

移动式PMU的功率MOSFET故障： 原因及设计考虑

作者：Kern Wong，德州仪器 (TI) 首席应用工程师

引言

汽车系统以及在汽车上充电或者工作的移动设备内部的功率MOSFET，可能工作在恶劣的环境下，并承受来自电源设备和发射器的大强度瞬态。另外，空气中以及电路板裸露导电表面的腐蚀性污染物，会引起低阻抗通路。时间一长，这些低阻抗通路和瞬态事件（例如：过载、电磁耦合和工作环境产生的易发尖峰等），会导致产生破坏性的电气过应力（EOS）状态。这种状态可能会使强电流在非常短的时间内流过MOSFET功率开关。

本文为您介绍将外部反馈组件用于移动式车载应用的高频开关和稳压器的特殊设计考虑和故障分析，目的是帮助广大设计人员熟悉可能导致片上功率开关损毁的各种机制和环境。我们讨论了避免和消除EOS状态影响的一些方法和技术，帮助改进终端用户产品和PCB设计。本文还介绍了一些进行实验室测试的小技巧，并给出了避免高密度/超紧凑型移动设计出现问题的优秀工程方法。1，2

案例研究

2011年，一名设计人员报告称在进行室内测试时TI LM26484 PMU降压DC/DC转换器的NMOS开关短路。这种稳压器被集成到一种新的仪表板内。由一个降压转换器供电的LED灯组工作在轻负载状态下。TI要求设计人员对时钟周围的电源引脚电压进行监测，看是否出现6V以上的瞬态。他们证实瞬态尖峰达到8V以上，持续时间数百纳秒，且经常出现。器件的电源引脚绝对最大限制为 $V_{IN}=6V$ ！

人们怀疑当p- (well) 基极使发射极向上偏离n+ (S)时（电源器件中一种典型的EOS状态），寄生NPN（由n+ (S)、p- (well)和n+

(D)组成，如图1所示）可能猛然开启。图2显示了带寄生组件的MOSFET器件的等效电路模型。

图 1 典型MOSFET结构和相关寄生组件的模截面

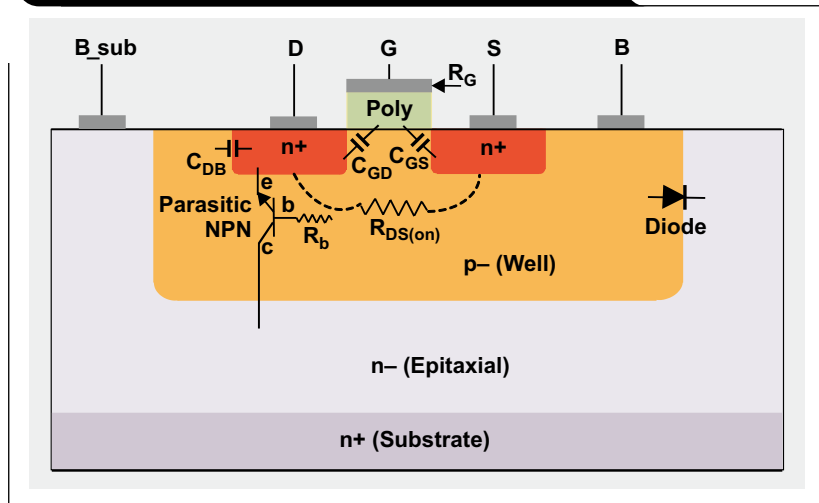
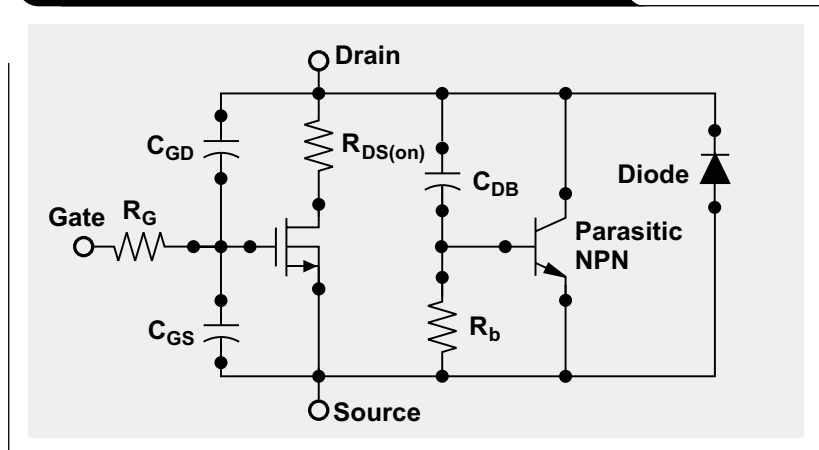


图 2 相关寄生组件典型MOSFET的模型



查看PCB布局（图3）我们知道，电源引脚的顶部线路有一个接进电源层的过孔，而其更长的线路让旁路电容器无效。为了防止再次出现这种情况，TI已经建议改进设计指导方法。例如，需在VIN和接地层之间添加足够大的大容量电容器。另外，还需要增加本地旁路设计，使用更多的电容器覆盖更宽的频率带。这些预防措施（实施方法如图4所示），将使大瞬态不会对PMU的集成电路产生应力伤害。

一种更加复杂的EOS消除解决方案是将旁路电容器更加靠近电源和接地引脚放置，如图5所示。注意，电源-接地线路被加宽，并可自由更大的过孔。我们建议客户使用这种解决方案。

2012年，又有一名客户报告相同系列产品的另一种PMU出现数次故障。这种PMU拥有双降压转换器和双LDO。

在系统离开工厂不久，该降压转换器便在短路和开路之间切换。在车载应用中，这种PMU通过一个降压电源驱动。2014年开始，许多信息娱乐和安全系统将成为汽车的标准设备，预计PMU生产速率将增加约十倍，从而让其受到各相关方的关注。尽管在严格的客户器件和板级应力测试中并未发现异常，但还是出现了一些少见故障。总之，车载应用涉及许多众所周知的原理和因素，其有可能会引发异常输入电压瞬态，从而导致器件损坏。

常见EOS原因

许多PMU上的EOS状态均产生自设计考虑不周或者忽略了一些系统的微波寄生问题。在工业/车载应用中更是如此，因为一些特殊环境条件或者机电布局差异体现可靠性问题。EOS还会与制造过程、测试和组件老化有关。

下面的内容介绍一些最常见的EOS原因。我们还为您提供相应的设计小贴士和建议，帮助广大设计人员消除EOS问题。我们详细说明了一种典型的故障机理识别方法。若想了解更多信息，强烈建议读者通过故障模式机理与效应分析（FMMEA）研究故障的物理性。

图 3 两个LM26484的PCB拥有4个降压转换器和2个LDO

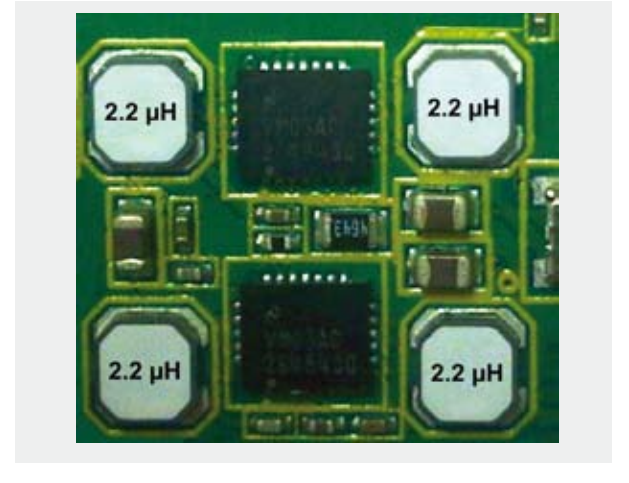


图 4 一种更加稳健的线压滤波器
和旁路举例

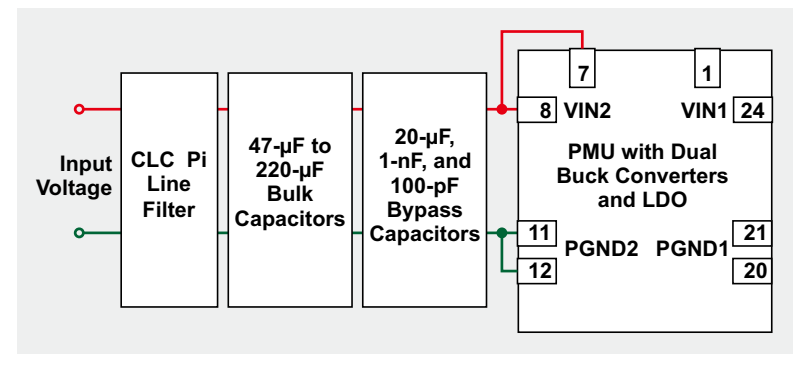
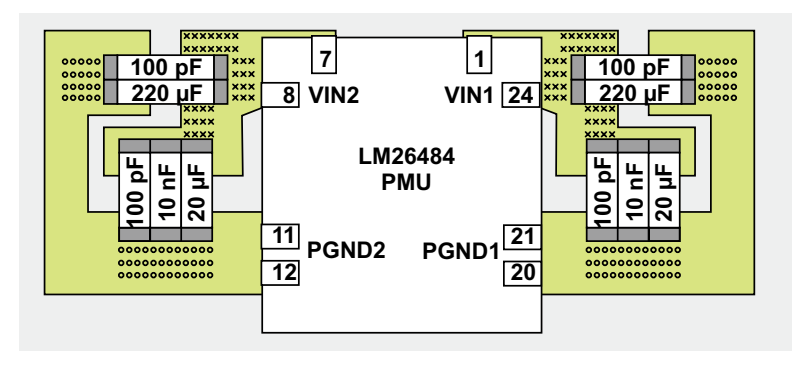


图 5 旁路电容器更靠近电源和接地引脚的改进布局



车载应用中电池和接线引起的EOS

无论何时，只要汽车的12V电池电压过低（例如，寒冷天气下启动引擎时），在欠压锁定（UVLO）开始保护以前板上PMU的控制、时序和决策电路可能就会出现故障。结果，直接导通和分离钳位等不良效应便会对MOS开关产生应力，时间一长可引起永久性损坏。

高压、快沿速率瞬态是引起器件瞬间损坏的另一个常见原因。例如，随便地从交流发电机连接口取下12V电池时，便会发生负载倾卸。由于较长的接线存在电感效应，因此100V以上时负载会承受电位突然上升，其在降至正常水平以前会持续数百毫秒时间。

快速瞬态的高压尖峰会通过端电容从MOSFET漏端传播至栅极。它会迅速地使栅极电压偏置升高，可能导致出现完全失控状态。正常情况下，稍微超出建议最大工作电源电压并不会成为一种破坏性的事件。但是，当电源电压超出最大水平并维持足够的能量时，它便会使器件在数纳秒内短路，或者导致出现雪崩击穿。另外，如果遇到强烈而突然的机械振动，不牢固或者不牢靠的电池线缆连接会出现类似的高压瞬态。

不足或较差的电源旁路

电源旁路不足可引起异常工作，可能导致时序问题带来的直通应力。正确的旁路电容器必须具有一个足以覆盖峰值电压瞬态的额定电压。走线的漏电感和寄生电感，是引起开关脉冲端形成的最大、最严重 $L(di/dt)$ 过应力脉冲的根源之一。如前所述，这些高能量脉冲会导致器件击穿。因此，必须采取适当的预防措施来消除这些不需要的电感通路。例如，应尽可能靠近器件轨引脚放置旁路电容器。在所有高瞬态通路上尽可能地使用粗金属导线，以进一步降低寄生电感。最后，应正确地使用瞬态抑制组件或者类似方法，以削弱潜在破坏性的高压尖峰。

过载和/或异常负载电容器的短路输出

当某个开关的输出电流（ I_{OUT} 负载）超出额定限制时，内置保护电路通常会阻止对器件的直接损坏。但是，频繁出现的过电流事件会导致累积EOS状态，时间一长，它会引起永久性器件损坏。这类损坏与有限延迟时间有关，其范围通常为数微秒，而保护电路此时还没有起作用。与真正的负载短路不同，异常输出电容器可影响低阻抗通路，其形成一个与最大负载并联的动态短路电流—从而产生另一个持续EOS状态。

同步开关临时高过电流工作

相比MOSFET开关本身，MOSFET体二极管通常有一个较长的反向恢复时间。如果一个MOSFET的体二极管在对面补充器件开启时仍然导电，则出现类似于直通的短路状态。这种状态的产生是由于寄生或者电路或器件设计带来的时序问题（参见图1和2）。另外，内部寄生电感和电容可存储能量。在某些条件下，额外电流可能会自由流过FET开关的体二极管，因为一个关闭时另一个开启。这是一种典型的寄生电容机制 $C(dv/dt)$ ，其具有高速开关，而这种高速开关会导致持续的高峰值电流瞬态，并且不依赖于负载状态。

结合以前我们讨论过的电源轨完整性问题时，这类EOS急剧增加。利用更加精确的设计和传动电路模拟以及（或者）通过增加保护器件（例如，在MOSFET漏极和源之间添加一个肖特基二极管），可以改善或者消除这种状态。使用肖特基二极管，是防止体二极管被自由电流开启的一种成熟方法。过多的接地以下欠冲会引起噪声和开启寄生pn结点，消除这种欠冲还可带来另一个好处—肖特基二极管会适度增加开关效率。

器件故障确认与分析

故障分析（FA）利用目视检查、阻抗测量、X射线、SAT. Sam、辐射热点OBIRCH分析、SEM和SCM工具和技术等，目的是找出故障模式机理和器件故障的根本原因。故障分析还要检查客户设计或者制造过程中存在常见疏忽问题，而这些问题可能就是出现故障的原因。在找到故障原因以后，TI会为内部和外部客户提供相关建议和预防措施，帮助防止再次发生此类故障。

故障模式机理

1、静电放电（ESD）破坏或者栅极浪涌：

器件和系统装配和测试期间的错误操作，会导致器件接合或者氧化物断裂损坏（短路或者漏电）。这些因素会把静电电荷带至器件上和/或形成达到开关电路的外部高压浪涌事件。

例如，在手机或者平板电脑通信端口连接器与指尖之间发生的一次ESD事件，便可能会导致永久性的系统损坏。随着生产过程技术节点的不断压缩，器件级ESD保护已不足以满足系统级要求。瞬态吸收器或者瞬态电压抑制器，例如：TI的TPD1E10B06保护二极管等，较好地弥补了这方面的不足。

2. 磨损机理

- 在极端温度周期循环下可出现芯片断裂
- 随时间推移，高压应力可能诱发电介质击穿，从而成为一个栅极氧化短路电路
- 由于电流过载引起的EOS，焊线和金属线路开路
- 电源线电压瞬态可引起芯片无源和有源器件损坏

3. PCB组成与环境：

- 由于湿度、杂质或者变为导体的细线，可能发生电路故障
- 由于冲击、振动、材料疲劳等，可能发生芯片断裂
- 高温应力条件下，聚合物强度可能失去（称作玻璃转化失效）
- 旁路和负载电容器可能漏电或者短路
- 高温应力或者机械振动条件下，由于绝缘材料的磨损，电感绕组可能会短路

4. 组件老化和机能不全：

由于老化组件会促进MOSFET故障（它们起初能够达到数据表规范），因此我们鼓励制造和产品工程部栅极以稍高于数据表极限的额定值来进行部件老化测试。这样做可以确保将那些本身有晶片缺陷密度和随机程序相关问题的边缘器件剔除出去。即使产量为因此而下降一些，但也好过以后花大量的精力和资源处理故障问题。

故障分析结果

在前面提到的那个2012年案例中，开关的漏极和源通道均集成到车载应用中，客户无法确定是PMU IC、电路板还是子系统存在可靠性问题。它们中的每一个都经过了严格的测试，并承受过超出规范极限的应力，均没有出现故障。原因可能是布局、电气管线、系统安装和/或工作状态，例如：冷启动、弱电量或者长/松散电源线缆连接不牢。

由于这名客户及其承包商均无法在其实验室中重现这种故障，因此他们需要证实故障，并向TI寻求帮助。图6和7说明了室内故障分析结果的一些例子。

图 6 高侧pFET短路至VIN轨

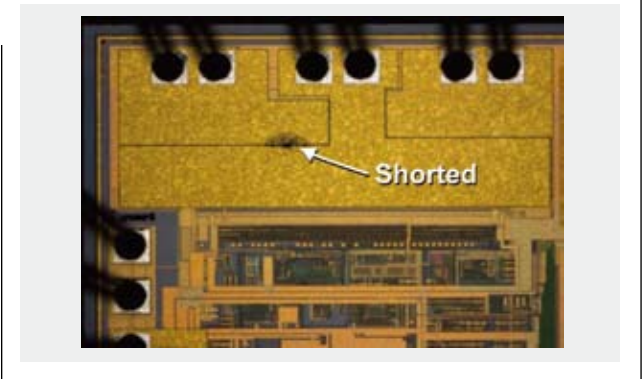
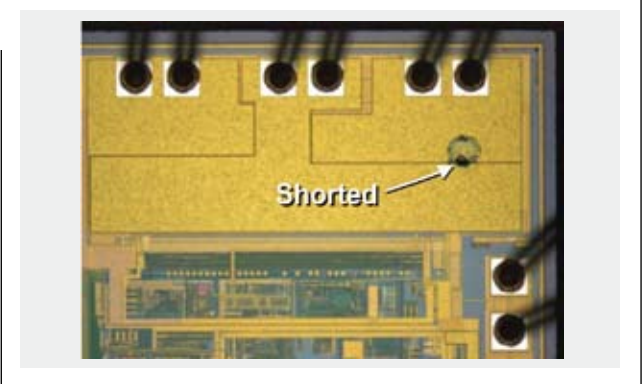


图 7 低侧nFET短路至接地



故障分析显示，芯片内反映的烧痕可能是EOS状态的结果。为了验证这种假设，可在一些实验室装置上诱发这种故障，模拟（1）5V工作和（2）启动状态。利用一个吉时利（Keithley）2420 3A电源表（一种万能电源，可对其振幅、频率和导通/关闭时间进行编程）， V_{IN} 编程为5V，并注入50ms脉冲，每100ms间隔时间重复一次。负载为200mA及以上时，脉冲振幅以5分钟间隔以0.5V增量提高，直到观察到异常电流。之后，我们通过目视证实了EOS的存在。结果显示，当峰到峰脉冲电压达到约7.5V或者更高时，开关短路。另外，如果脉冲要达到9V峰值，则ESD结构也可能被损坏。

但是，再现启动期间开关短路很有挑战性。一个实验电源让降压转换器不断重复导通和关闭，这时 V_{IN} 出现相对慢而平稳的启动瞬态，并在约6ms后稳定下来（图8）。即使让电源设置稍高于7V，经过数天的应力测试，开关也不会故障。

为了更加真实地模拟车上的条件，电源和器件的线缆长度从约30cm增加至约1.5m。这些较长的连线通常从12V电池连接至器件，形成更多的电感。另外，用一个机械开关代替电源的软性反复开关方法，这样机械弹力和颤动更像由机械继电器触点引起的瞬态（图9）。

测试的电源输出设置为5.0V，开关工作20次。如果没有检测到过电流故障，则电源电压增加0.2V，开关再工作20次，该过程一直重复直到组件故障为止。结果，我们取得了巨大的成功！电源输出在7.5VDC时，降压转换器的高或低侧开关出现短路。使用一个10pF探针监测的 V_{IN} 引脚出现了更快速的导通瞬态，其导致一次20 μ s的11V以上过冲。实际 $L(di/dt)$ 可能要高很多，从而形成一种可重复破坏性EOS状态。对于这种实验装置能够再现与现实状况一样的故障，这名客户非常高兴。

结论

本文讨论了集成电源管理与电压稳压器电路中MOSFET瞬态相关的一些常见器件故障机理。我们还介绍了许多通用预防措施、具体PCB布局方法和组件选择技巧等，帮助缓解和消除EOS问题。我们希望，本文能够帮助系统和PCB设计人员了解一些看似温和无害的寄生组件的EOS效应，它们会遭受PMU工作环境的瞬态。另外，本文还可以帮助产品和现场技术支持人员理解EOS的原因和影响，促进与客户的沟通和交流。

致谢

作者感谢Ann Cocannon、Steven Jacobson、ChiYoung Kim、Maxwell Goodman、Andy Strachan和Gavin Kiriara的宝贵建议和支持。

参考文献

1 《开关稳压器与LDO设计中PCB和ESR的妙用》，作者：Kern Wong，EDN（在线版），网址：www.edn.com。

图 8 约6ms内电源导通/关闭曲线

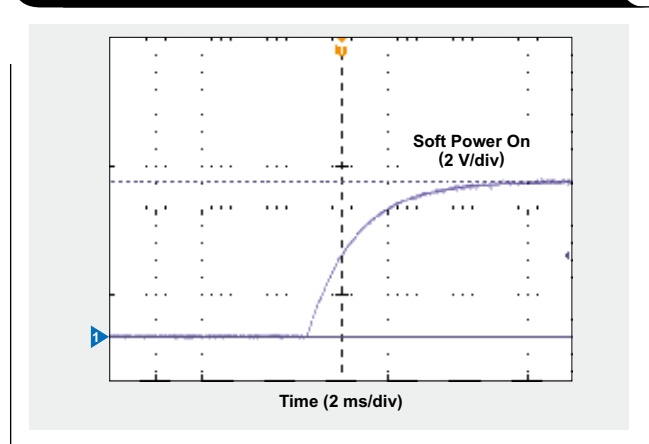
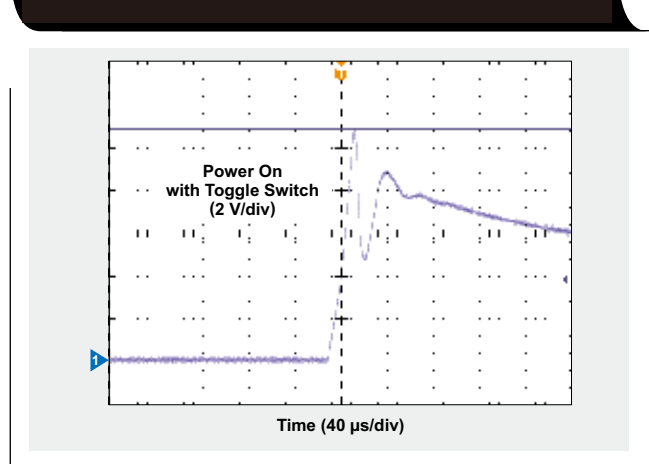


图 9 开关和长连线引起的80 μ s瞬态



2 《移动稳压器的高性能负载与线压瞬态测试夹具》（2012年6月21日），作者Kern Wong，EDN（在线版），网址：www.edn.com。

3 《电源MOSFET应用说明》，修订版2.0，《瑞萨电子》，REJ05G0001，2004年8月23日（在线版），网址：www.renesas.com（使用搜索--高级搜索--文件搜索，找到REJ05G0001）

4 《LLC谐振转换器MOSFET故障模式分析》，仙童半导体，AN-9067，2009年11月5日（在线版），网址：www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-9067.pdf

相关网站

电源管理：

www.ti.com/power-aaj

www.ti.com/lm26484-aaj

www.ti.com/tpd1e10B06-aaj

订阅《模拟应用期刊》，请访问：

www.ti.com/subscribe-aaj



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

Power | **FPGA/μP** | Sensors | LED

Enter your power supply requirements:

Min Max
Vin 14.0 V 22.0 V

Vout Iout
Output 3.3 V 2.0 A

Ambient Temp 30 °C

Multiple Loads Single Output
Power Architect **Start Design**

WEBENCH® Designer *My Designs*

最小 最大
输入电压 14.0 V 22.0 V

输出电压 输出电流
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

中国产品信息中心 免费热线:

TI新浪微博



www.deyisupport.com

800-820-8682

e.weibo.com/tisemi

热门产品

TPS92075	具有自适应基准的非隔离式、相位可调光、降压 PFC LED 驱动器
BQ24195	具有 5.1V 1A/2.1A 同步升压运行的由 I2C 控制的 2.5A/4.5A 单电池
LM3447	相位调光、初级侧电源调整的准谐振反激式控制器
LM34917	具有智能电流限制的超小型 33V、1.25A 恒准时降压开关稳压器
ADS1298	具有集成 ECG 前端的 8 通道 24 位模数转换器
SN65HVD82	针对要求严格的工业类应用的稳健耐用的驱动器和发送器
LM22670	具有同步或可调节开关频率的 3A SIMPLE SWITCHER、降压电压稳压器
ISO1050	电镀隔离的隔离式 CAN 收发器

了解更多, 请搜索以下产品型号:

TPS92075



**TEXAS
INSTRUMENTS**

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间接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, 但他们将独立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, 并且独立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	接口	http://www.ti.com.cn/interface
通信与电信	www.ti.com.cn/telecom	安防应用	www.ti.com.cn/security
放大器和线性器件	http://www.ti.com.cn/amplifiers	逻辑	http://www.ti.com.cn/logic
计算机及周边	www.ti.com.cn/computer	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
数据转换器	ers http://www.ti.com.cn/dataconvert	电源管理	http://www.ti.com.cn/power
消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps	视频和影像	www.ti.com.cn/video
DLP® 产品	www.dlp.com	微控制器	ers http://www.ti.com.cn/mcu
能源	www.ti.com.cn/energy	无线通信	www.ti.com.cn/wireless
DSP - 数字信号处理器	http://www.ti.com.cn/dsp	RFID 系统	http://www.ti.com.cn/rfid
工业应用	www.ti.com.cn/industrial	RF/IF 和 ZigBee® 解决方案	www.ti.com.cn/radio
时钟和计时器	ers http://www.ti.com.cn/clockandtim		
医疗电子	www.ti.com.cn/medical		

TI E2E 工程师社区 <http://e2e.ti.com/cn/> IMPORTANT NOTICE

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

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	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

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