



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/CN0357> をご覧ください。

使用したリファレンス・デバイス	
ADA4528-2	5.0 V、超低ノイズ、ゼロ・ドリフトの RRIO デュアル・オペアンプ
AD5270-20	1024 ポジション、1%抵抗許容誤差の 50-TP メモリ・デジタル・レオスタット
ADR3412	マイクロパワー、0.1%精度の 1.2 V 電圧リファレンス
AD8500	マイクロパワー RRIO オペアンプ
AD7790	低消費電力の 16 ビット・シグマ・デルタ ADC

## ラピッド・プロトタイピング用のプログラマブル・ゲイン TIA 内蔵電気化学センサーを使用した低ノイズの単電源有毒ガス検出器

### 評価と設計支援

#### 回路評価用ボード

- CN-0357 評価用ボード (EVAL-CN0357-PMDZ)
- SDP-Pmod インターポーザ・ボード (PMD-SDP-IB1Z)
- 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)

#### 設計および統合ファイル

- 回路、レイアウト・ファイル、BOM

### 回路の機能と利点

図 1 に示す回路は、電気化学センサーを使用する単電源、低ノイズの携帯型ガス検出器です。この例では、Alphasense CO-AX 一酸化炭素センサーを使用します。

電気化学センサーには、有毒ガスの濃度を検出または測定する機器に適した数多くの利点があります。大部分のセンサーは対象となるガスが決まっており、使用可能な分解能はガス濃度の 1 ppm 未満です。

図 1 に示す回路には ADA4528-2 が使われています。このデバイスは、デュアル・オートゼロ・アンプで、室温での最大オフセット電圧は 2.5  $\mu\text{V}$ 、電圧ノイズ密度はクラス最高レベルの

5.6  $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$  です。さらに、材料構成を変えずに異なるガス・センサー・システムのラピッド・プロトタイピングができるように、固定トランスインピーダンス抵抗ではなく、AD5270-20 プログラマブル・レオスタットを使用しています。

ADR3412 高精度低ノイズ・マイクロパワー・リファレンスは、0.1%の精度と 8 ppm/°C のドリフトで 1.2 V のコモンモード疑似グラウンド・リファレンス電圧を提供します。

ppm 単位のガス濃度の測定が重要なアプリケーションでは、ADA4528-2 と ADR3412 を使用することで、AD7790 などの 16 ビット ADC への接続に適した回路性能が得られます。

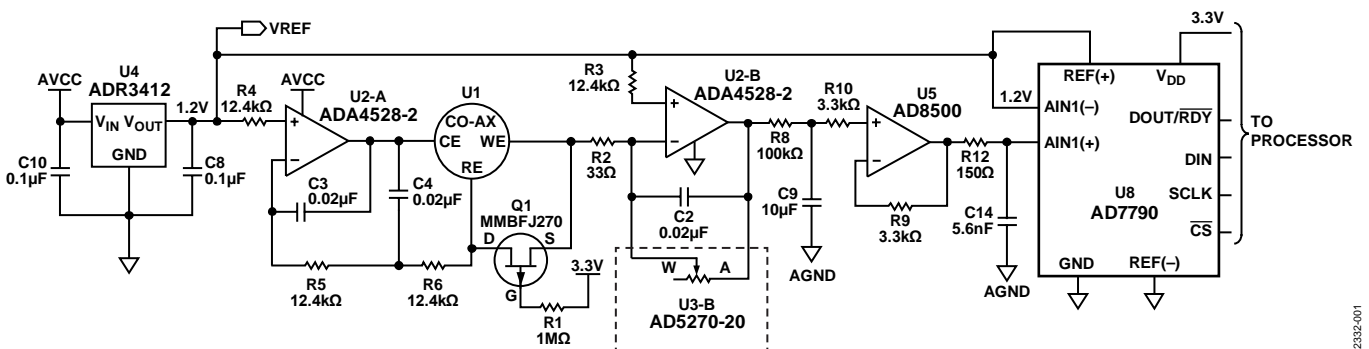


図 1. 低ノイズのガス検出回路（簡略図：全接続の一部とデカップリングは省略されています）

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。

## 回路の説明

電気化学センサー測定回路の簡略図を図 2 に示します。電気化学センサーは、メンブランからセンサー内にガスを拡散させ、作用電極 (WE) によってガスを検出します。センサーの基準電極 (RE) はアンプ U2-A にフィードバックし、U2-A は対電極 (CE) の電位を変化させて WE 端子を一定の電位に保ちます。WE 端子における電流の方向は、センサー内で発生する反応が酸化か還元かによって決まります。一酸化炭素センサーの場合は酸化反応になります。したがって電流は作用電極に流れますが、そのためには、作用電極に対して対電極が負の電圧となる必要があります (通常は 300~400 mV)。異なるタイプのセンサーでも動作するよう十分な余裕を確保するには、CE 端子駆動用オペアンプの出力電圧範囲を  $V_{REF}$  の約  $\pm 1$  V とする必要があります (Alphasense アプリケーション・ノート AAN-105-03、*Designing a Potentiostatic Circuit*、Alphasense, Ltd.)。

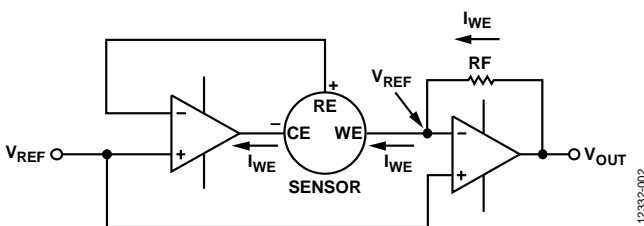


図 2. 電気化学センサー回路簡略図

WE 端子への電流は、ガス濃度 1 ppm あたり 100 nA です。したがって、この電流を出力電圧に変換するには、入力バイアス電流が極めて低いトランスインピーダンス・アンプが必要です。ADA4528-2 オペアンプは、室温における最大入力バイアス電流が 220 pA の CMOS 入力があるため、このアプリケーションに適しています。

ADR3412 はこの回路に疑似グラウンド・リファレンスを提供し、これによって単電源動作が可能になる一方で、無信号時消費電流が非常に少なくなります (最大 100  $\mu$ A)。

アンプ U2-A は、センサーの WE 端子と RE 端子の間の電位を 0 V に保つために、CE 端子から十分な電流をシンクします。RE 端子はアンプ U2-A の反転入力に接続しています。したがって、ここから電流が出たり入ったりすることはありません。つまり、電流は WE 端子から入り、ガス濃度に比例して変化することを意味します。トランスインピーダンス・アンプ U2-B は、センサー電流をガス濃度に比例した電圧に変換します。

この回路用に選ばれたセンサーは、Alphasense CO-AX 一酸化炭素センサーです。この種の汎用一酸化炭素センサーの標準的仕様を表 1 に示します。

警告：一酸化炭素は有毒で、濃度が 250 ppm を超えると危険です。したがって、この回路のテスト時には細心の注意を払ってください。

表 1. 代表的な一酸化炭素センサーの仕様

Parameter	Value
Sensitivity	55 nA/ppm to 100 nA/ppm (65 nA/ppm typical)
Response Time ( $t_{90}$ from 0 ppm to 400 ppm CO)	<30 seconds
Range (ppm) CO, Guaranteed Performance)	0 ppm to 2,000 ppm
Overrange Limit (Specifications Not Guaranteed)	4,000 ppm

トランスインピーダンス・アンプの出力電圧は次式で得られます。

$$V_O = 1.2 \text{ V} + I_{WE} \times R_F \quad (1)$$

ここで  $I_{WE}$  は WE 端子への電流、 $R_F$  はトランスインピーダンス帰還抵抗です (図 1 では AD5270-20 U3-B レオスタット)。

CO-AX センサーの最大応答は 100 nA/ppm で、最大入力範囲は一酸化炭素濃度で 2000 ppm です。これらの値から最大出力電流は 200  $\mu$ A となり、最大出力電圧は式 2 に示すようにトランスインピーダンス抵抗によって決まります。

$$V_O = 1.2 \text{ V} + 2000 \text{ ppm} \times 100 \frac{\text{nA}}{\text{ppm}} \times R_F$$

$$V_O = 1.2 \text{ V} + 200 \mu\text{A} \times R_F \quad (2)$$

AD7790 の  $V_{REF}$  に 1.2 V の電圧を加えると、トランスインピーダンス・アンプ U2-B の出力における使用可能範囲を  $\pm 1.2$  V とすることができます。トランスインピーダンス帰還抵抗に 6.0 k $\Omega$  の抵抗を使用すると、最大出力電圧は 2.4 V となります。

一酸化炭素 ppm 濃度の関数としての回路出力電圧を式 3 に示します。ここでは、センサーの標準応答を 65 nA/ppm としています。

$$V_O = 1.2 \text{ V} + 390 \frac{\mu\text{V}}{\text{ppm}} \quad (3)$$

AD5270-20 の公称抵抗値は 20 k $\Omega$  です。抵抗の位置は 1024 あるため、抵抗ステップ・サイズは 19.5  $\Omega$  です。AD5270-20 の抵抗温度係数は 5 ppm/ $^{\circ}$ C で、大部分のディスクリット抵抗よりも優れています。また、電源電流は 1  $\mu$ A であるため、システム全体の消費電流にはほとんど影響しません。

抵抗 R4 はノイズ・ゲインを妥当なレベルに維持します。高濃度のガスにさらされる場合、ノイズ・ゲインの大きさとセンサーのセトリング時間誤差とのバランスを図って抵抗の値を決めます。式 4 に示す例では R4=33  $\Omega$  であり、ノイズ・ゲインは 183 となります。

$$NG = 1 + \frac{6.0 \text{ k}\Omega}{33 \Omega} = 183 \quad (4)$$

トランスインピーダンス・アンプの入力ノイズは、ノイズ・ゲインにより増幅されて出力に現れます。この回路では、センサーの動作周波数が非常に低いため、問題となるのは低周波ノイズだけです。ADA4528-2には0.1 Hzから10 Hzの範囲で

97 nV p-pの入力電圧ノイズがあります。したがって、式5に示すように出力におけるノイズは18 μV p-pです。

$$V_{\text{OUTPUTNOISE}} = 97 \text{ nV} \times NG = 18 \text{ } \mu\text{V p-p} \quad (5)$$

これは非常に低い周波数の1/fノイズなので、フィルタで除去するのは困難です。しかし、センサー応答も非常に遅いので、カットオフ周波数が0.16 Hzの、周波数が非常に低いローパス・フィルタ(R5とC6)を使用することができます。このような低周波フィルタでも、センサーの応答時間が30秒であることから、センサーの応答に与える影響は無視することができます。

システムのノイズフリー・コード分解能はピーク to ピーク出力ノイズから得られます。ADA4528-2の最大出力は2.4 Vであるため、ノイズフリー・カウント数は次のようになります。

$$\text{Total Noise Free Counts} = \frac{2.4 \text{ V}}{18 \text{ } \mu\text{V p-p}} = 64,865 \quad (6)$$

ノイズフリー・コード分解能は以下のとおりです。

$$\text{Noise Free Code Resolution} = \log_2(64,865) = 15.9 \text{ bits} \quad (7)$$

使用可能な全ADC範囲(±1.2 V)を利用するために、AD8500 マイクロパワー、レール to レール入出力アンプを使用してAD7790の入力を駆動します。全範囲が必要な場合はAD8500を使わず、代わりにAD7790の内蔵バッファを使用することができます。

電気化学センサーの重要な特性のひとつは、時定数が非常に長いことです。最初の電源投入時は、出力が最終的な値に落ち着くまでに数分かかることがあります。濃度が中程度の対象ガス内にセンサーを置いた場合、センサー出力がその最終値の90%に達するまでに要する時間は、25秒から40秒程度に達することもあります。RE端子とWE端子の間の電圧の大きさが突然変化した場合は、センサーの出力電流が落ち着くまでに数分かかります。この長い時定数は、センサーへの電源をオン/オフした場合にもあてはまります。スタートアップ時間が極端に長くなるのを避けるために、電源電圧がJFETのゲート/ソース閾値電圧(約2.0 V)未満に低下すると、PチャンネルJFET Q1がRE端子とWE端子を短絡します。

## バリエーション回路

電気化学センサーは極めて少量の電流で動作するため、携帯型のバッテリー駆動機器に適しています。消費電力をさらに低く抑える必要がある場合はADA4505-2アンプが適しています。このアンプは最大入力バイアス電流が2 pAで、アンプあたりの消費電流はわずか10 μAです。ただし、ADA4505-2はADA4528-2よりもノイズが大きくなります。

ADR291 高精度電圧リファレンスの消費電流はわずか12 μAであり、低消費電力が求められる場合はADR3412の代わりに使用することができます。

詳細については回路ノートCN-0234をご覧ください。

## 回路評価とテスト

図1に示す回路は、EVAL-CN0357-PMDZ 回路評価用ボード、PMD-SDP-IB1Z インターポーザ・ボード、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-B) コントローラ・ボードを使用しています。さらに、EVAL-CN0357-PMDZはPmod フォーム・ファクタで作られているので、あらゆるPmod コントローラ・ボードに接続でき、ラピッド・プロトタイピングが可能です。

CN-0357 評価用ソフトウェアはSDPボードと通信して、EVAL-CN0357-PMDZ 回路評価用ボードからのデータを取り込みます。

## 必要な装置

CN-0357 回路の評価には以下の装置が必要です。

- Windows® XP、Windows Vista (32ビット版)、または Windows 7 (32ビット版) 搭載のUSBポート付きPC
- EVAL-CN0357-PMDZ 評価用ボード
- PMD-SDP-IB1Z インターポーザ・ボード
- EVAL-SDP-CB1Z コントローラ・ボード
- CN-0357 評価用ソフトウェア
- キャリブレーション・ガス (250 ppm 未満)
- EVAL-CFTL-6V-PWRZ または同等の6 VDC 電源

## 評価開始にあたって

CN-0357 評価用ソフトウェアのディスクをPCのCDドライブに挿入し、評価ソフトウェアをロードしてください。マイ・コンピュータを使用して評価ソフトウェアCDがセットされたドライブを見つけ、setup.exeを実行します。画面に表示されるメッセージに従って評価用ソフトウェアをインストールし、使用してください。

## 機能ブロック図

テスト・セットアップの機能ブロック図を図3に示します。CN-0357 設計支援パッケージには、評価用ボードの完全な回路図のほか、ガーバー・ファイルやBOMが含まれています。

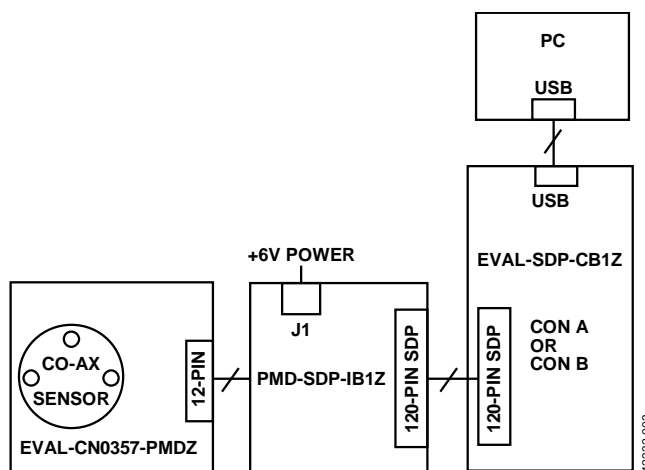


図3. テスト・セットアップ機能ブロック図

## セットアップ

EVAL-CN0357-PMDZ 回路評価用ボードのソケットに電気化学センサーを接続します。

EVAL-CN0357-PMDZをインターポーザ・ボードに接続し、インターポーザ・ボードのジャンパが+3.3 V用に設定されていることを確認します。次に SDP-B ボードをインターポーザ・ボードに接続し、DC バレル・ジャックを介してインターポーザ・ボードに電源を供給します。

SDP-B ボード付属の USB ケーブルを PC の USB ポートと SDP-B ボードに接続します。

デバイス・マネージャに Analog Devices System Development Platform が表示されていれば、ソフトウェアと SDP ボードは通信可能です。USB 通信が確立されていれば、SDP ボードを使用して EVAL-CN0357-PMDZ 回路評価用ボードへのシリアル・データの送信、受信、取り込みを行うことができます。

## テスト

CN-0357 評価用ソフトウェアのインストール場所へ移動して CN0357.exe ファイルを開きます。(このファイルはオペレーティング・システムのスタート・メニュー内の Analog Devices というフォルダ内に置きます。)

アプリケーションを起動すると、ソフトウェアは自動的に SDP-B ボードに接続します。複数の SDP-B コントローラ・ボードが接続されている場合は、選択したボードの LED が点滅します。

CN-0357 評価用ソフトウェア・ユーザー・ガイドには、評価用ソフトウェアを使用してデータを取り込む方法に関する情報と詳細が記載されています。

このボードの入力信号はガス濃度です。したがって、キャリブレーション・ガス源が必要です。一酸化炭素を使用してテストを行う場合は、250 ppm が短時間曝露限界である点に留意してください。

このソフトウェアはあらゆる電気化学センサーを使用できるように設計されているため、選択したセンサーに合った正しい仕様を入力することが重要です。

AD5270-20 デジタル・レオスタットの抵抗を計算して設定するには、最大センサー感度とセンサー範囲が必要です。この値は符号付きの値です。電流をシンクするセンサーには正の値、電流をソースするセンサーには負の値が使われます。

システム変換係数 (ppm/mV) の計算にはセンサー感度の代表値を使用します。

Run ボタンをクリックすると、1 秒間隔で濃度データの収集を開始します。

図 4 は 175 ppm CO の雰囲気中から急にセンサーを取り出した後の回路応答を示したもので、この回路の性能を良く表しています。

EVAL-CN0357-PMDZ ボードの写真を図 5 に示します。

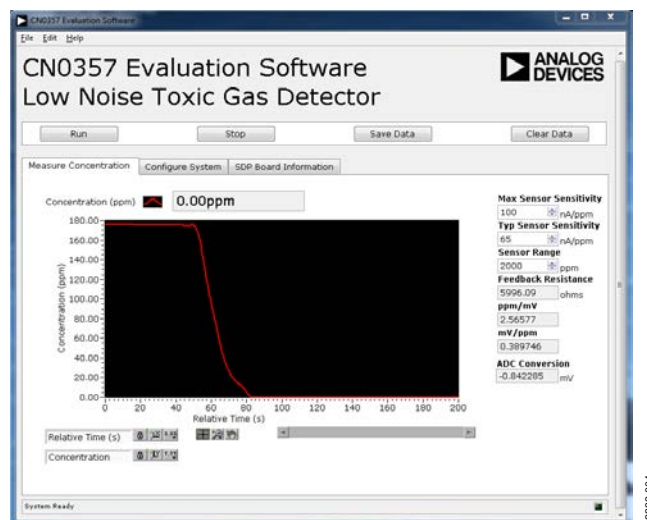


図 4. 一酸化炭素濃度が 175 ppm から 0 ppm に突然変化したときの応答



図 5. EVAL-CN0357-PMDZ 評価用ボード

## さらに詳しい資料

CN-0357 設計支援パッケージ :

<http://www.analog.com/CN0357-DesignSupport>

AN-1114 : 5.6 nV/√Hz の電圧ノイズ密度を持つ最小ノイズのゼロ・ドリフト・アンプ

MS-2066 Article : Low Noise Signal Conditioning for Sensor-Based Circuits, Analog Devices.

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

CN-0234 回路ノート : 電気化学センサーを使用した単電源、マイクロパワー毒ガス検出器

Alphasense Application Note AAN-105-03, Designing a Potentiostatic Circuit, Alphasense Limited.

## データシートと評価用ボード

CN-0357 回路評価用ボード (EVAL-CN0357-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)

ADA4528-2 データシート

AD5270-20 データシート

ADR3412 データシート

AD8500 データシート

AD7790 データシート

## 改訂履歴

7/14—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に作られており、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。