



Circuits from the Lab™ 実用回路は今日のアナログ・ミックスド・シグナル、RF 回路の設計上の課題の解決に役立つ迅速で容易なシステム統合を行うために作製、テストされました。詳しい情報と支援は [www.analog.com/jp/CN0271](http://www.analog.com/jp/CN0271) をご覧ください。

### 接続/参考にしたデバイス

AD8495	冷接点補償機能付き、全機能内蔵、温度範囲 0°C~50°C の K タイプ熱電対アンプ
AD8476	低消費電力、ユニティ・ゲイン完全差動アンプおよび A/D コンバータ・ドライバ
AD7790	超低消費電力、16 ビット・シングル・チャンネル $\Sigma\Delta$ 型 A/D コンバータ
ADR441	電流シンク/ソース機能付き、超低ノイズ 2.5V LDO XFET 電圧リファレンス

## アンプベースの冷接点補償機能付き熱電対温度測定システム

### 評価および設計サポート

#### 回路評価ボード

CN-0271 回路評価ボード (EVAL-CN0271-SDPZ)

システム・デモ用プラットフォーム, SDP-B (EVAL-SDP-CB1Z)

#### 設計と統合ファイル

回路図、レイアウト・ファイル、部品表

### 回路の機能とその利点

図 1 に示す回路は、冷接点補償回路を含むフル機能の熱電対シグナル・コンディショニング回路であり、これに 16 ビットのシグマ・デルタ ( $\Sigma\Delta$ ) AD コンバータ (ADC) を接続しています。AD8495 熱電対アンプは、K タイプの熱電対温度を測定する、冷接点補償機能を備えたシンプルな低価格ソリューションを提供します。

AD8495 に内蔵された固定ゲイン計装アンプは、小さい熱電対電圧を増幅して 5 mV/°C の出力を生成します。このアンプは同相ノイズ除去比が大きいので、長い熱電対リードに混入する恐れのある同相ノイズを阻止することができます。保護機能を追加する場合は、アンプの入力インピーダンスが高いため、フィルタ機能を容易に追加することができます。

AD8476 差動アンプは、正確な信号レベルと同相電圧を提供して AD7790 16 ビット  $\Sigma\Delta$  ADC を駆動します。

この回路は、熱電対シグナル・コンディショニングと高分解能の AD 変換向けに小型で低価格のソリューションを提供します。

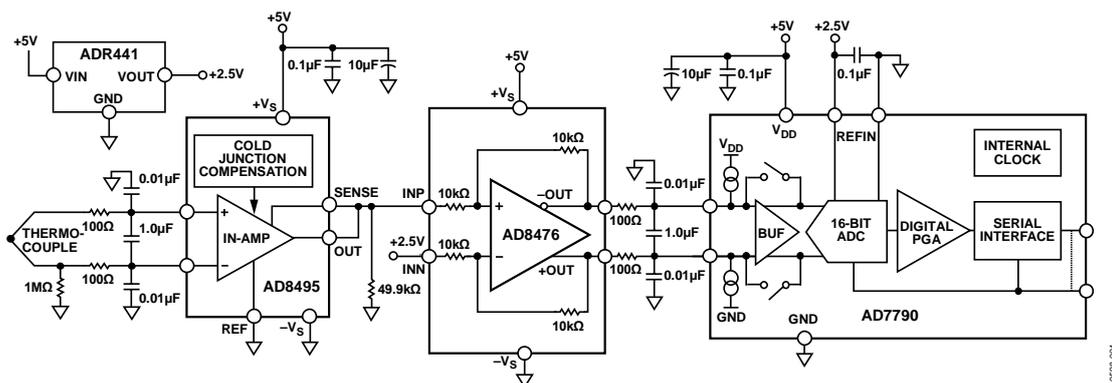


図 1. 冷接点補償機能を組み込んだ K タイプ熱電対測定システム (簡略回路図)

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本誌記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。

©2012-2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. B

アナログ・デバイセズ株式会社

本社 / 〒105-6891 東京都港区海岸 1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル  
電話 03 (5402) 8200  
大阪営業所 / 〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36 新大阪トラストタワー  
電話 06 (6350) 6868

## 回路説明

熱電対は温度測定に幅広く使用されているシンプルな部品で、2本の異種金属線を接合したものでできています。これらの金属線の一端を接合した部分が測定接点で、温接点とも呼ばれます。熱電対のもう一端は、計測機器につながる金属線に接続されます。この接続により生じるもう1つの接点が基準接点で、冷接点とも呼ばれます。測定接点温度 ( $T_M$ ) を得るには、熱電対が生じる差動電圧を知る必要があります。また、基準接点温度 ( $T_R$ ) が生成する誤差電圧も知る必要があります。基準接点の誤差電圧を補償することを冷接点補償といいます。出力電圧が温接点の測定値を正確に反映するように、デバイスは基準（冷）接点温度のあらゆる変化を補償する必要があります。

この回路では、AD8495 熱電対アンプを 5V 単電源で使用しています。AD8495 の出力電圧は  $5\text{mV}/^\circ\text{C}$  に対して校正されています。5V 単電源での出力は、 $15^\circ\text{C}\sim 950^\circ\text{C}$  の温度範囲に対応して、約  $75\text{mV}\sim 4.75\text{V}$  の間で直線的に変化します。AD8495 の出力が AD8476 ユニティ・ゲイン差動アンプの非反転入力駆動すると、シングルエンド入力が差動出力に変換され AD7790 16 ビット  $\Sigma\text{-}\Delta$  ADC を駆動します。

AD8495 の入力の前に差動/同相ローパス・フィルタを使用することにより RF 信号の発生を抑え、信号が AD8495 に達した場合でも、整流して温度の変動のように見せることができます。2本の  $100\Omega$  抵抗と  $1\mu\text{F}$  のコンデンサで、カットオフ周波数が  $800\text{Hz}$  の差動フィルタを形成しています。また、2個の  $0.01\mu\text{F}$  コンデンサでカットオフ周波数が  $160\text{kHz}$  の同相フィルタを形成しています。AD7790 ADC に信号が入力される前段で、AD8476 の出力に同様のフィルタを使用します。

AD8495 の入力は、反対側の電源レールによる最大  $25\text{V}$  の入力電圧変動から保護されます。たとえば、この回路では、5V の正電源レールと GND に接続された負電源レールにより、デバイスは  $-20\text{V}\sim +25\text{V}$  の入力電圧に確実に耐えることができます。リファレンス・ピンと検出ピンの電圧は電源レールから  $0.3\text{V}$  を超えてはなりません。アンプへの電源供給前に信号源がアクティブになる可能性のある電源シーケンスの問題を抱えるアプリケーションでは、この機能が特に重要です。

システムの理論上の分解能は、AD8495 の帯域幅、電圧ノイズ密度、およびゲインから計算できます。ピーク to ピーク（ノイズ・フリー・コード）分解能（ビット）は次のようになります。

NoiseFreeBits=

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

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

AD8476 は消費電力が非常に小さい完全差動の高精度アンプで、レーザ・トリミングしたユニティ・ゲイン用の  $10\text{k}\Omega$  薄膜ゲイン抵抗を内蔵しています。このデバイスは、AD8495 に対して比較的高い負荷インピーダンスを示すので、このアプリケーションには最適です。

AD7790 は、低周波計測アプリケーション向けの低消費電力、フル機能アナログ・フロントエンドです。このデバイスには、バッファ付きまたはバッファなしを選択できる差動入力を1つ備えた低ノイズの 16 ビット  $\Sigma\text{-}\Delta$  ADC が内蔵されています。

## テスト結果

回路の性能を示す重要な指標が、直線性誤差の大きさです。AD8495 の出力は、 $-25^\circ\text{C}\sim +400^\circ\text{C}$  の範囲で  $2^\circ\text{C}$  以内と高精度です。この範囲の内外を問わず出力動作時の精度をさらに高めるには、直線性補正アルゴリズムをソフトウェアに実装する必要があります。CN-0271 の評価ソフトウェアは、NIST の熱電対電圧のルックアップ・テーブルを使用して、 $15^\circ\text{C}\sim 950^\circ\text{C}$  の範囲で  $1^\circ\text{C}$  以内の出力誤差を実現します。

図 2 は、AD8495 の性能を、CN-0271 のシステムおよびその ADC 出力に直線性補正を加えた結果と比較したものです。アルゴリズムのソフトウェアへの実装方法については、AN-1087 アプリケーション・ノート

「AD8494/AD8495/AD8496/AD8497 を使用する際の熱電対の直線化」を参照してください。

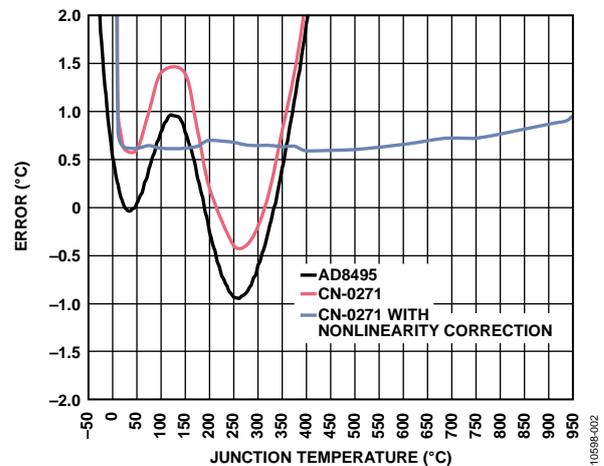


図 2. AD8495 の出力誤差、CN-0271 の回路の総合誤差および熱電対直線性補正を加えた CN-0271 の回路の総合誤差

システムのノイズ性能は回路の精度にとっても重要です。図 3 に 1,000 個の測定サンプルのヒストグラムを示します。このデータは評価ボードの EVAL-SDP-CB1Z システム・デモ用プラットフォーム (SDP-B) に接続された CN-0271 の評価ボードを使って得られたものです。セットアップの詳細については「回路の評価とテスト」のセクションで説明します。

測定されたピーク to ピーク・ノイズは約 6LSB (1LSB =  $4.9\text{V} \div 65536 = 74.8\mu\text{V}$ ) で、 $0.449\text{mVp-p}$  とノイズ・フリー分解能の 13.4 ビットに対応しています。

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

熱電対の固定入力電圧の分解能測定値は AD8495 の理論上の出力ノイズから予測されるノイズ・フリー・ビットとほぼ同じビット数になるので、上記からノイズ・フリー分解能がコンバータによって低下しないことがわかります。

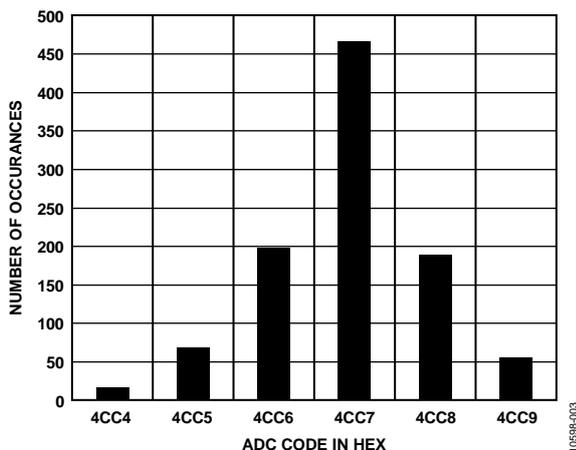


図 3. 1,000 個のコード・サンプルのヒストグラム (120Hz 時)

この回路ノートに関する設計サポート・パッケージは、[www.analog.com/CN0271-DesignSupport](http://www.analog.com/CN0271-DesignSupport) で入手できます。

## バリエーション回路

負温度を測定するには、リファレンス・ピンに電圧を加えて  $0^{\circ}\text{C}$  での出力電圧をオフセットさせます。AD8495 の出力電圧は次のようになります。

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

両電源で動作する回路に変更を加えることにより、K タイプの熱電対の全温度範囲である  $-200^{\circ}\text{C} \sim +1250^{\circ}\text{C}$  を測定することができます。AD8495 を単電源で動作させると、周囲温度を下回る温度の測定値は、出力が電源レール付近で飽和し始めるため、非線形になります。低温で高精度を維持するには、両電源を使用するか、またはリファレンス・ピンに適切なオフセット電圧を加えることにより、出力をレベルシフトさせます。

AD8494 は J タイプの熱電対向けに校正されています。また、AD8494 と AD8495 はともに  $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$  の範囲の基準接点に対して最適化されています。

AD8496 (J タイプ) と AD8497 (K タイプ) は  $25^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$  の範囲の基準接点に対して最適化されています。

この回路は、優れた安定性と精度で動作することが実証されています。

## 回路の評価とテスト

この回路は、EVAL-CN0271-SDPZ 回路ボードとシステム・デモ用プラットフォーム (SDP-B) コントローラ・ボード (EVAL-SDP-CB1Z) を使用します。2 枚のボードは 120 ピン・コネクタを備えているので、短時間で組み立てて回路の性能を評価することができます。EVAL-CN0271-SDPZ ボードには、この回路ノートで説明したように、評価対象の回路が含まれています。SDP-B コントローラ・ボードは、EVAL-CN0271-SDPZ 回路ボードからデータをキャプチャするために CN-0271 評価用ソフトウェアと併用します。

## 必要な装置

以下の装置類が必要になります。

- USB ポート付き PC および Windows® XP、Windows Vista® (32 ビット) または Windows® 7 (32 ビット)
- EVAL-CN0271-SDPZ 回路評価ボード
- SDP-B コントローラ・ボード (EVAL-SDP-CB1Z) または SDP-S コントローラ・ボード (EVAL-SDP-CS1Z)
- CN-0271 SDP 評価用ソフトウェア
- 6V 電源 (EVAL-CFTL-6V-PWRZ) または同等 DC 電源

## 評価開始にあたって

CN-0271 評価用ソフトウェア CD を PC の CD ドライブにセットして評価用ソフトウェアをロードします。マイコンピュータから評価用ソフトウェア CD を挿入したドライブを探します。

## 機能ブロック図

回路ブロック図についてはこの回路ノートの図 1 を、回路図についてはファイル EVAL-CN0271-SDPZ-SCH-RevA.pdf をご覧ください。このファイルは CN-0271 設計サポート・パッケージに含まれています。

## セットアップ

EVAL-CN0271-SDPZ 回路基板の 120 ピン・コネクタを SDP-B コントローラ・ボード (EVAL-SDP-CB1Z) の CON A コネクタに接続します。120 ピン・コネクタの両端にある穴を利用し、ナイロン製ハードウェアを使って 2 枚の基板をしっかりと固定します。

電源を切って、EVAL-CFTL-6V-PWRZ のプラグをボードの J5 と表示されたバレル・コネクタに差し込みます。これが使用できない場合は、+6V ピンと GND ピンをボードの J4 にある 2 つのピン・スクリューに接続します。また、SDP-B ボードに付属している USB ケーブルを PC の USB ポートに接続します。

次いで、Kタイプ熱電対コネクタの一端をボードのJ1に、もう一端をテスト装置に接続します。

### テスト

評価用ソフトウェアを起動し、PCからのUSBケーブルをSDP-BボードのミニUSBコネクタに接続します。USBによる通信が確立すると、SDP-Bボードを使ってEVAL-CN0271-SDPZボードとの間のシリアル・データの送受信およびキャプチャを行うことができます。

図4に、CN-0271 SDP-B 評価用ソフトウェアのインターフェースのスクリーンショットを図5にEVAL-CN0271-SDPZ評価ボードとSDP-Bボードの写真を示します。SDP-Bボードに関しては、[UG-277](#) ユーザー・ガイドを参照してください。

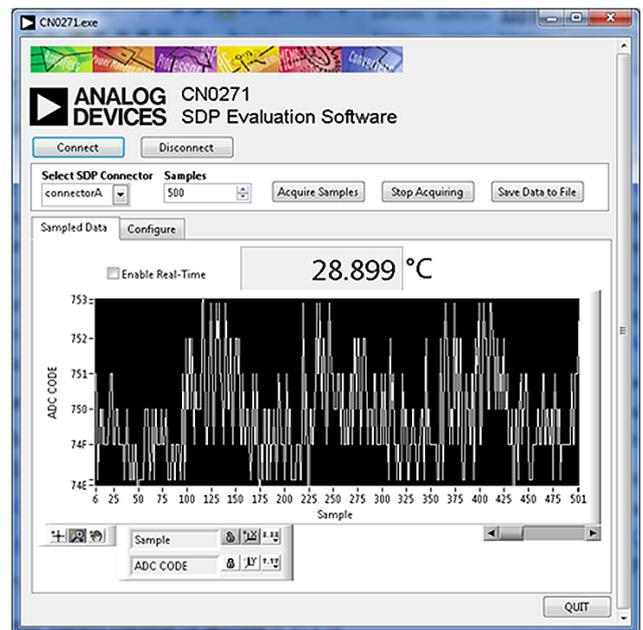


図4. CN-0271 SDP-B 評価用ソフトウェアのインターフェース

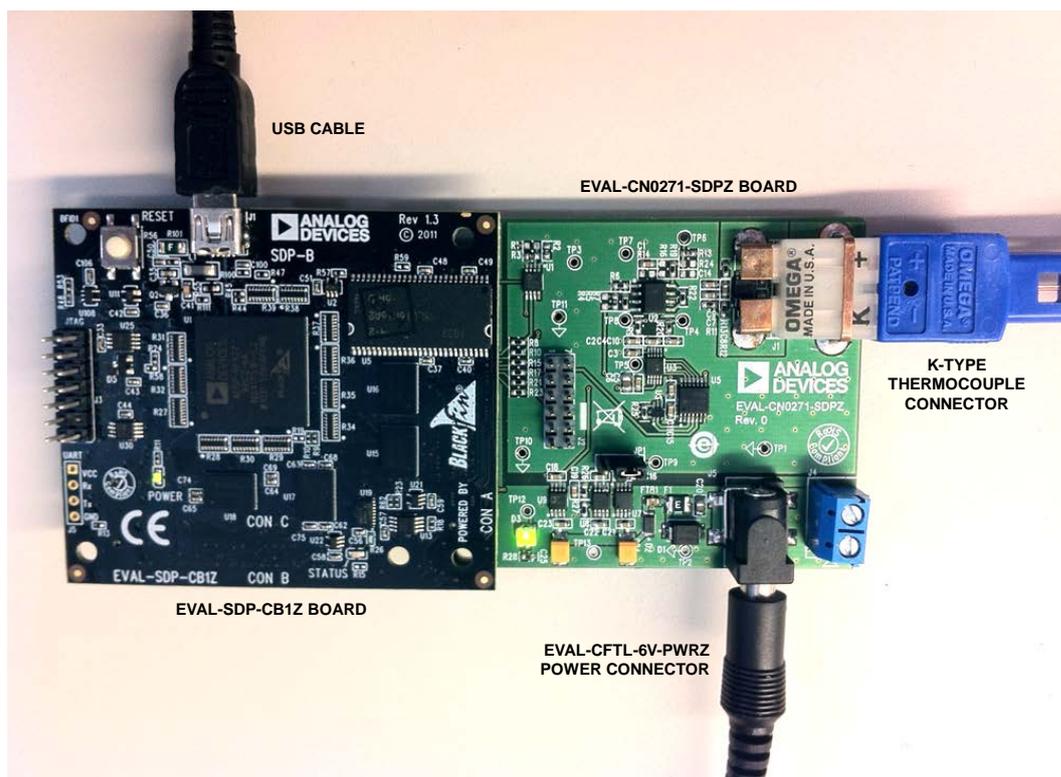


図5. SDP-B ボードに接続された EVAL-CN0271-SDPZ 評価ボード

## さらに詳しくは

CN0271 Design Support Package :

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

[SDP-B User Guide](#)

Analog Dialogue 39-09 : 高速プリント回路基板レイアウトの実務ガイド

Analog Dialog 44-10 : 熱電対の簡便性、精度、フレキシビリティを利用して温度を測定する 2 つの方法

Application Note AN-1087 :

[AD8494/AD8495/AD8496/AD8497](#) を使用する際の熱電対の直線化

MT-031 Tutorial : [Grounding Data Converters and Solving the Mystery of “AGND” and “DGND”](#)

MT-035 : [Op Amp Inputs, Outputs, Single-Supply, and Rail-to-Rail Issues](#)

MT-036 Tutorial : [Op Amp Output Phase-Reversal and Input Over-Voltage Protection](#)

MT-068 Tutorial : [Difference and Current Sense Amplifiers](#)

MT-101 Tutorial : [Decoupling Techniques](#)

## データシートと評価ボード

[CN-0271 回路評価ボード \(EVAL-CN0271-SDPZ\)](#)

[システム・デモ用プラットフォーム SDP-B \(EVAL-SDP-CB1Z\)](#)

[AD8495 データシート](#)

[AD8476 データシート](#)

[AD7790 データシート](#)

[ADR44x データシート](#)

[ADP3336 データシート](#)

## 改訂履歴

**8/13—Rev. A to Rev. B**

Change to Title ..... 1

**6/12—Rev. 0 to Rev. A**

Changes to Figure 1 ..... 1

**6/12—Revision 0:初版**

「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセズ社製品専用で作られており、アナログ・デバイセズ社またはそのライセンスの供与者の知的所有物です。お客様は製品設計で「Circuits from the Lab/実用回路集」を使用することはできませんが、その回路例を利用もしくは適用したことにより、特許権またはその他の知的所有権のもとでの暗示的許可、またはその他の方法でのライセンスを許諾するものではありません。アナログ・デバイセズ社の提供する情報は正確でかつ信頼できるものであることを期しています。しかし、「Circuits from the Lab/実用回路集」は現状のまま、かつ商品性、非侵害性、特定目的との適合性の暗示的保証を含むがこれに限定されないいかなる種類の明示的、暗示的、法的な保証なしで供給されるものであり、アナログ・デバイセズ社はその利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許権もしくはその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。アナログ・デバイセズ社はいつでも予告なく「Circuits from the Lab/実用回路集」を変更する権利を留保しますが、それを行う義務はありません。商標および登録商標は各社の所有に属します。