

この製品の英語版データシートに間違いがありましたので、お詫びして訂正いたします。
この正誤表は、2017年10月17日現在、アナログ・デバイセズ株式会社で確認した誤りを記したものです。

なお、英語のデータシート改版時に、これらの誤りが訂正される場合があります。

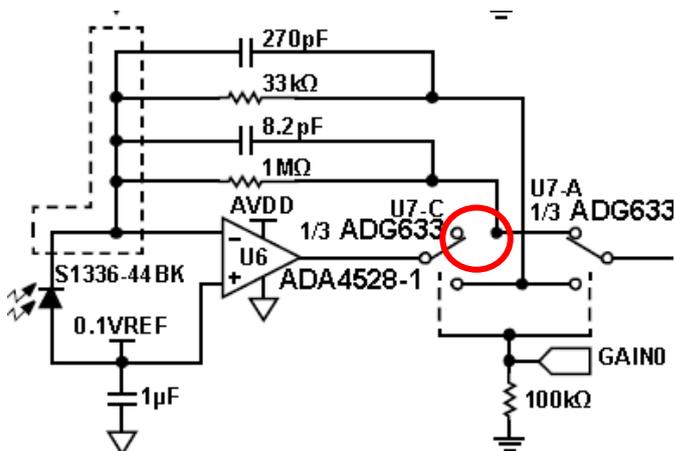
正誤表作成年月日：2017年10月13日

製品名：CN-0363

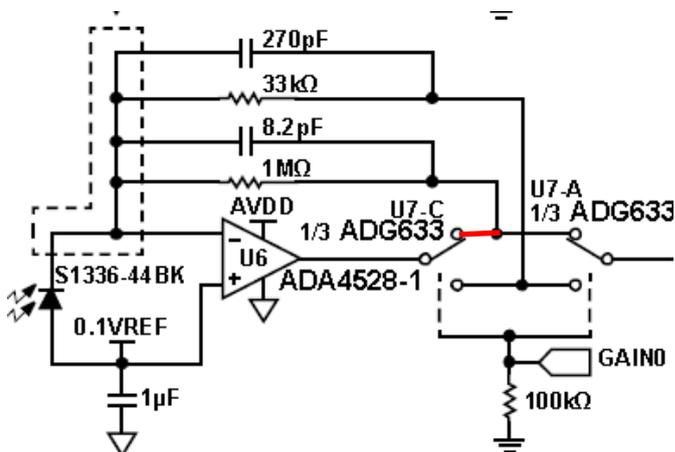
対象となるデータシートのリビジョン(Rev)：Rev.0 (英語版・日本語版)

訂正箇所：2 ページ， Figure 1 回路図表記の誤り

【誤】 図中 U7C の ADG633 のラインの回路接続部分がない。 赤色枠内



【正】 正しくは、下記のとおり。





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/CN0363> をご覧ください。

使用したリファレンス・デバイス

AD7175-2	A/D コンバータ、24 ビット、250kSPS、20 μ s セトリング、 Σ - Δ 型、真のレール to レール・バッファ付き
ADA4528-1	オペアンプ、シングル、5.0V、超低ノイズ、ゼロ・ドリフト、レール to レール入/出力
AD8615	オペアンプ、シングル、高精度、20MHz 帯域幅、CMOS、入/出力レール to レール
AD5201	デジタル・ポテンショメータ、33 ポジション
ADA4805-1	オペアンプ、オフセット・ドリフト 0.2 μ V/°C、105MHz、低消費電力、低ノイズ、レール to レール
ADG633	アナログ・スイッチ、CMOS、 ± 5 V/ $+5$ V/ $+3$ V、トリプル、SPDT
ADG733	SPDT スイッチ、トリプル、CMOS、2.5 Ω 、低電圧
ADG704	CMOS 低電圧 4 W、4 チャンネル・マルチプレクサ
ADG819	マルチプレクサ/SPDT スイッチ、0.5 Ω 、CMOS、1.8~5.5V、BBM スイッチング動作、2:1

プログラマブル・ゲイン・トランスインピーダンス・アンプと
デジタル同期検出機能を備えたデュアル・チャンネル測色計

評価および設計サポート環境

回路評価ボード

[CN-0363 評価用ボード \(EVAL-CN0363-PMDZ\)](#)

設計と統合ファイル

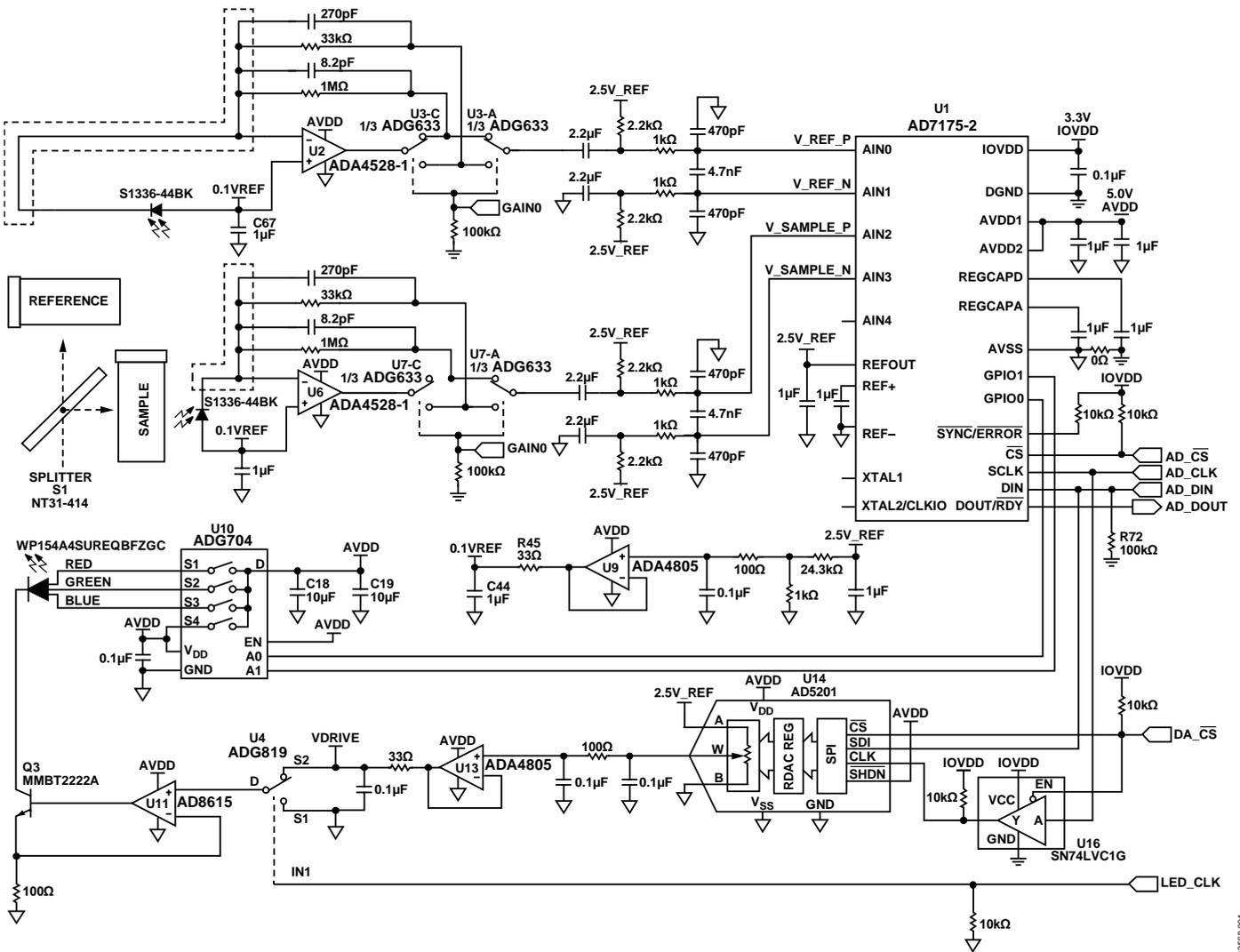
[回路図](#)、[レイアウト・ファイル](#)、[部品表](#)

回路の機能とその利点

図 1 の回路は、変調光源トランスミッタ、チャンネルごとのプログラマブル・ゲイン・トランスインピーダンス・アンプ、超低ノイズの 24 ビット Σ - Δ A/D コンバータ (ADC) を備えたデュアル・チャンネル測色計です。ADC の出力は、標準 FPGA メザニン・カードに接続されています。FPGA はサンプル・データを ADC から取得して、同期検出アルゴリズムを実行します。

一定 (DC) 光源ではなく変調光とデジタル同期検出を使用することによって、このシステムは変調周波数以外の周波数のあらゆるノイズ源を除去し、優れた精度を与えます。

デュアル・チャンネル回路は、サンプル容器とリファレンス容器内の液体が吸収する光の比率を、3つの異なる波長で測定します。この測定は、吸収分光法による物質の濃度測定と特性評価に使用する、多くの化学分析用および環境モニタリング用計測器の基礎となります。



12569-001

図 1. プログラマブル・ゲイン・トランスインピーダンス・アンプとロックイン・アンプを備えたデュアル・チャンネル測色計 (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。)

回路説明

ユーザがプログラムできる周波数に設定されたクロックは、AD8615 オペアンプ、ADG819 スイッチ、および AD5201 デジタル・ポテンショメータを中心にして構成された定電流ドライバを使用して、3つの LED カラーのうちの一つを変調します。ビーム・スプリッタは、光の半分がサンプル容器を通過し、残りの半分がリファレンス容器を通過するようにします。さらに、トランスインピーダンス・アンプとして構成された ADA4528-1 が、フォトダイオード電流を出力電圧矩形波に変換します。矩形波の振幅は、サンプル容器またはリファレンス容器を透過する光に比例します。トランスインピーダンス・アンプは ADG633 単極双投 (SPDT) スイッチを使用して、2つあるトランスインピーダンス・ゲインのどちらかを選択します。AD7175-2 Σ-Δ ADC は電圧をサンプリングして、デジタル復調のために FPGA へデジタル・データを送ります。

FPGA は、まず数値的に生成された正弦波を LED クロックに同期させ、次いでこの正弦波にサンプル ADC データを乗じることによって同期復調を行います。さらに、この正弦波を 90°シフトさせたバージョンにも ADC データを乗じ、変調信

号の直交成分を求めます。これらの処理によって得られる結果が 2つの低周波復調信号で、これらの信号は、それぞれ各チャンネルで受光した光の同相成分と直交成分を表わします。狭帯域 FIR ローパス・フィルタは他のすべての周波数成分を除去し、フォトダイオードで測定される振幅の大きさと位相シフトの計算を容易にする一方で、LED クロックと異なる周波数の光学的ノイズや電気的ノイズを除去します。ADG704 マルチプレクサは 3つある LED カラーのひとつに電源レールを接続し、2ビットのアドレスによってテスト波長を選択できるようにします。AD8615 と NPN トランジスタは簡単な電流源を形成し、LED 電流は次式で表されます。

$$I_{LED} = V_{NON-INVERTING} / R_{EMITTER}$$

ここで、 $V_{NON-INVERTING}$ は AD8615 の非反転入力電圧、 $R_{EMITTER}$ は、トランジスタ Q3 のエミッタに接続する抵抗の値です。

ADG819 SPDT スイッチは設定ポイント電圧とグラウンドに接続し、その制御ピンはリファレンス・クロックに接続します。クロックはハイ・レベルとロー・レベルの間で発振するので、電流源に対する設定ポイントは **0mA** から必要な出力電流まで変化し、それによって矩形波信号が生成されます。

AD5201 デジタル・ポテンショメータは、**2.5V** を基準とするプログラマブル抵抗分圧器として動作し、**LED** 電流の出力を 33 種類の異なる電流値に設定することができます。

サンプル容器とリファレンス容器はそれぞれ **LED** の光エネルギーの半分を受け取り、それぞれの容器内の物質の種類と濃度に応じて異なる量の光を吸収します。各容器の反対側に置かれたフォトダイオードは、受け取った光の量に比例した小電流を生成します。

各レーザ・チャンネルの最初の段は、トランスインピーダンス・アンプとして構成された **ADA4528-1** オペアンプで形成されており、フォトダイオードの出力電流を電圧に変換します。

ADA4528-1 は自動ゼロ調整アンプです。オフセットは無視できる程度であり、 $1/f$ ノイズがなく、広帯域ノイズも極めて低い値に止まります ($5.9 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$)。すべての自動ゼロ調整アンプ同様、自動ゼロ周波数ではノイズ・スパイクが発生します。

ADA4528-1 の場合、この周波数は約 **200kHz** ですが、回路信号帯域幅のロールオフはこれよりかなり前になります。

オペアンプの入力バイアス電流に帰還抵抗値を乗じた値が、オフセット電圧として出力に現れます。オペアンプの入力オフセット電圧は、帰還抵抗とフォトダイオードのシャント抵抗に応じたゲインで出力に現れます。さらに、すべてのオペアンプの入力電圧オフセットはフォトダイオード両端に現れ、フォトダイオードの暗電流を増加させます。したがって、オフセット電圧が小さい ($2.5\mu\text{V}$) **ADA4528-1** は、このアプリケーションに最適です。

1 個の帰還抵抗を使った代表的なトランスインピーダンス・アンプとその理想的な伝達関数を図 2 に示します。

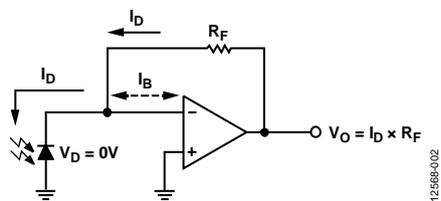


図 2. トランスインピーダンス・アンプの伝達関数

テストに使われる溶液の中には吸収特性が非常に強いものもあるので、フォトダイオードの生成電流が非常に小さくなることがあり、これを測定するためには大きな帰還抵抗が必要になります。ただし、希釈度の高い溶液では電流値が大きくなるので、これにも同時に対応できなければなりません。この課題を解決するために、図 1 のフォトダイオード・アンプでは 2 つの異なるゲインを選択することができ、そのひとつは $33\text{k}\Omega$ 、もうひとつは $1\text{M}\Omega$ に設定されています。オペアンプの出力に接続されたシングル SPDT スイッチを使用して帰還抵抗を切り替えると、**ADG633** のオン抵抗によるトランスインピーダンス・ゲイン誤差が生じます。この問題を避けるために改良した構成を図 3 に示します。この構成では、帰還ループ内の **ADG633** が必要な抵抗を選択し、

もうひとつのスイッチが、選択した帰還ループにシステムの次の段を接続します。アンプ出力の電圧は次式で表されます。

$$V_{TIA \text{ OUTPUT}} = I_{\text{PHOTODIODE}} \times R_{\text{FEEDBACK}}$$

これに対し、改良前の電圧は次の通りです。

$$V_{TIA \text{ OUTPUT}} = I_{\text{PHOTODIODE}} \times (R_{\text{FEEDBACK}} + R_{\text{ON ADG633}})$$

これにはゲイン誤差が含まれています。しかし、**ADG633** のうちのひとつは帰還ループ外にあるので、この段の出力インピーダンスは、閉ループ動作のオペアンプ出力に対応する非常に低い出力インピーダンスではなく、**ADG633** のオン抵抗 (代表値で 52Ω) です。**ADG633** のリーク電流 (代表値で 5pA) による誤差は無視できます。

ADA4528-1 のような高性能のレール to レール・アンプでも、その出力を完全にレール to レールでスイングさせることはできません。さらに、**ADA4528-1** の入力オフセット電圧は非常に小さい値ですが、負になることがあります。**ADA4805-1** オペアンプは、負の電源を含めることによってアンプのクリップ防止と 0.0V までのドライブを保証するのではなく、 100 mV のバッファ電圧を使用して、フォトダイオードの陽極と **ADA4528-1** をバイアスします。**ADA4805-1** は、デカップリングに使われる大きな容量性負荷のドライブ時にユニティ・ゲインでの安定した動作を維持できるので、リファレンス電圧バッファに最適です。もうひとつの **AA4805-1** は、**LED** 電流を設定する **AD5201** デジタル・ポテンショメータの出力をバッファするのも使われます。

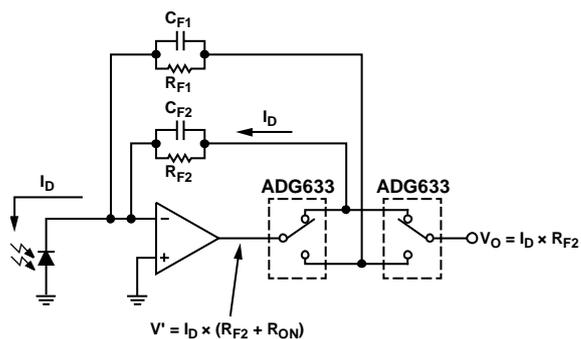


図 3. プログラマブル・ゲイン・トランスインピーダンス・アンプ

フォトダイオードの出力電圧は、 0.1V から 5.0V までスイングします。 $33\text{k}\Omega$ レンジの場合、 4.9V の出力スパンは $148.5\mu\text{A}$ のフルスケール・フォトダイオード電流に相当し、 $1\text{M}\Omega$ レンジの場合は $4.9\mu\text{A}$ のフルスケール・フォトダイオード電流に相当します。 $1\text{M}\Omega$ のゲイン設定での動作時は、アンプの飽和を防ぐために、フォトダイオードを外部光からシールドすることが重要です。以下の項に述べる同期検出方式は **LED** クロックに同期していない周波数を大きく減衰させますが、**ADC** の返すデータが飽和している場合、この検出方式を正しく動作させることはできません。

各チャンネルのゲイン設定は、**FPGA** ボードを通じて個別に選択できます。

ADC のサンプリング・レートと変調周波数の選択

AD7175-2 ADC は、sinc5+sinc1 フィルタを使用し、シングル・サイクル・セトリングで両方のチャンネルを、出力データ・レート 250kSPS でサンプリングするように構成されています。この構成により、各チャンネルで 25kSPS の実効サンプリング・レートが得られます（各チャンネルのデータは 40 μ s ごとに出力）。12.5kHz を超えるすべての周波数（矩形波変調の奇数高調波など）は、ADC のパスバンドにエイリアス（折返し誤差）となって現れます。しかし、その周波数が変調周波数と一致しない限りは、同期復調段がこれらの周波数を除去します。変調波形のエイリアスが基本波に重なることがないように、変調周波数は以下の関係に従って選択してください。

$$F_{MODULATION} = \frac{F_{SAMPLE}}{2 \times n + 0.5}$$

ここで、

$F_{MODULATION}$ は変調周波数、

F_{SAMPLE} は ADC の実効出力データ・レート、

n は整数です（変調周波数の高調波に相当）。

たとえば、このシステムでは実効出力データ・レートが 25kSPS なので、約 1kHz の変調周波数が必要な場合、エイリアスの問題を避けるには、周波数を 1020Hz ($n=12$) または 943Hz ($n=13$) とする必要があります。この方法を使用して変調周波数を選択すれば、シャープなアンチエイリアシング・フィルタ（折返し誤差防止フィルタ）をフロントエンドに使用する必要はありません。

デジタル同期検出

この回路では、ハードウェアで同期検出を実装（回路ノート CN-0312 を参照）するのではなく、時間サンプル・データを収集し、FPGA を使用してデジタル同期検出を実装しています。FPGA で実装したデジタル同期検出ブロックを図 4 に示します。LED をドライブする AC 励起信号を FPGA が生成し、数値的に生成した正弦波がデジタル・フェーズロック・ループ内でこの信号にロックされます。入力信号には、デジタル正弦波とそれを 90°シフトしたバージョンが乗じられて、変調周波数における入力信号の同相成分と直交成分に比例する 2 つの低周波復調信号が得られます。図 4 に示すように、振幅は、これら 2 つの成分の二乗和平方根です。この復調方式の詳細については、「さらに詳しい資料」を参照してください。

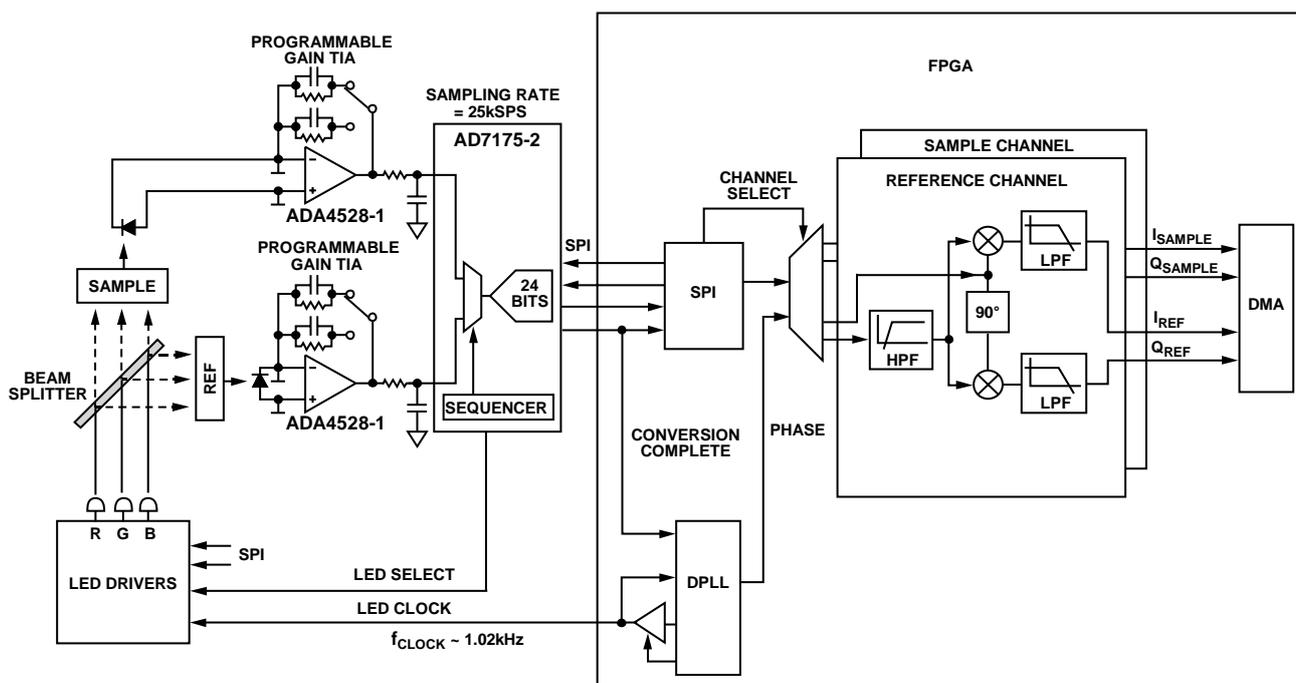


図 4. FPGA 同期検出器を含むシステム・ブロック図

電源

EVAL-CN0363-PMDZ ボードには外部 6V~12V DC 電源が使われます。回路のアナログ部分には、**ADP7102** 低ドロップアウト・レギュレータから $AVDD = 5V$ が供給されます。また、回路のデジタル部分には、**ADP1720** 低ドロップアウト・レギュレータから生成された $IOVDD = 3.3V$ が供給されます。あるいは、リンク・オプションを介して **PMOD** コネクタ (VCC) から $IOVDD$ を供給することもできます。

2.5V のリファレンス電圧は、**AD7175-2** ADC の内部 2.5V リファレンスによって供給されます。

回路性能の測定

システムのノイズ性能を検証するには、すべての LED をディセーブルしてデータを取り込みます。この場合でも同期検出器は LED クロック周波数で動作しますが、このクロックに同期する光は検出されないため、検出器はすべての DC 信号と AC 信号を除去します。ノイズフリー・ビット性能を表 1 に示します。

表 1. ノイズフリー・ビット性能¹

Gain	ADC Output		Final Filtered Output	
	Reference Channel ADC	Sample Channel ADC	Reference Channel Output	Sample Channel Output
1 MΩ	12.46	12.85	15.91	15.50
33 kΩ	15.58	15.59	18.77	18.85

¹ サンプル・レート = 25 kSPS、励起周波数 = 1020 Hz、出力フィルタ帯域幅 = 100 Hz

バリエーション回路

フォトダイオード・アンプの帰還抵抗の値を変えると、アンプのゲインが変わります。これは、光のレベルが異なる特定のアプリケーションに合わせて回路をカスタマイズする簡単な方法です。ただし、同じ帯域幅を維持し、アンプの安定性を保証するために、補償コンデンサも変更する必要があります。

極めて低レベルの光を測定するシステムでは、最大限の性能を得るために、同期検出器の出力ローパス・フィルタのカットオフ周波数をはるかに低い値に設定できますが、この場合は測定サイクル時間が長くなります。

LED の光出力は温度とともに変化するので、システムは、サンプル・チャンネルとリファレンス・チャンネルの比として測定を行います。フォトダイオードには最大±11%のゲイン誤差があるので、時間と温度の変化に応じて LED 出力が変化するにつれ、比例的变化にもある程度のドリフトが生じます。LED 光出力の制御に光学的帰還回路を追加すると、温度に伴う光の変化が小さくなって、正確なシングルエンド測定が可能になります。

矩形波によって LED を変調するのではなく、FPGA の DDS または PWM を使用して正弦波変調を行うことができます。正弦波変調は信号の高調波成分を減らしてフィルタリングを容易にし、結果的にノイズを少なくします。

回路の評価とテスト

回路図、レイアウト図、ガーバー・ファイル、部品表を含む EVAL-CN0363-PMDZ ボード用のすべてのドキュメント・セットは、**CN-0363 Design Support Package** (www.analog.com/CN0363-DesignSupport) に含まれています。

CN-0363 評価用ソフトウェアは FPGA 開発ボードと通信を行い、EVAL-CN0363-PMDZ 回路ボードからのデータをキャプチャして解析します。

必要な装置

- **EVAL-CN0363-PMDZ** 回路評価ボード
- 6V~12V DC の 500mA 電源、または AC アダプタ
- FPGA 開発ボード (ZedBoard など) と 12V 電源
- EVAL-CN0363-PMDZ 付属の 8GB SD カード
- USB キーボードとマウス
- HDMI モニタ (HD のみ)
- **CN-0363** 評価用ソフトウェア (**CN-0363 ユーザ・ガイド** を参照)
- 蒸留水およびテスト用液体サンプル

評価開始にあたって

評価用ハードウェアとソフトウェアの詳しい操作方法は、**CN-0363 ユーザ・ガイド**に記載されています。

HDL ソフトウェアおよびドライバは、Avnet ZedBoard などのさまざまな FPGA 開発プラットフォームをサポートするソフトウェア・リンクで提供されています。

開発プラットフォームには、**CN-0363** ハードウェアに付属している SD カードが必要です。SD カードは正しく **パーティション** 分割されていますが、最新イメージでアップデートする必要があります。手順は **CN-0363 ユーザ・ガイド**に記載されています。

機能図

テスト・セットアップの機能ブロック図を図 5 に示します。

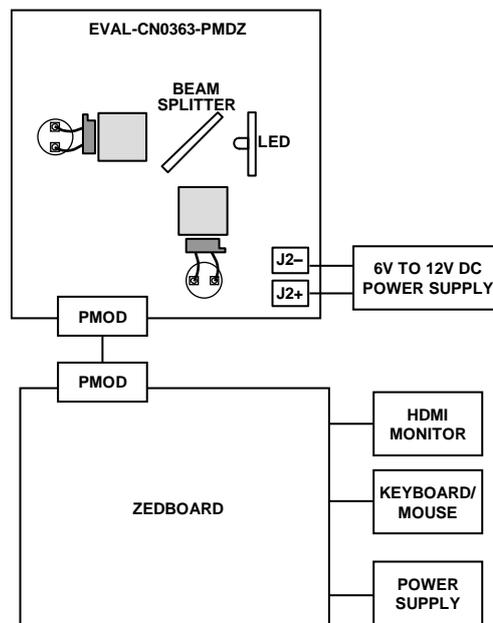


図 5. 評価システム機能図

セットアップ

システムのセットアップは以下の手順で行います。

1. EVAL-CN0363-PMDZ と ZedBoard を PMOD ケーブルで接続し、J2 電源コネクタに 6V~12V DC 電源を接続します。この時点では、まだ電源を入れないでください。
2. USB キーボード/マウス、HDMI モニタ、および電源を ZedBoard に接続します。この時点では、まだ電源を入れないでください。

テスト

以下の要領でシステムを初期化します。

1. EVAL-CN0363-PMDZ ボードの電源をオンにします。
2. ZedBoard の電源をオンにします。
3. システムをブートします。
4. 必要に応じ、CN-0363 ユーザ・ガイドに示す適切なキーボード・コマンドを入力してください。

キャリブレーション

LED、ビーム・スプリッタ、フォトダイオード間のミスアライメントと、フォトダイオードの応答ミスマッチを補正するために、最初にシステムのキャリブレーションを行う必要があります。システムのキャリブレーションを行うには、2つの容器に蒸留水を満たして PCB の四角い穴に挿入します。また、キャリブレーション手順を実行中は、周囲光を遮るようにフォトダイオードをシールドすることを推奨します。

ソフトウェアによる自動キャリブレーション手順を開始します。

Menu バーから **Calibration** ダイアログ・ボックスを開き、**Calibrate** をクリックしてください。キャリブレーション手順のプロセス完了までには数秒間かかります。手順実行中は、プログレス・バーに現在のステップが表示されます。キャリブレーションが完了すると、キャリブレーション値が更新されます。キャリブレーションはゼロオフセットをなくして、各チャンネルに正しいゲインを設定します。キャリブレーション・データには、フルスケール励起におけるリファレンス・チャンネルとサンプル・チャンネルの値の相

関関係を示す乗算係数 K も含まれています。

ソフトウェアは、下に示す関係に基づいて LED のカラーごとに乗算係数 K を計算します。

$$\frac{V_{REFERENCE_CHANNEL}}{V_{SAMPLE_CHANNEL}} K = 1$$

ここで、 K は計算によるキャリブレーション係数です。

キャリブレーション実行後、ソフトウェアはそのキャリブレーション係数を使って、その後のすべての測定を行ないます。

分光法分野における吸収率は、テスト対象物質に達する光と、その物質を透過する光の対数比として定義されます。ランベルト・ベールの法則によれば、物質を透過する光の量は、経路長と濃度の増加に伴って指数関数的に減少します。吸収率を対数として定義すれば、吸収率と物質濃度の関係は正比例になります（経路長一定の場合）。

$$Absorbance = \log_{10} \left(\frac{V_{REFERENCE_CHANNEL}}{V_{SAMPLE_CHANNEL}} K \right)$$

有害薬品を使用することなくこの理論を簡単に検証するために、ここでは食品用染料の濃度を測定します。黄色 5 号 (Yellow #5) 染料の濃度をさまざまに変え、EVAL-CN0363-PMDZ で測定を行った実験の結果を図 6 に示します。

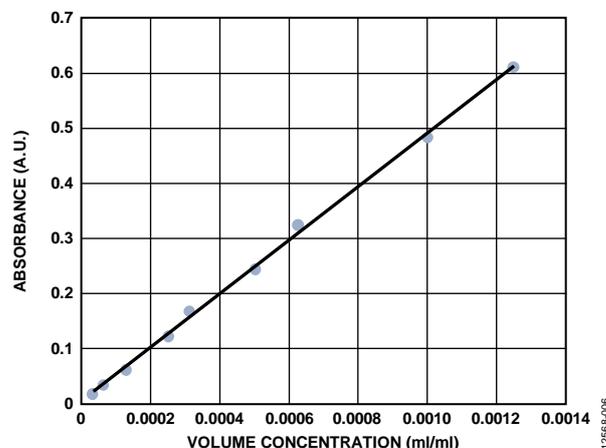


図 6. 465nm (主波長) 光による黄色 5 号染料の吸収率曲線

黄色の溶液は青色光をよく吸収するので、測定は、青色 LED (主波長 465nm) を光源として行いました。x 軸は体積濃度 (水 1 ミリリットルあたりの染料のミリリットル数—無次元) を表わし、y 軸が吸収率を表わします。ランベルト・ベールの法則から予測されるように、吸収率は濃度とともに線形に変化します。

サンプルの解析

Automated Data Collection タブの **Analyze Sample** ボタンをクリックすると自動サンプル解析が行われ、3色すべての解析が順番に行われて、それぞれの吸収率が計算されます。解析には数秒間かかります。解析中はプログレス・バーに現在のステップが表示されます。プロセスが完了すると、吸収率の値が表示されます。以上で、サンプル・ライブラリ内の既存サンプルとサンプルを照合したり、後で使用できるようにサンプルをサンプル・ライブラリに保存したりすることができます。

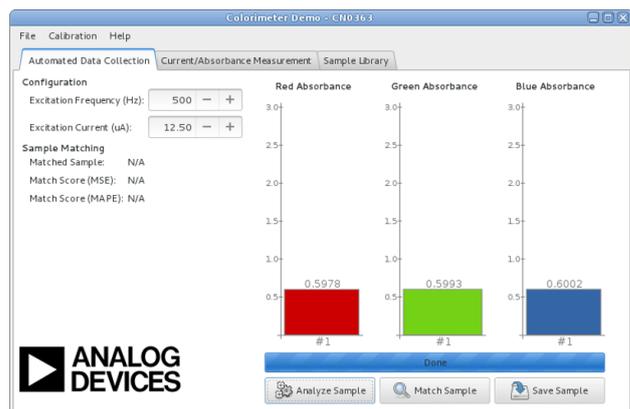


図 7. Automated Data Collection タブの表示

電流／吸収率測定と手動設定

Current/Absorbance Measurement タブを使用すれば LED とゲインの操作機能に直接アクセスでき、測定データをそのまま表示することができます (図 8 参照)。設定可能なパラメータは次の通りです：**Excitation Frequency**、**Excitation Current**、**LED** (**Red**、**Green**、または **Blue**)、**Reference Channel Gain**、および **Sample Channel Gain**。

これらの値を変更した場合でも、自動キャリブレーション手順を実行することによって初期デフォルト値を回復できます。

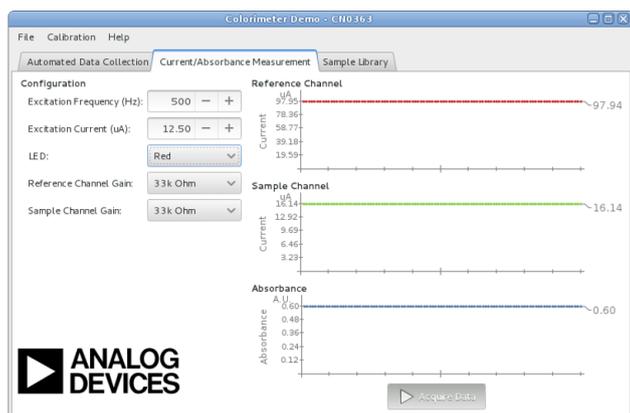


図 8. Current/Absorbance Measurement タブの表示

サンプル・ライブラリ

Sample Library タブ (図 9) では、過去に保存したサンプル・データの管理や比較を行うことができます。左側はすべてのサンプルのリストで、右側には現在選択されているサンプルの吸収率が表示されます。

CTRL キーを押しながらクリックしていけば、複数のサンプルを選ぶことができます。この機能は、複数サンプルの吸収

率を互いに直接比較するために使用できます。サンプルを選択して **Remove** をクリックすることにより、ライブラリからサンプルを削除することもできます。ライブラリから削除したサンプルを回復することはできません。

EVAL-CN0363-PMDZ ボードの写真を図 10 に示します。



図 9. Sample Library タブ画面

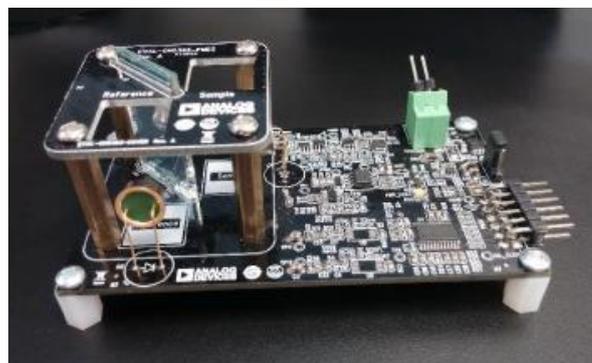


図 10. EVAL-CN0363-PMDZ の写真

さらに詳しい資料

CN-0363 Design Support Package :

www.analog.com/CN0363-DesignSupport

Orozco, Luis. “Synchronous Detectors Facilitate Precision, Low-Level Measurements.” *Analog Dialogue* 48-11, November 2014.

Analog Dialogue 47-05 : 分光システムのダイナミック・レンジを最大限に拡大するプログラマブル・ゲイン・トランスインピーダンス・アンプ

Kester, Walt, Scott Wurcer, and Chuck Kitchin. *High Impedance Sensors, Practical Design Techniques for Sensor Signal Conditioning, Section 5*. 1999.

Skoog, Douglas A., F. James Holler, and Stanley R. Crouch. “An Introduction to Spectrometric Methods.” *Instrumental Analysis*. USA: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2007.

データシートと評価ボード

AD7175-2 データシート

ADA4528-1 データシート

AD8615 データシート

AD5201 データシート

ADA4805-1 データシート

ADG633 データシート

ADG733 データシート

ADG704 データシート

ADG819 データシート

改訂履歴

5/15—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。