

Joseph Wu

摘要

电阻温度检测器 (RTD) 是用于测量温度的传感器。这些传感器是市面上非常精确的温度传感器之一，可覆盖较大的温度范围。但是，要使用精密模数转换器 (ADC) 进行精确测量，需要在测量电路设计和测量计算中注意细节。本应用手册首先概述 RTD，介绍了其规格、结构以及在温度测量中的使用细节；针对不同的 RTD 配置，提供了具有精密 ADC 的不同电路拓扑。每个电路均配有基本设计指南，其中显示了确定 ADC 设置、限制测量误差以及验证设计是否适合 ADC 工作范围所需的计算。

内容

1 RTD 概述.....	2
2 RTD 测量电路.....	9
3 总结.....	40
4 修订历史记录.....	40

插图清单

图 1-1. PT100 RTD 从 -200°C 至 850°C 的电阻.....	2
图 1-2. PT100 RTD 从 -200°C 至 850°C 的非线性度.....	2
图 1-3. 两线、三线和四线 RTD.....	3
图 1-4. 比例式 RTD 测量示例.....	4
图 1-5. 引线电阻抵消示例.....	5
图 1-6. 交换 IDAC1 和 IDAC2 以截断测量值.....	5
图 2-1. 两线 RTD 低侧基准测量电路.....	10
图 2-2. 两线 RTD 高侧基准测量电路.....	12
图 2-3. 三线 RTD 低侧基准测量电路.....	14
图 2-4. 具有一个 IDAC 电流源的三线 RTD 低侧基准测量电路.....	17
图 2-5. 三线 RTD 高侧基准测量电路.....	20
图 2-6. 四线 RTD 低侧基准测量电路.....	22
图 2-7. 两个串联两线 RTD 低侧基准测量电路.....	24
图 2-8. 两个串联四线 RTD 低侧基准测量电路.....	26
图 2-9. 多个两线 RTD 测量电路.....	28
图 2-10. 多个三线 RTD 测量电路.....	30
图 2-11. 多个并联四线 RTD 测量电路.....	32
图 2-12. 采用低侧基准的通用 RTD 测量接口电路.....	34
图 2-13. 采用高侧基准的通用 RTD 测量接口电路.....	37

表格清单

表 1-1. RTD 容差等级信息.....	3
------------------------	---

1 RTD 概述

RTD 是电阻元件，可随温度改变阻值。由于阻值变化能够得到很好的表征，因此 RTD 可用于进行精密温度测量，测量精度远低于 0.1°C 。RTD 通常由一段缠绕在陶瓷芯或玻璃芯上的导线构成，也可以由镀在基板上的厚膜电阻器构成。导线或电阻通常由铂制成，但也可以采用镍或铜。PT100 是由铂制成的常见 RTD，在 0°C 时电阻为 $100\ \Omega$ 。RTD 元件在 0°C 时的电阻还可以是 $200\ \Omega$ 、 $500\ \Omega$ 、 $1000\ \Omega$ 和 $2000\ \Omega$ 。

1.1 Callendar-Van Dusen 方程

铂 RTD 电阻和温度之间的关系通过 Callendar-Van Dusen (CVD) 方程进行描述。方程式 1 表示 PT100 RTD 在低于 0°C 温度下的电阻，方程式 2 表示 PT100 RTD 在高于 0°C 温度下的电阻。

$$\text{如果 } T < 0: R_{\text{RTD}}(T) = R_0 \cdot \{1 + (A \cdot T) + (B \cdot T^2) + [(C \cdot T^3) \cdot (T - 100)]\} \quad (1)$$

$$\text{如果 } T > 0: R_{\text{RTD}}(T) = R_0 \cdot [1 + (A \cdot T) + (B \cdot T^2)] \quad (2)$$

Callendar-Van Dusen 公式中的系数由 IEC-60751 标准定义。 R_0 是 RTD 在 0°C 时的电阻。对于 PT100 RTD， R_0 为 $100\ \Omega$ 。对于 IEC 60751 标准 PT100 RTD，系数为：

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

PT100 RTD 从 -200°C 至 850°C 的电阻变化如图 1-1 所示。

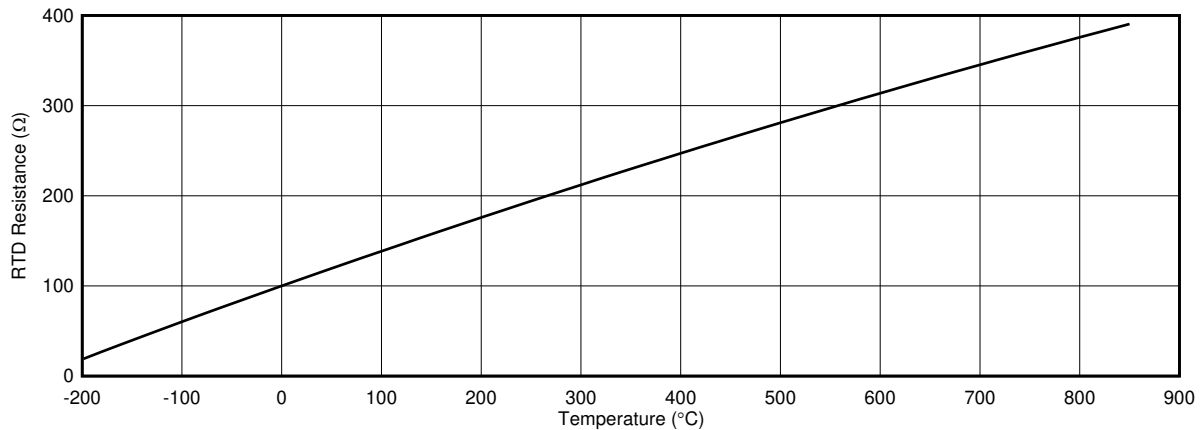


图 1-1. PT100 RTD 从 -200°C 至 850°C 的电阻

虽然 RTD 电阻在小温度范围内的变化具有相当高的线性度，但对图 1-1 所示的曲线进行终点拟合时，便产生非线性度（如图 1-2 所示）。

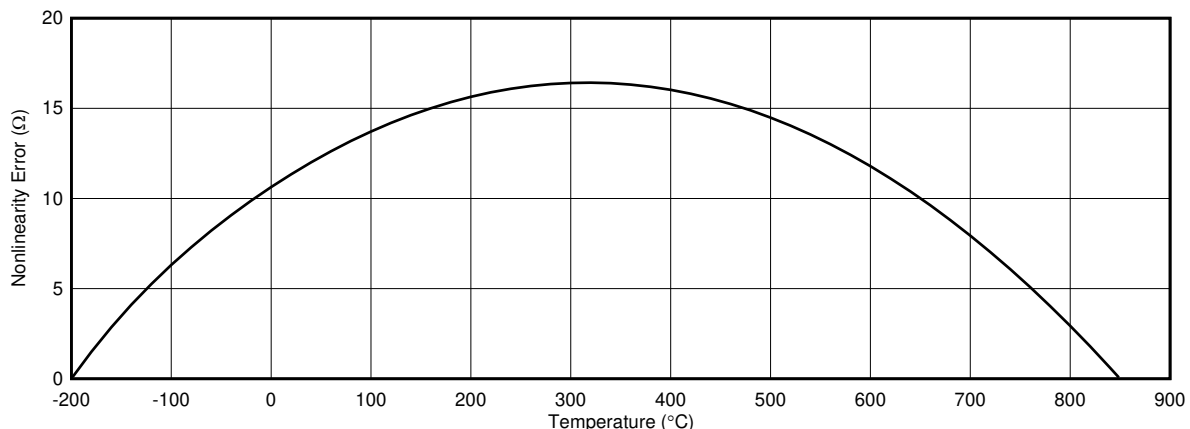


图 1-2. PT100 RTD 从 -200°C 至 850°C 的非线性度

结果显示非线性度大于 $16\ \Omega$ ，这样，即使在小温度范围内也难以实现线性近似。如果温度高于 0°C ，可通过求解 [方程式 2](#) 的二次方程来确定温度。如果温度低于 0°C ，可能难以计算 [方程式 1](#) 的三阶多项式。使用简单的微控制器确定温度可能在计算上比较困难，通常使用查找表来确定温度。

较新的校准标准在分段的温度范围内使用更高阶的多项式来提高计算精度，但 Callendar-Van Dusen 方程仍是常用的转换标准。

1.2 RTD 容差标准

RTD 具有良好的可互换性，因此，凭借良好的精度容差，传感器之间几乎没有差别。这可实现良好的测量精度，即使在不同系统中更换了 RTD 传感器也是如此。

有两项容差标准定义了铂 RTD 精度的等级或级别。美国标准是 ASTM E1137，主要用于北美。欧洲标准称为 DIN 或 IEC 标准。DIN IEC 60751 在全球使用。两项标准都定义了 RTD 的精度，其在 0°C 温度下的基础电阻为 $100\ \Omega$ 。

[表 1-1](#) 显示了不同级别 RTD 的规格。在这两项标准中，RTD 在 0°C 时具有最严格的容差。绝对误差包含比例误差（具有温度系数）。

表 1-1. RTD 容差等级信息

容差	容差值 ($^\circ\text{C}$)	0°C 时的电阻 (Ω)	100°C 时的误差 ($^\circ\text{C}$)
ASTM B 级	$\pm (0.25 + 0.0042 \cdot T)$	100 ± 0.1	± 0.67
ASTM A 级	$\pm (0.13 + 0.0017 \cdot T)$	100 ± 0.05	± 0.3
IEC C 类	$\pm (0.6 + 0.01 \cdot T)$	100 ± 0.24	± 1.6
IEC B 类	$\pm (0.3 + 0.005 \cdot T)$	100 ± 0.12	± 0.8
IEC A 类	$\pm (0.15 + 0.002 \cdot T)$	100 ± 0.06	± 0.35
IEC AA 类	$\pm (0.1 + 0.0017 \cdot T)$	100 ± 0.04	± 0.27
1/10 DIN ⁽¹⁾	$\pm (0.03 + 0.0005 \cdot T)$	100 ± 0.012	± 0.08

(1) 1/10 DIN 不包括在 DIN-IEC 60751 规范中，但却是业内公认的容差，适用于对性能有严格要求的应用。它是 DIN IEC B 类规范的 1/10。

随着等级和级别精确度的提高，每个 RTD 级别容差的额定温度范围变得更小。此外，该范围因 RTD 结构类型而异。有关容差值和温度范围的更多详细信息，请参阅 RTD 制造商的数据表。

1.3 RTD 接线配置

RTD 采用本应用手册中所述的三种不同接线配置。每种接线配置都需要不同的激励和电路拓扑以减少测量误差。[图 1-3](#) 中显示了三种不同的接线配置。

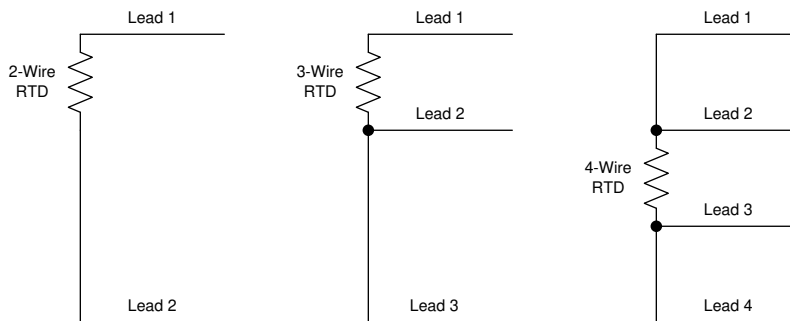


图 1-3. 两线、三线和四线 RTD

在两线配置中，RTD 的两端各连接一根导线。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。

在三线配置中，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。

在四线配置中，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。

1.4 比例式测量

使用 ADC 进行 RTD 测量通常采用比例式测量。图 1-4 所示为比例式测量的基本拓扑。图中所示为具有两线 RTD 和基准电阻 R_{REF} 的 ADC。单个激励电流源 (IDAC1) 用于激励 RTD，并在 ADC 的 R_{REF} 上建立基准电压。

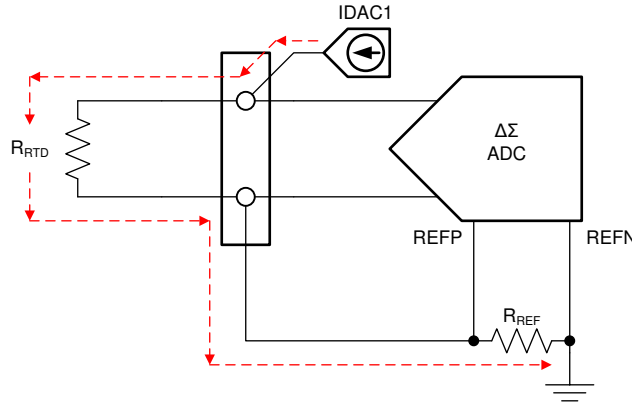


图 1-4. 比例式 RTD 测量示例

借助 IDAC1，ADC 使用 R_{REF} 上的电压作为基准来测量 RTD 上的电压。这样便可提供与 RTD 电压和基准电压之比成比例的输出代码（如方程式 3 所示）。比例式测量将仅产生正输出数据（假设偏移误差为零）。对于全差分测量，这只是 ADC 满量程范围的正半部分，会将测量分辨率降低一位。以下公式假设使用 24 位双极 ADC，其中 $\pm V_{REF}$ 为 ADC 的满量程范围。

$$\text{Output code} = 2^{23} \cdot V_{RTD} / V_{REF} = 2^{23} \cdot I_{IDAC1} \cdot R_{RTD} / (I_{IDAC1} \cdot R_{REF}) \quad (3)$$

电流会抵消，因此公式将简化为方程式 4：

$$\text{Output code} = 2^{23} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (4)$$

最后，RTD 电阻可通过代码表示为基准电阻的函数。

$$R_{RTD} = \text{Output code} \cdot R_{REF} / 2^{23} \quad (5)$$

测量值取决于 RTD 和基准电阻 R_{REF} 的阻值，而不取决于 IDAC1 电流值。因此，激励电流的绝对精度和温度漂移无关紧要。在比例式测量中，只要 IDAC1 在该电路外部没有漏电流，测量值就只取决于 R_{RTD} 和 R_{REF} 。ADC 转换不需要转换为电压。

假设 ADC 具有低增益误差，那么 R_{REF} 通常是最大的误差源。基准电阻必须是具有低漂移和高精度的精密电阻。基准电阻中的任何误差都会在测量中引起增益误差。

1.4.1 引线电阻抵消

图 1-5 中显示了三线 RTD 的引线电阻，并添加了标记为 IDAC2 的第二个激励电流源。

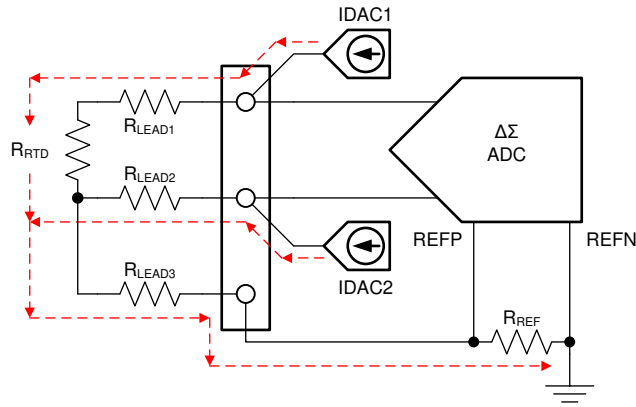


图 1-5. 引线电阻抵消示例

在单个激励电流源下， R_{LEAD1} 会增加测量误差。通过添加 IDAC2，使用第二个激励电流源来消除引线电阻中的误差。当添加引线电阻和第二个电流源时，公式变为：

$$\text{Output code} = 2^{23} \cdot [I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1}) - (I_{IDAC2} \cdot R_{LEAD2})] / [(I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot R_{REF}] \quad (6)$$

如果引线电阻匹配且激励电流匹配，则 $R_{LEAD1} = R_{LEAD2}$ 且 $I_{IDAC1} = I_{IDAC2}$ 。引线电阻抵消，使方程 6 减少至方程 7 中的结果，从而保持比例式测量。

$$\text{Output code} = 2^{23} \cdot R_{RTD} / (2 \cdot R_{REF}) = 2^{22} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (7)$$

$$R_{RTD} = \text{Output code} \cdot R_{REF} / 2^{22} \quad (8)$$

R_{LEAD3} 不纳入测量，因为它不在输入测量路径或基准输入路径中。

1.4.2 IDAC 电流斩波

如上一节所述，必须匹配两个电流源以抵消 RTD 导线的引线电阻。通过使用多路复用器 (MUX) 在两个输入之间对两个电流源进行交换或斩波，可以更大程度地减少两个电流源中的任何不匹配。在每个配置中进行两次测量并对结果求平均值，可以降低不匹配电流源的影响。

使用图 1-5 中的配置，方程 6 得出第一次测量结果。图 1-6 交换 IDAC1 和 IDAC2，方程 9 得出第二次测量结果。

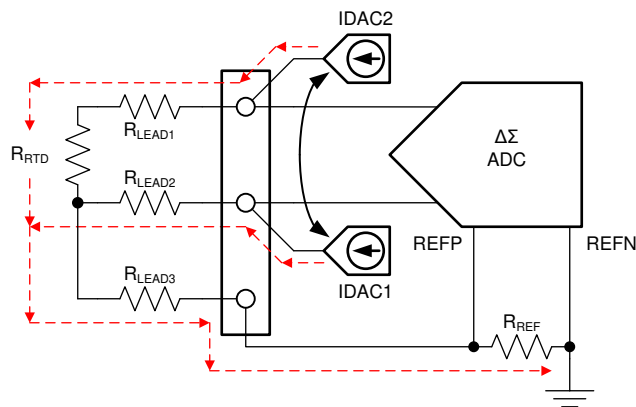


图 1-6. 交换 IDAC1 和 IDAC2 以截断测量值

$$\text{Output code} = 2^{23} \cdot [I_{IDAC2} \cdot (R_{LEAD1} + R_{RTD}) - (I_{IDAC1} \cdot R_{LEAD2})] / [(I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot R_{REF}] \quad (9)$$

为了截断 RTD 测量值，我们对第一次和第二次测量值求平均值。取方程 6，与方程 9 相加，然后除以 2 求平均值。此步骤如下所示：

$$\text{Averaged output code} = \frac{2^{23} \cdot \{ [I_{\text{IDAC1}} \cdot (R_{\text{LEAD1}} + R_{\text{RTD}}) - (I_{\text{IDAC2}} \cdot R_{\text{LEAD2}})] + [I_{\text{IDAC2}} \cdot (R_{\text{LEAD1}} + R_{\text{RTD}}) - (I_{\text{IDAC1}} \cdot R_{\text{LEAD2}})] \}}{2 \cdot [I_{\text{IDAC1}} + I_{\text{IDAC2}}] \cdot R_{\text{REF}}} \quad (10)$$

然后组合 $(I_{\text{IDAC1}} + I_{\text{IDAC2}})$ 项：

$$\text{Averaged output code} = \frac{2^{23} \cdot [(I_{\text{IDAC1}} + I_{\text{IDAC2}}) \cdot (R_{\text{LEAD1}} + R_{\text{RTD}}) - (I_{\text{IDAC1}} + I_{\text{IDAC2}}) \cdot R_{\text{LEAD2}}]}{2 \cdot (I_{\text{IDAC1}} + I_{\text{IDAC2}}) \cdot R_{\text{REF}}} \quad (11)$$

然后抵消 $I_{\text{IDAC1}} + I_{\text{IDAC2}}$ 项，并设置 $R_{\text{LEAD1}} = R_{\text{LEAD2}} = R_{\text{LEAD}}$ 得到以下等式：

$$\text{Averaged output code} = \frac{2^{23} \cdot [(R_{\text{LEAD}} + R_{\text{RTD}}) - R_{\text{LEAD}}]}{2 \cdot R_{\text{REF}}} \quad (12)$$

之后， R_{LEAD} 项也会抵消。

$$\text{Averaged output code} = \frac{2^{23} \cdot R_{\text{RTD}}}{2 \cdot R_{\text{REF}}} = \frac{2^{22} \cdot R_{\text{RTD}}}{R_{\text{REF}}} \quad (13)$$

将结果代入 [方程式 13](#)， I_{IDAC1} 和 I_{IDAC2} 不相等并不重要，重要的是 I_{IDAC1} 和 I_{IDAC2} 在交换后的值相同。如果它们相同，则 $(I_{\text{IDAC1}} + I_{\text{IDAC2}})$ 项抵消。

系统中可能仍有误差。在这里，假设 R_{LEAD1} 和 R_{LEAD2} 相同。如果它们不同，这将成为一个误差。此外，如果测量中存在漏电流（例如，来自 TVS 或其他保护二极管的漏电流），则会导致该误差。

1.5 设计注意事项

设计 RTD 测量系统需要平衡多个不同的设计目标和电路注意事项。选择元件和激励幅值后，设计人员必须验证该设计是否在 ADC 的工作范围内，包括基准电压幅度、PGA 输入范围以及任何激励电流源的顺从电压。本节为设置工作参数以使用精密 ADC 设计 RTD 测量系统提供了基本指南。RTD 测量电路将先进行图 1-4 所示的基本比例式测量。

后面几节介绍了用于测量不同 RTD 接线配置的不同电路拓扑。推而广之，此处的计算可应用于稍后显示的不同拓扑。

1.5.1 确定 RTD 的工作范围

首先确定系统所需的预期温度测量范围，因为这将设置 RTD 电阻测量范围。例如，从 PT100 RTD 开始。PT100 RTD 在温度范围内的电阻如图 1-1 所示。如果所需的系统温度测量范围为 -200°C 至 850°C ，则需要 PT100 RTD 的完整测量范围。在该温度范围内，RTD 的等效电阻范围为 $20\ \Omega$ 至 $400\ \Omega$ 。使用该电阻范围开始设计测量系统。确定温度范围，然后确定 RTD 电阻范围，这有助于在设计中设置激励电流、增益和基准电阻。

1.5.2 设置激励电流源并考虑 RTD 自发热

许多用于 RTD 测量的精密 ADC 将具有多个幅度的可编程激励电流源 (IDAC)。精密 ADC 器件可能有一对匹配的 IDAC 用于激励。这些 IDAC 的电流可以设置为 $10\ \mu\text{A}$ 、 $50\ \mu\text{A}$ 、 $100\ \mu\text{A}$ 、 $250\ \mu\text{A}$ 、 $500\ \mu\text{A}$ 、 $750\ \mu\text{A}$ 、 $1000\ \mu\text{A}$ 、 $1500\ \mu\text{A}$ 和 $2000\ \mu\text{A}$ 。在某些设计中，激励电流用于驱动 RTD、基准电阻和偏置电阻。

为获得出色的噪声性能，请尽可能地增大用于 RTD 和基准电阻激励的激励电流。但是，由于自发热，大多数激励电流应保持在低于 $1\ \text{mA}$ 的水平。由于有电流流经 RTD，RTD 本身将通过发热来耗散功率。这种自发热会导致测量误差。通过将 RTD 的功率耗散除以自发热系数 E 来确定温度变化 (ΔT)，单位为 $\text{mW}/^{\circ}\text{C}$ 。温度的这种变化将成为温度测量误差，如方程式 14 所示。

$$\Delta T = (I_{\text{IDAC}})^2 \cdot R_{\text{RTD}} / E \quad (14)$$

对于小型薄膜元件，RTD 自发热系数的典型范围为 $2.5\ \text{mW}/^{\circ}\text{C}$ ，对于较大的线绕元件，该范围为 $65\ \text{mW}/^{\circ}\text{C}$ 。在最大 RTD 电阻值和较大的自热系数下，使用 $1\ \text{mA}$ 激励，RTD 中的功率耗散小于 $0.4\ \text{mW}$ ，并将自发热导致的测量误差保持在 0.01°C 以下。自发热系数将因 RTD 结构和测量介质（例如在空气或水中）而异。有关传感器特性，请参阅 RTD 制造商数据表。

再次参考图 1-4，此拓扑使用单个 IDAC 电流源。其他拓扑可能使用匹配的源来计算引线电流。

1.5.3 设置基准电压和 PGA 增益

选择 IDAC 电流后，请尽可能使用最大基准电阻，但在设置基准时应考虑几个因素。基准电压必须在最小和最大基准电压范围内才能运行。许多 ADC 的基准电压最小值为 $0.5\ \text{V}$ 。有些器件的基准电压最大值为 $\text{AVDD} - \text{AVSS}$ ，其他器件的基准电压最大值可能较低，为 $\text{AVDD} - \text{AVSS} - 1\ \text{V}$ 。有关外部基准输入范围的更多规格，请参阅 ADC 数据表。

基准电压的一个不错选择是使用接近 $(\text{AVDD} - \text{AVSS})/2$ 的电压。通常，该基准电压用于设置输入测量的共模电压。PGA 放大可能受其输入范围和输出摆幅的限制。通过将输入共模电压设置为 $1/2\ \text{Vs}$ ，PGA 将具有可能的最大范围。许多精密 ADC 具有可放大小输入信号的 PGA。这些 PGA 通常具有 $1\ \text{V}/\text{V}$ 至 $128\ \text{V}/\text{V}$ 的增益，系数为 2。

此外，选择一个可尽可能增加 ADC 可用输入范围的基准电阻。例如，用几个数值来说明会帮助理解。首先使用 PT100 进行两线 RTD 比例式测量，其中最大电阻为 $400\ \Omega$ 。这是图 1-4 中显示的基本比例式测量设置。

如果选择 IDAC 电流为 $1\ \text{mA}$ ，则基准电阻可以选择为 $1620\ \Omega$ 。 $400\ \Omega$ 测量可设置为 PGA 增益为 4。这将使输入电压为 $1.6\ \text{V}$ ，而基准电压设置为 $1.62\ \text{V}$ ，从而使 ADC 的输入电压范围最大化，达到正满量程范围的 98.8%。可以选择 $1600\ \Omega$ 的基准电阻来最大化 ADC，但较小增益误差或电阻误差可能会使 $400\ \Omega$ 测量超出工作范围。本示例选择了高于 1600 的下一个最大的 1% 电阻值。

将基准电压设置为 $1.62\ \text{V}$ 的另一个好处是，它将 RTD 测量值设置为接近 $1/2\ \text{Vs}$ 。 $1.62\ \text{V}$ 基准电压设置 ADC 负输入的输入电压。使用 $1\ \text{mA}$ 的 IDAC 电流和 $400\ \Omega$ 的 RTD 电阻时，输入电压在最大 RTD 电阻时最高，为 $0.4\ \text{V}$ 。这会将 ADC 正输入的输入电压设置为 $2.02\ \text{V}$ 。

选择稍大的电阻只会降低测量的分辨率。如果选择的基准电阻为 $2400\ \Omega$ ，则基准电压变为 2.4V 。与 2.4V 基准电压相比，ADC 输入电压为 1.6V （从 PGA 增益为 4 后的 0.4V 开始），ADC 仅使用正满量程范围的 67%。

1.5.4 验证设计是否符合器件工作范围

确定 RTD 工作范围并选择 IDAC 电流、基准电阻和 PGA 增益后，验证该设计是否仍处于器件的工作范围内。

PGA 的输入范围取决于输入共模电压和 PGA 增益。这对于每个 ADC 可能有所不同。确定每个输入电压运行的最小和最大输入电压以及共模电压。通过将输入共模电压设置为接近 $1/2\ V_s$ ，输入电压应处于 PGA 工作范围内。但请务必通过所选 ADC 数据表中给出的公式验证这一点。有关 PGA 及其输入范围限制的说明，请参阅 ADC 数据表。

此外，计算 IDAC 电流源输出端的电压。当输出电压上升至接近电源电压时，随着电流源的输出阻抗降低，IDAC 电流将失去顺从性。必要时，根据驱动 RTD 电阻、基准电阻和偏置电阻的 IDAC 电流来计算电压。如果该电压过于接近正电源，则电流可能会降低。请注意，此顺从电压将因器件而异，并可能因输出电流大小而异。同样，根据所选 ADC 数据表中的 IDAC 电流源规格验证顺从电压也很重要。

1.5.5 设计迭代

如果设计不在 PGA 的工作范围内或超出 IDAC 的顺从电压，则可能需要再进行一次设计迭代。可能需要减小或增大基准电阻，或更改任何偏置电阻器，以设置 PGA 输入范围或将 IDAC 输出设置为符合顺从电压。

2 RTD 测量电路

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 元件规范，TI 不承担其准确性和完整性。TI 的客户应负责确定各元件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计实现，以确认系统功能。

以下各节介绍了三种 RTD 接线配置的电路拓扑。每节均提供了电路的基本拓扑结构以及优点和缺点。不同的拓扑具有不同的模拟输入、基准输入和 IDAC 输出连接。此外还介绍了基本工作原理，并附有注释，以指导读者了解设计中的重要注意事项。但是，可以按照与[设计注意事项](#)一节类似的设计过程来确定系统值和参数。后面几节介绍了使用不同 RTD 组合进行的测量，这些测量能够实现更通用的温度测量系统。这些电路使用具有多路复用器的单个 ADC 来测量多个元件，并将激励电流流到传感器。

本手册显示了通用 24 位双极 ADC 在使用其正满量程范围时的转换结果。使用 16 位 ADC 进行的转换具有相似的计算方式。结果显示为基准电阻的函数。转换为温度取决于各个 RTD 模型的线性度和误差，本应用手册对此不进行讨论。

2.1 采用低侧基准的两线 RTD 测量

最基本的 RTD 测量使用两线 RTD 进行温度测量。下面显示了使用 ADC 进行两线 RTD 测量的原理图和设计。通过将 RTD 用作输入，并将精密电阻用作基准输入，可创建比例式测量。

2.1.1 原理图

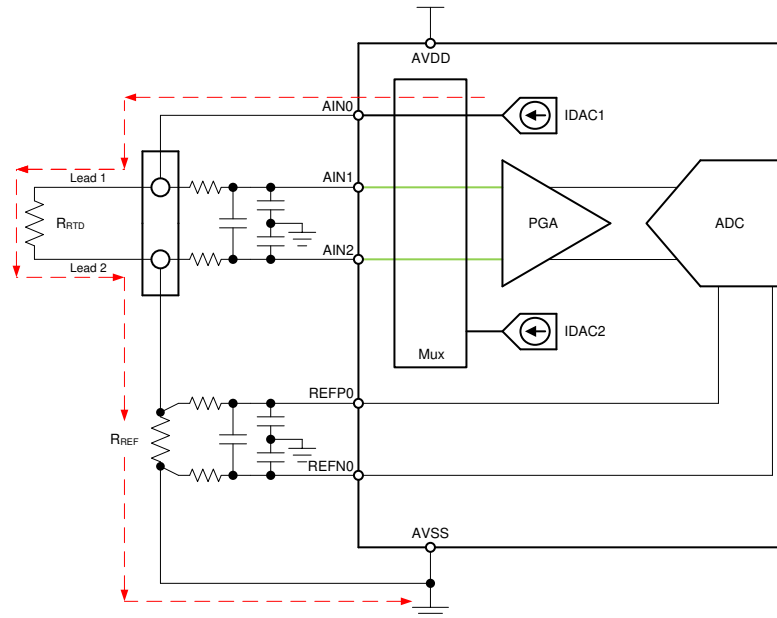


图 2-1. 两线 RTD 低侧基准测量电路

2.1.2 优缺点

优势：

- 轻松实现 RTD 温度测量
- 仅使用两个模拟输入引脚进行测量，并使用一个 IDAC 电流进行传感器和基准电阻激励
- 适用于引线长度较短和电阻较小的本地测量
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- RTD 的最不精确测量
- 无引线补偿；引线电阻会影响测量精度

2.1.3 设计说明

IDAC 电流源可驱动 RTD 和基准电阻 R_{REF} 。由于同一电流驱动两个元件，因此 ADC 测量是比例式测量。RTD 电阻的计算不需要转换为电压，但需要具有高精度和低漂移的精密基准电阻。

测量电路需要：

- 单个专用 IDAC 输出引脚
- AINP 和 AINN 输入
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

首先，确定 RTD 的工作范围。例如，如果温度测量范围为 -200°C 至 850°C ，那么 PT100 RTD 的范围为 $20\ \Omega$ 至 $400\ \Omega$ 。

基准电阻必须大于最大 RTD 值。基准电阻和 PGA 增益决定了测量的正满量程范围。

然后，选择基准电阻和 IDAC 电流值。理想情况下，选择最大 IDAC 电流可将传感器信号增加到高于系统中任何噪声的水平，从而提供出色的性能。但是，在确定这些值时还需要考虑其他几个因素。首先，较高的电流可能会导致 RTD 自发热，这会增加测量误差。其次，基准电阻可在传感器测量中进行电平转换。该电平转换用于提高模

拟输入信号的直流偏置，以便电压处于 PGA 的输入范围内。通常，为了实现出色运行，模拟输入信号设置在接近 $1/2 V_s$ 的位置。

要验证设计是否在 ADC 工作范围内，请计算 AIN1 和 AIN2 的电压以及最大差分输入电压。在给定增益设置和电源电压的情况下，验证 V_{AIN1} 和 V_{AIN2} 是否处于 PGA 的输入范围内。根据所需的温度测量值使用最大 RTD 电阻。

$$V_{AIN1} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{REF}) \quad (15)$$

$$V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot R_{REF} \quad (16)$$

此外，根据 V_{AIN1} 计算得出的 IDAC 源输出电压必须足够低于 $AVDD$ ，才能处于 IDAC 电流源的顺从电压范围内。当 IDAC 输出电压上升到太接近 $AVDD$ 时，IDAC 将失去顺从性并且激励电流将减小。

基准电阻器 R_{REF} 必须是具有高精度和低漂移的精密电阻器。 R_{REF} 中的任何误差在 RTD 测量也会出现。所示出的 REFPO 和 REFNO 引脚作为开尔文连接与 R_{REF} 电阻器相连，以获得最佳的基准电压测量值。这消除了作为基准电阻测量误差的一切串联电阻。

引线电阻是两线 RTD 测量中的一个误差项。之前的计算忽略了引线电阻，但可以添加到 R_{RTD} 项中。

2.1.4 测量转换

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{RTD} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot (I_{IDAC1} \cdot R_{RTD}) / (I_{IDAC1} \cdot R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (17)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output Code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (18)$$

2.1.5 通用的寄存器设置

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动 RTD 的引线 1

2.2 采用高侧基准的两线 RTD 测量

也可以使用高侧基准进行两线 RTD 温度测量。就其本身而言，在两线 RTD 应用中，高侧基准与低侧基准相比没有任何优势。但是，它可用于设置采用高侧基准的其他 RTD 测量。

2.2.1 原理图

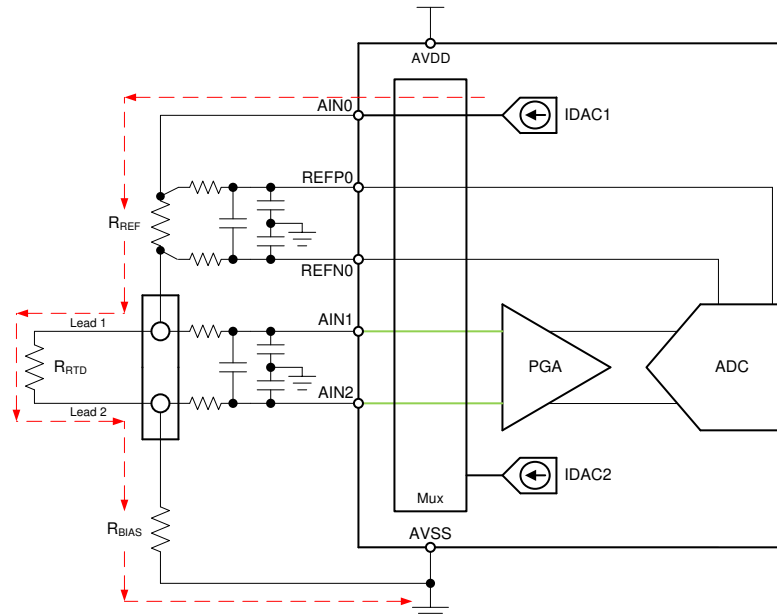


图 2-2. 两线 RTD 高侧基准测量电路

2.2.2 优缺点

优势：

- 轻松实现 RTD 温度测量
- 仅需两个模拟输入引脚即可进行测量，并使用一个 IDAC 电流进行传感器和基准电阻激励
- 适用于引线长度较短和电阻较小的本地测量
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- RTD 的最不精确测量
- 无引线补偿；引线电阻会影响测量
- 需要 R_{BIAS} 来设置 RTD 测量精度的输入共模电压

2.2.3 设计说明

IDAC 电流源驱动 RTD、 R_{REF} 和 R_{BIAS} 。与节 2.1 中的两线 RTD 设计类似，相同的电流驱动 RTD 和 R_{REF} ，从而创建比例式测量，以便将 ADC 输出计算为 RTD 电阻与基准电阻之比。

但是，在高侧基准应用中，测量需要 R_{BIAS} 将 RTD 测量设置为接近 $1/2 V_s$ ，以便 AIN1 和 AIN2 在 PGA 的范围内。此外，使用 R_{BIAS} 会增加在 AIN0 处看到的直流电压，该电压必须足够低，才能在 IDAC 输出的顺从电压范围内。

测量电路需要：

- 单个专用 IDAC 输出引脚
- AINP 和 AINN 输入
- 外部基准输入
- 精密基准电阻
- 偏置电阻，用于在 PGA 范围内对输入测量进行电平转换

首先，确定 RTD 的工作范围。基准电阻和 PGA 增益决定了测量的正满量程范围。

然后，选择基准电阻和 IDAC 电流值。与之前的电路拓扑一样，选择基准电阻和 IDAC 电流可平衡多个设计考虑因素，包括信号噪声、RTD 自发热、将输入设置为接近 $1/2 V_S$ 以使测量值保持在 PGA 的输入范围内，以及将 IDAC 的输出电压保持在顺从输出电压范围内。在该高侧基准中，由于增加了 R_{BIAS} ，电阻会更大，因此更有可能超出顺从范围。

要验证设计是否在 ADC 工作范围内，请计算 AIN1 和 AIN2 的电压以及最大差分输入电压。在给定增益设置和电源电压的情况下，验证 V_{AIN1} 和 V_{AIN2} 是否处于 PGA 的输入范围内。根据所需的温度测量值使用最大 RTD 电阻。 R_{BIAS} 电阻可在传感器测量中进行电平转换。该电平转换会提高模拟输入信号的直流偏置，以便电压处于 PGA 的输入范围内。通常，为了实现出色运行，模拟输入信号设置在接近 $1/2 V_S$ 的位置。

$$V_{AIN1} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{BIAS}) \quad (19)$$

$$V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot R_{BIAS} \quad (20)$$

最后，根据 V_{AIN0} 计算得出的 IDAC 源输出电压必须足够低于 AV_{DD} ，才能处于 IDAC 电流源的顺从电压范围内。通过增加 R_{BIAS} ， R_{REF} 、 R_{RTD} 和 R_{BIAS} 上的电压之和明显高于低侧基准示例。当 IDAC 输出电压上升到太接近 AV_{DD} 时，IDAC 将失去顺从性并且激励电流将减小。AIN0 处 IDAC 的输出电压可通过 [方程式 21](#) 计算得出。

$$V_{AIN0} = I_{IDAC1} \cdot (R_{REF} + R_{RTD} + R_{BIAS}) \quad (21)$$

基准电阻器 R_{REF} 必须是具有高精度和低漂移的精密电阻器。 R_{REF} 中的任何误差在 RTD 测量也会出现。所示出的 REFPO 和 REFNO 引脚作为开尔文连接与 R_{REF} 电阻器相连，以获得最佳的基准电压测量值。这消除了作为基准电阻测量误差的一切串联电阻。

引线电阻是两线 RTD 测量中的一个误差项。之前的计算忽略了引线电阻，但可以添加到 R_{RTD} 项中。

2.2.4 测量转换

$$\text{Output code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{RTD} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC1} \cdot R_{RTD} / (I_{IDAC1} \cdot R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (22)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (23)$$

2.2.5 通用的寄存器设置

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准（IDAC 需要启用内部基准）
- 设置 IDAC 幅度并选择 IDAC1 输出引脚以驱动 REFPO

2.3 三线 RTD 测量，低侧基准

使用匹配的 IDAC 电流源，可以消除 RTD 引线电阻产生的误差。使用低侧基准进行此测量时需要三线 RTD。

2.3.1 原理图

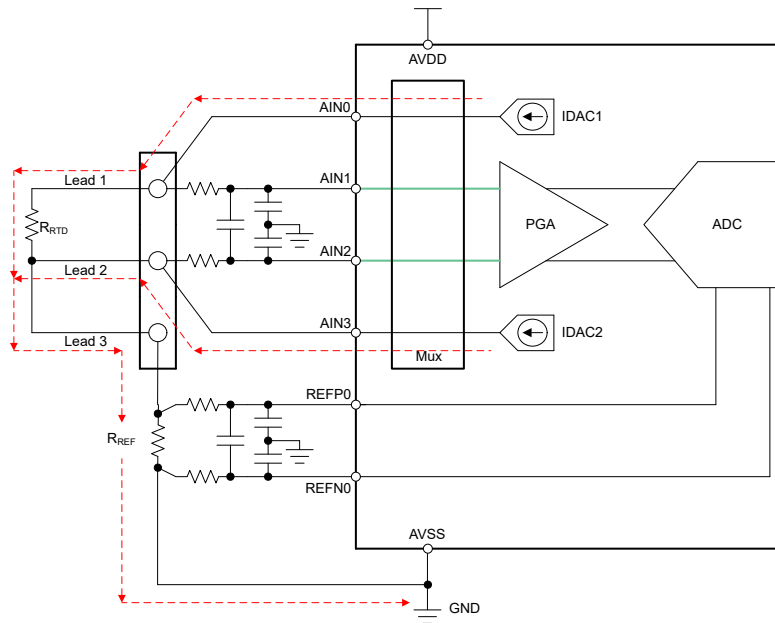


图 2-3. 三线 RTD 低侧基准测量电路

2.3.2 优缺点

优势：

- IDAC 电流用于传感器和基准电阻激励
- 支持引线补偿；消除了引线电阻上压降产生的误差
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- 需要两个匹配的 IDAC 电流用于引线补偿和 R_{RTD} 测量

2.3.3 设计说明

对于这种三线 RTD 设计，使用两个匹配的 IDAC 电流源主动消除引线电阻误差。IDAC1 通过 RTD 的引线 1 将电流拉至 RTD 和基准电阻 R_{REF} 。IDAC2 通过 RTD 的引线 2 将电流拉至基准电阻。如果 IDAC1 和 IDAC2 相同且引线电阻匹配，则在根据 AIN1 和 AIN2 进行的测量中，引线电阻误差会消除。

测量电路需要：

- 两个专用 IDAC 输出引脚
- AINP 和 AINN 输入
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

请注意，RTD 由 IDAC1 驱动，而 R_{REF} 由 IDAC1 和 IDAC2 共同驱动。假设 IDAC 电流匹配，则测量也是比例式测量，无需将输入或基准转换为电压即可进行转换。与两线 RTD 测量一样，该拓扑需要具有高精度和低漂移的精密基准电阻器。

来自 AIN0 和 AIN3 的 IDAC 电流被驱动到三条 RTD 引线中的两条引线。IDAC1 驱动 RTD 和一个引线电阻，而 IDAC2 驱动第二个引线电阻。假设 IDAC 电流匹配且引线电阻匹配，则在 ADC 测量中引线电阻两端的压降相互抵消。如果没有引线电阻，则测量电压为 $I_{IDAC1} \cdot R_{RTD}$ ，而基准电压为 $(I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot R_{REF}$ 。如果两个 IDAC 电流匹配，则 IDAC 项会在测量转换时消失。

下面显示了匹配的 IDAC 源如何消除引线电阻误差。方程式 24 和方程式 25 从 AIN1 和 AIN2 处的电压开始，并包含引线电阻贡献。

$$V_{AIN1} = [I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1})] + [(I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot (R_{LEAD3} + R_{REF})] \quad (24)$$

$$V_{AIN2} = (I_{IDAC2} \cdot R_{LEAD2}) + [(I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot (R_{LEAD3} + R_{REF})] \quad (25)$$

ADC 输入电压测量 $V_{AIN1} - V_{AIN2}$ ， R_{LEAD3} 和 R_{REF} 项会消失。

$$V_{AIN1} - V_{AIN2} = [I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1})] - (I_{IDAC2} \cdot R_{LEAD2}) \quad (26)$$

假设引线电阻相等且 IDAC 电流匹配，以便 $R_{LEAD1} = R_{LEAD2} = R_{LEAD}$ 并且 $I_{IDAC1} = I_{IDAC2} = I_{IDAC}$ 。结果变成：

$$V_{AIN1} - V_{AIN2} = I_{IDAC} \cdot R_{RTD} \quad (27)$$

同时，基准电阻将 I_{IDAC1} 和 I_{IDAC2} 的总和分流为：

$$V_{REF} = (I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot R_{REF} = 2 \cdot I_{IDAC} \cdot R_{REF} \quad (28)$$

与两线 RTD 示例一样，使用 RTD 的预期可用范围开始设计。选择基准电阻和 IDAC 电流值以将输入电压置于 PGA 范围内，同时确保 IDAC 在其顺从电压范围内运行。正如在所有比例式测量中那样，基准电阻 R_{REF} 必须是具有高精度和低漂移的精密电阻器。

要验证设计是否在 ADC 工作范围内，请先计算 AIN1 和 AIN2 的电压以及最大差分输入电压。假设引线电阻很小，可以忽略，方程式 24 和方程式 25 可简化为方程式 29 和方程式 30。在给定增益设置和电源电压的情况下，验证 V_{AIN1} 和 V_{AIN2} 是否处于 PGA 的输入范围内。根据所需的温度测量值使用最大 RTD 电阻。

$$V_{AIN1} = (I_{IDAC1} \cdot R_{RTD}) + (I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot R_{REF} \quad (29)$$

$$V_{AIN2} = (I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot R_{REF} \quad (30)$$

此外，验证根据 V_{AIN0} 和 V_{AIN3} 计算得出的 IDAC 源输出电压是否足够低于 $AVDD$ ，以便处于 IDAC 电流源的顺从电压范围内。由于 IDAC1 的电压始终高于 IDAC2 的电压，因此计算 V_{AIN0} 处的输出电压足以验证 IDAC 顺从电压。该计算已显示在方程式 29 中，因为 V_{AIN0} 与 V_{AIN1} 的电势相同。

基准电阻器 R_{REF} 必须是具有高精度和低漂移的精密电阻器。 R_{REF} 中的任何误差在 RTD 测量也会出现。所示出的 REFP0 和 REFNO 引脚作为开尔文连接与 R_{REF} 电阻器相连，以获得最佳的基准电压测量值。这消除了作为基准电阻测量误差的一切串联电阻。

2.3.4 测量转换

$$\text{Output code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{RTD} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC} \cdot R_{RTD} / (2 \cdot I_{IDAC} \cdot R_{REF}) = 2^{22} \cdot \text{Gain} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (31)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output code} / (2^{22} \cdot \text{Gain}) \quad (32)$$

2.3.5 通用的寄存器设置

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小，并选择 IDAC1 输出引脚以驱动 RTD 的引线 1，选择 IDAC2 输出引脚以驱动 RTD 的引线 2

2.3.6 进行 IDAC 电流斩波以实现匹配

如前所述，IDAC 电流匹配非常重要。IDAC 电流失配对引线补偿的影响很小，因为额外误差很小。但是，IDAC 电流失配会导致 RTD 测量中出现增益误差。例如，如果 IDAC2 比 IDAC1 大 1%，则基准将比预期大 0.5%，从而导致 0.5% 的增益误差：

$$V_{REF} = (I_{IDAC1} + 1.01 \cdot I_{IDAC1}) \cdot R_{REF} = 2.01 \cdot I_{IDAC1} \cdot R_{REF} \quad (33)$$

这种由 IDAC 电流源失配导致的增益误差可通过进行 IDAC 电流斩波来消除：即在交换 IDAC 电流后进行测量，再对两次测量结果求平均值。从原始配置开始，输入电压和基准电压如下所示。方程式 34 表示第一次测量值，而方程式 35 表示基准电压值。

$$V_{MEAS1} = [I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1})] - (I_{IDAC2} \cdot R_{LEAD2}) \quad (34)$$

$$V_{REF} = (I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot R_{REF} \quad (35)$$

如果交换了 IDAC，使 IDAC2 由 AIN0 提供，IDAC1 由 AIN3 提供，则基准电压保持不变。但是，第二次测量值现在变为：

$$V_{MEAS2} = [I_{IDAC2} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1})] - (I_{IDAC1} \cdot R_{LEAD2}) \quad (36)$$

对第一次和第二次输入测量结果求平均值，可得出：

$$(V_{MEAS1} + V_{MEAS2}) / 2 = [(I_{IDAC1} + I_{IDAC1}) \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1}) / 2] - [(I_{IDAC1} + I_{IDAC1}) \cdot R_{LEAD2} / 2] \quad (37)$$

得到的 ADC 测量结果为：

$$\text{Averaged output code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot \frac{\{(I_{IDAC1} + I_{IDAC1}) \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1}) / 2\} - \{(I_{IDAC1} + I_{IDAC1}) \cdot R_{LEAD2} / 2\}}{(I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot R_{REF}} \quad (38)$$

求平均值时， $(I_{IDAC1} + I_{IDAC2})$ 项抵消；如果引线电阻相等，它们也可以抵消：

$$\text{Averaged output code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{RTD} / (2 \cdot R_{REF}) = 2^{22} \cdot \text{Gain} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (39)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Averaged output code} / (2^{22} \cdot \text{Gain}) \quad (40)$$

通过求平均值，ADC 输出代码不再依赖于 IDAC 电流匹配，从而实现更精确的测量。

要进行 IDAC 电流斩波，请设置寄存器值：

- 对于第一次测量，请为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以测量三线 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小，并选择 IDAC1 输出引脚以驱动 RTD 的引线 1，选择 IDAC2 输出引脚以驱动 RTD 的引线 2
- 对于第二次测量，请交换 IDAC 输出引脚，选择 IDAC2 输出引脚来驱动 RTD 的引线 1，选择 IDAC1 输出引脚来驱动 RTD 的引线 2
- 对第一次和第二次测量结果求平均值

2.4 三线 RTD 测量，低侧基准，一个 IDAC 电流源

在该电路拓扑中，使用两次测量来进行 RTD 测量并补偿引线电阻。不使用两个匹配的 IDAC 电流源来消除引线电阻，而是使用单个 IDAC 电流，并单独测量引线电阻以消除引线电阻。

2.4.1 原理图

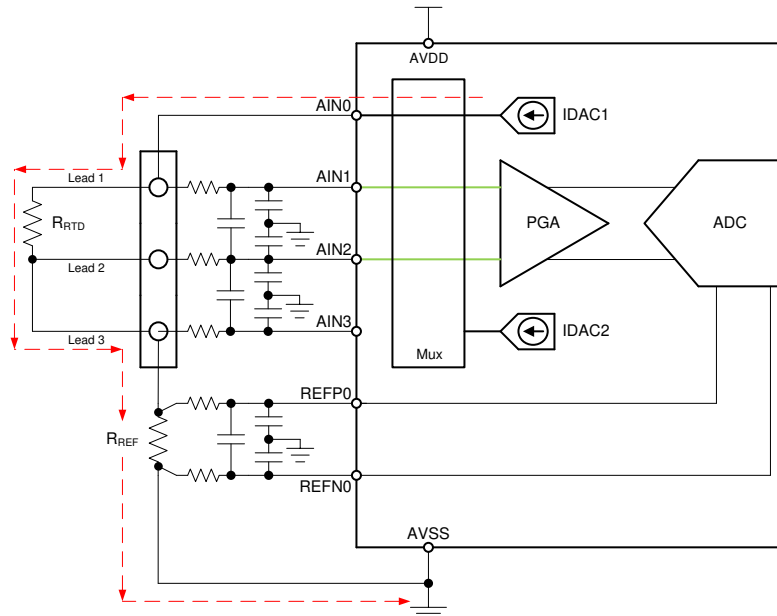


图 2-4. 具有一个 IDAC 电流源的三线 RTD 低侧基准测量电路

2.4.2 优缺点

优势：

- 单个 IDAC 电流用于传感器和基准电阻激励；无需对 IDAC 失配进行斩波
- 支持引线补偿；消除了引线电阻上压降产生的误差
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- 需要进行两次测量以消除引线电阻误差

2.4.3 设计说明

在此拓扑中，进行了两次测量以消除引线电阻。在第一次测量中，ADC 测量 RTD 两端的电压以及由单个激励电流源驱动的引线 1 的电阻。在第二次测量中，ADC 测量由同一激励电流源驱动的引线 3 的电阻。该方法假设引线 1 和引线 3 中的电阻相等。将第一个测量值减去第二个测量值，可以精确测量 RTD 电阻并消除引线电阻。

测量电路需要：

- 单个专用 IDAC 输出引脚
- AINP 和 AINN 输入
- 测量 RTD 和寄生引线电阻
- 进行第二次测量，以测量要消除的等效引线电阻
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

从 IDAC1 驱动 AIN0 开始，可以计算 AIN1 和 AIN2 处的电压。对于第一次测量：

$$V_{AIN1} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1} + R_{LEAD3} + R_{REF}) \quad (41)$$

$$V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot (R_{LEAD3} + R_{REF}) \quad (42)$$

$$V_{MEAS1} = V_{AIN1} - V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1}) \quad (43)$$

由于电流不会流经引线 2，因此测量中没有 R_{LEAD2} 项。对于第二次测量，ADC 测量从 AIN2 到 AIN3 的电压。

$$V_{AIN3} = I_{IDAC1} \cdot R_{REF} \quad (44)$$

$$V_{MEAS2} = V_{AIN2} - V_{AIN3} = I_{IDAC1} \cdot R_{LEAD3} \quad (45)$$

V_{MEAS2} 生成引线 3 电阻的测量值。用 V_{MEAS1} 减去 V_{MEAS2} ，结果为：

$$V_{MEAS1} - V_{MEAS2} = [I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1})] - (I_{IDAC1} \cdot R_{LEAD3}) \quad (46)$$

假设引线 1 的电阻等于引线 3 的电阻，则结果为：

$$V_{MEAS1} - V_{MEAS2} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1} - R_{LEAD3}) = I_{IDAC1} \cdot R_{RTD} \quad (47)$$

对于 V_{MEAS1} 和 V_{MEAS2} ，基准电阻器将 I_{IDAC1} 分流，得出基准电压为：

$$V_{REF} = I_{IDAC} \cdot R_{REF} \quad (48)$$

与前面的示例一样，使用 RTD 的预期可用范围开始设计。选择基准电阻和 IDAC 电流值以将输入电压置于 PGA 范围内，同时确保 IDAC 在其顺从电压范围内运行。正如在所有比例式测量中那样，基准电阻 R_{REF} 必须是具有高精度和低漂移的精密电阻器。

要验证设计是否在 PGA 工作范围内，请先计算 AIN1 和 AIN2 的电压以及最大差分输入电压。假设引线电阻很小，可以忽略，[方程式 41](#) 和 [方程式 42](#) 可简化为 [方程式 49](#) 和 [方程式 50](#)。在给定增益设置和电源电压的情况下，验证 V_{AIN1} 和 V_{AIN2} 是否处于 PGA 的输入范围内。根据所需的温度测量值使用最大 RTD 电阻。

$$V_{AIN1} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{REF}) \quad (49)$$

$$V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot R_{REF} \quad (50)$$

此外，验证根据 V_{AIN0} 和 V_{AIN3} 计算得出的 IDAC 源输出电压是否足够低于 AV_{DD} ，以便处于 IDAC 电流源的顺从电压范围内。由于 IDAC1 的电压始终高于 IDAC2 的电压，因此计算 V_{AIN0} 处的输出电压足以验证 IDAC 顺从电压。该计算已显示在 [方程式 49](#) 中，因为 V_{AIN0} 与 V_{AIN1} 的电势相同。

基准电阻器 R_{REF} 必须是具有高精度和低漂移的精密电阻器。 R_{REF} 中的任何误差在 RTD 测量也会出现。所示出的 REFPO 和 REFNO 引脚作为开尔文连接与 R_{REF} 电阻器相连，以获得最佳的基准电压测量值。这消除了作为基准电阻测量误差的一切串联电阻。

2.4.4 测量转换

测量 $V_{\text{MEAS1}} = V_{\text{RTD}} + V_{\text{LEAD1}}$ 的电压：

$$\text{Output code 1} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot (V_{\text{RTD}} + V_{\text{LEAD1}}) / V_{\text{REF}} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{\text{IDAC}} \cdot (R_{\text{RTD}} + R_{\text{LEAD1}}) / (I_{\text{IDAC}} \cdot R_{\text{REF}}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot \frac{R_{\text{RTD}} + R_{\text{LEAD1}}}{R_{\text{REF}}} \quad (51)$$

测量 $V_{\text{MEAS2}} = V_{\text{LEAD3}}$ 的电压：

$$\text{Output code 2} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{\text{LEAD3}} / V_{\text{REF}} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{\text{IDAC}} \cdot R_{\text{LEAD3}} / (I_{\text{IDAC}} \cdot R_{\text{REF}}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{\text{LEAD3}} / R_{\text{REF}} \quad (52)$$

假设引线电阻相等，用 V_{MEAS1} 减去 V_{MEAS2} 可得到 RTD 测量值：

$$\text{Output code 1} - \text{Output code 2} = [2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot (V_{\text{RTD}} + V_{\text{LEAD1}}) / V_{\text{REF}}] - [2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{\text{LEAD3}} / R_{\text{REF}}] = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot \frac{V_{\text{RTD}}}{V_{\text{REF}}} \quad (53)$$

$$R_{\text{RTD}} = R_{\text{REF}} \cdot (\text{Output code 1} - \text{Output code 2}) / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (54)$$

2.4.5 配置寄存器设置

- 对于第一次测量，请为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以测量三线 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准（IDAC 需要启用内部基准）
- 设置 IDAC 大小，并选择 IDAC1 输出引脚以驱动 RTD 的引线 1，选择 IDAC2 输出引脚以驱动 RTD 的引线 2
- 对于第二次测量，请为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以测量三线 RTD 的引线 2 和 3
- 用第一次测量结果减去第二次测量结果，以消除引线电阻

2.5 三线 RTD 测量，高侧基准

在测量中使用高侧基准可降低 IDAC1 和 IDAC2 的匹配要求。在该拓扑中，单个 IDAC 电流流经 RTD 和 R_{REF} ，从而消除 IDAC 失配导致的增益误差。

2.5.1 原理图

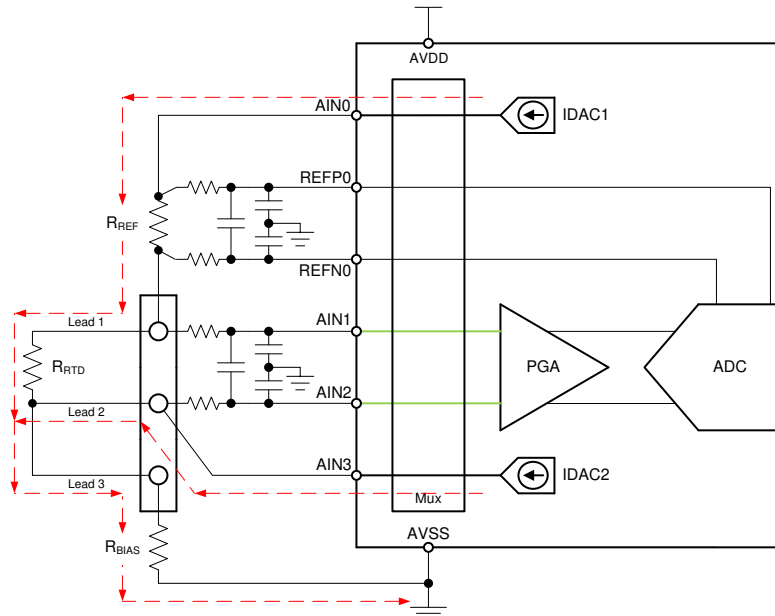


图 2-5. 三线 RTD 高侧基准测量电路

2.5.2 优缺点

优势：

- 单个 IDAC 电流用于传感器和基准电阻激励，测量对 IDAC 电流匹配的依赖程度较低
- 支持引线补偿；可补偿引线电阻上的压降
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- 需要 R_{BIAS} 来设置 RTD 测量的输入共模电压

2.5.3 设计说明

与采用低侧基准的三线 RTD 测量类似，采用高侧基准的测量使用引线补偿来消除作为测量误差的引线电阻。但是，使用高侧基准时，要使用相同的电流来驱动基准电阻和 RTD。使用第二个 IDAC 电流的引线补偿不会引入 IDAC 不匹配的增益误差项。使用高侧基准可降低该测量对 IDAC 电流失配的依赖性，从而无需进行斩波。

测量电路需要：

- 单个专用 IDAC 输出引脚
- AINP 和 AINN 输入
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

IDAC1 向 R_{REF} 提供电流，然后电流流入三线 RTD 的引线 1。与低侧电流测量类似，IDAC2 向 RTD 的引线 2 注入电流，用于消除引线电阻产生的误差。IDAC1 和 IDAC2 均流入 R_{BIAS} ，这是建立输入信号的直流偏移量所必需的。该直流偏移量将 RTD 电压设置为接近于 $1/2 V_s$ ，以便输入处于 PGA 的输入范围内。

与之前的拓扑一样，该测量是比例式测量，无需将输入或基准转换为电压即可进行转换。与之前的 RTD 测量一样，该拓扑需要具有高精度和低漂移的精密基准电阻器。

计算 AIN1 和 AIN2 的输入电压，结果为：

$$V_{AIN1} = [I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1})] + [(I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot (R_{LEAD3} + R_{BIAS})] \quad (55)$$

$$V_{AIN2} = (I_{IDAC2} \cdot R_{LEAD2}) + [(I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot (R_{LEAD3} + R_{BIAS})] \quad (56)$$

ADC 输入电压测量 $V_{AIN1} - V_{AIN2}$ ， R_{LEAD3} 和 R_{BIAS} 项会消失。

$$V_{AIN1} - V_{AIN2} = [I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1})] - (I_{IDAC2} \cdot R_{LEAD2}) \quad (57)$$

假设引线电阻相等且 IDAC 电流匹配， $I_{IDAC1} = I_{IDAC2} = I_{IDAC}$ 。结果变成：

$$V_{AIN1} - V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot R_{RTD} \quad (58)$$

同时，基准电阻仅由 IDAC1 驱动：

$$V_{REF} = I_{IDAC1} \cdot R_{REF} \quad (59)$$

与前面的示例一样，使用 RTD 的预期可用范围开始设计。选择基准电阻和 IDAC 电流值以将输入电压置于 PGA 范围内，同时确保 IDAC 在其顺从电压范围内运行。正如在所有比例式测量中那样，基准电阻 R_{REF} 必须是具有高精度和低漂移的精密电阻器。

要验证设计是否在 PGA 工作范围内，请先计算 AIN1 和 AIN2 的电压以及最大差分输入电压。假设引线电阻很小，可以忽略，[方程式 55](#) 和 [方程式 56](#) 可简化为 [方程式 60](#) 和 [方程式 61](#)。在给定的增益设置和电源电压的情况下，验证 V_{AIN1} 和 V_{AIN2} 是否处于 PGA 的输入范围内。根据所需的温度测量值使用最大 RTD 电阻。

$$V_{AIN1} = (I_{IDAC1} \cdot R_{RTD}) + [(I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot R_{BIAS}] \quad (60)$$

$$V_{AIN2} = (I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot (R_{BIAS}) \quad (61)$$

此外，验证根据 V_{AIN0} 和 V_{AIN3} 计算得出的 IDAC 源输出电压是否足够低于 AVDD，以便处于 IDAC 电流源的顺从电压范围内。由于 IDAC1 的电压始终高于 IDAC2 的电压，因此计算 V_{AIN0} 处的输出电压足以验证 IDAC 顺从电压。AIN0 处 IDAC 的输出电压可通过 [方程式 62](#) 计算得出。

$$V_{AIN0} = [I_{IDAC1} \cdot (R_{REF} + R_{RTD})] + [(I_{IDAC1} + I_{IDAC2}) \cdot R_{BIAS}] \quad (62)$$

基准电阻器 R_{REF} 必须是具有高精度和低漂移的精密电阻器。 R_{REF} 中的任何误差在 RTD 测量也会出现。所示出的 REFPO 和 REFNO 引脚作为开尔文连接与 R_{REF} 电阻器相连，以获得最佳的基准电压测量值。这消除了作为基准电阻测量误差的一切串联电阻。

2.5.4 测量转换

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{RTD} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC} \cdot R_{RTD} / (I_{IDAC} \cdot R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (63)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (64)$$

2.5.5 配置寄存器设置

对于此类测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小，并选择 IDAC1 输出引脚以驱动基准电阻器 R_{REF} ，选择 IDAC2 输出引脚以驱动 RTD 的引线 2

2.6 四线 RTD 测量，低侧基准

四线 RTD 具有出色测量精度。与 IDAC 电流发生反应的引线电阻不会为 ADC 测量增加误差项。

2.6.1 原理图

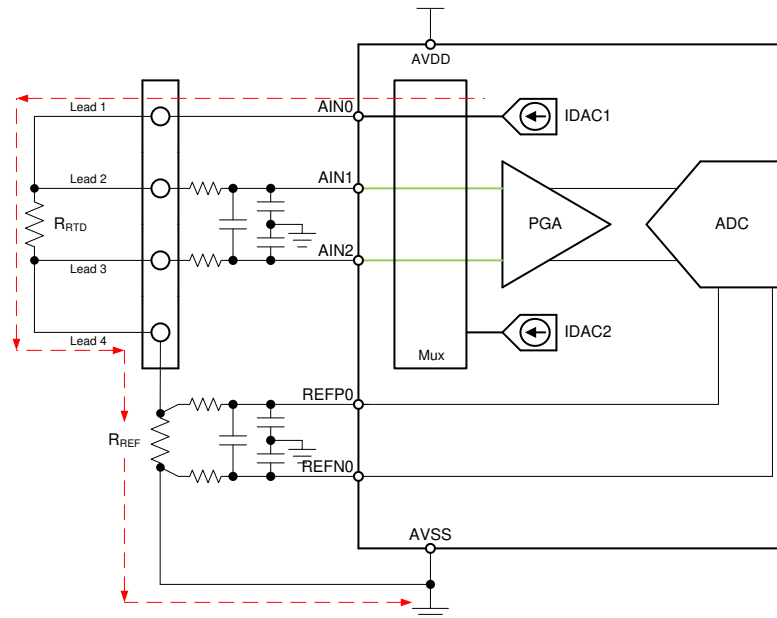


图 2-6. 四线 RTD 低侧基准测量电路

2.6.2 优缺点

优势：

- 单个 IDAC 电流用于传感器和基准电阻激励
- RTD 测量具有出色精度，无需引线补偿
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- 四线 RTD 是成本最高的 RTD 配置

2.6.3 设计说明

该设计应与节 2.1 中的两线 RTD 设计完全相同。IDAC 电流流经备用输入，并在 AIN1 和 AIN2 之间进行测量。但是，在基准电阻阻值、IDAC 电流、基准电压和 PGA 输入电压方面的注意事项完全相同。

测量电路需要：

- 单个专用 IDAC 输出引脚
- AINP 和 AINN 输入
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

要验证设计是否在 ADC 工作范围内，请计算 AIN1 和 AIN2 的电压以及最大差分输入电压。在给定增益设置和电源电压的情况下，验证 V_{AIN1} 和 V_{AIN2} 是否处于 PGA 的输入范围内。根据所需的温度测量值使用最大 RTD 电阻。

$$V_{AIN1} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + R_{REF}) \quad (65)$$

$$V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot R_{REF} \quad (66)$$

此外，验证 IDAC 引脚处的电压（其中 $V_{AIN0} = V_{AIN1}$ ）是否在电流源顺从电压范围内。当 IDAC 输出电压上升到太接近 AVDD 时，IDAC 将失去顺从性并且激励电流将减小。

基准电阻器 R_{REF} 必须是具有高精度和低漂移的精密电阻器。 R_{REF} 中的任何误差在 RTD 测量也会出现。所示出的 REFPO 和 REFNO 引脚作为开尔文连接与 R_{REF} 电阻器相连，以获得最佳的基准电压测量值。这消除了作为基准电阻测量误差的一切串联电阻。

2.6.4 测量转换

$$\text{Output code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{RTD} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot (I_{IDAC1} \cdot R_{RTD}) / (I_{IDAC1} \cdot R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (67)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (68)$$

2.6.5 配置寄存器设置

对于此类测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量 RTD 的引线 2 和 3
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准（IDAC 需要启用内部基准）
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动 RTD 的引线 1

2.7 两个串联两线 RTD 测量，低侧基准

单个 IDAC 可同时驱动多个 RTD。在该原理图中，两个两线 RTD 相互堆叠，以便通过 ADC 多路复用器的不同输入进行测量。

2.7.1 原理图

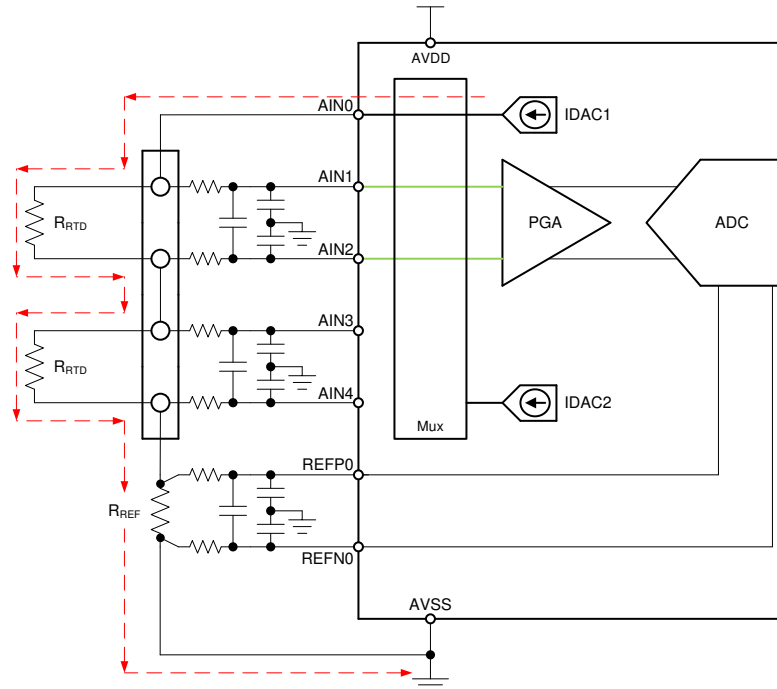


图 2-7. 两个串联两线 RTD 低侧基准测量电路

2.7.2 优缺点

优势：

- 单个 IDAC 电流同时用于多个传感器
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- 堆叠传感器可能会影响 IDAC 电压顺从性和 PGA 输入范围

2.7.3 设计说明

该电路应类似于节 2.1 中的两线设计。然而，两个堆叠式 RTD 的测量需要进行两次计算以验证 PGA 的输入范围，并具有更大的堆叠电阻以实现 IDAC 电流下的顺从电压。单个 IDAC 电流源可驱动 RTD 和基准电阻 R_{REF} 。

测量电路需要：

- 单个专用 IDAC 输出引脚
- 用于两次不同 RTD 测量的 AINP 和 AINN 输入
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

然后，验证 V_{AIN1} 和 V_{AIN2} 以及 V_{AIN3} 和 V_{AIN4} 是否在 PGA 的输入范围内。在最大差分输入电压下计算 AIN1 和 AIN2 的电压，然后计算 AIN3 和 AIN4 的电压。对于第一次测量：

$$V_{AIN1} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD1} + R_{RTD2} + R_{REF}) \quad (69)$$

$$V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD2} + R_{REF}) \quad (70)$$

然后，对于第二次测量：

$$V_{AIN3} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD2} + R_{REF}) \quad (71)$$

$$V_{AIN4} = I_{IDAC1} \cdot R_{REF} \quad (72)$$

此外，验证 IDAC 引脚处的电压（其中 $V_{AIN0} = V_{AIN1}$ ）是否在电流源顺从电压范围内。当 IDAC 输出电压上升到太接近 AVDD 时，IDAC 将失去顺从性并且电流将减小。

2.7.4 测量转换

对于每次 RTD 测量：

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{RTD} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC1} \cdot R_{RTD} / (I_{IDAC1} \cdot R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (73)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (74)$$

2.7.5 配置寄存器设置

对于第一个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第一个 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准（IDAC 需要启用内部基准）
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动 RTD 的引线 1

对于第二个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第二个 RTD 的引线 1 和 2

2.8 两个串联四线 RTD 测量

与两线 RTD 测量示例电路类似，单个 IDAC 可以同时驱动多个四线 RTD。通过堆叠两个四线 RTD 并通过多路复用器的不同输入进行测量，可设置两个四线 RTD 进行测量。

2.8.1 原理图

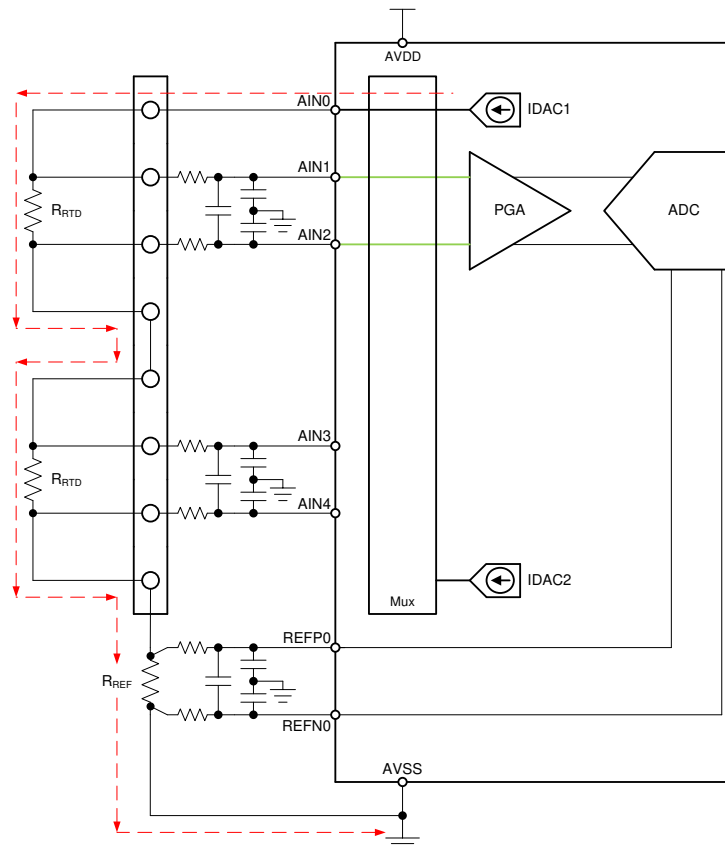


图 2-8. 两个串联四线 RTD 低侧基准测量电路

2.8.2 优缺点

优势：

- 单个 IDAC 电流同时用于多个传感器
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- 堆叠传感器可能会影响 IDAC 电压顺从性和 PGA 输入范围

2.8.3 设计说明

设计注意事项应与节 2.7 中的两个串联两线 RTD 设计完全相同

测量电路需要：

- 单个专用 IDAC 输出引脚
- 用于两次不同 RTD 测量的 AINP 和 AINN 输入
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

然后，验证 V_{AIN1} 和 V_{AIN2} 以及 V_{AIN3} 和 V_{AIN4} 是否在 PGA 的输入范围内。在最大差分输入电压下计算 AIN1 和 AIN2 的电压，然后计算 AIN3 和 AIN4 的电压。对于第一次测量：

$$V_{AIN1} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD1} + R_{RTD2} + R_{REF}) \quad (75)$$

$$V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD2} + R_{REF}) \quad (76)$$

然后，对于第二次测量：

$$V_{AIN3} = I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD2} + R_{REF}) \quad (77)$$

$$V_{AIN4} = I_{IDAC1} \cdot R_{REF} \quad (78)$$

此外，验证 IDAC 引脚处的电压（其中 $V_{AIN0} = V_{AIN1}$ ）是否在电流源顺从电压范围内。当 IDAC 输出电压上升到太接近 AVDD 时，IDAC 将失去顺从性并且激励电流将减小。

2.8.4 测量转换

对于每次 RTD 测量：

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{RTD} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC1} \cdot R_{RTD} / (I_{IDAC1} \cdot R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (79)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (80)$$

2.8.5 配置测量设置

对于第一个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第一个 RTD 的引线 2 和 3
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准（IDAC 需要启用内部基准）
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第一个 RTD 的引线 1

对于第二个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第二个 RTD 的引线 2 和 3

2.9 测量多个两线 RTD

使用 ADC 的多路复用器，可以通过更改 IDAC 电流源的输出来测量多个两线 RTD。

2.9.1 原理图

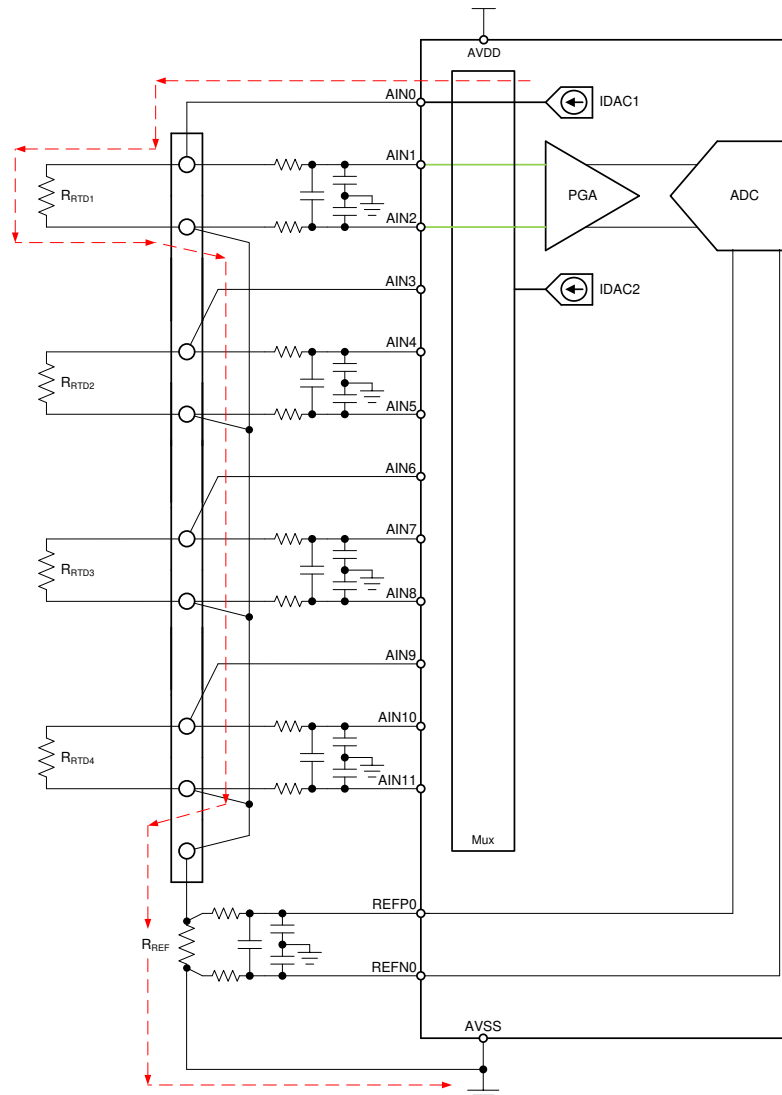


图 2-9. 多个两线 RTD 测量电路

2.9.2 优缺点

优势：

- 单个 IDAC 电流用于多个传感器
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- 需要循环使用 IDAC 并进行通道间测量
- 可能需要额外的稳定时间来为输入和基准进行输入 RC 滤波

2.9.3 设计说明

图 2-9 显示了测量四个两线 RTD 的电路拓扑。为进行四次测量，IDAC1 在每次测量时会分别流到每个 RTD。在负输入端，所有 RTD 都连接在一起，以便 IDAC1 电流分流至一个公共基准电阻器。

测量电路需要：

- 用于每次 RTD 测量的单个专用 IDAC 输出引脚以及 AINP 和 AINN 输入
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

多路复用器隔离每次 RTD 测量。首先，IDAC1 流到 AIN0，进行 AIN1 和 AIN2 之间的 RTD1 测量。除了每个模拟引脚的少量输入漏电流之外，与 RTD2、RTD3 和 RTD4 的连接应该对 RTD1 测量没有影响。

测量 RTD1 后，IDAC1 流到 AIN3，进行 AIN4 和 AIN5 之间的 RTD2 测量。接着 IDAC1 将流到 AIN6 以测量 RTD3，再流到 AIN9 以测量 RTD4。每次 RTD 测量都需要使用三个引脚。一个引脚提供 IDAC 电流进行激励，而另外两个引脚是用于测量 RTD 的模拟输入。该设计与节 2.1 前面所述的两线 RTD 设计相同。

由于 IDAC1 流到不同的 RTD 会不稳定，因此进行不同通道的测量可能需要一些延迟。即使 IDAC 发生瞬时变化，电流也会从 AIN0 流到 AIN3、AIN6 和 AIN9。这就要求通过 ADC 前端的输入 RC 滤波器使 RTD 电压稳定。对于大多数器件，必须从 SPI 主器件对这个额外延迟进行编程。对于某些器件，可以使用内置可编程延迟来插入一个较短的时间周期，从而实现输入稳定。

2.9.4 测量转换

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{\text{RTD}} / V_{\text{REF}} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{\text{IDAC1}} \cdot R_{\text{RTD}} / (I_{\text{IDAC1}} \cdot R_{\text{REF}}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{\text{RTD}} / R_{\text{REF}} \quad (81)$$

$$R_{\text{RTD}} = R_{\text{REF}} \cdot \text{Output Code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (82)$$

2.9.5 配置寄存器设置

对于第一个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第一个 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准（IDAC 需要启用内部基准）
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第一个 RTD 的引线 1

对于第二个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第二个 RTD 的引线 1 和 2
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第二个 RTD 的引线 1

对于第三个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第三个 RTD 的引线 1 和 2
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第三个 RTD 的引线 1

对于第四个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第四个 RTD 的引线 1 和 2
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第四个 RTD 的引线 1

2.10 测量多个三线 RTD

使用 ADC 的多路复用器，可以在配置发生更改时测量多个三线 RTD。该电路显示了使用匹配的 IDAC 电流源测量的三个三线 RTD 的拓扑。

2.10.1 原理图

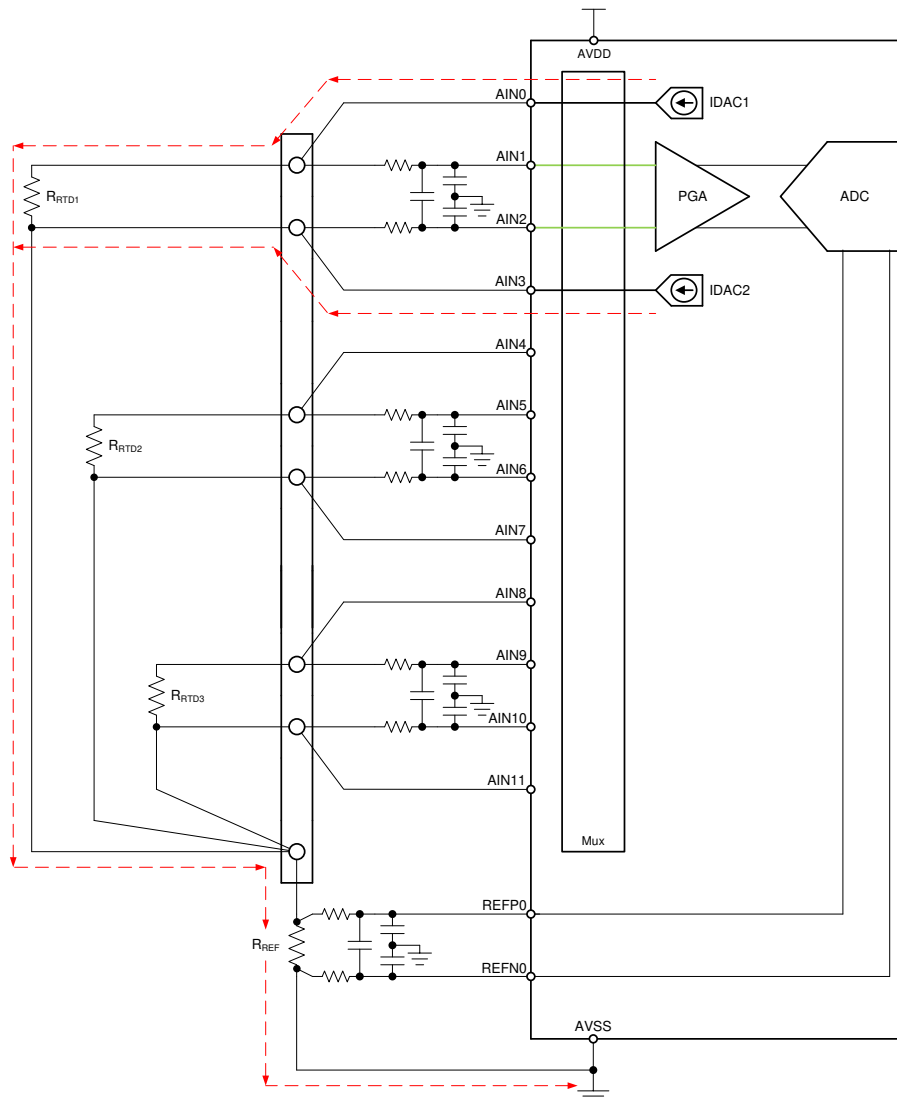


图 2-10. 多个三线 RTD 测量电路

2.10.2 优缺点

优势：

- 比类似的两线测量精度更高
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- 需要循环使用 IDAC 并进行通道间测量
- 可能需要额外的稳定时间来为输入和基准进行输入 RC 滤波

2.10.3 设计说明

图 2-10 显示了测量三个三线 RTD 的电路拓扑。对于每个 RTD，IDAC1 用于驱动 RTD 的引线 1，而 IDAC2 用于驱动 RTD 的引线 2，实现引线补偿。所有 RTD 都在引线 3 处连接在一起，以便 IDAC 电流分流至一个公共基准电阻器。

测量电路需要：

- 用于每次 RTD 测量的两个专用 IDAC 输出引脚以及 AINP 和 AINN 输入
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

多路复用器隔离每次 RTD 测量。首先，IDAC1 流到 AIN0，IDAC2 流到 AIN3，进行 AIN1 和 AIN2 之间的 RTD1 测量。除了每个模拟引脚的少量输入电流之外，与 RTD2、RTD3 和 RTD4 的连接应该对 RTD1 测量没有影响。

测量 RTD1 后，IDAC1 流到 AIN4，IDAC2 流到 AIN7，进行 AIN5 和 AIN6 之间的 RTD2 测量。最后，IDAC1 流到 AIN8，IDAC2 流到 AIN11，进行 AIN9 和 AIN10 之间的 RTD2 测量。每次 RTD 测量都需要使用四个引脚。两个引脚提供 IDAC 电流用于引线补偿，而另外两个引脚是用于测量 RTD 的模拟输入。该设计与节 2.3 前面所述的三线 RTD 测量设计相同。

由于 IDAC1 流到不同的 RTD 会不稳定，因此进行不同通道的测量可能需要一些延迟。即使 IDAC 发生瞬时变化，IDAC 电流也会从 AIN0 和 AIN3 流到 AIN4 和 AIN7 以及 AIN8 和 AIN11。这就要求通过 ADC 前端的输入 RC 滤波器使 RTD 电压稳定。对于大多数器件，必须通过 SPI 主器件对其进行编程。对于某些器件，可以使用内置可编程延迟来插入一个较短的时间周期，从而实现输入稳定。

如节 2.3.6 中所述，IDAC 电流的斩波可用于减少与 IDAC 失配相关的误差。

2.10.4 测量转换

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{\text{RTD}} / V_{\text{REF}} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{\text{IDAC}} \cdot R_{\text{RTD}} / (2 \cdot I_{\text{IDAC}} \cdot R_{\text{REF}}) = 2^{22} \cdot \text{Gain} \cdot R_{\text{RTD}} / R_{\text{REF}} \quad (83)$$

$$R_{\text{RTD}} = R_{\text{REF}} \cdot \text{Output code} / (2^{22} \cdot \text{Gain}) \quad (84)$$

2.10.5 配置寄存器设置

对于第一个 RTD 测量：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第一个 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准（IDAC 需要启用内部基准）
- 设置 IDAC 大小，并选择 IDAC1 输出引脚以驱动 RTD 的引线 1，选择 IDAC2 输出引脚以驱动 RTD 的引线 2

对于第二个 RTD 测量：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第二个 RTD 的引线 1 和 2
- 设置 IDAC 大小，并选择 IDAC1 输出引脚以驱动 RTD 的引线 1，选择 IDAC2 输出引脚以驱动第二个 RTD 的引线 2

对于第三个 RTD 测量：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第三个 RTD 的引线 1 和 2
- 设置 IDAC 大小，并选择 IDAC1 输出引脚以驱动 RTD 的引线 1，选择 IDAC2 输出引脚以驱动第三个 RTD 的引线 2

2.11 同时测量多个四线 RTD

使用 ADC 的多路复用器，可以在配置发生更改时测量多个四线 RTD。

2.11.1 原理图

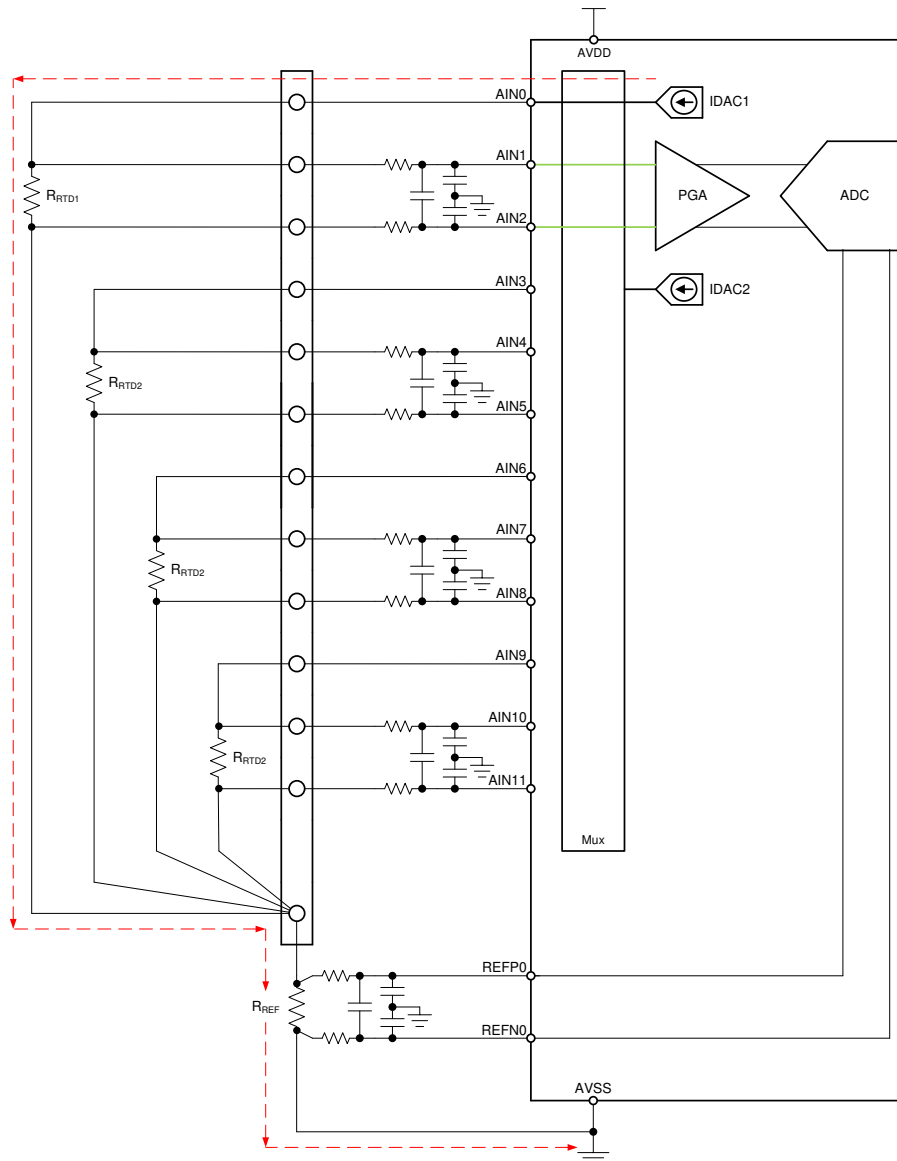


图 2-11. 多个并联四线 RTD 测量电路

2.11.2 优缺点

优势：

- RTD 的测量具有出色的精度
- 进行比例式测量，消除了 IDAC 噪声和漂移

劣势：

- 需要循环使用 IDAC 并进行通道间测量
- 可能需要额外的稳定时间来为输入和基准进行输入 RC 滤波

2.11.3 设计说明

图 2-11 显示了测量四个四线 RTD 的电路拓扑。为进行四次测量，IDAC1 在测量时会分别流到每个 RTD 的引线 1。模拟输入连接到每个 RTD 的引线 2 和 3。所有 RTD 都通过引线 4 连接在一起，以便 IDAC1 电流分流至一个公共基准电阻器。

测量电路需要：

- 用于每次 RTD 测量的单个专用 IDAC 输出引脚以及 AINP 和 AINN 输入
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

多路复用器隔离每次 RTD 测量。首先，IDAC1 流到 AIN0，进行 AIN1 和 AIN2 之间的 RTD1 测量。除了每个模拟引脚的少量输入漏电流之外，与 RTD2、RTD3 和 RTD4 的连接应该对 RTD1 测量没有影响。

测量 RTD1 后，IDAC1 流到 AIN3，进行 AIN4 和 AIN5 之间的 RTD2 测量。接着 IDAC1 将流到 AIN6 以测量 RTD3，再流到 AIN9 以测量 RTD4。每次 RTD 测量都需要使用三个引脚。一个引脚提供 IDAC 电流进行激励，而另外两个引脚是用于测量 RTD 的模拟输入。请注意，该拓扑与节 2.6 中的四线 RTD 设计所示的拓扑类似，不同之处在于，IDAC 电流引出至每个 RTD 的引线 1 连接，与测量引线分开。

由于 IDAC1 流到不同的 RTD 会不稳定，因此进行不同通道的测量可能需要一些延迟。即使 IDAC 发生瞬时变化，电流也会从 AIN0 流到 AIN3、AIN6 和 AIN9。这就要求通过 ADC 前端的输入 RC 滤波器使 RTD 电压稳定。对于大多数器件，必须通过 SPI 主器件对其进行编程。对于某些器件，可以使用内置可编程延迟来插入一个较短的时间周期，从而实现输入稳定。

2.11.4 测量转换

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{\text{RTD}} / V_{\text{REF}} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{\text{IDAC1}} \cdot R_{\text{RTD}} / (I_{\text{IDAC1}} \cdot R_{\text{REF}}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{\text{RTD}} / R_{\text{REF}} \quad (85)$$

$$R_{\text{RTD}} = R_{\text{REF}} \cdot \text{Output Code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (86)$$

2.11.5 配置寄存器设置

对于第一个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第一个 RTD 的引线 2 和 3
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第一个 RTD 的引线 1

对于第二个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第二个 RTD 的引线 2 和 3
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第二个 RTD 的引线 1

对于第三个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第三个 RTD 的引线 2 和 3
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第三个 RTD 的引线 1

对于第四个 RTD 测量，请设置寄存器值：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量第四个 RTD 的引线 2 和 3
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第四个 RTD 的引线 1

2.12 采用低侧基准的通用 RTD 测量接口

使用多路复用器，可以通过连接到 ADC 的通用接口测量多种 RTD 类型。必须针对每种类型更改 ADC 配置，设置不同的模拟输入，同时使用单个 IDAC 输出。更改配置寄存器后，可以使用支持四个连接的接口测量两线、三线和四线 RTD。

2.12.1 原理图

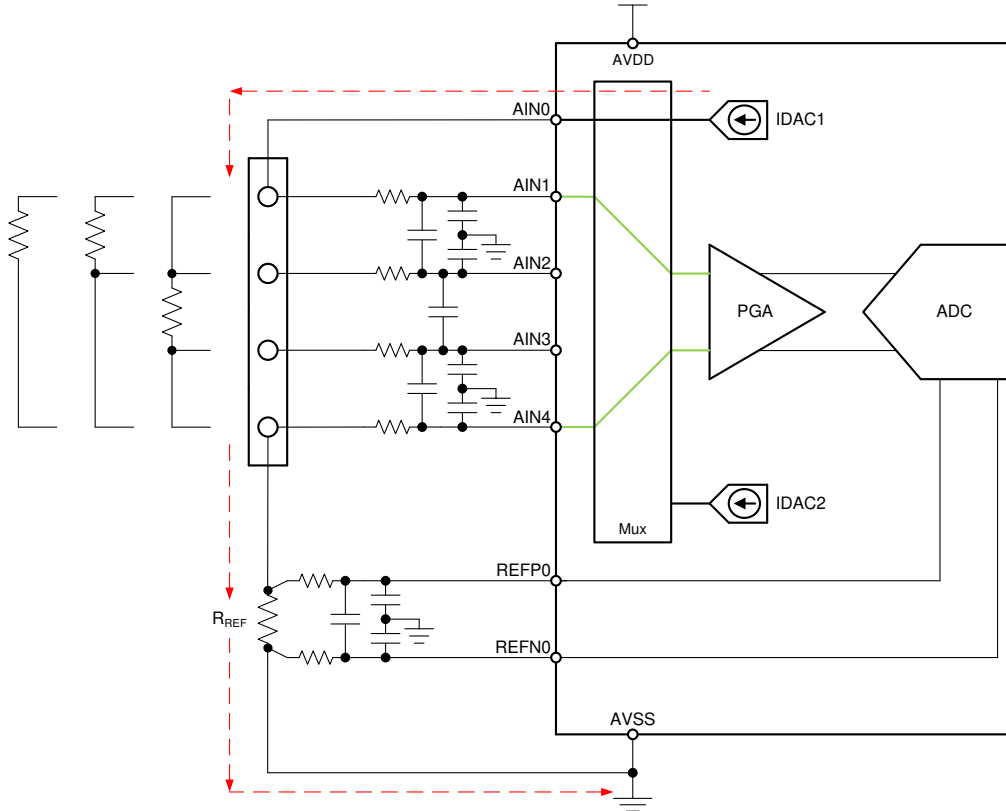


图 2-12. 采用低侧基准的通用 RTD 测量接口电路

2.12.2 优缺点

优势：

- 设置两线、三线和四线 RTD 测量的测量值

劣势：

- 每个通用测量通道都需要多个输入
- 需要根据所测量的 RTD 类型对输入通道和配置进行重新编程

2.12.3 设计说明

图 2-12 显示了用于测量两线、三线和四线 RTD 的电路拓扑。RTD 接头有四个连接，ADC 多路复用器有五个连接。根据所使用的 RTD 类型，以不同的方式对器件进行编程。

测量电路需要：

- 用于不同 RTD 配置的单个专用 IDAC 输出引脚和四个模拟输入引脚
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

作为适用于不同 RTD 配置的通用连接器，该设计结合了本应用手册中概述的不同设计的多个元素。

2.12.3.1 通用测量接口 - 两线 RTD

两线测量拓扑与节 2.1 中的两线 RTD 设计所示相同。一个 IDAC 将电流从 AIN0 拉至由 AIN1 测量的第一个 RTD 连接。RTD 的测量范围为 AIN1 至 AIN4。然后 IDAC 电流分流到基准电阻器 R_{REF} 中。

$$V_{AIN1} - V_{AIN4} = I_{IDAC1} \cdot (R_{LEAD1} + R_{RTD} + R_{LEAD2}) \quad (87)$$

如之前的两线 RTD 测量设计中所述，RTD 的引线电阻是一个无法消除的误差项。

2.12.3.2 通用测量接口 - 三线 RTD

三线测量的原理与节 2.4 中的三线 RTD 设计类似。与前述设计一样，需要进行两次测量。单个 IDAC 电流驱动 RTD 和两个引线电阻。第一次测量读取 RTD 和一个引线电阻，第二次测量则测量另一个引线电阻，然后用第一次测量值减去第二次测量值。

ADC 的测量范围为 AIN1 至 AIN2。这可测得 RTD 两端的电压和一个引线电阻。

$$V_{MEAS1} = V_{AIN1} - V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot (R_{LEAD1} + R_{RTD}) \quad (88)$$

第二次测量是从 AIN2 到 AIN4。这可测得引线 3 上的电压。

$$V_{MEAS2} = V_{AIN2} - V_{AIN4} = I_{IDAC} \cdot R_{LEAD3} \quad (89)$$

假设引线电阻相等，用方程式 88 减去方程式 89。测量结果如方程式 90 所示。

$$V_{MEAS1} - V_{MEAS2} = I_{IDAC1} \cdot (R_{LEAD} + R_{RTD}) - I_{IDAC1} \cdot R_{LEAD} = I_{IDAC1} \cdot R_{RTD} \quad (90)$$

2.12.3.3 通用测量接口 - 四线 RTD

四线测量的原理与节 2.6 中的四线设计类似。IDAC 通过引线 1 驱动四线 RTD，并通过 RTD 的引线 4 为 R_{REF} 提供电流。由于 ADC 测量从 AIN2 到 AIN3 的 RTD，因此不会测量具有 IDAC 电流的引线电阻。

$$V_{AIN2} - V_{AIN3} = I_{IDAC} \cdot R_{RTD} \quad (91)$$

2.12.4 测量转换

2.12.4.1 两线测量

$$\frac{\text{Output Code}}{\text{Gain}} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot \frac{(V_{RTD} + 2 \cdot V_{LEAD})}{(R_{RTD} + 2 \cdot R_{LEAD})} / \frac{V_{REF}}{I_{IDAC1} \cdot R_{REF}} = 2^{23} \cdot \frac{\text{Gain} \cdot I_{IDAC1} \cdot (R_{RTD} + 2 \cdot R_{LEAD})}{(I_{IDAC1} \cdot R_{REF})} = 2^{23} \cdot \frac{\text{Gain} \cdot (R_{RTD} + 2 \cdot R_{LEAD})}{R_{REF}} \quad (92)$$

忽略引线电阻：

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{RTD} / V_{REF} \quad (93)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output Code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (94)$$

2.12.4.2 三线测量

测量 $V_{MEAS1} = V_{RTD} + V_{LEAD1}$ 的电压：

$$\text{Output code 1} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot (V_{RTD} + V_{LEAD1}) / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1}) / (I_{IDAC} \cdot R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot \frac{R_{RTD} + R_{LEAD1}}{R_{REF}} \quad (95)$$

测量 $V_{MEAS2} = V_{LEAD3}$ 的电压：

$$\text{Output code 2} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{LEAD3} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC} \cdot R_{LEAD3} / (I_{IDAC} \cdot R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{LEAD3} / R_{REF} \quad (96)$$

假设引线电阻相等，用 V_{MEAS1} 减去 V_{MEAS2} 可得到 RTD 测量值：

$$\text{Output code 1} - \text{Output code 2} = [2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot (V_{RTD} + V_{LEAD1}) / V_{REF}] - [2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{LEAD3} / R_{REF}] = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot \frac{V_{RTD}}{V_{REF}} \quad (97)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot (\text{Output code 1} - \text{Output code 2}) / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (98)$$

2.12.4.3 四线测量

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{RTD} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC} \cdot R_{RTD} / (I_{IDAC} \cdot R_{REF}) \quad (99)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output Code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (100)$$

2.12.5 配置寄存器设置

对于两线 RTD 测量，请对寄存器进行以下设置：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量两线 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第一个 RTD 的引线 1

对于三线 RTD 测量，请对寄存器进行以下设置：

- 对于第一次测量，请为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以测量三线 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第一个 RTD 的引线 1
- 对于第二次测量，请为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以测量三线 RTD 的引线 2 和 3
- 用第一次测量结果减去第二次测量结果

对于四线 RTD 测量，请对寄存器进行以下设置：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量两线 RTD 的引线 2 和 3
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动第一个 RTD 的引线 1

2.13 采用高侧基准的通用 RTD 测量接口

与之前的设计类似，可以使用高侧基准构建通用 RTD 测量接口。如之前的设计所示，需要使用偏置电阻器将输入电压上移至 PGA 的输入范围内。

2.13.1 原理图

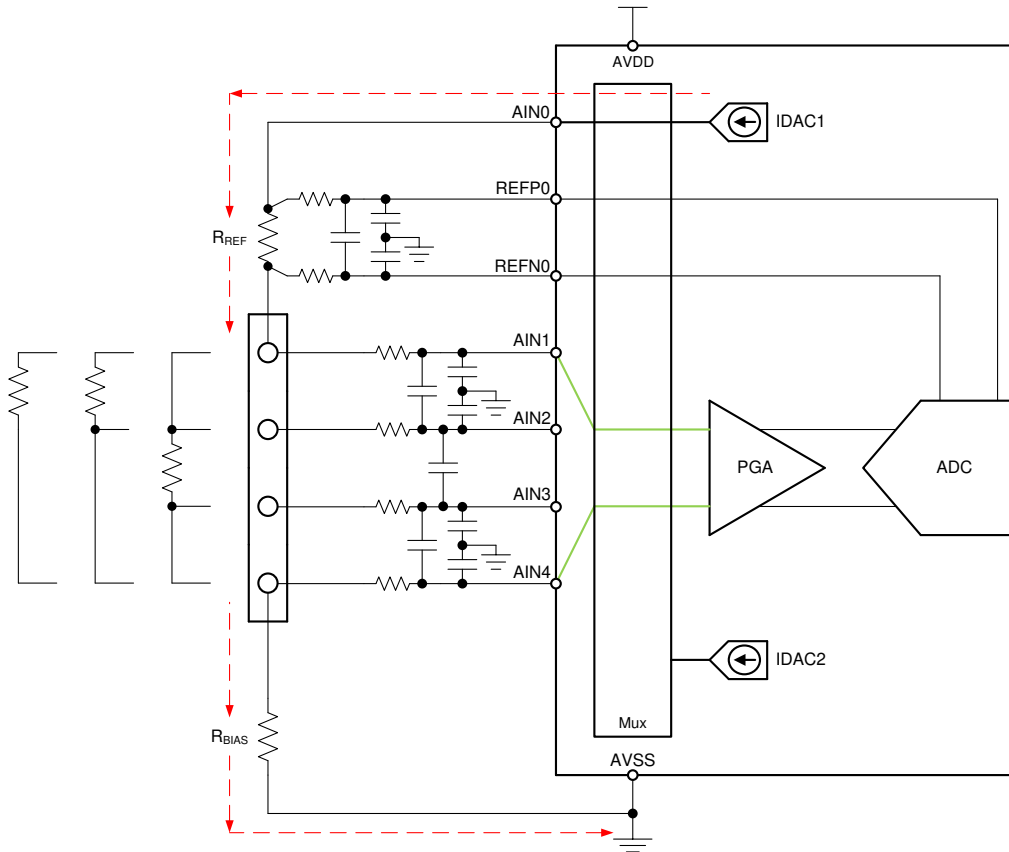


图 2-13. 采用高侧基准的通用 RTD 测量接口电路

2.13.2 优缺点

优势：

- 设置两线、三线和四线 RTD 测量的测量值

劣势：

- 每个通用测量通道都需要多个输入
- 需要根据所测量的 RTD 类型对输入通道和配置进行重新编程

2.13.3 设计说明

图 2-13 显示了使用高侧基准测量两线、三线和四线 RTD 的电路拓扑。RTD 接头有四个连接，ADC 多路复用器有五个连接。根据所使用的 RTD 类型，以不同的方式对器件进行编程。

测量电路需要：

- 用于不同 RTD 配置的单个专用 IDAC 输出引脚和四个模拟输入引脚
- 外部基准输入
- 精密基准电阻

IDAC 始终将来自 AIN0 的电流拉入第一个 RTD 连接，并使用 R_{BIAS} 将输入电压电平转换为接近 1/2 V_s 的电压，以便 RTD 测量处于 PGA 输入范围内。

2.13.3.1 通用测量接口，高侧基准 - 两线 RTD

两线测量拓扑与节 2.2 中的两线 RTD 设计所示相同。一个 IDAC 将电流从 AIN0 拉至基准电阻 R_{REF}。然后，电流流入由 AIN1 测量的第一个 RTD 连接。RTD 连接到 AIN1 和 AIN4，测量范围为 AIN1 至 AIN4。然后 IDAC 电流分流到偏置电阻器 R_{BIAS} 中。

$$V_{AIN1} - V_{AIN4} = I_{IDAC1} \cdot (R_{LEAD1} + R_{RTD} + R_{LEAD2}) \quad (101)$$

对于两线 RTD 测量，RTD 的引线电阻是一个无法消除的误差项。

2.13.3.2 通用测量接口，高侧基准 - 三线 RTD

三线测量的原理与节 2.4 中的三线设计类似，只不过采用高侧基准。与前述设计一样，需要进行两次测量。单个 IDAC 电流驱动 RTD 和两个引线电阻。第一次测量读取 RTD 和一个引线电阻，第二次测量则测量另一个引线电阻，然后用第一次测量值减去第二次测量值。电流流出 RTD 后，将通过 R_{BIAS} 分流到接地端。三线 RTD 连接到以下接头连接。引线 1 连接到 AIN1；引线 2 连接到 AIN2；引线 3 连接到 AIN4。

ADC 的测量范围为 AIN1 至 AIN2。这可测得 RTD 两端的电压和一个引线电阻。

$$V_{MEAS1} = V_{AIN1} - V_{AIN2} = I_{IDAC1} \cdot (R_{LEAD1} + R_{RTD}) \quad (102)$$

第二次测量是从 AIN2 到 AIN4。这可测得引线 3 上的电压。

$$V_{MEAS2} = V_{AIN2} - V_{AIN4} = I_{IDAC} \cdot R_{LEAD3} \quad (103)$$

假设引线电阻相等，用方程式 102 减去方程式 103。测量结果如方程式 104 所示。

$$V_{MEAS1} - V_{MEAS2} = I_{IDAC1} \cdot (R_{LEAD} + R_{RTD}) - I_{IDAC1} \cdot R_{LEAD} = I_{IDAC1} \cdot R_{RTD} \quad (104)$$

2.13.3.3 通用测量接口，高侧基准 - 四线 RTD

四线测量的原理与节 2.2 中的两线 RTD 设计类似，只不过四线 RTD 可消除 IDAC 电流测量中的引线电阻。IDAC 通过引线 1 驱动四线 RTD，并通过 RTD 的引线 4 为 R_{REF} 提供电流。由于 ADC 测量从 AIN2 到 AIN3 的 RTD，因此不会测量具有 IDAC 电流的引线电阻。来自引线 4 的 IDAC 电流驱动 R_{BIAS}，允许进行输入电压电平转换，使测量处于 PGA 输入范围内。

$$V_{AIN2} - V_{AIN3} = I_{IDAC} \cdot R_{RTD} \quad (105)$$

2.13.4 测量转换

2.13.4.1 两线测量

$$\frac{\text{Output Code}}{\text{Gain}} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot \frac{(V_{RTD} + 2 \cdot V_{LEAD})}{(R_{RTD} + 2 \cdot R_{LEAD})} / \frac{V_{REF}}{R_{REF}} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC1} \cdot \frac{(R_{RTD} + 2 \cdot R_{LEAD})}{R_{LEAD}} / \frac{(I_{IDAC1} \cdot R_{REF})}{R_{REF}} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot \frac{(R_{RTD} + 2 \cdot R_{LEAD})}{R_{LEAD}} \quad (106)$$

忽略引线电阻：

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{RTD} / R_{REF} \quad (107)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output Code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (108)$$

2.13.4.2 三线测量

测量 $V_{MEAS1} = V_{RTD} + V_{LEAD1}$ 的电压：

$$\text{Output code 1} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot (V_{RTD} + V_{LEAD1}) / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC} \cdot (R_{RTD} + R_{LEAD1}) / (I_{IDAC} \cdot R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot \frac{(R_{RTD} + R_{LEAD1})}{R_{REF}} \quad (109)$$

测量 $V_{MEAS2} = V_{LEAD3}$ 的电压：

$$\text{Output code 2} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{LEAD3} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC} \cdot R_{LEAD3} / (I_{IDAC} \cdot R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{LEAD3} / R_{REF} \quad (110)$$

假设引线电阻相等，用 V_{MEAS1} 减去 V_{MEAS2} 可得到 RTD 测量值：

$$\text{Output code 1} - \text{Output code 2} = [2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot (V_{RTD} + V_{LEAD1}) / V_{REF}] - (2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot R_{LEAD3} / R_{REF}) = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot \frac{V_{RTD}}{V_{REF}} \quad (111)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot (\text{Output code 1} - \text{Output code 2}) / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (112)$$

2.13.4.3 四线测量

$$\text{Output Code} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot V_{RTD} / V_{REF} = 2^{23} \cdot \text{Gain} \cdot I_{IDAC} \cdot R_{RTD} / (I_{IDAC} \cdot R_{REF}) \quad (113)$$

$$R_{RTD} = R_{REF} \cdot \text{Output Code} / (2^{23} \cdot \text{Gain}) \quad (114)$$

2.13.5 配置寄存器设置

对于两线 RTD 测量，请对寄存器进行以下设置：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量两线 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动基准电阻器 R_{REF}

对于三线 RTD 测量，请对寄存器进行以下设置：

- 对于第一次测量，请为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以测量三线 RTD 的引线 1 和 2
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动基准电阻器 R_{REF}
- 对于第二次测量，请为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以测量三线 RTD 的引线 2 和 3
- 用第一次测量结果减去第二次测量结果

对于四线 RTD 测量，请对寄存器进行以下设置：

- 为 AINP 和 AINN 选择多路复用器设置，以便测量两线 RTD 的引线 2 和 3
- 启用 PGA，将增益设置为所需值
- 选择数据速率和数字滤波器设置
- 选择用于测量 R_{REF} 的基准输入以进行比例式测量
- 启用内部基准 (IDAC 需要启用内部基准)
- 设置 IDAC 大小并选择 IDAC1 输出引脚以驱动基准电阻器 R_{REF}

3 总结

RTD 是能够在较大温度范围内进行精确测量的温度传感器。但是，不同的 RTD 配置会提供不同的精度和准确度，具体取决于电路拓扑。要获得出色的测量性能，需要注意设计中的细节。

本应用手册中显示的电路简单展示了如何使用精密 ADC 进行 RTD 测量，其中概述了不同的 RTD 电路设计，并介绍了使用两线、三线和四线 RTD 测量电路的电路。这些电路表示的是基本拓扑，可以更改设计以适应特定系统和多种 RTD 配置组合。

这里介绍的拓扑是不同 RTD 测量所使用的一种示例。如设计所示，测量系统采用多种 RTD 接线配置时，可以对拓扑进行组合。对于测量多个元件的较大系统，可以组合和更改这些电路以适应多种不同的应用。

4 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 * (June 2018) to Revision A (March 2023)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司