

Circuits from the Lab™
Reference Circuits
実用回路集

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。詳しい情報と支援については www.analog.com/jp/CN0221 をご覧ください。

接続/参考にしたデバイス

ADuCM360/ ADuCM361	24 ビット Σ - Δ ADC 内蔵 Cortex-M3 ベースのマイクロコントローラ
ADP1720-3.3	低ドロップアウト・リニア・レギュレータ

高精度アナログ・マイクロコントローラ ADuCM360 と外付け熱電対を使用した USB ベースの温度モニタ

評価と設計支援

回路評価

CN-0221 評価 ボード (EVAL-ADuCM360)

設計と統合ファイル

[回路](#)、[レイアウト・ファイル](#)、[部品表](#)、[ADuCM360 用ソースコード](#)

回路の機能とその利点

これは、高精度熱電対温度モニタ・アプリケーションにおいて高精度アナログ・マイクロコントローラ ADuCM360/ADuCM361 を使用した回路です。ADuCM360/ADuCM361 は ARM Cortex-M3 コア、126 kB フラ

ッシュ、8 kB SRAM、各種デジタル・ペリフェラル (UART、タイマ、SPI、I²C インターフェースなど) と共に、デュアルの 24 ビット・シグマデルタ (Σ - Δ) 型 A/D コンバータ、デュアルのプログラマブル電流源、12 ビット D/A コンバータ、1.2 V 内部リファレンスを集積しています。

この回路では、熱電対と 100 Ω の白金測温抵抗体 (RTD) を ADuCM360/ADuCM361 に接続します。この RTD は冷接点補償に使用します。

ソースコードでは、4Hz の ADC サンプリグ・レートを選択しました。ADC の入力プログラマブル・ゲイン・アンプ (PGA) のゲインを 32 に設定すると、ADuCM360/ADuCM361 のノイズフリー・コード分解能は 18 ビット以上になります。

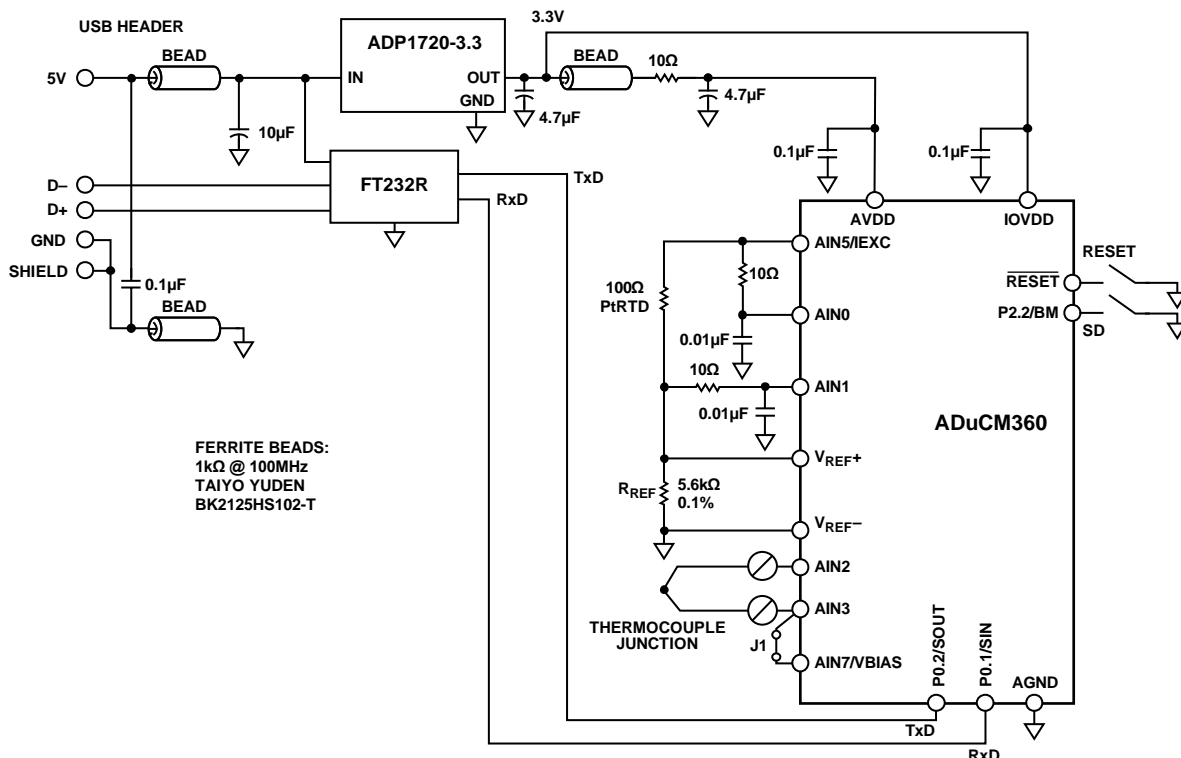


図 1. 熱電対インターフェースを備えた温度モニタ・コントローラとしての ADuCM360/ADuCM361 (簡略化した回路; 接続のすべては示されていません)

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 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0

回路の説明

このアプリケーションでは ADuCM360/ADuCM361 の次の特徴を利用します。

- 熱電対と RTD 用にソフトウェアでゲインを 32 に設定した PGA を備えた 24 ビット Σ - Δ ADC。この ADC を連続的に切り替えながら熱電対電圧と RTD 電圧をサンプリングしました。
- 制御電流を RTD に強制的に流すプログラマブル励起電流源。このデュアルの電流源は 0 μ A から 2 mA まで設定可能です。この例では、RTD の自己発熱によってもたらされる誤差を最小限にするために 200 μ A に設定しました。
- ADuCM360/ADuCM361 に含まれる ADC 用内部 1.2 V リファレンス。熱電対電圧を測定するため、高精度の内蔵電圧リファレンスを使用しました。
- ADuCM360/ADuCM361 に含まれる ADC 用の外付け電圧リファレンス。RTD 抵抗を測定するためこの VREF+ と VREF- ピンの間に外付けリファレンス抵抗 (R_{REF}) を接続するレシオメトリック構成を使用しました。
- バイアス電圧発生器 (VBIAS)。熱電対の同相電圧を AVDD/2 に設定するために VBIAS 機能を使用しました。
- ARM Cortex-M3 コア。126 kB フラッシュと 8 kB SRAM を集積した強力な 32 ビット ARM コアでユーザー・コードを実行し、ADC の設定、制御、RTD からの ADC 変換結果の処理、UART/USB インターフェースを介した通信制御をします。
- ホスト PC への通信インターフェースとして UART を使用しました。
- ADuCM360/ADuCM361 をフラッシュ・ブート・モードに設定する 2 個の外付けスイッチを使用します。SD を "ロー・レベル" に保持したまま、リセットボタンをトグルする事により、ADuCM360/ADuCM361 は通常のユーザー・モードではなくブート・モードになります。ブート・モードでは UART インターフェースを介して内蔵フラッシュに再書き込みする事ができます。

熱電対と RTD はいずれも非常に小さな信号を生成します；従って、それらの信号を増幅するために PGA が必要です。

このアプリケーションで使用する熱電対は温度範囲が -200°C ~ $+350^{\circ}\text{C}$ のタイプ T (銅コンスタンタン) です。その感度は約 $40 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ なので、ゲイン 32 の PGA 設定で、バイポーラモードの ADC で、熱電対の全温度範囲をカバーできます。

RTD は冷接点補償に使用しました。この回路で実際に使用した RTD は、白金 100 Ω RTD (Enercorp 社 PCS 1.1503.1) です。これは 0805 (表面実装パッケージ) で供給可能です。この RTD の温度変動は $0.385 \Omega/^{\circ}\text{C}$ です。

なお、リファレンス抵抗 (R_{REF}) は高精度の 5.6 k Ω ($\pm 0.1\%$) にする必要があります。

ADuCM360/ADuCM361 の USB インターフェースは (USB 信号を UART に直接変換する形で) UART to USB トランシーバ FT232R を使用して実現されています。

図 1 に示すデカップリングに加え、USB ケーブル自体にも EMI/RFI 保護を強化するフェライト・ビーズを使用する必要があります。回路で使用したフェライト・ビーズは (100MHz で 1000 Ω のインピーダンスを持つ) 太陽誘電製の #BK2125HS102-T です。

回路は、大面積のグラウンドプレーンを持った多層 PC ボード (PCB) に構築してください。適正な性能を実現するには正しいレイアウト、グラウンディング、デカップリング技術が必要です。(チュートリアル MT-031 「[Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND"](#)」、チュートリアル MT-101 「[Decoupling Techniques](#)」、ADuCM360TCZ 評価 ボードレイアウトを参照)

この回路の評価に使用される PCB を図 2 に示します。

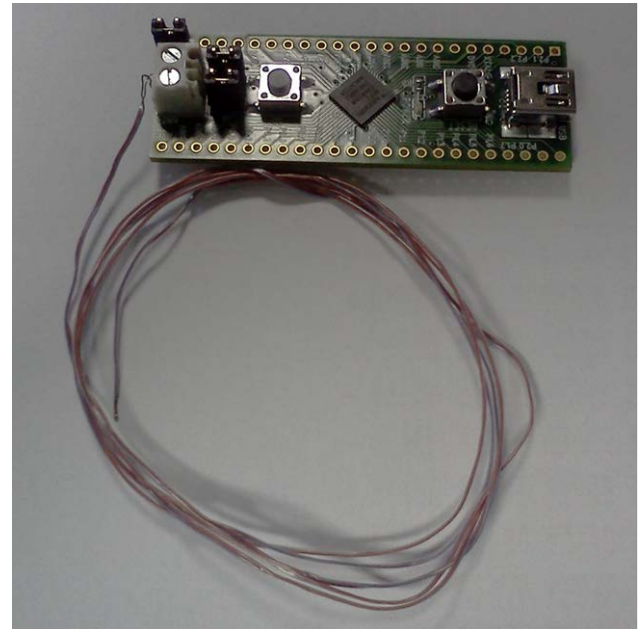
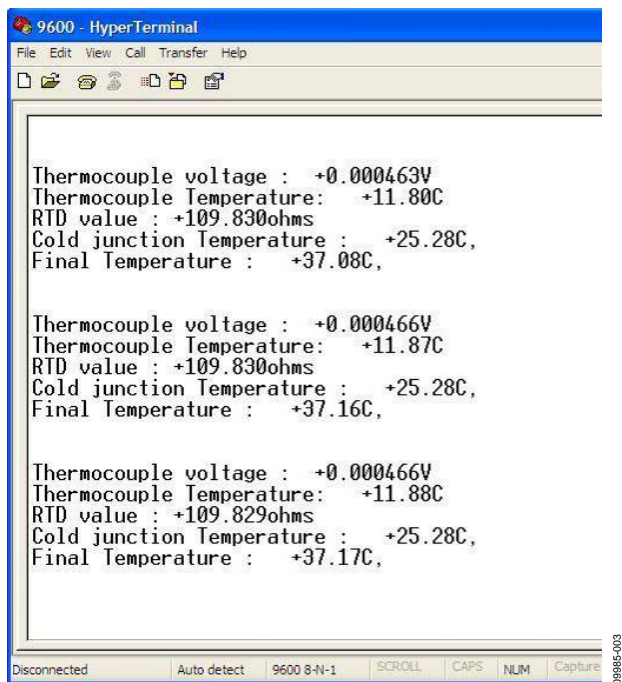


図 2. この回路で使用した EVAL-ADuCM360 ボード

コードの説明

今回の回路のテストに使用したソースコードは ADuCM360 製品ページから zip ファイルでダウンロードできます。

UART はボーレート=9600、データビット=8、パリティ無し、に設定します。今回の回路を PC に直接接続した場合、図 3 に示すように、Hyper Terminal のような通信ポート・ビューワ・アプリケーションを使用して、プログラムから UART に送信された結果を表示する事ができます。



```

9600 - HyperTerminal
File Edit View Call Transfer Help
[Icons]
-----
Thermocouple voltage : +0.000463V
Thermocouple Temperature: +11.80C
RTD value : +109.830ohms
Cold junction Temperature : +25.28C,
Final Temperature : +37.08C,

Thermocouple voltage : +0.000466V
Thermocouple Temperature: +11.87C
RTD value : +109.830ohms
Cold junction Temperature : +25.28C,
Final Temperature : +37.16C,

Thermocouple voltage : +0.000466V
Thermocouple Temperature: +11.88C
RTD value : +109.829ohms
Cold junction Temperature : +25.28C,
Final Temperature : +37.17C,
-----
Disconnected Auto detect 9600 8-N-1 SCROLL CAPS NUM Capture
  
```

図 3. 通信ポート表示アプリケーション Hyper Terminal の出力

温度の測定値を得るために、熱電対と RTD の温度を測定します。RTD 温度はルックアップ・テーブルを介して等価な熱電対電圧に変換されます (ISE 社、表 ITS-90 の熱電対 T タイプを参照)。これら 2 つの電圧を加算する事によって、熱電対の絶対値が得られます。

まず熱電対の 2 本のワイヤ間の電圧を測定します (V1)。そして RTD 電圧を測定し、ルックアップ・テーブルによって温度に変換します。次にこの温度をその等価な熱電対電圧 (V2) に変換します。さらに V1 と V2 を加算して全体の熱電対電圧を計算し、最終的な温度測定値に変換します。

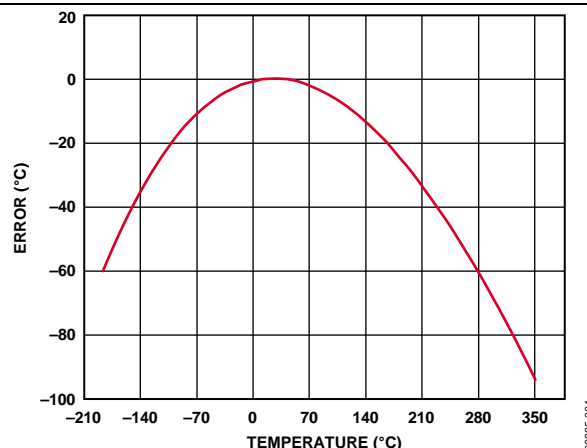


図 4. 簡単な線形近似法を使用した時の誤差

最初は、熱電対での電圧が $40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ とする直線的な簡単な仮定に基づいて変換を行いました。しかし、この場合図 4 からわかるように、誤差が許容できるのは 0°C 付近の狭い範囲のみです。熱電対温度をより精度良く計算する方法は正の温度に 6 次多項式を用い、負の温度に 7 次多項式を用いる事です。しかしこれには数値演算が必要となり、演算時間とコードサイズが増大します。これらに対し、納得のいく妥協案は、一定数の電圧についてそれぞれの温度を計算する事です。これらの温度を配列に格納し、隣接する 2 点間で線形補間を行う事によって中間値を計算します。この方法を使用する事により誤差が大幅に減少する事が図 5 からわかります。図 5 は理想的な熱電対電圧を使用した時の計算誤差です。

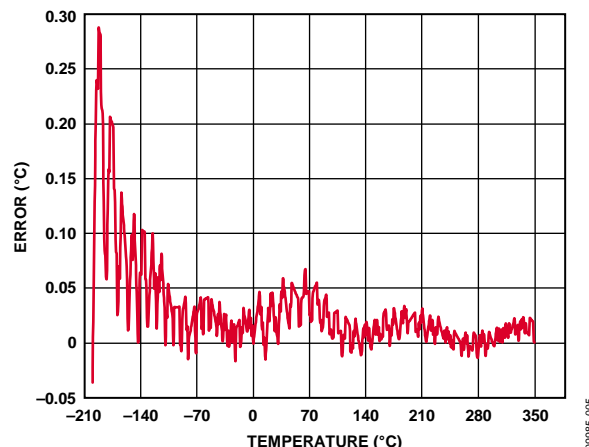


図 5. 52 個のキャリブレーション・ポイントと理想的な測定による区分的線形近似を使用した時の誤差

図6は ADuCM360 上の ADC1 を使用して、熱電対の動作範囲全体にわたり 52 点の熱電対電圧を測定した時の誤差を示します。全体のワーストケース誤差は <math><1^{\circ}\text{C}</math> です。

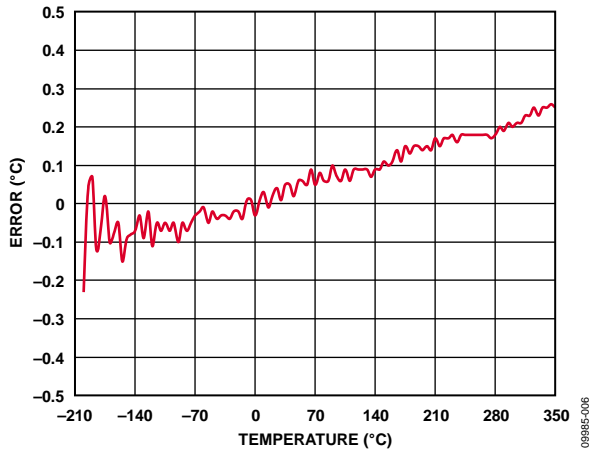


図 6. ADuCM360/ADuCM361 によって測定した 52 個のキャリブレーション・ポイントを使用して区分的線形近似を行った時の誤差

RTD の温度はルックアップ・テーブルを使って計算し、熱電対の場合と同じ方法を RTD についても用います。RTD にはその温度を抵抗の関数として表す別の多項式がある事に注意してください。

RTD の直線化と性能の最適化の詳細については、アプリケーション・ノート AN-0970 「[RTD Interfacing and Linearization Using an ADuC706x Microcontroller](#)」を参照してください。

バリエーション回路

ADP120 の代わりにレギュレータ ADP1720 を使用することができます。ADP1720 の動作温度範囲は同じ (-40°C ~ $+125^{\circ}\text{C}$) ですが消費電流はより少ないです (標準 $35\ \mu\text{A}$ 対 $70\ \mu\text{A}$)、しかし最大入力電圧は低下します。

ADuCM360/ADuCM361 は標準のシリアル線インターフェースを介してプログラム/デバックすることができます。

標準的な UART to RS-232 インターフェースには、FT232R トランシーバの代わりに 3V 電源で動作する ADM3202 などのデバイスを使用することができます。より広い温度範囲の測定には、タイプ J のような別の熱電対を使用することができます。冷接点補償誤差を最小限に抑えるには、サーミスタを PCB 上に配置するのではなく実際の冷接点に接触させて配置します。

冷接点温度の測定に RTD と外付けリファレンスを使用する代わりに、外付けデジタル温度センサーを使用することもできます。たとえば、ADT7410 を I²C インターフェースを介して ADuCM360/ADuCM361 に接続することができます。

冷接点補償の詳細については [Sensor Signal Conditioning, Analog Devices, Chapter 7, "Temperature Sensors."](#) を参照してください。

USB コネクタとこの回路の間にアイソレーションが必要な場合は、アイソレーション・デバイス ADuM3160/ADuM4160 を追加してください。

回路の評価とテスト

回路のテストと評価するために、熱電対測定と RTD 測定を別々に評価しました。

熱電対測定のテスト

基本的なテストのセットアップを図 7 に示します。熱電対を J5 に接続します。そしてジャンパ J1 を取り付けて、熱電対のコモン・モード電圧を AIN7/VBIAS ピンから供給できるようにする必要があります。ボードの電力は PC の USB 接続から供給します。

回路の性能を評価するために 2 つの方法を使用しました。初めに、回路のテストに使用した熱電対をボードに接続し、氷の温度を測定し、次に沸騰水の温度を測定しました。

図 4 と図 6 に示すように、誤差を十分に評価するために Wavetek 社の多機能校正器 4808 を使用しました。図 7 に示すように、熱電対の代わりに電圧源として校正器を使用しました。T タイプ熱電対の全範囲を評価するために、この校正器を用いて、T タイプ熱電対の負と正の範囲に対応する -200°C ~ $+350^{\circ}\text{C}$ の範囲の 52 ポイントに等価の熱電対電圧を設定しました (ISE 社の表 ITS-90 の T タイプ熱電対を参照)。

ルックアップ・アルゴリズムの正確性を評価するために、 $+1^{\circ}\text{C}$ 間隔で温度 -200°C ~ $+350^{\circ}\text{C}$ の範囲に相当する 551 個の電圧値を温度計算関数に代入しました。図 4 と図 5 に示すように線形法と区分的線形近似法について誤差を計算しました。

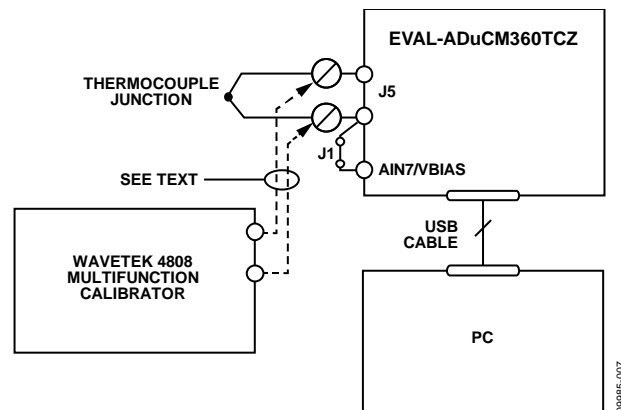


図 7. 熱電対の全出力電圧範囲での回路の校正とテストに使用したセットアップ

RTD 測定のテスト

RTD 回路と直線化処理のソースコードを評価するために、ボード上の RTD を正確で調整可能な抵抗源と置き換えました。使用した計器は 10 進の可変抵抗器 1433-Z です。RTD 値は 90 Ω ~ 140 Ω ですが、これは RTD の温度範囲 -25°C ~ +114°C を表します。

テスト・セットアップ回路を図 8 に示します。そして RTD テストの誤差結果を図 9 に示します。

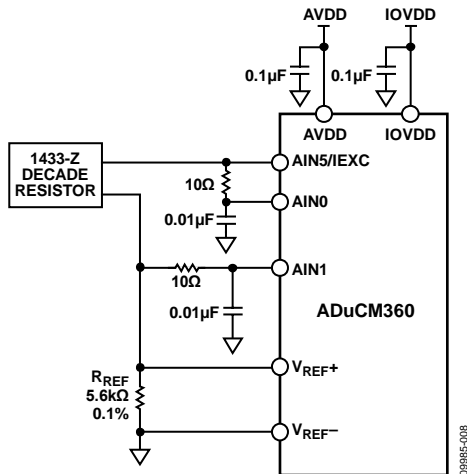


図 8. RTD 誤差測定のためのテスト・セットアップ

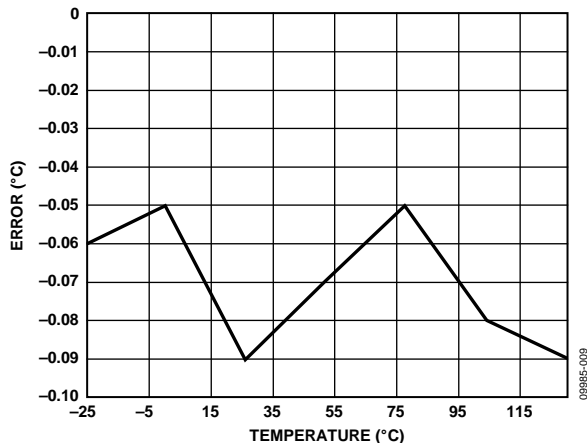


図 9. 区分的直線化コードと ADC0 の測定値を用いた RTD 測定の誤差 (°C)

さらに詳しくは

CN0221 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0221-DesignSupport>

ADIsimPower 設計ツール

Kester, Walt. 1999. *Sensor Signal Conditioning. Analog Devices. Chapter 7, "Temperature Sensors."*

Kester, Walt. 1999. *Sensor Signal Conditioning. Analog Devices. Chapter 8, "ADCs for Signal Conditioning."*

AN-0970 Application Note : RTD Interfacing and Linearization Using an ADuC706x Microcontroller

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

ITS-90 Table for Type T Thermocouple.

データシートと評価用ボード

ADuCM360 データシート / 評価用キット

ADuCM361 データシート / 評価用キット

ADM3202 UART to RS232 トランシーバ・データシート

ADP120 データシート

ADP1720 データシート

改訂履歴

5/12—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。

©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。

CN09985-0-5/12(0)