

Application Brief

SiC または GaN スイッチに必要なローサイド電流シャント測定による過電流故障の迅速な検出



自動車の電動化が急速に進む中で、より高度なシステムを自動車に搭載する動きが進んでいます。このような電動車両は、敏感な GaN および SiC スイッチを搭載しており、過電流状態の影響を受けやすくなっています。したがって、ピーク過電流状態に応答する必要がある電流監視回路を実装し、多くの場合、スイッチの損傷を防止するために $1\mu\text{s}$ 未満でシャットダウンする必要があります。図 1 に、高速なアンプとコンパレータベースの電流シャント監視回路を使用して、最小の遅延時間でこのニーズに対処する方法を示します。

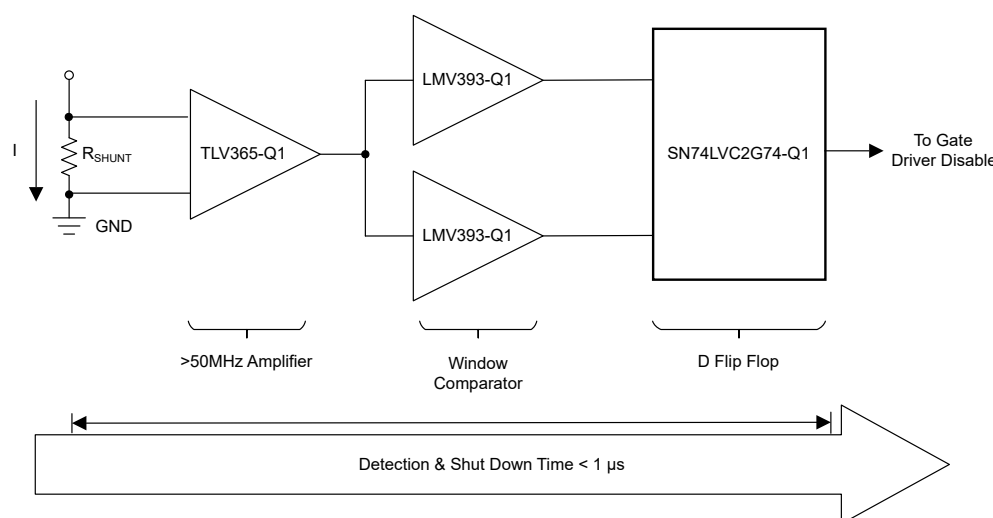


図 1. 代表的な電流検出回路

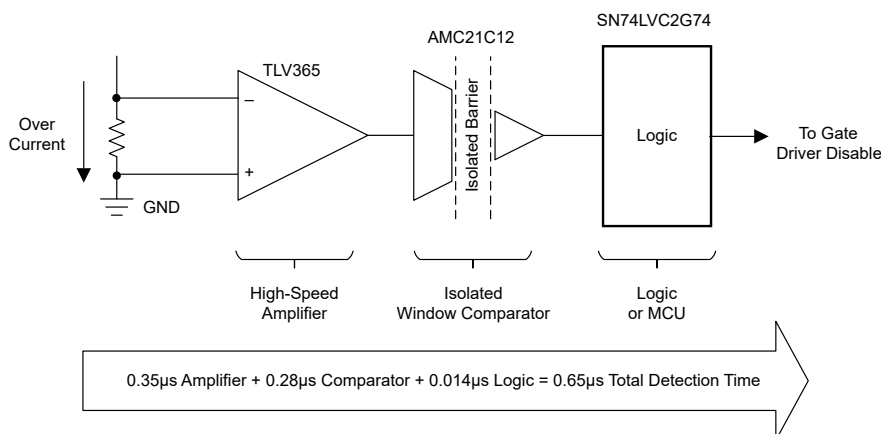


図 2. 絶縁機能付きの代表的な電流検出回路

高速アンプとは何ですか？なぜ使用するのですか？

回路の伝搬遅延は、選択した部品によって大幅に変化します。たとえば、DC/DC コンバータが力率補正のために平均電流制御を使用する場合、より低速のアンプを使用できます。ただし、ピーク電流を検出する必要がある場合、またはシステムが $1\mu\text{s}$ 未満で応答してシャットダウンする必要がある場合は、高帯域幅のアンプが必要です。図 3 では、ピーク検出と平均検出の電流波形を重ね合わせています。ピーク検出により帯域幅の広いアンプを使用する必要があるのは、過渡電流スパイクが非常に迅速に発生するからです。平均電流を測定すると、これらのスパイクは検出されないままになります。

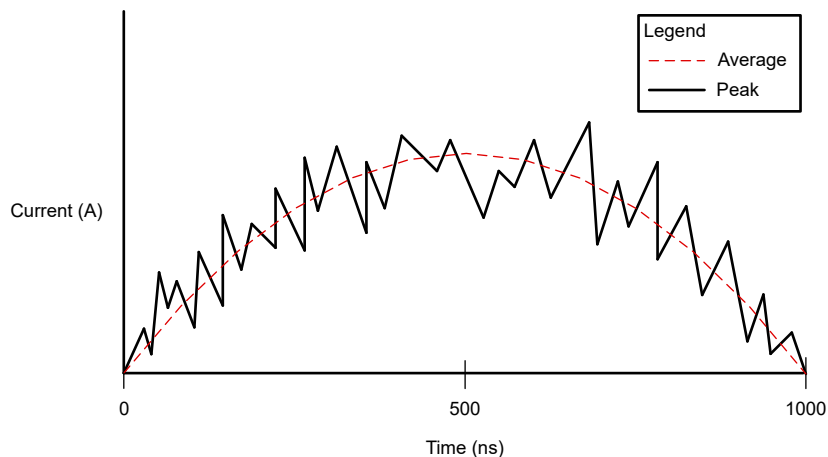


図 3. 平均電流とピーク電流との関係の波形

オンボード チャージャ、DC/DC コンバータ、トラクション インバータの新しい実装には、窒化ガリウムスイッチとシリコンカーバイドスイッチにより実現される消費電力の低減とスイッチング周波数の高速化が利点されています。多くの GaN スイッチは、54A を上回る電流スパイク、また持続時間が $1\mu\text{s}$ というごくわずかな電流スパイクに起因する障害の影響を受けやすくなっています。図 4 では、10MHz と 50MHz オペアンプの立ち上がり時間が比較され、広帯域 50MHz オペアンプによって $0.8\mu\text{s}$ による伝搬遅延が低減されることがわかります。これにより、過電流状況の検出と応答に十分な時間が得られます。

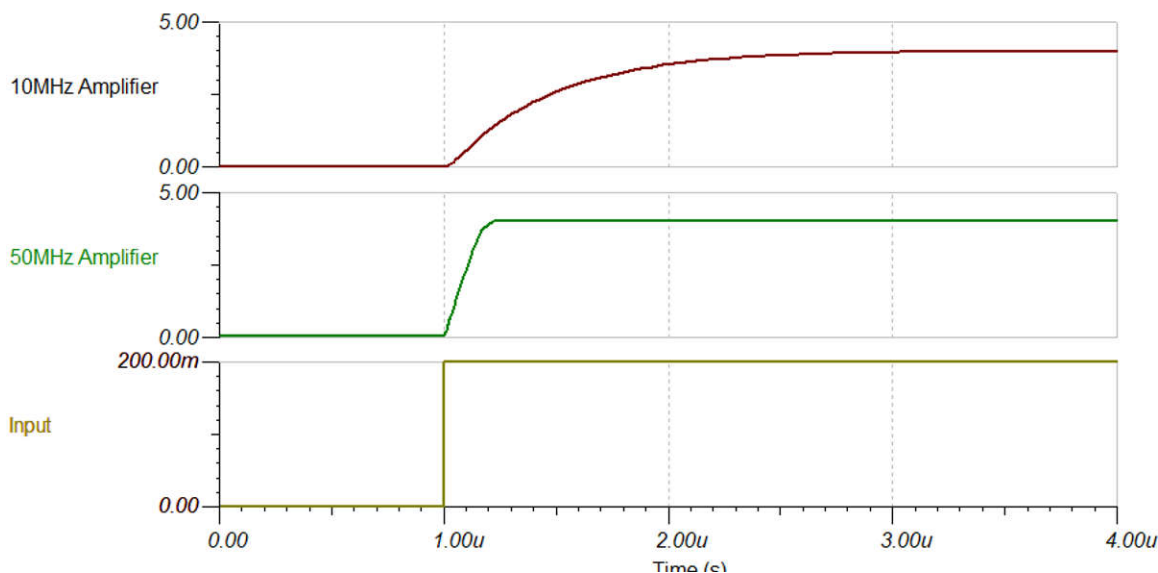


図 4. 10MHz の理想的な立ち上がり時間と 50MHz の理想的な立ち上がり時間との関係

1μs 未満で検出とシャットダウンを実現するには、合計応答時間の 35% を増幅段に割り当てます。アンプが 1V/V のゲインを必要とする場合、アンプに必要な帯域幅は 1MHz ですが、ほとんどのシャントベースの電流監視回路では、シャント抵抗の消費電力を低減するために 50V/V のゲインが必要です。このレベルのゲインを実現するには、[式 1](#) に示すように、50MHz 以上のアンプが必要です。

$$T_{\text{response}} = 35\% \times 1\mu\text{s} = 0.35\mu\text{s}$$

$$\text{Bandwidth}_{(\text{Hz})} = \frac{0.35^{[1]}}{T_{\text{response}}} = \frac{0.35}{0.35\mu\text{s}} = 1\text{MHz}$$

$$\text{GBW} = \text{Gain} \times \text{Bandwidth} = 50 \frac{\text{V}}{\text{V}} \times 1\text{MHz} = 50\text{MHz} \quad (1)$$

[1] 0.35 は、帯域幅を近似するために使用される一定の値です。

これは、コンデンサが 10% ~ 90% から充電されるために必要な時間に関係します。

詳細については、『[オペアンプのスルー レート](#) — TI プレジジョン ラボ』のビデオを参照してください。

TI は、各種システム要件に対応する広範なアンプを提供しています。[図 5](#) は、帯域幅の増加に伴ういくつかの増幅器のリズタイムを示すグラフであり、[表 1](#) はリズタイムの比較表です。

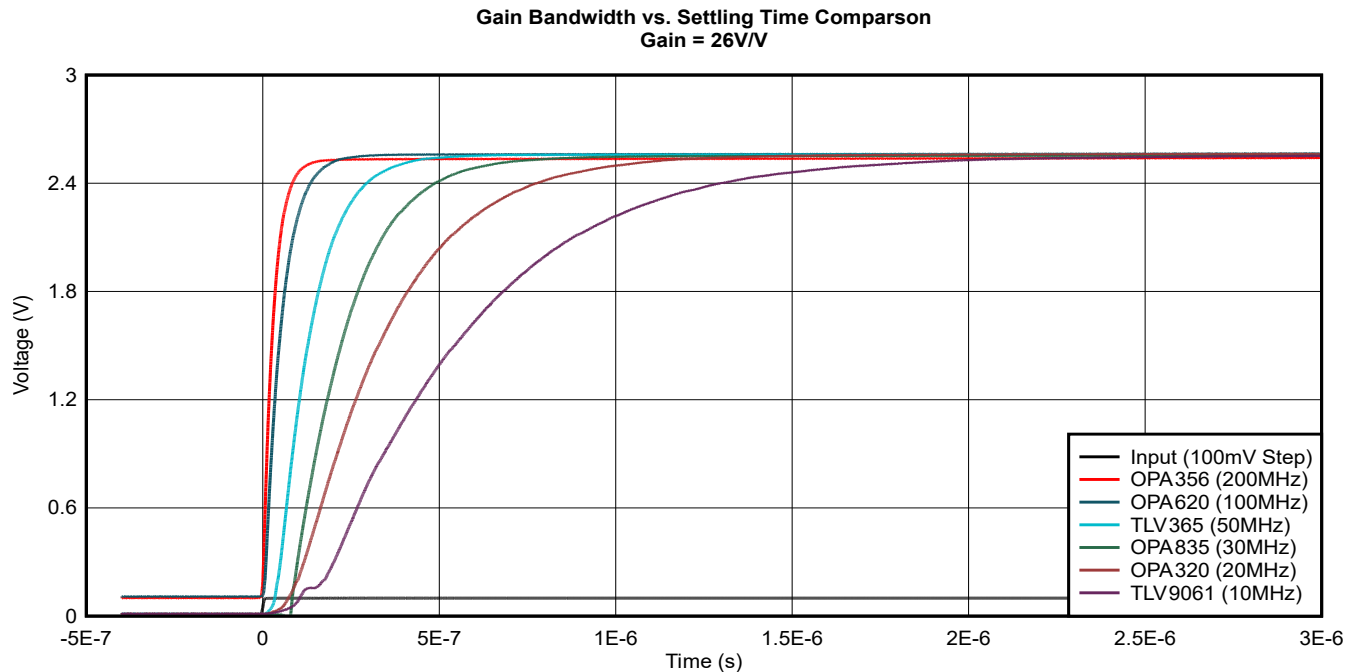


図 5. いくつかの TI アンプの立ち上がり時間

表 1. 立ち上がり時間の比較チャート

デバイス	ゲイン帯域幅	立ち上がり時間の変更
TLV9061	10MHz	2000ns
OPA320	20MHz	1100ns
OPA835	30MHz	715ns
TLV365	50MHz	475ns
OPA620	100MHz	225ns
OPA355	200MHz	150ns

設計者の中には、低コストで同じ増幅を実現するために、異なる増幅段を持つ 2 つ以上の低帯域幅アンプをカスケード接続するものもあります。帯域幅の低いアンプを複数使用すると、追加の伝搬遅延が発生し、基板のスペースを大きくする必要があります。高帯域幅アンプは従来、コストを重視する代替製品と考えられていましたが、TI の最新の製造機能を使用した場合、これらの新しいデバイスはより競争力のある価格設定になり、複数の低帯域幅アンプを使用する場合と同等の価格設定になります。

シングル シャント電流センシングとマルチシャント電流センシングの比較

基板面積を節減し、コストを削減できるさらなる方法は、システム内でマルチシャントを使用するのではなく、シングル シャントを実装することです。複数の平均電流を測定するシステムでは、より帯域幅の広いアンプを使用して、これらの測定値を互いに接続することで、必要なアンプの数を減らすことができます。ただし、マルチシャント構成が必要な場合もあります。たとえば、3 相トラクション インバータで個別の電流相を測定する必要がある場合は、複数の高帯域アンプを実装して、ピーク電流をより高速に測定します。図 6 と 図 7 に、単一シャントトラクション インバータとマルチシャントトラクション インバータの代表的な設定を示します。

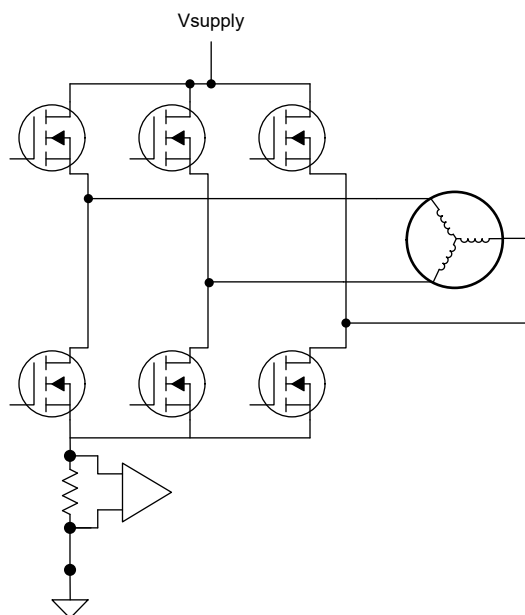


図 6. シングル シャントの実装、3 個の相を互いに接続

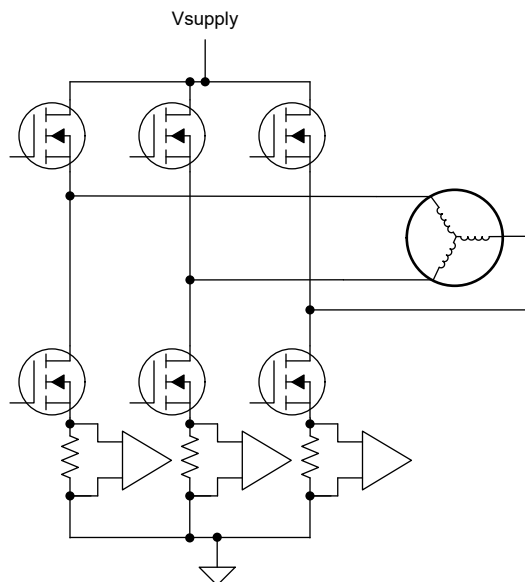


図 7. マルチシャントの実装、各位相の電流は個別に測定

まとめ

より効率的な GaN スイッチと SiC スイッチを採用することで、Sub-1 μ s で電動自動車の過電流状態を検出して対応することがますます重要になっています。システムを設計する際に、適切なアンプを選択することで、基板面積とコストを削減し、遅延時間を短縮できます。幅広い帯域幅と精度を取り揃えた、TI の車載認定取得済み高速アンプの幅広い製品ラインアップを紹介しています。

表 2. 車載電流センシング アプリケーション用推奨デバイス

デバイス	チャンネル数	電源電圧範囲 (V)	ゲイン帯域幅積 (MHz)	スルーレート (V/ μ s)	最小安定ゲイン (V/V)
TLV365-Q1	1	2.2 ~ 5.5	50	27	1
OPA607-Q1	1	2.2 ~ 5.5	50	24	> 6
OPA2607-Q1	2	2.2 ~ 5.5	50	24	> 6
OPA620-Q1	1	2.2 ~ 5.5	100	190	1
OPA354A-Q1	1	2.2 ~ 5.5	100	150	1
OPA2354A-Q1	2	2.2 ~ 5.5	100	150	1
OPA4354-Q1	4	2.2 ~ 5.5	100	150	1
OPA2863-Q1	2	2.7 ~ 12.6	50	105	1

商標

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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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 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](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月