗带宽可以达到 18.2%,VSWR<1.5 的带宽可以达到 12.5%。

2.1.2 天线的轴比、增益

S 波段天线的轴比、增益的仿真、实验结果列于表 1。

由表 1 可以看出,天线轴比的实际测试结果与仿真的结果有出入。这是因为仿真时,馈给天线的两个信号是理想的,二者幅度相等、相位相差 90°。而在实际中,极化电桥两路输出信号的幅度、相位均存在误差。

实际测试的增益也低于仿真结果,经分析,认为主要由以下几个原因造成:

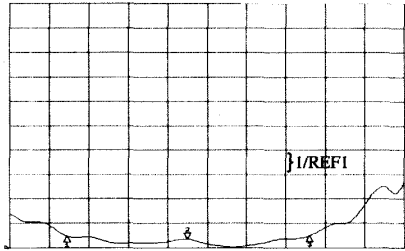
- ①天线的驻波比,仿真结果优于实际测试结果;
- ②实际测试时天线使用了 0.5m 长,损耗为 1.3dB/m 的电缆;
- ③电桥的插入损耗;
- ④电缆、探针的焊接,上下两层基片没有完全平行,加工误差等原因造成误差。

2.2 C 波段天线

贴片的形状选为正方形,天线的尺寸如下:上、下两层基片选用相同的材料,介电常数为 2.7,厚度为 2mm;下层贴片的边长为 16.4mm;上层贴片的边长为 16mm;中间空气层的厚度为 2mm。上层基片通过 4 个直径为 4.1mm、高为 2mm 的介质棒固定在下层基片上,两个馈电点在下层贴片相互垂直的两条中心对称线上。

2.2.1 天线的驻波比

C 波段天线驻波比的仿真、实验结果示于图 3。图 3(a)是仿真结果,图 3(b)是天线接极化电桥后的测试结果。

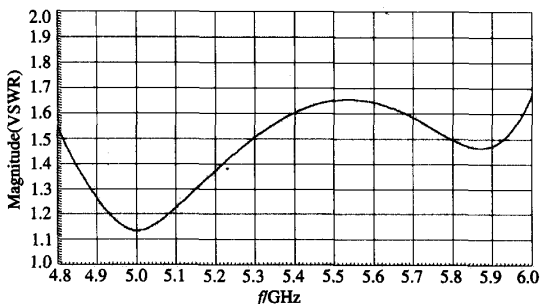


(c) S 波段双层微带天线 VSWR 测试结果(接电桥)

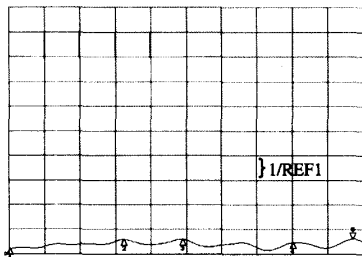
图 2 S 波段双层微带天线驻波比 VSWR

表 1 S 波段双层微带天线轴比、增益的仿真、测试结果

频率 (GHz)	轴向轴比(dB)		轴向增益(dB)	
	仿真结果	测试结果	仿真结果	测试结果
3.1	1.46	0.8	7.1	5
3.2	1.87	2	7.8	5.37
3.3	2.17	2.6	7.8	5.36
3.4	2.33	2.6	7.9	5.64
3.5	2.39	3.2	8	6.1



(a) C 波段双层微带天线 VSWR 仿真结果



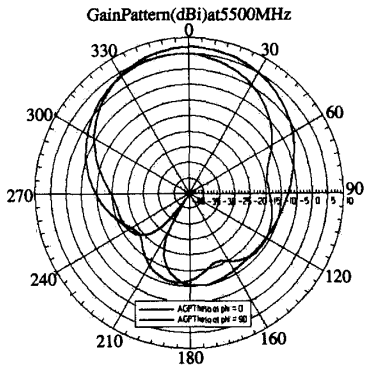
(b) C 波段双层微带天线 VSWR 测试结果(加电桥)

图 3 C 波段双层微带天线驻波比 VSWR

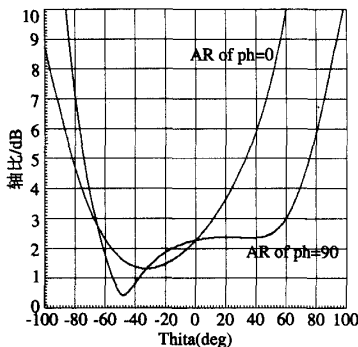
由图 3 看出,实际制作的天线  $VSWR < 2$  的阻抗带宽可以达到 18.2%。

### 2.2.2 天线的轴比、增益

C 波段天线轴比、增益的仿真结果示于图 4。



(a) 方向图



(b) 轴比

图 4 C 波段双层微带天线轴比、增益的仿真结果

由图 4 可以看出,最大辐射方向偏离轴向,天线的轴向轴比变差。实测结果与仿真结果的趋势一致。

### 2.2.3 改善天线轴比的方法

交叉极化的主要来源是探针和激励单元之间的不连续性。在频率高时,这种不连续性的影响更加明显,同时,两个馈电点之间的相互影响也开始显著,使激励单元上被激励起来的场发生变化,最终导致天线的方向图偏移、轴比变差。本文采用两种方法来改善其轴比。

方法一:用 4 个馈电点对天线进行平衡馈电,这是改善轴比的一个有效措施。图 5 是 4 馈电点天线结构示意图(寄生单元没有画出)。

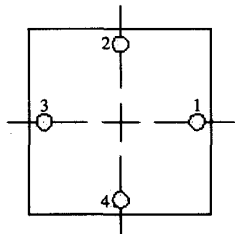


图 5 4 馈电点天线结构示意图

令 4 个馈电点的馈入信号幅度相等,相位依次相差  $90^\circ$ ,其仿真结果示于图 6。

由图 6 可以看出,天线  $VSWR < 2$  的阻抗带宽可以达到 40%,方向图最大辐射方向指向天线平面的法线方向,AR 得到改善,在将近  $60^\circ$  的圆锥空域内,AR 均小于 3dB。但天线采用 4 个馈电点馈电会使馈电网络复杂化,体积增大,损耗增加,在工程上实现有一定难度。

方法二:通过在上层贴片上切角改善天线的轴比。该天线结构示意图示于图 7。

两个馈电点的馈入信号幅度相等,相位相差  $90^\circ$ 。天线的仿真结果示于图 8。

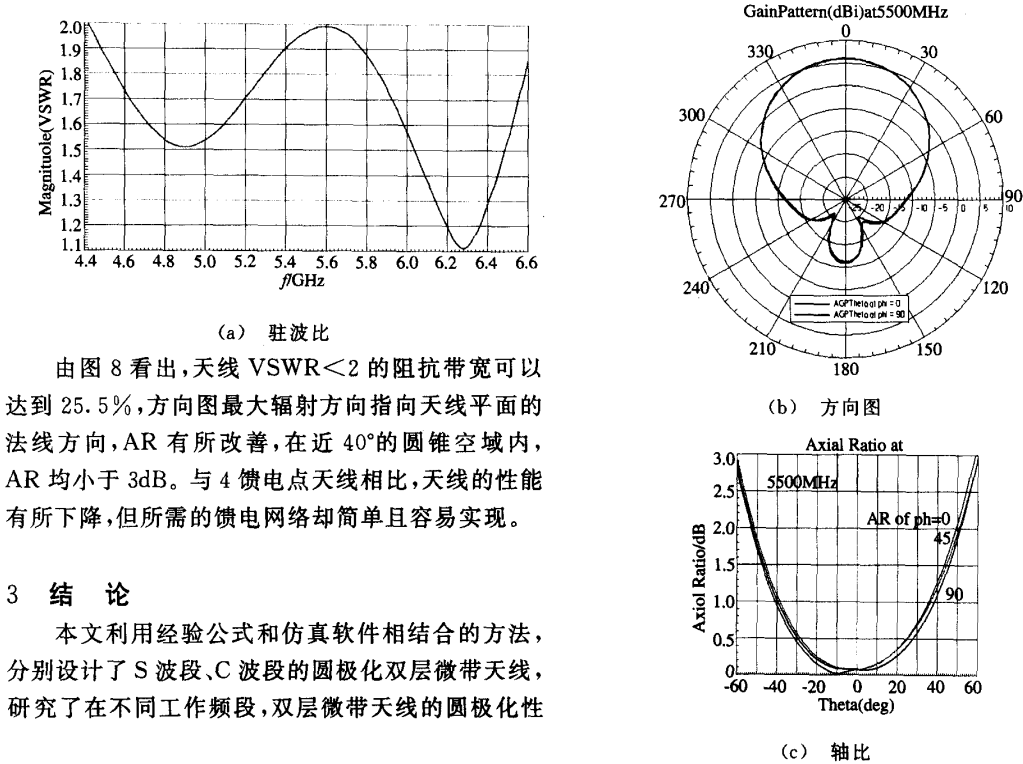


图 6 4 馈电点天线仿真结果

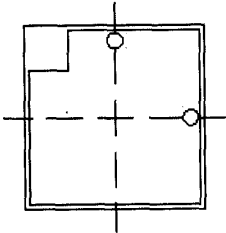


图 7 上层贴片切角天线示意图

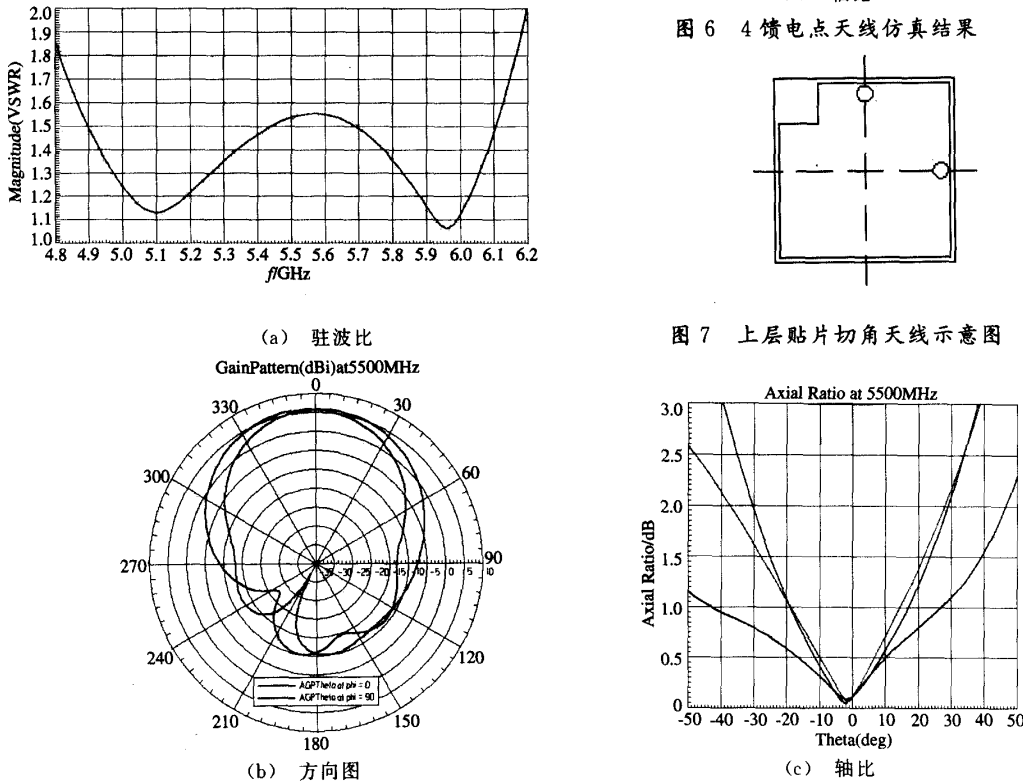


图 8 上层贴片切角天线的仿真结果

能。S 波段的测试结果和仿真结果相吻合,说明本文采用的设计方法在工程实践中是切实可行的。通过分析双层微带天线在 C 波段轴向轴比变差的原因,提出了在工程中易于实现的改进方法,使双层微带天线在工程中有良好的应用前景。

### 参考文献

- 1 张 钧、刘克诚、张贤铎、赫崇骏编著. 微带天线理论与工程, 国防工业出版社, 1988.
- 2 Waterhouse R B. Design of Probe-fed Stacked Patches[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1999, 47(12):1780~1784
- 3 Liu Zhangfa, Kooi Pangshyan, Li Lewei. Mook-Seng Leong and Tat-Soon. A Method for Designing Broad-band Microstrip Antennas in Multilayered Planar Structures[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1999, 47(9): 1416~1420
- 4 Waterhouse R B. Stacked Patches Using High and Low Dielectric Constant Material Combinations[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 1999, 47(12):1767~1771
- 5 李秀萍等. 多层微带贴片天线单元和阵列设计. 电子与信息学报, 2002, 24(8):1120~1125
- 6 胡明春等. 宽带宽角圆极化微带贴片天线设计. 电波科学学报, 2001, 16(4):441~446
- 7 刘庭华、张文勋. 双层微带贴片天线单元的实验研究. 现代雷达, 1997, 19(1):54~60
- 8 靳世红、齐文才. 双层矩形微带天线驻波特性的计算. 1991 年全国微波会议论文集, 1991, 932~935
- 9 董玉良、田步宇、纪奕才. 宽频带双层微带天线研究. 微波学报, 2002, 18(1):43~45

## Study of Circularly-Polarized Stacked Patch Antennas

Sun Xiangzhen

**Abstract** A S-band and a C-band circularly polarized stacked antenna is designed respectively using the experimental formulas combined with the HFSS simulation tools. The resulting impedance bandwidths of the designed antennas achieve 18.2% and over. The characteristics of the circularly polarization of stacked antenna are researched working at different frequency band. Some steps are proposed to improve the deteriorated axial ratio and the asymmetric beam pattern of the C-band stacked antenna.

**Subject terms** Patch antennas Broadband Circular-polarization

### [作者简介]

孙向珍 1976 年生, 1998 年在山东大学电子工程系获学士学位, 2002 年在航天科技集团公司第七〇四研究所获测试计量技术及仪器专业硕士学位, 工程师, 当前主要从事微波工程与天线研究设计的工作。

## 美国空军计划研制地球同步轨道侦察系统

美国空军正计划研制深空轨道成像仪(ODSI), 这是一种由地球同步轨道组成的星座, 用于对其他国家在轨运行目标进行监视。ODSI 跟踪和监视高轨道目标比工作在低轨道完成同样任务的天基空间侦察系统(SBSS)更为合适。

SBSS 是一个低轨道卫星星座, 采用光学传感器对空间目标进行跟踪, 2004 年 3 月底, 空军与诺斯普·格鲁曼公司签订合同。计划 2007 年中期发射卫星, 2014 年投入使用。

美国现有空间监视很大程度上依赖于地基雷达系统及 2006 年即将退役的原用于跟踪导弹的空间中段监视试验卫星(MSX)。SBSS 2007 年发射, 这意味着 MSX 退役后, 国防部空间监视能力将会有暂短下降。美空军空间与导弹系统中心计划今秋开始对 ODSI 进行招标。空军官员说, 该项目可提高美国防部的空间跟踪能力, 特别是对空间物体特性的描述能力。据称, 研制 ODSI 系统的难点是传感器的开发。这种传感器不仅要求提供高分辨率图像, 还必须能补偿 ODSI 与所监视卫星的相对运动, 以避免遗漏细微的特征。作为该项目的配套系统, SBSS 将用于发现、定位和跟踪空间目标。ODSI 将用于与军事行动有关的空间态势感知。

(李 凡供稿)

## 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](http://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](http://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](http://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>