

doi:103969/j. issn. 0490-6756. 2011. 06. 017

圆极化五边形微带天线阵的设计与仿真

韩庆文¹, 陈旭², 陶学敏¹

(1. 重庆大学通信工程学院, 重庆 400044;
2. 重庆理工大学重庆汽车学院, 重庆 400050)

摘要: 五边形贴片天线具有较好的宽带特性和圆极化特性,但是设计过程复杂,本文通过研究五边形贴片单元的设计入手,给出单端侧馈五边形贴片天线的设计方法,并给出了5.6 GHz的五边形圆极化微带天线的HFSS仿真结果,以之为天线单元,构成4元天线阵列,给出馈电网络设计的合理方法,采用HFSS软件进行优化设计,进行仿真,仿真结果证明,该阵列获得了4%的3 dB带宽,并获得12 dB的增益。

关键词: 微带天线; 圆极化; 轴比; 五边形; 方向图; 电压驻波比; 带宽

中图分类号: TN820.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2011)06-1319-05

Design and simulation of circular polarization micro-strip antenna array

HAN Qing-Wen¹, CHEN Xu², TAO Xue-Min¹

(1. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. Chongqing Automobile College, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract: Pentagon circular polarization micro-strip antenna is good in broadband and circular polarization characteristics but hard in design process. The design principle of the pentagon circular polarization micro-strip antenna is researched and single ended side feeding method is presented. The way to analyze polygon micro-strip antennal is given, which is named finite cell. By means of adjust the 5.6 GHz pentagon circular polarization micro-strip antenna, HFSS simulation results are shown. Based on the pentagon antenna unit be simulated, a four element antenna array is presented. Design method for feed net of the array is given. Design is optimized by HFSS software, and simulation results for the array are displayed. Simulation results show that the array obtain a 4% 3 dB bandwidth, and 12 dB gain.

Key words: micro-strip antenna, circular polarization, axial ratio, pentagon, antenna pattern, VSWR, bandwidth

1 引言

微带天线中应用的最为广泛的是微带贴片天线。微带贴片天线效率高,体积小,共形性好,由于其具有良好的共形性,可将其直接贴在载体或设备的外壳上,而不用另外占用空间,因此得到

了广泛的应用。共形微带天线阵列的设计具有极大的灵活性,可充分利用载体表面空间制作满足各种方向性要求的共形阵列^[1,2]。

圆极化微带天线在无线电领域中有重要作用,是微带天线的主要设计方向之一^[3,4]。特别是随着卫星通信、遥控、遥测技术的发展,雷达应用范围的

收稿日期: 2009-07-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(NSTC60872038); 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2011BB2061); 重庆大学运载器测控及遥感信息传输技术重点实验室访问学者基金

作者简介: 韩庆文(1969—),女,重庆大学高级工程师,主要从事无线通信方向研究. E-mail: hqw@ccee.cqu.edu.cn

扩大以及对高速目标在各种极化方式和气候条件下跟踪测量的需要,单一极化方式已很难满足要求,圆极化的应用就显得十分重要。特别在航天飞行器中,由于飞行器位置姿态的不固定,它们的通讯测控设备都要求共形的、重量轻、体积小而且成本低的圆极化天线^[5-7]。圆极化微带天线是能满足这些要求的比较理想的天线。

文献[8]提出,采用五边形偏馈结构实现圆极化,该结构适合组成天线阵列,目前的圆极化微带天线阵列多采用矩形单元结构^[9],本文提出一种采用五边形结构实现 2×2 的圆极化微带天线平面阵列,通过 HFSS 高频结构软件仿真优化,获得了较好的结果。

2 五边形天线的有限元分析法

由于五边形微带状天线是一种形状不规则的微带片状圆极化天线,不能采用经典的电磁场分析方法^[10]。

有限元法是分析不规则形状微带天线的较好方法,它把整个求解区域划分为若干个单元,在每个单元内规定一个基函数。在其它区域此函数为零,基函数在各自的单元内是解析的,这就是用分片解析函数代替全域解析函数。对于二维问题,单元可以取作三角形、矩形等,而以三角形域适应最广。

图 1 为用有限元求解五边形微带天线的单元划分。边界导纳规定为:

$$Y = \frac{H_t}{E_t}$$

H_t 为边界上切向磁场。在微带腔的电磁场中,最方便的是求解电场。

当基片很薄时, $\frac{\partial E_z}{\partial z} = 0$ 。因此,电场可视为标量函数,求解较为方便。腔中电场满足的微分方程:

$$\nabla^2 E_z + k^2 E_z = j\omega\mu J_z \quad (1)$$

式中 $k = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$, J_z 为激励电流密度。

在边界上 $H_t = \frac{1}{j\omega\mu} = \frac{\partial E_z}{\partial n}$, n 为外法向单位矢量。故边界条件为:

$$\frac{\partial E_z}{\partial n} = j\omega\mu Y E_z \quad (2)$$

式(1)和式(2)对应的泛函数为:

$$J(E_z) = \frac{1}{2} \int_s [|\nabla_z E_z|^2 + k^2 |E_z|^2] ds +$$

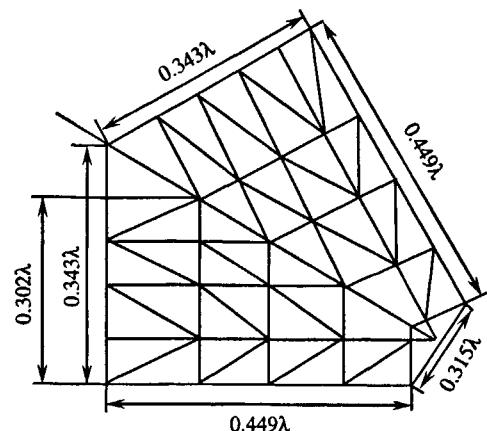


图 1 五边形微带天线的单元划分

Fig. 1 Cell division of pentagon micro-strip antenna

$$\int_L j\omega\mu J_z J_z^* d\lambda - \frac{j\omega\mu}{2} Y \int_C |E_z|^2 d\lambda \quad (3)$$

式中 $\nabla_z E_z = \hat{x} \frac{\partial E_z}{\partial x} + \hat{y} \frac{\partial E_z}{\partial y}$, S 为微带片面积, C 为其周界, L 为激励源 J_z 的周界。

应用有限元法,将五边形微带片区域分成三角形单元,如图 2 所示。利用前述,对泛函数变分可化为如下代数方程^[10]:

$$[k][p] - k^2 [H][p] = [T] \quad (4)$$

式中 $[p]$ 为列矩阵,表示各结点 E_z 的值, $[k]$, $[H]$ 均为系数矩阵, $[T]$ 为与源积分项有关的常数矩阵,通过此式的解可求出天线的输入阻抗。若所讨论的是无源问题,即 $J_z = 0$,则 $[T] = 0$, 式(4)化作特征方程,可求出谐振频率和谐振模。

3 偏馈式五形单元天线

以—5.6 GHz 的圆极化微带天线为设计目标。要求天线辐射尽量接近纯圆极化,即有较低的轴比;具有好的带宽特性;有较高的增益。微带天线一般应用在 1~50 GHz 频率范围内,关键问题是如何兼顾圆极化和宽带宽^[11-13]。一般来说,5 GHz 系统的无线通信用户一般需要大于 100 MHz 的带宽^[14,15]。

设计图形见图 2。

如图所示,天线各边的尺寸关系是采用有限元法分析,由经验所得一组近似值,在实际的设计中只能作为一个参考,还要进行适当的修改。

经过调整后所得参数如表 1 所示:

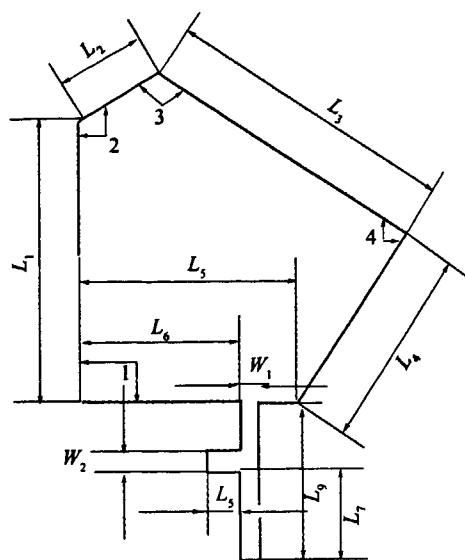


图2 天线各边尺寸

Fig. 2 Dimension of antenna

表1 天线尺寸参数

Tab. 1 Dimension parameters of antenna

$L_1 = 14.817 \text{ mm}$	$L_2 = 4.785 \text{ mm}$
$L_3 = 15.343 \text{ mm}$	$L_4 = 10.464 \text{ mm}$
$L_5 = 11.319 \text{ mm}$	$L_6 = 7.123 \text{ mm}$
$\angle 1 = 90^\circ$	$\angle 2 = 120^\circ$
$\angle 3 = 118^\circ 55' 43''$	$\angle 4 = 90^\circ 28' 22''$

经过 HFSS 软件仿真, 得到仿真结果如图 3 所示:

由图可得天线指标:

■轴比: 轴比低于 3 dB 的角度范围为 $-90^\circ \sim 80^\circ$, 几乎可以在上半空间实现很好的圆极化性能, 宽角度轴比性能是五边形贴片的一个非常突出的优点, 如果作为阵列天线的阵元, 有助于消除扫描阵中扫描盲点。

■带宽: 在中心频率 5.6 G 的反射系数达 -37 dB , 反射系数 -15 dB 时的带宽为 5.36% ; 反射系数 -20 dB 时的带宽为 3.1% ; 采用这种简单的单层、单点微带馈电贴片天线结构, 仅仅改变贴片的形状, 就可以获得非常不错的带宽, 与普通的矩形切角圆极化天线相比, 具有一定的优势。

■增益: 在中心频率 5.6 G 达 7.5 dB , 虽然五边形贴片的面积比矩形贴片小, 中心频率的增益仍达到 7.5 dB , 具有良好的性能。

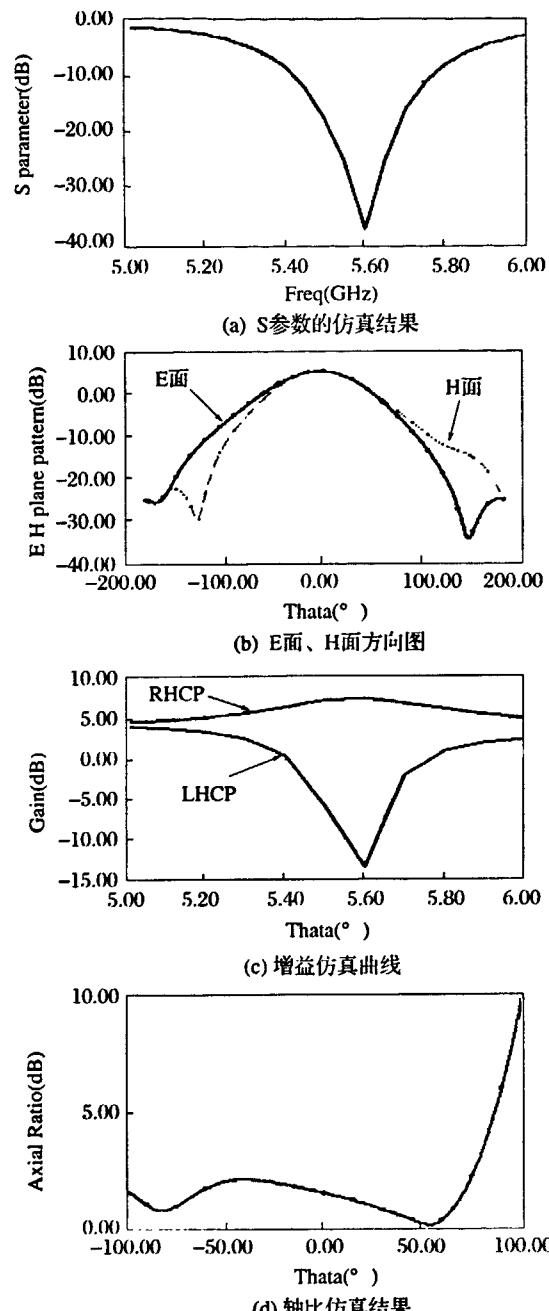


图3 单元五边形天线仿真结果

Fig. 3 Simulation results of pentagon micro-strip antenna cell

3 五边形阵列天线

在确定了天线单元的结构和尺寸后, 就可以设计平面阵天线了, 设计的一般步骤如下:

■单元数目的确定. 本文采用五边形结构实现 2×2 的圆极化微带天线平面阵列。

■辐射单元间距的确定. 在组阵时需要考虑互

耦效应的影响,一般单元间距在 $0.5\lambda_0$ 到 λ_0 之间取值。实际设计中要根据要求的天线尺寸、馈线网络的排列以及天线的实际辐射性能来调节。

■ 馈电网络的确定。本文设计天线馈电网络采用微带线馈电,和馈线处在一个平面上,采用了简单的多级二分一等分功分器,实现了宽频阻抗匹配,天线阵列结构简单便于制作。在实际设计中,对每一级网络分别匹配,减小馈线损耗,使馈线各接头以及馈线和单元间匹配良好^[16]。

本文设计圆极化五边形微带天线阵列的外形如图 4 所示。

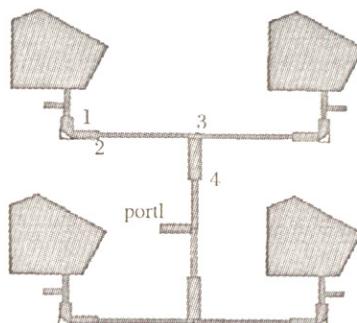


图 4 四元五边形微带天线阵列

Fig. 4 Four cells pentagon micro-strip antenna array

本文采用 T 型接头实现功率分配,采用特氟龙基板仿真天线阵列,天线的中心频率为 5.6 G,基板相对介电常数为 2.7,厚度为 2 mm。

目前没有精确的微带线特性阻抗的计算公式,只有经验公司和软件的仿真结果,这给设计带来一定难度。本文采用了 ADS 软件附带的微带线的计算软件算出,特性阻抗为 100 欧姆、70.7 欧姆、50 欧姆的微带线宽度分别为 1.41 mm、2.98 mm、5.41 mm。对应的四分之一的长度是 9.32 mm。采用计算数据作为仿真优化的原始值,用 HFSS 软件对馈电网络及阵列进行仿真。在代入初始值后,端口的阻抗值实部很小,虚部为负数且比较大,匹配效果很差,阻抗特性表现为电容特性,尝试减少微带线的宽度,以减少其电容值,同时增加阻抗的实部。最终实现了较好的匹配。

单个阵元通过一小段微带天线,实现与 50 欧姆的端口 1 匹配,四分之一波长的阻抗变换线,将阻抗转化从端口 1 到端口 2 的 100 欧姆,再通过一个 T 型接头实现功分,2 到 3 的微带线特性阻抗为 100 欧姆,3 到 4 的微带线特性阻抗为 50 欧姆,从 4 到馈电端口特性阻抗为 70.7 欧姆四分之一波长

变换。其它阵元的馈电与上面描述的完全一样,这样的馈电网络结构简单,只要各级很好的匹配,就可以实现各个阵元等幅同相馈电。

4 仿真分析

最后的仿真结果如图 5 所示。

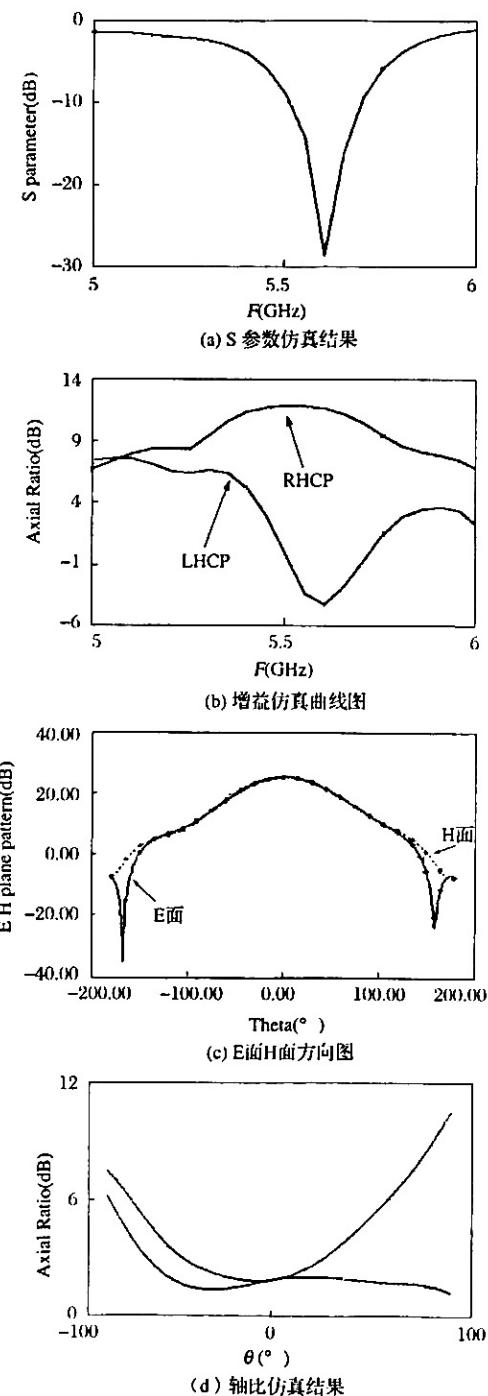


图 5 四元五边形阵列仿真结果

Fig. 5 Simulation results of four cells pentagon micro-strip antenna array

图5(a)是反射系数的仿真曲线,天线阵在中心频率5.6 G达到了-28 dB,实现了较好的匹配;图5(b)是增益的仿真曲线,在中心频率5.6 G,右旋圆极化的增益达到12 dB,而左旋圆极化的增益为-3 dB,两者相差15 dB,具有很好的圆极化性能;图5(c)是E面和H面方向图,圆极化特性良好;图5(d)是轴比的仿真结果,3 dB圆极化的带宽达到了4%,可以看出,4阵元的五边形微带天线阵完全达到了设计的要求。

5 结 论

鉴于圆极化天线的高性能和设计复杂性,本文重点研究了一种以偏馈式五边形阵元组成的四元圆极化天线阵列,通过对5.6 GHz圆极化微带天线的研究,对偏馈式五边形天线的设计尺寸展开研究,并设计了阵列馈电网络,提出了馈电网络的设计方法,并获得良好的轴比和较宽的带宽,匹配特性理想,此研究对圆极化微带天线的设计极其有用,提供了一种切实可行的圆极化微带天线阵列的设计方法,进一步研究设计,可以在小型化基础上,组成大规模圆极化天线阵列。

参考文献:

- [1] Kabacik P, Wincza K, Kamaszuk, et al. Optimizing circular polarization in broadband lightweight patch antennas [M]. Washington: Antennas and Propagation Society International Symposium, 2005(7): 258.
- [2] Zhang Y P, Wang J J. Theory and analysis of differentially-driven microstrip antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2006, 54(4): 1092.
- [3] Lau K L, Luk K M, Lee K L. Design of a circularly-polarized vertical patch antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2006, 54(4): 1332.
- [4] Kamaszuk M, Hornik P, Guzda D. Optimizing circular polarization within a beam of patch antenna elements [M]. MIKON: International Conference on Radar & Wireless Communications, 2006(5): 951.
- [5] Chair R, Mak C L, Lee K F. Miniature wide-band half U-slot and half E-shaped patch antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(8): 2645.
- [6] Yang F, Zhang X, Rahmat-Samii Y. Wide-band E-shaped patch antennas for wireless communications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2001, 49(7): 1094.
- [7] He W, Jin R, Geng J. E-Shape patch with wideband and circular polarization for millimeter-wave communication [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2008, 56(3): 893.
- [8] I. J. 鲍尔, P. 布哈蒂亚, 梁联倬, 寇廷耀译. 微带天线[M]. 电子工业出版社, 1984.
- [9] 钟顺时. 微带天线理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1991.
- [10] 韩庆文, 易念学, 李忠诚, 等. 圆极化微带天线的设计与实现[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2004(4): 57.
- [11] Wi S H, Kim J M, Yoo T H. Bow-tieshaped meander slot antenna for 5 GHz application [J]. Antennas and Propagation Society International Symposium, IEEE, 2002, 2: 456.
- [12] 邓云丹, 闫丽萍, 董金生. 具有带阻特性的新型超宽带天线的设计[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2009(2): 382.
- [13] Matin M M, Sharif B S, Tsimenidis C C. Probe fed stacked patch antenna for wideband applications [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(8): 2385.
- [14] Wi S H, Sun Y B, Song I S. Package-Level integrated antennas based on LTCC technology [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2006, 54(8): 2190.
- [15] Guo Y X, Luk K M, Lee K F, et al. A quarter-wave U-shaped antenna with two unequal arms for wideband and dual-frequency operation [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2001, 50 (8): 1082.
- [16] Tariqul Islam M, Misran N, Ng K G. A 4×1 L-probe fed Inverted Hybrid E-H Microstrip Patch Antenna Array for 3G Application [J]. American Journal of Applied Sciences, 2007, 4(11): 897.

[责任编辑: 李富河]

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)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)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)，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>