



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/CN0191> をご覧ください。

使用したリファレンス・デバイス

AD5791	D/A コンバータ、20 ビット、1ppm、±1LSB INL、電圧出力
AD8675	オペアンプ、レール to レール出力、36V、2.8nV/√Hz、高精度
AD8676	オペアンプ、デュアル、36V、2.8nV/√Hz、超高精度、レール to レール出力

20 ビット、リニア、低ノイズ、高精度バイポーラ±10V DC 電圧源

回路の機能とその利点

図 1 に示す回路は、±1 LSB の積分非直線性、±1 LSB の微分非直線性、低ノイズを実現しながら、-10V~+10V の範囲でプログラム可能な 20 ビット分解能の出力電圧を提供します。

この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。高精度アプリケーションに対応するため、この回路は高精度と低ノイズの両方を実現します。これは、AD5791、AD8675、AD8676 の高精度デバイスの組み合わせによって可能になります。

DAC のリファレンス入力の入力インピーダンスは、DAC のコードに大きく依存し、DAC のリファレンス信号が適切にバッファされないと直線性誤差を生じるため、リファレンス・バッファはこの設計において非常に重要です。120dB の高いオープンループ・ゲインを持つ AD8676 は、この回路のアプリケーションに必要なセトリング・タイム、低オフセット電圧、低インピーダンス駆動能力を実現することが実証テストされています。AD5791 は、デュアル・オペアンプ AD8676 を使ってその電圧リファレンス入力をバッファした状態で特性が評価され、出荷前のキャリブレーションが行われているので、これらのデバイスの組み合わせに対する信頼性（性能の再現性）がさらに向上します。

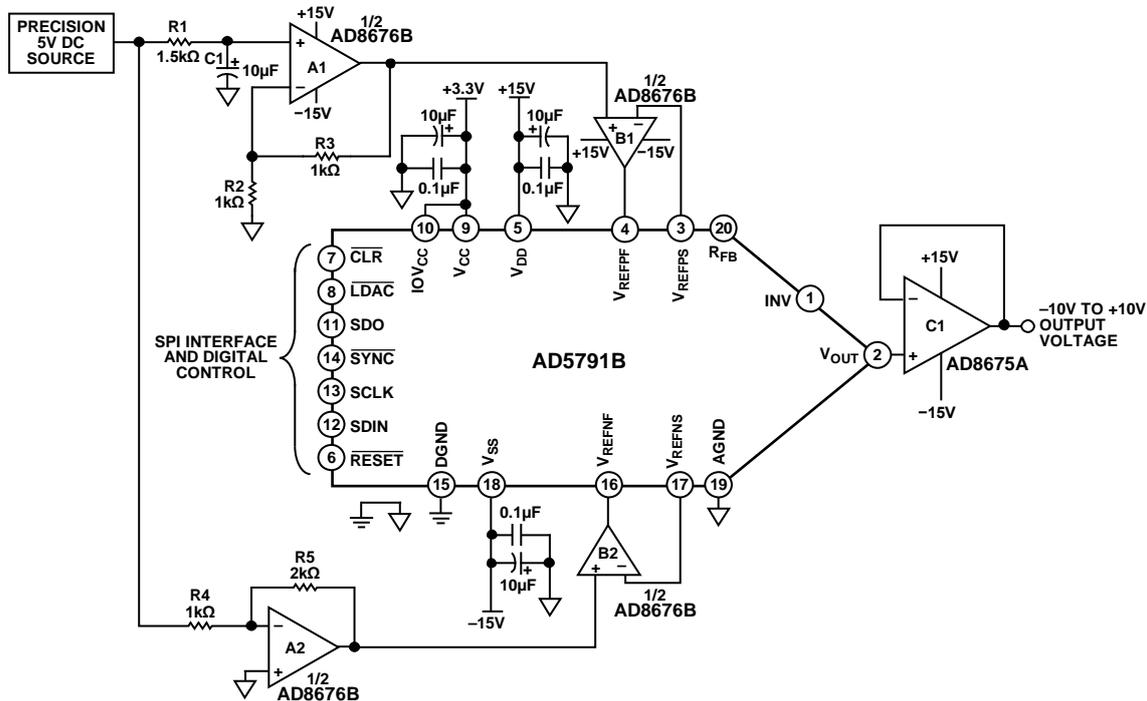


図 1. 20 ビット精度、±10V 電圧源（簡略化した回路図：接続の一部およびデカップリングは省略されています。）

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、英語版をご確認ください。

これらのデバイスを組み合わせることにより、業界最先端の 20 ビット分解能、 ± 1 LSB の積分非直線性(INL)、 ± 1 LSB の微分非直線性 (DNL) で単調増加性を保証するとともに、低消費電力、小さい PCB 面積、優れたコスト・パフォーマンスを実現します。

回路説明

図 1 に示す D/A コンバータ (DAC) は SPI インターフェースを備えた高電圧 20 ビット・コンバータ AD5791 で、 ± 1 LSB の INL、 ± 1 LSB の DNL、 $7.5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ のノイズ・スペクトル密度を実現します。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実現します。AD5791 は高精度のアーキテクチャを採用しているため、規定された直線性を確保するため、電圧リファレンス入力にフォース/センス・バッファを使う必要があります。リファレンス入力をバッファするためのアンプ (B1 および B2) は、低ノイズ、低温度ドリフト、低入力バイアス電流のものを選択する必要があります。この機能のために推奨するアンプは、 $0.6 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ の低オフセット・ドリフトと 2 nA の低入力バイアス電流を特長とする 36 V 、 $2.8 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ の超高精度デュアル・オペアンプ AD8676 です。また、AD5791 はこのデュアル・オペアンプを使ってその電圧リファレンス入力をバッファした状態で特性が評価され、出荷時のキャリブレーションが行われているので、これらのデバイスの組み合わせに対する信頼性 (性能の再現性) がさらに向上します。

AD5791 を独立した正リファレンス電圧と負リファレンス電圧を使って駆動し、出力電圧範囲が負リファレンス電圧から正リファレンス電圧まで (この場合 $-10 \text{ V} \sim +10 \text{ V}$) になるようにした回路を図 1 に示します。出力バッファには、低ノイズで低ドリフトの AD8675 (AD8676 のシングル・オペアンプ・バージョン) を使用しています。AD8676 アンプ (A1 および A2) は、 $+5 \text{ V}$ のリファレンス電圧を $+10 \text{ V}$ と -10 V にスケールアップするのにも使用されています。これらのスケールアップ回路の R2、R3、R4、R5 は、許容誤差 0.01% 、温度係数 $0.6 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の高精度な金属箔抵抗です。全温度範囲で最高の性能を得るためには、Vishay 300144 シリーズや VSR144 シリーズなどの抵抗ネットワークが使用できます。抵抗性熱ノイズによるシステムのノイズを低く抑えるために、小さい抵抗値 ($1 \text{ k}\Omega$ および $2 \text{ k}\Omega$) を選択しています。R1 と C1 はカットオフ周波数が約 10 Hz のローパス・フィルタを形成します。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。

直線性の測定

図 1 に示す回路の精度に関する性能は、DAC コードの関数としての積分非直線性と微分非直線性を示す図 2 と図 3 のデータで実証されています。図からわかるように、積分非直線性と微分非直線性はどちらも ± 1 LSB の仕様内に十分収まっています。

この回路の未調整での全誤差は、DC 誤差の組合せ (つまり、INL 誤差、ゼロスケール誤差、フルスケール誤差) からなります。図 4 に、DAC コードの関数としての未調整の全誤差のグラフを示します。DAC コードがゼロ (ゼロスケール誤差) のときと DAC コードが $1,048,575$ (フルスケール誤差) のときに誤差が最大になります。これは予測値で、抵抗ペア R2 および R3、抵抗ペア R4 および R5 の不整合、アンプ A1、A2、B1、B2 のオフセット誤差に起因します (図 1 参照)。

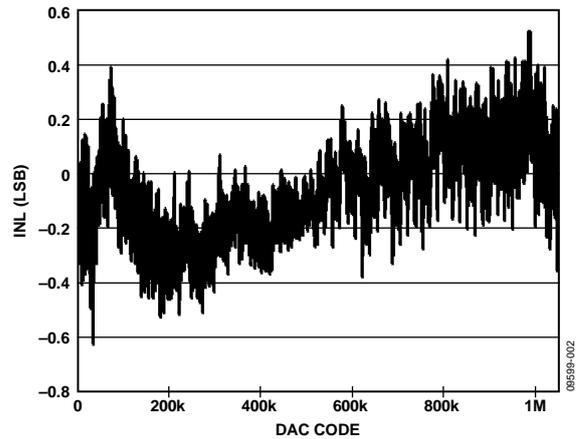


図 2. DAC コード 対 積分非直線性

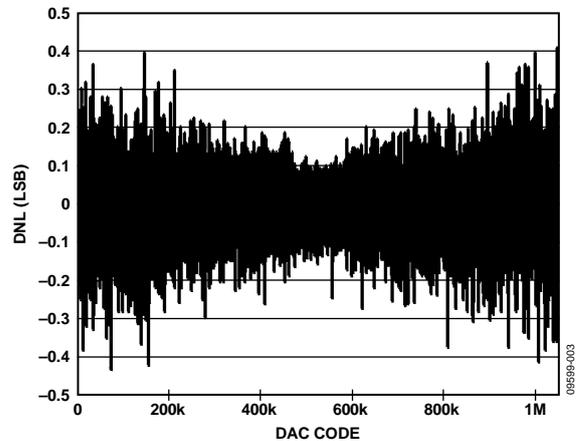


図 3. DAC コード 対 微分非直線性

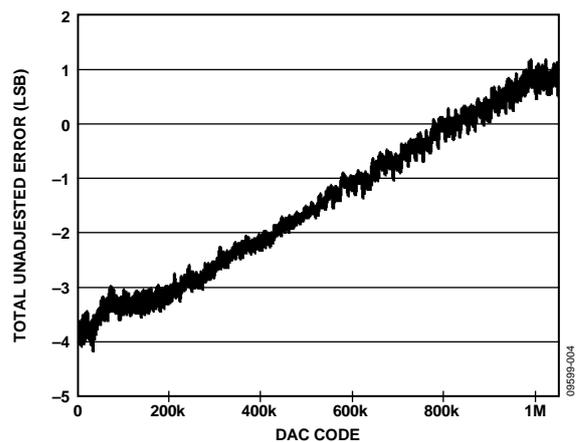


図 4. DAC コード 対 全未調整誤差

この場合の抵抗ペアの不整合の規定値は最大 0.02%（不整合の代表値はこれよりもはるかに小さい）です。アンプのオフセット誤差は最大 $75\mu\text{V}$ 、つまり、フルスケール範囲の 0.000375% で、抵抗の不整合による誤差に比べると無視できるくらい大きさです。したがって、フルスケール誤差とゼロスケール誤差の予測値はそれぞれ最大で約 0.02%、つまり約 210 LSB になります。図 4 の測定値は、フルスケール誤差の測定値が 1 LSB、ゼロスケール誤差の測定値が 4 LSB、つまり、フルスケール範囲の 0.0003% であることを示しているため、すべての部品の許容誤差がその規定の最大値より大幅に優れていることが分かります。

ノイズの測定

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 未満に抑える必要があります。1 LSB は 20 ビットの分解能で 20V のピーク to ピーク電圧範囲の場合、 $19.07\mu\text{V}$ に相当します。10 秒間にわたり 0.1Hz~10Hz の帯域幅で測定したピーク to ピーク・ノイズを図 5 に示します。3 種の条件でのピーク to ピーク値は、ミッドスケール出力で $1.48\mu\text{V}$ 、フルスケール出力で $4.66\mu\text{V}$ 、ゼロスケール出力で $5.45\mu\text{V}$ です。ノイズはミッドスケール出力で最小となっています。これは DAC コアからのノイズのみを表しているからです。ミッドスケールのコードを選択したときは、各電圧リファレンス経路からのノイズの影響は DAC によって低減されます。

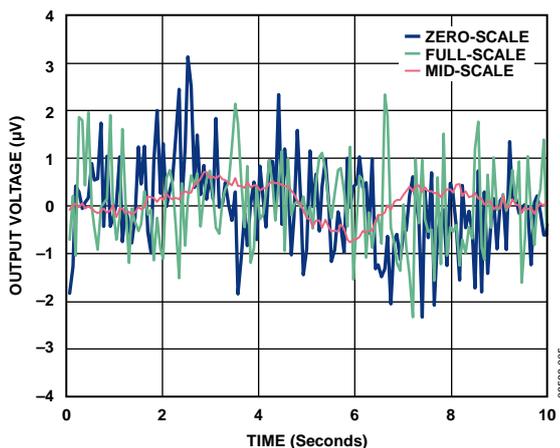


図 5. 0.1Hz~10Hz の帯域幅での電圧ノイズ

しかしながら、実際のアプリケーションでは、0.1Hz で $1/f$ ノイズを減衰させるハイパス・カットオフ・フィルタ特性ではなく、通過帯域に DC までの周波数が含まれます。したがって、図 6 のほうが、より現実的に実測ピーク to ピーク・ノイズを示しています。この場合、回路の出力でノイズを 100 秒間測定しているので、実効的に 0.01Hz までの低い周波数が測定に含まれています。上側のカットオフ周波数は約 14Hz で、測定セットアップによって制限されます。図 6 に示す 3 つの条件でのピーク to ピーク値は、ミッドスケール出力で $4.07\mu\text{V}$ 、フルスケール出力で $11.85\mu\text{V}$ 、ゼロスケール出力で $15.37\mu\text{V}$ です。ワーストケースのピーク to ピーク値である $15.37\mu\text{V}$ は約 0.8 LSB に相当します。

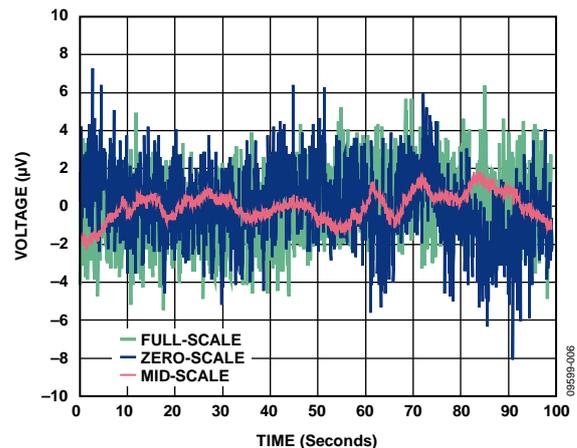


図 6. 100 秒間測定した電圧ノイズ

測定時間を長くすると低い周波数が含まれ、ピーク to ピーク値が大きくなります。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、AD5791、AD8675、AD8676 のような温度係数の低い部品を選択し、回路の構築について慎重に検討することによって最小限に抑えることができます。「さらに詳しい資料」セクションのリンクされたドキュメントを参照してください。

バリエーション回路

AD5791 は 0V~+5V から $\pm 10\text{V}$ までの広い出力範囲をサポートします。図 1 に示す構成を使用し、必要に応じて対称または非対称の出力範囲を生成することもできます。個別のリファレンスを V_{REFP} と V_{REFN} に供給し、AD5791 のデータシートに述べられているように、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」に設定することにより、出力バッファをユニティ・ゲインに設定する必要があります。

また、AD5791 はデータシートに述べられているように、単一の正電圧リファレンスから対称のバイポーラ出力電圧範囲を生成するゲイン 2 のモードも備えています。このモードでは負電圧リファレンスを生成する必要がありませんが、フルスケール誤差とゼロスケール誤差が大きくなります。このモードは 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」に設定することにより選択されます。

回路の評価とテスト

図 1 に示す回路は、修正済みの AD5791 評価ボード上に構築したものです。AD5791 評価ボードとテスト方法の詳細については、評価ボードのユーザーガイド [UG-185](#) を参照してください。

さらに詳しい資料

Egan, Maurice. "The 20-Bit DAC Is the Easiest Part of a 1-ppm-Accurate Precision Voltage Source," Analog Dialogue, Vol. 44, April 2010.

Kester, Walt. 2005. The Data Conversion Handbook. Analog Devices. Chapters 3 and 7.

MT-015 Tutorial : Basic DAC Architectures II: Binary DACs. Analog Devices.

MT-016 Tutorial : Basic DAC Architectures III: Segmented DACs, Analog Devices.

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

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

MT-101 Tutorial : Decoupling Techniques. Analog Devices.

データシートと評価ボード

AD5791 データシート

AD5791 評価ボード

AD8676 データシート

AD8675 データシート

改訂履歴

3/11—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。

©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。