



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/CN0365> をご覧ください。

使用したリファレンス・デバイス

AD7981	A/D コンバータ、16 ビット、600kSPS、高温度動作、PulSAR®
AD8634	オペアンプ、デュアル、高温動作、低ノイズ、レール to レール出力
ADR225	電圧リファレンス、2.5V、210°C動作可能、高精度、マイクロパワー、高温度動作

高温環境用の 16 ビット、600kSPS、低消費電力 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-0365 評価用ボード (EVAL-CN0365-PMDZ)

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)

PMOD/SDP インターポーザ・ボード (SDP-PMD-IB1Z)

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

石油やガスの採掘、航空電子機器、自動車など、非常に高い周囲温度環境で確実に動作しなければならないデータ・アキュイジション・システムを必要とするアプリケーションが増えつつあります。図 1 に示す回路は、175°C で定格が規定され、特性が評価され、保証されているデバイスを使った、16 ビット、600kSPS 逐次比較 A/D コンバータ (ADC) システムです。これらの過酷な環境のアプリケーションの多くはバッテリーで

駆動されるため、シグナル・チェーンが高性能を維持しながら消費電力になるように設計されています。

この回路では、高温動作、低消費電力のオペアンプ AD8634 で直接駆動する、高温動作、低消費電力 (600kSPS で 4.65mW) の PulSAR® ADC AD7981 を使用します。AD7981 ADC は、2.4V~5.1V の外部電圧リファレンスを必要とし、このアプリケーションの場合、選択する電圧リファレンスはマイクロパワーの 2.5V 高精度リファレンス ADR225 です。このデバイスも高温度動作が保証され、210°C での静止電源電流が最大 60μA と非常に小さい値です。

この設計で使用する IC は全て高温環境用に専用に設計されたパッケージに収容されており、単一金属ワイヤ・ボンディングを採用しています。また、このリファレンス設計では、これらの過度の温度での動作を可能にする受動部品、プリント回路ボード (PCB) 素材、および施工方法の選択についても説明します。部品表、回路図、組立図、PCB レイアウト・データなどを完備した設計サポート・パッケージも利用可能です。

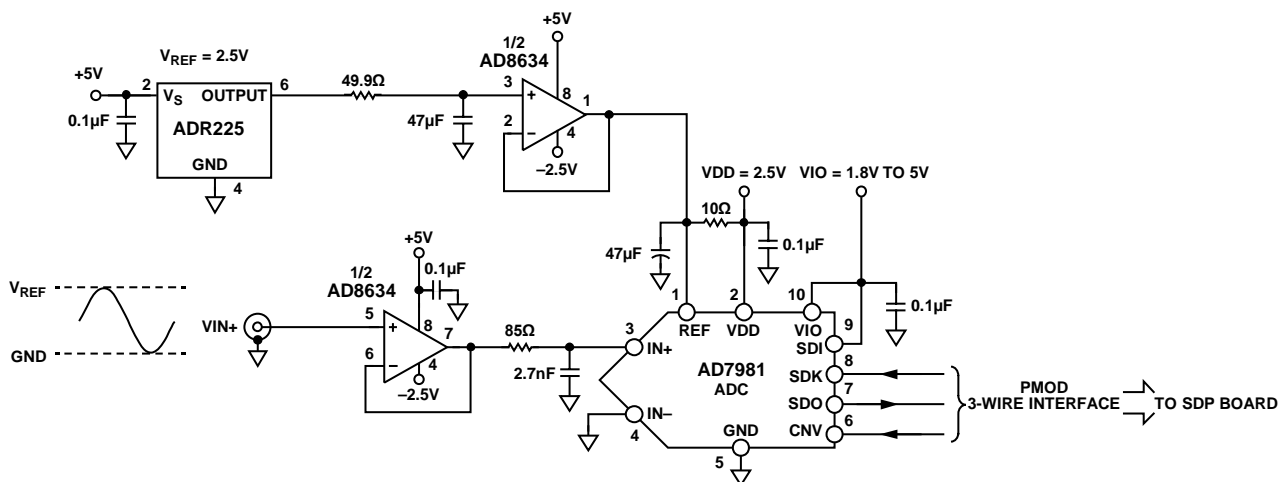


図 1. 高温データ・アキュイジション・システム (簡略回路図: 全接続の一部およびデカップリングは省略されています)

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

A/D コンバータ

この回路の心臓部は、逐次比較アーキテクチャ (SAR) を使用し、最大 600kSPS のサンプリングが可能で 16 ビット、低消費電力、単電源 ADC AD7981 です。図 1 に示すように、AD7981 はコア電源の VDD とデジタル入出力インターフェース電源の VIO の 2 種類の電源ピンを使用しています。VIO ピンは 1.8V~5.0V の任意のロジックと直接インターフェースすることができます。また、VDD ピンと VIO ピンを接続してシステムに必要な電源の数を減らすこともできます。これらのピンは電源シーケンスに関係しません。

AD7981 は、変換と変換の間自動的にパワーダウンして電力を節約します。このため、消費電力がサンプリング・レートに対して直線的に変化することから、この ADC は高サンプリング・レートとわずか数 Hz の低サンプリング・レートの両方に最適であり、バッテリー駆動システムにおける超低消費電力を可能にします。さらに、オーバーサンプリング技術を使って低速信号の実効分解能を上げることができます。

AD7981 は擬似差動アナログ入力回路を備えており、IN+ 入力と IN- 入力との間の真の差動信号をサンプリングし、両方の入力に共通の信号を除去します。IN+ 入力は 0V~V_{REF} のユニポーラのシングルエンド信号を受け入れることができ、IN- 入力は GND~100mV の範囲に限定されます。AD7981 の擬似差動入力により、ADC ドライバの条件が緩和され、消費電力が抑えられます。AD7981 は、温度定格が 175°C の 10 ピン MSOP パッケージを採用しています。簡略接続図を図 2 に示します。

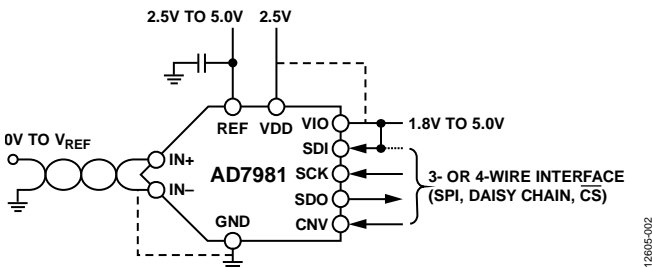


図 2. AD7981 の接続図

ADC ドライバ

AD7981 の入力は低インピーダンス源で直接駆動することができますが、信号源インピーダンスが高いと、特に全高調波歪み (THD) の AC 性能が大幅に低下します。したがって、図 3 に示すように、ADC ドライバや AD8634 などのオペアンプを使って AD7981 の入力を駆動することを推奨します。アキュイジション・タイムの開始時に、スイッチが閉じ、容量性 DAC が ADC 入力に電圧グリッチ (キックバック) を注入します。ADC ドライバは、このキックバックを安定化するとともに信号源から分離することができます。

低消費電力 (1.3mA/アンプ) の高精度デュアル・オペアンプ AD8634 は、優れた DC 仕様と AC 仕様がセンサーのシグナル・コンディショニングやシグナル・チェーン内の各所に適合するため、この処理に適しています。AD8634 はレール to レール出力を備えていますが、入力は正電源レールと負電源レールから 300mV のヘッドルームを必要とします。このヘッドルームの要件により、-2.5V に選択した負電源が必要になります。

AD8634 は、温度定格が 175°C の 8 ピン SOIC パッケージと、温度定格が 210°C の 8 ピン FLATPACK パッケージを採用しています。

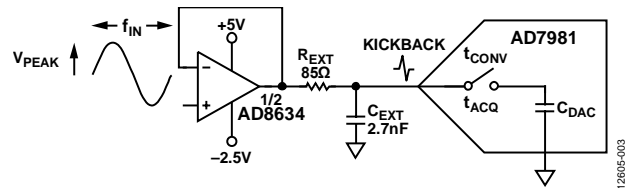


図 3. SAR ADC のフロントエンド・アンプと RC フィルタ

ADC ドライバと AD7981 の間の RC フィルタは、AD7981 の入力に注入されるキックバックを減衰させ、入力へのノイズを帯域制限します。ただし、帯域制限をしすぎると、セトリング・タイムと歪みが大きくなる可能性があります。最適な RC 値の計算は、主に入力周波数とスループット・レートに基づいて行います。ここに示した例では、R = 85Ω と C = 2.7nF が 693kHz のカットオフ周波数になる最適な値です。計算の詳細については、アナログ・ダイアログ資料「[高精度 SAR A/D コンバータ \(ADC\) のフロントエンド・アンプと RC フィルタの設計](#)」を参照してください。

この回路では、ADC ドライバはユニティ・ゲインのバッファ構成になっています。ADC ドライバのゲインを上げると、ドライバの帯域幅が減少してセトリング・タイムが長くなります。この場合、ADC のスループットを下げる必要があります。つまり、ゲイン段の後にドライバとしてバッファを追加することができます。

電圧リファレンス

210°C での最大静止電源電流がわずか 60μA で、40ppm/°C (typ) の非常に低ドリフトの 2.5V 電圧リファレンス ADR225 は、この低消費電力データ・アキュイジション回路に最適なデバイスです。ADR225 は、初期精度が ±0.4% で、3.3V~16V の広い電源電圧範囲で動作することができます。

他の SAR ADC 同様、AD7981 の電圧リファレンス入力は動的入力インピーダンスを持っているため、図 4 に示すように、REF ピンと GND の間に効果的にデカップリングした低インピーダンス源によって駆動する必要があります。AD8634 は ADC ドライバのアプリケーションに加えて、リファレンス・バッファとしても最適です。

リファレンス・バッファを用いるもう 1 つの利点は、ローパス RC フィルタを追加することにより、電圧リファレンス出力のノイズをさらに低減できることです。この回路では、49.9Ω の抵抗と 47μF のコンデンサで約 67Hz のカットオフ周波数を得ています。

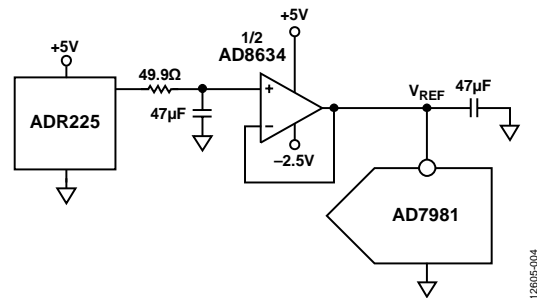


図 4. SAR ADC のリファレンス・バッファと RC フィルタ

変換の間、AD7981 のリファレンス入力に最大 2.5mA の電流スパイクが生じる可能性があります。値の大きな蓄電コンデンサをリファレンス入力のできるだけ近くに設置することによってこの電流を流し、リファレンス入力のノイズを小さく抑えます。一般に、10 μ F 以上の低 ESR セラミック・コンデンサを使用しますが、高温のアプリケーションにはセラミック・コンデンサは使えません。このため、回路の性能にほとんど影響しない 47 μ F の低 ESR タンタル・コンデンサを選択しました。

デジタル・インターフェース

AD7981 は、SPI、QSPI などのデジタル・ホストと互換性がある柔軟なシリアル・デジタル・インターフェースを備えています。このインターフェースは、入出力数を最小にするためのシンプルな 3 線モード、またはデジチェーン接続による読出しとビジー表示のオプションが可能な 4 線モードの構成にすることができます。また、4 線モードは CNV (変換入力) からの独立した読出しタイミングを可能にし、複数のコンバータで同時サンプリングを行うことができます。

このリファレンス設計に用いる PMOD インターフェースは、SDI を VIO に接続したシンプルな 3 線モードを構成します。VIO 電圧は、SDP-PMOD インターポーザ・ボードにより外部から供給します。

電源

このリファレンス設計は、+5V と -2.5V の電源レールに低ノイズの外部電源を必要とします。AD7981 は低消費電力なので、図 5 に示すように、リファレンス・バッファから直接電圧を供給することができます。このため、電源レールを追加する必要がなく、電力とボード・スペースが節約されます。

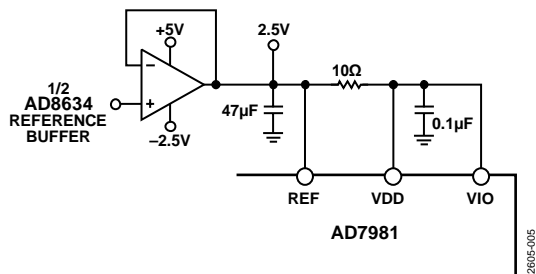


図 5. リファレンス・バッファから ADC のリファレンスを供給

IC のパッケージと信頼性

アナログ・デバイセズの高温製品ラインのデバイスでは、設計、特性評価、信頼性認証、および出荷時のテストを含む特別なプロセス・フローを実践しています。このプロセスの一部として、極端な温度に対して特別に設計した特殊パッケージがあります。この回路の 175°C のプラスチック・パッケージには特殊素材が用いられています。

高温パッケージの主な故障メカニズムの 1 つは、ボンディング・ワイヤとボンディング・パッドのインターフェースで、特に、プラスチック・パッケージで標準的な金 (Au) とアルミ (Al) の金属を組み合わせた場合です。温度が上昇すると、AuAl 金属間化合物の成長が加速します。脆弱なボンディングやボイドリングなどのボンディング故障に関係するのがこれらの金属間化合物で、図 6 に示すように、数百時間で生じる可能性があります。

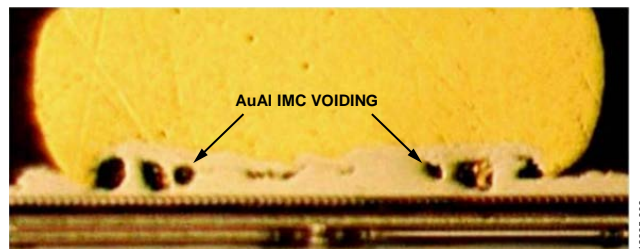


図 6. Al パッド上の Au ボール・ボンディング、195°C で 500 時間後

これらの故障を避けるため、アナログ・デバイセズではオーバー・パッド・メタライゼーション (OPM) プロセスを採用して、金のボンディング・ワイヤを接続する金のボンディング・パッド面を形成しています。この単一金属システムでは金属間化合物が生じないため、図 7 に示すように、195°C での 6000 時間のソークによる認証テストで信頼性が実証されました。

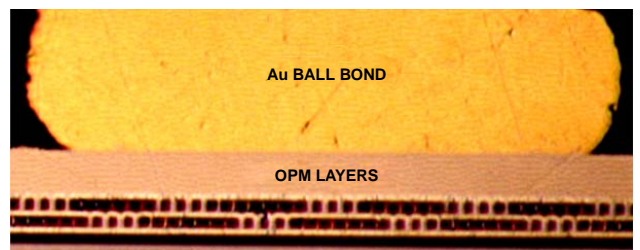


図 7. OPM パッド上の Au ボール・ボンディング、195°C で 6000 時間後

アナログ・デバイセズは 195°C での高信頼度のボンディングを実証しましたが、プラスチック・パッケージの動作定格は成形材料のガラス転移温度によって決まる 175°C までです。

この回路に用いた 175°C 定格の製品に加えて、セラミック FLATPACK パッケージの 210°C 定格のモデルも利用できます。カスタム・パッケージを必要とするシステム用に、良品保証ダイ (KGD) を利用することもできます。

アナログ・デバイセズでは、デバイスを最大動作温度にバイアスさせた高温動作寿命 (HTOL) を含む、高温製品の統合型信頼性認証プログラムを用意しています。高温製品のデータシートでは、最大定格温度で最小 1000 時間の認証時間を規定しています。生産される各デバイスの性能を保証するのに必要な最終ステップは製造時の全数テストです。アナログ・デバイセズの高温製品ラインの各デバイスは、性能を満たしていることを保証するため、製造時に高温でテストされます。

受動部品

受動部品は高温定格のものを選択する必要があります。この設計では、175°C以上の薄膜低 TCR 抵抗を用いました。小さな値のフィルタとデカップリングに COG/NPO コンデンサを使用しました。これらのコンデンサの温度係数は非常にフラットです。高温定格のタンタル・コンデンサはセラミック・コンデンサよりも大きな容量のものを入手可能で、電源のフィルタリングに一般的に使用されています。このボードに使用している SMA コネクタの温度定格は 165°C なので、高温での長時間テストは避ける必要があります。同様に、0.1 インチ・ヘッダ・コネクタ (J2 と P3) の絶縁素材は高温での短時間の定格しか規定されていないため、これも長時間の高温テストは避ける必要があります。

PCB レイアウトとアセンブリ

この回路の PCB はアナログ信号とデジタル・インターフェースが ADC の両側になるように設計されており、IC の下やアナログ信号経路の近くを通るスイッチング信号はありません。この設計によって ADC ダイに結合されるノイズの大きさを最小限に抑えることで、アナログ・シグナル・チェーンをサポートします。AD7981 のピン配置では、全てのアナログ信号を左側に、全てのデジタル信号を右側にしているため、この作業が容易になります。電圧リファレンス入力 REF には動の入力インピーダンスがあるため、寄生インダクタンスを最小にしてデカップリングする必要があります。これは、リファレンス・デカップリング・コンデンサを REF ピンと GND ピンのできるだけ近くに設置し、ピンへの接続を幅の広い低インピーダンスのパターンで行うことによって実現します。このボードのレイアウトは、熱をボードの底面から加える温度テストを容易にするため、部品がボードの上面だけになるように意図的に設計されています。レイアウトに関する推奨事項の詳細については、AD7981 のデータシートを参照してください。

高温回路では、信頼性を確保するために特殊な回路素材とアセンブリ方法を用いる必要があります。FR4 は PCB の積層板に用いる一般的な素材ですが、コマーシャル・グレードの FR4 の標準ガラス転移温度は約 140°C です。140°C を超えると、PCB は破壊や層間剥離が始まり、部品にストレスを与えます。高温アセンブリ用に広く用いられている代替素材はポリイミドで、標準ガラス転移温度は 240°C 以上です。この設計では 4 層ポリイミド PCB を使用しました。

特に錫を含む半田とともに使用する場合、半田に銅箔パターンとの金属間化合物が形成される傾向があるため、PCB 表面も問題になります。ニッケルと金の表面仕上げが一般的に使用されており、ニッケルがバリアとなり、金が半田接合ボンディングに適した表面となります。融点とシステムの最大動作温度の間に十分なマージンを持つ高融点の半田を使用することも必要です。このアセンブリには SAC305 鉛フリー半田を選択しました。融点が 217°C で、175°C の最大動作温度から 42°C のマージンがあります。

性能予測

AD7981 では、1kHz 入力トーンと 5V リファレンスで標準 91dB の SNR が規定されています。ただし、低消費電力/低電圧システムに一般的な低リファレンス電圧を使用すると、SNR がある程度低下することが予想されます。AD7981 のデータシートの代表的な性能特性のグラフから、室温と 2.5V のリファレンスで約 86dB の SNR が予想されます。この SNR 値は、図 8 に示すように、回路を室温でテストしたときに得られた性能の約 86dB の SNR と変わりません。

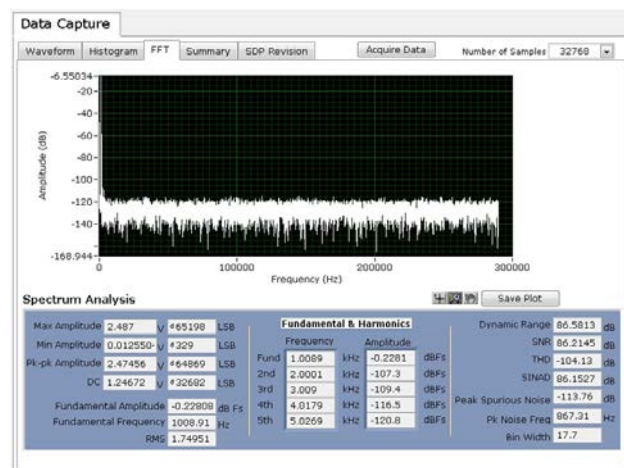


図 8. 1kHz 入力トーンでの AC 性能、580kSPS、25°C

この回路を全温度範囲で評価すると、図 9 に示すように、SNR 性能は 175°C で約 84dB に低下するだけです。図 10 に示すように、THD は -100dB より良好な値を維持します。175°C での回路の FFT の概要を図 11 に示します。

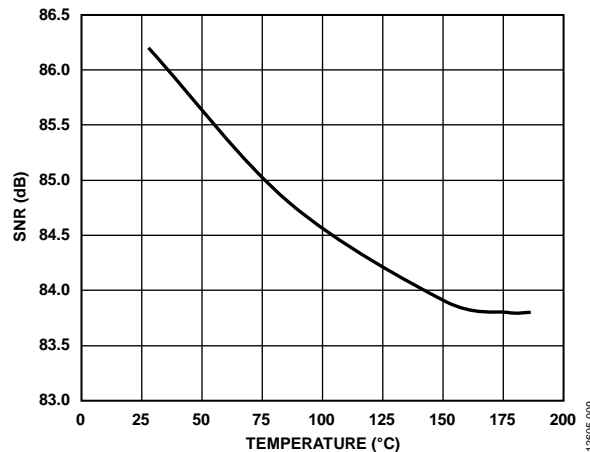


図 9. 全温度範囲での SNR、1kHz 入力トーン、580kSPS

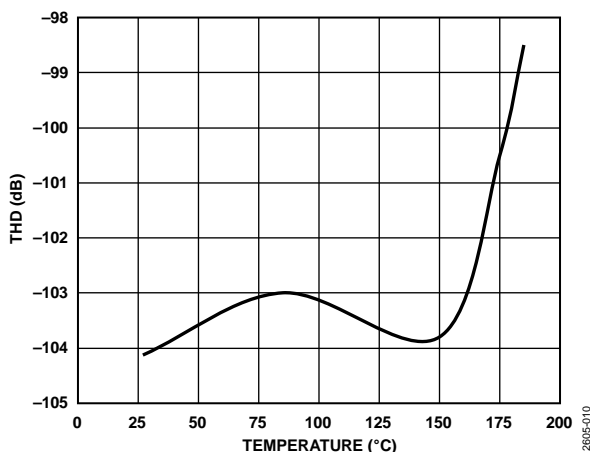


図 10. 全温度範囲での THD、1kHz 入力トーン、580kSPS

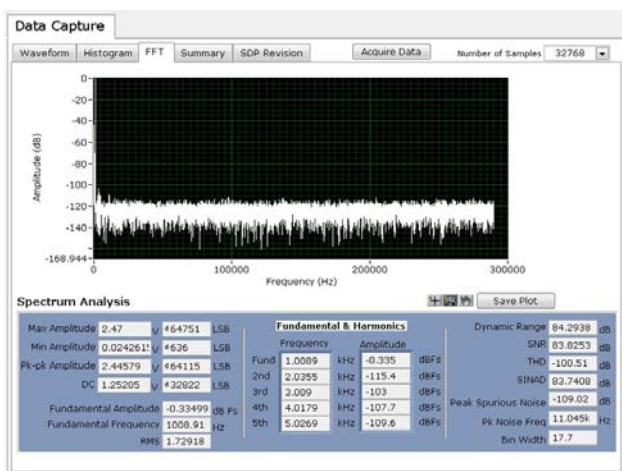


図 11. 1kHz 入力トーンでの AC 性能、580kSPS、175°C

回路の評価とテスト

この回路には、EVAL-CN0365-PMDZ 回路ボード、SDP-PMD-IB1Z インターポーザ・ボード、および 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 (SDP) ボードが使用されています。インターポーザ・ボードと SDP ボードは 120 ピンの接続用コネクタを備えています。このインターポーザ・ボードと EVAL-CN0365-PMDZ ボードは 12 ピンの PMOD 対応コネクタを備えているので、短時間で組み立てて回路の性能を評価することができます。EVAL-CN0365-PMDZ ボードには、この回路ノートに示す評価対象の回路が含まれており、SDP 評価ボードは CN-0365 評価用ソフトウェアと共に使用します。

必要な装置

以下の装置が必要です。

- EVAL-CN0365-PMDZ ボード
- 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)
- PMOD/SDP インターポーザ・ボード (SDP-PMD-IB1Z)
- CN-0365 評価用ソフトウェア
- 今回のテストで使用された Audio Precision の SYS-2522 のような関数発生器/信号源
- 電源：+5V と -2.5V
- 電源：+6V AC アダプタ (EVAL-CFTL-6V-PWRZ)
- USB ポートと USB ケーブルを備えた、Windows® XP (SP2)、Windows Vista または Windows 7 Business/Enterprise/Ultimate エディション (32 ビット/64 ビット・システム) 搭載の PC

評価開始にあたって

始めに、以下の手順に従います。

1. CN-0365 評価用ソフトウェアを <ftp://ftp.analog.com/pub/cftl/CN0365> から PC にダウンロードします。
2. SDP ボードを PC に接続したときに正しく認識されるように、ソフトウェアをインストールしてから SDP ボードを PC の USB ポートに接続してください。
3. ダウンロードしたファイルを解凍します。
4. **setup.exe** ファイルを実行します。
5. 画面上の指示に従ってインストールを完了します。全てのソフトウェア・コンポーネントをデフォルトのロケーションにインストールすることをお奨めします。

機能ブロック図

テスト・セットアップの機能図を図 12 に示します。

セットアップ

以下の手順で回路をセットアップします。

1. EVAL-CFTL-6V-PWRZ (+6V DC 電源) を、DC バレル・ジャックを介して SDP-PMD-IB1Z インターポーザ・ボードに接続します。
2. SDP-PMD-IB1Z インターポーザ・ボードを、120 ピン CON A コネクタを介して EVAL-SDP-CB1Z SDP ボードに接続します。
3. EVAL-SDP-CB1Z SDP ボードを、USB ケーブルで PC に接続します。
4. EVAL-CN0365-PMDZ 評価ボードを、12 ピン・ヘッダ PMOD コネクタを介して SDP-PMD-IB1Z インターポーザ・ボードに接続します。
5. +5V (V_{S+}) 電源と -2.5V (V_{S-}) 電源を EVAL-CN0365-PMDZ の P3 ヘッダに接続します。VDD 電圧 (2.5V) は内部で生成されるため、デフォルト設定で外部接続にする必要はありません。
6. 信号源を SMA コネクタを介して EVAL-CN0365-PMDZ に接続します。

7. Audio Precision の SYS-2522 (または等価な信号発生器) を、周波数が 1kHz、DC オフセットが 1.25V の 2.5V p-p サイン波に設定します。

テスト

評価用ソフトウェアを立ち上げます。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 Windows のデバイス・マネージャに表示されている場合は、ソフトウェアは SDP ボードと通信を行います。USB による通信が確立されると、評価用ソフトウェアを使って回路性能の評価基準のテスト、確認、および保存を行うことができます。

ソフトウェアの操作の詳細については、UG-340 とウィキページの [Evaluating 14-/16-/18-Bit ADCs from the 8/10 LEAD PulSAR® Family](#) を参照してください。

環境室で温度テストを行う場合、延長用ハーネス (付属しない) を使ってアナログ入力、電源、および PMOD の接続を行うことができます。これらのハーネスはできるだけ短くし、ノイズを防止するための最善策を講じる必要があります。このボードに使用している SMA コネクタの温度定格は 165°C なので、高温での長時間テストは避ける必要があります。同様に、0.1 インチ・ヘッダ・コネクタ (J2 と P3) の絶縁素材は高温での短時間の定格しか規定されていないため、これも長時間の高温テストは避ける必要があります。

EVAL-CN0365-PMDZ ボードの写真を図 13 に示します。

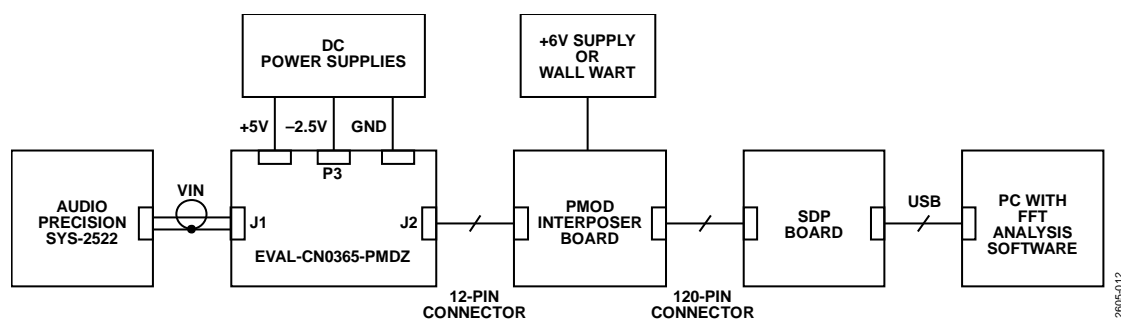


図 12. AC 性能測定用回路のテスト・セットアップ



図 13. EVAL-CN0365-PMDZ 回路ボードの写真

さらに詳しい資料

CN-0365 Design Support Package:
www.analog.com/CN0365-DesignSupport
System Demonstration Platform (SDP)
UG-340 User Guide
Evaluating 14-/16-/18-Bit ADCs from the 8/10 LEAD PulSAR®
Family Wiki Page
High Temperature Products from Analog Devices
Watson, Jeff and Gustavo Castro, "High Temperature Electronics
Pose Design and Reliability Challenges," Analog Dialogue,
Volume 46, April 2012.
MS-2707 : 厳しい環境の克服—高温アプリケーション向けの低
消費電力、高精度、高温の部品
Walsh, Alan, "Front-End Amplifier and RC Filter Design for a
Precision SAR Analog-to-Digital Converter," Analog Dialogue,
Vol. 46, December 2012.
Walsh, Alan "Voltage Reference Design for Precision Successive-
Approximation ADCs," Analog Dialogue, Vol. 47, June 2013.
MT-021 Tutorial : Successive Approximation ADCs, Analog Devices
MT-031 Tutorial : Grounding Data Converters and Solving the
Mystery of "AGND" and "DGND," Analog Devices.

データシートと評価ボード

CN-0365 評価用ボード (EVAL-CN0365-PMDZ)
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)
PMD/SDP インターポーザ・ボード (SDP-PMD-IB1Z)
AD7981 データシート
AD8634 データシート
ADR225 データシート

改訂履歴

6/15—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各社の所有に属します。