

## Design Guide: TIDA-010988

## 単一電源のリファレンス デザインによる、電圧および電流を統合した 8 チャンネル アナログ入力モジュール



## 説明

TIDA-010988 は、産業用オートメーション アプリケーション向けの 2 端子入力を備えた 8 チャンネル アナログ入力モジュールです。各チャンネルは、0V ~ 10V と  $\pm 10V$  の電圧範囲と、4mA ~ 20mA、 $\pm 20mA$  の電流範囲をソフトウェアで選択可能です。このデザインは、単一の 24V フィールド電源または 5V USB のどちらから電力を供給される高密度絶縁型アナログ入力モジュールを実装しています。ADS125H18 チップセレクト転送機能を使用することで、この設計は、必要なデジタル絶縁チャンネル数を減らす共有 SPI アーキテクチャを実装しています。このシステムは、全温度範囲でのシステムの絶対精度誤差が、電圧入力 0.1%、電流入力 0.2% 未満となるよう設計されています。

## リソース

<a href="#">TIDA-010988</a>	デザインフォルダ
<a href="#">ADS125H18</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">MSPM0G5117</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">TXE8116</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">ISO6441</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">LM5180</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">UCC33420</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">TPS7A2050</a>	プロダクトフォルダ
<a href="#">TLV709A33</a>	プロダクトフォルダ

## 特長

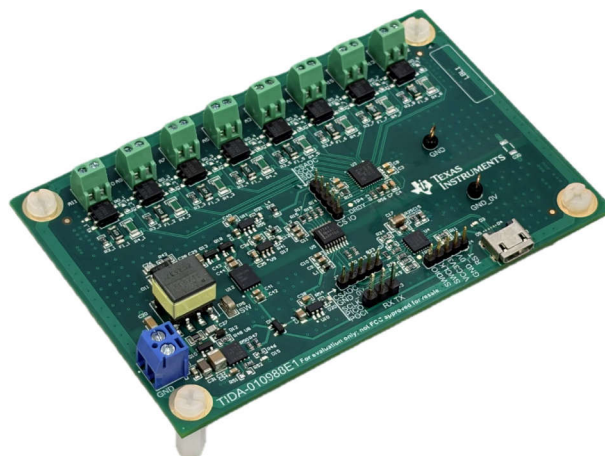
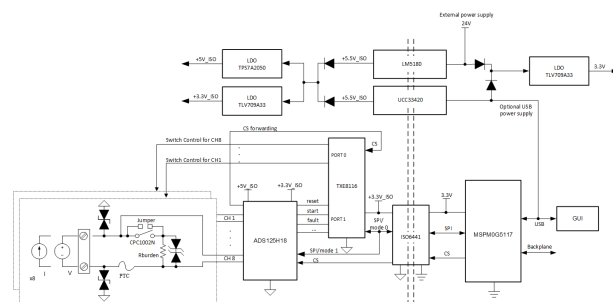
- 8 つの同一 2 端子アナログ入力チャンネル
- チャンネルごとのサポートとして、電圧 (0V ~ 10V、 $\pm 10V$ ) と電流 (4mA ~ 20mA、 $\pm 20mA$ ) の入力を挙げることができます
- 各チャンネルで断線検出機能付きの Photo-MOS ベースの電圧および電流スイッチング
- 信頼性の高い産業用インターフェイスに適した、PTC、TVS、ツェナー ダイオードによる入力保護を内蔵
- 評価の目的で 24V 単一電源または 5V USB 電源
- システム絶対精度誤差:
  - 過熱 ( $-40^{\circ}\text{C}$  から  $125^{\circ}\text{C}$ )、電圧: 0.1% 未満、電流: 0.2% 未満
  - 室温 ( $25^{\circ}\text{C}$ )、電圧: 0.05% 未満、電流: 0.15% 未満

## アプリケーション

- アナログ入力モジュール
- 混載モジュール (AI、AO、DI、DO)



テキサス・インスツルメンツの™ E2E サポートエキスパートにお問い合わせください。



## 1 システムの説明

このリファレンス デザインは、2 端子入力とチャンネルごとの電圧を持つ 8 チャンネル絶縁型アナログ入力モジュールを実装し、電流を構成する機能を備えています。単一の 24V フィールド電源または 5V USB がモジュールに電力を供給します。このシステムは、ADS125H18 高精度デルタシグマ ADC、MSPM0G5117 マイコン、LM5180 絶縁型電源、ISO6441 デジタル アイソレータ、TXE8116 I/O エクスパンダを使用して構築されています。このデザインは、チャンネル密度、絶縁、消費電力、PCB 面積のバランスを維持する必要があるコンパクトな産業用アナログ入力モジュール向けに設計されています。

各チャンネルのフロント エンドには、PTC、TVS ダイオード、クランプ デバイスが組み合わされて、サージおよび持続的な過電圧に対する堅牢性が向上し、TXE8116 では電圧と電流のチャンネルごとのモード選択が用意されています。サポートしている入力タイプには、0V ~ 10V および  $\pm 10V$  の電圧入力、ならびに 4mA ~ 20mA および  $\pm 20mA$  の電流入力があります。これらのサポートされている範囲内の信号は、チャンネル入力モードが選択された後、追加の範囲を切り替えずに直接測定できます。

このリファレンス デザインは、保護ネットワークの影響を含め、40°C と 125°C の間の温度範囲にわたって、電圧入力について 0.1% より良好、電流入力について 0.2% 以上のシステム レベルの絶対精度誤差をサポートすることを目的としています。室温条件下で、このデザインは、電圧入力に関する 0.05% 未満の精度誤差、電流入力に関する 0.15% 未満の精度誤差を達成します。

この設計は、単一のデジタル アイソレータと ADS125H18 チップセレクト転送機能を組み合わせて使用し、絶縁型デジタル インターフェイスの要件を低減します。ADC は、チップセレクト信号を入力モード制御に使用される絶縁型側 I/O エクスパンダに転送します。この構成により、マイコンは 1 つの絶縁 SPI や少数の追加制御ラインを使用して ADC 変換、チャンネルごとのモード制御、診断を管理できます。このアプローチにより、絶縁チャンネル数、外部部品、およびマイコン SPI リソースの数が減少し、チャンネル密度の向上やモジュール全体のサイズの最小化を実現すると同時に、完全な絶縁と機能を維持できます。

USB インターフェイスは、補助電源オプションと、動作モード構成や評価中のリアルタイム データの視覚化を行うために、ホスト PC の GUI に直接接続することができます。さらに、バックプレーン インターフェイスにより、モジュールを PLC および DCS システムに統合したり、スタンドアロンのアナログ入力カードとして評価したりできます。

### 1.1 主なシステム仕様

パラメータ	仕様	詳細
アナログ入力チャンネル数	8	
電源オプション	24V フィールド電源、または 5V USB	<a href="#">セクション 3.1</a>
チャンネル構成	チャンネルごとにソフトウェアで選択可能な電圧入力モードまたは電流入力モード	<a href="#">セクション 3.2.2</a>
サポートされる電圧入力範囲	0V ~ 10V、 $\pm 10V$	
複数の入力範囲への対応	4mA ~ 20mA、 $\pm 20mA$	
断線検出	各チャンネルで利用可能	
ADC の分解能	24 ビット	
システムの絶対精度誤差 (25°C)	電圧: 0.05% 未満 電流: 0.15% 未満	<a href="#">セクション 4.2.3.3</a>
システムの絶対精度誤差 (-40°C ~ 125°C)	電圧: 0.1% 未満 電流: 0.2% 未満	
入力インピーダンス	電圧モード: 約 2.2M $\Omega$ 電流モード: 約 249 $\Omega$	
ターゲット アプリケーション	PLC/DCS アナログ入力モジュールと産業用アナログ データ アクイジション システム	

## 2 システム概要

### 2.1 ブロック図

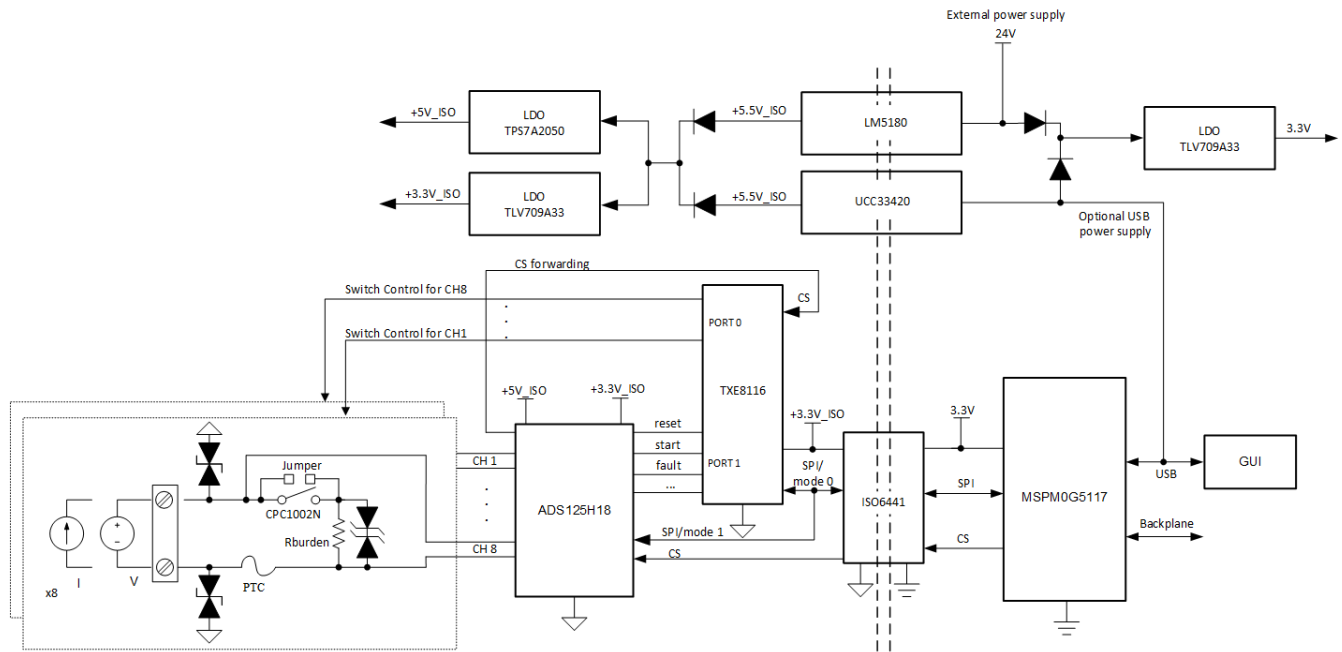


図 2-1. TIDA-010988 のシステムブロック図

### 2.2 設計上の考慮事項

産業用アナログ入力モジュールは多くの場合、電圧信号と電流信号の両方に対応すると同時に、チャンネル密度、絶縁、低コストを維持できる、一般的なハードウェア プラットフォームを必要とします。このリファレンス デザインは、8 個の同一 2 端子入力チャンネルを備える必要性に対応します。各チャンネルは同じペアのフィールド端子を使用して電圧または電流の測定ができるため、個別の端子または専用チャンネル バリエーションを必要とする入力構造に比べて、コネクタ数が少なく、フィールド配線を簡素化できます。

信号チェーンは ADS125H18 ADC を中心に構築されており、絶縁側に 8 つのフィールド入力を多重化します。入力保護機能を搭載しているので、産業用環境で一般的に発生するサージ、障害、配線ミスに対する堅牢性が向上します。過渡クランプと PTC は入力段の保護に役立ちます。また、切り替え可能なシャント パスを使用することで、必要なときのみ電流測定を有効にできます。スイッチング アプローチにより、チャンネルが電圧入力用に構成されているときの不要な負荷を防止できます。

アイソレータのチャンネル数を減らすため、このリファレンス デザインでは ADS125H18 チップセレクトの転送機能を使用して、チャンネル スイッチ制御に使用される絶縁型 I/O エクスパンダと SPI バスを共有できます。共有 SPI アーキテクチャにより、絶縁型デジタル インターフェイスを簡素化すると同時に、チャンネルごとの構成方法を維持します。

パワー パスは 24V と 5V の両方をサポートしています。通常動作時に絶縁型フィールド側で外部電源を使用します。また、オプションの USB 電源は評価と GUI ベースのテストに使用できます。絶縁型アナログ回路とデジタル回路に対して、ADC 機能とスイッチ制御機能をサポートする個別のレールが生成されます。

### 2.3 主な使用製品

#### 2.3.1 ADS125H18

ADS125H18 は、産業用システムにおける高精度マルチチャンネル データ アクイジションのための高性能 24 ビット多重化 デルタシグマ ( $\Delta\Sigma$ ) ADC です。このデバイスは、入力マルチプレクサ、高精度の電圧リファレンス、診断機能、最大 20V の同相信号をサポートする分圧抵抗入力を内蔵しているため、チャンネル密度の高いアナログ入力モジュールの外付け部品数を減らすことができます。

ADS125H18 は CS (チップセレクト) 転送機能をサポートしており、ADC GPIO を使用してセカンダリ デバイスの CS ピンを制御できます。CS 転送機能を使用すると、ADC が外部コンパニオン デバイスとの間で SPI トランザクションを管理しやすくなります。その結果、絶縁バリアをまたぐ必要がある信号の数が減少し、個別のチップセレクト信号用の専用アイソレータ チャンネルの追加を避けています。

このデザインでは、ADS125H18 が 8 チャンネルのアナログ入力フロント エンドのメイン データ コンバータとして機能します。内蔵マルチプレクサ、柔軟な変換モード、分圧抵抗入力による高い同相入力能力、診断機能により、ADS125H18 は 40°C から 125°C までの温度範囲にわたって正確な測定、効率的なチャンネル スキャン、コンパクトな実装を必要とする PLC/DCS アナログ入力モジュールに最適です。

### 2.3.2 MSPM0G5117

MSPM0G5117 は、組込み制御およびミックスドシグナル産業用アプリケーション向けに設計された 32 ビット Arm Cortex -M0+ マイコンです。MSPM0G5117 には、オンチップ メモリ、アナログ ペリフェラル、タイマ、通信インターフェイス、USB 2.0 フルスピード インターフェイスが内蔵されており、測定およびシステム管理機能用のコンパクトな制御デバイスを実現します。

このデザインでは、MSPM0G5117 は、ADC 通信、チャンネル構成、診断、ホスト インターフェイスの各機能を管理します。高いレベルの統合と低消費電力動作により、リアルタイム制御とフレキシブルなシステム接続の両方を必要とするコンパクトなアナログ入力モジュールに適しています。

TI の MSPM0 マイコン プラットフォームでは、さまざまなパッケージ オプションとオンチップ メモリ サイズが提供されており、さまざまなシステム要件をサポートします。

### 2.3.3 TXE8116

TXE8116 は、16 ビットの SPI I/O エクスパンダで、マイコン ピンの利用可能性が限られているシステムで追加の汎用デジタル I/O を提供します。このデバイスは広い動作電圧範囲に対応しており、プログラム可能なプル抵抗、割り込み機能、構成可能な出力モードなどの機能を統合しています。

このデザインでは、TXE8116 を使用して、電圧と電流モード選択を行うためのチャンネルごとのフロントエンド スイッチングと、他のディスクリート制御機能を制御します。このデバイスは、これらの信号をマイコンからオフロードすることで、コントローラのピン数要件を低減し、絶縁型アナログ入力モジュールでの PCB 配線を簡素化します。

### 2.3.4 ISO6441

ISO6441 は強化絶縁型クワッドチャンネル デジタル アイソレータで、3 つの順方向チャンネルと 1 つの逆方向チャンネルをガルバニック絶縁します。シリコン二酸化ケイ素 (SiO<sub>2</sub>) 絶縁バリアにより、高い絶縁定格と高い同相過渡耐性を実現し、ノイズの多い産業用環境の堅牢性が向上します。

この設計では、ISO6441 は、コントローラと絶縁型アナログ入力ドメインの間のデジタル通信パス用のガルバニック絶縁を実現します。ISO6441 は、共有 SPI アーキテクチャと組み合わせることで、絶縁チャンネル数と外部部品点数を削減すると同時に、堅牢な絶縁型通信を維持することができます。

### 2.3.5 LM5180

LM5180 は 1 次側レギュレーション フライバック コンバータで、高電圧パワー スイッチを内蔵しており、広い入力電圧範囲から絶縁型または非絶縁型の電源レールを生成するように設計されています。1 次側レギュレーションを採用しているので、フォトカプラや 2 次側フィードバック回路が不要になり、小型で信頼性の高い絶縁型電源設計を実現できます。

このデザインでは、LM5180 を使用して、アナログ フロント エンドおよび関連回路用の絶縁型電源レールを生成します。広い入力電圧範囲に対応しており、24V のフィールド電源から電力を供給される産業用モジュールに対応できます。

### 2.3.6 UCC33420

UCC33420 は、トランスドライバ、パワー スイッチ、整流器を統合した絶縁型 DC/DC コンバータ モジュールです。このデバイスは、最小限の外付け部品で統合型の高電圧絶縁バリアをまたぐ形で、レギュレートされた出力電力を供給する設計を採用しており、5V USB から電力を供給する場合、絶縁型電源オプションとして使用できます。

### 2.3.7 TPS7A2050

TPS7A2050 は低ドロップアウト (LDO) リニア レギュレータで、広い入力電圧範囲にわたって高い PSRR と低出力ノイズを備えた、固定 5.0V 出力を供給します。静止電流が小さく、過渡応答が優れているため、高精度のアナログおよびミックスドシグナル回路を供給するスイッチング コンバータまたは電源レールの効率的なポストレギュレーションを実現できます。

電流制限とサーマル シャットダウン保護機能を内蔵しているため、システムの信頼性が向上します。そのため、TPS7A2050 は ADC 用にクリーンな 5V レールを生成するのに最適です。

### 2.3.8 TLV709A33

TLV709A33 は、スペースに制約がありコストを重視するアプリケーション向けに設計された低静止電流固定 3.3V LDO レギュレータです。TLV709A33 は、優れたラインおよび負荷レギュレーション、低ドロップアウト電圧、小さなセラミック出力コンデンサで安定動作します。

## 3 システム設計理論

このセクションでは、システム設計のアーキテクチャと、主要なサブシステムの実装方法や相互作用について説明します。

### 3.1 電源

この電源ツリーは、ガルバニック絶縁バリアを使用した非絶縁型セクションと絶縁型セクションに分かれています。このデザインでは、LM5180 フライバック コンバータを使用した 24V フィールド電源、または UCC33420 絶縁型 DC/DC モジュールを使用した 5V USB 入力から、絶縁型電力を生成します。デジタル アイソレータは、絶縁バリアを介したデジタル通信を可能にします。

### 3.1.1 24V 入力パワーパス

J5 の 24V 入力から電力を供給している場合、入力段は絶縁型コンバータより前に保護とフィルタリングを行います。D14 は逆電流保護を実現し、D16 は入力過渡をクランプします。C31、C32、C33 は入力デカップリングとバルク エネルギー蓄積を提供します。

コンディショニングされた 24V レールが、LM5180 フライバック コンバータ (U8) に電力を供給します。この段は、T1、D11、C28/C29 とともに、絶縁された 5V<sub>ISO\_OUT</sub> レールを生成します。このコンバータは 1 次側レギュレーションを使用しており、フォトカプラが不要になり、絶縁型電源の設計を簡素化できます。UVLO ネットワークは、約 9.5V のターンオンと 6.5V のターンオフ用に構成され、約 9ms のソフト スタートを備えています。

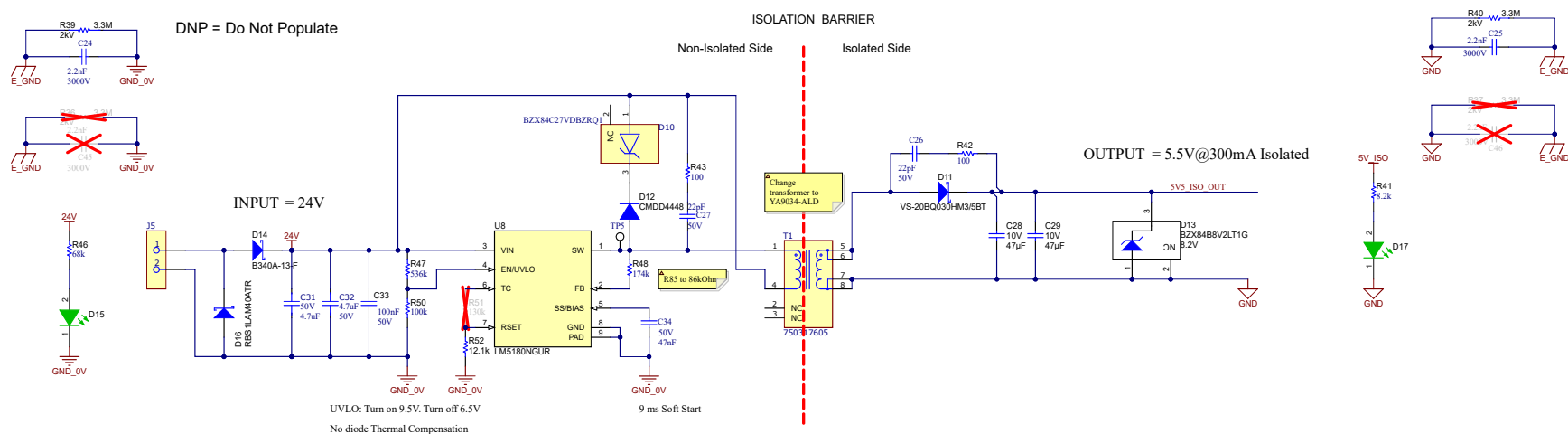


図 3-1. 24V 入力パワーパスの回路図

この回路の詳細については、LM5180 データシートの「代表的なアプリケーション」セクションの設計 1 を参照してください。

### 3.1.2 USB パワーパス

評価とベンチ テストを実施する場合、5V USB 入力からこのボードに電力を供給することもできます。このモードでは、VUSB は UCC33420 絶縁型 DC/DC モジュール (U12) に電力を供給し、絶縁型 5V5\_ISO\_USB レールを生成します。

C41 と C42 は入力デカップリングを実現し、C43 と C44 は絶縁型出力をフィルタリングして負荷過渡に対応します。現在の構成では、このパスは約 1.5W の絶縁出力電力を供給します。

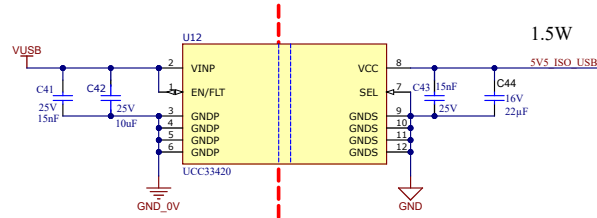


図 3-2. USB パワーパスの回路図

### 3.1.3 非絶縁型マイコン電源

非絶縁側では、マイコンとローカル デジタル回路には、U10 (TLV709A33) によって生成される VCC\_3V3 から電力が供給されます。D19 のダイオード OR 接続ネットワークは、U10 に供給するソースを選択し、24V から派生した電源バスと VUSB の間のバックフィードを防止します。C37 と C38 は、ローカル入出力のデカップリングを実現します。このレールは、MSPM0G5117 およびその他の非絶縁型デジタル回路に電力を供給します。

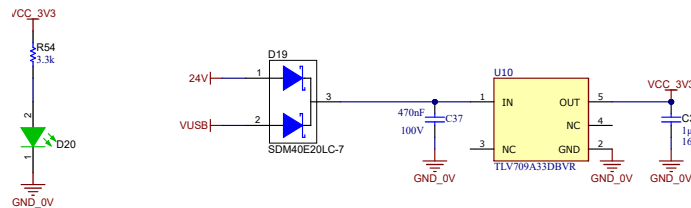


図 3-3. 非絶縁型マイコン電源の回路図

### 3.1.4 絶縁型 ADC およびペリフェラル電源

絶縁測定ドメインには、ダイオード OR 接続 5V5\_ISO\_OUT および 5V5\_ISO\_USB から D18 までの一般的な絶縁 5.5V バスから電力が供給されます。このダイオード OR 接続の構成により、どちらかの絶縁電源がフィールド側回路に電力を供給すると同時に、2 つの電圧源間の逆電流を防止できます。

このバスは、2 本のポストレギュレーター付きレールに接続しています。

1. U9 (TPS7A2050) によって生成された 5V\_ISO は、ADS125H18 を含む高精度アナログ回路に低ノイズ電源を供給します。C35 と C36 はローカル デカップリングを提供します。
2. U11 (TLV709A33) によって生成された 3V3\_ISO は、絶縁側のデジタルおよび制御回路に電力を供給します。C18 と C40 はローカル デカップリングを提供します。

これらのレールを組み合わせることで、測定サブシステム向けのクリーンな絶縁型電源を供給すると同時に、マイコンとホスト側回路を絶縁バリアの非絶縁側に維持します。

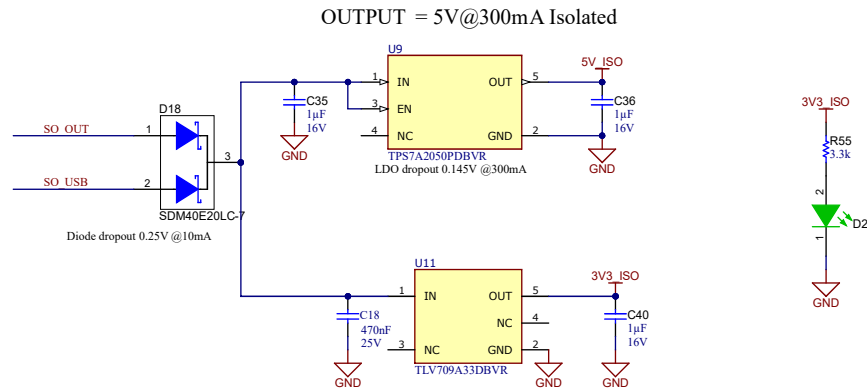


図 3-4. 絶縁型 ADC およびペリフェラル電源の回路図

### 3.2 アナログ入力ポート

このリファレンス デザインには、8 つの同一 2 端子アナログ入力チャンネルが搭載されています。各チャンネルは 1 ペアのフィールド端子を使用し、 $\pm 10V$  の差動電圧入力または  $\pm 20mA$  差動電流入力をサポートします。モード選択は Photo-MOS スイッチによってチャンネルごとに実装されるため、再配線なしでソフトウェアを設定できます。この 2 端子入力アーキテクチャにより、コネクタ数の削減と、コンパクトな高密度アナログ入力モジュールのサポートが可能になります。

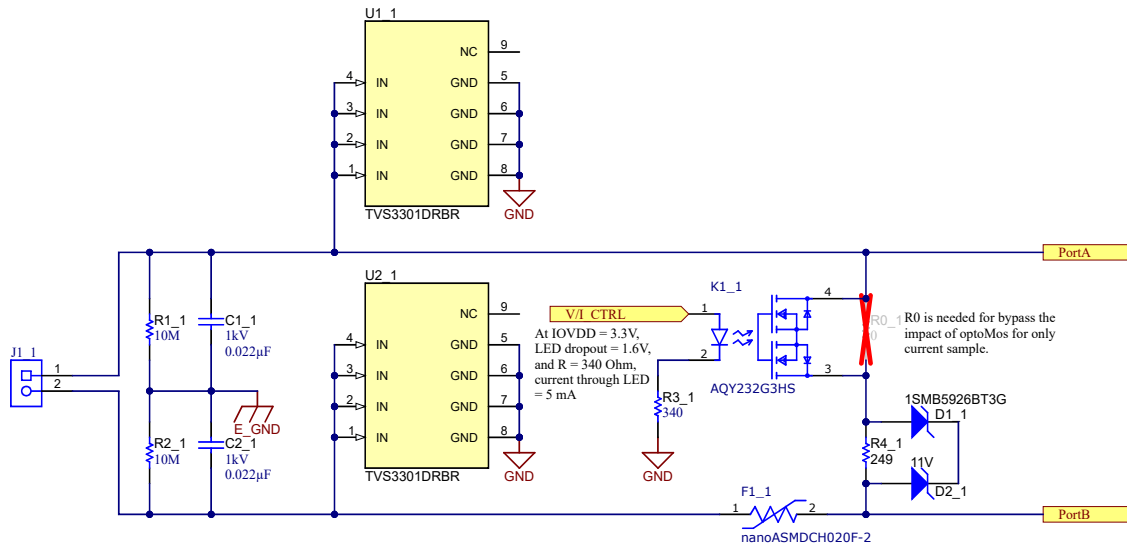


図 3-5. アナログ入力フロント エンドの回路図

#### 3.2.1 アナログ入力ポートおよび保護

各チャンネルは、2 ポジションの入力端子を介して接続されています。フロント エンドの入力には、E\_GND を基準とする EMI ネットワークと、絶縁型アナログ グランドを基準とする過渡保護段が含まれます。R1、R2、C1、C2 は入力 EMI ネットワークを形成します。値の大きい抵抗は、ラインとアース間のコンデンサの放電パスとして機能し、無視できる負荷を追加すると同時にフローティング フィールド配線での電荷の蓄積を防止します。

これらのコンデンサは E\_GND への高周波のリターン パスを提供し、長いケーブルでの EMI 性能を向上させます。

過渡保護は、TVS3301 デバイスを使用して U1 と U2 を実装しています。これらのサージ イベントと ESD イベントを入力側でクランプし、ダウンストリームのスイッチング回路と測定回路を保護します。

#### 3.2.2 電圧と電流のモード選択

各チャンネルは、Photo-MOS スイッチ K1 による電圧または電流測定をサポートしています。絶縁側デジタル制御回路は、V/I\_CTRL 信号を通してスイッチを駆動します。

K1 がオンのとき、電流測定パスが接続され、チャンネルは電流モードで動作します。

K1 がオフになると、電流経路が切断され、チャンネルは高インピーダンスの差動電圧入力として動作します。

R3 は、3.3V 制御信号からの Photo-MOS 入力の LED 駆動電流を設定します。R0 はオプションの 0Ω バイパス位置であり、電流モードでの Photo-MOS オン抵抗の影響を低減できます。デフォルトの実装では、R0 は未実装のままになっています。

### 3.2.3 電流測定パス

電流モードでは、入力電流は保護された電流測定パスを流れます。R4 は、入力電流を ADC 用の差動電圧に変換するシャント抵抗です。±20mA の入力範囲に対して、249Ω のシャントは測定抵抗の両端に約 ±4.98V を生成し、これは ADC の入力範囲内です。

F1 は、誤配線または持続的な過電流状態における障害の堅牢性を向上させるため、電流パスと直列に配置されたリセット可能なヒューズです。D1 と D2 は、過負荷イベント時の過剰な電圧ストレスを制限するためにシャントパス両端に接続された双方向クランプダイオードです。

### 3.2.4 電圧測定パス

電圧モードでは、K1 は F1、D1、D2、R4 を含む電流測定ブランチを入力経路から切断します。その後、チャンネルは ±10V 範囲の差動電圧入力として動作します。

このモードでは、入力信号が、フロントエンド保護と EMI ネットワークのみを経由して ADC に印加されます。TVS デバイスは過渡保護を継続し、E\_GND を基準とする RC ネットワークは EMI 性能を維持します。

### 3.2.5 チャンネル構成

8 つのチャンネルはすべて同じ入力ポロジを使用しており、独立して制御されます。各チャンネルには V/I\_CTRL 信号があり、電圧入力モードと電流入力モードをチャンネルごとにソフトウェアで選択できます。このアプローチでは、フロントエンド回路をシンプルかつ堅牢に維持しながら、柔軟なアナログ入力インターフェイスを実現します。

### 3.3 デジタル制御およびデータ アクイジション サブシステム

このセクションでは、ADC の制御、変換データの取得、チャンネルごとの電圧モードと電流モードの選択の管理に使用されるデジタル サブシステムについて説明します。このデザインは、非絶縁型コントローラドメイン (GND\_0V) と、絶縁バリアで分離された絶縁型測定ドメイン (GND) に分割されています。

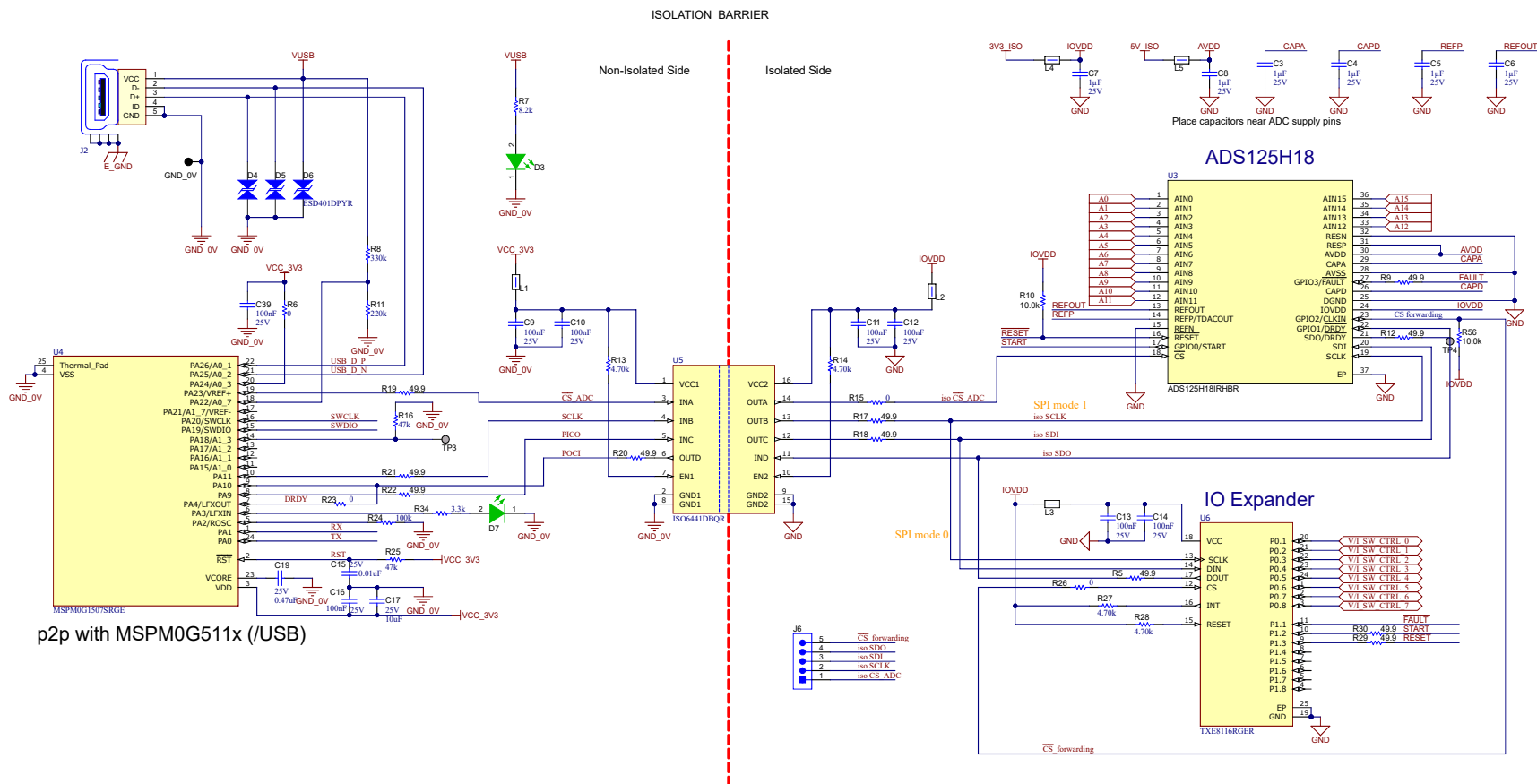


図 3-6. デジタル制御およびデータ アクイジション サブシステムの回路図

### 3.3.1 マイコン プラットフォーム

このリファレンス デザインは、次の 2 つのピン互換 マイコン オプションをサポートしています。(MSPM0G5117、MSPM0G1507) で構成されています。MSPM0G5117 は主要なオプションであり、評価、構成、データ キャプチャのために USB 接続を提供します。MSPM0G1507 は、USB 接続を必要としない設計向けに低コストのオプションを提供します。

USB 対応の実装では、保護およびサポート回路を経由して USB コネクタをマイコンに配線します。D4 ~ D6 は USB ラインの ESD 保護を実現し、分圧抵抗器は VBUS 検出と関連する USB サポート機能に使用されます。0Ω オプション R6 は、USB 対応バリエーションのアセンブリ選択をサポートします。また、マイコンはローカル デバッグ インターフェイスとサービス インターフェイスも搭載しています。

### 3.3.2 高精度 ADC

ADS125H18 高精度 ADC (U3) は、絶縁測定ドメインのコアであり、8 つの入力チャンネル用にアナログ入力インターフェイスと変換エンジンを提供します。ADC には絶縁型レールから電力が供給され、AVDD、IOVDD、CAPA、CAPD、REFP の近くにローカル デカップリングが配置されています。および REFOUT ピンは、電源インピーダンスを低減し、低ノイズ動作をサポートします。

この ADC は SPI 経由で通信を行い、START、RESET、DRDY、FAULT などの制御信号とステータス信号も提供します。これらの信号は、コントローラと絶縁側サポート ロジックによって使用され、変換シーケンスを管理し、デバイスのステータスを監視します。

GPIO2 は、チップセレクトの転送機能に使用されます。電源オンおよびその他のアイドル条件時に定義されたロジックレベルを使用するため、このノードにプルアップ抵抗 (R56) を追加します。プルアップは厳密には必須ではありませんが、R56 は、デバイスを意図的に選択する前にダウンストリーム デバイスとの意図しない通信を防止するのに役立ちます。

### 3.3.3 共有 SPI バスおよびチップセレクト転送

この設計では、ADS125H18 チップセレクトの転送機能を使用して、ADC と I/O エクスパンダの間で 1 つの SPI を共有しています。チップセレクト転送機能は、ADC GPIO を使って、セカンダリ シリアル ペリフェラルのチップセレクト (CS) ピンを制御します。チップセレクト転送機能を使うと、ADC が外部コンパニオン デバイスとの SPI 通信の管理を支援できます。その結果、絶縁バリアをまたぐ必要がある信号の数が減少し、個別のチップセレクト信号用の専用アイソレータ チャンネルの追加を避けています。

ADC は SPI モード 1 で動作し、I/O エクスパンダは SPI モード 0 で動作します。マイコンは、必要に応じて SPI モードを切り替え、ADC 転送バスを使用して同じ絶縁 SPI バスを介して両方のデバイスと通信しながら、確定的なデバイスの選択を維持します。

直列抵抗 (49.9Ω) をデジタル インターフェイス ライン上で使用して、ソースの終端を実現し、シグナル インテグリティを向上させます。直列抵抗は、高速エッジでのリングングとオーバーシュートを減衰させ、EMI (電磁干渉) を低減するのに役立ちます。特に、絶縁バリアをまたぐ信号や、より長いパターンで配線された信号についてです。これらの帰還抵抗は信号ドライバの近くに配置します。

### 3.3.4 I/O エクスパンダ

SPI ベースの I/O エクスパンダ TXE8116 (U6) は、システムに必要な追加の絶縁側デジタル制御信号を提供します。主な機能は、アナログ フロント エンドでチャンネルごとの電圧および電流モード選択に使用される 8 つの V/I\_SW\_CTRL 出力を生成することです。TXE8116 は、START、RESET、FAULT 処理など、ADC 関連の制御および監視機能もサポートしています。

ローカル デカップリング コンデンサは、エクスパンダの電源ピンの近くに配置され、絶縁ドメインでのデジタル電源ノイズを低減します。

### 3.3.5 オプションの外部参照

このデザインには、オプションの外部高精度電圧リファレンスである REF6025 (U7) が含まれており、精度と温度ドリフト性能が向上します。外部リファレンス オプションが実装されている場合、リファレンスは ADC リファレンス入力を駆動し、低ノイズのリファレンス ノードを維持するためにローカル フィルタ処理されます。このオプションを選択すると、ADC の内部基準パスのみに依存する場合よりも、基準電圧の精度と温度ドリフト性能を向上させることができます。

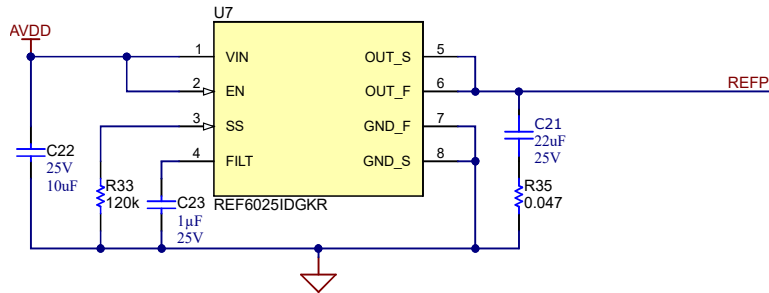


図 3-7. オプションの外部基準電圧の回路図

## 4 ハードウェア、ソフトウェアのテスト要件、およびテスト結果

### 4.1 ハードウェア要件

#### 4.1.1 PCB の概要

図 4-1 と図 4-2 に、TIDA-010988 PCB の上面図と底面図を示します。

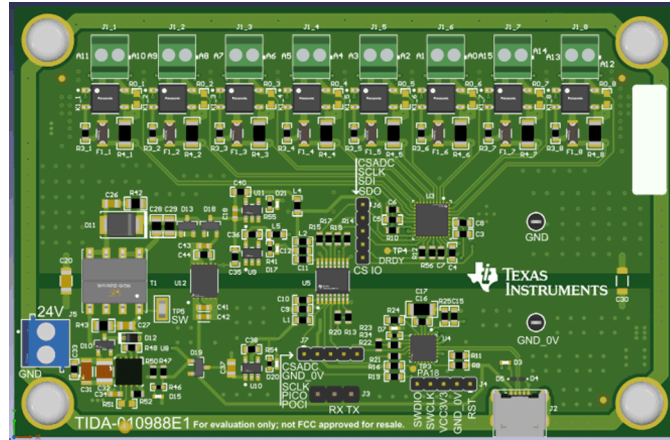


図 4-1. TIDA-010988 PCB の上面図

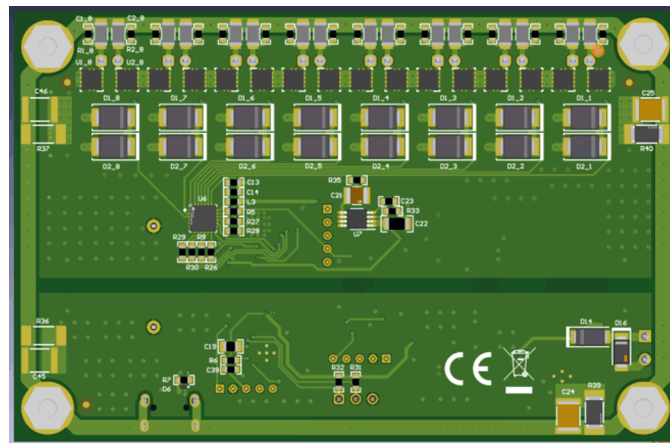


図 4-2. TIDA-010988 PCB の底面図

#### 4.1.2 コネクタの説明

##### 4.1.2.1 電源コネクタ

ボードには、次のいずれかの方法で電力を供給できます。

- コネクタ J5 を通して公称 24V の入力電圧を印加します。
- J2 経由での標準的な micro-USB 接続。

##### 4.1.2.2 入力コネクタ

表 4-1 に、TIDA-010988 基板のさまざまなコネクタを示します。

表 4-1. コネクタの説明

記号	説明
J5	24V フィールド電源入力
J2	USB 接続があり、ボードに電力を供給することもできます
J1-1~J1-8	8 個のチャンネルに対応する複数のアナログ入力コネクタ。デフォルト構成は電圧入力モードです
J3	UART コネクタを実装しており、CPU モジュールとのバックプレーン通信に使用できます

表 4-1. コネクタの説明 (続き)

記号	説明
J4	ファームウェアプログラミング用の マイコン デバッグ コネクタ

## 4.2 テスト設定とテスト結果

### 4.2.1 ADS125H18 の一般的な構成

表 4-2 に、特性評価時に使用したベースライン ADS125H18 構成を示します。特に記述のない限り、このセクションのすべての測定値はこの構成を使用して収集されています。

表 4-2. 特性評価で使用する ADS125H18 ベースライン構成

項目	設定
クロック ソース	内部発振器
速度モード	高速度モード ( $f_{MOD} = 12.8\text{MHz}$ )
電圧リファレンス	内部 2.5V 基準電圧
デジタル フィルタ	SINC4 (32) + SINC1 (32)
オーバーサンプリング比 (OSR)	1024
シーケンサ モード	1 つのステップを連続的に繰り返します

### 4.2.2 オフセット テスト

#### 4.2.2.1 テスト設定

オフセット テストは、電圧入力モードと電流入力モードの両方で、ゼロ入力条件下でのアナログ入力シグナル チェーンの残留入力換算誤差を評価するために実施しました。

測定は、次の 6 つの温度ポイントで実施しました。 $-40^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}$ 、 $85^{\circ}\text{C}$ 、 $105^{\circ}\text{C}$ 、および  $125^{\circ}\text{C}$  です。テスト中、リファレンス デザイン 基板は温度チャンバー (Vötsch VT 4002) 内に配置されました。TMP119EVM を基板の近くに配置し、テスト対象のハードウェア付近のローカル温度を監視しました。各温度点で、データ収集が開始される前にチャンバーは約 1 時間安定することができました。

電圧入力オフセット テストでは、8 つのチャンネルすべてを電圧モードに構成し、リファレンス デザイン ボードの対応する入力端子で短絡しました。電流入力オフセット テストでは、8 つのチャンネルすべてを電流モードに構成し、リファレンス デザイン ボードの対応する入力端子で開路のままにしました。各測定時に、8 つのチャンネルはすべて同じ入力モードに構成されています。図 4-3 にオフセット テスト設定を示します。

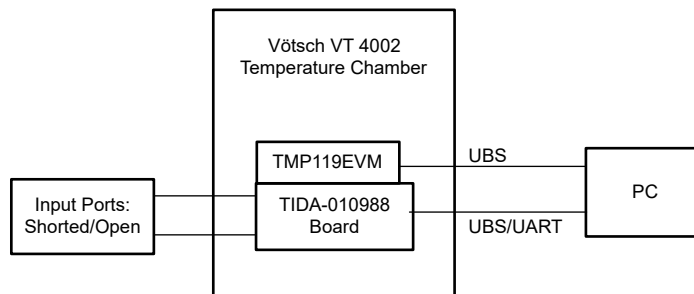


図 4-3. 過熱オフセット テスト構成

ADS125H18 自動シーケンシング機能は、デバイスの構成と起動後に、連続的に変換データを取得するために使用されました。図 4-4 に、測定に使用される ADC データ アクイジションのタイミングを示します。各チャンネルについて、スキャンシーケンスの次のチャンネルに切り替える前に 1024 個の連続サンプルが収集されました。買収は CH1 から始まり、CH8 を通じて順次継続されました。そのため、チャンネル データは同時ではなく順次取得されました。外れ値除去は適用されていません。測定データは、後処理用にシリアル インターフェイスを介して PC に転送されました。

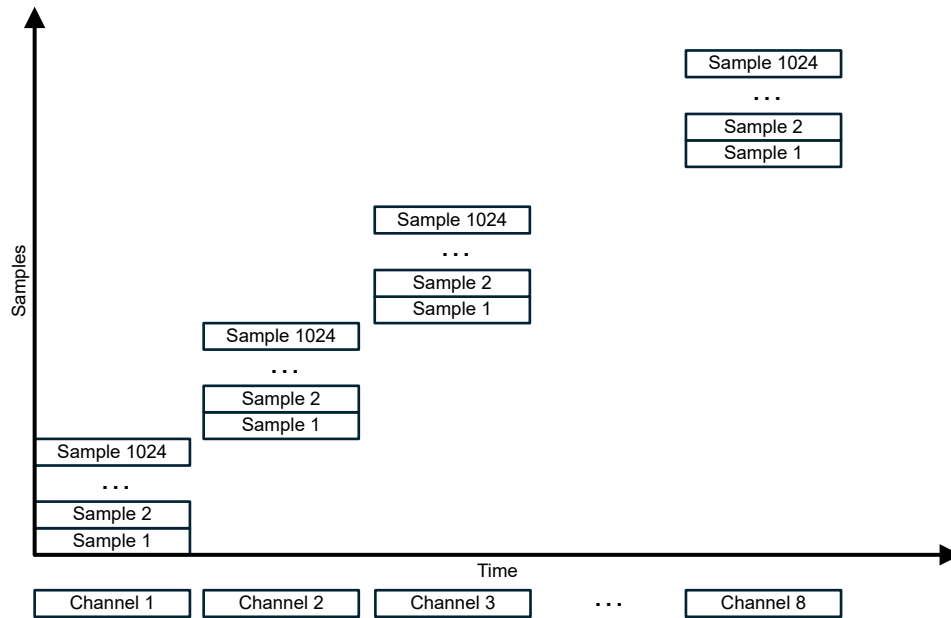


図 4-4. チャンネルごとに 1024 サンプルでのシーケンシャル ADC データ アクイジション タイミング

#### 4.2.2.2 テスト結果

オフセット結果は、特性温度範囲全体にわたって、電圧入力モードと電流入力モードの両方について収集されました。測定結果は次のセクションに別々にまとめられています。

##### 4.2.2.2.1 電圧入力モード

電圧入力オフセットは、各温度ポイントにおける 8 つのチャンネルの平均絶対オフセットとしてまとめられます。表 4-3 に、 $-40^{\circ}\text{C}$ 、 $-20^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}$ 、 $85^{\circ}\text{C}$ 、 $105^{\circ}\text{C}$  および  $125^{\circ}\text{C}$  における電圧入力モードの平均絶対オフセットをまとめます。この結果は、電圧入力オフセットは温度範囲全体にわたって安定した状態を維持し、ほとんどの温度ポイントでの平均絶対オフセットは  $1\text{mV}$  に近く、 $25^{\circ}\text{C}$  ではより小さい値が観測されることを示しています。温度依存性の異常な変位は検出されませんでした。

表 4-3. 温度範囲全体にわたる電圧入力モードの平均絶対オフセット

温度	$-40^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C}$	$25^{\circ}\text{C}$	$85^{\circ}\text{C}$	$105^{\circ}\text{C}$	$125^{\circ}\text{C}$
平均絶対オフセット (mV)	1.035	1.031	0.422	1.064	1.047	0.946

さまざまな温度での代表的な CH4 の測定されたオフセット分布ヒストグラムを、図 4-5 から 図 4-10 までに示します。これらのプロットは、各温度ポイントでのオフセット挙動のサンプル分布ビューを示しています。一般に分布は特性温度範囲全体で単一ピークを維持し、異常な分布形状は観測されません。分布の中心は温度によって変化し、前に示した平均オフセット傾向と一致します。他の温度点と比較して、室温付近で観測された平均絶対オフセットの減少に対応して、 $25^{\circ}\text{C}$  での分布はより狭くなります。

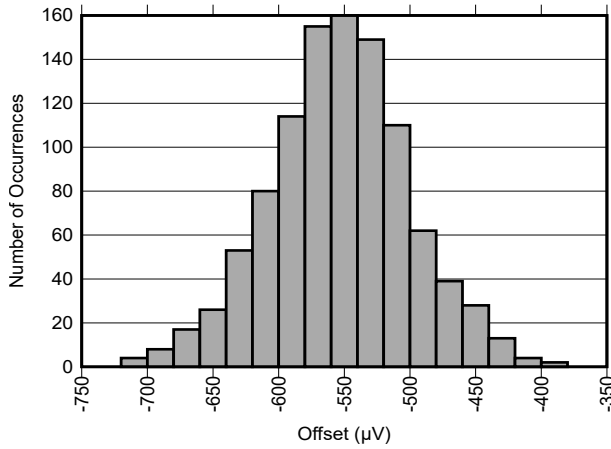


図 4-5. -40°C における代表 CH4 の電圧入力モード オフセット分布ヒストグラム

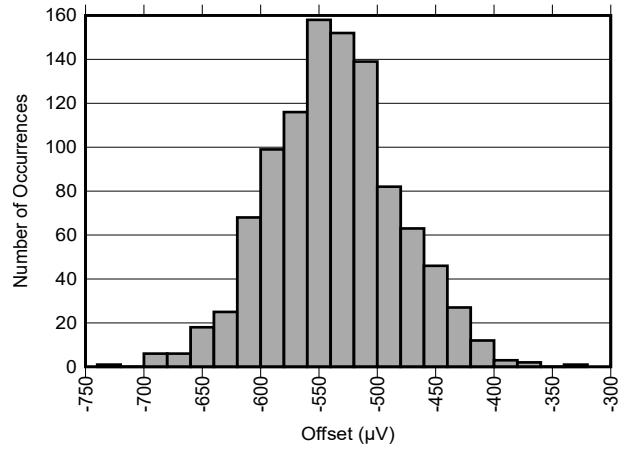


図 4-6. -20°C における代表 CH4 の電圧入力モード オフセット分布ヒストグラム

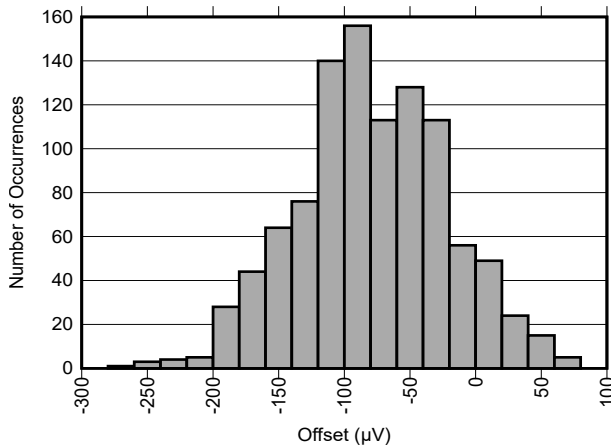


図 4-7. 25°C における代表 CH4 の電圧入力モード オフセット分布ヒストグラム

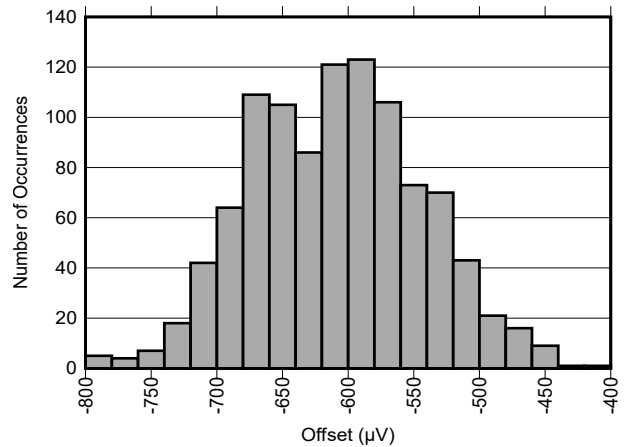


図 4-8. 85°C における代表 CH4 の電圧入力モード オフセット分布ヒストグラム

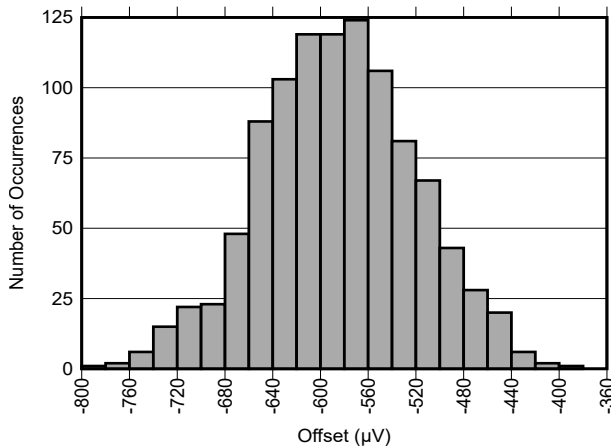


図 4-9. 105°C における代表 CH4 の電圧入力モード オフセット分布ヒストグラム

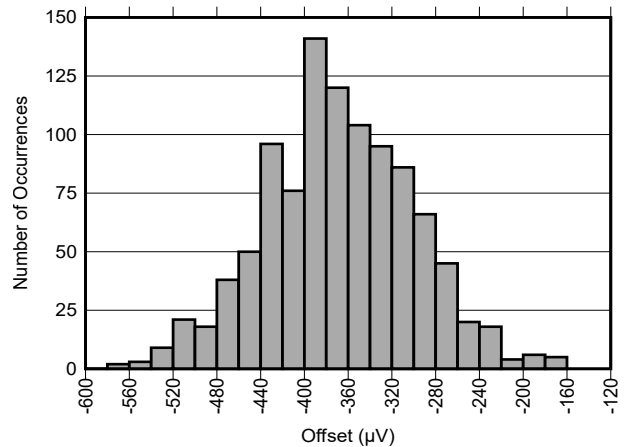


図 4-10. 125°C における代表 CH4 の電圧入力モード オフセット分布ヒストグラム

#### 4.2.2.2.2 電流入力モード

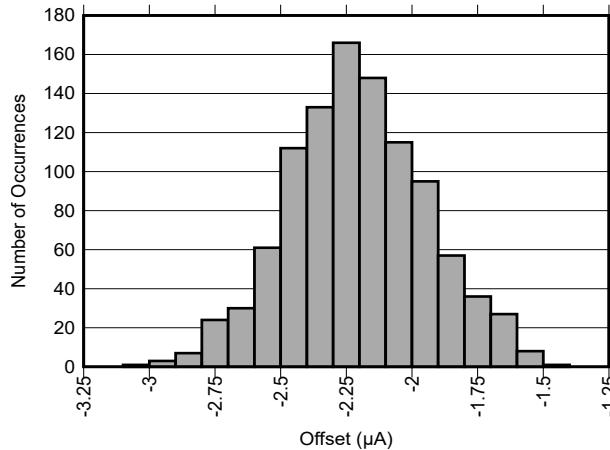
電流入力オフセットは、各温度ポイントにおける 8 つのチャンネルの平均絶対オフセットと、電圧入力モードとして示されます。表 4-4 に、-40°C、-20°C、25°C、85°C、105°C および 125°C の電流入力モードの平均絶対オフセットを示します。測定結果は、電流入力オフセットが一般に温度範囲全体にわたって一定であり、特性評価範囲の大半で約 4µA で

あることを示しています。125°C ではわずかに低い値が観測されましたが、異常な温度関連のシフトは明らかになっていません。

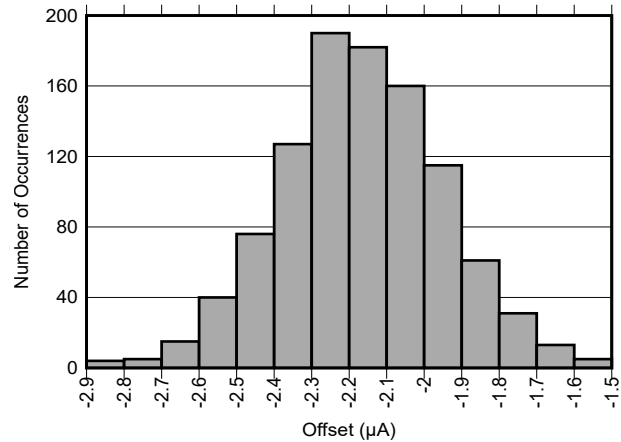
**表 4-4. 温度範囲全体にわたる電流入力モードの平均絶対オフセット**

温度	-40°C	-20°C	25°C	85°C	105°C	125°C
平均絶対オフセット (μA)	4.151	4.143	4.126	4.263	4.196	3.800

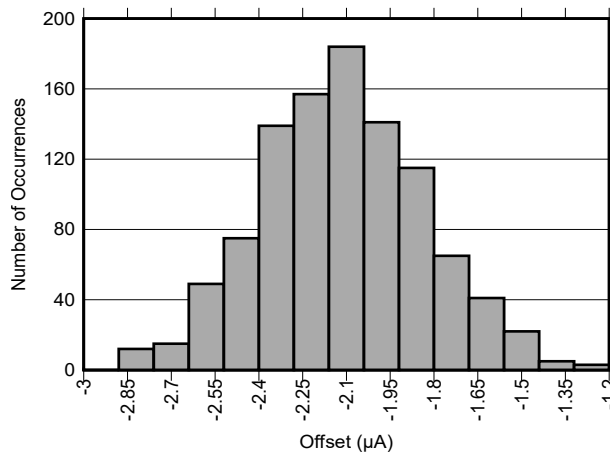
電流入力モードで異なる温度で測定された CH4 の代表的なオフセット分布ヒストグラムを、[図 4-11](#) から [図 4-16](#) までに示します。ヒストグラムは、サンプル分布がすべての特性温度点において良好な挙動を示しており、不規則な広がりや不連続性の兆候は見られないことを示しています。一般に分布は特性範囲全体で単一ピークを維持し、異常な分布形状は観察されません。分布の中心は温度とともにわずかに変化し、[表 4-4](#) のオフセット結果の要約と一致します。



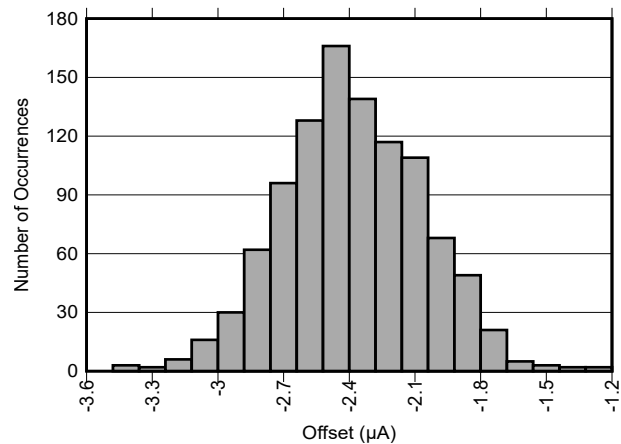
**図 4-11. -40°C における代表値 CH4 の現在の入力モードオフセット分布ヒストグラム**



**図 4-12. -20°C における代表値 CH4 の現在の入力モードオフセット分布ヒストグラム**



**図 4-13. 25°C における代表値 CH4 の現在の入力モードオフセット分布ヒストグラム**



**図 4-14. 85°C における代表値 CH4 の現在の入力モードオフセット分布ヒストグラム**

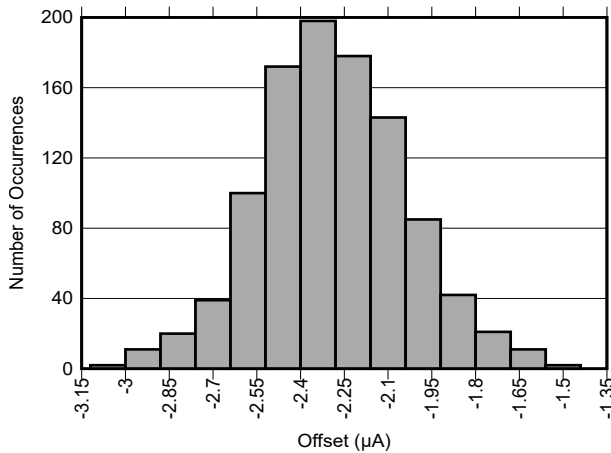


図 4-15. 105°C における代表値 CH4 の現在の入力モード オフセット分布ヒストグラム

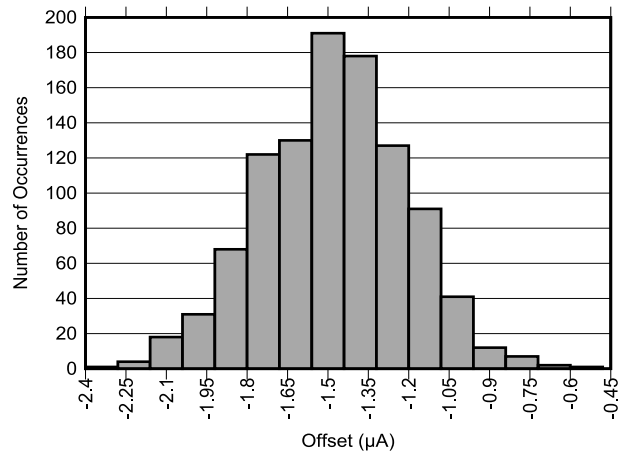


図 4-16. 125°C における代表値 CH4 の現在の入力モード オフセット分布ヒストグラム

### 4.2.3 システム精度の誤差とノイズ性能のテスト

#### 4.2.3.1 計算方法

各テスト条件について、各チャンネルで 1024 のサンプルが収集されました。特に記述のない限り、各テスト条件で収集された未加工の ADC 変換コードから平均測定値、RMS ノイズ、ENOB を計算しています。システムの絶対精度誤差は、各サンプルから導出された変換された電圧または電流値を使用して個別に計算され、対応するデジタル マルチメータ (DMM) の読み取り値を基準にしています。

各チャンネルの平均測定値  $x_{AVG}$  は、式 1 を使用して計算しました。

$$x_{AVG} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \text{(codes)} \quad (1)$$

ここで

- $x_i$  はサンプル  $i$  の測定値です
- $N = 1,024$

各チャンネルの RMS ノイズは、式 2 を使用して、同じ 1024 サンプルのデータセットから計算されました。以下のテスト結果で報告されている RMS ノイズ値は、未加工の ADC コードで計算された RMS ノイズを、対応する入力換算電圧または電流値に変換することで得られ、ENOB は、未加工の ADC コードでの RMS ノイズから計算されます。

$$\text{RMS Noise} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [x_i - x_{AVG}]^2}{N}} \text{(codes)} \quad (2)$$

ここで

- $x_{AVG}$  はチャンネルの平均測定値です
- $N = 1,024$

各サンプルのシステム絶対精度誤差は、式 3 を使用した対応する DMM リファレンス読み取り値を基準にして計算されました。

$$\text{System Absolute Accuracy Error} = \left| \frac{x_i - x_{REF}}{x_{REF}} \right| \times 100\% \quad (3)$$

ここで

- $x_{REF}$  は、DMM によって測定された対応するリファレンス値です

ENOB は、式 4 を使用して測定された RMS ノイズから計算しました。

$$\text{ENOB} = \log_2 \left( \frac{2^{24}}{\text{RMS Noise}} \right) (\text{bits}) \quad (4)$$

ここで

- $2^{24}$  は測定パスのフルスケール コード範囲です

#### 4.2.3.2 テスト設定

ベースライン ADS125H18 構成を使用し、電圧入力モードと電流入力モードの両方で、システムの精度誤差とノイズ性能を評価しました。特に記述のない限り、温度条件、チャンバーの設定、データ収集手順は、オフセット テストで使用されたものと同じです。測定は、次の 6 つの温度ポイントで実施しました。-40°C、-20°C、25°C、85°C、105°C、および 125°C です。

電圧入力テストのため、入力ソースとしてバッテリー スタックを使用しました。印加される入力レベルは +3.3V、-3.3V、+5V、-5V、+10V、および -10V。8 つのチャンネルはすべて同じ入力ソースに並列接続されました。リファレンス デザインボードの入力端子に 6.5 桁の DMM (Keysight 34461A) を並列に接続し、印加されている電圧を監視しました。

電流入力テストでは、入力電流は高精度抵抗と直列のバッテリー スタックを使用して生成されました。印加される電流レベルは 4mA、-4mA、10mA、-10mA、+ 20mA、および - 20mA でした。CH1 ~ CH4 を直列接続してまずテストし、次に CH5 ~ CH8 を同じ方法でテストしました。DMM を電流ループに直列に挿入し、印加される電流を監視しています。

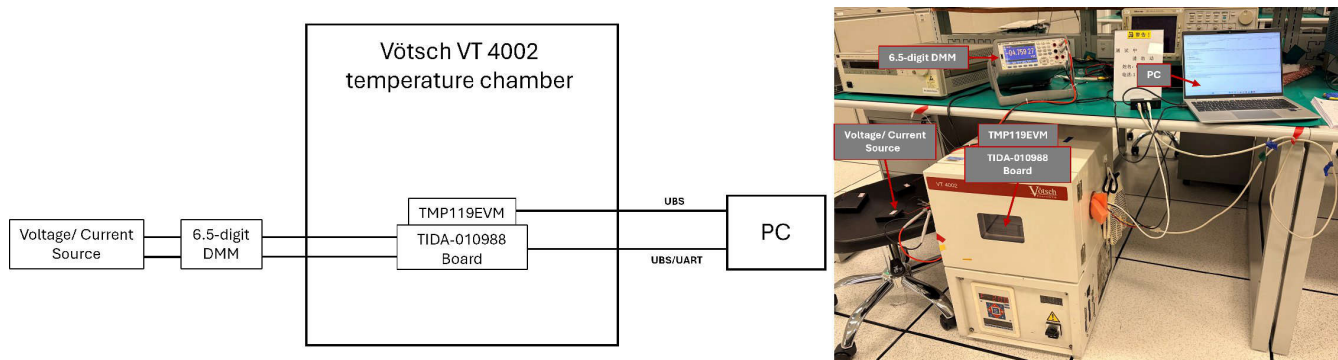


図 4-17. 過熱のシステム精度誤差とノイズ性能テストの構成のブロック図と写真

テスト中は、TIDA-010988 基板と TMP119EVM を Vötsch™ VT 4002 温度チャンバー内に配置しました。一方、ソース計器、DMM、PC はチャンバーの外にとどめました。PC は、UART インターフェイス経由でリファレンス デザインボードとの通信を実施し、データ ロギングと後処理に使用されました。図 4-17 に、システム レベルのテスト設定図と、過熱精度の誤差およびノイズ評価のために使用される実験室設定の写真を示します。

#### 4.2.3.3 テスト結果

##### 4.2.3.3.1 電圧入力モード

表 4-5 に、特性化された温度範囲全体にわたる電圧入力モードでの RMS ノイズ、ENOB、システム絶対精度誤差をまとめます。テスト済みの入力レベルは +3.3V、-3.3V、+5V、-5V、+10V および -10V です。各テスト条件について、各チャンネルで 1024 のサンプルが収集されました。各チャンネルについて RMS ノイズを計算し、8 つのチャンネルで平均化しました。ENOB は、対応する RMS ノイズの結果から計算されています。システムの絶対精度誤差は、対応する DMM リファレンス値を基準に、測定された各サンプルについて計算されました。1024 の計算された精度誤差値を平均化して、各チャンネルで 1 つの精度誤差の結果が得られました。レポートされる表の値は、8 つのチャンネル結果の平均です。この表では、RMS ノイズが変換電圧値として通知されます。

**表 4-5. 電圧入力モードにおける RMS ノイズ、ENOB、システムの絶対精度誤差の概要**

入力電圧	温度	RMS ノイズ (μV)	ENOB (ビット)	精度誤差 (%)
+3.3V	-40°C	54.99	19.79	0.0486
	-20°C	57.07	19.74	0.0311
	25°C	60.20	19.66	0.0355
	85°C	66.37	19.52	0.0298
	105°C	67.89	19.49	0.0356
	125°C	71.07	19.42	0.0296
-3.3V	-40°C	54.85	19.80	0.0545
	-20°C	56.37	19.76	0.0356
	25°C	61.92	19.62	0.0308
	85°C	65.38	19.54	0.0360
	105°C	68.35	19.48	0.0297
	125°C	69.19	19.46	0.0297
+5V	-40°C	57.84	19.72	0.0449
	-20°C	58.97	19.69	0.0246
	25°C	63.76	19.58	0.0257
	85°C	68.63	19.47	0.0212
	105°C	71.23	19.42	0.0260
	125°C	72.07	19.40	0.0210
-5V	-40°C	56.93	19.74	0.0482
	-20°C	59.34	19.74	0.0255
	25°C	64.04	19.73	0.0212
	85°C	68.74	19.72	0.0255
	105°C	71.06	19.71	0.0201
	125°C	72.66	19.71	0.0206
+10V	-40°C	68.31	19.48	0.0381
	-20°C	72.96	19.39	0.0158
	25°C	76.86	19.31	0.0165
	85°C	83.55	19.19	0.0127
	105°C	87.04	19.13	0.0163
	125°C	88.78	19.10	0.0120
-10V	-40°C	68.66	19.47	0.0412
	-20°C	71.55	19.41	0.0140
	25°C	76.38	19.32	0.0111
	85°C	83.21	19.20	0.0126
	105°C	86.45	19.14	0.0087
	125°C	87.73	19.12	0.0096

表 4-5 に示すように、RMS ノイズは温度とともに入力振幅とともに増加します。温度が高いポイントや入力レベルが高い場合、ENOB はそれに応じて減少します。この挙動は、ノイズの測定結果と一致しています。全特性範囲にわたって、ENOB は比較的安定し、テストされたすべての電圧入力条件で 19 ビットを超えて維持されます。

システムの絶対精度誤差は、温度と入力極性の全体にわたって安定した状態を維持します。一般に、パーセンテージ誤差は高い入力レベルでは小さくなり、正規化された精度誤差指標で期待されるように、低い入力レベルではわずかに大きくなります。正と負の入力条件は、特性評価範囲全体で同等の性能を示し、極端な温度で異常な変位は観測されませんでした。

各種入力レベルにおける電圧入力モードにおけるワーストケースのチャンネル システムの絶対精度誤差と温度との関係を、図 4-18 に示します。各温度ポイントで、計算された 1024 個のサンプル誤差を平均化することにより、各チャンネルの

精度誤差が得られ、プロットされた値は 8 つのチャンネル中のワーストケースのチャンネルを表しています。一方、表 4-5 では、8 つのチャンネル結果の平均を報告します。

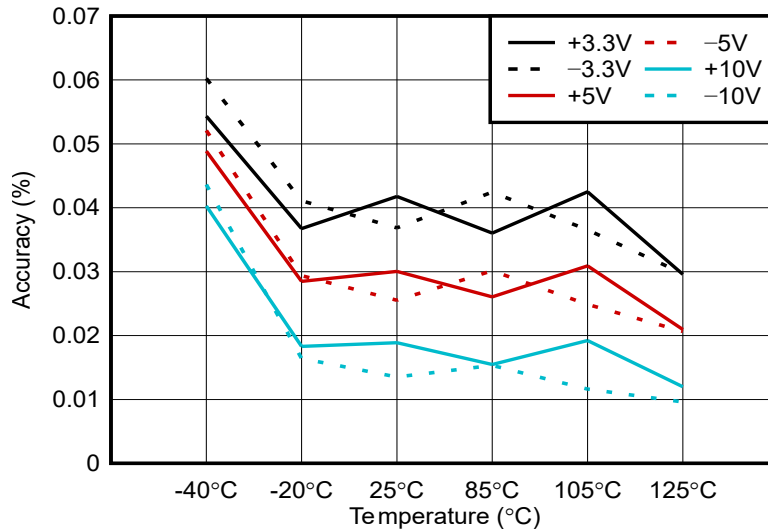


図 4-18. 電圧入力モードでのワーストケースのチャンネル システムの絶対精度誤差と温度との関係

これらの結果は、ワーストケースのチャンネル システムの絶対精度誤差がテストされた最低温度で最大になり、 $-20^{\circ}\text{C}$  ~  $125^{\circ}\text{C}$  の範囲で比較的一貫性を維持していることを示しています。パーセンテージ ベースの精度誤差指標について予測されるように、一般的に入力振幅が小さい場合は誤差が大きく、入力振幅が大きい場合は誤差が小さくなります。 $\pm 10\text{V}$  の条件は最小誤差を示し、 $\pm 3.3\text{V}$  の条件は最大の誤差を示しています。正と負の入力レベルは、温度範囲全体にわたって同等の傾向を示しており、入力極性全体でバランスのとれた性能を示しています。

図 4-19 に、入力レベル  $+3.3\text{V}$ 、 $-3.3\text{V}$ 、 $+5\text{V}$ 、 $-5\text{V}$ 、 $+10\text{V}$  および  $-10\text{V}$  について、電圧入力モードにおける RMS ノイズと温度との関係を示します。各温度ポイントでのプロットされた値は 8 つのチャンネルにわたる平均 RMS ノイズを表し、各チャンネルの RMS ノイズは測定された 1024 個のサンプルから計算されています。

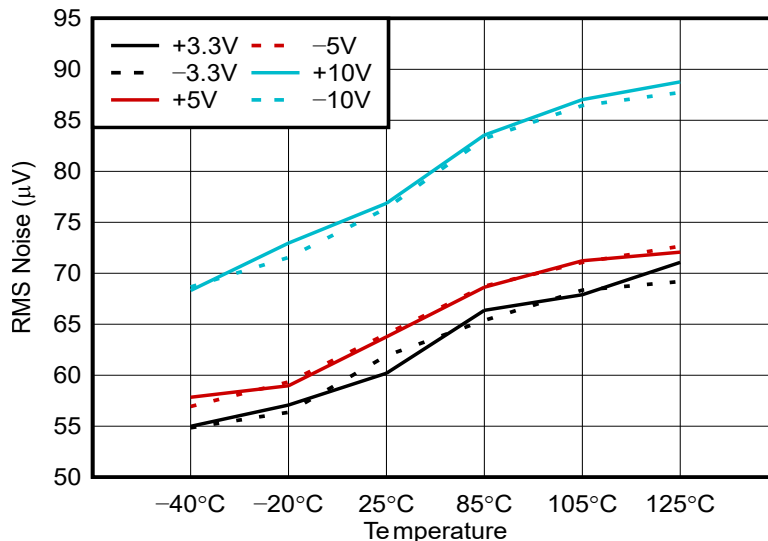


図 4-19. 電圧入力モードの RMS ノイズと温度との関係

結果では、テストされたすべての入力レベルにわたって温度とともに RMS ノイズが明らかに増加していることが示されています。また、入力振幅が大きいと RMS ノイズが大きくなる傾向があり、 $\pm 10\text{V}$  の入力条件は、特性化される範囲のほとんどにわたって最大値を示します。正と負の入力条件も同様のトレンドに従い、入力極性全体にわたって一貫した電圧入力ノイズ特性を示しています。

図 4-20 から 図 4-22 までに、 $-40^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}$ 、 $125^{\circ}\text{C}$  の  $+10\text{V}$  入力による電圧入力モードのチャンネル 4 の出力分布ヒストグラムを示します。チャンネル 4 は、温度に対する分布挙動を示すため、代表的なチャンネルとして選択しました。

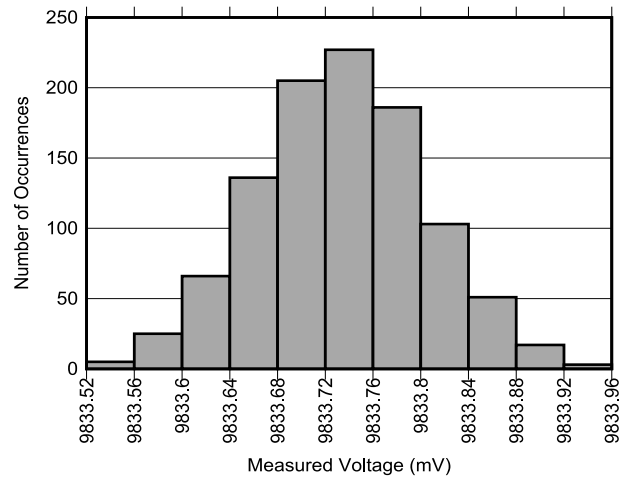
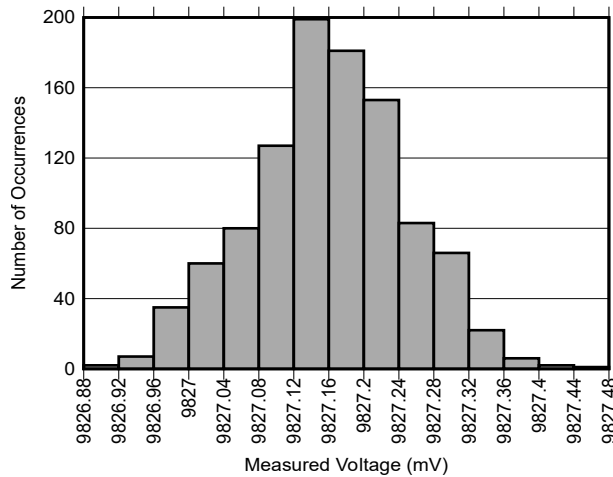


図 4-20.  $-40^{\circ}\text{C}+10\text{V}$  での CH4 の測定電圧分布ヒストグラム

図 4-21.  $25^{\circ}\text{C}+10\text{V}$  での CH4 の測定電圧分布ヒストグラム

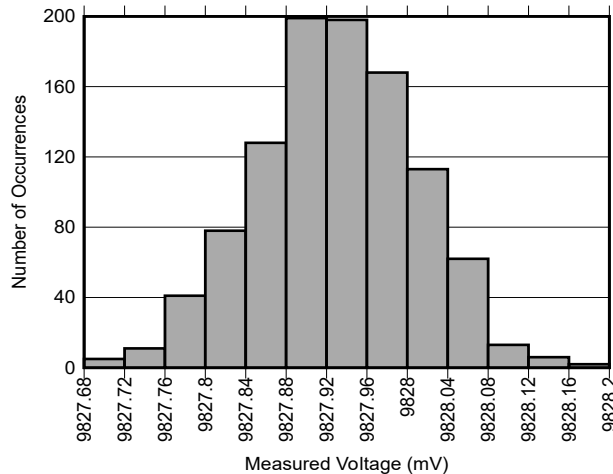


図 4-22.  $125^{\circ}\text{C}+10\text{V}$  での CH4 の測定電圧分布ヒストグラム

ヒストグラムから、出力分布は特性温度範囲全体で一様でおおよそガウス分布のままであり、異常な歪みや不連続性は観測されないことが示された。分布幅は温度とともに増加するため、図 4-19 に示す RMS ノイズの傾向と一致しています。この結果は、安定したチャンネル挙動と、温度範囲全体にわたる安定した電圧入力ノイズ性能を示しています。

#### 4.2.3.3.2 電流入力モード

表 4-6 は、 $-40^{\circ}\text{C}$  から  $125^{\circ}\text{C}$  までの特性温度範囲において、 $+4\text{mA}$ 、 $-4\text{mA}$ 、 $+10\text{mA}$ 、 $-10\text{mA}$ 、 $+20\text{mA}$ 、および  $-20\text{mA}$  の入力レベルにおいて、電流入力モードにおける RMS ノイズ、ENOB、およびシステム絶対精度誤差をまとめたものです。RMS ノイズは、電流値に換算した値として報告されています。

表 4-6. 電流入力モードにおける RMS ノイズ、ENOB、システムの絶対精度誤差の概要

入力電流	温度	RMS ノイズ (nA)	ENOB (ビット)	精度誤差 (%)
+4mA	-40°C	215.81	19.83	0.1189
	-20°C	223.30	19.78	0.1386
	25°C	242.01	19.66	0.1294
	85°C	260.19	19.56	0.1308
	105°C	265.82	19.53	0.1348
	125°C	272.99	19.49	0.1212
-4mA	-40°C	215.75	19.83	0.1095
	-20°C	223.51	19.78	0.1133
	25°C	240.66	19.67	0.1129
	85°C	258.38	19.57	0.0990
	105°C	265.94	19.53	0.1018
	125°C	267.63	19.52	0.1136
+10mA	-40°C	221.44	19.79	0.0717
	-20°C	229.05	19.74	0.1020
	25°C	247.42	19.63	0.0871
	85°C	263.46	19.54	0.0807
	105°C	269.85	19.51	0.0859
	125°C	280.35	19.45	0.0788
-10mA	-40°C	221.79	19.79	0.0660
	-20°C	229.57	19.74	0.0893
	25°C	245.30	19.64	0.0812
	85°C	264.69	19.53	0.0730
	105°C	272.33	19.49	0.0718
	125°C	278.54	19.46	0.0778
+20mA	-40°C	233.00	19.72	0.0691
	-20°C	244.95	19.65	0.1053
	25°C	265.18	19.53	0.0899
	85°C	285.40	19.42	0.0847
	105°C	284.98	19.43	0.0896
	125°C	296.73	19.37	0.0855
-20mA	-40°C	233.89	19.71	0.0592
	-20°C	242.26	19.66	0.0993
	25°C	259.43	19.56	0.0819
	85°C	283.78	19.43	0.0694
	105°C	286.16	19.42	0.0769
	125°C	300.20	19.35	0.0824

全体として、RMS ノイズはテストされたすべての入力レベルで温度とともに増加し、温度が上昇すると ENOB はそれに応じて減少します。システムの絶対精度誤差は温度範囲全体にわたって比較的安定したままであり、 $\pm 10\text{mA}$  および  $\pm 20\text{mA}$  入力条件では一般に  $\pm 4\text{mA}$  条件よりも精度誤差が低くなります。テストされたすべての電流レベルと温度について、測定結果は温度範囲全体にわたって安定した電流入力測定性能を示しています。

図 4-23 に、各種入力レベルにおけるワーストケースのチャンネル システムの絶対精度誤差と電流入力モードの温度との関係を示します。各温度ポイントで、計算された 1024 個のサンプル誤差を平均化することにより、各チャンネルの精度誤差が得られ、プロットされた値は 8 つのチャンネル中のワーストケースのチャンネルを表しています。一方、表 4-6 では、8 つのチャンネル結果の平均を報告します。

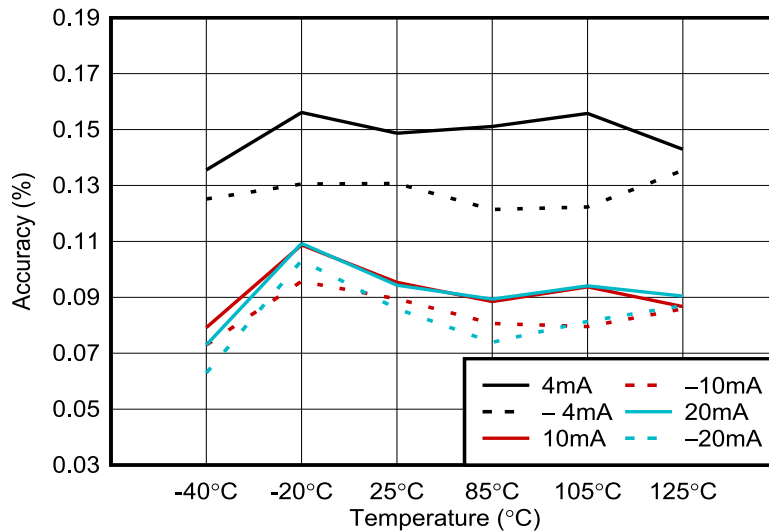


図 4-23. 電流入力モードでのワーストケースのチャネル システムの絶対精度誤差と温度との関係

これらの結果は、テストされたすべての電流入力レベルについて、特性温度範囲全体にわたってワーストケースのチャネル精度誤差を適切に制御できることを示しています。一般に、 $\pm 10\text{mA}$  および  $\pm 20\text{mA}$  入力条件では、 $\pm 4\text{mA}$  条件よりも誤差が小さいことが示されています。また、負電流入力条件は、対応する正電流入力条件よりも誤差がわずかに小さくなっています。全体として、これらの曲線は温度範囲全体にわたって一貫した電流入力精度特性を示しています。

図 4-24 に、各種入力電流に対する電流入力モードでの RMS ノイズと温度との関係を示します。各温度ポイントでのプロットされた値は 8 つのチャネルにわたる平均 RMS ノイズを表し、各チャネルの RMS ノイズは測定された 1024 個のサンプルから計算されています。

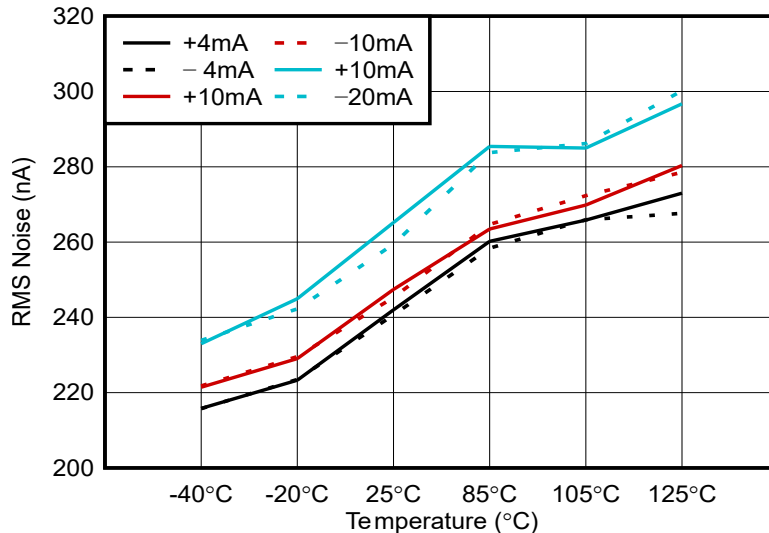


図 4-24. 電流入力モードの RMS ノイズと温度との関係

結果では、テスト済みのすべての電流入力レベルにわたって温度が上昇しても RMS ノイズが明らかに増加していることが示されています。一般に、 $\pm 20\text{mA}$  入力条件では、特性評価された温度範囲のほとんどにわたって最大の RMS ノイズを示します。正電流と負電流を入力する条件は同様の温度トレンドに従い、入力極性全体にわたって一貫したノイズ特性を示しています。

図 4-25 から 図 4-27 に、 $-40^\circ\text{C}$ 、 $25^\circ\text{C}$ 、 $125^\circ\text{C}$  の  $+20\text{mA}$  入力で電流入力モードのチャネル 4 の測定された電流分布ヒストグラムを示します。3 つの温度点すべてにおいて、測定された電流分布はシングルピークのみで、よく振る舞い、目に見える二次ピークや異常な形状はありません。これらのヒストグラムは、電流入力ノイズ性能の温度依存性を定性的に示したものです。

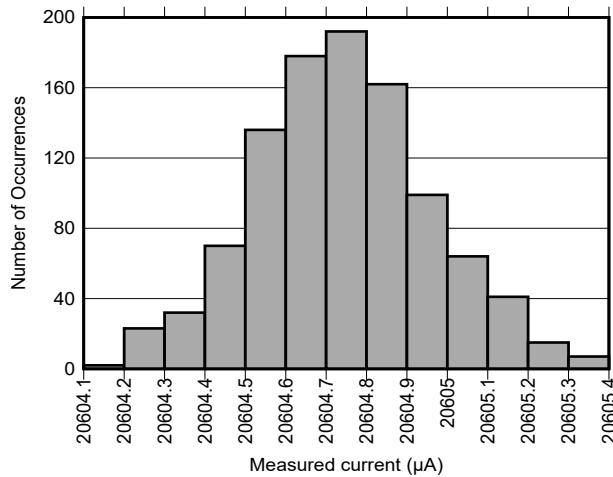


図 4-25. -40°C における 20mA における CH4 の測定電流分布ヒストグラム

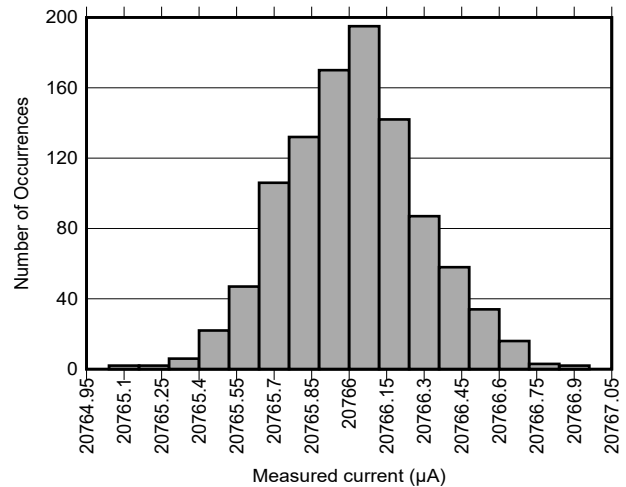


図 4-26. 25°C における 20mA における CH4 の測定電流分布ヒストグラム

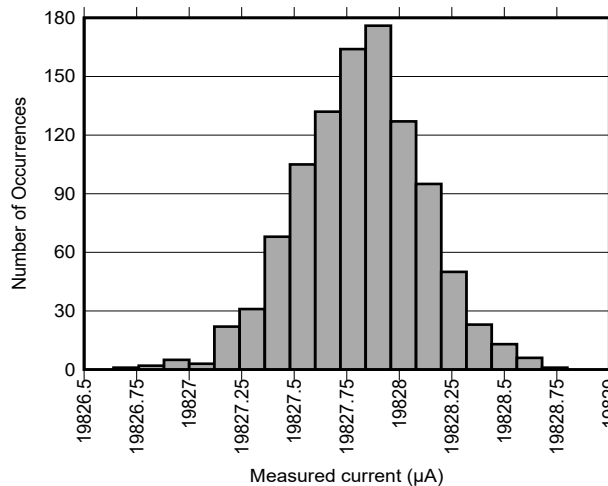


図 4-27. 125°C における 20mA における CH4 の測定電流分布ヒストグラム

#### 4.2.4 入力保護テスト

このセクションでは、電流入力モード シャント パスに使用される過電圧保護回路を評価します。テスト対象の保護回路は、電流入力信号パスで使用される双方向ツェナー ダイオードと PTC ヒューズで構成されています。このテストの目的は、電流センスパス上の入力過電圧イベントが発生したときに保護回路が保護されたノード電圧をクランプし、持続的なフォルト電流を制限して、過電圧が解消された後に回復することを確認することです。このテストは、電流入力モード シャント保護ネットワークの定常状態の過電圧動作に焦点を当てています。過渡サージと EMC 事象に対する TVS デバイスに関連する保護性能は、個別に評価されます。

##### 4.2.4.1 テスト設定

図 4-28 に、電流入力モード シャント パスに使用するテスト構成および保護回路を示します。この評価は、シャントベースの電流入力保護回路を対象としています。テスト中、デバイスは電流入力モードに構成されており、電流入力端子に DC 過電圧が印加されて、障害条件をエミュレートします。

電流入力モードでは、シャント パスは通常入力電流を測定可能な電圧に変換します。過電圧フォルト中、過大な電流がこの経路にストレスを加える可能性があります。この保護回路は、保護ノード電圧をクランプし、持続的なフォルト電流を制限するように設計されています。バックツーバックのツェナー ダイオード ネットワークは、ノードを公称 11V のクランプレベルに近い値にクランプします。一方、PTC ヒューズは発熱し、より高い抵抗状態に遷移して、障害電流を低減します。入力に TVS デバイスを配置することで、追加の過渡保護を実現します。

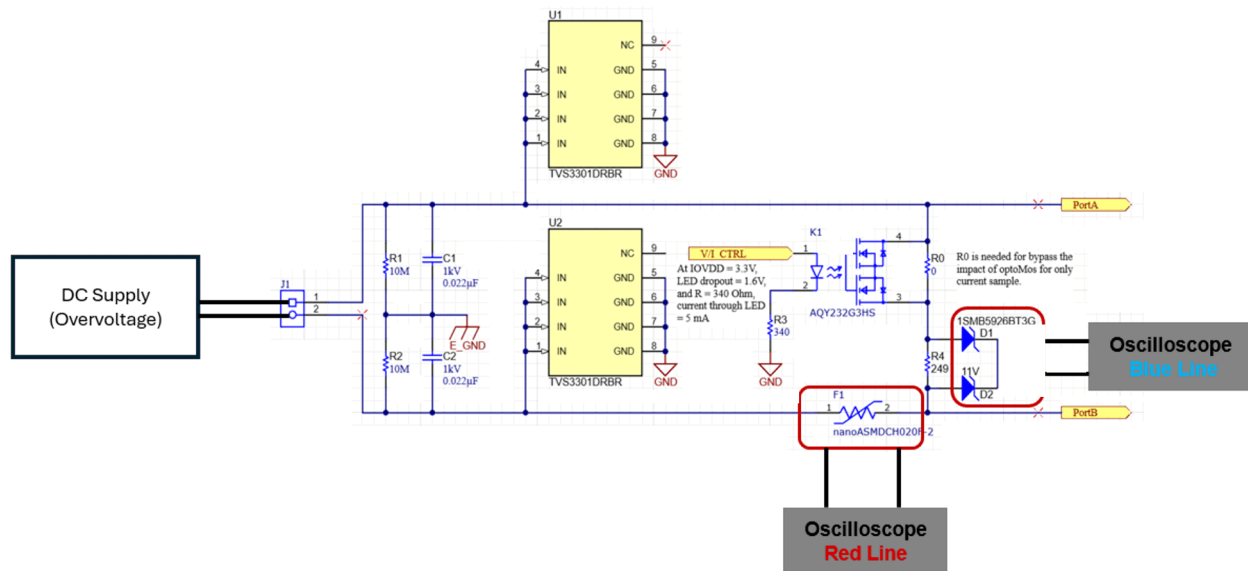


図 4-28. 電流入力モード保護回路の過電圧テスト構成

オシロスコープを使用して、保護応答を監視します。青いオシロスコープのパターンは双方向のツェナー ダイオード回路の両端の電圧を表し、赤い線は PTC ヒューズの両端の電圧を表しています。これらの波形を使用して、過電圧印加後の保護応答と、フォルトが解消された後の回復動作の両方を観測します。このセクションで測定されたタイミング値は、適用される障害レベル、熱条件、波形スレッショルドの定義によって異なるため、代表的な結果としてのみ示されています。

#### 4.2.4.2 テスト結果

図 4-29 および 図 4-30 に、それぞれ 24V と 30V の入力過電圧で電流入力モードで測定された保護波形を示します。どちらのテストでも、青い波形は、障害期間中に双方向ツェナー ダイオード回路が保護するノード電圧をツェナー クランプレベルに近い値までクランプすることを示しています。赤い波形は、過電圧が印加された後に PTC ヒューズ両端の電圧が増加していることを示しており、PTC がフォルト状態にตอบสนองし、より高い抵抗状態に遷移していることを示しています。

これらの結果は、電流入力モードのシャント保護パスの意図した動作と一致しています。ツェナー回路は電圧クランプを提供し、PTC ヒューズは持続的な障害電流を制限し、シャントパスへのストレスを低減します。過電圧ソースが除去されると、PTC ヒューズの両端の電圧は初期レベルに戻り、保護パスが回復していることを示します。測定された波形は、電流入力モードでのシャント ネットワークの意図された保護動作と一致しています。

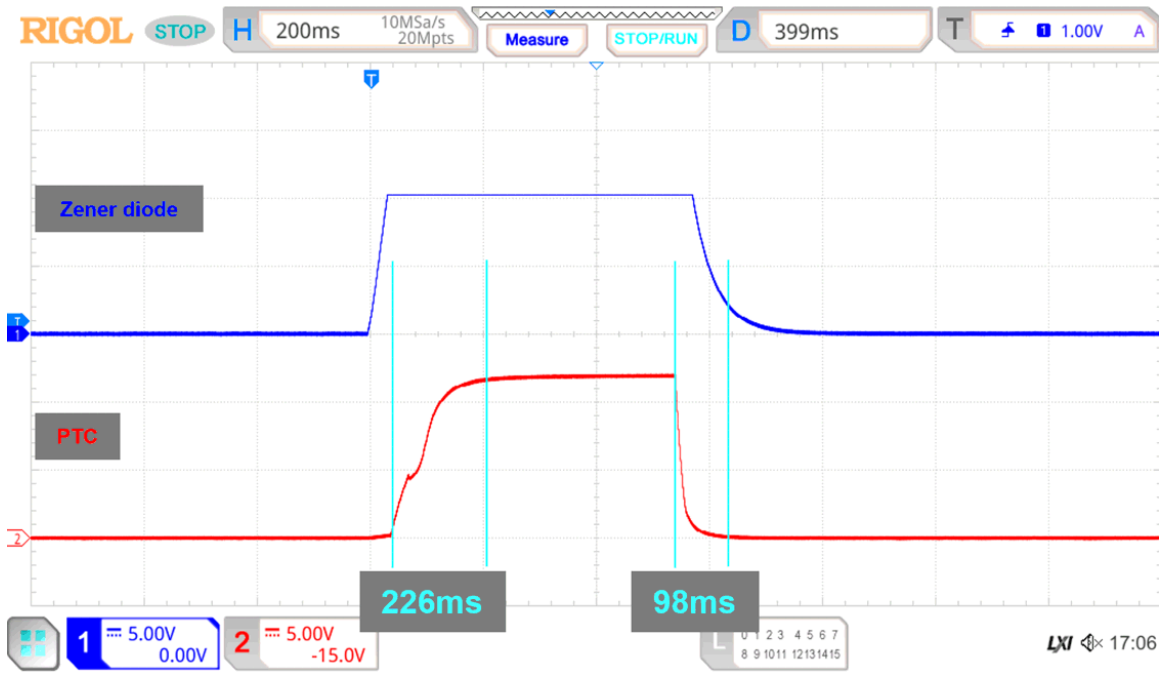


図 4-29. 24V 過電圧時の電流入力モードで測定された保護応答



図 4-30. 30V 過電圧時の電流入力モードで測定された保護応答

## 5 設計とドキュメントのサポート

### 5.1 デザイン ファイル

#### 5.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010237](#) のデザイン ファイルを参照してください。

#### 5.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-010237](#) のデザイン ファイルを参照してください。

#### 5.1.3 PCB レイアウトに関する推奨事項

PCB レイアウトをダウンロードするには、[TIDA-010237](#) のデザイン ファイルを参照してください。

##### 5.1.3.1 レイアウト プリント

### 5.2 ツールとソフトウェア

#### 5.2.1 ツール

#### 5.2.2 ソフトウェア

### 5.3 ドキュメントのサポート

### 5.4 サポート・リソース

テキサス・インスツルメンツ **E2E™** サポート・フォーラムは、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計に必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

#### 商標

テキサス・インスツルメンツの™ and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Vötsch™ is a trademark of Weiss Technik GmbH.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 6 改訂履歴

日付	改訂	注
May 2026	*	初版リリース

## 7 著者について

**DONNA XU** はテキサス インスツルメンツのシステム エンジニアで、産業アプリケーションのリファレンス デザイン開発を担当しています。PLC I/O モジュールを中心に、産業用オートメーション アプリケーションの経験があります。復旦大学で電子情報の修士号を取得しました。

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月