



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 www.analog.com/jp/CN0318 をご覧ください。

接続/参考にしたデバイス

AD5760	16ビット超安定電圧出力 DAC
AD8675/ AD8676	超高精度、36 V、2.8 nV/√Hz レール to レール出力デュアル・オペアンプ
ADR4550	超低ノイズ、高精度 5V リファレンス電圧

16 ビット、リニア、超安定、低ノイズ、バイポーラ±10V DC 電圧源

評価および設計サポート

回路評価ボード

AD5760 回路評価ボード (EVAL-AD5760SDZ)

システム・デモ用プラットフォーム (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 に示す回路は外付け部品数が最少の 16 ビット、超安定、低ノイズ、高精度バイポーラ (±10 V) 電圧源です。

AD5760 電圧出力 DAC (B グレード) の最大積分非直線性 (INL) は±0.5 LSB、最大微分非直線性 (DNL) は±0.5 LSB です。

100 秒間測定したピーク to ピーク・ノイズとドリフトは、システム全体で 0.1 LSB 未満です。この回路は高精度低ドリフト電圧源が必要な医療機器、検査や測定および産業用制御アプリケーションに最適です。

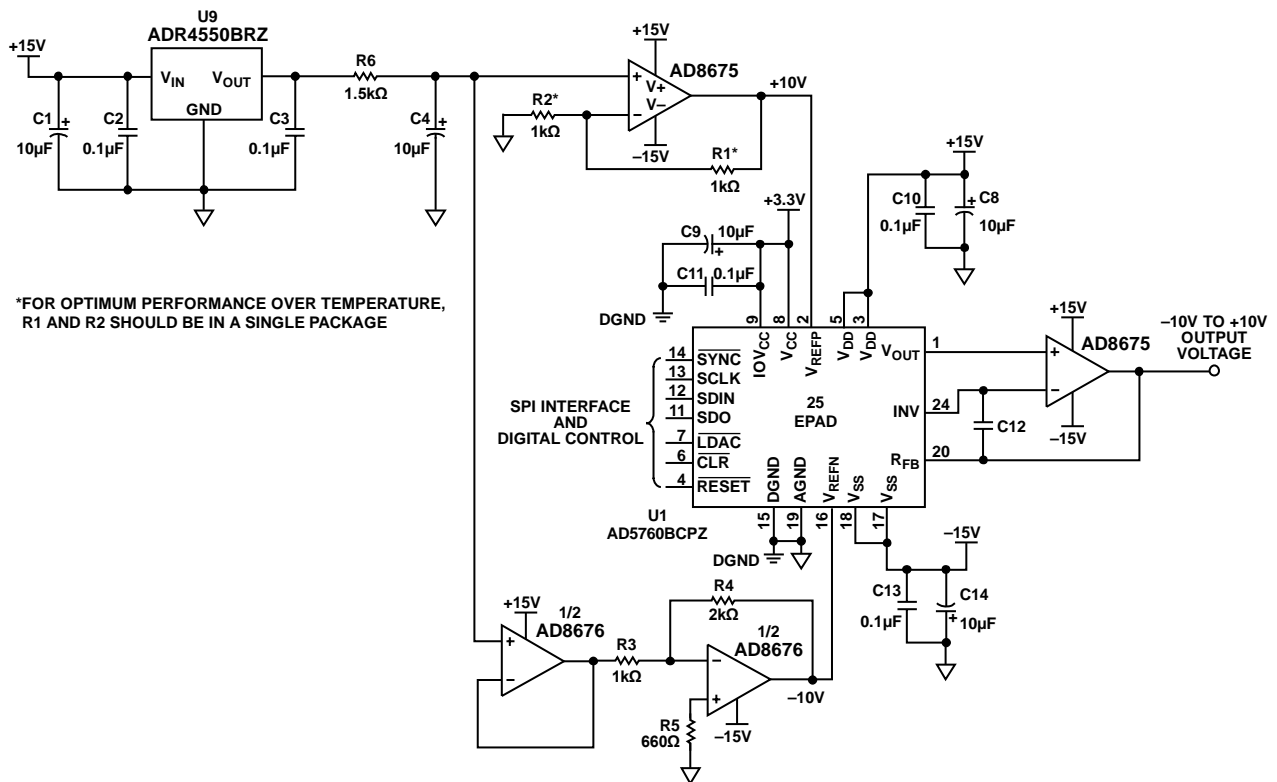


図 1. 16 ビット精度、±10 V 電圧源 (簡略回路図: 全ての接続およびデカップリングは示されていません)

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。

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0

回路説明

図1の回路は、最高33Vのバイポーラ電源で動作する真の16ビットのバッファなし電圧出力DACであるAD5760をベースにしています。AD5760の正リファレンスの入力範囲は5V \sim V_{DD}-2.5Vで、負リファレンスの入力範囲はV_{SS}+2.5V \sim 0Vです。AD5760の相対精度仕様は最大 ± 0.5 LSBで、最大 ± 0.5 LSBのDNL仕様でモニシティ（単調増加性動作）が保証されています。AD5760は出力ノイズが8nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ で、直線性誤差の長期安定性が0.00625LSBと非常に優れています。

図1に示すのは、アンプの入力バイアス電流補償付きユニティ・ゲイン・モードに設定したAD5760で、対称なバイポーラ出力電圧範囲を生成します。この動作モードでは、内蔵抵抗とともに外付けの出力オペアンプを使って入力バイアス電流を補償します（AD5760データシート参照）。これらの内蔵抵抗は互いにまたDACのラダー抵抗とも熱的にマッチングしているので、レシオメトリックな温度トラッキングを実現します。

高精度オペアンプAD8675はオフセット電圧が低く（最大75 μ V）、低ノイズ（標準2.8nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、および0.1 μ V p-p、0.1Hz \sim 10Hz）で、AD5760の出力バッファとして最適です。

AD5760は整合した2個の6.8k Ω フィードフォワード抵抗とフィードバック抵抗を内蔵していますが、これらの抵抗をオペアンプAD8675に接続して ± 10 Vの出力振幅のための10Vのオフセット電圧を供給することも、あるいは並列接続してバイアス電流をキャンセルすることもできます。この例では、バイポーラ ± 10 V出力の実装例を示しており、抵抗はバイアス電流のキャンセルに使用されています。内部抵抗の接続は、AD5760の制御レジスタの1ビットを設定することにより制御されます（AD5760のデータシート参照）。

ADR4550は高精度電圧リファレンスで、温度安定性に優れ（2ppm/ $^{\circ}\text{C}$ max、Bグレード）、出力電圧ノイズが極めて低く抑えられています（2.8 μ V p-p、0.1Hz \sim 10Hz）。これらの特長により、ADR4550はAD5760に最適なリファレンスといえます。

± 10 Vの出力電圧範囲を得るため、ADR4550からの+5リファレンス電圧を（図1に示すように）AD8675とAD8676（デュアルのAD8675）を使って ± 10 Vに増幅します。

出力バッファはこの場合も低ノイズ、低ドリフトのAD8675を使用します。このアンプはAD8676（AD8675のデュアル）と組み合わせて、低ノイズのADR4550からの+5Vリファレンス電圧をそれぞれ+10Vと-10Vに増幅するのに使用します。この利得回路のR1、R2、R3、R4は許容精度が0.01%、温度係数0.6ppm/ $^{\circ}\text{C}$ の高精度金属皮膜抵抗です。R6とC4はカットオフ周波数が約10Hzのローパス・フィルタを構成します。このフィルタの目的は電圧リファレンスのノイズを減衰させることです。

この回路の2個のAD8675オペアンプは、必要に応じて1個のAD8676デュアル・アンプで置き換えることができます。ただし、EVAL-AD5760SDZボードは出力段に柔軟性を持たせるように設計されているので、2個のオペアンプを使用しました。

回路へのデジタル入力はシリアルで、標準SPI、QSPI、MICROWIRE[®]、DSPの各インターフェース規格と互換性があります。

直線性の測定

図1に示す回路の精度に関する性能は、Agilent 3458Aマルチメータを使用した評価用ボードEVAL-AD5760SDZで実証されています。図2は、DACコードの関数としての積分非直線性が ± 0.5 LSBの仕様に十分収まることを示しています。

図3は、DACコードの関数としての微分非直線性が ± 0.5 LSBの仕様内であることを示しています。

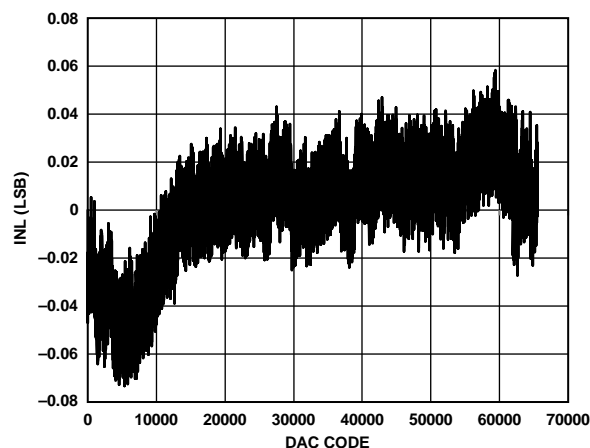


図2. 積分非直線性 対 DAC コード

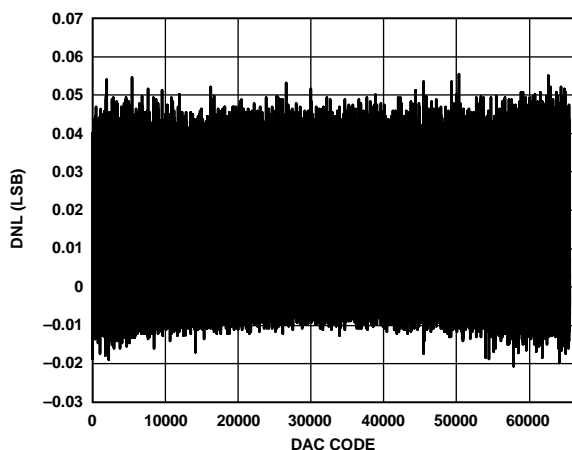


図3. 微分非直線性 対 DAC コード

ノイズ・ドリフトの測定

高精度を実現するには、回路出力でのピーク to ピーク・ノイズを 1 LSB より十分下に維持する必要があります。1 LSB は 16 ビットの分解能で +10 V ユニポーラ電圧範囲の場合 152 μV 、20 V のピーク to ピーク電圧範囲では 305 μV に相当します。現実のアプリケーションでは、1/f ノイズを減衰するための 0.1 Hz のハイパス・カットオフは存在せず、その通過帯域に下方向 DC までの周波数が含まれます。これを考慮に入れて +10 V のユニポーラ電圧範囲で測定されたピーク to ピーク・ノイズを図 4 に示し、 $\pm 10\text{V}$ のバイポーラ電圧範囲の場合を図 5 に示します。いずれの場合も、回路の出力でノイズを 100 秒間測定しているため、実効的に 0.01 Hz の低い周波数が測定に含まれています。

10 V の出力範囲の場合 (1 LSB = 152 μV) のシグナル・チェーンのノイズ性能を図 4 に示します。AD5760 の V_{REFN} 入力を接地すると 10 V の範囲になります。

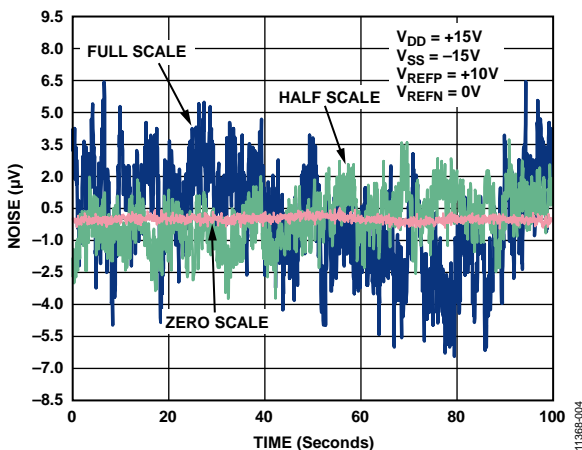


図 4. フルスケール (青)、ハーフスケール (緑)、ゼロスケール (赤) で ADR4550 電圧リファレンスを使い 10 V ピーク to ピーク・ユニポーラ出力電圧範囲で 100 秒間測定した DAC の 出力電圧ノイズ

図 4 の 10 V 範囲のピーク to ピーク出力ノイズを以下にまとめます。

- ゼロスケール = 0.96 $\mu\text{V p-p}$ = 0.006 LSB p-p
- ハーフスケール = 7.46 $\mu\text{V p-p}$ = 0.05 LSB p-p
- フルスケール = 12.88 $\mu\text{V p-p}$ = 0.08 LSB p-p

ノイズはゼロスケールの出力電圧で最小となっています。これは V_{REFN} 入力がグラウンドに接続されているので、DAC のコアからのノイズのみを表しているからです。ゼロスケールのコードを選択したとき、各電圧リファレンス経路から生じるノイズは DAC によって減衰されます。

低周波数では、温度ドリフトと熱電対効果がノイズに影響するようになります。これらの影響は、熱係数の低い部品を選択することによって減らすことができます。この回路では主に電圧リファレンスが低周波数の 1/f ノイズに影響を与えます。また、電圧リファレンスは回路内で最大の温度係数 2 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ を示します。

図 5 は 20 V 出力範囲 (1 LSB = 305 μV) の場合のシグナル・チェーンのノイズ性能を示しています。

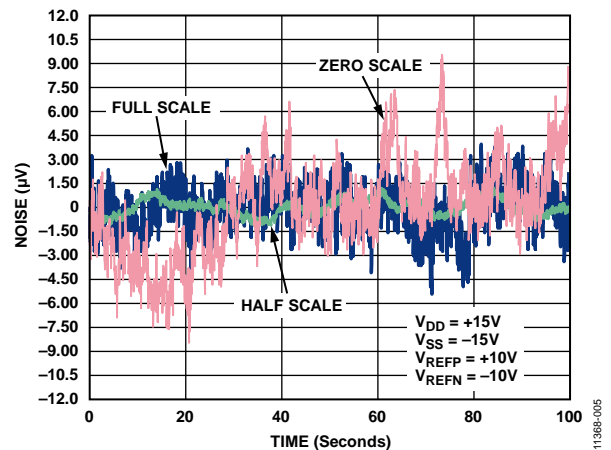


図 5. フルスケール (青)、ハーフスケール (緑)、ゼロスケール (赤) で ADR4550 電圧リファレンスを使って 20 V ピーク to ピーク・バイポーラ出力電圧範囲で 100 秒間測定した DAC の 出力電圧ノイズ

図 5 の 20 V 範囲のピーク to ピーク・ノイズを以下にまとめます。

- ゼロスケール = 18 $\mu\text{V p-p}$ = 0.06 LSB p-p
- ハーフスケール = 2.47 $\mu\text{V p-p}$ = 0.008 LSB p-p
- フルスケール = 9.22 $\mu\text{V p-p}$ = 0.03 LSB p-p

ノイズはハーフスケールのポイントで最小となっています。これは DAC コアがハーフスケールのポイントでリファレンスを最も減衰するためです。

ゼロスケールでのノイズはフルスケールでのノイズより大きくなります。これは負リファレンスが追加のバッファ段を通過するためです。

プリント回路基板の完全な回路図とレイアウトについては、CN-0318 Design Support package を参照してください (www.analog.com/CN0318-DesignSupport)。

バリエーション回路

AD5760 は 0 V ~ +5 V から最大 $\pm 10\text{V}$ までの広い出力範囲をサポートします。対称または非対称の出力範囲が必要な場合は、図 1 に示すように必要なリファレンスを V_{REFP} と V_{REFN} に供給することにより、アンプ入力のバイアス補償付きのユニティ・ゲイン・モードを使用できます。このユニティ・ゲイン・モードは AD5760 の内部制御レジスタの RBUF ビットをロジック 1 に設定して選択します。シングルエンドのリファレンス入力から対称の出力範囲が必要な場合は、 $V_{\text{REFN}} = 0\text{V}$ にして利得 2 の構成を使用することができます。このモードは AD5760 の内部制御レジスタの RBUF ビットをロジック 0 に設定して選択します。必要に応じて、2 個の AD8675 オペアンプをデュアル・バージョンの AD8676 で置き換えることができます。

回路の評価とテスト

必要な装置

- システム・デモ用プラットフォーム (EVAL-SDP-CB1Z)
- EVAL-AD5760SDZ 評価ボードとソフトウェア
- Agilent 3458A マルチメータ
- PC (Windows 32 ビットまたは 64 ビット OS)
- National Instruments GPIB to USB-B インターフェース・ケーブル
- SMB ケーブル (1)

ソフトウェアのインストール

AD5760評価キットの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) および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は、CDから **setup.exe** ファイルを実行してください。ハードウェアとソフトウェアの詳しいセットアップ手順が [User Guide UG-436](#) に掲載されています。

PCに接続したとき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からインストールが完了したら、User Guide UG-436に従ってAD5760評価ボードの電源を投入します。SDPボードを（コネクタAまたはコネクタBのどちらかを介して）AD5760評価ボードに接続してから、付属ケーブルを使ってPCのUSBポートに接続します。
2. 評価システムが検出されたら、表示される全てのダイアログボックスに従って最後まで進みます。これでインストールが完了します。

機能図

図7にテスト・セットアップの機能図を示します。

電源

以下の外部電源を接続する必要があります。

- AD5760のデジタル電源用にコネクタJ1のVCC入力とDGND入力間に3.3V。あるいは、Link 1をポジションAに配置して、SDPボード経由でUSBポートからデジタル回路に給電する（デフォルト設定）。
- AD5760の正アナログ電源用にJ2のVDD入力とAGND入力間に+12V～+16.5V。
- AD5760の負アナログ電源用にJ2のVSS入力とAGND入力間に-12V～-16.5V。



図6. 評価用ソフトウェアのメイン・ウィンドウ

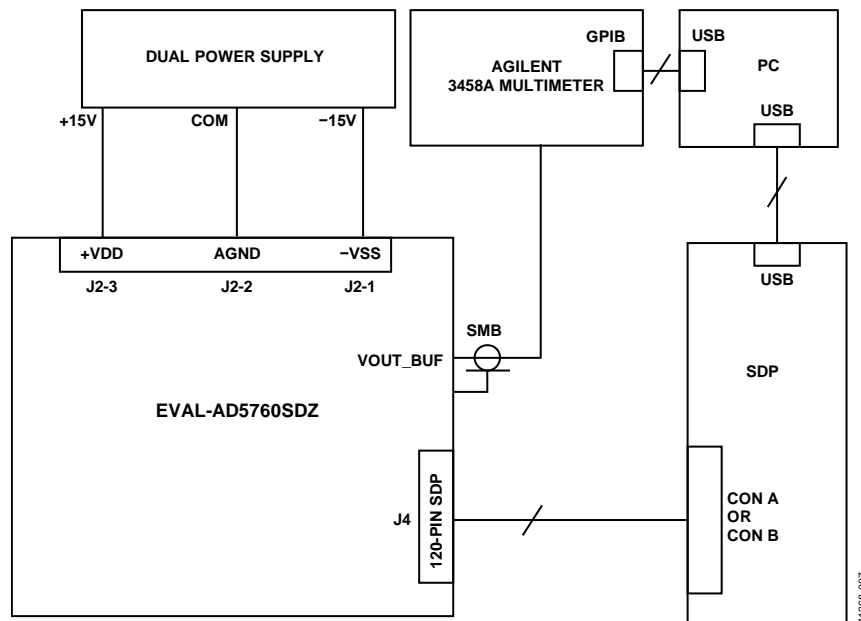


図 7. テスト・セットアップの機能ブロック図

デフォルトのリンク・オプションのセットアップ

デフォルトのリンク・オプションを表 1 に示します。デフォルトでは、ボードは $\pm 10\text{ V}$ の出力範囲の場合 $V_{\text{REFP}} = +10\text{ V}$ および $V_{\text{REFN}} = -10\text{ V}$ に設定されています。

表 1. デフォルト・リンク・オプション

リンク No.	オプション
LK1	A
LK2	B
LK3	A
LK4	Removed
LK5	Removed
LK6	Removed
LK7	Removed
LK8	C
LK9	Inserted
LK11	Inserted

図 1 に示す回路のようにボードを設定するには、表 1 のデフォルトのリンク設定に以下の変更を行う必要があります。

1. LK3 をポジション B に配置します。
2. LK4 を挿入します。
3. LK8 をポジション C に配置します。

これらの変更により、出力バッファ・アンプは利得 1 に設定され、アンプの入力バイアス電流が補償されます。EVAL-AD5760SDZ のテスト・セットアップの詳細は、User Guide UG-436 を参照してください。

テスト

VOUT_BUF SMB コネクタは Agilent 3458A マルチメータに接続されています。AD5760 GUI の Measure DAC Output (DAC 出力の測定) タブを使って直線性を測定します。

ノイズ・ドリフトも VOUT_BUF SMB コネクタを使って測定します。出力電圧は AD5760 GUI の Program Voltage (電圧設定) タブを使って設定します。ピーク to ピーク・ノイズ・ドリフトは 100 秒間測定します。

INL、DNL およびノイズの定義と測定データを使った計算方法の詳細に関しては、AD5760 データシートと [Data Conversion Handbook](#), "Testing Data Converters," Chapter 5, Analog Devices を参照してください。

さらに詳しくは

CN0318 Design Support Package :

www.analog.com/CN0318-DesignSupport

Analog Dialogue 44 : 20 ビット DAC は最も使いやすい 1ppm 高精度電圧源です

Kester, Walt. 2005. [The Data Conversion Handbook](#). Analog Devices. Chapters 3, 5, and 7.

MT-015 Tutorial : [Basic DAC Architectures II: Binary DACs](#)

MT-016 Tutorial : [Basic DAC Architectures III: Segmented DACs](#)

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](#)

MT-101 Tutorial : [Decoupling Techniques Voltage Reference Wizard Design Tool](#).

CN-0177 Circuit Note : [18-Bit, Linear, Low Noise, Precision Bipolar ±10 V DC Voltage Source](#).

CN-0191 Circuit Note : [20-Bit, Linear, Low Noise, Precision, Bipolar ±10V DC Voltage Source](#).

CN-0200 Circuit Note : 18 ビット、リニア、低ノイズ、高精度バイポーラ ±10 V DC 電圧源

CN-0257 Circuit Note : [20-Bit, Linear, Low Noise, Precision Unipolar +10 V DC Voltage Source](#).

User Guide : [UG-436](#), Evaluation Board for a 16-Bit Serial Input, Voltage Output DAC with Integrated Precision Reference Buffer Amplifiers.

データシートと評価ボード

[AD5760 データシート／評価ボード](#)

[AD8675 データシート](#)

[AD8676 データシート](#)

[ADR4550 データシート](#)

改訂履歴

5/13—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。お客様は製品設計で「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、それぞれの所有者の財産です。
CN11368-0-5/13(0)