

Circuits from the Lab®
Reference Designs

Circuits from the Lab® reference designs are engineered and tested for quick and easy system integration to help solve today's analog, mixed-signal, and RF design challenges. For more information and/or support, visit www.analog.com/CN0354.

连接/参考器件

AD8495	集成冷结补偿的精密热电偶放大器
AD7787	低功耗24位Σ-Δ型ADC
REF194	精密、低功耗、低压差基准电压源
ADG1609	4.5 Ω R _{ON} 、4通道、±5 V/+12 V/+5 V/+3.3 V多路复用器
ADR3412	低功耗、高精度基准电压源
ADM8829	开关电容电压反相器

集成冷结补偿的低功耗多通道热电偶测量系统

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0354评估板\(EVAL-CN0354-PMDZ\)](#)

[系统演示平台\(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

[SDP-I-PMOD转接板\(PMD-SDP-IB1Z\)](#)

设计和集成文件

[原理图、布局文件、物料清单](#)

电路功能与优势

图1所示电路是一个灵活的4通道低功耗热电偶测量电路，总功耗小于8 mW。该电路包括一个多路复用前端，后接

一个仪表放大器，用于执行冷结补偿(0°C至50°C)，以及以5 mV/°C的精确比例系数将热电偶输出转换为电压。在-25°C至+400°C的测量范围内，误差小于2°C，主要是由热电偶非线性引起。非线性校正算法可将900°C测量范围内的误差降低至0.5°C以下。无噪声分辨率小于0.1°C。

该信号随后由24位Σ-Δ型ADC数字化，数字值通过SPI串行接口提供。设计采用PMOD尺寸，只需非常少的PCB面积，原型开发可迅速完成，特别适合需要精密热电偶温度测量的应用。

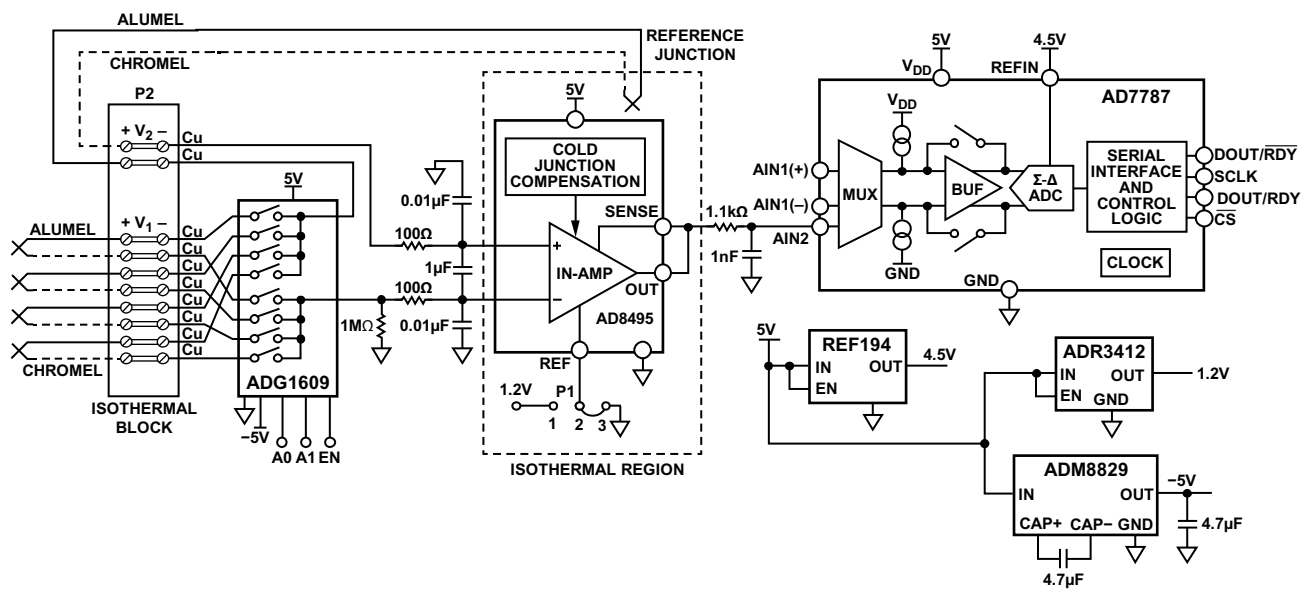


图1. 多通道K型热电偶测量系统(原理示意图: 未显示去耦和所有连接)

Rev. A

Circuits from the Lab® reference designs from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

电路描述

电路的4路热电偶输入端接于等温模块P2。互补金属氧化物半导体(CMOS)模拟多路复用器ADG1609将4个热电偶通道切换到单个信号调理模块,以便处理4路热电偶输入。该开关为先开后合式开关,具有低电荷注入特性,可使通道切换造成的瞬变最小。

等温模块输出端产生的热电偶电压与测量热电偶和等温模块(冷结)的温度之差成正比。

该信号由精密仪表放大器AD8495放大,后者经过激光调整,针对K型热电偶可提供5 mV/°C的精密输出。AD8495还能提供0°C到50°C范围的冷结补偿。

图1还显示了第五个热电偶,其作用是抵消等温模块与AD8495冷结补偿电路之间的温度差所产生的电压。多路复用器使能时,由等温块处的热电偶连接形成的康铜(镍铝)—铜结与参考热电偶连接形成的铜—康铜(镍铝)结串联。由于等温块温度相等,该串联连接产生相等但极性相反的电压。在此条件下,AD8495内部冷结补偿电路补偿IC处的参考结,IC温度必须保持0°C至50°C之间。因此,第五个热电偶连接使得AD8495无需像通常情况那样直接安装在等温模块上。

AD8495的输出由1.1 kΩ/1 nF单极点滤波器滤波,该滤波器的-3 dB截止频率为145 kHz,其作用是使AD7787 ADC输入端的宽带噪声最小。

AD7787是一款24位、低噪声、低功耗Σ-Δ型ADC,适合热电偶测量系统等低频测量应用。它内置时钟,无需使用外部时钟,输出数据速率可由用户配置。由于以较低的内部时钟频率工作,其功耗得以降低。该Σ-Δ型ADC具有一路差分输入和一路单端输入,通过多路复用器之后,任一输入都可以缓冲或不缓冲。

AD7787采用内部时钟工作,因此,用户不必为其提供时钟源。其输出数据速率可通过软件编程设置,可在9.5 Hz至120 Hz的范围内变化,更新速率较低时均方根(RMS)噪声为1.1 μV。在本电路中,AD7787以9.5 Hz的更新速率工作。内部时钟频率可以使用系数2、4或8进行分频,从而可以降低功耗。更新速率、截止频率和建立时间全都与时钟频率成比例变化。

AD7787采用2.5 V至5.25 V电源供电。工作电压为3 V时,最大功耗为225 μW。它采用10引脚MSOP封装。

热电偶信号调理

热电偶用于需要高温范围的温度测量。因为这个原因,并且其成本也较低,所以人们往往优先选择热电偶,而不是电阻温度检测器(RTD)。然而,热电偶是非线性元件,其不同温度产生的电压以不同的速率变化。例如,J型热电偶在25°C时变化幅度为52 μV/°C,150°C时变化幅度为55 μV/°C。K型热电偶更倾向于线性,温度高于0°C时变化幅度约为41 μV/°C。热电偶对于温度梯度的电压响应一般用六阶以上的多项式来描述。

图2显示了不同类型的热电偶在其工作温度范围内的塞贝克系数。从图中可看出,K型热电偶具有最宽的温度范围,可测量高达1250°C的温度。

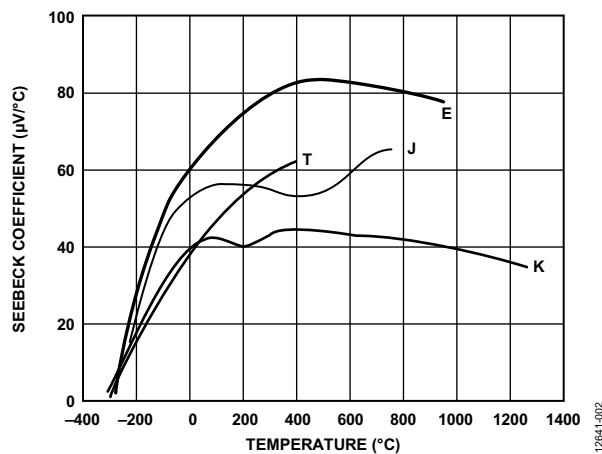


图2. 热电偶的塞贝克系数与温度的关系

由于热电偶的非线性特性,为了获得精确的温度读数,需要使用复杂的信号处理和信号调理,AD8495为此提供了理想解决方案。

AD8495经过调整,在0°C至50°C参考结范围提供冷结补偿,并具有5 mV/°C的线性传递函数。在-25°C至+400°C的测量范围内,最大输出误差为±2°C。输出电压利用下式计算:

$$T_{MJ} = \frac{V_{OUT} - V_{REF}}{5 \text{ mV/}^\circ\text{C}}$$

AD8495采用电路中的5 V单电源供电。输入结构为PNP晶体管,输入电压可以低至-200 mV,因而可以测量负温度。然而,为了处理负温度,必须让输出电压偏移,这是利用基准电压输入引脚(REF)来实现的。

REF引脚利用P1跳线接地时，系统可测量的最低温度为5°C。P1跳线还可以将REF引脚偏置电压连接到1.2V [ADR3412](#) 基准电压源，从而测量最低-235°C的温度。两种情况的对应温度范围参见表1。两种情况下的温度跨度均为875°C。必须用基准电压源或缓冲放大器等低阻抗源驱动REF引脚，以防出现误差。

表1. 采用5 V单电源时REF = 0 V和REF = 1.2 V对应的测量范围

REF引脚电压	温度范围
0 V或接地	5°C至880°C
1.2 V	-235°C至+640°C

热电偶开路检测

[AD8495](#)可以检测热电偶开路或损坏情况。[AD8495](#)的输入为PNP晶体管的基极，因此偏置电流总是流出输入端。若有输入开路，输出就会变为供电轨之一。通过一个1 MΩ电阻将负输入接地，将导致[AD8495](#)输出在热电偶开路情况下达到高供电轨。四个通道中若有任何通道不使用，应将其输入端接，防止[AD8495](#)在该通道接通时达到正供电轨。1 MΩ电阻还提供偏置电流接地回路。

[AD8495](#)具有高共模抑制性能，能够将热电偶长引线拾取的共模噪声降至最低。该放大器的高阻抗输入端允许轻松添加额外的滤波措施，以便更好地消除电磁干扰和射频干扰(EMI/RFI)。

电源考虑

图1中的电路采用5 V单电源供电，该电源为[ADG1609](#)、[AD8495](#)、[AD7787](#)的VDD引脚、[REF194](#)、[ADR3412](#)和[ADM8829](#)供电。

[REF194](#)为[AD7787](#)提供4.5 V基准电压。[ADR3412](#)为[AD8495](#)的REF输入提供1.2 V可选偏移电压。跳线P1可将REF引脚连接到1.2 V或地。

开关电容电压反相器[ADM8829](#)提供多路复用器[ADG1609](#)所需的-5 V电压，以支持负温度测量。

表2列出了电路中各器件的功耗(基于数据手册技术规格)。设计的最大功耗为1.56 mA。注意，最大功耗是由开关电容电压反相器[ADM8829](#)引起的。若有负电源来驱动[ADG1609](#)的VSS引脚，则可不使用该反相器，总电流将降至约556 μA。

表2. 电路功耗

产品型号	最大功耗
AD8495	250 μA
AD7787	160 μA
ADG1609	1 μA
REF194	45 μA
ADR3412	100 μA
ADM8829	1000 μA

注意，总电流为1556 μA。

测试结果

在-25°C至+400°C范围内，对于0°C至50°C的参考结温度，[AD8495](#)的最大温度误差为±2°C(由热电偶非线性引起)。如需更宽的温度范围或更高的精度，必须使用线性校正算法，这可通过软件实现。关于非线性校正的讨论，请参见[AN-1087应用笔记“使用AD8494/AD8495/AD8496/AD8497时的热电偶线性化”](#)。图3显示了电路使用和不使用校正算法两种情况下的线性误差。

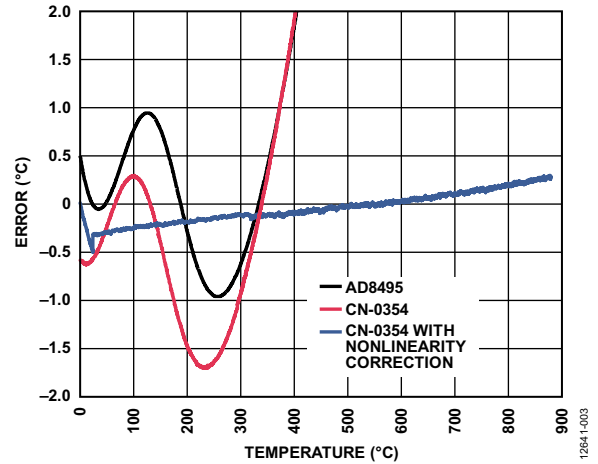


图3. 使用和不使用校正算法两种情况下的线性误差

系统噪声在受控温度环境下测试，以便检查系统的无噪声码分辨率。图4显示了噪声分布图，涵盖大约1098个代码。对于24位分辨率和900°C的跨度， $1 \text{ LSB} = 900^\circ\text{C}/224 = 0.07^\circ\text{C}$ 分辨率。

$$\text{无噪声分辨率} = \log_2 \left(\frac{16,777,216}{\text{码分布}} \right)$$

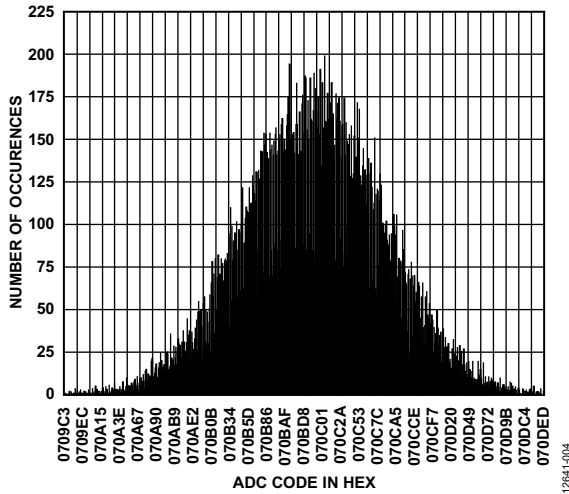


图4. 电路的噪声分布直方图(禁用输入缓冲器AD7787, 输出数据速率= 9.5 Hz)

无噪声码分辨率计算如下：

$$\text{无噪声分辨率} = \log_2 \left(\frac{16,777,216}{1098} \right) = 13.9 \text{位}$$

常见变化

经验证，采用设计所选的器件时，CN-0354电路能够稳定地工作，并具有良好的精度。

本设计也可利用AD594/AD595实现，后者也是单芯片热电偶信号调理放大器，提供10 mV/°C输出。

AD8495还有其它版本，如AD8494、AD8496和AD8497等，它们分别适用于不同的热电偶类型、环境温度范围和测量温度范围，如表3所示。

表3. AD849x ±2°C精度温度范围

器件	热电偶类型	最大误差	环境温度范围	测量温度范围
AD8494	J	±2°C	0°C至50°C	-35°C至+95°C
AD8495	K	±2°C	0°C至50°C	-25°C至+400°C
AD8496	J	±2°C	25°C至100°C	55°C至565°C
AD8497	K	±2°C	25°C至100°C	-25°C至+295°C

电路评估与测试

设备要求

需要以下设备：

- EVAL-CN0354-PMDZ评估板
- EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台
- PMD-SDP-IB1Z, SDP-I-PMOD转接板
- CN0354评估软件
- 6 V 壁式电源适配器
- PC(Windows 32位或64位)

软件安装

CN-0354评估套件包括一张光盘，其中含有自安装软件。该软件兼容Windows® XP (SP2)、Windows Vista(32位和64位)及Windows 7(32位和64位)。如果安装文件未自动运行，可以运行光盘中的setup.exe文件。请先安装评估软件，再将评估板和SDP板连接到PC的USB端口，确保PC能够正确识别评估系统。利用该软件可以对串行接口进行全面配置。为了确保正常工作，主机和从机的配置必须匹配。

软件操作详见CN-0354软件用户指南。

电源要求

EVAL-CN0354-PMDZ评估板必须采用5 V电源供电。建议电源至少提供2 mA电流。如果直接从PMD-SDP-IB1Z转接板供电，应确保电源经过良好的滤波且无数字噪声。

测试设置功能框图

图5显示测试设置的功能框图；图6显示EVAL-CN0354-PMDZ评估板的照片。

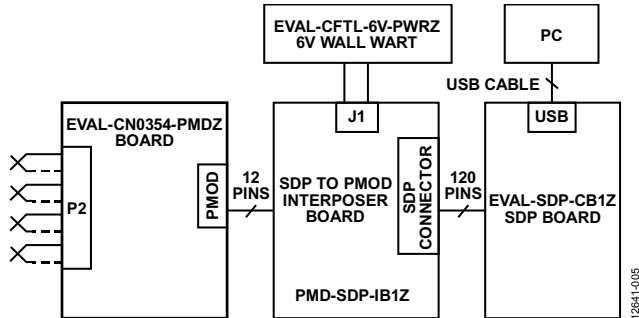


图5. 测试设置功能框图

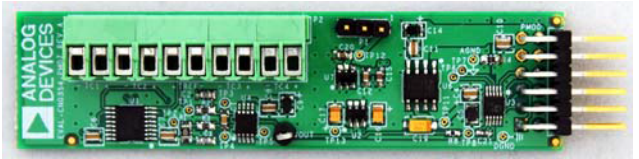


图6. EVAL-CN0354-PMDZ评估板

了解详情

CN0354设计支持包:

<http://www.analog.com/CN0354-DesignSupport>

Corrigan, Theresa, AN-1024: 如何计算多路复用器的建立时间和采样速率, ADI公司

Matt Duff和Joe Towey, 两种简单、精确、灵活的热电偶温度检测方法, 《模拟对话》, 44-10, 2010年10月

Kester, Walt, 1999年, 传感器信号调理, ADI公司, 第7章“温度传感器”。

教程MT-022: ADC架构III: Δ-Σ型ADC基础, ADI公司。

教程MT-023: ADC架构IV: Δ-Σ型ADC高级概念和应用, ADI公司。

Malik, Reem, AN-1087: 使用AD8494/AD8495/AD8496/AD8497时的热电偶线性化, ADI公司。

Marcin, Joe, AN-369, 利用AD594/AD595调理热电偶信号, ADI公司。

指南MT-035: 运算放大器输入、输出、单电源和轨到轨问题, ADI公司。

指南MT-031, 实现数据转换器的接地并解开AGND和DGND的谜团, ADI公司。

指南MT-101, 去耦技术, ADI公司。

NIST(美国国家标准技术研究院)针对K型热电偶的相关表格。

数据手册和评估板

AD8495数据手册

AD7787数据手册

ADG1609数据手册

REF194数据手册

ADR3412数据手册

ADM8829数据手册

修订历史

2015年2月—修订版0至修订版A

更改“电路功能与优势”部分	1
更改表1	3

2014年9月—修订版0: 初始版

(Continued from first page) Circuits from the Lab reference designs are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the Circuits from the Lab reference designs in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the Circuits from the Lab reference designs. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab reference designs are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any Circuits from the Lab reference designs at any time without notice but is under no obligation to do so.

