



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/CN0395> をご覧ください。

接続または参考にしたデバイス

ADN8810	12 ビット高出力電流源
AD7988-1	MSOP/LFCSP 収容の 16 ビット低消費電力 PulSAR ADC
ADG758	チップ・スケール・パッケージ収容の 3Ω、4/8 チャンネルのマルチプレクサ
ADG884	0.5Ω CMOS、デュアル 2:1 MUX/SPDT オーディオ・スイッチ
ADR4540	超低ノイズの高精度電圧リファレンス
ADP124-2.5	5.5V 入力、500mA、低静止電流の CMOS リニア電圧レギュレータ
AD8628	ゼロドリフト、単電源、レール to レール 入出力のオペアンプ
ADP196	5V、3A、ロジック制御のハイサイド・パワー・スイッチ

室内空気質計測のための揮発性有機化合物検出器

評価と設計支援

回路評価用ボード

[CN-0395 回路評価用ボード \(EVAL-CN0395-ARDZ\)](#)

[ADICUP360 評価用ボード \(EVAL-ADICUP360\)](#)

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、金属酸化物センサーを使用して揮発性有機化合物のガス成分を検出することで、室内空気質を計測するも

のです。センサーは加熱抵抗器と検出抵抗器から成ります。検出抵抗器が加熱されると、その値は様々なガスの濃度の関数として変化します。

回路には、ヒータ電流を高い精度で制御するために 12 ビットの電流出力 D/A コンバータ (DAC) が用いられており、ヒータは、柔軟なソフトウェアによって、定電流、定電圧、定抵抗、定温度の 4 通りのモードのいずれかで動作可能です。

回路は、5 つの範囲をソフトウェアで選択可能な抵抗分圧器によって、広い範囲の検出抵抗値を測定できます。ボードには、ガス濃度値の補償に使用される温湿度センサーも備わっています。

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。

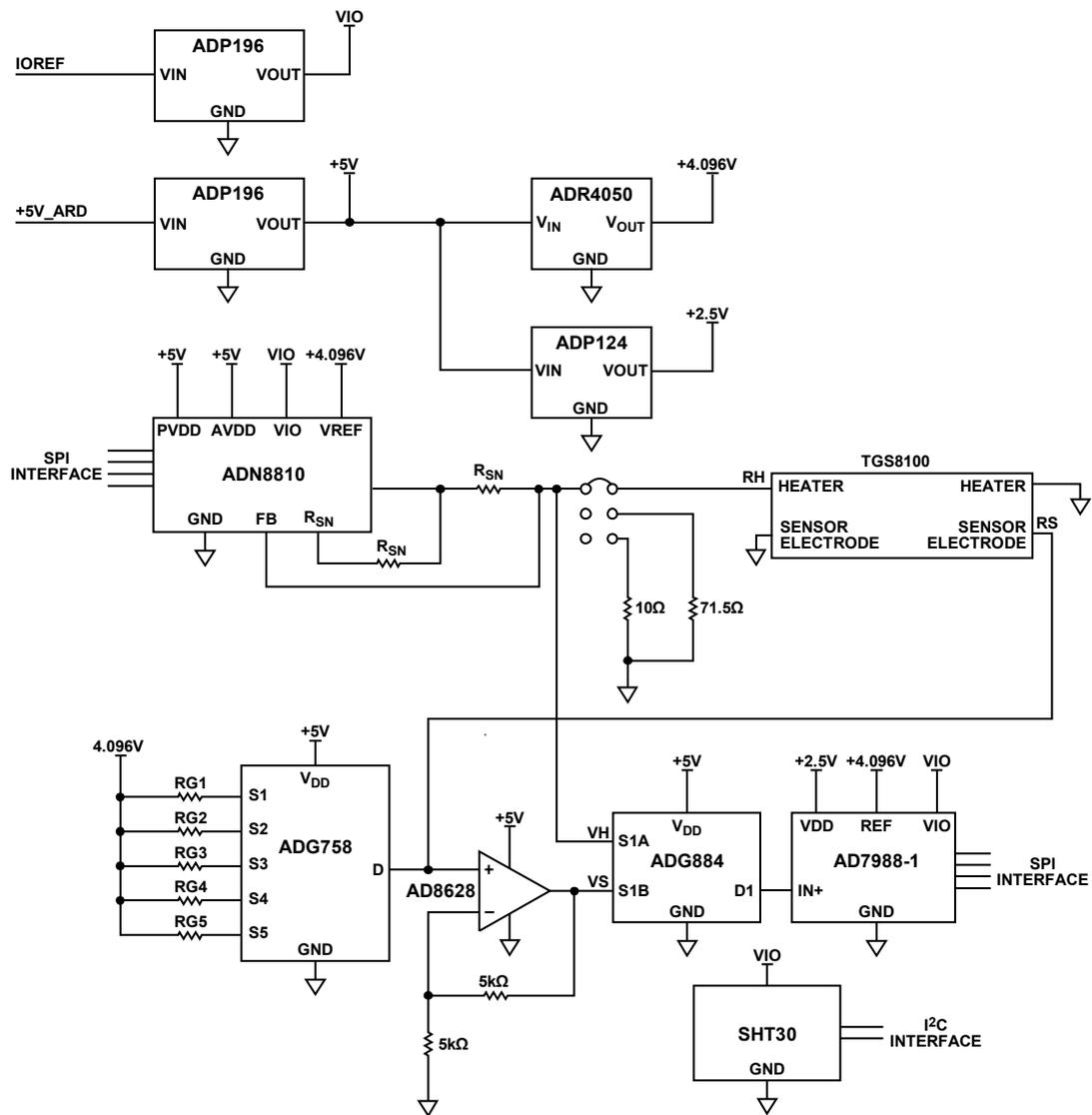


図 1. 金属酸化物センサーと 12 ビット電流出力 DAC を使用する、
単電源で全機能内蔵型の 16 ビット揮発性有機化合物検出器
(簡略化した回路図、全接続の一部およびデカップリングは省略されています)

回路の説明

回路は、Figaro TGS8100 センサー用に最適化されています。このセンサーは、MEMS 技術を使用してシリコン基板上に形成した、MOS センサー・チップと内蔵ヒータで構成されています。ハードウェアおよびソフトウェアに適切な変更を加えることで、他の MOS センサーも使用できます。

テストは、ガス室で一酸化炭素を使用して行いました。結果については、センサーのデータシートの仕様表と関連付けを行いました。

ヒータ・ドライバ

ADN8810 は、出力電流が最大 300mA まで調整可能な 12 ビット電流源です。フルスケール電流は、2 つの出力検出抵抗器で設定します。これらの抵抗器を選択してフルスケール電流を設定することは、ボードにインストールするセンサーの設計仕様にとって非常に重要です。フルスケール電流は、故障が生じないよう、センサーの最大定格を超えるものであってはなりません。

41.2Ω の検出抵抗を使用すると、ボードのフルスケール電流は約 9.94mA に設定されます。これは、推奨動作電流が 8mA である TGS8100 センサーの安全な上限です。フルスケール電流を検出抵抗の関数として計算するための式は、次のとおりです。

$$I_{FS} \approx \frac{V_{REF}}{10 \times R_{SN}} \quad (1)$$

ここで、 V_{REF} は回路の電圧リファレンス (4.096V)、 R_{SN} は検出抵抗の値です。

キャリブレーションを行わない場合、ADN8810 のフルスケール精度は 1% です。より高い精度を必要とする場合は、71.5Ω または 10Ω の高精度抵抗と P2 ジャンパを使用してフルスケール電流出力を補正できます。

すべての動作（定電流、定電圧、定抵抗、定温度の各モード）において、加熱エレメントを流れる電流量を制御し、AD7988-1 A/D コンバータでヒータ電圧を測定することで、仕様規定されているパラメータの値が維持されます。

ヒータ抵抗とヒータ温度の関係

ヒータ抵抗 RH_T とヒータ温度 TH との間には、次式で表される関係があります。

$$RH_T = RH_0 \times [1 + ALPHA \times (TH - T_0)] \quad (2)$$

ここで、

RH_0 は、周辺温度 T_0 でのヒータ抵抗、

TH はヒータ温度、

$ALPHA$ は、センサーによって決まる定数です。

TGS8100 のデータシートから、次の公称値が得られます。 $VH = 1.8V$ 、 $RH_0 = 110\Omega$ ($T_0 = 20^\circ C$)、 $RH_T = 225\Omega$ ($T_H = 360^\circ C$)。上の式にこれらの値を代入し、定数 $ALPHA$ について解くと、 $ALPHA = 0.003074$ となります。

この式を変形し、 TH を RH の関数として解くと、次式になります。

$$TH = T_0 + (1/ALPHA) \times [(RH_T/RH_0) - 1] \quad (3)$$

モードの値を設定する前に、まず、周辺温度 T_A での実際のヒータ抵抗 RH_A を求める必要があります。この値は、ヒータに $8mA$ を通電し、電流印加後 $20\mu s$ 以内にヒータ電圧 VH_A を測定することで求めることができます。この時点でヒータはまだ周辺温度と同じです。周辺温度でのヒータ抵抗は、 $RH_A = VH_A/8mA$ の式から求められます。周辺温度 T_A および湿度 HUM も記録されます。

実際の周辺温度 T_A は、データシートの値 $T_0 = 20^\circ C$ とは異なる可能性があるため、上式は若干の変更が必要です。補正係数を加えると、この 2 式は次のようになります。

$$RH_T = RH_A \times [1 + ALPHA \times (RH_0/RH_A) \times (TH - T_A)] \quad (4)$$

$$TH = T_A + (1/ALPHA) \times (1/RH_0) \times (RH_T - RH_A) \quad (5)$$

ヒータの動作モード

以下の数セクションで、ヒータの動作モードについて詳しく説明します。

定ヒータ電圧

定ヒータ電圧モードは最も一般的な動作モードです。TGS8100 センサーに対する推奨電圧は $1.8V \pm 2\%$ です。イテレーション式のプログラムによって、ヒータ電圧の測定値が $1.8V$ になるまでヒータ電流 IH が調整されます。したがって、対応するヒータ抵抗 RH_T は、 $RH_T = VH/IH$ から計算できます。また、対応するヒータ温度は式 (5) で計算できます。

定ヒータ電流

目的のヒータ電流 IH は ADN8810 DAC で設定します。ヒータ電圧 VH を測定し、ヒータ抵抗を $RH_T = VH/IH$ で計算します。また、対応するヒータ温度は式 (5) で計算します。

定ヒータ温度

目的のヒータ温度 TH に対応するヒータ抵抗 RH_T を式 (4) で計算します。目的のヒータ抵抗 $VH/IH = RH_T$ になるまで、イテレーション式のプログラムによってヒータ電流 IH を調整し、ヒータ電圧 VH を測定します。

定ヒータ抵抗

目的のヒータ抵抗 $VH/IH = RH_T$ になるまで、イテレーション式のプログラムによってヒータ電流 IH を調整し、ヒータ電圧 VH を測定します。また、対応するヒータ温度は式 (5) で計算します。

検出抵抗の測定

センサーの検出エレメントの抵抗値は次の式で求められます。

$$RS = \frac{RG \times VS}{VREF - VS} \quad (6)$$

ここで、

RS は検出エレメントの抵抗、

VS はグラウンドを基準とする RS 両端の電圧、

RG は分圧器で使用される範囲設定抵抗、

$VREF$ はリファレンス電圧の値 ($4.096V$) です。

$30\Omega \sim 30M\Omega$ の RS 範囲に対応するため、低電圧の CMOS アナログ・マルチプレクサ ADG758 を使用して、5 つの RG 抵抗のうち 1 つが選択されます。この回路では、 $S1 \sim S5$ のチャンネルに対して、それぞれ $8.87k\Omega$ 、 $39.2k\Omega$ 、 $110k\Omega$ 、 $2.74M\Omega$ 、 $33M\Omega$ の値の RG 抵抗値が使用されます。

分圧器の RG 抵抗と VS および $VREF$ を使用して、 Rs 検出抵抗の値が式 (6) で求められます。

検出抵抗の分圧器からの出力電圧は、AD7988-1 ADC の入力範囲に一致するよう、オフセット、ドリフト、バイアス電流が極めて低いオペアンプ AD8628 を使用して、2 倍に増幅されます。

AD7988-1 は、 $100kSPS$ 、16 ビットの低消費電力逐次比較型 ADC で、センサーの加熱・検出エレメントの電圧値を変換します。

ADG884 はソフトウェアで選択可能なデュアル低電圧 CMOS 単極双投スイッチで、センサーの加熱・検出エレメントの電圧値を切り替えます。

ADR4540 は超低ノイズで低消費電力の電圧リファレンスです。このデバイスは、最大消費電流はわずか $950\mu A$ ながら優れた温度安定性と低出力ノイズを特長とし、高精度の $4.096V$ のリファレンス電圧を ADN8810、AD7988-1、 RG 分圧器ネットワークに供給します。

ADP196 は、ロジック制御のハイ・サイド・パワー・スイッチで、ADICUP360 のデジタル入出力ピンを使用して回路全体を完全に停止する場合に使用します。これにより、回路の消費電力は 400 μ W まで低下します。これは、デジタル入出力ピンを使用したボードのパワーダウン機能を可能にするもので、低消費電力ソリューションの優れた候補となるものです。

ADP124 は、低静止電流、低ドロップアウトのリニア電圧レギュレータで、AD7798-1 への 2.5V 電源として使用します。

回路には、Sensirion のオンボード温湿度センサー SHT30 も含まれており、ガス濃度の計算時の補償用に用いられます。

これらの IC を組み合わせることで、室内アプリケーションにおける揮発性有機化合物を測定するための低消費電力ソリューションが実現します。

センサー抵抗からガス濃度への変換

TGS8100 センサーのデータシートに、代表的な濃度曲線を R_s/R_0 (R_0 はガスがない場合の検出抵抗値) の関数として示しています。一酸化炭素 (CO) の曲線は、 R_s/R_0 比に比例する 2 つの式で近似できます。これらの式は、CO 濃度が 1ppm~100ppm のレベルの場合に適用可能です。

R_s/R_0 が 0.05~0.6 の場合は、

$$C = 2.61 \times \left(\frac{R_s}{R_0} \right)^{-2.63} \quad (7)$$

R_s/R_0 が 0.6~0.95 の場合は、

$$C = 0.550 \times \left(\frac{R_s}{R_0} \right)^{-5.68} \quad (8)$$

ヒータ制御ソフトウェア

CN-0395 のデモ・ソフトウェアでは、ヒータ動作の各モード、T_0 すなわち清浄空気での検出抵抗値、計算用の電流検出抵抗値、計算したガス濃度が表示されます。

動作モードには、定電圧、定電流、定抵抗、定温度の 4 つがあります。

定電圧モードでは、ヒータ抵抗の初期値は 225 Ω と仮定され、目的のヒータ電圧は、誤差電圧を計算し、それに応じて出力電流を調整することで、0.5% の精度が保たれます。

$$IH1 = VH/225 \quad (9)$$

ここで、
VH は維持しようとするユーザ入力電圧、
IH1 は ADN8810 の初期電流設定値です。

VH1 は加熱抵抗の指示値で、誤差の計算は次式のとおりです。

$$EI = \frac{(VH - VH1)}{VH} \quad (10)$$

ここで、
VH は目的のヒータ電圧。
VH1 は加熱抵抗両端の電圧値です。

誤差が仕様規定された許容値内でない場合、新たなヒータ電流が ADN8810 に設定されます。新たなヒータ電流は次式で計算します。

$$IH2 = IH1 + 0.5 \times IH1 \times EI \quad (11)$$

ここで、
IH2 は 2 回目のイテレーションのヒータ電流、
IH1 は最初のイテレーションのヒータ電流、
EI は最初のイテレーションでの電圧誤差です。

目的の電圧範囲に収めるには複数のイテレーションが必要となる場合がありますが、誤差が 0.5% 以内になるとイテレーションは終了します。

検出抵抗測定ソフトウェア

このソフトウェアでは式 (6) を使用して検出抵抗 R_s を測定します。アルゴリズムは、最高範囲 ($RG1 = 33M\Omega$) から始まり、適切な範囲に到達するまでゲイン抵抗範囲全体にわたって実行されます。 R_s が求まると、それに続くセクションで説明した式に従ってガス濃度に変換されます。

テスト結果

回路のテストは、テスト用ガス容器内で様々な濃度の CO ガスにさらすことで行いました。種々の濃度を実現するため、一酸化炭素を特定の比率で合成空気と混合しました。この混合ガスを加湿器に通し、1ln/min の一定の流速でテスト用ガス容器にページしました (図 2 参照)。

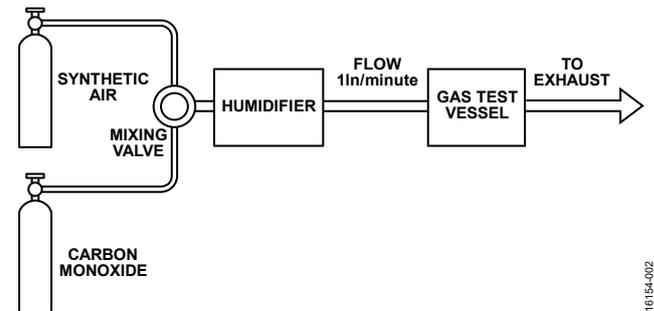


図 2. ガス試験のセットアップ

16154-002

このセットアップを使用した、 R_s/R_0 とガス濃度の関係を示すテスト結果を、図 3 に青線で示します。赤色の線は、式 (7) と式 (8) を使用した近似から予測される、代表的な濃度の値を示します。100ppm での R_s/R_0 の差異は約 25% です。

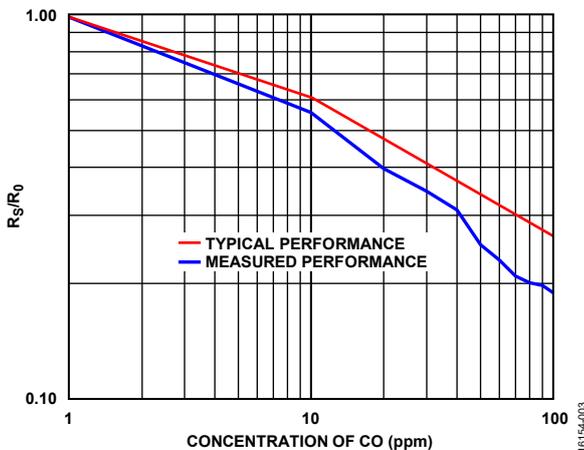


図 3. R_s/R_0 比の測定値と CO ガス濃度の関係

より高い精度で濃度を測定するには、対象となるガスの濃度が分かっている容器でシステムを補正します。センサー間のばらつき、不純物にさらされたことによるセンサーの汚染、経時変化の影響、温度、相対湿度、安定時間、混合用合成空気の純度などがすべて最終結果に影響します。

首尾一貫した結果を得るために重要となるのは、 R_0 測定を行う前に少なくとも 30 分間ヒータに通電し、周辺空気内でセンサーを安定させることです。各濃度レベルで十分な安定時間を確保することも必要です。図 3 の結果は、 R_0 の安定時間を 1 時間、各濃度レベルの安定時間を 10 分としたものです。安定時間を増加すれば、精度が向上する可能性があります。

ボード・レイアウト時の考慮事項

ボード上の電源とグラウンドのリターン・レイアウトを慎重に考慮することが重要です。アナログ・セクションとデジタル・セクションが分離されるように、プリント回路を設計する必要があります。複数のデバイスがアナログ・グラウンドとデジタル・グラウンドの接続を必要とするシステムで回路を使用する場合、1 点のみで接続する必要があります。電源とすべての部品は、少なくとも $0.1\mu\text{F}$ のコンデンサでバイパスしてください。これらのバイパス・コンデンサはデバイスのできるだけ近くに配置し、デバイスに隣接させるのが理想です。 $0.1\mu\text{F}$ のコンデンサには、セラミック・コンデンサなどの、等価直列抵抗 (ESR) が低く等価直列インダクタンス (ESL) が低いものを選択してください。この $0.1\mu\text{F}$ コンデンサは、過渡電流に対してグラウンドへの低インピーダンス・パスを提供します。電源ラインも低インピーダンス・パスとなるように、できる限り大きなパターンとする必要があります。最適な性能を実現するために、適切なレイアウト、接地、デカップリング技術を使用してください (MT-031 チュートリアル、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、および、MT-101 チュートリアル、*Decoupling Techniques* を参照)。

回路図、レイアウト、部品表などがすべて揃った EVAL-CN0395-ARDZ の技術文書については、

www.analog.com/jp/CN0395-DesignSupport を参照してください。

バリエーション回路

複雑さとコストのトレードオフとなりますが、ADN8810 は DAC 制御の電流源で置き換えることができます。

ADC の分解能を向上させるには、AD7989-1 を使用します。ADC のサンプリング・レートを上げるには、AD7988-5 または AD7989-5 を使用します。

8:1 マルチプレクサの代替候補としては、ADG5208F が推奨されます。このデバイスには、ラッチアップ耐性があり、過電圧検出および保護機能が備わっています。

消費電力を犠牲にしてもオフセット電圧を下げたい場合は、ADA4528-1 を使用できます。

イネーブル時間を短縮する場合は、ADP196 の代わりに ADP195 を使用します。

2.5V 電源の精度を向上させるには、ADP7156 または ADP7158 を使用します。

4.096V リファレンス電圧を低消費電力化するには、初期精度は低下しますが、ADR4530 を使用できます。

回路の評価とテスト

この例では、EVAL-CN0395-ARDZ 回路基板と EVAL-ADICUP360 を使用します。EVAL-CN0395-ARDZ は、Arduino (アルドゥイーノ) 互換ピンを使用して EVAL-ADICUP360 の上に重ねます。

必要な装置

以下の装置類が必要になります。

- USBポート付き Windows® 7 (64ビット)、Windows 8 (64ビット)、または Windows 10 (64ビット) 搭載 PC
- EVAL-CN0395-ARDZ 回路評価用ボード
- EVAL-ADICUP360 評価用ボードまたは等価な Arduino インターフェース
- USB A-micro USB ケーブル
- EVAL-ADICUP360 ソフトウェア (IDE)
- EVAL-CN0395-ARDZ サンプル・コード

設計の開始にあたって

EVAL-ADICUP360 ツール・チェーン・セットアップ・ユーザ・ガイドに従って、サンプル・コードを EVAL-ADICUP360 IDE にロードします。

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 4 に示します。

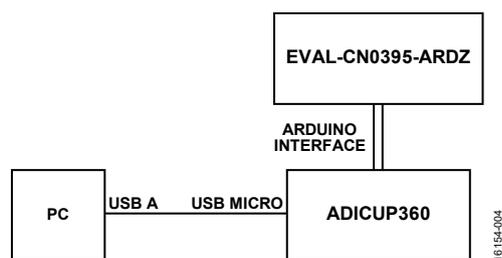


図 4. テスト・セットアップの機能ブロック図

セットアップ

EVAL-CN0395-ARDZ を Arduino 互換のヘッダを使用して EVAL-ADICUP360 の上にマウントし、対応するヘッダに接続します。EVAL-ADICUP360 のデバッグ・ポートと PC の USB ポートを USB ケーブルで接続します。

テスト

サンプル・コードを作成し EVAL-ADICUP360 にロードし、EVAL-CN0395-ARDZ を上部にマウントすると、デバイスが PC と通信し、各チャンネルの読出し値を表示します。回路のテストは、最初の読出しで基板を清浄空気にさらし、次に様々な濃度の揮発性有機化合物ガスにさらして行います。

EVAL-CN0395-ARDZ 回路評価用ボードの写真を図 5 に示します。

テスト・セットアップと EVAL-ADICUP360 およびデータ・キャプチャ用サンプル・コードの使用の詳細については、CN0395 ユーザ・ガイドを参照してください。

EVAL-ADICUP360 ボードに関する情報は、EVAL-ADICUP360 ツール・チェーン・セットアップ・ユーザ・ガイドを参照してください。

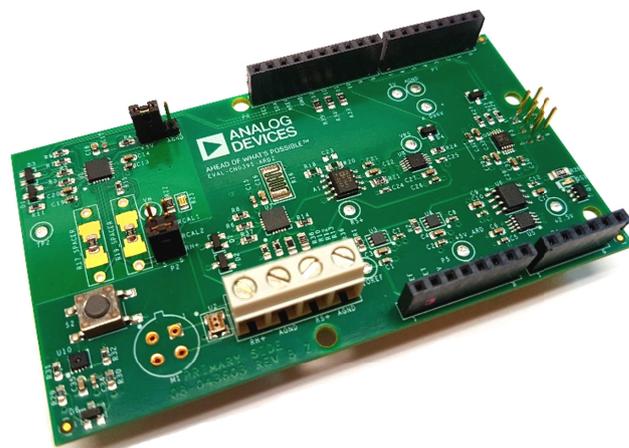


図 5. EVAL-CN0395-ARDZ 回路評価用ボード

更に詳しい資料

CN-0395 Design Support Package:

www.analog.com/CN0395-DesignSupport

EVAL-ADICUP360 User Guide.

Kester, Walt. The Data Conversion Handbook, Chapter 3 and Chapter 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 チュートリアル、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、アナログ・デバイセズ。

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用ボード

ADN8810 データシート

AD7988-1 データシート

ADG758 データシート

ADG884 データシート

AD8628 データシート

ADP196 データシート

ADP124 データシート

ADR4540 データシート

改訂履歴

7/2017—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。

©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。