

Design Guide: TIDA-010986

ログスキーコイル リファレンス デザイン向けシグナル コンディショニング



説明

このリファレンス デザインは、ログスキーコイル向けのシグナル コンディショニングのリファレンス デザインであり、e メーター、サーキット ブレーカ、保護リレー、EV チャージャの電流測定で精度向上を目標としており、ログスキーコイルの測定を行い、ANSI C12.1 と IEC の各種準拠規格に適合するのに役立ちます。このオペアンプベースのアクティブ積分器の設計は、広いダイナミック電流範囲に対応し、帯域幅と安定性、および調整可能なゲイン ($1V/V \sim 525V/V$) を備えています。この設計は 3 相システム用に最適化されており、TI の [ADS131M08 計測評価基準](#)とのインターフェイスが可能です。このデザインは、シャントベースの設計と同様のコストで電流トランスに似た精度を達成することを目指しており、磁気コアを持たない電流トランス (CT) に比べて Class 0.2 およびより高い精度レベルを達成しています。

リソース

[TIDA-010986](#)

デザイン フォルダ

[INA818](#), [INA828](#), [INA188](#)

プロダクト フォルダ

[TLV9001](#), [LM27762](#), [ADS131M08](#)

プロダクト フォルダ

[TIDA-00601](#)

デザイン フォルダ



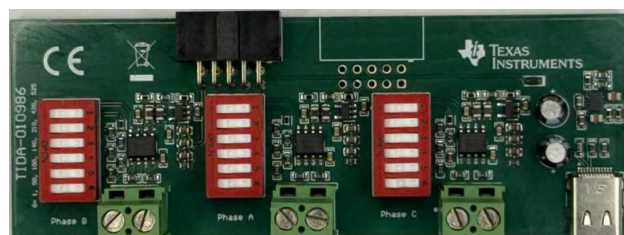
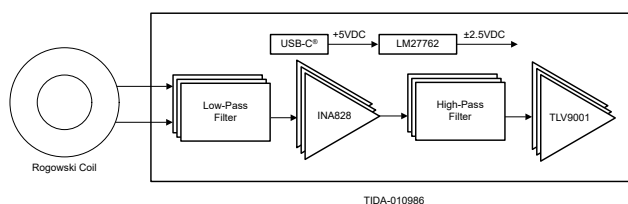
テキサス・インスツルメンツの™ E2E サポート エキスパートにお問い合わせください。

特長

- ログスキー (di/dt) コイルベースの電流センサを使用した電流測定
 - ハードウェア コンポーネント (op アンプ) を使用して増幅と統合を実現します
 - ANSI C12.1 に準拠した、Class 0.2 またはそれ以上の精度で CT に似た性能
- 広い電流範囲
 - 0.1A ~ 1000A 超 (最大 100A でテスト済み)、ゲイン設定により調整可能
- 高性能
 - 理論上のセトリング タイム: 30ms
 - 低 BOM コストおよび小型 PCB 面積
 - プラグイン フォーム ファクタを通じて ADS131M08 と直接インターフェイスする設計

アプリケーション

- 電気メータ
- AC 充電 (パイル) ステーション
- DC 高速充電ステーション
- AFCI サーキット ブレーカ
- 産業用サーキット ブレーカ (MCCB、ACB、VCB)



1 システムの説明

e メーター、サーキットブレーカ、保護リレー、EV チャージャは、最新のグリッドインフラにとって不可欠なコンポーネントであり、発電、送電、配電の各システムにわたって保護、制御、監視をサポートします。これらのアプリケーションでは、信頼性の高い性能、安全性、効率を実現するために、センサ素子による高精度の電圧および電流センシングが必須です。

1.1 主なシステム仕様

パラメータ	仕様
電流センサのタイプ	PCB と既製 (OTS) ログスキーコイル
ログスキーコイルの出力仕様	PCB ログスキー: 16 μ V/A ~ 100 μ V/A
入力電流の数 (位相)	三相
測定周波数	50Hz、60Hz
積分器のタイプ	アクティブ
積分器の出力	バイポーラ
AC 電流の測定範囲	0.1A → 1000A (100A でテスト)
精度クラス	0.2% 未満
位相角度誤差	1° 未満
積分器の時定数	約 30ms
外部 DC 電源入力	USBC、5VDC

1.2 電気メーター

電子エネルギーメーター (e メーター) は、住宅、商業、産業用の環境での電気エネルギー消費量を正確に測定および監視するために使用されます。これらのメーターは、電圧、電流、周波数をキャプチャします。e メーターには多くの場合、測定値を使用して RMS 電圧、RMS 電流、有効電力、無効電力、力率 (PF)、全高調波歪み (TDH)、位相シフト、周波数、エネルギー使用量をリアルタイムで計算する計測エンジンが含まれます。

最新の e メーターは多くの場合、ログスキーコイル、シャント抵抗、電流トランス (CT) を電流センサとして統合しています。ログスキーコイルには線形出力、広いダイナミックレンジ、小型フォームファクタ、飽和耐性、広い帯域幅、温度ドリフト耐性があるという特長があります。これらのセンサを高分解能 ADC や高精度アナログ フロントエンドと組み合わせることで、e メーターは Class 0.2 以上の測定精度を実現できます。

使用時間の課金、負荷予測、グリッド診断に対応するため、e メーターは小さいスタンバイ電流からピーク負荷までの広いダイナミックレンジにわたって高い精度を維持する必要があります。課金の精度を確保すると同時に、ANSI C12.1 や IEC 62053 などの規制規格への準拠するには、高精度の電流センシングが重要です。高速な応答時間と、温度範囲全体や経年劣化による安定性も不可欠です。特に、e メーターが電力会社 (電力計) に使用データをリアルタイムの監視および負荷管理を行うスマートグリッド システムでは、このことが当てはまります。

1.3 サーキット ブレーカ

サーキット ブレーカは、過負荷や短絡を検出し、損傷や火災を防ぐために電源を切断することで、電気システムを保護します。ブレーカを適切なタイミングでトリップするには、高速で高精度の電流センシングが不可欠です。

ログスキーコイルはサーキットブレーカ用に設計されています。これらのコイルは飽和せずに障害時に非常に大きい電流を検出できるためです。応答が速く、測定範囲が広いと、トリップユニットを迅速かつ信頼性の高い方法でトリガするのに最適です。ログスキーコイルを使用すると、ブレーカの性能が向上します。特に、高精度のリアルタイム電流データを必要とする最新の電子式トリップシステムでこのことが当てはまります。

1.4 EV (電気自動車) チャージャ

EV チャージャは、安全性、課金、制御を目的として、電流を正確に測定する必要があります。充電時の電流レベルは大きく変化する可能性があります。低速充電時の低レベルから、高速充電時の超大電流までです。

ログスキー コイルは、従来の電流トランスのように飽和しないことがあり、EV チャージャにとって優れた選択肢になります。また、コイルは変化の速い信号にも対応できるため、パワーエレクトロニクスで使用される高周波スイッチングに最適です。

ログスキーコイルを採用すると、EV チャージャが各種安全規格を満たし、信頼性と効率の高い充電を実現するのに役立ちます。

1.5 保護機能とリレー

保護リレーは、障害条件時に複数の電圧と電流を監視することで、グリッド機器を保護します。リレーがストレス状態を検出した場合、TRIP 信号をサーキットブレーカに送信して、故障したセクションを電源システムから遮断します。保護リレーは、電位トランス (PT) または電位デバイダを使用して、電流トランス (CT)、ログスキーコイル、またはシャントと電圧入力を使用して、電流入力を高精度測定します。さらに、保護リレーは高精度の測定を実現します。これらのリレーは補助電源 (AC または DC) を備えています。

1.6 ログスキーコイル ベースの電流センサ

1.6.1 原則

ログスキーコイルは、導体の周囲に配置されたエアコア (非磁性) トロイダル巻線です。1 次導体の電流 (I_P) によって生成される交流磁界は、コイルに電圧 (V_S) を誘導します。非磁性コアにより、コイルの出力は大きな 1 次側電流では飽和しません。

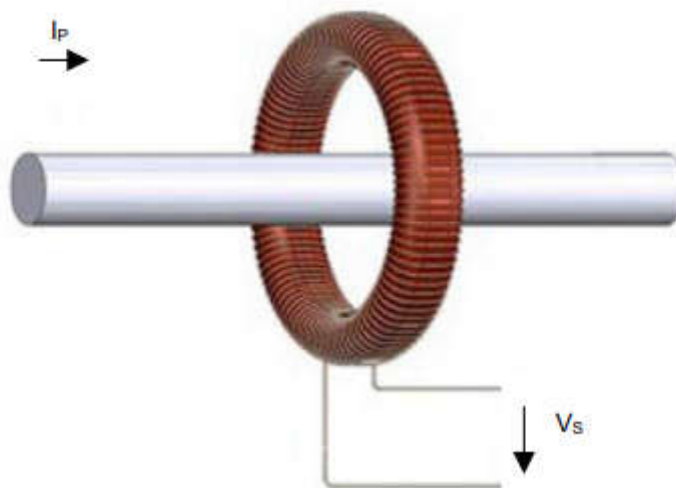


図 1-1. ログスキーコイル ベースの電流センサ

ログスキーコイルの出力電圧は 1 次導体の電流変化率に比例し、電圧は DC 電流の影響を受けません。電流範囲が広いログスキーコイルは、測定と保護の両方のアプリケーションに使用できます。コイルは 1 次側回路からのガバナニック絶縁を提供します。ログスキーコイルは入力電流を出力電圧に変換するので、負荷抵抗は不要です。その結果、消費電力が低減されます。電流トランスとは異なり、ログスキーコイルは開放時に電氣的に安全です。

1.6.2 ログスキーコイルの種類

以下に、3 種類のログスキーコイルについて説明します。

- リギッド ログスキー (Rigid Rogowski) コイルは、エポキシ、プラスチック、または他の非磁性材料で作られたトロイダル形状のコアに巻き付けられます。
- フレキシブル ログスキー (Flexible Rogowski) コイルは、シリコンやゴムチューブなどの柔軟な材料に巻き付けられます。
- PCB ログスキー (PCB Rogowski) コイルは 2 層スタッカブル PCB 上に均質に巻き付けられます。

1.6.3 統合メソッド

ログスキーコイルの出力で誘導される電圧 (V_S) は、1 次導体に流れる電流の変化率 (I_P) に比例します。出力電圧は 90° の位相シフトを持っており、正弦波入力電流の場合には入力から遅れます。ログスキーコイルの出力は瞬間的な 1 次側電流の微分に比例するため、元の電流信号を取得するには積分器が必要です。出力電圧は線形であり、電流測定

のみを必要とするアプリケーションには統合されていなくても使用できます。電力の測定が必要なアプリケーションでは、電流と電圧の位相差が重要で、ログスキー電流センサ出力の位相シフトが必要です。これは積分器を使用して行います。ログスキー積分器は、次の二つの方法で実装できます。

- デジタル (ソフトウェア) の統合: 周波数ドメインに積分を行うと、 -20dB/ディケード の減衰と -90 度の一定の位相シフトが得られます。位相と振幅応答の高精度制御により、デジタル処理で位相角度補正の精度が大幅に向上します。高精度のデジタル統合を実現するには、高性能マイコン (MCU) と、デジタルフィルタを実装した A/D コンバータ (ADC) が必要です。デジタルフィルタの実装が複雑なため、処理の遅延が起動中に発生します。デジタルフィルタは、システム内の MCU と ADC によって実行されます。
- ハードウェア統合: ハードウェア積分器を使用して、ログスキー電流センサの位相シフトを補正することもできます。これは、パッシブ積分器 (抵抗、コンデンサ) またはアクティブ積分器 (アクティブ素子 (オペアンプ) と受動素子の組み合わせ) を使用して実現できます。この TI Design は、有効な温度範囲で使用できる、安定したオペアンプベースのアクティブ積分器を実装しています。

適切に設計されたハードウェア積分器は 90° の位相シフトをもたらしますが、実用的な制限によって位相誤差や精度の誤差が発生する可能性があります。部品を注意深く選択することで、位相誤差の変動を最小限に抑えます。

1.6.4 ログスキーコイルの選択

ログスキーコイルは、EMI (電磁干渉) 除去、寄生容量の除去、飽和耐性、全温度範囲での低ドリフト、小型フォームファクタ、低価格という特長があるので、電流トランスとシャント抵抗の代わりに最適です。リジッドコイルの精度は高くなりますが、フレキシブルコイルはバスバーなどの大形または非円形の導体の電流を測定するのに便利です。PCB コイルはカスタマイズ可能で薄型のフォームファクタであるため、PCB コイルを推奨します。ただし、一部のアプリケーションでは、シグナル コンディショニング機能付き回路が必要です。

2 システム概要

コイルからの出力信号は非常に小さく、90 度シフトし、ゼロ交差付近で歪んでいます。新しい差動 PCB コイル設計は、EMI 耐性、寄生容量の影響を打ち消す、より高い CMMR (同相過渡耐性) が実証されています。PCB コイル設計の変更に対応するには、新しいシグナル コンディショニング回路を再設計する必要があります。

2.1 ブロック図

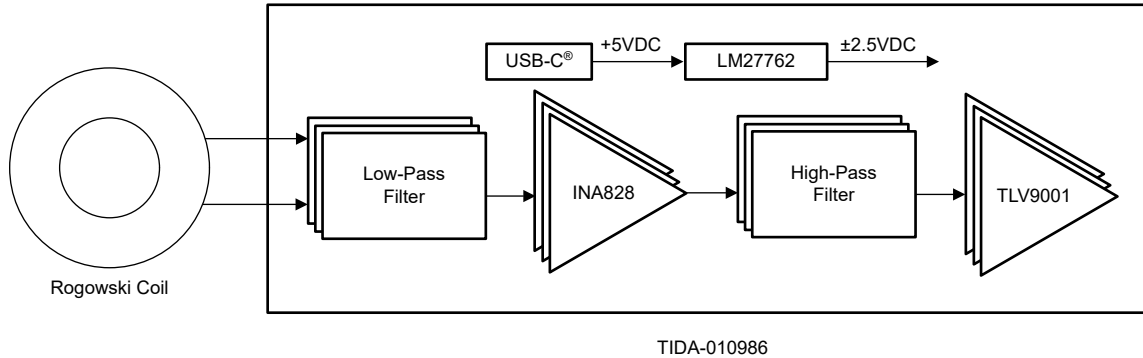


図 2-1. TIDA-010986 のブロック図

TIDA-010986 は次の 6 つの主要セクションで構成されています。

- 差動ゲインアンプ
- ハイパス フィルタ
- ローパス フィルタ
- アクティブ積分器
- USB-C® 電源入力
- バイポーラ電源
- 2 つの異なる出力オプション

2.1.1 差動ゲインアンプ

コイルからの信号は非常に小さいため、ADC の入力信号を改善するためにゲイン増幅ステージが必要です。INA828 はゲイン ステージとして選択されます。理由は、低出力ノイズ、高い CMMR、高ゲイン設定で帯域幅が広いことから、測定アプリケーションだけでなくさまざまなアプリケーションに柔軟に対応できるようになっているためです。このアンプはゲインを設定するために単一の抵抗を使用するので、従来のゲイン オペアンプ回路で 2 つの抵抗を使用する代わりに、最終的なコストを削減できます。

2.1.2 ハイパス フィルタ

コイルからの信号が歪んでおり、DC オフセットが発生している可能性があります。積分器は DC オフセットに敏感なため、DC オフセットが過剰な積分を引き起こす可能性があり、出力オフセットが大きくなります。ハイパスフィルタを追加すると、入力が積分器に AC 結合され、DC オフセットが除去され、より高い振幅での精度が向上します。

2.1.3 ローパス フィルタ

ログスキーコイルは、電流ではなく電流変化率を測定する di/dt センサです。その結果、ログスキーコイルは、高速な過渡ノイズやスイッチングノイズに対して、特に電流波形のゼロクロスポイント付近で非常に敏感になります。ゼロクロス時に、電流 (I) は瞬間的にゼロになり、コイルの出力で急激な電圧スパイクと高周波リングが発生します。ゼロクロススパイクとリングは、信号に歪みを生じさせ、シグナルチェーンに非線形性をもたらす可能性があります。

ゼロクロスの問題と非線形性に対処するため、差動アンプの入力にローパス フィルタを実装します。ローパス フィルタの目的は、不要なスパイクやリングなどの高周波成分を減衰させることです。これによって、シグナルインテグリティが向上し、システムの直線的な動作を実現できます。

2.1.4 アクティブ積分器

ログスキーコイルの出力、特に PCB Rogowski は非常に小さい (約 $50 \mu\text{V/A}$) ため、たとえば 100mA のように電流が小さい場合にはこれが問題になります。コイルの感度に応じて信号を ($100\text{V/V} \sim 500\text{V/V}$) 増幅する必要があります。アクティブ積分回路はアッテネータとして機能し、電流波形を 90° シフトします。Low 入力信号を減衰すると、信号が非常に低くなる点で、ADC が信号をノイズとして認識するため、精度が低下します。目的の周波数 ($50\text{Hz} \sim 60\text{Hz}$) で積分減衰をキャンセルするには、積分器のゲインをユニティゲインに設定する必要があります。

ゲイン 1 で 90° の位相シフトと位相シフトを実現するには、受動部品を正しく計算し、目立たないアプローチで演算操作に適した種類の部品を使用する必要があります。

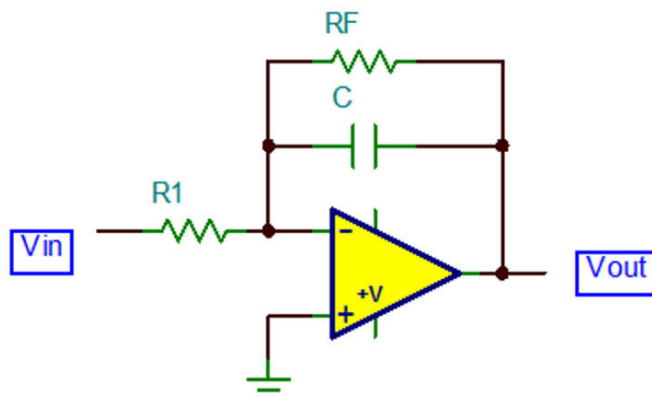


図 2-2. 積分回路の回路図

2.2 設計上の考慮事項

2.2.1 部品選定

システムのゲインは、ゲイン ステージと積分器ステージの 2 つのステージで制御できます。ゲインの選択は、アプリケーションによって大きく影響されます。一部のアプリケーションでは、電流が 1kA を超える保護を目的として、大きい振幅の電流を測定可能な値に降圧する必要があります。高精度測定が重要な保護アプリケーションでは、電流を mV の範囲まで降圧し、ゲイン アンプが信号を増幅します。その後、積分器 (減衰するように設定) によってシステムのすべてのノイズが減衰し、高精度測定が可能になります。この設計では、積分器のゲインをユニティゲインに設定しているログスキー コイルの種類と感度に応じて、 $1\text{V/V} \sim 525\text{V/V}$ の範囲の複数のゲイン設定があります。これらのゲイン設定は、ANSI C12.1 2024 の Class 100 規格に従って、最大電流 100A で選択され、さまざまな感度に対応するようになっています。

2.2.1.1 RC 部品の選定

この設計は、低位相誤差、低ノイズ、高速セトリング、高精度の測定を対象としています。3 度未満の低位相誤差を目標とするために、 30ms 未満の RC 時定数を選択します。積分器のセトリングタイムが 30ms になるように、 $100\text{k}\Omega$ 抵抗と $0.3\mu\text{F}$ コンデンサを選択します。許容誤差が小さく ($\pm 5\%$ 未満)、温度ドリフトが小さい積分器コンデンサを選択します。C0G/NP0 コンデンサは優れた周波数応答と温度安定性を備えています。この設計で使用されている抵抗の許容誤差は $\pm 0.1\%$ 、精度と再現性を向上させるための薄膜材料で、システムに追加のノイズが発生しません。

2.2.1.2 ゲイン設定の RG 選択

ゲインアンプのゲインの選択は、1 つの抵抗 (RG) を使用することでのみ制御されます。抵抗 RG は、INA828 デバイスのピン 1 とピン 8 に接続します。ピン 1 とピン 8 の間のライン容量を低減するため、この抵抗はアンプのピンにできるだけ近づけて配置する必要があります。アンプのゲインは、次の条件に従って正しく設定する必要があります

$$S \times I_{\max} \times G_s = L \quad (1)$$

:

S = コイルの感度 (μV 単位で測定)

I_{max} = 導体を流れる最大電流

L = ADC のアナログ入力ピンの制限

G_s = システムのゲイン

:

$$G_s = \text{Gain}_{\text{amp}} \times \text{Gain}_{\text{int}} \quad (2)$$

$$\text{Gain}_{\text{amp}} = 1 + \frac{50k}{R_G} \quad (3)$$

$$\text{Gain}_{\text{int}} = \left(\frac{R_F}{R_I} \right) \times \left(\frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi \times F \times R_F \times C)^2}} \right) \quad (4)$$

注

ゲインを正しい値に設定するには、感度と最大電流を知っておく必要があります。

2.3 主な使用製品

2.3.1 INA828

3A の計測アンプを使用して、ログスキーコイルの設計で各相の電圧監視を行います。適切な計測アンプを選択することは、このフロントエンドにとって重要です。

計測アンプを選択するための主な仕様は、次のとおりです。

- 同相信号除去比が高いと、計測アンプの両方の入力で観測される同相ノイズの量を減らすのに役立ちます。
- 電圧ノイズ密度が小さいため、感度の高いログスキーコイルが低入力電流での精度が向上します。
- ゲイン誤差オフセットとゲイン誤差ドリフトが小さいため、キャリブレーションを最小限に抑え、温度に対する性能の低下を最小限に抑えることができます。
- 広い電圧ゲイン範囲により、多様なログスキーコイル出力による互換性を確保。

この設計では、積分器とゲイン ステージに INA818 計測アンプを使用しています。または、より低いノイズフロアを求める場合は、電圧ノイズの増加をわずかにするため、温度範囲全体でのドリフト性能を向上させるために、INA828 または INA188 の使用を検討してください。

2.3.2 TLV9001

オペアンプは、電流センシング アプリケーションにおいて高精度の統合とシグナル コンディショニングを実現する上で重要な役割を果たします。広い動作範囲にわたって精度や安定性を達成し、再現性の高い結果を達成するには、最適なオペアンプの選定が不可欠です。

積分段でオペアンプを選択するための主な仕様は次のとおりです。

- ・ オフセット電圧とドリフトが小さいため、頻繁にキャリブレーションを行う必要がなくなり、温度変化に対して長期的な精度を維持できます。
- ・ 入力バイアス電流が小さく、ロゴスキーコイルに及ぼす負荷を最小限に抑え、信号の忠実度を維持するのに役立ちます。
- ・ 特に低い入力電流レベルで、低電圧ノイズ密度、測定精度、再現性の向上に貢献します。

TLV9001 は、レール ツー レール入出力と低消費電力のため、統合性能を損なうことができない小型低消費電力の設計にも適しています。

2.3.3 LM27762

LM27762 は、 $\pm 1.5V \sim \pm 5V$ の範囲で調整可能な、超低ノイズの正/負出力を提供します。入力電圧範囲は $2.7V \sim 5.5V$ で、出力電流は最大 $\pm 250mA$ に増加します。LM27762 は、動作電流がわずか $390\mu A$ 、シャットダウン電流が標準で $0.5\mu A$ であり、パワー アンプ、DAC バイアス、その他の高電流、低ノイズの負電圧のニーズに対してクラス最高のパフォーマンスを提供します。このデバイスは、少ない外付け部品で設計サイズが小さくなります。

3 システム設計理論

3.1 回路図をレイアウト

3.1.1 ロゴスキー入力コネクタ

図 3-1 および 図 3-2 に、差動ロゴスキーコイルがシグナル コンディショニング回路と接続するコネクタを示します。2 ピン端子 (J1) は、INPUT_1_P および INPUT_1_N 経由でコイルの差動出力を受け取ります。シグナル インテグリティを実現し、コイルが切り離されたときの未定義の動作を防止するためです。INA828 $50\mu V$ オフセット、 $7nV/\sqrt{Hz}$ ノイズ、低消費電力、高精度計装アンプデータシートに推奨されるように、 $47.5k\Omega$ (R9 および R10) のプルダウン抵抗を、各入力からグラウンドに配置します。これらの抵抗は、入力がフローティングになることを防止します。フローティングになると、ノイズを拾ったり、積分器段で誤動作が発生する可能性があります。

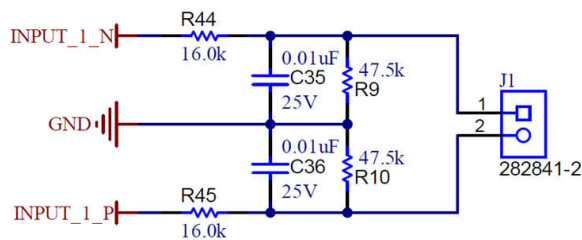


図 3-1. 端子ブロック入力の接続回路図

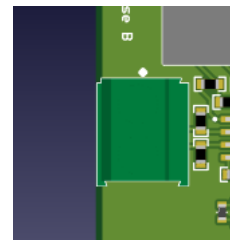


図 3-2. 端子台入力接続

3.1.2 ゲイン設定抵抗チェーン

ゲインアンプ ステージのゲインを設定する抵抗チェーンを、図 3-3 および 図 3-4 に示します。チェーンは柔軟に設計されているため、アプリケーションの要件とコイル感度に応じて、広い範囲のゲイン値に対応できます。DIP スイッチ (SW1) は、一連の高精度抵抗 (R15 ~ R20) から一度に 1 つの抵抗を選択します。それぞれは、感度の範囲に対応する特定のゲイン値に対応します。

スイッチの各位置では、ゲインアンプのピン 1 とピン 8 を別の値の抵抗に配線し、PCB シルクスクリーンに記載された個別のゲイン オプションセットを提供します。G = 1、50、100、140、210、420、および 525。これらの値は、幅広い範囲のロゴスキーコイル出力に対応し、小電流と大電流の両方の測定との互換性を実現するように注意深く選択されています。

抵抗チェーンの手法により、テストとキャリブレーションが簡素化されるため、エンジニアは PCB レイアウトの変更や部品の再作業を行わず、さまざまなゲイン設定を迅速に評価できます。

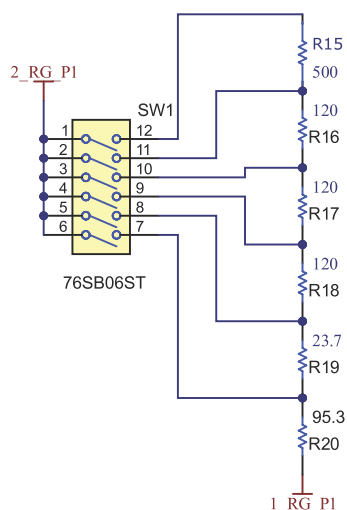


図 3-3. ディスクリート ポテンショメータ抵抗チェーン
図

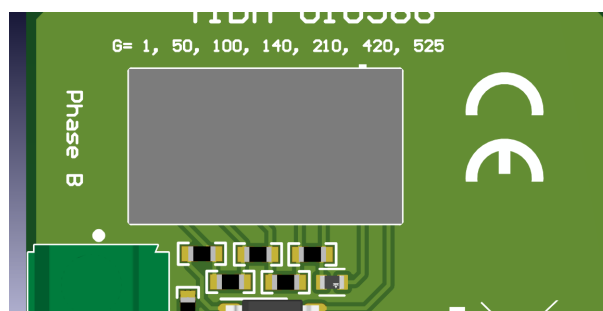


図 3-4. ディスクリート ポテンショメータ抵抗チェーン

3.1.3 ゲイン アンプとハイパス フィルタ ステージ

このステージは高精度計測アンプ INA828 を利用して、ログスキーコイルからの差動信号を増幅します。アンプはバイポーラ出力用に構成されており、外部抵抗 (R_g ピンに接続) で設定されるゲインは [セクション 3.1.2](#) に説明されており、[セクション 2.2.1.2](#) で計算されます。この構成により、コイルの感度と目的の出力範囲に基づいて、柔軟に調整できます。このアンプは、優れた同相除去と高い入力インピーダンスを備えているため、ログスキーコイルにより生成される低レベル差動信号を処理するのに最適です。

アンプの後に、コンデンサ C13 および C21 (合計 $44\mu\text{F}$) と抵抗 R33 ($50.5\text{k}\Omega$) を使用してハイパス フィルタが実装されています。このフィルタは DC 成分と低周波数ドリフトをブロックし、(比例波形を表す) AC 信号のみが通過できます。これは、時間の経過、コイルの切断、または長時間の動作によって蓄積される可能性のあるベースラインシフトを除去するために特に重要です。

このステージにより、積分器に供給する前に信号が適切に増幅およびクリーニングされることが保証されるため、正確な電流波形の再構築と測定が可能になります。

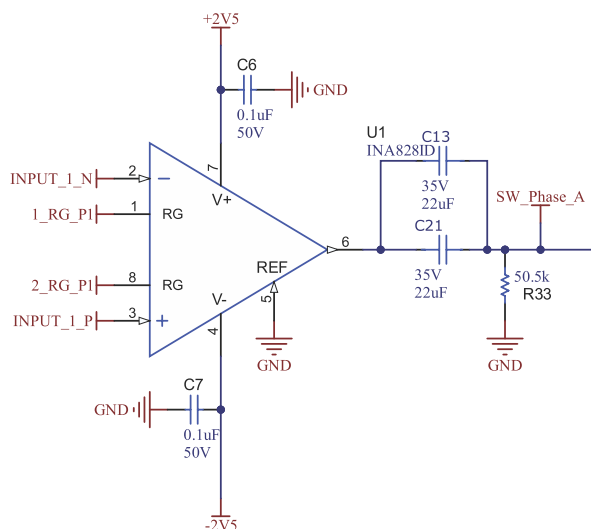


図 3-5. ゲイン アンプとハイパス フィルタの回路図

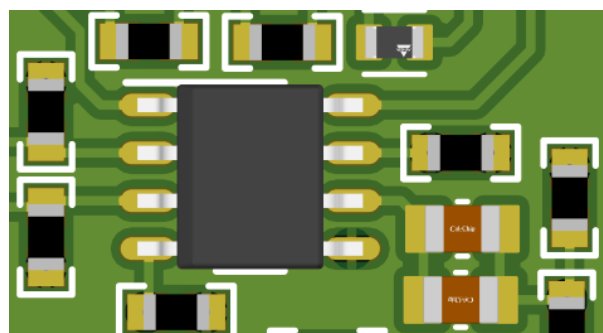


図 3-6. ゲイン アンプとハイパス フィルタ

3.1.4 アクティブ積分ステージ

図 3-7 と 図 3-8 に示す回路は、TLV9001IDBVR オペアンプを使ったアクティブ積分器で、ログスキーコイル出力の高精度シグナル コンディショニングに最適化されています。このステージは、差動ゲインアンプからバイポーラ比例出力電圧を統合して、対応する電流波形を再構築します。

図 3-8 の隣のレイアウトビューには、この積分ステージのコンパクトな PCB 実装が示されています。受動部品と TLV9001 を適切に配置することで、信号の整合性が得られ、ノイズが最小限に抑えられます。帰還部品は短いパターンで配線され、寄生効果を低減します。

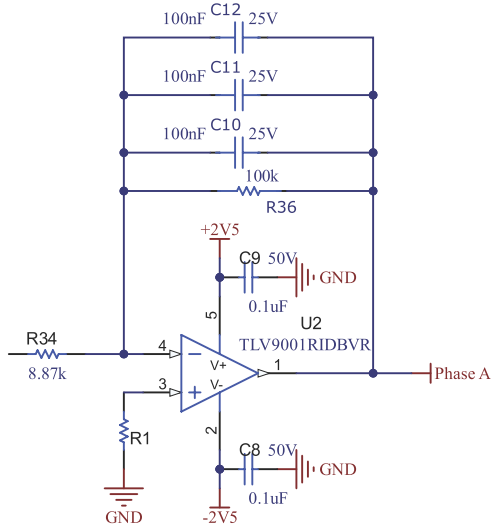


図 3-7. アクティブ積分回路の回路図

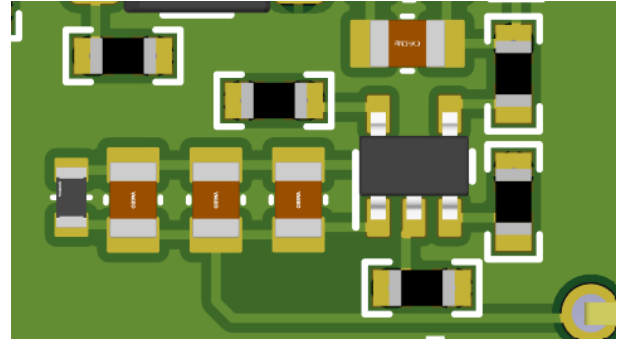


図 3-8. アクティブ積分回路

3.1.5 出力ステージ

出力ステージは、評価とテストの柔軟性を高めるために 2 種類の信号を提供します。

- **ハードウェア内蔵信号出力:** このパスは、TLV9001 オペアンプを使用してアナログ統合後に出力を供給します。この方法は、ログスキーコイルからの完全にコンディショニングされた電流信号 (CT に似た信号) を表し、直接測定とデジタル化に使用できます。
- **ハードウェア統合なしで信号を増幅:** このパスは積分器ステージをバイパスするため、ユーザーはソフトウェアベースの統合方法をテストできます。この方法は、生の増幅されたログスキー コイル信号を提供します。これは、[ADS131M08 計測評価モジュール](#)でデジタル統合パフォーマンスを評価するときに特に役立ちます。

出力コネクタは [ADS131M08 計測評価基板](#)と直接インターフェイスできる設計を採用しており、手動のジャンパ配線や再作業が不要です。この合理的なアプローチにより、テスト効率が向上し、誤配線による誤差が少なくなり、シグナル コンディショニング基板と計測プラットフォームの間の信頼性の高い接続性が確保されます。

対応する PCB レイアウトには、2 つの異なる出力コネクタが示されています。一番上のものはハードウェア統合型信号で、一番下のものは増幅された信号の事前統合です。

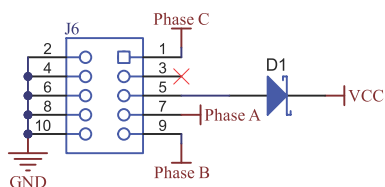


図 3-9. 出力コネクタの回路図

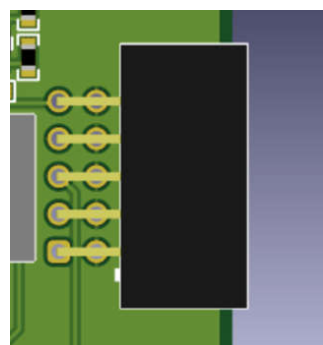


図 3-10. 出力コネクタ

3.1.6 電源

電源ステージは、アナログ信号チェーンに必要なバイポーラ電源レールを供給します。このステージは **USB-C** 入力を使用して標準の **5V** 電源電圧を受け入れ、この電源電圧を降圧した後、**LM27762** チャージポンプインバータを使用して **±2.5V** に変換します。

このセットアップでは、

- **INA828** と **TLV9001** の各オペアンプに、**+2.5V** と **-2.5V** の両方のレールが必要です
- 小型、高効率、低ノイズの電源設計により、外部のバイポーラ電源が不要

PCB レイアウトでは、**USB-C** コネクタと電源回路のクリーンな実装と、安定した動作を実現するための適切なバイパスと出力フィルタリングなどが示されています。**LM27762** の周囲の対称的なレイアウトにより、リップルが最小限に抑えられ、出力インピーダンスが低くなります。これは、アナログ高精度アプリケーションに不可欠です。

この自己完結型電源設計により、**USB-C** ケーブルだけでシステム全体の統合と移植性が簡単になり、開発やフィールドテストに最適な選択肢になります。

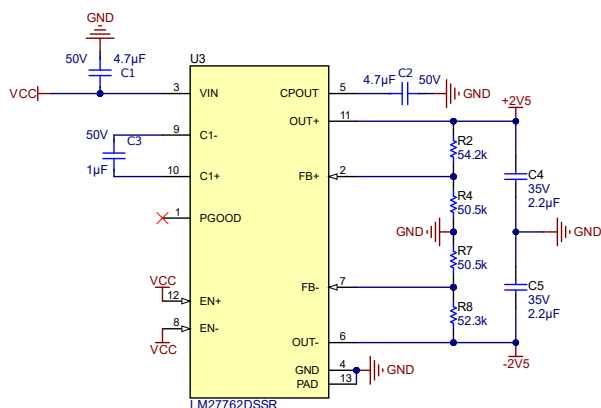


図 3-11. 電源回路図

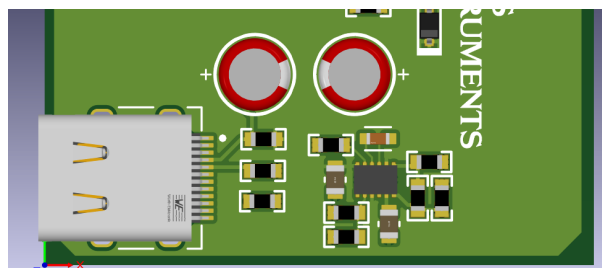


図 3-12. USB-C® コネクタに電力を供給します

4 ハードウェア、テスト要件、およびテスト結果

4.1 ハードウェア要件

ログスキーコイルとそれに関連するシグナルコンディショニング回路の性能を正確に評価するには、以下のハードウェアが必要です。

1. **オシロスコープ:**
シグナル コンディショニング回路からの出力波形を観測するために使用します。高帯域幅スコープにより、ログスキーコイルのゼロクロスでの高速過渡およびスパイク挙動を正確にキャプチャできます。
2. **USB-C 電源 (5VDC):**
シグナル コンディショニング基板に安定した電力を供給します。システムへのスイッチング ノイズの注入を避けるため、電源はクリーンで絶縁されていることを確認します。
3. **電流注入機能付き電流源またはファンクション ジェネレータ:**
ログスキーコイルを通じて既知の電流波形を駆動するには、プログラム可能な AC またはパルス電流源が必要です。
4. **高精度電流測定ツール (電流クランプ計、キャリブレーション済み電流プローブなど):**
導体を流れる実際の電流の正確なリファレンス測定に必要です。これにより、ログスキーコイルの出力と比較し、振幅、位相精度、直線性、および精度を検証できます。
5. **負荷 (抵抗性または実際):**
現実の動作条件を作成し、電流源が既知のインピーダンスを介して電流を駆動できるようにするために使用されます。

4.2 テスト設定

4.2.1 完全なシステムブロック図

図 4-1 は、ANSI C12.1 に従ってクラス 0.1 をターゲットとする収益グレード メーターを模倣するために必要な完全なシステム セットアップを示します。テストのセットアップは、以下の 5 つの主要部分で構成されています。

- プログラム可能な電流および電圧ソース (PTS3.3C テストシステム)
- ログスキーコイル (PCB Rogowski)
- シグナル コンディショニング基板 (TIDA-010986)
- [ADS131M08 計測評価モジュール](#)
- メーターの性能監視とキャリブレーションのための GUI

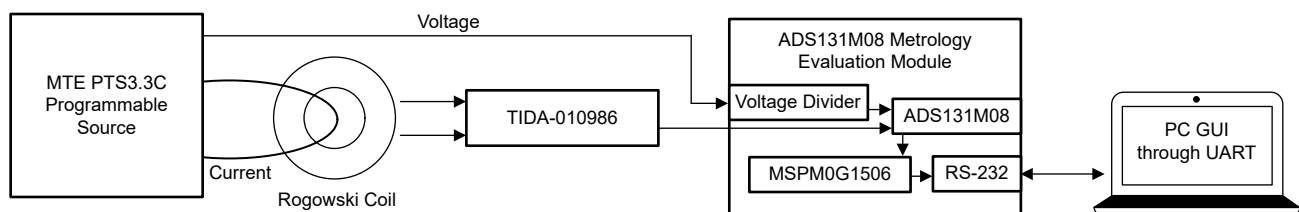


図 4-1. 完全なシステムブロック図

4.2.2 テスト システム

図 4-2 に、MTE テスト装置を示します。PTS3.3C を測定には 0.05% の精度クラスの使用しているため、測定時の不確か率が最小限に抑えられます。



図 4-2. MTE 試験装置

4.2.3 ログスキーコイル

図 4-3 に、このテストでメインの電流センサとして使用される PCB ログスキーコイルを示します。

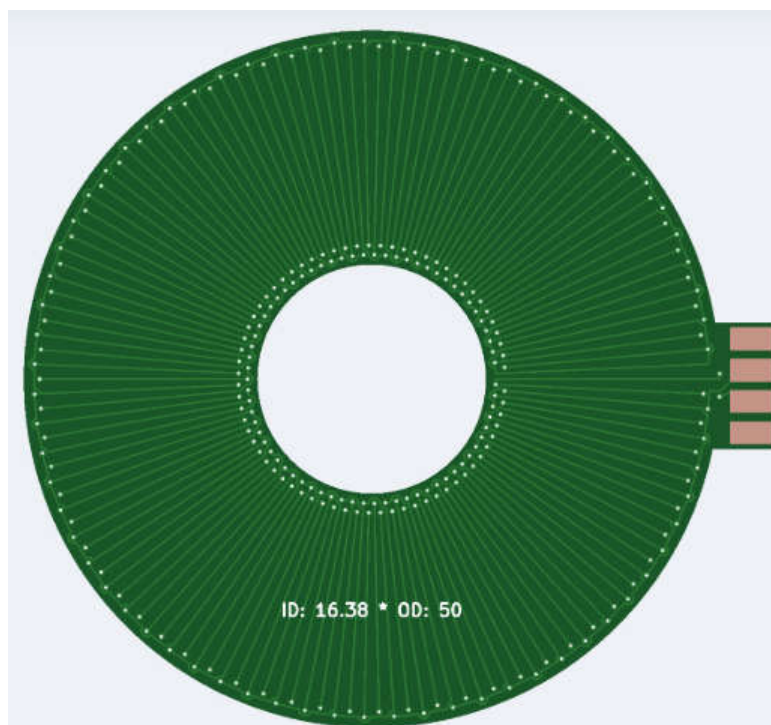


図 4-3. PCB ログスキーコイル

4.2.4 TIDA-010986

図 4-4 に、ログスキーコイルを使用する際のシグナル コンディショニングに使用するアナログ シグナル コンディショニング 回路基板を示します。

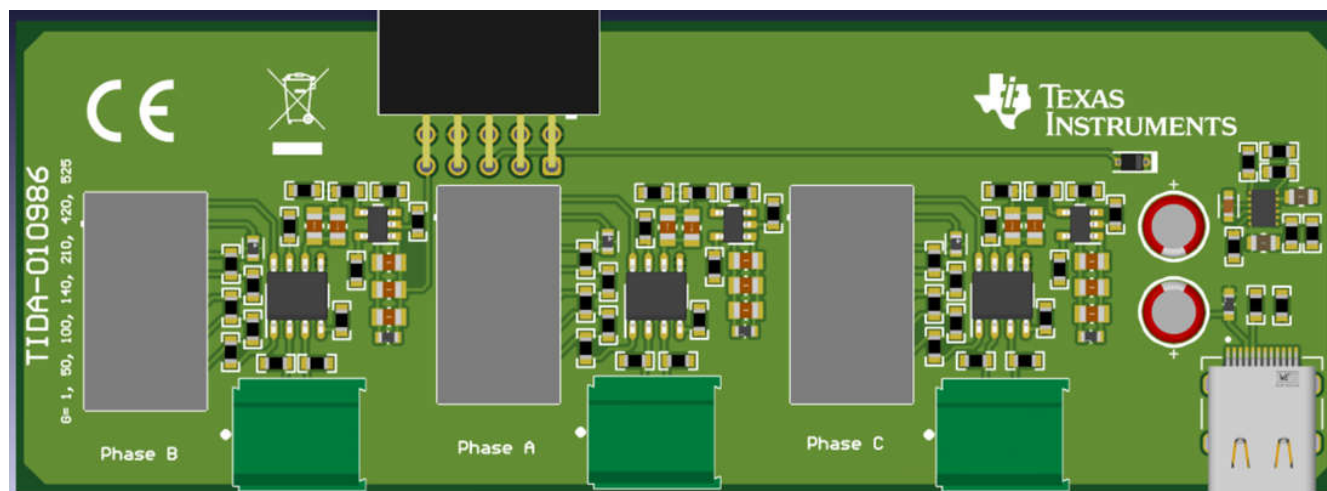


図 4-4. TIDA-010986 アナログ シグナル コンディショニング PCB

4.2.5 ADS131M08 計測評価基板

図 4-5 に、エネルギー計算と消費電力測定に必要な ADC と MCU を搭載した EVM を示します。

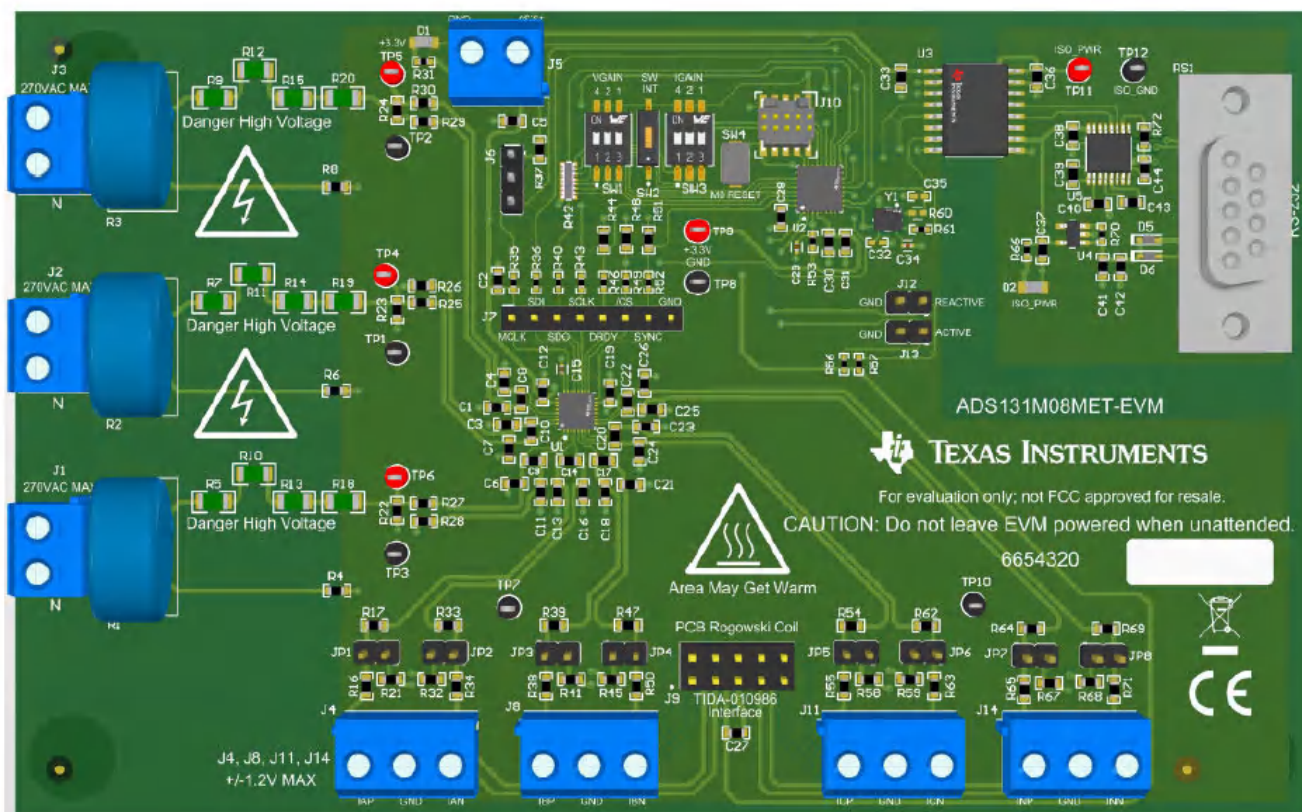


図 4-5. ADS131M08 計測評価基板

4.2.6 GUI

図 4-6 に、メーターの消費電力とメーター キャリブレーションの追跡に使用する PC GUI を示します。

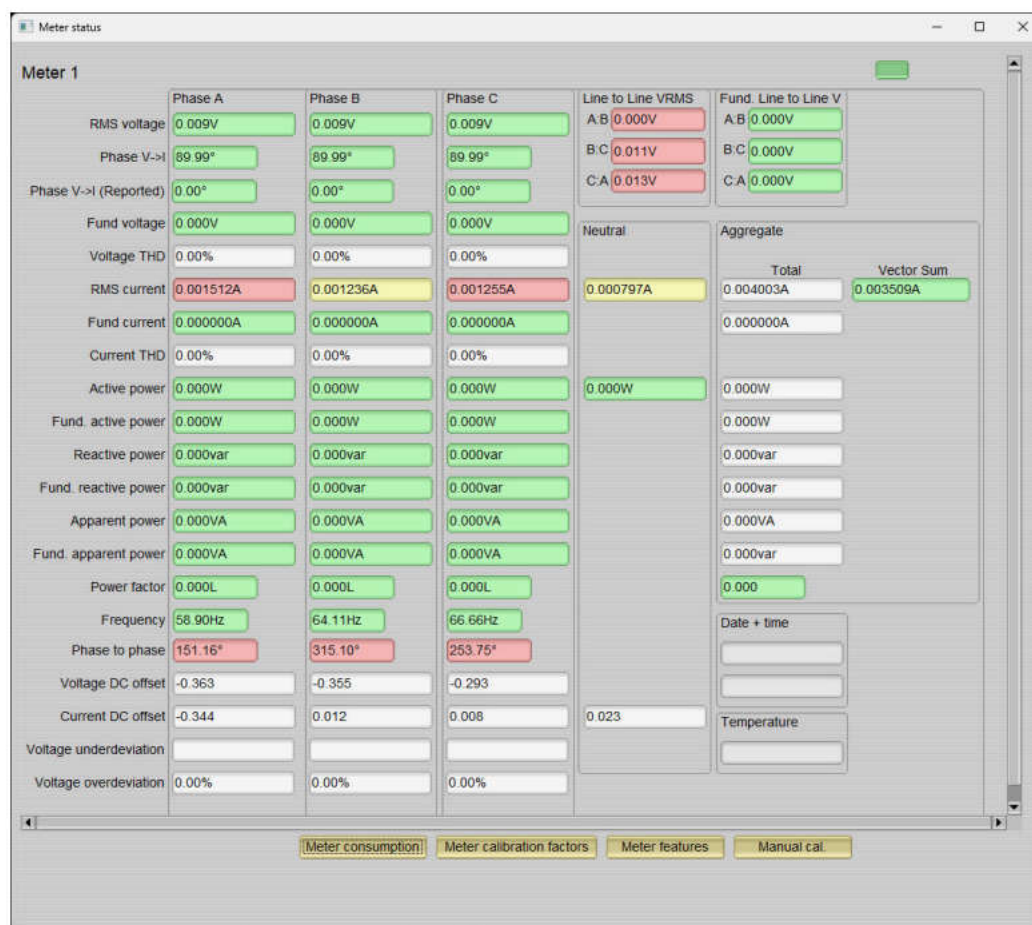


図 4-6. PC GUI

4.2.6.1 はじめに

このセクションでは、PCB ログスキーコイル、TIDA-010986 ツール、[ADS131M08 計測評価基板](#)に搭載される各種の接続と、フルメーター設計で基板を相互に接続する方法について説明します。

4.2.6.1.1 PCB ログスキーコイルのセットアップ

ピン D1 および D2 はログスキーコイルの出力です。ログスキーコイルと TIDA-010986 とのインターフェイスとしてジャンパ線をピン D1 とピン D2 に半田付けする必要があります。コイルから出力を得るには、ピン D1 と D2 の間に底面 (シルクスクリーンのない側) からジャンパ (0Ω 抵抗) を接続する必要があります。また、このデザインではコイルを積層する際にもスタッキングを可能にし、必要に応じて感度を 2 倍にし、ゲインを小さくすることで、ノイズの低減、安定性の向上、精度の向上を実現できます。

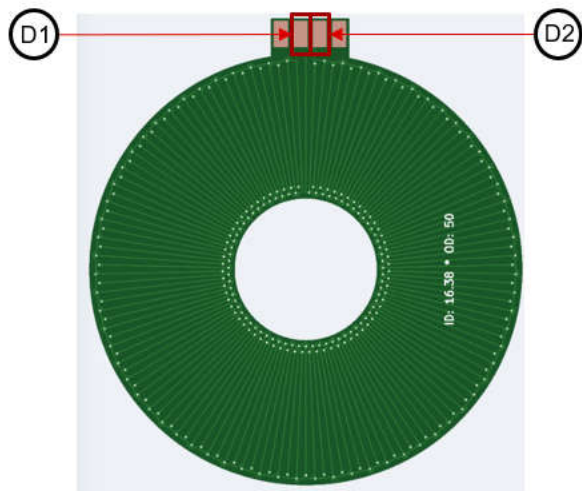


図 4-7. PCB ログスキーコイル — A



図 4-8. PCB ログスキーコイル — B

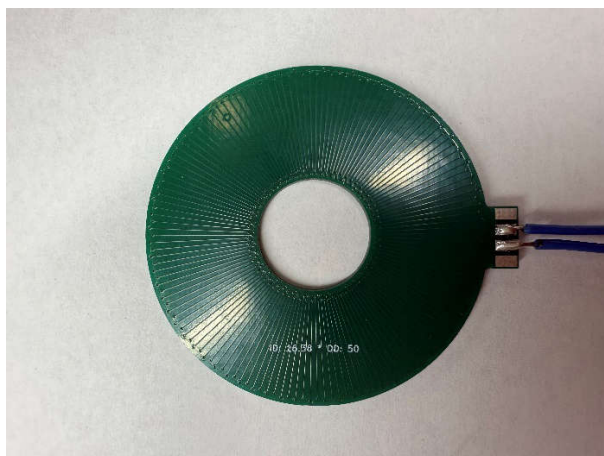


図 4-9. PCB ログスキーコイル — C

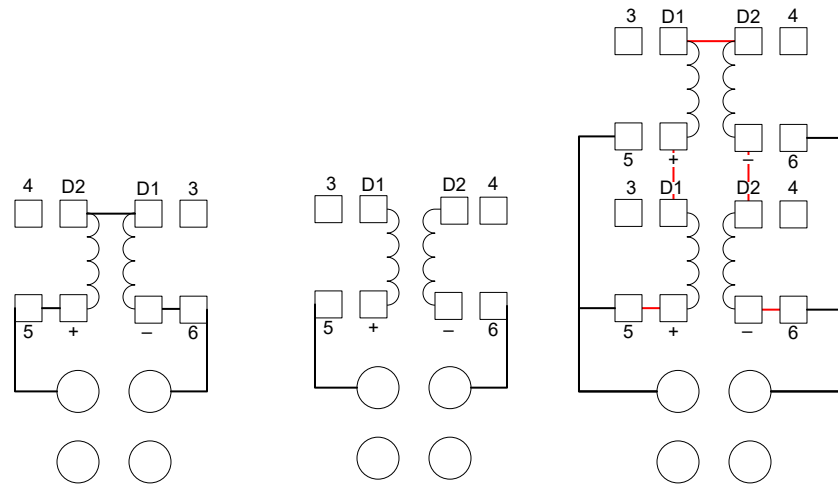


図 4-10. 2 つのコイルをスタックする例

4.2.6.1.2 TIDA-010986 コネクタ

4.2.6.1.2.1 入力端子ブロック

図 4-11 は、ログウスキー コイルへのジャンパー ワイヤ接続時の一つの位相における TIDA-01086 端子ブロックを示しています。

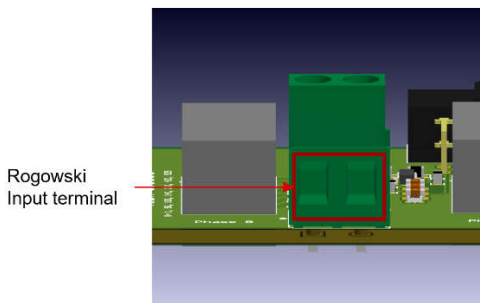


図 4-11. 入力端子ブロック

4.2.6.1.2.2 電源接続

図 4-12 に、基板の左下にある USB-C コネクタを示します。USB-C コネクタは、電源供給のみで使用されます。

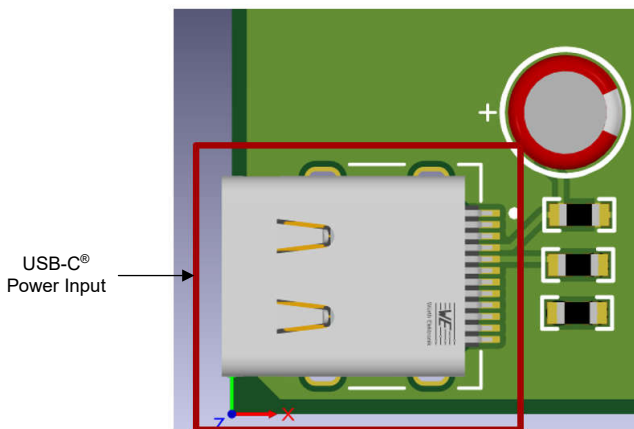


図 4-12. USB-C® コネクタ

4.2.6.1.2.3 出力接続

図 4-13 に、ADS131M08 計測評価基板とインターフェイスする出力コネクタを示します。図 4-13 は、ハードウェア統合出力に対応しており、ピン 1 ～ 6 はそれぞれ位相 C 出力、NC、5VDC 入力、位相 A 出力、位相 B 出力、GND に対応しています。

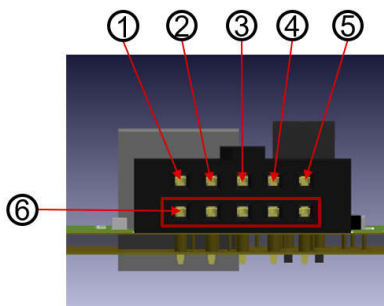


図 4-13. 出力コネクタのピン配置 1 ～ 6

4.2.6.1.3 ADS131M08 計測評価基板のコネクタ

図 4-14 に、TIDA-010986 がジャンパ線接続なしで **ADS131M08 計測評価基板**と接続できるヘッダ コネクタを示します。このヘッダ コネクタを使用すると、プロセスを簡単に実行できます。

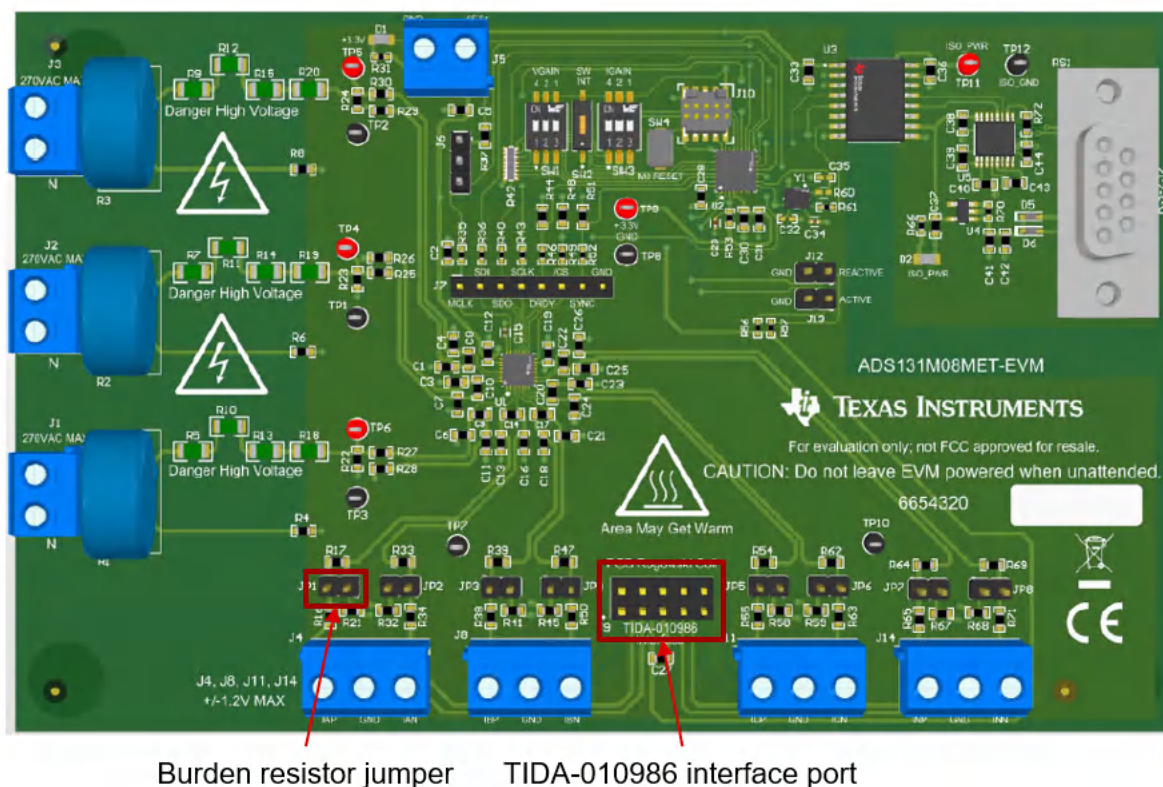


図 4-14. TIDA-010986 の接続ポイント

注

すべての基板を適切に相互接続するには、負荷抵抗ジャンパを取り外す必要があります。

注

TIDA-010986 と **ADS131M08 の計測評価基板**が接続されている場合、TIDA-010986 は **ADS131M08 計測評価基板**から電力を受信するため、USB-C を TIDA-010986 に接続する必要はありません。

4.3 テスト結果

4.3.1 機能テスト

表 4-1 に、機能チェック一覧を示します。

表 4-1. 機能チェック

パラメータ	予想通りに動作	観測
電源入力	+5 VDC	+5.08 VDC
電源正レール	+2.5 VDC	+2.478 VDC
電源負レール	-2.5 VDC	-2.48 VDC
ゲイン設定	1, 50, 100, 140, 210, 420, 525	1, 52.07, 105.38, 140.27, 210.2, 421.16, 525.65
積分器ゲイン	1 V/V	0.99 V/V
位相シフト	90°	90.72°

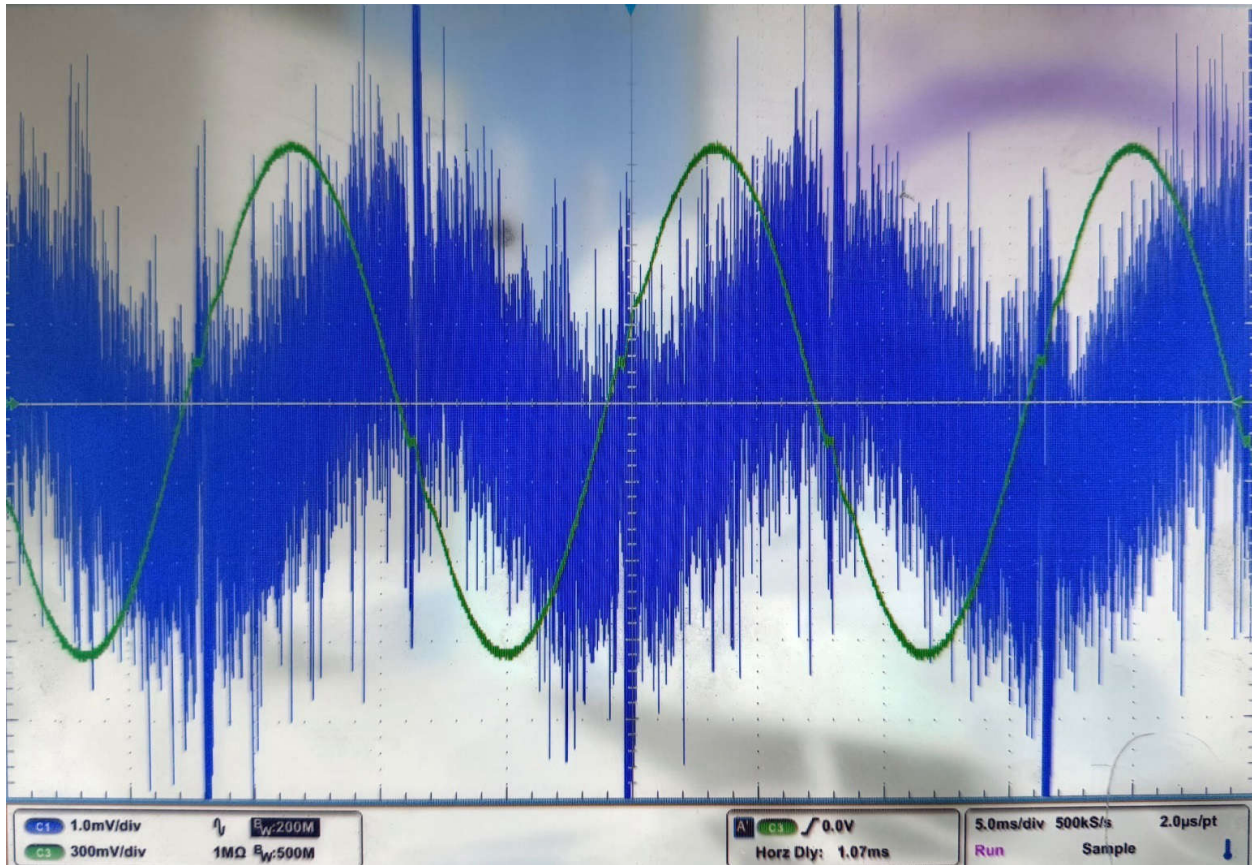


図 4-15. 100A で動作するシステムのスコープ キャプチャ

4.3.2 精度測定

このセクションでは、PCB のログスキーコイルとシグナル コンディショニング基板 (TIDA-010986) で実行される各種テストについて説明します。テストは **ANSI C12.1** および適用される **IEC** 規格に従って実施します。また、このセクションではテスト結果を示し、さまざまな使用事例における精度、直線性、ノイズ耐性の観点でシステム性能を強調しています。目標は、設計が計量規格に準拠していること、および実際のアプリケーションの有用性を検証することです。

注

テストは、図 4-3 に示す 1 つの積層 PCB ログスキーコイルを使用して実行します。

4.3.2.1 無負荷状態

4.3.2.1.1 目標

このテストの目的は、回路に電流がない間にシステムがパルス (電流読み取り値) を登録していないことを確認することです。

4.3.2.1.2 構成

回路内に電圧が存在し、電流を回路から切断する必要があります。

4.3.2.1.3 要件

無負荷状態については、以下の要件を遵守します。

- 最初の 10 分間：
 - 複数のテストパルスを発行しないでください
 - 1 つのテストパルスの等価値よりもエネルギーが蓄積しないようにしてください
- 次の 20 分間：
 - テストパルスをこれ以上発行しないでください

- これ以上エネルギーを蓄積しないでください

4.3.2.1.4 結果

回路内に電圧が存在し、すべての電流回路が切断されています。テスト中 (20 分)、システムは 1 つのパルスを記録しました。

4.3.2.2 初期負荷動作テスト

4.3.2.2.1 目標

このテストの目的は、意図した最小定格電圧全体にわたってスタートアップ負荷条件において、メーターが連続的かつ確実に動作していることを検証し、またメーターが両方向のエネルギーを正しく測定できることを確認することです。

4.3.2.2.2 構成

対象となる電流クラスに指定された開始負荷電流を印加します

- このテストでは、計測アプリケーションの電流クラス 100 およびクラス 0.1 ~ クラス 0.2 の精度が目標です。

最小定格電圧を印加します。

4.3.2.2.3 要件

初期負荷動作テストでは、以下の要件に従ってください。

- テスト全体の間、メーターは連続した動作を維持する必要があります。
- このテストは、両方のエネルギー方向に合格する必要があります。

4.3.2.2.4 結果

コア電流クラス 100 では、最低定格電圧および開始負荷電流で正確な電流読み取り値を登録することができます

	Phase B
Voltage	9.000V
Phase V->I	1.17°
Phase V->I (Reported)	0.58°
Voltage (Reported)	8.997V
Voltage THD	0.00%
Current RMS	0.055898A
Current RMS (Reported)	0.055224A
Current THD	0.00%
Active Power	0.495W
Active Power (Reported)	0.493W

図 4-16. 開始負荷条件下の GUI キャプチャ

4.3.2.3 各種負荷条件下での精度テスト

4.3.2.3.1 目標

このテストの目的は、さまざまな負荷条件でクラス 0.1 ~ クラス 0.2 の精度を通過し、許容誤差を超えないことを確認することです。

4.3.2.3.2 構成

さまざまな負荷条件下での精度テストでは、以下の構成を確認します。

- キャリブレーションは、公称電流、電圧、力率、周波数の値で行う必要があります。
 - このテストのキャリブレーション条件は、それぞれ 15A、120V、1、60Hz です。
- 対象となる電流クラスに指定された負荷電流を印加します。

4.3.2.3.3 要件

精度は、リファレンス値からの許容偏差の範囲内に維持する必要があります。

4.3.2.3.4 結果

表 4-2 に、
力率 (PF) = 1 での精度を基準とした、さまざまな負荷条件下での精度テストの結果を示します。

表 4-2. PF = 1 での精度

条件	パルス数	CURRENT	cos ϕ = 1 (0 度)							ANSI C12.1 (PF 1)		
			ERROR 1	ERROR 2	ERROR 3	ERROR 4	ERROR 5	平均誤差 %	デルタ REF	制限 (%) [クラス 0.5]	制限 (%) [クラス 0.2]	制限 (%) [クラス 0.1]
1	3	1	0.023	0.190	0.008	-0.184	-0.189	-0.030	-0.027	1.0	0.4	0.2
2	6	1.5	-0.153	-0.180	-0.109	-0.088	0.028	-0.100	-0.097	0.5	0.2	0.1
3	6	3	-0.102	-0.066	-0.039	0.008	0.028	-0.034	-0.030	0.5	0.2	0.1
4	22	10	0.035	0.028	0.028	0.013	0.008	0.022	0.026	0.5	0.2	0.1
5	29	15	0.005	0.014	0.016	0.008	-0.002	0.008	REF	0.2	0.1	0.05
6	58	30	-0.004	-0.008	-0.003	-0.001	-0.003	-0.004	0.000	0.5	0.2	0.1
7	115	50	-0.01	-0.018	-0.01	-0.016	0	-0.011	-0.007	0.5	0.2	0.1
8	230	75	0	-0.002	-0.006	-0.003	0	-0.002	0.002	0.5	0.2	0.1
9	298	90	0.000	-0.003	0.001	0.004	0.008	0.002	0.006	0.5	0.2	0.1
10	384	100	0.006	0.013	0.015	0.013	0.010	0.011	0.015	0.5	0.2	0.1

4.3.2.4 力率テストの変動

4.3.2.4.1 目標

このテストの目的は、一つの力率だけでなくさまざまな力率でも、メーターが連続的に、信頼性高く、正確に動作することを確認することです。

4.3.2.4.2 構成

進み力率 (容量性) と遅れ力率 (誘導性) の、両方の異なる力率を適用します。

4.3.2.4.3 要件

力率の変動による誤差が、電流クラスおよび対象となる精度クラスで規定された制限を超えてはいけません。

4.3.2.4.4 結果

表 4-3 は力率テストの変動結果を示しています。このテストのリファレンス データを [セクション 4.3.2.3.4](#) に示します。

表 4-3. PF = 0.5 および 0.8 での精度

CURRENT	Cos ϕ = 0.5i (60 度)							ANSI C12.1 (PF 0.5 0.8)			cos ϕ = 0.8c (−36.87 度) (323.13)						
	エラー 1	エラー 2	エラー 3	エラー 4	エラー 5	平均 誤差 (%)	デルタ REF	制限 (%) [クラス 0.5]	制限 (%) [クラス 0.2]	制限 (%) [クラス 0.1]	エラー 1	エラー 2	エラー 3	エラー 4	エラー 5	平均 誤差 %	デルタ REF
1.5	-0.153	-0.180	-0.109	-0.088	0.028	-0.100	(REF)	該当なし	該当なし	該当なし	-0.153	-0.180	-0.109	-0.088	0.028	-0.100	(REF)
3	0.047	0.184	-0.064	-0.192	-0.168	-0.039	0.062	1.00	0.50	0.25	-0.128	-0.166	-0.175	-0.122	-0.124	-0.143	-0.043
15	0.005	0.014	0.016	0.008	-0.002	0.008	(REF)	該当なし	該当なし	該当なし	0.005	0.014	0.016	0.008	-0.002	0.008	(REF)
15	-0.034	-0.070	-0.071	-0.037	-0.017	-0.046	-0.054	0.6	0.3	0.15	0.044	0.057	0.051	0.045	0.051	0.050	0.041
50	-0.010	-0.018	-0.010	-0.016	0.000	-0.011	(REF)	該当なし	該当なし	該当なし	-0.010	-0.018	-0.010	-0.016	0.000	-0.011	(REF)
50	-0.100	-0.104	-0.098	-0.095	-0.095	-0.098	-0.088	0.6	0.3	0.15	0.068	0.071	0.07	0.081	0.083	0.075	0.085
100	0.006	0.013	0.015	0.013	0.010	0.011	(REF)	該当なし	該当なし	該当なし	0.006	0.013	0.015	0.013	0.010	0.011	(REF)
100	-0.11	-0.116	-0.114	-0.111	-0.114	-0.113	-0.124	0.6	0.3	0.15	0.095	0.093	0.094	0.098	0.097	0.095	0.084

4.3.2.5 電圧テストの変動

4.3.2.5.1 目標

このテストの目的は、公称電圧だけでなく、さまざまな電圧範囲で、メーターが連続的に、信頼性高く、かつ正確に動作することを検証することです。

4.3.2.5.2 構成

メーターの指定電圧範囲に応じて異なる電圧を印加します。

テスト ポイント:

- システムの最小定格電圧の **90%** に達します
- 公称電圧
- ランダムな中間点
- 最大定格電圧
- 最大定格電圧の **110%**

4.3.2.5.3 要件

電圧変動による誤差が、対象となる電流クラスおよび精度クラスで規定された制限を超えてはいけません。

4.3.2.5.4 結果

表 4-4 に、電圧結果の変動を示します。

表 4-4. 電圧結果の変動

電圧	cos φ = 1i (0 度)							ANSI C12.1 2022		パルス
	ERROR 1	ERROR 2	ERROR 3	ERROR 4	ERROR 5	平均誤差 (%)	REF からの デルタ	制限 (%) [クラス 0.1]	制限 (%) [クラス 0.2]	
	テスト電流 (TA)									
	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5					
120 (REF)	-0.153	-0.180	-0.109	-0.088	0.028	-0.100	(REF)	REF	REF	12
108	-0.157	0.083	0.159	-0.195	-0.038	-0.0296	0.071	±0.1	±0.2	12
235	0.023	-0.04	-0.172	-0.23	-0.117	-0.1072	0.007	±0.1	±0.2	12
270	-0.141	0.162	0.138	-0.129	-0.186	-0.0312	0.069	±0.1	±0.2	29
297	-0.192	0.127	-0.059	-0.135	0.077	-0.0364	0.064	±0.1	±0.2	58
	テスト電流 (TA)									
	15	15	15	15	15					
120 (REF)	0.005	0.014	0.016	0.008	-0.002	0.0082	(REF)	REF	REF	58
108	-0.005	-0.006	-0.014	-0.003	0.012	-0.0032	0.011	±0.1	±0.2	58
235	-0.012	-0.001	-0.002	-0.003	-0.002	-0.0040	0.012	±0.1	±0.2	115
270	-0.01	0.002	0.02	0.023	0.017	0.0104	0.002	±0.1	±0.2	230
297	0.028	0.028	0.018	0.026	0.018	0.0236	0.015	±0.1	±0.2	288

4.3.2.6 周波数テストの変動

4.3.2.6.1 目標

このテストの目的は、公称周波数だけでなく、さまざまな周波数範囲にわたって、メーターが連続的、確実、かつ正確に動作することを確認することです。

4.3.2.6.2 構成

メーターの指定された周波数範囲に応じて異なる周波数を適用します。

テストポイント:

- 条件 1: 基準周波数の 98%
- 条件 2: 基準周波数の 102%
- 条件 3: 高電流時にリファレンス周波数の 98%
- 条件 4: 高電流時にリファレンス周波数の 102%

4.3.2.6.3 要件

周波数変動による誤差が、対象となる電流クラスおよび精度クラスで規定された制限を超えてはいけません。

4.3.2.6.4 結果

周波数結果の変動の詳細を、表 4-5 に示します。

表 4-5. 周波数結果の変動

FREQUENCY	ERROR 1	ERROR 2	ERROR 3	ERROR 4	ERROR 5	平均誤差 %	REF からの デルタ	制限 (%) [クラス 0.1]	制限 (%) [クラス 0.2]	パルス
	テスト電流 (TA)									
	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5					
50 (REF)	-0.249	-0.277	-0.26	-0.217	-0.226	-0.2458	(REF)	REF	REF	6
49	-0.305	-0.234	-0.253	-0.252	-0.28	-0.2648	0.019	±0.05	±0.1	6
51	-0.209	-0.223	-0.217	-0.193	-0.173	-0.2030	0.043	±0.05	±0.1	6
60 (REF)	-0.153	-0.180	-0.109	-0.088	0.028	-0.1004	(REF)	REF	REF	6
58.8	-0.045	-0.043	-0.056	-0.043	-0.06	-0.0494	0.051	±0.05	±0.1	6
61.2	-0.032	-0.029	-0.019	-0.026	0	-0.0212	0.079	±0.05	±0.1	6
	テスト電流 (TA)									
	15	15	15	15	15					
50 (REF)	-0.205	-0.206	-0.203	-0.198	-0.204	-0.2032	(REF)	REF	REF	58
49	-0.233	-0.241	-0.239	-0.242	-0.235	-0.2380	0.035	±0.05	±0.1	58
51	-0.171	-0.168	-0.172	-0.17	-0.169	-0.1700	0.033	±0.05	±0.1	58
60 (REF)	0.005	0.014	0.016	0.008	-0.002	0.0082	(REF)	REF	REF	58
58.8	-0.013	-0.009	-0.015	-0.009	-0.012	-0.0116	0.020	±0.05	±0.1	58
61.2	0.012	0.009	0.008	0.01	0.011	0.0100	0.002	±0.05	±0.1	58

4.3.2.7 位相シーケンス反転テスト

4.3.2.7.1 目標

このテストの目的は、位相シーケンスが反転したときに、メーターが連続的に、信頼性高く、かつ正確に動作することを確認することです。

4.3.2.7.2 構成

リファレンス ポイントは、すべての回路が **ABC** 設定で接続されている場合に記録されます。その後、位相シーケンスが反転すると精度測定値が記録されます (**CBA** 構成)。

4.3.2.7.3 要件

電流回路での位相シーケンスの反転による誤差は、電流クラスおよび対象の精度クラスに規定された制限を超えないようにする必要があります。

4.3.2.7.4 結果

表 4-6 に、位相シーケンス反転結果の詳細を示します。

表 4-6. 位相シーケンス反転結果

回路	ERROR 1	ERROR 2	ERROR 3	ERROR 4	ERROR 5	平均誤差 %	REF からの デルタ	制限 (%) [クラス 0.1]	制限 (%) [クラス 0.2]	パルス
	テスト電流 (TA)									
	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5					
ABC	-0.153	-0.180	-0.109	-0.088	0.028	-0.1004	(REF)	REF	REF	6
CBA	-0.102	-0.087	-0.029	-0.008	0.023	-0.0406	0.060	±0.1	±0.3	6
	テスト電流 (TA)									
	15	15	15	15	15					
ABC	0.005	0.014	0.016	0.008	-0.002	0.0082	(REF)	REF	REF	58
CBA	-0.031	-0.038	-0.035	-0.039	-0.037	-0.0360	0.044	±0.1	±0.3	58

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-010986](#) 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-010986](#) のデザイン ファイルを参照してください。

5.1.3 レイアウト プリント

レイヤ プロットをダウンロードするには、[TIDA-010986](#) のデザイン ファイルを参照してください。

5.2 ツール

[PSpice-FOR-TI](#)

TI Design / シミュレーション ツール向け PSpice®:

[TINA-TI™](#) ソフトウェア

SPICE ベースのアナログ シミュレーション プログラム

5.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス・インスツルメンツ、『[INA818 35μV オフセット、8nV/√Hz ノイズ、低消費電力、高精度計測アンプ データシート](#)』
2. テキサス・インスツルメンツ、『[INA828 50μV オフセット、7nV/√Hz ノイズ、低消費電力、高精度計測アンプ データシート](#)』
3. テキスト・インスツルメンツ、[INA188 高精度、ゼロドリフト、レールツーレール出力、高電圧計装アンプ データシート](#)
4. テキサス インスツルメンツ、[TLV900x 低電力、RRIO、1MHz オペアンプ、コスト重視システム向けデータシート](#)
5. テキサス・インスツルメンツ、[LM27762 低ノイズ正負出力統合チャージポンプ +LDO データシート](#)
6. テキサス・インスツルメンツ、[ADS131M08 計測評価モジュール ユーザーガイド](#)

5.4 サポート リソース

商標

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

USB-C® is a registered trademark of USB Implementer's Forum.

PSpice® is a registered trademark of Cadence Design Systems, Inc.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

6 著者について

Daniel Maaya は、テキサス インスツルメンツのダラスのシステム エンジニアで、電力計測やグリッド インフラストラクチャのアプリケーション向けの高精度アナログ フロントエンドの設計の開発を担当しています。**Daniel** は、シグナル コンディショニング、計測準拠 (ANSI/IEC)、パワー コンバータ、ログスキーコイル ベースのセンシング システムに関する深い専門知識を持つ、電気エレクトロニクスおよびパワーエレクトロニクス分野でこの職務に就いています。アナログ ハードウェアの設計とシステムレベルの統合の両方に関する実践的な経験を持ち、高精度測定を目的とする EMC テストやキャリブレーションなどに携わっています。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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ます。

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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated