

用于高精度 DAC 的 SPICE 模型

作者: Rahul Prakash

电气设计工程师

挑战 – 完整的系统验证

在着手实施一项设计之前预测其性能是每一位设计工程师所面临的挑战。IC 设计人员手握大量的工具和模型,即使是在制造之前也可用来进行其设计的仿真。然而,当考虑整个系统设计时,我们发现拥有准确模型的组件却非常之少。

这意味着,完整的系统级验证必须由设计人员根据以往的经验通过预算、抽查、建模、目视检查和修改,以手动的方式完成。不幸的是,这给设计中出现误差和漏洞埋下了隐患。在某些场合中,为了实现预期的功能和性能,需要多种版本的电路板。

构建模块 – 高精度 DAC 模型

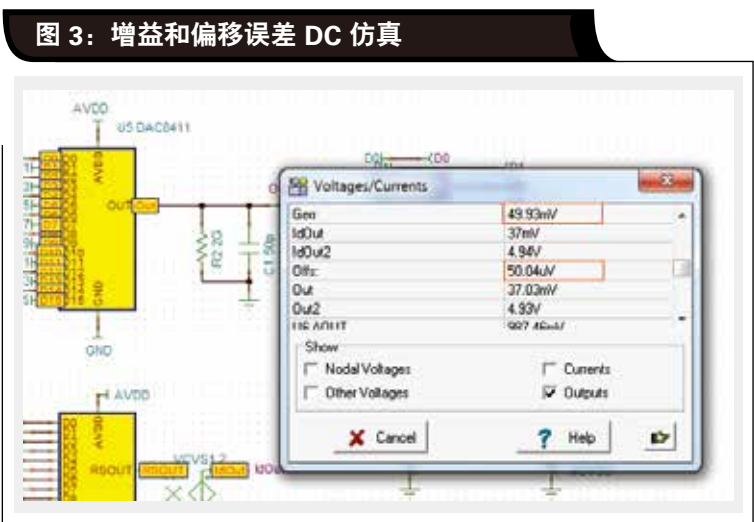
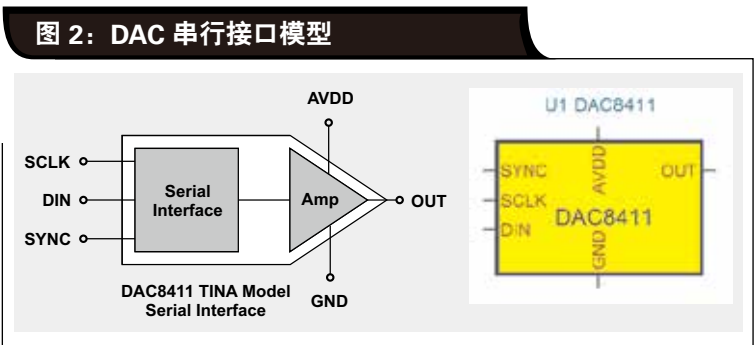
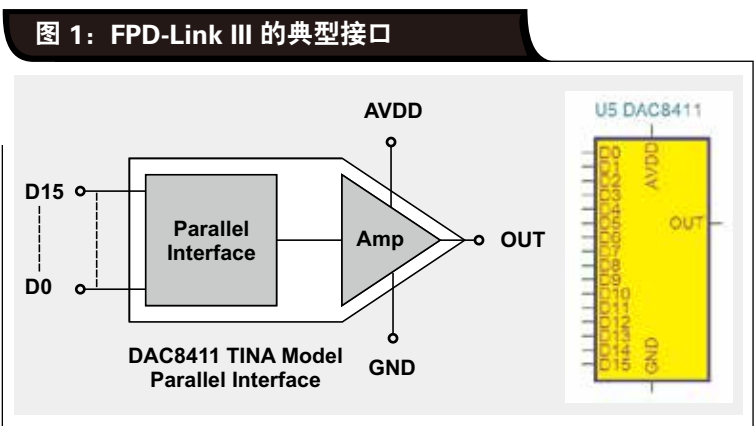
用于高精度 DAC (例如:由德州仪器提供的 DAC8411 系列)的最新 TINA-TI™ 软件模型可实现完整的系统级验证。DAC8411 系列包括 8 位至 16 位单通道、电压输出数模转换器 (DAC)。用于该系列的 SPICE 模型可提供两种变体。第一种是一个具有输出缓冲器的并行 n 位宽接口,其可兼容所有的 TINA 版本 (图 1)。

第二种是一个具有输出缓冲器的串行外设接口 (SPI),其可兼容专业版的 TINA-TI 软件 (图 2)。

这两种变体皆可用于对始自 DAC 输出缓冲器的模拟信号链路进行仿真。具有输出缓冲器的 SPI 模型可全面模拟完整的 DAC 功能。其可用于对始自 DAC 输入的数字信号链路进行仿真。

用于 DAC 的输出缓冲器模型包括常见的 DC 参数 (例如:端点误差和各自的温度系数、静态电流)以及 AC 参数 (如电容式负载稳定性、转换速率、稳定时间和上电短时脉冲干扰等等)。比如:针对 DAC8411 增益 (Gerr) 和偏移 (Offs) 误差的仿真结果示于图 3。请注意,增益误差是全标度范围的一个百分数,而偏移误差的单位则是微伏 (μV)。

图 4 示出了在一个 1/4 标度至 3/4 标度的代码阶跃 (code step) 情况下,于 DAC 上完成的瞬态仿真。如该图所示,对于此项分析而言,仿真曲线图与产品手册中提供的曲线图之间具有高度的相关性



另外，这些模型还允许设计人员输入某些参数的特定值，如 DAC 增益和偏移误差。在运行用于估计系统性能的“假设分析” (what-if) 仿真时，这一点是特别有用的。

把它们整合起来 – 完整的系统模型

案例研究：0 mA 至 20 mA DAC

最常见的 DAC 应用之一是在工业自动化系统（也被称为一种三线式系统）中生成一个 0 mA 至 20 mA 信号。实现该系统的方法有多种，从采用 DAC、运算放大器和无源组件的全分立型实施方案，到使用诸如 DAC8760 等器件的全成型实施方案均在其列。

针对此项练习，我们采用一款全分立型实施方案以及用于 DAC8411 和 OPA192 的 TINA 模型来设计一个基本的 0 mA 至 20 mA 系统（图 5）。

工作原理

该实施方案采用了用于 DAC8411 的模型、两个 OPA192 运算放大器（OP1 和 OP2）、两个 MOS 晶体管（T1 和 T2）和四个电阻器（R1、R2、R3 和 RLOAD）。该系统产生一个流入 RLOAD 的输出负载电流，此电流与一个 16 位输入数字代码成正比。对于本设计，OP1 和 OP2 需要处理轨至轨输入。

为了解该基本系统，我们将假设 OP1 和 OP2 是理想运算放大器。不过，后面的部分则采用 OPA192 TINA 模型来对完整的系统进行仿真。DAC8411 模型把 16 位 DAC 代码转换为一个成比例的模拟输出电压 (VDAC)，其数值在 0 V 至 5 V 的范围内。该电压随后被施加在运算放大器 (OP2) 的正输入端。OP2 的负输入也被驱动至 DAC 输出电压 (VDAC)，从而使一个电流流过电阻器 R4 (VDAC/R4)。运算放大器 (OP2) 通过控制 MOSFET (T2) 的栅极电压来确保该电流。此电流通过电阻器 R1 从电源 (V2) 抽取。这就完成了本设计的第一阶段，在该阶段中生成了一个与代码成正比的电流。

运算放大器 (OP1) 在 R1 和 R2 的两端保持相等的电压降。由于在本设计中 R2 的阻值比 R1 小 100 倍，因此为了获得相等的电压降，流过 R2 的电流就必须比流经 R1 的电流大 100 倍。该电流可采用公式 $(VDAC/R4) \times (R1/R2)$ 来表达。

图 4：显示半标度稳定时间的瞬态仿真

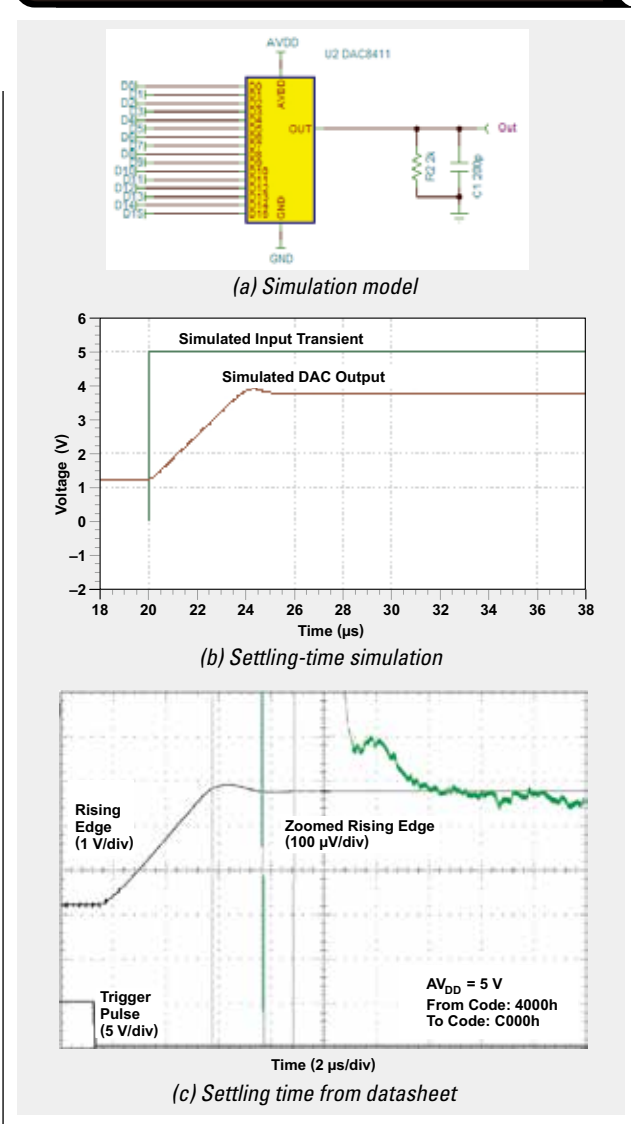


图 5：DAC 0 mA 至 20 mA 系统模型

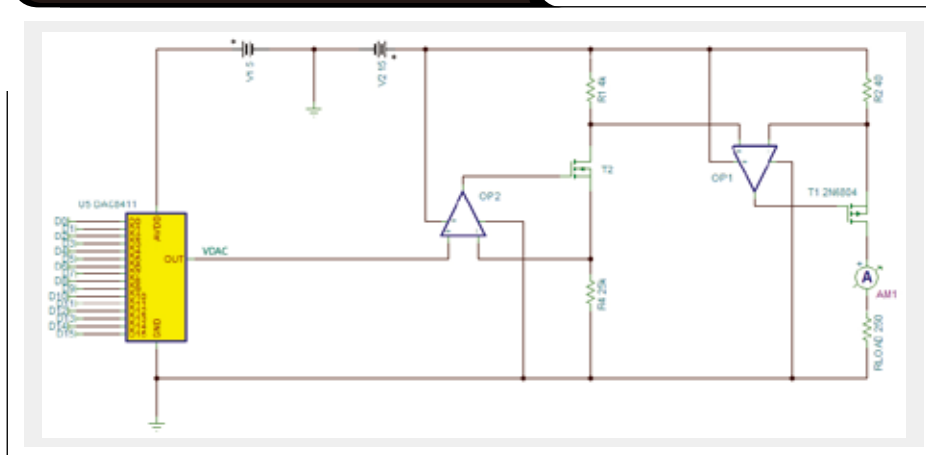
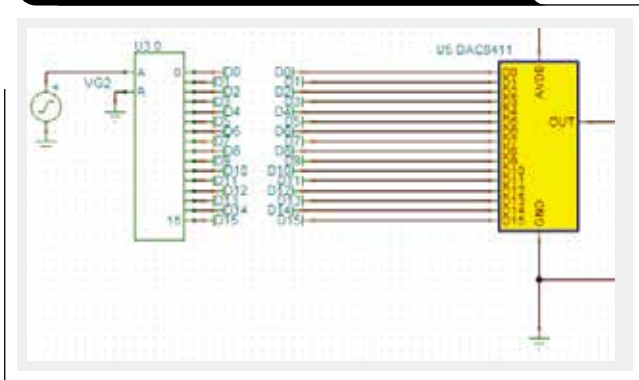


图 6: 用于 0 mA 至 20 mA DAC 系统的输入接口试验台



运算放大器 (OP1) 通过控制 MOSFET T1 的栅极电压来确保该电流。T1 的漏极通过一个安培计 (AM1) 连接至 250 Ω 的负载电阻器 (RLOAD)。

仿真设置和结果

图 6 所示的试验台配置采用一个理想的 16 位模数转换器 (ADC) 将一个 0 V 至 1 V 模拟信号 (VG2) 转换为用于系统的 16 位代码。VG2 的直流 (DC) 特性扫描分析可产生用于系统的完整 16 位代码。最终的输出电流示于图 7。

图 8 示出了同一个电路的瞬态分析。DAC 代码从零标度切换至全标度，并绘制了最终输出电流的曲线图。

实际系统的非理想性

过去，0 mA 至 20 mA 系统的仿真是把 DAC8411 和 OPA192 参数作为典型值来建模的。与任何的集成型芯片一样，产品手册中列出的参数具有一个典型值，而某些参数还具有一个最大 / 最小值。设置此类边界值的意图是保证这些参数在规定的温度范围、电源电压和工艺变化情况下具有某种性能水平。因此，针对规格中的这些变化来实施系统的仿真是很有益处的。

用于 DAC 的最新 TINA-TI 软件模型使得设计人员能够修改一些关键的参数并运行“假设分析”仿真。为了阐明这一特性，我们选择了一种实例仿真，在该仿真中 DAC 偏移电压从典型值变为最大值。在模型中该规格由图 9 中所示的 OFFS 参数捕获。

图 7: 输出电流直流特性扫描分析的 DAC 系统仿真

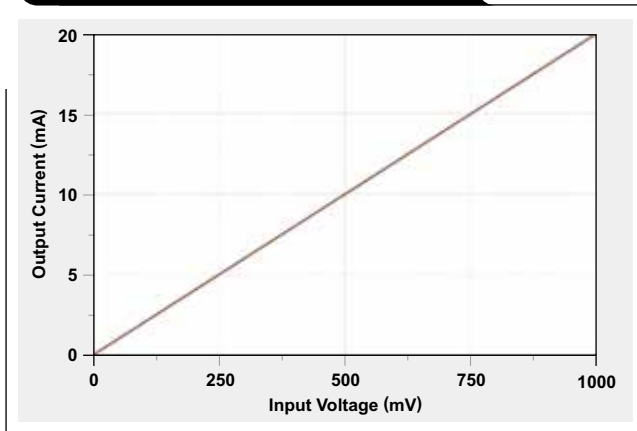


图 8: 输出电流瞬变的 DAC 系统仿真

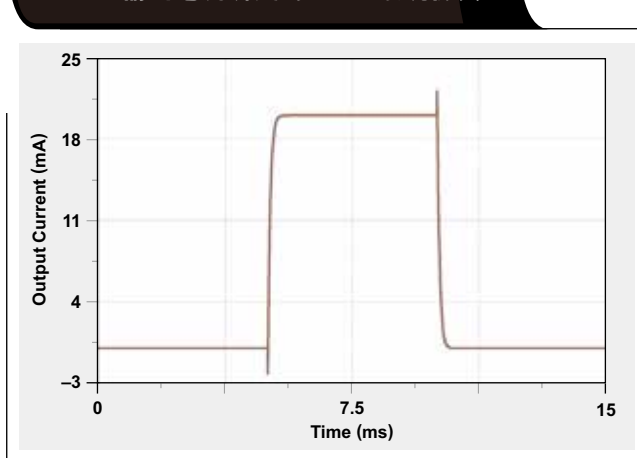


图 9: DAC 模型，用户可调的 DAC 偏移电压

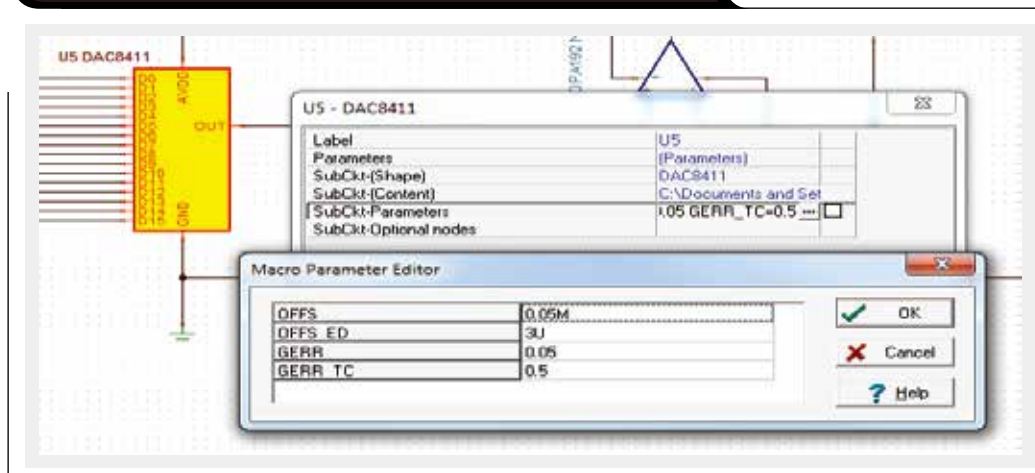


图 10 示出了针对两个 DAC 偏移电压值的系统 DC 性能（图 5 中所示模型的系统输出电流）。

请注意，图中的绿色曲线是最坏情况偏移电压 (3 mV) 的仿真结果，红色曲线表示的是偏移电压设定在 0.05 mV 典型值时的情形。为简单起见，对图 10 中示出的输出电流进行了放大以显示输出中的偏移。这种特殊的仿真可用于预测系统针对最坏情况 DAC 偏移电压的响应。

结论

本文所述的 DAC 模型可实现完整的系统验证。然而，准确度的水平和能够验证的系统参数则取决于模型的准确度以及仿真工具的功能。以图 5 中所示的系统为例，验证的级别取决于 DAC 模型、运算放大器、MOSFET 和分立型组件以及 TINA 仿真器的功能。仿真器的功能可通过采用专业版本的仿真软件加以改进。这样，系统验证全面性的限制因素就剩下了组件模型的准确度。

参考文献

由德州仪器提供的基于 SPICE 的模拟仿真程序。参见：

www.ti.com/tool/tina-ti

DAC8411 模型。参见：

www.ti.com/product/DAC8411/toolssoftware

OPA192 模型。参见：

www.ti.com/product/OPA192/toolssoftware

相关网址

www.ti.com/4q14-DAC8411

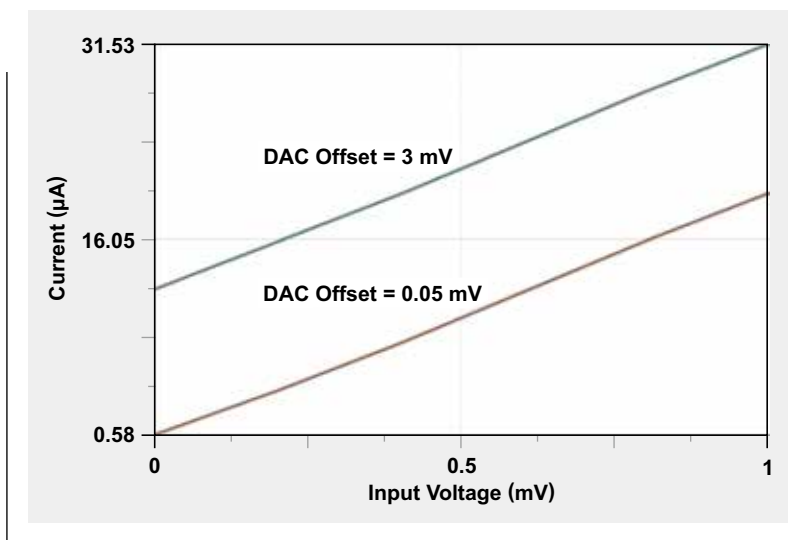
www.ti.com/4q14-DAC8760

www.ti.com/4q14-OPA192

订阅 AAJ：

www.ti.com.cn/subscribe-aaj

图 10：针对输出电流直流特性扫描分析和用户调节偏移误差的 DAC 系统仿真



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® 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 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

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其在其应用中使用 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	www.ti.com/audio
放大器	amplifier.ti.com
数据转换器	dataconverter.ti.com
DLP® 产品	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
时钟与定时器	www.ti.com/clocks
接口	interface.ti.com
逻辑	logic.ti.com
电源管理	power.ti.com
微控制器	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP 应用处理器	www.ti.com/omap
无线连接	www.ti.com/wirelessconnectivity

应用

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

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 © 2014, 德州仪器半导体技术(上海)有限公司