

# 絶縁型コンバータを使用して電動モータードライブの故障を検出

Krunal Maniar

Product marketing engineer  
Texas Instruments

## はじめに

**電動モータードライブ**は、可変周波数の出力を電動モーターに提供する電気システムで、暖房と空調、換気、ポンプ、コンプレッサ、エレベータなどの産業用ロード、またコンベヤベルト、鋳業、製紙機器などのファクトリオートメーションロードも該当します。

産業環境で使用される電動モータードライブは、高温や高湿度、AC電源ラインの変動、機械的過負荷などの条件にさらされます。ユーザーは、効率の向上と信頼性の向上を求めています。IGBT（絶縁型ゲートバイポーラトランジスタ）などのパワー半導体デバイスのスイッチング速度は継続的に向上しており、スイッチング速度を高速化するSiC（シリコンカーバイド）やGaN（窒化ガリウム）などのワイドバンドギャップ技術がますます採用されています。スイッチング速度の高速化とシステムの信頼性向上のニーズが高まっている現状で、最新のモータードライブシステムは産業用機器のダウンタイムを最小化するために、複数の障害イベントを検出して対処する必要があります。

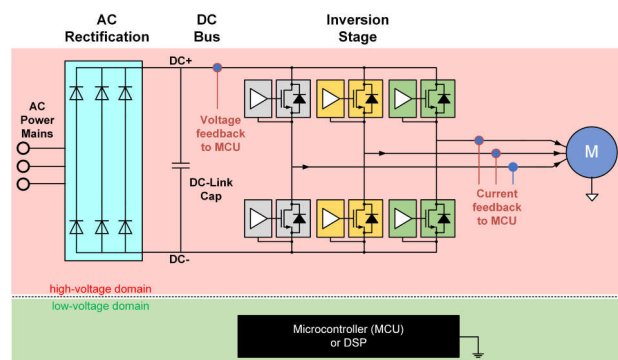
この記事では、さまざまな障害イベントの優先レベルと影響、およびそれらを検出してモータードライブ回路の損傷を防止する方法を解説します。

## 電動モータードライブの概要

**図1**に示すように、電動モータードライブシステムはAC商用電源から電力を取り込み、DC電圧に整流し、複雑な帰還制御アルゴリズムによる負荷の要求に応じてDCを可変の振幅と周波数でACに逆変換します。

モータードライブシステムには通常、「高電圧」ドメインと「低電圧」ドメインという2つの電圧ドメインがあります。マイコンまたはデジタル信号プロセッサは、通常は低電圧ドメインに配置され、3相IGBT電力段から帰還信号（電圧、電流、温度

など）を受信し、パワースイッチングトランジスタや他のハイサイド電源回路を制御するためのパルス幅変調信号を生成します。このようなシステムは、高電圧回路を低電圧回路から絶縁するために、回復力が高く信頼性の高いガルバニック絶縁を必要とします。絶縁アーキテクチャにより、モータードライブシステムの信頼性の高い動作が可能になり、高電圧回路と低電圧回路の間のグラウンド・ループを切断することで高価な回路の損傷を防止し、高電圧から人間のオペレータを保護することができます。



**図1.** AC入力電動モータードライブのブロック図

## 電動モータードライブの障害イベントについて

電動モータードライブは、いくつかの電氣的障害イベントの影響を受けやすくなっています。**図2**に示すように、隣接するパワースイッチングトランジスタ1と2が誤って同時にオンになった場合に貫通電流障害が発生します。この障害は、電磁干渉、スイッチングトランジスタを制御するマイコンの誤動作、または単にスイッチングトランジスタの磨耗など、いくつかの理由で発生する可能性があります。この障害はDCリンクコンデンサを短絡させ、致命的な障害を引き起こし、過熱、火災、さらには爆発に至る可能性があります。したがって、貫通電流障害を検出し、パワースイッチングトランジスタを非

常に迅速にオフにするなどの是正措置を講じることが不可欠です。

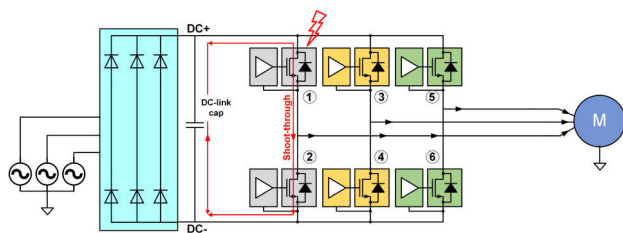


図2. 電動モータードライブの貫通電流障害。

図3に示すように、モーターケーブル、モーターケース、またはモーター巻線がグランドに短絡したときにグランド障害が発生します。このようなグランドへの短絡は、長時間にわたる温度または電圧のオーバーストレス条件によって生じる絶縁体の誘電体強度の低下が原因で発生する可能性があります。旧式のモーターやケーブルは、地絡事象の影響を受けやすく、人間のオペレータが感電のリスクにさらされる可能性があります。したがって、地絡が発生した場合、モーターの巻き戻しや交換など、検出と是正措置が必要になります。

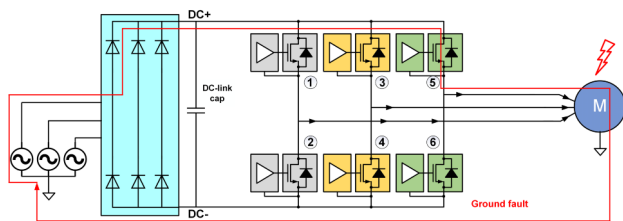


図3. 電動モータードライブの地絡。

図4に示すように、固定子の2つの相の2つの巻線の間で絶縁破壊が発生したときに、相間短絡障害が発生します。これらの相間短絡は、温度または電圧のオーバーストレス条件によって長時間にわたる絶縁体の誘電体強度の低下が原因で発生する可能性があります。この短絡が原因で、固定子の電流が大幅に増加し、出力段のIGBTが損傷する可能性があります。古いモーターとケーブルは、相間短絡の影響を受けやすくなります。地絡と同様、相間障害が発生した場合、モーターの巻き戻しや交換など、検出と是正措置が必要になります。

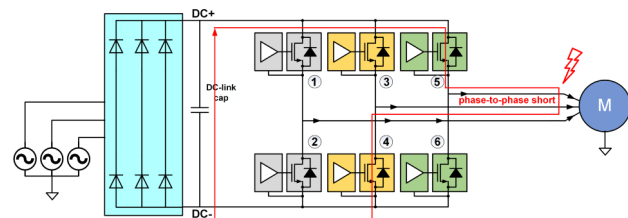


図4. 電動モータードライブでの相間短絡。

過電圧はいくつかの理由で発生します。遮断中のモーターからDCリンクレールへのバックインジェクション、AC電源の異常な回路負荷の不十分なレギュレーション、配線エラー、絶縁障害などです。過電圧は、電圧過大ストレスや過剰な電流を引き起こす可能性があり、DCリンクコンデンサとIGBTの損傷、電氣的絶縁の劣化、モータードライブシステムの損傷または寿命の短縮を招く可能性があります。貫通電流、地絡、相間短絡を中断または低減し、過渡的な過電圧状態を防止することにより、IGBTを流れる熱エネルギーを制限することが非常に重要です。

### 電動モータードライブで信頼性の高い検出と保護を実現

モータードライブ回路の損傷を防止するために、設計者は複数のレベルで信頼性の高い検出と保護を実現する必要があります。IGBTなどのパワースイッチングトランジスタは、耐用時間が比較的短く(10 $\mu$ s未満)、過度の電流によって急速に過熱し、損傷を受ける可能性があります。

電流制限ヒューズとサーキットブレーカは過電流保護に優れていますが、応答時間が遅く、ユーザーの介入が必要です。多くの場合、障害発生時に保護を行う最後の手段になります。

これらの障害条件を検出してモータードライブを迅速に保護するために、モータードライブ内の重要な電気経路で電流と電圧を検出するソリューションがあります。測定された電流と電圧は、パワースイッチングトランジスタやサーキットブレーカなどのハイサイド電源回路を制御するホストマイコンによって受信されます。過電流や過電圧フォルトを抑制するために、ホストマイコンは電源をオフにするか、パワートランジスタのスイッチング特性を変更するか、サーキットブレーカをトリップします。

図 5 に、短絡電流、過電流、低電流、過電圧、低電圧、過熱フォルト検出シナリオにおけるテキサス・インスツルメンツ (TI) の **AMC23C14** 低レイテンシ強化絶縁型コンパレータファミリを示します。これらのデバイスには、調整可能なコンパレータスレッシュホールド機能が組み込まれており、電源用のハイサイドロードロップアウトレギュレータが含まれており、8ピンのスモールアウトライン IC パッケージでサブ 0.5 $\mu$ s の応答時間を実現しています。

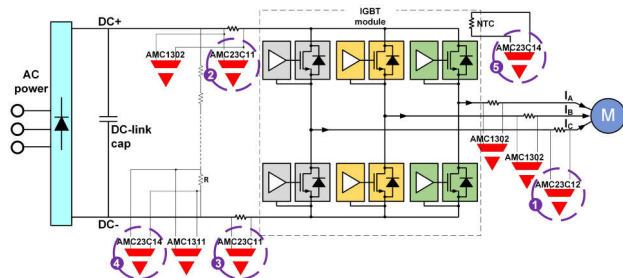


図 5. 電動モータードライブでの超高速故障検出。

次に、電動モータードライブで使用する **AMC23C14** 絶縁型コンパレータファミリのいくつかの使用事例を確認します。

### 使用事例 1: 双方向の同相過電流検出

図 6 に、双方向の同相過電流検出に **AMC23C12** を使用する方法を示します。

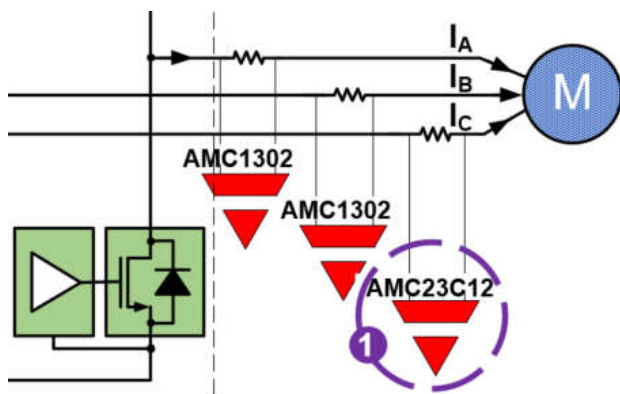


図 6. 双方向の同相過電流検出。

完全に動作する 3 相 AC モータードライブシステムでは、ブレーキまたは動作条件 ( $I_A + I_B + I_C = 0$ ) に関係なく、AC モーターに供給する 3 相電流の合計はゼロになる必要があります。

2 相で測定した電流からローエンドからミッドエンドのモータードライブの 3 相電流を計算すると、コスト削減に役立ちます。電氣的障害イベントを検出するために、3 相の電流を監視することをお勧めします。絶縁型アンプまたは絶縁型変調器を使用して電流センサを 3 相に配置することもできますが、簡素化、コスト効率、ソリューション サイズを実現するために、強化絶縁型ウィンドウ コンパレータ **AMC23C12** を使用することもできます。AMC23C12 は双方向の過電流検出機能を持ち、ウィンドウ コンパレータが内蔵されています。

図 6 の位置 1 に示すように、シャント抵抗によって AMC23C12 強化ウィンドウ コンパレータが検出する電圧降下が発生します。AMC23C12 にはオープンドレイン出力 OUT があり、過電流検出のため、入力電圧がリファレンスピンの電圧について事前定義されたスレッシュホールド値を超えるとアクティブに Low にプルされます。図 7 に、過電流イベント出力波形を示します。

過電流と短絡の両方を検出するには、AMC23C14 デュアルウィンドウ コンパレータを使用できます。

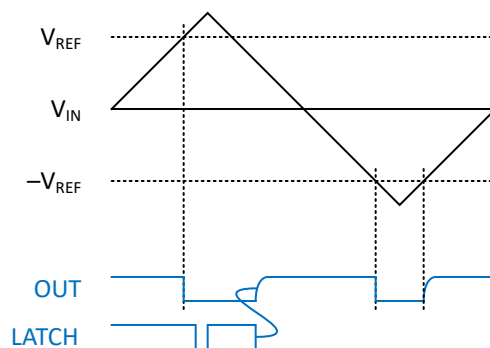


図 7. AMC23C12 ドライバの出力波形。

## 使用事例 2: DC+ の過電流検出

図 8 の位置 2 に示すように、AMC23C11 は DC+ 過電流検出に適しています。

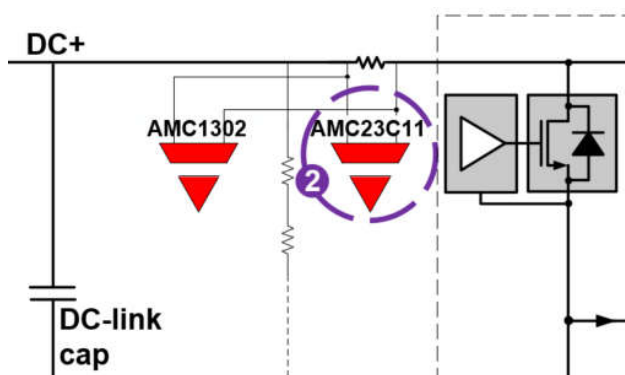


図 8. DC+ の過電流検出。

図 9 に、過電流イベント出力波形を示します。AMC23C12 と同様に、AMC23C11 はオープンドレイン出力 OUT を備えており、入力電圧が基準ピンの電圧についてあらかじめ定義されたスレッシュホールド値を超えるとアクティブに Low にプルします。AMC23C11 は、ラッチがクリアされた後でのみ出力をクリアする LATCH 入力ピンを備えたラッチ モードもサポートしています。過電流と短絡の両方を検出する必要がある場合は、AMC23C14 を使用して、過電流と短絡を検出する 2 つのスレッシュホールドレベルをそれぞれ設定できます。

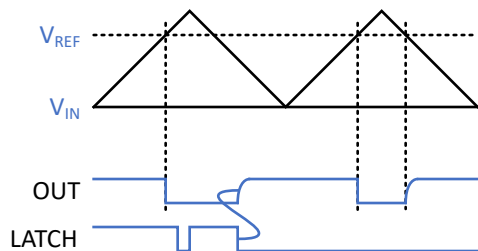


図 9. AMC23C11 出力波形。

## 使用事例 3: DC- 過電流または短絡の検出

使用事例 2 で説明した詳細と同様に、AMC23C11 を使用して DC- ラインの過電流を検出することもできます。過電流と短絡の両方を検出する必要がある場合は、AMC23C14 を使用して、過電流と短絡を検出する 2 つのスレッシュホールドレベルをそれぞれ設定できます。

## 使用事例 4: DC リンク (DC+ から DC-) の過電圧および低電圧の検出

モータードライブを適切に動作させるには、DC リンク電圧を規定の範囲内にする必要があります。AMC23C14 は、過電圧および低電圧状態を検出するための優れた選択肢になります。

図 10 の位置 4 に示すように、分圧抵抗回路の下側抵抗によって電圧降下が発生し、AMC23C14 デュアル強化ウィンドウコンパレータによって検出されます。

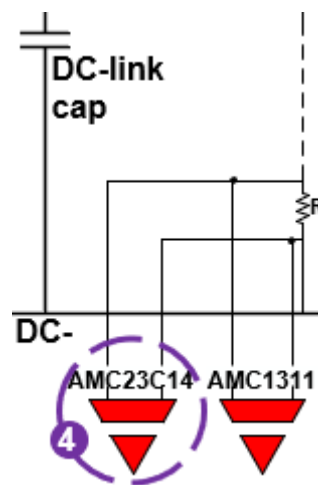


図 10. DC リンクの過電圧および低電圧の検出。

AMC23C14 は 2 つのオープンドレイン出力 OUT1 および OUT2 (各ウィンドウコンパレータに 1 つ) を備えています。OUT1 は、低電圧検出のため、入力電圧がリファレンスピンの電圧について事前定義されたスレッシュホールド値を超えるとアクティブに Low にプルされます。OUT2 は、過電圧検出のため、入力電圧が内部の 300mV リファレンスによって定義されたスレッシュホールド値を超えるとアクティブに Low にプルされます。図 11 に、過電圧および低電圧イベントに対する OUT1 および OUT2 出力を示します。過電圧検出のみが必要な場合は、AMC23C11 を使用できます。



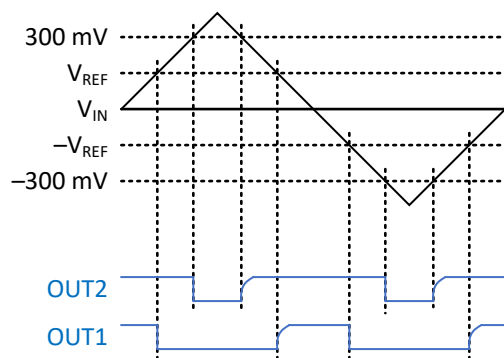


図 11. AMC23C14 の出力波形。

## 使用事例 5: IGBT モジュールの過熱検出

図 12 に示すように、長期的な過負荷状態を検出するために、通常は負の温度係数を持つサーミスタ (NTC) を IGBT モジュール内に配置します。これらの NTC 端子はメイン電源ボードに接続されており、AMC23C14 を使用して過熱を検出できます。

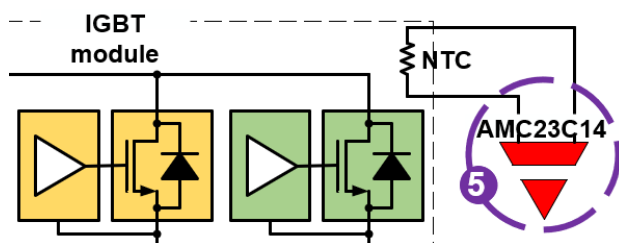


図 12. IGBT モジュールの過熱検出。

過熱イベントの出力波形を、図 13 に示します。ここで、入力電圧が 300mV の内部リファレンスによって定義されたスレッシュホルド値を超えると、OUT2 は High になります。AMC23C14 のリファレンスピンは、NTC をバイアスできる 100 $\mu$ A の電流源に接続します。

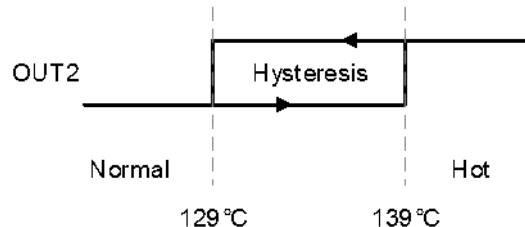


図 13. AMC23C14 出力波形。

システムの信頼性向上を求める需要が高まり、より高速なスイッチング デバイスの採用が求められている現状で、低レイテンシの強化絶縁型コンパレータである AMC23C14 ファミリーは、電動モータードライブで高精度かつ高速な検出を実現するうえで不可欠なニーズに対応します。

**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