

## 扩谱调制模式使 D 类放大器的电磁干扰降至最低

**摘要：**本文对脉宽调制(PWM)和扩谱调制两种不同的 D 类(转换模式)放大器技术进行了探讨。从传统意义上讲，PWM 型 D 类放大器需要庞大且昂贵的滤波元件来降低由其满摆幅转换和快速开关频率所引起的电磁干扰(EMI)。而当今的 D 类放大器采用的扩谱调制技术则允许设计者省去这些滤波元件，又不会降低音频性能或放大功效。

### 引言

由于功效高于 AB 类放大器，D 类放大器对便携式音频应用设计人员来说更具吸引力。但是，也有一些设计者并未在便携式应用中使用 D 类放大器，因为传统的 PWM 型 D 类放大器需要庞大且昂贵的滤波元件来降低电磁干扰。Maxim 公司的 D 类放大器扩谱调制技术则让设计者可以省去这些滤波元件，又不会降低音频性能或放大功效，因此有效推动了高效 D 类放大器在便携式音频应用中的推广。

### 传统的脉宽调制放大器拓扑

图 1 展示了一款典型的 PWM 型、桥接负载(BTL) D 类放大器。PWM 方案通常利用一个内部生成的锯齿波作为其输入级的基准。其中有一个比较器监视模拟输入电压，并将其与锯齿波进行比较。当锯齿波输入超过输入电压时，比较器输出就变为低电平。在比较器输出端利用一个反相器来生成一个互补的 PWM 波形，用于控制 BTL 输出的第二桥臂。

因为其满摆幅转换特性和快速开关频率会产生较高的射频(RF)辐射和干扰，PWM 型放大器的输出一般需要庞大的滤波元件。此时一般需要一个 LC 滤波器来降低这种高频干扰，并从 PWM 信号的占空比信息中提取音频内容。

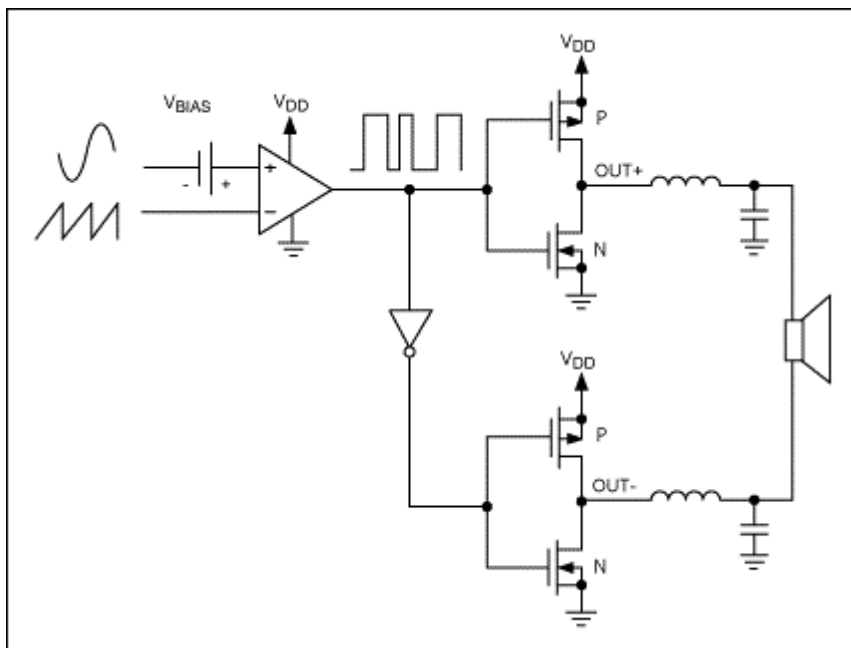


图 1. 传统的脉宽调制拓扑

### 扩谱调制放大器拓扑

有一种方法可以取代这种昂贵的大尺寸 LC 滤波器方案，那就是改进开关过程，使放大器在保持高效的同时降低 EMI。Maxim 公司的 D 类放大器恰好做到了这一点。这种 D 类放大器采用独特的、享有专利的扩谱调制模式，以展宽宽带频谱分量，从而使扬声器和电缆辐射的 EMI 降至最低。图 2 通过 Maxim 公司的 MAX9700 展示了这种 D 类放大器的拓扑。

Maxim 的 D 类放大器调制方案采用了一个内部生成的锯齿波，并在输入部分采用一个互补信号对。如果没有互补输入信号，则会在 IC 内部产生一个差分输入。

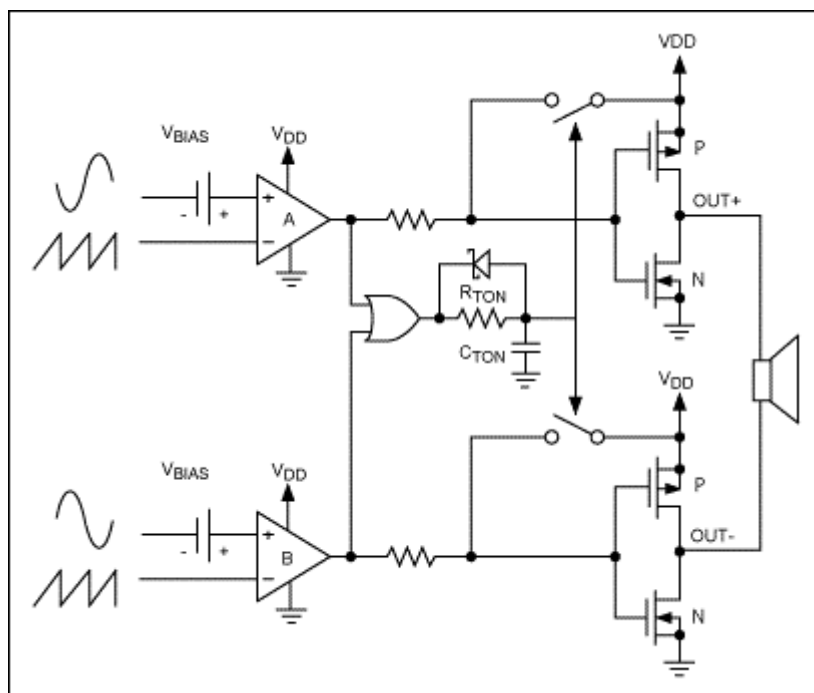


图2. 单声道D类放大器拓扑

比较器监视D类放大器的输入, 并将互补的输入电压与锯齿波进行比较。当锯齿波的幅度超过输入电压时, 比较器A会输出一个低电平, 将相应的D类输出(OUT+)拉高至 $V_{DD}$ 。当锯齿波的幅度超过其输入电压时, 比较器B也会输出低电平, 同样将相应的D类输出(OUT-)拉高至 $V_{DD}$ 。两个D类输出都被拉高之后, 一个处于或非门输出端的定时器开始计时, 时间常数为 $\tau$ , 相当于  $1 / (R_{TON} * C_{TON})$ 。固定时间( $\tau$ )结束后, 两个D类输出都被拉低至GND, 而两个比较器均被复位。这个过程在第二个比较器输出端产生一个最小脉冲宽度 $t_{ON(MIN)}$ 。随着输入电压的升高或降低, 其中一个输出(第一个比较器会触发翻转)的脉冲持续时间会增加, 而另一个输出的脉冲持续时间则维持在 $t_{ON(MIN)}$ , 从而导致扬声器两端的净电压( $V_{OUT+} - V_{OUT-}$ )发生改变。

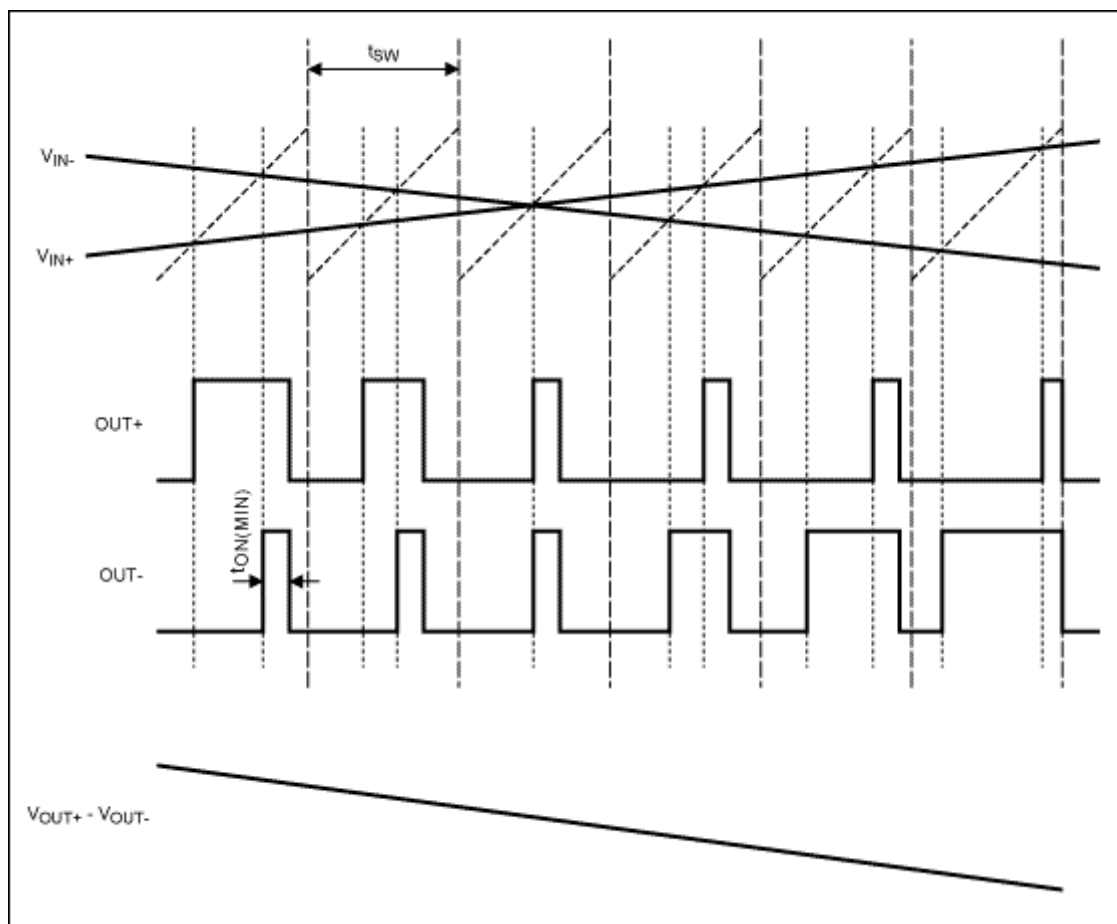


图 3. FFM 模式下, Maxim 的 D 类 BTL 放大器加载输入信号后的输出

### 固定频率调制和扩谱调制

Maxim 的 D 类放大器采用两种调制模式: (1) 固定频率调制(FFM)模式; (2) 扩谱调制模式。FFM 模式下(图 3), 锯齿波的周期保持不变, 这一点和传统的 PWM 方案是一样的。扩谱调制模式(图 4)下, 锯齿波的周期会逐周期发生改变(变化范围达 $\pm 10\%$ )。图 4 对锯齿波的周期变化进行了夸大, 以更好地展示其效果。

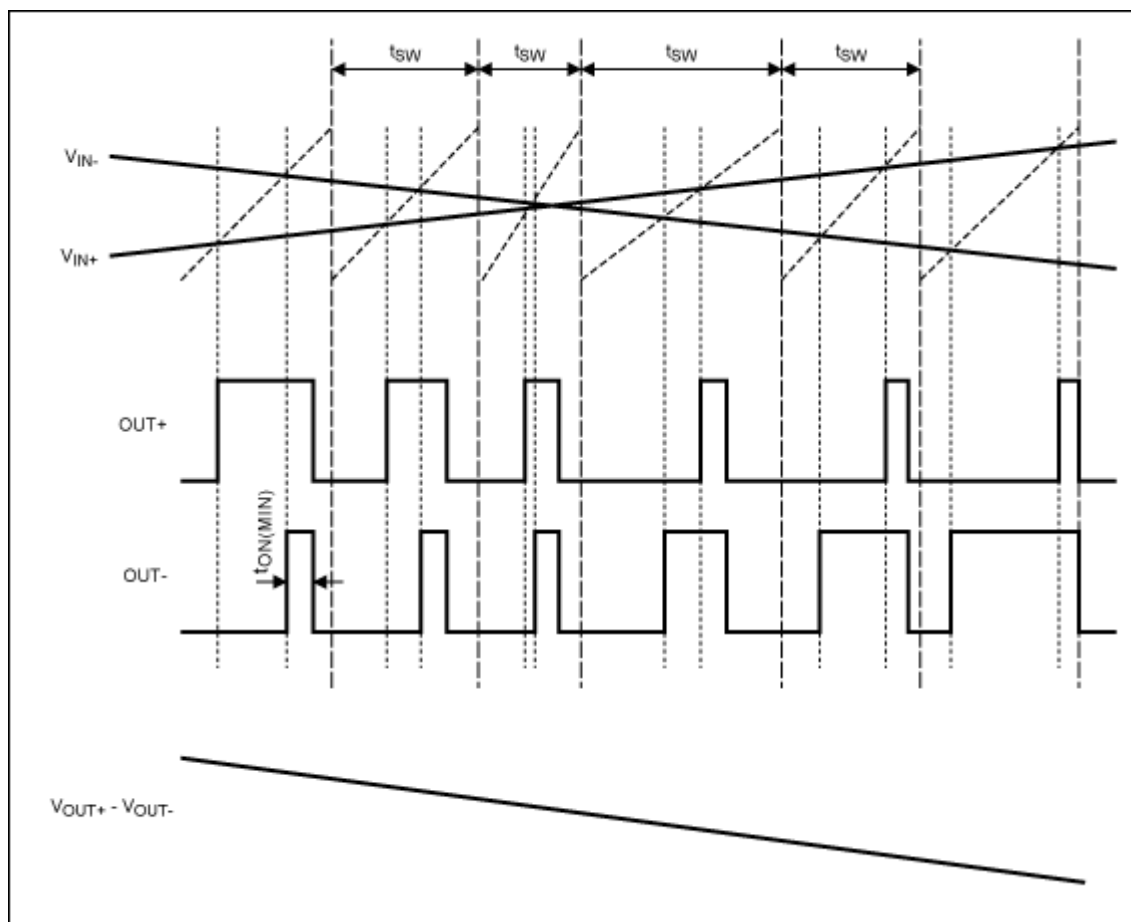


图 4. 扩谱调制模式下, Maxim 的 D 类 BTL 放大器加载输入信号后的输出

扩谱调制模式下, 其周期的逐周期变化可降低基波频率下( $f_0 \pm 10\%$ )的频谱能量, 同时扩展特定带宽( $nf_0 \pm 10\%$ ,  $n$ 为正整数)内的谐波分量。这时大量的频谱能量并不是集中在开关频率的各倍频处, 而是在一个随频率而增加的带宽内展宽。频率超过数兆赫兹后, 宽带频谱看起来就像是白噪声, 从而达到降低EMI之目的。在FFM模式下, 能量包含在较窄的频带内, 并具有较高的峰值(图 5a)。而在扩谱调制模式下, 能量包含在较宽的频带内, 峰值能量也得以降低(图 5b)。请注意, 图 5b中的三次谐波几乎被噪声底遮盖了。

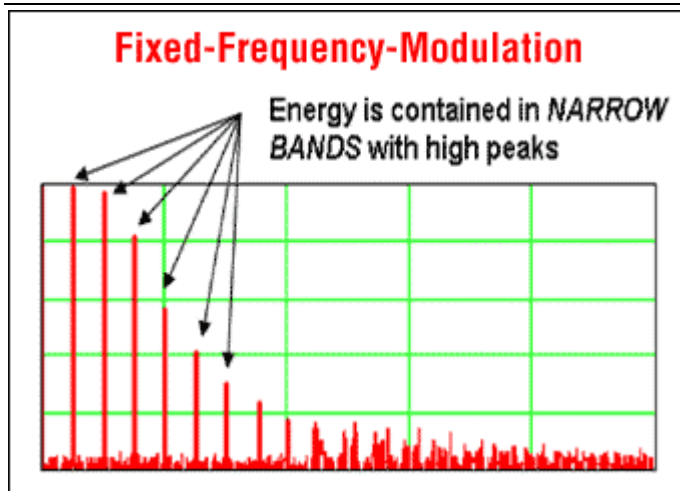


图 5a. Maxim 的 FFM 模式

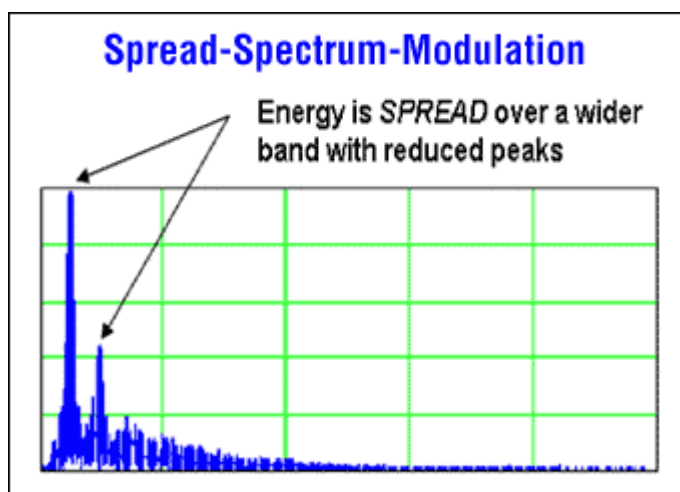


图 5b. Maxim 的扩谱调制模式

### 扩谱调制模式将 EMI 辐射降至最低

Maxim 的扩谱调制技术允许 D 类放大器真正“免除滤波器”，只要扬声器电缆不是太长。传统的 PWM 架构通常需要大尺寸的输出 LC 滤波器，以确保使用 D 类放大器的消费类产品能够满足 EMI 规范要求。Maxim 专有的扩谱调制技术降低了 D 类放大器的辐射，因此输出不需要滤波或仅需要最小的滤波元件，即可满足 EMI 规范要求(见附录)。

EMI 规范要求终端产品必须通过现有的准峰值检测限制—例如由 CE (欧洲共同体，欧洲标准)和 FCC (联邦通信委员会，美国标准)所制定的限制标准，以确保最低程度的电磁干扰。按照这些机构的定义，电磁干扰会中断、阻碍或降低电子和/或电气设备的有效性能。在准

global sources

提供有关电子工程及电子设计的最新资讯和科技趋势

**媒体播放器**

[www.mediaplayer.eetchina.com](http://www.mediaplayer.eetchina.com)

峰值检测中，所测定的信号等级是由信号频谱分量的重复频率来衡量的。重复频率越低，准峰值读数也就越低。1

扩谱调制充分利用了准峰值检测的平均特性，从而大大降低 EMI 的测量结果(表 1)。在扩谱调制模式下，D 类放大器的峰值基波频率在一定范围内随机变化—通常在其基本开关频率的±10%范围内。假设分析仪使用 120kHz 分辨率带宽进行准峰值检测，那么除了开关频率基波和几个高次谐波外，开关能量在任何单个中心频率下都只出现一段时间。

表 1. MAX9759 的辐射数据(MAX9759EVKIT，扩谱调制模式下使用 3"双绞线扬声器电缆并且“无滤波器”)

Peak (Pk) Readings					Quasi-Peak (QP) Readings					QP Reduction from Peak
Frequency	Level	FCC Class B		Detector	Frequency	Level	FCC Class B		Detector	Pk - QP
MHz	dBμV/m	Limit	Margin	Pk/QP/Ave	MHz	dBμV/m	Limit	Margin	Pk/QP/Ave	dB
143.411	35.8	43.5	-7.7	Pk	143.411	32.5	43.5	-11.0	QP	3.3
177.265	37.1	43.5	-6.4	Pk	177.265	33.5	43.5	-10.0	QP	3.6
193.758	36.4	43.5	-7.1	Pk	193.758	32.8	43.5	-10.7	QP	3.6
155.990	37.0	43.5	-6.5	Pk	155.990	33.7	43.5	-9.8	QP	3.3
168.027	37.2	43.5	-6.3	Pk	168.027	33.8	43.5	-9.7	QP	3.4
186.025	37.0	43.5	-6.6	Pk	186.025	33.2	43.5	-10.3	QP	3.7
160.267	36.8	43.5	-6.7	Pk	160.267	32.8	43.5	-10.8	QP	4.1

## 结论

D 类放大器的近似满摆幅转换特性和快速开关频率会产生较强的射频辐射和干扰。在扬声器等发声装置重现音频内容之前，一般都需要使用庞大且昂贵的 LC 滤波器来降低这种高频干扰。但是现在，如果采用有效的 PCB 布局以及短的扬声器电缆，Maxim 的扩谱调制技术可以真正实现低功率应用的“无滤波器”工作。

本文来自美信



## 射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训([www.edatop.com](http://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](http://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>