

使用多相降压转换器的好处

作者: David Baba, 德州仪器 (TI)
应用工程部经理

引言

对于电流在 25 A 左右的低压转换器应用而言, 单相降压控制器非常有效。若电流再大的话, 功耗和效率就开始成为问题。一种较好的方法是使用多相降压控制器。本文将简单比较使用多相降压转换器和单相转换器的好处, 并说明电路实现时一个多相降压转换器能够提供什么样的值。

图 1 显示了一款二相电路。由该电路的波形 (图 2 所示) 可以清楚地看到各相互交错。这种交错可减少输入和输出纹波电流。另外, 它还减少了印刷电路板或者某个特定组件上的热点。实际上, 二相降压转换器让 FET 和电感的 RMS-电流功耗降低了一半。交错还可以降低传导损耗。

输出滤波器考虑

由于每个相位的功率级电流更低, 多相实现的输出滤波器要求也随之降低。对于一款 40-A 二相解决方案来说, 向每个电感提供的平均电流仅为 20A。相比 40-A 单相方法, 由于平均电流和饱和电流更低, 电感和电感器体积都大大减小。

输出纹波电压

输出滤波器级中的纹波电流抵消可带来比单相转换器更低的输出电容器纹波电压。这就是多相转换器为什么是首选的原因。方程式 1 和方程式 2 计算出了每个电感中所抵消的纹波电流百分比。

$$m = D \times \text{Phases} \tag{1}$$

and

$$I_{\text{Rip_norm}}(D) = \text{Phases} \times \frac{\left[D - \frac{m \cdot D}{\text{Phases}} \right] \times \left[\frac{1 + m \cdot D}{\text{Phases}} - D \right]}{(1 - D) \times D}, \tag{2}$$

图 1 二相降压转换器

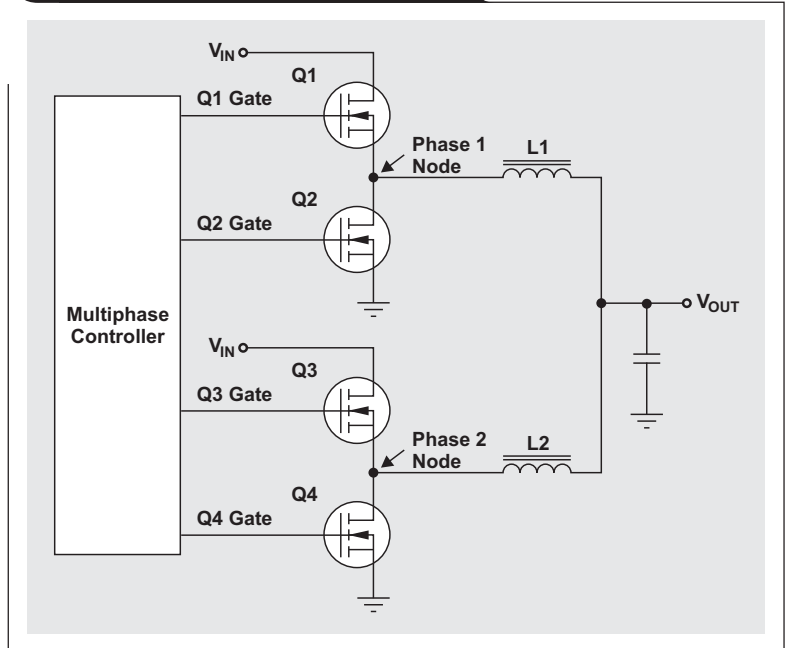
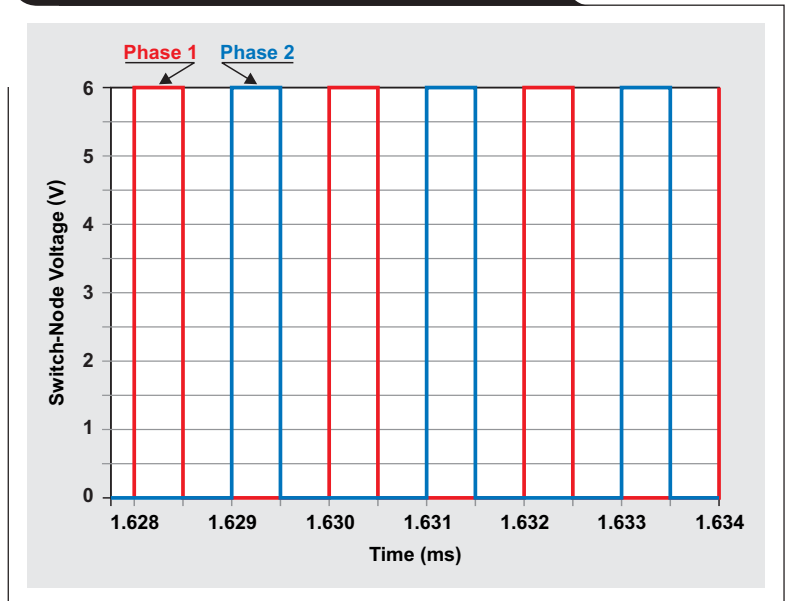


图 2 相 1 和 2 的节点波形



其中，D 为占空比， I_{Rip_norm} 为标准化的纹波电流，其为 D 的函数，而 mp 为 m 的整数。图 3 为这些方程式的曲线图。例如，20% 占空比 (D) 时使用 2 个相，可降低 25% 纹波电流。电容器必须承受的纹波电压大小，可通过纹波电流乘以电容器的等效串联电阻计算得到。很明显，最大电流和电压要求都降低了。

图 4 显示了 25% 占空比下一个二相降压转换器的仿真结果。电感纹波电流为 2.2A，但是输出电容器电流仅为 1.5A，原因是纹波电流抵消。50% 占空比下使用二相时，电容器完全没有纹波电流。

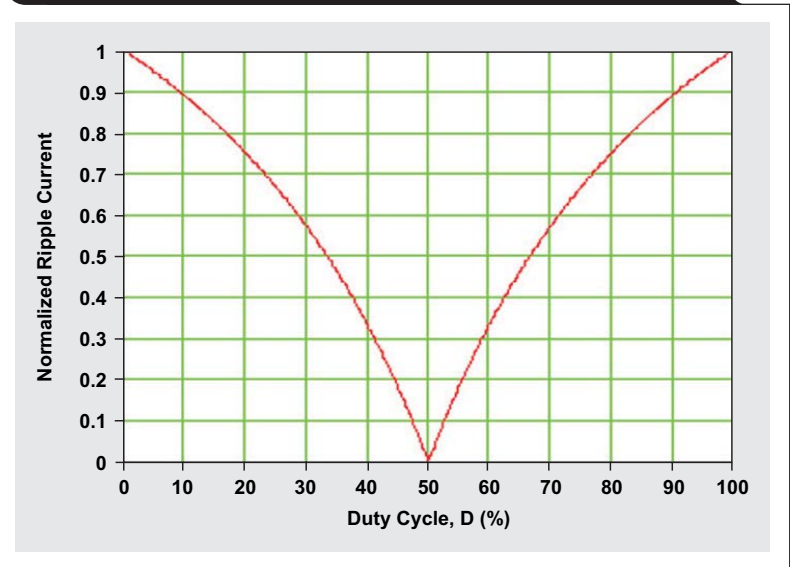
负载瞬态性能

由于每个输出电感中存储的能量降低，负载瞬态性能随之提高。电流抵消带来的纹波电压降低，帮助实现了最小输出电压过冲和下

冲，因为在环路响应以前许多周期都已结束。纹波电流越低，干扰越小。

输入 RMS 纹波电流抵消

图 3 标准化电容器纹波电流为占空比的函数



如果连接转换器的输入线存在电感效应，则输入电容器将所有输入电流供给降压转换器。要仔细选择这些电容器，以满足 RMS 纹波电流要求，确保它们不会出现过热状态。很明显，对于一个 50% 占空比的单相转换器

图 4 D=25% 时电感纹波电流抵消

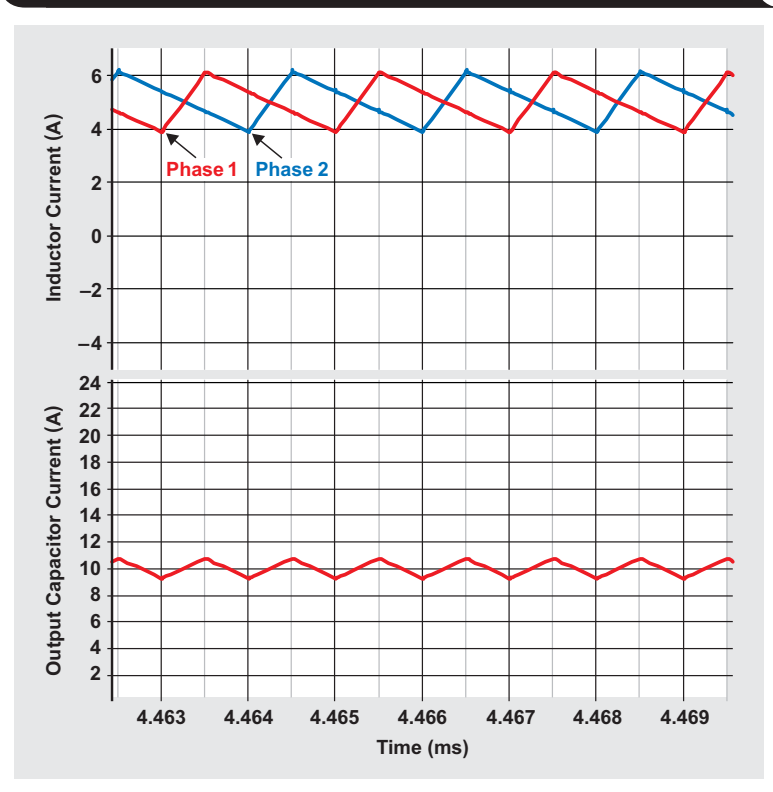
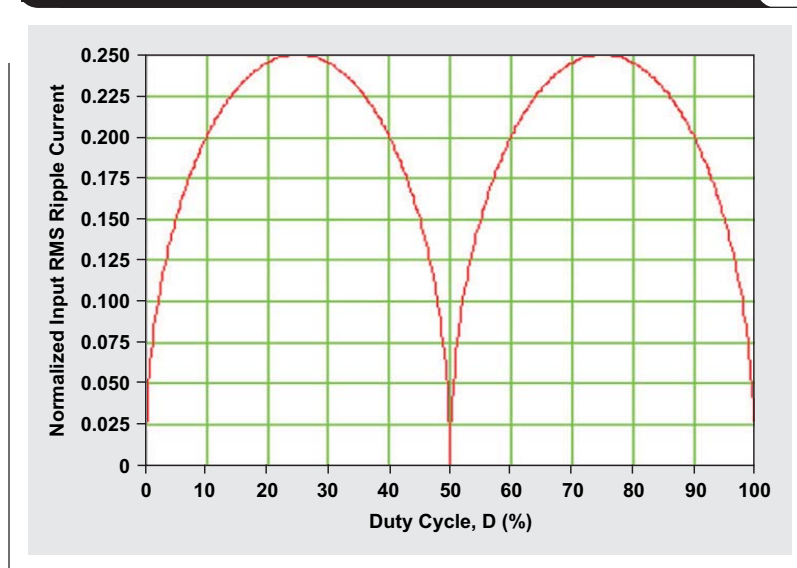


图 5 标准化输入RMS纹波电流为占空比的函数



来说，极限输入 RMS 纹波电流一般固定为 50% 输出电流。图 5 和方程式 3 表明，使用二相解决方案时，25% 和 75% 占空比时出现极限 RMS 纹波电流，其仅为 25% 输出电流。

$$I_{\text{Input_norm}}(D) = \sqrt{\left[D - \frac{m_p(D)}{\text{Phases}} \right] \times \left[\frac{m_p(D)+1}{\text{Phases}} - D \right]} \quad (3)$$

相比单相解决方案，多相解决方案的值更明确。只需用更小的电容，便可满足降压级的 RMS 纹波电流需求。

应用实例

LM3754 高功率密度评估板通过一个 12-V 输入电源供电，提供电压为 12V，电流为 40A。该评估板体积大小为 2 × 2 英寸，组件占用面积为 1.4 × 1.3 英寸。每个相的开关频率设定为 300kHz。表 1 对上述及其他工作条件进行了概括。组件放置在一个 4 层板上，层上铜为 1 盎司。板上还有一些引脚，用于远程检测，另有一个引脚用于获得输出电压余量。

根据设计，LM3754 评估板以高功率密度配置工作，因此它利用经过优化的输入电容器，其要求的 RMS 纹波电流更低。另外，评估板还拥有较低的纹波电压和较高的瞬态性能。应尽可能地遵循 LM3754 应用说明介绍的板布局。但是，如果不能遵循这种布局，应密切注意上述考虑因素。现在，我们还将为您说明其

表 1 LM3754 评估板
工作条件

输入电压	10.8 到 13.2 V
输出电压	1.2 V ± 1%
输出电流	40 A (最大)
开关频率	300 kHz
模块体积	2 × 2 英寸
电路面积	1.4 × 1.3 英寸
模块高度	0.5 英寸
气流	200 LFM
相数	2

他一些考虑因素，之后是使用 LM3754 的测试板测试结果。第 12-13 页的图 6-11 显示了这些结果。在进行必要的修改时，这些结果便是您需要得到的，或者说需要改进获得的目标。

电路板布局考虑

强电流导线要求有足够的铜，才能最小化压降和温升。一般原则是，2 盎司铜最少每安培 7 密耳，内部层 1 盎司铜最少每安培 14 密耳。每个相的输入电容器都应尽可能地靠近顶部 MOSFET 漏极和底部 MOSFET 源极放置，以确保最小接地“跳动”。

连接至 IC 的信号组件

所有连接至 IC 的小信号组件均尽可能地靠近 IC 放置。VREF 和 VCC 耦合电容器也要尽可能地靠近 IC。对信

号接地 (SGND) 进行配置, 确保信号组件接地到 IC 接地之间有一条低阻抗通路。

SGND 和 PGND 连接

较好的布局方法包括专用接地层; 电路板尽可能多地将内部层 2 专用作接地层。应从宏观上对通孔和信号线路进行布局, 避免出现可能掐掉宽铜区域的一些高阻抗点。让电源接地 (PGND) 和 SGND 分离开, 仅在接地层 (内部层 2) 相互连接。

栅极驱动

设计人员应确保高栅极输出到顶部 MOSFET 栅极的来回双向差动对导线连接, 其为开关节点。控制与 MOSFET 之间的距离应尽可能地短。对低侧 MOSFET 导线进行布局时, LG 和 GND 引脚的布局应遵循相同的工作程序。

CSM 和 CS2 引脚到穿过输出电感的 RC 网络之间, 也必须进行差动对布线。注意《参考文献 1》中介绍的布局, 为了获得更高的噪声抑制性能, 滤波器电容被分拆成 2 个电容器——一个放置于电感旁边, 另一个则靠近 IC。靠近开关节点时, 这些检测线路的有效长度较短。如果可能, 应使用一个接地层对它们实施屏蔽。

最小化开关节点

一般原则是, 让开关节点面积尽可能地小, 但要能够传输强电流, 因此开关节点要位于多个层上。由于这种小型评估板本身可以从输入到输出折起来, 所以开关节点便位于外层上, 而 IC 直接位于开关节点下面。因此, 必需让开关节点远离检测线路, 同时也远离 IC。这样, 开关节点便得到合理布局, 向外朝向电路板的边缘。

结论

使用多相降压转换器有许多好处, 例如: 低过渡损耗带来的高效率、低输出纹波电压、高瞬态性能以及更低的输入电容器纹波电流额定要求等。能够为您带来上述诸多好处的一些多相降压转换器例子包括 LM3754、LM5119 和 LM25119 系列产品。

参考文献

“LM3753/54 评估板”, 作者: Robert Sheehan 和 Michael Null, 美国国家半导体公司, 发表于 2009 年 12 月刊在线版《应用手册 2021》, 下载地址为: <http://www.national.com/an/AN/AN-2021.pdf>

相关网站

power.ti.com
www.ti.com/product/partnumber
用 LM3754、LM5119 或者 LM25119 替换地址中的 “partnumber”

Test results

图 6 12-V 输入效率曲线图

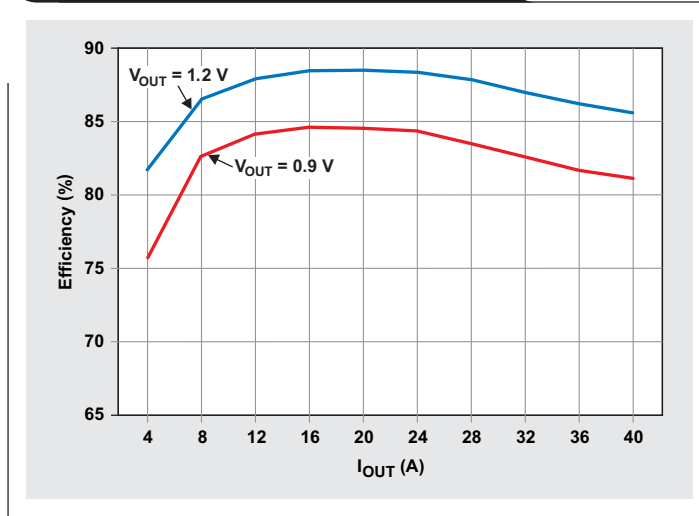


图 7 12-V 输入功耗

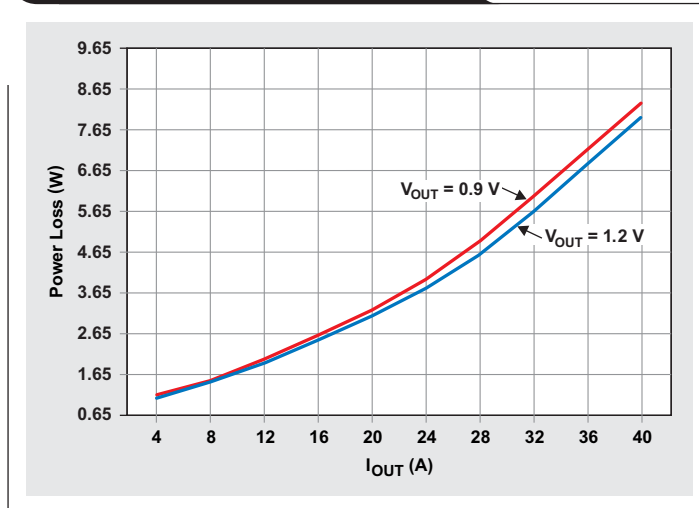


图 8 开关节点电压

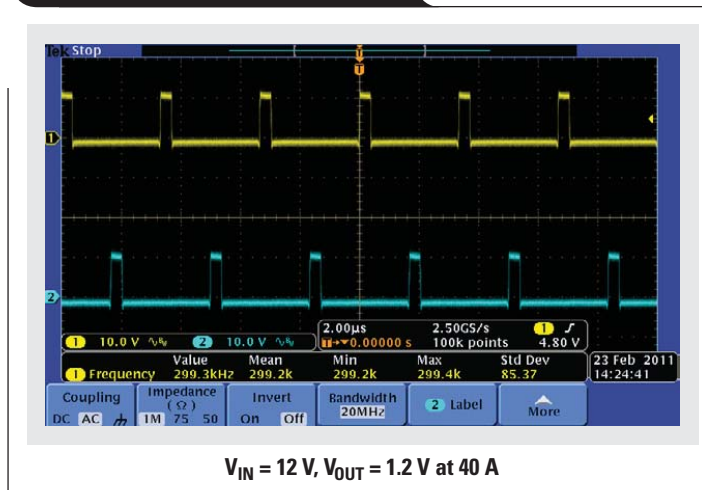


图 9 输出电压纹波

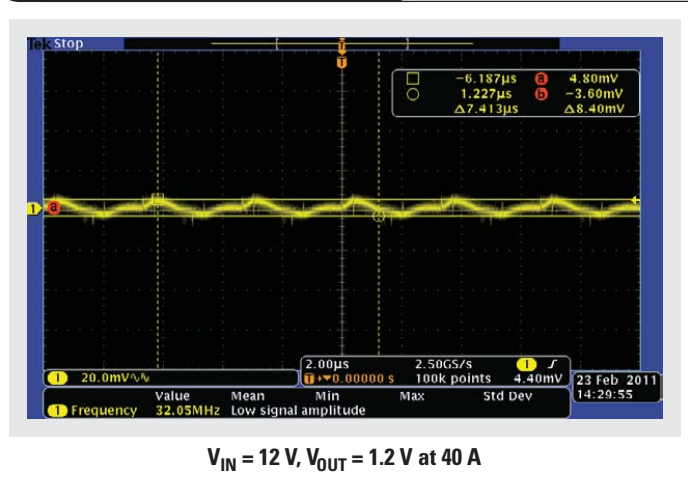


图 10 瞬态响应：10-A负载步长20 µs
(过冲/下冲约 27 mV)

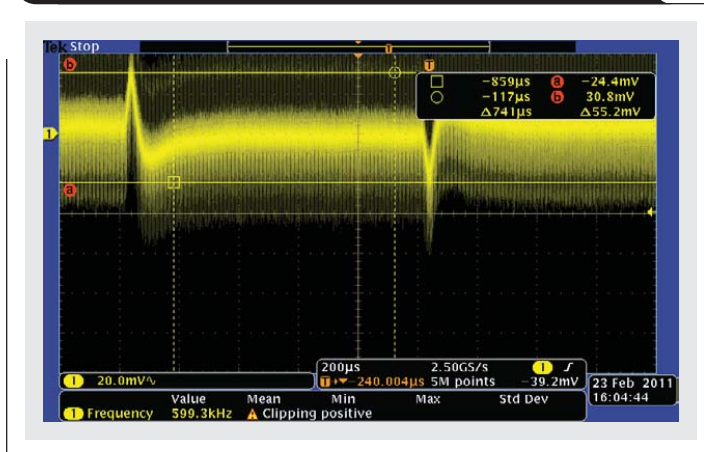
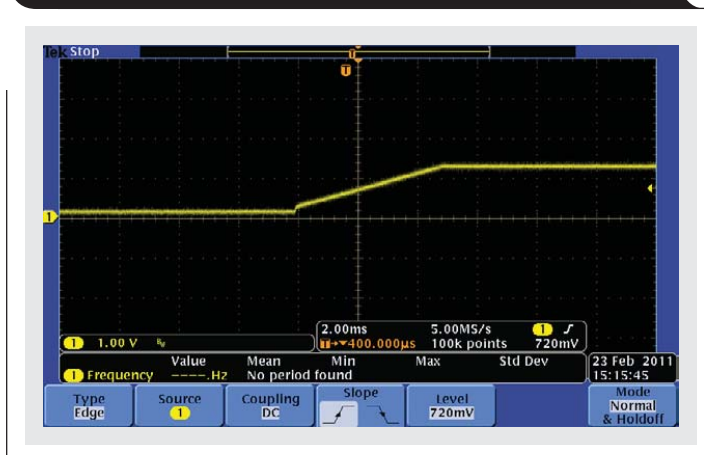


图 11 40-A 负载 1.2-V 输出 Vout 启动图



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	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP 机动性处理器	www.ti.com/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity		
	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 © 2012 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司