

Technical Article

業界初の統合型 48V 統合ホット スワップ (eFuse) による AI データセンター向けの電源供給



Kshitiz Khatri



高性能のコンピューティングと人工知能の成長が続く中、データセンターには、最新の中央演算装置、グラフィックスプロセッシングユニット (GPU) とハードウェア アクセラレータをサポートする、電力密度が高く効率的なソリューションを必要としています。しかし、プロセス性能に対応するための、高い電力密度に対する需要や、48V の電源アーキテクチャへの移行は新しい課題をもたらした。特に、6kW を超える電力レベルを管理しながら、信頼性、効率性、スケーラビリティを維持するなど。

電力に関する要件の増加は、ソリューション サイズの大型化、複雑な設計、および障害検出と保護の非効率性につながるものがよくあります。さらに、安全な動作の確保と電力損失を最小限に低減することを両立すると同時に高電流を管理することが重要な課題となります。従来型のホット スワップ コントローラと分散型電界効果トランジスタ (FET) の組み合わせには、大電力アプリケーションでは大きな制限が課されます。

これらの課題に対処するために、パワー パス保護機能を搭載した TI の 48V ホット スワップ eFuse デバイスは、データセンター アプリケーション向けの信頼性が高い小型ソリューションとして設計されています。電流監視に外部センサ抵抗と電流センス アンプを必要とするアプローチとは異なり、TPS1689 および TPS1685 はこれらの機能を統合することで設計を簡素化し、ソリューション サイズを最大 50% 縮小すると同時に、高い電力レベルをサポートするシームレスな拡張性を実現しています。

TPS1689 の差別化機能の 1 つはブランキング タイマです。このタイマを使用すると、システムでピーク負荷電流と実際の故障状況を区別できるため、誤検出を防止できます。この機能により、システムの信頼性が向上し、必要のないシャットダウンを回避できます。また、このデバイスは電流処理能力を増やすためのスタック機能にも対応しており、複数のデバイスを組み合わせて大電力アプリケーションで動作させることが可能です。

異常ログ記録用の内蔵ブラックボックス、FETの安全動作領域の保証、アクティブ電流共有、状態監視を行い、システムの復元力をさらに向上させます。TPS1689は、業界標準の共通フットプリントを用意し、信頼性の高い動作を保証するパワー管理ソリューションを提供します。

サーバーの保護とパフォーマンスの改善

ブランキングタイマーは、システム保護とパフォーマンス最適化の間でバランスを取ることで、エンタープライズのサーバーシステムに利点をもたらします。図1に示すように、この機能により、サーキットブレーカをトリガすることなく短い過渡的な過負荷が通過できるため、AI、GPU、およびプロセッサ集約型アプリケーションに一般的な高振幅の負荷パルスがシステムの動作を妨げることを防ぎます。ただし、持続的な過電流イベントが発生した際に、eFuseは回路を速やかにシャットダウンします。

その他の利点は次のとおりです：

- コストの最適化。ブランキングタイマーは、オーバーサイズが大きすぎる電源ユニット (PSU) の必要性を最小限に抑え、並列構成で必要とされる eFuse の数を低減します。この結果、部品表コストを大幅に低減すると同時に、信頼性の高い動作を維持できます。
- 電力密度の向上。このシステムによって、大電流に対応する部品の数の低減とサイズの小型化を実現することで、よりコンパクトな設計を実現でき、貴重なプリント基板 (PCB) のスペースを解放し、熱管理を改善することができます。
- 柔軟性とカスタマイズ。プログラム可能な故障間隔により、設計者は特定の過渡プロファイルに合わせてシステム応答を微調整し、固有のワークロードに合わせてパフォーマンスを最適化できます。

Part doesn't shut off for short load transient (~1ms)

Part shuts off for persistent fault (>2.2ms)

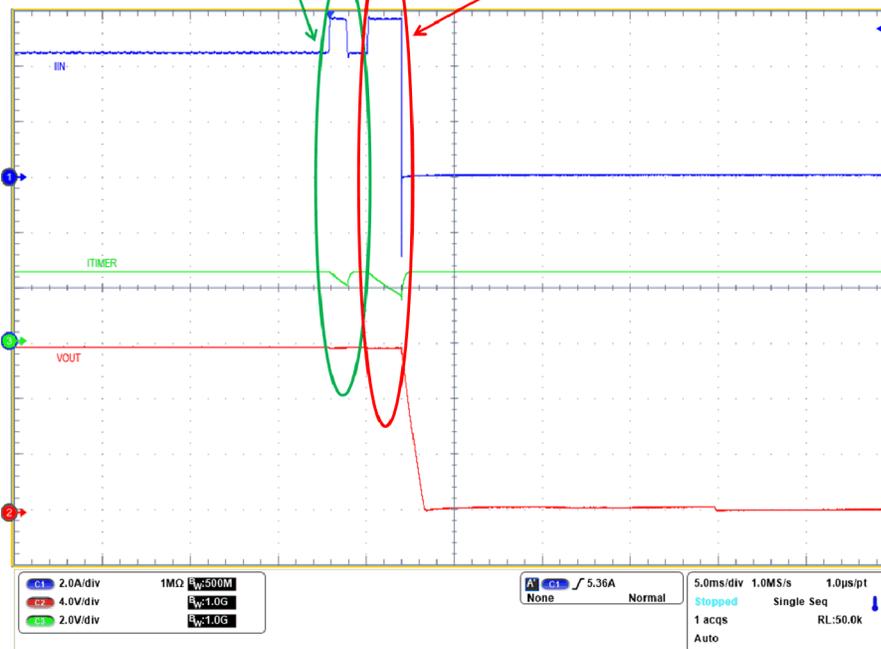


図 1. ユーザー定義のブランキング後の過電流応答 (回路ブレーカ)

最大過渡負荷 (通常 1.7 倍) を考慮する代わりに、過電流保護スレッショルドを熱設計電流の 1.1 倍に設定することもできます。このアプローチにより、従来の設計に比べて、PSU のサイズとコストを低減できます。この場合、ピーク過渡電流をサポートするために PSU が必要になります。これらの利点により、ブランキングタイマーは高性能サーバーシステムの重要な機能となります。

高度なスタックと電流共有ソリューション

AI で駆動されたプロセッサやサーバーの電力需要が高まる中、効率的な電力分配システムが必須となり、スマート eFuse がその中で重要な役割を果たしています。図 2 に示すように、eFuse の従来の並列動作では、ドレイン - ソース間オン抵抗 ($R_{DS(on)}$)、PCB パターン抵抗、コンパレータのスレッシュホールドなどとの不整合が存在するため、大きな課題が生じます。これらの不整合が存在するため、eFuse 間で電流共有が不均一になり (一部の eFuse を流す電流が、他の eFuse より多い)、多くの場合、システム全体の電流がスレッシュホールド電圧以下になった場合でも、個々の eFuse が短時間のうちにトリップする原因になります。このような誤トリップは、システムの不必要なダウンタイム、信頼性の低下、および動作の非効率性の上昇につながる可能性があります。

これらの課題に対処するため、TI は相互接続された IMON ピンを利用する eFuse にシステム全体の電流制限アプローチを導入しました。このアプローチでは、システム全体の電流を監視する主要コントローラとして 1 つの eFuse を指定しています。個々の eFuse 電流ではなく合計電流に頼ることで、システムはパス抵抗の不一致に起因する誤差を防ぎ、必要ときだけシステムが確実にトリップするようにして、動作の安定性を強化します。

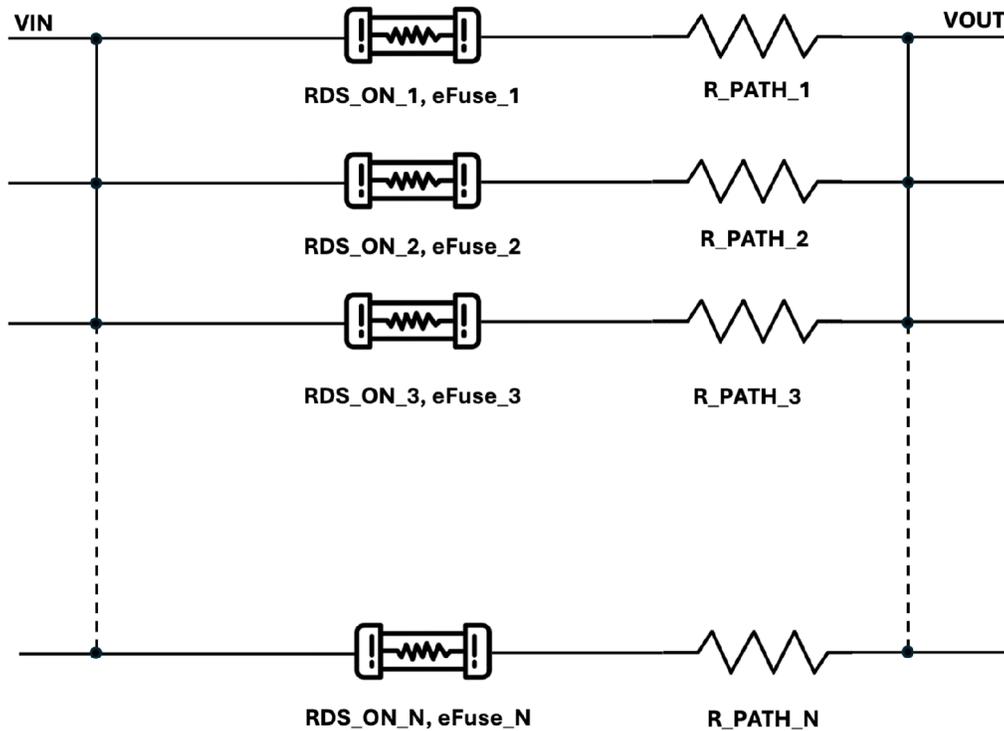


図 2. eFuse の並列スタックを使用し、大電流負荷に対応可能

アクティブ電流共有テクノロジーは、FET の $R_{DS(on)}$ を動的に調整することで、eFuse の間での電流共有をバランスさせることにより、効率的な電力分配に役立ちます。単一の eFuse に流した電流がかなり大きい場合、その $R_{DS(on)}$ を大きくすると、すべてのデバイスで電流がより均等に再配分されます。この動的なレギュレーションにより、個々の eFuse の熱ストレスを最小限に抑えることができ、長期間にわたってシステムの信頼性が向上します。

過電流保護スレッシュホールド付近でアクティブな電流共有が行われるため、必要な場合にのみ動作し、より小さい電流での不要な電力損失を回避できることを確保します。最適なスレッシュホールドでアクティブ電流共有を行うことで、大電流動作時の熱応力分布を均一にすることができ、長期間にわたって信頼性を向上します。

まとめ

ホット スワップ eFuse デバイスには、電力密度の向上、設計の簡素化、保護機能の強化、コスト最適化という特長があり、高性能コンピューティング アプリケーションに適した、効率と信頼性に優れた電力管理を実現できます。ブランキング タイマやスタック機能などの機能を統合することで、これらのデバイスは、現代の AI データ センターの電力需要の増大に対応するための適合性をさらに強化しています。

その他の資料

- [高精度で高速な電流モニタ搭載した TPS1685x、9V ~ 80V、3.65mΩ、20A、スタックブル内蔵型ホット スワップ \(eFuse\) のデータシート](#)をダウンロードします。
- 「[eFuse 評価基板用 TPS1685 評価基板モジュール ユーザー ガイド](#)」をご確認ください。

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

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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、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テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated