

# AC モータードライブの絶縁型電圧検出

Alex Smith

Applications Engineer

Roland Bucksch

Systems Engineer

Martin Staebler

Systems Engineer

## はじめに

車載用や産業用の **モータードライブ**、**ストリングインバータ**、**オンボードチャージャ**などの最終機器は動作電圧が高く、人間が直接扱うには安全ではありません。絶縁型電圧測定は、機能を実行する高電圧回路から人間を保護することで、動作を最適化し、人間の安全を確保するのに役立ちます。

高性能を実現するように設計された絶縁型アンプは、絶縁バリアをまたぐ形で電圧測定データを転送します。絶縁型アンプを選択する基準は、絶縁仕様、入力電圧範囲、精度要件、高電圧側への電力供給方式など、その多くはアプリケーションにおける測定場所を反映したものになります。

本書では、AC モータードライブの最終機器で一般に行われる3つの電圧測定について評価し、適切な絶縁型アンプを選択するためのガイダンスを提供します。

最初の基準は必要な絶縁仕様です。関連する絶縁の定義については [1] で説明しています。テキサス・インスツルメンツの絶縁型アンプと絶縁型変調器は、通常、機器レベルの基本絶縁レベルまたは強化絶縁レベルについて、ドイツ工業規格 (DIN)、ドイツ電気技術者協会 (VDE) 0884-17、DIN 欧州統一規格 (EN) 国際電気標準会議 (IEC) 60747-17、Underwriters Laboratories (UL) 1577 などの規格の認定を受けています。詳細については、各デバイスのデータシートおよび [2] をご覧ください。

入力電圧範囲、精度要件、および高電圧側の電源方式の選択は、アプリケーションで測定される電圧ノードの場所によって異なります。図 1 は、AC モータードライブの簡略化されたブロック図を示したものです。電圧測定を行う3つの一般的な場所を示してあります。左側が AC 商用電源、中央が DC

リンク、右側がモーター位相です。絶縁型アンプは、高い精度と使いやすさから、これらの測定に最適なデバイスです。

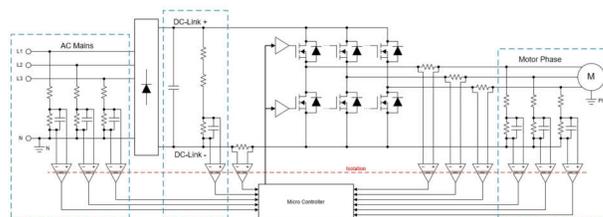


図 1. AC モータードライブ アプリケーション

図 1 の左側の AC 商用電源入力、多くの場合、米国では  $120V_{RMS}/208V_{RMS}$ 、欧州では  $230V_{RMS}/400V_{RMS}$  の中央がアースの 3 相電源システムとして接続されます。この電圧測定に必要な精度は通常低く、必ずしも必要とは限りません。AC 商用電源を測定する場合は、テキサス・インスツルメンツの **AMC1350** や **AMC3330** など、バイポーラの高インピーダンス入力に対応したデバイスを検討してください。中性電圧を基準とした 3 相 AC 電圧測定を行う場合は、測定を実行する3つの絶縁型アンプすべてに対して単一の絶縁型電源を使用できます。3 相 AC 電圧の位相間の電圧を測定する場合は、DC/DC コンバータを内蔵したデバイスを使用して設計を簡素化することを検討してください。図 2 に、対応する AMC3330 の回路図を示します。

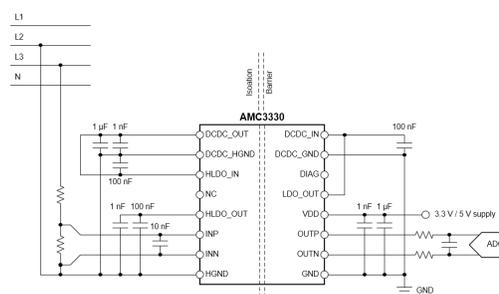
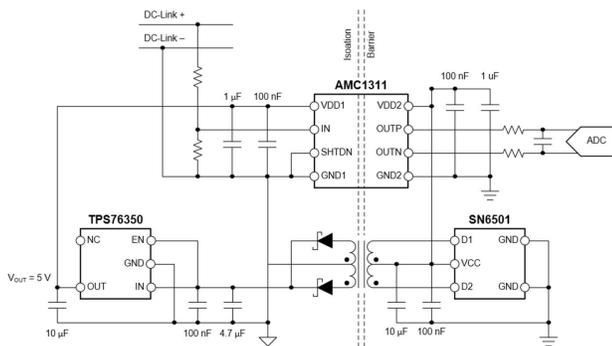


図 2. AMC3330 絶縁型アンプと内蔵 DC/DC コンバータ

モータードライブのパルス幅変調 (PWM) デューティ サイクルを計算するには、通常、**図 1** の中央に示す DC リンク電圧を 1% 以下の精度で測定する必要があります。

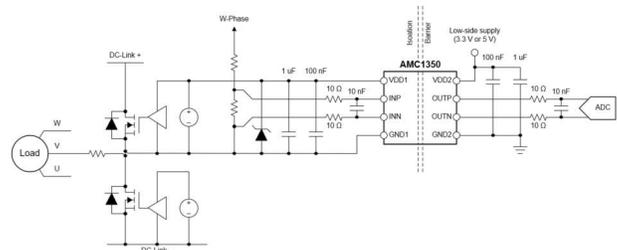
たとえば、ブレーキ動作中は DC リンク電圧が上昇し、回生ブレーキのスイッチをオンにして出力段を保護するためにアクティブに制限する必要があります。低レイテンシの測定により、過電圧イベントへの応答時間が短縮され、ハードウェアの制限に近い範囲でシステムを動作させることができます。その結果、設計マージンの強化とシステムコストの削減を実現できます。DC リンク容量は通常は数 100 $\mu$ F であるため、機器の保守を行う前に DC リンクコンデンサが安全なレベルまで適切に放電されたかどうかを判断するには、低電圧 (100V 未満) の正確な測定が必要になります。さらに、高分解能の AC リップルの測定により、接続されている AC 商用電源の位相損失の検出が可能になるため、グリッド側で位相測定を別途行う必要がなくなります。リップル電圧の周波数は、6 つの半波の整流であるため、60Hz の 3 相商用電源電圧の場合は 360Hz、50Hz の 3 相商用電源電圧の場合は 300Hz になります。低負荷時 (モーターが回転していないとき) は、リップル電圧の大きさが非常に小さくなる可能性があります。そのため、最高の分解能の測定を行うために変調器を選択することもできます。絶縁型アンプと絶縁型変調器の比較の詳細については、**[3]** をご覧ください。テキサス・インスツルメンツの **AMC1351** (0~5V の入力範囲) や **AMC1311** (0~2V の入力範囲) などのユニポーラ入力範囲に対応した絶縁型アンプは、DC リンク電圧測定用に特別に設計されています。**図 3** に示す絶縁型トランス回路のような高電圧側に電力を供給するには、DC- を基準とするローカル電源が必要です。別のアプローチは、DC/DC コンバータを内蔵した AMC3330 などのデバイスを使用することです。



**図 3.** AMC1311 絶縁型アンプとディスクリート絶縁型トランス回路

DC リンク測定と PWM デューティ サイクルに基づいて位相電圧を推定するのではなく、実際の位相電圧を測定することで、センサレス AC モータードライブの性能がさらに向上します。位相電圧を直接測定すると、システム内のすべての損失と PWM デッドタイム歪みの影響が含まれるため、より正確な結果が得られます。1 つの方法は、DC レールに対する 3 つの位相すべてを測定することです。3 つのユニポーラ入力絶縁型アンプと 1 つの絶縁型電源を使用して (**図 3** を参照)、3 つの絶縁型アンプすべての高電位側に電力を供給します。

ハードウェアコストを節約する別の方法は、位相間の電圧を 2 つのみ測定し、3 つ目は計算することです。この方法では、バイポーラ入力範囲に対応した絶縁型アンプが 2 つで済み、ファームウェア側での追加作業も最小限になります。この 2 つの測定はいずれかの位相電圧を基準にして行われるので、**図 4** に示すように、上の絶縁型ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT) のフローティングハイサイドゲートドライバ電源から絶縁型アンプに電力を供給する必要があります。AMC3330 などの DC/DC コンバータを内蔵したデバイスを使用すると、回路を大幅に簡素化できるため、さらなるスペース節約とシステム効率の向上を実現できます。



**図 4.** AMC1350 絶縁型アンプとフローティング電源

これらの電圧測定の内いずれでも、絶縁型アンプの入力範囲に一致するように、高電圧ノードを分圧抵抗でスケールダウンする必要があります [4]。分圧抵抗回路を設計するときの一般的な課題は次の 3 つです。

- 検出抵抗を流れる絶縁型アンプからの入力バイアス電流により、オフセット誤差が発生します。
- 検出抵抗は絶縁型アンプの入力インピーダンスと並列に配置されるため、実効検出抵抗が減少し、ゲイン誤差が発生します。さらに、絶縁型アンプの入力インピーダンスは、プロセスのばらつきにより、デバイス間で  $\pm 20\%$  変動する可能性があり、これを考慮しないとゲイン誤差として現れます。
- 分圧抵抗と絶縁型アンプの入力インピーダンスの両方で温度ドリフトが発生します。

テキサス・インスツルメンツの絶縁型電圧検出アンプから、入力インピーダンスが高く、入力バイアス電流を無視できるデバイスを選択すると、これらの課題を克服するために必要な労力を大幅に削減できます。ただし、入力バイアス電流がある低入力インピーダンスの絶縁型アンプを使用しても、高精度の電圧測定回路を設計することは可能です [5]。

入力範囲が広い絶縁型アンプは、入力ノイズに対する感度が低く、低い入力レベルで高い精度を実現できます。ただし、入力電圧が高いデバイスでは、表 1 に示すように入力インピーダンスが低くなるが多いため、最高レベルの精度を実現するにはゲイン較正が必要です。高インピーダンス入力デバイスにより、較正なしの精度が向上し、設計の労力が低減されます。テキサス・インスツルメンツの絶縁型アンプの標準誤差と最大誤差の計算をデータシートの精度と比較する際の詳細については、[6] をご覧ください。

デバイス	入力電圧範囲	入力インピーダンス	統合型 DC/DC	車載対応
AMC1211A-Q1	0V~2V	1 G $\Omega$	なし	あり
AMC1311/B	0V~2V	1 G $\Omega$	なし	あり
AMC1411	0V~2V	1 G $\Omega$	なし	あり
AMC1351	0V~5V	1.25 M $\Omega$	なし	あり
AMC3330	$\pm 1$ V	1 G $\Omega$	あり	あり
AMC1350	$\pm 5$ V	1.25 M $\Omega$	なし	あり
ISO224A/B	$\pm 12$ V	1.25 M $\Omega$	なし	なし

表 1. テキサス・インスツルメンツの電圧検出絶縁型アンプ

## まとめ

テキサス・インスツルメンツの高インピーダンス電圧測定向け絶縁型アンプの幅広い選択肢により、コスト、性能、実装のしやすさ、基板面積の間で適切なトレードオフを実現し、要件に合わせて設計を最適化し、業界の絶縁性能規格に適合することができます。

## 参考資料

1. テキサス・インスツルメンツ: [絶縁型電流センシングの設計上の考慮事項](#)
2. テキサス・インスツルメンツ: [TUEV 技術報告書 No. 713203936](#)
3. テキサス・インスツルメンツ: [絶縁型アンプと絶縁型変調器の比較](#)
4. テキサス・インスツルメンツ: [差動出力を持つ  \$\pm 480\$ V の絶縁電圧センシング回路](#)
5. テキサス・インスツルメンツ:  [\$\pm 250\$ mV 入力および差動出力、絶縁型電圧測定回路](#)
6. テキサス・インスツルメンツ: [絶縁型アンプ電圧センシング Excel カリキュレータ](#)

**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