



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。さらに詳しい情報と支援については www.analog.com/jp/CN0172 をご覧ください。

接続／参考にしたデバイス

ADT7320	±0.25°C 精度、16 ビット、デジタル SPI 温度センサー
AD7793	計装アンプ／リファレンス内蔵、3 チャンネル、低ノイズ、低電力、24 ビット Σ - Δ ADC

高精度マルチ・チャンネル熱電対測定回路

評価と設計支援

回路評価基板

- CN-0172 回路評価用ボード (EVAL-CN0172-SDPZ)
- システム・デモ用プラットフォーム (EVAL-SDP-CB1Z)
- CN0172 ブレークアウト・ボード (EVAL-CN0172-SDPZ) に含まれている

設計と統合ファイル

- [回路図](#)、[レイアウト・ファイル](#)、[部品表](#)、[ソフトウェア](#)

回路の機能とその利点

図 1 に示す回路は高精度マルチ・チャンネル熱電対測定回路です。高精度熱電対測定を実現するには小さな熱電対電圧を増幅し、ノイズを削減し、非直線性を修正し、高精度な基準接点補正（一般的に冷接点補償と呼ばれる）を行う高精度部品のシグナル・チェーンが必要です。この回路は±0.25°C以上の精度で熱電対温度を測定するのに必要なこれらすべての課題を解決します。

図 1 に示す回路は3つのKタイプ熱電対を高精度24ビット・シグマデルタ (Σ - Δ) A/DコンバータAD7793に接続して熱電対電圧を測定する方法を示します。熱電対は絶対温度測定デバイスではなく差動デバイスなので、正確な絶対温度データを得るためには基準接点温度を知る必要があります。この方法は基準接点補償（一般的に冷接点補償と呼ばれる）として知られています。この回路では冷接点基準の測定に高精度16ビット・デジタル温度センサーADT7320を使用して必要な精度を得ています。

このタイプのアプリケーションは熱電対が提供する広温度範囲にわたって費用対効果があり、高精度な温度測定が要求されるシステムで広く使用されています。

回路の説明

図 1 の回路は3つのK型熱電対の温度を24ビット Σ - Δ ADCのAD7793を使用して同時に測定できるように設計されています。基準接点温度は±0.25°C精度、16ビットデジタルSPI温度センサーADT7320を使用して測定されます。

熱電対電圧の測定

熱電対とADCのAD7793の間のインターフェースは熱電対コネクタとフィルタです。各コネクタ (J1、J2、J3) は各差動ADCの入力に直接つながります。AD7793の入力に接続されているフィルタは信号がADCのAIN (+) と AIN (-) 入力に到達する前に熱電対の導線で混入したすべてのノイズを除去します。AD7793は熱電対の測温接点からの小信号を増幅するためにマルチプレクサ、バッファ、計装アンプを内蔵しております。

冷接点の測定

基準（冷）接点温度を-20°C ~ +105°Cの温度範囲にわたり±0.25°Cの精度で測定するために高精度16ビットデジタル温度センサーADT7320を使用します。ADT7320は工場ですべてにキャリブレーションされており、ユーザー側でのキャリブレーションは不要です。ADT7320は0.0078°C分解能で温度を測定し、デジタル化するためにバンドギャップ・リファレンス、温度センサー、16ビット Σ - Δ ADCを内蔵しております。

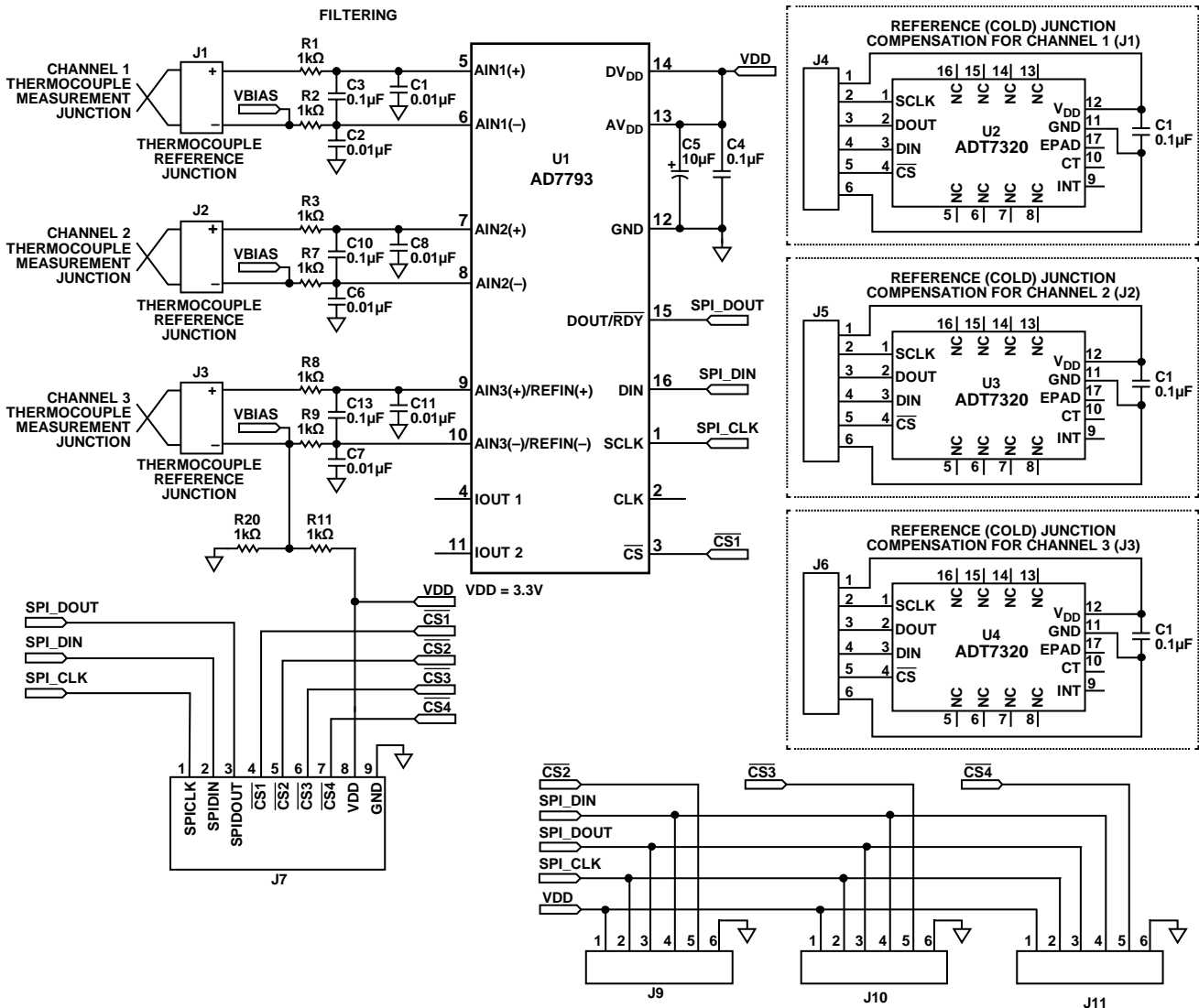
AD7793 と ADT7320は両方ともシステム・デモ用プラットフォーム (EVAL-SDP-CB1Z) を使用してSPIインターフェースで制御します。AD7793 と ADT7320はマイクロコントローラでも制御可能です。

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。本紙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 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0



NOTES:

1. EPAD = EXPOSED PADDLE OF THE LFCSP PACKAGE (ADT7320)
2. THE REFERENCE (COLD) JUNCTION COMPENSATION SENSOR BOARDS CONNECTIONS TO THE REST OF THE CIRCUIT:
 - A) CHANNEL 1 (J1): J4 TO J9
 - B) CHANNEL 2 (J2): J5 TO J10
 - C) CHANNEL 3 (J3): J6 TO J11

図 1. マルチ・チャンネル熱電対測定システム (簡略化した回路: 接続及びデカップリングの全ては示されていません。)

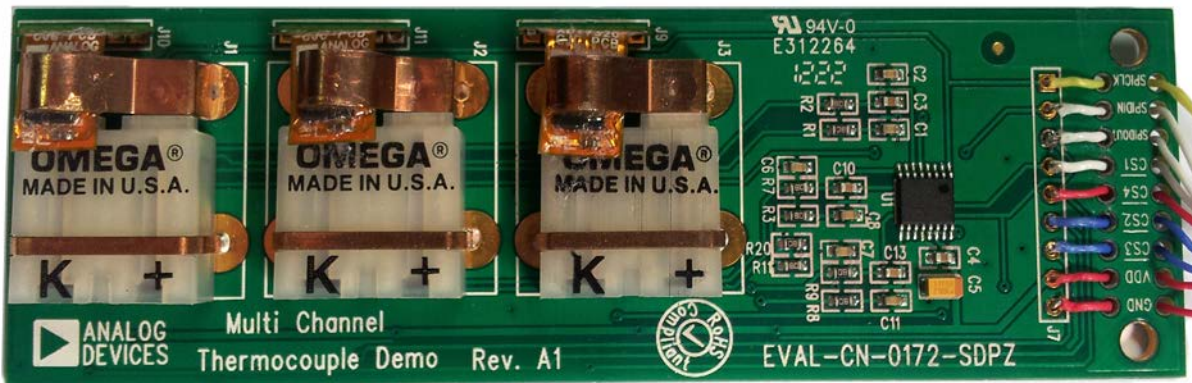


図 2. EVAL-CN0172-SDPZ 回路評価用ボード

図2は EVAL-CN0172-SDPZ 回路評価用ボードを示しますが、3つの K タイプ熱電対コネクタ、ADC の AD7793、基準温度測定用に2つの銅コンタクト間の別のフレキシブル・プリント基板 (PCB) に搭載した温度センサー ADT7320 が実装されています。

図3は別のフレキシブルPCBに搭載され、熱電対コネクタの2つの銅コンタクト間に挿入されたADT7320の側面図です。図3に示すフレキシブルPCBは小型FR4タイプPCBよりも薄く、フレキシブルなので利点があります。このPCBを使用する事によりADT7320を熱電対コネクタの銅コンタクト間に適切に搭載して、基準接点とADT7320との間の温度勾配を最小限にする事ができます。

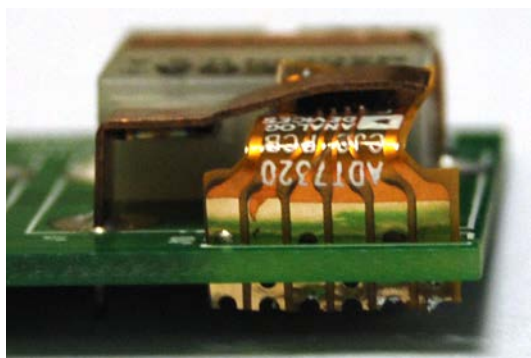


図3. フレキシブル PCB に搭載された ADT7320 の側面図

フレキシブルPCBは小型で薄いのでADT7320は基準接点での温度変化に迅速に応答できます。図4はADT7320の標準的な熱応答時間を示します。

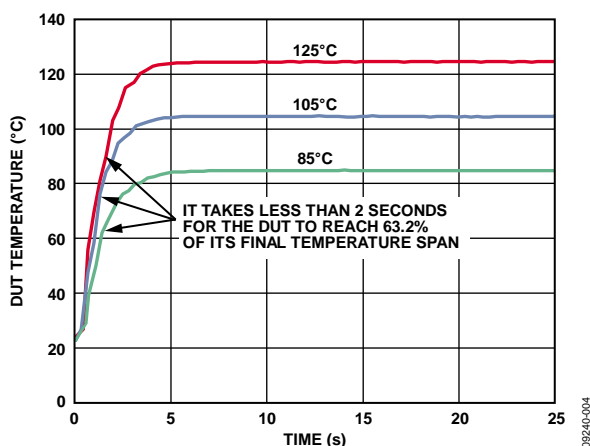


図4. ADT7320 の標準熱応答時間

この回路は柔軟性があるので他のタイプ (JタイプあるいはTタイプ熱電対など) の熱電対を使用する事ができます。この回路ノートではもっとも使用されている K タイプを選択しました。実際に選択した熱電対は先端が露出しています。測温接点はプローブ壁の外側になり、目標の媒体にさらされます。

先端露出型の利点は熱伝導が最も良く、応答時間が最も速く、低価格で軽い事です。先端露出型の弱点は機械的な破損や腐食に弱い事です。結論として、先端露出型は激しい環境には適していません。しかし迅速な応答時間が要求される場合、先端露出型はベストの選択です。もし工場環境で先端露出型が必要な場合は、シグナル・チェーン内で電気的なアイソレーションが必要になる可能性があります。それはデジタル・アイソレータを使用する事により可能になります (www.analog.com/jp/icoupler を参照してください)。

ADT7320は従来のサーミスタあるいは測温抵抗体 (RTD) とは異なり、真のプラグ・アンド・プレイ回路になっており、ボード組み立て後の複数点キャリブレーションが必要なく、キャリブレーション係数や直線性ルーチン用にプロセッサやメモリのリソースを使用する事はありません。ADT7320は3.3V電源でわずか700 μ W (typ) しか消費しないので、従来の抵抗性センサー回路の精度に影響を及ぼした自己発熱の問題を避ける事ができます。

高精度な温度測定のガイドライン

下記はADT7320で基準接点の温度を高精度に測定するためのガイドラインです。

電源電圧：ADT7320の電源がスイッチング・レギュレータから供給されている場合、50 kHz 以上で発生するノイズが温度精度仕様に影響を及ぼす可能性があります。これを避けるために、電源と V_{DD} の間に RC フィルタを使用してください。電源ノイズのピーク値が 1 mV 以下になるように使用する部品の値を注意深く選択してください。

デカップリング：ADT7320で高精度な温度測定を確実に行うには V_{DD} のできるだけ近くにデカップリング・コンデンサを実装する必要があります。0.1 μ F 高周波セラミック・タイプのようなデカップリング・コンデンサを推奨します。さらに低周波用デカップリング・コンデンサ (10 μ F ~ 50 μ F のタンタル・コンデンサなど) を高周波セラミックと並列に接続してください。

熱伝導を最大限にする：基準接点からADT7320への主な熱的経路はプラスチックパッケージと裏側の露出パドル (GND) を通ります。銅コンタクトをADC入力に接続するので、このアプリケーションでは裏側パドルは接続できません。なぜならADC入力へのバイアスに影響するからです。

高精度電圧測定ガイドライン

下記はAD7793を使って基準接点の温度を確実に高精度に測定するためのガイドラインです。

デカップリング：高精度な温度測定を確実に行うためにADT7320は V_{DD} のできるだけ近くにデカップリング・コンデンサを接続する必要があります。10 μ F タンタル・コンデンサと0.1 μ F セラミック・コンデンサを並列にしてGNDに接続して AV_{DD} をデカップリングしてください。さらに10 μ F タンタル・コンデンサと0.1 μ F セラミック・コンデンサを並列にしてGNDに接続して DV_{DD} をデカップリングしてください。グラウンディング、レイアウト技術、デカップリング技術に関する詳しい情報については[Tutorial MT-031](#)と[Tutorial MT-101](#)を参照してください。

フィルタリング：AD7793の差動入力熱電対線の上のほとんどの同相ノイズを取り除く働きをします。たとえばAD7793のフロントエンドに接続されているR1、R2、C3から成る差動ローパス・フィルタは熱電対端子で混入する可能性のあるノイズを削減します。C1とC2のコンデンサは追加の同相フィルタです。ADCのAIN (+)とAIN (-)のアナログ入力差動のため、アナログ変調器内のほとんどの電圧は同相電圧です。AD7793の優れたコモン・モード除去比により、これら入力での同相ノイズが除去されます。

この回路で解決した他の問題

下記に前述した熱電対の他の問題をこの回路でどのように解決したかをまとめました。

熱電対電圧の増幅：熱電対の出力電圧は1°Cあたり数 μ Vしか変化しません。この場合、最も使用されているKタイプ熱電対の変化率は41 μ V/°Cです。このように信号が小さい場合はAD変換の前に大きなゲイン段が必要となります。AD7793の内蔵プログラマブル・ゲイン・アンプ (PGA)のゲインは128まであります。この回路では、AD7793がその内部リファレンスを使用してそれ自身の内部フルスケール・キャリブレーションを行えるようにゲイン16にしました。

熱電対の非直線性の補正：AD7793は広温度範囲 (-40°C ~ +105°C) にわたって優れた直線性があるので、ユーザーによる補正あるいはキャリブレーションは必要ありません。

実際の熱電対温度を決定するために、始めに基準温度の測定値をNational Institute of Standards and Technology (NIST) が提供している公式を利用して等価熱電圧に変換します。この電圧はAD7793によって測定された熱電対の電圧に加算されます。そして次にその和は再びNIST公式を利用して熱電対温度に換算されます。代わりに方法にルックアップ・テーブルの使用があります。しかし、同じ精度を得ようとすると、ルックアップ・テーブルのサイズが大きくなる可能性があり、その場合ホスト・コントローラから追加のメモリ・リソースが必要となります。すべての処理はEVAL-SDP-CB1Zを使ってソフトウェアで行われます。

EVAL-CN0172-SDPZの回路とレイアウトはCN-0172設計支援パッケージに載っています：www.analog.com/CN0172-DesignSupport。

バリエーション回路

精度がもっと低くても良いアプリケーションには24ビット Σ - Δ ADCのAD7793の代わりに16ビット Σ - Δ ADCのAD7792が使用できます。基準温度の測定には $\pm 0.25^\circ\text{C}$ 精度のデジタル温度センサーADT7320の代わりに $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 精度のADT7310が使用できます。AD7792とADT7310は両方ともSPIインターフェースが可能です。

回路評価とテスト

記述したシステムはEVAL-CN0172-SDPZとEVAL-SDP-CB1Zを使用します。CN0172ブレイクアウト・ボードはEVAL-CN0172-SDPZボードに含まれています。

必要な装置

下記の装置が必要です：

- オイル槽
- EVAL-CN0172-SDPZ回路評価用ボード
- (EVAL-CN0172-SDPZボードに含まれている) CN0172ブレイクアウト・ボード
- EVAL-SDP-CB1Z回路評価用ボード
- CN0172評価用ボード・ソフトウェア
- Datron 4808 キャリブレータ
- Hart Scientific 1590 スーパー熱電対
- Hart Scientific 高精度プローブ
- GPIB ケーブル (3)
- GPIB カードとUSB2.0ポート付きPCとウインドXP又はそれ以降のLabVIEWが動作する物

セット・アップとテスト

図5に示すテスト・セットアップはマルチ・チャンネル熱電対回路の性能を評価するために使用されました。Datronキャリブレータは3つの熱電対入力用高精度電圧源を供給するために使用しました。オイル槽の温度はスーパー熱電対で測定し、GPIBバスを介して制御しました。

CN0172のLabVIEWソフトウェアはUSBポートを介してEVAL-CN0172-SDPZ、EVAL-SDP-CB1Z、ブレイクアウト・ボード、SPIバスを制御します。EVAL-SDP-CB1Zの電源はUSBバスから得ます。そしてEVAL-SDP-CB1Zの3.3V出力はEVAL-CN0172-SDPZの電源を供給します。

オイル槽の測定が必要ない場合、熱電対温度の測定は、CDで提供するソフトウェアとPCとのUSBインターフェースを利用する事により、EVAL-CN0172-SDPZを使用して行う事が出来ます。

テスト・セットアップとキャリブレーションそしてデータ取り込みのための評価ソフトウェアの使用法に関する情報と詳細についてはCN0172ユーザー・ガイドに載っています：www.analog.com/CN0172-UserGuide。

さらに詳しくは

CN-0172 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0172-DesignSupport>

Analog Dialogue 44 : 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

Thermocouple 101:What is a Thermocouple?ADI Video.

AN-892 アプリケーション・ノート :

温度計測の理論と実践上のテクニック

AD779x Instrumentation Converters, Frequently Asked Questions.

ADT7320/ADT7420 Digital Temperature Sensors, Frequently Asked Questions.

Kester, Walt.1999.Sensor Signal Conditioning.Section 7.Analog Devices.

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

MT-022 Tutorial : ADC Architectures III:Sigma-Delta ADC Basics

MT-023 Tutorial : ADC Architectures IV:Sigma-Delta ADC Advanced Concepts and Applications

MT-031 Tutorial : Grounding Data Converters and Solving the Mystery of “AGND” and “DGND”

MT-101 Tutorial : Decoupling Techniques

データシートと評価用ボード

CN-0172 回路評価用ボード (EVAL-CN0172-SDPZ)

標準開発プラットフォーム・ボード (EVAL-SDP-CB1Z)

ADT7320 データシート/評価用ボード

ADT7310 データシート/評価用ボード

AD7793 データシート/評価用ボード

AD7792 データシート/評価用ボード

改訂履歴

12/12—Revision 0:初版

「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセス社製品専用で作られており、アナログ・デバイセス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・デバイセス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・デバイセス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・デバイセス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。

©2012 Analog Devices, Inc. All rights reserved. 商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。

CN09240-0-12/12(0)