

Technical Article

# 爆管和接觸器驅動器如何協助 HEV/EV 電池斷開系統提高安全性和效率



Jennifer Jordan



混合動力電動車 (HEV) 與電動車 (EV) 的電池管理系統 (BMS) 配電可為車輛核心功能提供電力，同時提供安全斷開高電壓或高電流事件的機制。配電系統的兩個核心元件——高電壓繼電器和斷開保險絲，正因應對更高電壓，電流，效率和可靠性的需求日益增長，而面臨越來越多的設計挑戰。图 1 為高電壓繼電器和斷開保險絲概述。

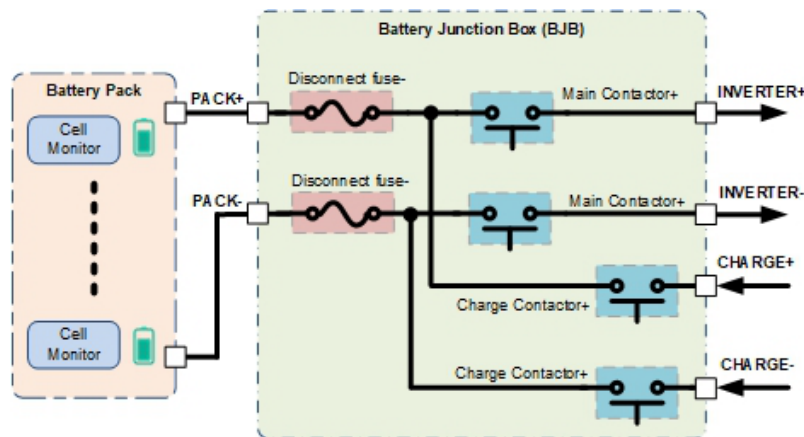


图 1. 配電系統中的電池斷開保險絲和高電壓繼電器

不可重置的電池斷開保險絲在緊急情況下啟動，以斷開電池與車輛其他部分之間的連接。高電壓繼電器（也稱為接觸器）在正常運作期間，可連接和斷開整個 HEV 或 EV 的電源線。在本文中，我將探討接觸器與斷開保險絲驅動器的新興技術，這些技術有助於讓 BMS 更智慧，更安全且更有效率。

### 實現一個快速且可靠的電池斷開系統

發生碰撞時，必須切斷下游系統的電源，以避免進一步的問題或損壞。現今兩種常見的解決方案為熔斷保險絲和熱熔保險絲。熔斷保險絲會根據過電流事件的熱條件觸發，且這些保險絲在工廠中已預先設定。熱熔保險絲需要透過電子驅動器傳送訊號以中斷連接，並主要由離散電路或舊有安全氣囊爆管驅動器驅動。隨著 HEV 和 EV 系統朝更高功率發展，熱熔保險絲提供了更高的可靠性和更快速的部署能力。但在努力實現快速反應時間時，驅動這些熱熔保險絲的常見解決方案會迅速變得複雜。由於需要符合國際標準化組織 (ISO) 的 ISO26262 要求，因此這些設計的複雜性也隨之提高。

為了實現更快速的反應時間，[DRV3901-Q1](#) 熱熔保險絲驅動器實作直接 2 針腳硬體介面，可略過序列周邊介面 (SPI)。[DRV3901-Q1](#) 驅動器可與電壓，電流與電阻 (UIR) 感測器配對，以加快部署速度。[BQ79731-Q1](#) 裝置等 UIR 感測器可透過硬體接腳直接與 [DRV3901-Q1](#) 驅動器通訊，不再需要電機控制器 (MCU)。

熱熔保險絲最重要的功能之一是在發生碰撞或其他嚴重故障時，斷開電池與系統其他部分的連接。系統設計師必須確保熱熔保險絲功能可用，才能可靠啟動。[DRV3901-Q1](#) 的內建診斷功能可監控驅動器狀態，熱熔保險絲健康狀態和備用電源可用性。為了監控備用電源供應器的可用性，會量測電容器。當電池的主電源無法使用時，此電容器可做為熱熔保險絲系統的備用電源。透過定期檢查此電容器的放電電壓，[DRV3901-Q1](#) 驅動器和 MCU 可在需要時偵測此備用電源供應器的故障，並警告車輛。

保險絲在需要時能正確動作非常重要，但同樣重要的是，保險絲不能誤動作。[DRV3901-Q1](#) 驅動器具備集成式安全診斷功能，可防止意外部署熱熔保險絲。這可透過不同功能來達成，其中包括分離高壓側和低壓側驅動器、用於直接硬體觸發的備援引腳，以及序列周邊設備介面上的循環冗餘檢查 (CRC) 保護。

### 改善車輛整體配電

HEV 或 EV 電源線中最常見的連接是將高電壓電池系統連接至牽引逆變器的主要接觸器。還可能存在其他電源軌，例如從充電站連接至電池的 AC/DC 充電接觸器，以及連接車內燈或加熱器等其他電力負載的輔助接觸器。

接觸器是一種低電壓電磁閥，它控制一個能夠在高電壓下提供高電流的機械繼電器開關。HEV 和 EV 車輛中的接觸器正在不斷進化，以應對更高功率的系統。接觸器的低電壓電磁閥元件通常由稱為節能電路的控制電路驅動。為了滿足更高的效率，可靠性和安全要求，並協助提升高功率條件下的電源效率，節能電路變得越來越重要且複雜。這些電路有助於減少接觸器保持閉合所需的電流消耗。此節能電路可以直接整合至接觸器中，也可以是外部加裝的。在嘗試達到系統級安全目標時，需要外部節能裝置的接觸器會迅速變得複雜。

DRV3946-Q1 驅動器等完全集成的高功率接觸器驅動器，可取代複雜的節能電路設計。DRV3946-Q1 驅動器可實現接觸器的高效率開啟和安全關閉。為了更有效率地開啟，DRV3946-Q1 驅動器具有可編程的峰值保持電流控制。圖 2 顯示此功能的實際運作。在啟動期間可提供更多電流以進行初始連接。建立連線後，可將「保留」相位的電流降低至較低位準。可編程集成式峰值和保留相位，可提供更穩固且有效率的接觸器轉動。

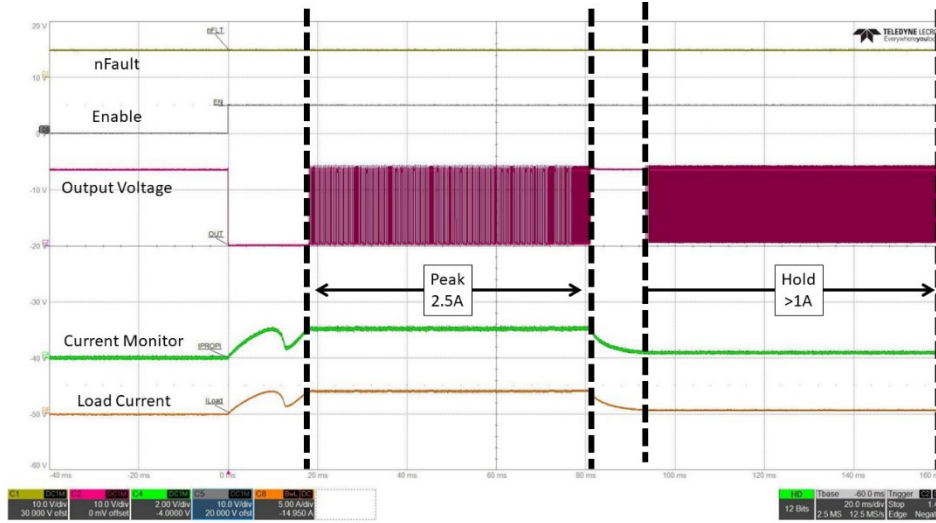


圖 2. DRV3946-Q1 的尖峰與保留電流控制

關閉接觸器同樣至關重要；能夠快速斷開接觸器有助於防止接觸點焊合，並在發生故障時為車輛的其餘系統提供首道防護。實現峰值與保持電流控制並具備快速放電能力的常見解決方案往往會導致電路變得複雜。DRV3946-Q1 驅動器將這兩種功能整合於單一晶片中，有助於降低系統複雜性，提升效率與安全。

## 結論

提升接觸器的效率和可靠性有助於增加可行駛的里程，並提升 HEV 和 EV 日常運作的安全性。將熱熔保險絲驅動器集成至單晶片解決方案，有助於更智慧且更快速的決定何時中斷電池連線。DRV3901-Q1 熱熔保險絲驅動器和 DRV3946-Q1 接觸器驅動器為系統設計師提供了設計更智慧，更安全車輛的選項。

## 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