



テスト済み回路設計集“Circuits from the Lab™”は共通の設計課題を対象とし、迅速で容易なシステム統合のために製作されました。さらに詳しい情報又は支援は <http://www.analog.com/jp/CN0206> をご覧ください。

使用したリファレンス・デバイス

AD7793	オンチップ計装アンプとリファレンス内蔵の3チャンネル、低ノイズ、低消費電力、24ビットのシグマ・デルタ ADC

**消費電流 500 μA 未満の熱電対測定システム**

評価と設計支援ツール

回路評価用ボード

**CN-0206 回路評価用ボード (EVAL-CN0206-SDPZ)**  
システム・デモンストレーション・プラットフォーム  
(EVAL-SDP-CB1Z)

設計および統合ファイル

回路図、レイアウト・ファイル、BOM リスト

回路の機能と利点

図1に示す回路は、24ビット・シグマ・デルタ (ΣΔ) A/D コンバータ (ADC) AD7793 に使用した全機能搭載の熱電対計測システムです。AD7793 は、低消費電力、低ノイズの高精度測定アプリケーション向けの全機能搭載アナログ・フロントエンドです。このデバイスは、プログラマブル・ゲイン・アンプ (PGA)、

リファレンス、クロック、励起電流を内蔵しているため、熱電対計測システムの設計が大幅に簡素化します。

AD7793 の消費電流は最大でわずか 500 μA であり、フル機能のトランスミッタで消費電力を、4 mA 未満に抑える必要があるスマート・トランスミッタなどの低電力アプリケーションに最適です。AD7793 にはパワーダウン・オプションがあります。このモードでは、補助機能を含め ADC 全体がパワーダウンし、最大消費電流を 1 μA に削減します。

AD7793 は熱電対回路設計用の統合ソリューションであるため、熱電対に直接接続可能です。冷接点補償には、サーミスタと精密抵抗を使用します。EMC 対策用のいくつかの簡単な RC フィルタを除けば、冷接点測定に必要な外付け部品はこれだけです。

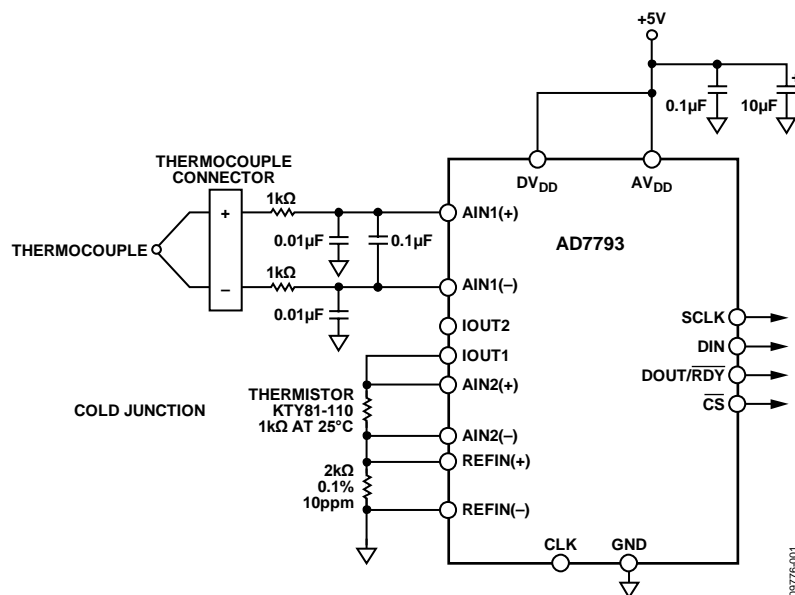


図1. 冷接点補償機能を備えた熱電対計測システム (簡略図: デジタル側接続はすべて省略)

アナログ・デバイス社は、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・デバイス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。本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。※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。

## 回路の説明

この回路にはタイプ T 熱電対が使われています。この熱電対（銅・コンスタンタン）は  $-200^{\circ}\text{C}$  から  $+400^{\circ}\text{C}$  までの温度を測定し、 $40\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  の温度差に依存する電圧を発生します。

熱電対の応答は、温度範囲全体の狭い範囲の一部では（例えば  $0^{\circ}\text{C}$  から  $60^{\circ}\text{C}$  までの範囲）でほぼ線形を示します（図 2 を参照）。温度範囲全体で正確な測定をするために、CN0206-SDP-0 評価用ソフトウェアが線形化（リニアライズ）ルーチンを実行します。

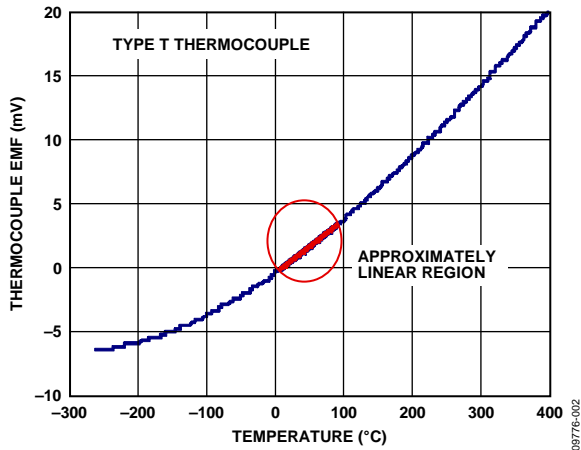


図 2. 温度対熱電対 EMF（熱起電力）

## 冷接点補償

熱電対は、絶対温度ではなく 2 点間の温度差を測定します。1 点の温度を測定するには、片方の接点（通常は冷接点）を既知の基準温度にして、もう一方の接点の温度を検出します。

大部分のアプリケーションでは、1 つの接点を既知の安定した一定の温度にすることが難しいため、熱に反応するデバイスをプリント回路基板（PCB）上に配置して正確な温度を測定します。この回路では、この温度測定にサーミスタを使い、熱電対の回路への入力点の温度を測定します。熱電対接続端子の金属製タブの内側にサーミスタを取り付けて、温度勾配による誤差ができる限り生じないようにします。

既知の冷接点温度からの電圧をシミュレートするため、適切な補正を行って確認することができます。正確な温度測定値を得るための熱電対およびサーミスタ電圧の処理と操作の詳細については、熱電対の直線化を参照してください。

## ADC チャンネル 1 の設定 — 熱電対入力

熱電対の温度範囲は  $-200^{\circ}\text{C}$  から  $+400^{\circ}\text{C}$  です。熱電対が生成する代表的な温度差に対する応答電圧は  $40\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$  なので、これによって  $-8\ \text{mV}$  から  $+16\ \text{mV}$  までの熱電対電圧が発生します。

ADC は熱電対電圧を読み取る際に  $2\ \text{V}$  の外部リファレンスを使用し、内部のゲインは  $64$  に設定されています。このため、アナログ入力電圧範囲は、差動で  $\pm 31.25\ \text{mV}$  ( $\pm V_{\text{REF}}/\text{Gain}$ ) となります。ゲインが  $64$  の場合、アナログ入力の絶対電圧は  $\text{GND} + 300\ \text{mV}$  から  $\text{AV}_{\text{DD}} - 1.1\ \text{V}$  までの間でなければなりません。

AD7793 は単電源で動作するため、熱電対が生成する信号を ADC の入力許容範囲に収まるように、信号をグラウンドより高い値にバイアスする必要があります。熱電対信号の同相電圧が  $\text{AV}_{\text{DD}}/2$  となるように、AD7793 上のバイアス電圧発生器が信号に DC バイアスをかけます。

## ADC チャンネル 2 の設定 — サーミスタ入力

ADC の 2 つめの入力チャンネルは、AD7793 が持つ電流出力ピンの 1 つによって駆動されるサーミスタ両端に発生する電圧を監視します。図 1 に示すように、 $1\ \text{mA}$  の励起電流がサーミスタと精密抵抗 ( $2\ \text{k}\Omega$ ,  $0.1\%$ ) の直列ペアを駆動します。

サーミスタの値は  $0^{\circ}\text{C}$  ( $815\ \Omega$ ) から  $30^{\circ}\text{C}$  ( $1040\ \Omega$ ) までの範囲で変化し、 $1\ \text{mA}$  の励起電流により  $815\ \text{mV}$  から  $1040\ \text{mV}$  までの範囲の電圧信号を生成します。精密抵抗は、サーミスタ両端の電圧測定するための外部リファレンスとして使用するので、この電流で  $2.0\ \text{V}$  の電圧を発生します。ゲインが  $1$  の場合、アナログ入力範囲は差動で  $\pm 2\ \text{V}$  ( $\pm V_{\text{REF}}/\text{Gain}$ ) です。このアーキテクチャはレシオメトリック測定回路です。励起電流の値が変化してもシステムの精度は変わりません。

$0^{\circ}\text{C}$  から  $30^{\circ}\text{C}$  までの範囲で伝達関数が線形だと想定すると、冷接点温度とサーミスタ抵抗  $R$  の関係は次のようになります。

$$\text{冷接点温度} = 30 \times (R - 815) / (1040 - 815)$$

考慮すべきもう 1 つの点は、AD7793 の IOUT1 ピンの許容出力電圧範囲（コンプライアンス電圧）です。 $1\ \text{mA}$  の励起電流使用時の許容出力電圧範囲は  $\text{AV}_{\text{DD}} - 1.1\ \text{V}$  までです。IOUT1 の最大電圧は、精密抵抗の両端電圧にサーミスタ両端の最大電圧を加えた値、すなわち  $2\ \text{V} + 1.04\ \text{V} = 3.04\ \text{V}$  であるため、この仕様に適合しています。

## 出力コーディング

入力電圧に対する出力コードは、いずれのチャンネルでも次の通りになります。

$$\text{コード} = 2^{N-1} \times [(AIN \times \text{Gain}/V_{\text{REF}}) + 1]$$

ここで、  
AIN はアナログ入力電圧、  
GAIN は計装アンプ設定、  
N = 24

EVAL-SDP-CB1Z アナログ・マイクロコントローラは、AD7793 からの変換データを処理します。

## 熱電対の直線化

「回路の説明」で述べたように、熱電対がほぼ線形を示すのは限られた狭い温度範囲だけです。実際、これ以外の範囲では熱電対は高い非線形を示します。このため、CN0206-SDP-0 LabVIEW ソフトウェアによる直線化処理が実装されています。

米国標準技術局 (NIST) は、熱電対用の ITS-90 ルックアップ・テーブル (標準の出力数表) を提供しています。熱電対の各種類による表には、熱起電力 (mV) とそれらの電圧に対応する温度のリストが示されています。

前述の冷接点温度補正を実現するために、CN0206-SDP-0 評価用ソフトウェアは、タイプ T 熱電対のルックアップ・テーブルを使用して、冷接点温度に対応する熱起電力値を探します。さらにこのソフトウェアは、標準ルックアップ・テーブル内の各値からこの熱起電力を減じて、冷接点補償済みの熱起電力ルックアップ・テーブルを作成します。

次に評価用ソフトウェアは、修正されたルックアップ・テーブル内を検索して、AD7793 がサンプリングした熱電対からの入力電圧を探します。CN0206-SDP-0 評価用ソフトウェアがこの熱電圧がどの 2 点の間にあるかを探し出し、線形補間によって熱電対センサー端の温度を精密に割り出します。

### システム・キャリブレーション

熱電対温度の直線化のほかに、評価用ソフトウェアは 2 点キャリブレーションも行います。ユーザーが最低温度と最高温度を入力すると、CN0206-SDP-0 評価用ソフトウェアが対応する温度測定値を出します。

ソフトウェアはこれらの測定値を使用してゲインとオフセットを計算し、以後に行われる熱電対温度の計算に適用します。

### システム・ノイズの考慮

出力データレートが 16.7 Hz でゲインが 64 の場合、AD7793 の RMS (実効値) ノイズは  $0.086 \mu\text{V}$  です (ノイズは入力換算)。ピーク to ピークのノイズは次のように概算できます。

$$6.6 \times \text{RMS ノイズ} = 6.6 \times 0.086 \mu\text{V} = 0.5676 \mu\text{V}$$

熱電対の感度が正確に  $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  である場合、その熱電対は次に示す分解能で温度を測定することができます。

$$0.5676 \mu\text{V} \div 40 \mu\text{V} = 0.014^\circ\text{C}$$

### テストのデータと結果

すべてのデータの収集には、CN0206-SDP-0 LabVIEW 評価用ソフトウェアを使用しました。熱電対入力のシミュレーションには、CL540ZA シグナル・ソース (および適切な、タイプ T に合う補償導線) を使用しました。CL540ZA は、複数タイプの熱電対 (J、T、E、K、R、S、B、N、その他) のシミュレーションができます。

CL540ZA の入力ソースを  $-200^\circ\text{C}$  から  $+400^\circ\text{C}$  まで  $+5^\circ\text{C}$  刻みでスイープすることで、CN0206-SDP-0 評価用ソフトウェアを使用し、2 個のユーザー定義キャリブレーション・ポイントに従って、システムのデータ収集、直線化、キャリブレーションができました。

図 3 によると全温度範囲での誤差は  $1^\circ\text{C}$  未満ですが、大部分の温度範囲で  $0.5^\circ\text{C}$  未満です。

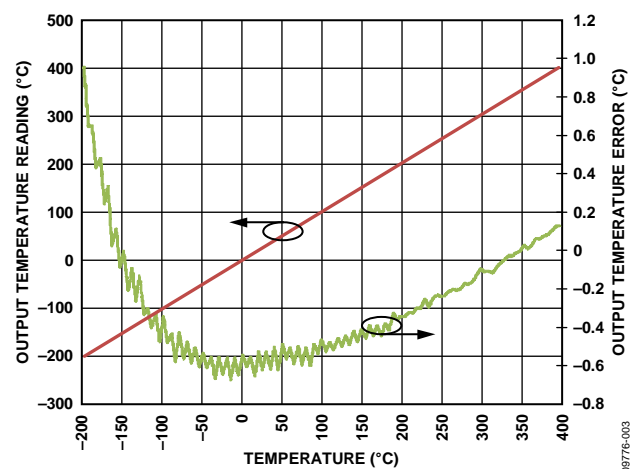


図 3. 入力温度 対 直線化およびキャリブレーション後の出力温度 (対応誤差プロットも併記)

AD7793 のピーク to ピーク・ノイズは、ADC の入力ピン同士を短絡して入力の中点電位に接続して 1000 個のサンプルを収集して確認しました。図 4 のヒストグラムに示すように、コードの分布幅は約 220 コードです。これはピーク to ピークで  $0.02^\circ\text{C}$  の温度分布幅に相当します。

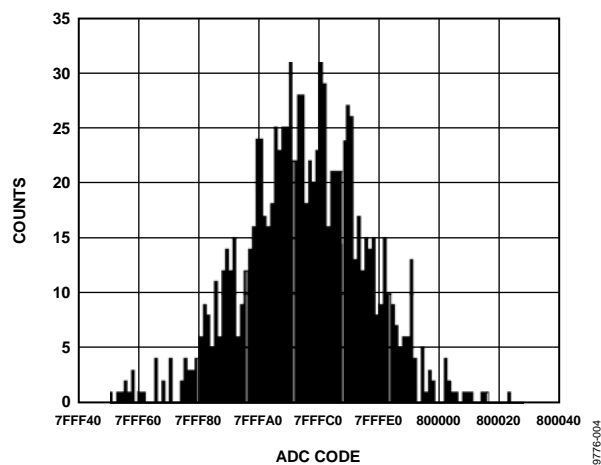


図 4. 入力ピン短絡時に AD7793 の出力コード分布幅を示すヒストグラム

テスト・データは、図 5 に示すボードを使用して収集しました。このシステムに関する文書はすべて、CN-0206 設計支援パッケージに入っています。

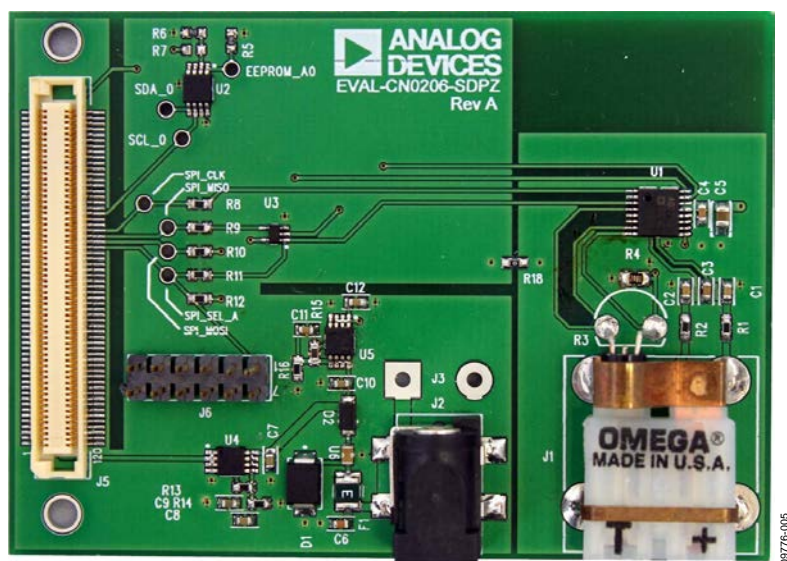


図 5. EVAL-CN0206-SDPZ ボードの写真

## バリエーション回路

AD7793 は低ノイズ、低消費電力の ADC です。この用途に使える ADC としては、ほかに [AD7792](#) と [AD7785](#) があります。どちらのデバイスも AD7793 と同じ機能セットを備えています。ただし、AD7792 は 16 ビット分解能 ADC で、AD7785 は 20 ビット分解能 ADC です。

## 回路評価とテスト

この回路は、[EVAL-CN0206-SDPZ](#) 回路基板と [EVAL-SDP-CB1Z](#) システム・デモンストレーション・プラットフォーム (SDP) 評価用ボードを使用します。2つのボードには 120 ピン・コネクタがあり、これを通して回路性能の設定と評価を短時間に実行できます。

EVAL-CN0206-SDPZ ボードには、この回路ノートに示した通り、評価対象の回路が含まれています。SDP 評価用ボードは、EVAL-CN0206-SDPZ ボードからのデータを取り込むために CN0206 評価用ソフトウェアを使用します。

## 必要な装置

以下の設備、及びソフトウェアが必要です。

- USB ポート付き Windows® XP および Windows Vista® (32 ビット)、または Windows® 7 (32 ビット) 搭載 PC
- 回路評価用ボード EVAL-CN0206-SDPZ
- SDP 評価用ボード EVAL-SDP-CB1Z
- CN0206 評価用ソフトウェア
- 電源：6 VDC ソースまたは 6 V AC アダプタ
- CL540ZA 熱電対ソースまたは同等品

## 測定の準備

PC に CN0206 評価用ソフトウェア CD をセットして、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ソフトウェア CD があるドライブに行き、**Readme** ファイルを開いてください。**Readme** ファイルの指示に従って、評価ソフトウェアをインストールして使用します。

## 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 [EVAL-CN0206-SDPZ-SCH-RevA.pdf](#) ファイルをご覧ください。このファイルは、CN0206 設計支援パッケージに含まれています。

## セットアップ

EVAL-CN0206-SDPZ ボードの 120 ピン・コネクタを EVAL-SDP-CB1Z 評価用 (SDP) ボードの **CON A** と表示されたコネクタに接続してください。120 ピン・コネクタの末端にある穴を利用し、ナイロン製取り付けねじを使って 2 枚のボードをしっかりと固定します。DC 電源をオフのまま、ボードの +6 V ピンと GND ピンに 6 V 電源を接続してください。6 V の AC アダプタがあれば、ボード上のジャック・コネクタに接続してこの 6 V 電源電圧の代わりに使用することができます。熱電対コネクタを J1 に接続します。注：この時点ではまだ熱電対信号ソース (CL540ZA) をオンにしないでください。

SDP ボード付属の USB ケーブルを PC の USB ポートに接続してください。注：この時点では、まだ USB ケーブルを SDP ボード上のミニ USB コネクタに接続しないでください。

## テスト

EVAL-CN0206-SDPZ ボードに接続した 6 V 電源 (または AC アダプタ) に電源をオンにしてください。CL540ZA 熱電対信号ソースをオンにして PC からの USB ケーブルを SDP ボードの USB コネクタに接続し、評価用ソフトウェアを起動します。

USB 通信の確立後は、SDP ボードを使用して EVAL-CN0206-SDPZ ボードからシリアル・データを送信、受信、取り込むことができます。

テスト・セットアップとキャリブレーションについての情報と詳細、およびキャリブレーション用ソフトウェアを使用してデータを収集する方法については、[CN-0206 ユーザー・ガイド](#) をご覧ください。

SDP ボードに関する情報は [SDP ユーザー・ガイド](#) に記載されています。

## さらに詳しい資料

CN-0206 Design Support Package:

[www.analog.com/CN0206-DesignSupport](http://www.analog.com/CN0206-DesignSupport)

Kester, Walt. 199B9. Temperature Sensors. Section 7. Analog Devices.

MT-004 Tutorial : The Good, the Bad, and the Ugly Aspects of ADC Input Noise—Is No Noise Good Noise? Analog Devices.

MT-022 Tutorial : ADC Architectures III: Sigma-Delta ADC Basics, Analog Devices.

MT-023 Tutorial : ADC Architectures IV: Sigma-Delta ADC Advanced Concepts and Applications, Analog Devices.

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

MT-101 Tutorial : Decoupling Techniques, Analog Devices.

## データシートと評価用ボード

AD7793 データシート

AD7793 評価用ボード

## 改訂履歴

## 8/13—Rev. A to Rev. B

Changes to Title .....	1
Changes to Test Section .....	4

## 8/12—Rev. 0 to Rev. A

Added Circuit Evaluation Boards Section .....	1
Changes to Circuit Note Title, Circuit Function and Benefits Section and Figure 1 .....	1
Added Cold Junction Compensation Section, ADC Channel 1 Configuration, Thermocouple Section, ADC Channel 2 Configuration, Thermistor Section, Output Coding Section, and Thermocouple Linearization Section .....	2
Deleted Figure 3 and Table 1; Renumbered Sequentially .....	3
Added System Calibration Section, System Noise Considerations Section, Test Data and Results Section, Figure 3, and Figure 4 .....	3
Added Figure 5, Equipment Needed Section, Getting Started Section, Functional Block Diagram Section, Setup Section, and Test Section ...	4
Changes to Circuit Evaluation and Test Section .....	4
Changes to Data Sheets and Evaluation Boards Section .....	5

## 10/11—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。お客さまは製品設計で「Circuits from the Lab/実用回路集」を使用することはできますが、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。

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved. 商標および登録商標は各社の所有に属します。