



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。詳しい情報と支援は www.analog.com/jp/CN0348 をご覧ください。

接続/参考にしたデバイス

AD5541A	シリアル入力、電圧出力、バッファなし 16ビット DAC
ADA4500-2	レール to レール I/O ゼロ入力クロスオーバー歪みアンプ
ADR4550	超低ノイズ、高精度、5V 電圧リファレンス

積分非直線性と微分非直線性が±1LSB 未満の 16ビット、単電源、バッファ付き電圧出力 D/A 変換回路

評価および設計サポート

回路評価ボード

[CN-0348 回路評価ボード \(EVAL-CN0348-SDPZ\)](#)
[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 の回路はフル機能の単電源、16ビット、バッファ付き電圧出力 DAC で、その後段にクロスオーバー歪みのないアンプを採用することにより、±1LSB の積分非直線性と微分非直線性を維持します。

この回路は、ほとんどのレール to レールのオペアンプに関連するクロスオーバー非直線性を除去します。16ビット・システムの場合、この値は最大 4LSB~5LSB になることがあります。

この業界最先端のソリューションは小型、単電源、低価格および高直線性の 16ビット、バッファ付き電圧源を必要とする工業用プロセス制御や計装アプリケーションに最適です。

使用している 3つのアクティブ・デバイスの 6V 単電源動作時の総消費電力は、標準で 25mW 未満です。

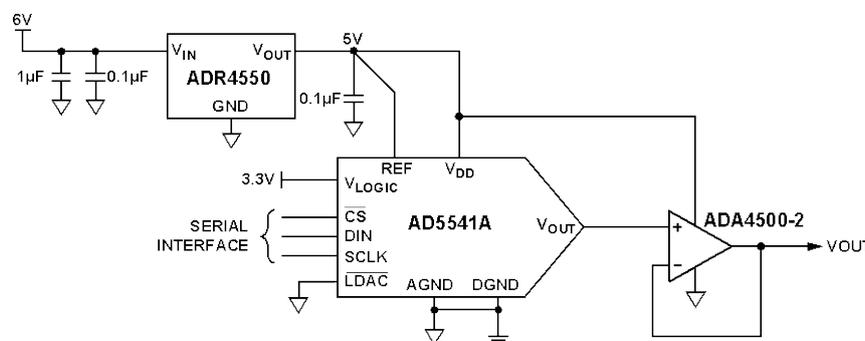


図 1. 直線性が±1LSB の 16ビット、バッファ付き電圧出力 DAC (簡略回路図)

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。

©2015 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

Rev. 0

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
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
電話 06 (6350) 6868

回路の説明

電圧リファレンス、D/A コンバータ (DAC) および DAC バッファで構成される単電源のシグナル・チェーンを図 1 に示します。出力のダイナミック・レンジと SN 比を最大にするため、DAC のリファレンス電圧は電源電圧 V_{DD} と等しい値にしてあります。この構成では、入力と出力がレール to レールのバッファ・アンプを必要とします。

DAC は 16 ビット、シリアル入力、電圧出力セグメント化 R/2R CMOS DAC の AD5541A です。DAC の出力電圧は、次式で表されるようにリファレンス電圧に依存します。

$$V_{OUT} = \frac{V_{REF} \times D}{2^N}$$

ここで、
D は DAC レジスタにロードされる 10 進データ・ワード、
N はビット数です。

リファレンスが 5V で N = 16 の場合、上の式は次のように簡素化されます。

$$V_{OUT} = \frac{5 \times D}{2^{16}} = \frac{5 \times D}{65,536}$$

この式から、ミッドスケールで 2.5V、フルスケールで 5V の V_{OUT} が得られます。

LSB サイズは $5V/65,536 = 76.3\mu V$ です。

16 ビットでの 1LSB はフルスケールの 0.0015%、つまり 15ppm FS でもあります。

ADR4550 電圧リファレンスは、高精度、低ノイズ (2.8 μV p-p、0.1Hz~10Hz) で安定したリファレンスを DAC に供給します。ADR4550 は先進のコア・トポロジーを採用して高精度を実現し、業界最先端の温度安定性とノイズ性能を提供します。また、出力電圧温度係数が低く (最大 2ppm/°C)、長期出力電圧ドリフトも小さいため、経時変化や温度変動に対してより高いシステム精度を維持します。

ADR4550B の初期室温精度は最大 $\pm 0.02\%$ で、16 ビットでは約 14LSB です。この初期誤差は、システム・キャリブレーションによって除去することが可能です。この電圧リファレンスは、DAC の REF ピンを駆動するとともに、DAC と出力バッファに電力を供給します。このため、最大 3.9mA の負荷電流を供給する必要があります。ADR4550 は、25ppm/mA の負荷電流レギュレーション状態で最大 10mA を駆動することができます。

ADR4550 リファレンスは、できるだけ DAC の REF ピンの近くに配置して出力パターン長を最小化することにより、電圧降下によって生じる誤差を最小限に抑える必要があります。PCB パターンを流れる電流によって IR 電圧降下が生じるので、パターンを長くするとこの電圧降下が数ミリボルト以上になって大きな誤差が生じる可能性があります。長さ 1 インチ、幅 0.005 インチの 1 オンスの銅箔パターンには、室温で約 100m Ω の

抵抗があります。負荷電流が 10mA の場合、これによって 1mV の誤差が生じる可能性があります。

ADA4500-2 は出力バッファとして選択されています。このデバイスは、最大オフセット電圧が 120 μV 、オフセット・ドリフトが 5.5 $\mu V/^\circ C$ 未満、0.1Hz~10Hz のノイズが 2 μV p-p、最大入力バイアス電流が 2pA の高精度アンプです。このデバイスにはクロスオーバー歪みがなく、入力と出力の振幅がレール to レールという特長があるため、DAC バッファに適しています。

標準的なレール to レール入力のアンプでは、2つの差動ペアを使ってレール to レールの入力振幅を実現しています (チュートリアル MT-035 参照)。一方の差動ペアは入力同相電圧の上側の範囲でアクティブになり、他方のペアは下側の範囲でアクティブになります。このような従来のデュアル差動ペア・トポロジーでは、一方の差動ペアから他方のペアに切り替える際にクロスオーバー歪みを生じます。アンプを DAC バッファとして使用する場合、オフセット電圧が変化すると非直線性を生じます。ADA4500-2 は、入力構造内にチャージ・ポンプを内蔵することにより、2 番目の差動ペアを必要とせず、レール to レールの入力振幅を実現しています。したがって、このデバイスはクロスオーバー歪みを生じません。この単電源システムにクロスオーバー歪みのないアンプを使用することにより、広いダイナミック出力範囲を実現するとともに、入力同相/入力デジタル・コード範囲において直線性を維持します。ADA4500-2 の動作の詳細については、ADA4500-2 のデータシートを参照してください。

DAC の出力インピーダンスは一定 (標準 6.25k Ω) で、コードの影響を受けません。ただし、誤差を最小限に抑えるため、出力バッファは高入力インピーダンス (低入力バイアス電流) でなければなりません。入力インピーダンスが高く、室温での入力バイアス電流が最大 2pA、全温度範囲での入力バイアス電流が最大 190pA の ADA4500-2 は、出力バッファに適したデバイスです。この結果、入力バイアス電流によるワーストケースの誤差は 1.2 μV で、1LSB よりはるかに小さな値です。

AD5541A は 10 ピン MSOP または 10 ピン LFCSP パッケージを採用しています。ADR4550 は 8 ピン SOIC パッケージを採用し、ADA4500-2 は 8 ピン SOIC パッケージまたは 8 ピン LFCSP パッケージを採用しています。

測定結果は、AD5541A、ADR4550、ADA4500-2 の組み合わせが、高精度で低ノイズ性能のアプリケーションに対して優れたソリューションであることを示しています。ADA4500-2 は、クロスオーバー歪みなしで DAC の直線性を維持します。

積分非直線性 (INL) と微分非直線性 (DNL) の測定

INL 誤差は、DAC の理想的な伝達関数からの実際の伝達関数の LSB 単位の偏差を示します。DNL 誤差は、実際のステップ・サイズと 1LSB の理想値との差を示します。このシステム・ソリューションは、DNL と INL が $\pm 1LSB$ の 16 ビット分解能を実現します。この回路の DNL 性能を図 2 に、INL 性能を図 3 に示します。

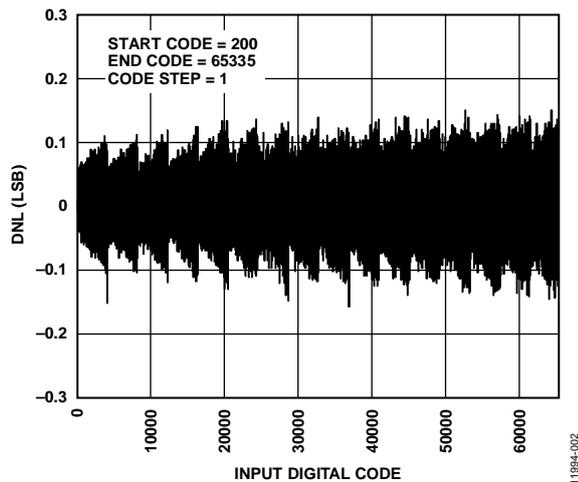


図 2. 微分非直線性 (DNL)

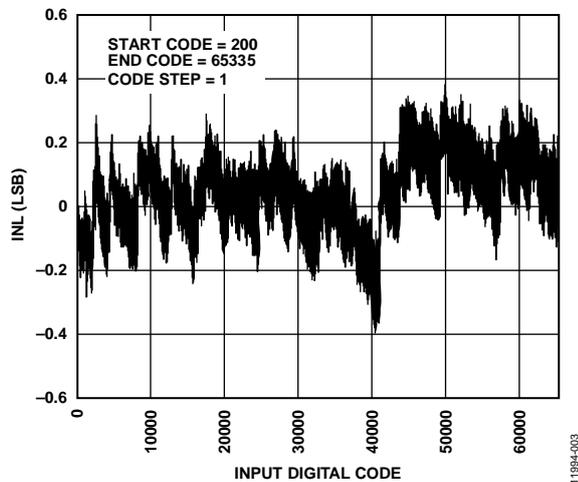


図 3. 積分非直線性 (INL)

DNL と INL の測定では測定範囲の両端から 200 コード (約 15mV) 分を除いていることに注意してください。これは、チュートリアル MT-035 に記載されているように、これらの領域ではレール to レール出力段が非線形になるからです。

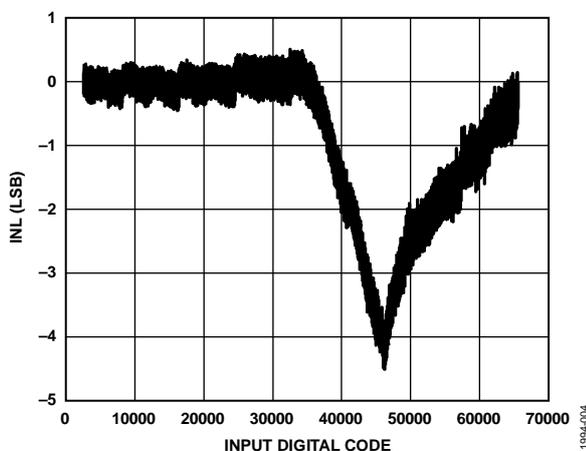


図 4. 従来のレール to レール入力段を備えたオペアンプ・バッファ使用時の DAC の非直線性

従来のレール to レール入力段を備えたオペアンプを使用することによって生じる非直線性を図 4 に示します。

同相電圧が+5V 電源レールから約 1.7V 離れると、約 4LSB のピーク誤差が生じることに注意してください。

ボード・レイアウトに関する検討事項

ボード上の電源とグラウンド・リターンのレイアウトを慎重に検討することが重要です。プリント回路ボードでは、アナログ部とデジタル部を分離する必要があります。複数のデバイスでアナログ・グラウンドをデジタル・グラウンドに接続する必要があるシステムでこの回路を使用する場合、1点でのみ接続します。全ての部品への電源は、0.1 μ F以上のコンデンサでバイパスする必要があります。これらのバイパス・コンデンサは、物理的にデバイスのできるだけ近くに配置する必要があります。コンデンサは理想的にはデバイス真上に配置します。0.1 μ Fのコンデンサは、セラミック・コンデンサなどの等価直列抵抗 (ESR) と等価直列インダクタンス (ESL) が低いものを選択する必要があります。この0.1 μ Fのコンデンサは、過渡電流のグラウンドへの低インピーダンス経路を提供します。また、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の電源経路を実現します。最適な性能を得るには適切なレイアウト、グランディング、デカップリング技術が必要です (チュートリアル MT-031 : [データ・コンバータのグランディング](#)と、[「AGND」および「DGND」に関する疑問の解消](#)、チュートリアル MT-101 : [Decoupling Techniques](#)を参照)。

バリエーション回路

低消費電力ソリューション (低速時) には、[ADA4505-1/ADA4505-2/ADA4505-4](#) を出力バッファとして使用します。[ADA4505](#) ファミリーは、低入力バイアス電流のマイクロパワー、ゼロクロスオーバー歪みアンプです。

[ADR425](#)、[ADR435](#)、[ADR445](#) は、5V リファレンスを供給するデバイスとして最適です。これらのデバイスは高精度、低ノイズで、最大 18V の入力電圧が可能です。

バイポーラ出力振幅にするには [AD5512A/AD5542A](#) を使用します。これらはシングル 12/16 ビット、非バッファ電圧出力 DA コンバータ (DAC) で、バイポーラ・モード動作が可能です。

出力電圧範囲が狭くなりますが、クロスオーバー歪みが生じないようにするもう 1つの方法は、同じ電源電圧 (5V) でリファレンス電圧がより低い、たとえば 2.5V の [ADR4525](#) を使用することです。これにより、標準のレール to レール入力アンプ (デュアル差動ペア・トポロジー採用) のクロスオーバー・ポイントは入力デジタル・コードの範囲外になります。

回路ノート [CN-0181](#) および [CN-0169](#) では、[AD5541A](#) を使用した DA 変換について紹介しています。

回路の評価とテスト

この回路では、EVAL-CN0348-SDPZ 回路ボードと EVAL-SDP-CB1Z システム・デモ用プラットフォーム (SDP) 評価ボードを使用します。この2つの基板は120ピンのコネクタを備えており、セットアップと回路の性能評価を簡単に行うことができます。EVAL-CN0348-SDPZ ボードは、このノートで説明したような評価ができる回路を備えています。SDP 評価ボードは CN-0348 評価用ソフトウェアと共に使用し、EVAL-CN0348-SDPZ 回路ボードからデータを取り込みます。

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) を搭載した PC
- EVAL-CN0348-SDPZ 回路評価ボード
- EVAL-SDP-CB1Z SDP 評価ボード
- CN-0348 評価用ソフトウェア
- 電源：6V～18V、または 6V AC アダプタ
- Agilent 3458A マルチメータまたは相当品
- GPIB-USB ケーブル (アナログ・データを DAC から取り込み PC に転送する目的のみに必要)

評価開始にあたって

CN0348 評価用ソフトウェア・ディスクを PC の CD ドライブに挿入し、評価用ソフトウェアをインストールします。マイコンピュータを使用して、評価用ソフトウェア・ディスクが入っているドライブを見つけます。

機能ブロック図

図 5 に、テスト・セットアップの機能ブロック図を示します。

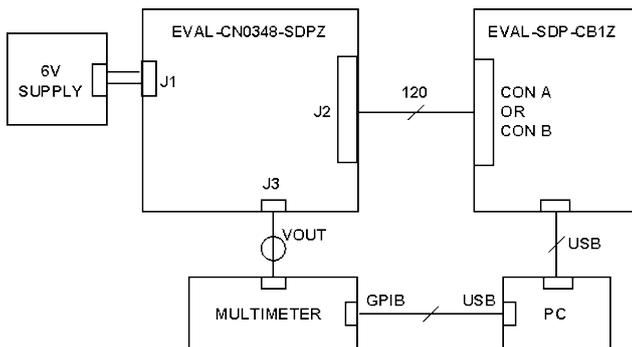


図 5. テスト・セットアップの機能ブロック図

セットアップ

EVAL-CN0348-SDPZ 回路ボードの 120 ピン・コネクタを EVAL-SDP-CB1Z 評価 (SDP) ボードの「CON A」と記された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、ナイロン製の固定用部品を使って2枚の基板をしっかりと固定します。

電源スイッチをオフにして、基板 (J1) 上の「V+」と記されたピンと「AGND」と記されたピンに、+6V (最大+18V) 電源を接続します。SDP ボードに付属している USB ケーブルを PC の USB ポートに接続します。この時点では、USB ケーブルは SDP ボードのミニ USB コネクタに、まだ接続しないでください。

テスト

EVAL-CN0348-SDPZ 回路ボードに接続された V+電源をオンにします。PC からの USB ケーブルを SDP ボードのミニ USB コネクタに接続し、評価用ソフトウェアを起動します。アナログ・デバイゼスのシステム開発プラットフォーム・ドライバがデバイス・マネージャに表示されている場合は、ソフトウェアは SDP ボードと通信を行うことができます。

USB 通信が確立すれば、SDP ボードを使って EVAL-CN0348-SDPZ ボードとシリアル・データで送信、受信、取込みを行うことができます。

図 6 は EVAL-CN0348-SDPZ 評価ボードの写真です。

テストアップの詳細、およびデータ・キャプチャ用評価ソフトウェアの使用方法については、CN-0348 Software User Guide に記載されています。

SDP ボードについては、[SDP ユーザー・ガイド](#) (英語) を参照してください。

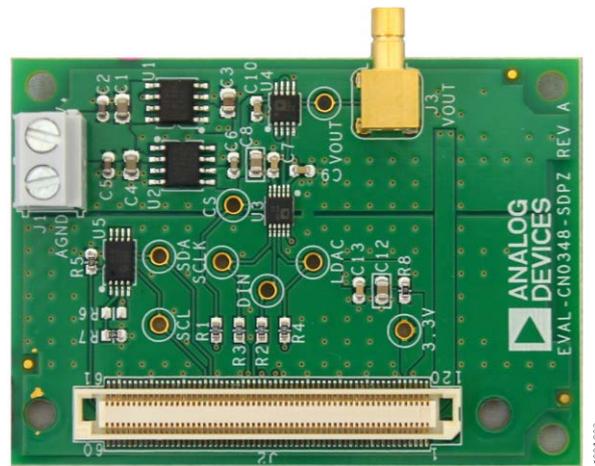


図 6. EVAL-CN0348-SDPZ 評価ボード

さらに詳しくは

CN-0348 Design Support Package :

<http://www.analog.com/CN0348-DesignSupport>

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

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 : 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, Analog Devices.

MT-101 Tutorial : Decoupling Techniques, Analog Devices.

データシートと評価ボード

AD5541A データシート

ADA4500-2 データシート

ADR4550 データシート

改訂履歴

1/14—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。

©2015 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。

CN11994-0-1/14(0)