

絶縁型電流センシングの設計上の考慮事項

Alex Smith

Applications Engineer

Precision Analog-to-Digital Converters

オンボードチャージャ、ストリングインバータ、モータードライブなどの産業用および車載用アプリケーションは、機能を実行する高電圧回路からデジタル回路を保護しながら、電流制御ループのフィードバックアルゴリズムを駆動するために、何らかの種類の絶縁電流測定を必要とします。

絶縁型アンプは高性能であることから、絶縁バリア越しに電流測定データを転送するのに最適なデバイスです。ただし、適切な絶縁型アンプを選定することが、必ずしも明快なプロセスとは限りません。絶縁仕様、ハイサイドへの電力供給方法、入力電圧範囲の選択など、絶縁型アンプを選択する際に数多くの決定事項を検討する必要があります。この記事は、特定のシステムに最適な絶縁型アンプを選定する際に役立つ、これらの決定事項をそれぞれ詳しく説明します。

絶縁型電流測定用のデバイスを選択する際の最初の決定事項は、必要な絶縁レベルを決定することです。絶縁には、基本絶縁と強化絶縁という2つのレベルがあります。モータードライブ向けの IEC (国際電気標準会議) 61800 や医療機器向けの IEC 60601 などのシステムアーキテクチャおよび最終製品規格では、必要な絶縁レベルが規定されています。

絶縁バリアの性能を定量化する主な仕様は次のとおりです。

- 絶縁動作電圧は、絶縁型アンプがその動作寿命を通じて連続的に処理できる、二乗平均平方根電圧で定義される最大電圧です。
- 同相過渡耐性は、絶縁型アンプが誤差なしに耐えることのできる、グラウンドの電位差の最大変化率を表します。
- 絶縁過渡過電圧は、絶縁型アンプが 60 秒間耐えられるピークツーピーク電圧で定義される電圧です。
- IEC 60065 によるサージ定格 (インパルス電圧定格) は、絶縁型アンプが障害なく耐えることのできる $1.2/50\mu\text{s}$ の電圧振幅です。

一部の最終製品メーカーは、自社の製品が絶縁仕様を満たしていることを検証するために、サードパーティーから認定を受けた製品を揃えています。絶縁型アンプは、これらの仕様自体を測定することはありません。絶縁型アンプは最終製品内の部品であり、最終製品規格は間接的にのみ適用されるためです。代わりに、Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) V 0884-11 や Underwriters Laboratories (UL) 1577 などのデバイスレベルの認証に基づいて部品を測定します。IEC 規格で規定されているように、同等の要件を持つ部品レベルの規格に準拠したデバイスは、個別の評価を必要としません。この規定は、Comité International Spécial des Perturbations Radio (CISPR) の放射エミッション電磁干渉 (EMI) 規格にも適用されます。テキサス・インスツルメンツの絶縁型アンプの放射エミッション性能については、[1] を参照してください。

最高の性能を得るため、デバイス固有のデータシートに記載されているレイアウトとアプリケーションのプラクティスを推奨します。[2] に、テキサス・インスツルメンツ絶縁型アンプのデバイスレベルの認定を示します。

絶縁型アンプを選択するときの次の決定事項は、絶縁バリアのハイサイドでどのように電力を供給するかです。

回路のこの部分を設計するときは、ハイサイド電源電圧が測定中の電流の同相入力電圧に合わせて浮動する必要があることに注意してください。つまり、多相電流を測定するには、各位相に専用のハイサイド電源を備えた1つの絶縁型アンプが必要です。ハイサイド電源回路の設計が誤っていると、絶対最大アナログ入力電圧定格を超える可能性があり、デバイスに永続的な損傷が発生する可能性があります。

絶縁型アンプのハイサイドに電力を供給するための3つの主な設計オプションがあります。

最初の設計オプションは、絶縁型アンプのハイサイドにローサイドから電圧を供給できるディスクリート絶縁型トランス回路を設計することです。この方法では、テキサス・インスツルメンツの SN6501 などのトランスドライバ、テキサス・インスツルメンツの TLV704 などの低ドロップアウトレギュレータを選定する必要があります。このアプローチは設計は簡単ですが、広い基板面積と複数の部品を必要とします。AMC1300 評価基板 (EVM) の上部の実装例を、**図 1** に示します。

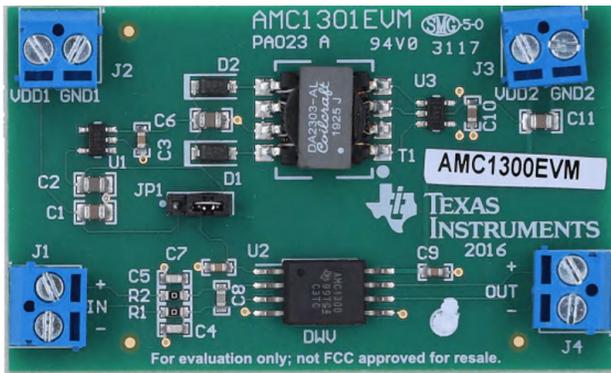


図 1. 絶縁型トランスを搭載した AMC1300 評価基板。

図 2 に示す 2 番目の設計オプションは、フローティング ハイサイド ゲートドライバ電源 (通常 15V) と、ツェナー ダイオードなどのシャントレギュレータを使用して、電圧を 5V にレギュレートします。この設計の例を AMC1300B-Q1 強化絶縁型アンプなどのデバイスのデータシートに示します。この設計オプションは経済的かつ効果的ですが、ゲートドライバ電源のグランド基準電圧とアンプのグランド基準電圧の間のレイアウト制限や寄生インピーダンスは、同相入力電圧違反や過渡誤差につながる可能性があります。

3 番目で最もシンプルな設計オプションは、**図 3** に示すように DC/DC コンバータを内蔵したデバイスを使用します。テキサス・インスツルメンツの AMC3302 などの DC/DC コンバータを内蔵した絶縁型アンプは、ソリューションのサイズと複雑さを大幅に低減し、システムコストを削減し、優れた変換効率を実現し、シャント抵抗を柔軟に配置できるようにします。**[4]**

絶縁型アンプを選択する際の最後の決定事項は、デバイスの入力電圧範囲を選択することです。電流センシングに最適化されたほとんどの絶縁型アンプには、 $\pm 50\text{mV}$ または $\pm 250\text{mV}$ の線形入力電圧範囲のオプションがあります。どの入力電圧範囲がアプリケーションに適しているか判断するには、測定中の電流の大きさとシャント抵抗のサイズによって異なります。一般に、大電流の大きさを持つシステムでは、通

常、 $\pm 50\text{mV}$ など、より小さい入力範囲の絶縁型アンプが必要になります。電流の大きさが比較的小さいシステムでは、入力電圧範囲が $\pm 250\text{mV}$ と多少大きく、高い信号対雑音比を実現できる利点があります

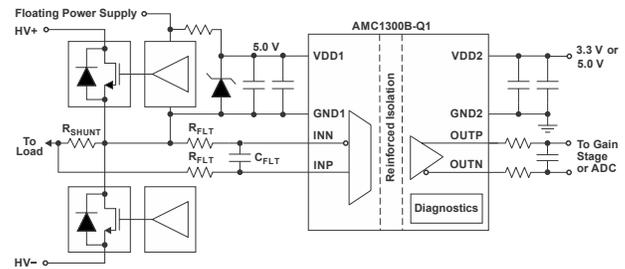


図 2. AMC1300B-Q1 とフローティング電源。

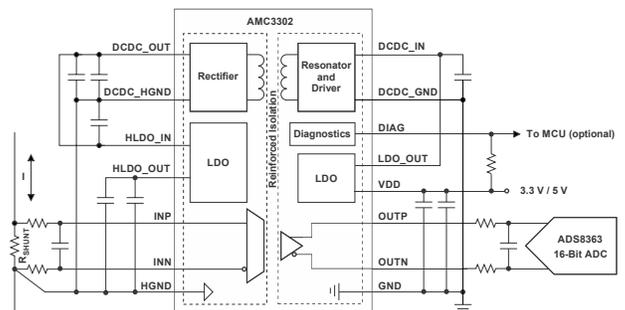


図 3. AMC3302 絶縁型アンプと内蔵 DC/DC コンバータ

入力電圧範囲を選択するときは、次の 2 つの式を考慮する必要があります。オームの法則 (**式 1** を参照)、抵抗で消費される電力 (**式 2** を参照)：

$$V = I \times R \quad (1)$$

$$P = I^2 \times R \quad (2)$$

これらの 2 つの式は、絶縁型アンプのフルスケール入力範囲を最大化することと、シャント抵抗で消費される電力量との間のトレードオフを管理します。電流と抵抗の値が供給されると、**式 1** はシャント抵抗の両端での電圧降下を計算します。この電圧範囲を、絶縁型アンプのフルスケール入力電圧範囲にできるだけ近い値に一致させるようにしてください。2 つの値の間に不一致があると、分解能が直接低下します。

式 2 で、シャント抵抗の消費電力を定量化します。これは重要です。シャント抵抗を介して消費される電力が定格消費電力の半分に達すると、自己発熱により (温度ドリフト仕様に従って) ドリフトが発生し始め、ゲイン誤差が生じるため

す。自己発熱に起因する過度のシャントドリフトを防止するために、シャント抵抗の公称消費電力が定格消費電力の 1/8 以下になるように制限するのが最善の場合が多くあります。

たとえば、電流要件が公称電流 18A、最大電流 52A の場合、線形入力電圧範囲には最大電流に加えて 2 つの選択肢 ($\pm 50\text{mV}$ および $\pm 250\text{mV}$) があることがわかっているとします。次の両方の選択肢について、フルスケール入力範囲を満足するように、理想的なシャント抵抗値を計算できます。

$$\begin{aligned} \pm 50 \text{ mV: } R_{\text{ideal}} &= 0.96 \text{ m}\Omega \\ \pm 250 \text{ mV: } R_{\text{ideal}} &= 4.8 \text{ m}\Omega \end{aligned} \quad (3)$$

直近の標準的なシャント抵抗値を検出すること:

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } R &= 1 \text{ m}\Omega, \text{ or} \\ \text{for } \pm 250 \text{ mV: } R &= 5 \text{ m}\Omega \end{aligned} \quad (4)$$

これらの値を **式 1** にプラグインすると、結果としてシャント抵抗の両端でのフルスケール電圧降下を計算できます。

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } V &= I \times R = (52 \text{ A}) \times (1 \text{ m}\Omega) = 52 \text{ mV, or} \\ \text{for } \pm 250 \text{ mV: } V &= I \times R = (52 \text{ A}) \times (5 \text{ m}\Omega) = 260 \text{ mV} \end{aligned} \quad (5)$$

理想的な計算から最も近い標準値までの抵抗値はわずかに増加し、その結果、フルスケール入力電圧範囲は絶縁型アンプの線形フルスケール入力範囲よりも大きくなります。これは、フルスケール電流振幅の場合、結果として得られる電圧振幅が絶縁型アンプの入力の線形領域内に入らなくなることを意味します。絶縁型アンプは多くの場合、クリップを開始する前に、リニア入力電圧範囲を超える追加の入力電圧範囲を持っています。この領域内 (通常、 $\pm 250\text{mV}$ デバイスで $\pm 280\text{mV}$ 、 $\pm 50\text{mV}$ デバイスで $\pm 56\text{mV}$)、絶縁型アンプの精度はデータシートに規定されていませんが、絶縁型アンプは線形領域と同様の精度で電圧を引き続き出力します。最大電流振幅の精度要件が公称測定値と比較して緩和されている場合、一部のアプリケーションではこれを許容できる可能性があります。

次に、標準抵抗値と公称電流の大きさを使用して、シャント抵抗の消費電力定格を 3W と仮定し、シャント抵抗で消費される電力を計算します。

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } P &= I_{\text{max}}^2 \times R = (18 \text{ A})^2 \times (1 \text{ m}\Omega) = 0.32 \text{ W,} \\ \text{For } \pm 250 \text{ mV: } P &= I_{\text{nom}}^2 \times R = (18 \text{ A})^2 \times (5 \text{ m}\Omega) = 1.62 \text{ W} \end{aligned} \quad (6)$$

$\pm 50\text{mV}$ の計算では、公称消費電力は定格消費電力の 1/8 未満です。このシャント抵抗は、公称電流を測定するとき自己発熱によって大きくドリフトしないようにする必要があります。 $\pm 250\text{mV}$ の計算の結果、消費電力は定格消費電力の半分を超えます。これは、公称電流範囲を測定するとき大きな温度ドリフトが発生する可能性があることを意味します。

シャント抵抗での放熱を低減するには、プリント基板の大きなプレーンを形成したり、ヒートシンクやファンを使用したりするなど、追加の対策を講じることもできます。大電流のアプリケーションの場合、**[5]** で使用されている方法である絶縁型アンプのフルスケール入力範囲に一致するように、オペアンプを使用して入力信号を獲得することにより、入力範囲を最大化できます。

高い公称電流の大きさを測定するほとんどのアプリケーションでは、 $\pm 50\text{mV}$ より小さい入力電圧範囲を持つテキサス・インスツルメンツの AMC1302 または AMC3302 などの絶縁型アンプを選択することをお勧めします。

最後のステップは、最大電流振幅での消費電力がシャント抵抗の定格消費電力を超えないことを確認することです。これは、定格消費電力を超えるとシャント抵抗に永続的な損傷を与える可能性があるためです。

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } P &= I_{\text{max}}^2 \times R = (52 \text{ A})^2 \times (1 \text{ m}\Omega) \\ &= 2.70 \text{ W} \end{aligned} \quad (7)$$

例と同様の測定結果については、**[6]** を参照してください。

まとめ

オンボード チャージャ、ストリング インバータ、モータードライバなどの最終製品で絶縁型電流センシング回路を設計する場合、絶縁型アンプを選定するときに多くの決定事項を考慮する必要があります。考慮する必要がある主な要素は、絶縁仕様、ハイサイド電源、入力電圧範囲です。システム要件に適した適切な絶縁型アンプを採用すると、最終製品の認証への可否、アナログ入力電圧の絶対最大定格の超過、シャント抵抗の過剰な自己発熱の誘発という心配をせずに、設計を実現できます。

参考資料

1. Alex Smith、『[AMC1300B-Q1 絶縁型アンプによるクラス最高の放射 EMI 性能](#)』アプリケーション レポート、2020 年 6 月
2. [テキサス・インスツルメンツの製品に対する「絶縁型アンプ – 認証」](#)
3. [AMC1300 評価基板 \(EVM\)、テキサス・インスツルメンツ](#)
4. Ravi Kiran Raghavendra、『[単一電源の絶縁型アンプと ADC を使用して、電流と電圧の絶縁型センシング設計を簡素化しましょう](#)』テキサス・インスツルメンツ E2E™ サポート フォーラム 技術記事、2020 年 10 月 26 日
5. [絶縁型アンプを使用したシャント ベース、200A ピーク電流測定のリファレンス デザイン](#)、テキサス・インスツルメンツ (TIDA-00445)、2016 年 3 月
6. Alex Smith、『[絶縁型シャントと閉ループ電流センシングの精度の比較](#)』アプリケーション ブリーフ、2020 年 9 月

関連ウェブサイト

リファレンス デザイン:

- [オンボード チャージャ \(OBC\) / ワイヤレス チャージャ向け IC およびリファレンス デザイン](#)
- [ソーラー スtring インバータ向け IC およびリファレンス デザイン](#)
- [モーター ドライブのシステム ブロック図、リファレンス デザインおよび製品](#)

製品情報

- [テキサス・インスツルメンツの絶縁ソリューション](#)
- [AMC1300B-Q1](#)
- [AMC1302-Q1](#)
- [AMC3302](#)
- [SN6501-Q1](#)
- [TLV704](#)

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 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。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。

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、TI 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated