



Jingguo Wang

China DCP Team

摘要

D 类功放凭借其高效率与低功耗的特性，被广泛应用于便携式音箱、智能家居、TWS 耳机及平板电视等消费电子产品中。然而在实际应用中，由于软件配置不当或硬件电路参数设置不合理，OCP（过流保护）往往成为最为常见的故障类型之一。OCP 机制在正常工况下起着不可或缺的保护作用——当电路发生异常过流时，它能够有效保护功放芯片及扬声器免受损坏。然而，在某些特殊工况下，OCP 的误触发则会导致扬声器意外静音等问题，严重影响用户体验。此时，需要从软件与硬件两个维度系统性地排查 OCP 触发的根本原因，并针对性地加以优化。

本文聚焦于消费电子音频应用中常见的 D 类功放 OCP 问题，对典型触发场景进行深入分析，并提供相应的排查思路与解决方案，以供参考。

内容

|                         |   |
|-------------------------|---|
| 1 D 类功放过流保护原理介绍.....    | 2 |
| 2 常规 OC 问题分析以及解决方案..... | 3 |
| 2.1 软件配置.....           | 3 |
| 2.2 硬件配置.....           | 4 |
| 3 假 OC 问题分析以及解决方案.....  | 6 |
| 4 小结.....               | 7 |
| 5 参考文献.....             | 7 |

插图清单

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 图 1-1. D 类功放半桥输出级框图.....             | 2 |
| 图 2-1. TAS5815EVM 电感电流测试点.....       | 3 |
| 图 2-2. 正常情况下 SW 点电压波形.....           | 4 |
| 图 2-3. SW 节点 noise 导致电流过冲触发 OCP..... | 5 |
| 图 3-1. LM5145 Fake OC 触发原理示意图.....   | 6 |

## 1 D 类功放过流保护原理介绍

首先简单介绍下 D 类功放过流保护机理，在 D 类功放的半桥输出级中，MOSFET ( M1 ) 导通时其漏源极 (Vds) 之间等效为一个小电阻  $R_{ds(on)}$ ，流过的电感电流会在其两端产生压降。内部比较器持续监测该压降，一旦超过预设阈值，即判定发生过流并立即关断 M1/M2 的 PWM 驱动，从而保护器件。这个保护机制与常规的开关电源相似，整个方案无需外接采样电阻，直接复用 MOS 管自身作为传感元件，兼具低损耗与结构简洁的优点。同时，一般高侧管 M1 的采样借助 BST 自举电容提供悬浮参考电位得以实现，为避免 PWM 切换瞬间的电流尖峰造成误触发，电路还设有短暂的消隐时间窗口。

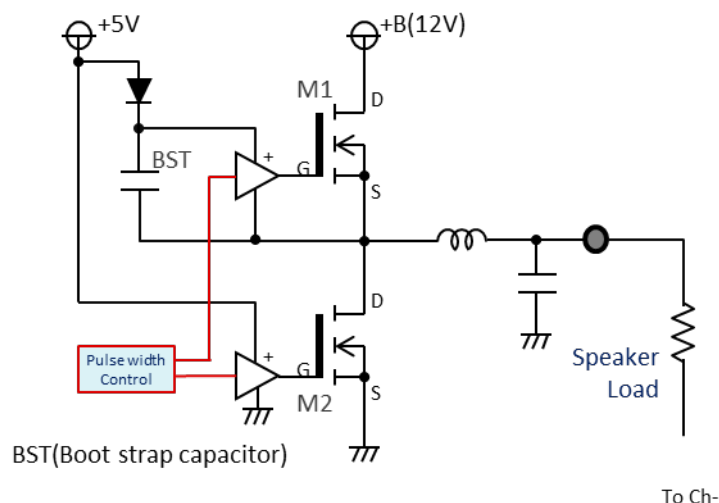


图 1-1. D 类功放半桥输出级框图

## 2 常规 OC 问题分析以及解决方案

在应用中遇到 OCP ( 过流保护 ) 问题时，首先应排查测试方法是否准确。功放的过流检测机制是通过检测半桥输出级 MOS 管中流过的电流来实现的，因此建议优先使用示波器电流探头，对 SW 引脚至电感之间路径上的电流进行测量。常见的测试方法是电感靠近芯片一端的引脚翘起，在此处进行电流测量。这是因为该测试点的电流波形最能真实反映芯片内部的实际电流状态，测量结果更加可靠。

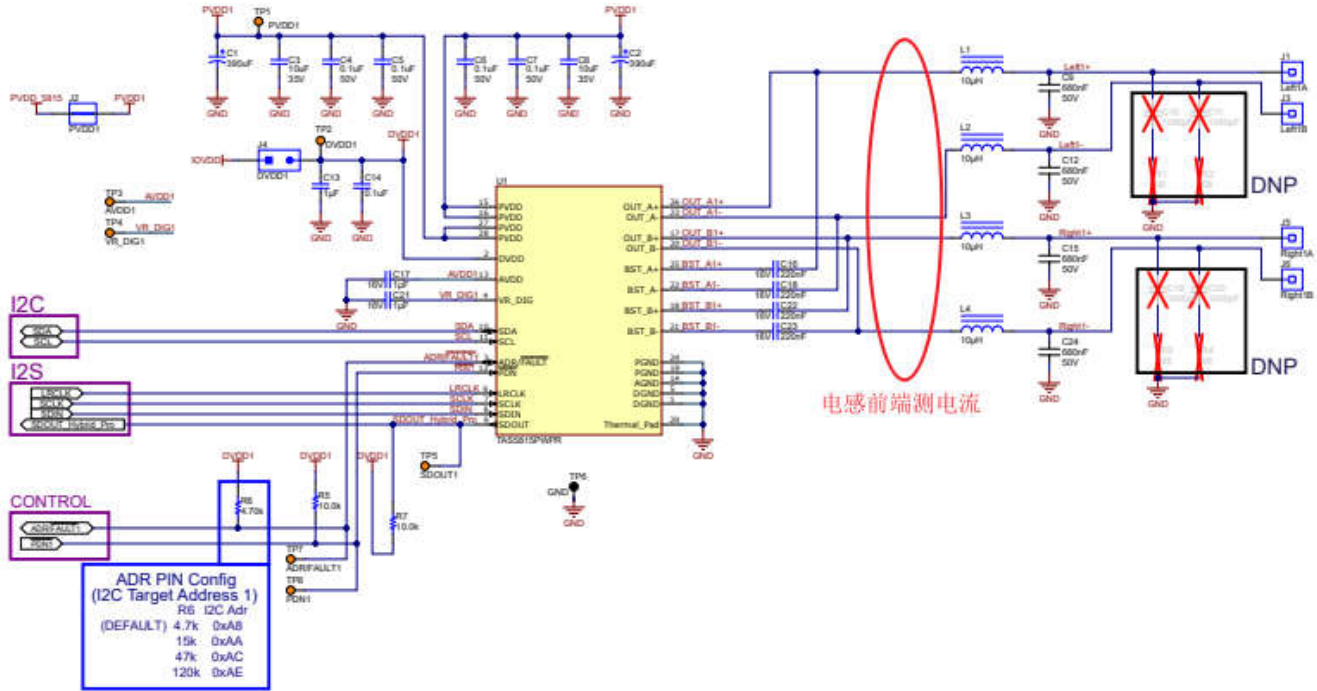


图 2-1. TAS5815EVM 电感电流测试点

对于 OCP 触发时刻的电流抓取，通常有两种方式：一种是以芯片 FAULT 引脚的信号作为示波器触发源；另一种是将示波器设置为 Roll ( 扫描 ) 模式，通过捕捉电流峰值来定位异常时刻。在完成上述正确的硬件测量后，若能确认 FAULT 的原因确实为 OCP 触发，且硬件现象与寄存器报错一致，则需进一步从软件配置和硬件设计两个维度排查电流过大的根本原因。

### 2.1 软件配置

在功放的软件配置方面，除必要的功能寄存器 ( 如 BTL/BPTL 模式、开关频率、调制方式等 ) 需正确配置外，还应在开发之初根据输出功率与 PVDD 电压，合理设置模拟增益和数字增益。这样既能保证中小信号的音量不受影响，又能限制大信号的输出幅度，从而避免削波失真，同时对扬声器起到保护作用。配置模拟和数字增益的核心逻辑是以硬件供电电压 ( PVDD ) 和额定输出功率为约束条件，反向推导出各级增益参数。首先通过分压原理算出扬声器能承受的最大峰值电压，再结合额定功率反推所需峰值电压，取两者最大值作为设计基准，进而计算出 Analog Gain ( 限制输出电压不超过 PVDD 防止削波 ) 和 Total Gain ( 对应额定功率点 )，最后两者相减得到 DRC/AGL 阈值，从而在保证系统发挥最大动态性能的同时，实现对扬声器的过压与过功率双重保护，以下以 12V 电源、4 Ω 喇叭、2 × 8W 输出为例，展示了数字和模拟增益的计算流程，Zdc 为电感直流阻抗，Rdson 为上管导通阻抗，这里假设 Rdspm = 0.18 Ω，Zdc = 0.023 Ω。

| No | 步骤        | 计算公式                                                                  | 结果       |
|----|-----------|-----------------------------------------------------------------------|----------|
| 1  | 扬声器最大峰值电压 | $PVDD \times R_{spk} \div (R_{spk} + 2 \times (R_{ds(on)} + Z_{dc}))$ | 10.89V   |
| 2  | 额定功率下峰值电压 | $\sqrt{2 \times P_{spk} \times R_{spk}}$                              | 8V       |
| 3  | 选取无削波峰值电压 | $MAX(V_{spk\_max}, V_{spk\_peak})$                                    | 10.89V   |
| 4  | 模拟增益      | $20 \times \log_{10} [MAX(V_{spk\_max}, V_{spk\_peak}) \div 29.5]$    | -9dB     |
| 5  | 总增益       | $20 \times \log_{10} (V_{spk\_peak} \div 29.5)$                       | -11.34dB |

| No | 步骤         | 计算公式                     | 结果     |
|----|------------|--------------------------|--------|
| 6  | AGL/DRC 增益 | $TotalGain - AnalogGain$ | -2.5dB |

## 2.2 硬件配置

硬件配置最重要的便是电感参数的选取，电感的饱和电流  $I_{SAT}$  必须大于系统中所有可能出现的峰值电流，否则电感饱和会导致电路失控甚至损坏器件。在音频功放的设计中要考虑以下三个瞬时电流较大的场景：

1. 上电时占空比从 0 快速增大到  $\theta$ ，LC 滤波器产生充电冲击电流：

$$I_{peak\_power\_up} \approx PVDD \times \sqrt{(C/L) \times \sin(1/\sqrt{(L \times C)} \times \theta / Fsw)} \quad (1)$$

2. 音频削波时峰值电流：

$$I_{peak\_clipping} \approx PVDD \times (1 - \theta) / (Fsw \times L) \quad (2)$$

3. 正常播放时，输出最大功率对应的电感峰值电流：

$$I_{peak\_output\_power} \approx \sqrt{(2 \times Max\_Output\_Power / R\_speaker\_load)} \quad (3)$$

电感饱和电流必须大于等于三种场景中的最大值，才能保证系统在任何工况下安全运行。

$$I_{SAT} \geq MAX(I_{peak\_power\_up}, I_{peak\_clipping}, I_{peak\_output\_power}) \quad (4)$$

在芯片手册一般都会有关于电感参数选型的详细要求，请严格按照手册进行选型或者联系 TI FAE 进行设计。

除了电感的参数选取不合理导致的异常 OCP 问题，SW 节点 noise 过大，也有可能导致电流异常，导致出现异常的 OCP，图 2-2 为正常情况下 SW 点电压波形，其中，CH1 为 fault 引脚波形，CH2 为 SW 点电压波形，CH4 为电感电流波形，可以看出在正常工作条件下，SW 脚的电压过冲很小，此时芯片内部检测到的电流更加接近真实的电感电流。

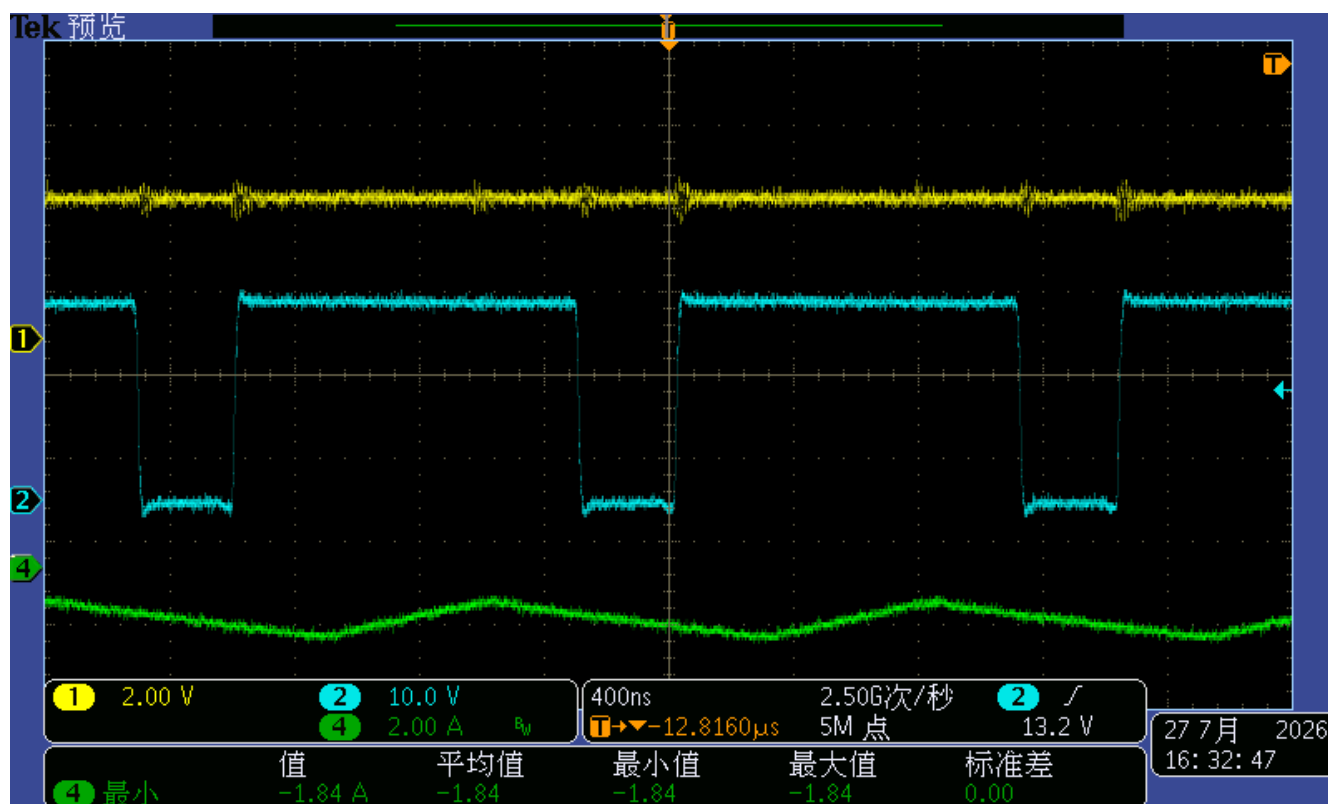


图 2-2. 正常情况下 SW 点电压波形

图 2-3 所示为 noise 过大情况下的 SW 点电压波形，其中 CH2/CH3 为左右通道 SW 点对地电压波形，可以看出 noise 过大导致电压上升周期存在较大的过冲，从而导致芯片内部检测的瞬时电流过大从而触发 OCP，fault 电平拉低，芯片报错；常见的硬件方案是可以在板端预留 RC 吸收网络，从而减小 SW 节点的电压过冲，优化 OCP 问题。除此之外，部分物料还会有寄存器可以调节 slew rate，也可以从软件层面进行优化。

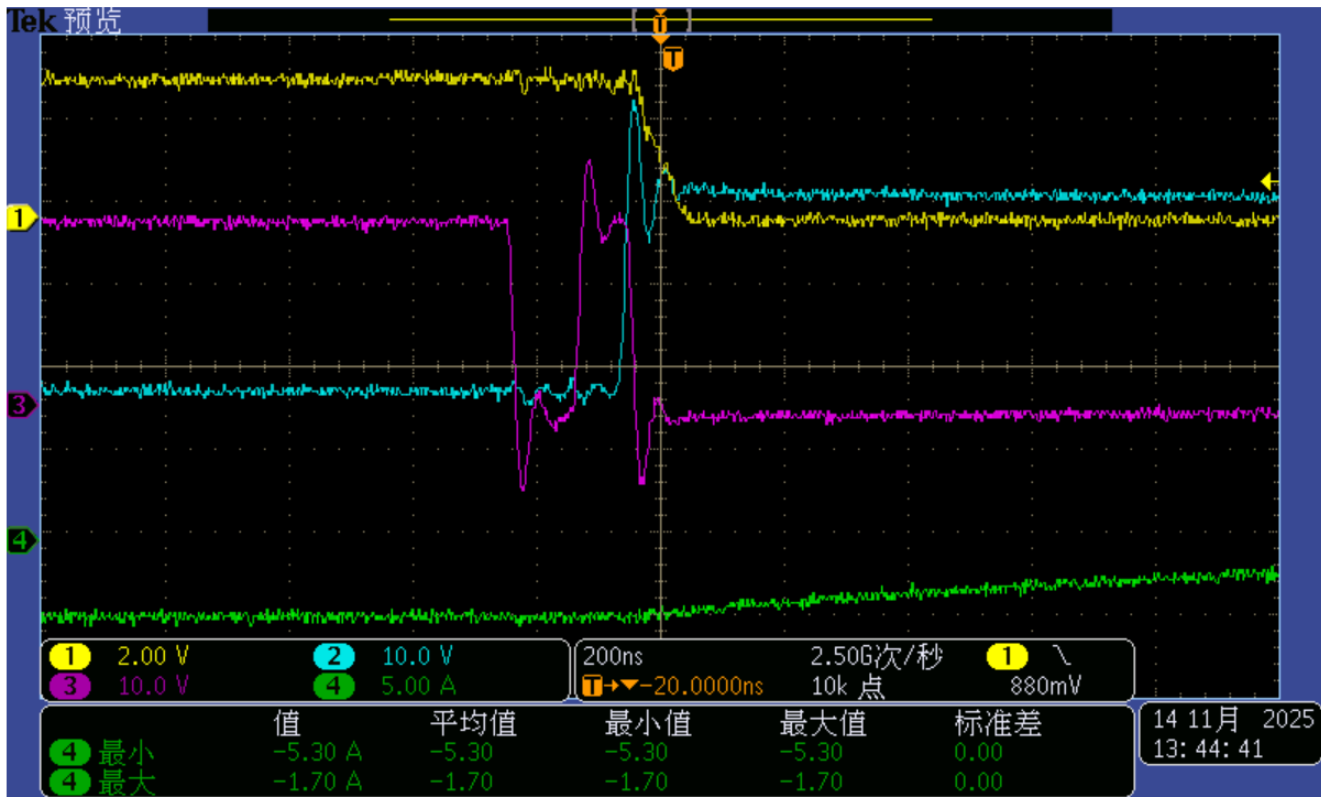


图 2-3. SW 节点 noise 导致电流过冲触发 OCP

### 3 假 OC 问题分析以及解决方案

除了常规的 OCP 问题外，还有一类常见的 OCP 类型便是 Fake OC，也就是假 OC，故名思意便是实际电感电流没有触发到过流阈值，但是由于该电流检测机制在某些特殊场景下导致检测结果异常偏大，从而触发内部 OC 保护。

Fake OC 触发的核心条件是低频高幅度信号输入且输出阻抗比较大的情况下，最极端的场景便是在输出开路时输入高幅值低频率信号，这时真实负载电流为 0，但是却会误触发系统过流保护。该误触发的根本原因在于 BST 自举电容充电不足，导致高侧管 M1 的栅极驱动电压 (BST - OUT) 异常下降，使 M1 无法完全导通， $R_{ds(on)}$  大幅升高。由于 OC 检测电路基于  $V_{sense} = I_{out} \times R_{ds(on)}$  进行电流采样， $R_{ds(on)}$  的异常升高使得采样电压虚高，最终超过 OC 阈值触发误保护。

如图 2-1 从 D 类功放内部架构和 MOS 开关波形展示了 OC 的基本原理，BST 电容需在 PWM 低电平期间（低侧管 M2 导通时）通过自举二极管充电。在大音频幅度条件下，PWM 占空比接近 100%，低电平时间极短，BST 电容充电时间严重不足；在低音频频率条件下，高占空比状态持续时间更长，BST 电容在长时间内得不到有效补充而持续放电，电压持续下跌；在高负载阻抗条件下，开关节点的 RC 时间常数增大，PWM 上升沿和下降沿变缓，进一步压缩了 BST 电容的有效充电窗口。三个因素相互叠加，共同造成 BST 电压的严重跌落。

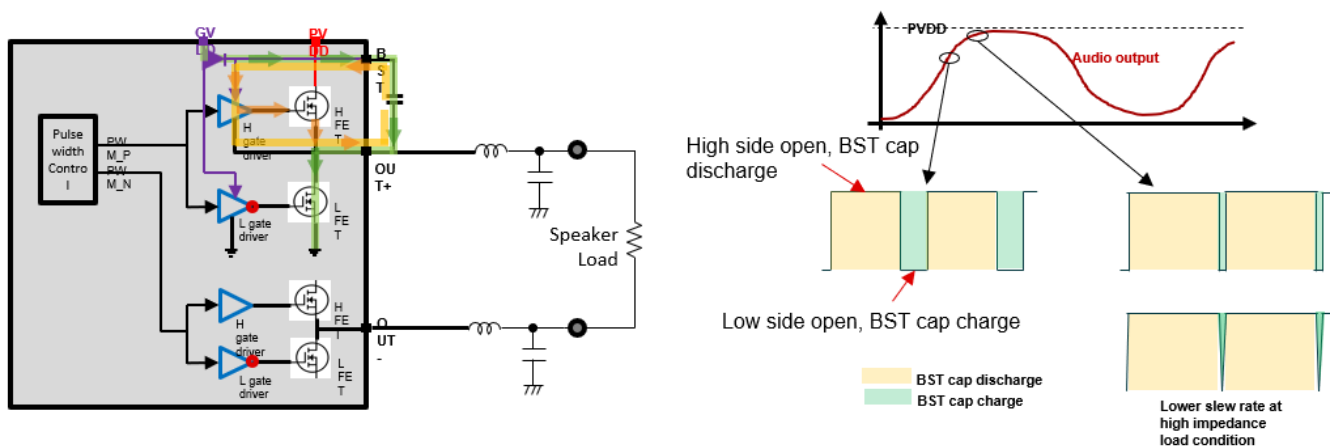


图 3-1. LM5145 Fake OC 触发原理示意图

对于这类 OC 问题的解决方案，最直接的便是增大 BST 电容容值，提升储能能力，从而延缓电压跌落。当然，基于这个原因，在芯片内部强制插入最小低电平时间以及对 BST 电压进行实时监测或者引入 OC 检测引入温度/电压补偿，根据 BST 实际电压动态调整 OC 阈值，都可以对这类假 OC 问题进行解决。

## 4 小结

OC 问题是音频功放在消费电子应用中常见的一类问题，一方面我们需要在设计方案时就要通过输出电压和功率的约束来配置合理的增益，另一方面，硬件层面也可以从电感选型，自举电容选型等方面进行排查，除此之外，关于 SW 脚的噪声，thermal 等也是在排查问题中不可忽视的一点，本文针对常见的 OC 现象进行了原理分析，并给出了相应解决方案，另外不同系列的功放，处理逻辑也略有不同，请严格按照手册进行设计，至少可以规避一半以上的 OC 问题。

## 5 参考文献

1. [TAS5815 30-W, Closed-loop Class-D Audio Amplifier with 96 kHz Enhanced Processing datasheet \(Rev. A\)](#)
2. [TAS5815 and TAS5802 Process Flows](#)
3. [TAS58xx 系列通用调优指南应用手册](#)
4. [TAS5815PWP 评估模块](#)

## 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