

PIFA 天线的推论及计算方法

主要内容：针对 PIFA 天线设计疑问：1. PIFA 的基本理论出处 2. 从源到开路端的长度设计 3. 短路线的设计尺寸 4. 对于天线方向图与天线设计对应关系。

本文从 4 个方面提出推论：1. PIFA 天线的创意及其理论基础出处 2. PIFA 天线的工程设计思路 3. PIFA 天线的测试方法 4. PIFA 天线的发展

1. 对于 PIFA 天线的设计，这种文章却很少，国内相关的书也极少。有讲，从源到开路端的长度是 $1/4 \lambda g$ 的导波长。
2. 但短路线的设计尺寸却没有讲。
3. 对于天线的方向图，更是没有一点讲有关天线设计与图之间和对应关系。
4. 还有就是它的基本理论出处

针对以上四个问题，本人认为国内对 PIFA 天线的认识是有限的，而我们要认识 PIFA 天线，一般可以从工程设计上入手。但更为重要的是了解国外设计师研发 PIFA 天线的思路，即他们是因何提出 PIFA 天线的？他们的原始创意是从何而来？对此本人提出自己的一点看法。

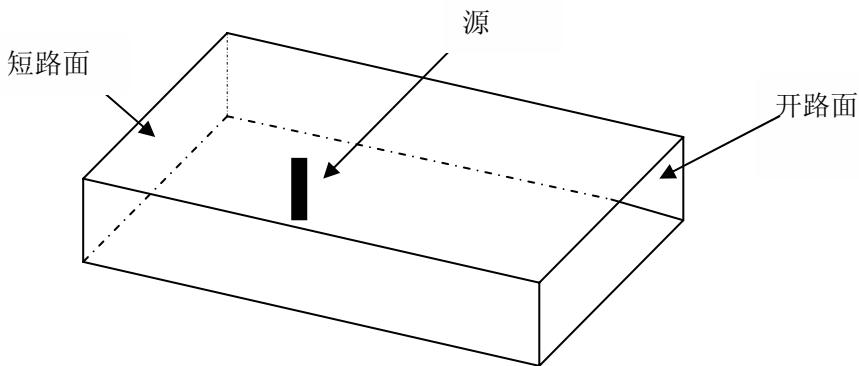
1. PIFA 天线的创意及其理论基础

我没有找到有关 PIFA 天线的理论来源的文章和文献，在有些文献中谈到的也是有关 PIFA 天线的一些大致。有朋友认为 PIFA 天线的理论来源于微带天线，但提供不了相关的数学推论和理论。

本人以为，PIFA 天线并非完全来自于微带天线的理论，它的原始创意很可能是在波导天线的基本概念得出的。在波导天线系中，一个简单的波

导天线是一种被称为喇叭天线的天线，而较之更加简单的天线是一个没有喇叭口的波导。但是它却确实可以有效地将微波发出去，虽然它的方向图不尽善尽美（方向性很差），然而它的天线尺寸却在波导天线中是最小的。

由图所示，这种天线是由源、短路面、开路面以及传输线路这四个方面所组成。



很容易地可以在书本上找到相关的设计文献，可得知它们各自尺寸的计算：

从文献[2]CSR 的 BlueCore 《Invered-F and Meander Line Antennas》和文献[3]费元春等著《微波固态频率源》中的有关谐振器内容，文献[2]中 P4 指出：从短路端到开路端的长度为 $\lambda_g/4$ ；文献[3]的 P82 中所提：一端短路，一端开路的同轴谐振腔，腔长为 $\lambda_g/4$ 的奇数倍；对于开路端具有电容加载腔，由于终端电容的存在，使短路同轴线呈感性，其腔长小于 $\lambda_g/4$ ，终端电容越大，腔长度缩短越多。所以认为，从短路面到开路端的长度 $L \approx 0.25 \lambda_g$ 。

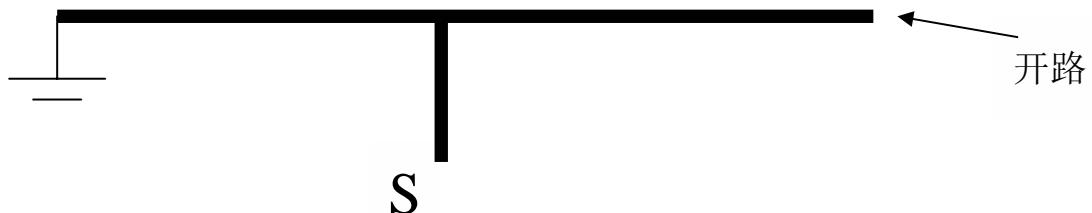
设从源到短路面的距离 L_1 。由于在源处的电场是最大的，设在源的电场为 $E=UCOS\alpha$ ，短路面点的电场应为 $E=0.5 UCOS\alpha$ ，则 $\alpha=60^\circ$ 。 60°

$/360^\circ = 0.1667$, 即从源点到短路面的距离 $\approx 0.167 \lambda_g$, 所以可取 $L1 \approx 0.17 \lambda_g$ 。

源到开路面的距离 $L2$, 数学理论上讲 $L2 = \lambda_g/4$ 。但是, 由于波导开口与自由空间几乎自然匹配, 所以当 $L2 = 0.8 \times \lambda_g/4$ 时, 波导内行波系数已相当高。故可取 $L2 = 0.8 \times \lambda_g/4 \approx 0.20 \lambda_g$ 。具体计算及分析可参见文献[4]魏文元等著《天线原理》P206 章节, 在 P213 中提到: 波导开口与自由空间几乎自然匹配。例如, 如出 $2a/\lambda > 0.8$, 波导内行波系数已相当高。

其中 λ_g 为波导波长。

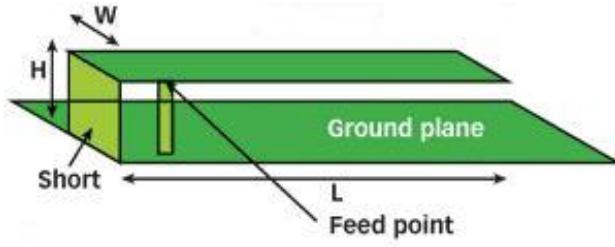
那么, 将这个波导天线的基本思路移植到平面结构上去, 情况是怎样?



为了缩短短路线在结构上的占用长度, 同时也进一步减小这个天线所占用的线路面积, 并且在工程上可以实施, 对以上图形作变形。

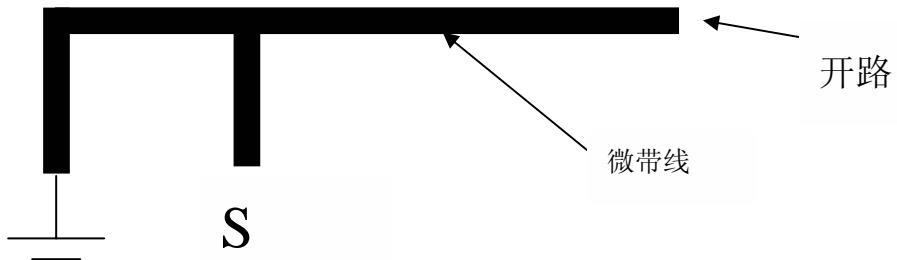


这就是典型的 PIFA 天线。

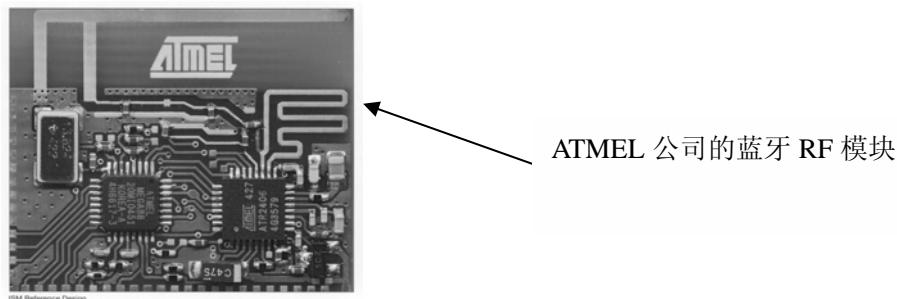


而此时 λ_g 为平面天线的导波长。这种天线目前在手持通信机上已有应用。

如果将这种 PIFA 的平面天线应用到微带电路上，则变成：



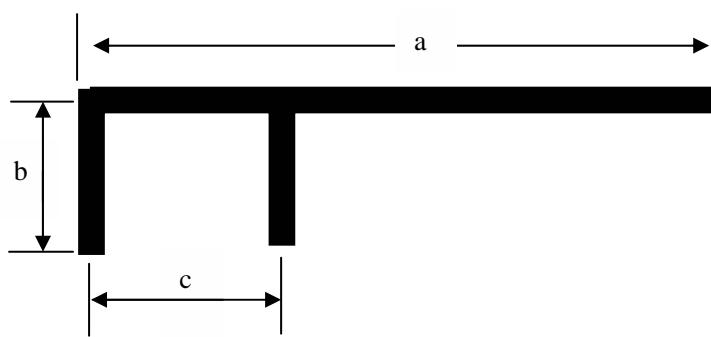
这种天线在手机和蓝牙产品上应用。此时 λ_g 为微带电路板的导波长。源的输入阻抗为 50Ω ，详见文献[2]的 P4。



2. PIFA 天线的工程设计

假设针对 PIFA 天线的基本理论是正确的。则可开始讨论 PIFA 天线的具体设计。

由上文得出，天线从开路端到接地端的距离为 $L = \lambda_g / 4$ ；源距接地点(短路面)的长度为 $L_1 = 0.17 \lambda_g$ ；从源到开路面的距离 $L_2 \approx 0.20 \lambda_g$ ； λ_g 为微带电路的导波长， $\lambda_g = \lambda / \sqrt{\epsilon_r}$ 。



即，

$$\left\{ \begin{array}{l} a+b = \lambda_g / 4 \\ 2b+c = 0.17 \lambda_g \\ a+b-c = 0.20 \lambda_g \end{array} \right.$$

由此可解出：a、b、c 的尺寸。

而对于计算介电常数在 2 和 6 之间的基片上 $t \neq 0$ 的微带线的特性阻抗，文献[5]顾其铮等著《微波集成电路设计》中的 P13 有一个经验公式： $\epsilon_r = 0.475 \epsilon_r + 0.67$ ，详见文献[5]。

注意到上述推算是在假设针对 PIFA 天线的基本推理是正确的前提下得出的。

对于微带线的宽，在文献[2]和文献[6]台北大学的讲义《Multiband and Wideband Patch Antennas》中的 Page73 上都提到，天线的输入阻抗是 50Ω 。

同样，我们用这个假设结论来将推算文献[2]中的一个已设计完成的天线尺寸。

注: 输入工作频率和等效介电常数

工作频率 f_0 2411 GHz

波长 λ 122.90 mm

等效介电常数 ϵ_e 1.64

导波长 λ_g 95.97 mm

短路端到源的距离 A 0.17 λ_g

开路端到源的距离 B 0.2 λ_g

$a = 18.23413443$ mm = 18.2 mm

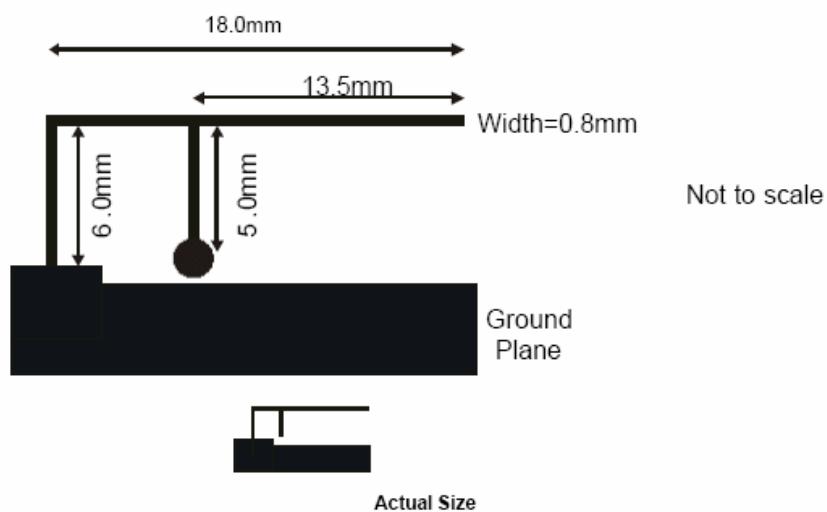
$b = 5.758147714$ mm = 5.8 mm

$c = 4.798456428$ mm = 4.8 mm

$a_c = 13.4$ mm

$w = 0.8$ mm

而文献[2]中的结果是:



这二个结果还是比较相符的。

同时我们还注意到, 在文献[2]中提到, 关于源的位置和天线的最终尺寸, 还需要在天线调试的调试中进行调整。

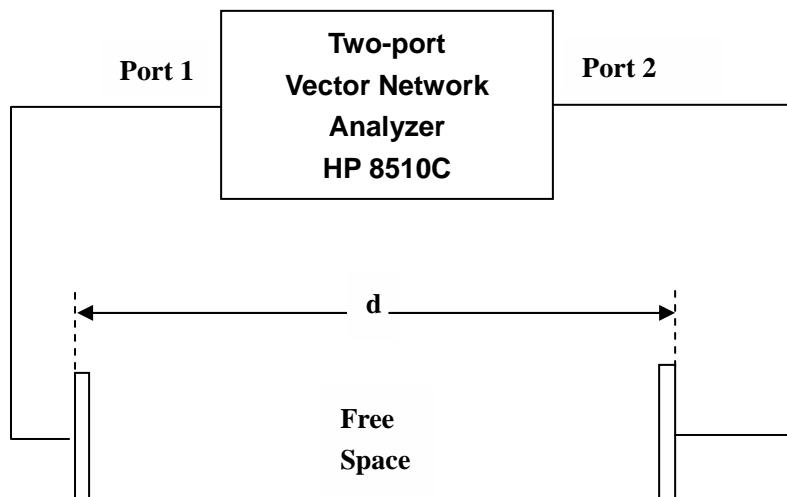
3. PIFA 天线的测试

由于本人并非手机 RF 天线的专业工程师, 故仅延续对雷达天线的测

试技术和参考部分文献，对 PIFA 天线的测试对作一个表述。

在文献[7]《Microwave Journal》 2006 January Vol.49 •No.1 中 Page90 的 “Performance Comparisons Between Dielectric Resonator Antennas and Printed Microstrip Patch Antennas at X-band” ,文中提到对微带天线的测试。这种方法与我们以往对雷达天线的测试方法基本上是一致的。

利用二端口的矢量网络分析仪 Two-port vector network analyzer 作为测试仪表，对天线作二维的 Transmission coefficients 测试。这种方法可以对天线作近场和远场的测试，而利于我们对天线的分析。



对 PIFA 天线的方向图，由于 PIFA 天线是从开口波导演变而来，所以 PIFA 天线的方向性是四周均分的，没有很强的方向图，这一点很多实测例子已经证明。

4. 结论

通过以上的分析，可以得到以下的结论：

1. 针对手机天线要求小尺寸的特征，以小尺寸天线特征为主设计思路

作为突破口。

2. 在导波、平面、微带的三个方面，作发散性思维和联想，从而设计出小型基本 PIFA 天线。

3. 在基本 PIFA 天线模型成立基础上，利用以往改善天线性能的方法，作扩散性联想，进一步改善了 PIFA 天线的尺寸和性能。这可以从文献

[8] **Jesper Thaysen, Kaj B. Jakobsen** 写的 “**Capacitive Loading Shrinks Mobile PIFA antenna**” (注：文献[9]的“采用容性负载以减小手机的 PIFA”是文献[8]中文译本)、和[10] **Jesper Thaysen, Kaj B. Jakobsen** 在 **Wicrowave Journal** 的 2005 年 7 月 Page114 中 “**A Size Reduction Technique for Mobile Phone PIFA Antennas Using Lumped Inductors**” 可以说明这一点。

在一篇关于 PC CARD 的文章中[11]，它利用 PIFA 天线的开路端太长，就将它折起来，同时也引成了一个加载电容，达到减小 PIFA 天线的尺寸的目的。

4. PIFA 具有均衡的天线方向图，但对于手机、蓝牙产品而言，天线的具有良好方向性是不适用的，通信质量随产品位置的移动而大幅度起伏，这对于用户是不能接受的。所以 PIFA 天线适用于小型移动类的通信设备。

5. PIFA 天线的发展。可利用 PIFA 天线具有的特性，将用于军用项目 (如引信、GPS、干扰机、遥控机器等)；或在现有 PIFA 天线的基础上进一步改进 (例如天线方向图)，使其适用于其它领域。

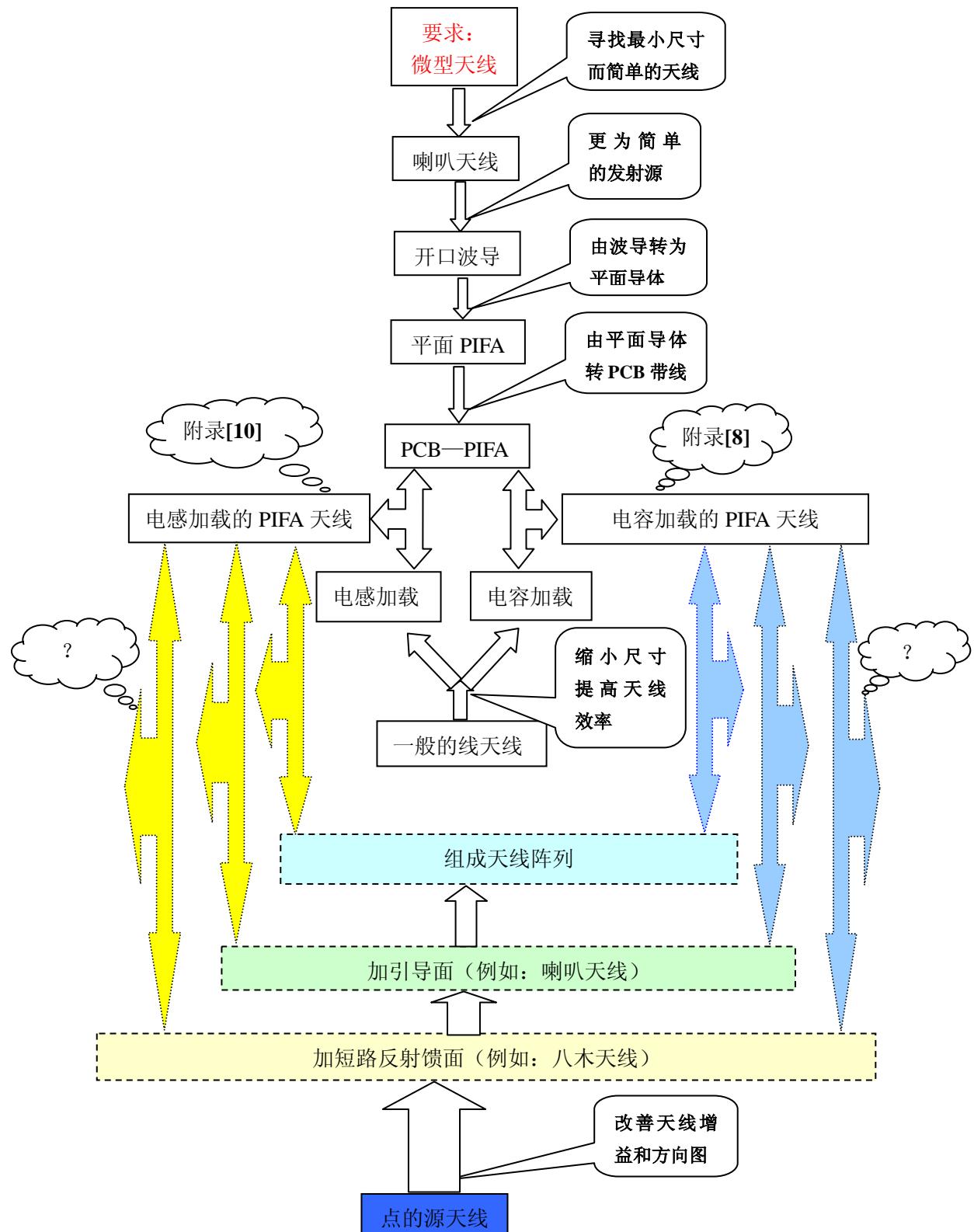
5. 参考文献:

- [1] 《便携产品设计 PIFA 天线》 Robert Thorpe
- [2]CSR 公司的 BlueCore 《Invered-F and Meander Line Antennas》
- [3]费元春等著 《微波固态频率源》
- [4]魏文元等著 《天线原理》
- [5]顾其铮等著 《微波集成电路设计》
- [6]台北大学的讲义 《Multiband and Wideband Patch Antennas》
- [7] “Performance Comparisons Between Dielectric Resonator Antennas and Printed Microstrip Patch Antennas at X-band” 《Microwave Journal》
2006 January Vol.49 • No.1 中 Page90
- [8] Jesper Thaysen, Kaj B. Jakobsen “Capacitive Loading Shrinks Mobile PIFA antenna”
- [9]《电子系统设计》2006 年 2 月 15 日 “采用容性负载以减小手机的 PIFA (一) (二)”, 它是文献[8]中文译本
- [10] Jesper Thaysen, Kaj B. Jakobsen 在 Wicrowave Journal “A Size Reduction Technique for Mobile Phone PIFA Antennas Using Lumped Inductors” Wicrowave Journal 2005 年 7 月 Page114
- [11] “Development of a PC card using planar antennas for wireless LAN on 2.4/5GHz bands”

6. PIFA 天线今后可能的发展

本人对 PIFA 天线用图示作了一个发展走向图。见下图。

在图中着颜色的是目前还没找到文献的部分，也可能是今后我们可以做的那部分东东。



傻瓜东东浅谈 PIFA-----PIFA 天线的推论及计算方法

傻瓜东东也想做手机 PIFA 天线，查了很多有关手机天线方面的资讯，总算对手机 PIFA 天线有了一点点的感觉，但总弄不明白 PIFA 这个奇形怪状的东西是怎么被老外想出来的。好在咱傻瓜东东平时总爱东看看西西问问，认识了不少天线，忽然对 PIFA 天线有了点看法，而且看法有点独特，也不知这些看法对不对。所以将这些认识写出来，让智者们评判评判，被骂二句也没什么。

为写这篇东东，傻瓜东东可花了不少的心思，所以收点劳务费 5RD，这可是咱傻瓜东东花费了近 4 月的娱乐时间才弄出来的啊。如果新同学刚来没钱，又很想要这篇东东，就给个地址（最好是 QQ），OK？老专家们就给 5RD 吧，鼓励一下咱，傻瓜东东这相有礼了。

傻瓜东东浅谈 PIFA 共 4 篇，这是第 2 篇

请关注第 3 篇：傻瓜东东学 RF 之 5：浅谈 PIFA -----关于 PIFA 天线
调试

射 频 和 天 线 设 计 培 训 课 程 推 荐

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，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；我们于 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。

易迪拓培训课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



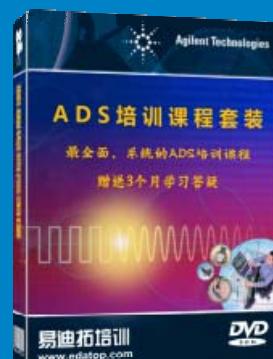
射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材；旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习，能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程，共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解，并多结合设计实例，由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS，迅速提升个人技术能力，把 ADS 真正应用到实际研发工作中去，成为 ADS 设计专家…



课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



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>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出, 是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装, 所有课程都由经验丰富的专家授课, 视频教学, 可以帮助您从零开始, 全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装, 还可超值赠送 3 个月免费学习答疑…



课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.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>

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>

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并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
- ※ 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>