

多路复用三线式 RTD 数据采集系统的误差最小化

作者: Henry He

电阻温度检测器(RTD)可在很多工业应用中监控温度。在一个分布式控制系统(DCS)或可编程逻辑控制器(PLC)中,一个数据采集模块可用来监控很多安装在远处的 RTD 温度。在高性能应用中,若每个 RTD 都自带激励电路和 ADC,则具有最佳的精度,但数据采集模块将会体积庞大、成本高昂,且功耗高。多路复用模块具有体积较小、成本和功耗较低的特性,但可能会损失一定精度性能。本文讨论如何最小化多路复用系统误差。

电路结构

提供双线式、三线式和四线式 RTD 配置,其中,双线式配置的器件成本最低,四线式器件精度最佳。三线式 RTD 通常用于工业应用中,可采用两个相同的电流源激励,以消除引脚电阻。与精密参考电阻一同使用时,电流源误差不影响测量精度。高性能 ADC (如 AD7792 和 AD7793) 集成激励电流源,适合高精度 RTD 测量。

图 1 显示片内电流源激励两个三线式 RTD。RTD 通道可由多路复用器选择,如 ADG5433 高压、防门锁、三路 SPDT 开关。

一次只能测量一个 RTD。S1A、S1B 和 S1C 闭合测量 RTD #1; S2A、S2B 和 S2C 闭合测量 RTD #2。单个 ADG5433 可切换两

个三线式 RTD;可增加额外的多路复用器处理两个以上的传感器。 RL_{XX} 表示 RTD 和测量系统之间由于导线过长引入的电阻以及开关的导通电阻。

计算 RTD 电阻

由于 S1A、S1B 和 S1C 闭环测量 RTD #1, RTD 电阻可计算如下:

$$\text{Define } \Delta V_{IN} = V_{IN+} - V_{IN-}$$

$$\text{Assume } I_{OUT1} = I_{OUT2} = I_{OUT} \text{ and } RL_{1A} = RL_{1B} = RL_{1C}$$

$$I_{OUT1} + I_{OUT2} \text{ flows through } R_{REF}, \text{ so } I_{OUT1} = \frac{V_{REF}}{2R_{REF}}$$

$$RTD = \Delta V_{IN} / I_{OUT} = \frac{\Delta V_{IN} \times 2R_{REF}}{V_{REF}}$$

因此,测量值仅取决于 R_{REF} 的数值(和精度)。但请记住,我们假定 $I_{OUT1} = I_{OUT2}$, 并且 $RL_{1A} = RL_{1B} = RL_{1C}$ 。事实上,这些电流和电阻失配是测量误差的主要来源。

电流源和线路电阻失配的影响

下一步,假定两个电流源失配,比如 $I_{OUT2} = (1+x) I_{OUT1}$ 。现在,考虑下列情况:

$$RTD = \frac{\Delta V_{IN}}{V_{REF}} (2+x) R_{REF} + (1+x) RL_{1C} - RL_{1A}$$

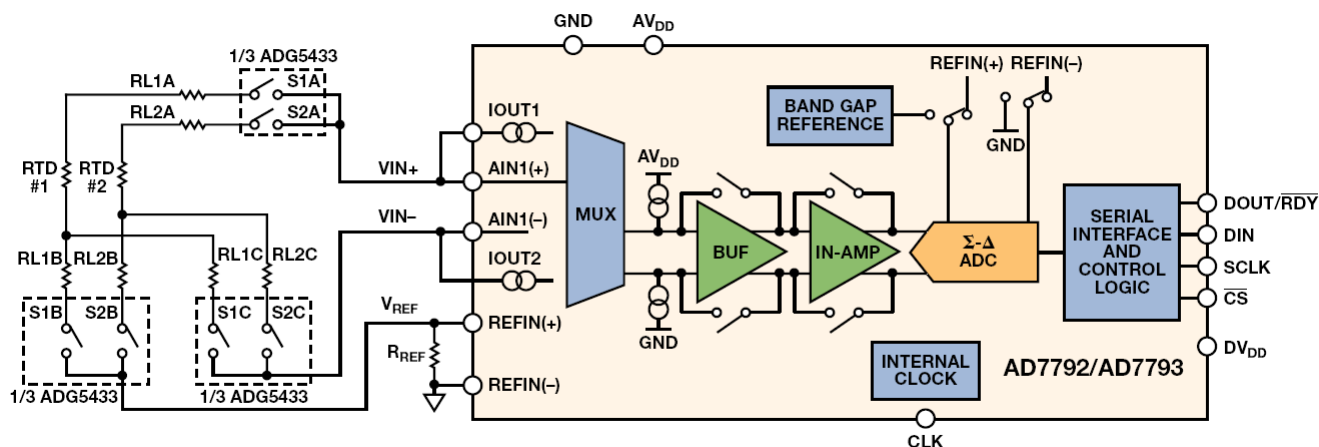


图 1. 两个三线式 RTD 多路复用至一个 AD7792/AD7793 ADC

请注意，失配会导致失调误差以及增益误差。失调误差与两个引脚电阻之间的失配有关，而增益误差与两个电流源之间的失配有关。如果不考虑这些失配情况，则根据 ADC 的数据读数计算的 RTD 电阻值将是不准确的。

以 200 Ω RTD 为例，表 1 显示不考虑失配时，得到的数值；其中， $R_{REF} = 1000\ \Omega$ ， $I_{OUT1} = 1\ \text{mA}$ ， $I_{OUT2} > I_{OUT1}$ （以百分比显示）， $RL_{1A} = 10\ \Omega$ ， $RL_{1C} > RL_{1A}$ （以电阻值显示）。

表 1. 不考虑失配时的 RTD 测量值

$RL_{1C} - RL_{1A}$	0.01 Ω	0.1 Ω	1 Ω
$(I_{OUT2} - I_{OUT1})/I_{OUT1}$			
0.1%	199.88	199.79	198.89
0.5%	199.44	199.35	198.45
1.0%	198.90	198.81	197.90

最小化误差

数据显示很小的失配就会严重影响精度，因此应当使用匹配良好的电流源和开关，以便改进性能。

传递函数是线性的，因此可轻松校准电流源和电阻失配导致的初始误差。然而，失配随温度的变化而改变，这使得补偿变得很不容易。因此，选用的器件应随温度的变化而具有低漂移特性。

若 $I_{OUT1} \neq I_{OUT2}$ ，且电流源如图所示连接：

$$\Delta V_{IN1} = I_{OUT1} (RL_{1A} + RTD) - I_{OUT2} \times RL_{1C}$$

假定我们交换 I_{OUT1} 和 I_{OUT2} ，使 I_{OUT1} 连接 V_{IN-} 和 I_{OUT2} ，并连接 V_{IN+} ：

$$\Delta V_{IN2} = I_{OUT2} (RL_{1A} + RTD) - I_{OUT1} \times RL_{1C}$$

现在，如果我们对转换结果求和，并且电流源以初始方向连接，同时第二次转换时交换电流源，则可得：

$$\Delta V_{IN1} + \Delta V_{IN2} = (I_{OUT1} + I_{OUT2}) \times (RTD + RL_{1A} - RL_{1C}) = \frac{V_{REF}}{R_{REF}} (RTD + RL_{1A} - RL_{1C})$$

$$\text{Consequently, } RTD = \frac{\Delta V_{IN1} + \Delta V_{IN2}}{V_{REF}} \times R_{REF} + RL_{1C} - RL_{1A}$$

请注意，测量值现已独立于电流源失配。唯一的缺点是速度的损失，因为每次 RTD 计算都需经过两次转换。

AD7792 和 AD7793 针对该应用设计。如图 2 所示，通过写入 I/O 寄存器，集成开关可简化电流源到输出引脚的交换。

结论

在 AD7792/AD7793 器件内交换激励电流源可改善多路复用 RTD 测量电路的精度。计算显示了电流源和线路电阻之间失配问题的重要性。

参考文献

Kester, Walt, James Bryant, and Walt Jung. “Temperature Sensors.” *Sensor Signal Conditioning*, Section 7. Analog Devices, Inc., 1999.

作者简介

Henry He [henry.he@analog.com]于 2012 年加入 ADI 公司，担任中国北京现场应用工程师一职。加入 ADI 之前，Henry 曾经作为硬件工程师服务于 GE Energy 和 SUPCON 公司。他拥有浙江大学工业自动化专业的学士学位和硕士学位。

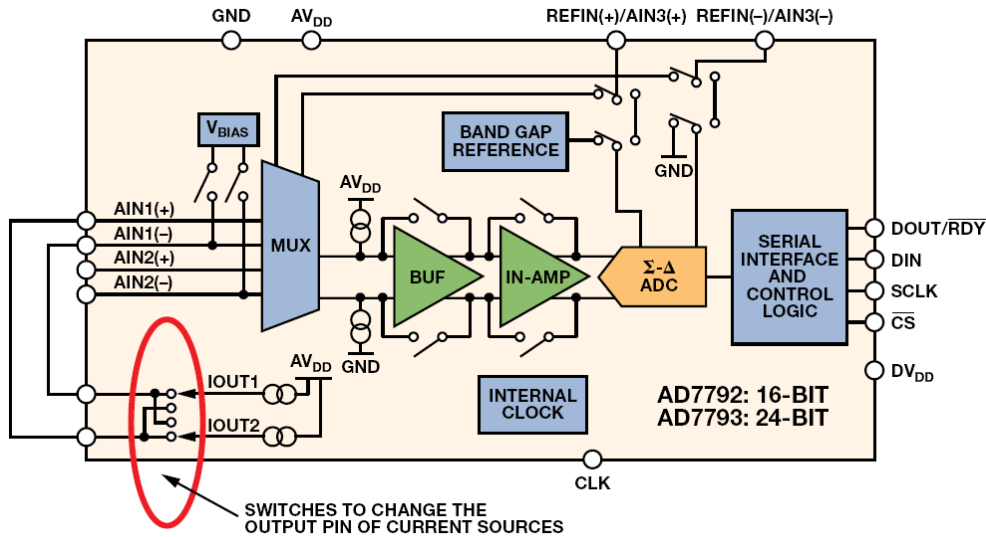


图 2. AD7792/AD7793 功能框图