

A New Design of Dual-Band Circular Polarization Reconfigurable Microstrip Antenna*

LI Yuan*, XU Wenjing, LI Jianlan, GUO Zhilei

(Department of Electronic & Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In the mobile terminals within a small confined space, how to make full use of frequency resources and space resources, and to improve the transmission capacity of communication systems are key problems. Based on the theoretical analysis of the square ring slot structure antenna, a new polarization reconfiguration antenna is designed. It uses multi-ring slot structure. Left hand circular polarization reconfiguration and right hand circular polarization reconfiguration can be achieved in 4.9 GHz and 5.8 GHz at the same time through the control of MEMS switch, the band-width of the two frequency band is 11.2 % and 13.8 % respectively. It realizes the dual-band character of polarization reconfigurable microstrip antenna, which can meet the needs of mobile communications.

Key words: reconfigurable antenna; circular polarization; square ring slot structure; bandwidth and miniaturization
EEACC: 5270

一种新型的双频段圆极化可重构微带天线*

李媛*, 许文静, 李建兰, 郭志雷

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

摘要: 在移动终端的狭小受限空间内, 如何有效地利用频率资源、空间资源, 提高通信系统的传输容量是研究热点, 设计性能良好的可重构天线是一种有效手段。本文采用多环缝隙结构设计了一种新型的双频段圆极化可重构天线。它在 MEMS 开关的控制下, 可在 4.9 GHz 和 5.8 GHz 两个频率上同时实现左旋和右旋圆极化, 两个频带的相对带宽分别达到 11.2 % 和 13.8 %, 很好地实现了圆极化可重构天线的双频带特性, 能够满足移动通信对多频技术的需求。

关键词: 可重构天线; 圆极化; 方环缝隙结构; 宽带与小型化

中图分类号: TN455

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2010)04-0480-05

随着现代电子技术的迅猛发展, 综合电子信息系统呈现出超宽带、大容量、多功能的特点, 使得综合信息系统的天线数量相应增加, 这对于提高综合信息系统的电磁兼容特性、减轻重量、降低成本是非常不利的, 也成为制约无线综合信息系统进一步发展和应用的一大瓶颈。解决无线通信瓶颈问题的关键是提高无线频谱资源利用的有效性, 即在满足服务质量的前提下, 最大限度地提高频谱效率及资源共享系统容量。“可重构天线”就是为克服这一瓶颈而提出来的^[1-3]。可重构天线研究旨在寻找一种天线方案, 该方案能够将诸多天线的功能融合到同一天线口径中, 从而用一个天线口径达到“万能”的目的^[4]。在移动终端的狭小受限空间内, 该天线可

以有效地利用频率资源、空间资源, 一方面能通过天线资源的自适应配置, 大大提高通信系统的传输容量。另一方面能通过天线结构的可重构, 满足移动终端多通信业务的融合。

可重构天线按功能可分为频率可重构、方向图可重构、极化可重构和多参数可重构天线。极化可重构由于它能增加独立的收发信道而不增加天线体积, 尤其适用于体积受限的移动终端, 而且极化可调天线可以实现频率复用、消除通信系统中多径衰落, 通过极化控制改善通信系统和遥感系统性能^[5], 因此引起了越来越多的关注。其中圆极化天线由于不存在极化失配的现象, 更容易获得相关性较低的平衡接收功率而呈现较大优势。

项目来源: 国家 973 项目基金资助(2007CB310605)

收稿日期: 2009-10-17 修改日期: 2009-12-01

目前对可重构天线的研究部分依赖于微机电系统(MEMS)技术,将 MEMS 开关集成在天线口径中,用软硬件结合的方式实时控制和调整开关状态,来重构天线特性。在国内外已发表论文中,许多采用了在贴片天线上加载 MEMS 开关或 PIN 开关的方法,通过控制开关通断改变天线结构,实现不同的线极化或圆极化^[6-7]。但是就目前国内外研究的圆极化可重构天线来说,大部分是在单个频段上实现的,在两个或多个频段上同时实现圆极化可重构的天线还鲜有报道,在移动通信领域中,多频技术有着广泛的应用,因此研究多频段圆极化可重构天线有着实际应用意义。

本文设计了一种双频段圆极化可重构微带天线,以方环缝隙结构天线为基础,在方环外面再加上若干个环,通过调整各个环的大小和方环中心距耦合臂距离,就可以使天线谐振在不同的频率上,考虑到天线的小型化和仿真的简便,决定采用 3 环结构,通过精心设计馈电网络,可以使天线在两个不同的频率上同时实现左旋和右旋圆极化。

1 方环缝隙结构分析

正方形环缝隙结构如图 1 所示,从本质上说它是一种微带结构,基片的一面是金属接地板,上面开了一个方环形缝隙,另一面用开路微带线馈电。通过调整微带线终端与缝隙中心的相对位置以及缝隙尺寸来获得最佳匹配。

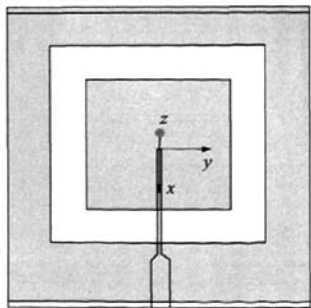


图1 方环缝隙微带天线

方形缝隙环天线结构的主要参数有环缝大小(ra 、 rb)、环缝宽度(w)、介质板大小($la \times lb$)以及馈线终端与环缝中心距离 dl 。环形的周长一般为一个导波波长 λ_g ,所以 ra 和 rb 的长度由工作频率 f 决定。 λ_g 的近似算式为^[8]:

$$\frac{\lambda_g}{\lambda_0} = 0.9217 - 0.277 \log(\epsilon_r) + 0.0322 \left(\frac{w}{h} \right) \cdot \left(\frac{\epsilon_r}{w/h + 0.453} \right)^{1/2} - \frac{3.65}{\epsilon_r^2 (w/\lambda_0)^2 (9.06 - 100(w/\lambda_0))} \quad (0.0015 \leq w/\lambda_0 \leq 0.075, 3.8 \leq \epsilon_r \leq 9.8) \quad (1)$$

根据文献[8]缝隙宽度相对波长比值增大时,反射损耗会降低,但是工作频率会升高;反之,反射损耗增加,工作频率降低。

环缝天线的远场方向由缝隙的电场分布决定,根据电矢量位法计算可以求得,远区电场的 θ 和 ϕ 分量可写成

$$E_\theta = \frac{\cos(k_0 a \cos\theta/2)}{\pi/2a} - C \frac{\cos(k_0 s \cos\theta/2)}{\pi/2s} \quad (2)$$

$$E_\phi = \sin\theta \left\{ \frac{1}{(k_0 \cos\theta)^2 - (\pi/2a)^2} [k_0 \cos\theta \cdot \sin(k_0 a \cos\theta/2) - \frac{\pi \cos(k_0 a \cos\theta/2)}{2a}] - \frac{C}{(k_0 \cos\theta)^2 - (\pi/2s)^2} \cdot [k_0 \cos\theta \cdot \sin(k_0 s \cos\theta/2) - \frac{\pi \cos(k_0 s \cos\theta/2)}{2s}] \right\} \quad (3)$$

式中 C 是内环的最大绝对电场与外环的最大绝对电场之比, a 为外环的边长。

从式(2)和(3)可看出,当 $ak_0 = 1$ 时,环缝天线工作在基模状态。工作在这一状态时,天线在垂直于环缝所在平面的方向上增益最大,即天线方向图主瓣指向这一方向。当 $ak_0 = 2$ 时,环缝天线工作在 TM_{21} 模式,该模式下,天线在垂直于环缝所在平面的方向上有一个零限,最大辐射方向为端射方向,而垂直于环缝所在平面的方向上增益为零。此天线还可以工作在更高阶的模式下,不过,随着模式的增高,天线的表面波和高次模激励将严重恶化天线的轴比情况,如果要获得良好的轴比,天线应尽量工作在低阶模式^[9]。

环缝天线的高阶模式并不是一无是处,比较明显的好处是可以减小天线尺寸,有利于天线小型化。考虑到本文的设计需要良好的轴比带宽,综合这些因素,确定天线工作在基模状态,并采用一些有效方法尽量减小天线尺寸。同时由于环缝内场分布不均匀,且存在边沿绕射场,故环缝天线的远场方向图会出现旁瓣^[10]。因此对它的分析不能简单利用磁流环等效。当沿缝隙的磁流分布均匀时,对环形缝隙的激励最佳。

2 方环缝隙天线频带的展宽

在匹配良好的情况下,方环缝隙天线带宽可以达到5%以上,较直接馈电方式的微带天线有一定提高,但仍然不能满足日益增长的宽带通信的要求。本文前期研究表明,在天线上开槽可以扩展频带,这可解释为:开槽可等效为引入阻抗匹配元件,使天线表面的电流路径弯曲,这样就增大了电流路径,相当于增大了辐射单元的有效长度。下面将分别在天线上引入矩形槽和十字形槽,利用HFSS仿真软件进行分析,观察天线带宽的改善情况,天线结构和仿真

曲线如图2、图3和图4所示。

从图4可以看出,在不增加天线体积的情况下,引入矩形槽和十字形槽对带宽有了较大程度的改善, $S_{11} < -15$ dB的频率范围从4.85 GHz到5.65 GHz,相对带宽可达15%,与引入矩形槽情况比较,十字形槽天线的 S_{11} 衰减程度更大。另外十字形槽将方环缝隙天线中心的贴片分成了四个部分,方便了多点馈电等应用,为下面的圆极化可重构天线设计提供了方便。

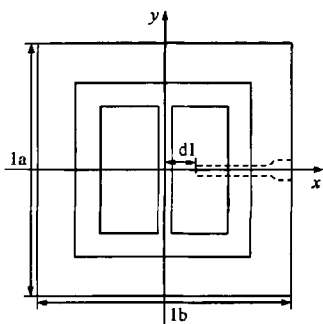


图2 矩形槽环缝天线结构

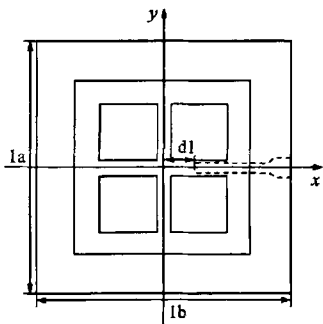


图3 十字形槽的环缝天线结构

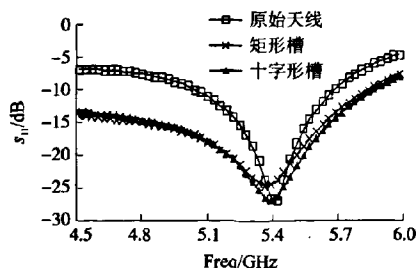


图4 三种结构天线阻抗带宽对比图

3 双频段圆极化可重构微带天线设计

目前国内外研究的圆极化可重构天线大部分是在单个频段上实现的,在两个或多个频段上同时实现圆极化可重构的天线还鲜有报道,在移动通信领域中,多频技术有着广泛的应用,因此研究多频段圆极化可重构天线有着实际应用意义。

为了达到天线的小型化和仿真的简便的目的,在方环缝隙微带天线的外面再加上了3个环,通过调整各个环的大小和方环中心距耦合臂距离,就可以使天线谐振在不同的频率上,左旋和右旋圆极化天线分别如图5和图6所示,本天线将起到可重构作用的馈电部分设置在 $100\ \Omega$ 馈线上,采用倒角结构减小电磁波反射,且只采用两个与环缝耦合的馈电臂,尽最大可能减小可重构时多余的耦合部分。图中馈电部分的深色方块为MEMS开关,这些开关分为两组,仿真时采用理想开关等效。通过开关控制两个馈电臂的长度使得两个馈电臂上相应位置的电流幅值相等,使某一馈电臂上电流相位超前或滞后另一馈电臂 90° ,从而实现左右旋圆极化的切换。

为了叙述简便,各个环从小到大大分别称为A、B、C环,天线相关尺寸分别为:介质板尺寸为 $34\text{ mm} \times 32\text{ mm}$;A环缝内边长为 5 mm ,外边长为 6.5 mm ;B环缝内边长为 7.4 mm ,外边长为 9.6 mm ;C环缝内边长为 11 mm ,外边长为 14 mm ;馈电臂长度 $l_t = 8.8\text{ mm}$,方环中心距馈电臂距离 $d_l = 3\text{ mm}$,两馈电臂长度差为 6.8 mm ,十字形槽宽度 $st = 0.7\text{ mm}$ 。以右旋结构为例,相应的 S_{11} 参数、AR曲线如图7和图8所示。

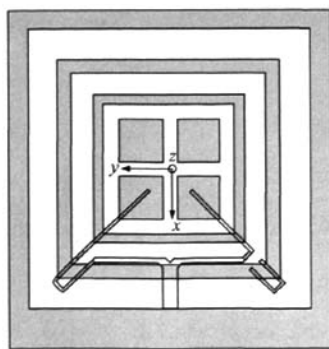


图5 多环可重构天线 RHCP 结构示意图

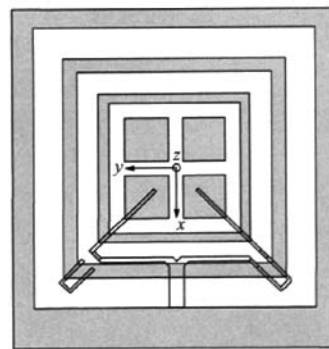


图6 多环可重构天线 LHCP 结构示意图

从图7可以看出,所设计的天线可以工作在 4.9 GHz 和 5.8 GHz 两个谐振频率点上, S_{11} 最低值

都在 -30 dB 以下,说明天线匹配情况良好,在第一谐振点处,天线的绝对带宽为 550 MHz,相对带宽为 11.2% ,在第二谐振点 5.8 GHz 处,天线的绝对带宽为 800 MHz,相对带宽为 13.8% 。

从图 8 可以看出,天线在两个谐振频率点上都实现了圆极化,在第一谐振点处, $AR \leq 3$ dB 频率范围从 4.83 GHz 到 4.97 GHz,相对轴比带宽达 2.8% ,在第二谐振点处, $AR \leq 3$ dB 频率范围从 5.72 GHz 到 6.14 GHz,相对轴比带宽达 7.2% 。

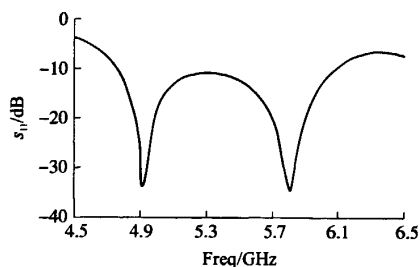


图 7 多环可重构天线 RHCP 结构 S_{11} 参数曲线图

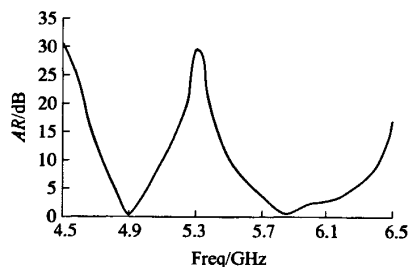


图 8 多环可重构天线 RHCP 结构 AR 参数曲线

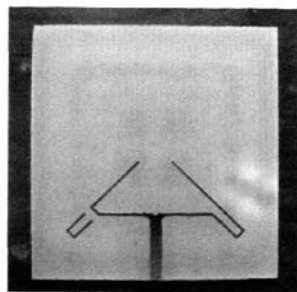


图 9 RHCP 结构正面图

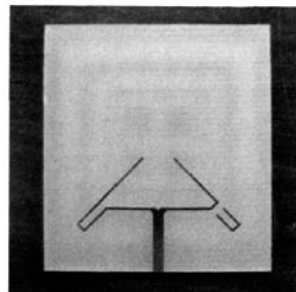


图 10 LHCP 结构正面图

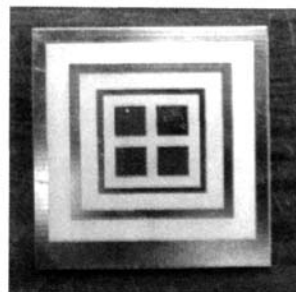


图 11 背面图

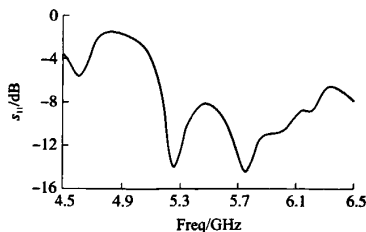


图 12 实测 RHCP 结构 S_{11} 参数

4 天线实物及测试分析

根据上面仿真结果制作了实物天线,如下图所示。其中图 9 为 RHCP 结构正面图,图 10 为 LHCP 结构正面图,图 11 为两种结构背面图。通过矢量网络分析仪实测,得到 RHCP 结构 S_{11} 参数曲线如图 12 所示,从图 12 可以看出,天线的 S_{11} 曲线与仿真曲线基本上是吻合的,这也证明了这种可重构天线的可行性。考虑到实物测量时各个射频接头处存在一定的阻抗失配,这会造成一部分电磁波的反射,降低性能,因此一般认为实测图中 S_{11} 低于 -10 dB 以下天线的带宽即为其阻抗带宽,以右旋结构为例,在第一谐振点 z 处,天线的带宽从 4.85 GHz 到 5.05 GHz,在第二谐振点处,天线的带宽从 5.4 GHz 到 6 GHz,较仿真结果有一定的减小,这是符合实际情况的。而且实测结果中,第二谐振点发生了少量的偏移,这是由于天线在制作过程中的各种误差因素造成的,由于偏移量比较小,这是可以接受的。

天线的轴比特性是通过测量天线的方向图得到的,即把设计的天线放在发射位置,用固定在一定角度的喇叭天线接收,发射天线旋转一周,得到一方向图,然后喇叭天线旋转 45° ,发射天线再旋转一周,得到另一方向图,一直到喇叭天线旋转一周,总共得到 8 个方向图,把这八个方向图放在一起,由于是圆极化,方向图重合或比较接近的地方即是天线圆极化比较好的地方,天线在 4.9 GHz 和 5.8 GHz 的各个方向图如图 13 和图 14 所示。

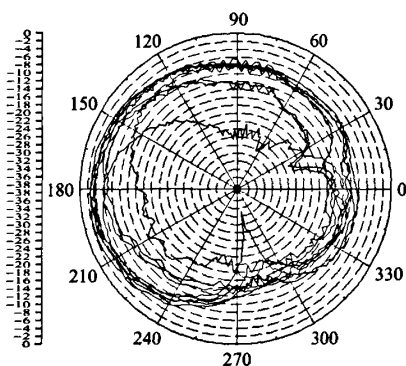


图13 天线在4.9 GHz的方向图

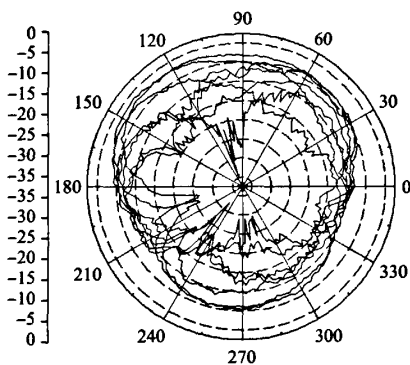


图14 天线在5.8 GHz的方向图

通过观测可知,在4.9 GHz附近,300°~360°内,各个方向图比较接近,可认为天线的圆极化比较好,在5.8 GHz附近,-30°~15°内,各个方向图比较接近,在这个角度内,天线的圆极化比较好。

以上可以看出,天线实测结果与仿真结果基本吻合,证明了该设计的有效性。

5 结束语

本文在方环缝隙结构天线的基础上,设计和制作了一种双频段圆极化可重构天线,并通过仿真和实测

验证了这一天线的性能。天线通过 MEMS 开关控制两个馈电臂的长度,使加在两臂上的电流幅度相等且某一臂上的电流相位超前或滞后另一臂 90°,从而实现左、右旋圆极化的可重构天线。所设计天线采用多环缝隙结构,在 MEMS 开关的控制下,可在 4.9 GHz 和 5.8 GHz 两个频率上同时实现左旋和右旋圆极化,两个频带的相对带宽分别达到 11.2 % 和 13.8 %,很好地实现了圆极化可重构天线的双频带特性,这一结构天线在移动通信系统和天线阵列中有很大的应用价值。

参考文献:

- [1] 杨雪松,王秉中. 可重构天线的研究进展[J]. 系统工程与电子技术,2003,25(4):417-421.
- [2] 杨雪松. 微带可重构天线研究[D]. 成都:电子科技大学博士论文,2006.
- [3] Kou J S, Lwong K. A Compact Microstrip Antenna with Meandering Slots Ground Plane[J]. Microwave Opt. Technol. Lett, 2001, 29(2): 95-97.
- [4] 王安国,张佳杰,等. 可重构天线的研究现状与发展趋势[J]. 电波科学学报, 2008, 23(5): 997-1003.
- [5] Yang Xuesong, Wang Bingzhong, Wu Weixia. Pattern Reconfigurable Patch Antenna with Two Orthogonal Quasi-Yagi Arrays [C]//Antennas and Propagation Society International Symposium 2005, IEEE, 2005, 7: 617-620.
- [6] 陈铁博,焦永昌,张福顺. 极化可变可重构微带天线[J]. 微波学报,2008,24(1):23-26.
- [7] Chiap J C. MEMS RF Devices for Antenna Applications[C]//Asia-Pacific Microwave Conference, 2008: 895-898.
- [8] Steven S L, Yang K M, Luk. A Wideband Circularly Polarized Patch Reconfigurable Antenna Excited by L-shaped Probes[C]//Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, 2006.
- [9] Chiap J C. MEMS RF Devices for Antenna Applications[C]//Asia-Pacific Microwave Conference, 2008: 895-898.
- [10] Rivera I C. Tunable Slot-Ring Antenna Using Varactors[D]. Thesis of Master of Science in Electrical Engineering University of Puerto Rico Mayaguez Campus, 2003.



李媛(1957~),女,1982年1月毕业于成都电讯工程学院(现电子科技大学)电子工程系,1991年在天津大学获工学硕士学位。现为天津大学电子信息工程学院副教授。研究方向为微波集成电路理论及设计,电磁场数值分析,光子晶体天线,智能天线及 MIMO 多天线技术。

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)，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>