

【本文献信息】郝宏刚,胡文帅,田海燕.一种用于蓝牙终端的小型天线设计[J].电视技术,2012,36(5).

# 一种用于蓝牙终端的小型天线设计

郝宏刚<sup>a</sup>,胡文帅<sup>a</sup>,田海燕<sup>b</sup>

(重庆邮电大学 a. 光电工程学院;b. 通信新技术应用研究所,重庆 400065)

**【摘要】**针对蓝牙天线发展的要求,结合目前天线小型化技术,在研究平面倒 F 天线(PIFA)的基础上,采用曲流技术对 PIFA 天线进行了小型化设计。与同类型的 PIFA 天线相比,在相同工作频率( $f_0 = 2.45 \text{ GHz}$ )的条件下,设计天线的回波损耗  $S_{11} < -50 \text{ dB}$ ,相对带宽提高了 0.7%,达到了 3.7%,同时有效地缩小了天线的尺寸( $11 \text{ mm} \times 9 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ )。对天线进行加工并测试,回波损耗为  $-10 \text{ dB}$  的带宽为 120 MHz,各项指标均满足蓝牙技术需要。

**【关键词】** 蓝牙;PIFA;天线;小型化

**【中图分类号】** TN92

**【文献标识码】** A

## Miniatrized Antenna for Application of Bluetooth Terminal

HAO Honggang<sup>a</sup>, HU Wenshuai<sup>a</sup>, TIAN Haiyan<sup>b</sup>

(a. College of Electronic Engineering; b. Communication Research Institute of New Technology Application,

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

**【Abstract】** In view of the development for Bluetooth antenna, combining with the antenna miniaturization technology, based on the study of Planar Inverted-F Antenna (PIFA), a miniaturized PIFA antenna with the meandering technology is designed in this paper. Compared with the same type of PIFA antenna, in the same condition of frequency ( $f_0 = 2.45 \text{ GHz}$ ), the return loss of the antenna  $S_{11}$  is less than  $-50 \text{ dB}$ , relative bandwidth is 3.7% which increases by 0.7%. At the same time, the size of the antenna ( $11 \text{ mm} \times 9 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ ) is reduced effectively. The antenna is designed to be manufactured, the measured  $-10 \text{ dB}$  bandwidth is 120 MHz, each character meets the needs of Bluetooth technology.

**【Key words】** Bluetooth; PIFA; antenna; miniaturized

蓝牙工作在全球开放的ISM(2.4~2.484 GHz)频段,是一种用于近距离数据传输的无线通信技术,目前已在很多终端设备中得到了广泛的应用。在蓝牙模块的所有器件中,天线对信号传输质量的影响至关重要。由于蓝牙设备种类繁多,天线在结构和选材上存在差异,因此选用适当的结构设计可以起到提高数据传输的可靠性、降低制造成本、易于和其他部件共形等作用<sup>[1-2]</sup>。随着无线通信技术的发展,个人移动设备趋于小型化和轻薄化,对蓝牙天线也有了更高的要求。为了适应这一需求,蓝牙天线的小型化设计已成为当前天线研究的重要课题。

由于倒 F 型天线具有极化特性、阻抗匹配特性相对较灵活、成本较低等特点,因此被广泛使用在蓝牙装置中。尺寸相对较大已成为蓝牙天线设计所面临的问题<sup>[3]</sup>,例如文献[4]、[5]、[6]、[7]中所设计的蓝牙天线的尺寸分别为  $16 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \times 7.5 \text{ mm}$ ,  $19.5 \text{ mm} \times 9.5 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ ,  $33 \text{ mm} \times 6.6 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ ,  $42 \text{ mm} \times 46 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 。因此,为了满足产品设计需要,天线的尺寸需要进一步减小。平面倒 F 天线的小型化方法主要有曲流技术、提高介电常数、短路加载、电阻加载和附加集总原件等<sup>[8]</sup>。

基于上述倒 F 型天线的特点以及天线小型化的相关技术,本文主要采用曲流技术对平面倒 F 天线进行小型化改进设计,研究各种主要参数对天线性能造成的影响,并对天线进行加工和测试分析。

## 1 天线设计

PIFA 天线由辐射贴片、短路贴片、馈电点、接地面和介质等组成,其结构类似于  $1/4$  波长的单极子天线。辐射贴片通过短路贴片与接地面相连,使用阻抗为  $50 \Omega$  的同轴馈电,介质层为空气,其相对介电常数为  $\epsilon_r = 1$ 。将短路贴片置于辐射贴片与接地板之间,增加了天线的有效电感,从而使矩形辐射贴片的电长度减小<sup>[9]</sup>。PIFA 天线的尺寸近似由式(1)确定<sup>[10]</sup>,即

$$f \approx \frac{c}{4(L + W)} \quad (1)$$

式中: $f$  为谐振频率, $c$  为自由空间光速, $L$  和  $W$  分别为辐射贴片的长度和宽度。由式(1)可以得出,矩形辐射贴片的长边和宽边之和近似等于  $\lambda/4$ 。

在理论分析的基础上,为了实现天线设计的小型化,

基金项目:国家自然科学基金项目(60907041);重庆市自然科学基金项目(CSTCJJA40013)

文章采用曲流技术,在PIFA天线辐射贴片上开了3个缝隙,构成了一个缝隙阵列,如图1所示。天线的建模模型如图2所示。

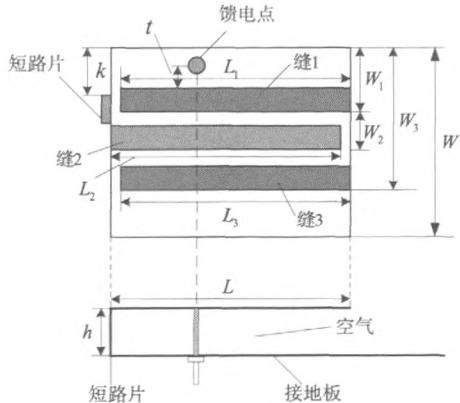


图1 天线结构示意图

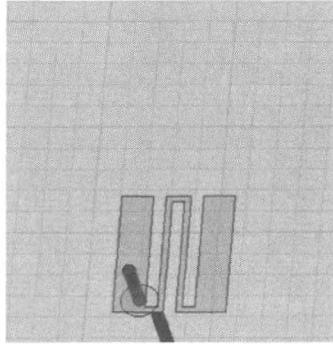


图2 天线仿真建模示意图

结合蓝牙技术需要,文中蓝牙天线设计指标如下:中心频率 $f_0 = 2.45 \text{ GHz}$ ,带宽 $BW = 90 \text{ MHz}$ ,回波损耗 $S_{11} < -50 \text{ dB}$ ,驻波比 $VSWR < 2.0$ ,尺寸为 $11 \text{ mm} \times 9 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ ,增益 $G = 2.3 \text{ dB}$ 。

## 2 仿真分析与测试

为了获得更好的天线性能,需要对天线的各个参数进行优化。经过初步的仿真分析,发现主要影响天线性能的3个参数主要为缝隙1与馈电点中心的距离( $t$ )、缝隙1的长度( $L_1$ )和短路壁的位置( $k$ )。仿真优化后确定天线的尺寸为: $W = 9 \text{ mm}$ , $L = 11 \text{ mm}$ , $h = 6 \text{ mm}$ , $W_1 = 3 \text{ mm}$ , $W_2 = 2 \text{ mm}$ , $W_3 = 6.5 \text{ mm}$ , $L_1 = L_2 = L_3 = 10.5 \text{ mm}$ ,缝隙1、缝隙2、缝隙3的宽度均为1 mm,接地板的尺寸为 $60 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ ,馈电方式采用同轴馈电。基于上述给定尺寸,在其他参数不变的情况下,分别讨论3个参数之一发生变化时,对天线的带宽、谐振频率和回波损耗的影响。

在仿真过程中发现,缝隙1的长度和位置对天线的阻抗特性有一定的影响。图3所示为缝隙1的长度变化对天线回波损耗的影响,从图3可知,缝隙1的长度为8.5 mm,

9.5 mm,10.5 mm时,天线的谐振带宽基本一致。随着缝隙1的长度增加,辐射贴片表面的电流路径变长,天线谐振频率降低,带宽也随之减小。当缝隙1的长度 $L_1 = 10.5 \text{ mm}$ 时,回波损耗为 $-51 \text{ dB}$ ,谐振频率在 $2.45 \text{ GHz}$ ,绝对带宽为 $90 \text{ MHz}$ ,满足设计要求。因此,最终选用缝隙1的长度 $L_1$ 为 $10.5 \text{ mm}$ 。

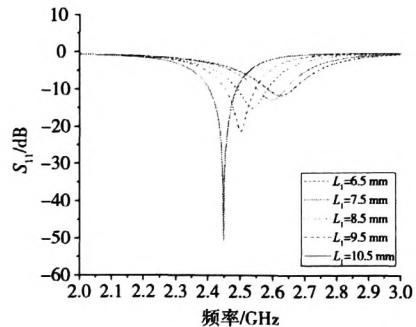


图3 缝隙1的长度变化对天线性能的影响

由于短路壁会对PIFA天线造成一定的影响,所以可以通过调整短路壁的位置改善PIFA天线的性能<sup>[11]</sup>。短路壁的位置将影响PIFA的有效带宽 $f_r$ ,一般情况下短路壁的位置参数增大,天线的有效带宽也会增大,但会带来中心工作频率的偏移<sup>[12]</sup>。图4显示的是短路壁位置(相对于馈电点一边的边缘)改变引起回波损耗的变化,可以看到随着短路壁离馈电边的距离增大,天线的谐振频率也将逐渐增大。当短路壁距辐射片边缘3 mm时,谐振频率为 $2.45 \text{ GHz}$ , $-10 \text{ dB}$ 回波损耗处的绝对带宽为 $90 \text{ MHz}$ 。

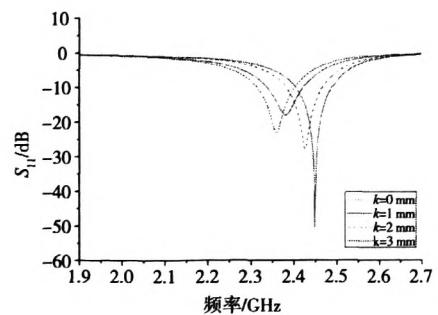


图4 短路壁的位置变化对天线性能的影响

由于天线开了3个缝隙,通过仿真确定缝隙的位置后,馈电点的合理选取将直接关系到天线谐振点和带宽等指标。如图5所示,虽然随着馈电点与缝隙1的距离减小,天线的带宽会增加,最大带宽可以接近 $100 \text{ MHz}$ ,但是天线的谐振频率随之增大,产生频率偏移的现象。随着馈电点的移动,馈电点到短路壁的距离、电流路径方向也会相应的改变。也就是说分布参数的变化引起输入的阻抗变化,同时天线表面电流分布也变化,从而远场性能也改变了。当缝隙1距馈电点2.5 mm时,天线性能满足设计要求。

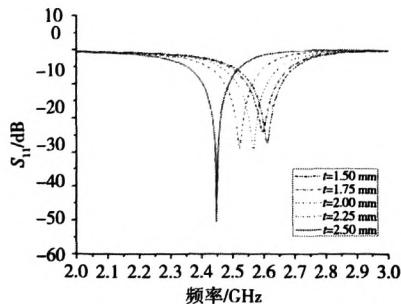


图 5 缝隙 1 距馈电点的距离变化对天线性能的影响

在优化调整、选用最佳的参数之后,尺寸定为  $11\text{ mm} \times 9\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ 。得到最终的天线回波损耗( $S_{II}$ ),如图 6 所示,天线的工作频段在 2.45 GHz 时,回波损耗达到  $-50.64\text{ dB}$ ,阻抗带宽达到  $90\text{ MHz}$ ,相对阻抗带宽达到  $3.7\%$ 。与之相比,同类型的蓝牙天线在此频段的带宽小于  $80\text{ MHz}$ ,相对阻抗带宽小于  $3\%$ 。

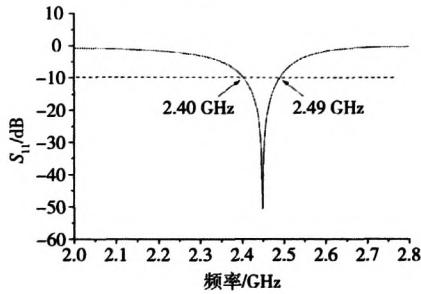


图 6 天线的回波损耗

根据仿真的天线模型对天线进行加工,如图 7 所示。天线的辐射贴片、地板和短路壁均采用  $0.035\text{ mm}$  厚的黄铜片。采用  $50\Omega$  的 SMA 接头同轴馈电,内同轴直径为  $1\text{ mm}$ 。采用型号为 TD3618C 的矢量网络分析仪测量天线的回波损耗特性,测得曲线如图 8 所示。从测量曲线中可以看出,扫频范围是  $2.0\sim3.0\text{ GHz}$ ,谐振频率在  $2.45\text{ GHz}$  附近,回波损耗  $-10\text{ dB}$  处带宽性能良好,相比仿真结果(见图 6),带宽提高到了  $120\text{ MHz}$ 。由于加工和测试中各种因素的影响,测试结果存在误差。

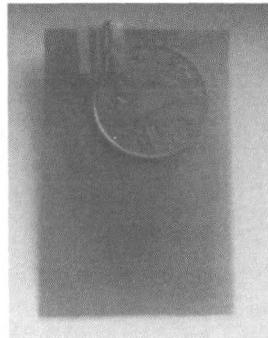


图 7 天线实物

实测误差的主要原因有:1) 制作过程中本模型需要

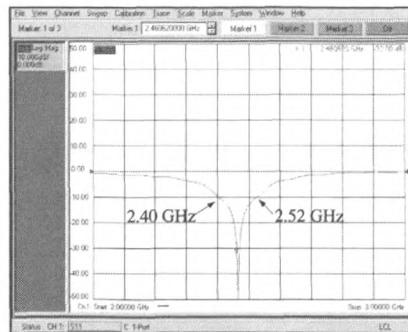


图 8 测试结果

多次曲折开槽,会带来误差。2) 仿真软件中的模型连接处通过合并操作完成,为理想连接。而实际加工制作过程中,需要用焊接材料进行连接,由于材料本身的特性会导致误差出现。3) 仿真环境中,理想辐射边界为空气,在实际环境中,大气为非理想不均匀气体,也会造成测试结果的误差。

### 3 小结

在蓝牙技术的应用中,天线是影响蓝牙通信性能的关键器件,因此蓝牙天线的开发和设计有十分重大的意义。本文利用曲流技术设计了一款工作频率在  $2.45\text{ GHz}$  的小型蓝牙天线,相对带宽达到了  $3.7\%$ ,有效地缩小了天线的尺寸( $11\text{ mm} \times 9\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ ),适合在蓝牙模块中使用。通过仿真实验以及尺寸的优化,对天线加工并进行测试分析,结果表明天线达到设计要求。由于天线应用于蓝牙模块中,所以还要考虑天线加上外壳、靠近人体以及模块内其他元件对天线的影响,天线增益虽然满足要求( $2.3\text{ dB}$ ),但尺寸较小会造成天线方向图产生细微的畸变,这些都需要在以后的工作中进一步研究。

### 参考文献:

- [1] HARTE L. Introduction to bluetooth [M]. Varina: ALTHOS, 2009.
- [2] 杨永杰. 基于 H.261 标准的天线视频传输系统的实现 [J]. 电视技术, 2007, 31(5):64~65.
- [3] 邱锦辉, 李高飞. 一种小型化蓝牙天线的设计 [J]. 科学技术与工程, 2007, 10(21):5163~5167.
- [4] SIM D U, MOON J I, PARK S O. A wideband monopole antenna for PCS/MT-2000/Bluetooth applications [J]. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2004(3):45~47.
- [5] NGUYEN V A, BHATTI R A, PARK S O. A simple PIFA-based tunable internal antenna for personal communication handsets [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008(7):130~133.
- [6] LU L, COETZEE J C. Reduced-size micro-strip patch antenna for Bluetooth applications [J]. Elec-tronics Letters, 2005, 41(17):944~945.

(下转第 79 页)

(back-to-back, 背靠背) 和 50 km 后的眼图及误码率特性曲线。可以发现传输 50 km 后的各个业务的眼图有轻微的扰动增加, 仍呈张开状态, 传输性能良好。在 BER 为  $10^{-10}$  量级时, 业务一传输 50 km 后的功率代价小于 0.5 dB, 业务二传输 50 km 后的功率代价小于 1 dB, 这是由于业务二的速率高于业务一, 因此在眼图及光功率与误码率曲线的性能上均略差于业务一。通过以上结果分析可以发现, 此方法成功实现了 ROF 系统中单信道传输多种业务的功能, 且传输性能良好, 满足无线通信要求。

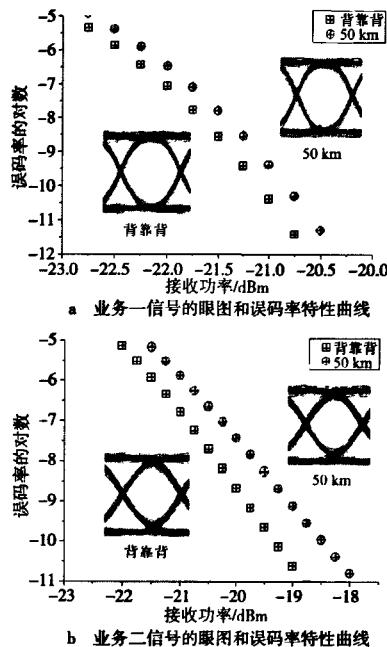


图 3 眼图及误码率特性曲线

### 3 结论

本文设计和仿真实现了单信道多业务光载无线系统, 同时传输了携带速率为 1.25 Gbit/s 的 40 GHz 的毫米波信号和携带速率为 1.75 Gbit/s 的 20 GHz 的毫米波

(上接第 40 页)

- [7] YILDIRIM B S, CETINER B A, ROQUETA G. Integrated Bluetooth and UWB antenna [J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2009 (8): 149–152.
- [8] 薛睿峰, 钟顺时. 微带天线小型化技术 [J]. 电子技术, 2002, 26 (3): 62–64.
- [9] 樊明延, 冯正和, 张雪霞. 新型宽带双枝倒 F 平面集成天线 [J]. 微波学报, 2002, 18 (1): 20–22.
- [10] LIU Zidong, WAKE H P S. Dual-frequency planar inverted-f antenna [J]. IEEE Antennas and Propagation, 1997, 45 (10): 1451–1458.
- [11] 吴利刚. 小型多波段微带天线的设计方法 [J]. 北京: 北京邮

信号。仿真结果显示, 两种业务信号传输 50 km 后眼图清晰不闭合, 最大功率代价小于 1 dB, 证明了该系统的有效性和可靠性。这种单信道多业务 ROF 系统, 不仅增加了单一信道的利用率, 一定程度上提高了系统的灵活性, 而且使用方案二的方法可以获得不同频率的毫米波信号, 能够实现无线通信中不同频段业务的兼容和系统拓展, 满足无线通信对宽带宽、高速率、可重构和多业务综合发展的要求。

### 参考文献:

- [1] CHEN Lin, SHUANGCHUN C W, LI Ying, et al. Optical front-ends to generate optical millimeter-wave signal in radio-over-fiber systems with different architectures [J]. Journal of Lightwave Technology, 2007, 25 (11): 3381–3387.
- [2] 李小文, 梁琳. TD-LTE 下行信道估计的 DSP 实现 [J]. 电视技术, 2011, 35 (7): 44–48.
- [3] HUANG Mingfang, YU Jianjun, JIA Zhensheng, et al. Simultaneous generation of centralized lightwaves and double/single sideband optical millimeter-wave requiring only low-frequency local oscillator signals for radio-over-fiber systems [J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 26 (15): 2653–2662.
- [4] VEGAS OLMO J J, KURI T, SONO T, et al. Reconfigurable 2.5-Gb/s baseband and 60-GHz (155-Mb/s) millimeter-waveband radio-over-fiber (Interleaving) access network [J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 26 (15): 2506–2512.
- [5] HYUN-SEUNG K, THANG T P, YONG-YUK W, et al. Simultaneous wired and wireless 1.25-Gb/s bidirectional WDM-RoF transmission using multiple optical carrier suppression in FP LD [J]. Journal of Lightwave Technology, 2009, 27 (14): 2744–2750.

### 作者简介:

潘武 (1966-), 博士, 教授, 主要研究方向为光电子技术及系统、光通信器件及系统等。

责任编辑: 杨 岩

收稿日期: 2011-10-27

电大学, 2008.

- [12] WONG K L, YANG K P. Modified planar inverted-F antenna [J]. Electronic Letters, 1998 (34): 7–8.

### 作者简介:

郝宏刚 (1977-), 硕士生导师, 主要从事光学检测、电磁理论及应用领域的研究工作;

胡文帅 (1985-), 硕士生, 主要研究方向为天线与电波传播、近距离通信中的天线小型化设计;

田海燕 (1987-), 硕士生, 主要研究方向为天线与电波传播。

责任编辑: 许 盈

收稿日期: 2011-11-24

## 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>