

文章编号:1005-6122(2008)06-0060-05

水平极化全向天线的设计*

冯祖建 张立新 孙绍国
(华东电子工程研究所,合肥 230031)

摘要: 提出了水平极化全向天线的一种通用设计方法,通过辐射单元的排列得到了水平全向的方向图,有源阻抗匹配后获得了较宽的频带。该设计使天线的全向性起伏小于0.5dB,增益大于2dB,交叉极化优于-15dB,1.5以下的驻波带宽大于20%。

关键词: 全向天线,水平极化,有源阻抗

The Design of Omnidirectional Antenna with Horizontal Polarization

FENG Zu-jian, ZHANG Li-xin, SUN Shao-guo

(East China Research Institute of Electronic Engineering, Hefei 230031, China)

Abstract: A common method is presented here to design the omnidirectional antenna with horizontal polarization. An optimized the omnidirectionality of the antenna is obtained by arranging the radiators properly. After matching the active impedance of the antenna, we achieved a medium impedance bandwidth. For this antenna, the variations in the azimuth plane is less than 0.5 dB, the gain is greater than 2dB, the cross-polar level is superior than -15dB, within more than 20% bandwidth the VSWR is below 1.5.

Key words: Omnidirectional antenna, Horizontal polarization, Active impedance

引言

全向天线通常是指天线的方向图在水平面内是一个无方向性的圆,全向天线有水平极化、垂直极化和圆极化。垂直极化近似电偶极子的辐射,水平极化近似磁偶极子的辐射。通常垂直极化全向天线的实现较容易,有单极天线、双锥天线等形式^[1]。由于磁偶极子并不存在,所以水平极化全向天线需要靠组阵来实现,常见的形式有圆柱缝隙阵^[1]、圆柱微带阵^[2,3]、旋转场天线^[1]、Alford环等^[1]。而圆极化全向天线或者通过组合两种极化的全向天线来实现^[4],或者直接用螺旋天线实现^[5]。

1 设计过程

1.1 天线结构

在1.2~1.4GHz这个频段,用圆柱缝隙阵尺寸较大,加工调试困难,而旋转场天线一般用于更低频段。最后选择在微带板上印刷微带阵的形式,通过

模拟电流环的办法实现水平全向^[6~8]。这种形式加工制造容易,匹配调试方便,成本低。结构形式如图1所示。

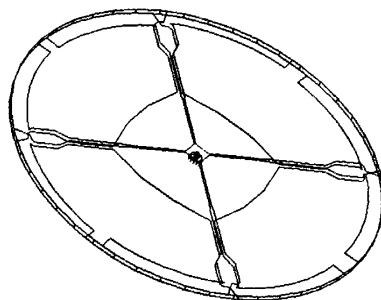


图1 微带全向天线结构示意图

天线直径120mm,选用RO4350,厚度为1.524mm,介电常数为3.48。

1.2 方向图优化

通过对载有均匀同相电流环积分,可以得到电流环的远场波瓣图

* 收稿日期:2007-12-11

$$E_{\varphi} = \frac{60\pi\beta a[I]}{r} J_1(\beta a \sin(\theta)) \quad (1)$$

其中: a 是电流环的半径, β 是传播常数, $[I]$ 代表瞬时电流, r 是场点到源点的距离, θ 是球坐标分量, J_1 是一阶贝塞尔函数。可以发现这种情况下天线的辐射只有水平极化。其中 $\beta a = 2\pi a/\lambda = C_{\lambda}$, C_{λ} 表示用波长度量的圆环周长。在电流环一定,频率不变的情况下,方向图只是 θ 的函数,可以得到电流环的垂直面波瓣的变化规律,如图2所示。

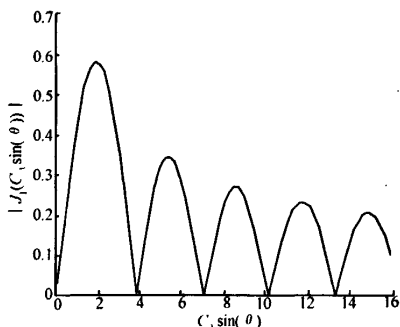


图2 垂直面波瓣和圆环周长的关系

在 θ 的变化范围内,减小 C_{λ} 可以得到单一的波瓣,即可以得到类似磁偶极子的方向图。要在 $\theta = 90^\circ$ 的水平方向得到最大的辐射,必须满足 $C_{\lambda} < 2$,即电流环的半径 $a < \lambda/\pi$ 。针对1.2~1.4GHz的频率范围,需要 $a < 68\text{mm}$ 。

要得到近似均匀电流环的辐射,振子需要按圆环排布,半波振子在谐振情况下,振子上的电流同相,且近似余弦分布。也就是说振子长度需要小于半个波长,并增加振子的个数才能得到近似均匀的电流分布,振子个数越多,电流分布越均匀,但这样会在阻抗并联的时候带来困难。其实通过3~4个振子的方向图叠加就可以获得很好的全向性,但3个振子波纹起伏更小,而4个振子阻抗特性较好^[7,9]。最后从结构对称的角度出发,选用了4个振子。后来发现拉近相邻振子臂的间距,会在间隙处产生电容加载的作用,使振子臂上的驻波电流更均匀,减小了波纹起伏。

1.3 有源阻抗匹配

振子采用了对拓结构,可以很容易地和同轴线实现变换,不需要增加额外的耦合电路,简化了电路。根据文献介绍,对拓结构阻抗带宽较宽^[10],按相邻振子臂反向馈电,可以抑制交叉极化^[11]。

由于是用同轴馈电,需要增加平衡到非平衡的变换,所以同轴线并不直接变换到平行双线,而是先

变换到微带线,然后再变换到对拓振子。利用了一种非频变BALUN^[12]。

由于振子相互之间靠得很近,互耦很大,强烈的互耦使有源阻抗和无源阻抗差别很大,如图3所示。

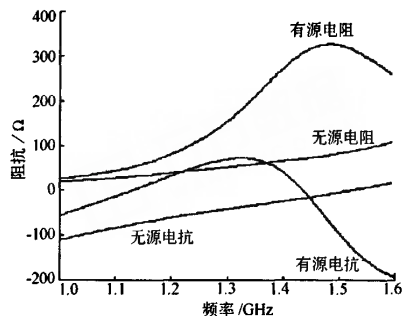


图3 无源阻抗和有源阻抗的对比图

单个振子的谐振通过改变振子的长度和宽度来实现,而有源阻抗的固有谐振需要靠改变振子之间的距离来实现,需要调节电流环的大小和振子之间的间隙。

$$\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{pmatrix} \quad (2)$$

在阻抗匹配时,先用Ansoft的HFSS在各天线输入端设定集总端口,如图4所示,端口阻抗设定为200Ω,4个振子并联后得到50Ω的阻抗,和SMA同轴接头相连接。由于各端口是同相等幅馈电,根据式(2),有 $a_1 = a_2 = a_3 = a_4$,又由于各端口是几何对称的,所以有 $b_1 = b_2 = b_3 = b_4$ 。端口叠加形成有源反射系数, $b = S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14}$,为了快速地匹配电路,我们将有源反射系数导出,利用路的概念来快速匹配电路。在电路匹配中通常使用开路、短路支节线和阻抗变换段来调谐电路。

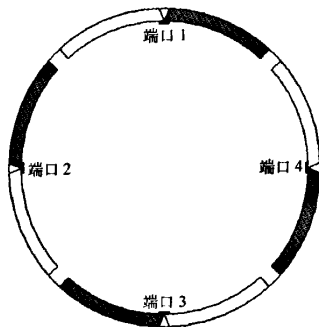


图4 HFSS仿真中集总端口的设定

微带线和平行双线在不同线宽下的特性阻抗和有效介电常数可以由 Ansoft optimetrics 参数扫描得到,其中平行双线为 TEM 模,特性阻抗和有效介电常数基本不随频率改变,微带线属于准 TEM 模,在 200MHz 的范围内,特性阻抗和有效介电常数变化也很小。所以频带内的特性阻抗和有效介电常数都用中心频率的值代替。

表 1 平行双线和微带线的参数表

平行双线			微带线		
W/mm	Z_c/Ω	ϵ_e	W/mm	Z_c/Ω	ϵ_e
0.5	199.26	2.537	0.5	124.01	2.45
0.6	181.95	2.563	0.6	117.78	2.47
0.7	169.93	2.580	0.7	110.52	2.48

将微带线和带状线的阻抗和有效介电常数导出,如表 1 所示,通过 Matlab 方便地调节 Smith 圆图。开始利用了短路支节、开路支节,后发现支节引入的寄生辐射很大(特别是平行双线支节),在高频段交叉极化的增大造成增益的下降,最终只利用阻抗变换段来匹配有源反射系数。匹配过程如图 5 所示。

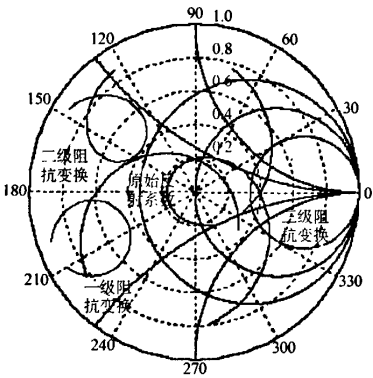


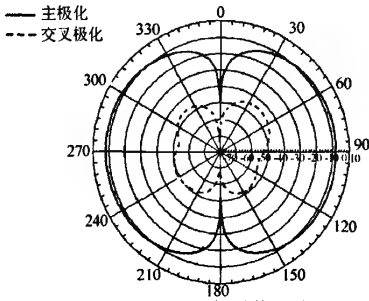
图 5 用 Matlab 匹配天线的有源驻波

2 仿真与测试结果

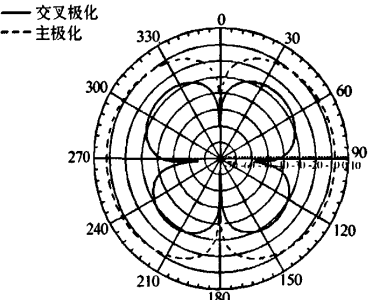
通过 3 次阻抗变换,得到了较好的匹配,虽然没有考虑不连续处引入的电抗,但通过 HFSS 的仿真,结果差别不大。只是发现在只使用阻抗变换段的情况下,在高频仍然有较大的交叉极化,通过在不连续处增加短的渐变,减小了寄生辐射的影响。

如图 6 所示,加上馈电网络后,天线的交叉极化增加了不少,主要是由于传输线上的驻波电流较大,而传输线的宽度相对介质板厚度太细的原因造成了传输线的辐射。可以预见,使用有源阻抗特性较好

的振子形式,可降低传输线上因阻抗匹配引入的驻波电流。使用较宽的传输线和较薄的介质板也可降低传输线的辐射。而使用带状线结构可减小交叉极化。如图 7 所示,天线匹配过后在 260MHz 范围内驻波小于 1.5,在 300MHz 范围内驻波小于 2。



(a) 无匹配网络时天线的交叉极化



(b) 含匹配网络时天线的交叉极化

图 6 天线中心频率交叉极化特性

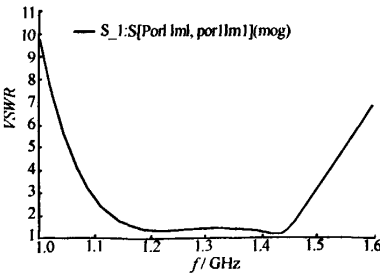


图 7 全向天线匹配过后的驻波

如图 8 所示,在全向性起伏 0.5dB 的情况下,增益达到了 2.2dB。实测情况下由于环境对全向天线影响十分严重,全向性起伏在 1.0dB 左右,可以归结为测试误差,如图 9 所示。

由于垂直面波瓣很宽,这种形式的天线增益不高,增加增益需要将两个天线层叠起来,通过 Wilkinson 功分器等幅同相馈电。如图 10 所示。

根据公式

$$f_{\varphi} = f_0 \cos\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin(\theta)\right) \quad (3)$$

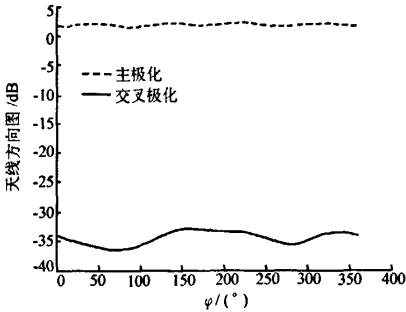


图8 水平面内天线的增益和交叉极化

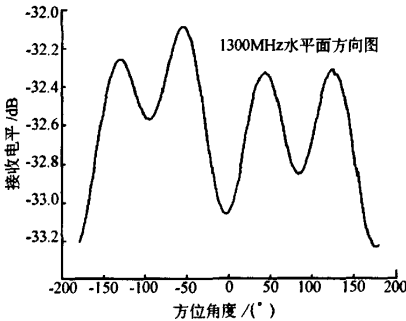


图9 实测中心频率下的水平方向图起伏

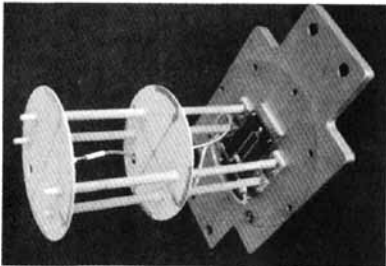


图10 天线实物的结构示意图

其中 d 是两个天线的间距, f_0 是单个天线的方向函数。通过调节间距,在顶空副瓣不是太大的情况下得到了较高的增益。从图 11 可以看出,增益提高到 4.2dB,且在反射板的作用下天线波瓣最大值上翘了约 5°。

如图 12 所示,由于两个天线互耦的作用,天线的驻波进一步降低,在很宽的范围内小于 1.3。

实测天线驻波如图 13 所示,驻波 1.5 以下带宽达到了 27%,和仿真结果基本一致。

3 结论

通过方向图的优化和有源阻抗的匹配,水平极化全向天线的设计效率得到了提高,天线性能也更

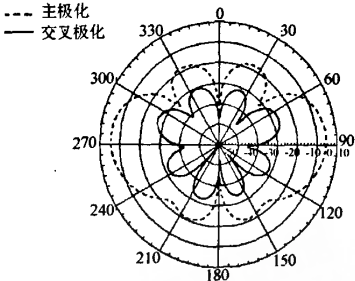


图11 两个层叠天线的增益和交叉极化

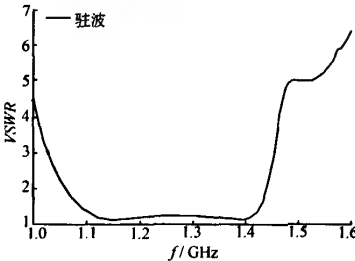


图12 两个层叠天线的仿真驻波

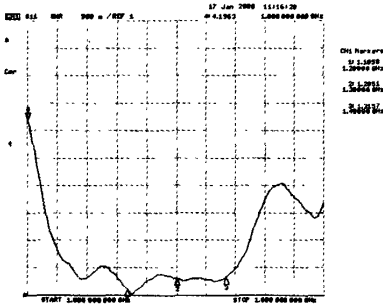


图13 天线实测驻波示意图

加优异。该设计使天线的全向性起伏小于 0.5dB,增益大于 2dB,交叉极化优于 -15dB,1.5 以下的驻波带宽大于 20%。该方法可以通用于环状排列的其它天线形式的设计。

参 考 文 献

[1] John D. Kraus, Ronald J. Marhefka. 天线(第三版)[M]. 北京:电子工业出版社,2004

[2] Immanuel Jayakumar, Ramesh Garg, Sarap B K, Bhagwan Lal. A conformal cylindrical microstrip array for producing omnidirectional radiation pattern [J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1986, 34(10):1258~1261

[3] Hisao Iwasaki. A microstrip array antenna with omnidirectional pattern fed by CPW[C]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, AP-S Di-

- gest, 1996. 1912 ~ 1915
- [4] Kin-Lu Wong, Fu-Ren Hsiao, Chia-Lun Tang. A low-profile omnidirectional circularly polarized antenna for WLAN access point[C]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004. 2580 ~ 2583
- [5] Nakayama K, Kawano T, Nakano H. A conformal spiral array antenna radiating an omnidirectional circularly-polarized wave[C]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 1999. 894 ~ 897
- [6] Jarrett D Morrow. Polarization-adjustable omnidirectional dipole array[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2003, (2) : 223 ~ 225
- [7] Sergey Sevskiy, Werner Wiesbeck. Ultra-broadband omnidirectional printed dipole arrays[C]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2005. 545 ~ 548
- [8] Brachat P, Sabatier C. Wideband omnidirectional microstrip array[J]. Electronics Letters, 2001, 37(1) : 2 ~ 3
- [9] Neil J McEwan, Raed A Abd-Alhameed Embarad M. Ibrahim, et al. A new design of horizontally polarized and dual-polarized uniplanar conical beam antennas for HIPERLAN[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2003, 51(2) : 229 ~ 237
- [10] Fourikis N, Lioutas N, Shuley N V. Parametric study of the co- and crosspolarisation characteristics tapered planar and antipodal slotline antennas[J]. IEE Proceedings-H, 1993, 140(1) : 17 ~ 22
- [11] Sang-Gyu Kim, Kai Chang. A low cross-polarized antipodal vivaldi antenna array for wideband operation[C]. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2004. 2269 ~ 2272
- [12] Miguel Richard, Michael Kanda, Carlo DiNallo, Chou C K. A rugged microstrip tapered Balun printed dipole reference for SAR system verification[C]. IEEE Microwave International Symposium MTT-S Digest, 2002, 3. 1743 ~ 1746
- 冯祖建 男, 1981年生, 毕业于电子科技大学电磁场与微波技术专业, 主要从事微波天线的研究。
- 张立新 男, 1967年生, 主要从事微波天线的研究。
- 孙绍国 男, 1969年生, 高级工程师, 获国防科技进步一三等奖各1项。主要研究领域: 宽带阵列天线, 微波网络。

(上接第55页)

参 考 文 献

- [1] Finkenzeller Klaus. RFID Handbook[M]. London: Wiley, 1999
- [2] Stupf M, Mittra R, Yeo J, Mosig J R. Some novel design for RFID antennas and their performance enhancement with metamaterials[C]. 2006 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2006: 1023 ~ 1026
- [3] Na Y S, Kim J S, Kang Y C, Byeon S G, Rha K H. Design of a 2.45GHz passive transponder using printed dipole rectenna for RFID application[C]. 2004 IEEE Region 10 Conference. 2004, 3: 547 ~ 549
- [4] Chuang H R, Kuo L C. 3-D FDTD design analysis of a 2.4-GHz polarization-diversity printed dipole antenna with integrated balun and polarization-switching circuit for WLAN and wireless communication applications[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003, 51(2) : 374 ~ 381
- [5] Jaisson D. Fast design of a printed dipole antenna with an integrated balun[J]. IEE Proc Microw Antennas Propag, 2006, 153(4) : 389 ~ 394
- [6] Vinoy K J, Jose K A, Varadan V K, Varadan V V. Hilbert curve fractal antenna A small resonant antenna for VHF UHF applications[J]. Microwave and Optical Technology Letters. 2001, 29(4) : 215 ~ 219
- [7] 李秀萍, 刘 禹, 曹海鹰. 基于RFID应用的小型化印刷偶极子天线设计[J]. 北京邮电大学学报, 2006, 29(5) : 75 ~ 78
- [8] 赖晓铮, 张小燕, 赖声礼. 弯折线偶极子天线谐振特性的研究[J]. 微波学报, 2006, 22(3) : 18 ~ 22
- [9] 周 祥, 宋雪桦. 标签天线弯曲对射频识别系统性能影响的研究[J]. 微波学报, 2005, 21(增刊) : 96 ~ 100
- [10] 孙 博. 高速运动条件下的RFID天线研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006
- [11] 赖晓铮. UHF频段射频识别系统与天线研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2006
- 宋立众 男, 1975年生, 副教授, 目前在哈尔滨工业大学电子科学与技术博士后科研流动站从事博士后研究, 研究方向为雷达信号处理、电子对抗、电磁场与微波技术、天线技术。E-mail: slz1975@sohu.com
- 马 宁 男, 1983年生, 哈尔滨工业大学硕士研究生, 主要研究方向为雷达信号处理、天线技术、电磁场与微波技术。
- 吴 群 男, 1955年生, 教授、博士生导师。主要研究方向为射频/微波/毫米波器件与电路、射频/微波集成电路与CAD、天线与电磁兼容性、微波应用系统与测量技术。

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>