

高性能射频调制器促成多载波通信发送器设计

供稿：美信公司

摘要：蜂窝发送器的设计依赖于能够保持高线性度和高动态范围的高性能 RF 调制器。随着多载波发送器的增长，RF 调制器必须保持低噪声基底，从而提供较高的性能指标，通常取决于二阶或三阶互调。本文讨论了这些需求，并说明 MAX2022 能够满足典型四载波 WCDMA 发送架构的要求。

概述

现有的蜂窝基站大多采用超外差结构发送或接收射频信号。这种结构需要两次变频或更多的上、下变频级、中间滤波和模拟信号处理。图 1 的上半部分给出了一个两级转换蜂窝基站的典型超外差发送框图，很多此类发送器已经被应用在单载波系统。因为多载波发送器是从单载波发送器复制得到的，所以引入了更多的系统硬件。为了努力降低发送器的成本，许多系统设计者开始转向多载波发送器和简单的直接变换射频结构。

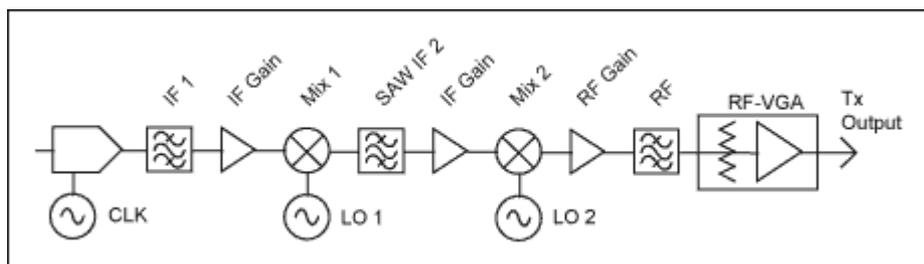


图 1. 超外差变换和直接变换结构框图

多载波结构的设计挑战

多载波结构降低了发射通道数，直接变换结构由基带信号直接变换成射频信号，从而减少了每个通道的元器件数量。这两种结构都要求宽动态范围和高线性度的元器件来满足整个系统的要求。图 2 给出了一个直接变换发送器结构。这种特殊结构大大降低了转换处理的级数。多级混频器、放大器、中频和射频滤波都由一个单片集成方案所替代。

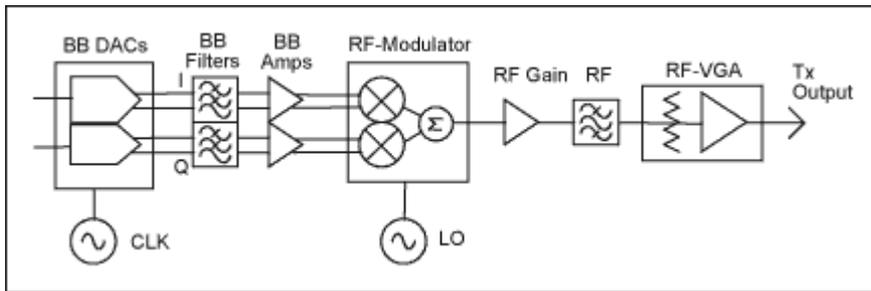


图2. 直接变换结构

直到近期，数模转换器 (DAC) 和直接变换调制器的性能还不足以支持 3G 多载波蜂窝基站的要求。新一代通信基站的发送器设计即要求低成本又要求更加灵活的解决方案，在搭建基础发射架构的过程中，射频调制器的选择起着举足轻重的作用。

用单发射器结构解决上述问题

Maxim 近期推出了一款直接正交射频调制器 MAX2022，能够满足这些需求。这款器件提供极宽的动态范围，为发送器设计者在整个系统性能优化方面提供了极大支持。

它具有非常高的 OIP2 和 OIP3，配合接近 -174dBm/Hz 的输出噪声基底，可确保真正的多载波性能。单一发送器架构可以支持多种类型的调制方式，从 CDMA2000、WCDMA 到 OFDM，并支持多达 9 个载波。在发送器设计中充分利用这些调制性能，可以有效降低系统的硬件需求，从而降低成本，并可提高链路的灵活性。

MAX2022 采用硅锗工艺，覆盖了 1500MHz 至 2500MHz 频率范围。图 3 所示为本电路的内部结构。

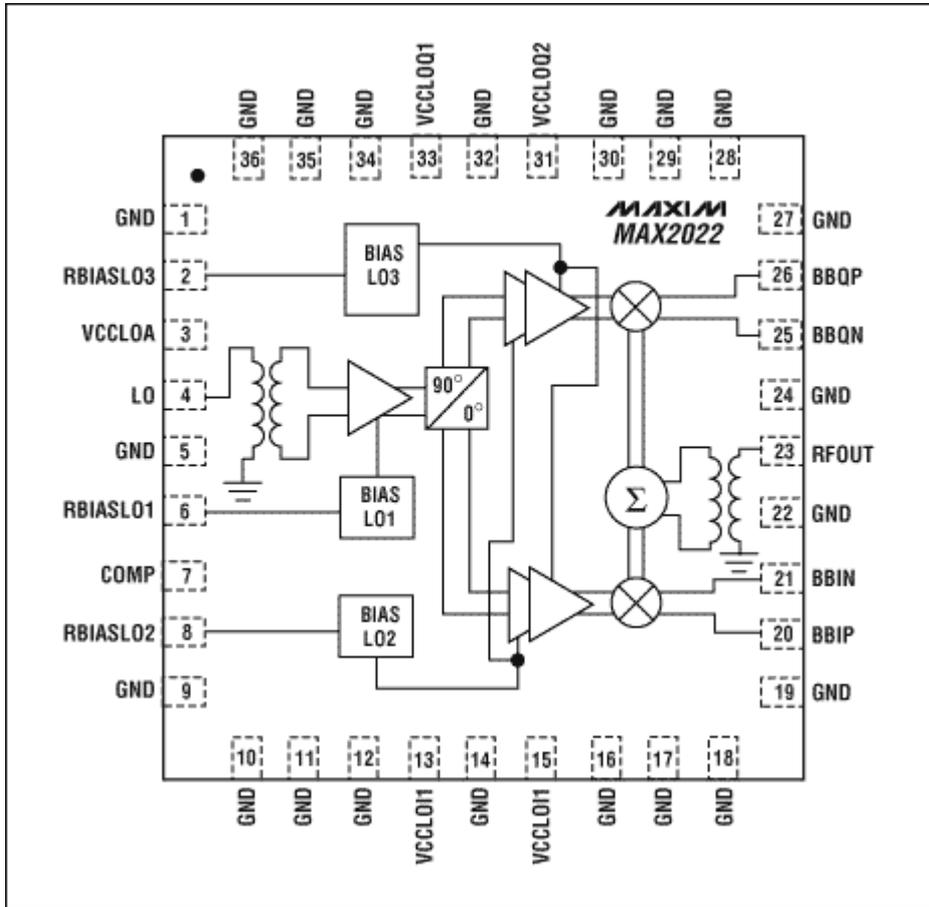


图 3. MAX2022 射频调制器性能

MAX2022 具有内部 $50\ \Omega$ 匹配的单端本振输入，允许本振的输入驱动范围是 -3dBm 到 $+3\text{dBm}$ 。本振经过内部缓冲，由一个正交分路器分成两部分，分别送到两个无源混频器。I、Q 正交输入为差分输入，具有 $44\ \Omega$ 输入阻抗。大于 1GHz 的输入带宽使这款芯片既可以作为一个基带直接到射频的调制器，也可以作为一个具有正交中频输入的镜频抑制混频器。正交输入可直接与电流输出 DAC 接口，省去了中间缓冲放大器，传统方案中的中间级缓冲放大器既限制了性能又增加了成本。混频器将信号混频后送到内部 $50\ \Omega$ 匹配的单端射频输出。

MAX2022 射频调制器性能

射频调制器的性能由几个独立的参数决定，MAX2022 在所有相关领域都有出色的表现。在 $P_{1\text{dB}}$ 为 $+12\text{dBm}$ 时， $OIP3$ 为 $+22\text{dBm}$ 。多载波之间的互调取决于 $OIP3$ ，较高的 $OIP3$ 可以确保较低的互调失真， $OIP2$ 是另外一个针对零中频应用的重要参数。MAX2022 在 UMTS

波段的 OIP2 为+50dBm，OIP2 对基带信号意义重大，基带信号的二次谐波将在射频输出产生频谱扩展，从而损害 ACLR 性能。较高的 OIP2 可以确保较低的 ACLR 失真。图 4 所示是对该款芯片 OIP2、OIP3 测试结果，以及输出功率在 1500MHz 至 2500MHz 频率范围内的变化曲线。

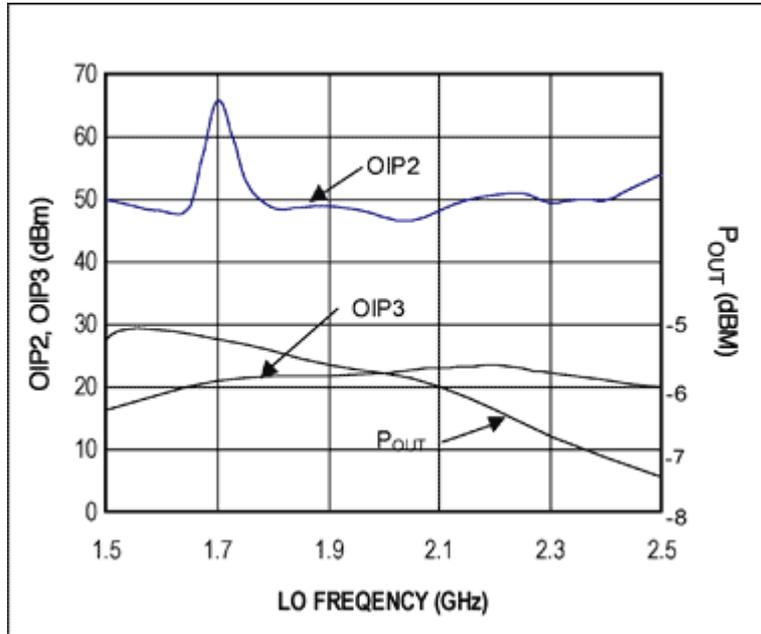


图 4. MAX2022 OIP2、OIP3、Pout 与频率的对应关系

与无源混频器相比，MAX2022 的噪声基底指标得到极大的改善。这些器件在典型输出信号幅度下噪声电平接近-174dBm/Hz。本振缓冲器的相位噪声会对大于-10dBm 的信号产生影响，不过，缓冲器-164dBc/Hz 的超低相位噪声设计能够保证系统的性能。

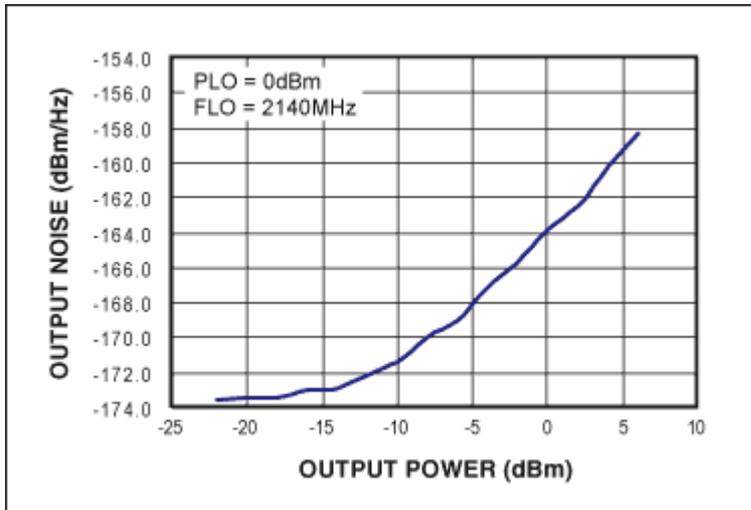


图 5. 噪声基底与输出功率

射频调制器的另一关键指标是动态范围，定义为最大有效信号电平（表示为 P1dB）与噪声基底之差。MAX2022 具有 186dB 的动态范围，远远超过了其它集成射频调制器。

在 PCS 和 UMTS 波段，本振泄漏小于 -40dBm，边带抑制优于 45dB。数字预校准控制环路可以进一步优化性能，使本振泄漏低于 -80dBm、边带抑制优于 60dB。射频通带平坦度在 100MHz 带宽内优于 0.5dB，非常适合宽带系统。

工作在 UMTS 波段的多载波 WCDMA

多项性能指标综合体现出的优势在于多载波的互调特性。从本文可以看出，MAX2022 能够提供出众的性能。

作为一个例子，我们考虑一个 4 载波 WCDMA 调制信号，发送器设计必须符合 WCDMA 载波本身的带宽要求，等于 20MHz。另外，为修正由功率放大器造成的后续失真，需要给发射信号加入数字预失真，这样，带宽要求可能超出 100MHz。图 6 给出了这种信号的频谱。

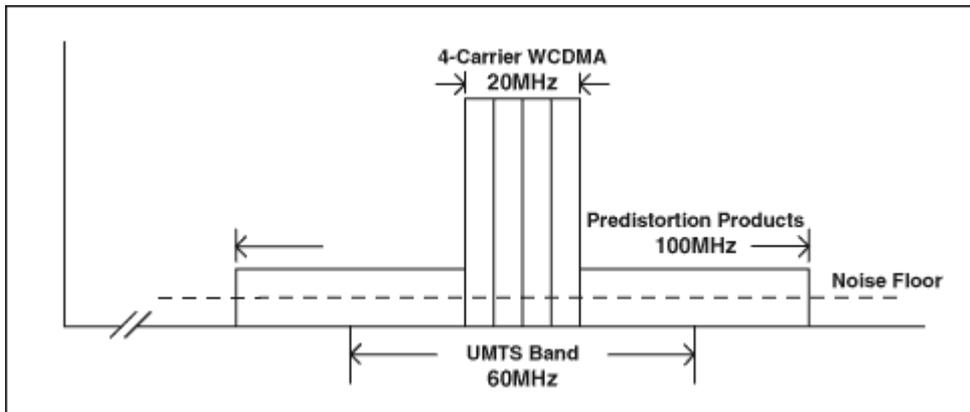


图 6. 4 载波 UMTS 频谱

从图中可以看出超常宽带使发送器输出频谱超出了 UMTS 的带宽限制。这要求发送器的噪声指标必须符合发送器模板的要求，超出频带边缘，但不需要射频滤波器来处理杂散信号和噪声电平。这对射频调制器提出了很高的要求，MAX2022 的宽频带和大动态范围可以支持这样的系统设计。

图 7 所示是在 UMTS 波段产生的单载波、双载波以及 4 载波 WCDMA 的 ACLR 性能。基于超宽的动态范围，MAX2022 可以在非常宽的输出功率范围维持良好的 ACLR。图中还提供了噪声性能，以说明在指定的 ACLR 指标下所能提供的动态范围。例如，对于 -28dBm/载波的 4 载波 WCDMA 信号，ACLR 可以达到 66dB，输出噪声基底为 -173.5dBm/Hz。

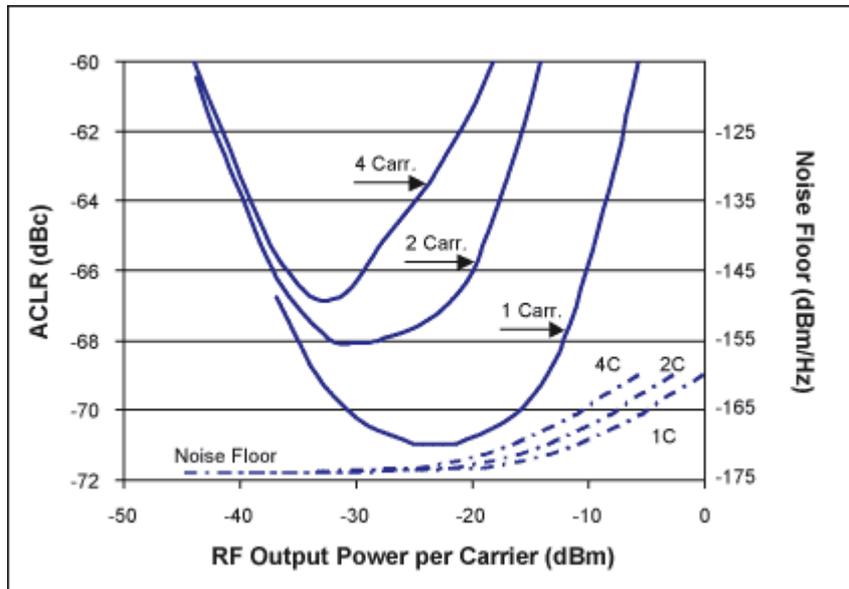


图 7. 1、2 或 4 载波 WCDMA 信号的 ACLR 和噪声性能

MAX2022 的良好性能同样可以用来产生其它类型的调制, 例如 OFDM、QAM 等。在 CDMA2000 和 TD-SCDMA 系统中可以支持到 9 载波。一系列的硬件配置可以实现任何调制方式。

系统级设计

高度集成的 MAX2022 的接口设计使它对外围辅助电路的要求非常少, 降低了系统成本。内部匹配的本振缓冲器和平衡变换器设计允许在 -3dBm 到 $+3\text{dBm}$ 的低本振功率水平使用单端本振接口。集成的射频平衡变换器允许 $50\ \Omega$ 阻抗匹配的单端射频输出。基带信号的 I 和 Q 分量输入采用差分输入接口, 具有 $44\ \Omega$ 内部阻抗匹配。这些特性使得芯片可以直接与高性能的电流输出 DAC 连接, 不需要中间缓冲放大器。按照 MAX2022 的性能指标, 要找到一个不降低器件自身性能的外部基带放大器很困难。幸运的是, 在 MAX2022 应用配置中, 这些基带放大器并不是必须的。图 8 提供了一个 DAC 与 MAX2022 终端接口的推荐电路。 $50\ \Omega$ 到地的电阻提供了适当的 DAC 端接, 20mA 典型值的峰值电流可对应产生 0dBm 的基带输入。

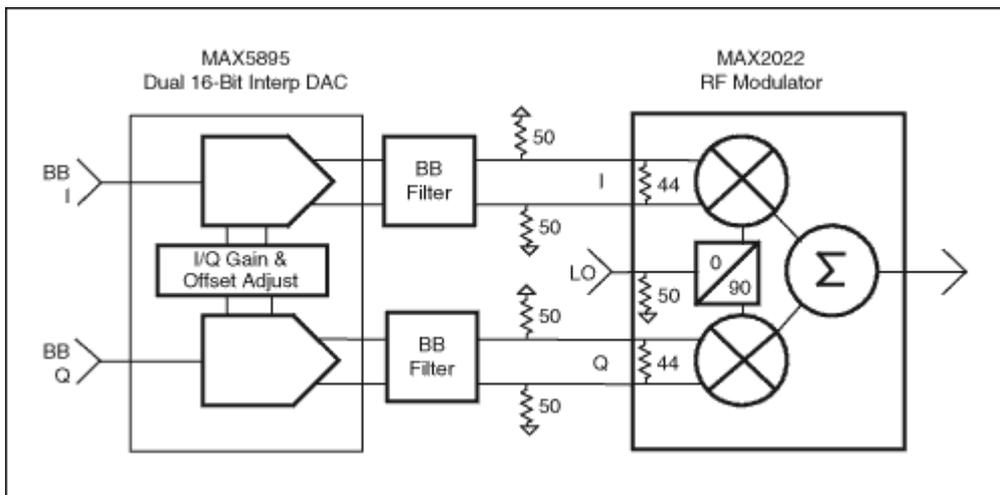


图 8. DAC 与基带输入接口

为确保 MAX2022 的性能指标，必须进行仔细的系统级设计。图 9 是一个推荐配置，带有数字预失真能力的 4 载波 WCDMA 调制。图中标出了该电路每一级的输出信号电平、噪声电平以及 ACLR。

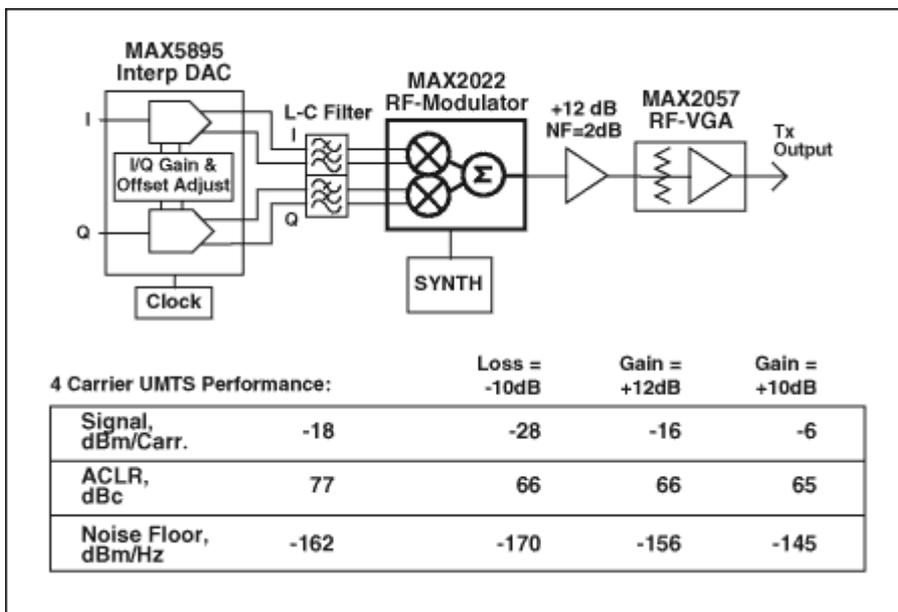


图 9. Tx 信号分析

从 DAC 开始，我们要求一个可以产生 50MHz 带宽的器件，并且 ACLR 远远优于这个设计的目标值 65dB，同时噪声和杂散电平要比较低。MAX5895 是一个可以满足这些要求的器件。关键的 DAC 指标是 4 载波工作下的 ACLR，以及噪声和杂散电平。在这个应用中推荐

使用内插式 DAC，这类 DAC 能够在相对较低的输入数据速率下运行在较高输出采样率。这时，插值滤波器的衰减很关键，因为 DAC 后续的低通滤波器对临近插值镜频分量没有足够的衰减。内插式 DAC 会在基带输入数据速率的整数倍处产生镜频分量。如果没有在调制器的输入级消除这些分量，镜频分量会在调制器的输出产生严重的边带。MAX5895 95dB 内插镜频抑制对于这类应用非常理想。这从根本上降低了 DAC 后续滤波器的复杂性。

从调制器输出可以看出，调制器输出信号电平为每载波-28dBm，共计-22dBm。调制器性能决定 ACLR 为+66dB (DAC 指标对其没有限制)。然而，噪声基底已经从调制器的-174dBm/Hz 增大到-170dBm/Hz。这是由级联的 DAC 噪声电平造成的。因此，为了得到最优的设计，必须仔细的选择线路中的每个单元。

RF 放大器需具有非常低的噪声系数和适当的 OIP3，避免级联 ACLR 的劣化。如果增益为 12dB，这一级的 OIP3 最好大于+30dBm。选择高 OIP3 的输出级可以避免级联 ACLR 的劣化。可以选用射频可调增益放大器 MAX2057，它能够调节整个环路的增益。+37dBm 的 OIP3 确保级联 ACLR 保持在+65dB。

当每载波维持在-139dBc/Hz 的噪声基底时，此发送器应可以产生+65dB 的 ACLR。这样的噪声基底和杂散电平是在没有射频滤波器的情况下得到的。可以在多波段系统中采用相同的硬件配置，不需要作任何改动。

结论

新型调制器 MAX2022 使发送设备能够达到一个新的水准。可以构成零中频和镜频抑制方案。利用该器件可以很容易地改善系统指标、降低成本，实现一个灵活的发送器架构，帮助设计人员提高发送器的设计效率。

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。

易迪拓培训推荐课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



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>

手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术,内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计,最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计,以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计;通过该套课程的学习,可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计,以及天线及其匹配电路的设计和调试...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



WiFi 和蓝牙天线设计培训课程

该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP)公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像,课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结,主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用,匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识,以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您,绝对值得拥有和学习! ...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.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 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>

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>



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>