

# 一种紧凑结构的宽频带圆极化微带天线

丁卫平, 李洪彬, 余同彬, 曹文权

(解放军理工大学通信工程学院, 江苏南京 210007)

**摘要:**为了解决层叠结构微带天线剖面高、结构复杂的问题,首次将支节匹配技术用于层叠结构的微带天线中,实现了最佳的阻抗匹配,且降低了天线高度,并将馈电网络与激励贴片做于同一层,使得天线结构简单紧凑。所设计天线的高度为 $0.053\lambda$ ,比传统的层叠结构微带天线降低了近50%,同时实现了29.2%的阻抗带宽、32.3%的3 dB轴比带宽、11.3%的1 dB增益带宽。加工制作了相应的微带天线。结果表明,该天线结构紧凑、频带宽、增益高,且天线底板有足够的空间嵌入移相网络,在相控阵中具有良好的应用前景。

**关键词:**层叠结构;宽频带;微带天线

**中图分类号:** TN82

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-3443(2011)06-0559-05

## Broadband circularly polarized microstrip antenna with compact configuration

DING Wei-ping, LI Hong-bin, YU Tong-bin, CAO Wen-quan

(Institute of Communications Engineering, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China)

**Abstract:** To solve the problems of the stacked microstrip antennas that have high profile and complicated structure, the first time stub-tuning matching technique was used in the stacked microstrip antenna, a better impedance bandwidth realized and the height of the antenna reduced. And the feeding network and the driven patch were designed on the same substrate to achieve simple structure. The antenna has a height of  $0.053\lambda$  which has been reduced by 50% compared with the general stacked microstrip antenna, achieving a impedance bandwidth of 29.2%, a 3dB axial ratio bandwidth of 32.2%, and a 1dB gain bandwidth of 11.3%. The corresponding antenna was fabricated. The results indicate that the antenna has compact configuration, broad bandwidth and high gain. What's more, the ground plane has enough space for the phase shifting network, enabling the proposed antenna to enjoy good advantage in the phased array application.

**Key words:** stacked configuration; broadband; microstrip antenna

微带天线具有剖面低、体积小、加工方便、易于集成等优点,因而在现代移动通信与卫星通信系统中得到了广泛的应用。圆极化微带天线主要分为两大类,即单点馈电圆极化微带天线和双点(或四点)馈电圆极化微带天线。单点馈电圆极化微带天线结构简单紧凑,实现形式多种多样。大体可总结为在基本结构贴片天线中引入合适的微扰单元,天线主

模式将分裂成幅度相等,并具有 $90^\circ$ 相位差的2个正交的简并模式,以实现圆极化<sup>[1~3]</sup>。但单点馈电圆极化微带天线最大的缺点是带宽窄,3 dB轴比带宽通常小于2%,无法满足很多现代通信系统的要求。双点(或四点)馈电圆极化微带天线需要引入极化器给天线正交馈电来实现圆极化,这种天线结构较复杂,但具有较宽的轴比带宽。

近年来,层叠结构的微带天线得到了广泛的应用,它既可用于单馈形式<sup>[4~6]</sup>,也可用于双馈(或四馈)形式<sup>[7,8]</sup>,当寄生贴片与激励贴片工作在临近的频率时,阻抗带宽就会显著地增加。这些天线结构

收稿日期:2010-11-01.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60872046).

作者简介:丁卫平(1967—),男,博士,副教授;研究方向:计算电磁学及天线技术;E-mail: njdwp@126.com.

较复杂,且剖面高。为了得到优化的阻抗带宽,需要使用较厚的空气层,天线高度一般大于  $0.1\lambda^{[4\sim8]}$  ( $\lambda$  为天线中心频率所对应的波长)。本文利用支节匹配技术来优化层叠结构微带天线的阻抗带宽,在天线高度为  $0.053\lambda$  的情况下,优化的阻抗带宽为 29.2% (1.49~2.0 GHz),3 dB 轴比带宽为 32.3% (1.22~1.69 GHz),1 dB 增益带宽为 11.3% (1.5~1.68 GHz),最大增益为 8.4 dB。天线高度比传统的层叠结构微带天线降低了近 50%,达到了小型化的目的。最后加工制作了相应的微带天线,测试结果与仿真数据吻合较好。

1 天线结构设计

图 1 为天线结构示意图。

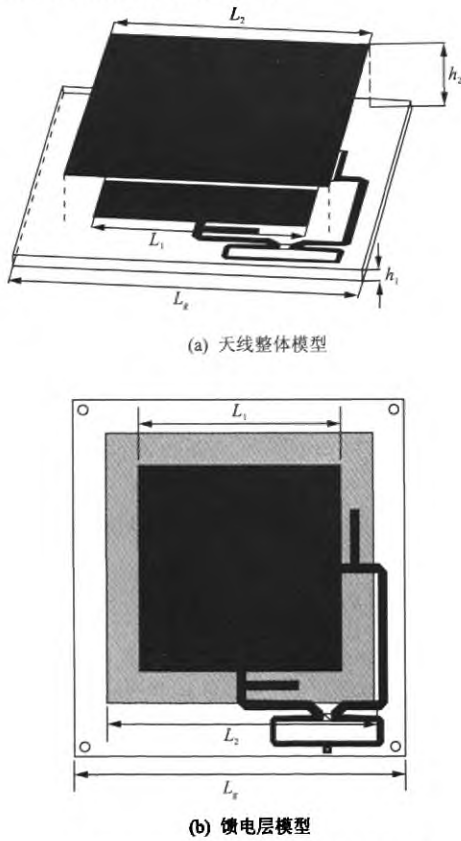


图 1 加支节匹配的层叠结构微带天线

Fig. 1 The model of the stacked microstrip antenna with stub

天线包括微带线侧馈的激励贴片和 1 个寄生贴片,2 贴片均选用正方形结构,激励贴片边长为  $L_1$ ,侧馈微带线宽为  $w_1$ ,寄生贴片边长为  $L_2$ 。2 贴片间为空气层,空气层高度为  $h_2$ 。为使天线结构简单轻巧,寄生贴片直接用介质螺钉架于激励贴片正上方。为使结构紧凑,也减小功分器做在背面时产生的背

向辐射,将功分器与激励贴片置于同一平面。使用介电常数为  $\epsilon_r$  的基板,尺寸为  $L_g \times L_g \times h_1$ 。天线采用底馈的形式馈电,这样安排使天线整体看上去相当于单馈形式的微带天线。天线地板背后可以有足够的空间添加其他的电路,如移相器网络,从这个意义上说,该天线可以用作相控阵的单元天线。

层叠结构的微带天线优化参量较多,如 2 贴片尺寸、2 贴片间距离、地板尺寸等等,这些都会影响天线的性能。文献[5]提出通过改变馈电点位置和泡沫层的厚度可以优化天线的轴比带宽。在本文设计的天线结构中,引入了一个新的调谐参量,即输入端的调谐支节,如图 1 所示。实验发现在贴片大小即间距选定的情况下,调节调谐支节的尺寸及与贴片的相对位置即可优化天线阻抗带宽。

2 天线阻抗优化

引入调谐支前,经优化设计使得 2 贴片谐振在 2 个相互靠近的频点上,采用特性阻抗为  $50\ \Omega$  微带线馈电,选择的参数如下:  $h_2 = 9\text{ mm}$ ,  $L_1 = 61\text{ mm}$ ,  $L_2 = 74\text{ mm}$ ,  $\epsilon_r = 2.2$ ,  $L_g = 100\text{ mm}$ ,  $h_1 = 0.8\text{ mm}$ ,  $w_1 = 2.5\text{ mm}$ 。由图 2 中虚线可以看出,层叠结构的微带天线可以用  $50\ \Omega$  微带线直接馈电,即可得到相应频点的阻抗匹配,但两频点间凸起,呈现的是双频特性而不是宽带。

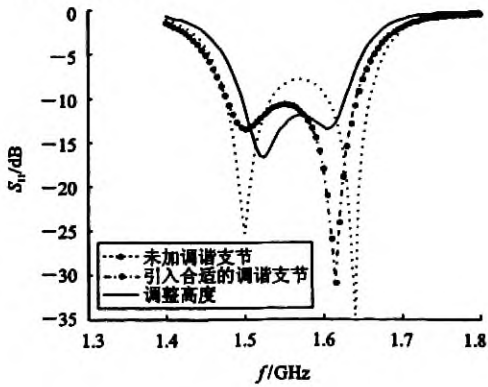
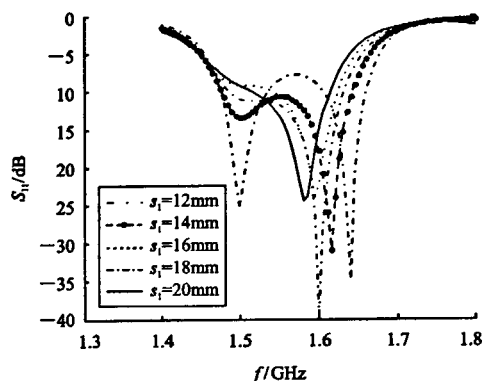
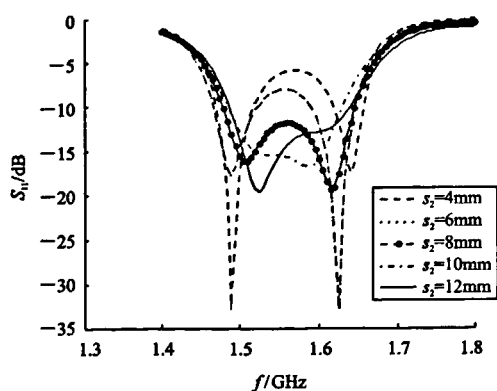


图 2  $S_{11}$  曲线

Fig. 2 The curves of  $S_{11}$

调谐支即为在馈电微带线旁边加载了一段开路传输线。加入调谐支优化阻抗带宽在一定程度上减小了天线的尺寸,这是因为若通过增加空气层的高度以及贴片大小来实现,空气层厚度  $h_2$  需为 13 mm,并将寄生贴片的边长  $L_2$  调整为 75 mm,优化结果如图 2 中实线所示。本文在保持空气层高度  $h_2 = 9\text{ mm}$  的情况下,通过改变参量调谐支的长度  $s_1$  和

调谐支节距贴片边缘的距离  $s_2$  可优化阻抗带宽,其中调谐支节线宽  $w_2 = w_1 = 2.5 \text{ mm}$  保持不变。图3为  $s_2 = 3 \text{ mm}$ , 变化参量  $s_1$  所对应的  $S_{11}$  变化曲线。可以看出,随着  $s_1$  的增加天线的2个频点逐渐靠近,当  $s_1 = 14 \text{ mm}$  时出现优化的阻抗带宽,  $s_1$  再增加,天线带宽逐渐变窄。图4为  $s_1 = 12 \text{ mm}$  变化参量  $s_2$  所对应的  $S_{11}$  曲线。可以看出,随着  $s_2$  的增加,天线的2个频点也是相互靠近的,在  $s_2 = 8 \text{ mm}$  时可得到较宽的阻抗带宽曲线。由上述实验可知参量  $s_1, s_2$  均能有效优化天线的阻抗带宽,本文出于小型化考虑,选择利用参量  $s_1$  的优化方案,  $s_2 = 3 \text{ mm}$  固定不变,这样可以给与激励贴片在同一平面的功分器留出更多空间,使天线结构更为紧凑。而且,由图2中曲线对比可发现,通过改变调谐支优化的阻抗带宽比调整空气层高度得到的带宽要宽。

图3  $s_1$  变化所对应的  $S_{11}$  曲线Fig. 3 The plots of  $S_{11}$  against the  $s_1$ 图4  $s_2$  变化所对应的  $S_{11}$  曲线Fig. 4 The plots of  $S_{11}$  against the  $s_2$ 

### 3 增益讨论

层叠结构的微带天线通常比单层微带天线具有更高的增益,这也是许多学者用以提高微带天线增益的办法。当2层贴片的距离大约是半个波长时,2

贴片间的腔体内就会激励起向外辐射的驻波,这就形成了一个漏波谐振腔,它与激励贴片下面的谐振腔相互作用从而提高了天线的增益<sup>[9]</sup>。文献[4]在此原理基础上,引入了2个寄生贴片,一个用于提高天线的阻抗带宽,该寄生贴片与激励贴片距离为  $0.075\lambda$ ,第二个寄生贴片与第一个寄生贴片的距离取为  $0.5\lambda$ ,这时天线增益比传统单层贴片提高了  $3.5 \text{ dB}$ 。

显然,上述提高微带天线增益的方法大大增加了微带天线的纵向尺寸,破坏了微带天线低剖面的性质。在本文天线的设计中,空气层高度取为  $9 \text{ mm}$  (约  $0.046\lambda$ ),天线的增益与单层结构的微带天线相比也是提高的,如图5所示。加入寄生贴片后天线方向图波瓣变窄,增益提高了  $1.1 \text{ dB}$ ,顶点增益为  $8.4 \text{ dB}$ 。这样,天线既满足了低剖面的要求,其增益也在一定程度上得到了提高。

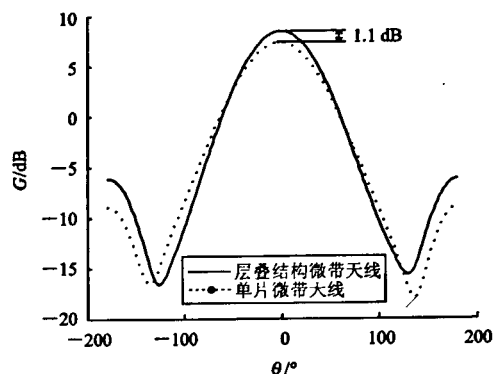


图5 增益曲线对照图

Fig. 5 The comparison of the gain

### 4 制作与测试

本文加工制作了所设计的宽频带微带天线。图6为天线的  $S_{11}$  仿真与测试曲线。由图可以看出测试与仿真曲线吻合较好,测试的  $-10 \text{ dB}$  阻抗带宽为  $1.37 \sim 2.05 \text{ GHz}$ 。这时所测试的阻抗带宽是从 Wilkinson 功分器输入端测试的,远比前面所优化的阻抗带宽 ( $1.5 \sim 1.675 \text{ GHz}$ ) 要宽,这是因为功分器中的隔离电阻吸收了从天线侧端反射到两功分臂中不平衡的能量,不能反映天线自身的谐振带宽,引入 Wilkinson 功分器虽然使天线的  $S_{11}$  性能得到改善,但并不能提高天线的增益带宽。图7为天线增益和轴比随频率变化的仿真曲线与测试点,由图可以看出天线增益仿真曲线在  $1.5 \sim 1.675 \text{ GHz}$  频带以外随频率变化迅速衰减。天线增益以及轴比测试点和仿真曲线有所偏离,这可能是天线的加工误差与测试环境共同造成的。

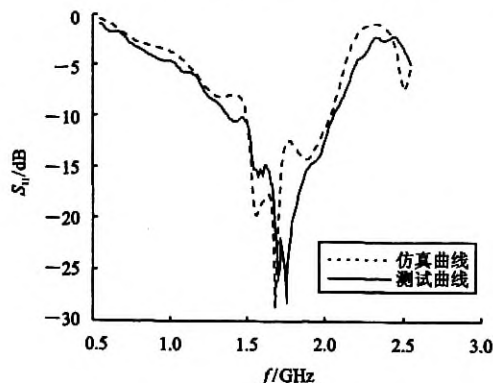
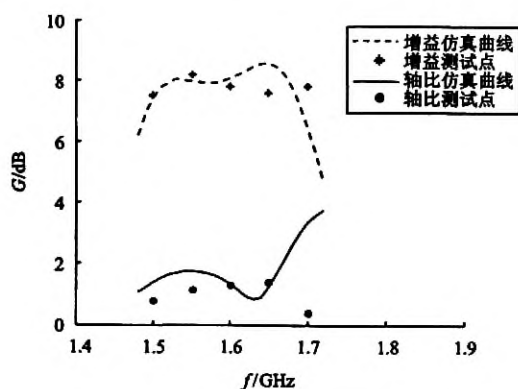
图6 天线的  $S_{11}$  仿真与测试曲线Fig. 6 The simulated and measured curves of the  $S_{11}$ 

图7 天线增益和轴比随频率变化曲线

Fig. 7 The gain and axial ratio against frequency

图8为天线在工作频率  $f = 1.6$  GHz 时轴比和增益在前向  $180^\circ$  的仿真与测试曲线。由图8(a)可以看出,轴比的测试曲线左边出现凸起,导致轴比变差,这可能是由于功分器右支的侧向辐射造成的,从图1中看到天线的右支较长,产生的远区辐射即可影响到天线的轴比,这也是将功分网络放在地板前面的负面影响。图8(b)为天线前向  $180^\circ$  的增益方向图,测试的最大增益比仿真略低,而且测试曲线左边也出现凸起,这也是功分器的寄生辐射所造成的。图9为天线实物图。

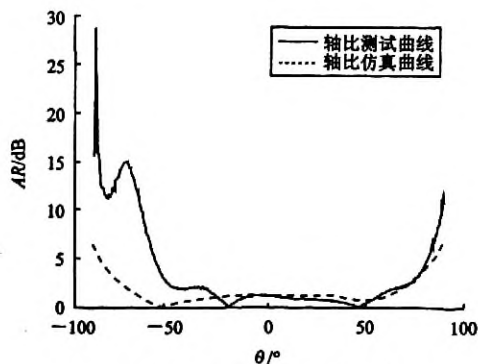
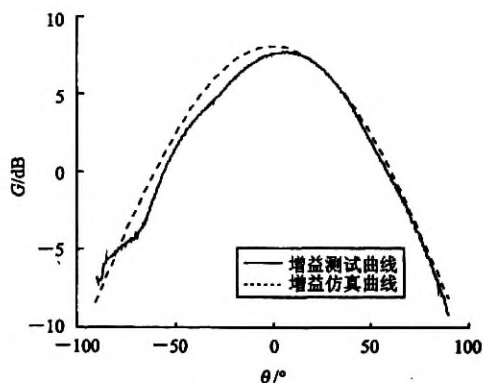
(a) 天线在  $f = 1.6$  GHz 时的轴比曲线(b) 天线在  $f = 1.6$  GHz 时的增益曲线图8 天线在  $f = 1.6$  GHz 时轴比与增益测试曲线

Fig. 8 The axial ratio and gain plots at the frequency of 1.6 GHz

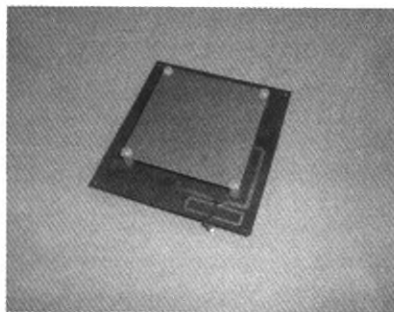


图9 天线实物

Fig. 9 The fabricated antenna

## 5 结 语

本文设计了一种层叠结构的宽频带微带天线,提出了利用调谐支来优化层叠结构微带天线阻抗带宽的方法,该方法比传统调节空气层及贴片尺寸的方法优化的阻抗带宽要宽,而且降低了空气层的厚度。天线采用侧馈的形式并将功分器与激励贴片做于同一层,利用 SMA 接头背馈,使天线结构更加紧凑,这样有利于在天线背层添加新的电路,如移相网络,所以本文所设计的宽频带微带天线可以作为相控阵的单元天线,具有很好的应用前景。

## 参考文献:

- [1] IWASAKI H A. Circularly polarized small-size microstrip antenna with a cross slot[J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1996, 44(10): 1399-1401.
- [2] TANG C L, LU J H, WONG K L. Circularly polarised equilateral-triangular microstrip antenna with truncated tip[J]. Electron Lett, 1998, 34(13): 1277-1278.

- [3] WONG K L, LIN Y F. Circularly polarised microstrip antenna with a tuning stub[J]. *Electron Lett*, 1998, 34(9):831-832.
- [4] EGASHIRA S, NISHIYAMA E. Stacked microstrip antenna with wide bandwidth and high gain [J]. *IEEE Trans Antennas Propagat*, 1996, 44(11):1533-1534.
- [5] NASIMUDDIN K, ESSELLE P, VERMA A K. Wideband circularly polarized stacked microstrip antennas [J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2007, 6(A):21-24.
- [6] 邵晓亮, 邹永庆. X波段宽带圆极化微带天线的设计[J]. *现代电子技术*, 2010, 33(1):100-102.  
SHAO Xiao-liang, ZOU Yong-qing. Design of X-band broadband circularly polarized microstrip antenna[J]. *Modern Electronics Technique*, 2010, 33(1):100-102. (in Chinese).
- [7] CHEN Ya-ping, SUN Hou-jun, LV Xin. Design of a broadband wide-angle circularly polarized microstrip patch antenna with small phase deviation[C]. Beijing: International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), 2008.
- [8] 李建新, 李迎林, 张金平. 一种新型星载 SAR 宽带双极化微带天线研究[J]. *电波科学学报*, 2009, 24(02):354-358.  
LI Jian-xin, LI Ying-lin, ZHANG Jin-ping. Study on a novel dual-polarized and wide-band microstrip patch antenna for SAR applications [J]. *Chinese Journal of Radio Science*, 2009, 24(2):354-358. (in Chinese).
- [9] NISHIYAMA E, AIKAWA M. Wide-band and high-gain microstrip antenna with thick parasitic patch substrate[C]. Sendai: Antennas and Propagation Society Symposium, 2004.

(责任编辑:徐金龙)

## 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>