

**Circuits from the Lab™**  
Reference Circuits

*Circuits from the Lab™ reference circuits 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/CN0271](http://www.analog.com/CN0271).*

### 连接/参考器件

AD8495	完整的K型0°C至50°C范围热电偶放大器，集成冷结补偿功能
AD8476	低功耗、单位增益全差分放大器和ADC驱动器
AD7790	16位、单通道、超低功耗Σ-Δ型ADC
ADR441	超低噪声、2.5V LDO XFET基准电压源，具有吸电流和源电流能力

## 集成冷结补偿的K型热电偶测量系统

### 评估和设计支持

#### 电路评估板

[CN-0271 电路评估板 \(EVAL-CN0271-SDPZ\)](#)

[系统演示平台, SDP-B \(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

#### 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所示电路是一款完整的热电偶信号调理电路，带有冷结补偿功能并后接一个16位Σ-Δ型模数转换器(ADC)。AD8495热电偶放大器为测量K型热电偶温度提供了一种简单的低成本解决方案，且包含冷结补偿功能。

AD8495中的固定增益仪表放大器可放大热电偶的小电压，以提供5 mV/°C输出。该放大器具有高共模抑制性能，能够抑制热电偶的长引线可能会拾取的共模噪声。如需额外保护，该放大器的高阻抗输入端允许轻松添加额外的滤波措施。

AD8476差分放大器提供正确的信号电平和共模电压，以驱动AD7790 16位Σ-Δ型ADC。

该电路为热电偶信号调理和高分辨率模数转换提供了一种紧凑的低成本解决方案。

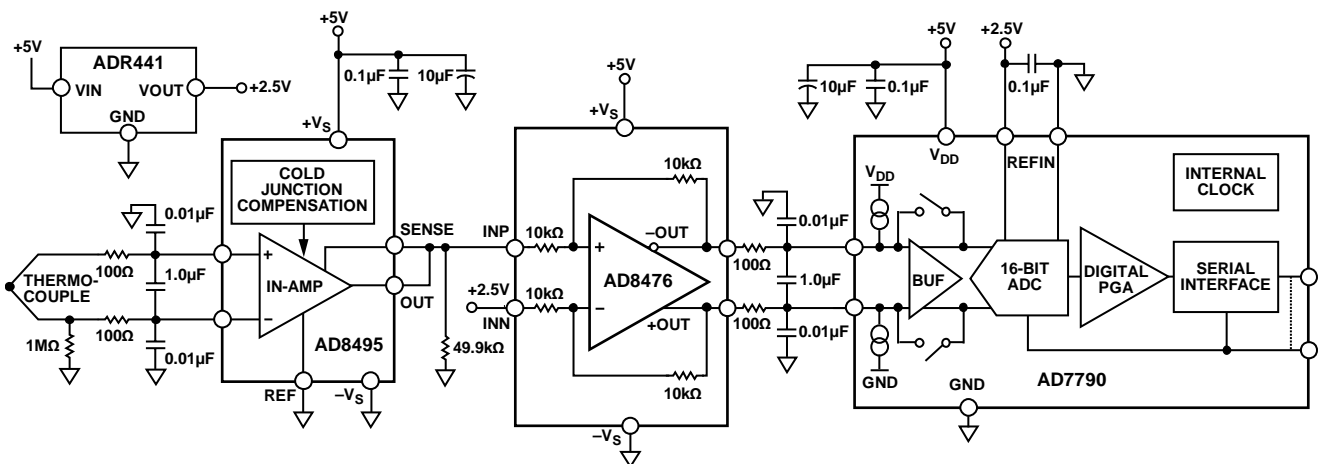


图1. 集成冷结补偿的K型热电偶测量系统(原理示意图: 未显示所有连接)

#### Rev. A

Circuits from the Lab™ circuits 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)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
Tel: 781.329.4700 [www.analog.com](http://www.analog.com)  
Fax: 781.461.3113 ©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

## 电路描述

热电偶是一种广泛用于温度测量的简单元件。它由两种异质金属的连接结组成。这些金属在一端相连，形成测量结，也称为热结。热电偶的另一端连接到与测量电子装置相连的金属线。这种连接形成了第二个结——基准结，也称为冷结。为了得出测量结的温度( $T_{MJ}$ )，用户必须知道热电偶所产生的差分电压。用户还必须知道基准结温( $T_{RJ}$ )所产生的误差电压。补偿基准结温误差电压称为冷结补偿。为使输出电压精确地代表热结测量结果，电子装置必须补偿基准(冷)结温的任何变化。

该电路使用AD8495热电偶放大器，并采用单个5 V电源供电。AD8495的输出电压针对5 mV/°C校准。采用5 V单电源时，输出在大约75 mV和4.75 V之间保持线性，对应于15°C至950°C的温度范围。AD8495的输出驱动AD8476单位增益差分放大器的同相输入端，该放大器则将单端输入转换为差分输出，用于驱动AD7790 16位Σ-Δ型ADC。

AD8495输入端之前的低通差分 and 共模滤波器可消除RF信号，如果任由其到达AD8495，它可能会被整流，表现为温度波动。两个100 Ω电阻和一个1 μF电容构成一个截止频率为800 Hz的差分滤波器。两个0.01 nF电容构成一个截止频率为160 kHz的共模滤波器。AD8476差分放大器的输出端在信号施加于AD7790 ADC之前使用了一个类似的滤波器。

AD8495输入可保护器件不受最高超出对侧供电轨25 V的输入电压偏移的影响。例如，在该电路中，正供电轨为5 V而负供电轨接地时，器件可以安全地承受-20 V至+25 V的输入电压。基准引脚和检测引脚处的电压不得超出供电轨0.3 V以上。此特性对存在电源时序控制问题的应用特别重要，这类问题可导致信号源在施加放大器电源之前活动。

该系统的理论分辨率可根据AD8495的带宽、电压噪声密度和增益来计算得出。峰峰值(无噪声码)分辨率(单位为位)为：

$$\text{Noise Free Bits} = \frac{\log \left[ \frac{V_{OUT\_MAX}}{6.6 \times \text{Voltage Noise Density} \times \text{Gain} \times \sqrt{1.57 \times \text{Bandwidth}}} \right]}{\log(2)}$$

$$= \frac{\log \left[ \frac{4.9 \text{ V}}{6.6 \times (32 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}) \times 122.4 \times \sqrt{1.57 \times 800 \text{ Hz}}} \right]}{\log(2)} = 12.4 \text{ bits}$$

AD8476是一款功耗极低的全差分精密放大器，集成了用于单位增益的薄膜激光调整型10 kΩ增益电阻。它是此类应用的理想之选，因为它能够防止在AD8495上施加相对较高的阻抗负载。

AD7790是一款适合低频测量应用的低功耗、完整模拟前端，内置一个低噪声16位Σ-Δ型ADC，其中有一个可配置为缓冲或无缓冲模式的差分输入端。

## 测试结果

衡量该电路性能的一个重要指标是线性误差量。在-25°C至+400°C范围内，AD8495的输出精度在2°C以内。在此范围以内或以外工作时，要实现更高的精度，必须在软件中实施一种线性校正算法。CN-0271评估软件使用NIST热电偶电压查找表来确保15°C至950°C范围内输出误差在1°C以内。

图2将AD8495与CN-0271系统的性能进行了比较，并显示了对ADC输出进行线性化校正后的结果。有关如何在软件中实施此算法的详情，请参见AN-1087应用笔记“使用AD8494/AD8495/AD8496/AD8497时的热电偶线性化”。

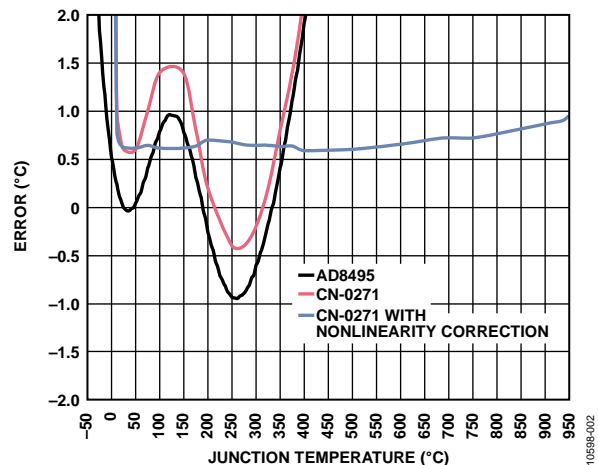


图2. AD8495输出误差、CN-0271电路总误差以及热电偶非线性校正后的CN-0271电路总误差

系统的噪声性能对电路的精度也很重要。图3显示了1,000个测量样本的直方图。该数据是利用连接到EVAL-SDP-CB1Z系统演示平台(SDP-B)评估板的CN-0271评估板获得的。有关设置详情,请参见“电路评估与测试”部分。

测得的峰峰值噪声约为6 LSB (1 LSB =  $4.9 \text{ V} \div 65536 = 74.8 \mu\text{V}$ ), 对应于0.449 mV p-p和13.4位的无噪声分辨率。

$$\text{Noise Free Bits} = \frac{\log\left(\frac{V_{IN\_MAX}}{\text{Noise}_{Vp-p}}\right)}{\log(2)} = \frac{\log\left(\frac{4.9 \text{ V}}{0.449 \times 10^{-3} \text{ V}_{p-p}}\right)}{\log(2)} = 13.4 \text{ bits}$$

这表明转换器并未降低无噪声分辨率, 因为从固定热电偶输入电压所测分辨率而得到的无噪声位数与根据AD8495的理论输出噪声而预测的无噪声位数大致相同。

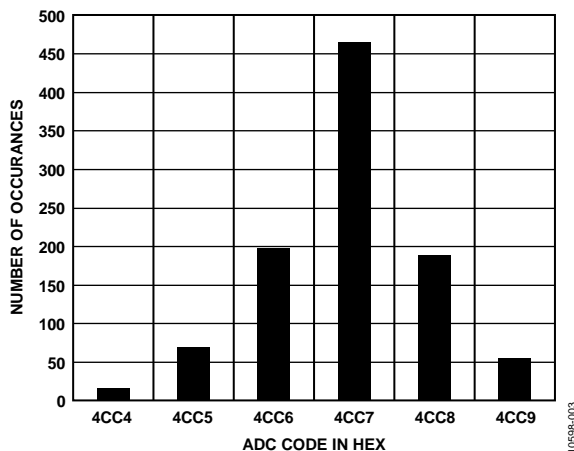


图3. 120 Hz条件下1,000个样本的码字直方图

有关本电路笔记的完整设计支持包, 请访问 [www.analog.com/CN0271-DesignSupport](http://www.analog.com/CN0271-DesignSupport)

## 常见变化

为了测量负温度, 需对基准引脚施加一个电压, 以偏置0°C时的输出电压。AD8495的输出电压为:

$$V_{OUT} = (T_M \times 5 \text{ mV}/^\circ\text{C}) + V_{REF}$$

通过将电路修改为采用双电源供电, 可以测量完整的K型热电偶范围-200°C至+1250°C。AD8495采用单电源供电时, 测量低于环境温度的温度时会得到非线性结果, 因为输出开始发生饱和, 接近于供电轨。要在较低温度条件下保持精度不变, 请使用双电源, 或者通过对基准引脚施加合适的偏移电压对输出进行电平转换。

AD8494针对J型热电偶进行了校准。AD8494和AD8495针对0°C和50°C之间的基准结进行了优化。

AD8496(I型)和AD8497(K型)针对25°C和100°C之间的基准结进行了优化。

经验证, 该电路能够稳定地工作, 并具有良好的精度。

## 电路评估与测试

本电路使用EVAL-CN0271-SDPZ电路板和系统演示平台(SDP-B)控制器板(EVAL-SDP-CB1Z)。这两片板具有120引脚的对接连接器, 可以快速完成设置并评估电路性能。EVAL-CN0271-SDPZ包含要评估的电路, 如本电路笔记所述; SDP-B控制器板与CN-0271评估软件一起使用, 可从EVAL-CN0271-SDPZ电路板中获取数据。

## 设备要求

需要以下设备:

- 带USB端口的Windows® XP、Windows Vista®(32位)或Windows® 7(32位)PC
- EVAL-CN0271-SDPZ电路评估板
- SDP-B控制器板(EVAL-SDP-CB1Z)或SDP-S控制器板(EVAL-SDP-CS1Z)
- CN-0271 SDP评估软件
- 6 V电源(EVAL-CFTL-6V-PWRZ)或同等直流电源

## 开始使用

将CN-0271评估软件光盘放进PC的光盘驱动器, 加载评估软件。打开我的电脑, 找到包含评估软件的驱动器。

## 功能框图

电路框图参见本电路笔记的图1, 电路原理图参见EVAL-CN0271-SDPZ-SCH-RevA.pdf文件。此文件位于CN-0271设计支持包中。

# CN-0271

## 设置

将EVAL-CN0271-SDPZ电路板上的120引脚连接器连接到SDP-B控制器板(EVAL-SDP-CB1Z)上的CON A连接器。使用尼龙五金配件,通过120引脚连接器两端的孔牢牢固定这两片板。

在断电情况下,将EVAL-CFTL-6V-PWRZ插头连接到板上标有J5的管式连接器。如果没有,则将+6V和GND引脚连接到板上提供的两个J4引脚螺丝。此外,将SDP-B板附带的USB电缆连接到PC上的USB端口。

然后,将一个K型热电偶连接器连接到板上的J1,另一端连接到测试设备。

## 测试

启动评估软件,并通过USB电缆将PC连接到SDP-B板上的微型USB连接器。一旦USB通信建立,就可以使用SDP-B板来发送、接收和捕捉来自EVAL-CN0271-SDPZ板的串行数据。

图4显示了CN-0271 SDP-B评估软件界面的屏幕截图,图5则显示了EVAL-CN0271-SDPZ评估板和SDP-B板的照片。有关SDP-B板的信息,请参阅UG-277用户指南。

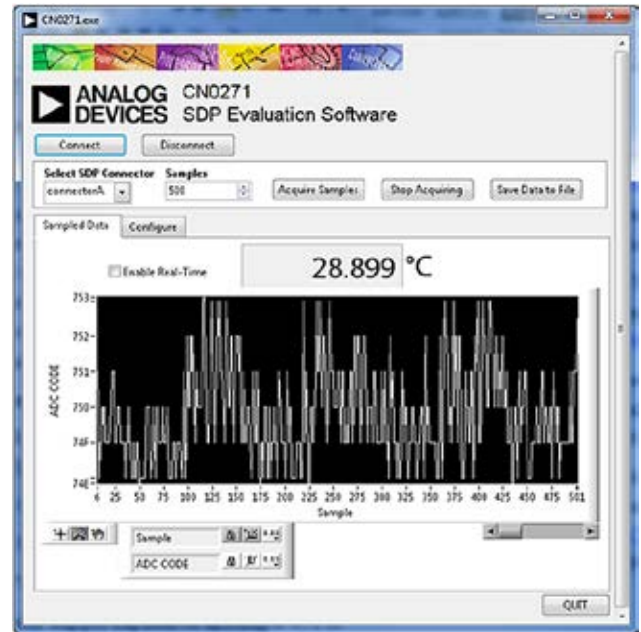


图4. CN-0271 SDP-B评估软件界面

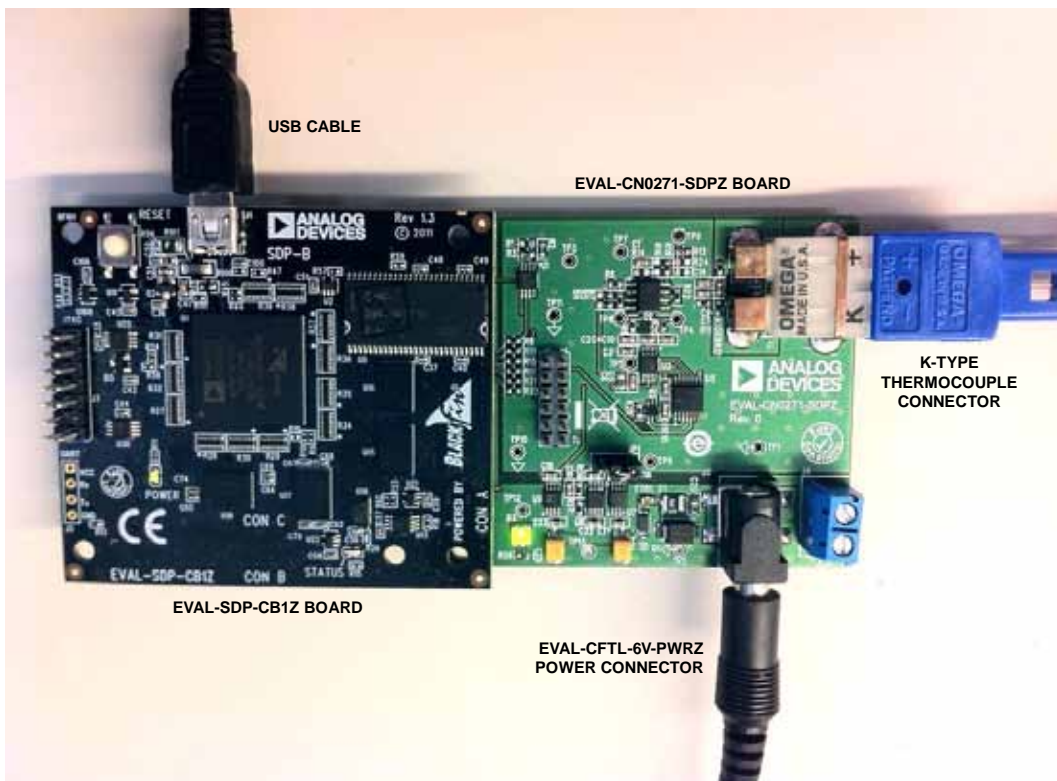


图5. 连接到SDP-B板的EVAL-CN0271-SDPZ评估板

**了解详情**

CN0271 Design Support Package:

[www.analog.com/CN0271-DesignSupport](http://www.analog.com/CN0271-DesignSupport)

SDP-B User Guide

Ardizzone, John. *A Practical Guide to High-Speed Printed-Circuit-Board Layout*, Analog Dialogue 39-09, September 2005.

Duff, Matthew and Towey, Joseph. *Two Ways to Measure Temperature Using Thermocouples Feature Simplicity, Accuracy, and Flexibility*. Analog Dialog 44-10, October 2010.

Malik, Reem. *Thermocouple Linearization When Using the AD8495/AD8496/AD8497*, Application Note AN-1087, Analog Devices.

MT-031 Tutorial, *Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND"*, Analog Devices.

MT-035, *Op Amp Inputs, Outputs, Single-Supply, and Rail-to-Rail Issues*, Analog Devices.

MT-036 Tutorial, *Op Amp Output Phase-Reversal and Input Over-Voltage Protection*, Analog Devices.

MT-068 Tutorial, *Difference and Current Sense Amplifiers*, Analog Devices.

MT-101 Tutorial, *Decoupling Techniques*, Analog Devices.

**数据手册和评估板**

[CN-0271 Circuit Evaluation Board \(EVAL-CN0271-SDPZ\)](#)

[System Demonstration Platform, SDP-B \(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

[AD8495 Data Sheet](#)

[AD8476 Data Sheet](#)

[AD7790 Data Sheet](#)

[ADR44x Data Sheet](#)

[ADP3336 Data Sheet](#)

**修订历史**

**2012年6月—修订版0至修订版A**

更改图1 ..... 1

**2012年6月—修订版0：初始版**

(Continued from first page) Circuits from the Lab circuits 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 circuits 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 circuits. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, Circuits from the Lab circuits 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 circuits at any time without notice but is under no obligation to do so.

©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.  
CN10598sc-0-6/12(A)

