

摘要

本文档旨在帮助读者熟悉将电阻温度检测器 (RTD) 作为一种实时控制应用中的温度测量方法，并介绍可能的误差来源以及如何纠正误差。半导体检测技术产品组合非常广泛，允许在实时控制系统中的效率、性能和低延迟响应方面实现新功能。因此，本文档讨论了替代的温度测量方法及其相应的优势。

内容

1 RTD 简介	2
1.1 常见接线配置.....	2
1.2 RTD 容差和精度.....	4
1.3 RTD 系统的误差来源.....	4
2 RTD 替代品	6
2.1 TMP116 和 TMP117.....	6
2.2 TMP1826.....	7
2.3 TMP6x.....	8
3 结语	9
4 参考文献	9
5 修订历史记录	9

插图清单

图 1-1. 两线 RTD 配置.....	2
图 1-2. 三线 RTD 配置.....	3
图 1-3. 四线 RTD 配置.....	3
图 1-4. RTD 的精度级别.....	4
图 1-5. RTD 误差最小化电路的示例.....	5
图 2-1. 比较 RTD 和 TMP116 的精度.....	6
图 2-2. TMP117 和 RTD 的精度图表.....	7
图 2-3. TMP1826 总线供电应用.....	7
图 2-4. TMP1826 电源供电应用.....	7
图 2-5. TMP1826 温度误差与温度间的关系.....	8
图 2-6. TMP61 电流偏置电路.....	8
图 2-7. TMP61 电压偏置电路.....	8

表格清单

表 2-1. TMP117 在整个温度范围内的精度.....	6
表 2-2. TMP1826 在整个温度范围内的精度.....	8

商标

SMBus™ is a trademark of Intel Corporation.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 RTD 简介

电阻温度检测器是无源电路元件，其电阻会随温度的升高而增大。电阻温度检测器通常使用铂、铜或镍构成，RTD 的一个主要优势是支持较宽的温度范围，从 -200°C 到 $+850^{\circ}\text{C}$ 。RTD 的精度限制由 RTD 的类别或等级来定义。铂、铜或镍的特性决定了在 0°C 到 100°C 的温度范围内，电阻与温度间的线性近似关系铂 RTD 以强大的线性度和可重复特性而著称。

DIN/IEC 60751 被视为是铂 RTD 的全球标准。对于 PT100 RTD，标准要求温度为 0°C 时检测元件的电阻为 $100.00\ \Omega$ ，温度为 0°C 至 100°C 时，电阻的温度系数 (TCR) 为 $0.00385\ \Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$ 。

方程式 1 和方程式 2 定义了温度范围高于 0°C 和低于 0°C 时的电阻与温度间的关系。

$$R_T = R_0[(1 + A)T + BT^2] \text{ for } T \geq 0^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

$$R_T = R_0[(1 + A)T + BT^2 + CT^3(100 - T)] \text{ for } T < 0^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

其中：

- $A = 3.9083 \times 10^{-3}$
- $B = -5.775 \times 10^{-7}$
- $C = -4.183 \times 10^{-12}$

1.1 常见接线配置

RTD 通常采用三种常见配置进行设计：两线、三线和四线。在两线配置（如以下图 1-1 所示）中，RTD 的两端分别用两根引线连接。在这种配置中，引线电阻无法与 RTD 电阻隔离，这样就增加了一个无法与 RTD 测量隔离的误差。两线 RTD 产生的 RTD 测量结果精度最低，在精度不太重要或者引线长度较短时使用。两线 RTD 是成本最低的 RTD 配置。

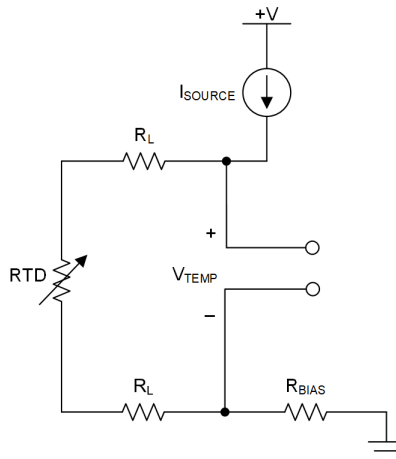


图 1-1. 两线 RTD 配置

在三线配置 (如图 1-2 所示) 中, RTD 的一端连接一根引线, 另一端连接两根引线。通过使用不同的电路拓扑和测量, 可有效地消除引线电阻效应, 减少三线 RTD 测量中的误差。针对引线电阻的补偿假定引线电阻是匹配的。

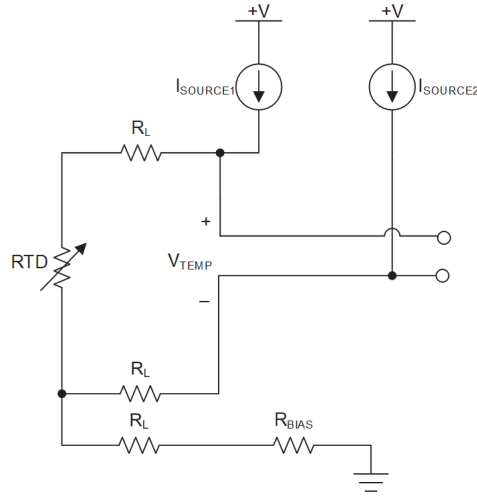


图 1-2. 三线 RTD 配置

在四线配置 (如以下图 1-3 所示) 中, RTD 的任一端均连接两根引线。在此配置中, 可以用四线电阻测量法测量 RTD 电阻, 且精度更高。RTD 激励通过两端上的一根引线驱动, 而 RTD 电阻通过两端上的另一根引线测量。在此测量中, 检测 RTD 电阻, 且引线与传感器激励发生反应未造成误差。四线 RTD 产生的测量结果精度最高, 但也是成本最高的 RTD 配置。

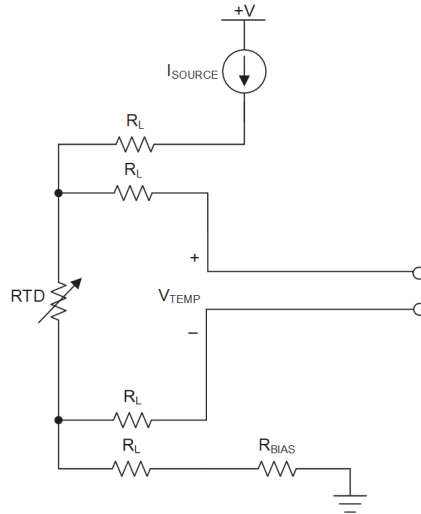


图 1-3. 四线 RTD 配置

1.2 RTD 容差和精度

DIN/IEC751 中指定了四个容差级别：

级别	容差
AA	$\pm (0.1 + 0.0017 \cdot T)$
A)	$\pm (0.15 + 0.002 \cdot T)$
B	$\pm (0.3 + 0.005 \cdot T)$
C	$\pm (1.2 + 0.005 \cdot T)$

这些容差级别还代表检测器的可互换性。如果检测器损坏，良好的可互换性可确保替代传感器在相同条件下提供与原检测器相同的读数。选择温度传感器的另一项重要标准是长期稳定性。高稳定性随着时间的推移产生的输出信号漂移非常小，因而降低了成本高昂的校准频率。根据应用要求，如今的 RTD 可以提供长期漂移，范围为低至 $0.003^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 到高达 0.01 至 $0.05^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 。

RTD 被视为是精度最高的温度传感器之一。除了高精度之外，RTD 还具备优异的稳定性、可重复性以及对抗电气噪声的抗干扰度。但是，每个级别的精度都随温度变化而变化。图 1-4 显示了不同级别 RTD 的精度。

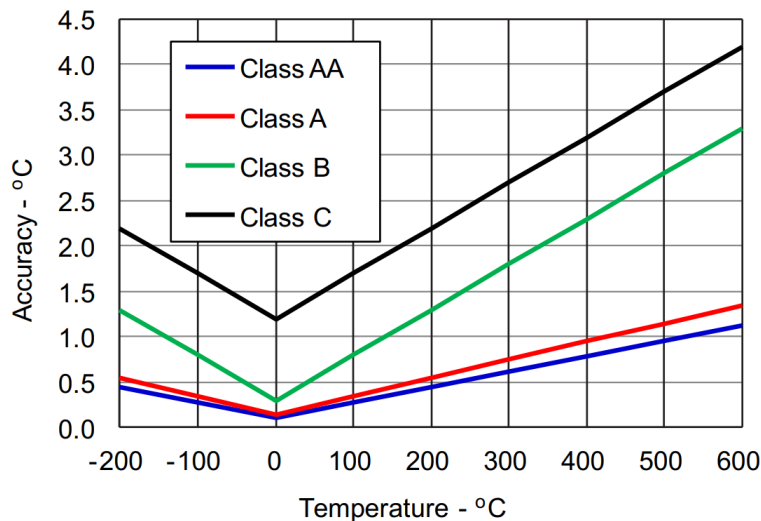


图 1-4. RTD 的精度级别

1.3 RTD 系统的误差来源

为了将 RTD 的电阻变化转换为合理的输出信号，通常使用通过检测元件驱动恒定电流的电流源，因此在 RTD 上产生与温度相关的电压。这种方法产生了两种测量误差源。

首先，流经 RTD 的电流会产生一定量的自发热，增加了检测元件的温度，从而篡改实际测量读数。所以，TI 建议最大电流在 $500 \mu\text{A}$ 至 1mA 范围内，以最大程度地减少自发热的影

响。第二个误差源是 PT100 应用中预期的长测量引线的压降。引线电阻和 RTD 间的分压可以显著降低信号放大器输入端的测量输出电压，从而造成温度读数出错。为了最大程度地减少引线电阻的影响，在使用两线 RTD 时引线必须较短，或者 RTD 本身必须适合三线 and 四线 RTD 设计中提供的引线补偿线。

1.3.1 误差最小化电路

图 1-5 中的电路旨在利用四线 RTD 配置的优势，该配置是精度最高的配置。两条导线 (W1 和 W4) 是受力引线，将 RTD 连接到恒流源。另外两条导线 (W2 和 W3) 是检测引线，将 RTD 上的电压连接到放大器。此布局将驱动 RTD 的恒流源与测量电路分开。在 RTD 上的电压测量中删除了线路 W1 和 W4 上的压降。

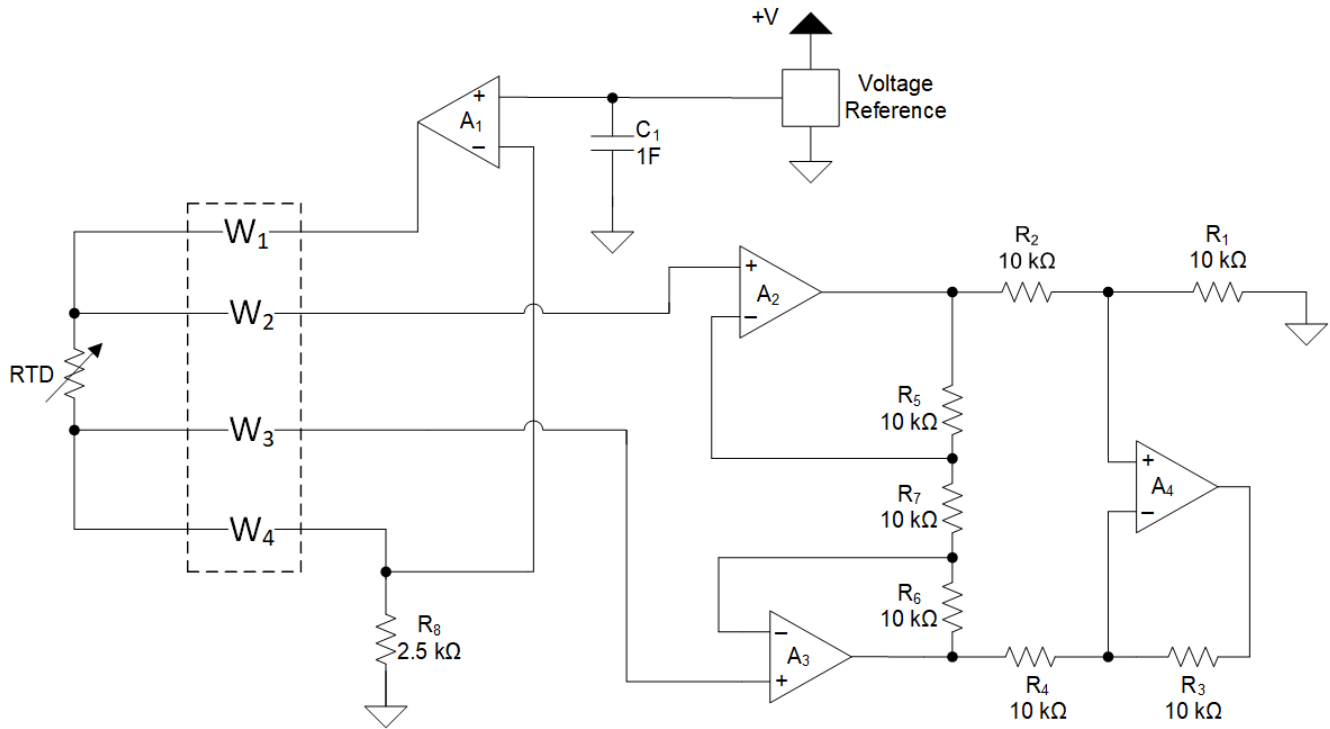


图 1-5. RTD 误差最小化电路的示例

2 RTD 替代品

半导体温度传感器的制造技术能够高效且经济实惠地生产这些器件。因此，这些器件的特性有助于器件与很多其他类型的半导体器件轻松连接，例如放大器、电源调节器、缓冲输出放大器和微控制器。

这些传感器的快速热响应时间能够实现实时数字控制环路中的快速误差校正，从而有助于最大程度地提高控制速度，以提高生产效率和安全性。这还有助于借助低延迟响应更快地进行调整，以控制电机位置和速度。这些传感器的高精度有助于降低维护成本并减少系统停机时间，因为系统变得更加可靠，且控制更加高效。系统在更接近热限值的情况下工作的能力提高了系统效率，并能够实现即时故障检测和反应。

2.1 TMP116 和 TMP117

TMP116 的精度显著优于 B 类 RTD。另外，当与 A 类 RTD 比较时，TMP116 的精度在 -55°C 至 $+125^{\circ}\text{C}$ 的大部分工作温度范围内都更高。与 RTD 相比，精度提升的同时还降低了成本，简化了设计。

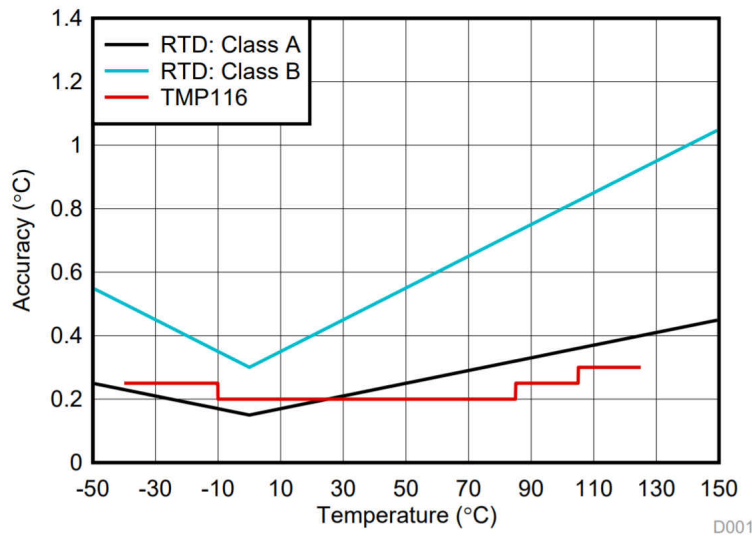


图 2-1. 比较 RTD 和 TMP116 的精度

TMP117 是另一款可以替代 RTD 的半导体温度传感器。TMP117 是一款高精度数字温度传感器，可提供 16 位结果，分辨率为 0.0078°C ，在 -20°C 到 $+50^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内精度高达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的精度，无需校准。TMP117 与 I2C 和 SMBus™ 接口兼容，具有可编程警报功能，并且在单条总线上支持高达四个器件。表 2-1 显示了 TMP117 在其工作范围内的总体精度。

表 2-1. TMP117 在整个温度范围内的精度

温度范围	精度
-20°C 至 $+50^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
-40°C 至 $+100^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
-55°C 至 $+150^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.3^{\circ}\text{C}$

图 2-2 显示了在 -55°C 至 $+150^{\circ}\text{C}$ 的工作温度范围内，TMP117 与 RTD 的精度对比。从图 2-2 中可以明显看出，未校准的 TMP117 具有与 RTD AA 类传感器相同或更高的精度。请注意，这是两个器件的原始精度，并且最终系统布局对 TMP117 的影响很小，对 RTD 的传感器精度影响很大，这是由 ADC 的选择、信号走线布局和元件容差等诸多参数造成的。

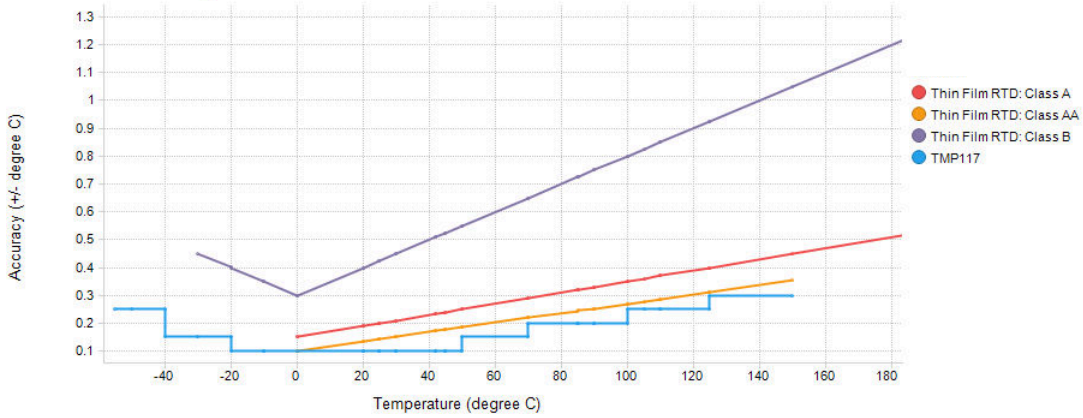


图 2-2. TMP117 和 RTD 的精度图表

TMP117 在精度上可与 AA 类薄膜 RTD 相媲美，而且功耗仅为 PT100 RTD 的一小部分。与使用 RTD 元件的系统相比，使用 TMP117 的系统需要的元件更少，如 Σ - Δ ADC、可编程增益放大器和 RC 滤波器。

2.2 TMP1826

TMP1826 是一款高精度、单线兼容的数字输出温度传感器。此器件在 -20°C 至 $+85^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内的典型精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。图 2-3 显示了总线供电模式，在该模式下，TMP1826 只需要单点连接和一个接地回路，这有助于通过限制系统中的导线数量来简化设计和降低成本。此外， V_{DD} 引脚使用户可以为需要使用专用电源的特定应用选择使用这种电源。如图 2-4 中所示。TMP1826 还在数据引脚上集成了 8kV IEC-61000-4-2 ESD 保护功能，因而无需任何外部保护元件。

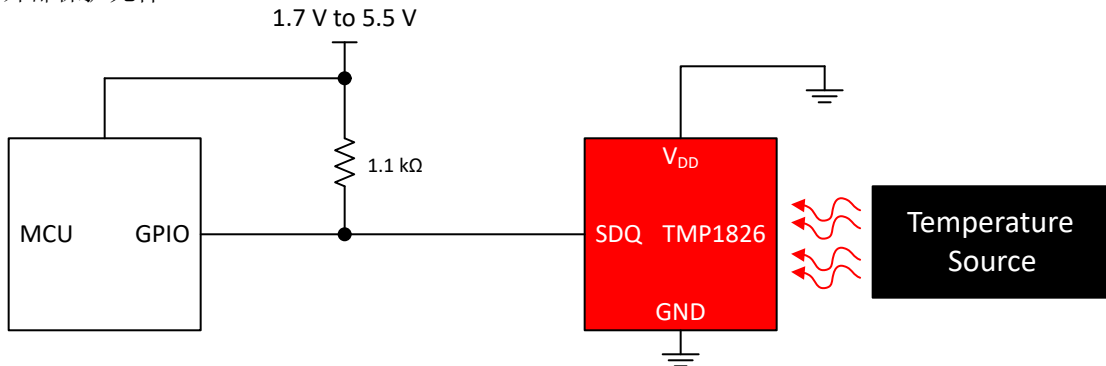


图 2-3. TMP1826 总线供电应用

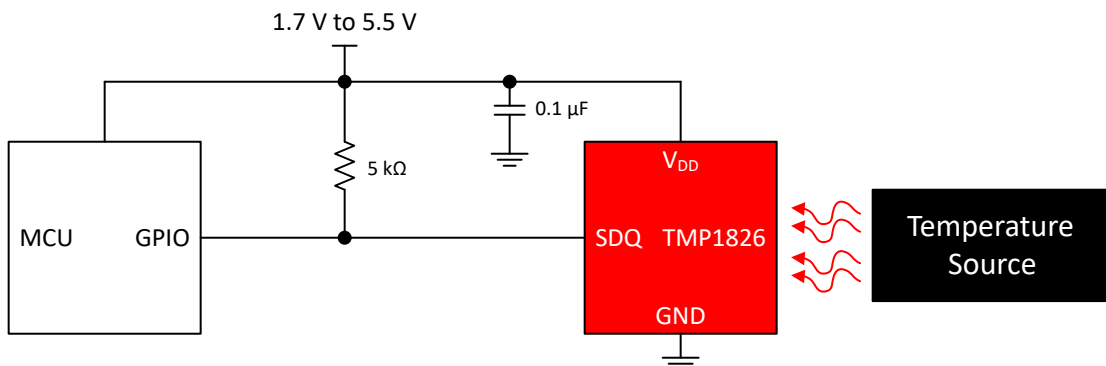


图 2-4. TMP1826 电源供电应用

图 2-5 显示了在整个温度范围内 TMP1826 的精度。数据表最小和最大温度误差规格由图上的红线标识，而 TMP1826 的典型性能以黑色显示。此器件可为复杂的 RTD 电路提供另一种高精度替代品。

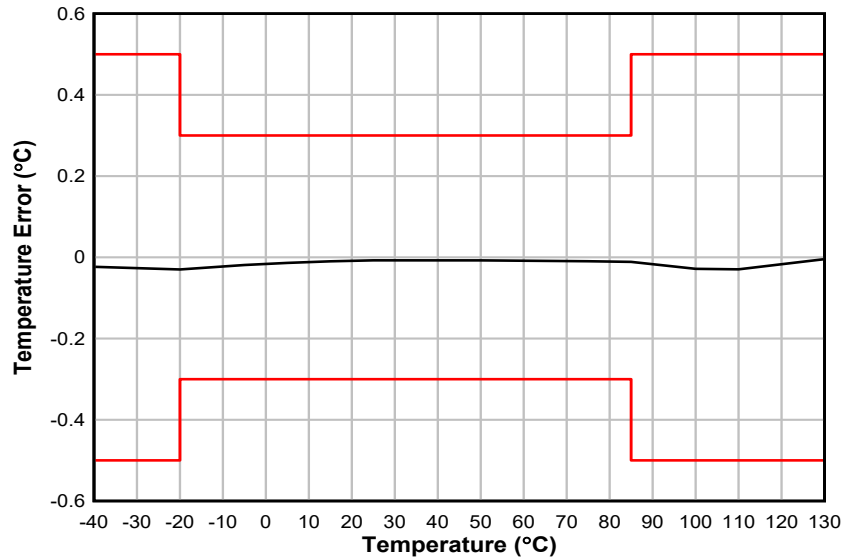


图 2-5. TMP1826 温度误差与温度间的关系

表 2-2. TMP1826 在整个温度范围内的精度

温度范围	精度
- 20°C 至 +85°C	±0.3°C
- 40°C 至 +125°C	±0.5°C

2.3 TMP6x

大多数 RTD 应用使用电流源来激励 RTD 元件并产生电压差。TMP61 是一款线性硅基热敏电阻，可在整个温度范围内提供一致的灵敏度。在图 2-6 等电流偏置电路中使用 TMP61 可提供一种温度监测方法，以代替成本高昂且复杂的 RTD。TMP61 具有正温度斜率，温度测量范围为 -40°C 至 125°C。TMP61 还可用于电压偏置电路，如图 2-7 所示。与测量温度 V_{TEMP} 对应的输出电压是在 R_{BIAS} 上测量的。

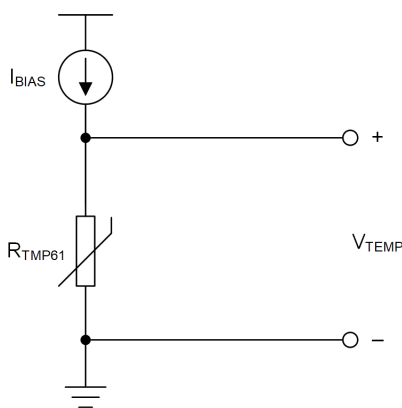


图 2-6. TMP61 电流偏置电路

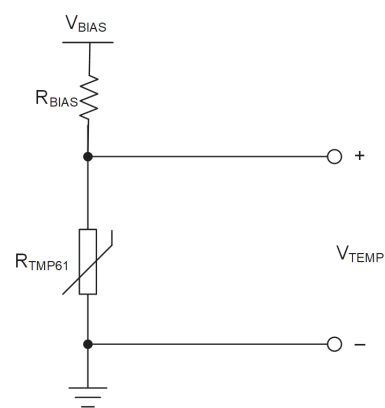


图 2-7. TMP61 电压偏置电路

备注

如需更多设计资源，TI 提供 [Thermistor Design Tool \(热敏电阻设计工具\)](#)，该工具提供电阻与温度关系表计算，用于推导温度的替代方法和示例 C 代码。

3 结语

RTD 应用有多个替代选项。根据具体的系统需求，TMP116、TMP117 或 TMP1826 等数字温度传感器可以提高精度，同时保持印刷电路板成本和复杂性较低。对于其他系统，可使用现有 RTD 设计中的电流或电压偏置源轻松集成 TMP61 硅基线性热敏电阻。这些半导体温度传感器的高精度和快速响应时间是关键的性能差异化因素，从而使这些器件在实时控制应用中能够代替昂贵的 RTD 系统。在那些毫秒就能决定系统稳定性的应用中，TI 支持实现和优化实时控制所需的检测、处理、控制和通信。

4 参考文献

- 德州仪器 (TI), [使用 TMP116 温度传感器替代电阻式温度检测器](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [电阻式温度检测器的模拟线性化](#) 模拟设计期刊
- 德州仪器 (TI), [RTD 测量基本指南](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [热敏电阻设计工具](#)
- 德州仪器 (TI), [通过 TDC1000 和 TDC7200 测量用于超声波感应的 RTD 传感器](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [在现场变送器中使用高精度数字温度传感器替代 AA 类 RTD](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI), [在高精度检测和补偿系统中使用数字温度传感器替代 RTD](#) 应用简报
- 德州仪器 (TI), [半导体温度传感器挑战楼宇自动化中的精密 RTD 和热敏电阻](#) 应用手册

5 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (May 2021) to Revision A (June 2022)	Page
• 扩展了 摘要	1
• 更新了 RTD 替代品 部分，包括扩展了对 TMP116 和 TMP117 的讨论，并新增加 TMP1826 和 TMP6x 的部分	6

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司