

文章编号:1005-6122(2003)04-0058-04

共面波导(CPW)馈电单极子天线的设计与研究*

程崇虎 吕文俊 程勇 曹伟

(南京邮电学院通信工程系,南京 210003)

摘要: 给出一种工作于900MHz的共面波导(CPW)馈电单极子天线的设计。该单极子天线以共面波导的中心导带为辐射单极子,以中心导带两边的金属导体作反射板,结构简单紧凑。但是由于天线与共面波导之间缺少有效的隔离,造成天线性能受共面波导尺寸的影响较严重。本文通过模拟计算和实验测量详细分析了共面波导尺寸的变化对天线性能的影响,给出了结合共面波导尺寸设计的工作在900MHz的单极子天线结构数据。

关键词: 单极子天线, 共面波导, 模拟计算, 设计制作

7N82 A

Study and Design of Monopole Antenna Fed with Coplanar Waveguide (CPW)

Cheng Chonghu, Lv Wenjun, Cheng Yong, Cao Wei

(Dept. of Communication Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003)

Abstract: A monopole antenna fed with a coplanar waveguide (CPW) operating at 900MHz is presented in the paper, in which the central conductor strip of the CPW is used as the monopole to transmit power and the conductor ground of the CPW is used as a reflector. The monopole antenna has a very simple and compact configuration. However, the dimension of the CPW impacts strongly on the performance of the antenna because they are not in effective isolation. The antenna fed by a CPW with different dimensions is investigated numerically and experimentally. And the design of the antenna with a given dimension of a CPW operating at 900 MHz is demonstrated.

Key words: Monopole antennas, Coplanar waveguide (CPW), Simulation, Design and fabrication

1 引言

单极子天线由于尺寸小、结构紧凑而在当今各类通信设备中被广泛应用,其研究设计也因此受到广泛关注。近几年随着移动通信技术的飞速发展,新的技术要求产生了多种新的单极子天线设计方案,如文献[1]提出一种通过附加两个开路单极子实现双频工作的天线结构;文献[2]给出了一种可较大幅度缩小单极子天线尺寸的设计方案;文献[3]介绍了一种采用高介电常数介质材料来缩小天线尺寸的设计方案;文献[4]提出了一种弯曲折叠单极子天线结构。

典型的单极子天线通常由同轴线馈电,以同轴线的内导体作为辐射体,置于金属反射板之上,同轴线的外导体则与反射板相接^[5,6]。实际应用中通常借用设备的金属外壳作为反射板,因此同轴线馈电

的单极子天线通常适用于带金属外壳的通信设备^[7]。对于不带金属外壳的通信设备,通常采用的单极子天线可有两种设计方案,其一是为天线设计专用金属反射板;其二是借用设备中的其他金属体,如微带线、共面波导、带状线等传输线的金属底板。两种方案相比,后者由于省去了一块附加金属板,可使结构更加紧凑,因而更具有实用价值。实际应用中具体采用哪一种馈电结构则取决于天线的前置电路采用的传输线结构^[8~10]。该设计方案存在的问题是天线与前置电路之间缺少有效的隔离,相互影响较为严重,尤其制作电路的传输线的金属底板尺寸直接影响天线的工作频率,因此设计这类单极子天线时须结合制作电路的传输线的尺寸作整体设计。

本文给出了一种共面波导(CPW)馈电单极子天线的设计,该单极子天线以共面波导的中心导带

* 收稿日期:2003-06-12;定稿日期:2003-08-11

为辐射单极子,以中心导带两边的金属导体作反射板,结构简单紧凑。文献[10]中研究的天线结构虽然也由CPW馈电,但它采用的是带金属底板的CPW,这种CPW的性能类似于微带线,而且文献[10]只给出了一种特定尺寸CPW馈电时的天线结构及其性能参数。本文结合馈电结构研究了该单极子天线的性能参数与设计,为充分考察CPW的尺寸对天线性能的影响,对CPW取多种不同尺寸时的天线结构进行了模拟计算、样品制作和实验测量,据此总结出了CPW尺寸的变化对天线性能影响的规律。本文工作主要针对900MHz移动通信系统,因此文中天线与CPW的尺寸都是考虑了通信设备的实际要求而选择的。

2 模拟设计与分析

本文研究的CPW馈电单极子天线的结构如图1所示,图中的CPW不带金属底板,由CPW延伸出来的金属条带即起辐射作用的单极子。

该结构简单紧凑,其中天线与馈电的CPW实际上已形成了一个整体。一般CPW馈电或微带线馈电的天线通常都存在天线对馈线的影响问题,如典型的CPW馈电的环天线或微带线馈电的贴片天线,天线的影响使得天线附近的馈线都不能看作只存在传输模式的通常的传输线,但馈线结构通常对天线并不存在决定性的影响,而图1所示天线结构不仅天线对馈电的CPW存在影响,不同的CPW结构显然对天线也有着决定性的影响,因为CPW的金属导体对天线还有着反射板的作用。

不难看出,该天线结构中影响天线性能指标的参数应包括单极子金属条带的长和宽、CPW的长和宽,以及所用介质基板的参数。本文所用介质基板的相对介电常数 ϵ_r 为16.0,厚度为1mm。选用高介电常数的介质基板是为了缩短单极子金属条带的长度,从而减小整个天线的尺寸。为方便测量CPW的特性阻抗设计为 50Ω ,这时CPW中心导带的宽度可取2.0mm,中心导带与两边金属导体的间隔则应为1.0mm。为简化设计,图1中单极子金属条带的宽度未作改变也取为2.0mm,其长度则取决于天线

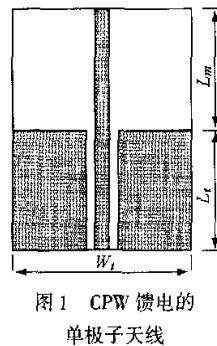


图1 CPW馈电的单极子天线

的工作频率。

天线的分析计算借助于商用模拟计算软件IE3D来进行,该软件采用矩量法结合谱域分析方法来处理分层介质结构中的场问题。实际计算时以CPW的起始端作为输入端,将图1所示结构作为一个整体来做三维场分析。这样,图1中的CPW就不仅有CPW的传输模式场,而且存在辐射场,因此天线与CPW的交界面实际上并不作为分界面来处理。

图2给出了一组单极子金属条带长度 L_m 取不同数值时天线输入端反射系数的频率特性曲线,图中CPW的长 L_r 和宽 W_r 分别取50mm和46mm。由图可见该单极子天线有着良好的宽带特性, L_m 取不同数值时,该天线都具有超过10%的带宽, L_m 的变化改变的仅仅是工作频率。3种尺寸中 L_m 取58mm时天线的中心频率约为900MHz,满足 $VSWR \leq 2.0$ 的频率范围为860MHz~960MHz,该频率范围即900MHz移动通信通常的工作频率。由于介质基板的作用,使该天线金属条带的长度 L_m 仅有1/4波长的2/3左右。

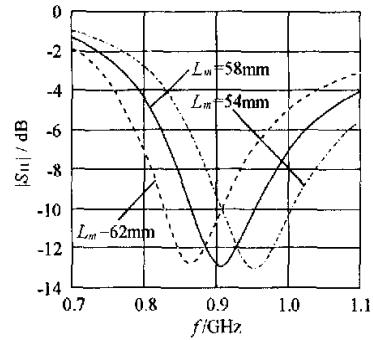


图2 CPW馈电单极子天线的工作频率随单极子长度 L_m 的变化($L_r = 50\text{mm}$, $W_r = 46\text{mm}$)

我们知道常规单极子天线与偶极子天线都属于窄带天线,工作频带一般不超过5%,要实现10%以上的工作带宽则需要对天线结构作进一步的改进,如当单极子为同轴线的内导体时则需要加大内导体的半径。文献[10]中采用的方法是将单极子金属条带设计为三角形的结构。图1所示单极子天线起辐射作用的金属条带仅2mm宽,但已可实现10%以上的工作带宽,这说明CPW馈电的单极子天线结构并不需要作展宽频带的努力即可应用于900MHz移动通信设备,因为10%的工作带宽正是900MHz移动通信设备的带宽要求。

图3所示天线输入端反射系数和增益的频率特

性曲线是在 L_m 保持 58mm 不变, CPW 的宽度 W_t 也保持 46mm 不变而其长度 L_t 取不同数值时的结果。如图所示, CPW 长度 L_t 的变化对天线工作频率的影响十分明显, 这说明对应于不同尺寸的 CPW, 要使天线设计工作在同一频段, 所需单极子金属条带的长度是不同的, 并且 L_t 的变化对天线增益也有一定的影响。

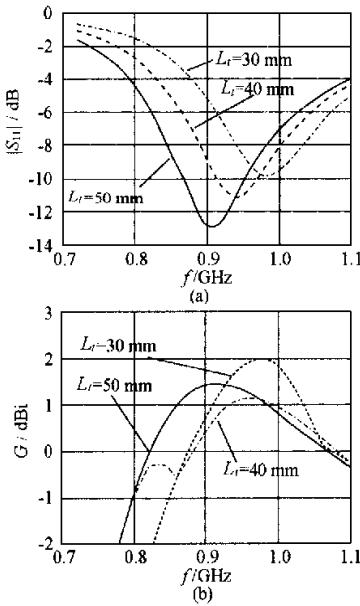


图 3 CPW 饲电单极子天线的频率特性随 CPW 长度 L_t 的变化 ($L_m = 58\text{mm}$, $W_t = 46\text{mm}$)

图 4 中的曲线是在 L_m 保持 58mm 不变, CPW 的长度 L_t 也保持 50mm 不变而其宽度 W_t 取不同数值时的结果。通常 W_t 的变化会引起 CPW 特性阻抗的变化, 这时为使 CPW 保持 50Ω 的特性阻抗, 便需要改变中心金属条带或中心金属条带与两边金属板之间间隔的尺寸, 为不使变动太大, 图中不同曲线 W_t 的变化限制在了一个较小的范围内, 在该范围内由 W_t 的变化而引起的 CPW 特性阻抗的变化可以忽略。由图可见 W_t 的变化对天线性能的影响相对较小, W_t 的变化基本不影响天线的工作频率, 但对天线的工作带宽有着一定的影响, 比较图中的 3 条曲线可以看出, 该单极子天线的工作带宽随着 W_t 的减小而增加, 主要是改善了天线工作频带的高端, 天线工作频带的低端则基本保持不变。

3 制作与测量

围绕以上模拟计算的结构数据可以制作出多个

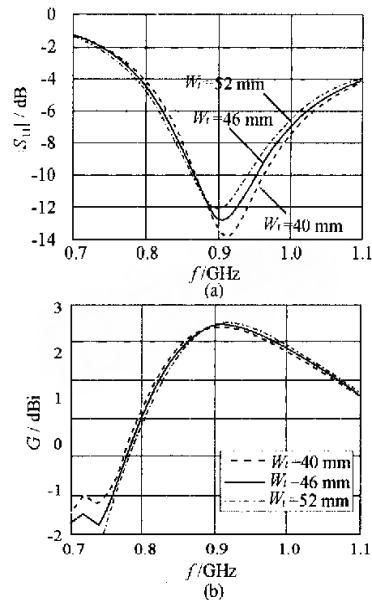


图 4 CPW 饲电单极子天线的频率特性随 CPW 宽度 W_t 的变化 ($L_m = 58\text{mm}$, $L_t = 50\text{mm}$)

CPW 饲电的单极子天线实验样品。实际制作的天线结构与模拟计算的天线结构之间主要差距在于介质基片, 模拟计算时介质基片的横向尺寸是假设为无限大的, 实际制作时显然不可能将天线制作在无限大的介质基片上, 并且从实际使用的角度出发, 介质基片通常即取与金属导体相同的尺寸, 根据经验, 这样制作出来的天线的性能指标与模拟计算的天线的性能指标之间存在一定的偏差, 但偏差一般不会太大。测量时在 CPW 的输入端接上 SMA 接头, 测量工作便可以在网络分析仪上进行。

图 5 为单极子金属条带长度 L_m 分别取 70mm 和 65mm 时天线输入端反射系数频率特性的测量数据, 被测天线 CPW 的长 L_t 和宽 W_t 都取 50mm。由图可见 L_m 取 65mm 时的单极子天线可在 855MHz ~ 970MHz 范围内满足 $VSWR \leq 2.0$ 的工作条件。显然, 天线的频率特性与模拟计算的结果基本一致, 但具体尺寸上存在一定的偏差, 关于单极子长度 L_t 的误差约为 10%, 考虑到介质基板的差异, 这样的误差应在预计范围之内。

图 6 为 L_m 保持 65mm 不变, CPW 的宽度 W_t 也保持 50mm 不变而其长度 L_t 分别取不同数值时的测量结果。如图所示, L_t 取 40mm 时, 满足 $VSWR \leq 2.0$ 的频率范围为 860MHz ~ 975MHz; L_t 取 30mm 时该频率范围为 880MHz ~ 1000MHz。显然该结果

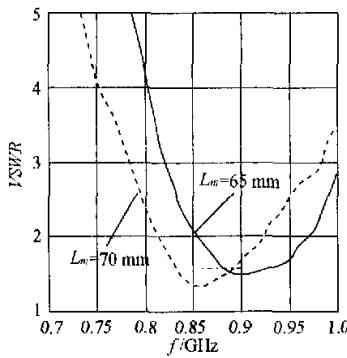


图5 CPW 馈电单极子天线的工作频率随单极子长度 L_m 变化的测量数据 ($L_t = 50\text{mm}$, $W_t = 50\text{mm}$)

验证了图3中模拟计算的结论。

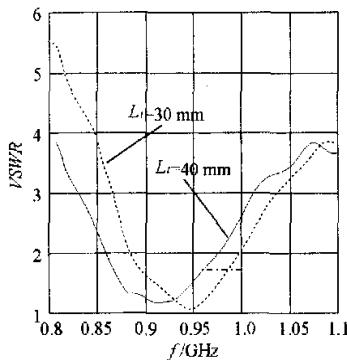


图6 CPW 馈电单极子天线的频率特性随 CPW 长度 L_t 变化的测量数据 ($L_m = 65\text{mm}$, $W_t = 50\text{mm}$)

图7为测量获得的CPW馈电单极子天线工作于900MHz时的辐射方向图,被测天线的尺寸为 $L_m = 65\text{mm}$, $W_t = 50\text{mm}$, $L_t = 40\text{mm}$,方向图测量在微波暗室中进行。如图所示该单极子天线在H面具有良好的全向特性,轻微的不对称主要源于介质基板的影响;其E面方向图则类似于通常的偶极子天线,不同的是该方向图在馈线方向的零点不是十分明显,由于该方向的测量数据受到同轴馈线的影响,因而测量数据存在一定的误差。

4 结论

根据以上模拟计算和实验测量的结果可知,CPW馈电的单极子天线的特性与带反射板的典型单极子天线基本类似,该天线设计工作在900MHz时可实现超过10%的工作带宽,因此可以用作工作于该频段的小型移动通信设备如手提电话等的收发

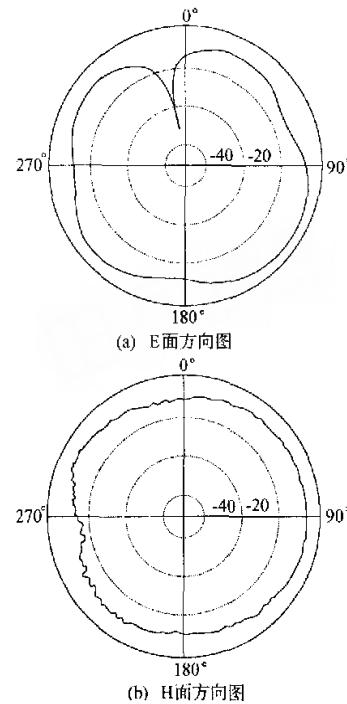


图7 CPW 馈电单极子天线工作于 900MHz 时的辐射方向图 ($L_m = 65\text{mm}$, $W_t = 50\text{mm}$, $L_t = 40\text{mm}$)

天线,但是设计该天线必须将天线与CPW作为一个整体来考虑,否则无法正确设计天线的工作频率,而且在可能的情况下选择合适的CPW的尺寸还可以达到改善天线工作性能的目的。

参 考 文 献

- [1] M Rahman, M A Stuchly, M Okoniewski. Dual-band strip sleeve monopole for handheld telephone. *Microwave Opt. Technol. Lett.*, 1999, 21(2): 79~82
- [2] T Williams, M Rahman, M A Stuchly. Dual-band meander antenna for wireless telephone. *Microwave Opt. Technol. Lett.*, 1999, 24(2): 81~85
- [3] F S Chang, S H Yeh, K L Wong. Planar monopole in wrapped structure for low-profile GSM/DCS mobile phone antenna. *Electron. Lett.*, 2002, 38(11): 499~500
- [4] E Lee, P S Hall, P Gardner. Dual band folded monopole/loop antenna for terrestrial communication system. *Electron. Lett.*, 2000, 36(24): 1990~1991
- [5] A S Meier, W P Summers. Measured impedance of vertical antennas over finite ground plane. *Proc. IEEE*, 1949, 37(6): 609~616

(下转第78页)

5 结论

本文计算了 NEMP 对人体模型的作用, 并在此基础上分析了 NEMP 对人体的潜在危害, 得出如下结论:

1) 在宽频带 HIPEMP 对人体的作用中, 色散效应非常严重, 不同波形产生的效果差别显著, 色散明显加强了人体对电磁能量的吸收。

2) NEMP 对人体有很强的穿透能力, 体内脉冲峰值保持了入射脉冲的 40% 以上, 进入体内的强电场对生物分子的作用一般远大于分子的热运动, 其潜在的生物效应值得重视。

3) 人体对 NEMP 的吸收比较均匀, 在本文的计算中没有看到吸收相对加强的区域。在脉冲频率较低的情况下, NEMP 产生的热效应很小。

4) NEMP 在体内产生了峰值很高的瞬变电流, 其潜在效应值得进一步研究。

下一步的工作有望将计算模型推广到三维真实人体模型。

参 考 文 献

[1] 高本庆. 时域有限差分法. 北京: 国防工业出版社, 1995.

(上接第 61 页)

- [6] K H Awadalla, T S M Macleun. Input impedance of a monopole antenna at the center of a finite ground plane. *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, 1978, 26(3): 244 ~ 248.
- [7] A W C Chu, S A Long, D R Wilton. The radiation pattern of a monopole antenna attached to a conducting box. *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, 1990, 38(12): 1907 ~ 1912.
- [8] C T P Song, *et al.* Sierpinski monopole antenna with controlled band spacing and input impedance. *Electron. Lett.*, 1999, 35(13): 1036 ~ 1037.
- [9] K L Wong, Y F Lin. Stripline-fed printed triangular monopole. *Electron. Lett.*, 1997, 33(17): 1428 ~ 1429.

(上接第 69 页)

- [4] C Luxey, *et al.* Dual-beam array of microstrip leaky-wave antennas. *Electronics Letters*, 1998, 34(11): 1041 ~ 1042.
- [5] C J Hu, *et al.* A two-dimensional beam-scanning linear active leaky-wave antenna array. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 1999, 9(3): 102 ~ 104.

- [2] Hurt W D. Multiterm Debye dispersion relations for permittivity of muscle. *IEEE Trans. on BME*, 1985, 32(1): 60 ~ 64.
- [3] Luebbers R J, Hunsberger F P, Kunz K S, *et al.* A frequency-dependent finite-difference time-domain formulation for dispersive materials, *IEEE Trans. on EMC*, 1990, 32(3): 222 ~ 227.
- [4] J A Roden, S D Gedney. Convolutional PML (CPML): an efficient FDTD implementation of the CFS-PML for arbitrary media. *Microwave Opt. Technol. Lett.*, 2000, 27: 334 ~ 339.
- [5] Yee K S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media. *IEEE Trans. on AP*, 1996, 14(5): 302 ~ 307.
- [6] 乔登江. 核爆炸物理概论. 北京: 原子能出版社, 1990.
- [7] 金钦汉, 等. 微波化学. 北京: 科学出版社, 1999.

齐红星 华东师范大学物理系光谱学与波谱学教育部重点实验室在读博士生, 主要研究方向为人体电磁辐射防护及电磁计算。

E-mail: drowsily@sohu.com

乔登江 中国工程院院士, 主要研究领域为核爆炸现象学、核辐射加固、生物电磁效应等。

[10] J M Johnson, Y Rahmat-Samii. The tab monopole. *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, 1997, 45(1): 187 ~ 188.

程崇虎 1962 年生, 博士, 毕业于东南大学无线电工程系, 主要从事电磁散射与逆散射、天线理论与设计等方面的研究工作。

吕文俊 1978 年生, 南京邮电学院通信工程系博士生, 现从事微波有源与无源器件、天线设计等方面的研究工作。

程 勇 1970 年生, 南京邮电学院通信工程系博士生, 现从事电磁理论计算方法、天线理论与设计等方面的研究工作。

曹 伟 1939 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事电磁理论计算方法、天线理论等方面的研究工作。

李元新 男, 1979 年生。现正在中山大学无线电物理专业攻读博士学位。

E-mail: lipbn@163.net

龙云亮 男, 1963 年生, 中山大学电子与通信工程系教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 中国电子学会微波学会委员会委员。研究方向为天线理论与设计、复杂环境中的电波传播理论和电磁数值计算等。

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>