

Application Note

MSPM0 VCORE 电压监控建议



Diego Abad Sajamin, Sila Atalar, Larz Lotzenburger

摘要

本应用手册针对 MSPM0 器件的 VCORE 和 VDD 引脚，提供了外部电压监控的设计建议。本应用手册讨论了 MSPM0 器件 VCORE 的相关背景，以及 VCORE 电压监控的各类实现方式。

内容

1 MSPM0 的功能安全电压监控要求简介.....	2
2 功能安全外部电压监控建议.....	3
2.1 MSPM0 VCORE 和 VDD 的建议要求.....	3
2.2 电压监控方案.....	4
3 总结.....	8
4 参考资料.....	9

插图清单

图 1-1. MSPM0Gxx PMU 方框图.....	2
图 2-1. 用于 VDD 和 VCORE 监控的双通道电压监控器.....	4
图 2-2. 分立式 VCORE 监控.....	6

表格清单

表 1-1. MSPM0 安全手册.....	2
表 2-1. VCORE 电压要求表.....	3
表 2-2. TPS388R02M01RTERQ1 器件设置.....	4
表 2-3. 含误差的电阻与 VREF 电压.....	7
表 2-4. 含误差的 OV 和 UV 限值.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 MSPM0 的功能安全电压监控要求简介

V_{CORE} 信号对应 MSPM0 PMU 内的内核稳压器/内部 LDO 的输出电压。可以对其进行监控以验证 MSPM0 内核电压是否保持在正确的工作限值范围内，从而确保器件功能正常。此外，任何 V_{CORE} 监控块均被视为 MCU 外部模块；因此，外部电路的 FIT 率需从相应的 FMEDA 文档（如有）获取。

PMU 模块有一组内部阈值，可确保器件电源处于各 MSPM0 数据表中规定的预期工作条件内。借助这组阈值可配置多路独立的电压电平监控器，使器件满足正常工作的电源要求。可使用不同的阈值将器件配置为在触发时执行特定的操作。有关更多信息，请参阅本应用所使用 MSPM0 技术参考手册的 PMU 部分（例如 MSPM0G 系列中的 PMU 部分）。

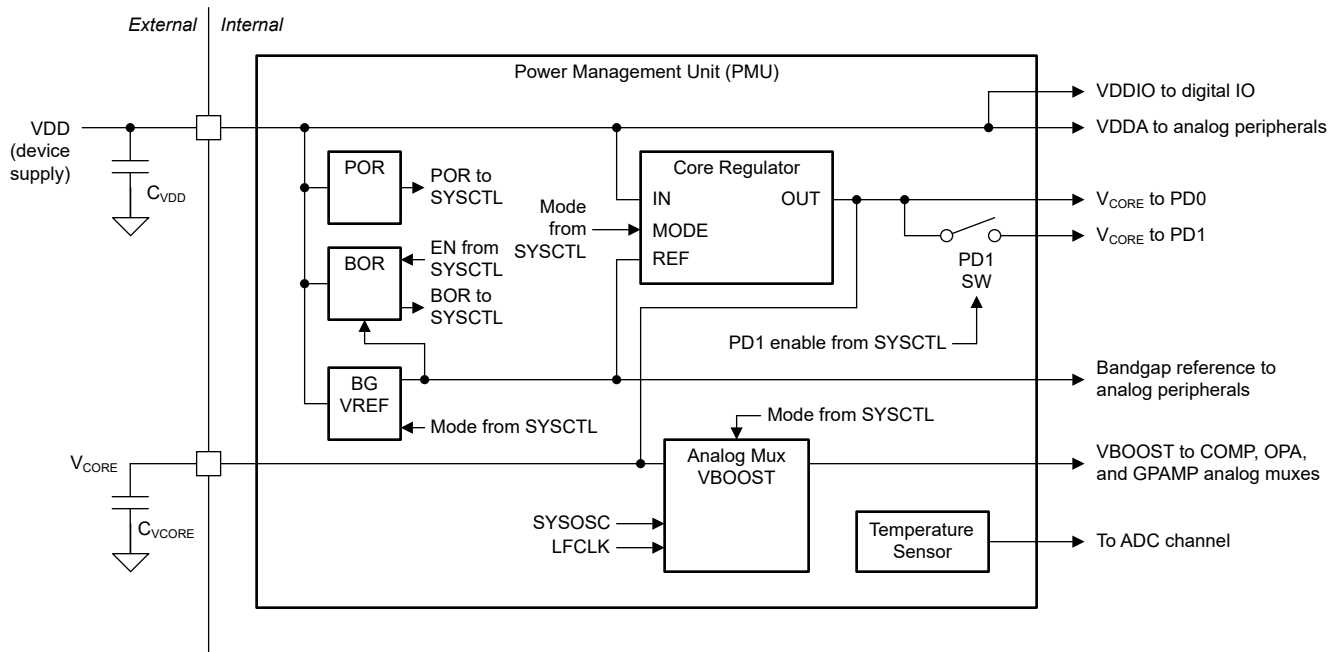


图 1-1. MSPM0Gxx PMU 方框图

下表列出目前带有 V_{CORE} 引脚并已取得/即将取得 FuSa 兼容认证的 MSPM0 器件：

1. MSPM0LX22X
2. MSPM0GX51X 和 MSPM0G32XX
3. MSPM0G150X 和 MSPM0G3X0X
4. MSPM0L2116/7 和 MSPM0L1126/7

MSPM0 器件的 PMU 不具备 VDD 过压监控功能。VDD 监控属于需在系统层面落实的要求，即该安全机制需要在器件外部实现。如需了解 MSPM0 实现功能安全合规所需的具体测试用例及设计考量，请参阅对应型号 MSPM0 器件的功能安全手册（见下表）。尽管如此，本应用手册仍给出一套专门用于 VDD 监控的推荐实现方案。

表 1-1. MSPM0 安全手册

器件	功能安全手册
MSPM0G3X0X	MSPM0G3x0x-Q1 功能安全手册
MSPM0GX51X	MSPM0Gx51x 功能安全手册
MSPM0LX22X	MSPM0Lx22x-Q1 功能安全手册

2 功能安全外部电压监控建议

2.1 MSPM0 VCORE 和 VDD 的建议要求

如 MSPM0 器件 VCORE 监控相关安全机制部分所述 (本节所用具体参数以 MSPM0G3X0X 和 MSPM0GX51X 器件为参考) , VCORE 引脚必须满足以下标准 :

- 必须持续监控引脚上的电压 , 以便系统可以同时检测到欠压 (UV) 和过压 (OV) 情况。通用考虑因素如下 :
 - 在 RUN 或 SLEEP 模式下运行时 (包括器件保持复位状态时) , VCORE 引脚最大可输出 100 μ A。在 STOP 和 STANDBY 模式下 , VCORE 引脚最大可输出 20 μ A。在关断模式下 , 器件处于非活动状态 , 因此无法输出电流。
 - VCORE 引脚在任何模式下或在 MCU 运行期间的任何时候均不能灌入任何电流。

以下 VCORE 值可用作参考 :

表 2-1. VCORE 电压要求表

VCORE 建议限值	最小值	典型值	最大值	单元	建议限值背景
VCORE LDO 输出有效限值	1.3	1.35	1.39	V	只要 VCORE 电压处于该限值区间内 , 就不会触发 OV 或 UV 情况。
VCORE 绝对限值	1.27		1.42	V	严禁超出这些限值 ; 否则 , 器件将超出规格。
UV Threshold	1.27	1.285	1.3	V	允许 $\pm 1.17\%$ 的裕度
OV Threshold	1.39	1.405	1.42	V	允许 $\pm 1.07\%$ 的裕度

备注

VCORE 引脚实际上用于连接电容器 , 该电容器是 VCORE LDO 电路的一部分 , 用于稳定提供给内部电路的 VCORE 电压。

出于系统设计目的 , MSPM0 有关 VDD 过压的通用指南是电源电压不应超过建议的 VDD 最大值 (本例中为 3.6V) 。此外 , 系统故障检测和反应的 FTTI 规范必须由设计人员根据实际应用进行定义。

故障发生时要采取的处理措施取决于应用要求。如对应器件安全手册所述 , 发生故障时可执行的处理措施包括将错误传达给主机 CPU 并允许系统采取适当的操作或对 MSPM0 器件执行复位 , 以进入 “安全状态” (本文档语境下 , 安全状态指将器件置为近似复位的状态 , 引脚及部分器件行为被设定为确定的已知状态) 。

由于 VCORE 中的故障会影响 MSPM0 器件中的复位条件 , 因此 , 若要判定器件真正处于 “复位” 状态 , 仅可将上电复位 (POR) 视为 MSPM0 必须完成的默认复位等级。此外 , 器件被视为 “断电” 的电压电平必须达到或低于 0.9V (POR 器件阈值) , 并且该电压电平的持续时间不得短于 100 μ s。此外 , VCORE 故障会引发部分潜在失效模式 , 具体如下 :

- 未知状态引脚
- NRST 机制丢失
- SRAM 内容丢失
- 正在进行的闪存编程/擦除操作未完成

假设 NRST 仍然有效 (即当前不存在 VCORE 故障) , 在器件施加规定 VDD 电压且器件保持复位状态时 , 可参考下述台架测试得到的功耗电流值 :

- 在 VDD < 0.9V 时小于 20 μ A
- 在 VDD < 1.3V 时小于 30 μ A
- 在 VDD < 1.6V 时小于 700 μ A

备注

上述电流基于 MSPM0G3519 运行空工程时测得。电流值可能因应用项目不同存在差异。

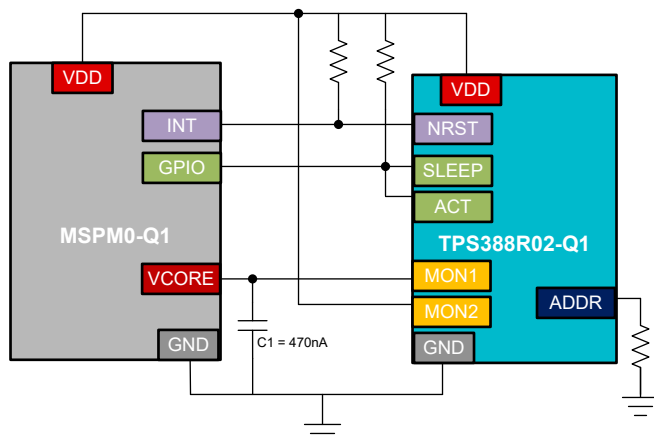
2.2 电压监控方案

2.2.1 电压监控器 — 多通道

电压监控器是一种用于监测或“监控”系统内部电压轨的器件。当受监控的电压轨（在本例中为 VDD 和 VCore 电压轨）降至低于或上升到高于预定的阈值电压时，监控器将置为有效的信号，以启用、禁用或复位另一个器件。

下图展示采用 **TPS388RX-Q1** 对 MSPM0 器件 VCore 引脚进行监控的系统。

图 2-1. 用于 VDD 和 VCore 监控的双通道电压监控器



TPS388RX-Q1 是一款 2 至 8 通道窗口监控器 IC。这款高精度多通道电压监控器非常适合采用低压电源轨供电且电源容差裕量较小的系统。

如需监控 MSPM0 VDD 和 VCore 电源轨，可直接联系 TI 申请双通道型号 **TPS388R02M01RTERQ1**（预发布）的器件样片。请注意，此器件尚未上市。

表 2-2. TPS388R02M01RTERQ1 器件设置

器件	MON1	MON2	MON3	MON4	MON5	MON6	MON7	MON8
TPS388R02M01RTERQ1 (预发布)	UVHF : 1.285V	UVHF : 不适用	不适用	不适用	不适用	不适用	不适用	不适用
	OVHF : 1.405	OVHF : 3.58V						

主要优势

- **无需外部电阻器**：TPS388R02M01RTERQ1 在内部设置过压和欠压复位阈值，无需外部电阻器。这优化了整体精度、降低了成本和布板空间，并提高了安全关键型系统的可靠性，使其完全能够满足 **MSPM0 VCore** 和 **VDD** 的建议要求。
- **业内领先的阈值和迟滞精度**：**TPS388RX-Q1** 可在 -40°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 全工作温度范围内提供 $\pm 7.5\text{mV}$ 的阈值精度。TPS388RX-Q1 可对低压电源轨实施严格的裕度监控。对于 MSPM0 这类电压容差范围较小的 MCU 而言，该性能至关重要。
- **MONx 通道的低电流消耗**：每个 MON 通道提供不同的调节选项；为了满足 VCore 电源轨灌电流要求，MON2 配置为 $\times 1$ 倍率。
- **集成毛刺抑制和噪声滤波功能**：内部毛刺抑制功能和噪声滤波器消除了对外部 RC 元件的需求，从而减少由电源瞬变引起的错误复位。支持每通道独立防抖滤波，并针对 TPS388R02M01RTERQ1 预配置为 **51.2 μs** 。

请参阅下面 VDD 和 VCore 监控的最坏工况分析：

VCore 绝对最大限值	TPS388R02M01RTERQ1 的 MON2 阈值设置	最坏工况分析
欠压 (UV) 限值 = 1.27V	UV 阈值 (UV_HF) = 1.285V	UV_HF_Min = 1.285V - 7.5mV = 1.278V

VCORE 绝对最大限值	TPS388R02M01RTERQ1 的 MON2 阈值设置	最坏工况分析
过压 (OV) 限值 = 1.42	OV 阈值 (OV_HF) = 1.405V	OV_HF_Max= 1.405V + 7.5mV = 1.413V

对于 ASIL-B 级要求，还建议将 **TPS388C0-Q1** 作为一种互补解决方案，它是一种集成窗口监控器复位 IC 和窗口看门狗的多通道器件。[TPS388RX-Q1](#) 和 [TPS388C0-Q1](#) 具有相同的封装并随附全面的[功能安全合规性文档](#)，可帮助设计人员确定适合其系统的理想实现方案。

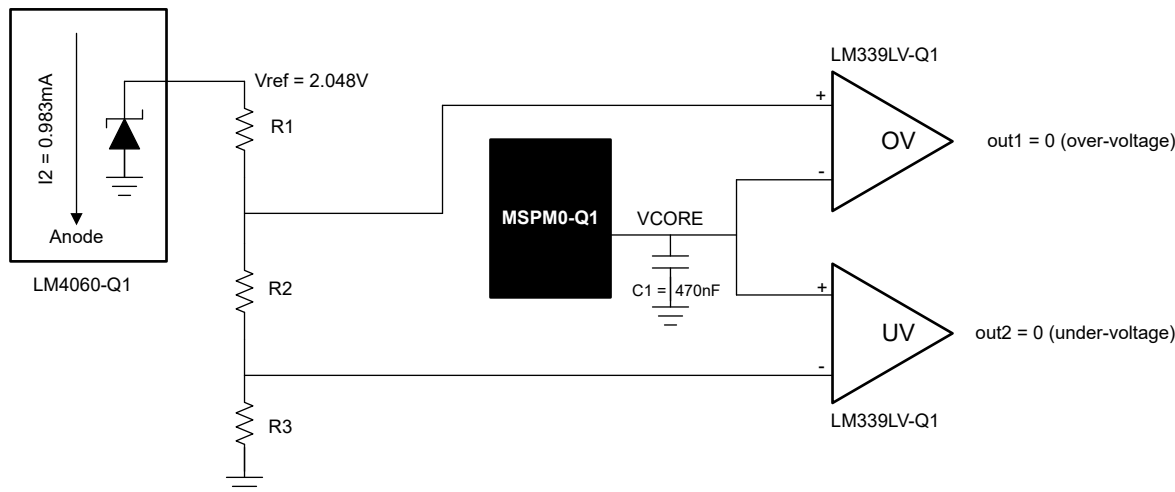
器件	安全文档
TPS388RX-Q1	立即申请
TPS388C0-Q1	立即申请

2.2.2 分立式方案

分立式方案常被选用，用于实现简洁且具备成本优势的电压监控。

下图所示系统采用电阻分压器网络、比较器以及精密并联型电压基准，检测 MSPM0 V_{CORE} 引脚上的过压和欠压情况。

图 2-2. 分立式 V_{CORE} 监控



备注

根据系统要求，每个比较器的输出可能需要一个上拉电阻器。

本设计使用精密电压基准生成大约 2V 的基准电压，然后将其应用于电阻阶梯网络。电阻阶梯网络由一系列电阻器组成，其分压比值决定了比较器的电压输入。比较器配置为窗口比较器，以检测系统中的过压和欠压情况。

所选器件需符合 **MSPM0 V_{CORE}** 和 **VDD 建议要求** 中规定的 MSPM0 要求。

推荐选用 **LM4060-Q1** 精密并联电压基准，其精度可达 $\pm 0.05\%$ (A 级)，检测时间小于 1 μ s。LM4060-Q1 会持续消耗输入电流，因此假定 MSPM0 不会进入低功耗模式。请注意，若要适配所选 MSPM0 的低功耗模式，可能需要增设额外灌电流处理电路。

采用串联电阻实现的阈值生成电路，可简便地为两路比较器配置电压阈值。串联电阻器设定的阈值计算公式如下：

$$OV\ Threshold = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \times VREF \quad (1)$$

$$UV\ Threshold = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \times VREF \quad (2)$$

推荐选用 **LM339LV-Q1** 比较器；该器件在全系统工作范围内具备低输入失调电压与低输入偏置电流，不会超出共模电压 V_{CM} 范围，且输入偏置电流低于 V_{CORE} 引脚的推荐限值。

用户可以计算最坏工况场景来评估系统的可靠性。以下是此类评估的示例，评估过程同时采用最坏工况极限误差法与 RMS 误差合成法。需要考虑/列出的组件误差如下：

1. 假设系统使用具有如下所示特性的电阻器。在确定该组件的总误差时，可以考虑以下因素：

- 电阻初始偏差
- 电阻温度系数，单位 ppm/°C

$$Resistor\ Temp\ Error\ \% = \frac{Temp\ Coefficient\ of\ Resistance}{1000000} \times Temp\ variation \times 100\% \quad (3)$$

- 电阻器老化误差

总电阻器误差 (使用百分比值) 可以通过 RMS 合成法来计算 :

电阻器总误差

$$Total\ Resistor\ Error = \sqrt{Initial\ Resistor\ variation^2 + Resistor\ Temp\ error^2 + Resistor\ Aging\ error^2} \quad (4)$$

2. 在使用并联电压基准规格时, 可以考虑以下因素来确定该组件中的总误差 :

- VREF 反向击穿电压精度
- 输出电压温度系数, 单位为 ppm/°C (除以 100 万值即可消去 ppm 单位)。假设温度变化约为 100°C , 并使用以下公式计算 VREF 温度误差 :

$$VREF\ Temp\ Error = \frac{Output\ voltage\ temp\ coefficient}{1000000} \times Temp\ variation \times 100\% \quad (5)$$

- 长期稳定性系数 (以 ppm 为单位) , 并使用以下公式计算 VREF 长期可靠性误差 :

$$VREF\ Longterm\ stability\ Error = \frac{Longterm\ stability\ coefficient}{1000000} \times 100\% \quad (6)$$

VREF 总误差 (使用百分比值) 通过 RMS 误差合成得到 :

$$Total\ VREF\ Error = \sqrt{VREF\ Reverse\ breakdown\ volt\ error^2 + VREF\ Temp\ Error^2 + VREF\ Longterm\ stability\ Error^2} \quad (7)$$

3. 在使用比较器规格时, 可以考虑以下因素来确定该组件中的总误差 :

- 输入失调电压, 单位 V。以下公式可用于计算比较器输入失调电压误差 :

$$Comparator\ Input\ Offset\ Error = \frac{Input\ Offset\ voltage}{UV\ Threshold_{typ}} \times 100\% \quad (8)$$

此处仅考虑失调电压, 因为这是比较器中的主要误差。

计算各分项误差后, 确定 R₁、R₂ 和 R₃ (电阻阶梯网络) 以及 VREF 输出的偏差变化量。假设所有电阻器的内部误差均为 1%, 温漂为 25ppm/°C, 老化误差为 0.15%, 下表展示了影响 VCORE 电阻阶梯阈值的每个组件的结果值。

表 2-3. 含误差的电阻与 VREF 电压

元件	范围	值	组件误差 (%)
R ₁ (Ω)	最小值	62145.854	1.042
	典型值	62800	
	最大值	63454.146	
R ₂ (Ω)	最小值	11578.129	1.042
	典型值	11700	
	最大值	11821.871	
R ₃ (Ω)	最小值	124192.750	1.042
	典型值	125500	
	最大值	126807.250	
VREF 输出电压 (V)	最小值	2.044	0.206
	典型值	2.048	
	最大值	2.052	

得到各个分立器件的偏差量后, 可依据下述公式确定过电压和欠电压值以及二者相对典型期望值的偏差 :

$$OV \text{ Real Threshold}_{(min, typ, max)} = \frac{R2_{(min, typ, max)} + R3_{(min, typ, max)}}{R1_{(max, typ, min)} + R2_{(min, typ, max)} + R3_{(min, typ, max)}} \times VREF_{(min, typ, max)} \quad (9)$$

$$UV \text{ Real Threshold}_{(min, typ, max)} = \frac{R3_{(min, typ, max)}}{R1_{(max, typ, min)} + R2_{(max, typ, min)} + R3_{(min, typ, max)}} \times VREF_{(min, typ, max)} \quad (10)$$

表 2-4. 含误差的 OV 和 UV 限值

限制	范围	最小值	误差 (%)
OV	最小值	1.39282	-0.87
	典型值	1.40493	-0.01
	最大值	1.41700	0.85
UV	最小值	1.27249	-0.97
	典型值	1.28512	0.01
	最大值	1.29774	0.99

备注

在 R₁ 或 R₃ 上选用 0.1% 容差电阻器，可大幅降低最坏工况误差

最后，取上述计算得到 OV 和 UV 阈值中的最大绝对误差，叠加比较器总误差，得到最坏工况误差。

$$Worst \ case \ error = (Max(|OVERE_{min}|, |OVERE_{max}|, |UVERE_{min}|, |UVERE_{max}|) + Total \ Comparator \ Error) \times 100\% \quad (11)$$

假设系统使用之前确定的值，最坏工况误差约为 **±1.213%**。

3 总结

本应用手册提供了评估如何监控 MSPM0 中的任一信号所需的 V_{CORE} 和 V_{DD} 相关建议与规格参数，同时还提供了实现此类监控的两种方案。

4 参考资料

- 德州仪器 (TI), [MSPM0 G 系列 80MHz 微控制器](#), 技术参考手册。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0 L 系列 80MHz 微控制器](#) 技术参考手册。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0G3507](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0G1507](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0G3519](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0L2228](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0L2117](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0G3218-Q1](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0G3519](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [TPS388RX-Q1](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [TPS388CX-Q1](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [LM4060-Q1](#) 产品页。
- 德州仪器 (TI), [LM339LV-Q1](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0G3x0x-Q1 功能安全手册](#), 功能安全手册。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0Gx51x 功能安全手册](#), 功能安全手册。
- 德州仪器 (TI), [MSPM0Lx22x-Q1 功能安全手册](#), 功能安全手册。

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月