



说明

该并联 LDO 参考设计展示了使用镇流电阻器、采用并联配置的 TPS7A57 低噪声、低压降线性稳压器 (LDO)，该稳压器能够拉取 13.5A 的电流，包含一个高性能负载瞬态电路，可帮助用户进行高速负载瞬态测试。电路板中集成了低电感电流环路，以帮助用户进行输入和输出电流测量。

资源

TIDA-050061	设计文件夹
LMG1020	产品文件夹
TPS7A57	产品文件夹

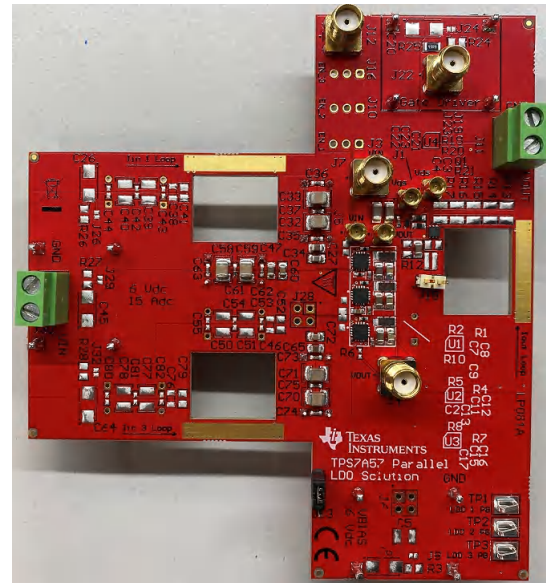
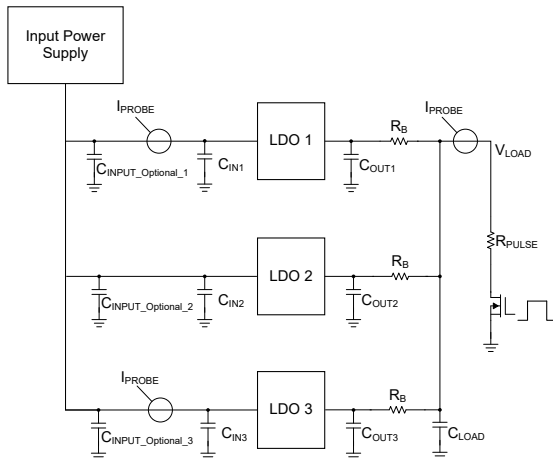


特性

- 小尺寸解决方案：174mm² 电路板面积，1.45mm 高度
- 输出电流：最高 13.5 A
- 出色的负载调节：1.15mV/A
- 输出电压噪声：1.45 μ V_{RMS}
- 出色负载瞬态响应： ± 9 mV (10A/ μ s 斜坡速率)
- 低失调电压 (最坏情况下为 ± 2 mV) 可实现非常小的镇流电阻器阻值

应用

- 宏远程无线电单元 (RRU)
- 室外回程单元
- 有源天线系统 mMIMO (AAS)
- 超声波扫描仪
- 实验室和现场仪表
- 传感器、成像和雷达
- 导引头前端



1 系统说明

许多应用都需要低噪声低压降稳压器 (LDO)，以确保电源噪声不会耦合到信号链中。随着新型高速模数转换器 (ADC)、数模转换器 (DAC) 和时钟电路提高数据速度和带宽，对电流的要求不断增加。瞬态性能也必须提高，以满足现代 FPGA 稳压范围要求。由于器件可用性和功率耗散限制，使用单个 LDO 供电并不总是可行的。TIDA-050061 参考设计通过使用多个配置为并联共享电流的 LDO 解决了该问题。电流共享是通过使用低值镇流电阻器实现的，这些镇流电阻器可以设计为印刷电路板 (PCB) 上的分立式电阻器或铜引线。如果需要，可以扩展该参考设计中提供的拓扑以包含更多 LDO，可以并联放置的 LDO 数量没有限制。

该电路使用大电流 LDO TPS7A57，这是一款 5A 器件。该参考设计装配了三个 TPS7A57 器件，可使用 2.5mΩ 镇流电阻器提供高达 13.5A 的电流。该参考设计包含低电感电流环路和高速负载瞬态电路，以帮助客户评估参考设计。

1.1 关键系统规格

表 1-1. 关键系统规格

参数	规格
输入电源轨	0.86V (有偏置) 或 1.1V (无偏置) 至 6V
偏置电源轨	3V 至 11V
最大输出电流	13.5 A
V _{OUT} 瞬态偏差, 0A 至 13.5A 至 0A, 1A/μs (典型值) (1)	±2mV _{PK}
V _{OUT} 瞬态偏差, 0A 至 13.5A 至 0A, 10A/μs (典型值) (1)	±9mV _{PK}
V _{OUT} 瞬态偏差, 0A 至 13.5A 至 0A, 100A/μs (典型值) (1)	+28mV _{PK} /-19mV _{PK}
V _{OUT} 瞬态偏差, 0A 至 13.5A 至 0A, 100A/μs (典型值) (2)	+11mV _{PK} /-8.5mV _{PK}
输出电压范围	0.5V 至 5.2V
针对输出电压 V _{OUT} 进行了优化	0.75V
镇流电阻器	2.5mΩ
负载调整率	1.15mV/A

1. 每个 TPS7A57 LDO 在 OUT 引脚上都有连接至 GND 的 22μF//2.2μF 陶瓷电容器，位于镇流电阻器之前。在 2.5mΩ 镇流电阻器之后还有一个额外的 22μF 陶瓷电容器，位于负载附近。
2. 每个 TPS7A57 LDO 在 OUT 引脚上都有连接至 GND 的 22μF//2.2μF 陶瓷电容器，位于镇流电阻器之前。在 2.5mΩ 镇流电阻器之后还有两个额外的 100μF 陶瓷电容器，位于负载附近。

2 系统概述

2.1 方框图

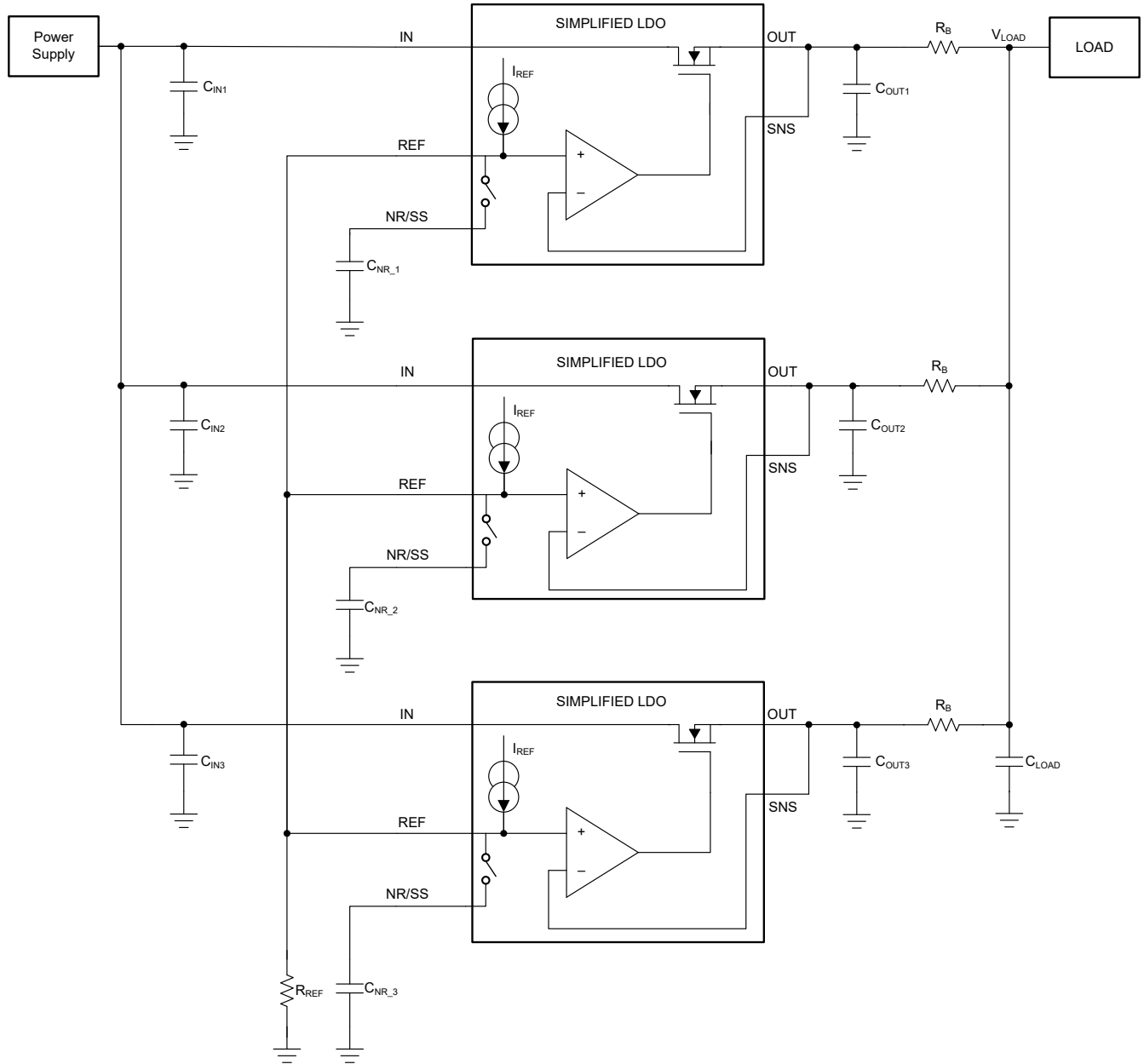


图 2-1. 方框图

2.2 设计注意事项

该参考设计包含三个高速大电流 LDO。当参考设计输出加载大电流、快速斜坡速率负载阶跃时，电荷通过 LDO 从输入电源转移到输出。这种从 V_{IN} 到 V_{OUT} 的快速电荷转移会导致在负载瞬态期间 V_{IN} 上出现显著的压降。LDO 可能会瞬间进入压降状态，这会对负载瞬态性能产生负面影响。有两种常见的解决方案：

1. 使用高带宽电源转换器为 V_{IN} 供电，使 V_{IN} 始终得到良好的调节。
2. 在 V_{IN} 上放置一个电容器组，以便在较大负载阶跃期间保持电压。

设计工程师需要仔细评估其负载瞬态要求，并相应地设计提供 V_{IN} 的电源，以缓解这些问题。该参考设计包含一个大电容器组，以帮助使用台式电源进行负载瞬态评估。根据输入电源性能，最终系统中可能需要也可能不需要该电容器组。

2.3 工作原理

该拓扑使用镇流电阻器。镇流电阻器提供了一种将多个电压源连接在一起为常见负载供电的简便方法。更大地减小每个 LDO 输出端的电压差至关重要。随着 LDO 精度的提高，设计人员可以减小镇流电阻器的大小。

每个 LDO 都有自己的内部基准，这与其他独立基准略有不同。为了在不同 LDO 之间实现最小的电流共享误差，该解决方案通过 REF 引脚将电流源基准连接在一起。其余的误差源来自镇流电阻器、内部输出场效应晶体管 (FET) 和放大器。这些误差显示为失调电压 ($V_{NR}-V_{OUT}$)，它本身也是线路和负载的函数。这些误差源构成了每个 LDO 的总误差 V_E 。在该参考设计中，为简单起见，各个镇流电阻器配置为相同的值。

过去，使用 [方程式 1](#) 选择镇流电阻来设置并联 LDO 的电流不平衡 I_{MAX} 。该公式未考虑所需的负载电压 V_{LOAD} ，这也是大多数采用并联 LDO 设计的现代电源的要求。德州仪器 (TI) 已经使用镇流电阻器对并联 LDO 的设计和分析进行了现代化改造 (请参阅参考 [4] 和 [6])，并开发了一个可下载的软件工具来为我们的 LDO 和一组系统要求设计 R_B (请参阅参考 [5])。

选择 R_B 后，通过使用 [方程式 1](#)，可以使用 [方程式 2](#) 来评估流出每个 LDO 的电流。[方程式 3](#) 可用于评估系统的 V_{LOAD} 。有关这些公式的其他详细信息，请参阅参考 [4]。可参考 [5] 快速执行为指定负载电流和负载电压选择 R_B 所需的计算。

$$R_B = \frac{\max_{1 < x < n} V_{En} - \min_{1 < x < n} V_{En}}{\Delta I_{MAX}} \quad (1)$$

$$I_{OUTn} = \frac{I_{LOAD} - \left(\sum_{n=1}^n \frac{V_{En}}{R_B} \right)}{n} + \frac{V_{En}}{R_B} \quad (2)$$

$$V_{LOAD} = \frac{\sum_{n=1}^n \frac{V_{OUTn} + V_{En}}{R_{Bn}} - I_{LOAD}}{\sum_{n=1}^n \frac{1}{R_{Bn}}} \quad (3)$$

其中：

- V_{OUTn} 是标称 LDO 输出电压
- V_{En} 是各个 LDO 的误差
- ΔI_{MAX} 是并联 LDO 之间的最大电流共享不平衡
- I_{OUTn} 是 LDO 输出电流
- R_B 是镇流电阻
- n 是并联 LDO 的数量

除 I_{OUTn} 和 V_{LOAD} 之外，其他系统要求可能需要使用并联 LDO 拓扑，例如噪声、PSRR、压降和热限制。简而言之，并联 LDO：

1. 将系统噪声减少并联 LDO 数量的平方根
2. 与使用单个 LDO 相比，可提高系统 PSRR
3. 通过将负载电流分散在多个 LDO 上来降低压降要求
4. 通过将功率耗散分散在多个 LDO 上来降低线性稳压器的结温

有关所有这些系统要求的详细讨论，并联 LDO 如何提高性能，以及您的系统要求需要多少个并联 LDO，请参阅参考 [4]、[5] 和 [6]。

镇流电阻器通常用作 PCB 引线或分立式电阻器。一般而言，PCB 引线电阻器适用于低成本的应用。PCB 引线电阻器还适用于在窄温度范围内运行或经历极高温度的应用。它们是多个低电流器件并联在一起时的理想选择（例如在可用输出电流通常受到限制的高压 LDO 中可以看到）。分立式电阻器适合需要最高性能的应用（其中输出电压容差和瞬态响应至关重要）。分立式电阻器还适用于并联高电流器件的应用（例如可随时使用高电流器件的低电压 LDO）。当环境温度超过 125°C 时，使用分立式镇流电阻器进行设计变得具有挑战性，在 150°C 以上时很难使用分立式镇流电阻器。有关镇流电阻器分析和设计的详细讨论，请参阅参考 [4]

表 2-1. PCB 引线电阻器与分立式电阻器总结

镇流电阻器选项	成本	容差	寄生电感	高温运行
PCB 引线电阻器	在 PCB 引线电阻器设计完成后无任何成本。	高：电阻器值在整个工作温度范围内几乎翻倍。	随 PCB 布线长度的增加而增加	仅受 FR4 的 Tg 限制
分立式电阻器	必须采购并安装在每个 PCB 上。	低：分立式电阻器具有 100ppm 或更低的容差	低	在较高温度下可能需要大封装尺寸（0805 或 1206）。

2.4 重点产品

2.4.1 TPS7A57 低压降 (LDO) 稳压器

TPS7A57 是一款低噪声 (2.1 μ VRMS)、超低压降线性稳压器 (LDO)，可拉取 5A 的电流，最大压降仅为 100mV。此外，当使用内部电荷泵时，压降与输出电压无关。该器件的输出电压可通过一个外部电阻进行调节，范围为 0.4 V 至 5.1 V。TPS7A57 集低噪声 (2.1 μ VRMS)、高 PSRR (1MHz 时为 45dB) 和高输出电流能力等特性于一体，因此非常适合为雷达电源、通信和成像应用中的噪声敏感元件供电。该器件的优秀性能可抑制电源产生的相位噪声和时钟抖动，因此非常适合为射频放大器、雷达传感器和芯片组供电。该器件具有高性能和高达 5.0V 的输出能力，尤其适合射频放大器使用。对于需要以低输入和低输出 (LILO) 电压运行的数字负载 (例如应用特定集成电路 (ASIC)、现场可编程门阵列 (FPGA) 和数字信号处理器 (DSP))，TPS7A57 所具备的出色精度 (在负载、线路和温度范围内可达 1%)、遥感功能、出色的瞬态性能和软启动功能可实现出色的系统性能。作为可调节稳压器，TPS7A57 可实现多用途设计，因此适用于压控振荡器 (VCO)、模数转换器 (ADC)、数模转换器 (DAC) 和成像传感器等模拟负载以及串行器/解串器 (SerDes)、现场可编程门阵列 (FPGA) 和数字信号处理器 (DSP) 等数字负载。

2.4.2 LMG1020 低侧驱动器

LMG1020 器件是一款单通道低侧驱动器，专为驱动高速应用 (包括激光雷达、飞行时间、面部识别和任何涉及低侧驱动器的电源转换器) 中的 GaN FET 和逻辑电平 MOSFET 而设计。LMG1020 设计简约，可实现 2.5 纳秒的极快传播延迟和 1 纳秒的最小脉冲宽度。通过分别在栅极与 OUTH 和 OUTL 之间连接外部电阻器，可针对上拉和下拉沿来独立调节驱动强度。

该驱动器具有应对过载或故障情况的欠压锁定 (UVLO) 和过热保护 (OTP) 功能。

LMG1020 的 0.8mm \times 1.2mm WCSP 封装可更大限度地降低栅极回路电感并更大限度地提高高频应用的功率密度。

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

3.2 测试设置

TPS7A57EVM-081 参考设计包含三个并联的 TPS7A57 LDO，安装了输入、偏置、NR/SS 和输出电容器，并且安装了 PG 和 REF 电阻器。这些元件提供了一个实现示例，如 [图 3-1](#) 中的白色框所示。预先填充的电容器的大小经过调整，可确保在所有正常工作条件下保持最小电容要求。除了 EVM 上已安装的电容器之外，还提供了可选焊盘，用于使用额外的输入、偏置和输出电容器来测试 LDO。

TPS7A57EVM-081 针对 0.75V 的输出电压进行组装。对于其他电压选项，可以根据需要修改电阻器 R10。有关为 VOUT 的替代值选择 R10 的指南，请参阅 TPS7A57 数据表中的 [并联以实现更高输出电流和更低噪声](#) 部分。

可以使用 J12 SMA 连接器启用或禁用 TPS7A57 LDO：

- 将 SMA 连接器的中心引脚连接到大于 0.68V 且不大于 6.5V 的电压源可以启用器件
- 将 SMA 连接器的中心引脚连接到小于 0.62V 的电压源可以禁用器件

或者、通过将外部函数发生器连接到 TP1 (EN)和附近的 GND 接线柱(J17)、用户可以启用或禁用 TPS7A57 LDO。如果需要，用户可以安装可选的 3 引脚接头 J16、J10 和 J3 以启用并联 LDO。

如有需要，可以将电流探头插入 EVM 中（如 [图 3-1](#) 所示），以测量输入和输出电流。插槽的尺寸适合大多数电流探头，例如 LeCroy™ AP015 或 CP031 电流探头。可以使用电流探头直接测量两个 LDO（顶部和底部 LDO）的输入电流以及全部三个 LDO 的输出电流。要测量第三个（中间）LDO 的电流，请从全部三个 LDO 的输出电流中减去顶部和底部 LDO 电流：

$$I_{OUT2} = I_{LOAD} - I_{OUT1} - I_{OUT3} \quad (4)$$

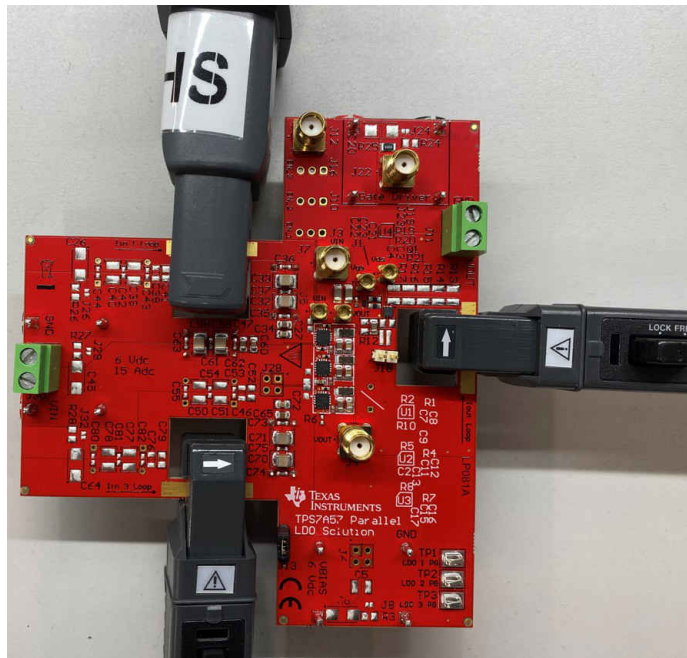


图 3-1. 连接了电流探头的 TPS7A57EVM-081

J11 可用于放置流经 LDO 输出端电流检测路径的直流负载。在执行非常快速的瞬态测试的情况下，由于 PCB 寄生电感，VIN 或 VOUT 上可能会出现振铃。在电流通路中裸露的铜上放置一条导线可以减少这种振铃。可根据需要使用 10 AWG 导线。如果振铃持续存在，则通过添加与 VIN 并联的串联电阻器和电容器来安装阻尼网络。可以安装阻尼的位置包括 C6 和 R3、C20 和 R24、C26 和 R26、C45 和 R27 以及 C64 和 R28。

WARNING

一些电流探头传感器可连接到 GND，不得接触带电导体。有关详细信息，请参阅电流探头的用户手册。如果您的电流探头有此限制，请使用一条薄电工胶带或 Kapton® 胶带将电流检测路径与电流探头相隔离。

使用 SMA 连接器 J7 (VIN) 和 J4 (VOUT) 以及 MMCX 连接器 J5 (VIN) 和 J1 (VOUT) 提供了可选的开尔文检测点。

3.2.1 可选负载瞬态电路工作原理

TPS7A57EVM-081 参考设计包含一个可选的高性能负载瞬态电路，用于高效测试并联 TPS7A57 LDO 的负载瞬态性能。要使用该可选的负载瞬态电路，请根据应用安装相应的元件。修改连接到并联 TPS7A57 LDO 的输入和输出电容，以匹配预期的工作条件。确定要测试的峰值电流，并修改 R13、R14、R15、R16 和 R17 的并联电阻器组合，如下所示：

$$I_{Peak} = \frac{V_{OUT}}{R_{13} || R_{14} || R_{15} || R_{16} || R_{17}} \quad (5)$$

可通过 C19、R18、R19 和 R20 调整负载阶跃的压摆率。在本节中，仅调整 R19 和 R20 来设置压摆率。对于 0mA 到 13.5A 到 0mA 负载阶跃，可使用表 3-1 来选择可实现所需上升或下降时间的 R19 和 R20 值。

表 3-1. 建议的斜坡速率电阻器阻值

R19	R20	上升/下降时间
20kΩ	32.4kΩ	16.9μs
15.8kΩ	25.5kΩ	13.5μs
10kΩ	16.2kΩ	8.45μs
4.99kΩ	8.45kΩ	4.25μs
1.5kΩ	2.61kΩ	1.35μs

在修改 EVM (如果需要) 之后，将电源连接到香蕉连接器 J21 (VDD) 和 J25 (GND)，直流电源电压限制为 5V，直流电流限制为 1A。如节 3.3.3 所示，并联 TPS7A57 参考设计瞬态响应非常快，输出电压在初始负载瞬态后少于 1ms 的时间内恢复。使用 1ms 的脉冲持续时间限制可防止脉冲电阻器 (R13、R14、R15、R16 和 R17) 过热。在 0V 直流至 5V 直流方波脉冲中为 50Ω 输出配置一个函数发生器。如有必要，可以在函数发生器中配置突发模式，以进行重复、低占空比、负载瞬态测试。

该 EVM 上的 R19 处安装了一个 20kΩ 电阻器，该 EVM 上的 R20 处安装了一个 20kΩ 电阻器。这些电阻器在从 0mA 到 13.5A 时提供大约 0.75A/μs 的压摆率，在从 13.5A 到 0mA 时提供大约 1.3A/μs 的压摆率。

3.3 测试结果

$V_{CP_EN} = GND$ ， $V_{IN} = 1.25V$ ， $V_{OUT} = 0.75V$ ， $R_B = 2.5m\Omega$ ， $C_{NR/SS} = 1\mu F$ ， $C_{OUTn} = 22\mu F // 2.2\mu F$ ， $C_{LOAD} = 22\mu F$ ， $V_{BIAS} = 5V$ (除非另有说明)

3.3.1 均流

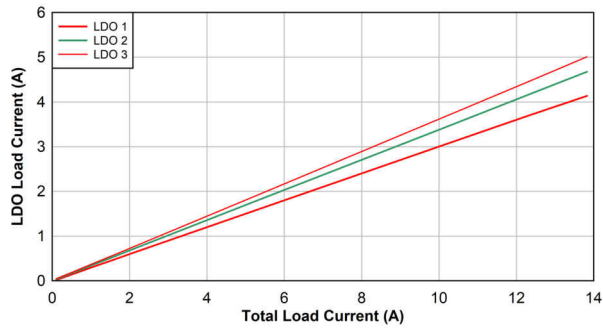


图 3-2. 单个 LDO 负载电流与总负载电流之间的关系

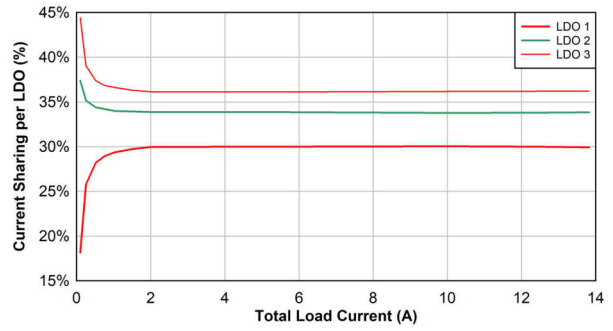


图 3-3. 单个 LDO 电流占总负载电流的百分比

3.3.2 V_{LOAD} 与 I_{LOAD} 之间的关系

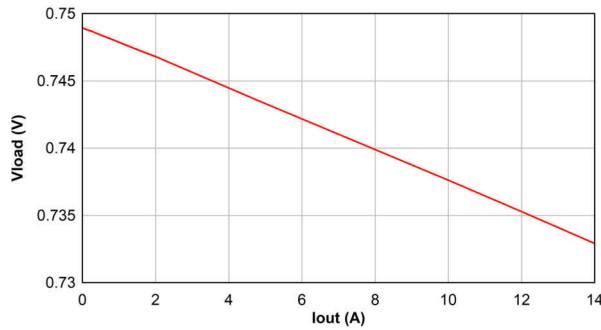
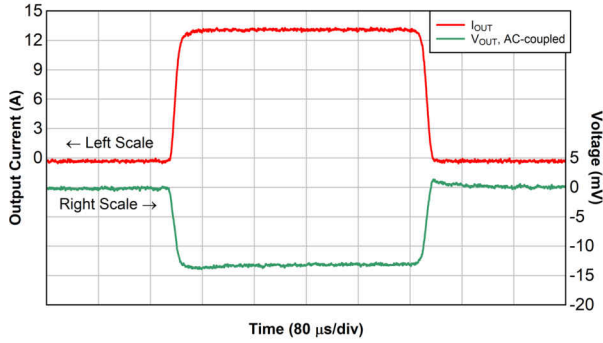


图 3-4. 负载电压与总负载电流之间的关系

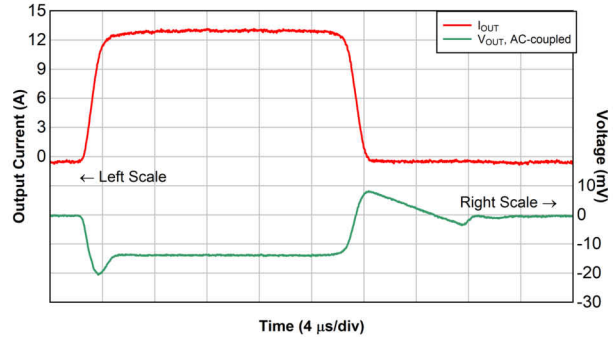
3.3.3 负载瞬态响应

所有负载瞬态测试数据都是从 0A 到 13.5A 再返回到 0A 负载进行捕获的 (除非另有说明)。



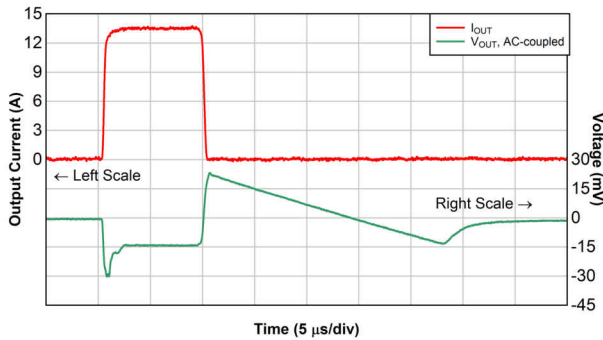
$V_{IN} = 1.3V$, $SR = 1A/\mu s$

图 3-5. 13.5A 负载瞬态, 1A/μs 压摆率



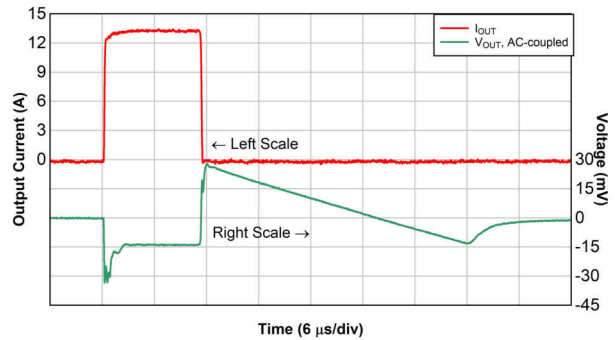
$V_{IN} = 1.3V$, $SR = 10A/\mu s$

图 3-6. 13.5A 负载瞬态, 10A/μs 压摆率



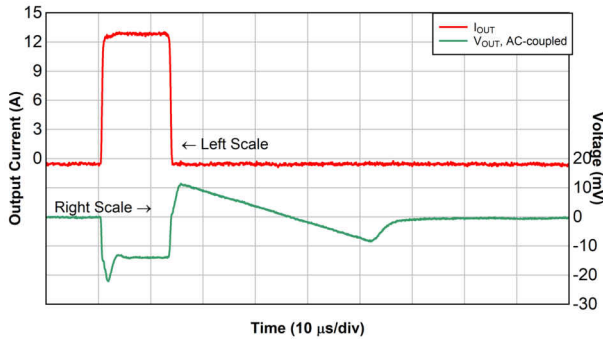
$V_{IN} = 1.3V$, $SR = 35A/\mu s$

图 3-7. 13.5A 负载瞬态, 35A/μs 压摆率



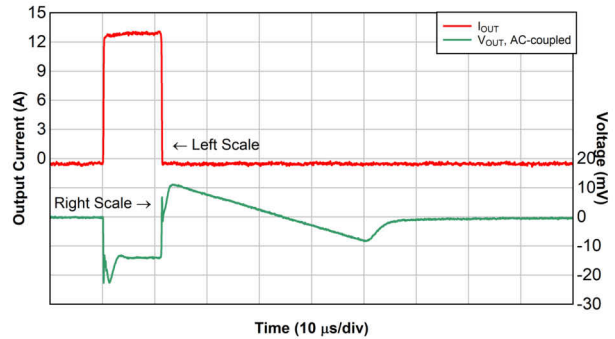
$V_{IN} = 1.3V$, $SR = 100A/\mu s$

图 3-8. 13.5A 负载瞬态, 100A/μs 压摆率



$C_{LOAD} = 100 \mu F // 100 \mu F$, $V_{IN} = 1.3V$, $SR = 35A/\mu s$

图 3-9. 13.5A 负载瞬态 (200 μF C_{LOAD}), 35A/μs 压摆率



$C_{LOAD} = 100 \mu F // 100 \mu F$, $V_{IN} = 1.3V$, $SR = 100A/\mu s$

图 3-10. 13.5A 负载瞬态 (200 μF C_{LOAD}), 100A/μs 压摆率

3.3.4 电流限值

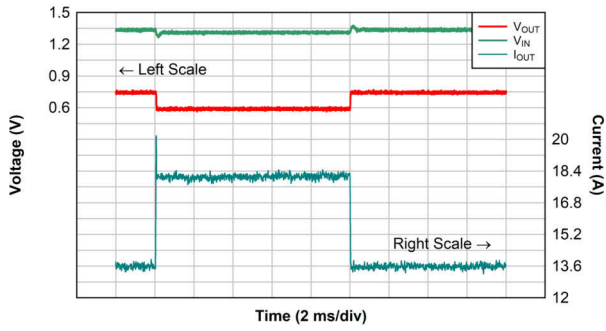


图 3-11. 电流限制，13.5A 至 23.5A 至 13.5A 阶跃

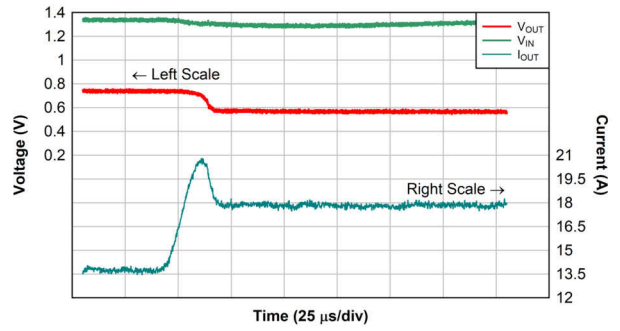
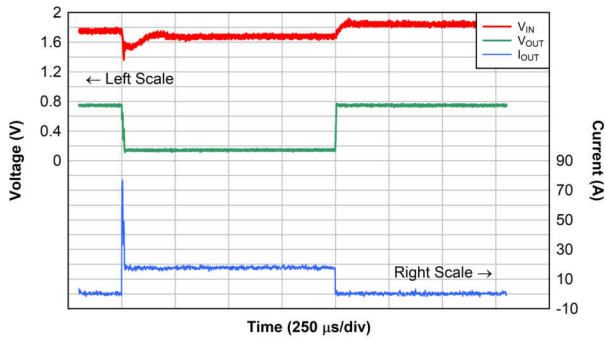
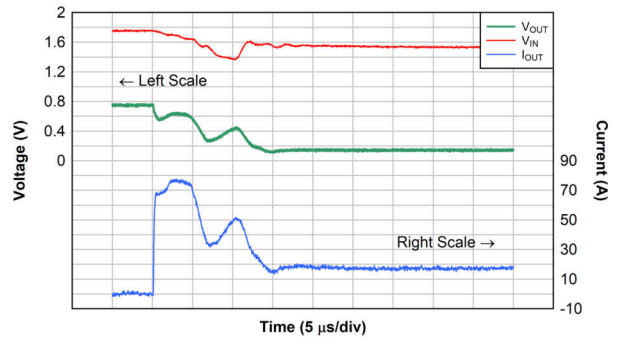


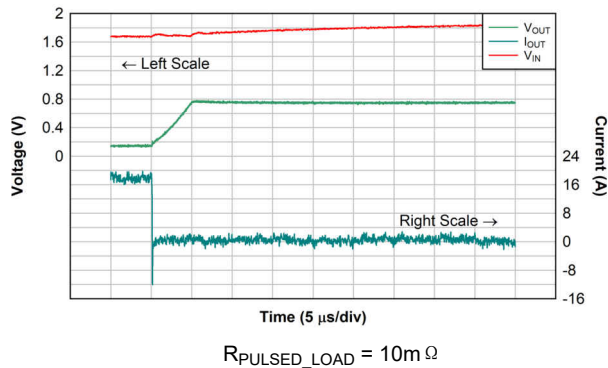
图 3-12. 放大的电流限制响应，13.5A 至 23.5A 阶跃



$R_{PULSED_LOAD} = 10m\Omega$
图 3-13. 短路电流限制

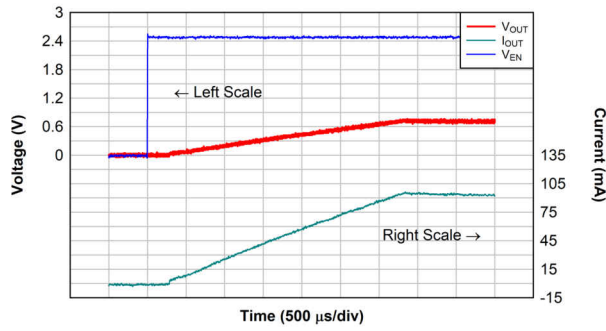


$R_{PULSED_LOAD} = 10m\Omega$
图 3-14. 放大的电流限制响应进入短路状态



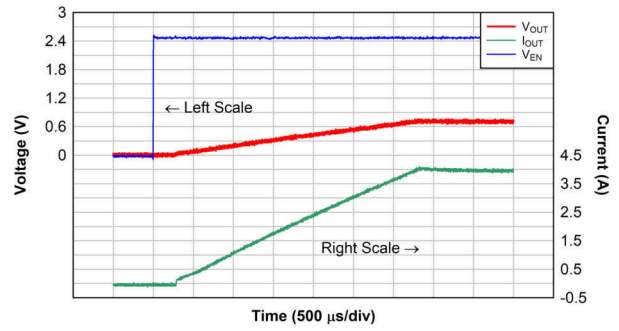
$R_{PULSED_LOAD} = 10m\Omega$
图 3-15. 放大的电流限制响应退出短路状态

3.3.5 启动



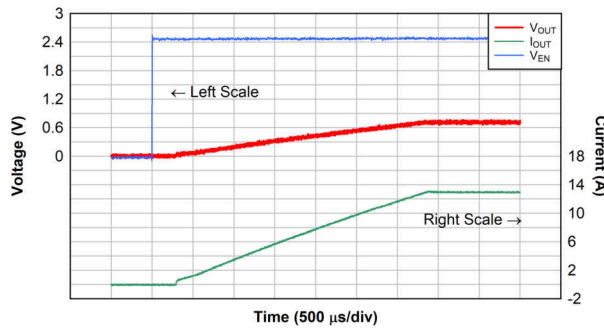
$V_{IN} = 1.3V$, $I_{OUT} = 100mA$

图 3-16. 启动至 100mA 负载



$V_{IN} = 1.3V$, $I_{OUT} = 4A$

图 3-17. 启动至 4A 负载



$V_{IN} = 1.3V$, $I_{OUT} = 13.5A$

图 3-18. 启动至 13.5A 负载

3.3.6 噪声

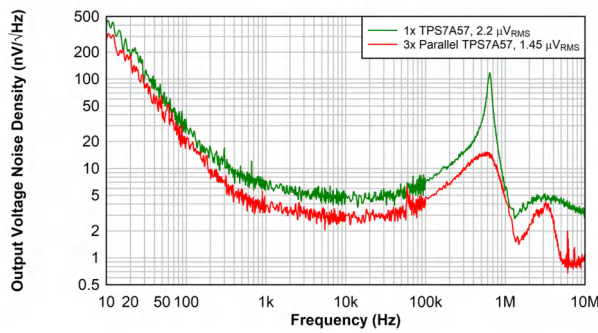


图 3-19. 输出电压噪声密度与频率之间的关系

3.3.7 PSRR

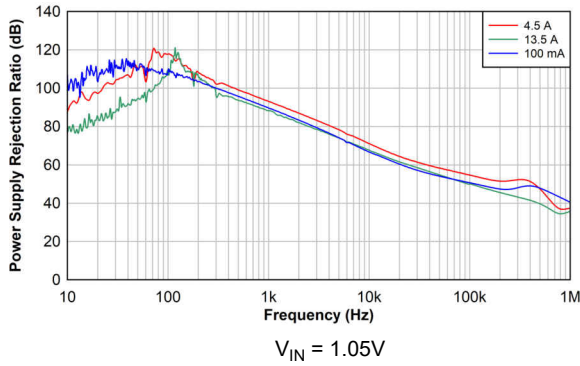


图 3-20. 3 个并联 LDO : PSRR 与频率和 I_{OUT} 之间的关系

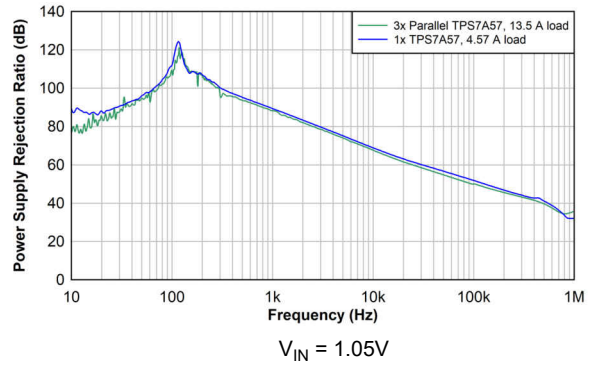
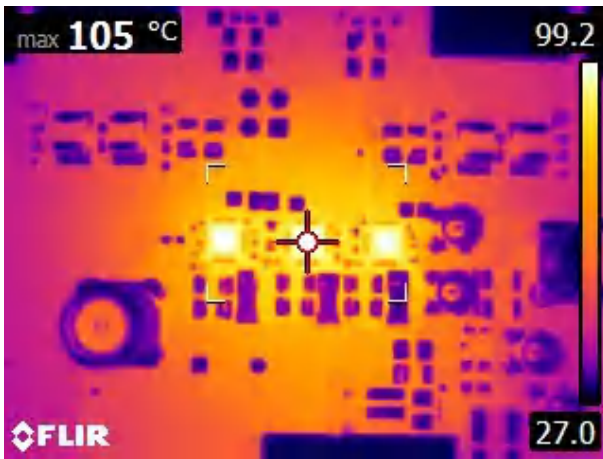


图 3-21. 3 个并联 TPS7A57 和 1 个单通道 TPS7A57 中 PSRR 与频率和 I_{OUT} 之间的关系

3.3.8 热性能



$I_{LOAD} = 13.5 A$

图 3-22. 并联 TPS7A57 LDO 的热像图 (施加负载 5 分钟)

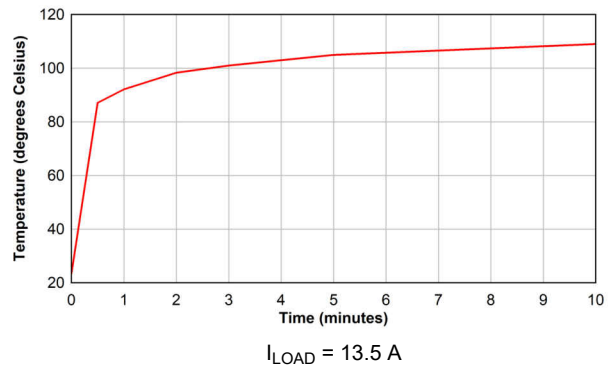
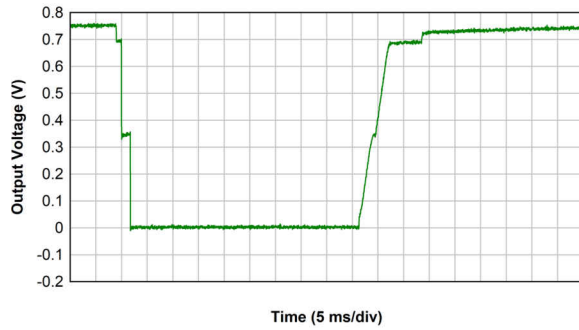


图 3-23. 随时间变化的最大热点测量

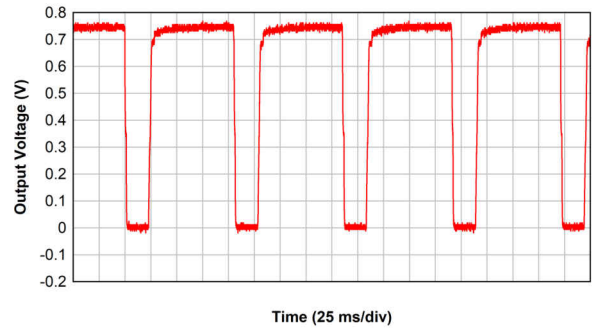
3.3.9 热限制保护

当每个 LDO 进入和退出热关断时，并联 LDO 的热保护性能在关闭和开启期间对 V_{LOAD} 表现出阶梯效应。热保护会反复启动，直到并联 LDO 的功率耗散消失。图 3-25 展示了 LDO 存在高功率耗散时热保护电路的预期效果。在该参考设计中，并联 LDO 需要 12.5W 耗散才能在室温下运行时进入热关断。



$V_{IN} = 1.9V$, $I_{LOAD} = 13.5A$

图 3-24. 放大的热关断响应



$V_{IN} = 2V$, $I_{LOAD} = 13.5A$

图 3-25. 保护 LDO 的热关断响应

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-050061](#) 的设计文件。

4.1.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-050061](#) 的设计文件。

4.2 工具

工具

使用 [镇流电阻器的并联 LDO 计算器](#) 轻松计算满足一组系统要求 (温度、 V_{IN} 、 V_{OUT} 、 I_{LOAD} 、负载调节和噪声) 所需的最少并联 LDO 数量。

4.3 文档支持

1. IPC-2221B 印制板设计通用标准。
2. 德州仪器 (TI)，[TPS7A57 5A、低 \$V_{IN}\$ \(0.7V\)、低噪声、高精度、超低压降 \(LDO\) 稳压器](#) 数据表。
3. 德州仪器 (TI)，[LMG1020 适用于 1ns 脉冲宽度应用的 5V、7A、5A 低侧 GaN 和 MOSFET 驱动器](#) 数据表。
4. 德州仪器 (TI)，[使用镇流电阻器的并联 LDO 的综合分析和通用公式](#) 白皮书。
5. 德州仪器 (TI)，[并联低压降 \(LDO\) 计算器](#)
6. 德州仪器 (TI)，[使用镇流电阻器的并联 LDO 架构设计](#) 白皮书
7. 德州仪器 (TI)，[使用新的热指标](#) 应用手册。

4.4 支持资源

[TI E2E™ 支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题可获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的《[使用条款](#)》。

4.5 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.
LeCroy™ is a trademark of Teledyne LeCroy.
Kapton® is a registered trademark of DuPont.
所有商标均为其各自所有者的财产。

5 作者简介

Stephen Ziel 于 2019 年加入德州仪器 (TI)，担任 LDO 产品线的高级应用工程师。此前，**Stephen** 是一家大型航天和国防公司的首席工程师，他从事 1mW 至 1.5kW 电力电子产品的各个方面的工作。**Stephen** 在电源系统要求开发和架构设计、电源设计以及领导大型电源工程师团队的工程管理方面拥有超过 15 年的经验。**Stephen** 在密歇根州立大学获得 BSEE 和 MSEE 学位。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

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

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司