

针对高速、高电压测量的提示与技巧

作者：Grant Smith

业务发展经理

引言

那些同时也包含了高速器件（例如：近期推出的氮化镓 [GaN] 和碳化硅 [SiC] 功率 MOSFET）的高电压电路对电源转换设计师提出了挑战。当与低电感栅极驱动器正确地搭配使用时，较低电压 GaN FET ($< 100\text{ V}$) 可在最短 1 ns 的时间里完成开关切换。采用特殊低电感布局和高电流驱动器的高电压 600 V GaN FET、乃至更高电压的 1200 V SiC FET 也能够以 1 MHz 的速率执行开关操作（上升和下降时间低于 20 ns ）。在设计验证期间，遵照环境安全与健康 (ESH) 指引等标准来对此类高电压电路进行安全的手动探测是一个难题。另一个考虑因素是要求利用电介质安全隔板来避免测试人员意外触碰带电区域，以及使用诸如橡胶手套和护目用具等个人防护设备。这些安全性方面的问题使得探测变得更加困难。

本文介绍了几种用于测量探针性能的高速和高电压探针电路。目的是阐明如何将高电压降低至安全的水平，并提供优良的 DC 准确性和高 AC 保真度，随后就能够通过同轴电缆把这些信号传输至 $50\ \Omega$ 设备中。

测量概述

利用一个探针来测量电路的电压将同时给电路施加电阻性和电容性负载，而且在高频条件下甚至还包括电感性负载。给电路加载还会把失真和振铃添加到原始信号上。其概念类似于海森堡测不准原理 (Heisenberg uncertainty principle)，该原理涉及一个电子的位置和动量的量子本质，并揭示了一些有关电子测量的科学。基本的结论是：任何旨在测量电压和电流的尝试实际上都会改变这些物理量。

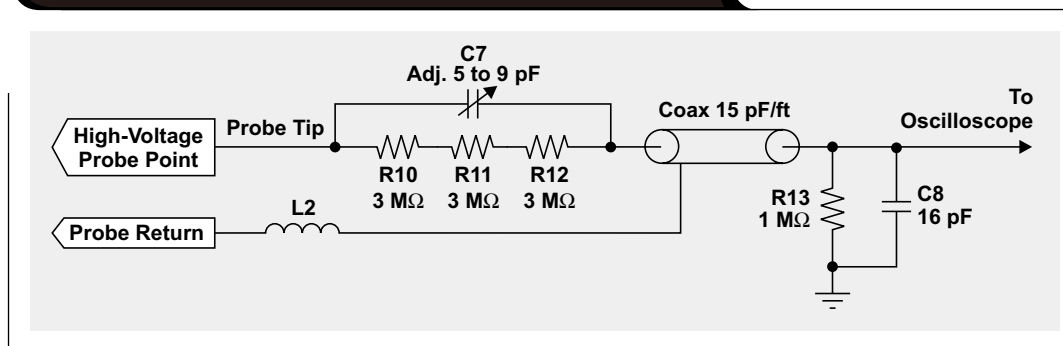
利用电流探针来测量电流将增加环路面积和电感，以及会导致瞬时功率耗散 ($V \times I$) 估计复杂化的失真和时间延迟。通过测量一个低值并联电阻器两端的电压来测量电流也是一种常用的方法。然而，当频率高于 10 MHz 或者存在低于 30 ns 的上升和下降时间时，必须考虑电阻器的电感。在开关频率达 MHz 级（宽带隙电源转换时可能出现）及存在短暂的上升和下降时间的情况下，重温一下探针电路及其某些局限性是很重要的。

图 1 示出了一个 $10:1$ $10\text{ M}\Omega$ 、 500 MHz 示波器探针的简化原理图。电阻器 R10、R11 和 R12 在探针的尖端中提供了一个与可变补偿电容器 (C7) 相并联的 $9\text{ M}\Omega$ 电阻。在 DC 条件下，利用示波器的 $1\text{ M}\Omega$ DC 输入电阻器 (R13) 和探针尖端中的 $9\text{ M}\Omega$ 电阻来获得 $10:1$ 的分压比。为了在电压测量中实现 1% 或更好的准确度，被测量的电路必须具有一个 $100\text{ k}\Omega$ 或更小的源阻抗。有源探针可具有较高的输入阻抗，但电压通常被限制在几十伏^[1]。

宽带隙功率 FET

近期推出的宽带隙功率半导体器件（如 SiC 和 GaN FET）可帮助设计人员满足下一代的效率与功率密度要求。相比于传统的硅 (Si) 器件，这些宽带隙器件能在较小的面积内支持较高的击穿电压。此类器件的设计人员正逐步地减小电容和几何尺寸，以改善通过沟道的速度。与相同大小的 Si 器件相比，GaN 的高迁移性和 GaN 功率 FET 的横向结构可产生较高的载流子浓度能力和较低的导通电阻 ($R_{DS(on)}$) 值。（接下页）

图 1：示波器探针的简化原理图



(续上页) 这些特性使得 GaN FET 的尺寸可以为 Si FET 的大约三分之一, 然而却拥有与之相当的电压和电流传输能力。

反向恢复电荷 (Qrr) 是 Si 功率 FET 开关操作的主要功率损失机理。GaN 和 SiC FET 均为多数载流子器件。GaN FET 没有体二极管, 这意味着它们没有反向恢复电荷 (Qrr)。SiC FET 确实具有一个体二极管, 这一点与 Si 器件相似, 但是存储的反向电荷较低。当验证采用了近期推出的 GaN 和 SiC 功率器件的设计时, 应对特定应用或电源转换器架构中的损耗进行量化, 这一点很重要。而且, 还应对那些需要采用不同的方法以满足驱动电路、控制器参数和系统性能目标的器件的优缺点进行评估。

必需以足够的准确度和带宽测量漏极、栅极和源极上的波形, 这是至关重要的。还有一点也很重要, 那就是应在整个温度范围内监视这些波形, 因为宽带隙器件的运行方式与 Si 器件是不同的。对于任何开关 FET 而言, $R_{DS(on)}$ 都是一个关键的参数。我们知道, 当温度从 25°C 升至 125°C 时, Si FET 的 $R_{DS(on)}$ 约增加一倍。SiC 器件在相同情况下的 $R_{DS(on)}$ 增加则小得多, 并指定可在 200°C 或更高的温度条件下操作。GaN FET 还具有温度相关性以及一种与断态电压有关的导通电阻机理, 被称为动态 $R_{DS(on)}$ 。未发现 Si 或 SiC FET 具有这种复杂的效应。据相关报告, GaN 的动态 $R_{DS(on)}$ 会在接通之后最短几百 ns 到几分钟 (取决于变化的起因) 发生改变^[2]。

图 2 示出了一种简单的功率因数校正 (PFC) 升压拓扑^[3]。对于通用的 85 VAC 至 270 VAC 应用, Q1 上的漏极信号可高达 400 V 或更高 (当存在线路电压浪涌时)。在基于 GaN FET 的设计中, OFF 至 ON 波形会具有一个 $> 150\text{ V/ns}$ 的 dv/dt , 以及一个大约 3.5 ns 的下降时间。信号带宽 (BW) = $0.35/t_{fall}$ 的简单关系可得出一个

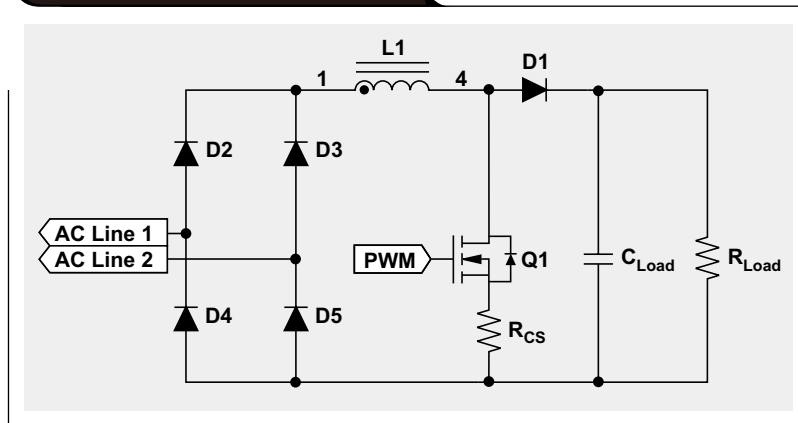
100 MHz 的估计值。为了实现小于 2% 的测量误差, 探针网络和信号链路应具有一个 5 倍于此的带宽, 即 500 MHz。

回顾一下图 1, 我们注意到: 如果没有补偿电容器 (C7), 那么位于约 50 pF 电缆电容之前 $9\text{ M}\Omega$ 探针尖端电阻与 16 pF 示波器输入电容相并联, 形成了一个具有仅 250 Hz 左右带宽的低通滤波器, 此带宽比所需要的低了 200 万倍。为了进行补偿, 对与 $9\text{ M}\Omega$ 电阻并联的 C7 进行调整以在频率响应中增添一个零点。该举措消除了极点并提供了平坦的频率响应。

从另一个方向来看这个问题那就是: C7 在一个的很宽的带宽内使探针尖端的阻抗与电缆和示波器输入的阻抗保持为 9:1 的阻抗比, 直到寄生电感和传输线效应开始起主导作用为止。不幸的是, 9 倍的阻抗比意味着在探针尖端与示波器输入之间将永远不存在阻抗匹配。如果您试图构建此电路 (就像我曾经做过的那样), 并使用市售的 $50\ \Omega$ 同轴电缆作为连接线, 那么它的运行性能将非常差。在沿着电缆的大约 $1/(\text{往返行程时间})$ 处, 开始起作用的是由于 9 倍的阻抗失配所引起的非常强的反射或振铃。

我通过少量的研究 (包括拆开旧的探针和做一些老派的逆向工程设计) 揭示出了一个秘密, 这是我形成首个 “提示与技巧” 的基础。示波器探针电缆的中心导线是阻性的。我在探针尖端的输出与 BNC 适配器盒 (补偿实际上就是在这里进行的) 的输入之间测得的阻抗约为 $300\ \Omega$ 。像魔术一样, 给探针尖端和示波器之间的路径增加损耗减低了反射并产生了平坦的响应。后来我发现 Tektronix 公司在 1956 年获得了有关于此的专利授权^[4]。由于专利权的有效期限为 20 年左右, 因此该技术早已过了专利保护期, 可以自由开放地重新使用了。

图 2: PFC 升压型转换器



回到电路负载

在 500 MHz，如果没有有损传输线，则在探针输出端的电缆输入阻抗仅为 5 Ω 左右。如专利中说明的那样，增加损耗将增大电缆输入阻抗，并允许在补偿中使用一个较小的探针尖端电容值。把补偿电容器调节至大约 7 pF 可在用于接触电路的尖端上给探针提供一个约 45 Ω 的阻抗。当由于负载的原因而具有大于几个 Ω 的串联阻抗时，如此低的探针阻抗有可能降低信号的电压测量准确度。

与 Si FET 相似，GaN FET 也具有一个与漏极电压成某种函数关系的 C_{OSS} ，但通常要比 Si FET 的低 2~4 倍。一款市面上有售的 600 V、150 mΩ GaN FET 报告的 C_{OSS} 约为 40 pF（在 400 V 电压下），而一款可在市场上购得的 600 V、190 mΩ Si 超结 FET 所报告的 C_{OSS} 为 100 pF（在 100 V），这与 1200 V SiC FET 在 100 V 电压下的情形相似。

在图 1 所示的简单探针中，当传输线路中无损耗时，7 pF 的探针尖端电容应减小至 1 pF 或更小，以提供用于 GaN 和 SiC FET 测试的最小信号负载。

减小探针电容

减小电容可采用多种方法来实现。一种诀窍是使用双股电缆并主动地驱动用于较低频信号的屏蔽。另一种选项是尽可能地缩短电缆的长度，然后增设一个具有高输入阻抗的低电容、宽带宽有源放大器。为了在使用有源放大器的情况下仍然保持高电压测量的能力，还需要增设一个宽带、低电容电压衰减器。由德州仪器提供的

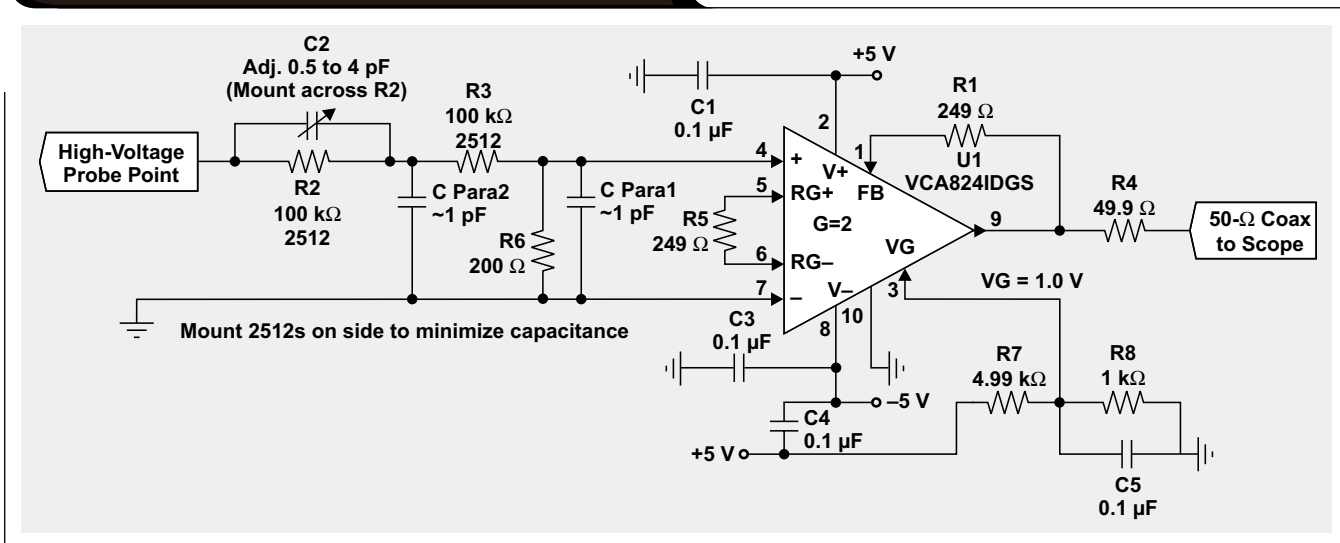
VCA824 便是一个例子，其为一款具有高输入阻抗的宽带、全差分放大器，能够驱动 50 Ω 线路。该器件具有一个 ±1.5 V 的输入共模范围和一个 > 700 MHz 的小信号带宽，以及一个与 1 MΩ 相并联的 1 pF 输入阻抗。将该放大器用于高达 600 V 的漏极电压将需要一个 1000:1 的电压衰减器（其在 DC 至 > 500 MHz 的范围内保持平坦）和一个小于 2 pF 的输入电容。

必需将该衰减器的阻抗和功率耗散考虑在内。这里是相互之间存在冲突的要求。理想的情况下，该阻抗对于防止电路过载和降低功耗来说将是足够高了。当探测高达 600 V 的电压时，利用一个 1 MΩ 阻性阻抗来实现该衰减器可把功率耗散保持在低于 400 mW。在驱动寄生电路板电容和放大器的输入电容时，保持较低的阻抗可提供较宽的带宽。

图 3 示出了一款经过改进的探针电路，其可提供 1000:1 的分压比，且使用的信号路径长度仅为 1 英寸左右。免费的在线跟踪阻抗计算工具^[5]可提供寄生电容的估计值。例如：位于采用 FR-4 (er 4.0) 材料的接地平面上方 4 密耳的一根 6 密耳宽的 1 盎司微带线的电容约为每英寸 2.7 pF。为了进一步减小来自电阻分压器的寄生电容，运用了一种 RF 工程设计技巧，即在它们的侧面安装能够耐受 2 W 功率的 2512 SMT 电阻器。这可最大限度地减小接地平面上方的信号路径传导面积。而且，1000:1 的分压比被分为两个部分：2:1 和 500:1。该嵌入式探针的输入电容约为 1.5 pF。

200 kΩ 的 DC 电阻 (R2 + R3) 虽然产生了相当高的功率耗散（在 600 V 时为 1.8 W），但其允许使用约 1 pF 的补偿电容，并可获得高于 500 MHz 的频率响应。

图 3：改进型高电压探针电路的原理图



在图 4 所示的电路板中，采用了表面安装型 2512 电阻器及与之并联的调谐电容器。

图 5 和图 6 中的两幅“至示波器的漏极电压输出”曲线图示出了性能结果。蓝色曲线取自一款 10:1 商用示波器探针。紫色曲线取自一个由 VCA824 和另一款 TI 宽带多路复用器（OPA4872，其负责驱动 10 英尺的 50 Ω 同轴电缆）实施缓冲的网络。图 5 中的曲线图反映的是调谐之前的情形，而图 6 中的曲线图则显示的是调谐之后的状况。

图 4：嵌入式高电压探针实施方案

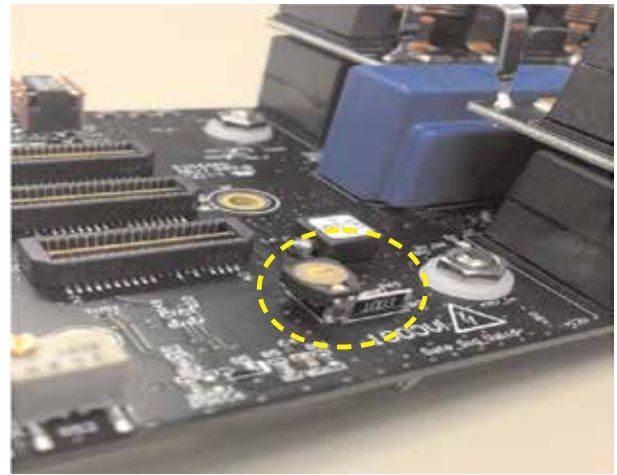


图 5：补偿 / 调谐之前的探针性能对比

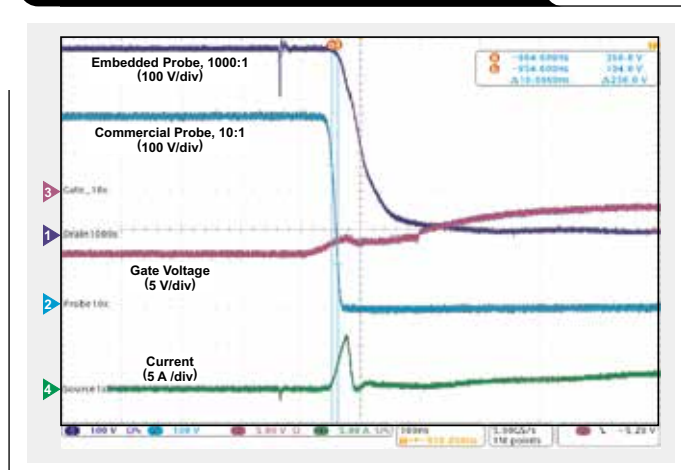
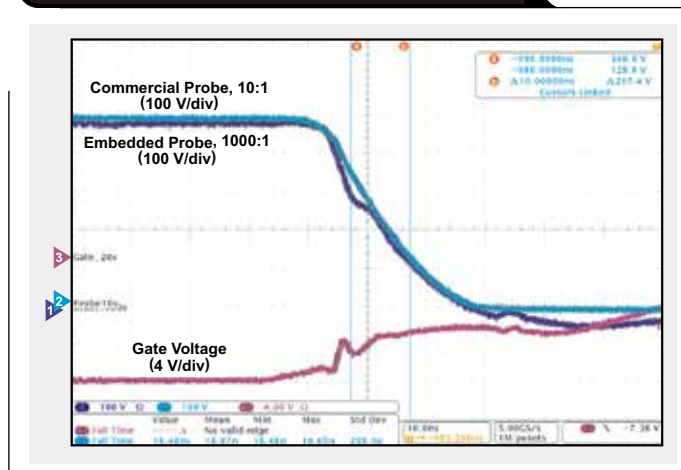


图 6：采用了调谐补偿电容器之后的探针性能对比



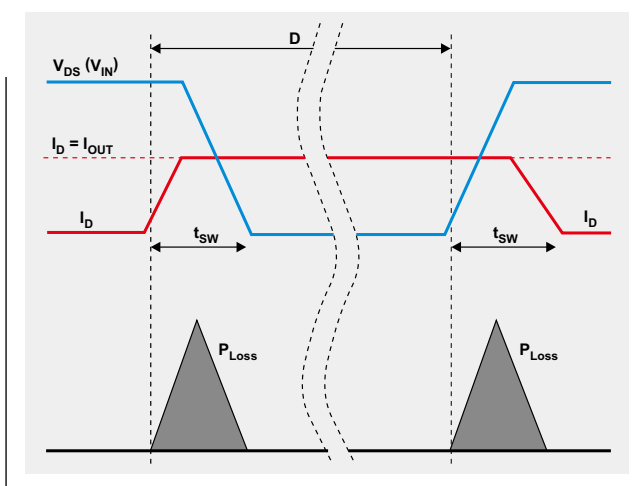
在补偿之后，采用来自漏极上的嵌入式探针的波形以估测开关损耗。图 7 示出了接通和关断损耗的计算方法。每个周期的总损耗是位于两个三角形 VI 曲线下方的面积。为了减小测量误差，必需拥有优良的电压准确度和良好的电流准确度，并在电压和电流波形之间实现上佳的时滞匹配 ($< 2 \text{ ns}$)，这是很重要的。

如欲准确地测量器件电流，则使用另一个 VCA824 放大器对位于 FET 源极和地之间的一个电流检测电阻器 R_{CS} 两端的电压进行差分测量（采用开尔文 [Kelvin] 连接）。使用一个具有 0.100Ω 阻值的宽体 6432、低电感 ($< 200 \text{ pH}$) 电阻器可提供 $\pm 15 \text{ A}$ 的电流测量范围。图 5 中的绿色扫迹示出的是从“差分测量结果 $\times 10$ ”获得的源电流波形。请注意，在 FET 接通时出现的三角形 6 A 电流尖峰是由于器件的栅极和漏极电荷所致。另外，图 5 还用红色扫迹示出了栅极至地波形。时滞匹配是通过采用从器件至缓冲放大器的等长布线以及随后至示波器的等长 50Ω 同轴电缆配线实现的。

结论

总之，本文介绍了一款易于实现的嵌入式探针电路，其能够测量高达 600 V 且上升和下降时间短至 3.5 ns 的电压。为了尽量地减小电容性负载，把一根 1 英寸的 50Ω 微带线与两个 $100 \text{ k}\Omega$ 、 2 W 电阻器和一个 200Ω 接地电阻器一起用来实现一个宽带 $1000:1$ 衰减器。这种配置可驱动全差分 VCA824 放大器，该放大器具有高输入阻抗、 $> 700 \text{ MHz}$ 带宽和 $\pm 1.5 \text{ V}$ 的输入共模范围。另外，文章还说明了如何借助差分 VCA824，通过在一个位于器件源极和地之间的 0.1Ω 电阻两端采用开尔文 (Kelvin) 连接来测量器件电流。对于时滞匹配的电压和电流波形，设计人员能够采用示波器的波形数学运算工具 (waveform math) 对其实施乘法和积分运算，从而提供准确的器件损耗估测。

图 7: 开关功率损耗估计



参考文献

- 1、《探针的基本原理》，Tektronix，2009 年。
- 2、作者：Donghyun Jin 和 Jesús A. del Alamo，《影响 GaN 高电压 HEMT 动态导通电阻的机理》，2012 年 IEEE 第 24 届国际功率半导体器件与集成电路研讨会论文集，2012 年 6 月。
- 3、《一款面向 LCD TV 应用的 300 W 、通用输入、隔离式 PFC 电源》，参考设计，德州仪器。
- 4、电探针 US 2883619 A，美国专利。
- 5、微带阻抗计算器，Multi-Teknik。

相关网站

氮化镓 (GaN) 解决方案:

www.ti.com/gan

www.ti.com/lit/slyy070

www.ti.com/lit/slyy071

产品信息:

www.ti.com/vca824

www.ti.com/opa4872

订阅 AAJ:

www.ti.com/subscribe-aaaj

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 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, 但他们将独自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, 并且由客户独自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