



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/CN0355> をご覧ください。

使用したリファレンス・デバイス	
AD7793	24ビット A/D コンバータ、 $\Sigma\Delta$ 型、3チャンネル、低ノイズ、超低消費電力
AD8420	計装アンプ、広い電源範囲、マイクロ・パワー、レール TO レール
ADA4096-2	オペアンプ、デュアル、マイクロパワー、30V 電源、過電圧入力保護、入/出力レール to レール

温度補償された低消費電力ブリッジ・シグナル・コンディショナおよびドライバ

評価および設計サポート環境

回路評価ボード

CN-0355 評価用ボード (EVAL-CN0355-PMDZ)

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)

SDP to PMOD インターポーザ・ボード (SDP-PMD-IB1Z)

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 の回路はブリッジ・タイプ・センサー用のフル機能低消費電力シグナル・コンディショナで、温度補償チャンネルが

組み込まれています。この回路は、5V~15V の電圧で動作するさまざまな工業用圧力センサーやロードセルに最適です。

24ビット・シグマ・デルタ ($\Sigma\Delta$) ADC の内部プログラマブル・ゲイン・アンプ (PGA) を使って、約 10mV~1V のフルスケール信号を処理可能なので、さまざまな圧力センサーに対応します。

回路全体で使用する IC は 3 つだけで、1mA の電流しか必要としません (ブリッジ電流を除く)。レシオメトリック手法により、システムの精度と安定性は電圧リファレンスに依存しません。

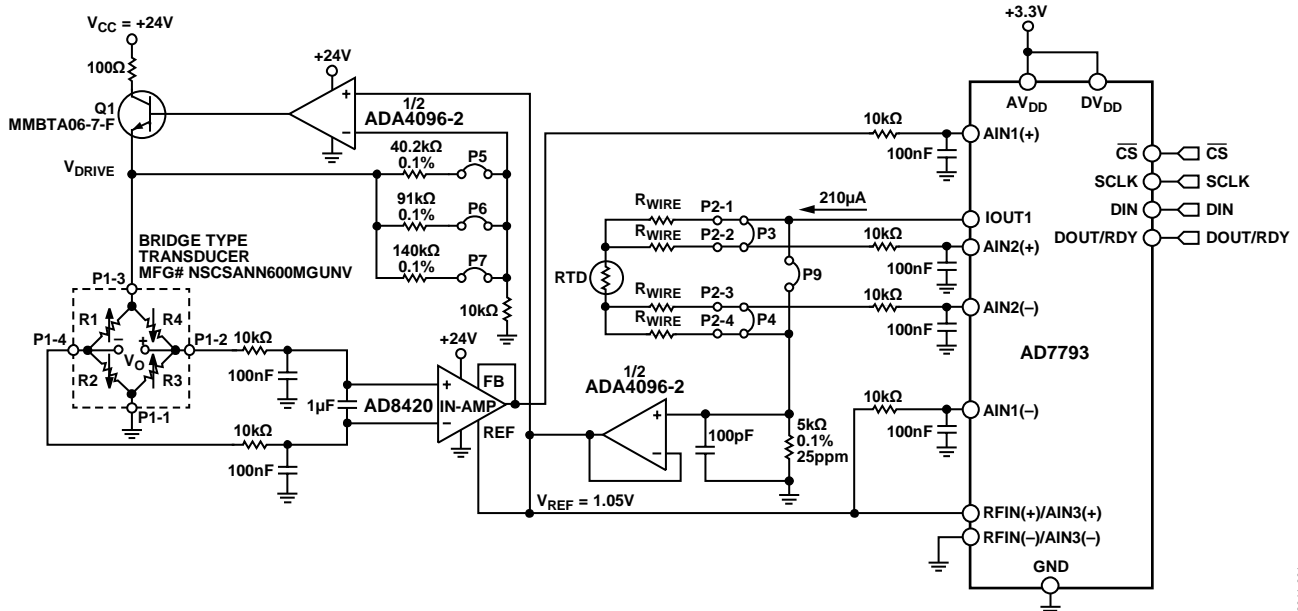


図 1. 温度補償機能を備えた差動ブリッジ・タイプ・トランスジューサ・モニタ (簡略回路図: 全接続の一部およびデカップリングは省略されています)

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。

回路説明

図1に示す回路は24ビットΣ-Δ ADC AD7793をベースにしています。このデバイスは3つの差動アナログ入力を備えており、ゲインの範囲がユニティ・ゲインから128までの低ノイズPGAを内蔵しているため、複数のセンサー・インターフェースに最適です。AD7793の最大消費電流はわずか500μAなので、低消費電力のアプリケーションに適しています。また、低ノイズ、低ドリフトのバンドギャップ・リファレンスを内蔵していますが、外部の差動リファレンスを使うこともできます。出力データ・レートは4.17Hz~470Hzの範囲にソフトウェアで設定できます。

最大電源電流が80μAの低消費電力計装アンプAD8420は、最大36Vの単電源で動作可能で、ブリッジ・トランスジューサの同相電圧を除去するのに使用します。必要に応じて、トランスジューサの小さな差動信号出力にゲインを与えることもできます。

アンプあたりの標準電源電流が60μAで、最大30Vの広い動作入力電圧範囲を持つデュアル・チャンネル・オペアンプADA4096-2は、センサー・ブリッジを駆動します。ADA4096-2の他の半分はリファレンス電圧のバッファとして使用します。

5V~15Vの駆動電圧を必要とする圧力センサーにはさまざまなものがあります。図1に示す回路はブリッジ・タイプ・トランスジューサに対してフル機能のソリューションを提供するもので、4つの重要な部分（トランスジューサの電圧駆動回路、計装アンプ、リファレンス・バッファ、およびADC）からなります。

ブリッジ・タイプ・トランスジューサの電圧駆動

ADA4096-2は、図2に示すように、帰還抵抗でゲインを設定可能な非反転アンプとして構成されています。

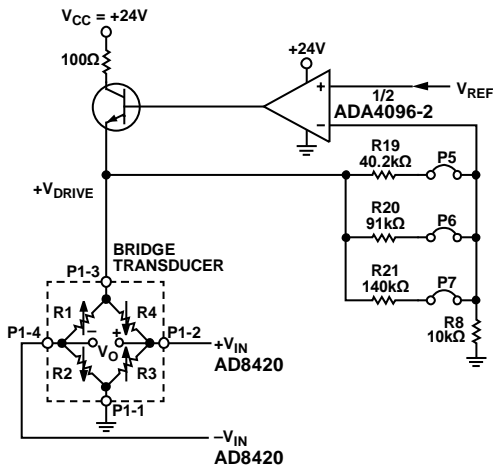


図2. トランスジューサの電圧駆動

ゲインは表1に示すジャンパを設定することによって設定します。

表1. 特定の電圧駆動に対するピンの設定

Gain	R19/R20/R21	R _F	Feedback	P5	P6	P7
5.02	40.2 kΩ			Short	Open	Open
10.1	91 kΩ			Open	Short	Open
15	140 kΩ			Open	Open	Short

伝達関数は次のように計算することができます。

$$V_{DRIVE} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_F}{R8} \right)$$

ここで、R_Fは40.2kΩ、91kΩ、または140kΩの値が可能で、R8 = 10 kΩです。

NPN トランジスタを使って、ブリッジ・センサーを駆動するのに必要な電流を増幅します。ADA4096-2の反転入力への帰還により反転入力電圧が非反転入力電圧に等しくなるので、ブリッジ回路間の駆動電圧が一定に保たれます。

トランジスタ Q1 は最大ブレークダウン電圧が80Vのバイポーラ接合トランジスタで、25°Cで0.35Wを消費することができます。最大コレクタ電流は500mAです。

計装アンプ

図3に示すように、AD8420はブリッジに生じる同相電圧を除去し、ブリッジの差動電圧だけを増幅します。AD8420の出力の電圧振幅はレール to レールで、入力同相電圧には影響されません。この機能により、大部分の従来型計装アンプ・アーキテクチャに付随する同相入出力電圧間の相互干渉によって生じる制限をAD8420から除外します。この計装アンプのゲインは1に設定されています。

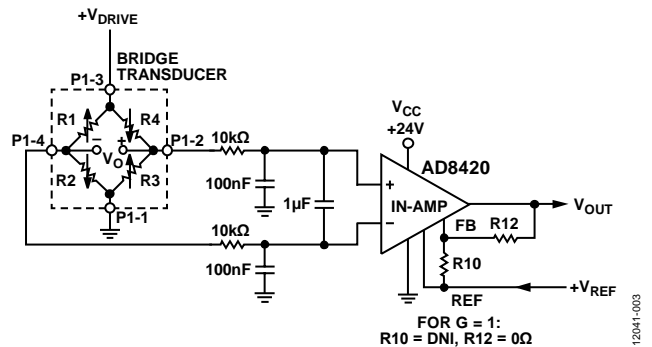


図3. 計装アンプ AD8420

AD8420の入力は、帯域幅が7.6Hzの差動ノイズ・フィルタ（20kΩ/1μF/100nF）と帯域幅が150Hzの同相ノイズ・フィルタ（10kΩ/100nF）を備えています。

従来型の計装アンプ・アーキテクチャでは低インピーダンス・ソースで駆動するリファレンス・ピンを必要とします。リファレンス・ピンにインピーダンスがあると、同相除去比（CMRR）とゲイン精度のどちらも低下します。AD8420のアーキテクチャでは、リファレンス・ピンに抵抗があってもCMRRに影響を与えません。AD8420の伝達関数は次式のようになります。

$$V_{OUT} = G (V_{IN+} - V_{IN-}) + V_{REF}$$

ここで、
 $V_{REF} = 1.05 V$
 $G = 1 + (R12/R10)$

AD8420の差動入力電圧は、-40°C~+85°Cの範囲で±1Vにダイオードにより内部で制限されます。入力電圧がこの制限値を超えると、内部ダイオードは導通して電流を流し始めます。この電流は、AD8420にとって安全な値まで内部で制限されます。

リファレンス・バッファ

図4に示すように、AD7793によって生成された210μAの励起電流が5kΩ抵抗に流れます。これにより、ADA4096-2でバッファされた1.05Vのリファレンス電圧が生成されます。このバッファの出力がAD7793とAD8420のリファレンスを駆動します。この回路はレシオメトリックなので、5kΩ抵抗両端の電圧の変動（AD7793からの210μAの励起電流の5%許容誤差によって生じる）による誤差が最小限に抑えられます。バッファされた電圧リファレンスは、ブリッジ・トランスジューサの駆動電圧を設定するアンプも駆動します（図2参照）。

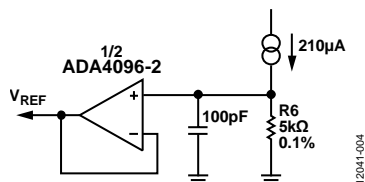


図4. 電圧リファレンス発生器

ADC チャンネル1の構成：ブリッジ・タイプ・センサー

AD7793のチャンネル1はAD8420からのブリッジ・センサー出力を測定します。外部のVREF（1.05V）をリファレンスとして使用するため、AD7793の入力範囲は+1.05Vの同相電圧を中心とした±1.05Vになります。

ADC チャンネル2の構成：温度センサー

AD7793の2つ目のチャンネルは、図5に示すように、210μAの励起電流によって駆動される測温抵抗体（RTD）両端に生じる電圧をモニタします。

100Ωの白金RTDが一般的ですが、これ以外の抵抗値（200Ω、500Ω、1000Ωなど）や素材（ニッケル、銅、鉄ニッケル合金）を指定することもできます。このアプリケーションでは、100ΩのDIN 43,760クラスAのRTDを使用しています。

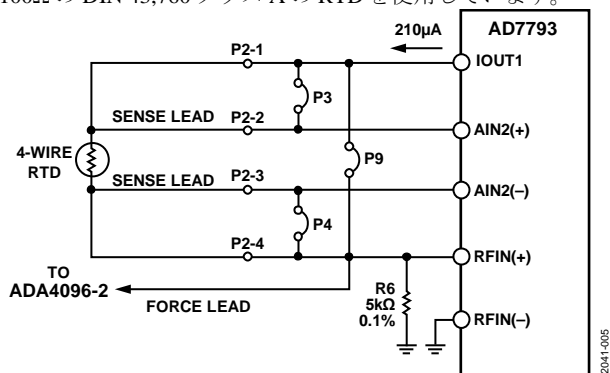


図5. ケルビン（4線）Pt RTD 接続を使用して高精度を実現

図5に示すように、4線（ケルビン）接続により、RTDのリード抵抗の影響を除去します。表2に示すように、リンクP3とリンクP4を使って2線、3線、および4線の構成も利用可能なことに注目してください。

表2. RTD 接続のリンク構成

RTD Connection	P3	P4
2-Wire	Short	Short
3-Wire	Open	Short
4-Wire	Open	Open

温度補償が不要な場合には、リンクP9でRTDをバイパスします。

出力コーディング

両方のチャンネルの入力電圧の出力コードは次式のようになります。

$$Code = 2^{N-1} \left(\frac{AIN \times Gain}{V_{REF}} + 1 \right)$$

ここで、
 $AIN = AIN(+) - AIN(-) = AIN(+) - V_{REF}$
 ゲインはPGAのゲイン設定値、 $N = 24$ です。

電源電圧要件

回路を正しく動作させるには、ブリッジ・タイプ・トランスジューサの5Vの最小駆動電圧を確保するために電源電圧VCCを6Vより高くする必要があります。

システム・キャリブレーション

圧力センサーの温度キャリブレーションを行うための方法がいくつかあります。このアプリケーションでは、4点キャリブレーション方法を用いました。キャリブレーション方法の詳細については、Silicon Microstructures社（カルフォルニア州ミルピタス）のAN13-01「Active Temperature Compensation and Calibration for MEMS Pressure Sensors with Constant Voltage」を参照してください。

テスト・データと結果

システム・ノイズ

全てのデータはCN-0355評価用ソフトウェアを使って収集しました。

ボードのノイズを収集するため、セットアップでの測定を2回行いました。図6に示す最初の測定はAD8420の入力を短絡して行いました。したがって、AD8420とAD7793のピーク to ピーク・ノイズの測定結果になります。1000個のサンプルを取った結果、約100コードの広がりとなりました。この値は2.1Vのフルスケール・スパンに対して12.5μVのピーク to ピーク・ノイズ、つまり17.36ノイズ・フリー・ビットに換算されます。

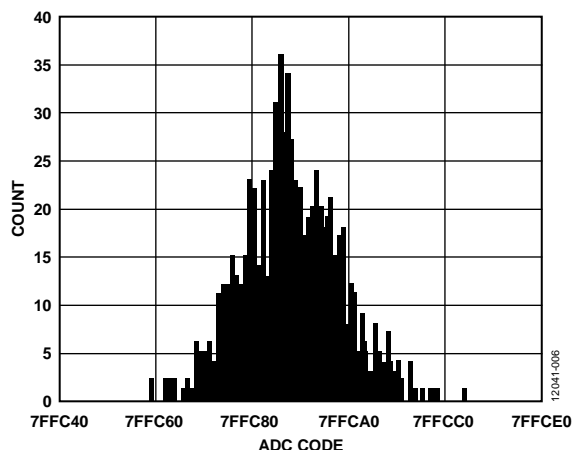


図6. AD8420の入力ピンを短絡したときの100の出力コードの広がりを示すヒストグラム

2番目の測定は、HoneywellのNSCSANN600MGUNVゲージ圧力センサーを評価用ボードに接続して行いました。このボード実装の圧力センサーは増幅も補償もせず、電圧ドライバを10.1Vに設定しました。図7に示すように、このテストは実質的に、トランスジューサのノイズを含むシステム全体からのノイズを示しています。1000個のサンプルを取った結果、約120コードの広がりとなりました。この値は2.1Vのフルスケール・スパンに対して15 μ Vのピーク to ピーク・ノイズ、つまり17.1ノイズ・フリー・ビットに換算されます。

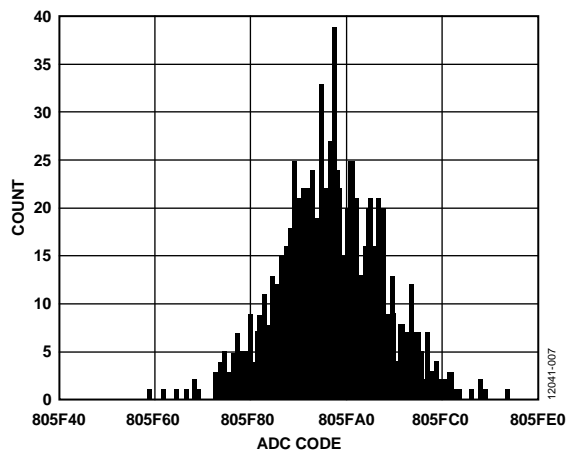


図7. 圧力センサーを接続したときの120の出力コードの広がりを示すヒストグラム

システムの消費電流

圧力トランスジューサによって消費される電流を除く、システムの総消費電流を表3に示します。

表3. 25°Cでの最大回路電流

Component	Consumptions (mA)
ADA4096-2	0.150
AD8420	0.080
AD7793	0.400
Excitation Current (R6)	0.210
R19 and R8 Current	0.104
Total	0.944

HoneywellのNSCSANN600MGUNV圧力センサーには約3k Ω のインピーダンスがあり、これにより表3の総消費電流に約3.36mAが加わります。

システムの消費電流は、1k Ω のような大きなRTD抵抗値を使用して10 μ Aのような小さな電流でRTDを駆動することにより、さらに減らすことができます。

アクティブ部品の誤差解析

システムのアクティブ部品AD8420とADA4096-2による最大誤差と2乗和平方根(RSS)誤差を表4に示します。

表4. フルスケール・レンジ(FSR) = 1.05Vに対するシステム誤差の解析

Error Component	Error	Error Value	Error % FSR
AD8420	Offset	250 μ V	0.025%
	Gain	0.05%	0.050%
ADA4096-2 (1/2, G = 10)	Offset	3 mV	0.300%
ADA4096-2 (1/2, G = 1)	Offset	300 μ V	0.030%
AD7793 (Internal Reference)	Offset	0.01%	0.010%
RSS Offset			0.060%
RSS Gain			0.050%
RSS FSR Error			0.110%
Maximum Offset			0.365%
Maximum Gain			0.050%
Maximum FSR Error			0.415%

回路全体の精度

抵抗の許容誤差に起因する総合誤差の妥当な近似値を得るには、クリティカルな各抵抗が総合誤差に等しく影響を与えると仮定します。2本のクリティカルな抵抗はR8と、R19、R20、R21のいずれかの抵抗です。0.1%抵抗で構成したときのワーストケースの許容誤差により、総合抵抗誤差は最大0.2%になります。RSS誤差を想定すると、総合RSS誤差は $0.1\sqrt{2} = 0.14\%$ になります。

この抵抗の誤差と表4のデバイスの誤差を加算すると以下のようになります。

- オフセット誤差 = $0.365\% + 0.1400\% = 0.505\%$
- ゲイン誤差 = $0.050\% + 0.1400\% = 0.190\%$
- フルスケール誤差 = $0.415\% + 0.1400\% = 0.555\%$

これらの誤差は、抵抗の計算値を選択すること、誤差は許容誤差だけであること、およびトランスジューサの電圧駆動を10.1のゲインに設定することを想定した値です。

直線性誤差は、図10に示すセットアップを使用し、-500mV ~ +500mVの入力範囲でテストしました。総合非直線性は約0.45%でした。非直線性は主にAD8420の入力トランスコンダクタンス (gm) 段に起因します。

総合出力誤差 (%FSR) は、出力電圧の測定値と理想出力電圧の差を求め、出力電圧の FSR で割り、その結果を 100 倍することによって計算します。この計算の結果を図 8 に示します。

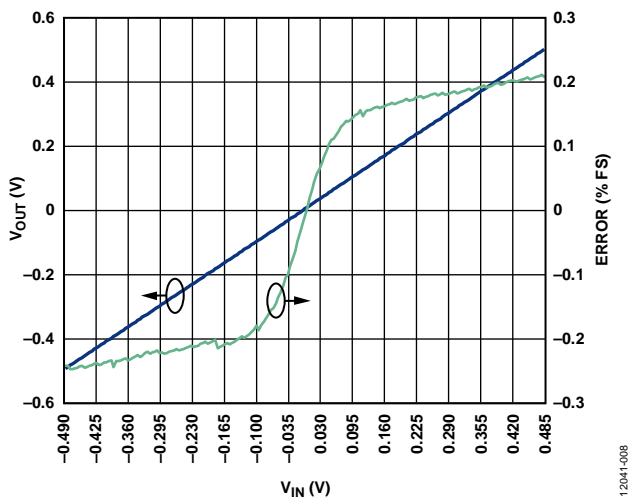


図 8. ADC の測定値 対 ブリッジ・トランスジューサの出力電圧のシミュレーション結果 (および関連する直線性誤差のプロット)

EVAL-CN0355-PMDZ 評価ボードの写真を図 9 に示します。システムのドキュメント一式が [CN-0355 設計サポート・パッケージ](#) に含まれています。



図 9. EVAL-CN0355-PMDZ ボードの写真

バリエーション回路

その他の適切な ADC としては [AD7792](#) と [AD7785](#) があります。どちらのデバイスも [AD7793](#) と同様の機能を備えています。ただし、[AD7792](#) は 16 ビット ADC、[AD7785](#) は 20 ビット ADC です。

マイクロパワーでゼロ・ドリフトの真のレール to レール計装アンプ [AD8237](#) も、この回路構成の低電源電圧バージョンに使用することができます。

消費電流が増えても (約 525 μ A) 直線性を良くする必要がある場合、計装アンプ [AD8226](#) を使用することもできます。

低いノイズおよびオフセット電圧を必要とする低電源電圧範囲のアプリケーションでは、[ADA4096-2](#) の代わりにデュアル・チャンネルの [AD8606](#) を使用します。デュアル・チャンネルの [AD8606](#) は、非常に低いオフセット電圧、低い入力電圧および電流ノイズ、それに広い信号帯域幅を特長としています。この製品はアナログ・デバイセズの特許取得済みの [DigiTrim](#) というトリミング技術を使っており、レーザ・トリミングを使わずに優れた高精度を実現しています。

回路の評価とテスト

この回路は、EVAL-CN0355-PMDZ 回路ボード、[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) 評価ボード、および [SDP-PMD-IB1Z](#) (SDP 用 PMOD ボード・ベース・インターポーザ) を使用します。SDP ボー

ドと [SDP-PMD-IB1Z](#) ボードは 120 ピン接続用コネクタを備えているので、手早く組み立てて回路の性能を評価することができます。[SDP-PMD-IB1Z](#) と SDP を使って [EVAL-CN0355-PMDZ](#) ボードを評価するには、標準の 100 ミル間隔、25 ミル平方のライトアングル・ピン・ヘッダ・コネクタで [EVAL-CN0355-PMDZ](#) を [SDP-PMD-IB1Z](#) に接続します。

必要な装置

[CN-0355](#) 回路の評価とテストを行うためには以下の装置が必要です。

- 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-CN0355-PMDZ](#) 回路評価ボード
- [EVAL-SDP-CB1Z](#) 回路評価ボード
- [SDP-PMD-IB1Z](#) インターポーザ・ボード
- [CN0355](#) 評価用ソフトウェア
- 6V AC アダプタまたは代替電源
- 高精度電圧源 [Yokogawa GS200](#)
- 電圧源 [Agilent E3631A](#)

評価開始にあたって

[CN-0355](#) 評価用ソフトウェア CD を PC に挿入し、評価用ソフトウェアをロードします。**My Computer** を使用し、評価用ソフトウェア CD のあるドライブを探し、**Readme** ファイルを開きます。**Readme** ファイルの指示に従って評価用ソフトウェアをインストールして使用してください。

セットアップ

[CN-0355](#) 評価用キットの CD には自己インストール型ソフトウェアが含まれています。このソフトウェアは Windows XP (SP2) と Vista (32 ビットと 64 ビット) で使用できます。セットアップ・ファイルが自動的に起動しない場合には、CD から **setup.exe** ファイルを実行してください。

PC に接続したときに評価システムが正しく認識されるように、評価ボードと SDP ボードを PC の USB ポートに接続する前に評価用ソフトウェアをインストールしてください。

1. CD からのインストールが完了したら、[SDP-PMD-IB1Z](#) 評価ボードの電源を投入します。付属のケーブルを使って、SDP ボードを (コネクタ A を介して) [SDP-PMD-IB1Z](#) 評価ボードに接続し、次いで評価に使用する PC の USB ポートに接続します。
2. [EVAL-CN0355-PMDZ](#) のオスの 12 ピン・ライトアングル・ピン・ヘッダを [SDP-PMD-IB1Z](#) のメスの 12 ピン・ライトアングル・ピン・ヘッダに接続します。
3. プログラムを実行する前に、圧力センサーの端子と RTD センサーを [EVAL-CN0355-PMDZ](#) の端子ジャックに接続します。
4. 全ての周辺機器と電源を接続して電源を投入したら、GUI 上で **RUN** ボタンをクリックします。PC が評価システムを正常に検出すると、評価用ソフトウェアを使って [EVAL-CN0355-PMDZ](#) 回路ボードを評価することができます。

機能ブロック図

図 10 にテスト・セットアップの機能ブロック図を示します。テスト・セットアップは図に示すように接続する必要があります。

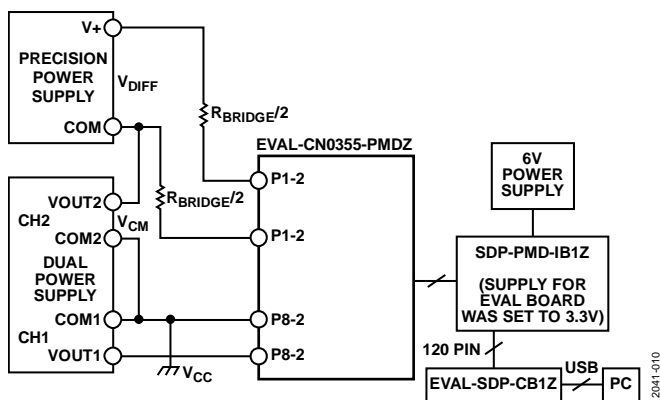


図 10. テスト・セットアップの機能ブロック図

高精度電圧源である Agilent E3631A と Yokogawa GS200 を使って評価用ボードに給電し、センサー出力をシミュレーションしました。Agilent E3631A の CH1 を 24V に設定してボードの V_{CC} 電源として機能させ、もう 1 つのチャンネル CH2 を 5V に設定して同相電圧を発生させました。図 7 に示すように、CH2 は Yokogawa GS200 と直列に接続しました。Yokogawa GS200 は、ブリッジのインピーダンスをシミュレーションする 1.5Ω の直列抵抗を使って評価用ボードの入力端子に接続しました。Yokogawa GS200 は、計装アンプ入力に 25°C で $\pm 500\text{mV}$ の差動入力電圧を発生することにより、センサー出力をシミュレーションします。

CN-0355 評価用ソフトウェアを使用し、図 10 に示すセットアップにより、EVAL-CN0355-PMDZ 評価ボードから図 8 に示す直線性誤差のデータを収集しました。

ソフトウェア操作の詳細については [CN-0355 ソフトウェア・ユーザー・ガイド](#) を参照してください。

さらに詳しい資料

CN-0355 Design Support Package :

www.analog.com/CN0355-DesignSupport

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 : データ・コンバータのグラウンディングと、「AGND」および「DGND」に関する疑問の解消

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

MT-037 Tutorial : *Op Amp Input Offset Voltage*.

MT-038 Tutorial : *Op Amp Input Bias Current*

MT-040 Tutorial : *Op Amp Input Input Impedance*

MT-051 Tutorial : *Current Feedback Op Amp Noise Considerations*

MT-065 Tutorial : *In-Amp Noise*

MT-066 Tutorial : *In-Amp Bridge Circuit Error Budget Analysis*

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

Kester, Walt. 1999. *Temperature Sensors*. Section 7. Analog Devices.

Active Temperature Compensation and Calibration for MEMS Pressure Sensors with Constant Voltage, Silicon Microstructures, Ins., Milpitas, Ca.

データシートと評価ボード

AD7793 データシート

AD7793 評価ボード

ADA4096-2 データシート

AD8420 データシート

改訂履歴

9/14—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。

©2016 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。