

# ADC12DL065,CLC5526,LMH6550

*Application Note 1393 Using High Speed Differential Amplifiers to Drive  
Analog to Digital Converters*



Literature Number: ZHCA182

## 使用高速差分放大器来驱动模拟数字转换器

美国国家半导体公司  
应用注释AN1393  
Loren Siebert  
2006年5月



### 选择最佳的差分放大器来驱动一个模拟数字转换器

合适的高速差分放大器会给包含高速模拟数字转换器(ADC)的信号链增加了灵活性。一个差分放大器能够提供信号调理功能,诸如单端到差分信号的转换、阻抗变换以及增益或者衰减。

ADC通常都是固定增益的器件,当由刚好低于而不是超出满幅度的信号来驱动时,ADC可以提供最佳的性能。数字化在最低有效位(LSB)的单数字倍数中测量得到幅度的小信号将会引入失真。同样地,驱动超出全幅值的ADC也将会引入失真。一个运算放大器可以用来调整信号的幅度到适合ADC的最佳范围。CLC 5526是一款可变增益的差分放大器,专为在驱动一款高速ADC的同时提供增益和衰减而设计。当通过微控制器来控制时,能够获得42dB增加的动态范围。LMH 6550提供的性能包括低失真、直流耦合、直流偏移选择以及固定增益。当与一款高速、CMOS模拟数字转换器,例如ADC12DL065配合使用时,所有这些放大器能够提供低阻抗、高灵活性的驱动能力。

在具体选择使用哪款放大器来驱动ADC时,首先重要的是确定系统的要求。一些值得考虑的关键参数是带宽、失真、平衡误差和建立时间。失真对于宽带信号而言始终是一个决定性的因素。另一方面,对于窄带信号而言,带宽因素将会决定放大器的选择,这是因为其失真可以用DSP来移除。窄带信号的特征为产生在带外的交互调制谐波失真,而在宽带信号中许多现象都产生在带内。基于信号和ADC特性的一个更加详细的选择标准将会在稍后进一步说明。

首先快速回顾一下ADC的基本知识。作为混合器件,ADC中同时包含了模拟和数字电路。ADC的数字部分工作在时钟采样率( $F_s$ )下,对于给定的应用频率这通常是固定的。采样率决定了大量的关键工作特性,在下文中将会具体说明。

当创建一个信号的数字表示时,ADC必须遵循Nyquist采样定理。Nyquist理论阐明,对信号采样的频率必须至少为信号中包含的最高频率的两倍。如此定义了Nyquist频带为采样率除以2( $F_s/2$ )。实际上这会造成“混迭”信号的产生。混迭信号是那种出现在ADC过程中和实际频率完全不同的一种信号。混迭信号可能是需要或者不需要的,但是都必须在系统设计中将它们考虑到。图1中描述了混迭现象,从频域图中可以看出其采样效果。根据具体应用的不同,混迭信号可能是噪声或者也可能是所期望的信号。用模拟滤波以及正确地选择采样和信号频率范围,可以消除由于混迭而产生的失真。

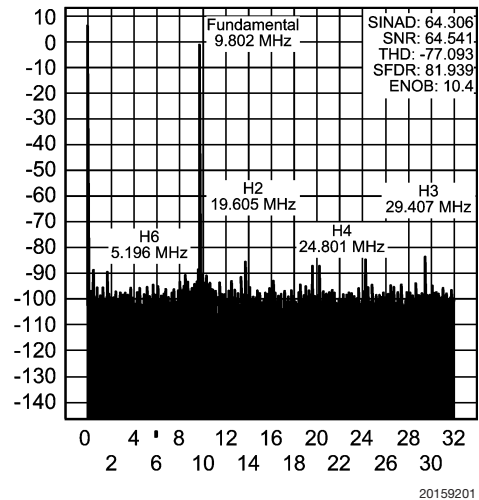
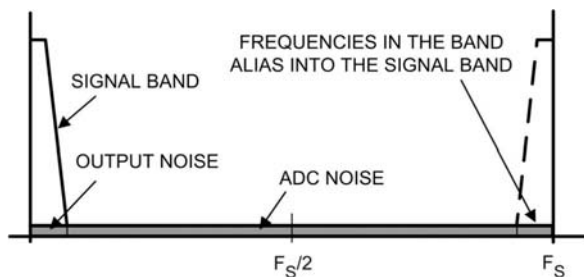


图1. Nyquist操作(注意到谐波能量如何折返到Nyquist频带以内)(LMH 6550驱动ADC 12L080, $F_s=64\text{MHz}$ ,信号=9.8MHz)

## Nyquist操作

模拟数字转换器中经典的和最可能熟悉的应用就是Nyquist应用。在该应用中信号频率完全包含在直流与一半的ADC采样频率 ( $F_S/2$ )之间。Nyquist理论阐明,一个信号必须以至少为被采样信号中最高频率分量两倍的频率进行ADC采样(注意到此不适用于已调制信号的载波,仅适用于信号中信息载运部分)。例如,为了进行电话交谈而对语音数据进行模拟数字转换时,为了得到所需要的300Hz至3000Hz的信息数据,要使用一个采样率至少为6kHz的ADC进行转换。在美国,电话交谈的模数转换的采样率为8kHz,精度保持在8bit。尽管对于ADC而言Nyquist的操作要求是最宽松的,但是它还是使抗混迭滤波器对系统性能的影响变得极为重要。同样地,Nyquist操作对驱动放大器也提出了十分苛刻的标准。放大器的0.1dB的带宽至少为采样频率的一半。放大器和ADC也具有可比较的失真和噪声性能,高达采样频率的一半。如果将放大器作为一个有源滤波器来使用,此时放大器的-3dB带宽应该接近于采样频率的两倍或者更多。通常情况下对于Nyquist操作而言,放大器和模数转换器在 $F_S/2$ 或者更低的频率处其所有的参数应该具有可比的特性指标。对于需要缓冲、小量的固定增益、特殊的信号净化功能的直流耦合信号或者低于50MHz的宽带信号而言,一个固定增益的放大器,例如LMH6550是理想的选择。LMH6550同时也无需额外的变压器来进行单端到差分的转换。



20159204

图2.过采样(采样频率大于六倍Nyquist采样频率)

### 过采样

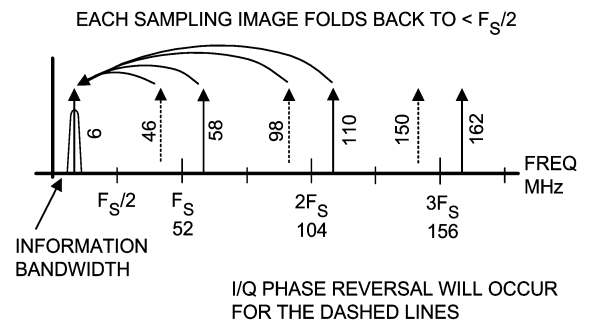
快速进步的模拟数字转换器技术已经为信号链路设计工程师们提供了非常强大的选择。现代模数转换器的速度是如此之快以致于它们的时钟速度要远高于信号带宽所需要的速度。这被称之为过采样。为了工作在过采样模式下定义信号带宽要远小于 $F_S/2$ 。而为了量化过采样的程度,由 $F_S/2$ 来除以信号带宽得到的过采样率来表示。在图2中,过采样率大约为6。过采样率越高,对于在模数转换器之前放置的模拟滤波器的要求则越低。其

他的关键优点就是驱动放大器只在信号带宽内满足模数转换器的特性指标。

过采样的关键优点之一就是其后的数字滤波器。在信号的频率上限与 $F_S/2$ 之间的整个频率区域可用来进行数字处理。数字滤波的优点在于容易调节,非常精确和能够实现很高阶的滤波器。这就产生了一种处理增益。处理增益是指在DSP中通过数字信号处理来获得的信噪比方面的改进。因为信号带宽以外的几乎所有噪声都可以由数字滤波来加以滤除,处理增益的值大约等于过采样率。例如一个信号带宽为6MHz、采样频率为24MHz的系统具有2倍的过采样率,可以增加6dB的信噪比性能。在信号带宽内的噪声是DSP所无法移除的。仔细地选择增益设置和反馈电阻将有助于将放大器引起的噪声保持在最低范围。

### 欠采样

欠采样使用模数转换器的采样机理,工作时类似于一个模拟的混频器。非线性混频是一项很古老的技术,广泛应用在外差或者超外差接收器中。



20159205

图3.欠采样(在任何箭头处呈现的ADC前端的信号将会被混迭到6MHz处)

正如图3所示,如果模数转换器的前端具有足够的带宽,模数转换器可用于将信号从较高频率混到低频。在该例中,采样频率是52MHz。一个150MHz的中频IF将被向下混频至6MHz。即使减少载波频率,信息的带宽和内容也完全没有变化,除了对相位进行取反(例如,平移180度—更加具体地说,实际和镜像频率分量进行互换),如图3所示的虚线表示的频率。

欠采样几乎总是用于过采样的结构中,结构中信号的带宽总是远低于 $F_S/2$ 。经过仔细地选择IF频率和采样频率,在模数转换器之后的DSP可以滤除模拟信号链引入的绝大部分失真,以及由模数转换器产生的大部分失真。这与本章中关于过采样的优点的阐述是一致的。

## Nyquist操作 (续)

因为考虑到 $F_s/2$ 和信号带宽, 更高的载波频率会需要一个更高的抗混迭滤波器Q值以实现相同的滤波效果。而如果不应用过采样结构, 欠采样则会变的毫无意义。

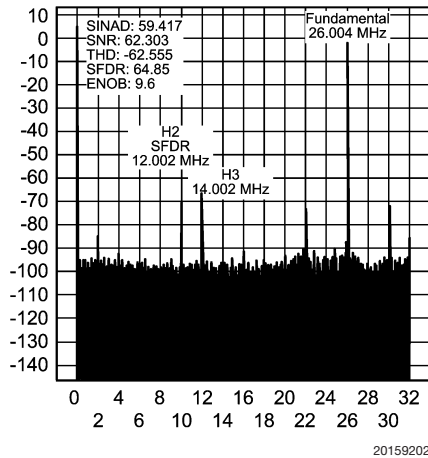


图4.接近 $F_s/2$ 的欠采样操作采样  
频率=64MHz,信号=38MHz  
(比 $F_s/2$ 高6MHz;  $32-6=26$ MHz)

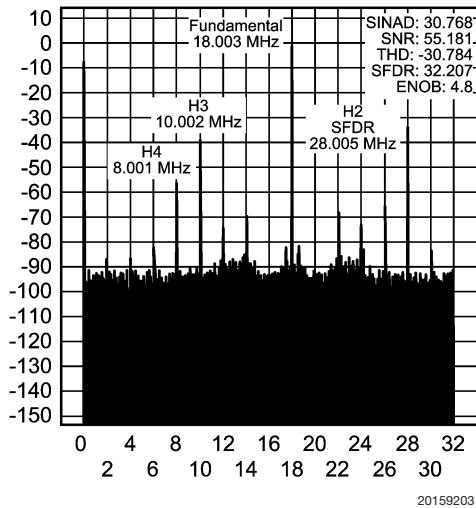


图5. 欠采样操作  
信号=146MHz,采样频率=64MHz  
( $F_s/2*4=128, 146-128=18$ MHz)  
(LMH6550驱动ADC12L080)

在图5中可以发现,图示的系统在SFDR仅有32dB的时候性能比较差。然而,在SFDR为65dB的时候,存在着从10MHz至28MHz的清晰的频谱带。当SFDR超过80dB的时候,频谱带将会变得更加窄。对于GSM系统而言,只需要200kHz的带宽。介于放大器和模数转换器之间的简单两极点LC滤波器可以减少H2、H3和驱动放大器产生的噪声。数字信号处理技术可以滤除大部分的失真信号。

## 放大器规格, 关键的参数表

### NYQUIST操作 – 低通抗混迭滤波器

放大器规格	放大器要求
带宽(0.1dB)	采样频率/2
H2 and H3	$\sim 20 * \log(1/(2^{(\text{number of bits})}))$
平衡误差	$\sim \text{ADC LSB at } 1/2 \text{ sampling frequency}$
建立时间	$\sim 0.5 * 1/\text{采样频率}$
噪声	$\sim \text{ADC的背底噪声低至6dB更佳}$

### 过采样操作

放大器规格	放大器要求
带宽(0.1dB)	信号带宽 $\ll$ 采样频率
H2 and H3	由于滤波使得它们不会落入频带内, 从而降低对放大器的要求
平衡误差	在最大的信号带宽处的ADC最小有效位
建立时间	$\sim 0.5 * 1/\text{信号带宽} \gg 1/\text{采样频率}$

### 欠采样操作

放大器规格	放大器要求
带宽 (3dB)	信号带宽 ( $\gg$ 采样频率)
H2 and H3	由于滤波使得它们不会落入频带内, 从而降低对放大器的要求
平衡误差	由于滤波而降低了要求
建立时间	由于滤波而降低了要求

## 将放大器连接至模数转换器

模拟数字转换器经常会对负载提出有挑战性的要求。一般会具有高阻抗的输入, 同时具有大量而且经常变化的电容分量。同时也会产生同开关电容和或者采样保持电路关联的电流尖峰信号。这使得模数转换器的输入变得很难驱动, 这就是放大器体现其价值的地方。差分放大器的输出级有助于滤除尖峰电流, 并为精确采样提供一个低阻抗、快速建立时间的电源。图6所示为驱动一个模数转换器的典型电路。两个56Ω的电阻用来隔离模

## 将放大器连接至模数转换器（续）

数转换器的电容负载与放大器，以确保系统的稳定性。此外，低通滤波器的电阻类型部分可以帮助提供抗混迭和削弱噪声功能。两个39pF的电容有助于平滑与模数转换器内部开关电路关联的尖峰电流，同时它们也是模数转换器输入端低通滤波器中的关键组成部分。在产生图4结果的电路中，滤波器的截止频率是 $1/(2 * \pi * 56W * 39pF + 16pF) = 52MHz$ （稍低于采样频率）。注意到必须将模数转换器的输入电容考虑到输入滤波器的频率响应中，对于不同的输入，有效输入电容会加倍。同样地，许多模数转换器的输入电容是关于ADC转换周期的一个函数（采样对保持）。对于您具体的模数转换器可以参

考详细的数据手册。在该例中使用的是采样电容值。

对于所有高速的电路，电路板的布局尤为关键。放大器和模数转换器应该尽可能地靠近放置。放大器和模数转换器都要求与滤波器器件邻近放置。要求在放大器输出迹线上具有最低的寄生负载效应，而模数转换器则对可能耦合至输入线路的高频噪声极为敏感。此外模数转换器的数字信号输出应该与模数转换器的输入以及放大器的输入良好地隔离开来。放大器和模数转换器地输入引脚不应该放置在电源层或者接地层。电源旁路电容应该具有低ESR效应，相邻引脚地间距应该在2mm以内。在需要的时候尽量使用多个过孔，这同样是个很好的建议。

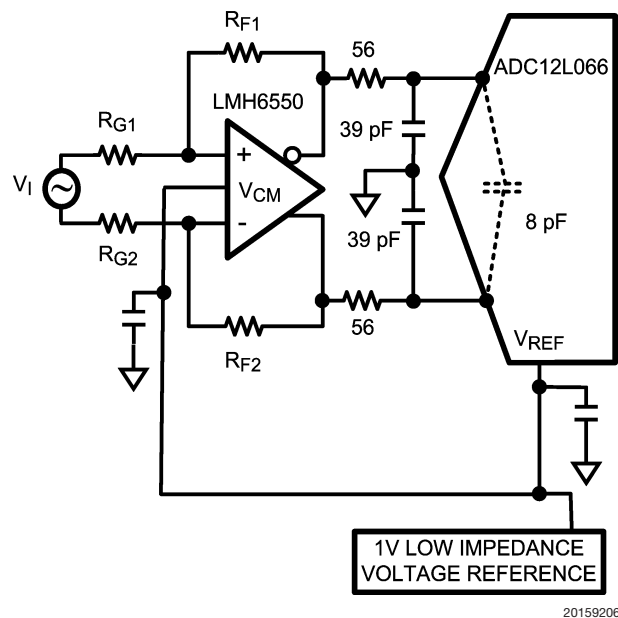


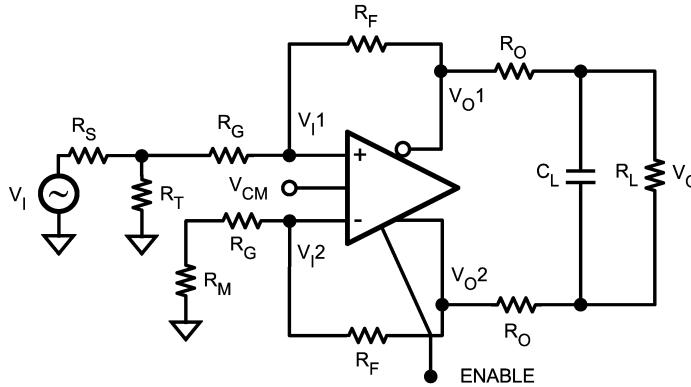
图6.驱动模数转换器（LMH6550驱动ADC12L066）

### 共模反馈

对于差分放大器而言共模反馈电路的一个主要优点就是其可以精确地设置输出共模电压水平。对于大多数模数转换器而言，必须将共模电压设置为一个特定的值以实现完全的动态范围。因为一个差分放大器理论上只放大输入的差分信号，从而可以独立地设置输出共模电压而不会影响增益或者差分输出信号。例如LMH6550这样的放大器具有高的输入阻抗用于输出共模电压缓冲（ $V_{OCM}$ ）。这使得放大器可以使用大多数具有缓冲电压

参考（ $V_{ref}$ ）输出功能的模数转换器的参考电压输出。对于不具有缓冲参考引脚的模数转换器而言，两个器件都可以使用一个外部的参考源。共模反馈电路的其他优点体现在当一个放大器需要从一个单端源来创建一个完全的差分信号的时候。共模反馈电路本质上是从相位输入信号中创建了丢失码。它也同样在所期望的共模点周围平衡了两个差分输出级信号。这使得可以从一个单端源中产生了一对非常精确的差分信号。在这里重要而值得注意的是，共模反馈电路看上去像

## 共模反馈（续）



$$*V_{CM} = \frac{V_{O1} + V_{O2}}{2} \quad *BY\ DESIGN$$

$$V_{ICM} = V_{OCM} * \frac{(R_G + R_M)}{(R_G + R_M + R_F)} \approx \frac{V_{OCM}}{1 + A_V} \quad \text{WHERE } R_M \ll R_G$$

20159207

图7.直流工作点

一个与缓冲器输入引脚和输出共模电压工作点相关的单位增益缓冲器。方程是  $V_{OCM} = (V_{+OUT} + V_{-OUT})/2$ ，简单地说，就是输出相对于输出共模电压 ( $V_{OCM}$ ) 具有完全相同的幅度和相反的相位。图7所示为单电源工作的一个典型结构。并且给出了方程来计算共模反馈网络的

效应。在这个实例中， $V_{CM}$  是共模反馈缓冲器的输入端。 $V_{OCM}$  输出共模电压，或共模反馈缓冲器的输出。当使用单电源(例如 0 至 +5V 而不是 +/- 5V) 时，输入共模工作点的终点将成为系统设计的关键限制。在单电源工作时增益和输出共模电压设置将受到限制。

对于上述任何电路的使用，美国国家半导体公司不承担任何责任且不默示任何电路专利许可。美国国家半导体公司保留随时更改上述电路和规格的权利，恕不另行通知。  
想了解最新的产品信息，请访问我们的网址：[www.national.com](http://www.national.com)。

### 生命支持策略

未经美国国家半导体公司的总裁和首席律师的明确书面审批，不得将美国国家半导体公司的产品作为生命支持设备或系统中的关键部件使用。特此说明：

1. 生命支持设备/系统指：(a) 打算通过外科手术移植到体内的生命支持设备或系统；(b) 支持或维持生命，依照使用说明书正确使用，有理由认为其失效会造成用户严重伤害。
2. 关键部件是在生命支持设备或系统中，有理由认为其失效会造成生命支持设备/系统失效，或影响生命支持设备/系统的安全性或效力的任何部件。

### 禁用物质合规

美国国家半导体公司制造的产品和使用的包装材料符合《消费产品管理规范 (CSP-9-111C2)》以及《相关禁用物质和材料规范 (CSP-9-111S2)》的条款，不包含 CSP-9-111S2 限定的任何“禁用物质”。  
无铅产品符合 RoHS 指令。



National Semiconductor  
Americas Customer  
Support Center  
Email: [new.feedback@nsc.com](mailto:new.feedback@nsc.com)  
Tel: 1-800-272-9959

National Semiconductor  
Europe Customer Support Center  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: [europe.support@nsc.com](mailto:europe.support@nsc.com)  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor  
Asia Pacific Customer  
Support Center  
Email: [ap.support@nsc.com](mailto:ap.support@nsc.com)

National Semiconductor  
Japan Customer Support Center  
Fax: 81-3-5639-7507  
Email: [jpn.feedback@nsc.com](mailto:jpn.feedback@nsc.com)  
Tel: 81-3-5639-7560

[www.national.com](http://www.national.com)

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权在不事先通知的情况下, 随时对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权随时中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的硬件产品的性能符合TI 标准保修的适用规范。仅在TI 保证的范围内, 且TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非政府做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了TI 产品或服务的组合设备、机器、流程相关的TI 知识产权中授予的直接或隐含权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于TI 的产品手册或数据表, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。在复制信息的过程中对内容的篡改属于非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。

在转售TI 产品或服务时, 如果存在对产品或服务参数的虚假陈述, 则会失去相关TI 产品或服务的明示或暗示授权, 且这是非法的、欺诈性商业行为。TI 对此类虚假陈述不承担任何责任。

TI 产品未获得用于关键的安全应用中的授权, 例如生命支持应用(在该类应用中一旦TI 产品故障将预计造成重大的人员伤亡), 除非各方官员已经达成了专门管控此类使用的协议。购买者的购买行为即表示, 他们具备有关其应用安全以及规章衍生所需的所有专业技术和知识, 并且认可和同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由TI 提供, 但他们将独力负责满足在关键安全应用中使用其产品及TI 产品所需的所有法律、法规和安全相关要求。此外, 购买者必须全额赔偿因在此类关键安全应用中使用TI 产品而对TI 及其代表造成的损失。

TI 产品并非设计或专门用于军事/航空应用, 以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品属于“军用”或“增强型塑料”产品。只有TI 指定的军用产品才满足军用规格。购买者认可并同意, 对TI 未指定军用的产品进行军事方面的应用, 风险由购买者单独承担, 并且独力负责在此类相关使用中满足所有法律和法规要求。

TI 产品并非设计或专门用于汽车应用以及环境方面的产品, 除非TI 特别注明该产品符合ISO/TS 16949 要求。购买者认可并同意, 如果他们在汽车应用中使用任何未被指定的产品, TI 对未能满足应用所需要求不承担任何责任。

可访问以下URL 地址以获取有关其它TI 产品和应用解决方案的信息:

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP 机动性处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>		
	德州仪器在线技术支持社区		<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122  
Copyright © 2011 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司