

Technical Article

アクティブ短絡テクノロジーにより、次のギアへの電動自転車の安全性を確保



アクシャイ ラジーエフ メノン



バッテリー駆動の電動自転車と電動スクーターは、従来の二輪車に代わる持続可能かつ環境に優しい選択肢を提供します。多くの電動自転車は、より小さい電流を実現しながら適切なトルクを供給するために、より大きい 48V または 36V バッテリーを使用しています。一方、大出力電動自転車に対する需要の増大に伴い、設計者やメーカーは安全性と信頼性の確保を支援するために、設計上の重大な課題に直面しています。

電動車両システムの基本的なアーキテクチャは、通常走行時のペダルこ踏みに役立ち、自転車を上り坂方向に走行する際にも乗り手の労力を低減する低電圧トラクションインバータモーターです。通常車輪に配置された電気モーターは、電気エネルギーを機械的エネルギーに変換するか、機械的エネルギーから電気エネルギーを生成します。後者は、制御された方法 (回生ブレーキ) または制御されない方法で発生する可能性があります。

モーターが制御されず (コースト) 回転した場合、逆起電力は電力段のダイオード整流を經由してバッテリーに電流を供給します。このコースト状態では、バッテリー電圧の不安定な上昇に関連して課題が発生する可能性があります。発電モード動作とも呼ばれる供給ポンプ状態は、誰かが自転車を押したり、下り坂に転がったり、バッテリーが接続されていないとき、またはコントローラが起動して供給電圧を監視していないときにライダーペダルを踏むことができます。制御されていないと、電源電圧が電気システムの動作制限を上回る場合があり、電氣的過電圧事象によって回路が損傷する可能性があります。システム設計者の皆様は、システムのエネルギーが動作制限を超過する前に、どのように制御するかを判断する必要があります。

アクティブ短絡技術

アクティブ短絡とは、大量のエネルギーを安全に放散するエンジニアリング手法です。この回路は、ハイサイドまたはローサイドの金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) をすべてオンにするブレーキ機能を実装しています。MOSFET は短絡し、電源へ流れる代わりに MOSFET を流れる大電流を還流するパスを作成します。

図 1 に、ASCIN ピンを使用してブレーキ モードを実装する TI の **DVR8363-Q1** ゲートドライバを使用した電動自転車システムのアーキテクチャを示します。

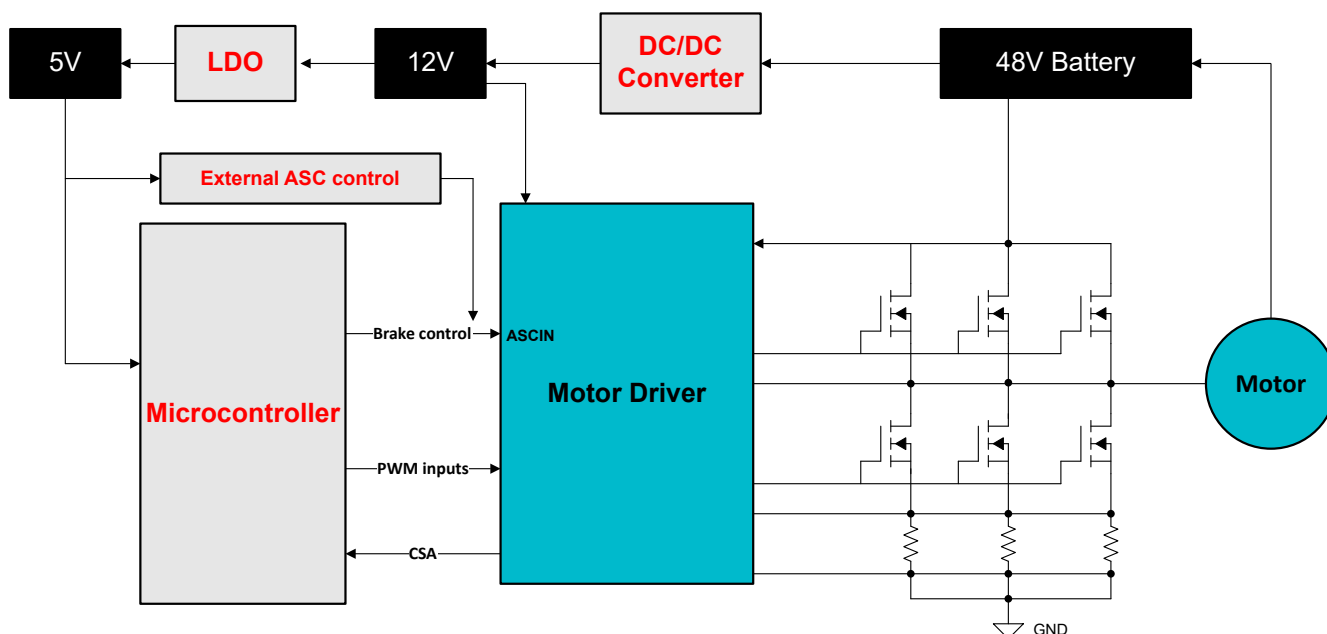


図 1. ブレーキ制御を搭載した DRV8363-Q1 を示す電動自転車システムのブロック図

初期の電動自転車メーカーはディスクリート部品を使用してバッテリー電圧を測定し、その電圧が許容可能なスレッショルドを超えた場合にブレーキ モードをトリガしていましたが、外部システムは MOSFET 故障に動的に応答できません。たとえば、システム障害がハイサイド MOSFET の損傷を示した場合、電源がグランドに短絡しないように、ローサイド ブレーキの代わりにハイサイド ブレーキを使用する必要があります。

新しい設計では、DRV8363-Q1 は機能統合によりブレーキの課題に対処すると同時に基板面積を削減します。ロジックレベル ASCIN ピンは、システム フォルト発生時に緊急ブレーキモードをトリガできます。DRV8363-Q1 は、シリアル ペリフェラルインターフェイス (SPI) 経由でアクティブ短絡をトリガすることも、過電圧状態のときに自動的にトリガすることもできます。このゲートドライバは、レジスタ設定に基づいて、ローサイドまたはハイサイドのいずれかのブレーキをトリガするように構成できます。

電動自転車のブレーキを実装する場合、主に 6 つの悪条件が発生します。

- **ハイサイド MOSFET が短絡した場合 (またはその逆) にローサイド ブレーキを使用する際の貫通電流条件。**動作中にハイサイド MOSFET が損傷し、システムがローサイドのアクティブ短絡モードをトリガすると、48V 電源からグランドへの経路が存在し、大電流の貫通電流イベントが発生してシステムが損傷し、ユーザーにリスクを及ぼす可能性があります。

図 2 に示す DRV8363-Q1 の高度な保護機能には、ドレイン-ソース間電圧監視によるハイサイド MOSFET の短絡状態を検出するためのロジックが内蔵されています。その後、ローサイド アクティブ短絡コマンドをオーバーライドしてハイサイド ブレーキに切り替わることで、グランドへの短絡を防止しながら電流を安全に放散します。これらの保護ロジックと診断機能により、ユーザーの安全性が向上し、ファームウェアリソースの要求が低減されます。

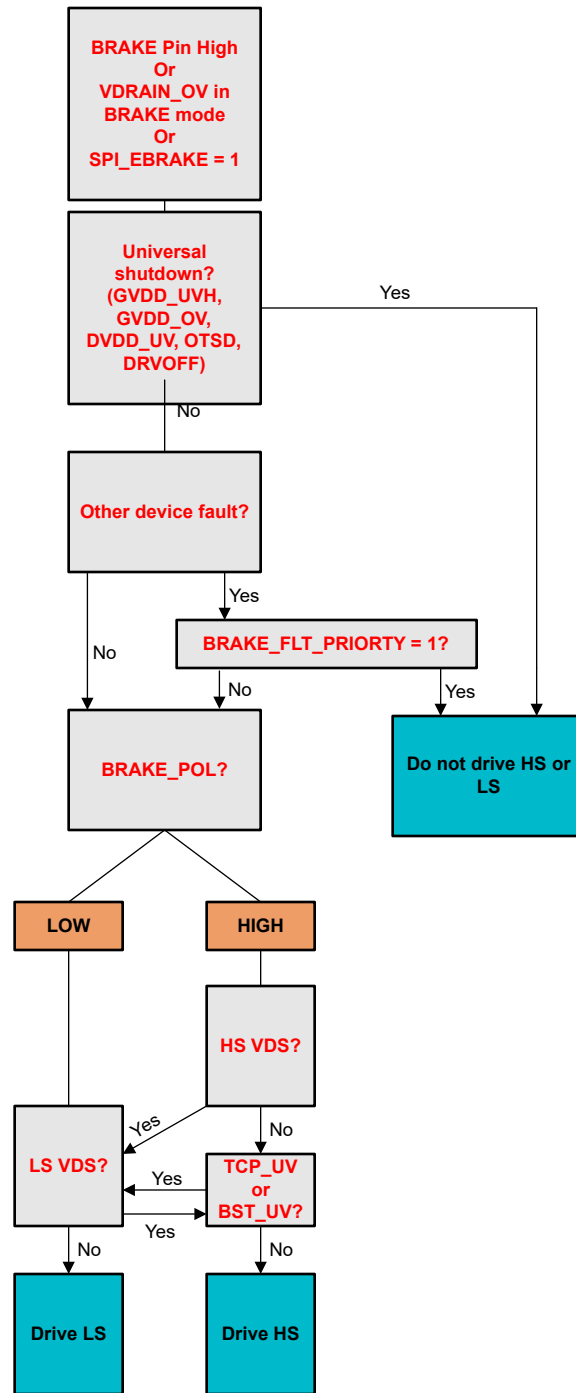


図 2. 貫通電流を防止するためのアクティブ短絡時のスマート ロジック

- ブレーキ モードとフリーホイール モードの間で切り替えるときの、モーター相における大電流スパイク。ユーザが下り坂を走行すると、フリースピン モータによってバッテリー電圧が上昇します。ディスクリット ブレーキ モード システムでは、電圧が特定の制限値を超えるとブレーキがトリガされ、電圧が低下します。ただし、電圧がスレッシュホールドを下回るとブレーキは停止し、自由回転モーターによってバッテリー電圧が再度上昇します。これは低電流シナリオでも機能しますが、ブレーキとフリーホイールの間の遷移が原因で電流スパイクが発生し、オンボード部品が損傷する可能性のある大電流アプリケーションにとっては危険な問題です。

DRV8363-Q1 は立ち上がり電圧を制御するための高度な応答を備えているため、設計者はシステムの要件に基づいて再試行モードまたはラッチ ブレーキ モードのどちらかを設定できます。

- ブレーキ時の **MOSFET の熱損傷**。大電流ブレーキの場合、ローサイドまたはハイサイド ブレーキのみを使用すると、電流が放散している間に MOSFET が連続的に導通しているため、MOSFET の発熱が発生します。図 3 に、2 つのブレーキモード間の電流の方向を示します。

SPI 上でローサイドまたはハイサイド ブレーキをトリガする機能により、DRV8363-Q1 はハイサイドとローサイドのアクティブ短絡を切り替えることで、発熱の分散や基板の熱の管理改善に役立ちます。

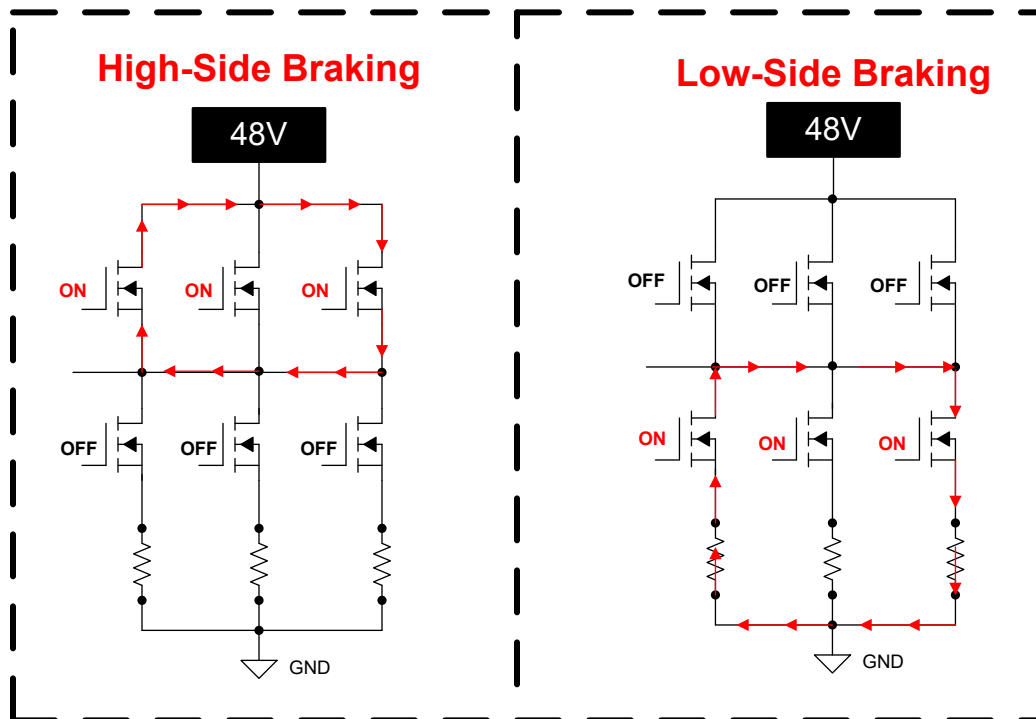


図 3. アクティブ短絡の実装: ハイサイドとローサイドの比較

- 電源電圧の測定精度が低下し、応答時間が遅くなります。ディスクリットブレーキの実装では多くの場合、MOSFET のドレインで測定される電圧と比べて、バッテリーで検出される電圧の精度が低いという問題が発生します。さらに、ブレーキ信号を指示するマイコン (MCU) がデータのサンプリングとデコードを行うと、システムの応答時間が遅延する場合があります。緊急事態には危険な状態になる可能性があります。

DRV8363-Q1 の内蔵アクティブ短絡システムは、ハイサイド MOSFET ドレインのバッテリー電圧を直接測定することで、過電圧イベント中にブレーキモードをトリガする際の精度と応答時間を向上させます。

- MCU が損傷した場合、またはドライバの障害状態が存在する場合、アクティブ短絡をトリガできません。MCU 制御の PWM (パルス幅変調) 信号が手動でブレーキ状態に入ることができますが、DRV8363-Q1 の内蔵アクティブ短絡機能は、ハードウェア障害条件が発生した場合でも、より信頼性の高いブレーキ方式を実現します。たとえば、コード実行エラーまたは内部ハードウェアフォルトが MCU に割り込みを発生させた場合、DRV8363-Q1 は、外部 MCU で命令されたトリガを使用せずに、電源過電圧条件にตอบสนองしてアクティブ短絡を自動的にアクティブにできます。DRV8363-Q1 の内部に障害が発生した場合、アクティブ短絡は特定の内部フォルトをバイパスし、シャットダウンにオーバーライドして制動力を加えることがあります。
- ボード面積と部品表 (BOM) コストの増加。ディスクリット型アクティブ短絡ソリューションを実装するには、複数のコンパレータとセンシング回路が関係します。したがって、最終的なソリューションで使用する BOM (部品表) コストが増加し、基板面積の節減につながります。スペースと重量の要件が厳しい電動自転車アプリケーションでは、この点が問題となります。

まとめ

TI の DRV8363-Q1 は、ブレーキ機能と MOSFET 監視機能に適したアクティブ短絡テクノロジーを通じて、電動車両システムでの安全性に関する具体的な懸念に対処します。電動自転車の安全性を強化するため、このデバイスはプログラム可能な制御機能を搭載しており、危険な可能性のある電圧スパイクを防止して、モーターモードとジェネレーターモードで信頼性の高い性能を維持するのに役立ちます。

その他の資料

[DRV8363-Q1](#) 高精度電流センシング機能および高度監視機能搭載、48V バッテリ 3 相スマート ゲートドライバに関するデータシートおよび [DRV8363-Q1EVM](#) 評価基板をご確認ください。

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