

【本文献信息】汪仲清,曹昶,邬墨家,等. WLAN 小型双频微带天线的设计与分析[J]. 2012,36(3).

# WLAN 小型双频微带天线的设计与分析

汪仲清<sup>a</sup>, 曹 昶<sup>b</sup>, 邬墨家<sup>b</sup>, 李 宝<sup>b</sup>

(重庆邮电大学 a 数理学院 ;b. 光电工程学院, 重庆 400065)

**【摘要】**在分析传统缝隙微带天线的基础上,用传输线和空腔模型设计了一种可用于 WiFi、WiMAX 的 WLAN 微带天线。在贴片与接地板之间引入短路面使天线实现小型化,在贴片上开 U 型缝隙产生双频辐射,采用较低介电常数的介质基板和添加空气腔展宽了天线的带宽。仿真结果表明,当电压驻波比  $VSWR < 2.0$  时,天线在 2.45 GHz 带宽为 200 MHz (2.35 ~ 2.55 GHz), 增益达到 3.8 dB; 在 5.2 GHz 带宽为 1 050 MHz (5.0 ~ 6.05 GHz) 增益达到 8.8 dB。该天线覆盖了 WLAN 的所有频段,整体性能良好,增益较高,结构简单,易于实现,可以为实际无线通信系统的应用提供参考。

**【关键词】**微带天线; 无线局域网; U 型缝隙; 双频; 短路面

**【中图分类号】** TN82

**【文献标识码】** A

## Design and Analysis of Miniaturized Dual-band Micro-strip Antenna Used in WLAN

WANG Zhongqing<sup>a</sup>, CAO Chang<sup>b</sup>, WU Mojia<sup>b</sup>, LI Bao<sup>b</sup>

(a School of Mathematics and physics ;b School of Optical and Electronic Engineering,

Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

**【Abstract】** Based on analyzing conventional slot micro-strip antenna, a novel microstrip antenna that can be used in WiFi and WiMAX is designed by using transmission line model and cavity model. The antenna is miniaturized by importing shorting wall between the patch and ground board while the antenna attain dual-band by using U-slot on the patch. The bandwidth is enhanced by using the substrate of Taconic TLY with low relative permittivity while adding air layer between substrate and patch. Numerical simulation results show that when the voltage standing wave rate  $VSWR < 2.0$ , the bandwidth is 200 MHz (2.35 ~ 2.55 GHz) and the gain is 3.8 dB in 2.45 GHz while the bandwidth is 1 050 MHz (5.05 ~ 6.15 GHz) and the gain is 8.8 dB in 5.2 GHz, respectively. The antenna completely covers the Wireless Local Area Network (WLAN) bands and has a good performance, higher gain and simple structure and can be realized easily, which can provide reference for the requirements of wireless communication system in reality.

**【Key words】** micro-strip antenna; WLAN; U-slot; dual-band; shorting wall

无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)是利用无线技术实现快速接入以太网的技术。3G 通信在国内开始商用以后,各地广泛采用 3G + WLAN 的混合组网策略,使得 WLAN 的应用非常广泛。2009 年通过的新一代无线局域网标准 IEEE 802.11n 将 WLAN 的传输速率由原来的 54 Mbit/s 提高到 300 Mbit/s, 最高可达 600 Mbit/s, 使得 WLAN 的应用更具价值和前景, 发展也更加迅猛。天线作为系统最重要的设备前端,直接影响着 WLAN 的整体性能。IEEE 规定 WLAN 的工作频段为 (2.40 ~ 2.4835 GHz), (5.15 ~ 5.35 GHz), (5.725 ~ 5.825 GHz), 这要求 WLAN 天线必须满足多频特性; 从实用性和实际需求考虑, 天线应实现小型化。微带天线易于实现多频, 具有体积小、重量轻、剖面低、能与载体共型、成本低等优点<sup>[1]</sup>, 而在 WLAN 中广泛采用。

近年来, 针对多频和小型化出现了很多的研究方法。贴片开槽和采用双层贴片的结构是实现双频最常用的两种方法<sup>[2]</sup>。Lin R J 等人采用贴片加载 U 型槽和 T 型槽的方法实现了双频<sup>[3]</sup>, 但是贴片尺寸较大, 达到 46 mm × 30 mm。钟琪山等人采用贴片加载环形槽, 微带线馈电的

方法进行设计<sup>[4]</sup>, 天线尺寸较大且没有覆盖 WLAN 要求的频段 (5.725 ~ 5.825 GHz)。刘长军等人采用了双层贴片结构<sup>[5]</sup>, 没有覆盖 (2.40 ~ 2.4835 GHz) 频段而且增加了天线的高度; 对天线小型化常用的方法是在接地板和辐射贴片之间加载短路面或短路探针<sup>[6]</sup>。以上这些方法可以很好地解决天线的多频、小型化等要求, 只是单独使用不能有效解决实际中的多个问题。

在综合考虑以上研究的基础上, 本文采用贴片开槽、加载短路面、空气腔和同轴探针馈电方法设计了一种应用于 WLAN 的小型双频微带天线。在低频端和高频端阻抗带宽分别达到 200 MHz 和 1 050 MHz, 能够完全覆盖 IEEE 802.11a/b/g/n 所对应的工作频段。2.45 GHz 和 5.2 GHz 增益分别达到 3.8 dB 和 8.8 dB, 满足了天线高增益的需求。贴片尺寸为 24 mm × 20 mm, 实现了天线的小型化。

## 1 天线结构设计

本文所设计的天线结构如图 1 所示。

贴片开 U 型槽改变了贴片表面的电流分布, 使天线

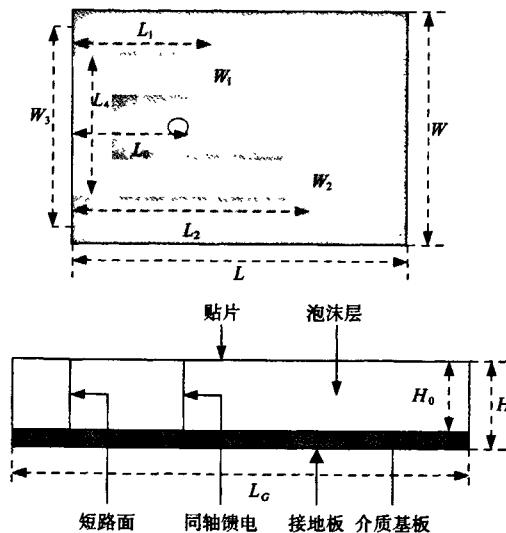


图 1 天线的俯视图与侧视图

具有双频效应,同时缝隙引入的容抗与同轴探针的感抗相抵消,从而展宽了频带带宽。而在贴片与接地板之间引入短路面,相当于在天线贴片与接地板之间形成了一个电壁,使得天线的谐振频率急剧减小,从而减小天线的尺寸。基板厚度的增加会导致辐射电导的增加,使得天线  $Q$  值下降进而展宽频带;相对介电常数  $\epsilon_r$  减小时,介质对场的“束缚”减小,易于辐射,这样将使辐射对应的  $Q$  值下降、频带变宽<sup>[7]</sup>。经过以上分析,本文选用 Taconic TLY ( $\epsilon_r = 2.2$ ) 做介质基板。

在普通矩形微带天线的设计中,可以根据所要求的带宽和中心频率,由以下公式求出天线的基本尺寸

$$W = \frac{c}{2f_0} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$L = \frac{c}{2f_0 - \sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$\frac{\Delta L}{H} = 0.421 \frac{(\epsilon_r + 0.3)(\frac{W}{H} + 0.264)}{(\epsilon_r - 0.258)(\frac{W}{H} + 0.8)} \quad (3)$$

$$W_c \geq W + 0.2\lambda_g, L_c \geq L + 0.2\lambda_g \quad (4)$$

式中: $c$  为光速; $f_0$  为天线的中心频率; $\epsilon_r$  为介质的等效介电常数; $L$  和  $W$  为辐射贴片的长和宽; $\Delta L$  为天线的伸长量; $W_c$  和  $L_c$  为接地板的长和宽,当接地板的尺寸满足式(4)时,可视接地板为无限大。

应用公式(1)~(4),可得到中心频率  $f_0 = 2.45$  GHz 时天线尺寸的初始值,然后通过调节短路面的长度减小辐射贴片的尺寸,最后开 U 型槽获得所需要的 5 GHz 频段。综合以上各公式,经过优化,天线尺寸如表 1 所示。

表 1 天线设计参数

$L$	$L_1$	$L_2$	$L_0$	$L_4$	$H_0$	$W$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$H$
24	11.3	17.0	5.5	8.0	4.8	20	1.5	2.0	16.0	1.5	5.77

## 2 仿真与分析

用基于有限元法的高频仿真软件 HFSS 10.0 对设计的天线进行仿真,用出图软件导出仿真结果。

天线的电压驻波比随频率的变化如图 2 所示,从中可以看出天线产生了 3 个频点,分别是 2.45 GHz,5.2 GHz 和 5.80 GHz。当回波损耗  $S11 < -10$  dB 时,天线在低频端覆盖(2.35~2.55 GHz),带宽达到了 200 MHz,比 WLAN 要求的 83.5 MHz 宽 116.5 MHz;天线在高频端的带宽是(5.0~6.05 GHz),(5.725~5.825 GHz)展宽了 750 MHz。天线在谐振点的回波损耗越小,说明天线阻抗匹配越好。本文在 3 个谐振点回波损耗分别达到  $-16.5$  dB,  $-27.5$  dB 和  $-37.5$  dB,天线阻抗匹配较好。

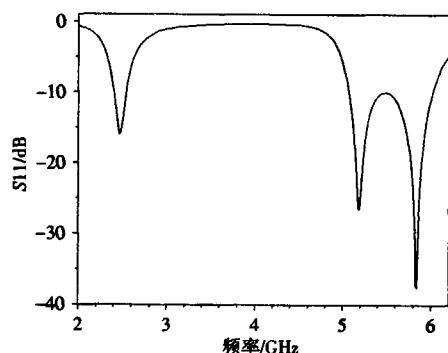


图 2 天线的回波损耗随频率的变化

前面分析指出贴片表面开 U 型槽改变了贴片表面的电流分布从而使天线产生双频辐射,对 2.45 GHz 和 5.2 GHz,相位为 180°辐射贴片和短路面的表面电流分布进行仿真,结果如图 3 所示,图中箭头代表电流的流动方向,线条的密集程度及颜色深度表示电流分布的密度。可以看出,电流主要分布在辐射贴片上,而在短路面上分布较少。2.45 GHz 时电流在同轴探针附近分布比较密集;5.2 GHz 时电流主要分布在 U 型槽双臂周围。

通过改变  $L_1, W_1, L_2, W_2, L_4$  这 5 个参数对天线进行了大量的仿真分析,结果如图 4 所示。图 4a 是天线的回波损耗随  $L_2$  的变化,可以看出  $L_2$  对低频端影响较小,对高频端天线的谐振频率和带宽影响比较明显。当  $L_2$  较小时高频端回波损耗较大,阻抗带宽较窄,随着  $L_2$  的增大,在高频端回波损耗变小而且带宽展宽,当  $L_2$  为 17 mm 时,回波损耗最小。随着  $L_2$  继续增大,当  $L_2$  为 19 mm 时,带宽更宽但是回波损耗变大。图 4b 是天线回波损耗随  $W_1$  的

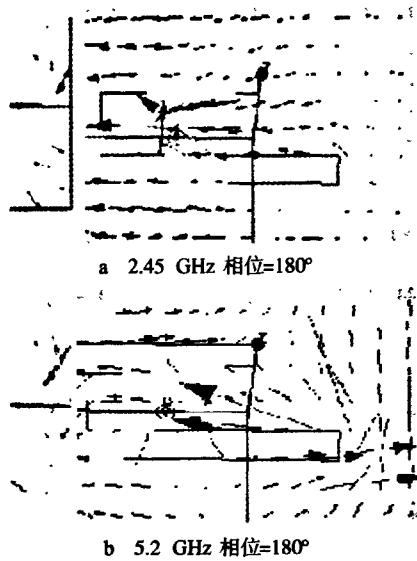
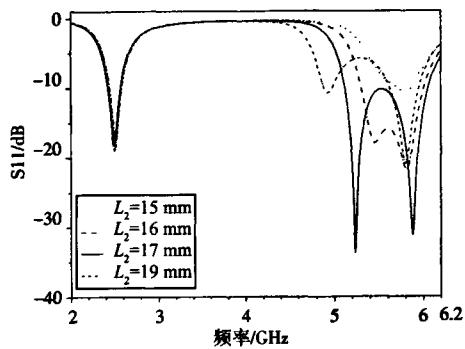
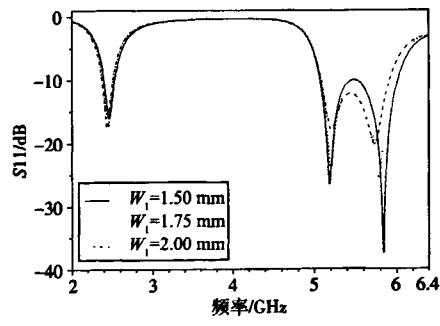


图 3 短路面和接地板表面电流分布

变化,可以看出  $W_1$  对回波损耗和带宽的影响也很明显,随着  $W_1$  增大,天线的回波损耗增大,带宽变窄。分析  $L_1$ ,  $W_2$ ,  $L_4$  也可以得到类似的结论。



a 天线的回波损耗随  $L_2$  的变化



b 天线的回波损耗随  $W_1$  的变化

图 4 天线的回波损耗变化情况

考虑到其他因素如馈电位置、缝隙宽度、混合空气介质层对天线性能的影响,经过仿真分析,得出如下结论:

- 1) 馈电的位置。随着  $L_0$  的增大,高频端整体向左偏移,且带宽变窄。
- 2) 空气腔高度。随着  $H_0$  增大,高频端整体向右偏移。
- 3) 当  $L_1$  越大,高频端带宽越宽,但是高频端回波损

耗不能全部位于  $-10$  dB 以下。

- 4) 随着  $L_4$  越大,低频端回波损耗变小,高频端回波损耗先变小然后又增大。

天线在频率为 2.45 GHz 和 5.2 GHz 两处的 E 面、H 面的辐射方向图如图 5 所示。可以看出天线在上半平面辐射方向图较好,后向辐射很小。在 2.45 GHz 处天线的主瓣方向为  $-15^\circ$ ,E 面和 H 面 3 dB 波束宽度分别达到了  $156^\circ$  和  $190^\circ$ ;在 5.2 GHz 处的主瓣方向为  $0^\circ$ ,E 面和 H 面 3 dB 波束宽度分别达到了  $110^\circ$  和  $95^\circ$ ,天线的辐射方向图一致性良好。图 6 是天线的增益随频率的变化,可以看出在主要的工作频段天线增益变化很小;在 (2.35 ~ 2.55 GHz) 频段,天线增益都在  $3.5 \sim 3.8$  dB 之间,变化只有  $0.3$  dB;在 (5.0 ~ 6.05 GHz) 频段内增益都在  $7.3 \sim 8.8$  dB 之间,变化只有  $1.5$  dB。

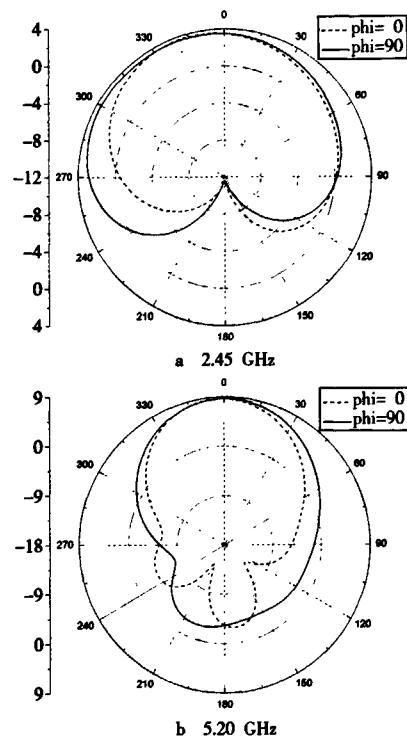


图 5 天线 E 面、H 面的辐射方向图

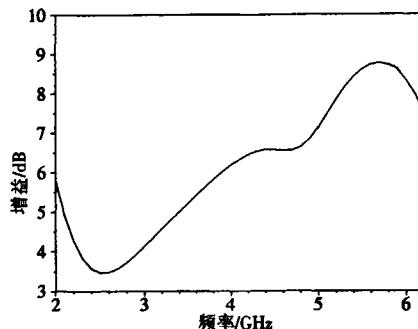


图 6 天线的增益随频率的变化

(下转第 80 页)

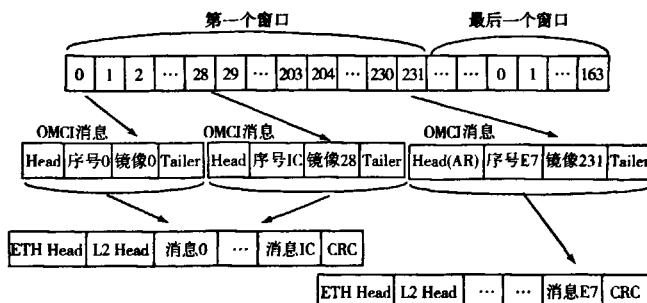


图 3 L2 Proxy 组包流程

分为 1 个段, 每 232 个段划分为一个窗口;

2) 按段将文件镜像封装在 OMCI 消息中, 即给每 31 byte 的段加上 OMCI 消息头、OMCI 升级帧序号和尾部信息;

3) 每 29 条 OMCI 消息封装在一个 L2 消息中, 即每 29 条 OMCI 消息加上以太网消息头、L2 消息头和 CRC 校验。

PON 芯片将 L2 Proxy 以太网包中的 OMCI 消息内容拆分出来, 包括 OMCI 消息、OMCI 消息头、OMCI 尾部信息, 再加上 GEM 帧头。按包序号串行传输到远端 ONU 的 PON 芯片, 表 3 所示为在 GEM 模式下, ONT 管理控制协议的报文格式<sup>[4]</sup>。

表 3 ONT 管理控制协议的报文格式

GEM	事务相关	消息	设备	消息	消息	OMCI
报头	标识符	类型	标识符	标识符	内容	尾字段
5	2	1	1	4	32	8

ONU 接收完升级包后, 解包并提取 OMCI 消息进行重新组包, 最后写 Flash。

(上接第 28 页)

### 3 结论

本文通过采用贴片开槽、加载短路面、空气腔和同轴探针馈电方法设计了一种应用于 WLAN 的小型双频微带天线。仿真结果表明, 当  $S11 < -10$  dB 时, 设计天线在低频端和高频端的带宽分别达到 200 MHz 和 1 050 MHz, 覆盖了 WLAN 标准对应的所有频段; 在 2.45 GHz 和 5.2 GHz 频点处, 增益分别达到 3.8 dB 和 8.8 dB, 方向性较好。在工作频段内增益变化很小, 分别只有 0.3 dB 和 1.5 dB, 相对于以前的其他研究有很大的改善。该设计天线能够满足目前 WLAN 对多频、宽带、小型化、高增益的要求, 对实际应用有较好的参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 马小玲, 康凤兴, 王贞松. 微带天线及其在通信与广播技术中的应用 [J]. 电视技术, 2000, 24(5): 60-61.

经多次实验证明, 原本需要 3 min 才能完成 1 个 ONU 镜像文件升级, 按本文升级方式改进后仅需 21 s, 所需升级时间是原来的 1/9 左右。半框满配置升级由原来的 102 h, 减少到近 12 h, 大大节省了工程维护的时间。

### 4 小结

传统升级方式是将一个短帧长的 OMCI 消息映射在 TCP/IP 消息中进行传送, 而本文提出的这种快速升级 ONU 技术, 是在 OLT 上将多个短帧长的 OMCI 消息映射在一个长帧长的 L2 消息中进行传送, 并且通过设置窗口数减少 ONU 的应答次数, 由此对升级效率带来了很大的提升。此快速升级技术能同时应用于手动和自动升级 ONU 两种方式中, 并且能兼容目前工程上已经应用的 ONU, 满足了实际工程上对大规模 ONU 升级的需求。

#### 参考文献:

- [1] 崔海霞. FTTH 发展状况及低成本方案探讨 [J]. 电视技术, 2006, 30(10): 4-7.
- [2] 万洪丹. 吉比特无源光网络(GPON)和光网络终端(ONT)关键技术研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- [3] 刘谦. ONT 远程集中管理探讨 [J]. 电信技术, 2008(9): 31-34.
- [4] ITU-T G. 984.4, ONT management and control interface specification for gigabit-capable passive optical networks (GPON) [S]. 2008.

责任编辑: 许 峰

收稿日期: 2011-11-17

- [2] 郭戈, 邵建兴. 一种容性馈电宽带微带天线的设计与分析 [J]. 电讯技术, 2010, 50(6): 80-83.
- [3] LINSP R J, YE M. A novel dual-band microstrip antenna for WLAN application [C]// Proc. 2009 International Conference on Wireless mobile and computing. Shanghai: IEEE Press, 2009: 269-271.
- [4] 钟期洪, 李元新, 龙云亮. 新型 WLAN 双频微带贴片天线的设计与研究 [J]. 中山大学学报, 2004, 43(1): 35-37.
- [5] 伍韬, 何丽萍, 刘长军, 等. 一种用于 WLAN 的宽频带微带天线 [J]. 信息与电子工程, 2007, 5(2): 34-37.
- [6] 陈凯亚, 黄宗盛. 宽带小型化 U 型贴片天线的设计 [J]. 电讯技术, 2010, 50(6): 71-74.
- [7] 张钧, 刘克诚, 张贤峰. 微带天线理论与工程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.

#### 作者简介:

汪仲清(1956-), 教授、硕士生导师, 主要从事电磁计算与兼容技术、量子光学和光通信等领域的研究;

曹 涛(1986-), 硕士生, 主要研究方向为微带天线设计。

责任编辑: 杨 岩

收稿日期: 2011-06-21

## 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>