



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/CN0409> をご覧ください。

接続または参考にしたデバイス

ADPD105	フォトメトリック・フロント・エンド
ADP7105	20V、500mA、低ノイズのソフト・スタート機能付き LDO レギュレータ
LTC4313	高ノイズ・マージンの双方向 I ² C ロジック・レベル変換器

低レベル～高レベルの濁度測定システム

評価と設計支援

回路評価用ボード

CN-0409 回路評価用ボード (EVAL-CN0409-ARDZ)

Arduino (アルドゥイーノ) 互換プラットフォーム・ボード (EVAL-ADICUP360)

設計および統合ファイル

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 に示す回路は、測光用フロント・エンドおよび、波長 860nm の赤外 (IR) 発光素子とシリコン PIN フォトダイオードからなるネットワークを使用して、濁度測定システムを構成したものです。濁度は、水中に分散または浮遊し飲用水や環境条件に影響する固体の存在を示す重要な水質指標で、これらの浮遊固体が光の透過率を低下させる度合いによって示される、定性的な特性です。濁度測定では、水中の分散粒子を直接測定するのではなく、そのような粒子が光に及ぼす散乱効果を測定します。

このシステムでは、0FTU～1000FTU の範囲にわたる低レベルから高レベルの濁度を測定できます。IR LED およびフォトダイオードからなるネットワークは、一般に広く認められている 2 つの濁度測定規格である、ISO7027 (レシオおよび非レシオ) と GLI 法に対応できるように構成されています。3 点キャリブレーションを行った場合、システムが実現可能な精度 (代表値) は、±0.50FTU または指示値の±5%のいずれか大きいほうとなります。この精度は 0.05FTU のノイズ・レベルを加えた値なので、このシステムで行った測定は非常に信頼できるものと言えます。

ADPD105 には周辺光除去機能があるため、この回路は、高精度、堅牢、非接触の濁度測定が重要なアプリケーションに最適なものとなっています。こうしたアプリケーションには、未加工の大量の水 (下水や飲用水など) の化学分析や環境モニタリングがあります。

プリント回路基板 (PCB) は、Arduino シールド互換のフォーム・ファクタで設計されており、EVAL-ADICUP360 Arduino フォーム・ファクタ互換のプラットフォーム・ボードと直接インターフェースすることで、迅速なプロトタイプングが可能です。

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

©2019 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 愛知県名古屋市西区牛島町 6-1 名古屋ルーセントタワー 38F
電話 052 (569) 6300

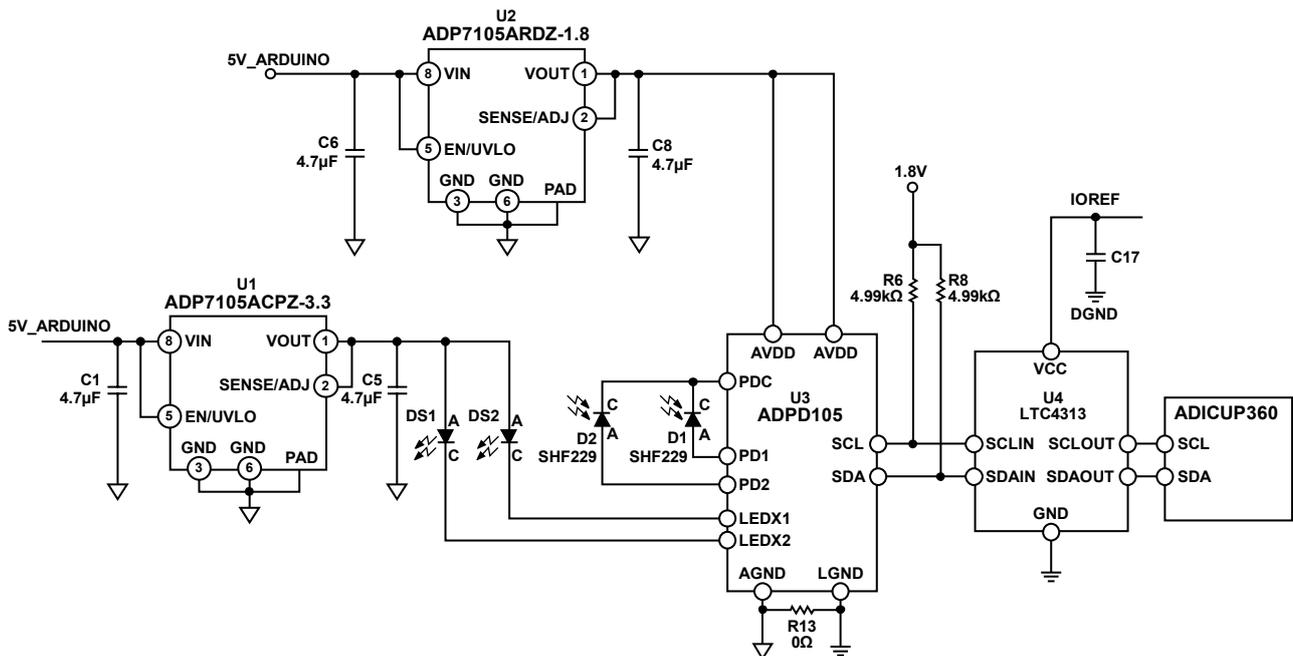


図 1. 簡略化した回路ブロック図

回路の説明

濁度測定

ほぼすべての場合に用いられる重要な水質指標は、分散した浮遊固体、つまり、純粋な溶液には存在しない粒子（多くの場合、沈泥、泥土、藻類、その他の微生物、有機物、その他の微粒子など）の存在です。濁度は、これらの浮遊固体が光の透過率を低下させる度合いによって示される、定性的な特性です。これは、水中の分散粒子を直接測定したのではなく、そのような粒子が光に及ぼす散乱効果を測定したものです。

フォトメトリック・フロント・エンド

CN-0409 回路は、フル機能の光トランシーバーとして動作して 2 個の 860nm 赤外発光素子（DS1 および DS2）とシリコン PIN フォトダイオード（D1 と D2）を駆動する、ADPD105 測光用フロント・エンドを使用しています。フォトダイオードから受信したデータは、被験溶液を透過する際に散乱されたエネルギー量の測定データです。濁度が 1FTU 未満の溶液は、光をほとんどあるいはまったく阻害せず、そのため、測定された散乱効果は無視できます。濁度が増加すると、浮遊固体の数も増加して光の直線ビームの妨げとなり、途中で一部のエネルギーが散乱されます。濁度と散乱光の比例関係が、ほとんどの濁度測定手法で用いられている基本原理です。

周辺光除去

ADPD105 は、2 つの独立したタイム・スロット、タイム・スロット A とタイム・スロット B で動作し、この両スロットが順番に実行されます。各 LED パルスは検出期間と一致しているため、検出された値は、フォトダイオードが対応する LED パルスにのみ応答して収集した総電荷を表します。周辺光など、LED パルスに対応しない電荷は除去されます。この ADPD105 の機能により、様々な照射条件下でも堅牢な回路となっています。

LED を励起してからデータをキャプチャし、処理を実行するまでの信号バス全体が、各タイム・スロット内で順次処理されます。各タイム・スロットには個別のデータ・バスがあります。これらのデータ・バスは、LED ドライバ、アナログ・フロント・エンド（AFE）のセットアップ、結果のデータごとに、独立した設定を使用します。回路は、860nm の放射光に対応して 100mA のパルスを 2 μ s の間 LED に供給します。特定の LED パルスに対応する電荷がフォトディテクタに蓄積され、この電荷が ADPD105 内でデジタル化されます。信号分解能を向上させるには、16 個の連続パルスを ADPD105 のデジタル・エンジンで平均化します。

電力とデジタルに関する考慮事項

回路では、2 つの ADP7105 低ドロップアウト（LDO）リニア電圧レギュレータを異なる固定電源電圧出力（1.8V と 3.3V）で使用しています。1.8V の出力は ADPD105 に電力を供給し、3.3V 出力は LED をバイアスします。ADP7105 は、優れたノイズ特性（15 μ V rms）とライン・レギュレーション（ \pm 0.015%）特性を備えていますが、これは測定サンプルごとの光強度再現性を確保する上で重要です。このような要因により、CN-0409 は高速（<12 秒）で高精度の濁度測定を実現しています。

濁度測定規格

国際標準化機構（ISO）は、「ISO7027 水質-濁度の測定」として知られる設計規格を定めました。これは、単色光源を必要とすることでよく知られています。この規格に適合する計測器のほとんどは、860nm の LED 光源と、90°の角度に置かれた主検出器を使用します。測定可能な濁度レベルの範囲を拡大するため、180°の角度に検出器を置くなど、他の検出角度を追加することもできます。

0FTU～40FTU の濁度では、90°検出器が散乱に対して最も直線性の高い応答を示します。濁度レベルが低い場合は、粒子が入射光の波長よりはるかに小さいため、対称的な散乱分布を示します。浮遊固体の数と大きさがこの範囲内で増加する場合、90°検出器は直線的に比例する量の散乱光を受光します。この方法は、1つの検出器だけを使用するため、非レシオ ISO7027 と呼ばれます。

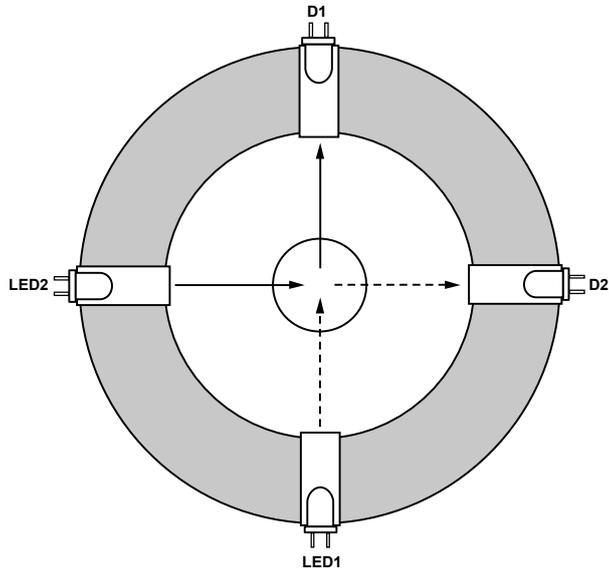


図 2. ISO7027 非レシオ検出法

40FTU～4000FTU の高い濁度レベルでは、非レシオ法と同じ直線性を得るために、検出器を追加する必要があります。このような種類の溶液中の大きな粒子は、非対称な光散乱分布を示すため、前方散乱光の強度が増加します。CN-0409 の ISO7027 レシオ法では、90°検出器と 180°検出器の比を使用して、理論的には最大 4000FTU までの濁度レベルを測定します。

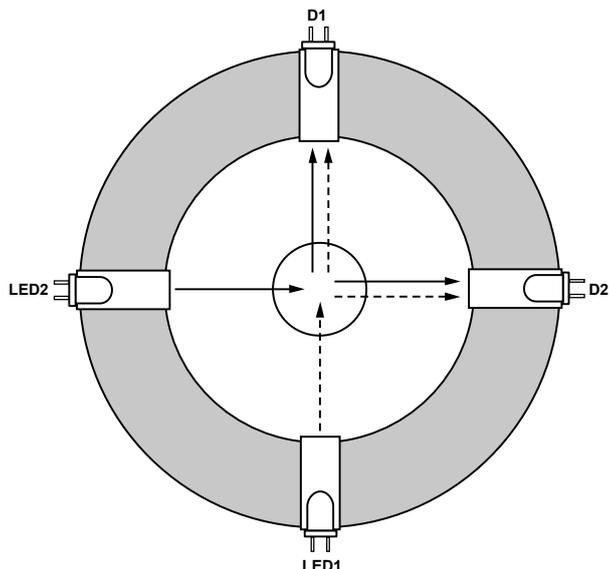


図 3. ISO7027 レシオ検出法

ISO7027 非レシオの実行

ADPD105 は最大 4 個のフォトディテクタと 3 個の LED 光源に対応できます。ISO7027 非レシオ測定法を実行するため、CN-0409 では、2 個の IR LED と 2 個のフォトディテクタを使用します。ADPD105 のコア回路は、LED を駆動し、アナログ・ブロックに戻された光強度を 2 個のフォトディテクタを使用して測定します。LED は 2 つの異なるタイム・スロットで駆動され、これらのタイム・スロットが順次処理されます。LED を励起してからデータをキャプチャし、処理を実行するまでの信号パス全体が、各タイム・スロット内で実行されます。これは、2 個の LED が相互に干渉し合うのを防止する上で重要です。

タイム・スロット A の間、LED2 が駆動され、これに対応する散乱光が 90° 検出器 D2 を使用して検出されます。同じことが、タイム・スロット B で LED1 と D4 検出器を使用して行われます。実際には、非レシオ測定を行うために必要なのは、1 つのタイム・スロットだけです。しかし、LED とフォトディテクタからなる CN-0409 ネットワークは、他のデータ・ポイントを他のタイム・スロットから引き出し、そのデータ・ポイントも使用できるように構成されています。最終的な FTU は次式で計算されます。

$$FTU = m\sqrt{(D2^2 + D4^2)} + b$$

ここで、

m はキャリブレーションから得た傾き (FTU/LSB)、

$D2$ はタイム・スロット A の間に検出器 D2 から得たコード (LSB)、

$D4$ はタイム・スロット B の間に検出器 D4 から得たコード (LSB)、

b はキャリブレーションから得たインターセプト (FTU) です。

ISO7027 レシオの実行

CN-0409 では、ISO7027 レシオ法も、非レシオと同様に実行できますが、180° 検出器を追加する必要があります。

追加の検出器は 100FTU を超える濁度レベルを測定する場合に必要ですが、それは、このような溶液に存在する大きな粒子が非対称な散乱光分布を示すためです。CN-0409 では 90° 検出器と 180° 検出器の比を使用して、濁度レベル測定の直線範囲を拡大しています。最終的な FTU 測定は次式を使用して計算されます。

$$FTU = m\sqrt{(x^2 + y^2)} + b$$

ここで、

m はキャリブレーションから得た傾き (FTU/LSB)、

x はタイム・スロット A の間の 90° 検出器のコードと 180° 検出器のコードとの比、

y はタイム・スロット B の間の 90° 検出器のコードと 180° 検出器のコードとの比、

b はキャリブレーションから得たインターセプト (FTU) です。

自動範囲設定機能

前述のように、各規格が正確なのは一定の濁度範囲のみです。ISO7027 非レシオ法は、0FTU～40FTU の濁度レベルでのみ正確で、レシオ法は 40FTU～1000FTU のより高い濁度レベルで正確です。提供されているソフトウェアは自動範囲設定機能を備えており、被験溶液に対し適切な規格を選択します。これによって、報告される濁度レベルは常に精度と信頼性が高いものになります。

自動範囲設定のフローは、図 4 に示すように、閾値と比較する単純なプロセスです。

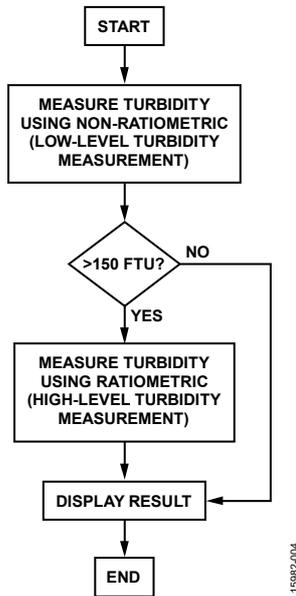


図 4. 自動範囲設定のフロー

システムの精度

CN-0409 の回路には、市販の濁度計と同等の精度があります。表 1 に、CN-0409 と市販濁度計を並べて比較します。

表 1. 仕様の比較

パラメータ	市販濁度計	CN-0409
Range	0FTU~1000FTU	0FTU~1000FTU
精度	±0.5FTU または指示値の±5% (いずれか大きいほう)	±0.5FTU または指示値の±5% (いずれか大きいほう)
ノイズ	該当せず	0.05FTU (0FTU~1000FTU)
キャリブレーション	3点: 0FTU、10FTU、500FTU	3点: 0.02FTU、100FTU、800FTU
規格	ISO7027 非レシオ (単一 LED 測定)	ISO7027 非レシオおよびレシオ (デュアル LED 測定)
測定時間	25 秒	<12 秒

CN-0409 は、同じ溶液セットを測定した場合、市販濁度計と比べ優れた性能を示します。図 5 に示すように、CN-0409 を使用した場合の誤差は、市販の濁度計の誤差よりも小さくなります。

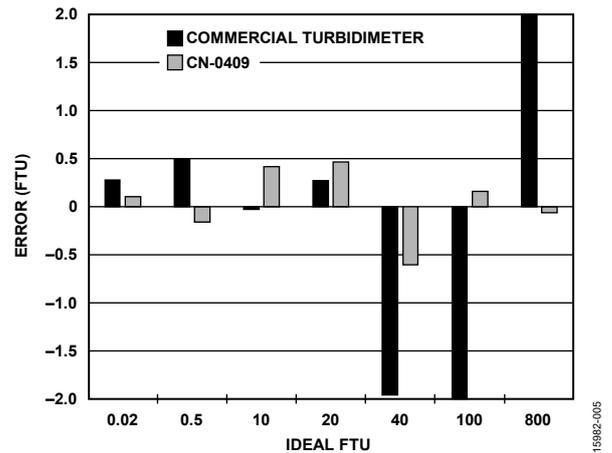


図 5. 誤差の比較

キャリブレーションによる精度向上

非常に低いレベルの濁度で濁度計をキャリブレーションし検証するプロセスは、ユーザの技術にも、周囲の環境にも極めて敏感です。1.0NTU 未満の濁度レベルを測定する場合、泡や粒子の汚染を原因とする干渉（高レベルでもわずかに問題となることがあります）によって、偽陽性の指示値や無効な検証結果が生じる可能性があります。

高精度濁度測定に必要な高レベルの精度を実現するには、CN-0409 で擬似 3 点キャリブレーション・ルーチンが必要です。CN-0409 は、工場出荷時のキャリブレーション係数で事前にプログラムされていますが、入手可能なバイアル溶液やキャリブレーション溶液などの変数によっては、一定期間後に回路をキャリブレーションする必要があります。キャリブレーションに使用する溶液は、Oakton の 0.02FTU、100FTU、800FTU (T100 キャリブレーション・キット) です。CN-0409 のキャリブレーション領域を図 6 に示します。低濁度測定で使用する非レシオ法では、0.1FTU と 100FTU の溶液を使用してキャリブレーションの傾きとインターセプトを取得します。一方、レシオ法では、100FTU と 800FTU の溶液を使用して必要なキャリブレーション値を取得します。

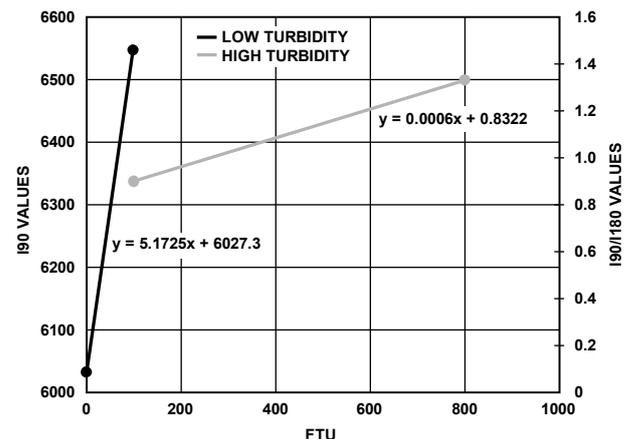


図 6. CN-0409 のキャリブレーション領域

システム・ノイズ性能

CN-0409 のノイズ・レベルはわずか ± 0.05 FTU であるため、再現性のある濁度測定を提供します。

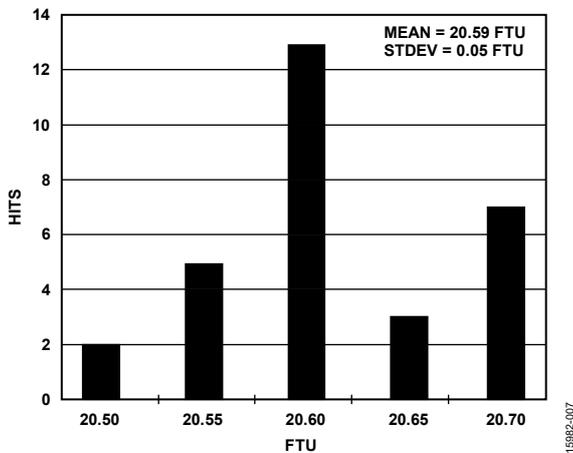


図 7. CN-0409 のノイズ・レベル

実際の考慮事項

実際のアプリケーションでは、濁度測定のセットアップには多くの誤差源があるため、干渉が生じて計測器の精度が低下する場合があります。これらの誤差源の 1 つが迷光です。

迷光は、低レベルの濁度測定においては大きな誤差源です。迷光は光学システムの検出器に到達しますが、サンプルから生じたものではありません。計測器は、サンプルからの散乱光と計測器内の迷光源の両方に応答します。迷光の影響を抑制するには、次のガイドラインを参考にしてください。

- サンプル・バイアルは、細心の注意を払って清浄にする必要があります。クリーニングには、洗剤と脱イオン水でバイアルを洗浄し、塩酸溶液にサンプル・バイアルを浸し、限外ろ過脱イオン水ですすぎ、シリコン・オイルで磨く工程が含まれます。
- サンプルのバイアルには目印を付けることが必要です。クリーニング・プロセス後、そのバイアルを使用して非常に低濁度の溶液を測定します。最低の濁度が測定されたポジションに目印を付け、後続の測定はこのポジションで行います。
- 気泡が消失するよう溶液を数分間静止させ、気泡を除去します。
- 可能ならば、最適なポジションに印を付けた 1 つのサンプル・バイアルのみを使用します。

バリエーション回路

ADPD105 を使用することで、濁度測定や一般的なフォトダイオード設計に対し柔軟性がもたらされ、カスタマイズが可能となります。135° と 45° の位置に第 3、第 4 のフォトディテクタを接続すると、より精巧な比例測定が実行でき、最大 10000FTU の濁度レベルまで範囲を広げることができます。

評価とテスト

この回路は、[EVAL-CN0409-ARDZ](#) シールド回路ボードと [EVAL-ADICUP360](#) Arduino 互換プラットフォーム・ボードを使用します。プラットフォーム・ボードの詳細なユーザ・ガイドは、www.analog.com/jp/EVAL-ADICUP360 で入手できます。

必要な装置

以下の装置類が必要になります。

- EVAL-CN0409-ARDZ 回路ボード
- USB ポート付きで Windows®7 (32 ビット) 以降を搭載した PC
- CN-0409 ファームウェアを搭載した EVAL-ADICUP360 Arduino 互換プラットフォーム
- シリアル・ターミナル・ソフトウェア (PuTTY、Tera Term、その他同様のもの)
- USB A-micro USB ケーブル
- テスト用バイアル
- 濁度キャリブレーション用溶液：Oakton T100、HI88703-11、または Cole Parmer 濁度キット

テスト・セットアップの機能ブロック図

試験構成の機能図を図 8 に示します。

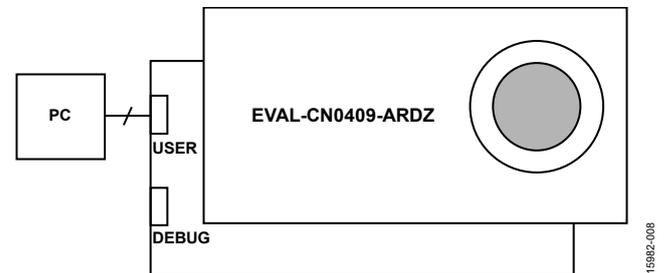


図 8. テスト・セットアップの機能ブロック図

セットアップ

評価用回路のセットアップは、以下の手順に従います。

1. EVAL-CN0409-ARDZ シールド・ボードを EVAL-ADICUP360 プラットフォーム・ボードに差し込みます。
2. EVAL-ADICUP360 ユーザ・ガイドの指示に従って、EVAL-ADICUP360 の仮想 COM USB ポートを PC に接続します。
3. CN-0409 ファームウェアの UART 設定にマッチするようシリアル・ターミナル・ソフトウェアをセットアップし、正しい仮想 COM ポートを選択します。
4. EVAL-ADICUP360 のリセット・ボタンを押すと、ソフトウェアによって水濁度測定の手順が表示されます。

ハードウェアおよびソフトウェアの動作の詳細については、CN-0409 ユーザ・ガイド (www.analog.com/jp/CN0409-UserGuide) を参照してください。

EVAL-CN0409-ARDZ 回路ボードと EVAL-ADICUP360 Arduino 互換シールド・ボードを使用した、水濁度測定の実験・テストのセットアップ写真を図 9 に示します。



図 9. EVAL-CN0409-ARDZ および EVAL-ADICUP360 を使用した水濁度測定の実験・テスト

更に詳しい資料

CN-0409 Design Support Package:
www.analog.com/CN0409-DesignSupport

ADICUP360 User Guide

Sadar, Michael J. *Turbidity Science*. Technical Information Series—
Booklet No. 11. 1998.

“Measuring Turbidity, TSS and Water Clarity.” www.fondriest.com.

データシートと評価用ボード

CN-0409 回路評価用ボード (EVAL-CN0409-ARDZ)

Arduino 互換プラットフォーム・ボード (EVAL-ADICUP360)

ADPD105 データシート

ADP7105 データシート

LTC4313 データシート

改訂履歴

3/2018—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。

©2019 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。