

利用高性能的数字隔离技术来超越极限

作者: Anant Kamath

系统经理, 隔离、接口产品组

引言

隔离是一种用于防止某系统的两个部分之间出现 DC 和未受控制的 AC 电流、同时允许在这两个部分之间进行信号和功率传输的手段。用于隔离的电子器件和集成电路 (IC) 被称为隔离器。出于多种原因, 在新式电气系统中需要采用隔离。部分示例包括保护人工操作员和避免高电压系统中的昂贵处理器受损、断开通信网络中的接地环路、以及向电机驱动器或电源转换器系统中的高压侧器件传送信息 (图 1)。需要隔离的应用实例包括了工业自动化系统、电机驱动器、医疗设备、太阳能逆变器、电源和电动汽车 (EV)。

隔离技术的近期进步正逐步地实现新的解决方案, 降低成本, 并使得用户能够突破其设备的性能极限。本文将讨论那些正在推动隔离技术领域中的尖端创新并受益于这些创新的主要终端应用。

强化型隔离

强化型隔离器是能够提供等同于两个串联的基本隔离器之绝缘度的器件。强化型隔离器被认为凭借其自身足以独立地提供针对高电压的电气安全。然而, 强化型隔离器必须满足日益严格的性能要求。电机驱动应用具有最严格的强化型隔离技术规范, 因为此类系统采用了非常高的输入电源电压, 而且它们包含人工操作员可以使用的接口。电机控制中的隔离要求在安全标准中规定。比如: 用于可调速驱动器的 IEC 61800-5-1 电、热及能量安全标准。根据该标准, 对于强化型隔离的要求随着系统电压的增加而相应地提高, 系统电压被定义为输入电源线和地之间的均方根 (rms) 电压。

为了保证针对系统电压超过 600 V_{AC} 的驱动器的强化隔离, 隔离器必须能承受持续 5 秒且至少为 $4400\text{ V}_{\text{RMS}}$ 的短时过压。[接下页]

图 1: 用于动力驱动系统的典型隔离配置

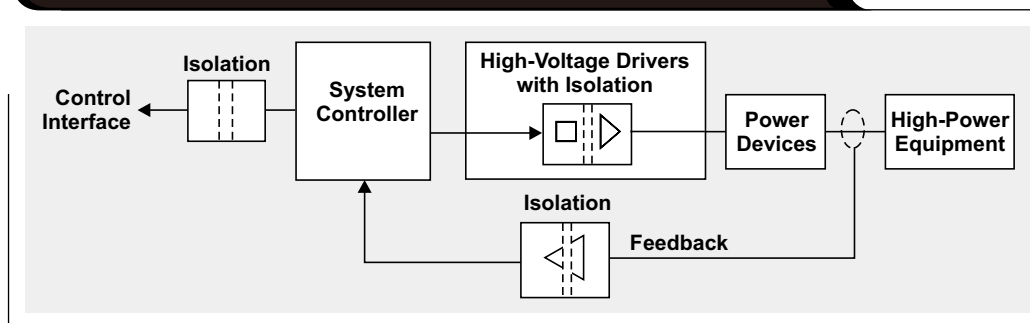
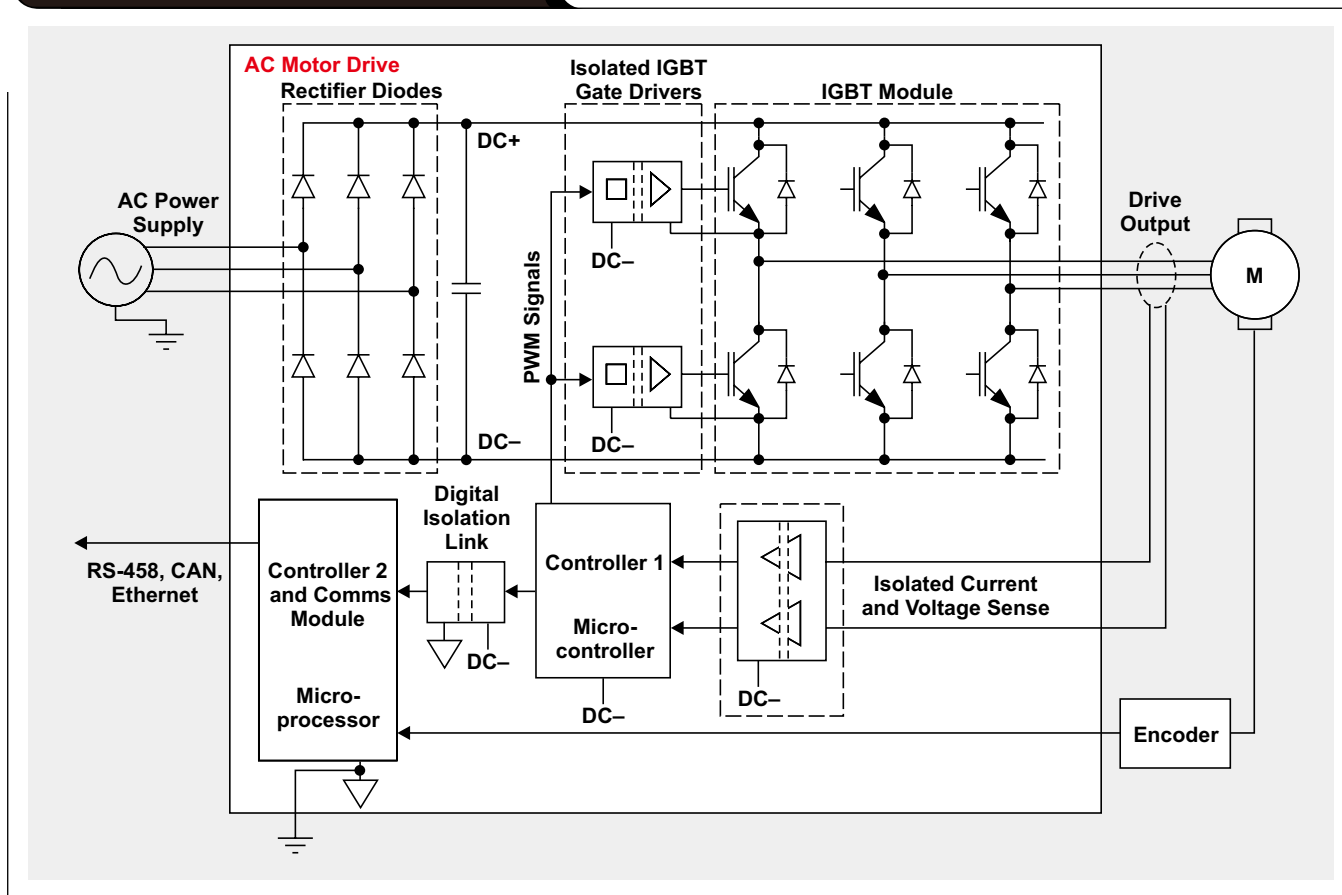


图 2：新型电机驱动架构

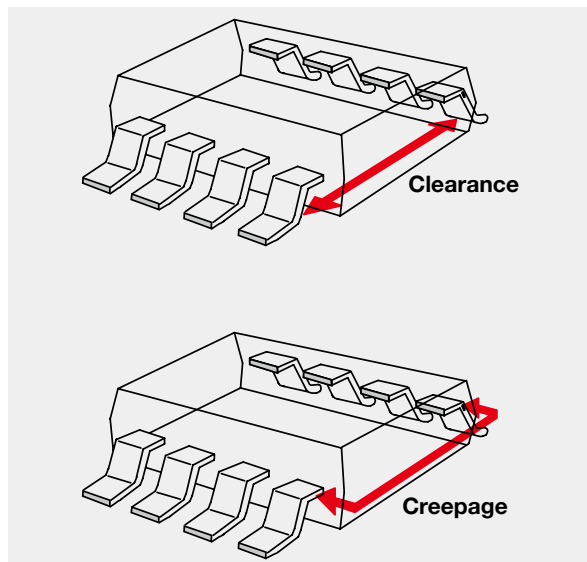


[续上页] 另外，该隔离器还必须具有至少 12 kV_{PK} 的浪涌电压耐受能力、至少 14 mm 的空间及爬电距离、以及一个在 $600\text{ V}_{\text{RMS}}$ 至 $1000\text{ V}_{\text{RMS}}$ 范围内的工作电压（其取决于电源线电压和驱动器架构）。让问题变得更具挑战性的是，新型电机驱动架构正逐步地把本地现场可编程门阵列 (FPGA) 和控制器增设到参考于 DC 总线的电源板上（图 2，控制器 2）。这降低了对电源板的本地隔离要求。然而，它增加了对一个多通道集成型高速强化链路（图 2，数字隔离链路）的数据速率和带宽要求。直到最近，可满足这些隔离要求以及定时和数据速率要求的隔离器未见上市供应。唯一的替代方案是光纤隔离。

电容式强化型隔离解决方案如今已经面市，它们能够满足针对高隔离度、宽体封装和高数据速率的上述要求。这些解决方案很适合于那些系统电压超过 600 V_{AC} 的电机驱动应用。有些光耦合器确实可满足高隔离度要求，但并不满足数据速率或多通道集成要求。此外，主要的磁隔离解决方案还不满足对于工作电压 / 长期可靠性的要求。

空间及爬电距离的例子示于图 3。

图 3：空间和爬电距离的图形表示



高工作电压

太阳能和风能应用通常采用额外的隔离势垒（例如：在网络通信信道的路径之中）以实现强化型隔离。因此，与强化型隔离有关的要求不像在电机驱动应用中那么高。然而，对于高工作电压的要求则会超过电机驱动器见到的数值。发电厂集中式太阳能逆变器和风能逆变器正倾向于采用较高的 DC 总线电压（扩展至 1500 V 及更高）来运作。较高的 DC 总线电压可在不增加电流水平的情况下实现较高的额定功率，从而保持铜成本不变。这有助于降低产生能量的单位成本。较高电压的另一个好处是可提高效率，因为总的功率输出会随着电压的升高而增加，但是当电流未改变时，传导损耗也是保持不变的。

对于在逆变器的开关功率晶体管中使用的隔离器而言，较高的 DC 总线电压直接转化为较高的工作电压。在图 4 中，隔离栅极驱动器（或任何与分立型栅极驱动器配对使用的数字隔离器）连续承受一个梯形电压。这些电压出现在连接至逆变器输出的一侧与连接至接地基准的另一侧之间。该电压波形的峰至峰值是 DC 链接电压。对于任何隔离器来说，其寿命都会随着隔离势垒两

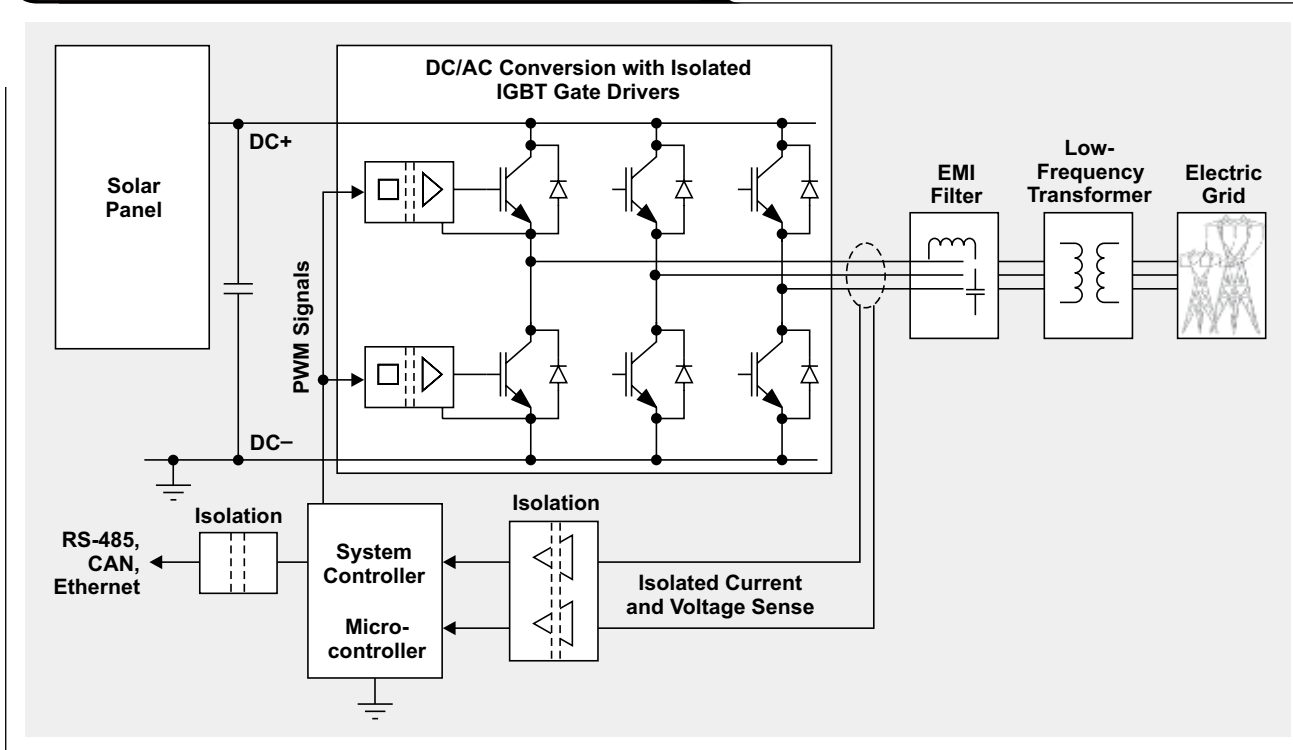
端电压应力的增大而呈指数性的缩减。太阳能和风能逆变器系统的目标寿命超过 25 年。至关紧要的是选择一个满足工作电压要求（具有充足裕量）的隔离器，以使完整系统的寿命不受限于隔离器。

新型电容式隔离器实现了 $1500\text{ V}_{\text{RMS}}$ ($2121\text{ V}_{\text{PK}}$) 的工作电压。与常用的器件相比，该电压增加了 50%，从而以较低的成本实现了较高电压和更高效的逆变器系统。光耦合器具有一般的隔离和工作电压性能；然而，从电气性能的观点来看，它们所用的 LED 则限制了其寿命。如前文提到的那样，基于聚酰亚胺的主要磁隔离技术具有低的额定工作电压和低的长期绝缘可靠性，这就限制了其在高电压、太阳能逆变器应用中的使用。

高共模瞬变抗扰度

共模瞬变抗扰度 (CMTI) 是隔离器在不损坏穿过其的信号的情况下耐受介于其两个地之间的高转换速率电压瞬变的能力。在电动汽车电机驱动器以及太阳能和风能逆变器应用中，把栅极控制信号传递至功率晶体管的隔离式栅极驱动器或隔离器会承受大的接地瞬变，因为一个地被连接至快速开关切换的逆变器输出。[接下页]

图 4：集中式太阳能逆变器的方框图



[续上页] 图 5 示出了这些栅极驱动器所经历的地电位差。在这些系统中，CMTI 是一个至关重要的参数，因为由瞬变引起的任何位错误都会导致危险的短路事件。

近期的应用要求逐步地推动了对具有越来越高 CMTI 之隔离器的需要。如上所述，一项要求是增加 DC 总线电压。第二项要求是利用功率晶体管中更快的开关操作来减少转换时间，从而改善逆变器效率。第三项要求是提高开关频率，这将实现较低的成本和不太庞大的磁性元件，如电感器、变压器和电机。基于碳化硅 (SiC) 的可靠功率晶体管比传统 IGBT 开关速度更快且能耐受更高的电压，其面市基于逆变器以更高的速度和效率执行开关操作的趋势。

2014 年发布的电容式隔离器突破了 $100 \text{ kV}/\mu\text{s}$ CMTI 大关。电容式隔离器和栅极驱动器继续凭借最高的最小保证 CMTI 引领业界，从而实现更快、更高效和成本较低的逆变器设计。

高海拔地带的操作

对于在高海拔地带以及被污染或高湿环境中工作的设备中所使用的隔离器，需要采用先进的封装技术。经过改进和较宽的封装可防止沿着封装表面发生劣化以及穿过引脚之间空气的电弧放电，从而确保隔离质量。在太阳能、风能和电子计量应用中使用的隔离器属于这一类。

在重度污染环境中连续工作的隔离器电压会引起封装表面的劣化并产生一条穿越隔离器的导电路径。这种现象被称为“漏电痕迹”。对于某给定的封装爬电距离和工作电压，选择一种属于某个具有较高相比漏电起痕指数 (CTI) 的较低材料组别的较高质量封装模制化合物可最大限度地减轻该影响。另一种方法是选择一种增加了爬电距离的较宽封装以降低出现漏电痕迹的风险。

表 1 罗列了依工作电压、污染等级和用于实现强化隔离的隔离器封装模制化合物的材料组别而定的爬电距离要求（按照 IEC 60664-1 标准）。对爬电距离的要求随着工作电压和污染等级而增加，不过，选择一个具较高 CTI 的较低材料组别可以降低爬电距离要求。

在高出海平面 2000~5000 米的高海拔地带，空气压力较低。因此，峰值过压（例如：浪涌或短时过压）会更容易引起隔离器引脚之间的电弧放电。在高海拔地带工作的设备要求在隔离器引脚之间留有更大的间隔（更大的空隙）。表 2 列出了在高海拔地带必须增加空隙以防止发生电弧放电所用的乘法因数（按照 IEC 60664-1 标准）。

图 5：逆变器输出开关模式转化为隔离器的高 CMTI

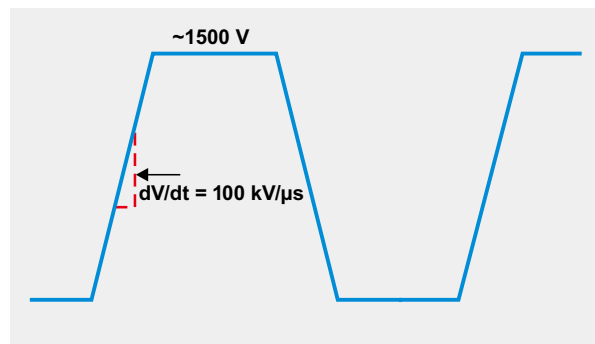


表 1：取决于工作电压和封装材料组别的爬电距离要求

工作电压 (V_{RMS})	最小爬电距离 (mm)					
	污染等级 2 材料组别			污染等级 3 材料组别		
	I	II	III	I	II	III
200	2	2.4	4	5	5.6	6.4
400	4	5.6	8	10	11.2	12.6
800	8	11.2	16	20	22	25
1000	10	14.2	20	25	28	32

表 2：用于增大空隙的乘法因数（在较高海拔地带）

海拔	用于空隙的乘法因数
2000	1
3000	1.14
4000	1.29
5000	1.48
6000	1.7
7000	1.95

传统上，一直采用在印刷电路板 (PCB) 上沉积绝缘聚合物或其他材料的保形涂敷或灌封方法来降低隔离器周围的污染程度。这降低了对爬电距离和空隙的要求。不过，这些方法会增加成本，不太可靠，而且在 PCB 制造过程中需要额外的检验工序。采用高质量模制化合物制造的宽体隔离器不再需要进行保形涂敷或灌封，简化了 PCB 设计，并提高了制造可靠性。

新型隔离器采用了质量最好的模制化合物（CTI 材料组别 I），并可提供宽体封装（14.5 mm 爬电距离 / 空隙）。这些隔离器能够实现高海拔设计并耐受较高的污染程度，而且在 PCB 制造中不需要额外的工序。

电容式数字隔离器

电容式数字隔离器近期取得的进步将其置于技术的前沿。这些新型隔离器可提供较高的隔离性能、长期可靠性、增加的通道集成度、较高的数据速率和精准的定时性能、质量更好的封装模制化合物、较宽的封装（14.5 mm 爬电距离 / 空隙）以及超过 100 kV/ μ s 的 CMTI。整合这些特性可实现新的应用，降低系统成本，并使得终端设备制造商能够突破其解决方案的性能极限。

德州仪器提供了 ISO78xx 系列强化型数字隔离器以及 ISO585x 和 ISO545x 系列强化型隔离式 IGBT 栅极驱动器。这些隔离器拥有可解决隔离难题的特性和功能。这些隔离器具有高达 1500 V_{RMS} 的工作电压，额定规格针对 40 年的寿命而拟订，能耐受 12.8 kV 的浪涌电压，并可承受 5700 V_{RMS} 的短时过压。它们提供了达 100 Mbps 的高数据速率、低的时钟偏移和部件间偏差、及超过 100 kV/ μ s 的 CMTI。另外，它们还采用了属于材料组别 I 的模制化合物，并可提供业界领先的宽体封装。

参考文献

1. IEC 61800-5-1 Ed. 2.0, 《可调速电气传动系统：安全要求 — 电、热和能量》。2007 年 7 月。
2. 作者：Anant S Kamath 和 Kannan Soundarapandian, 《高电压强化型隔离：定义和测试方法》，德州仪器白皮书，2014 年 11 月 (SLYY063)。
3. 作者：Anant S Kamath, 《AC 电机驱动器中的隔离：理解 IEC 61800-5-1 安全标准》，德州仪器白皮书，2015 年 11 月 (SLYY080)。
4. IEC 60664-1 Ed. 2.0, 《低电压系统内设备的绝缘配合：原则、要求和试验》，2007 年 4 月。

相关网站

产品信息：

ISO7821, ISO7831

ISO7840, ISO7841, ISO7842

ISO5851, ISO5852S

ISO5451, ISO5452

订阅 AAJ：

www.ti.com/subscribe-aaj

TI Designs 参考设计库提供完整的设计方案，由资深工程师团队精心创建，支持汽车、工业、医疗、消费等广泛应用的设计。在这里，您能找到包括原理图、物料清单、设计文件及测试报告的全面设计方案。登陆TI Designs，找寻更多适合您的参考设计！简单设计，从TI起步。

马上登录 ti.com.cn/tidesigns
查询最适合您的设计文档。



WEBENCH®
Design Center



WEBENCH® 设计中心: 易于使用且可提供定制结果的设计工具。
PowerLab™ 参考设计库, 包含了近千个适用于所有应用的参考设计。
电源在线培训课程

www.ti.com.cn/webench
www.ti.com.cn/powerlab
www.ti.com.cn/powertraining

WEBENCH® Designer My Designs

Clocks	Filters	传感器
电源	FPGA/μP	LED

输入您的供电要求:

☒ 直流 ☐ 交流

最小 最大

输入电压 14.0 V 22.0 V

输出电压 3.3 V 2.0 A

输出 3.3 V 2.0 A

环境温度 30 °C

多负载 单输出

Power Architect **开始设计**

WEBENCH® Designer My Designs

最小 最大

输入电压 14.0 V 22.0 V

输出电压 3.3 V 2.0 A

输出 3.3 V 2.0 A

环境温度 30 °C

SIMPLE SWITCHER®

开始设计

德州仪器在线技术支持社区

www.deyisupport.com

中国产品信息中心 免费热线:

800-820-8682

TI新浪微博



weibo.com/tisemi

热门产品

DAC8760	用于 4-20mA 电流回路应用的单通道、16 位、可编程电流/电压输出 DAC
DAC7760	单通道、12 位可编程电流输出和电压输出 DAC
ADS1247	极低噪声、精密 24 位 模数转换器
ADS1120	具有串行外设接口的低功耗、低噪声、16 位 ADC
ISO7242	四通道 2/2 25Mbps 数字隔离器
ISO7631FM	4kV _{PK} 低功耗三通道、150Mbps 数字隔离器
TPS54062	4.7V 至 60V 输入、50mA 同步降压转换器
TLK105L	工业温度、单端口 10/100Mbps 以太网物理层
SN65HVD255	CAN 收发器具有快速循环次数, 可用于高度已加载网络

了解更多, 请搜索以下产品型号:

DAC8760



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	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.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/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应用处理器	www.ti.com.cn/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

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated