

# 堆叠式 FET 开关可实现高效率、高密度解决方案

作者: Tiger Zhou  
高级应用工程师

## 引言

对于通信设备而言, 由于其功耗的不断增长和板级空间的日益缩小, 因此采用高效率、高密度电源成为其发展趋势。堆叠式 FET 开关可实现高效率和高密度解决方案。本文通过考察两个设计实例对这一点做了阐述。第一个实例是一款 30 A 设计, 在该例中就尺寸缩减、效率提升和热预算节省等指标评估了堆叠式 FET 开关所拥有的优势。第二款设计实例则使用了具有一个集成型驱动器的堆叠式 FET 开关, 旨在进一步提高 60 V 电源中的系统效率。

随着新式电子设备速度和性能的进步, 除了功耗增加之外, 电源轨的数量也在不断攀升。相反, 电源的实际可用面积却在日渐缩小, 这是因为宝贵的 PCB 面积资源主要提供给了内核 ASIC 及处理器。因此, 对于每一位电源设计师来说, 实现高效率、高密度电源都是一项挑战。

通过组合最新的 NexFET™ 芯片与创新的封装技术, 可构建一个采用 SO8 (5 mm x 6 mm) 封装并包括两个堆叠式 FET 的双通道 FET (图 1)。这种配置将器件的占板面积缩减了一半, 并使输出密度倍增。

在负载点 (PoL) 应用中使用堆叠式 FET 开关具有诸多好处。本文就一款 1.8 V / 30 A 应用电路对采用分立式 FET 和堆叠式 FET 这两种情形做了一番比较研究。

## 缩减的占板面积

在 30 A 设计实例中, 选择了一款具有最佳的波纹和瞬态响应性能的双相同步降压型控制器。在分立式解决方案布局当中, FET 几乎占用了一半的面积。通过用一个堆叠式 FET 来替代两个分立型 FET, 解决方案尺寸被削减了 20%。图 2 示出了两种布局: (a) 分立式解决方案和 (b) 堆叠式 FET 解决方案。分立式解决方案的占板面积为 0.75 英寸 x 1.3 英寸, 堆叠式解决方案的占板面积则为 0.75 英寸 x 1.05 英寸。

图 1: 采用 SO8 封装的堆叠式 FET 开关

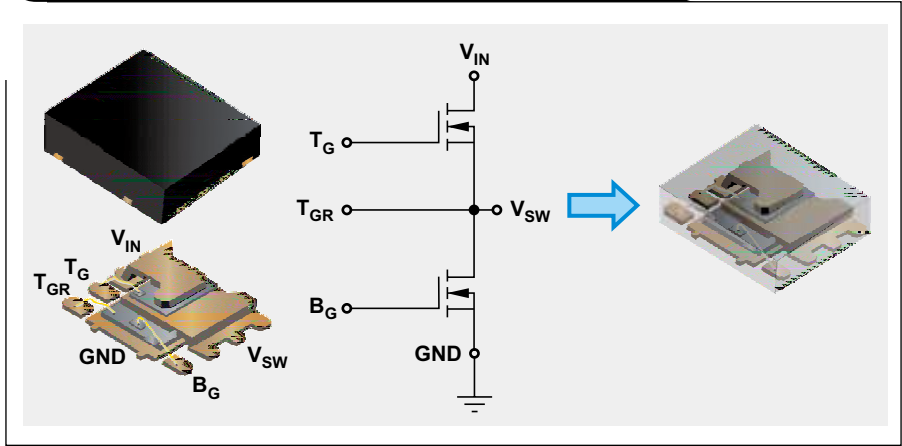
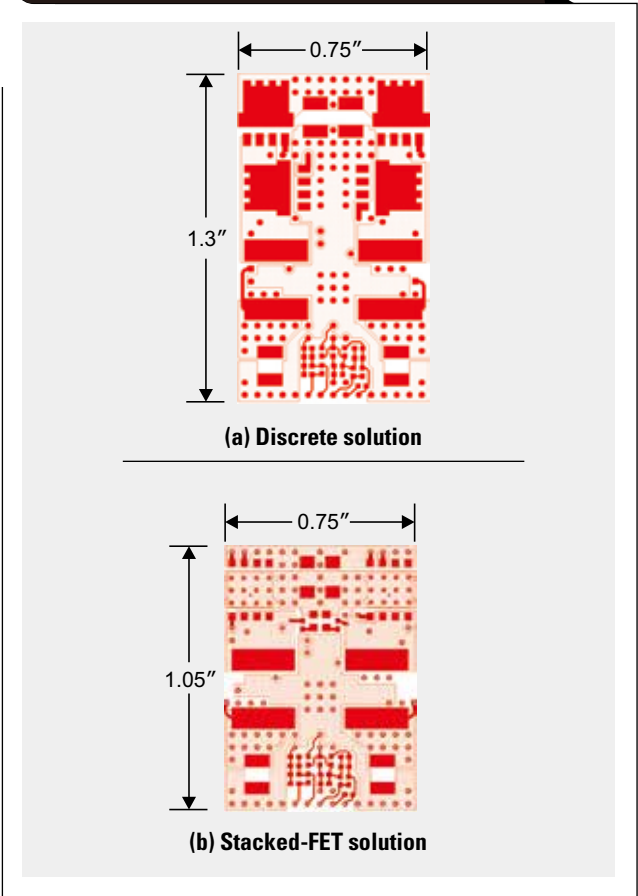


图 2: 堆叠式 FET 解决方案的尺寸比分立式 FET 解决方案缩减了 20%



### 提升的系统效率

与其他最先进的分立式 FET（图 3）相比，堆叠式 FET 的效率（红色曲线）至少要高出 2.2%。诸如 CSD87350 等堆叠式 FET 开关因其独特的器件架构而具有较低的通态电阻 ( $R_{DS(on)}$ ) 和较低的栅极电荷。此外，堆叠式 FET 封装技术还消除了与传统引线键合技术相关联的寄生电感。因此，其可优化开关速度并提升系统效率。两种设计采用了相同的电感器、输入和输出电容器，并在同样的测试条件下（采用一个 10 V 输入、1.8 V 输出和 300 kHz 开关频率）进行了测试。

### 较低的工作温度

堆叠式 FET 的功率损耗是顶端 FET 和底端 FET 的功率损耗之和，但是其热阻则远低于分立式 FET。如图 4 所示，在相同的测试条件下（10 V<sub>IN</sub>、1.8 V / 30 A 输出、300 kHz 开关频率），堆叠式 FET 开关的工作温度比分立式 FET 低了 23°C。当分立式 FET 的温度达到 108.7°C 时，堆叠式 FET 芯片的温度则仅为 85.6°C，因为其以 GND 为参考电位。

大面积的裸露焊盘通过 12 个过孔连接至 PCB 的接地平面，这利用了新式多层 PCB 常常可以提供的多个内部接地层。在分立式 FET 解决方案中，热量会集中在被称为“切换平面”（switching plane）的狭小面积之内，出于信号完整性的考虑，这导致不能使用多个过孔。

试验证明，堆叠式 FET 技术可造就高效率和高密度的解决方案。一个堆叠式 FET 可替代两个分立式 FET，因而可使整体解决方案尺寸缩减 20%。其更高的效率和高效的导热性使其能够在相同的测试条件下实现比分立式 FET 低 23°C 的工作温度。

图 3：堆叠式 FET 在相同的测试条件下表现出优于其他分立式 FET 的操作性能

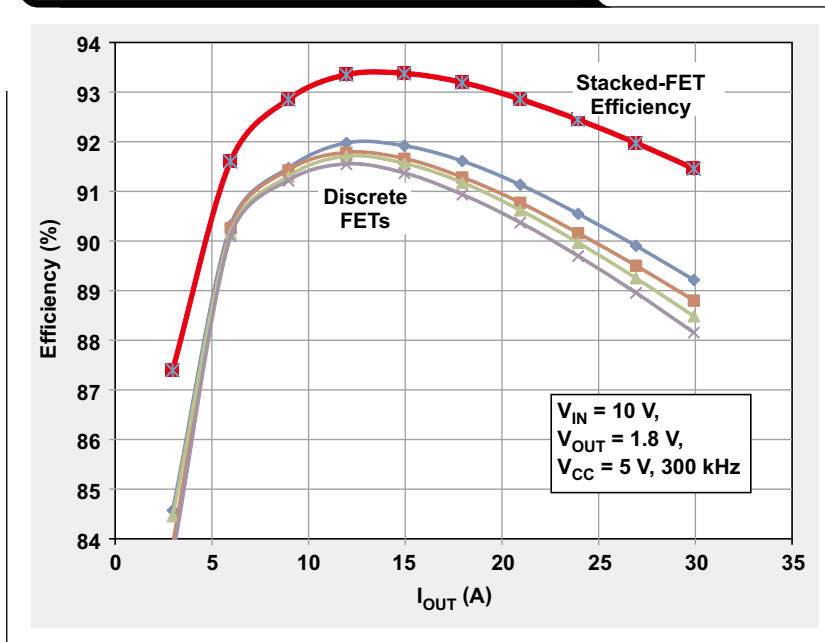
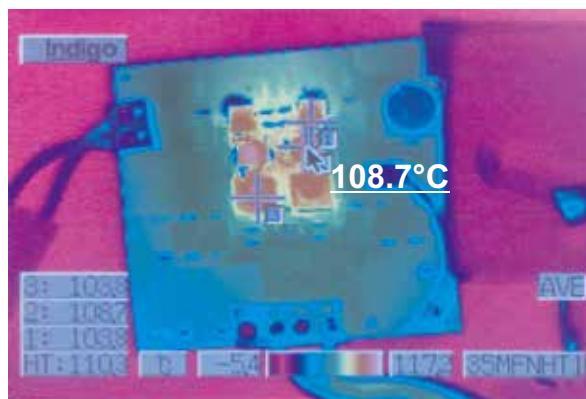
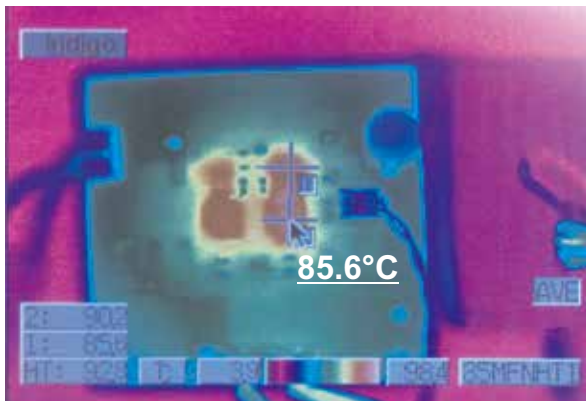


图 4：分立式 FET 和堆叠式 FET 的工作温度



(a) Thermal image of a discrete FET



(b) Thermal image of a stacked FET

为了进一步提升该技术的极限，图 5 中示出的一款新器件 CSD95372B 整合了一个具有集成型驱动器的堆叠式 FET 开关。其封装保持了与标准 FET 相同的尺寸，即 SO8 (5 mm x 6 mm) 封装。通过缩短驱动器至 FET 的距离，其最大限度地减小了与驱动器有关的寄生电感，从而全面优化了驱动能力。该器件具有较高的开关速度、较低的传导损耗且所占用的 PCB 面积较小。因此，其可实现更高的系统效率。

### 具有集成型驱动器的堆叠式 FET 的优势

我们采用一款 1 V / 60 A 设计解决方案来演示具有驱动器的堆叠式 FET 开关的优势。该设计是采用一个 12 V 输入、1 V 输出和一个 500 kHz 开关频率进行测试的。基本型解决方案使用 8 个分立式 FET 来提供 60 A 的负载电流。如图 6(a) 所示，该解决方案的尺寸为 1.33 英寸 x 1.33 英寸。

在图 6(b) 中，8 个分立式 FET 被两个堆叠式 FET 所替代。解决方案尺寸此时缩减至 1 英寸 x 1.075 英寸。相比于分立式 FET 解决方案，如今的尺寸缩减了 40%。

在图 6(c) 中，用两个具有驱动器的堆叠式 FET 开关同样替代了 8 个分立式 FET。该解决方案的尺寸为 1 英寸 x 1 英寸，也就是说比分立式解决方案缩小了 43%。

对三种解决方案均采取了相同的测试条件，其中具有驱动器的堆叠式 FET 解决方案实现了最高的效率，达到了 88.6%。在 60 A 的满载条件下，该效率比分立式 FET 高出 6.6%，而比不带集成型驱动器的堆叠式 FET 解决方案则高出了 2.9%。图 7 示出了这三种不同解决方案的效率。绿色曲线代表了具有驱动器的堆叠式 FET，蓝色曲线代表堆叠式 FET 解决方案，而红色曲线代表的则是分立式 FET 解决方案。

### 结论

不断提高了效率和密度要求意味着必须实现很高的封装集成度。堆叠式 FET 开关改进了芯片架构并运用了创新的封装技术，从而提升了系统效率。同样，通过用具有集成型驱动器的堆叠式 FET 来取代堆叠式 FET 器件，可优化驱动器并最大限度地抑制寄生效应，从而使系统效率得到进一步的提升。

图 5：具有驱动器的堆叠式 FET

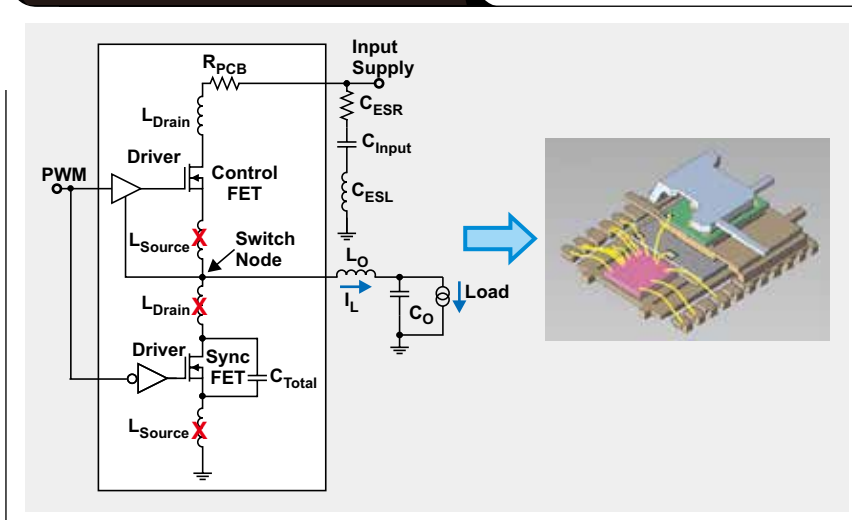


图 6：用于 1 V / 60 A 电源的三种解决方案

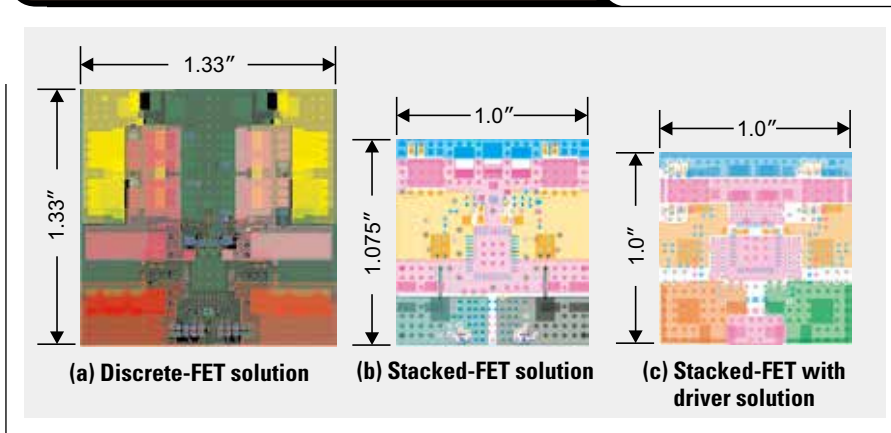
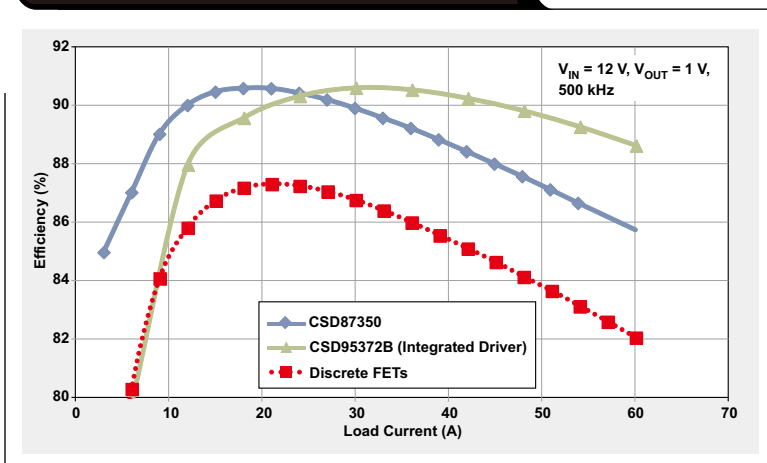


图 7：三种设计的系统效率比较



### 相关网站

[www.ti.com/1q15-CSD87350Q5D](http://www.ti.com/1q15-CSD87350Q5D)

[www.ti.com/1q15-CSD95372BQ5M](http://www.ti.com/1q15-CSD95372BQ5M)

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](http://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](http://www.ti.com.cn/webench)  
[www.ti.com.cn/powerlab](http://www.ti.com.cn/powerlab)  
[www.ti.com.cn/powertraining](http://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                      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                      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](http://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](http://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 <sub>PK</sub> 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

德州仪器及其下属子公司 (TI) 有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的半导体产品和服务进行修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准终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, 并验证这些信息是最新且完整的。所有半导体产品 (本文也指“组件”) 的销售都遵循在确认订单时 TI 的销售条款与条件。

TI 确保其销售的组件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。TI 仅在认为有必要时才采用测试或其它质量控制技术。除非相关法律有强制规定, 否则 TI 没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 没有义务承担应用帮助或客户产品设计。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, 客户应提供充足的设计与操作安全保障措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或使用了 TI 组件或服务的任何产品组合、机器或流程相关的其他 TI 知识产权中授予的直接或隐含权限做出任何担保或解释。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、担保或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其他知识产权方面的许可, 或 TI 的专利权以及 TI 其他知识产权的许可。

如需复制 TI 产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 不得对内容进行任何篡改, 且须带有相关授权、条件、限制和声明。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遵从其他限制条件。

经销 TI 组件或服务时, 如果经销商对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数之间存在差异或存在虚假成分, 则相关 TI 组件或服务的所有明示或暗含的保修将作废, 且此行为被视为不正当的欺诈性商业行为。TI 不对任何此类虚假陈述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可能仍由 TI 提供, 但其将自行负责符合与其产品及在其应用中使用 TI 组件相关的所有法律、法规和安全方面的要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的所有专业技术和知识, 可预见故障的危险、监测故障及其后果、降低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攸关的应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些情况下, TI 可能进行特别促销推进安全应用的发展。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相关功能安全标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然受这些条款约束。

TI 组件未获得用于 FDA 三级 (或类似生命攸关的医疗设备) 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 组件才是专门设计用于军事/航空应用或环境的产品。客户认可并同意, 如将不带有该标识的 TI 组件用于军事或航空航天应用, 则风险由客户自行承担, 客户自行负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 特别标示了符合 ISO/TS16949 要求的特定组件, 这类组件主要用于汽车。在任何情况下, TI 均不因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 的要求而承担任何责任。

### 产品

音频	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
放大器	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
数据转换器	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
时钟与定时器	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
接口	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
逻辑	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
电源管理	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
微控制器	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
RFID	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
OMAP 应用处理器	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>
无线连接	<a href="http://www.ti.com/wirelessconnectivity">www.ti.com/wirelessconnectivity</a>

### 应用

汽车与运输	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
通信与电信	<a href="http://www.ti.com/communications">www.ti.com/communications</a>
计算机及外设	<a href="http://www.ti.com/computers">www.ti.com/computers</a>
消费电子	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
能源和照明	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
工业控制	<a href="http://www.ti.com/industrial">www.ti.com/industrial</a>
医疗	<a href="http://www.ti.com/medical">www.ti.com/medical</a>
安防	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
空间、航空和国防	<a href="http://www.ti.com/space-avionics-defense">www.ti.com/space-avionics-defense</a>
视频和影像	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
TI E2E 社区	<a href="http://e2e.ti.com">e2e.ti.com</a>

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

© 2014 年德州仪器公司版权所有

## 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间接版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, 但他们将独立负责满足与其产品及其应用中使用 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, 并且由客户独立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	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>	德州仪器在线技术支持社区	<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

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