

## Application Note

## 使用 NTC 和 RTD 设计温度监测系统



Bill Xu, Irene Qin, Sanjay Pithadia

## 摘要

温度测量和监测广泛应用于医疗设备和工业领域。在 MRI 设备中，需要通过多个 NTC 来监测液氦温度。在呼吸机中，工程师需要监测气体温度，以确保患者的舒适性。在 CT 系统中，工程师需要监控 DAS 系统的温度，从而实现出色的 SNR 以及高成像质量。在 IVD 系统中，工程师也需要监控样本的温度。在医院里，医生还需要在外科手术期间监测患者的体温，因为这是人体的关键参数。测量温度的方法有多种，根据不同的原理而定。然而，大多数医疗设备更倾向于使用 NTC 或 RTD 进行温度测量，因为它们精度高、安装方便且价格低廉。本应用手册介绍了几种使用 NTC 或 RTD 传感器测量或监测温度的设计。本应用手册所提方法也可用于其他行业系统。

## 内容

1 温度测量.....	2
2 设计温度监测器的主要挑战.....	2
3 NTC 或 RTD 温度监测器的建议设计.....	2
3.1 电压激励.....	2
3.2 电流激励.....	3
3.3 比率测量.....	4
3.4 集成设计.....	5
4 总结.....	6
5 参考资料.....	7

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 温度测量

对于多种医疗系统和工业生产而言，温度是一个重要参数。在 MRI 设备中，需要通过多个 NTC 来监测液氮温度。在呼吸机中，工程师需要监测气体温度，以确保患者的舒适性。在 CT 系统中，工程师需要监控 DAS 系统的温度，从而实现出色的 SNR 以及高成像质量。在 IVD 系统中，工程师也需要监控样本的温度。在医院里，医生还需要在外科手术期间监测患者的体温，因为这是人体的关键参数。测量或监测温度的方法有多种，根据不同的原理而定。本应用手册主要介绍 NTC 和 RTD 方法。由于 NTC 和 RTD 易于安装、价格低廉、灵敏且精度高，广泛用于医疗系统和工业系统，因此本文档提出了几种采用 NTC 和 RTD 的设计。

## 2 设计温度监测器的主要挑战

如前所述，NTC 和 RTD 广泛用于医疗系统和工业系统中的温度测量和监测。然而，NTC 和 RTD 都是无源元件，需要外部源来激励。激励 NTC 和 RTD 的方法主要有两种：直流电压或直流电流。通常，NTC 和 RTD 的电阻随温度变化非常小。对于 RTD 而言尤其如此。因此，设计人员需要使用大电压或电流来激励 NTC 和 RTD，从而产生可测量的输出电压。此外，激励电流不能过大，以防传感器发热。例如，对于 0°C、100 Ω 的 RTD，1°C 温度变化可能导致大约 0.39 Ω 的电阻变化。使用 0.1mA 驱动电流时，电压变化约为 0.039mV，在 3.3V 全范围内远小于 12 位 ADC 的 1LSB。而共模电压为 10mV。因此，3.3V 系统的最大增益为 330。但是，如果工程师需要 0.2°C 分辨率，可能需要大约 1000 倍的增益。为了应对这一挑战，TI 提出了多种设计来帮助客户简化设计并获得预期结果。

## 3 NTC 或 RTD 温度监测器的建议设计

### 3.1 电压激励

过去，电桥电路与 RTD 和 NTC 温度传感器一起使用，以消除偏置电压或共模电压，并由仪表放大器对差分电压进行采样。电桥输出和传感器电阻器之间呈非线性函数关系。桥式放大器可以解决该问题。桥式放大器如图 3-1 中所示。假设基准电压是  $V_R$ ，放大器的输出是  $V_o$ ，那么很容易得到方程式 1。

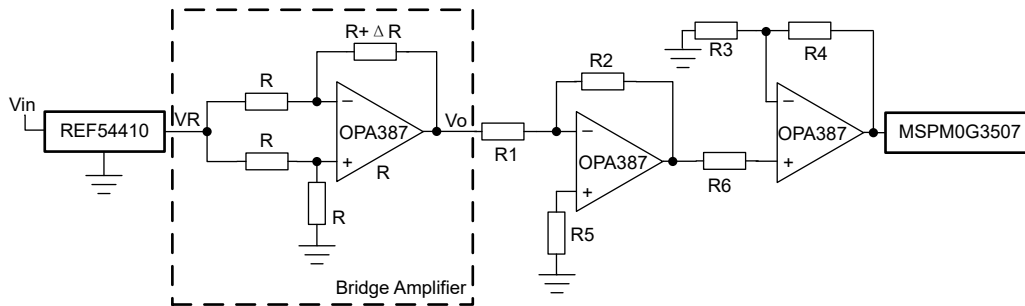


图 3-1. 分立式 RTD 信号调节电路

$$V_o = -\frac{V_R}{2R} \times \Delta R \quad (1)$$

从方程式 1 中，设计人员可以看到输出电压随电阻的变化呈线性关系。假设基准为 4.096V，RTD 在 0°C 下的电阻为 1000 Ω，在大约 2mA 励磁电流下，1°C 温升的输出可能约为 7.9872mV。在实际设计中，励磁电流可能需要小于 1mA 以避免自发热，然后当温度上升 1°C 时，输出电压会降至 7.9872mV 以下。为了获得更高的分辨率和精度，需要使用后置放大器来放大来自桥式放大器的信号。请注意，从方程式 1 中可以看出，输出电压与电阻变化负相关。因此，第一级放大器需要使用双电源，以防运行异常。

由于信号非常小，因此为了提高系统精度，桥式放大器的关键要求是要具有低失调电压和低温漂。OPA387 是一款失调电压非常低的放大器，可满足此应用的要求。最大 2μV 失调电压有助于提高系统精度。第二个放大器用于将桥式放大器的输出转换为同相，并再次放大信号。第三个放大器是可选的，以防在实际设计中需要进一步放大。此外，客户宜在放大器电路之间插入滤波器，以降低系统噪声并提高系统的 SNR。

根据方程式 1，基准性能是可能影响系统精度的另一个因素。为了获得更高精度，建议使用 REF54410 来激励该传感器。0.02% 的精度和 0.8ppm/°C 温漂有助于提高系统精度。REF54410 是 REF54 系列基准的一个器件，输出电压为 4.096V。客户可以选择具有不同输出电压的其他器件，以满足特定要求。

### 3.2 电流激励

去除 RTD 和 NTC 应用共模电压的另一种方法是使用两个完全相同的电流源来激励 RTD 和 NTC 以及辅助偏置电阻器。在启动点温度下，辅助偏置电阻器的值可以与 RTD 电阻器的值相等。TI：REF200 包含两个完全相同的恒流源，可满足此应用的需求。图 3-2 展示了典型应用电路。

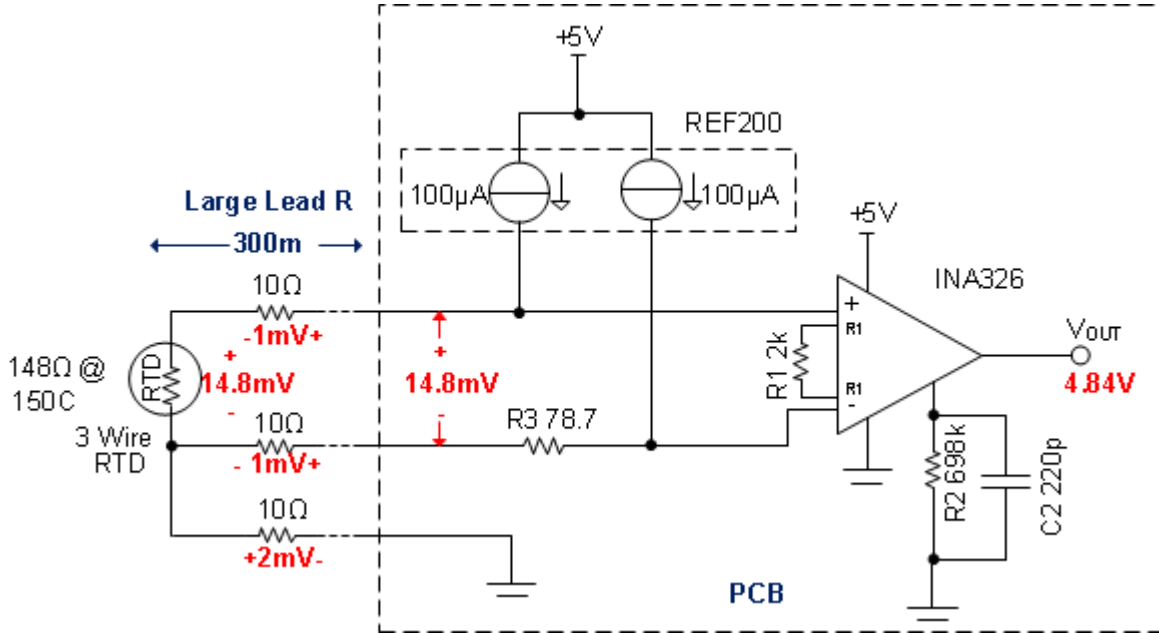


图 3-2. 基于恒流源的 RTD 信号调节电路

在图 3-2 中，R3 是辅助偏置电阻器，用于去除大约 -54°C 下的 RTD 共模电压，因为 100 Ω RTD 传感器支持大约 -50°C 至 150°C 的应用测量温度范围。在 -54°C 下，RTD 电阻为 78.7 Ω，那么 100uA 的激励电流可以产生 7.87mV 的共模电压。这种共模电压可以通过仪表放大器 INA326 而去除。RTD 电阻器之间的功能随输出电压的变化而变化，如方程式 2 所示。

$$V_{out} = \Delta R_{RTD} \times 100\mu A \times Gain \quad (2)$$

方程式 2 表明输出电压随电阻器变化而呈线性关系。可以根据特定应用调整增益。通过输出电压可推导出温度。

### 3.3 比率测量

TI 还开发了特定的 IC 来满足 NTC 和 RTD 信号调节应用的要求。这种 IC 通常集成了两个可调节恒流源来激励 NTC 和 RTD 传感器。IC 还集成了高分辨率 ADC 和相关的 PGA，用于信号调节。对于多通道应用，IC 还集成了一个多路复用器。其他用户界面可满足不同的要求。典型的 IC 是 ADS124S08。图 3-3 展示了使用 3 线 RTD 测量温度的典型 ADS124S08 配置。

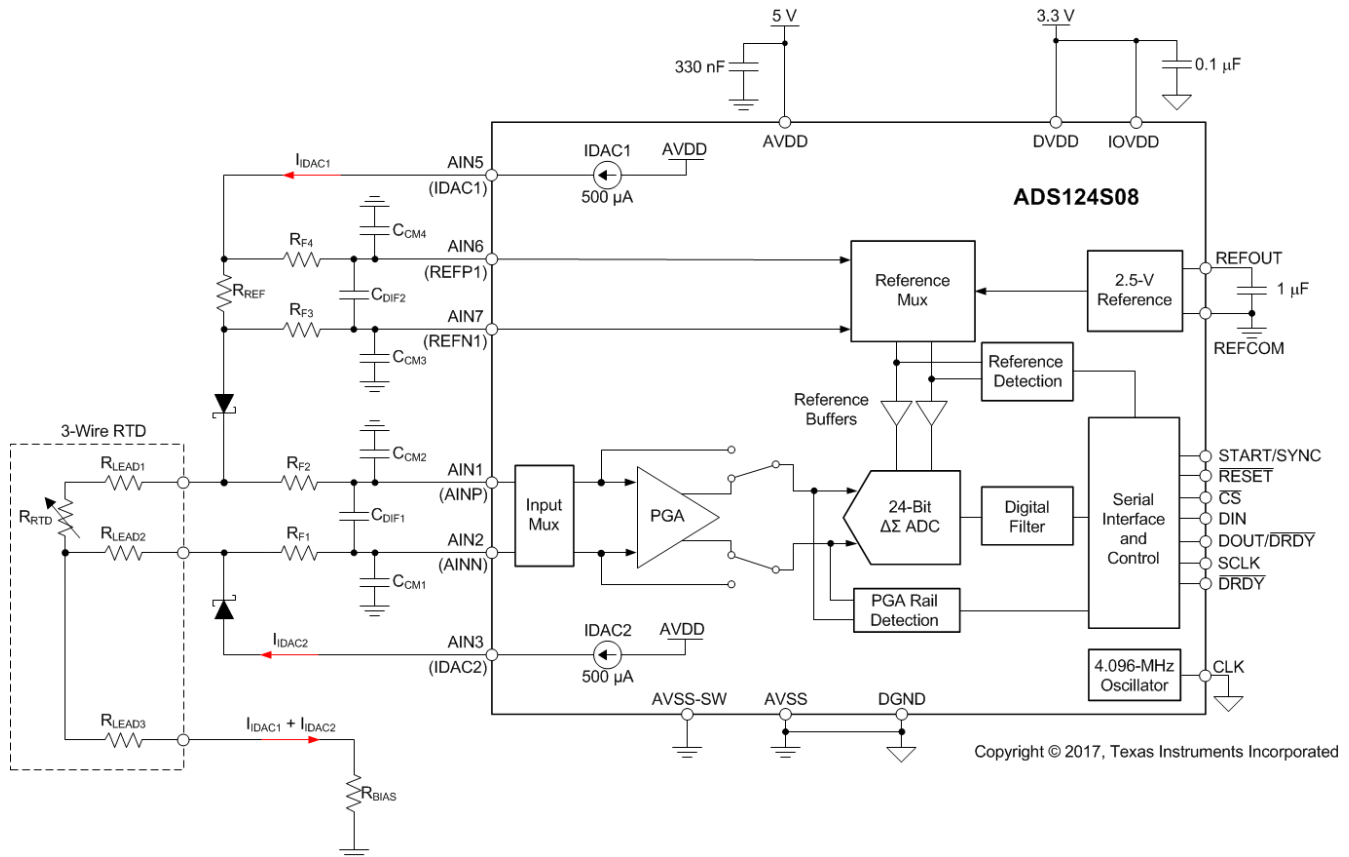


图 3-3. 基于 ADS124S08 的集成 RTD 信号调节电路

ADS124S08 的内部可调节恒流源 1 的电流经过基准电阻  $R_{REF}$ 、二极管、 $R_{lead1}$ 、RTD、 $R_{lead2}$  和  $R_{lead3}$ ，然后返回到接地。内部可调节恒流源 2 的电流也从 ADS124S08 流经二极管、 $R_{lead2}$ 、 $R_{lead3}$  和  $R_{bias}$ ，然后返回到接地。此处  $R_{lead1}$ 、 $R_{lead2}$  和  $R_{lead3}$  是 RTD 导线的电阻器，具有相等的电阻。由于激励电流产生的电压在完全相同的激励电流下完全相同并被抵消，因此消除了引线电阻的影响。假设恒流源的值为  $I$ 、PGA 增益为  $G$ ，则 ADC 输入电压可以为： $I \times R_{RTD} \times G$ 。ADC 基准可以等于  $R_{REF}$  的电压。因此，ADC 结果可以是：

$$D = \frac{V_{ADC}}{V_{REF}} = \frac{I \times R_{RTD} \times G}{I \times R_{REF}} = \frac{R_{RTD} \times G}{R_{REF}} \quad (3)$$

方程式 3 表明 ADC 结果与恒流源精度无关，仅与基准电阻器和放大器增益有关。客户可以直接根据 ADC 结果获取 RTD/NTC 的电阻值，然后推断温度。

ADS124S0x 具有 PGA 和电压基准的低功耗、低噪声、高集成度、6 通道和 12 通道 4kSPS 24 位  $\Delta-\Sigma$  ADC 数据表和 RTD 测量基本指南应用手册介绍了如何消除可调恒流源的引线电阻器和误差所带来的影响，从而获得更高的精度。有关更多详细信息，请参阅数据表和应用手册。

### 3.4 集成设计

在实际的温度测量设计中，某些客户需要进行校准、消除失调误差和补偿线性度。在现代温度测量系统中，MCU 始终是必需的。MSPM0G3507 是一款 Cortex-M0+ MCU，集成了两个零漂移精密放大器、精密基准和两个具有 17 个外部通道的 12 位 4MSPS ADC。如果采用硬件均值计算，ADC 分辨率可能会在速率为 250Ksps 时提高到 14 位。

设计人员可使用 MSPM0G3507 单芯片实现 3.1 描述的分立式设计以进行温度信号调节。此外，设计人员需要在所有条件下使  $\Delta R < 0$ ，因为 MSPM0G3507 可以使用单个正电源供电。根据方程式 1，当  $\Delta R < 0$  时，输出可以是正输出。设计人员不需要为具有双电源的内部放大器供电。

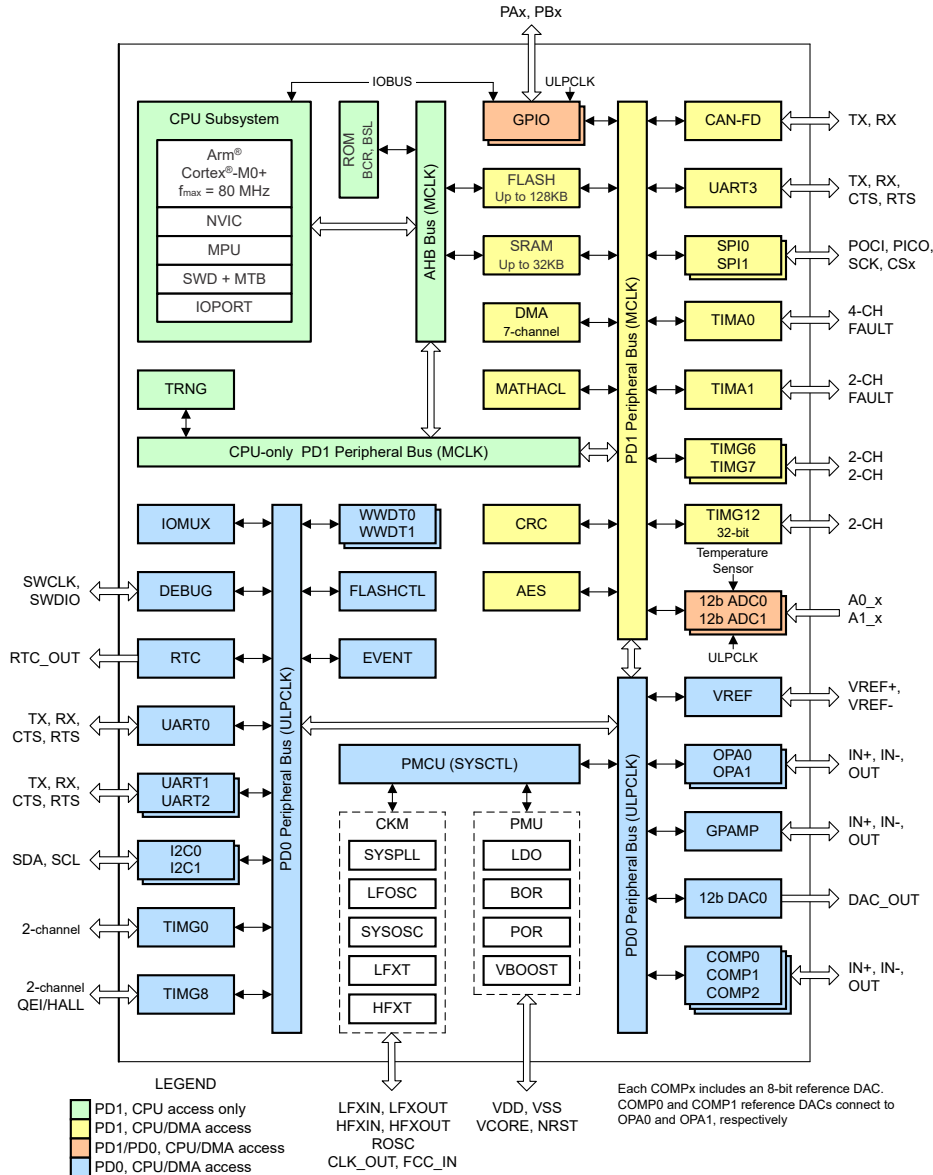


图 3-4. 用于 RTD 信号调节的单芯片 MCU 方框图

PGA900 传感器调节芯片是另一种用于温度测量的集成设计。TI : PGA900 是一款集成了 ARM Cortex-M0+ 的电阻器传感器信号调节芯片，方框图如图 3-5 所示。凭借集成的可调节恒定电流、PGA、ADC 和 MCU，PGA900 也成为一款用于温度测量的单芯片设计。宽电源特性（约 3.3V 至 30V）和其他输出格式有助于满足各种工业应用的需求。

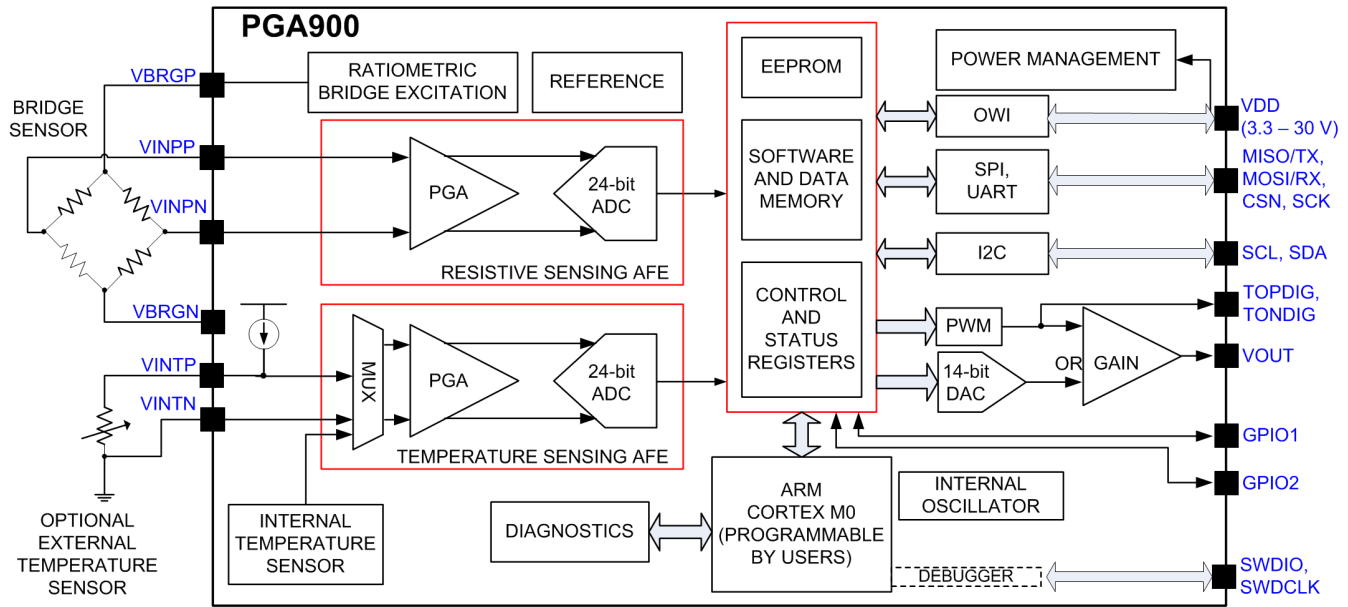


图 3-5. 用于 RTD 信号调节的 ASIC

客户可以将 NTC 和 RTD 连接到电阻式感应 AFE 通道 (主通道) 或温度检测 AFE 通道 (辅助通道)。对于单个传感器, 主通道的输出电压是非线性的, 因为它由精密内部电压基准激励。对于 MCU 系统而言, 这不是问题, MCU 可以计算采样电压与变化的电阻器之间的关系。辅助通道由可调恒定电流激励, 因此输出电压随电阻器变化而呈线性关系, 并可能存在失调电压。

## 4 总结

本应用手册讨论了几种用于 RTD/NTC 传感器信号调节的设计, 这些设计还可以用于其他基于电阻器的传感器信号调节, 例如 PTC、光学感应电阻器、磁感应电阻器等。TI 有多篇文章和产品可帮助客户设计基于电阻器的温度信号调节电路。有关详细信息、支持和帮助, 请联系 FAE 或访问 [Ti.com](http://Ti.com)。为便于用户为特定应用选择更佳设计, 表 4-1 展示了这些设计之间的差异。

表 4-1. 建议的信号调节设计之间的比较

项	电压激励	电流激励	比率	MSPM0G3507	PGA900
性能	最佳	最佳	较佳	好	较佳
引线补偿	较佳	最佳	最佳	较佳	好
灵活性	最佳	最佳	较佳	好	较佳
设计	困难	适中	简单	适中	适中
PCB 面积	大	大	小	最小	最小
成本	成本高	成本高	成本适中	成本低	成本适中

## 5 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [RTD 测量基本指南](#) 应用手册。
2. 德州仪器 (TI), [REF200 双电流源和电流阱](#) 数据表。
3. 德州仪器 (TI), [ADS124S0x 具有 PGA 和电压基准的低功耗、低噪声、高集成度、6 通道和 12 通道 4kSPS 24 位  \$\Delta\$ - \$\Sigma\$  ADC](#) 数据表。
4. 德州仪器 (TI), [PGA900 具有数字和模拟输出的可编程电阻式传感调节器](#) 数据表。

## 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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司