



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 [www.analog.com/jp/CN0548](http://www.analog.com/jp/CN0548) をご覧ください。

接続または参考にしたデバイス	
LT1997-2	電圧範囲の広い、ゲインを選択可能な高精度ファンネル・アンプ
AD8418A	双方向のゼロドリフト電流検出アンプ
AD7798	3チャンネル、低ノイズ、低消費電力、計装アンプ内蔵の16ビット・シグマ・デルタADC
LTM2886	±5V 固定および5V 可変安定化電源を備えたSPI/デジタルまたはI <sup>2</sup> C対応のμModuleアイソレータ
LT6656	1μA 高精度直列電圧リファレンス
LT6657	ドリフトが1.5ppm/°Cの低ノイズ、バッファ付きリファレンス

## 絶縁型高電圧大電流の測定モジュール

### 評価と設計支援

- ▶ 回路評価用ボード
  - ▶ CN0548 回路評価用ボード (EVAL-CN0548-ARDZ)
  - ▶ ADuCM3029 超低消費電力、Cortex-M3 Arduino フォーム・ファクタ開発ボード (EVAL-ADICUP3029)
- ▶ 設計および統合ファイル
  - ▶ 回路図、PCB レイアウト・データ、部品表

### 回路の機能とその利点

電源システムを工業用設定や通信用設定でテスト/評価するには、多くの場合、複数の電圧測定や電流測定が必要です。個々の電源が異なるグラウンドを基準とする場合、正または負の極性を持つ場合、または、他の電源ドメインと明確な関係性を持たずにフロート状態になっている場合があります。そのような状況では、個別にフロート状態のマルチメータを使用するか、チャンネルごとに絶縁してマルチチャンネル・メータを使用する必要がありますが、これらは物理的に複雑でコストもかかります。

図1に示す回路は、工業、通信、計測器、自動試験装置 (ATE) などのアプリケーション向けのフル機能絶縁型電流電圧測定システムです。システムはガルバニック絶縁がなされており、ホスト・コントローラと測定グラウンドの間で最大+/-250V を許容できます。この絶縁設計には、デジタル・データと電源ドメイン信号の両方が含まれており、測定される回路に電源を追加する必要はありません。

電流入力範囲は+/-10A で、電圧入力範囲は 16V~80V の間でいくつものレンジを選択可能です。電圧入力と電流入力は共に、出力データ・レートと信号帯域幅が調整可能な16ビットの分解能で、50Hz と 60Hz の電源ライン・ノイズを除去するモードを備えています。

回路は Arduino フォーム・ファクタのプラットフォーム・ボードに対応し、ロジック電圧は1.8V~5Vです。オープンソースのファームウェアの例と組み合わせると、アプリケーション・ソフトウェアは、C、C#、MATLAB、Python、LabVIEW とのバインドを含む libiiio ライブラリを使用し、Linux の産業用入出力 (IIO) フレームワークを通じてリファレンス設計と容易にやり取りを行うことができます。

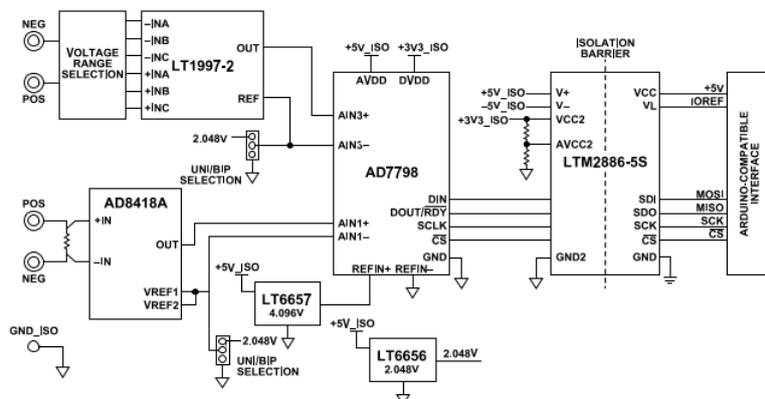


図1. CN0548 のブロック図

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

©2021 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

回路の説明

電圧および電流測定の接続

CN0548 は、様々な測定局面に対応できるように設計されています。電流検出入力は、正または負の電圧入力端子のいずれか、または両方の間の電圧を基準とし、測定のグラウンドは、開発プラットフォームおよび接続されているホスト・コンピュータのグラウンドから絶縁されています。

図 2 は、15V 電源および負荷が接地されている回路を測定するための接続図です。負荷電流は負荷のハイ・サイドで測定されます。

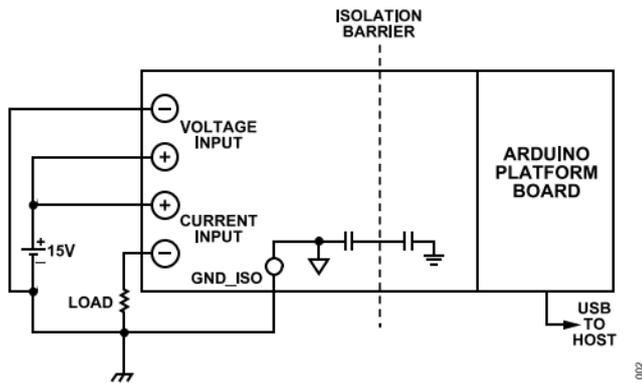


図 2. +15V のハイ・サイド電流および電圧の測定

図 3 は、負荷のロー・サイド（グラウンド・リターン）で負荷電流を測定するための接続図です。

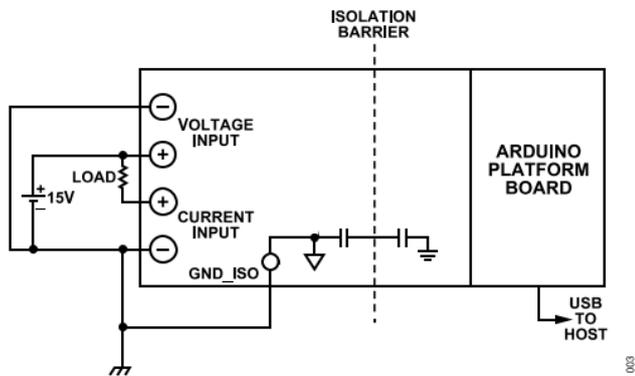


図 3. +15V のロー・サイド電流および電圧の測定

図 4 は、電流を負荷のグラウンド・リターンで測定して-48V 電源を測定するための回路図です。

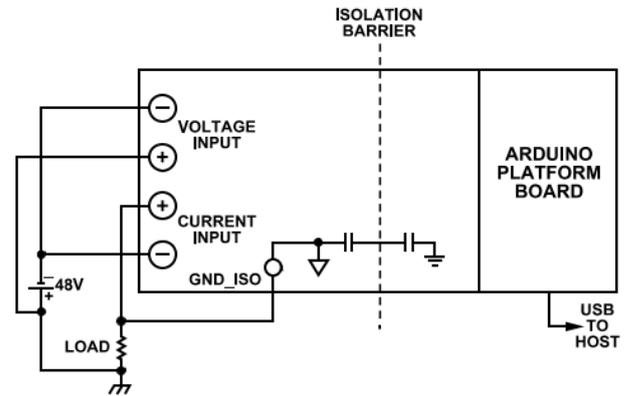


図 4. -48V の電圧および電流の測定

図 5 は、250V という高電圧の電源を使用するハイ・サイド電流測定の接続図です。電圧測定チャンネルの入力は損傷を受けることなく最大+/-250V の電圧に耐えることができますが、出力は飽和するため、有効な測定値を得ることはできません。

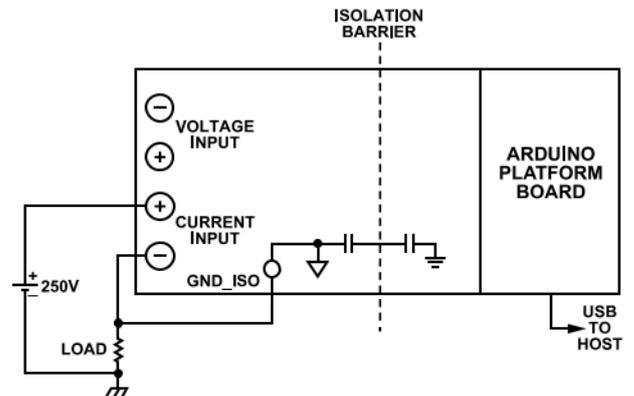


図 5. +250V システムの電流測定

電圧入力

マッチングした抵抗ネットワークを内蔵した高精度高電圧ファンネル・アンプ LT1997-2 は、ADC の入力範囲内に入力電圧をスケールリングします。このデバイスのゲイン誤差は 0.006%、ゲイン・ドリフトは 1ppm/°C です。38 通りの減衰係数が、+INA、+INB、+INC、-INA、-INB、-INC の各入力をピンストラップすることで選択できます。このピンストラップは CN0548 のジャンパを使用して実行できます。表 1 に、ほとんどのアプリケーションおよびこの回路の許容入力電圧に対応できる 5 種類のジャンパ設定を示します。減衰係数の全リストについては、LT1997-2 のデータシートを参照してください。ゲイン設定ジャンパは、CN0548 を活線回路に接続する前に設定する必要があります。活線回路に接続した場合はジャンパを移動できない点に注意してください。

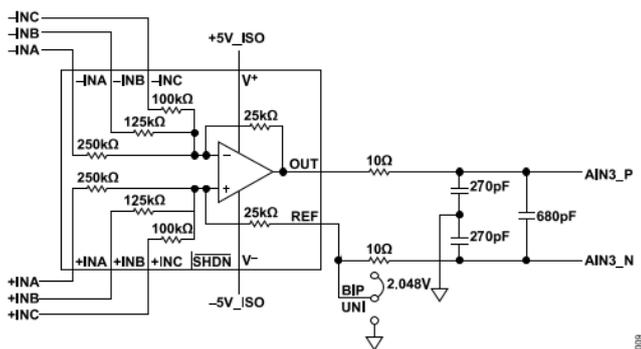


図 6. 電圧のレンジと極性の回路構成

表 1. 電圧レンジのジャンパ設定

Input Range	Attenuation	+INA	+INB	+INC	-INA	-INB	-INC
80V	20	OPEN	-VIN	+VIN	OPEN	+VIN	-VIN
40V	10	+VIN	Open	Open	-VIN	OPEN	OPEN
27V	6.67	-VIN	OPEN	+VIN	+VIN	OPEN	-VIN
20V	5	OPEN	+VIN	OPEN	OPEN	-VIN	OPEN
16V	4	OPEN	OPEN	+VIN	OPEN	OPEN	-VIN

CN0548 の電圧入力、LT1997-2 の REF ピン電圧と AD7798 の AIN3 ピン電圧を表 2 のように設定することで、ユニポーラまたはバイポーラの入力レンジに設定できます。

表 2. ユニポーラ/バイポーラ電圧設定

Measurement Mode	LT1997-2 REF	AD7798 AIN3-	Input Range (80V span)
Unipolar	GND	GND	0 V to 80 V
Bipolar	2.048 V	2.048 V	-40 V to +40 V

## 電流入力

AD8418A は、双方向、高電圧、ゼロドリフトの電流検出アンプです。20V/V の固定ゲインを備え、10kHz の帯域幅を動作温度範囲全域で最大±0.15% のゲイン誤差で実現します。アンプの出力電圧は、チャンネル 1、つまり ADC の AIN1- および AIN1+ に、直接インターフェースできます。AD8418A は、-2V ~ +70V で優れた入力同相ノイズ除去比を提供します。表 3 に示すように、AD8418A は、I<sub>SENSE</sub> 入力端子間の 10mΩ、2W の電流検出抵抗で双方向電流測定を行います。最大入力電流はバイポーラ・モードで ±10A です。ユニポーラの入力範囲は 0A ~ 14A で、検出抵抗の消費電力で制限されています。AD8418A の出力には GND に対し 32mV のヘッドルームが必要です。ユニポーラとバイポーラの電流測定テスト結果のセクションを参照してください。

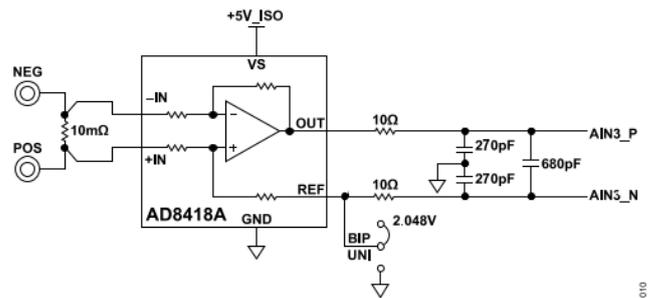


図 7. 電流入力信号コンディショニングと極性の回路構成

表 3. ユニポーラ/バイポーラ電流設定

Measurement Mode	AD8418A REF	AD7798 AIN1-	Input Range
Unidirectional	GND	GND	0 to 14 A
Bidirectional	2.048 V	2.048 V	-10 A to +10 A

## A/D 変換

AD7798 は、低消費電力、高精度の 16 ビット Σ-Δ A/D コンバータ (ADC) で、圧力変換器、重量計、高精度測定アプリケーションなどの、ダイナミック・レンジが広い低周波数信号を測定することを目的としています。AD7798 には、プログラマブル計装アンプへの 3 個のバッファ付き差動入力があり、また、デジタル・フィルタリング機能が内蔵されています。100mV ~ 5.25V の外部リファレンス電圧によって、フルスケール入力範囲が決まります。AD7798 の出力データ・レートは、4.17sps ~ 470sps の範囲でユーザがプログラムでき、測定帯域幅とそれに伴うノイズ感度は出力データ・レートに比例します。ほとんどの電源測定アプリケーションでは高サンプリング・レートが不要であるため、低出力データ・レート・モードで提供される狭帯域幅を利用できます。更に、サンプリング・レートが 16.7sps 以下の場合、50Hz と 60Hz の電源ライン・ノイズを同時に除去できます。AD7798 では、内部ノイズ源の影響を最小限に抑えるため、出力データ・レートに応じて、使用するフィルタ・タイプがわずかに異なります。図 8 に、16.7Hz モードでのフィルタ応答を示します。全てのフィルタ・モードの詳細な説明については AD7798 のデータシートを参照してください。

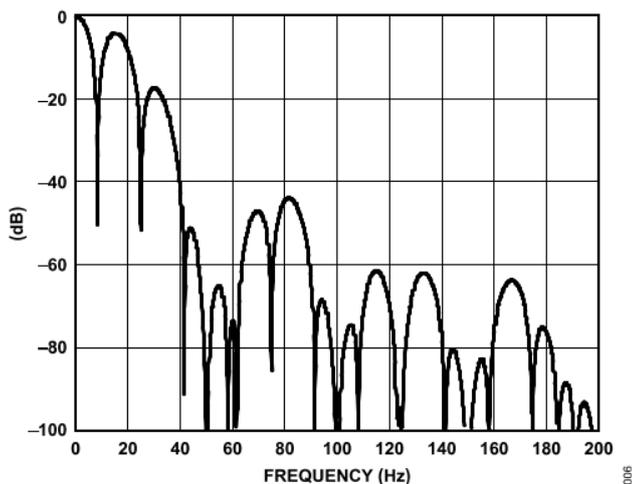


図 8. AD7798 のフィルタ応答、16.7Hz の更新レート・モード

AD7798 のアナログ入力は完全差動型で、入力範囲は  $\frac{\pm V_{REF}}{in\_amp \cdot gain}$  です。絶対電圧は、入力が非バッファ・モードで計装アンプが無効化されている場合は、いずれかの電源レールまで広げることができます。この条件は CN0548 がデフォルトで使用する設定です。

CN0548 は、AD7798 に高レベルのバッファ付き信号を送信するため、ゲインを 1 に設定すると共にバッファを無効化して入力範囲を最大化できます。4.096V のリファレンス電圧により  $\pm 4.096V$  の入力範囲を実現でき、ADC の入力がグラウンドまたはそれをわずかに下回る場合でも読み取り値は有効です。

### リファレンス電圧

CN0548 ボードでは 2 つの電圧リファレンスを使用しています。図 9 に示す A グレードの LT6657 は、AD7798 の 4.096V のリファレンス電圧を供給します。このデバイスは、バンドギャップ・リファレンス用に、0.1Hz~10Hz の帯域幅でわずか 0.5ppm<sub>P-P</sub> または平均 1.24 $\mu V_{P-P}$  という、極めて低ノイズの性能を持っています。安定性は大きな出力コンデンサを配置することで確保します。このコンデンサは高周波ノイズを低減すると共に、AD7798 の動的なサンプリング電流に対し低インピーダンスを実現します。4.096V の出力リファレンスに対する LT6657 のライン・レギュレーションは、通常、1ppm/V を十分に下回っています。負荷レギュレーションも 2 $\mu V/mA$  未満です。負荷電流が 5mA 変化しても出力電圧のシフト量はわずか 10 $\mu V$  です。

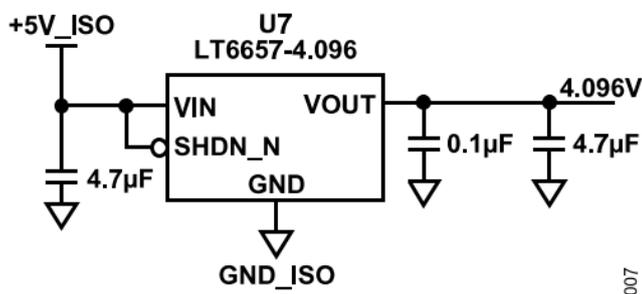


図 9. 4.096V の ADC リファレンス

LT6656 は、2.048V のバイアス電圧を  $V_{SENSE}$  アンプ、 $I_{SENSE}$  アンプ、ADC 負側入力に供給し、これらの入力端子がバイポーラ・レンジに対応できるようにします。

### ノイズ性能

LT1997-2 の最高出力ノイズ電圧は 4 分の 1 に減衰され、約 1 $\mu V_{P-P}$  です。LT6657 の出力ノイズは約 2 $\mu V_{P-P}$  です。1 $\mu V_{P-P}$  と 2.0 $\mu V_{P-P}$  の合計値 (二乗平均平方根) は 1.7 $\mu V_{P-P}$  となります。AD7798 の量子化ノイズは 62.5 $\mu V$  なので、電圧測定ではこれが支配的なノイズ源となります。80V の入力レンジでの入力換算ノイズはおおよそ 1.2mV です。

電流測定モードでの AD8418A の入力ノイズ電圧は、0.1Hz~10Hz の範囲で 2.3 $\mu V_{P-P}$  です。ゲインが 20 の場合、出力に反映されるノイズは  $20 \times 2.3\mu V_{P-P}$ 、つまり 46 $\mu V_{P-P}$  となります。この場合でも AD7798 の量子化ノイズよりわずかに小さい値です。ある程度のフリッカのコードがノイズのない一定の入力に対し予想されますが、それでも AD7798 を支配的なノイズ源と見なすことができます。

### 電源と SPI の絶縁

5V シリアル・ペリフェラル・インターフェース (SPI) バージョンの LTM2886  $\mu Module$  により、絶縁型  $\pm 5V$  電源と絶縁型 SPI の通信を行うことができます。外付け部品は不要で、デカップリング・コンデンサはモジュールに組み込まれています。LTM2886 は、グランド・プレーン間の同相トランジエントに対する耐性が極めて高く、30kV/us を超える同相トランジエント時もエラー・フリー動作を維持できます。LTM2886 には、独立したロジック電源ピンがあり、ホスト側のロジック・レベルを 1.62V~5.5V の任意の電圧にすることができます。

### 回路基板の絶縁

回路基板の絶縁障壁を図 10 と図 11 に示します。基板は、グラウンド間の沿面距離が最大となるよう設計されており、250V 定格のタイプ Y2 安全コンデンサを 2 個直列に配置し、LTM2886 の内部スイッチング・レギュレータからの伝導ノイズを抑えています。

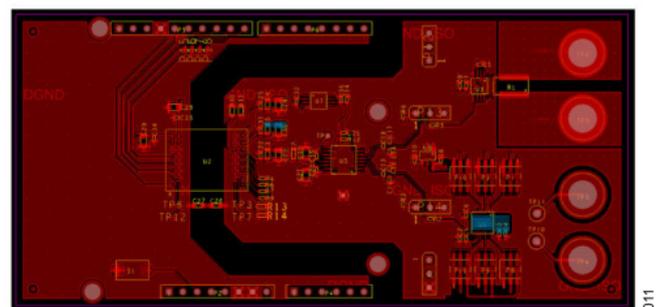


図 10. 上層の PCB 絶縁

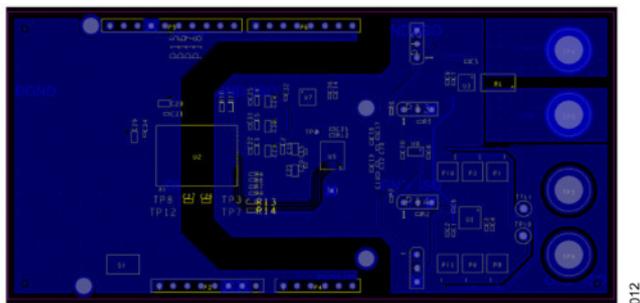


図 11. 下層の PCB 絶縁

## バリエーション回路

高分解能 ADC には、24 ビットの  $\Sigma$ - $\Delta$  ADC である AD7799 を代わりに使用できます。AD7798/AD7799 に 2.5V のリファレンスが必要な場合は、低ノイズ低消費電力リファレンスである ADR381 または ADR391 を推奨します。

フルスケール電流の小さいアプリケーションには、ゲイン 60V/V の双方向ゼロドリフト電流検出アンプ AD8417 を使用できます。

信号入力の減衰と増幅の両方が必要なアプリケーションでは、LT1997-3 が代替アンプとなります。LT1997-3 は高精度オペアンプと高度にマッチングした抵抗が組み合わされており、電圧を正確に増幅するためのワンチップ・ソリューションを形成できます。0.006% (60ppm) の精度を備えた最大 0.0714 の減衰と最大 +14 のゲインが、外付け部品を用いずに実現できます。

CN0548 のグラウンド間の最大電位差は、 $\pm$ 250V で、これは 470pF のスティッチング・コンデンサで制限されています。より高電圧のアプリケーションでは、このスティッチング・コンデンサの変更または除去が必要となりますが、LTM2886 自体はグラウンド間に 2500VRMS が生じてても 1 分間耐えることができます。

絶縁側により高い電圧が必要なアプリケーションでは、LTM2883 が代替デバイスとなります。LTM2883 は、全機能内蔵型の 6 チャンネル・ガルバニック・デジタル  $\mu$ Module<sup>®</sup> アイソレータです。絶縁側には、公称電圧が  $\pm$ 12.5V および 5V の電源を備え、それぞれ 20mA を超える負荷電流を供給できます。1 個の外部抵抗を用いることで、各電源電圧を公称値から調整できます。

## 回路の評価とテスト

EVAL-CN0548-ARDZ は、EVAL-ADICUP3029 超低消費電力 Cortex-M3 Arduino フォーム・ファクタ開発ボードを使用してテストされています。セットアップの全容やその他の重要な情報については、CN0548 ユーザ・ガイドを参照してください。

## 必要な装置

- ▶ マルチメータ
- ▶ EVAL-ADICUP3029
- ▶ EVAL-CN0548-ARDZ
- ▶ ベンチ・トップ可変電源 (例: Agilent e3631)
- ▶ USB ケーブル micro タイプ B-タイプ A

- ▶ バナナ-バナナ・ジャック 2 個
- ▶ シリアル端子付きおよび Python3.6 以降インストール済みの Windows、Linux、または Mac コンピュータ。

## 開始にあたって

EVAL-CN0548-ARDZ と関連ソフトウェアのセットアップを行うには、次の手順に従います。

1. 図 12 に示すように、EVAL-CN0548-ARDZ を EVAL-ADICUP3029 プラットフォーム・ボードの上に接続します。
2. 用意した micro USB ケーブルで EVAL-ADICUP3029 を PC に接続します。
3. PC 上で、事前構築した .hex ファイルを DAPLINK ドライブにドラッグ・アンド・ドロップします。最新の hex ファイルについては、ユーザ・ガイドを参照してください。
4. 3029\_RESET ボタンを押すか、USB プラグを外して再挿入することで、ADICUP3029 をリセットします。
5. デバイス・マネージャ (Windows) または TTY デバイス・ファイル (Linux) を使用して EVAL-ADICUP3029 COM ポートを決定します。
6. Python スクリプト例の CN0548\_simple\_plot.py を開きます (スクリプトの場所についてはユーザ・ガイドを参照してください)。画面の指示に従い、ジャンパをセットアップし COM (または tty) ポート番号を入力します。
7. 電圧検出測定には、バナナ・コネクタを図 13 と図 14 に示すように DC 主電源に接続します。出力電圧値を 5.99V~6V に、電流制限値を 3.9A~4A に設定します。
8. 電流検出測定には、バナナ・コネクタを図 17 と図 18 に示すように DC 主電源に接続します。

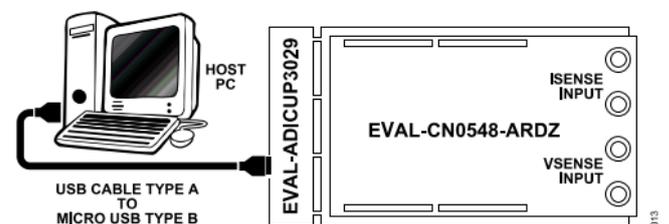


図 12. ホスト・コンピュータの接続

## 電圧測定テストのセットアップ

EVAL-CN0548-ARDZ のテストは、ユニポーラ・モードでは 0~40V の入力電圧範囲、バイポーラ・モードでは -40~+40V の入力電圧範囲を、100mV ステップで掃引して行いました。EVAL-CN0548-ARDZ ボードの読出し値は、図 13 と図 14 に示すように、Keithley DMM7510 7-1/2 桁マルチメータと比較しました。LT1997-2 の減衰は 20 に設定し、AD7798 および LT1997-2 の電圧リファレンスは、ユニポーラ電圧測定モードでは 0V、バイポーラ電圧測定モードでは 2.048V に設定しています。

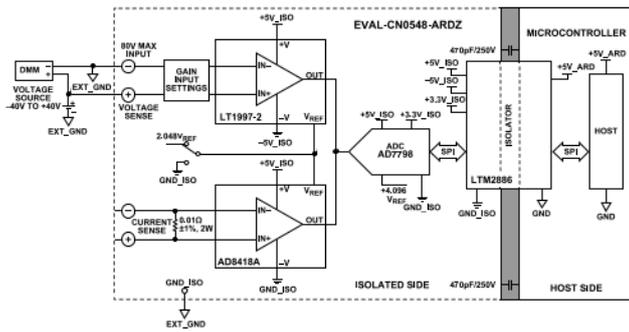


図 13. 電圧入力テストのセットアップ



図 14. 電圧入力テストのセットアップ写真

### ユニポーラおよびバイポーラ電圧テストの結果

図 15 と図 16 に 3 つの別々の CN0548 ボードからの未補正出力を示します。これらの結果は、LT1997-2、LT6657、AD7798 の各精度仕様と整合しています。伝達関数の非線形な「ステップ」は、LT1997-2 が「オーバーザトップ」モードに入るポイントです。

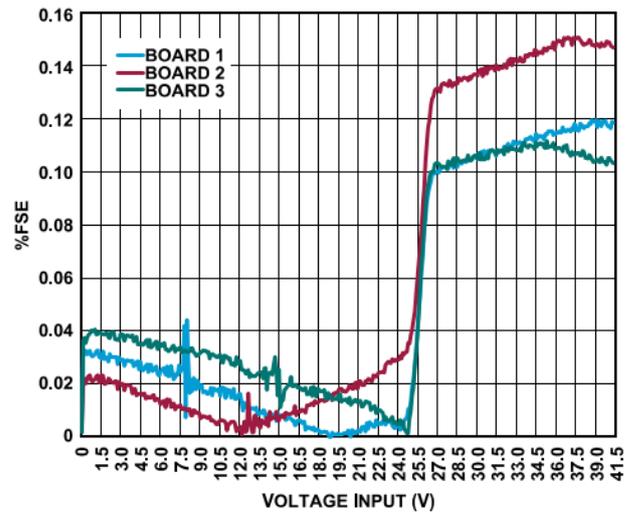


図 15. ユニポーラの精度 (未キャリブレーション)

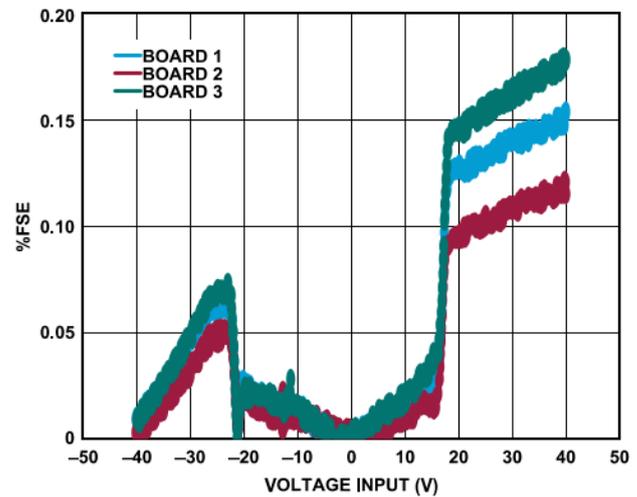


図 16. バイポーラの精度 (未キャリブレーション)

### 電流測定テストのセットアップ

EVAL-CN0548-ARDZ のテストは、ユニポーラ・モードでは 0A ~9A の入力電流範囲、バイポーラ・モードでは-9A~+9A の入力電流範囲を、100mA ステップで掃引して行いました。EVAL-CN0548-ARDZ ボードの読出し値は、図 17 と図 18 に示すように、Keithley DMM7510 高分解能 7½桁マルチメータと比較しました。

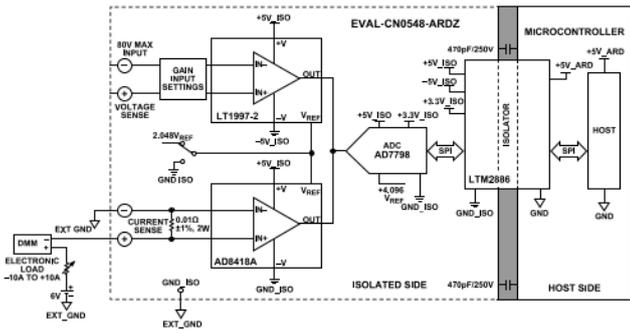


図 17. 電流入力テストのセットアップ



図 18. 電流入力テストのセットアップ写真

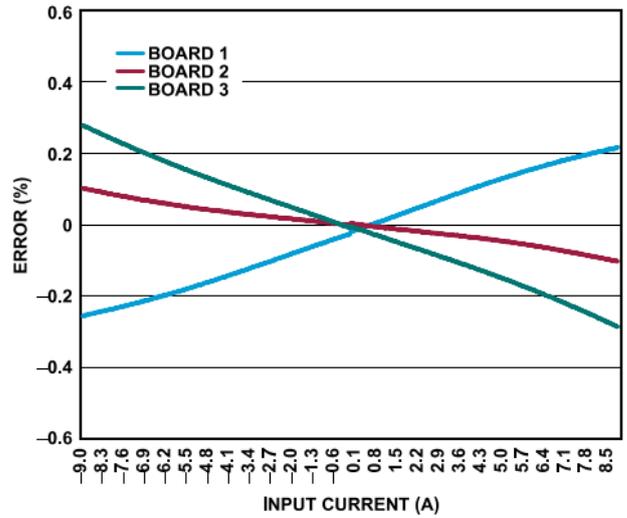


図 20. バイポーラ電流の測定誤差

### ユニポーラとバイポーラの電流測定テスト結果

図 19 と図 20 に 3 つの別々の CN0548 ボードの未補正精度を示します。ゲイン誤差は、電流検出抵抗の $\pm 1\%$ の許容誤差が主要因となっています。

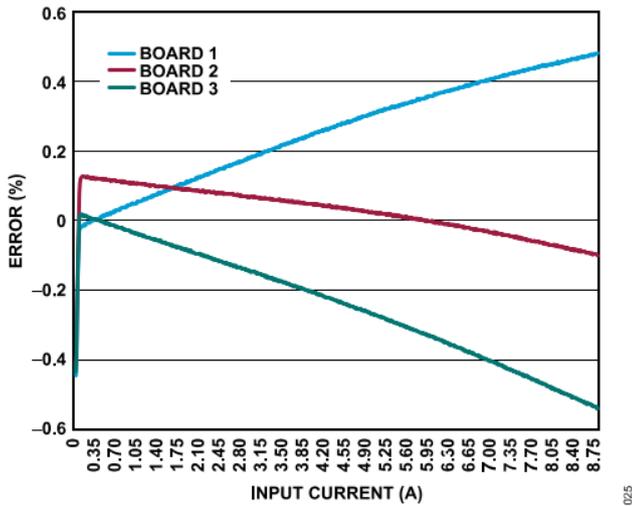


図 19. ユニポーラ電流の測定誤差

## 更に詳しい資料

- ▶ CN0548 設計サポート・パッケージ
- ▶ CN0548 ユーザ・ガイド
- ▶ 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・デバイセス。
- ▶ MT-035 チュートリアル、Op Amp Inputs, Outputs, Single-Supply, and Rail-to-Rail Issues、アナログ・デバイセス。
- ▶ Cantrell, Mark。アプリケーション・ノート (AN-0971) : isoPower デバイスでの EMI 放射制御についての推奨事項、アナログ・デバイセス。

AD8418A 評価用ボード

AD7798 データシート

AD7798 評価用ボード

LTM2886 データシート

LTM2886 評価用ボード

LT6656 データシート

LT6657 データシート

## 改訂履歴

11 /2021 —Revision 0 0: Initial Version

## データシートと評価用ボード

LT1997-2 データシート

LT1997-2 評価用ボード

AD8418A データシート



### ESD に関する注意

ESD (静電放電) の影響を受けやすいデバイスです。電荷を帯びたデバイスや回路ボードは、検知されないまま放電することがあります。本製品は当社独自の特許技術である ESD 保護回路を内蔵してはいますが、デバイスが高エネルギーの静電放電を被った場合、損傷を生じる可能性があります。したがって、性能劣化や機能低下を防止するため、ESD に対する適切な予防措置を講じることをお勧めします。

「Circuits from the Lab/実用回路集」はアナログ・デバイセス社製品専用で作られており、アナログ・デバイセス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・デバイセス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・デバイセス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・デバイセス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。

©2021 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。