

**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/CN0303 をご覧ください。

使用/参考にしたデバイス

ADXL001	±70 g、±250 g、±500 g の高精度 1 軸加速度センサー
AD8606	高精度、低ノイズ、CMOS レール to レール入力/出力、デュアル・パッケージ・オペアンプ
AD7476	2.35 V~5.25 V、低消費電力、1 チャンネル、1 MSPS、12 ビット ADC

周波数応答補償付きの MEMS 振動アナライザ

評価と設計支援

回路評価用ボード

CN-0303 回路評価用ボード (EVAL-CN303-SDPZ)

ADXL001 評価用ボード (EVAL-ADXL001-70Z) と接続リボンケーブルを含む

システム・デモンストレーション・プラットフォーム (EVAL-SDP-CS1Z)

設計および統合ファイル

回路図、レイアウト・ファイル、BOM

回路の機能と利点

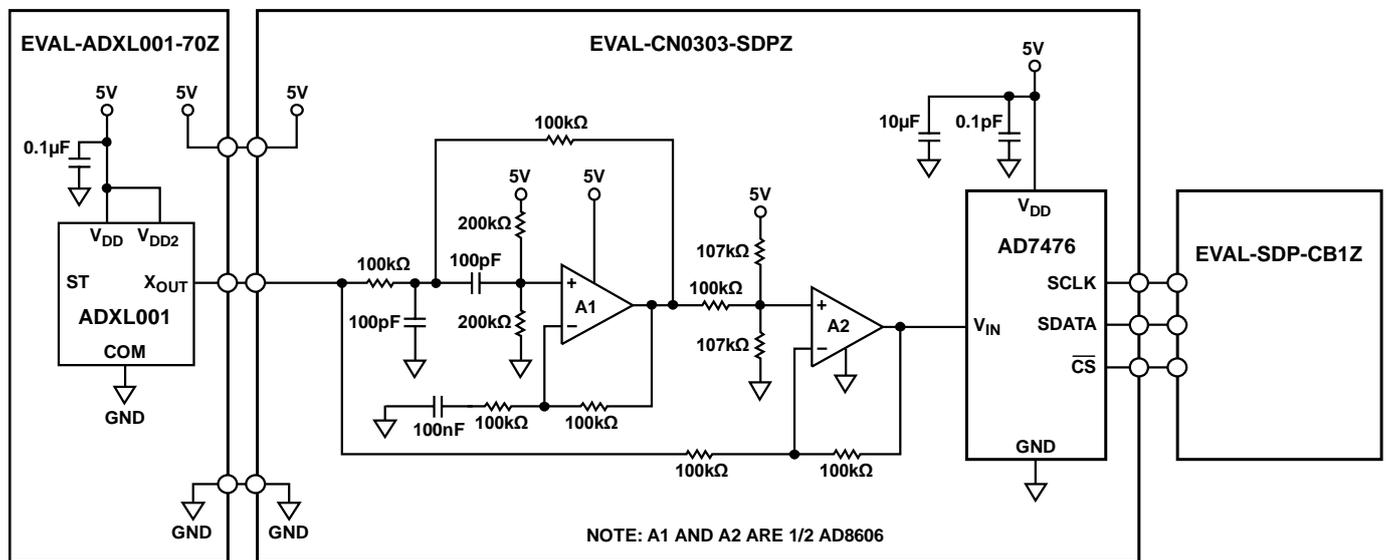
図 1 に示す回路は、高い直線性、低ノイズ、広帯域幅の振動検出ソリューションを提供します。この回路は、広いダイナミック・レンジ (±70 g、±250 g、または±500 g) と、DC から 22 kHz までの平坦な周波数応答を必要とするアプリケーションに最適です。

ベアリング解析、エンジン・モニタリング、衝撃検出に最適な低消費電力ソリューションとなります。

アナログ・デバイセズ独自の第 5 世代 iMEMS® プロセスによって、ADXL001 加速度センサーは広いダイナミック・レンジ (±70 g ~ ±500 g) と 22 kHz の帯域幅を実現します。

AD8606 は高精度、低ノイズのデュアル・オペアンプです。加速度センサーの出力周波数応答を平坦にするアナログ・双 2 次・フィルタになります。

ADXL001 の出力電圧は、低消費電力の 1 チャンネル 12 ビット SAR A/D コンバータ (ADC) AD7476 によってデジタル・ワードに変換されます。



NOTE: A1 AND A2 ARE 1/2 AD8606

図 1. 1 軸振動解析システム
(簡略図：接続とデカップリングはすべて省略)

11054-001

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。※日本語版資料は 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。
©2013 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0

回路の説明

加速度センサーの出力特性

ADXL001 の仕様とテストは、3.3 V および 5 V 電源で規定されています。デバイスは 3 V から 6 V までのすべての電源電圧で動作しますが、最適な総合性能が得られるのは 5 V です。

出力電圧感度は、電源電圧に比例します。3.3 V 電源使用時の公称出力感度は 16 mV/g、5 V 電源使用時の感度は 24.2 mV/g です。

ゼロ g 出力レベルも比例しており、公称値は $V_{DD}/2$ です。

1 MHz の内部クロックでノイズが存在しなければ、ADXL001 に必要なのは 0.1 μ F のデカップリング・コンデンサだけです。必要に応じて、もっと大きなバルク・コンデンサ (1 μ F ~ 10 μ F) か フェライト・ビーズを使用することもできます。

加速度センサーの物理的動作

ADXL001 はシリコン・オン・インシュレータ (SOI) MEMS 技術を使用し、機械的に結合されながら電気的には分離されている差動検出セルの利点を生かします。差分センサー・セル・ブロックの簡略図を図 2 に示します。それぞれのセンサー・ブロックには、複数の差動コンデンサ・ユニット・セルが含まれています。各セルはデバイスのレイヤーに取り付けられた固定プレートで構成され、可動プレートはセンサー・フレームに取り付けられています。センサー・フレームの変位が差動容量を変化させ、チップ上の回路が容量変化を測定して、出力電圧に変換します。

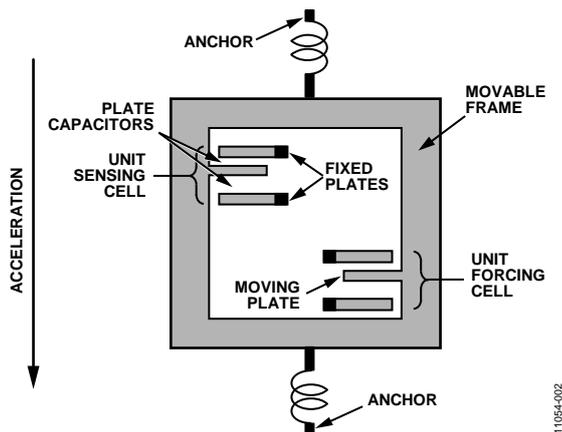


図 2. 加速時のセンサーの簡略図

センサー・デバイスは、SOI デバイス・レイヤー内の面にマイクロマシン加工されています。差動検出素子はトレンチ・アイソレーションにより電気的に分離されていますが、機械的には結合されています。単結晶シリコン・スプリングが支持基板上に構造を支え、加速に対する抵抗を発生させます。

ADXL001 は x 軸の加速度および振動を検出するデバイスです。図 3 に示すように、ピン 8 マーキング方向の振動に対して正の出力電圧を発生します。

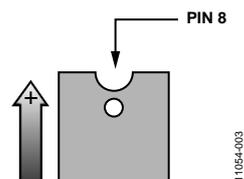


図 3. ADXL001 の X_{OUT} 電圧は正の X 軸方向加速度によって増加

ADC への接続

加速度情報をデジタル化するには、加速度センサーの出力電圧範囲が ADC の入力電圧範囲内に入る必要があります。AD7476 の入力電圧範囲は 0 V ~ V_{DD} (5 V) で、ADXL001 の出力電圧範囲は 0.2 V ~ $V_S - 0.2$ V (4.8 V) です。加速度センサーによって検出されたすべての加速度はこの情報に基づいてデジタル化されます。これ以外のアンプやバッファは必要ありません。

AD7476 の V_{DD} 電源が ADC のリファレンスになるため、外部リファレンスは必要ありません。さらに、同じ V_{DD} 電源で ADXL001 も駆動するため、回路全体が電源に対して比例動作します。

周波数応答

図 4 は加速度センサーの周波数応答で、このシステムの最も重要な特性です。信号の周波数がおよそ 2 kHz から 3 kHz を超えると、加速度センサーのゲインが増加します。ビームの共振周波数 (22 kHz) では、デバイスの出力電圧に約 7 dB ($\times 2.24$) のピークが生じます。このピーク発生は、加速度センサーの出力電圧に著しく影響します。

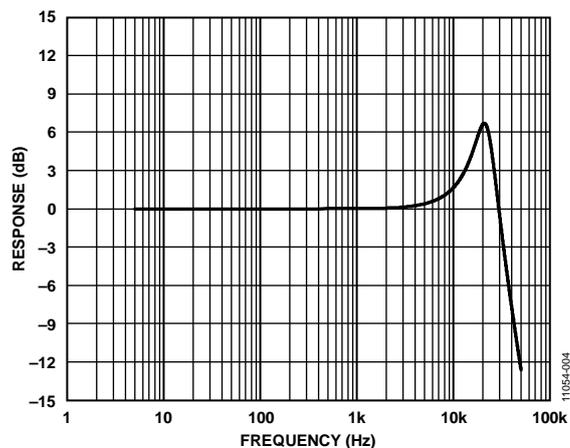


図 4. ADXL001 の周波数応答

10 kHz で 20 g の加速度を考えましょう。ゼロ g 出力電圧を 2.5 V、感度を 24.2 mV/g とすると、予測出力電圧は次の通りです。

$$2.5 \text{ V} + (0.0242 \times 20) = 2.984 \text{ V}$$

しかし、この電圧はピーキングによって約 2 dB 増加するため、実際の出力電圧は次のようになります。

$$2 \text{ dB} = 20 \log_{10} (V_{OUT} / 2.984 \text{ V})$$

$$V_{OUT} = 3.757 \text{ V}$$

予想出力電圧と実際の出力電圧の差は大きな誤差源となります。

$$\text{誤差} = 3.757 \text{ V} - 2.984 \text{ V} = 0.773 \text{ V}$$

精度を確保するにはこの誤差を補正することが重要ですが、特にそのために設計されているアナログ・双2次・フィルタがあります。その実装の詳細については、以下のフィルタ設計で述べます。

加速度センサー範囲の減少

加速度センサーの周波数応答がピーク域に入ると、デバイスの使用可能な加速度範囲が減少するため注意する必要があります。20 kHzで70 gの加速度を考えてみましょう。予想出力電圧は次の通りです。

$$2.5 \text{ V} + (24.2 \text{ mV/g} \times 70 \text{ g}) = 4.194 \text{ V}$$

ピーキングによる約7 dBの影響を組み込みます。

$$7 \text{ dB} = 20 \log_{10} (V_{\text{OUT}} / 4.194 \text{ V})$$

$$V_{\text{OUT}} = 9.389 \text{ V}$$

ADXL001の電源レールは5 Vであるため、出力は約+0.2 Vと+4.8 Vで制限されます。したがって、測定可能な最大のg値は振動の周波数によって変化します。

ゼロgオフセット電圧には変動があるため、さらに±0.5 Vのヘッドルームが必要です。ゼロgオフセットの変動のため、使用可能な最大出力電圧範囲は±1.8 Vまでになります。これは、約2 kHz未満の振動周波数では約±70 gに相当します。

振動周波数は約2 kHzから22 kHzに増加するため、出力が飽和する前の最大許容g値は徐々に7 dB (×2.24) 低下して±31 gになります。最大g値が±31 g未満であればフィルタによって22 kHzまで平坦な周波数応答が確保され、飽和したり情報が失われたりすることはありません。

フィルタ設計

加速度センサーの周波数応答に現れるゲイン・ピークを補償するために、アナログ式双2次・ノッチ・フィルタが実装されています。共振周波数(22 kHz)とビームの品質ファクタ(Q=2.5)は、ともにADXL001データシートの仕様の表に記載されています。

22 kHzで約-7 dBのピークを持つノッチ・フィルタを作成することによって加速度センサーの周波数応答を平坦にすることができ、高周波数域での振動測定の問題の多くが解消されます。フィルタ、加速度センサー、信号チェーン全体の周波数応答を図5に示します。このデータは、加速度出力をシミュレートするためにEVAL-CN0303-SDPZボードに正弦波を入力して得たものです。

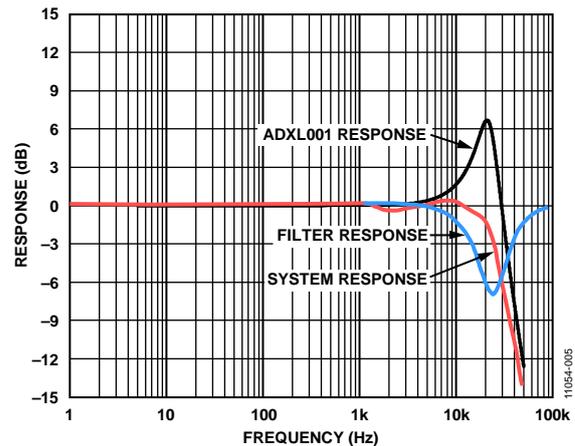


図5. ADXL001、フィルタ、システムの周波数応答

ノッチ・フィルタは、Aram Budak 著「Passive and Active Network Analysis and Synthesis」(ISBN-13: 978-0881336252)に掲載されていた回路の例を修正して設計しました。このコンベンセータの伝達関数は、前に導いた伝達関数の逆関数です。ノッチ・フィルタの伝達関数のシミュレーションと検証には、Multisim™ Circuit Design Suiteを使用しました。フィルタのパラメータは、Q=2.5、中心周波数=22 kHz、ノッチ深さ=7 dBです。

テスト結果

システムの性能は2つの基本テストによって検証します。まず信号発生器を使用し、周波数を変えながら一定振幅の正弦波をフィルタに入力しました。入力電圧と出力電圧を測定して $20 \log_{10}(V_{\text{OUT}}/V_{\text{IN}})$ のグラフを作成することにより、図5に示すアナログ・フィルタの周波数応答が得られました。

次に回路全体の周波数応答を検証し、設計の性能を確認しました。システムの周波数応答をより正確に検証するために、信号発生器を使用してADXL001の出力をシミュレートしました。

テストのために、5 gの加速度をシミュレートして50 kHzの周波数範囲でフィルタに入力します。ADXL001の検出軸に±5 gの正弦波加速度が加われば、それに対応するAC電圧が出力されます。

$$\pm 5 \text{ g} \times 0.0242 \text{ V/g} = \pm 0.121 \text{ V}$$

この電圧の中心は、ゼロg出力の2.5 Vです。

信号発生器はこの電圧をフィルタに入力します。フィルタのピーク出力電圧測定にはオシロスコープを使用しました。この電圧をgに再変換して(gを感度で除算)、最初の入力加速度と比較しました。 $20 \log_{10}(V_{\text{OUT}}/V_{\text{IN}})$ の値をプロットすれば、システムの周波数応答が得られます。

加速度センサーの周波数応答に現れるピーキングに基づいて、信号発生器の出力電圧を調整することが重要です。周波数が 10 kHz の場合、5 g の加速度がかかっている加速度センサーの出力電圧を正確に表わすには、信号発生器の出力電圧を約 1.8 dB 増加させる必要があります。

図 5 に示す結果では、加速度センサーの周波数応答に見られる大きなピークが消えています。-3 dB 帯域幅は約 23 kHz です。ロールオフ直前のパスバンドに小さなリップルが見られますが、これは加速度センサーの周波数応答ピークにおけるわずかなミスマッチと、フィルタ応答のノッチによって生じたものです。

2 kHz の正弦波を発生させるために Wavetek Model 81 パルス/関数発生器を使用し、フィルタ入力に直接接続しました。図 6 は CN0303 評価用ソフトウェアのスクリーンショットです。AD7476 ADC からの変換データがグラフにプロットされています。サンプリング・レートは 1 MSPS でした。

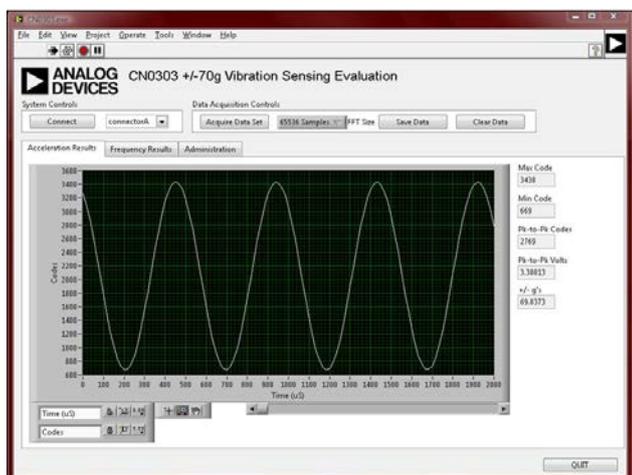


図 6. CN0303 評価用ソフトウェアのスクリーンショット、2 kHz の正弦波を 1 MSPS のサンプリング・レートでデジタル化

プリント基板レイアウト時の考慮事項

高精度が要求される回路では、基板上的電源とグラウンド・リターンのレイアウトを慎重に行う必要があります。PCB はアナログ部とデジタル部をできる限り分離してください。このシステムの PCB は、大面積のグラウンド・プレーン、電源プレーンを 4 層に積み重ねて構成されています。レイアウトとグラウンディングに関する詳細は [MT-031 チュートリアル](#) を、デカップリング技術に関する情報については [MT-101 チュートリアル](#) をご覧ください。

EVAL-ADXL001-70Z ボードは、フレキシブル・リボン・ケーブルで EVAL-CN0303-SDPZ ボードに接続します。振動により発生する機械的応力は回路基板を損傷させる恐れがありますが、フレキシブル・リボン・ケーブルを使用することによって EVAL-CN0303-SDPZ への振動を遮断することができ、さらに ADXL001 を振動源に直接置くことができます。

ADXL001 への電源は、適切なノイズ抑制とリップル低減のために、0.1μF のコンデンサでデカップリングします。コンデンサはできるだけデバイスの近くに配置する必要があります。

電源ラインはできるだけ太いパターンにして低インピーダンス経路とし、電源ライン上のグリッチによる影響を軽減させる必要があります。クロックやその他の高速でスイッチするデジタル信号は、デジタル・グラウンドで基板上的他の部分からシールドする必要があります。

この回路ノートのための完全な設計支援パッケージについては、www.analog.com/CN0303-DesignSupport をご覧ください。



図 7. EVAL-CN0303-SDPZ の写真

バリエーション回路

より完璧な振動検出ソリューションを作成するために、ADXL001 の代わりに 2 軸 (ADXL2xx ファミリー) または 3 軸 (ADXL3xx ファミリー) の加速度センサーを使用することができます。第 2 および第 3 の空間次元の加速度を測定することによってカスタム・ソフトウェアを記述すれば、さらに正確な全機能装備の振動検出システムを作成できます。

回路評価とテスト

この回路は、**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) 評価用ボードと、**EVAL-CN0303-SDPZ** 回路ボードを使用します。2つのボードには、迅速な回路性能の設定と評価を可能にする 120 ピン・コネクタがあります。

この回路は、**EVAL-ADXL001-70Z** 評価用ボードも使用します (**EVAL-CN0303-SDPZ** ボードに同梱)。この PCB の出力コネクタ (P1) は、付属のリボン・ケーブルを使って **EVAL-CN0303-SDPZ** ボードの入力コネクタ (J6) に配線する必要があります。

このノートに示すように、**EVAL-CN0303-SDPZ** ボードには評価対象回路が含まれています。**EVAL-SDP-CB1Z** 評価用ボードは、**EVAL-CN0303-SDPZ** ボードからのデータを取り込むために、**CN0303 評価用ソフトウェア** とともに使用します。**EVAL-ADXL001-70Z** ボードには、**ADXL001 IC** が含まれています。

必要な装置

- USB ポート付きの Windows® XP、Windows® Vista (32 ビット)、または Windows® 7 (32 ビット) 搭載 PC
- **EVAL-CN0303-SDPZ** 評価用ボード
- **EVAL-ADXL001-70Z** 評価用ボードおよびリボン・ケーブル (**EVAL-CN0303-SDPZ** ボードに同梱)

- **EVAL-SDP-CB1Z** 評価用ボード
- **CN0303** 評価用ソフトウェア
- 電源：+6.0 V または +6.0 V AC アダプタ
- **ADXL001** のシミュレート出力生成用の関数発生器 (Wavetek 81 または同等品) (必要な場合)

測定の準備

CN0303 評価用ソフトウェアのディスクを PC の CD ドライブに挿入し、評価ソフトウェアをロードしてください。マイ・コンピュータから評価ソフトウェア・ディスクのドライブに行き、**Readme** ファイルを開きます。**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

テスト・セットアップの機能ブロック図を図 8 に示します。**ADXL001** の出力をシミュレートするために信号発生器を使用します。リボン・ケーブルで **EVAL-ADXL001-70Z** の 5 ピン・ヘッダ (P1) と **EVAL-CN0303-SDPZ** の 5 ピン・ヘッダ (J6) を接続して、**EVAL-ADXL001-70Z** ボードと **EVAL-CN0303-SDPZ** ボードを接続し、実際の振動を測定することができます。

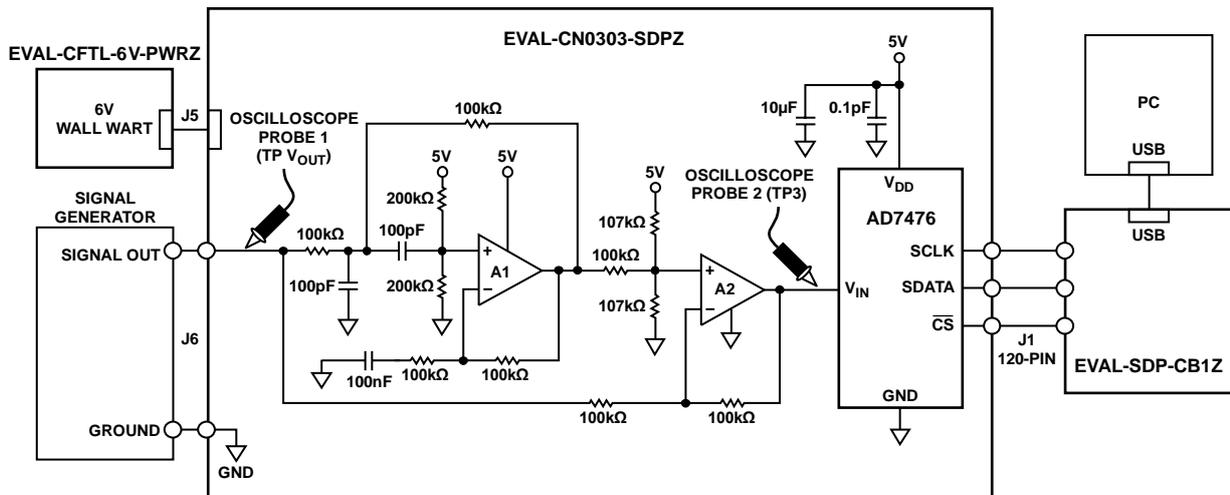


図 8. テスト・セットアップ機能ブロック図

11054-008

セットアップ

EVAL-CN0303-SDPZ ボードの 120 ピン・コネクタ (J1) を、EVAL-SDP-CB1Z 評価用 (SDP) ボードの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てナイロン製留め具で2つの基板をしっかりと固定してください。

リボン・ケーブルを使用し、EVAL-ADXL001-70Z 評価用ボードの 5 ピン・ヘッダ (P1) を EVAL-CN0303-SDPZ ボードの 5 ピン・ヘッダ (J6) に接続します。

+6.0 V 電源を EVAL-CN0303-SDPZ ボードのコネクタ J5 に接続します。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。このときは、まだ SDP ボードのミニ USB コネクタに USB ケーブルを接続しません。

テスト

評価ソフトウェアを立ち上げ、PC に接続した USB ケーブルを SDP 基板上の USB ミニ・コネクタに接続してください。

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。

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

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・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、下の URL にあるソフトウェアの **Readme** ファイルをご覧ください。

www.analog.com/CN0303-UserGuide

さらに詳しくは

[CN-0303 Design Support](#)

Package:<http://www.analog.com/CN0303-DesignSupport>

[MT-031 Tutorial, Grounding Data Converters and Solving the Mystery of "AGND" and "DGND"](#), Analog Devices.

[MT-101 Tutorial, Decoupling Techniques](#), Analog Devices.

[AN-688 Application Note, Phase and Frequency Response of iMEMS Accelerometers and Gyros](#), Analog Devices

[Linear Circuit Design Handbook](#), Hank Zumbahlen, Analog Devices

Aram Budak, *Passive and Active Network Analysis and Synthesis*, October 1991, ISBN-13: 978-0881336252.

データシートと評価用ボード

CN-0303 回路評価用ボード (EVAL-CN0303-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-CS1Z)

ADXL001 データシート

ADXL001 評価用ボード (EVAL-ADXL001-70Z)

AD8606 データシート

AD7476 データシート

AD7476 評価用ボード

改訂履歴

7/13—Revision 0: Initial Version

(1ページから続き) 「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。

©2013 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。