

# 基于热敏电阻的 温度检测系统—— 第2部分：系统优化与评估

Jellenie Rodriguez, 应用工程师

Mary McCarthy, 工程师

## 简介

正如本系列文章第1部分所讨论的，设计和优化基于热敏电阻的应用解决方案涉及到不同挑战。这些挑战包括上一篇文章中讨论过的传感器选择和电路配置。其他挑战有测量优化——包括ADC配置和选择外部元件，同时确保ADC在规格范围内运行——以及系统优化，从而实现目标性能并确定与ADC和整个系统相关的误差源。

## 热敏电阻系统优化

通过热敏电阻配置器和误差预算计算器等易于使用的工具，客户可以轻松配置系统中的热敏电阻，包括接线和连接图。该工具以比率式配置设计具有激励电压的热敏电阻系统。它还允许客户调整传感器类型、被测温度范围、线性化和外部元件等设置，如图1所示。它确保ADC和热敏电阻传感器均在规格范围内使用。因此，如果客户选择了不受支持的选项，该工具会标记这是一个错误条件。例如，如果客户选择的最大温度值超出特定热敏电阻型号的工作范围，它就会显示错误，如图2所示。遵循推荐的范围值同样会确保系统配置符合传感器和电子器件的工作条件。

该工具使用户能够了解不同的误差源，并且还允许进行设计优化。请注意，该工具是围绕AD7124-4/AD7124-8设计的，因此它还决定了可以连接到单个ADC的传感器数量。为了了解该工具的重要性，下面我们讨论热敏电阻要考虑的不同设计因素。

## 系统配置（激励、增益和外部元件）

与RTD类似，热敏电阻也容易自发热，因为当电流流过其中时，电阻会消耗功率。因此，设计人员必须让热敏电阻的工作电流保持在尽可能低的水平，以使其功耗不会对测量结果产生显著影响。首先，设计人员倾向于选择更高的激励电压值来产生更高的输出电压，以便充分利用ADC的输入范围。然而，热敏电阻传感器具有负温度系数，其电阻会随着温度的升高而降低，因此流过它的电流值越大，其功耗越高，从而导致自发热。

从好的方面来说，热敏电阻不需要很高的激励源值，因为在额定温度范围内，其较高的灵敏度特性可以产生从毫伏到伏特的输出电压。所以，使用ADC基准电压值之类的激励电压就足够了，并且它支持比率式配置。通过将PGA增益设置为1，该技术还能确保热敏电阻整个输出电压范围或ADC模拟输入端的电压始终处于ADC工作输入范围内。该工具使用AD7124-4/AD7124-8提供的内部2.5 V基准电压。当使用1倍增益时，PGA也关断，从而减少总电流消耗。AD7124-4/AD7124-8还集成了模拟输入缓冲器，允许在外部使用不限大小的电阻和/或电容值，因此它们非常适合直接连接到外部电阻型传感器（如热敏电阻），或连接电磁兼容(EMC)滤波，而不会增加误差。但是，若在增益为1时使用ADC且使能模拟输入缓冲器，则有必要确保提供正确运行所需的裕量。该工具还允许设计人员平衡外部元件的选择，包括外部裕量电阻的容许范围、建议的检测电阻值及其容差和漂移性能。热敏电阻工具还提供常用热敏电阻类型清单，并允许设计人员输入任

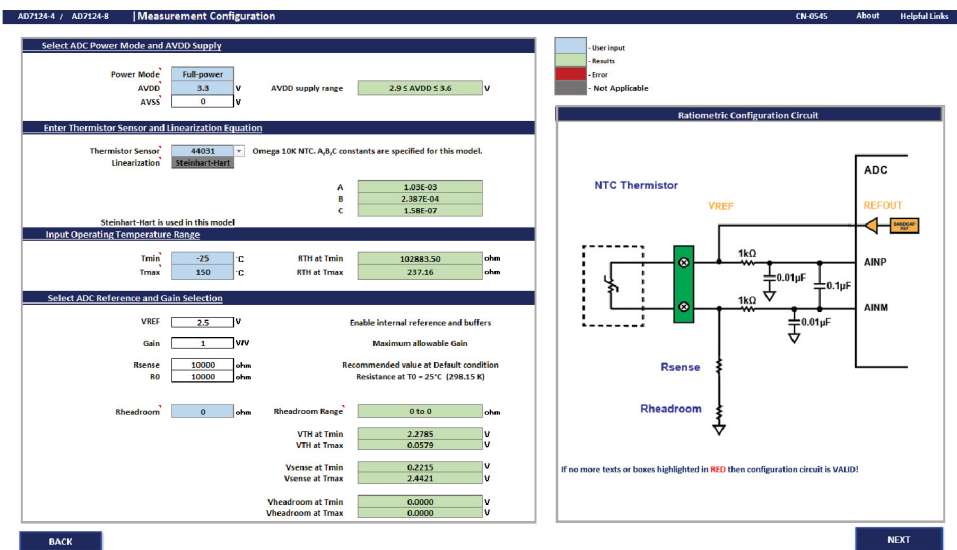


图 1. 热敏电阻配置器

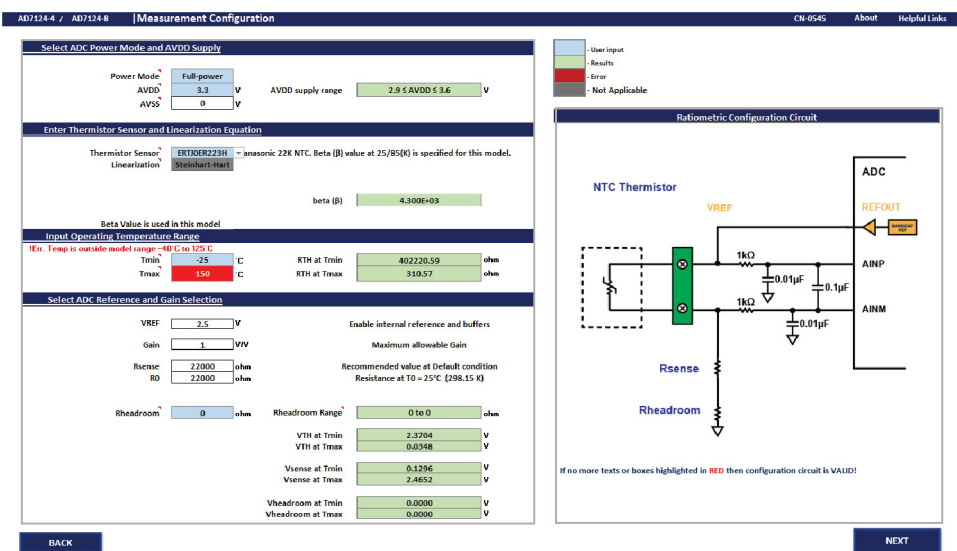


图 2. 越界条件

何类型NTC热敏电阻的标称值和beta(β)或Steinhart-Hart常数。传感器的精度、外部元件及其对系统误差的贡献，以及传感器所用线性化技术的影响，将在后面讨论。

## 滤波和功耗考虑

Σ-Δ型ADC使用数字滤波器，数字滤波器的频率响应在采样频率和采样频率倍数处提供0 dB衰减。这意味着滤波器响应在采样频率周围被反射，因此模拟域中需要一个抗混叠滤波器。Σ-Δ型ADC本身会对模拟输入信号过采样，因此抗混叠滤波器的设计得以简化，一个简单的（单极点）RC滤波器就够了。例如，AD7124-4/AD7124-8只要求每个模拟输入串联一个1 kΩ电阻，AINP到AINM之间使用一个0.1 μF电容，以及每个模拟输入引脚到AVSS之间使用一个0.01 μF电容。

在大多数工业应用或过程控制中，强大的稳健性是首要任务之一。系统可能会遇到来自其相邻元器件或环境的噪声、瞬变或其他干扰。出于EMC目的，模拟输入端通常使用较大的R和C值。但请注意，当转换器在增益为1的无缓冲模式下运行时，输入直接进入调制器的采样电容，因此较大RC值可能引起增益误差，因为在两个采样时刻之间，ADC没有足够的时间完成建立。对模拟输入进行缓冲可防止这些误差。

来自交流电源的干扰也会影响测量结果。因此，当器件由交流电源供电时，50 Hz/60 Hz抑制也是系统要求之一。AD7124-4/AD7124-8等窄带Σ-Δ型ADC的另一个优势是它提供灵活的数字滤波选项，可以将陷波频率设置为50 Hz和/或60 Hz。

所选滤波器类型以及所设置的输出数据速率会影响建立时间及其噪声性能。该器件还提供不同的功耗模式，用户可以调整ADC以获得最优功耗、速度或性能。系统的电流消耗或功耗预算分配高度依赖于最终应用。如果系统需要较高输出数据速率和较好的噪声性能，可以将器件配置为全功率模式。如果在合理的速度和合理的性能下需要限制功耗，则器件可以在中等或低功耗模式下运行。

除了精度或性能之外，时序也是一个因素。在大多数应用中，为了执行所有测量，需要满足特定时间要求。如果使能多个通道（即使用多个传感器），设计人员需要考虑通过数字滤波器的延迟。在多路复用ADC中，当使能多个通道时，每次切换通道都需要一个建立时间。因此，选择具有较长建立时间的滤波器类型（即sinc4或sinc3）会降低整体吞吐速率。在这种情况下，可使用后置滤波器或FIR滤波器以较短的建立时间提供合理的50 Hz/60 Hz同时抑制，从而提高吞吐速率。所有滤波器选项和输出数据速率选择的子集可以通过[热敏电阻配置器和误差预算计算器](#)进行测试。这将产生期望噪声性能，并将馈送到下一节将要讨论的系统误差计算中。请注意，输出数据速率/FS值/吞吐速率的全部选择可通过[Virtual Eval在线工具](#)获得。Virtual Eval显示了不同场景的时序，无论是测量单个还是多个热敏电阻传感器，都可以使用它来评估ADC的时序性能。

### 误差预算计算

如前所述，热敏电阻配置器和误差预算计算器允许用户修改系统配置以获得最优性能。图3所示的误差预算计算器可帮助设计人员了解与ADC相关的误差，以及来自系统配置的误差，无论是否进行内部或系统校准。系统错误饼图指示系统的哪个部分对系统总误差的贡献最大。因此，客户可以修改ADC或系统配置以实现最优性能。

如图3所示，ADC引起的误差不是系统总误差的重要贡献因素。在全温度范围内工作时，外部元件及其温度系数或温度漂移规格通常是整个系统的主要误差因素。

例如，如果我们在工具中将检测电阻的温度系数从10 ppm/°C改为25 ppm/°C，您会发现系统总误差显著增加。因此，必须选择具有较好初始精度和较低温度系数的检测电阻，以使任何可能的温度漂移误差最小。

AD7124-4/AD7124-8提供不同的校准模式，使用校准可进一步减少测量误差。建议在上电或软件初始化时进行内部校准，以消除标称温度时的ADC增益和失调误差。请注意，该工具使用的增益设置为1。AD7124-4/AD7124-8出厂校准增益为1，所得增益系数是器件的默认增益系数。因此，该器件在增益为1时不支持进一步的内部满量程校准。注意，在标称温度进行的内部校准只能消除AD7124-4/AD7124-8的增益和失调误差，而不能消除外部电路引起的增益和失调误差以及任何漂移误差。执行系统校准可消除外部误差。在不同温度点执行校准也可改善漂移性能。但是，这会增加成本和工作量，并且可能不适合某些应用。

### 故障检测

对于恶劣环境或安全很重要的应用，诊断特性越来越重要，甚至必不可少。即使对于非安全设计，诊断也能提高稳健性，确保设计的所有模块都正常运行，并且处理器仅接收和处理有效数据。AD7124-4/AD7124-8中的嵌入式诊断减少了对外部元件实现诊断的需求，使得解决方案尺寸更小、时间更短且成本更低。诊断包括：

- ▶ 检查模拟引脚上的电压电平，确保其在额定工作范围内
- ▶ 基准电压检查
- ▶ 串行外设接口(SPI)总线的循环冗余校验(CRC)
- ▶ 存储器映射的CRC
- ▶ 信号链检查

这些诊断使得解决方案更强大。

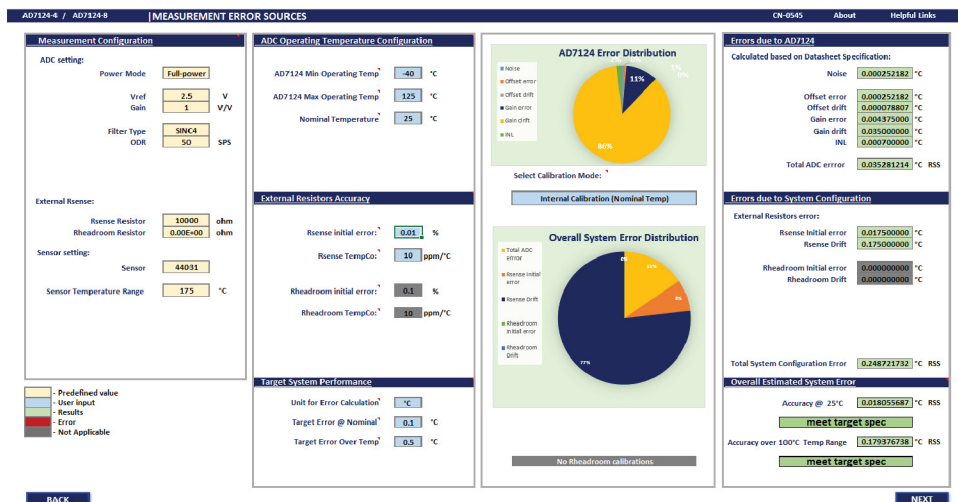


图 3. 热敏电阻误差预算计算器

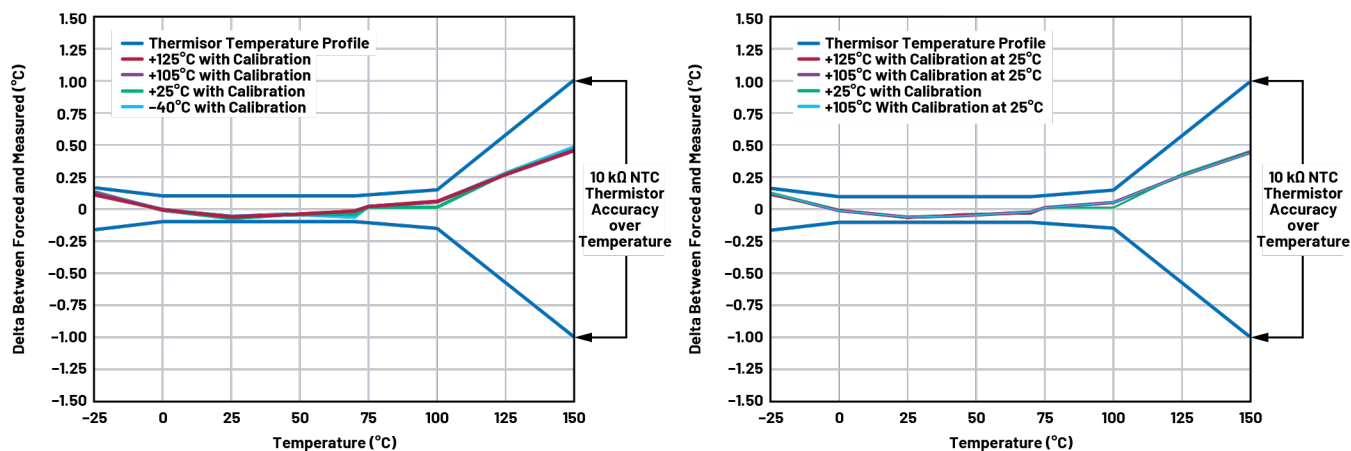


图 4. 热敏电阻温度精度测量，后置滤波器，低功耗模式，25 SPS

## 热敏电阻系统评估

对系统设计进行概念化并了解预期系统性能之后，设计师的下一步是制作原型并验证设计的性能。CN-0545是Circuits from the Lab®参考设计，它利用EVAL-AD7124-4/EVAL-AD7124-8评估板及其评估软件提供0.1°C精度的热敏电阻的测量数据。CN-0545中的电路使用一个10 kΩ、44031型NTC热敏电阻传感器，其额定测量范围为-50°C至+150°C，0°C至+70°C之间的精度为±0.1°C，更宽温度范围内的精度为±1°C。

图4显示了CN-0545的测量结果。该测量数据是利用AD7124-4/AD7124-8评估板获得的，该评估板包括热敏电阻演示模式，可测量热敏电阻的电阻并使用传感器的Steinhart-Hart常数计算等效温度(°C)。该图显示了实际性能结果。如果将其与误差预算计算器进行比较，实际结果可能比该工具提供的估计值要好。这种差异是由于该工具使用了所有参数的最大值，因此它提供的是电路的最差情况分析。在实践中，传感器漂移、初始精度以及系统中使用的电子设备和元件的温度漂移并不总是处于额定最大值。

提供这种经过验证的灵活参考电路板对系统设计人员很有价值，因为它能缩短设计周期并提供良好的电路技术。除了硬件，软件还支持针对每个热敏电阻传感器的不同系统优化和校准技术，以满足市场对易于使用、高精度、精密、可靠信号链解决方案的需求。

为设计人员提供工具和硬件演示模式电路可以简化设计过程，但系统设计人员有不同的测量处理办法，并且可能使用不同的控制器进行软件处理。为了进一步简化开发过程，可以使用一个简单的固件应用程序AD7124温度测量演示示例来生成自定义代码，它支持选择控制器板、软件平台、器件配置和测量传感器（如热敏电阻）。这个开源Mbed平台支持150多种经过修改或未经修改的控制器板。因此，它支持快速原型设计，开发工作将更加快捷。

## 结论

本文已说明，设计基于热敏电阻的温度测量系统是一个具挑战性的多步骤过程。为使系统设计人员的设计之旅更轻松，可以使用热敏电阻配置器、误差预算计算器、Virtual Eval、评估板硬件和软件、Mbed固件和CN-0545来应对不同的挑战，例如连接问题和总误差预算，将用户的设计体验提升到更高层次。

使用高集成度、低带宽Σ-Δ型ADC可进一步减少设计工作，因为它们提供了激励、调理、测量传感器所需的构建模块，同时消除了50 Hz/60 Hz抑制等问题。

这种集成度加上完整的系统资料或生态系统，将能简化整体系统设计，降低成本，缩短从概念到原型的设计周期。



## 作者简介

Jellenie Rodriguez是ADI公司精密转换器技术部的一名应用工程师。她主要关注用于直流测量的精密 $\Sigma$ - $\Delta$ 型ADC。她于2012年加入ADI公司，2011年毕业于San Sebastian College-Recoletos de Cavite，获得电子工程学士学位。



## 作者简介

Mary McCarthy是ADI公司应用工程师。她于1991年加入ADI公司，在爱尔兰科克市的线性与精密技术应用部工作，主要关注精密 $\Delta$ - $\Sigma$ 型转换器。她于1991年毕业于科克大学，获得电子与电气工程学士学位。

