

## AMC1204 应用指南

Barry Xiao

China Telecom Application Team

### 摘要

AMC1204 是一款二阶隔离 Delta-Sigma 调制器，由于其出色的直流特性、交流特性及隔离特性，广泛应用在通信电源系统、逆变器、整流器、UPS 及电机控制中，可实现系统电源电压及电流的检测和监控。本文简单介绍了 AMC1204 的工作原理，重点讨论输入采样电阻阻抗对 AMC1204 转换精度的影响以及调制器输出滤波器的设计。

### 目录

<b>1. AMC1204 简介</b> .....	<b>2</b>
<b>2. 外围电路设计对转换精度的影响分析</b> .....	<b>3</b>
2.1 输入等效电路及分析.....	3
2.2 电路设计例子.....	4
2.3 小结.....	5
<b>3. 调制器输出滤波的设计</b> .....	<b>6</b>
3.1 移动平均滤波器.....	6
3.2 Sinc 滤波器.....	6
<b>4. 结论</b> .....	<b>9</b>
<b>Reference</b> .....	<b>9</b>

### 图

图 1 AMC1204 内部示意框图 .....	2
图 2 48V 通信电源电压/电流检测电路 .....	3
图 3 AMC1204 输入等效电路 .....	3
图 4 AMC1204 测试电路 .....	3
图 5 AMC1204 输出数据波形 .....	5

图 6 AMC1204 与 AMC1210 的连接 .....6  
图 7 调制器与抽取滤波器的基本架构 .....6  
图 8 Sinc3 数字滤波器架构 .....6

### 1. AMC1204 简介

AMC1204 是一款二阶隔离 Delta-Sigma 调制器。如图 1 所示，它使用 TI 特有的电容隔离技术，满足 UL1577，IEC60747-5-2 及 CSA 认证标准，隔离工作电压可达 1200Vpeak，瞬间隔离电压达 4000Vpeak，共模瞬态抑制在 15KV/us 以上。电容隔离器件具有同电感隔离器件相比更高的磁场抗扰性及可靠性，同光耦隔离器件相比更低的功耗等这些显著的优点，同时 AMC1204 内部集成了高精度的 Delta-Sigma 调制器，电路设计简单，被广泛应用于通信电源系统、逆变器、整流器、UPS 及电机控制等场景。

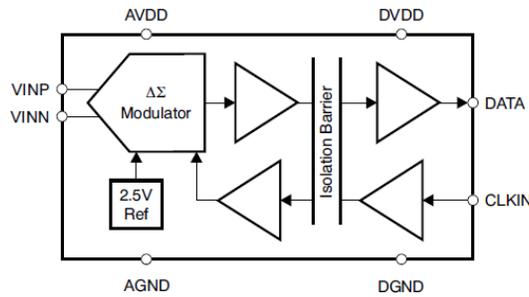


图 1 AMC1204 内部示意框图

AMC1204 具有出色的直流特性，DNL 误差小于 1LSB，INL 误差最大为 8LSB(-40°C至 85°C)，失调误差 1mV，增益误差小于 2%。如果将失调和增益误差校正后，不考虑电源及温度的影响，由 ADC 引入的误差仅为 0.012%。此外，AMC1204 也表现出了不错的交流特性，SNR 可达 88dB，THD 可达-96dB，有效位数 ENOB 可达 14bit(OSR=256，sinc<sup>3</sup>滤波器)。因此，AMC1204 可以满足绝大多数高精度系统的使用要求。图 2 是在通信系统电源中的一个检测电压和电流的典型应用电路，该电路使用两片 AMC1204 实现对 48V 电源的电压监测及负载电流检测，输出数字信号给后端进行处理，不需要额外使用隔离器件，应用电路设计更简单、更可靠。

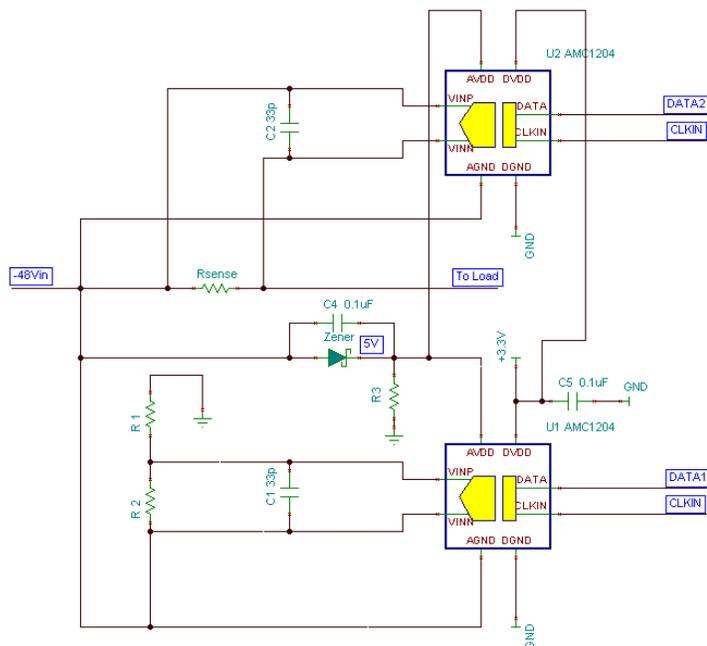


图 2 48V 通信电源电压/电流检测电路

## 2. 外围电路设计对转换精度的影响分析

在电路设计中，影响 AMC1204 转换精度主要是外围电路的电阻取值，尤其在通过电阻分压电路测试电压值的应用场景中。下面分析输入采样电阻对 AMC1204 转换精度的影响。

### 2.1 输入等效电路及分析

AMC1204 的输入等效电路如图 3 所示，在一个时钟周期内，完成一次采样/放电，输入等效电阻  $R_{EFF} = \frac{1}{f_{CLKIN} \times C_{DIFF}}$ 。当 AMC1204 的输入时钟频率为 5MHz 时，等效阻抗约为 50KΩ；当输入时钟频率为 20MHz 时，等效阻抗约为 12.5KΩ。如果待测信号的阻抗较大，则输入等效阻抗的影响不能忽略，因为这将可能严重影响到 ADC 转换的精度。因此，实际使用时，需要根据系统的性能要求，选择满足测量精度的采样电阻值。

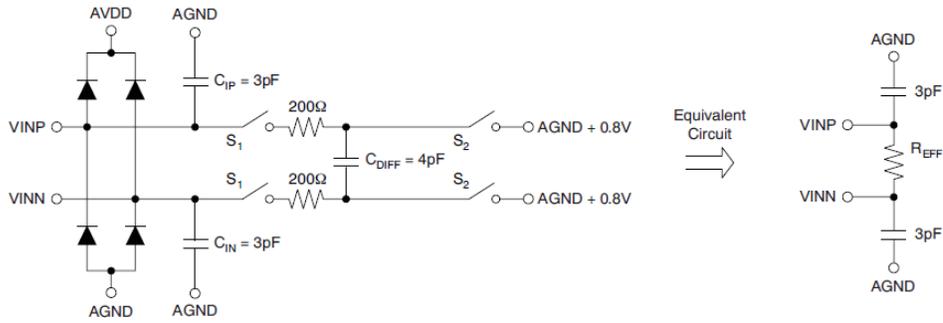


图 3 AMC1204 输入等效电路

以图 4 所示电路为例，如果不考虑器件输入等效电阻的影响，输入差分电压理论值为  $V_{input} = V_s \times \frac{R_s}{(R_d + R_s)}$ 。考虑到输入等效电阻，实际输入差分电压应为  $V_{input} = V_s \times \frac{R_s // R_{EFF}}{(R_d + R_s // R_{EFF})}$ 。

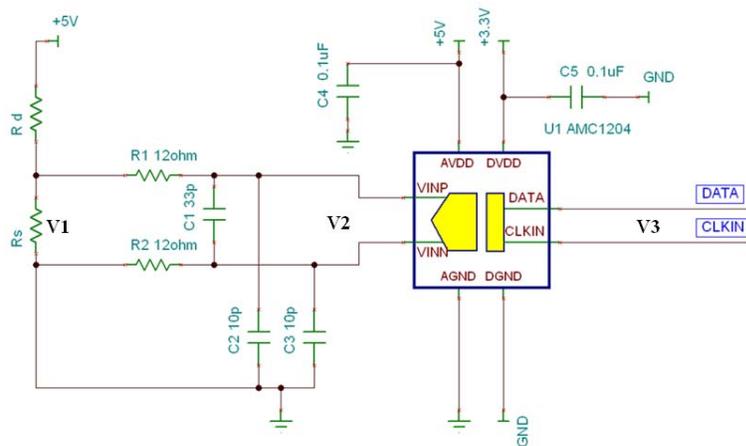


图 4 AMC1204 测试电路

以  $R_s=1/30R_d$  为例，则当  $R_s=0.01R_{EFF}$  时，由输入等效电阻  $R_{EFF}$  引入的误差约为 0.96%；当  $R_s=0.001R_{EFF}$  时，由输入等效电阻  $R_{EFF}$  引入的误差约为 0.1%。因此，实际应用时，如果要系统精度达到 1%以上，则需要采样电阻的阻抗小于  $0.01R_{EFF}$ ，以尽量减小由输入采样电阻引入的误差。

## 2.2 电路设计例子

使用图 4 所示电路测量不同输入采样电阻和时钟频率情况下 AMC1204 转换精度。实验使用 AMC1210<sup>[2]</sup>作为调制器后端的硬件滤波器，滤波器配置为  $\text{sinc}^3$  型，过采样率(OSR)设置为 256。实验结果如表 1 所示。 $V_1$ 是输入电压的目标值， $V_2$ 是 VINP 管脚与 VINN 管脚之间电压实测值， $V_2'$ 是 VINP 管脚与 VINN 管脚之间电压理论计算值(考虑到输入阻抗的影响)， $V_3$ 是由调制器的输出经滤波器后的转换结果。

$R_d/R_s$  取值 30kohm/1kohm

Input Clock	$V_1$ (mV)	$V_2'$ (mV)	$V_2$ (mV)	$V_2'$ 与 $V_2$ 偏差(%)	$V_3$ (mV)	误差 1(% , $V_3$ 相对于 $V_2$ )	误差 2(% , $V_3$ 相对于 $V_1$ )
5M Hz	-161.146	-158.1341	-158.07	0.0405	-157.417	0.4131	2.3141
10M Hz	-161.146	-155.1905	-155.13	0.0390	-154.339	0.5099	4.2241
15MHz	-161.146	-152.3546	-152.19	0.1081	-151.762	0.2812	5.8233
20MHz	-161.146	-149.6204	-149.67	-0.0331	-148.881	0.5272	7.6111

$R_d/R_s$  取值 3kohm/100ohm

Input Clock	$V_1$ (mV)	$V_2'$ (mV)	$V_2$ (mV)	$V_2'$ 与 $V_2$ 偏差(%)	$V_3$ (mV)	误差 1(% , $V_3$ 相对于 $V_2$ )	误差 2(% , $V_3$ 相对于 $V_1$ )
5M Hz	-160.86	-160.6159	-160.57	0.0286	-159.927	0.4004	0.5800
10M Hz	-160.86	-160.3071	-160.19	0.0731	-159.429	0.4751	0.8896
15MHz	-160.86	-159.9995	-159.80	0.1249	-159.185	0.3849	1.0413
20MHz	-160.86	-159.6931	-159.40	0.1839	-158.511	0.5577	1.4603

$R_d/R_s$  取值 300ohm/10ohm

Input Clock	$V_1$ (mV)	$V_2'$ (mV)	$V_2$ (mV)	$V_2'$ 与 $V_2$ 偏差(%)	$V_3$ (mV)	误差 1(% , $V_3$ 相对于 $V_2$ )	误差 2(% , $V_3$ 相对于 $V_1$ )
5M Hz	-162.50	-162.5083	-162.43	0.0482	-161.665	0.4710	0.5138
10M Hz	-162.50	-162.4766	-162.33	0.0903	-161.616	0.4398	0.5440
15MHz	-162.50	-162.4450	-162.23	0.1325	-161.528	0.4327	0.5982
20MHz	-162.50	-162.4134	-162.12	0.1810	-161.333	0.4854	0.7182

注：实验所选电阻精度为 1%，实际测量值由 Agilent U1251A 型号万用表测得，AMC1204 的失调误差和增益误差未校正(以上测试结果供参考)。

表 1 不同输入采样电阻和时钟频率下的转换结果

## 2.3 小结

以上实验结果可以看出，实测的输入电压值  $V_2$  与考虑到输入阻抗计算得到的理论值  $V_2'$  基本一致，实验得到的数据与理论分析基本吻合。输入时钟频率直接决定了 AMC1204 的输入阻抗，输入采样电阻值相对于 AMC1204 的输入阻抗越低，输入采样电阻的影响就会越小。因此，在一些测量电压的应用场景下，如果采样电阻值无法减小，可以使 AMC1204 工作在较低的时钟频率以提高输入阻抗，获得较高的转换精度。当然，降低输入时钟频率是以牺牲转换速率为代价的。此外，如果无法通过降低输入时钟频

率和输入采样电阻的方式提高精度，还可以通过软件方法对 AMC1204 的失调误差和增益误差进行校正，即对表 1 中的误差指标进行额外补偿，以提高系统精度，获得最佳的系统性能。

### 3. 调制器输出滤波的设计

AMC1204 输出 1 比特位宽由 0 和 1 组成的数据流，数据流中 1 的密度与模拟输入电压成正比。当输入电压为 250mV 时，输出 1 的比例为 89.0625%；当输入电压为 -250mV 时，输出 1 的比例为 10.9375%；当输入电压为 0mV 时，输出 1 的比例为 50%。当输入电压从 -250mV 到 +250mV 之间，AMC1204 的转换性能可以得到保障。为了得到真实的输出数据信息，一般需要在输出后端进行数字滤波处理，实际应用中可以采用以下两种滤波器对输出数据进行处理。

#### 3.1 移动平均滤波器

移动平均滤波器比较简单，它是取输入信号的最近的一些值，进行算术平均，相当于一个低通滤波器，滤除高频分量，保留低频分量。在时钟 clk 的上升沿，对 AMC1204 输出的高脉冲进行计数，计算出 M 个 clk 的上升沿时，对应的高电平脉冲个数 N。则，对应的转换结果为  $(640 \cdot N / M - 320) \text{mV}$ 。平均的项数越多，即 M 越大，则得到变化越缓慢的输出信号，但得到的精度也越高。

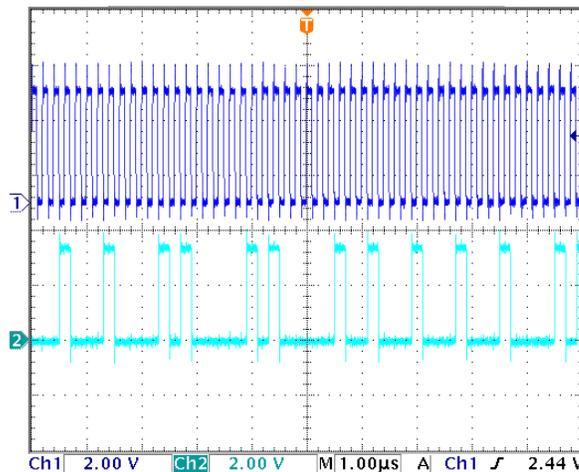


图 5 AMC1204 输出数据波形

需要注意的是，在实际应用中，这种方法必须平均尽可能多的输入信号才能获得比较高的精度。移动平均滤波器实现比较简单，不需要单独增加 DSP 或 FPGA 即可实现。但是，移动平均滤波器的频域效果较差，滚降较慢，因此，在检测低频信号及对精度要求不高的应用中，可以考虑使用这种方法。但是，对于精度要求比较高的应用中，需要考虑使用性能更好的滤波器，如 Sinc 滤波器。

#### 3.2 Sinc 滤波器

Sinc 滤波器具有良好的频域特性，较低的成本和功耗，延时较低，因此，广泛用作 Delta-Sigma DAC 的滤波器。Sinc 滤波器可通过专门的滤波器芯片或者通过 FPGA 或 DSP 算法来实现。

AMC1210 是一个 4 通道的数字滤波器，芯片输出接口可设置为 SPI 接口或者并行接口方式，方便与 CPU 进行数据通信。数字滤波器可设置为 Sincfast, Sinc<sup>1</sup>, Sinc<sup>2</sup> 或者 Sinc<sup>3</sup> 方式。实际应用时，由于 Sinc<sup>3</sup> 滤波器具有更好的低通特性，建议将 AMC1210 配置为 Sinc<sup>3</sup> 滤波器，过采样率(OSR)设为 256 以获得最优的转换结果。

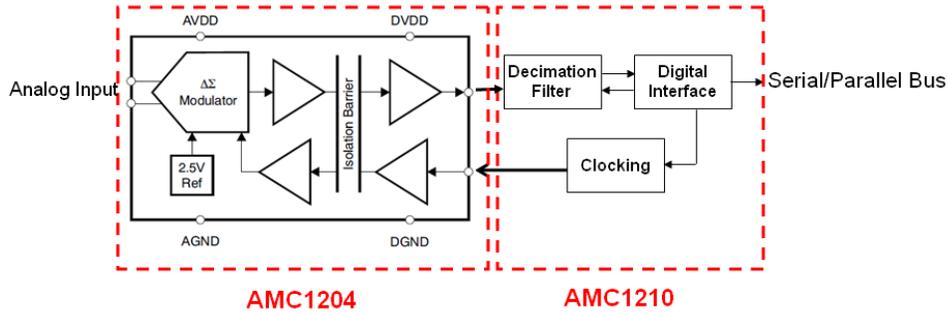


图 6 AMC1204 与 AMC1210 的连接

此外，也可以通过 FPGA 或 DSP 来实现 Sinc 滤波器算法。滤波器的基本架构如图 7 所示。

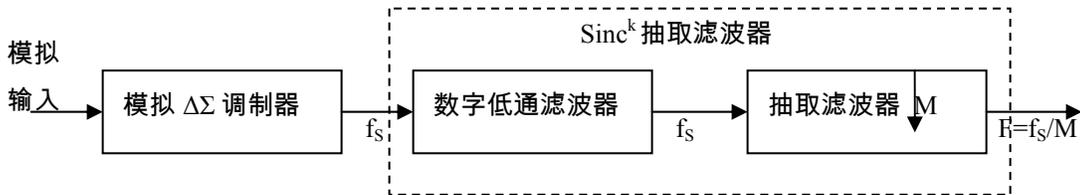


图 7 调制器与抽取滤波器的基本架构

以下是用 VHDL 语言实现 SINC<sup>3</sup> 滤波器的一段示例程序。其中，CNR=MCLK/M，M 为抽取率(即过采样率 OSR)。

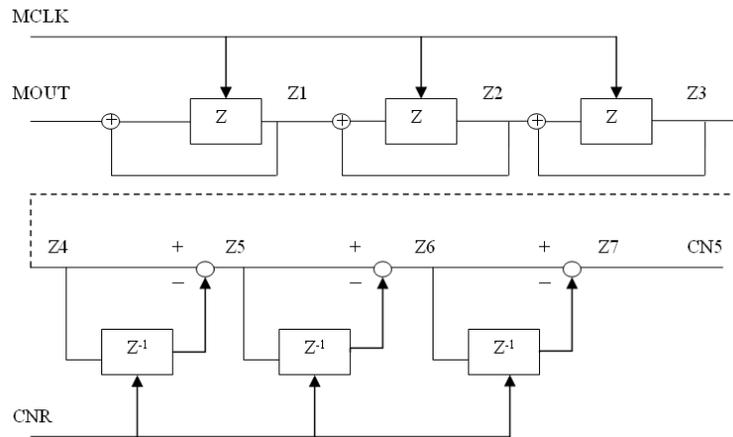


图 8 Sinc<sup>3</sup> 数字滤波器架构

图 8 的示例代码：  
library IEEE;

## ZHCA495

---

```
use IEEE.std_logic_1164.all;
use IEEE.std_logic_unsigned.all;

entity FLT is
  port(RESN, MOUT, MCLK, CNR : in std_logic;
       CN5          : out std_logic_vector(23 downto 0));
end FLT;

architecture RTL of FLT is
  signal Z1  : std_logic_vector(23 downto 0);
  signal Z2  : std_logic_vector(23 downto 0);
  signal Z3  : std_logic_vector(23 downto 0);
  signal Z4  : std_logic_vector(23 downto 0);
  signal Z5  : std_logic_vector(23 downto 0);
  signal Z6  : std_logic_vector(23 downto 0);
  signal Z7  : std_logic_vector(23 downto 0);
begin

  process(MCLK, RESN)
  begin
    if RESN = '0' then
      Z1 <= (others => '0');
      Z2 <= (others => '0');
      Z3 <= (others => '0');
    elsif MCLK'event and MCLK = '1' then
      Z1 <= Z1 + MOUT;
      Z2 <= Z2 + Z1;
      Z3 <= Z3 + Z2;
    end if;
  end process;

  process(CNR, RESN)
  begin
    if RESN = '0' then
      Z4 <= (others => '0');
      Z5 <= (others => '0');
      Z6 <= (others => '0');
      Z7 <= (others => '0');
    elsif CNR'event and CNR = '1' then
      Z4 <= Z3;
      Z5 <= Z3 - Z4;
      Z6 <= Z3 - Z4 - Z5;
      Z7 <= Z3 - Z4 - Z5 - Z6;
    end if;
  end process;

  CN5 <= Z7;

end RTL;
```

## 4. 结论

应用高性能隔离Delta-Sigma调制器AMC1204时，为了确保转换精度，需要注意外围输入电路的设计，选择合适的输入采样电阻以及时钟频率，使得输入采样电阻阻值相对于输入等效阻抗尽量小，以此降低输入电阻引起的转换误差；同时选择合适的输出滤波器，以满足整个系统对测量精度的要求。

## Reference

[1] AMC1204 datasheet

[2] AMC1210 datasheet

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 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, 并有权根据 JESD48 最新标准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 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。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。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件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 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权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中 TI 信息的重要部分, 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。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 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与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	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.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/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应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/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 © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司