

# 一种带宽扩展的小型化微带天线

韩国栋 顾长青

(南京航空航天大学信息科学与技术学院,南京,210016)

**摘要:**设计了一种中心频率位于 S 波段、结构简单的单层微带贴片天线。一方面,通过在贴片表面加载变形的 Sierpinski 分形槽,使天线的谐振频率降低了 287 MHz,实现了贴片尺寸的缩减;另一方面,在天线接地面上加载地面缺损结构(DGS),通过优化 DGS 在接地面上的布局,当天线工作在 2.4 GHz 时,  $R_{VSW}$ (电压驻波比)  $\leq 2.0$  的绝对带宽有 219 MHz,比不加 DGS 的同类天线提高了 3 倍多。综合应用上面两种技术后,加载 DGS 的小型化天线的绝对带宽也有 174 MHz,达到了缩减天线尺寸和带宽扩展的双重效果。

**关键词:**微带天线;变形 Sierpinski 分形结构;尺寸缩减;地面缺损结构;带宽扩展

中图分类号:TN822 文献标识码:A 文章编号:1005-2615(2006)06-0674-05

## Miniaturization and Bandwidth Extension of Microstrip Antenna

Han Guodong, Gu Changqing

(College of Information Science and Technology, Nanjing University of  
Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China)

**Abstract:** A simple microstrip antenna in S band is designed. To reduce its size, a quasi Sierpinski fractal slot is applied on the patch, and the resonant frequency is reduced to 287 MHz. Then the DGS (Defected ground structure) is reduced. By optimizing the position of DGS, the absolute bandwidth of conventional antennas with DGS can be expanded to 219 MHz with  $R_{VSW} \leq 2.0$ , which is 3 times more than those without DGS, when the antenna works at 2.4 GHz. And the absolute bandwidth of antennas by virtue of DGS is 174 MHz. Therefore, the scheme has double effects: size reduction and bandwidth extension.

**Key words:** microstrip antenna; quasi Sierpinski fractal structure; size reduction; defected ground structure(DGS); bandwidth extension

## 引言

为适应移动通信技术的应用,现代通信天线正在向小型化、多频段、多极化和多用途的方向发展,小型化宽频带微带天线则成为需求的一个趋势。而缝隙加载是微带天线小型化的一种重要方式,其体积小、易于加工等优点,在微带天线的工程应用中有一定的潜力<sup>[1]</sup>。文献[2-4]提出了一种实现天线小型化的设计方案,即在单层的贴片天线上加载 U型槽或者 V型槽,使贴片表面电流的流向发生弯

曲,流过的路径增长,从而降低谐振频率。文献[5]提出的贴片表面加载分形槽也可达到谐振频率减小的效果。但是微带天线的 Q 值高,因此辐射效率低、频带窄,必须经恰当设计才能获得良好性能<sup>[6]</sup>。近年来,国内外的许多学者利用 EBG(Electromagnetic band gap)结构在某一频段内对电磁波形成一定的阻带,使电磁波沿某一方向不能传输,达到提高天线增益、扩展带宽的目的<sup>[7-8]</sup>。针对 EBG 是周期性结构、应用中需要很多单元的问题,又有学者使用了同样具有电磁阻带特性,但不需要周期结

基金项目:江苏省自然科学基金(BK2002093)资助项目。

收稿日期:2006-05-16;修订日期:2006-09-04

作者简介:韩国栋,男,博士研究生,1980 年生;顾长青(联系人),男,教授,博士生导师,E-mail:Gucq0138@sina.com。

构的 DGS 形式,实现了天线带宽的扩展<sup>[9]</sup>。

图 1 是本文使用 HFSS 电磁仿真软件对文献[5]中图 2(a)微带天线模型的仿真结果,并与文献的仿真值和测量值进行比较,验证了软件使用的正确性。但是文献[5]中小型化以后的天线在  $R_{VSW} \leq 2.0$  时带宽仅为 12 MHz,这在工程中实际应用价值不高。本文重新设计了一种单层基板的方形微带贴片天线,在该贴片表面加载变形的 Sierpinski 分形槽后,使天线的谐振频率降低了 287 MHz,十分有利于天线的小型化。另外,通过在此贴片天线接地上面上加载 DGS 方法来扩展天线带宽,加载 DGS 的天线在  $R_{VSW} \leq 2.0$  时的绝对带宽是未加 DGS 天线的 3 倍多,由原来的 65 MHz 增加到了 219 MHz。综合应用上面两种技术后,加载 DGS 的小型化天线带宽也有 174 MHz,因此本文最终所设计的天线既实现了天线小型化,又加大了天线的阻抗带宽。

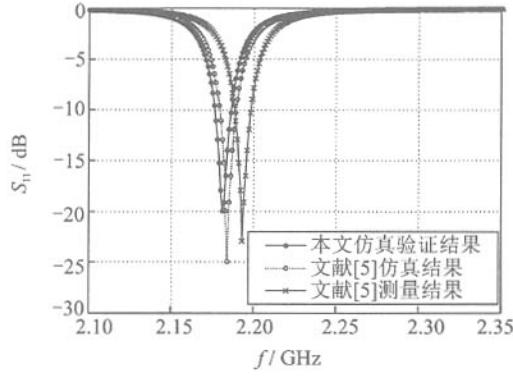


图 1 文献[5]中天线模型的  $S_{11}$  仿真、测量曲线以及本文的验证曲线

## 1 天线的小型化研究

本文设计的单层微带贴片天线工作频率为  $f_0 = 2.4$  GHz。选取的贴片尺寸为  $L \times L = 28.7$  mm  $\times$  28.7 mm,天线固定在尺寸为  $G \times G = 50$  mm  $\times$  50 mm 的基板垫片上,其材料选用 FR4,相对介电常数为  $\epsilon_r = 4.4$ ,损耗角正切  $\tan\delta = 0.02$ ,介质板厚度  $h = 1.6$  mm。对贴片天线使用同轴馈电,馈电点到贴片中心  $O$  的距离  $d_p = 6.1$  mm,具体结构如图 2 所示。通过对贴片天线的仿真,得出了天线的工作频率为  $f_0 = 2.387$  GHz,  $R_{VSW} < 2.0$  的带宽为 65 MHz。

为了缩减单层微带天线的贴片尺寸,文献[2-4]提出在贴片上加载 U 型槽或者 V 型槽的方案,目的是使贴片表面电流的流向发生弯曲,流过的路径增长,相当于增大了贴片长度,因而降低谐

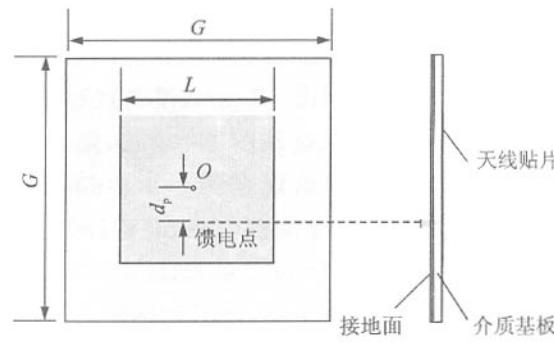


图 2 本文设计的天线模型与馈电方式示意图

振频率。本文采用的是在贴片表面加载变形的毯式 Sierpinski 分形槽方案。加载变形的毯式 Sierpinski 分形槽的过程与毯式 Sierpinski 分形微带天线的生成过程类似:即将方形贴片分为 9 部分,每一部分均为边长  $L_1 = L/3$  的正方形,一阶分形槽是将中心的正方形移除;二阶分形槽是将一阶分形后剩余的 8 部分中的每一部分重新分为边长为  $L_2 = L/9$  的 9 个相同的小正方形,然后每块中心的小正方形移除;三阶分形槽的生成过程与二阶槽的生成相同,移除的正方形边长为  $L_3 = L/27$ 。图 3 是本文所用的二阶变形 Sierpinski 分形结构,它是在一阶分形槽的中部留一桥带,其尺寸为  $L_b \times W_b$ 。当  $L_b = 0$  时退化为标准的 Sierpinski 分形结构,而  $L_b = L/3$  即为文献[6]所提出的模型。

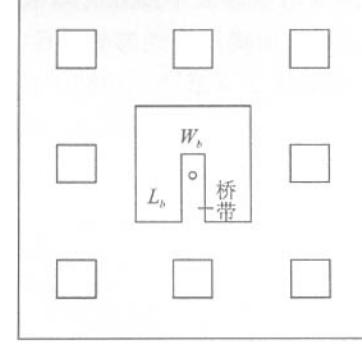


图 3 加载二阶变形 Sierpinski 分形槽的天线模型

通过仿真发现,当  $L_b = 0$  时,虽然天线谐振频率向下偏移较大,但是天线中心的槽口使馈电点位置选择范围受限,导致天线输入端阻抗匹配不合理,满足  $R_{VSW} < 2.0$  的带宽几乎消失。所以通过图 3 桥带改善馈电性能,并讨论不同  $L_b$  和  $W_b$  对天线谐振频率的影响。

研究表明,  $W_b$  对天线的谐振频率影响是有一定范围的,随着  $W_b$  的增加,天线的谐振频率不断降低,但是当  $W_b \geq 5$  mm 时,谐振频率基本维持在

2.11 GHz 左右。而对于  $L_b$  的取值,由于桥带的截断端是馈电点的开路端,因此对天线输入阻抗的匹配影响较大,本文取  $W_b=5$  mm, 馈电点距桥带顶端的距离  $d_i=0.5$  mm。从图 4 中看出,随着  $L_b$  的不断变化,最大频偏出现在  $L_b=3.8$  mm,  $W_b=5$  mm, 此时谐振频率下降到  $f_r=2.1$  GHz,  $R_{\text{vsw}} \leq 2.0$  带宽为 50 MHz。

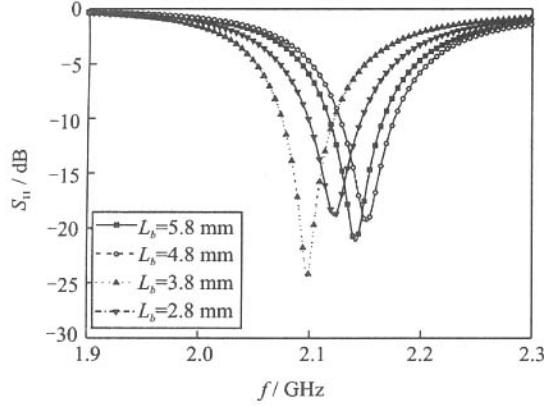


图 4 不同  $L_b$  时, 天线的回波损耗随谐振频率的变化曲线

## 2 天线带宽的扩展

### 2.1 地面缺损结构(DGS)的应用

在接地面加载周期性的缺损结构称为地面加载 EBG。EBG 技术是根据光学中的 Bragg 反射条件, 在某一频段内电磁波不能在介质表面传输, 形成一定的阻带, 进而提高天线的辐射性能。这里采用 HFSS 仿真验证了文献[10]中图 1 模型, 得到的阻带特性如图 5 所示。从图中看出, 本文的仿真结

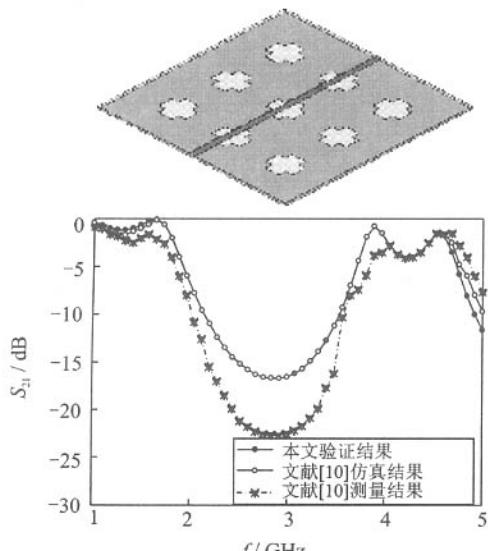


图 5 文献[10]阻带设计模型以及本文验证曲线与文献结果的比较图

果与文献[10]的仿真结果几乎完全一致, 并与其测试结果进行了对比。

本文根据贴片天线的介质板参数以及工作频率等, 设计并仿真了周期性圆孔 EBG 结构的阻带特性。在利用微带线研究周期性 EBG 结构的阻带时, 考虑到电磁能量主要集中在微带线下方, 所以只用一排位于微带线下方的 EBG 结构代替布满整个接地面的 EBG。本文采用的结构如图 6 所示。

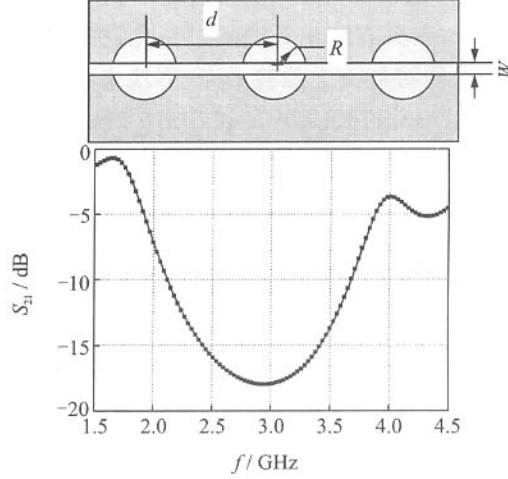


图 6 本文阻带设计模型与  $S_{21}$  曲线

Bragg 反射条件<sup>[11]</sup>给出

$$\beta \cdot \pi = d$$

式中:  $\beta$  为介质基片中电磁波在阻带中心频率下的波数;  $d$  为地面加载 EBG 结构的周期长度,  $R$  为圆孔半径, 两者的关系为  $R=d \cdot T$ 。文献[11]指出, 当比例因子  $T=0.25$  时 EBG 结构的阻带特性最好。同时, 为保证微带线的特征阻抗为  $50 \Omega$ , 当介质基板的介电常数为  $\epsilon_r=4.4$ 、介质板的厚度  $h=1.6$  mm 时, 微带线的宽度  $W$  取 3 mm。图 6 给出了  $d=3$  cm,  $T=0.25$  在中心频率为 2.4 GHz 时的阻带特性, 从曲线中看出, 在 2.1~3.6 GHz 之间, 存在一明显的阻带。

### 2.2 接地面加载 DGS 的微带天线

前面研究的微带贴片天线是固定在  $G \times G=50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$  的接地板上, 如果在接地上加载  $3 \times 3$  EBG 结构, 显然不合适。解决的办法是使用图 7 形式的 DGS, 它既可合理利用有限的接地面, 又不破坏 EBG 阻带特性, 所加载的 3 个圆形孔——圆 A, B, C, 其中心位于边长为  $d=3$  cm 的等边三角形的顶点上。

在图 7 中, 直线 AD 为  $\triangle ABC$  的中轴线, 与过馈电点的贴片天线的中轴线所成角度为  $\varphi$ 。三角形

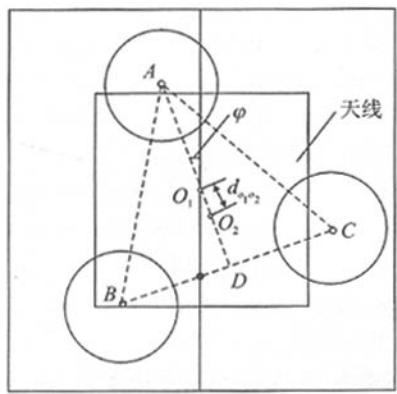


图 7 加载 DGS 的天线模型

重心与贴片中心的距离为  $d_{o_1 o_2} = 1$  mm。因天线的贴片为正方形,在频率  $f_r = 2.4$  GHz 时,天线的工作模式是  $\text{TM}_{10}$  和  $\text{TM}_{01}$  的简并模式,通过调整  $\varphi$  的大小可达到增加天线带宽的目的。DGS 的引入会改变天线的输入阻抗,所以要通过调整馈电点位置使输入阻抗重新匹配。

通过优化发现,当  $\varphi$  为  $135^\circ$  左右时,天线带宽达到最大,为 219 MHz,较原始天线带宽的 65 MHz 有了显著增加,此时馈电点位于  $d_p = 9$  mm 处。图 8 给出了加载 DGS 后天线带宽的比较。在仿真中,作者也曾研究了比例因子  $T$  对天线谐振频率和带宽的影响,发现在  $T \in (0.1, 0.25)$  的范围内,随着  $T$  的增大,天线的带宽逐渐增大,并于  $T = 0.25$  时达到最大,而此时  $T$  的取值,既不破坏地面外围的完整性,又与文献[11]中的结论相一致。

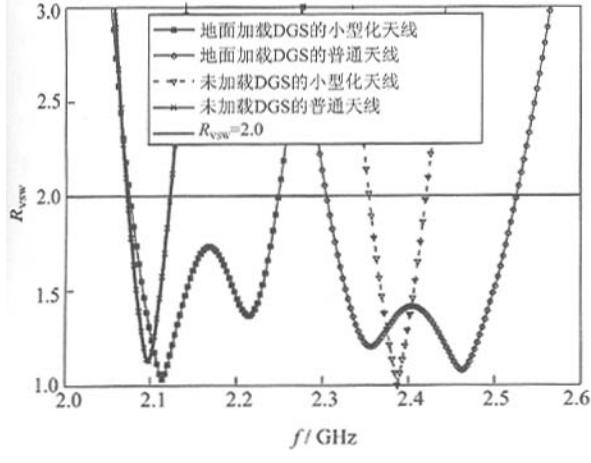
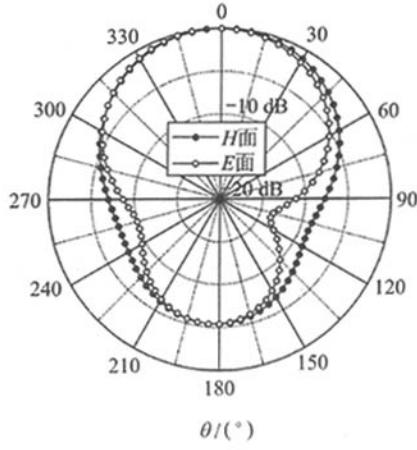


图 8 不同类型天线的带宽比较

### 2.3 接地面加载 DGS 的小型化微带天线

将 DGS 结构应用到小型化后的天线,可得到天线小型化和扩展天线带宽的双重效果。由于此时

的贴片表面加载了变形的 Sierpinski 分形槽,因此需要重新调整  $\triangle ABC$  的旋转角度,同时不断优化馈电点的位置,以达到天线输入阻抗的匹配。采用与普通贴片天线加载 DGS 接地面相同的方法,当  $\varphi = 140^\circ$ , 馈电点与贴片中心  $O_1$  的距离  $d_p = 3.0$  mm 时,天线带宽达到最大,如图 8 所示。天线的带宽由原来的 50 MHz 增加到 174 MHz,可见天线带宽增加的效果相当显著。同时注意到,加载 DGS 结构的小型化天线的频带范围较普通天线加载 EBG 结构减小了 45 MHz,但是频带中心频率向下偏移了近 250 MHz。图 9 给出了加载 DGS 结构以后,小型化天线在频率  $f = 2.115$  GHz 时  $E$  面和  $H$  面的相对功率分布图。可以看出,地面加载 DGS 结构后,电磁能量的反向泄漏较大,导致天线的背向辐射增强,这一缺陷可以通过其他的一些技术加以克服,例如在背面的适当位置放置合适的反射器。

图 9 加载 DGS 的小型化天线  $E$  面和  $H$  面的功率方向性图

## 3 结束语

本文使用 HFSS 电磁仿真软件,在单层方形微带天线的贴片表面上采用加载 Sierpinski 分形槽的小型化技术和接地面采用圆形孔 DGS 的扩展宽带技术,设计了一种结构简单、带宽扩展的小型化微带天线。该天线的谐振频率从单层方形微带天线的  $f = 2.387$  GHz 下降到了  $f = 2.115$  GHz, 谐振频率向下偏移了近 250 MHz,  $R_{\text{VSWR}} \leq 2.0$  的绝对带宽约 174 MHz。设计的天线结构简单,性能良好,在天线工程中具有较好的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 刘培涛,王坚,李英,等. 一种 U 型开槽的平面倒置 F

型双频微带天线[J]. 微波学报, 2005, 21(2):45-48.

- [2] Row J S. Experimental studies of the dual-band planar inverted-F antenna with a U-shaped slot[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2003, 37(5):359-361.

- [3] Rafi G, Shafa L. Broadband microstrip patch antenna with V-slot[J]. IEE Proc Microwave A P, 2004, 151(5):435-440.

- [4] Anguera J, Puente C, Soler J. Miniature monopole antenna based on the fractal hilbert curve[C]//Antennas and Propagation Society International Symposium. San Antonio, Texas, USA: IEEE, 2002, 4: 546-549.

- [5] Han K, Harackiewicz F J, Han S. Miniaturization of microstrip patch antennas using the sierpinski fractal geometry[C]//Proceedings of 2002 Antenna Application Symposium. Monticello, Illinois, USA: [s. n.], 2002, 9:329-330.

- [6] 薛睿峰, 钟顺时. 微带天线小型化技术[J]. 电子技术, 2002, 29(3):62-64.

- [7] Rahman M, Stuchly M A. Wideband microstrip patch antenna with planar PBG structure[C]//Antennas and Propagation Society International Symposium. Boston, Massachusetts: IEEE, 2001, 2: 486-489.

- [8] Salonen P, Keskilammi M, Sydanheimo L. A low-cost 2.45 GHz photonic band-gap patch antenna for wearable systems[C]//Eleventh International Conference on Antennas and Propagation. Manchester, UK: IEE, 2001, 2:719-723.

- [9] 宋海, 华光, 洪伟. 一种基于DGS的宽带双极化三角形微带天线[J]. 微波学报, 2005, 21(4):27-30.

- [10] Menon S K, Kumary L, Aanandan B, et al. A novel EBG structured ground plane for microstrip antennas[C]//Antennas and Propagation Society International Symposium. Washington, DC, USA: IEEE, 2005, 2:578-581.

- [11] Radisic V, Qian Yongxi, Cocciali R, et al. Novel 2-D photonic band gap structure for microstrip lines[J]. IEEE Microwave Guided Wave Letters, 1998, 8:69-71.

## 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>