

基于 MSP430 实现电视的电容式触摸按键

丁京柱

TI MSP430 技术支持

摘要

按键是电视中必不可少的人机接口。目前在电视中实现按键的方式通常采用机械开关和电阻分压网络实现的；当不同的按键按下时产生不同的电压，每个电压对应着相应的按键。本文描述的基于 MSP430 实现电视的电容式触摸按键是专门用来替代这种传统机械按键方式，使得电视具有外壳设计更加时尚、按键寿命更长等特点。尤其在一些超薄电视的设计过程中，触摸按键更是必选的人机接口。本文介绍了基于 PCB 电容式触摸按键检测机理以及电视中电容式触摸按键控制板系统及基于 MSP430 实现。随文所附的原理图、源代码和 Gerber 文件，能够让工程师迅速进行评估。

内容

1	电容式触摸按键传感器介绍及检测	2
1.1	电容式触摸按键传感器介绍	2
1.2	电容式触摸按键传感器检测	2
2	电视触摸按键系统及实现	4
2.1	电视触摸按键系统框图	4
2.2	组合传感器实现按键	5
2.3	组合传感器实现按键的软件识别	5
3	实际设计过程考虑因素	6
3.1	电源和接地	6
3.2	量产考虑要素	6
4	总结	6
	参考文档	7

图

图 1.	电容式触摸传感器	2
图 2.	基于 MSP430 比较器实现张弛振荡器	3
图 3.	张弛振荡器 Vcaout 和 Vc(t) 波形	3
图 4.	电视触摸按键系统框图	4
图 5.	组合传感器实现按键示意图	5
图 6.	组合传感器实现按键 PCB 布局图	5

1 电容式触摸按键传感器介绍及检测

1.1 电容式触摸按键传感器介绍

随着平板电视技术和 LED 背光技术的发展，超薄电视已经逐渐成为市场的主流。而按键作为电视的标准接口，传统的机械按键已经很难满足超薄电视的外壳设计要求。电容式触摸按键不需要机械结构，其厚度仅为 PCB 板和板上元器件厚度之和，非常适合超薄电视的要求。而触摸按键还有很多其它优点，如简化并美化外壳设计、延长按键寿命和降低生产成本等。所以，目前触摸按键已经广泛应用于电视、冰箱以及 MP3/MP4 等消费类电子产品中。

通常机械按键是指通过触碰后产生开关量电信号输出从而进行相应的控制，而触摸按键是指通过人手指靠近或触摸后产生并检测其变化量从而实现控制的。电容式触摸按键的实现是基于检测电容式触摸传感器来实现的。一个按键可由一个传感器组成，但也可以由两个或多个传感器组成。本文描述的触摸按键采用两个传感器组合而实现的。

什么是电容式触摸传感器呢？根据平板电容原理，一般在印制板线与线之间、印制板的上下层之间会形成电容，但这种电容的容值很小。为了获得相对较大或稳定的电容值而形成电容触摸传感器，我们需增大传感器焊盘的面积来实现。这里做一个简单的计算。我们常用的 PCB 介质是 FR4 材料的，相对空气的介电常数 ϵ_r 是 4.2-4.7，其是个无量纲的纯数。这里我们取其为 4.5；而面积 A 一般接近手指肚大小，取其为 10mm^2 ；而 d 为 PCB 板材厚度，一般为 1.5mm。

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} = \frac{1 \times 4.5 \times 10}{1.5} \approx 3(\text{pF})$$

电容值 3pF 是一个非常小的容值，再加上 PCB 每个电容式触摸传感器线路上寄生电容和杂散电容，每个传感器的容值也就在几个 pF 左右。而电容式触摸按键正是基于对这个电容检测来完成手指触碰与否实现按键检测过程的。现假设在 PCB 上已构建好电容式触摸按键传感器，如图 1 所示在手指触碰下其电容值变化机理。传感器焊盘与地之间会形成一定的电容，当电压施加在这个电容上时，传感器焊盘与地线之间就会形成电场线（又称作电力线）。如图 1 左图所示，电力线在空气中分布较为发散。而人的肌肉属于导电体的范畴，所以当手指触摸时会造成电力场产生畸变即手指触摸增加了其相对介电常数，进而影响到传感器电容值增大。通过检测电容值的变化，从而检测出电容式传感器是否被触碰。这个电容值的检测是通过张弛振荡器实现的，其产生基于传感器 C 的振荡并测量其频率或脉冲数变化。

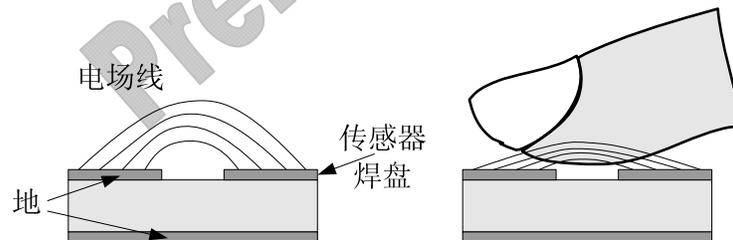


图 1. 电容式触摸传感器

1.2 电容式触摸按键传感器检测

检测容值变化的张弛振荡器是通过 MSP430 片上的比较器模块实现的。如图 2 所示，利用 MSP430 片上的比较器构建张弛振荡器 (Relaxed Oscillator)。其正输入端接入由三个等值电阻构造的电阻分压网络构成比较器参考电压 V_{ref} ；负输入端接入前面所述的基于 PCB 的电容式触摸传感器（特别要注意这里指的是传感器而不是按键）；比较器的输出端通过充放电电阻 R_0 连接电容式触摸传感器以及正输入端的比较器参考端。在开始我们假定电容 C 被放电到零电位，其电容的测量过程如下，

1) 首先比较器输出端 V_{caout} 为高电平，其使电容 C 经指数曲线经电阻 R_0 充电到 V_{cc} 。趋于稳态时，电阻 R_2 左端 A 点电位等于 V_{cc} ，这样电阻 R_2 和电阻 R_1 并联并与 R_3 串联，负输入端参考电压 $V_{ref} = 2/3V_{cc}$ 。

2) 此时，负输入端电压等于 V_{cc} ，比较器翻转从而 V_{caout} 输出低电平，迫使电容 C 转而进入放电状态。当电容放电逐渐接近零电位时，电阻 R_2 和电阻 R_3 并联并与 R_1 串联而使 $V_{ref}=1/3V_{cc}$ 。这时，比较器的正输入端电压 $V_{ref}=1/3V_{cc}$ ，负输入端电压等于零电位，比较器翻转从而输出高电平，重复步骤 1) 的过程。

这个电路之所以被称作张弛振荡器正是由于 RC 充放电回路连续张弛 (relaxed) 而试图趋向稳定状态。实际上，由于比较器输出 V_{caout} 连续的切换，张弛振荡器会永远工作在振荡状态。如上所述，基于张弛振荡器产生了对传感器 C 的振荡并通过 $CAOUT$ 测量其对应的频率或脉冲数。张弛振荡器工作过程中 V_{caout} 和 $V_c(t)$ 的波形可参考图 3，通道 1 为 V_{caout} 波形，通道 2 为 $V_c(t)$ 波形。另外，图中右图手指触摸后所测波形，频率为 213KHz；左图为未被触碰时的波形，频率为 275KHz。可见电容传感器由于手指触碰后其容值增大。

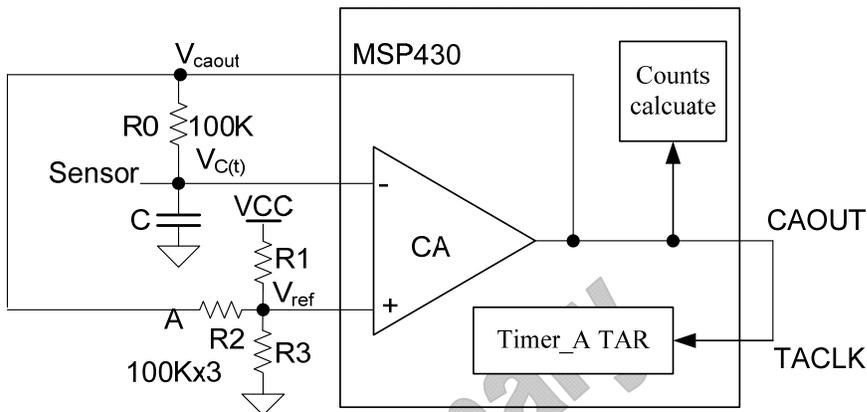


图 2. 基于 MSP430 比较器实现张弛振荡器

通过张弛振荡器实现了电容到频率或脉冲数的变化。接下来，就要计算比较器输出脉冲数以确定传感器容值大小。有两种实现方法如下，

1) 通过 $CAOUT$ 引脚和 $Timer_A$ $TACLK$ 引脚在外部连接。这样，比较器输出脉冲作为 $Timer_A$ 的时钟输入并计数。参考文献 3 详细介绍了此方法。

2) 利用软件计数的方式实现脉冲数的测量。其在程序中用一固定软件时间窗来完成对比较器输出脉冲的计数。本文所附源程序是基于这个方法实现的。

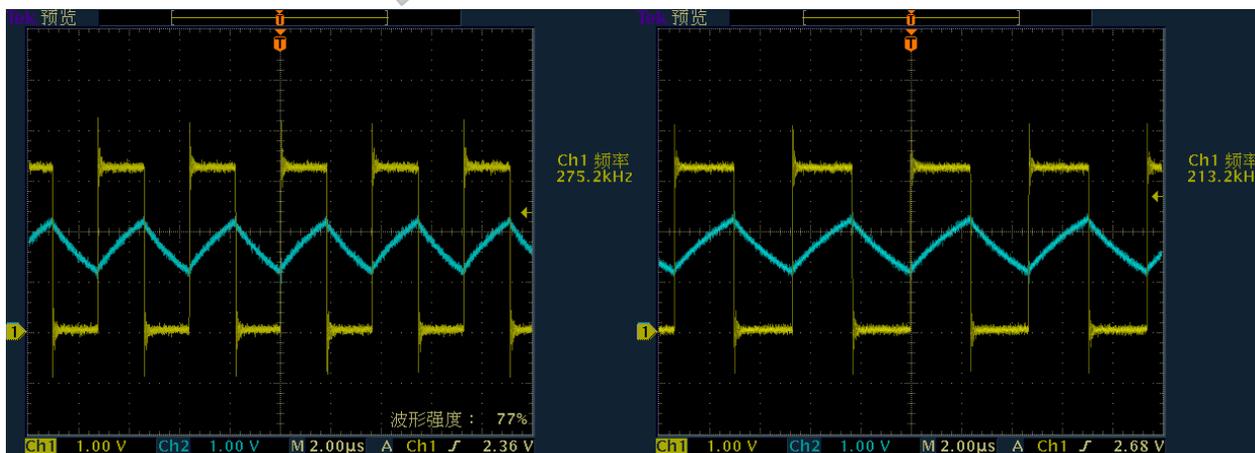


图 3. 张弛振荡器 V_{caout} 和 $V_c(t)$ 波形

2 电视触摸按键系统及实现

2.1 电视触摸按键系统框图

电视触摸按键控制板系统框图如图 4 所示。其中控制板需实现 7 个触摸按键，即 CH-, CH+, VOL-, VOL+, menu, input, power。电视的电容式触摸按键板对成本要求比较敏感和对控制板尺寸有较为严格的要求，本文选用 MSP430F2011 能同时满足上述两个要求实现电视触摸按键控制系统。由于 MSP430F2011 片上比较器多路复用的限制，本文所附设计电路采用 5 个电容式触摸传感器并以传感器组合的方式实现这 7 个按键。同时，每个按键需要对应的 LED 指示灯用以指示按键是否被触按，为节省单片机资源，使用 1 个 GPIO 通过一个三极管实现 7 个 LED 同时开或关的控制。触摸按键控制板与电视主芯片的接口采用模拟电压输出的方式，其采用片上定时器实现 PWM DAC 再经低通滤波器得到模拟电压输出以供电视主控板 ADC 用以识别按键。如表 1 所示，当某一个按键按下时，本文电视触摸按键控制板输出对应的典型的模拟电压值。MSP430F2011 支持 2-wire-JTAG 的仿真模式，触摸按键控制板留有其相应的接口，可以用于设计调试及生产烧录。本触摸按键控制板需外加 3.3V 电源或用 eZ430 工具供电就可以迅速进行触摸按键方案的使用和评估。

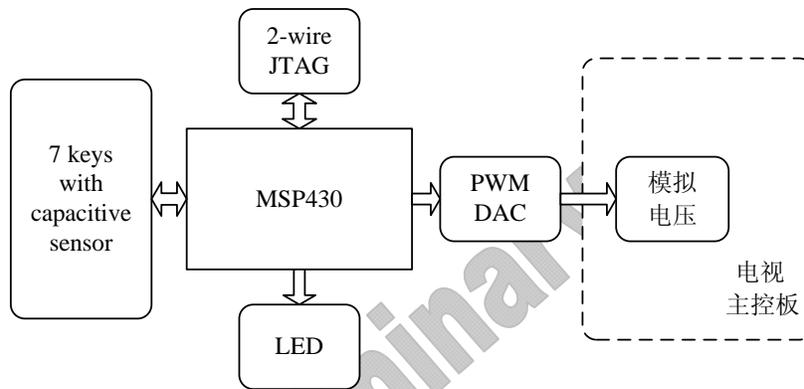


图 4. 电视触摸按键系统框图

Table 1. 触摸按键对应的输出模拟电压值

按键	无按键	CH-	CH+	VOL-	VOL+	menu	input	power	电源电压
电压值(V)	3.3	2.58	2.15	1.71	1.33	0.83	0.44	0.00	(VCC=3.3V)

另外，对于一些系统设计有些特殊要求，如 power 键采用一对一的直接输出按键开关信号、键值采用 I2C/UART 等串行接口传送和按键触碰要求有触按声音等。这些要求均可以采用 MSP430 轻松实现。所以设计一个电视触摸按键控制板，需根据按键个数以及系统的一些具体要求选用合适的 MSP430。表 3 给出了不同 MSP430 所对应的比较器模块、最多电容式触摸传感器个数和同过组合可实现的最多按键数。

Table 2. 实现触摸按键的 MSP430 选择

推荐 msp430 芯片	片上比较器模块	最多电容式触摸传感器个数 (n)	同过组合可实现的最多按键数(n^2+n)/2
MSP430F20x1 MSP430F21x1	Comp_A+	6	21
MSP430F21x2 MSP430F23x0	Comp_A+	7	29
MSP430F550x MSP430F513x (new device)	Comp_B	15	120

2.2 组合传感器实现按键

如前所述，为节省 MSP430F2011 的 GPIO 资源以及片上比较器多路复用引脚的限制，本文所述设计由 5 个电容式触摸传感器来组成 7 个按键。5 个传感器 sensor0 到 sensor4 来自片上比较器的负输入端，请参考图 2。如图 5 所示 sensor0 和 sensor1 组合，构成 power 按键；sensor2 和 sensor3 组合，构成 menu 按键，等等。当实际工作过程中，手指触碰 menu 键，实际上同时触发了 sensor2 和 sensor3；这时，需同时检测 sensor2 和 sensor3 的对应的脉冲数变化（变化量）来完成对 menu 键的检测。其它按键亦同理。

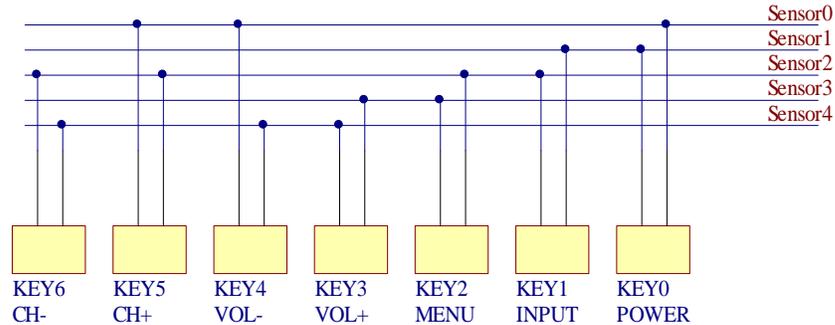


图 5. 组合传感器实现按键示意图

为了能够更好的看清其组合方式及机理，可参考图 6 所示组合传感器实现按键 PCB 布局图。从图中可以看出，menu 按键是由电容式触摸传感器 sensor2 和 sensor3 两个半圆形的焊盘组合而成。同时 sensor2 和 sensor3 还和其它电容式触摸传感器组成 CH+ 按键和 VOL+ 按键等。

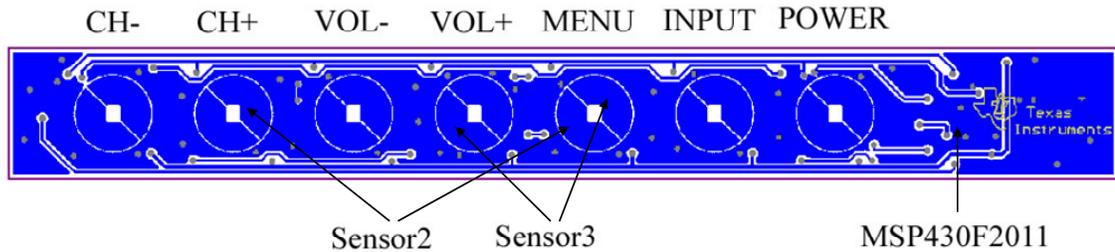


图 6. 组合传感器实现按键 PCB 布局图

组合传感器实现按键的方式能有效地用较少的电容式触摸传感器个数而增加可实现按键个数，但从实用性上看也由于组合的方式带来一些缺陷。当采用一个电容式触摸传感器对应一个按键的独立按键模式时，其手指触按引起的电容值变化量比较大。而采用如图 5 所示的组合方式时，电容式触摸传感器 Sensor2 已用做 4 次组合，这直接带来传感器 sensor2 的总的容值增大。而当其被触按时只是其中一个传感器的部分容值增大，相对于 4 次组合的总的容值的变化量相对较小。这样在软件算法方面比较难设定阈值且灵敏度较差，因此在实现较厚的绝缘层外壳要求下，最好采用一个传感器实现一个按键的方式。而组合传感器实现按键的方式比较适合小于 3.5mm 绝缘层外壳要求。

基于 MSP430F2011 实现的电视的触摸按键原理图以及对应的 PCB 的 Gerber 文件可以参考随本文所附的压缩包 MSP430F2011_TV_seven_touchkeys_hardware.zip。

2.3 组合传感器实现按键的软件识别

根据前面讲述的张弛振荡器，我们需要计算张弛振荡器输出信号频率即振荡器输出的脉冲数。在前面提到电容式触摸传感器的容值计算方法曾谈到过介电常数，而现实世界中这个介电常数是会随温度变化的，比如常用 FR4 的环氧树脂 PCB 板在 0-70 度的温度范围内，其最大变化范围可以达到 20%。这说明未触按键的电容式触摸传感器电容值也会随着环境的变化而变化。因此参考文献 3 已经较为详细地讲述了的计算脉冲数的程序以及跟踪电容式触摸按键传感器脉冲数自适应的方法。

那么如何通过传感器检测实现组合按键识别呢？假设我们已经计算出 5 个电容式触摸按键传感器的脉冲数，而其中某一个按键被触碰，那么其所对应的两个传感器的脉冲数与未触碰之前的脉冲数将形成较大的差值即较大的变化量。同时考虑到手指触摸过程中，由于不同人手指大小、用力的不同或触碰位置等也有可能影响到相邻的传感器，进而影响到其脉冲数的变化。在算法设计过程中，我们用排序法找到脉冲数差值（变化量）的大小排列的前 3 个传感器。判断一个按键是否按下需满足以下两个条件：

1) 第一个最大值与第二个最大值均大于设定的触摸按键被触发的阈值。

2) 第二个最大值与第三个最大值之间的差值不小于某个阈值。进行这样的判读，主要是消除手指触碰两个按键的之间的误触碰。

最后，根据第一个最大值和第二个最大值所对应的传感器，来判别其组合所对应的按键，本方案全部程序可以参考随本文所附的源程序 MSP430F2011_TV_seven_touchkeys.c。

3 实际设计过程考虑因素

3.1 电源和接地

作为触摸按键控制板的电源设计必须能够保证其电源的稳定性以及足够的带载能力。前面张弛振荡器部分已经介绍过，通过电容式触摸传感器容值的变化转化脉冲数的变化。而在计数过程中我们是以片上数字控制的振荡器（DCO）频率为基准的，而在系统电压和环境温度变化的情况下，DCO 的频率也会产生变化。这将影响到触摸按键的灵敏度，在极端的条件下也可能产生误触发。

背光灯同时点亮也是一种较为特殊的对电源的影响实例。前面提到电视触摸按键需采用背光灯，7 个按键对应着 7 个 LED 灯。为节约单片机资源，7 个 LED 灯由同一 GPIO 控制同时开启或关闭。另外一种情况，CH-/CH+ 和 VOL-/VOL+ 按键需要长按以满足通道变化或音量变化的连续调节，这时 7 个 LED 灯也将同时开启并维持较长时间。以本文所附电视触摸按键原理图为例进行计算，7 个 LED 在开启时需要 23.1mA 电流。这个较大的瞬时取用电流，必将造成触摸按键控制板的电源电压瞬时跌落，进而造成对触摸按键灵敏度的影响。

由于电视一般尺寸较大的架构，触摸按键板通常在电视右下角侧，而电视的电源板通常在与其相对较远的位置，若电源板与触摸按键板采用线径较细的排线相连。不稳定的电源以及 LED 开启较大的瞬时取用电流，也会造成触摸按键灵敏度的影响。同理地线的连接也会由于较细线径以及较长电流回路，造成对触摸按键灵敏度的影响。

从 PWM DAC 角度来分析，我们所设计的模拟输出电压等于电源电压乘上占空比。软件设计时，采用固定的占空比。所以当电源电压变化时，按键所对应的模拟电压也发生变化，而影响电视主控板的识别，进而影响到灵敏度。

所以触摸按键在实际设计过程中要特别注意电源的设计。若可能或者说最好，触摸按键控制板上能够采用 LDO 或 Regulator 单独进行供电，并控制好其电源输出的纹波以及负载调整率。

电视触摸按键控制板一般为狭长的 PCB 板，如图 6 所示。所以在 PCB 布板的过程中，电源走线以及 LED 灯等较大电流走线不要穿越电容式触摸传感器。

3.2 量产考虑要素

电容式触摸按键控制板在量产过程中其装配对其可靠性和灵敏度也有较大的影响。首先双面胶的选择，其寿命、介电常数、阻抗以及寿命等参数都要进行考量，且在贴合过程中要保证平展无气泡。其次，触摸按键控制板外壳的涂层厚度要均匀且要求较高的阻抗。最后，要保证触摸按键板与外壳安装的准确定位。

4 总结

MSP430 是一款超低功耗以及具有高性能模拟外设且非常易用的混合信号微控制器。实现电视的电容式触摸按键可采用 MSP430 实现单芯片解决方案，简单易用的仿真器与集成开发环境可缩短产品上市时间。本文所附的原理图以及代码非常贴合电视触摸按键的实际要求。14 个引脚 MSP430F2011 可完成电视触摸按键的全部要求，具有非常高的性价比。成功的批量生产案例表明，基于 MSP430 的触摸按键解决方案具有高度可靠的特性。

参考文档

1. *MSP430x2xx Family User's Guide (SLAU144)*
2. *MSP430F20xx data sheet (SLAS491)*
3. *PCB-Based Capacitive Touch Sensing With MSP430 (SLAA363)*

Preliminary

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 保修的范围内, 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 的数据手册或数据表, 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。

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

放大器	http://www.ti.com.cn/amplifiers
数据转换器	http://www.ti.com.cn/dataconverters
DSP	http://www.ti.com.cn/dsp
接口	http://www.ti.com.cn/interface
逻辑	http://www.ti.com.cn/logic
电源管理	http://www.ti.com.cn/power
微控制器	http://www.ti.com.cn/microcontrollers

应用

音频	http://www.ti.com.cn/audio
汽车	http://www.ti.com.cn/automotive
宽带	http://www.ti.com.cn/broadband
数字控制	http://www.ti.com.cn/control
光纤网络	http://www.ti.com.cn/opticalnetwork
安全	http://www.ti.com.cn/security
电话	http://www.ti.com.cn/telecom
视频与成像	http://www.ti.com.cn/video
无线	http://www.ti.com.cn/wireless

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated