

LM2673

*Application Note 1157 Positive to Negative Buck-Boost Converter Using
LM267X SIMPLE SWITCHER® Regulators*



Literature Number: ZHCA133

利用LM267X系列SIMPLE SWITCHER®稳压器来实现正相转负相的升降压转换器

美国国家半导体公司
应用注释 1157
2000年11月



引言

第三代Simple Switcher LM267X系列稳压器都是内置MOSFET开关的单片集成电路。这些稳压器易于使用并仅

需极少的外置器件。在本文中，将会具体讨论反相转换器的设计。

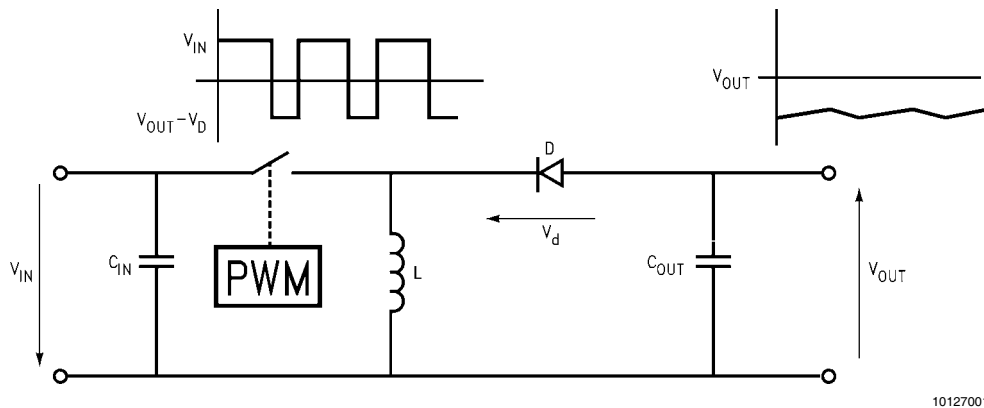


图1. 反相转换器的基本结构（升降压转换器）

工作原理

反相转换器如图1所示，工作的基本原理为：在工作期间的第一部分在电感L中存储能量，并通过续流二极管D将能量迁移到输出端。当开关导通时，二极管被反相偏置，电感电流线性上升。当开关被关闭时，为了继续保持峰值开关电流，电感反偏本身的极性。因此续流二极管被正向偏置，存

储在电感中的能量也被迁移到负载以及电容上。（请参考图3和图4的开关波形）。

因为在电感顶端的结点 V_A 对地是负极性的，电容上的输出电压也会变成负极性。

重要的是应注意这种类型的转换器可以提升或者降低输入电压的幅度。因此这种电路也被称之为升降压转换器。

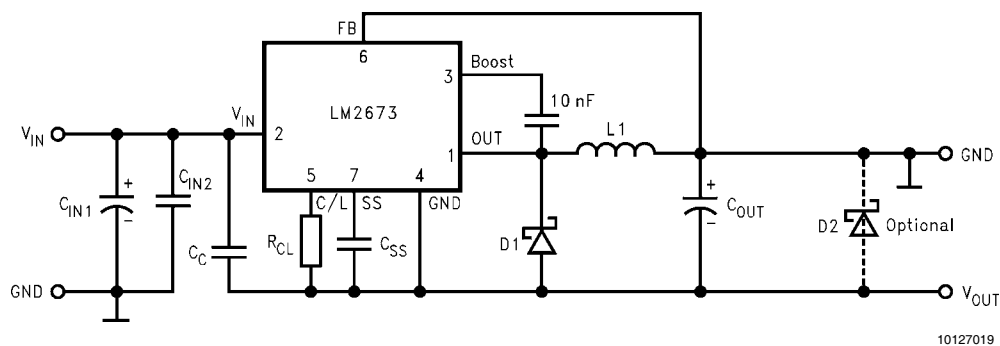


图2. LM2673正相转负相的转换器

设计要点

图2所示为采用LM2673的反相稳压器的典型结构。注意接地端连接到输出端负极，反馈以接地(GND)为参考。因此，无需任何额外的电平移位和反馈信号反相，可对负极性

输出正确地调整。采用LM2673的可调电压版本，将反馈电阻连接GND至 V_{OUT} （跨在输出电容上），也可以实现这样的应用。

SIMPLE SWITCHER® is a Registered Trademark of National Semiconductor Corporation

设计要点 (续)

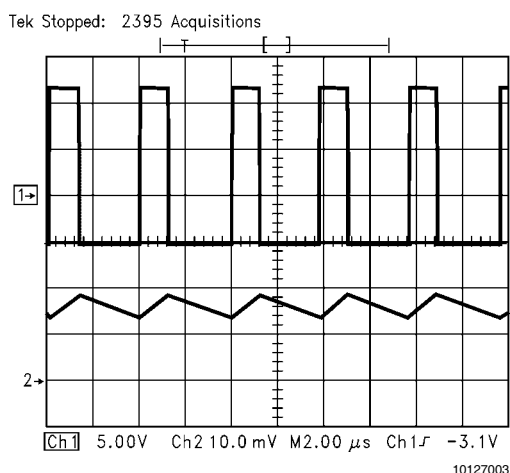
通常, 这样的电路特别难以稳定, 因为在控制到输出的传输函数中存在一个右半平面零点。因此, 为了稳定稳压器环路而提供更多的相位裕度, 采用一个相对较小的电容 C_C (与输入电容相比), 从输入端连到负极性输出端。一个小于 $100\ \mu\text{F}$ 的电容可产生最佳的性能。

对于比 100mA 更低的输出电流, 稳压器能工作在非连续模式, 并且无需电容 C_C 。

使用电容 C_C , 首先对电路施加电压, 电容的初始充电电流会在输出端产生正极性的电压尖峰脉冲。然而, 这种正极性的电压尖峰脉冲一般很小, 不会造成任何问题。

电容的初始充电电流会在电容的ESR上产生压降。因为电容 C_C 和输出电容形成电压分压器, 初始电压尖峰脉冲的幅度取决于 C_C 的ESR值和输出电容。因为总输出电容ESR值通常要比补偿电容ESR值小很多, 初始电压尖峰脉冲非常小, 一般仅为 500mV 。如果电感的直流电阻比较大 ($2\ \Omega$ 或更大), 初始启动电流也较大, 尖峰脉冲可能会更大。在采用肖特基二极管的情况下, 二极管D2会把正极性输出电压尖峰脉冲钳制在 300mV 左右。在大多数情况下无需钳位, 所以可省略D2。

图3和图4为开关稳压器的典型波形。



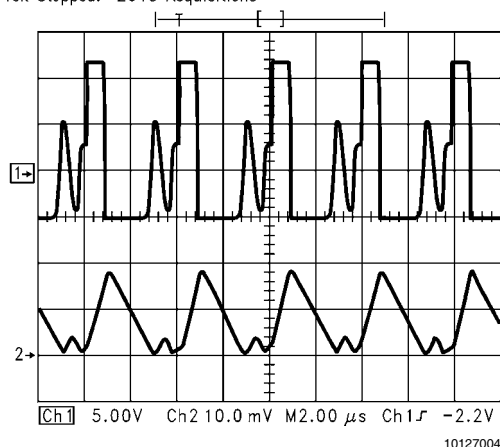
上迹线: 开关电压, $5\text{V}/\text{div}$

下迹线: 电感电流, $2\text{A}/\text{div}$

水平精度: $2\mu\text{s}/\text{div}$

图3. 连续模式

Tek Stopped: 2613 Acquisitions



上迹线: 开关电压, $5\text{V}/\text{div}$

下迹线: 电感电流, $0.5\text{A}/\text{div}$

水平精度: $2\mu\text{s}/\text{div}$

图4. 非连续模式

器件的选择

以下小节将详细讨论电路器件的计算和选择。该计算基于连续模式工作情况。

电感器的选择

占空比的计算如下:

$$D = \frac{|V_{OUT}| + V_d}{V_{IN} + |V_{OUT}| + V_d - V_{SW}}$$

这里

V_d = 二极管正向压降

V_{SW} = 晶体管开关导通电压 (参考数据手册可以发现 $R_{DS(on)}$ 和 $I_{SW_{max}}$ 的计算如下: $V_{SW} = I_{SW_{max}} \cdot R_{DS(on)}$)

电感的平均电流 I_L :

$$I_L = \frac{I_{OUT}}{1 - D}$$

有许多不同的方法来计算所需的电感值。其中一个不错的方法是选择电感纹波电流 ΔI_L 在电感的平均电流 I_L 的20%至30%之间。这会使稳压器工作在连续模式, 设计将产生良好的负载瞬态响应, 并具有可接受的输出纹波电压。

电感器的选择 (续)

因此选择电感纹波电流峰峰值 ΔI_L 为:

$$\Delta I_L \approx 0.2 \text{ to } 0.3 \cdot I_L$$

所需的电感为:

$$L = \frac{V_{IN} \cdot D}{f \cdot \Delta I_L}$$

这里 f = 开关频率

为了避免电感饱和, 电感电流的方均根(RMS)值应等于或大于最大开关电流 $I_{SW_{max}}$ 。此外, 电感的伏·秒值至少为:

$$E \cdot T = V_{IN} / D \cdot f$$

IC器件的额定值

DC/DC转换器必须采用最大电流值和最大电压值。

峰值开关电流:

$$I_{SW_{max}} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2}$$

因为器件的接地端连接到输出端, 器件的最大输入电压必须能处理标称的应用输入电压加上输出电压。

IC的峰值开关电压和输入电压额定值:

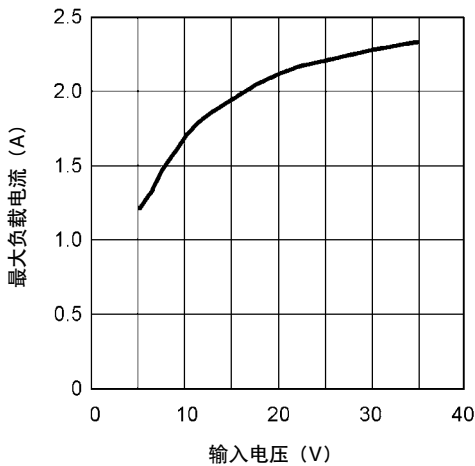
$$V_{SW_{max}} = V_{IN} + |V_{OUT}|$$

功耗:

$$P_D = V_{IN} \cdot I_q + I_{SW_{max}}^2 \cdot R_{DS(on)}$$

请参考数据手册以获得 $R_{DS(on)}$ 。

最大开关电流取决于占空比 D 和电感值。了解这点非常重要, 因为类似于LM2673的3A降压稳压器并不能总是以这种拓扑结构传输3A的负载电流。如图5所示。



10127005

图5. LM2673的输入电压与负载电流之间的关系
($V_{OUT} = -5V$, $L = 33\mu H$)

二极管额定值

续流二极管D1必须满足下列参数:

$$I_{D_{max}} = I_{SW_{max}}$$

$$V_{D_{max}} = V_{IN} + |V_{OUT}|$$

$$P_D = I_{D_{max}} \cdot V_D \cdot (1 - D)$$

通常选择一个低正向电压的肖特基二极管来得到良好的转换器效率。

输出电容的选择

选择输出电容必须主要根据其ESR值, 当开关导通时, 电容必须能够传输负载电流。ESR值是决定输出电压纹波的主要参数。因为当正向偏置续流二极管的初期, 只有输出电容的ESR值决定负载阻抗, 因而也决定了纹波电压。

因此为得到期望的输出纹波电压, 所要求的ESR值计算如下:

$$ESR = \frac{\Delta V_{OUT}}{I_{SW_{max}}}$$

这里

ΔV_{OUT} = 期望的输出纹波电压

为得到期望的输出纹波和负载电流, 最小的电容值为:

$$C_{OUT_{min}} = \frac{I_{OUT} \cdot D}{f \cdot \Delta V_{OUT}}$$

输入电容的选择

选择输入电容必须主要根据其ESR值和电流方均根(RMS)值, 其目的是为了支持输入端的大电流变化。建议采用低ESR电容, 从而将输入电压纹波和与系统中其它电路的干扰降到最低。考虑为EMI敏感的应用添加L-C输入滤波器。

效率

可以通过下式计算效率。该计算不包括电感、铜和电容的损耗, 但是计算值与你最终应用中的期望值非常接近。

$$\eta = \frac{V_{IN} - V_{SW}}{V_{IN}} \cdot \frac{|V_{OUT}|}{|V_{OUT}| + V_D}$$

实例: 反相稳压器, 12V输入到-5V输出, 负载电流为1.5A

在本例中, 我们假定续流二极管D1是肖特基二极管, 其正向压降为0.5V。我们可以预估到开关电压大约为0.5V, 尽管其可能与实际应用中有点出入。

实例：反相稳压器，12V输入到-5V输出，负载电流为1.5A（续）

占空比为：

$$D = (5V + 0.5V) / (12V + 5V + 0.5V - 0.5V) = 0.32$$

计算与电感相关的参数：

$$I_L = 1.5A / (1 - 0.32) = 2.21A$$

$$\Delta I_L = 0.2 \cdot I_{OUT} = 0.44A$$

$$L = (12V \cdot 0.32) / (260kHz \cdot 0.44A) = 33.6\mu H$$

$$E \cdot T = (12V + 5V) / (0.32 \cdot 260kHz) = 204V \cdot \mu s$$

电感电流峰值同开关电流峰值相同：

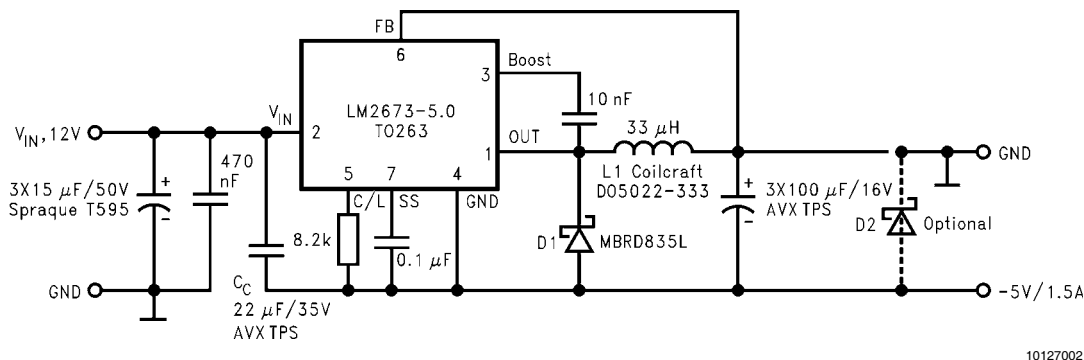
$$I_{SWmax} = 2.21A + (0.44A/2) = 2.43A$$

将电感值选为合适的33 μ H，额定值超过3A和210V $\cdot\mu$ s。LM2673-5.0是合适的开关稳压器IC，它具有3A/40V的开关额定值和40V的额定输入。此外，对LM2673-5.0进行配置，可以在该拓扑中控制-5V的输出电压。LM2673的 R_{DSon} 为0.15 Ω ；检查开关电压预估值，我们得到：

$$V_{SWmax} = 2.43A \cdot 0.15\Omega = 0.37V$$

这个较低的开关电压会稍微降低峰值开关电流，但能显著地改变其它的计算结果。

最终的电路如图6所示。它的效率在满负载时一般达到82%。



10127002

图6. +5V到-15V/150mA反相升降压转换器

PCB布局指南

为应用LM267X反相稳压器而推荐的印刷电路板（PCB）布局如图7所示。

将输入电容尽量靠近稳压器的输入引脚放置，这一点非常重要。为了获得最佳性能，请特别注意正确的接地。建议采用一个单独的接地层或者至少一个单独点接地结构。在更高的负载电流诸如大于1A时，需特别小心金属迹线和器件的摆放。其中一个原因就是大的开关电流会造成PCB金属迹线产生电压降，特别是在260kHz及以上的开关频率，长金属迹线和器件引脚也会造成有害的寄生电感。该寄生电感通常

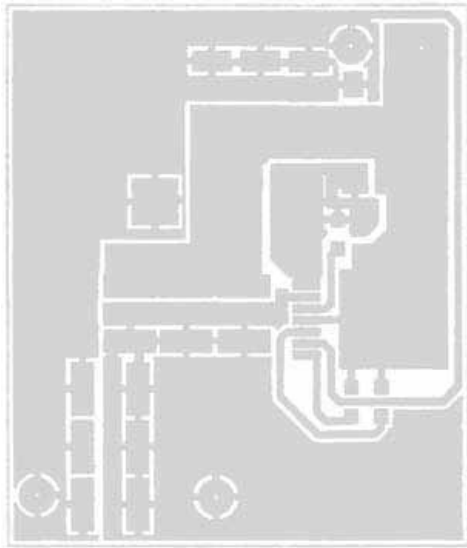
是在输入和输出线路上产生的高压尖峰以及EMI问题的主要原因。

因此尽量靠近IC放置电感、续流二极管，特别是输入电容。用金属迹线连接这些器件时候应采用较粗的线宽。

将反馈电路远离电感进行布线是为了避免电磁交叉干扰。为了获得更好的EMI性能，应采用屏蔽的磁铁芯。

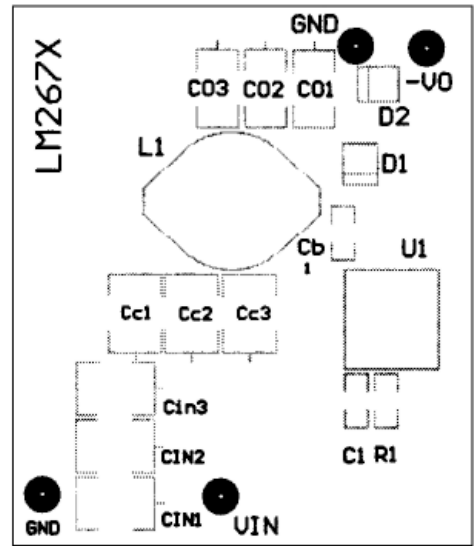
在敏感应用中，即使已经采用低ESR的输入和输出滤波电容，输入和输出的电压尖峰仍然是不能接受的。在这种情况下，应考虑采用输入和输出L/C滤波器。

PCB布局指南 (续)



顶层

10127020



丝网层

10127021

L1 = DO5022-333. Coilcraft
 $C_{IN} = 3 \times 15\mu\text{F}/50\text{V}$ Sprague T595
 $C_{OUT} = 3 \times 100\mu\text{F}$ AVX TPS Series
 D1 = MBRD835L
 $C_C = 22\mu\text{F}/35\text{V}$ AVX TPS Series

图7. LM2673演示板, 12V至-5V/1.5A;
 应用电路请参考图6

稳定性的考虑

脉冲宽度调制开关模式的DC/DC转换器是由频率响应控制环路组成的, 因此设计必须满足控制环路的稳定性判据。

因为电感值、输出电容值和ESR以及补偿电容 C_C 将会影响稳压器的环路稳定性, 所以必须测试转换器的稳定性。

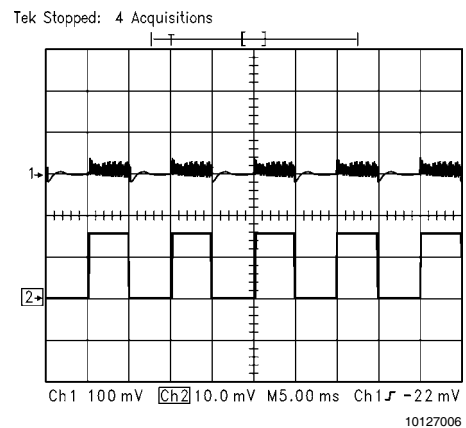
关于稳定性的第一个测试是检查半导体开关上的开关电压波形, 这是LM2673的输出引脚。如图3和图4分别表示在连续和非连续工作模式下该波形应该稳定且无抖动。

如果所有输入电压和负载电流条件下都是同样的情况, 则很好说明本身是个稳定性的设计。

下一步测量是脉动负载测试或者负载瞬态响应测试。在测试期间, 负载电流受到最大和最小负载之间的脉动(矩形波、快速上升时间)。通过示波器来观察输出电压波形。请参见图8。在这些条件下输出电压应对负载电流变化做出响应而不会产生任何振荡。必须在所有输入电压条件下重复验证。

如果稳压器在这些测试中产生稳定性问题, 必须改变相应的输出电容和/或者补偿电容 C_C 。在LM267x反相升降压转

换器应用中, 通常会增加 C_C 的电容值(使用一个低ESR电容)来提高稳定性能。



上迹线: 输出电压, 100mV/div

下迹线: 负载电流, 1A/div

水平精度: 2μs/div

图8. 负载瞬态响应表现出稳定的工作性能

启动要点

在低输入电压（低至5V）时，LM267x系列开关稳压器充分利用了升降压拓扑结构的优点。通常这些稳压器对输入电压的最低要求 $V_{IN}=6.5V$ ，因为其内置的5V稳压器可以为IC提供内部偏置。

因为器件的接地端连到输出端，从 V_{IN} 到GND生成的电压为输入电压加上输出电压的幅值，总和一般超过8V。具体请

参考“器件额定值”章节。因此，器件在输入端初始电压为5V，可以使能器件启动，只要输出变为负极性，器件的输入电压将最终上升至 $(V_{IN} + V_{OUT})$ ，虽然该值大于6.5V，但仍落在允许的规格范围内。

通常反相稳压器在启动期间需要大的输入峰值电流。利用开关稳压器IC的软启动特性，可以将其纹波降到最低。

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。

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时，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
Tel: 1-800-272-9959

National Semiconductor
Europe Customer Support Center
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: 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

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

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 & 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	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	
RFID 系统	
OMAP 机动性处理器	
无线连通性	
德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

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