

文章编号 1005-0388(2004)02-0171-05

# 一种新型的 GSM/DCS 印刷贴片天线单元<sup>\*</sup>

刘庭华<sup>1,2</sup> 章文勋<sup>1</sup>

(1. 东南大学毫米波国家重点实验室, wxzhang@ieee.org, 江苏南京 210096;  
2. 江苏电信实业集团, liuth2000@yeah.net, 江苏南京 210006)

**摘要** 双频段印刷天线在移动通信中有着广泛的应用。本文提出了一种新型的 GSM900/DCS1800 双频段单层贴片天线, 用传输线模型对该天线进行了理论分析、用 Ensemble 8.0 软件进行了仿真、并用 Optimetrics 2.0 软件进行了优化, 实验结果和计算机仿真结果有着很好的一致性。

**关键词** 双频段天线, 印刷天线, 贴片天线, 传输线模型

中图分类号 TN82 文献标识码 A

## A novel GSM/DCS printed patch antenna element

LIU Ting-hua<sup>1,2</sup> ZHANG Wen-xun<sup>1</sup>

(1. State Key Lab. of Millimeter Waves, Southeast University, wxzhang@ieee.org,  
Nanjing Jiangsu 210096, China;  
2. Jiangsu Telecom Industrial Group, liuth2000@yeah.net, Nanjing Jiangsu 210006, China)

**Abstract** The dual-frequency band printed antenna has wide applications in mobile communications. A novel GSM900/DCS1800 dual-band single layer patch antenna is presented in this paper. This antenna is analyzed by using the transmission line model (TLM), simulated and optimization by employing Ensemble 8.0 and Optimetrics 2.0 software, respectively. The simulation results are good agreement with the experimental data.

**Key words** dual-band antenna, printed antenna, patch antenna, transmission line model (TLM)

## 1 引言

随着移动通信的快速发展, 双频或多频天线得到了大量的应用。用一副天线代替两副甚至三副天线, 其优势是非常明显的。制造成本低廉、结构简单、尺寸小、节省安装空间, 等等。在过去的十几年里, 双频天线的研究取得了很大的进展, 例如: 在贴片的宽度方向上开两个矩形槽<sup>[1,2]</sup>、贴片层叠式结构<sup>[3]</sup>、在贴片上开“U”形槽<sup>[4]</sup>等等, 都可以使贴片天线具有双频特性。但是, 这些结构的天线要么两个谐振频带都很窄, 要么只有一个频带较宽, 而另一个频带很窄。然而实际使用期待着能在两个宽频带上工作, 即需要双频段天线。本文提出一种新型的双宽

频段印刷贴片天线, 能同时工作在 GSM900 (890-960MHz) 以及 DCS1800 (1710-1880MHz) 两个频段内, 尤其是 DCS1800 的阻抗匹配频带宽度达到 40% 左右, 而且具有良好的方向图特性、以及端口间的隔离特性。该双频段贴片天线的制造工艺简单, 可望应用于蜂窝移动通信系统。

## 2 结构原理

1995 年 T. Huynh 等人<sup>[4]</sup>实验证实了“U”形槽单层贴片天线具有宽频带特性, 后来 Y. X. Guo 等人<sup>[5]</sup>在此基础上推出了双“U”形槽单层贴片天线, 小“U”形槽套嵌在大“U”形槽内, 两个“U”形槽开

口方向相反,可使天线的频带宽度得到了进一步拓宽。这两种结构虽然有宽的阻抗带宽,但方向图的带宽不佳。在“U”形槽单层贴片天线基础上,B. L. Ooi 等人<sup>[6]</sup>提出了“E”形贴片天线结构。这种天线既有较宽的阻抗带宽,方向图也比“U”形槽贴片天线、双“U”形槽贴片天线要好。为了使“E”形贴片天线具有更宽的频带,可以在“E”形贴片的两侧加一副寄生条带,以满足天线扩大带宽所需要的电容。此外,借助于“U”形槽贴片天线发展到双“U”形槽贴片天线的思路,把一大一小两个带寄生条带的“E”形贴片嵌套放置,开口方向相反,形成双“E”形贴片天线,这种结构能获得两个较宽的频带。

为了兼顾方向图带宽的要求,对双“E”形贴片的结构尺寸进行了调整:把大“E”形贴片的中间条带缩短,把小“E”形贴片中间条带分裂成两支条带,并在与开口相反的方向上加一个凸脊(图1a)。采用同轴线通过两根探针馈电,分别馈在两个“E”形贴片上的适当位置。

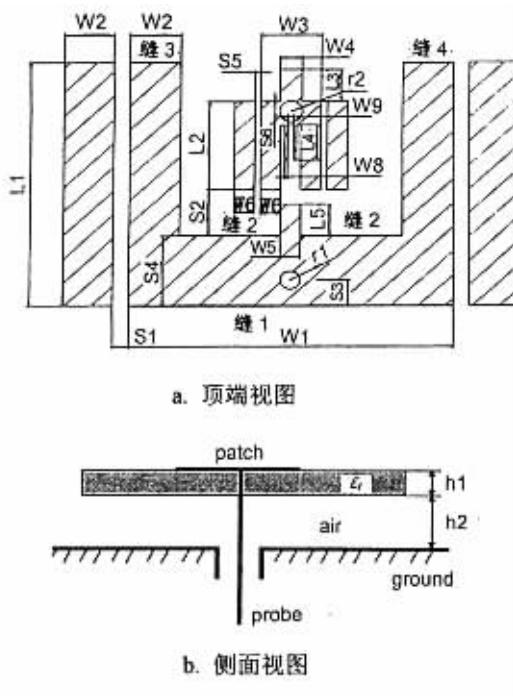


图1 双频段贴片天线的结构

归纳起来,该单层双频段贴片天线的顶层是聚四氟乙烯介质薄基片,基片和接地板之间是空气层,基片被四根细的介质柱支撑在接地板的上方。基板上印有一大一小的两个“E”形辐射贴片,小“E”形辐射贴片镶嵌在大“E”形辐射贴片的中间,每个“E”形辐射贴片外面均加有无源的寄生条带,两根探针分

别馈在这两个“E”形辐射贴片上。大“E”形辐射贴片工作在GSM频段,小“E”形辐射贴片工作在DCS频段。

### 3 理论分析

由于图1(a)所示的天线结构可以看成是由一系列矩形贴片拼装而成的,因此可以用改进的传输线理论模型来近似计算。整个大“E”形贴片可以看成由三个矩形贴片组成:左臂、右臂以及余下部分(中间条带以等效电容的方式并入该矩形贴片),对应于四个辐射缝(参照图1),探针顶端对应于“5”端,寄生条带对大贴片的影响用电容 $C_3$ 、 $C_4$ 表示,小“E”形贴片对大“E”形贴片的影响用等效电容 $C_2$ 表示(图2)。小“E”形贴片的处理方法和大“E”形贴片的处理方法基本类似,只是在等效电容的计算上有点差别。

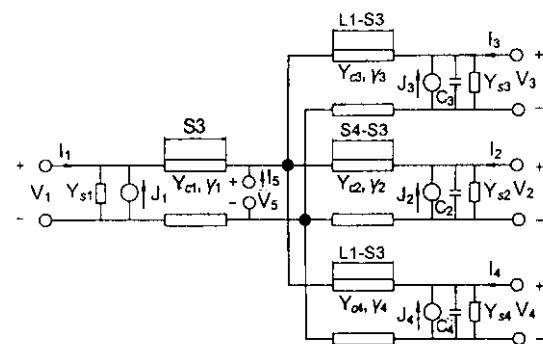


图2 改进的传输线模型

首先计算大“E”形贴片的输入阻抗。图中 $Y_{ci}$ ( $i=1, 4$ )是相应矩形贴片传输线的特性导纳, $J_i$ ( $i=1, 4$ )是矩形贴片辐射缝的等效电流源, $Y_{si}$ ( $i=1, 4$ )是矩形贴片等效辐射缝的自导纳, $Y_{mi}$ ( $i=1, 4$ )是各矩形贴片缝间的互导纳。该贴片天线的输入阻抗可由下式求出:

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix}$$

式中,各导纳参量的传输线表达式为:

$$\begin{cases}
 Y_{11} = Y_{s1} + Y_{cl} \coth(\gamma \cdot S_3) \\
 Y_{12} = Y_{21} = -Y_{m1} \\
 Y_{13} = Y_{31} = -Y_{m2} \\
 Y_{14} = Y_{41} = -Y_{m3} \\
 Y_{15} = Y_{51} = -Y_{cl} \operatorname{csch}(\gamma \cdot S_3) \\
 Y_{22} = Y_{s2} + Y_{cl} \coth(\gamma(S_4 - S_3)) + j\omega C_2 \\
 Y_{23} = Y_{32} = Y_{24} = Y_{42} = -Y_{m3} \\
 Y_{25} = Y_{52} = -Y_{cl} \operatorname{csch}(\gamma(S_4 - S_3)) \\
 Y_{33} = Y_{44} = Y_{s3} \coth(\gamma(L_1 - S_3)) + j\omega C_3 \\
 Y_{34} = Y_{43} = -Y_{m4} \\
 Y_{35} = Y_{53} = Y_{45} = Y_{54} \\
 = -Y_{cl} \operatorname{csch}(\gamma(L_1 - S_3)) \\
 Y_{55} = Y_{cl} \coth(\gamma \cdot S_3) + \\
 Y_{cl} \operatorname{csch}(\gamma(S_4 - S_3)) + \\
 2Y_{cl} \operatorname{csch}(\gamma(L_1 - S_3))
 \end{cases}$$

各等效电流源:

$$\begin{cases}
 J_1 = Y_{m2}V_2 + Y_{m3}V_3 + Y_{m4}V_4 \\
 J_2 = Y_{m2}V_1 + Y_{m3}V_3 + Y_{m4}V_4 \\
 J_3 = Y_{m3}V_1 + Y_{m4}V_2 \\
 J_4 = Y_{m3}V_1 + Y_{m4}V_2
 \end{cases}$$

假定开路端  $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 0$ , 则  $Y_{in} \cdot V_5 = I_5$ , 天线的输入阻抗包括探针顶端处的视在阻抗和探针电感可以用下式表达:

$$Z_{in} = \frac{1}{Y'_{in}} + jX_p$$

探针的感抗<sup>[5]</sup>:  $X_p = \frac{\eta_0 \omega h}{2\pi c} \ln\left(\frac{4c}{\zeta \omega \cdot d \sqrt{\epsilon_r}}\right)$

$d$  为探针的直径, 欧拉常数  $\zeta = 1.781072$ 。

其他相关参数如下 ( $i = 1 \mu$ ):

$$Z_{ci} = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \frac{h}{W_{ei}}, \eta_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0}$$

$$k_0 = 2\pi/\lambda_0, \beta = k_0 \sqrt{\epsilon_{re}}$$

$$\alpha = \frac{1}{2}\beta \cdot \tan\delta_e, \gamma = \alpha + j\beta$$

$$Y_{ci} = 1/Z_{ci}, Y_{si} = G_{si} + jB_{si}$$

$$Y_{mi} = G_{mi} + jB_{mi}$$

$G_{si}$ 、 $B_{si}$ 、 $G_{mi}$ 、 $B_{mi}$  的解析表达式可参阅文献[7,8]。根据以上公式, 可以求出贴片工作在 GSM 频段中心频率处的大致尺寸; 同样的过程计算小“E”形贴片在 DCS 频段中心频率处的大致尺寸, 用作下面软件优化仿真的初始尺寸。计算结果见图 3、图 4。

## 4 仿真结果

的薄聚四氟乙烯基片上。用 Ensemble 8.0 以及 Optimetrics 2.0 软件对 TLM 计算结果进行了仿真和优化, 最优的尺寸如表 1。仿真所达到的性能列在表 2。图 3 和图 4 表明传输线模型的计算结果与仿真结果接近, 是一种可行的工程分析方法。图 5 和图 6 比较了仿真结果和实测数据, 后者还略优于前者。图 7 给出了两馈电端之间可望实用的隔离性能。图 8 和图 9 以及图 10 和图 11 分别给出 E 面辐射方向图的仿真结果和实测数据, 交叉极化电平很低(在 H 面内的  $\pm 45^\circ$  方向存在较大的交叉极化)。

表 1 最优的天线尺寸

大“E”贴片	小“E”贴片	条带间距	探针
$L_1 = 132\text{mm}$	$L_2 = 57\text{mm}$	$S_1 = 8\text{mm}$	$S_3 = 20\text{mm}$
$W_1 = 150\text{mm}$	$W_3 = 30\text{mm}$	$S_5 = 3\text{mm}$	$S_6 = 8.5\text{mm}$
$W_2 = 25\text{mm}$	$W_4 = 16\text{mm}$	$S_2 = 29\text{mm}$	$r_1 = 2.3\text{mm}$
$W_5 = 10\text{mm}$	$W_6 = 10\text{mm}$		$r_2 = 8.5\text{mm}$
$S_4 = 30\text{mm}$	$W_8 = 1.5\text{mm}$		
$L_5 = 18\text{mm}$	$W_9 = 3\text{mm}$		
	$L_3 = 15\text{mm}$		
	$L_4 = 25\text{mm}$		

注 此样品已获国家知识产权局实用新型专利授权  
(专利号 ZL03220496.5)

表 2 双频段单层贴片天线的电性能

频带	GSM900	DCS1800
$VSWR \leq 2$	881-964MHz	1550-2280MHz
相对带宽	9.22%	40.56%
H 面 3dB 波束宽度	$58^\circ$	$106^\circ$
E 面 3dB 波束宽度	$54^\circ$	$70^\circ$
交叉极化 ( $\theta = \pm 45^\circ$ )	-21dB	-13dB
增益	10.4dBi	5.94dBi

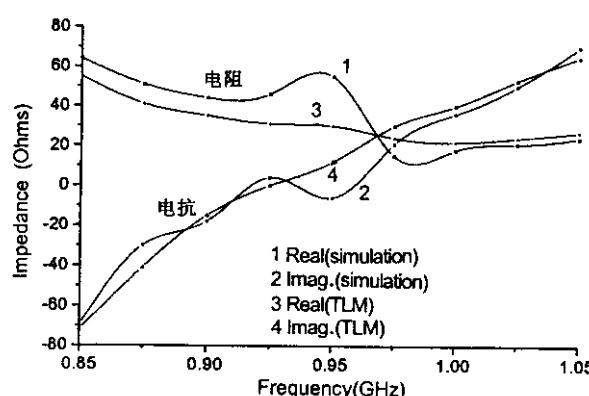


图 3 GSM 频段内阻抗特性( TLM 与软件仿真比较 )

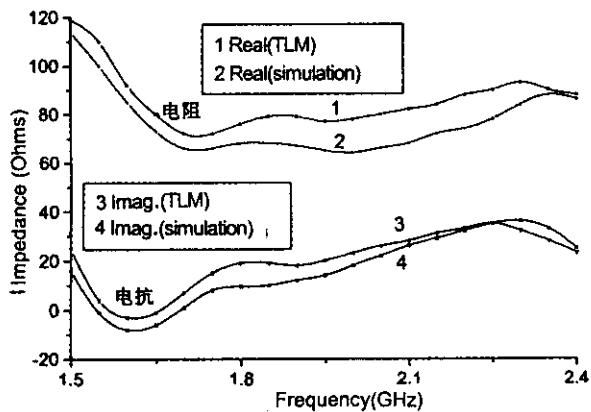


图4 DCS 频段内阻抗特性( TLM 与软件仿真比较 )

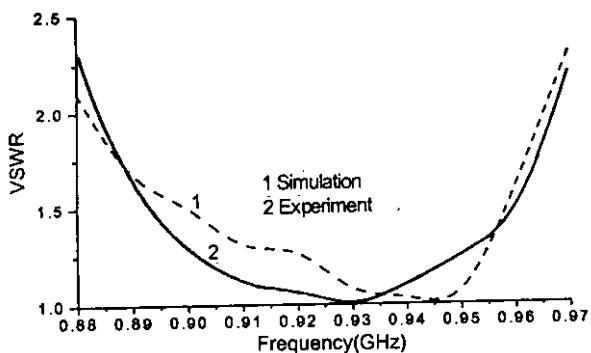


图5 GSM 频段内阻抗特性

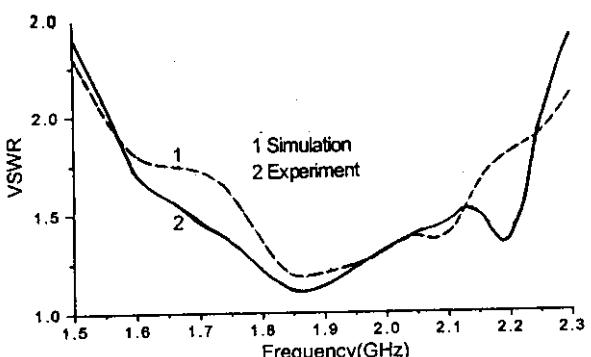


图6 DCS 频段内驻波特性

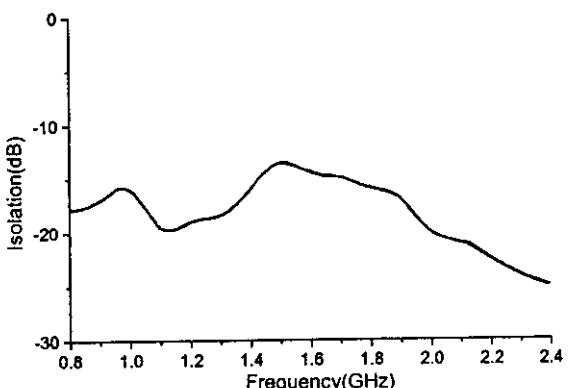


图7 端口间的隔离度( 实验结果 )

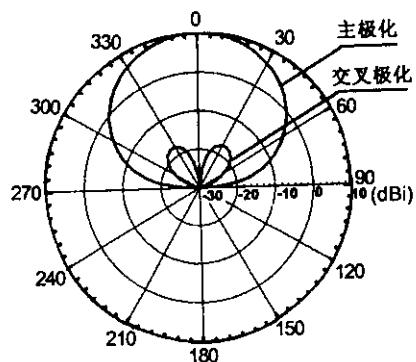


图8 900MHz 下 E 面辐射方向图( 仿真结果 )

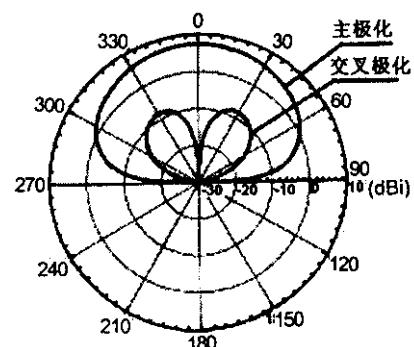


图9 1800MHz 下 E 面辐射方向图( 仿真结果 )

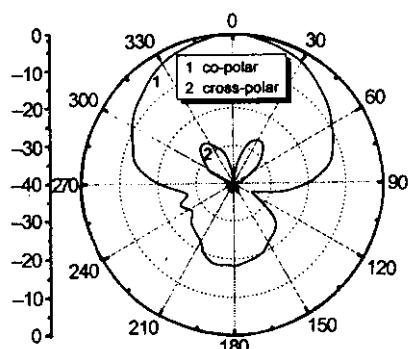


图10 900MHz 下 E 面辐射方向图( 实验结果 )

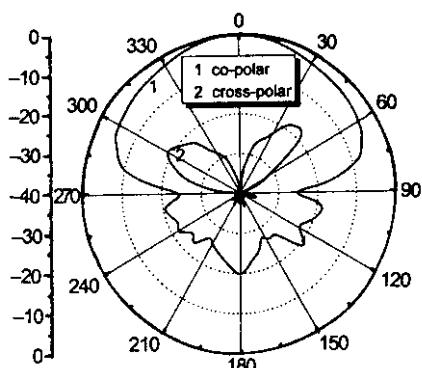


图11 1800MHz 下 E 面辐射方向图( 实验结果 )

## 5 结论

本文给出了一种新型的GSM/DCS单层双“E”形贴片天线。用改进的传输线模型分析了这种非单一矩形贴片的天线,理论分析结果和Ensemble 8.0软件仿真结果有着较好的一致性。该天线的两个频带宽度分别为9.22%(涵盖GSM频段)和40.56%(涵盖DCS频段),并且有良好的辐射方向图特性和端口间的隔离度特性。天线的加工工艺简单,一致性好,可望在蜂窝移动通信系统中获得应用。

## 参考文献

- [1] S Maci, G Biffi Gentili and G Avitabile. Single-layer dual frequency patch antenna [J]. Electronics Letters, 1993, 29(16):1441~1443.
- [2] Zurcher and Gardiol. Broadband Patch Antennas [M]. Artech House, 1995.
- [3] Liu Tinghua and Zhang Wenzun. A broadband stacked microstrip patches antenna with probe feed [C]. 4th International Symposium on Antenna and EM Theory, 1997:183~186.
- [4] T Huynh and K F Lee. Single-layer single-patch wideband microstrip antenna [J]. Electronics Letters, 1995, 31(16):1310~1312.
- [5] Y X Guo, K M Luk, et al. Double U-slot rectangular patch antenna [J]. Electronics Letters, 1998, 34(19):1805~1806.
- [6] B L Ooi and Q. Shen. A novel E-shaped broadband microstrip patch antenna [J]. Microwave Opt. Technol. Lett., 2000, 27(5):348~352.
- [7] Russell W Dearnley, and Alain R F Barel. A broad-band transmission line model for a rectangular microstrip antenna [J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1989, 37(1):6~15.
- [8] Anders G. Derneryd. A theoretical investigation of the rectangular microstrip antenna element [J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1978, 26(4):532~534.



刘庭华 (1966-),男,江苏人,1989年毕业于兰州大学物理系,获学士学位,后在信息产业部第14研究所工作,1997年、2003年毕业于东南大学无线电工程系,分别获得工学硕士学位、工学博士学位。现

在江苏电信工作,主要从事第三代移动通信网络规划和无线通信工程管理,发表论文20余篇。



章文勋 (1937-),男,江苏人,东南大学教授、博士生导师,1958年毕业于南京工学院。中国电子学会会士,IEE Fellow,IEEE Fellow,主要研究领域包括计算电磁学、天线、散射和导波。出版著作3部,发表论文400多篇。

## 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](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>