

インバータにおけるIGBTの駆動と保護



はじめに

ACPL-339Jは、1Aデュアル出力のインテリジェントIGBTゲート駆動用フォトカプラです。様々な電流定格のMOSFETバッファに対応するよう設計されているため、ユーザは、MOSFETバッファとIGBTやパワーMOSFETを交換することにより、1つのハードウェア・プラットフォームを用いて様々な電力定格のインバータを設計することができます。この概念は、様々な電力定格のモータ制御および電力変換アプリケーションにおけるゲート駆動設計のスケラビリティを最大にします。

ACPL-339Jは、また、短絡保護、「ソフト」IGBTターンオフ、アンダーボルテージ・ロックアウト(UVLO)、および絶縁型フォルト・フィードバック機能を備え、最大の設計柔軟性と回路保護を提供します。

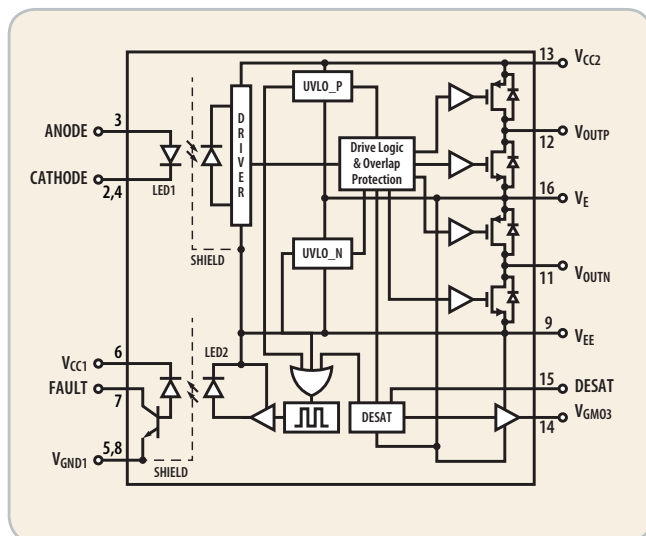


図1: ACPL-339Jゲート駆動フォトカプラの内部ブロック図

IGBTの駆動

ゲート駆動用フォトカプラの重要な機能の1つは、高いピーク出力電流によりIGBTのゲートを素早く充放電し、スイッチング損失を低減することです。アバゴ・テクノロジーのゲート駆動用フォトカプラは、出力電流範囲が0.4A~5Aで、比較的小容量のIGBTを直接駆動することができます。大容量のIGBT駆動には、一般的に、NPN/PNPバイポーラ・トランジスタのバッファ段を追加します。このバッファ段をMOSFETに変更することにより、ゲート駆動設計のスケラビリティと電力変換効率を大きく改善することができます。

図2は、50A~600AクラスのIGBTを駆動するために使用される様々な容量のバイポーラ・バッファを例示しています。IGBTの容量が大きいくほど、ターンオン効率を高めるためにIGBTのゲートに必要なピーク電流が大きくなります。バイポーラ・トラン

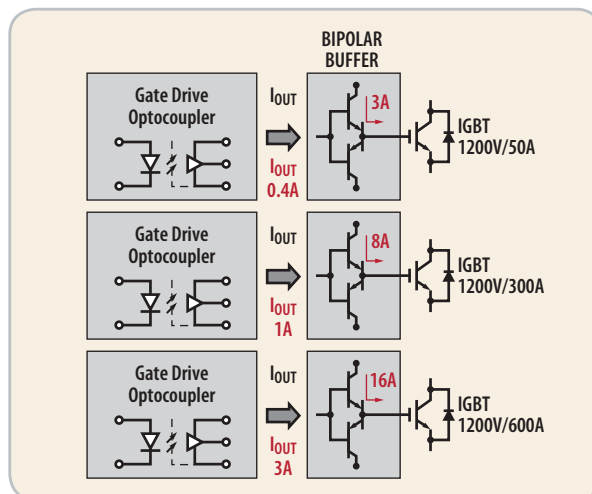


図2: バイポーラ・バッファの容量に応じた適切なゲート・ドライバ

ジスタの出力電流の大きさは、ベース電流 I_B と電流増幅率 β によります。すなわち、様々な容量のIGBTに必要なピーク・ゲート電流を得るためには、それらに応じたピーク出力電流を有するゲート・ドライバとバイポーラ・バッファが必要です。

一方、MOSFETバッファは、電圧制御型デバイスであり、その電流増幅は、前段のゲート・ドライバに依存しません。図3は、様々なクラスのIGBTを駆動する際に必要とされるピーク・ゲート電流を提供するための、異なるオン抵抗 $R_{DS(on)}$ を有するMOSFETバッファの例です。ACPL-339Jの出力仕様は1Aですが、ACPL-339Jの出力電圧がMOSFETバッファの入力閾値を超えさえすれば、MOSFETバッファはスイッチングします。

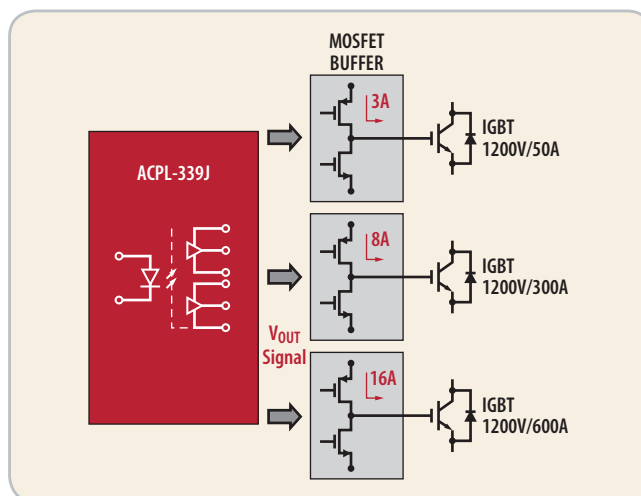


図3: ACPL-339Jと様々な容量のMOSFETバッファの組み合わせ例

ACPL-339Jを使用し、システムの電力容量に応じてMOSFETバッファとIGBTやパワーMOSFETを交換することにより、1つのハードウェア・プラットフォームを用いて様々な電力定格のインバータを設計することができます。これらの変更は、回路にとって重要なアイソレーションと短絡保護に関する設計を変更することなく行なうことができます。

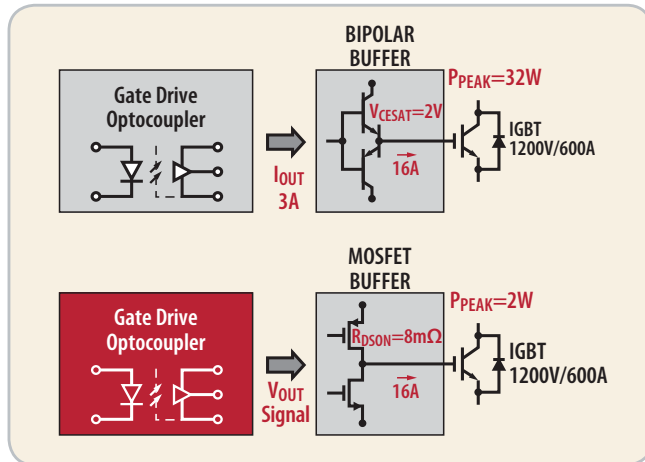


図4: MOSFETバッファは消費電力が少なく全体の効率を改善します。

バイポーラ・バッファは、カスケード接続された複数のトランジスタ段からなる複合構造を使用して高い電流利得を達成します。欠点は、飽和電圧 $V_{CE(SAT)}$ が上昇し、レール電圧を出力できないことです。その結果、バイポーラ・バッファがIGBTのゲートに高いピーク出力電流を流すときの電力損失が増大します。IGBTのゲートに必要なピーク電流が大きくなるに従い、バイポーラ・バッファにより失われる電力も増大することになります。

MOSFETバッファは、「レール・ツー・レール」出力と内部オン抵抗 $R_{DS(on)}$ を有し、 $R_{DS(on)}$ が小さいほど大きなピーク電流を出力できます。図4のMOSFETバッファは、同じピーク電流を提供するバイポーラ・バッファよりも電力損失が著しく少ないことが分かります。

IGBTのDESAT保護

IGBTがターンオンしている間、ACPL-339JのDESAT端子によりIGBTのコレクタ - エミッタ間電圧を監視することができます。回路短絡が発生すると、IGBTに大電流が流れ、飽和モードから非飽和 (DESAT) モードになります。これにより、IGBTのコレクタ - エミッタ間電圧が、例えば2V以下の飽和電圧から急激に上昇します。この電圧がACPL-339JのDESAT閾値の8Vを超えると回路短絡として検知し、IGBTのゲートをソフト・ターンオフすることにより破壊から保護します。ソフト・ターンオフは、ACPL-339Jの V_{GMOS} 端子に接続された外部FET MN2をオンにし、抵抗 R_3 を通してIGBTのゲートを徐々に放電することにより実現します。このソフト・ターンオフの速さは、IGBTのオーバーシュートが最小になるよう外部FETの容量および抵抗値により調整することができます。DESAT保護動作が働いた時、ACPL-339JはFAULT状態を絶縁フィードバック機能を介してコントローラに報告します。

まとめ

MOSFETバッファを使用するACPL-339Jの概念は、低容量のシステムから高容量のシステムまで、ゲート駆動設計のスケーラビリティを最大にします。これにより、設計サイクル時間の短縮、短絡保護とフィードバック設計の集積化と共通化、ゲート駆動設計の共通化を進めることが可能となり、PCボード・スペースとコストの低減に繋がります。

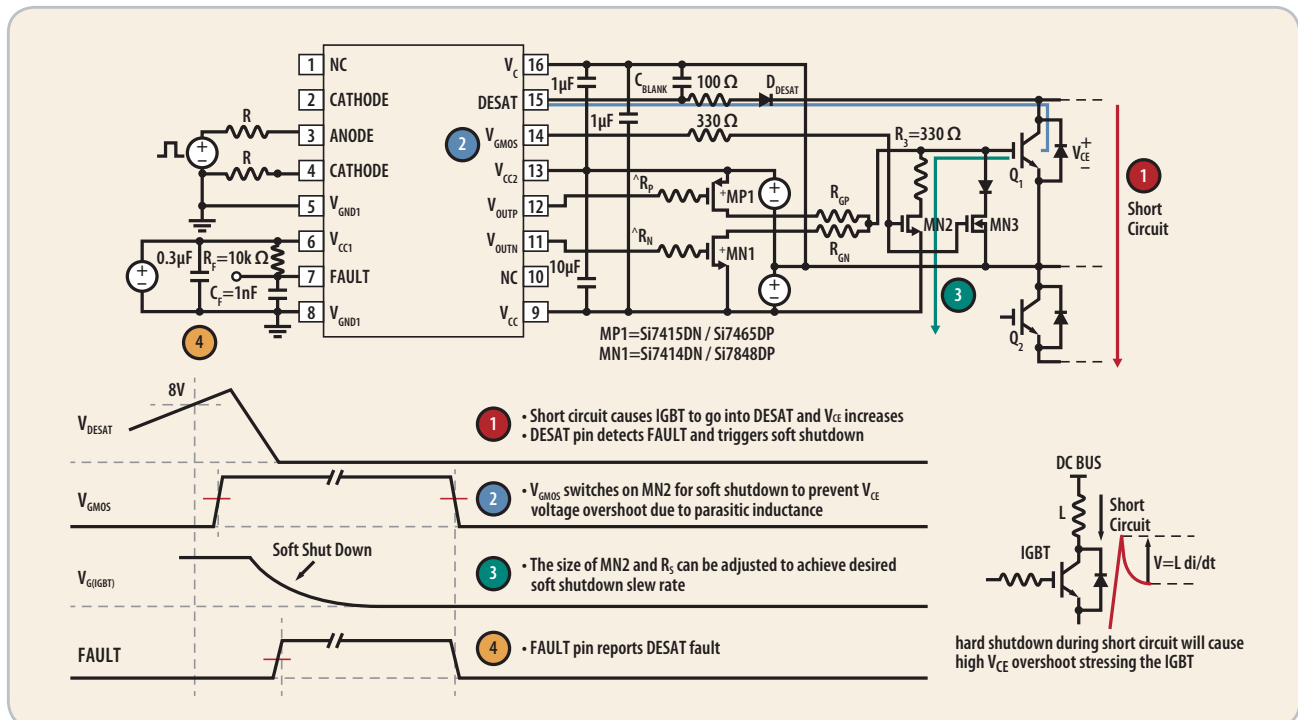


図5: 短絡保護、「ソフト」IGBTターンオフ、および絶縁型フォルト・フィードバック。

- 回路短絡が発生するとIGBTがDESATモードになり、 V_{CE} が上昇します。
- DESAT端子がFAULTを検出し、ソフト・ターンオフをトリガします。
- V_{GMOS} は、ソフト・ターンオフ用のMN2をオンにし、寄生インダクタンスによる V_{CE} 電圧オーバーシュートを防ぎます。

- MN2と R_3 を調整し、必要なソフト・ターンオフ・スローレートを達成することができます。
- FAULT端子は、DESATフォルト状態を報告します。

短絡の際にハード・ターンオフすると、 V_{CE} の過度なオーバーシュートが発生し、IGBTを損傷することがあります。