

温度测量系统对ADC的要求

作者: Mary McCarthy和Eamonn Dillon

简介

有多种类型的传感器可以用于测量温度。具体选择何种传感器,取决于所测量的温度范围和所需的精度。系统精度取决于温度传感器的精度和用于数字化传感器输出的ADC性能。许多情况下,来自传感器的信号幅度非常小,因而需要高分辨率ADC。 Σ - Δ 型ADC适合这些系统,因为此类ADC是高分辨率器件,而且常常包括温度测量系统所需的额外片内电路,例如激励电流等。本应用笔记介绍可用的温度传感器(热电偶、RTD、热敏电阻和热二极管)以及传感器与ADC接口所需的电路,还会讨论对ADC的性能要求。

热电偶

热电偶由两种不同类型的金属组成。当温度高于零度时,这两种金属的结面处会产生电压,电压幅度取决于温度与零度的偏差。热电偶尺寸小,结实耐用,相对较便宜,而且工作温度范围非常宽,特别适合测量恶劣环境下的极端高温(最高可达2300°C)。但是,热电偶只能产生数毫伏

的输出,因此需要精密放大电路进行进一步处理。热电偶的类型不同,灵敏度也不同,但通常只有每摄氏度数微伏,因此需要高分辨率、低噪声ADC来精确读取温度。当热电偶连接到PCB板上的铜走线时,热电偶与铜的连接点处会形成另一个热电偶结,这就会产生一个与热电偶电压相反的电压。为补偿这一相反电压,需要将另一个温度传感器置于热电偶与铜的结面处,以测量此结面处的温度。这个结面就是所谓冷结。

图1显示了一个使用3通道、16/24位 Σ - Δ 型ADC AD7792/AD7793的热电偶系统(也可以使用6通道AD7794/AD7795)。片内仪表放大器先放大热电偶电压,然后由ADC进行转换。热电偶所产生的电压为基于地的偏置电压。片内激励电压将其上偏到放大器的线性范围以内,从而使该系统能够采用单电源供电。低噪声、低漂移、片内带隙基准电压源确保模数转换的精度,从而确保整个温度测量系统的精度。

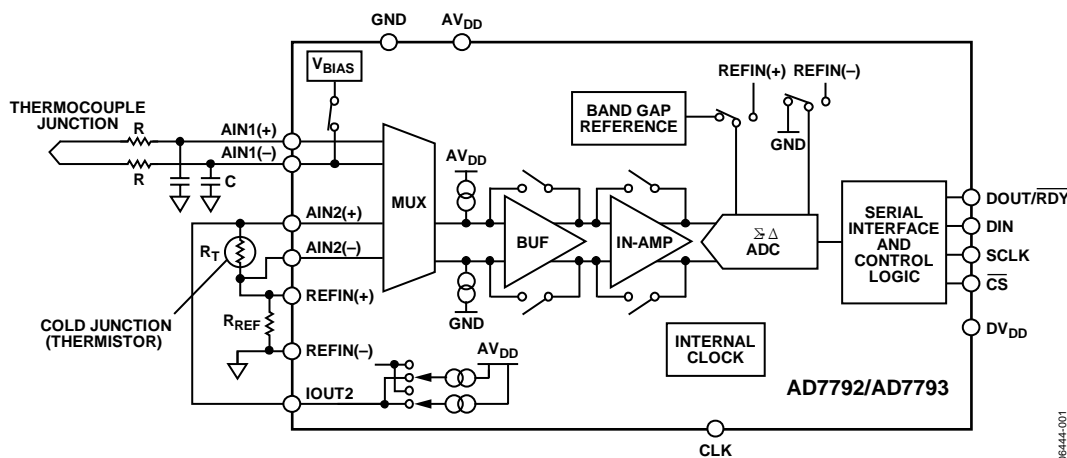


图 1. 热电偶温度测量系统的模拟部分

Rev. 0

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

冷结温度使用电阻式温度检测器(RTD)或热敏电阻(图1显示了一个热敏电阻RT)进行测量。这些元件的电阻都会随温度而变化。片内恒流源提供所需的激励电流。该测量使用比率式配置,即ADC的基准电压也会从同一激励电流利用一个精密电阻产生。比率式配置使得冷结温度的测量不受激励电流变化的影响,因为激励电流的变化将使传感器产生的电压和精密电阻产生的电压改变相同的幅度,因此对模数转换没有影响。

RTD

RTD的电阻随温度而变化。RTD使用的典型元素有镍、铜和铂,100 Ω 和1000 Ω 铂制RTD最为常见。RTD适合测量-200°C至+800°C的温度,整个温度范围内的响应几乎呈线性。RTD由三线或四线组成。图2显示了一个三线RTD如何连接到ADC。RL1、RL2和RL3为RTD引线的电阻。

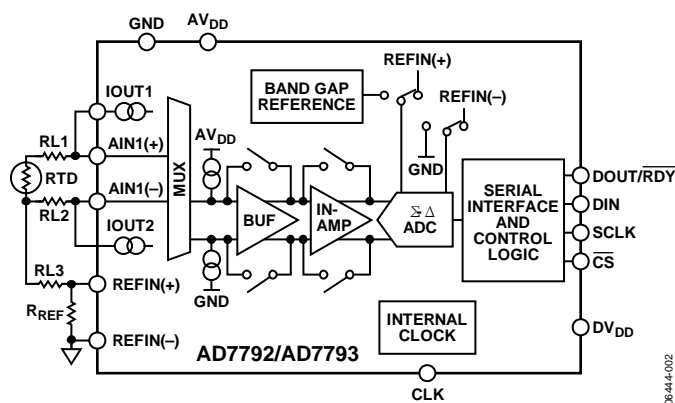


图 2. RTD温度测量系统的模拟部分

为了全面优化三线RTD配置,需要2个完美匹配的电流源。在此三线配置中,如果只使用一个电流源(IOUT1),则引线电阻会造成误差,因为激励电流流经RL1,在AIN1(+)与AIN1(-)之间产生电压误差。第二个RTD电流源(IOUT2)用于补偿流经RL1的激励电流所引入的误差。各电流源的绝对精度不重要,关键是这两个电流源需要精密匹配。第二个RTD电流流经RL2。假设RL1与RL2相等(引线一般为同种材料且长度相同),IOUT1与IOUT2匹配,则RL2上的误差电压将抵消RL1上的误差电压,因而AIN1(+)与AIN1(-)之间不会产生误差电压。RL3上会产生两倍的该电压,但它是共模电压,不会引入误差。

ADC具有差分模拟输入,并接受差分基准电压,因此允许实施比率式配置。图2中,ADC的基准电压也是利用匹配的电流源产生。此基准电压在精密电阻 R_{REF} 上产生,应用于ADC的差分基准电压输入端。这种方案可确保模拟输入电压范围始终与基准电压成比例。RTD电流源的温度漂移所引起的模拟输入电压的任何误差,都会通过基准电压的变化予以补偿。

热敏电阻

热敏电阻的阻值也会随温度而变化,但它不如RTD精确。热敏电阻一般与单电流源结合使用。与RTD一样,利用一个精密电阻产生基准电压,并且用一个电流源驱动该精密基准电阻和热敏电阻,因而也是比率式配置。这意味着,电流源的精度不重要,因为电流源的漂移会同时影响热敏电阻和基准电阻,从而两相抵消。热敏电阻一般用于热电偶应用中的冷结补偿,其标称阻值一般为1000 Ω 或更高。

热二极管

热二极管也可用于温度测量。这些系统中,通过测量以二极管形式连接的晶体管的基极-发射极电压来计算温度。让两个不同的电流通过二极管,测量每种情况下的基极-发射极电压。在电流比已知的情况下,通过测量两个电流下基极-发射极电压的差值,可以准确计算出温度。

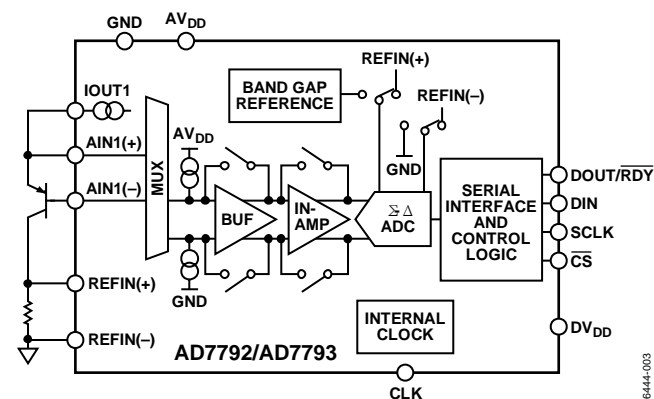


图 3. 热二极管温度测量系统的模拟部分

图3中,AD7792/AD7793激励电流被设置为10 μ A和210 μ A(也可以使用其它选项)。首先让210 μ A激励电流通过二极管。ADC测量晶体管的基极-发射极电压。然后在10 μ A电流下重复进行测量。这意味着电流减小21倍。电流的绝对值对于测量不重要,但要求其比值固定。

由于电流源集成于片内，因此AD7792/AD7793能保证电流源精密匹配，因而电流比固定不变。恒定电流比对于消除寄生误差是非常有必要的，否则将影响温度测量。基极-发射极电压测量的两次读数被送至一个微控制器，以便计算温度。

$$T = \frac{Q\Delta V_{BE}}{nK \ln(N)}$$

其中：

n = 理想因子 = 实测量

K = 波尔兹曼常数

$N = I_{C2}$ 与 I_{C1} 的比

Q = 电荷量

ΔV_{BE} 由ADC实测

ADC要求架构

温度系统的测量通常以慢速工作（每秒最多100个样本），低带宽ADC是适用的。但是，该ADC必须具有高分辨率。因此，低带宽和高分辨率的 Σ - Δ 型ADC是此类应用的理想选择。

采用这种架构时，开关电容前端对模拟输入连续采样，采样频率远远高于目标带宽（见图4）。例如，AD7793内置一个64 kHz片内时钟。所测量的模拟信号接近于DC，但被过采样 K 倍(Kf_s)，从而降低基带中的量化噪声。量化噪声分布在DC至采样频率一半($Kf_s/2$)的范围内。因此，使用较高的采样频率可以增大量化噪声的分布范围，从而降低目标频带内的噪声。

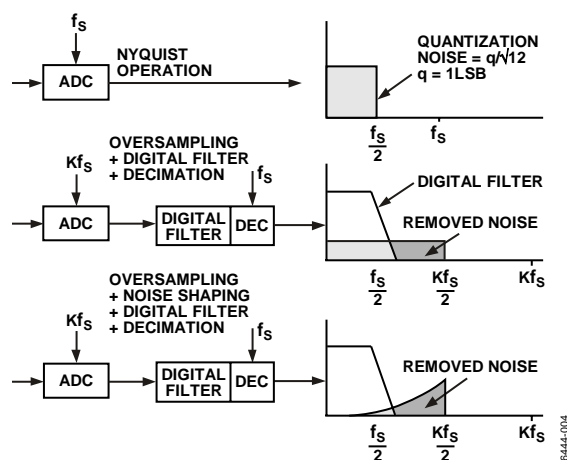


图 4. 过采样、数字滤波、噪声整形和抽取对噪声谱的影响

Σ - Δ 调制器将采样输入信号转换为数字脉冲串，其中1的密度包含了数字信息。 Σ - Δ 调制器还能执行噪声整形。通过噪声整形，目标频带内的噪声被推出带外，进入未使用的频率范围内。调制器的阶数越高，目标频带内发生的噪声整形越显著。但是，高阶调制器容易变得不稳定。因此，在调制器的阶数与稳定性之间必须取得平衡。在低带宽 Σ - Δ ADC中，一般使用二阶或三阶调制器，器件不容易变得不稳定。

调制器后接的数字滤波器抽取调制器输出，以提供有效数据转换结果。此滤波器还能消除带外噪声。此滤波器的镜像频率为主时钟的倍数。因此，采用 Σ - Δ 架构意味着唯一需要的外部元件是一个简单的R-C滤波器，用来消除频率为主时钟倍数的数字滤波器镜像。 Σ - Δ 架构允许24位ADC实现高达20.5位的峰峰值分辨率(20.5个稳定或无闪烁位)。

增益

来自温度传感器的信号一般非常小，温度发生几度的变化，热电偶和RTD等温度传感器产生的相应模拟电压最多只有几百微伏的变化。因此，典型的满量程模拟输出电压只有数毫伏范围。增益级不存在时，ADC的满量程范围一般为 $\pm V_{REF}$ 。为了优化ADC的性能，应当尽可能使用其模拟输入范围。这说明，使用这些传感器测量温度时，增益非常重要。如果没有增益，则只能使用ADC满量程范围的很小一部分，导致分辨率损失。

利用仪表放大器可以构建低噪声、低漂移增益级。低噪声和低漂移至关重要，唯有如此才能使温度变化所引起的电压变化大于仪表放大器所引起的噪声，AD7793的增益可以设置为1、2、4、8、16、32、64或128。使用最大增益设置128和内部产生的基准电压时，AD7793的满量程范围为 ± 1.17 mV/128 mV，或者约 ± 10 mV。这样就可以最大程度地利用ADC的高分辨率特性，而无需任何外部放大器元件。

50 Hz/60 Hz抑制

Σ - Δ ADC的片内数字滤波器不仅能抑制带外量化噪声，而且能抑制其它噪声源。其中一个噪声源是主电源引入的信号音。当器件采用主电源供电时，主电源会产生50 Hz及其倍数（欧洲）或者60 Hz及其倍数（美国）的噪声。低带宽ADC主要使用sinc滤波器。AD7793有四个滤波器选项，ADC根据更新速率自动选择所用的滤波器类型。当更新速率为16.6 Hz时，使用sinc3滤波器。如图5所示，sinc3滤波器在频谱内有陷波。当输出字速率为16.6 Hz时，这些陷波可以用来提供50 Hz/60 Hz同时的抑制。

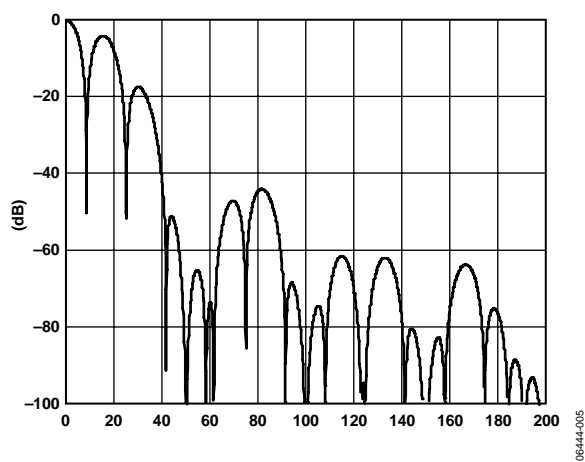


图 5. 更新速率为16.6 Hz时的频率响应

斩波

系统中总是存在不尽如人意的地方，如失调和其它低频误差等，温度测量系统也不例外。斩波是AD7793的内在特性，用于消除这些不良情况。斩波的工作原理是在ADC的输入多路复用器处交替反相（或斩波）。然后，针对斩波的每个相（正相和负相）执行ADC转换。数字滤波器级对这两个转换结果求平均值。其结果是消除ADC内部的任何失调误差，还有更重要的，是最小化温度引起的任何失调漂移。

低功耗

大量温度系统不是由主电源供电。一些工业应用中，例如工厂中的温度监控，包括传感器(ADC)和微控制器在内的整个温度系统都位于一块采用4 mA至20 mA环路供电的独立电路板上。因此，独立电路板的电流预算最大值为4 mA。诸如矿山中的便携式气体分析仪等便携式设备则要求在气体环境下测量温度。这些系统采用电池供电，其设计目标就是最大化电池的使用寿命。这些应用中，低功耗至关重要，同时仍然要求高性能。AD7793的最大功耗为500 μ A，它在满足温度系统的高性能要求的同时，只消耗相对较低的电流。

结论

温度测量系统对ADC和系统的要求非常苛刻。各种类型的温度传感器所需的元件各不相同，但这些传感器所产生的模拟信号均非常小。因此，需要用增益级放大这些信号，同时放大器的噪声必须非常低，不致于淹没传感器的信号。放大器之后需接一个高分辨率ADC，以将传感器的低电平信号转换为数字信息。采用 Σ - Δ 架构的ADC适合此类应用，因为利用这种拓扑结构能够开发出高分辨率、高精度ADC。除了ADC和增益级之外，温度系统还需要其它元件，如激励电流或基准电压源等。同样，这些元件必须是低漂移、低噪声元件，不致于降低系统精度。诸如失调等初始精度误差可以通过校准从系统中消除，但元件随温度的漂移必须非常低，以免引入误差。最后，不仅任何便携式应用都会关注功耗，而且原先采用主电源供电的大量系统，现在纷纷改用独立板设计，因此功耗问题愈发重要。