

基于HFSS的不同馈电贴片天线小型化的研究

卢露

(华侨大学 信息科学与工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要:分析贴片天线工作原理,通过推导公式计算出天线参数,运用Ansoft公司的有限元分析软件HFSS优化修正参数的设置。并分析在不同的馈电方式以及不同的介质材料下贴片天线在S参数,带宽,占用面积以及增益等参数。背馈式贴片天线拥有较宽带宽,占用面积较小,阻抗匹配也较好,而侧馈式天线方向性好,增益较大。在选择材料时采用硅基底比FR4有较低S参数和较小的占用面积,但是方向性较弱。

关键词:贴片天线;HFSS;带宽;S参数;增益

中图分类号: TN828 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3044(2012)16-4013-04

Investigation of Difference Feed Patch Antenna Miniaturization Based on HFSS

LU Lu

(School of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Analysis the operating principle of the patch antenna, deduce formulars to calculate the antenna parameter, use the Ansoft's HFSS finite element analysis software to amend and optimize the parameters. And research the divergence of the S parameter, bandwidth, area used and gain when we impel the antenna in different position with different dykanol. Back fed patch antenna has a wider relative and absolute bandwidth, smaller footprint and impedance matching is also better, the side-fed antenna has superior directivity and gain. If we choice the silicon as the material of substrate will have a lower S parameter and a smaller area used than FR4, but the directivity is weak.

Key words: patch antenna; HFSS; bandwidth; S parameter; gain

微带贴片天线是在有金属接地板的介质基片上沉积或贴附所需形状金属构成的天线,它使用微带贴片作为辐射源,一般应用在1至50GHz的频率范围,有体积小、重量轻、低剖面、能与载体共形、电性能多样化、易集成、馈电方式灵活,便于获得线极化和圆极化等优点^[1]。常用的一类微带天线是在一个薄介质基(如聚四氟乙烯玻璃纤维压层)上,一面附上金属薄层作为接地板,另一面用光刻腐蚀等方法作出一定形状的金属贴片,利用微带线和轴线探针贴片馈电,这就构成了微带天线。这两种天线根据其馈电方式不同,前者为侧馈式微带天线,后者为背馈式微带天线。

该文主要研究了两种馈电方式的微带天线在激励为2.45GHz时的电磁场分布,对其性能进行了比较分析。

1 理论分析

微带片和接地板构成一般微带传输线,传输准TEM波,线段长度取 $l=0.5\lambda_c$, λ_c 为准TEM波的波长,场的传输方向是驻波分布。微带天线中有一维的尺寸远远小于波长,因而天线剖面很低,有利于共形设计保证优良的空气动力特性^[2]。

矩形微带天线的电场可以分解为对接地板的垂直和水平分量,由于垂直分量方向相反,被相互抵消,而水平分量同相增强,需要考虑。所以可以将其辐射场等效为两条平行缝隙的合成辐射场,场方向垂直于W并沿W均匀分布,只需在单缝隙天线的表达式中乘上二元阵的阵因子。通过求解缝隙上等效面磁流所产生的电矢位,可得一开路端缝隙的辐射场为^{[3][4]}:

$$E_r = \varphi j \frac{V_0}{\pi R} e^{-jk_0 \rho} \frac{\sin(k_0 h \sin \theta \cos \varphi)}{k_0 h \sin \theta \cos \varphi} \cdot \frac{\sin(\frac{1}{2} k_0 W \cos \theta)}{\cos \theta} \sin \theta \quad (1)$$

所以,两条平行缝隙的合成场为

$$E = E_r \left(1 + e^{jk_0 L \sin \theta \sin \varphi} \right) = E_r e^{j \frac{1}{2} k_0 L \sin \theta \sin \varphi} \cdot 2 \cos \frac{1}{2} k_0 L \sin \theta \sin \varphi \quad (2)$$

其方向函数为^[5]

$$F(\theta, \varphi) = \frac{\sin(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta)}{\cos \theta} \cdot \cos(\frac{k_0 L}{2} \sin \theta \sin \varphi) \sin \theta \quad (3)$$

其中 k_0 为自由空间的传播常数。E面($\Phi=\pi/2$)H面($\Phi=0$)的方向性函数分布近似为^[6]:

$$F_E(\theta) = \cos\left(\frac{k_0 L}{2} \sin \varphi\right) \quad (4)$$

收稿日期:2012-05-12

作者简介:卢露(1985-),女,初级实验师,硕士,研究方向为微波和射频电路。

本栏目责任编辑:梁书

万方数据

$$F_n(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta\right)}{\cos \theta} \cdot \sin \theta \quad (5)$$

贴片天线采用的介质板材料为FR4和硅基底,相对介电常数为4.4和11.9,介质板的厚度为1.6 mm^[10]。其各项参数由一下几个公式计算得来。

$$W < \frac{c}{2f_r} \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right]^{-1/2} \quad (6)$$

$$\Delta l = 0.412h \frac{(\epsilon_r + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_r - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (7)$$

$$L = \frac{\lambda_c}{2} - 2\Delta l \quad (8)$$

其中c为光速,W为贴片的宽度, Δl 为等效延伸长度,L为贴片的长度,L在理论上近似为 $0.5\lambda_c$,但在工程上要受边缘场的影响,应减去 $2\Delta l$,这些值还需要经过优化再确定。 λ_c 为电磁波波长, $\lambda_0 = \frac{c}{f_r}$, λ_c 为等效电磁波波长, $\lambda_s = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$, ϵ_r 为等效介电常数,

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10h}{W} \right]^{-1/2} \quad (9-10)$$

若辐射边界长宽略大于接地板与介质板的长度,其顶部高于贴片 $\lambda/4$,接地板的长度L以及宽度W,为

$$L_c \geq L + 0.2\lambda_g \quad (9)$$

$$W_c \geq W + 0.2\lambda_g \quad (10)$$

建立坐标系,其中X轴代表贴片天线的贴片长度,Y轴代表贴片天线的贴片宽度,Z轴代表贴片天线的贴片高度。

微带贴片天线在阻抗匹配时是一个封闭的谐振系统,而当频率偏离时,电抗分量就会发生剧烈变动,导致贴片天线带宽很窄^[11]。

对于背馈式天线来说,输入阻抗取决于同轴线的馈电点,天线是 TM_{10} 模式,所以天线强度在W方向上是不变的,在L方向上电场由中点往两侧越来越强,理论上在W上可以任取一点,但是为了避免激发 TM_x 模式,通常将馈电选在W的中点,而在L方向上计算参考式(11),所以阻抗为50Ω的馈电点坐标为 $(X_p, 0, 0)$ ^[11]

其中

$$X_p = \frac{2}{L} - \frac{L}{\pi} \arccos \sqrt{\frac{5W}{6\lambda_0}} \quad (11)$$

2 仿真建模

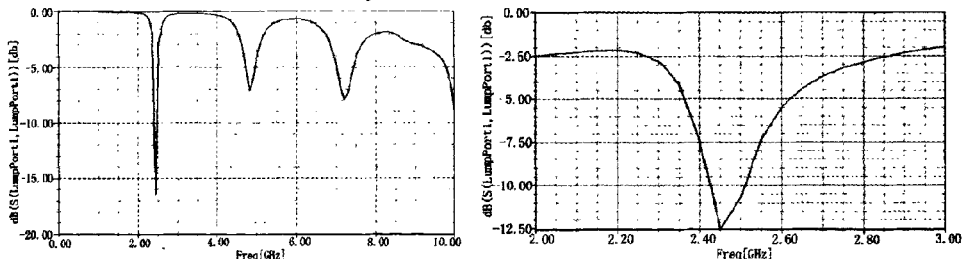
在HFSS中建模,经过优化仿真后,建立了三个模型,背馈式贴片天线采用FR4作为基底介质,基底的长宽都采用50mm,贴片的尺寸为 $W=12\text{mm}$, $L=29\text{mm}$, $X_p=3.45\text{mm}$,同轴馈线半径为0.5mm,外面一层为空气盒子,其长宽均为70mm,高为30mm。

侧馈式贴片天线采用FR4作为基底时,基底的长宽都采用60mm,贴片的尺寸为 $W=28\text{mm}$, $L=34\text{mm}$,馈线长为16mm,宽为3mm,外面空气盒子,长宽均为60mm,高为40mm。

侧馈式贴片天线采用硅作为基底时,其模型如图3所示,基底的长宽都采用52mm,贴片的尺寸为 $W=32\text{mm}$, $L=34\text{mm}$,馈线长为10mm,宽为3mm,外面空气盒子,长宽均为52mm,高为40mm。

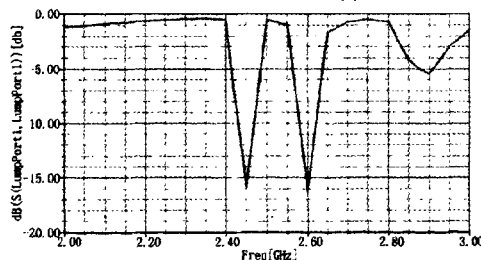
3 仿真分析

将三种贴片天线的贴片和接地板均设置成理想pec面,将外部的空气盒子设置我辐射边界,在馈点均加载2.45GHz的激励。



(a) 背馈式贴片天线的 S_{11} 参数

(b) 侧馈式贴片天线FR4的 S_{11} 参数



(c) 侧馈式贴片天线silicon的 S_{11} 参数

图1 S_{11} 参数

图1的(a)、(b)、(c)分别为三种贴片天线的 S_{11} 参数分布图, S 参数是在波端口处电磁波的反射功率与入射功率之比,它和阻抗匹配有关,并且决定着驻波比。 S 参数图是描述天线的 S 参数随频率变化的图形,一般认为 S 参数小于 -10dB 时,天线才能正常工作。背馈式贴片天线的中心频率为 2.45GHz ,上截止频率是 2.5GHz ,下截止频率是 2.38GHz ,绝对频带宽度为 0.12GHz ,相对频带宽度为 4.90% , S 参数的最低点为 -16.5dB 。

介质为FR4的侧馈式贴片天线的中心频率为 2.45GHz ,上截止频率是 2.515GHz ,下截止频率是 2.425GHz ,绝对频带宽度为 0.09GHz ,相对频带宽度为 3.67% , S 参数的最低点为 -12.5dB 。

介质为硅基底的侧馈式贴片天线的中心频率为 2.45GHz ,上截止频率是 2.47GHz ,下截止频率是 2.43GHz ,绝对频带宽度为 0.04GHz ,相对频带宽度为 1.63% , S 参数的最低点为 -16dB 。

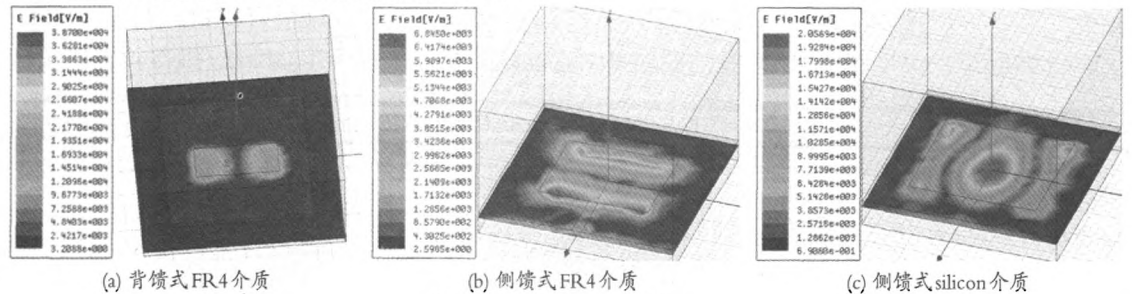


图2 贴片天线XY面电场分布

图2的(a)、(b)、(c)分别为三种贴片天线的XY面电场分布图。背馈式贴片天线的电场分布从 $2.4217\times 10^4\text{V/m}$ 到 $2.4188\times 10^4\text{V/m}$,高电场分布在贴片两端。侧馈式FR4介质的贴片天线的电场分布范围从 $4.3025\times 10^3\text{V/m}$ 到 $6.8450\times 10^3\text{V/m}$,高电场成条状分布在贴片前后端。侧馈式硅基底贴片天线的电场分布范围从 $1.2862\times 10^4\text{V/m}$ 到 $2.0569\times 10^4\text{V/m}$,高电场集中在贴片中间部分。

图3的(a)、(b)、(c)是三种贴片天线的方向图,背馈式贴片天线在各个方向上总的电场分布范围为 $3.1010\times 10^{-1}\text{V}$ 到 7.4228V ,方向图圆润均匀,全向性比较好。侧馈式FR4介质的贴片天线在各个方向上总的电场分布范围为 $-1.2551\times 10\text{V}$ 到 $1.8759\times 10\text{V}$,各个方向的分布还算均匀。侧馈式硅基底贴片天线在各个方向上总的电场分布范围为 $-1.2090\times 10\text{V}$ 到 $1.6550\times 10\text{V}$,此时方向图已经分为两瓣,且E场的最高点也没有分布在Z轴上,全向性较弱。

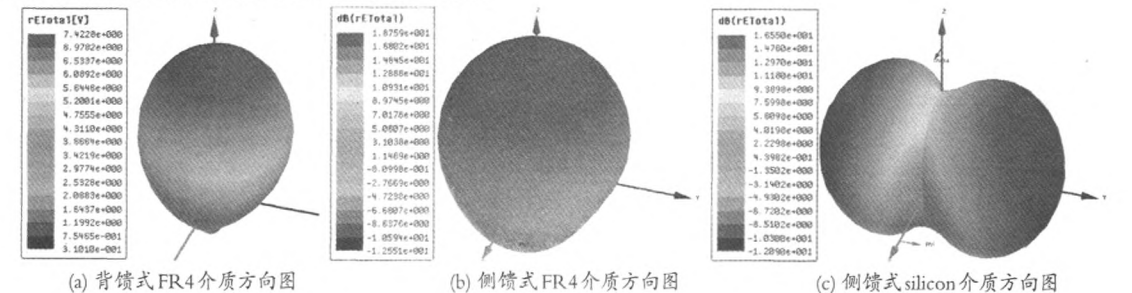


图3 贴片天线方向图

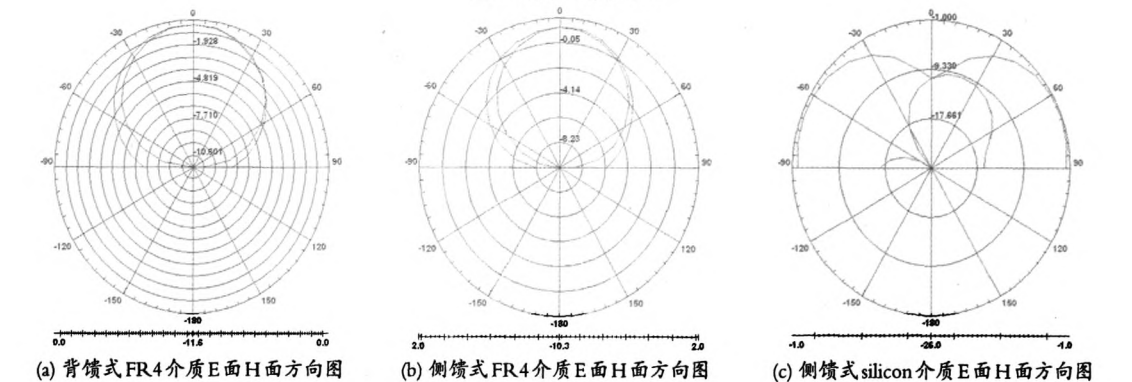


图4 贴片天线E面H面方向图

图4的(a)、(b)、(c)是三种贴片天线的E面H面方向图,其中红色线条是E面的方向图分布,蓝色线条是H面的方向图分布,方向图是用来表示天线的辐射参量随空间方位变化的图形。E面和H面分别反映了天线在XOZ面和YOZ面上的增益大小。通过比较可以看出图13、14的贴片天线对称性比较好,在Z轴方向上,其辐射强度都达到了最大值。其中背馈式贴片天线的增益为 -0.5dB ,侧馈式FR4介质贴片天线的增益为 1.15dB ,可见侧馈式贴片天线在E面和H面在Z轴方向上辐射较强,其方向性更好。而对于侧馈式硅基底贴片天线,其E面对称性也较好,但是在Z轴方向并没有达到其增益最高值,所以其方向性不如另外一个贴片天线理想。

用三个贴片天线的模型进行比较,可以得出以下结论:

- 1) 采用不同的馈电方式,不同的介质,对天线的带宽影响都比较大,背馈式贴片天线的带宽比较宽,在相同的馈电方式的情况下,相对介电常数较高的材料相对带宽和绝对带宽都较窄。
- 2) 背馈式贴片天线相对于侧馈式阻抗匹配较好, S_{11} 参数最低点较大,侧馈式贴片天线采用较高相对介电常数材料作为介质,较容易获得较好的阻抗匹配。
- 3) 相同介质材料来说,背馈式比侧馈式占用面积较小,相同馈电方式来说,相对介电常数较高,占用面积较小。
- 4) 采用FR4材料的背馈式和侧馈式贴片天线方向性都比较好,但是侧馈式贴片天线的增益更好,方向性更强,而采用硅基底的侧馈式贴片天线方向性较弱。

4 结论

该文主要建立了三个贴片天线的模型,对其进行了理论分析,并运用Ansoft公司的HFSS软件对其进行了仿真分析,并对其优缺点进行了比较,根据其各项性能的需要,从天线增益、带宽或者阻抗匹配的角度选择合适的材料和馈电方式,得出结论是背馈式在小型化方面由于侧馈式,也可以才用高介质材料的基片来缩小尺寸。随着天线技术的发展,贴片天线的应用领域也会变得越来越广泛。

参考文献:

- [1] 张钧.微带天线理论与工程[M].北京:国防工业出版社,1988.
- [2] 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,1991.
- [3] Herscovici N, Sopus Z, Kildal S. The Cylindrical Omnidirectional Patch Antenna[J]. IEEE Trans. Antennas Propagation, 2001, 49: 1746-1753.
- [4] 王扬智, 张麟兮, 韦高. 基于HFSS新型宽频带微带天线仿真设计[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(11): 2603-2606.
- [5] Chair R, Kishk A A, LEE K F. Comparative study on the mutual coupling between different sized cylindrical dielectric resonators antennas and circular microstrip patch antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(3): 1011-1019.
- [6] Lee S, Woo J, Ryu M, et al. Corrugated circular microstrip patch antennas for miniaturisation[J]. Electronics Letters, 2002, 38(6): 262-263.
- [7] Mak CL, Luk KM, Lee KF, et al. Experimental study of a microstrip patch antenna with an L-shaped probe[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2000, 48(5): 777-783.
- [8] Wang J J, Zhang Y P, Kai MC, et al. Circuit model of microstrip patch antenna on ceramic land grid array package for antenna-chip codesign of highly integrated RF transceivers[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2005, 53(12): 3877-3883.
- [9] 栾秀珍, 谭克俊, 邵佑诚. 小型矩形微带贴片天线的理论分析[J]. 大连海事大学学报: 自然科学版, 2002, 28(2): 66-68.
- [10] Verma A K, Nasimuddin. Analysis of circular microstrip patch antenna as an equivalent rectangular microstrip patch antenna on iso/anisotropic thick sub-strate[J]. IEEE Proceedings-Microwaves, Antennas and Propagation, 2003, 150(4): 223-229.
- [11] Jaisson D. Simple model for computing the input impedance of a rectangular patch antenna with electromagnetic coupling[J]. IEEE Proceedings-Microwaves, Antennas and Propagation, 2005, 152(6): 476-480.

(上接第4008页)

参考文献:

- [1] 赵海涛, 窦强, 周学智, 等. 武器装备综合测试诊断发展综述[C]. 第六届中国造船工程学会修船技术委员会电子设备维修保障技术学术会议, 2007.
- [2] 朱竟夫, 赵碧君, 杨忠同, 等. 武器装备测试性设计探讨[J]. 测试技术学报, 2002(1).
- [3] 刘鹏远, 李瑞华, 马立元. 复杂武器系统虚拟操作过程建模技术研究[J]. 机械工程学院学报, 2008, 19(6): 12-16.
- [4] 李红巨, 史美林. Petri网在业务过程建模中的应用[J]. 小型微型计算机系统, 2001(1): 29-32.
- [5] Song M, Zhang X, Xu H, et al. A solution of Web Services combination based on JBPM[C]. 2009.
- [6] Salimifard K, Wright M. Petri net-based modelling of workflow systems: An overview[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 134(3): 664-676.
- [7] 李建强, 范玉顺. 基于Petri网化简方法的工作流模型验证[J]. 信息与控制, 2001(6): 492-497.
- [8] 林闯, 田立勤, 魏丫丫, 等. 工作流系统模型的性能等价分析[J]. 软件学报, 2002, 13(8): 1472-1480.
- [9] 王瑜, 李峰. 基于Petri网的工作流模型合理性验证[J]. 电脑知识 & 技术, 2010(11): 2603-2604.
- [10] 曾少宇. 基于JBPM的工作流驱动办公系统的设计与实现[J]. 计算机与现代化, 2010(6): 159-165.

HFSS 视频培训课程推荐

HFSS 软件是当前最流行的微波无源器件和天线设计软件, 易迪拓培训(www.edatop.com)是国内最专业的微波、射频和天线设计培训机构。

为帮助工程师能够更好、更快地学习掌握 HFSS 的设计应用, 易迪拓培训特邀李明洋老师主讲了多套 HFSS 视频培训课程。李明洋老师具有丰富的工程设计经验, 曾编著出版了《HFSS 电磁仿真设计应用详解》、《HFSS 天线设计》等多本 HFSS 专业图书。视频课程, 专家讲解, 直观易学, 是您学习 HFSS 的最佳选择。



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程, 是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装, 可以帮助您从零开始, 全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装, 更可超值赠送 3 个月免费学习答疑, 随时解答您学习过程中遇到的棘手问题, 让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

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, 可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>



更多 HFSS 视频培训课程:

- **两周学会 HFSS —— 中文视频培训课程**

课程从零讲起, 通过两周的课程学习, 可以帮助您快速入门、自学掌握 HFSS, 是 HFSS 初学者的最好课程, 网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/1.html>

- **HFSS 微波器件仿真设计实例 —— 中文视频教程**

HFSS 进阶培训课程, 通过十个 HFSS 仿真设计实例, 带您更深入学习 HFSS 的实际应用, 掌握 HFSS 高级设置和应用技巧, 网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/3.html>

- **HFSS 天线设计入门 —— 中文视频教程**

HFSS 是天线设计的王者, 该教程全面解析了天线的基础知识、HFSS 天线设计流程和详细操作设置, 让 HFSS 天线设计不再难, 网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/4.html>

- **更多 HFSS 培训课程**, 敬请浏览: <http://www.edatop.com/peixun/hfss>

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相关培训课程和 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讲授,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>