



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/CN0254> をご覧ください。

使用したリファレンス・デバイス	
AD7689	16 ビット 8 チャンネル 250 kSPS PulSAR ADC
AD8608	高精度、CMOS のレール to レール入 / 出力クワッドオペアンプ
AD8605	高精度、CMOS のレール to レール入 / 出力オペアンプ
ADuM3471	4 チャンネル・アイソレータ内蔵の PWM コントローラおよびトランス・ドライバ
ADP3336	500mA anyCAP® 低ドロップアウトレギュレータ

単電源、絶縁型の 16 ビット、250kSPS、8 チャンネル・データ・アキュイジション・システム

評価および設計サポート環境

回路評価ボード

CN-0254 評価用ボード (EVAL-CN0254-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 に示す回路は、費用対効果の優れた高集積化された 16 ビット、250kSPS、8 チャンネル・データ・アキュイジション・システムで、±10V の工業用信号をデジタル化することができます。また、測定回路とホスト・コントローラ間に 2500V rms の絶縁 (1min. per UL1577) を実現し、回路全体に PWM 制御の絶縁型 5V 単電源から電力が供給されます。

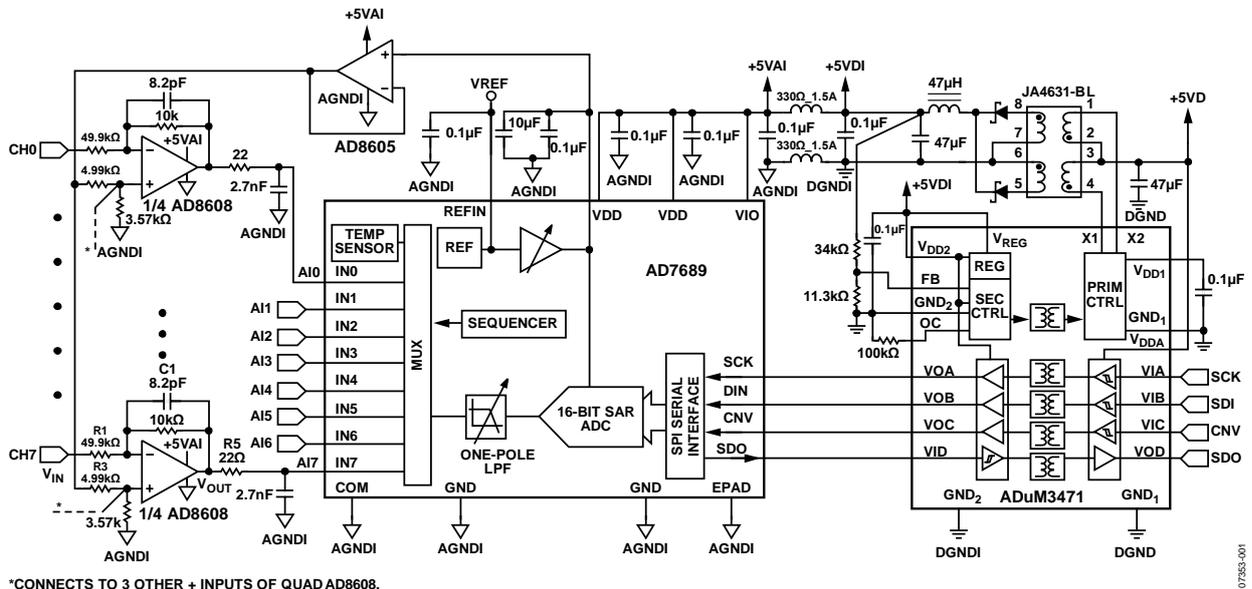


図 1. 16 ビット、250kSPS、8 チャンネル・データ・アキュイジション・システム
(簡略回路図：全接続の一部およびデカップリングは省略されています)

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

この回路は、AD7689 16 ビット、8 チャンネル、250kSPS PulSAR ADC と 2 個の AD8608 低価格高精度クワッド・オペアンプを使って、データ・アキュイジション・システムの全てのシグナル・コンディショニングとデジタル化機能を提供します。他に必要なオペアンプは AD8605 だけで、AD7689 からのリファレンス電圧をバッファするのに使用します。

AD8605 と AD8608 は、それぞれシングルとクワッドの低価格レール to レール入力/出力 CMOS アンプです。AD8608 は、ADC の入力範囲に一致するように $\pm 10V$ の入力信号の反転、レベル・シフト、および減衰を行います。 $+4.096V$ リファレンスと $+5V$ 単電源を使用する場合の ADC の入力範囲は $0V \sim +4.096V$ です。

AD8605 は外部リファレンス・バッファとして機能し、レベル・シフトのための十分な駆動能力を提供します。AD8605 と AD8608 は、オフセット電圧が非常に小さく、入力電圧と入力電流のノイズが小さく、信号帯域幅が広いので、さまざまなアプリケーションに最適です。AD8608 の電流ノイズと電圧ノイズは小さいので、高入力インピーダンスに対して抵抗ノイズが出力ノイズの支配的成分になります。この回路の入力インピーダンス ($R1$ に等しい) は $50k\Omega$ です。

AD7689 16 ビット、8 チャンネル、250kSPS PulSAR ADC は、低消費電力のマルチチャンネル・データ・アキュイジション・システムに必要な全ての構成要素を含んでいます。これらは、16 ビット SAR ADC、低クロストークの 8 チャンネル・マルチプレクサ、低ドリフトのリファレンスおよびバッファ、温度センサー、選択可能な単極フィルタ、チャンネル・シーケンサなどです。このシーケンサはチャンネルを連続的にスキャンするのに便利で、チャンネルの切り替えを制御するのにマイクロコントローラや FPGA は必要ありません。AD7689 は実装面積の小さい 20 ピン $4mm \times 4mm$ LFCSP パッケージに収められているので、コストとプリント回路基板 (PCB) の面積が最小限に抑えられます。動作は $-40^{\circ}C \sim +85^{\circ}C$ の範囲で仕様が規定されています。5V 電源で 250kSPS のときの消費電力は $12.5mW$ (標準) です。

ADuM3471 は、クワッド・チャンネル・デジタル・アイソレータで、絶縁型 DC/DC コンバータのための PWM コントローラとトランス・ドライバを内蔵しています。ADuM3471 は、絶縁された 5V、2W の電力を回路に供給するとともに、SPI インターフェースのデジタル信号を絶縁します。

アナログ・フロントエンドの設計

プロセス制御や工業用オートメーションのシステムでは、最大 $\pm 10V$ の信号レベルが標準的です。図 1 の回路では減衰機能とレベル・シフト機能を備えた反転アンプが使用され、 $\pm 10V$ の信号を ADC の電圧範囲に適合する値に変換します。この回路を表す式は次のとおりです。

$$V_{OUT} = -\frac{R2}{R1} \times V_{IN} + \left(\frac{R1+R2}{R1}\right) \times \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) \times V_{REF} \quad (1)$$

ADC に入力される信号の範囲がピーク to ピークで $4V$ になるように、フロントエンドの信号ゲイン ($-R2/R1$) は -0.2 に設定されています。これは、リファレンス電圧 V_{REF} に等しい $0V \sim +4.096V$ の入力範囲に適合します。

$$\frac{R1}{R2} = 5 \quad (2)$$

$0V$ の入力信号に対してオペアンプの出力が中点 ($0.5V_{REF}$) になるようにします。

$$\left(\frac{R1+R2}{R1}\right) \times \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) = 0.5 \quad (3)$$

式 2 を式 3 に代入すると、次のようになります。

$$\frac{R3}{R4} = 1.4 \quad (4)$$

オペアンプの入力の同相電圧は、次式で計算されます。

$$V_{CM} = V_{REF} \times \left(\frac{R4}{R3+R4}\right) \quad (5)$$

$R3/R4 = 1.4$ 、 $V_{REF} = 4.096V$ の場合、オペアンプの同相電圧は $1.7V$ になります。

4 個のアンプが各 AD8608 に内蔵されており、4 つの非反転入力は相互に短絡され、抵抗分割器 $R3/R4$ に接続されています。2 番目の AD8608 には 2 番目の抵抗分割器が使用されています。オペアンプの入力バイアス電流をキャンセルするため、次のようにします。

$$R1 \parallel R2 = 4 (R3 \parallel R4) \quad (6)$$

この回路の入力インピーダンスは $R1$ で、この値を大きくするのが理想的です。ただし、抵抗には抵抗値の平方根に比例する熱ノイズが生じるので、この抵抗値が大きくなるとシステムのノイズ性能が低下します。最適値を求めるために簡単なノイズ解析が必要です。

ナイキスト条件に基づいて、最大信号周波数成分を最大サンプリング・レートの半分以下にする必要があります。AD7689 ではサンプリング・レートが $250kSPS$ なので、 $125kHz$ のナイキスト周波数になります。この帯域幅での信号の減衰を最小限に抑えるため、フロントエンドの $-3dB$ のカットオフ周波数がナイキスト周波数の約 12 倍 ($1.5 MHz$) になるように設計されています。

この回路のノイズ・モデルを図 2 に示します。この回路には、抵抗ノイズ、アンプの電圧ノイズ、アンプの電流ノイズの 3 つのノイズ源があります。各ノイズ源の rms 値を表 1 に示します。オペアンプのノイズの詳細については、アプリケーションノート AN-358、およびチュートリアル MT-047、MT-048、MT-049 を参照してください。

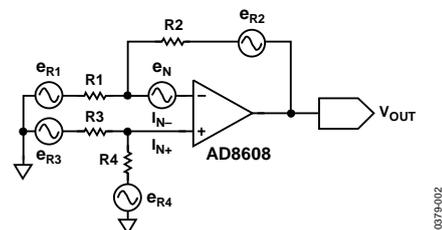


図 2. AD8608 の反転構成のノイズ・モデル

ADC が入力信号を正しくデジタル化できるように、ADC の直前で対象帯域幅内の総合 rms ノイズを $0.5LSB$ より小さくする必要があります。

抵抗によるノイズは、次式によって算出することができます。

$$e_R = 4 \times \sqrt{\frac{R}{1000}} \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} \text{ at } 25^\circ\text{C} \quad (7)$$

ここで、Rの単位はΩです。

図1の抵抗値と1.5MHzの帯域幅を使ったときのノイズを表1にまとめます。

相関関係のないこれらのノイズ電圧は2乗和の平方根で加算されるので、1.5MHzの帯域幅内のオペアンプ出力の総合rmsノイズは約21.3μVになります。リファレンスが4.096Vの場合、16ビットのLSBは62.5μVになります。21.3μVのrmsノイズは0.5LSBより小さく、図1の抵抗値はこのアプリケーションに適しています。

総合出力ノイズの最大の要因が抵抗R2(回路内の10kΩ)であることに注意してください。R2の値を小さくするには、それに比例してR1の値を小さくすることが必要で、これにより入力インピーダンスが低下します。

AD8608の入力電流ノイズは非常に小さいので、極端に大きな抵抗値が使用されていない限り、これは大きな問題にはなりません。AD8605とAD8608は入力電流ノイズと入力バイアス電流が小さいので、フォトダイオードなどの高インピーダンス・センサーに理想的なアンプです。

C1コンデンサがR2と並列に追加され、単極アクティブ・ローパス・フィルタを形成しています。帯域幅は式8を使って計算します。-3dB帯域幅が1.5MHzの場合、C1は約10pFになります。この回路では、PCBボードの寄生効果を考慮して8.2pFの値が選択されています。

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi R2 \times C2} \quad (8)$$

表1. 図1に示す回路の値に対するノイズの要約

ノイズ源	RMS ノイズ密度	RTO 係数 (式)	RTO 係数	出力ノイズ密度 (nV/√Hz)	出力 RMS ノイズ、1.5MHz の帯域幅 (μV)
e _{R1}	28 nV/√Hz	$\frac{R2}{R1}$	0.2	5.6	6.9
e _{R2}	12.6 nV/√Hz	1	1	12.6	15.4
e _{R3}	9 nV/√Hz	$\left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \times \left(\frac{R4}{R3 + R4}\right)$	0.5	4.5	5.5
e _{R4}	8 nV/√Hz	$\left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \times \left(\frac{R3}{R3 + R4}\right)$	0.7	5.6	6.9
e _n	6.5 nV/√Hz	$1 + \frac{R2}{R1}$	1.2	7.8	9.6
i _{n+}	0.01 pA/√Hz	$\left(1 + \frac{R2}{R1}\right) \times \left(\frac{R3 \times R4}{R3 + R4}\right)$	2.5 kΩ	0.025	0.03
i _{n-}	0.01 pA/√Hz	R2	10 kΩ	0.1	0.12

A/D コンバータ (ADC)

AD7689は最新のSAR ADCで、内部のスイッチド・キャパシタDACを使用しています。SARアーキテクチャにより、変換プロセスにパイプライン遅延が生じないので、多重化処理が大幅に簡素化されます。アナログ入力等の等価回路を図3に示します。サンプリング周波数で小さな過渡電流がアナログ入力に注入され、R5とC2で構成される外付けフィルタ回路網が過渡電流のオペアンプ出力への影響を低減します。さらに、このフィルタは2.7MHzの帯域幅を持ち、ADC入力のノイズも低減します。

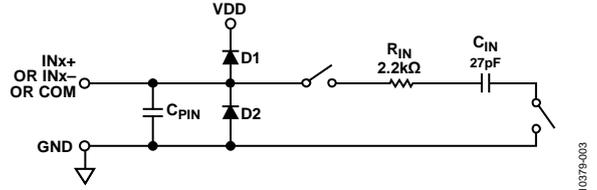


図3. AD7689の等価アナログ入力回路

4.096Vまたは2.5Vのリファレンスを選択可能な場合、この回路の入力範囲は、システム分解能を低下させることなく、±10Vと±6Vの間で切り替えることができます。

内部温度センサーを使ってAD7689のジャンクション温度をモニタできるようにし、高精度アプリケーションのシステム・キャリブレーションと温度補償を可能にします。

絶縁型の電源およびデジタル I/O 用シングルチップ・ソリューション

ADuM3471 は、電源とデジタル I/O の両方を絶縁するためのシングルチップ・ソリューションです。絶縁電圧は 2500V rms です (1 min. per UL 1577)。ADuM3471 は、4 チャンネルの絶縁型 I/O ポートを備え、絶縁型 DC/DC コンバータのための PWM コントローラとトランス・ドライバを内蔵しています。数個の外付け部品と組み合わせることにより、ADuM3471 は安定化電圧範囲が 3V~24V の 2W 絶縁型電源を実現することができます。必要な外付け部品は、電力伝送用の 1 個のトランス、全波整流用の 2 個のショットキー・ダイオード、リップル抑制用の LC フィルタ、および出力電圧設定用の 2 本の帰還抵抗です。詳細については、ADuM3471 のデータシートと図 1 を参照してください。

レイアウト時の考慮事項

この回路や他の全ての高速または高分解能の回路の性能は、PCB レイアウトが適切であるかどうか大きく依存します。これには、限定はされませんが、電源バイパス、信号配線、適切な電源プレーンおよびグラウンド・プレーンが含まれます。PCB レイアウトの詳細については、チュートリアル MT-031、チュートリアル MT-101、および記事「高速プリント回路基板レイアウトの実務ガイド」(Analog Dialogue 39~09, September 2005) を参照してください。

回路図、基板レイアウト、部品表を含む CN-0254 の設計支援パッケージについては、<http://www.analog.com/CN0254-DesignSupport> をご覧ください。

システム性能

評価ボードの端子ブロックで CH0~CH7 を GND に短絡したときに、10,000 サンプル (1kSPS で 1 秒) の間に生じる ADC コードのプロットを図 4 に示します。コードの 95% が 4LSB の範囲内にあり、ピーク to ピークの幅が約 7LSB であることに注意してください。これは約 $7 \div 6.6 = 1.1$ LSB の rms 値に相当します。

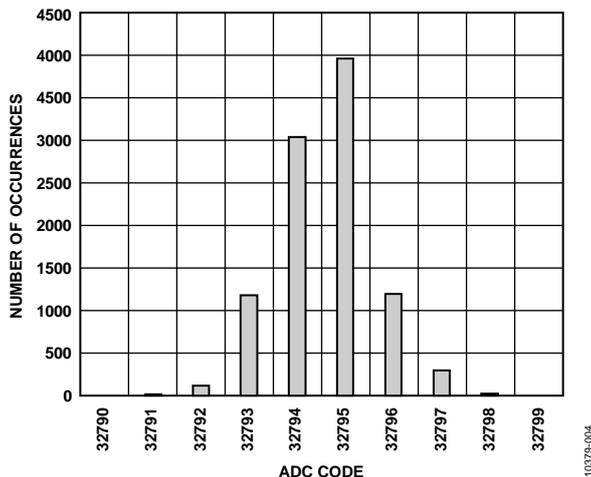


図 4. 0V 入力、10,000 サンプルでの DC ヒストグラム

AC 性能を図 5 に示します。250kSPS のサンプリング・レートはシステム・デモ用プラットフォーム (EVAL-SDP-CB1Z SDP) によって制御され、信号ウィンドウ処理と FFT を含むデジタル信号処理は PC で動作する CN-0254 評価用ソフトウェアによって計算されます。入力サイン波形は 20kHz トーンで、B&K の低歪みサイン波発生器 (タイプ 1051) から供給されます。

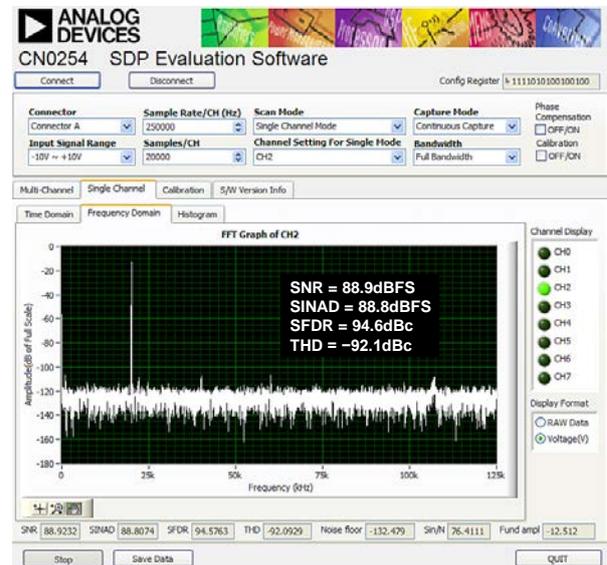


図 5. カイザー・ウィンドウでの FFT (パラメータ = 20)、20kHz の入力、250kSPS のサンプリング・レート

バリエーション回路

より高いサンプリング・レートを必要とするアプリケーション用に、最大サンプリング・レートが 500kSPS の AD7699 があり、AD7689 のピン互換の置き換えデバイスとして最適です。

AD8615、AD8616、AD8618 は、それぞれシングル、デュアル、クワッドの高精度 CMOS レール to レール入力/出力オペアンプで、帯域幅は最大 20MHz です。これらは、AD8605/AD8608 シリーズより広い帯域幅を必要とするアプリケーションに使用することができます。

ADR3412 (1.200V)、ADR3420 (2.048V)、ADR3425 (2.500V)、ADR3430 (3.000V)、ADR3433 (3.300V)、ADR3440 (4.096V)、および ADR3450 (5.000V) は、低価格、低消費電力、高精度 CMOS 電圧リファレンスで、 $\pm 0.1\%$ の初期精度、低動作電流、低出力ノイズを特長とする小型 SOT-23 パッケージに収められたデバイスです。必要に応じて、これらを AD7689 の内部リファレンスの代わりに使用することができます。

ADuM3470、ADuM3471、ADuM3472、ADuM3473、および ADuM3474 は、電源とデジタル I/O の両方の絶縁を必要とするアプリケーションに最適です。ADuM120x と ADuM140x のファミリは、絶縁型の I/O を拡張するのに使用されます。高データレート向けに、ADuM344x ファミリーは最大 150Mbps をサポートします。

回路の評価とテスト

必要な装置（同等の装置に変更可能）

- USBポート付き Windows® XP、Windows Vista (32ビット)、または Windows 7 (32ビット) 搭載 PC
- EVAL-CN0254-SDPZ 回路評価ボード
- EVAL-SDP-CB1Z システム・デモンストレーション・プラットフォーム評価ボード
- 電源電圧：6V DC、500mA
- CN0254 評価用ソフトウェア
- B&K のサイン波発生器（タイプ 1051）

評価開始にあたって

CN-0254 評価用ソフトウェア CD を PC の CD ドライブにセットして評価用ソフトウェアをロードします。マイコンコンピュータを使用し、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。

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 6 に示します。**EVAL-CN0254-SDPZ-PADSSchematic** pdf ファイルに、CN-0254 評価ボードの詳細な回路図が含まれています。回路図、PCB レイアウト、部品表、およびガーバーファイルを含む CN-0254 設計支援パッケージは、<http://www.analog.com/CN0254-DesignSupport> からダウンロードすることができます。

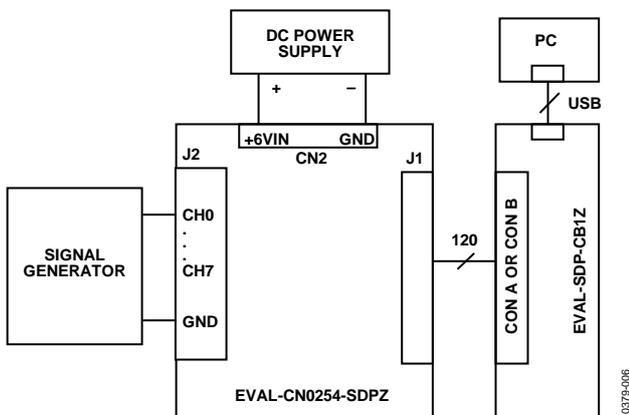


図 6. 評価テストのセットアップ

セットアップとテスト

CN-0254 回路評価ボードの 120 ピン・コネクタを EVAL-SDP-CB1Z 評価用 (SDP) ボードの **CON A** コネクタまたは **CON B** コネクタに接続します。120 ピン・コネクタの両端にある穴を利用し、ナイロン製ハードウェアを使って 2 枚の基板をしっかりと固定します。DC 出力電源を 6V の出力に設定してから、電源をオフにします。6V を CN2 に接続します。電源をオンにしてから、USB-miniUSB ケーブルを使って SDP を PC に接続します。

電源を設定して EVAL-CN0254-SDPZ 回路基板に接続してから、評価用ソフトウェアを起動します。ソフトウェアが SDP ボードと通信できるように、**Connect** をクリックします。SDP ボードを使って、EVAL-CN0254-SDPZ ボードとの間のシリアル・データの送受信およびキャプチャを行うことができます。この回路ノートのデータは、B&K の信号発生器（タイプ 1051）を使って生成しました。SDP ボードについては、www.analog.com/SDP を参照してください。

さらに詳しい資料

CN0254 Design Support Package:

<http://www.analog.com/CN0254-DesignSupport>

Application Note AN-358 : ノイズとオペアンプ回路

Application Note AN-931 : PulSAR ADC サポート回路の解説

Analog Dialogue 39-09 : 高速プリント回路基板レイアウトの実務ガイド

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

MT-047 Tutorial : Op Amp Noise, Analog Devices.

MT-048 Tutorial : Op Amp Noise Relationships: 1/f Noise, RMS Noise, and Equivalent Noise Bandwidth, Analog Devices.

MT-049 Tutorial : Op Amp Total Output Noise Calculations for Single-Pole System, Analog Devices

MT-101 Tutorial : Decoupling Techniques, Analog Devices.

CN0225 Circuit Note : High Impedance, High CMR, ±10 V Analog Front End Signal Conditioner for Industrial Process Control and Automation, Analog Devices

CN0261 Circuit Note : Optimizing AC Performance in an 18-Bit, 250 kSPS, PulSAR Measurement Circuit, Analog Devices.

UG-197 User Guide : トランス・ドライバ内蔵の JCOUPLER 4 チャンネル・アイソレータ ADUM347X の評価用ボード

データシートと評価ボード

CN-0254 評価用ボード (EVAL-CN0254-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)

AD7689 データシートと評価ボード

AD8608 データシートと評価ボード

AD8605 データシートと評価ボード

ADuM3471 データシートと評価ボード

改訂履歴

12/13—Rev. A to Rev. B

Changes to Title 1

5/12—Rev. 0 to Rev. A

Changes to Figure 1 1

4/12—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。