

Technical Article

主動短路技術將電動自行車安全性提升至全新的層級



Akshay Rajeev Menon



電池供電的電動自行車與電動機車為傳統摩托車提供了永續且環保的替代方案。許多電動自行車會使用較大的 48V 或 36V 電池，以便在提供足夠扭力的同時降低電流。不過，隨著對高功率電動自行車的需求與日俱增，設計人員與製造商也面臨了確保安全性和可靠性的重大設計挑戰。

電動交通系統的基礎架構是低電壓牽引逆變器馬達，可在正常騎行期間輔助踩踏，並在上坡騎行時讓騎行者較不費力。馬達通常位於車輪上，可將電能轉換為機械能，或將機械能轉換為電能。後者可透過受控方式（再生煞車）或不受控方式進行。

當馬達在未受到控制（滑行）的情況下旋轉時，反電動勢會透過功率級的二極體整流將電流回饋給電池。這種滑行狀態可能會帶來與電池電壓不穩定上升相關的挑戰。電源泵送狀態（也稱為發電機模式運作）可能發生在有人推動自行車、自行車下坡行駛或騎乘者踩踏板時，此時電池未連接或控制器未處於喚醒狀態以監控電源電壓。如果未受到控制，供應電壓可能會增加至超過電氣系統的操作限制，導致電氣過電壓事件對電路造成潛在損壞。系統設計人員必須確定如何在系統能量超過操作限制之前對其進行控制。

主動短路技術

主動短路是一種安全耗散大量能量的工程技術。此技術實作了煞車功能，可開啟所有高壓側或低壓側金屬氧化物半導體場效電晶體 (MOSFET)，進而將馬達短路並建立一條路徑，使高電流透過 MOSFET 進行再循環，而不是流向電源。

图 1 顯示使用 TI DVR8363-Q1 開極驅動器的電動自行車系統架構，且使用 ASCIN 接腳實作煞車模式。

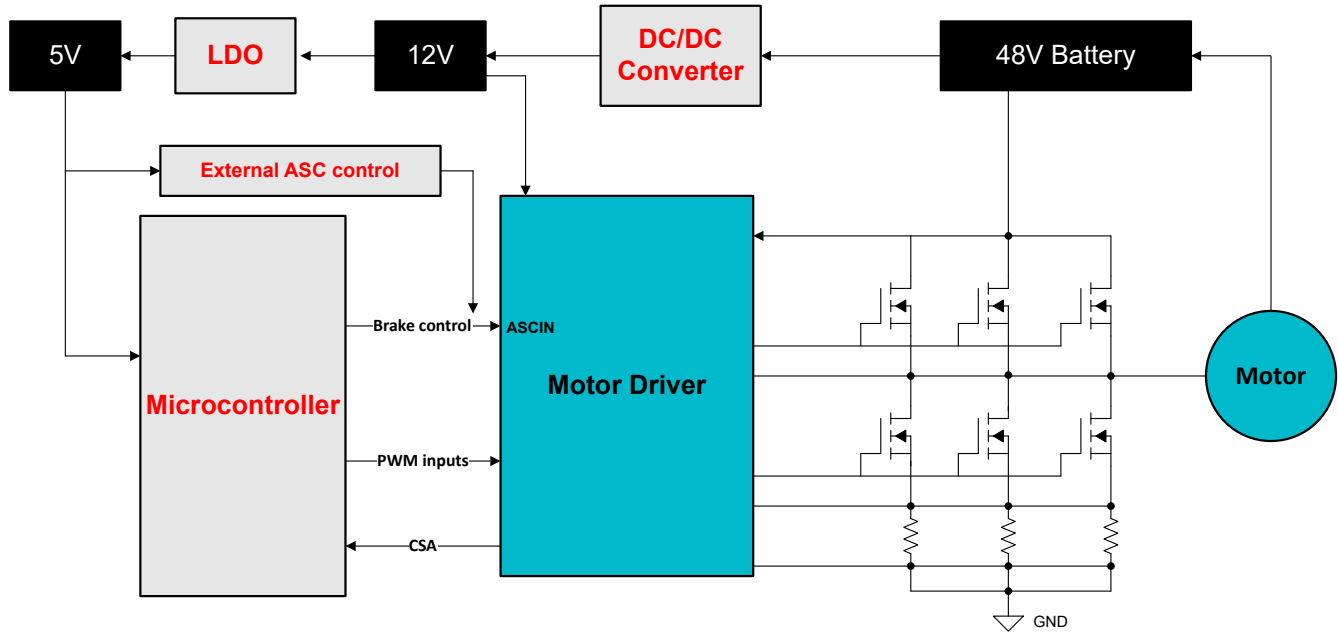


图 1. 電動自行車系統原理圖，顯示具備煞車控制功能的 DRV8363-Q1

早期的電動自行車製造商使用離散式元件來測量電池電壓，並在電壓超過允許閾值時觸發煞車模式，但外部系統無法對 MOSFET 故障做出動態反應。例如，如果系統故障指示高壓側 MOSFET 受損，則您可能希望使用高壓側煞車而不是低壓側煞車，以避免電源對接地短路。

在較新型的設計中，DRV8363-Q1 透過功能整合解決了煞車難題，同時節省了電路板空間。邏輯位準 ASCIN 接腳可以在系統發生故障時觸發緊急煞車模式。DRV8363-Q1 還可以透過序列週邊設備介面 (SPI) 觸發主動短路，或在過電壓情況下自動觸發。此開極驅動器可根據暫存器設定配置為觸發低壓側或高壓側煞車。

我發現電動自行車煞車實作中存在六個主要不利情況：

- 如果發生高壓側 MOSFET 短路，使用低壓側煞車時可能會出現擊穿情況 (反之亦然)。如果高壓側 MOSFET 在運作期間損壞，且系統觸發低壓側主動短路模式，則 48V 電源至接地之間將形成一條路徑，進而引發高電流擊穿事件，可能會損壞系統，並對使用者造成風險。

图 2 所示的 DRV8363-Q1 先進保護功能包括內建邏輯，可透過汲極至源極電壓監控偵測高壓側 MOSFET 短路狀況，接著覆寫低壓側主動短路命令以切換至高壓側煞車，進而安全地耗散電流並防止接地短路。這些保護邏輯和診斷功能可提高使用者安全性並降低韌體資源需求。

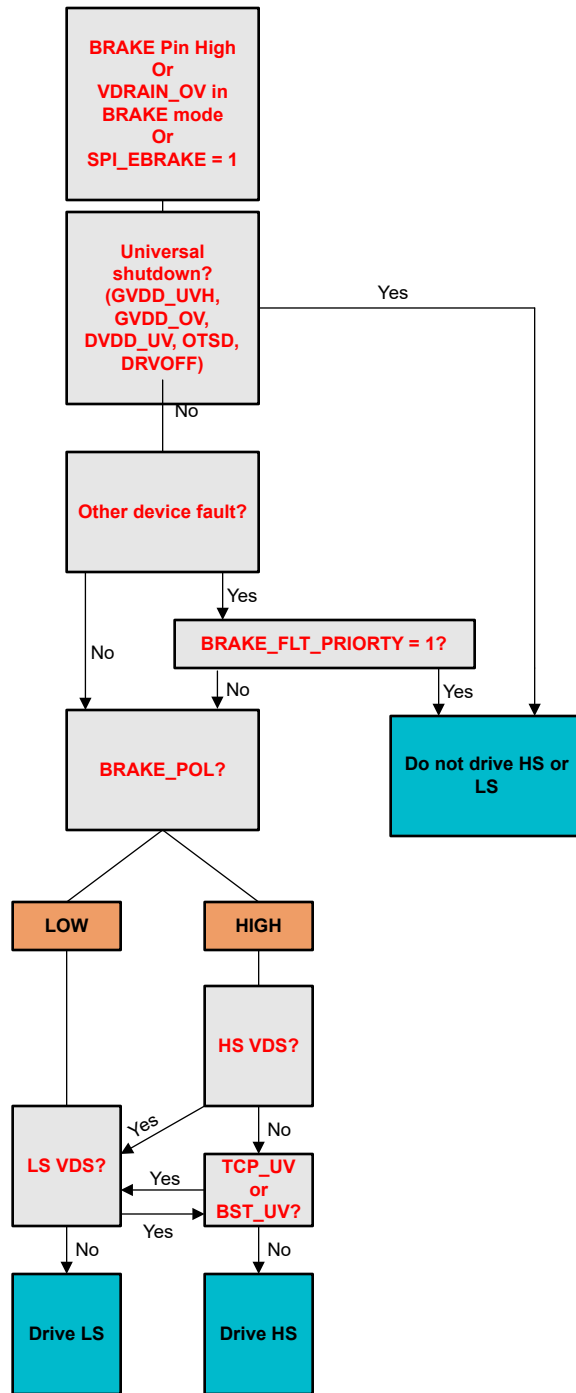


图 2. 主動短路中的智慧型邏輯可防止擊穿

- 在煞車模式和自由旋轉模式之間切換時，馬達各相位上會出現高電流突波。當使用者滑行下坡時，自由旋轉的馬達會導致電池電壓升高。在離散式煞車模式系統中，當電壓超過一定限值時，煞車就會觸發，進而降低電壓。然而，一旦電壓降至閾值以下，煞車就會停止，自由旋轉的馬達將導致電池電壓再次升高。這在低電流情況下可能不會有問題，但在高電流應用中便可能相當危險，因為煞車和自由旋轉模式之間的轉換會導致電流突波，進而可能損壞板載元件。

DRV8363-Q1 提供先進的反應來控制電壓上升，使設計人員能夠根據系統需求編程重試或鎖存煞車模式。

- 煞車期間的 MOSFET 熱損壞。在高電流煞車場景中，若單獨使用低壓側或高壓側煞車皆會導致 MOSFET 發熱，因為 MOSFET 在電流耗散時會持續導通。图 3 顯示兩種煞車模式之間的電流方向。

DRV8363-Q1 能透過 SPI 觸發低壓側或高壓側煞車，因此可在高壓側與低壓側主動短路之間切換，以協助分散熱量並更妥善地管理電路板散熱。

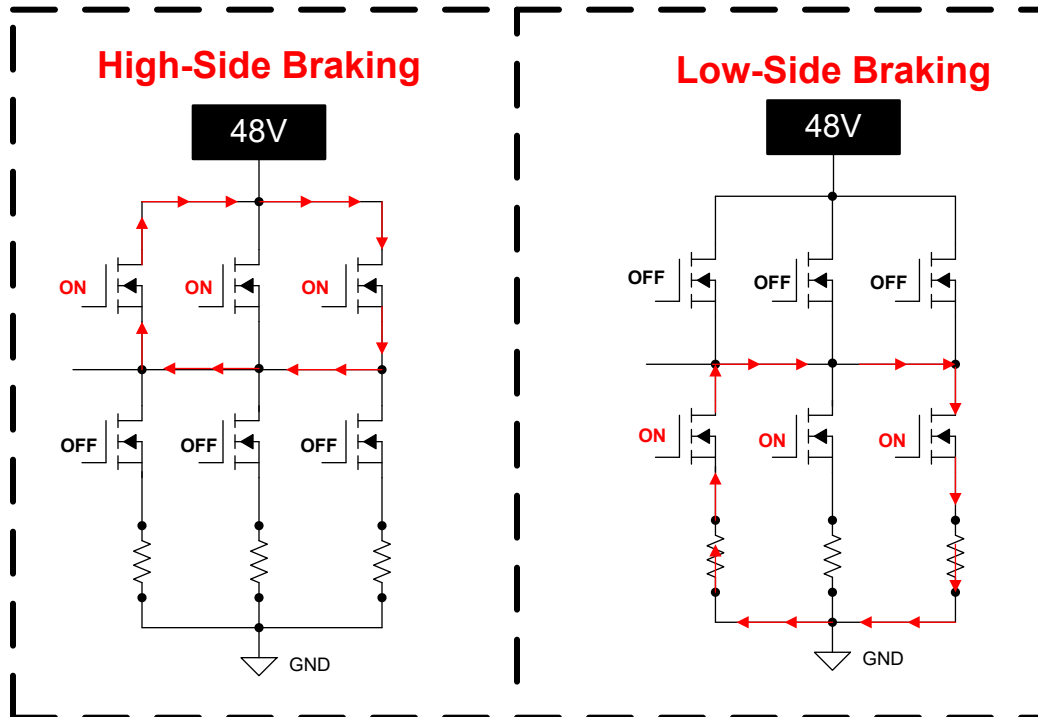


图 3. 主動短路實作：高壓側與低壓側

- 供應電壓量測不準確且反應時間較慢。離散式煞車實作通常會受到電池感測電壓與 MOSFET 汲極測量電壓之間不準確的影響。此外，控制煞車訊號的微控制器 (MCU) 對資料進行取樣和解碼可能會延遲系統的回應時間，這在緊急情況下可能非常危險。

DRV8363-Q1 的整合式主動短路系統透過直接測量高壓側 MOSFET 汲極的電池電壓，提高了過電壓事件期間觸發煞車模式的準確性和反應時間。

- 如果 MCU 損壞或存在驅動器故障狀態，則無法觸發主動短路。雖然 MCU 控制的脈寬調變訊號可以手動進入煞車狀態，但 DRV8363-Q1 中的整合式主動短路功能即使在硬體故障情況下也能提供更可靠的煞車方法。例如，如果程式碼執行錯誤或內部硬體故障導致 MCU 中斷，DRV8363-Q1 可自動啟動主動短路以回應供應過電壓情況，無需外部 MCU 命令觸發。如果 DRV8363-Q1 內部發生故障，主動短路可以繞過某些內部故障，覆寫關斷功能並強制煞車。
- 增加電路板空間和物料清單 (BOM) 成本。實作離散式主動短路解決方案包含多個比較器和感測電路，因此會增加最終解決方案的 BOM 成本並佔用電路板空間，這在對空間和重量有嚴格要求的電動自行車應用中是一個值得關注的問題。

結論

TI 的 DRV8363-Q1 透過主動短路煞車技術和 MOSFET 監控功能解決了電動交通系統中的特定安全問題。為了提高電動自行車的安全性，本裝置提供可編程控制功能，有助於防止潛在的危險電壓突波，並在馬達和發電機模式下保持可靠的性能。

其他資源

請查看 [具有準確電流感測和進階監控功能的 DRV8363-Q1 48V 電池三相智慧型開極驅動器產品規格表](#)和 [DRV8363-Q1EVM 評估模組](#)。

註冊商標

所有商標皆屬於其各自所有者之財產。

重要聲明與免責聲明

TI 均以「原樣」提供技術性及可靠性數據（包括數據表）、設計資源（包括參考設計）、應用或其他設計建議、網絡工具、安全訊息和其他資源，不保證其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的擔保，包括但不限於對適銷性、適合某特定用途或不侵犯任何第三方知識產權的暗示擔保。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您將對以下行為獨自承擔全部責任：(1) 針對您的應用選擇合適的 TI 產品；(2) 設計、驗證並測試您的應用；(3) 確保您的應用滿足相應標準以及任何其他安全、安保或其他要求。

所述資源如有變更，恕不另行通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知識產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供所述資源並不擴展或以其他方式更改 TI 針對 TI 產品所發布的可適用的擔保範圍或擔保免責聲明。

TI 不接受您可能提出的任何附加或不同條款。

郵寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated