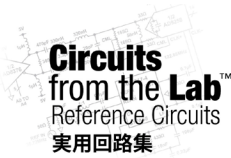




回路ノート CN-0531



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
[https://www.analog.com/jp/
CN0531](https://www.analog.com/jp/CN0531) をご覧ください。

接続または参考にしたデバイス

AD5791	1ppm、20 ビット、 ± 1 LSB INL、電圧出力 D/A コン バータ	LT3471	デュアル 1.3A、1.2MHz、 昇圧／反転コンバータ
AD8675	36V、高精度、 2.8nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、レール to レー ル出力オペアンプ	LT3042	20V、200mA、超低ノイ ズ、超高 PSRR の RF リニ ア電圧レギュレータ
AD8676	超高精度、36V、 2.8nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、レール to レー ル出力デュアル・オペア ンプ	LT3093	-20V、200mA、超低ノイ ズ、超高 PSRR、負電圧の リニア電圧レギュレータ
LTC6655	ノイズが 0.25ppm の低ド リフト高精度リファレン ス		

プログラマブルな、20 ビット、リニア、高精度、バイポーラ ± 5 V DC 電圧源

評価と設計支援

回路評価用ボード

CN-0531 リファレンス設計ボード (EVAL-CN0531-PMDZ)

ADICUP3029 Arduino フォームファクタの

開発プラットフォーム (EVAL-ADICUP3029)

設計および統合ファイル

回路図、PCB レイアウト・データ、部品表

回路の機能とその利点

高精度 DC 電圧は、科学計測器および測定機器、ATE（自動試験装置）、ファクトリ・オートメーションおよびコントロール、化学分析、およびその他多くの高精度アプリケーションにおいて、重要な構成要素です。最も条件の厳しいアプリケーションでは、1 桁の ppm（百万分率）の温度ドリフト性能、ppm 未満の直線性能、および予測可能な低ノイズ性能が必要です。

図 1 に示す回路は、こうした条件の厳しいアプリケーションを可能にする、プログラマブルな 20 ビット電圧源です。 $-5\text{V} \sim +5\text{V}$ の出力範囲、 ± 1 LSB の積分非直線性 (INL)、 ± 1 LSB の微分非直線性 (DNL)、出力範囲全域にわたり極めて低いノイズとドリフト、という特長があります。

オンボードのパワー・コンバータが、開発プラットフォーム・ボードによって供給される単電圧源から必要な電源レールを生成します。低ノイズ、高電源電圧変動除去比 (PSRR) の電圧レギュレータにより、スイッチング・ノイズは確実に抑えられます。高精度で安定性の高いオンボード・ハーメチック・シール電圧リファレンスが、この 20 ビット・システムの高い精度と確度を確保します。

回路の出力はバッファされた電圧で、リモート検出接続のオプションがあります。この接続によって、リード線の抵抗を補償すること、または、必要に応じて外付け電力段を挿入することができ、目的の最終アプリケーションに対する駆動柔軟性が提供されます。

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。

Rev. 0

©2021 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

アナログ・デバイセズ株式会社

本 社／〒105-6891 東京都港区海岸 1-16-1 ニューピア竹芝サウスタワービル 10F
電話 03 (5402) 8200
大 阪営業所／〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36 新大阪トラストタワー 10F
電話 06 (6350) 6868
名古屋営業所／〒451-6038 愛知県名古屋市中区牛島町 6-1 名古屋ルーセントタワー 38F
電話 052 (569) 6300

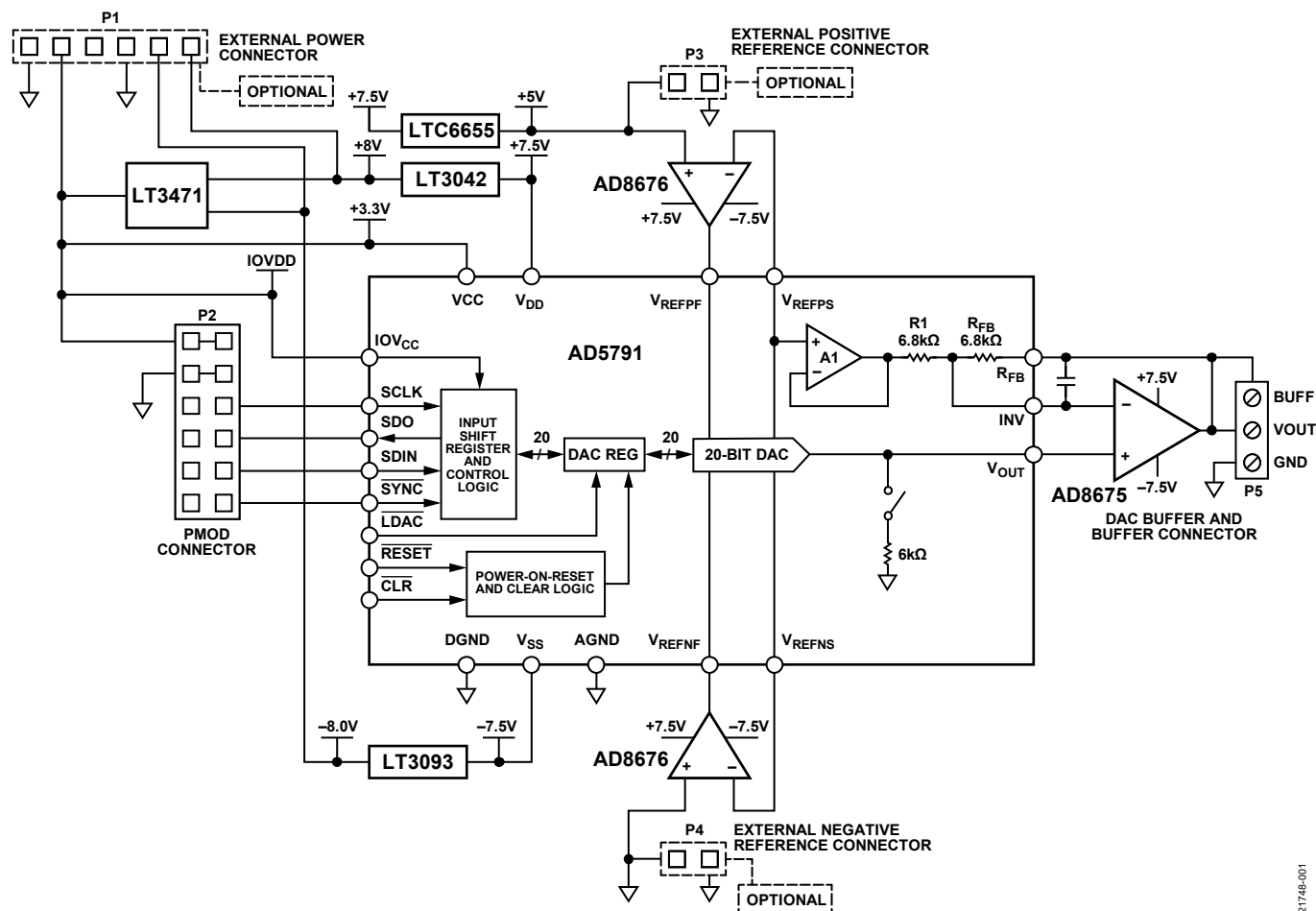


図 1. EVAL-CN0531-PMOZ の簡略化したブロック図

回路の説明

D/A 変換

図 1 に示す回路の中心となるのは、シリアル・ペリフェラル・インターフェース (SPI) を備えた 20 ビット D/A コンバータ (DAC) である、AD5791 です。このデバイスは、 $\pm 1\text{LSB}$ の INL と $\pm 1\text{LSB}$ の DNL、および $7.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ のノイズ・スペクトル密度を示します。また、AD5791 は、 $0.05\text{ppm}/^\circ\text{C}$ という極めて低い温度ドリフトを示します。AD5791 は高精度のアーキテクチャを採用しているので、仕様規定された直線性を確保するために、電圧リファレンス入力フォース・センス・バッファが必要です。

リファレンス入力をバッファするために選択されるアンプは低ノイズ、低温度ドリフト、低入力バイアス電流であることが必要です。この機能に対し推奨されるアンプは、超高精度、 36V 、 $2.8\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ のデュアル・オペアンプである AD8676 で、 $0.6\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ の低オフセット・ドリフトと 2nA の入力バイアス電流を示します。また、AD5791 は、このデュアル・オペアンプを用いてその電圧リファレンス入力をバッファした上で特性評価と工場出荷時のキャリブレーションが行われており、これらのデバイスの組み合わせに対する信頼度が更に強化されています。

回路は、ソフトウェアによってバイポーラとユニポーラの 2 つのモードに構成できます。図 1 はバイポーラ構成を示すもので、AD8676 によってバッファされる単一 5V リファレンスを使用することで、出力電圧は $-5\text{V} \sim +5\text{V}$ の範囲になっています。バイポーラ・モードの出力電圧を決定するには、次式を用います。

$$V_{OUT} = (2 \times V_{REF}) \times \frac{\text{Code}}{2^{20} - 1} - V_{REF} \quad (1)$$

ここで、

V_{OUT} は出力電圧、

V_{REF} はリファレンス電圧 (CN-0531 では 5V)、

Code は DAC にプログラムされた 20 ビット・コードです。

ユニポーラ・モードに構成される場合、 R_1 は R_{FB} と並列に内部接続され、出力範囲は $0\text{V} \sim 5\text{V}$ となります (図 1 を参照)。ユニポーラ・モードの出力電圧を決定するには、次式を用います。

$$V_{OUT} = V_{REF} \times \frac{\text{Code}}{2^{20} - 1} \quad (2)$$

電圧リファレンス

プログラマブル電圧源の性能は、その電圧リファレンスによって決まり、それによって電圧源の出力範囲が決まります。AD5791 のゲイン・ドリフトは $0.05\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ と極めて小さいため、ほとんどのアプリケーションにおいて電圧リファレンスがゲインの精度およびドリフトの制限要因となります。

CN0531 では、LTC6655BHLS8-5 が高い安定性と精度を持つ 5.0V リファレンスとして用いられています。このリファレンスは、初期精度が 0.025% 、最大温度ドリフトが $2\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ 、ノイズが 0.25ppm ($0.1\text{Hz}\sim 10\text{Hz}$) という性能を備えています。ハーメチック・パッケージにより湿度の影響を受けることがなく、 30ppm という優れた熱ヒステリシスを示します。

長期ドリフトは極めて小さく、 $20\text{ppm}/\sqrt{\text{kHr}}$ (代表値) です。長期ドリフトは、加速高温試験から外挿することはできません。これは、大幅に楽観的なドリフト数値を引き出す不適切な手法です。長期ドリフトを判定する唯一の方法は、目的の時間間隔でドリフトを測定することです。LTC6655 は、動作が数千時間にわたる長時間の特性評価を行っています。これらの方法の詳細については、LTC6655 のデータシートおよびデザイン・ノート 229 を参照してください。

LTC6655 の性能レベルに匹敵するのは、ヒータ、クローズドループ温度制御、絶縁パッケージを備えた特殊で高価な電圧リファレンスのみです。そのため、このデバイスは、CN-0531 にとって、性能、消費電力、コストが最適に組み合わせられたものとなっています。

出力バッファ段

AD5791 は、電圧出力のセグメント化 R-2R DAC アーキテクチャを採用しており、それによって優れたフルスケールおよびゼロスケール誤差と、最大 1LSB の INL および DNL を本質的に備えています。出力は、 $3.4\text{k}\Omega$ という一定の抵抗値を持つ非バッファで、ほとんどのアプリケーションで追加のシグナル・コンディショニングを必要としますが、AD5791 の DC 精度とノイズ仕様を完全に保持します。

AD8675 は、オフセット $10\mu\text{V}$ (代表値)、最大ドリフト $0.6\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 、最大バイアス電流 2nA の最適なアンプです。

デフォルトでは、AD5791 の R_{FB} の経路はバッファの出力に接続されています。より高い駆動能力やリモート検出が必要なアプリケーションでは、このオンボード接続をオープンにし、例えば電力バッファ段の出力にリモートでフィードバック接続することも可能です。

パワー・ツリー

図 2 に示す CN-0531 のパワー・ツリーは、LT3471 昇圧／反転コンバータと、その後段の LT3042 (正側) および LT3093 (負側) 超低ノイズ超高 PSRR リニア電圧レギュレータで構成されています。

LT3471 により、回路は開発プラットフォーム・ボードが提供する 3.3V または 5V 単電源で動作できます。出力電圧は $\pm 8\text{V}$ に設定され、これはその後 LT3042 および LT3093 によって $\pm 7.5\text{V}$ に調整されます。LT3471 の 1.2MHz のスイッチング周波数に対し、LT3042 は 80dB 、LT3093 は 75dB の優れた PSRR を示します。それにより、DAC 出力でのスイッチング・フィードスルーは最小限に抑えられます。

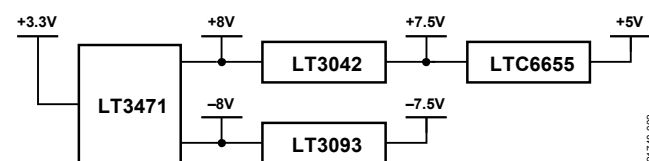


図 2. 簡略化したパワー・ブロック図

CN-0531 の直線性測定

図 3 に示す次のデータは、バイポーラ・モードに構成された図 1 の回路の精度性能を、 $6\frac{1}{2}$ 桁の Truevolt デジタル・マルチメータ (DMM) を使用して示したものです。図 3 では、CN-0531 の INL が DAC コードの関数として示されています。結果は、AD5791 のデータシート仕様値である $\pm 1\text{LSB}$ の範囲内になっています。

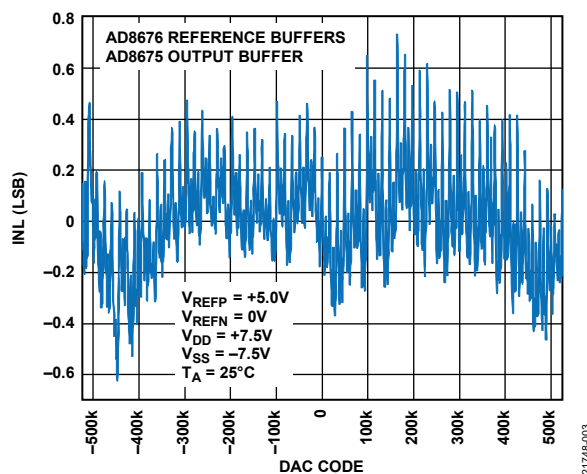


図 3. INL と DAC コードの関係、 $\pm 5\text{V}$ スパン

ノイズの計算と測定

AD5791 の $7.5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ という出力ノイズ・スペクトル密度は、完全に $3.4\text{k}\Omega$ のソース・インピーダンスによるものです。AD8676 の出力バッファの電圧ノイズ密度は $2.8\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 、電流ノイズ密度は $0.3\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ で、AD5791 の出力抵抗を考慮すれば無視できる $1\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ を生成します。したがって、DAC と出力アンプの合計ノイズは、

$$\sqrt{7.5^2 + 2.8^2 + 1^2} = 8.0\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

この値は、出力が 0V に設定されている場合に予想されるノイズです。DAC 出力が増加すると、ノイズは LTC6655BHLS8-5 リファレンスによって支配されます。図 4 は、出力電圧が 5.0V の場合の出力電力スペクトル密度を示したものです。

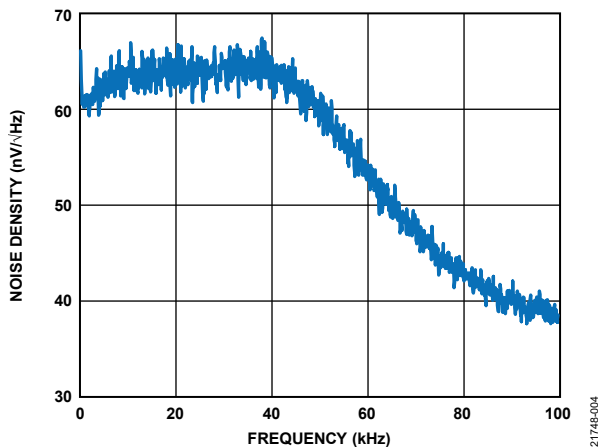


図 4. ノイズ電力スペクトル密度、 $V_{\text{OUT}} = 5.0\text{V}$

バリエーション回路

AD5791 は、 $0\text{V} \sim \pm 10\text{V}$ の幅広い出力範囲に対応できます。図 1 の構成を使用すると、対称または非対称な範囲を必要に応じて生成できます。ユニティ・ゲインの動作モードでは、AD5791 の内部コントロール・レジスタの RBUF ビットをロジック 1 に設定します。

AD5791 ではゲインが 2 の動作モードも可能で、これを使用すると、AD5791 のデータシートに記載されているように、単一の正電圧リファレンスから対称なバイポーラ出力範囲を発生でき、負電圧リファレンスを生成する必要がなくなります。ただし、このモードでは、フルスケール誤差とゼロスケール誤差は大きくなります。このモードを選択するには、AD5791 の内部コントロール・レジスタの RBUF ビットをロジック 0 に設定します。

回路の評価とテスト

開始にあたって

CN-0531 リファレンス設計をテストするために必要な基本的な手順と装置は、以下のとおりです。このセットアップ手順の詳細については、CN0531 ユーザ・ガイドを参照してください。

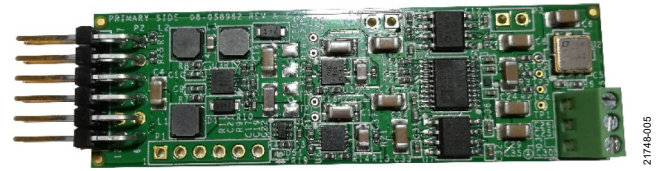


図 5. EVAL-CN0531-PMDZ リファレンス設計ボードの写真

必要な装置

以下の装置類が必要になります。

- USB ポートを備えた PC
- シリアル端末プログラム (Tera Term、PuTTY、など)
- EVAL-CN0531-PMDZ リファレンス設計ボード
- EVAL-ADICUP3029 開発プラットフォーム・ボード
- ADuCM3029_demo_cn0531.hex ファイル
- microUSB - USB Type A ケーブル
- 6桁以上の Truevolt DMM

機能ブロック図

CN-0531 のテスト・セットアップの機能ブロック図を図 6 に示します。

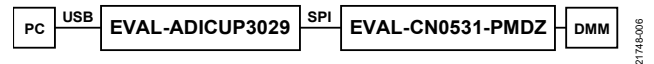


図 6. テスト・セットアップの機能ブロック図

テスト

この回路をテストするには以下の手順に従います。

1. P8 コネクタを使って、EVAL-CN0531-PMDZ を EVAL-ADICUP3029 に接続します (図 7 を参照)。



図 7. EVAL-ADICUP3029 に接続した EVAL-CN0531-PMDZ

2. DMM を EVAL-CN0531-PMDZ に接続します。
3. USB Type A コネクタを PC に差し込み、microUSB コネクタを EVAL-ADICUP3029 に差し込みます。
4. aducm3029_cn0531_demo.hex ファームウェアを EVAL-ADICUP3029 のフラッシュ・メモリに書き込みます。
5. EVAL-ADICUP3029 の 3029_Reset ボタンを押します。
6. EVAL-ADICUP3029 を PC に接続するシリアル端末プログラムを開き、ヘルプ・コマンドを入力します。

- シリアル端末プログラムを使用して CN-0531 をユニポーラに構成し、出力電圧を 2.5V に設定します。シリアル端末プログラムの表示は図 8 のようになるはずです。
- シリアル端末プログラムに設定された出力電圧が、図 9 に示すように、DMM に表示される電圧と一致することを確認します。

```

COM12 - Tera Term VT
File Edit Setup Control Window Help
Example: h
drp <addr> - Read a DAC register.
             <addr> = address of the register to be read in hexadecimal.
             Example: dac_reg_read 1
drw <addr> <val> - Write a DAC register.
                 <addr> = address of the register to be written in hexadecimal.
                 <val> = value to be written to the register in hexadecimal.
                 Example: dac_reg_write 1 18c
do <volt> - Update the DAC output voltage.
           <volt> = new voltage value expressed in volts.
           Example: do -2.3

>drw 2 0
>drp 2
Register 0x2 = 0x0
>do 2.5000
  
```

図 8. コンソール・セッション

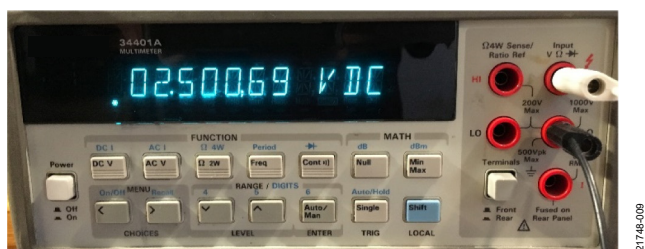


図 9. DMM の表示

更に詳しい資料

CN-0531 設計サポート・パッケージ

Maurice Egan, 「20 ビット DAC は最も使いやすい 1PPM 高精度電圧源です」 *Analog Dialogue*, Vol. 44, 2010 年 4 月。

MT-015 チュートリアル、*Basic DAC Architectures II: Binary DACs*、アナログ・デバイセズ。

MT-016 チュートリアル、*Basic DAC Architectures III: Segmented DACs*、アナログ・デバイセズ。

MT-031 チュートリアル、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、アナログ・デバイセズ。

MT-035 チュートリアル、*Op Amp Inputs, Outputs, Single-Supply, and Rail-to-Rail Issues*、アナログ・デバイセズ。

MT-101 チュートリアル、*Decoupling Techniques*、アナログ・デバイセズ。

DN-229 「電圧リファレンスの長期ドリフトとヒステリシスに注意」、アナログ・デバイセズ。

データシートと評価用ボード

CN-0531 リファレンス設計ボード (EVAL-CN0531-PMDZ)

ADuCM3029 開発プラットフォーム (EVAL-ADICUP3029)

AD5791 データシート

AD5791 評価用ボード

AD8676 データシート

AD8675 データシート

LTC6655 データシート

LTC6655 評価用ボード

LT3471 データシート

LT3471 評価用ボード

LT3042 データシート

LT3042 評価用ボード

LT3093 データシート

LT3093 評価用ボード

改訂履歴

2/2021—Revision 0: Initial Version

「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセズ社製品専用に作られており、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もとの暗示的許可、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。

©2021 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。