



Taiwo Arojoye

## 摘要

航天领域的电子系统要求在各种传感应用中实现高精度、可靠性和耐辐射性能。无论是监测电源轨的运行状况还是电机位置反馈，精心设计的模拟信号链都是每个可靠的卫星或航天器子系统的基础。下面是六种不同的信号链电路，涵盖航天应用中最常见的测量任务，每一种均基于耐辐射或抗辐射的德州仪器 (TI) 器件构建。

## 内容

1 简介.....	2
2 采用 ADS1278QML-SP 的多通道温度监测.....	2
3 采用 ADC128S102QML-SP 的高速辅助控制.....	3
4 具有 ADS1282-SP 的精密桥式传感器接口.....	4
5 采用 ADC168M102R-SEP 的光电二极管信号测量.....	5
6 采用 ADS1282-SP 的精密 RTD 测量.....	6
7 采用 ADC168M102R-SEP 的电机位置反馈测量.....	7
8 总结.....	8
9 参考资料.....	9

## 插图清单

图 2-1. 采用 ADS1278QML-SP 的温度检测设计.....	2
图 3-1. 采用 ADC128S102QML-SP 的遥测.....	3
图 4-1. 采用 ADS1282-SP 的电桥测量.....	4
图 5-1. 采用 ADC168M102R-SEP 的激光定位.....	5
图 6-1. 采用 ADS1282-SP 的 RTD 测量.....	6
图 7-1. 采用 ADC168M102R-SEP 的电机位置反馈.....	7

## 1 简介

卫星中存在众多系统，需要多种不同的信号链来完成各类测量任务。高精度温度监测对于确保卫星不会过热非常重要，但在光学成像载荷中尤其关键，因为机械结构的热膨胀可能导致光学性能下降。通用遥测用于通过电压、电流及温度测量来监测平台、卫星平台系统及载荷的运行状况。惠斯通电桥可用于测量机械臂中的应变仪或激光通信终端 (LCT) 的镜面位置反馈。在 LCT、干涉仪以及无线能量传输中，光电二极管测量对于激光定位至关重要。为了在 LCT、姿态和轨道控制系统以及机器人中实现精确运动控制，旋转变压器或编码器位置反馈测量至关重要。

## 2 采用 ADS1278QML-SP 的多通道温度监测

温度监测是航天器中最基本的辅助控制任务之一。该电路使用与 ADS1278QML-SP ( 八通道同步采样 24 位  $\Delta-\Sigma$  ADC ) 连接的精密热敏电阻或热电偶传感器，来实现多通道温度感应前端。LMP7704-SP 四通道运算放大器用作传感器和 ADC 之间的输入缓冲级，以确保源阻抗不会降低转换精度。所有八个通道上的同步采样可确保在同一时间点捕获模块或子系统温度梯度变化。

在该应用中，LMP7704-SP 是作为单位增益缓冲器的理想选择。超低输入偏置电流可消除因电流流经传感器源电阻而产生的测量误差，这在使用高阻抗热敏电阻进行测量时尤为重要。LMP7704-SP 的轨到轨输入/输出 (RRIO) 特性使输入信号能够接近电源两端，从而尽可能增大低电平温度信号的动态范围。

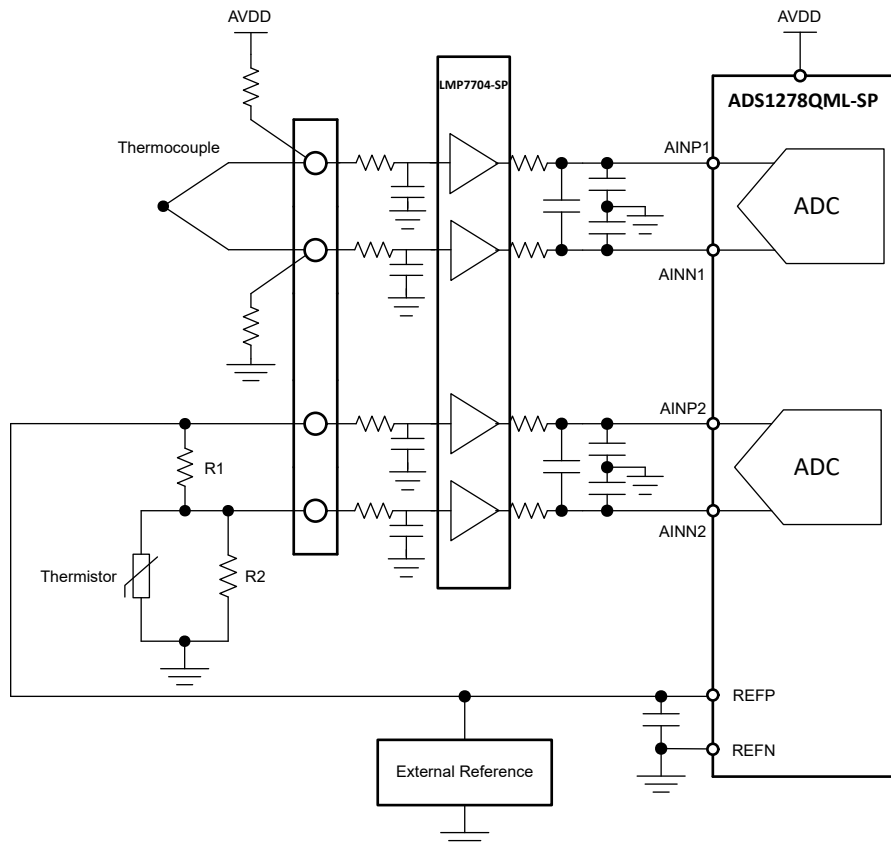


图 2-1. 采用 ADS1278QML-SP 的温度检测设计

### 3 采用 ADC128S102QML-SP 的高速辅助控制

卫星辅助控制电路持续监测板载电源系统的运行状况，并向中央数据处理系统报告电压、电流和温度。本设计使用 **ADC128S102QML-SP** 和 **LMP7704-SP** 实现了多参数遥测前端。**INA901-SP** 用作高侧电流和电压测量的模拟前端。温度测量通过额外通道进行，使用热敏电阻或二极管传感器，并由 **LMP7704-SP** 进行缓冲处理。

**ADC128S102QML-SP** 是一款 QML V 类耐辐射 12 位 SAR ADC，具有八个多路复用输入通道，最高采样速率为 1MSPS。100krad (Si) TID 等级和 120MeV·cm<sup>2</sup>/mg 的 SEL 抗扰度使其成为航天辅助控制应用中耐辐射性最强的转换器之一。

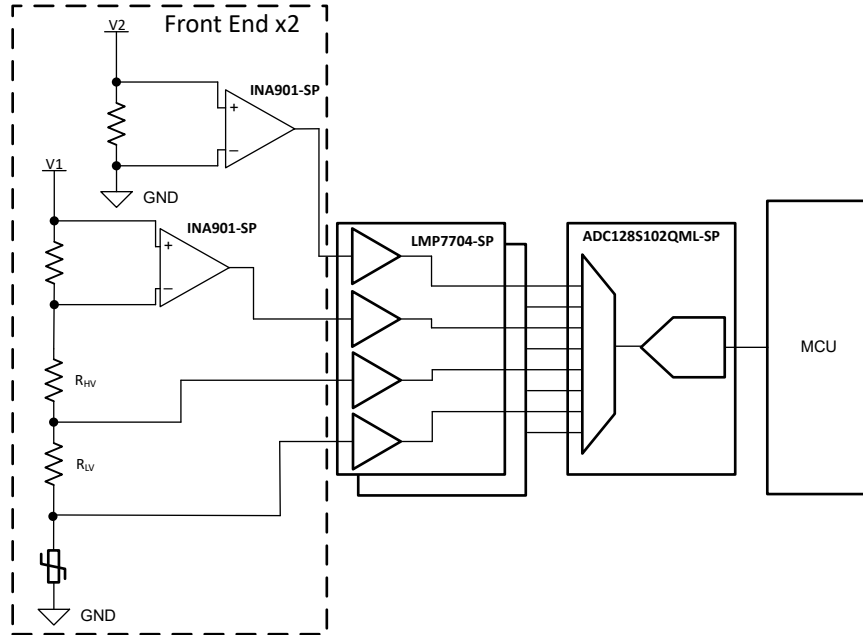


图 3-1. 采用 ADC128S102QML-SP 的遥测

## 4 具有 ADS1282-SP 的精密桥式传感器接口

惠斯通电桥传感器广泛应用于航天领域，用于测量应变、压力和力。电桥输出为差动低电平电压信号，其幅值与所施加的激励信号和激励电压成正比。本设计使用高分辨率 32 位  $\Delta$ - $\Sigma$  ADC ADS1282-SP，在经过 LMP7704-SP 放大和调节后将电桥输出数字化。

电桥传感器的输出通常为毫伏级，因此需要使用精密放大器，以避免降低测量精度。LMP7704-SP 具有  $\pm 60 \mu\text{V}$  的最大失调电压和低  $1/f$  噪声特性，使其成为放大这些微弱差动信号的合适选择。ADS1282-SP 内部的可编程增益放大器 (PGA) 提供额外增益，使信号能够以满量程分辨率进行数字化。ADS1282-SP 采用集成式 PGA，可在较低的输出数据速率下提供高达 31 位的有效分辨率。内部双通道多路复用器允许对电桥的两臂进行差动测量。

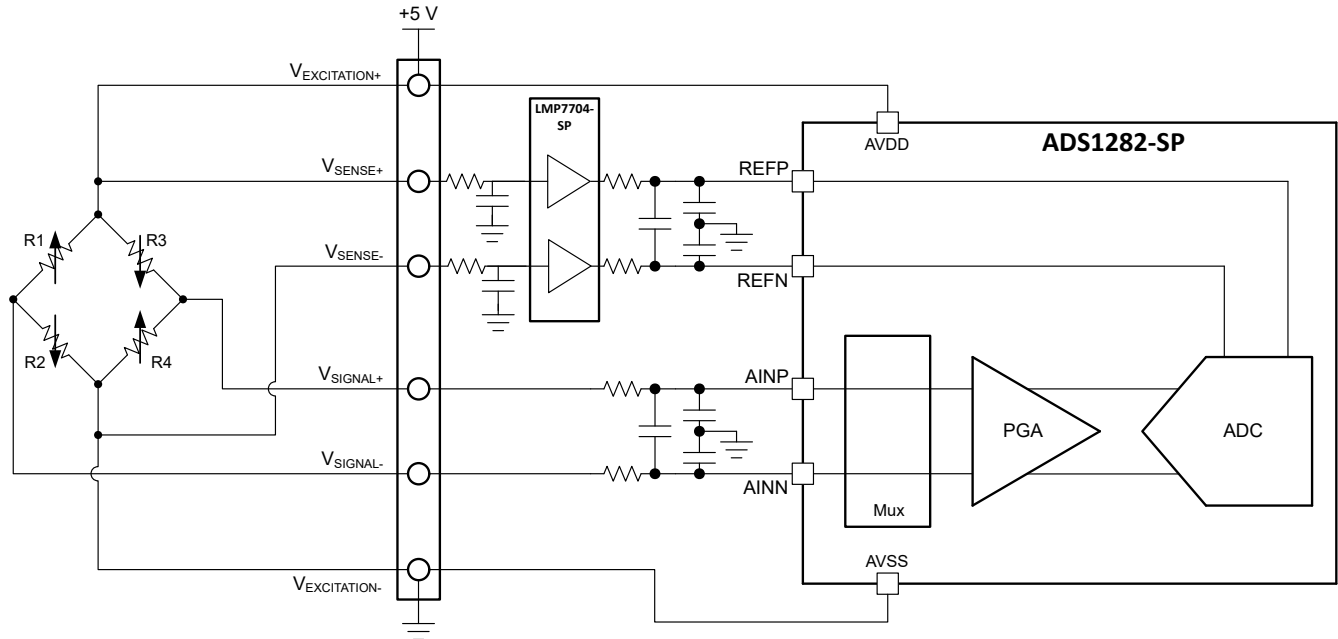


图 4-1. 采用 ADS1282-SP 的电桥测量

## 5 采用 ADC168M102R-SEP 的光电二极管信号测量

光学传感器和光电二极管在航天应用中用于光学卫星间链路 (OISL) 通信、无线能量传输以及激光测距。光电二极管产生的电流与入射光强度成正比。该电流在进行数字化之前必须先转换为电压并进行放大。该设计使用 **OPA4H014-SEP** 作为跨阻放大器 (TIA) 和 ADC 驱动器，随后使用 **ADC168M102R-SEP** 进行高速多通道数字化处理。

**OPA4H014-SEP** 是一款耐辐射、JFET 输入四路运算放大器，具有超低输入偏置电流。在 TIA 应用中，低输入偏置电流至关重要，因为运算放大器输入偏置电流会直接叠加到光电二极管的暗电流中，从而产生测量偏移。**ADC168M102R-SEP** 是一款耐辐射 16 位 8 通道 1MSPS 同步采样 SAR ADC。双路同步采样架构允许同时采集多个光电二极管通道，这对跨通道测量相对信号电平的激光位置检测应用至关重要。

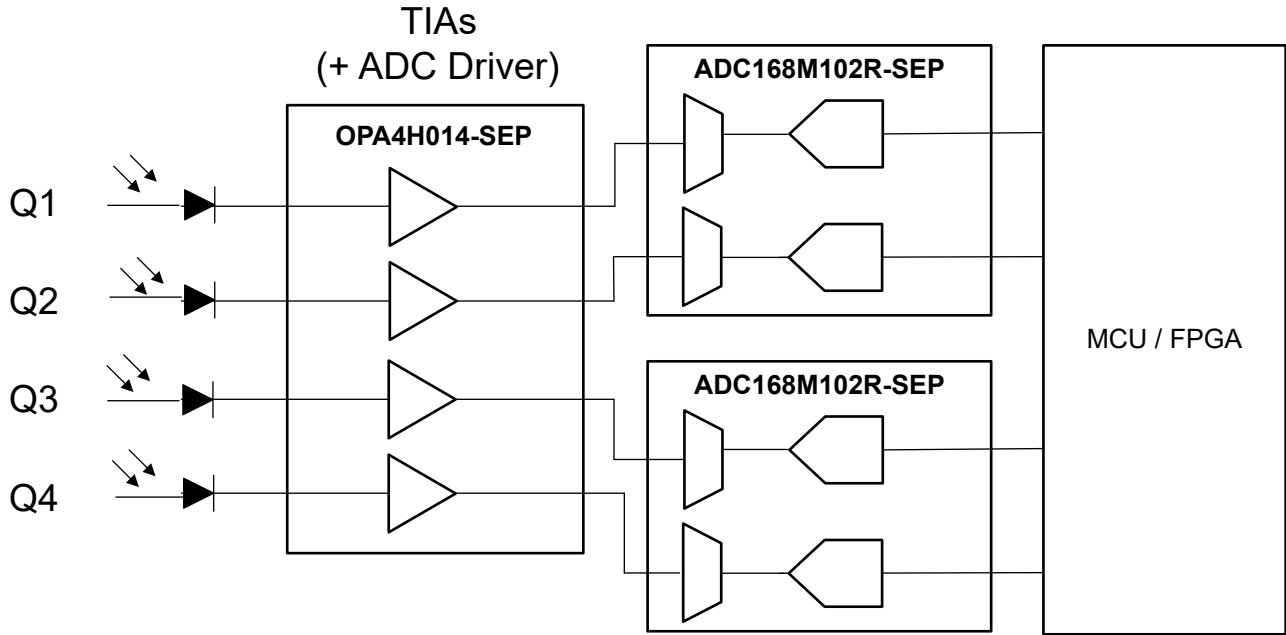


图 5-1. 采用 ADC168M102R-SEP 的激光定位

## 6 采用 ADS1282-SP 的精密 RTD 测量

与热电偶相比，PT100 或 PT1000 等电阻式温度检测器 (RTD) 可提供出色的线性度和长期稳定性，因此成为航天载荷中高精度温度计量的首选传感器。该设计采用 ADS1282-SP 的高分辨率和内部 PGA，在施加精密激励电流时，将 RTD 上产生的小差动电压直接数字化，这可以实现低于 1mKelvin 的温度精度。LMP7704-SP 会产生恒流源来对 RTD 进行偏置。其他 LMP7704-SP 放大器可用于缓冲参考输入。其他 LMP7704-SP 放大器可用于缓冲参考输入。

RTD 电阻变化很小，因此尽可能减小信号链上的失调电压和漂移误差至关重要。LMP7704-SP 的  $\pm 60 \mu\text{V}$  和低温漂与 ADS1282-SP 的 32 位分辨率和内部校准相结合，可提供解析亚度级温度变化所需的性能。要测量 2 个以上的通道，需要一个外部多路复用器，例如 TMUX182-SEP。

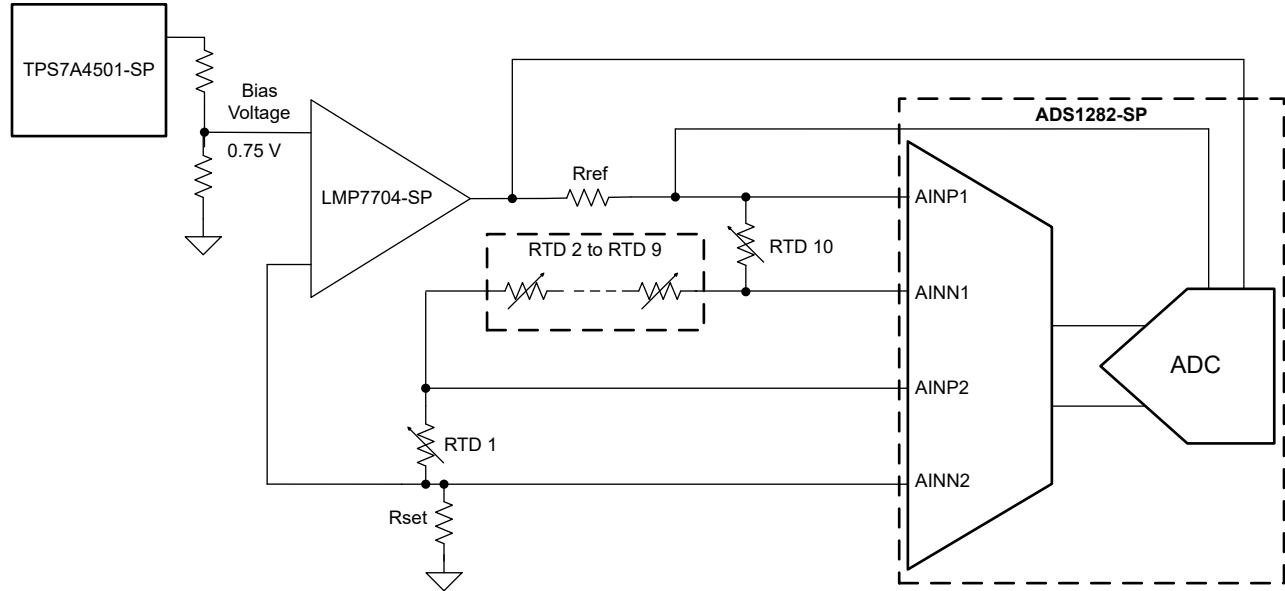


图 6-1. 采用 ADS1282-SP 的 RTD 测量

## 7 采用 ADC168M102R-SEP 的电机位置反馈测量

在航天器姿态控制系统、太阳能阵列驱动器组件、天线指向机构和激光通信终端中，精确的电机位置控制至关重要。位置反馈通常来自旋转变压器或正弦/余弦编码器，这些器件会输出两路相位相差 90° 的正弦模拟信号。本设计使用 ADC168M102R-SEP 的同步采样功能，可在同一时间对正弦和余弦输出信号进行数字化，从而通过反正切函数实现精确的角度计算。OPA4H014-SEP 为 ADC 输入提供信号调节和驱动能力。

在该应用中，同步采样至关重要。如果在不同时间对两个通道进行采样，则它们之间的相位误差会在计算位置时引入角度误差。ADC168M102R-SEP 的双 ADC 架构可在同一转换周期内采集两个信号通道，从而消除这一动态误差源。

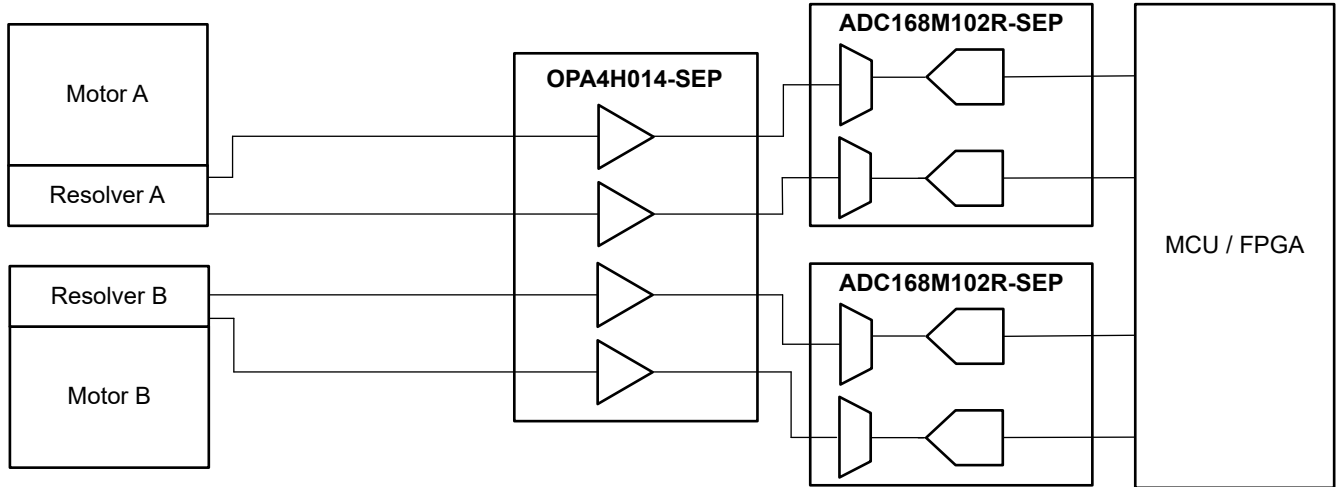


图 7-1. 采用 ADC168M102R-SEP 的电机位置反馈

## 8 总结

这六种航天级模拟信号链使用德州仪器 (TI) 的精密 ADC 系列，涵盖了从基本辅助控制到精确温度控制的整个太空应用范围。ADC128S102 系列具有丰富的飞行应用历史，非常适合用于航天平台及载荷的基础遥测。ADC168M102R-SEP 非常适合需要更高精度和更快采样速率的控制环路应用，如激光定位和电机控制。ADS1278QML-SP 和 ADS1282-SP 非常适合要求超高精度的航天系统，例如振动监测或温度控制。

### 器件概要

表 8-1 汇总了所呈现的六种设计中使用的所有器件。

表 8-1. 器件概要

器件	说明	TID (krad (Si))	SEL (MeV·cm <sup>2</sup> /mg)
ADC128S102QML-SP	12 位、8 通道、1MSPS、SAR ADC	100	120
ADC128S102-SEP	12 位、8 通道、1MSPS、SAR ADC	30	43
ADC168M102R-SEP	16 位、8 通道、双路同步采样、1MSPS、SAR ADC	30	43
ADS1278QML-SP	24 位、八路同步采样、128kSPS、 $\Delta$ - $\Sigma$ ADC	50	51
ADS1282-SP	具有 PGA 的 31 位、2 通道、4kSPS、 $\Delta$ - $\Sigma$ ADC	50	60
LMP7704-SP	具有 RRIO 的精密低输入偏置宽电源范围放大器	100	85
OPA4H014-SEP	11MHz、低噪声、精密轨到轨输出 JFET 放大器	30	43
OPA4H199-SEP	航天四通道、40V 4.5MHz 轨到轨输入和输出运算放大器	30	43
OPA4H199-SP	航天四通道、40V 4.5MHz 轨到轨输入和输出运算放大器	100	65
INA901-SP	具有直列式滤波器选项的 -15V 至 65V、分级电流感应放大器	50	75
TMUX182-SEP	具有 1.8V 逻辑电流的 8:1、单通道多路复用器	30	43

## 9 参考资料

- 德州仪器 (TI), [TI 航天级精度 ADC 赋能激光通信终端](#), 应用简报。
- 德州仪器 (TI), [具有第二级 ADC 缓冲器的耐辐射、30krad、比较电流检测放大器](#), 应用简报。
- 德州仪器 (TI), [耐辐射、30krad 检测电压 ADC 电路](#), 应用简报。
- 德州仪器 (TI), [降低近地轨道卫星遥测电路的成本、尺寸和重量](#), 应用简报。
- 德州仪器 (TI), [采用齐纳移位悬空接地和隔离式数字接口的精密高压电流检测](#), 应用简报。
- 德州仪器 (TI), [耐辐射航天电池管理系统 \(BMS\) 参考设计](#), 设计指南。
- 德州仪器 (TI), [串联电阻温度检测器 \(RTD\) 传感参考设计](#), 设计指南。
- 德州仪器 (TI), [RTD 测量基本指南](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [电桥测量基本指南](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [热电偶测量基本指南](#), 应用手册。

## 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