

電池管理系統創新如何提升 EV 採用率



Mark Ng

Sector general manager
HEV/EV powertrain

Issac Hsu

Marketing manager
Battery management systems

Taylor Vogt

Applications manager
Battery management systems

若要實現全面電氣化的未來，需要對電動動力傳動系統進行創新，而電動動力傳動系統中包含了 BMS、車載充電器與 DC/DC 轉換器，以及牽引逆變器。這些系統的核心則是可協助實現電氣化的半導體元件。

摘要

隨著混合動力汽車 (HEV) 與電動車 (EV) 受到廣泛採用，電池管理系統 (BMS) 也隨之演進。本文件深入探討影響 BMS 開發的趨勢，以及主要子系統如何共同運作以提升安全與效率。



1

BMS 的運作原理和業界趨勢

檢視如何透過整合三個主要 BMS 子系統來實現安全、有效率的電池組，並探索新的電池化學物質和 BMS 趨勢，包括無線 BMS 在內。



2

電池容量和電池健康狀態的進階評估

準確評估電池剩餘電量，可對剩餘行駛距離帶來直接的影響。詳細了解電池監控單元 (CSU) 以及其如何提供更趨詳盡的電池狀態量測，以將電池組效益發揮到極致。



3

傳統與智能電池接線盒 (BJB)

探索矽創新如何推動邁向更現代化的架構，也就是所謂的智能 BJB，並進一步了解電池控制單元 (BCU) 所扮演的通訊介面角色。

BMS 可保護電池免於受損、以智慧型充電與放電演算法延長電池壽命、預測剩餘的電池續航力，且可在運作狀態下維護電池。鋰離子電池芯帶來了嚴峻的挑戰，因為其需要精密的電子控制系統。此外，也存在因火災和爆炸而造成傷害的重大風險。因此 BMS 需要先進的矽技術，以符合所有性能、安全與成本指標。

一般來說，每位設計人員皆力求改善的三個主要 BMS 挑戰為實現最長的行駛距離、改善成本並強化安全性。

解決其中一個挑戰可能會對另一個挑戰造成負面影響。在本白皮書中，我們將討論數種新興趨勢，以盡數因應前述三個挑戰。

BMS 的運作原理和業界趨勢

分散式 BMS 架構 (圖 1) 具有模組化結構，通常由三個主要子系統組成：電池監控單元 (CSU)、電池控制單元 (BCU) 和電池斷開單元 (BDU)。

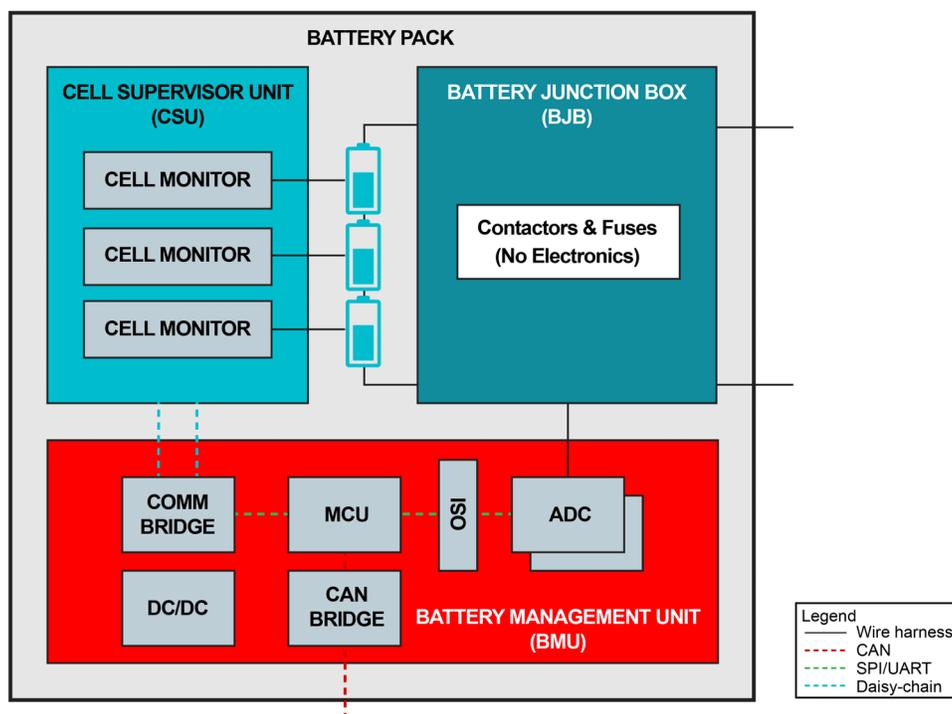


圖 1. 典型的 BMS 架構。

業界稱呼這些子系統的名稱各不相同，如表 1 所列，因此若能為不同名稱和縮略字建立基準，可能會有所幫助。

子系統名稱	也稱為：	縮略字
電池監控單元	電池芯監控電路 電池監控單元	CSU CSC CMU
電池控制單元	電池電氣控制器 電池能量控制模組 電池管理單元	BCU BEC BECM BMU
電池斷開單元	電池接線盒	BDU BJB

表 1. BMS 子系統的常見業界縮略字。

CSU 透過感測每個電池芯的電壓和溫度，收集所有電池芯的參數資訊。CSU 透過執行電池平衡，協助補償電池芯間的不一致之處。BCU 必須整合 CSU 的參數資訊，也必須偵測電池組的電壓和電流，以執行電池組管理。BCU 需負責根據所有收集到的電壓、電流和溫度數據，以每個電池芯的整體狀況為依據，分配電池的充電和放電方法。透過計算電池電量資料、電力狀態和健康狀態，即可持續監控電池的狀況。智慧型保護控制也是 BCU 的重要功能，因為其必須執行絕緣監控、在發生碰撞或短路時控制接觸器、持續監控溫度感測器，以及執行診斷以檢查所有輸入

參數是否確實有效。資訊會透過控制器區域網路 (CAN) 通訊傳送至汽車控制單元或電子控制單元。

新的電池化學物質

鋰離子可用於指稱多種化學物質；然而，其最終還是由以金屬氧化物陰極和石墨陽極之充電和放電反應為基礎的電池所構成。其中兩種較受歡迎的鋰離子化學物質是鎳錳鈷 (NMC) 和磷酸鐵鋰 (LFP)。

NMC 是主流的化學物質，因為其具備優異的能源密度，而能源密度會直接影響行駛距離。然而，近年來對鎳和鈷的需求激增，因此汽車製造商開始採行策略以避開動盪的市場。鎳和鈷也很稀少，而且難以從土中提煉。

雖然 LFP 仍是較少採用的化學物質，且能量密度較低，但具有顯著優勢。LFP 不含昂貴且稀有的鎳和鈷元素，因此成本較低。它也適合較長的循環壽命，因此使用壽命會更長。相較於含鎳和鈷的電池，LFP 電池也更為穩定，且較不容易起火，因此所需的保護措施也較少。

因此在大量生產的汽車市場區隔中，LFP 可能會成為主要的化學物質，因為在該市場區隔中，可購性、安全性或環保 (不使用鈷和鎳) 比行駛距離更為重要。LFP 需要極準確的電池監控技術，因為其呈現的放電曲線非常平緩。請閱

讀以下文章，了解先進半導體如何實現適用於新型和新興電池化學物質的 BMS 架構：[BMS 的未來願景是什麼？更安全、更平價的電動車。](#)

在此同時，部分供應商正在調查如何使用成本更低的鈉離子電池，以與 LFP 競爭。

固態電池與使用液體電解質的傳統鋰離子電池不同，固態電池會使用由玻璃、陶瓷、固態聚合物或亞硫酸鹽構成的固態電解質，因而得名。有鑑於固態電池固有的性能優勢，多家汽車製造商正著手研究固態電池，前述優勢包含：更佳的能源密度；更高的可靠性和老化特性；大幅加快的充電速度；以及或許更重要的是更高的安全性。在高溫下，液體電解質會變得易燃。固態電解質可提供更高的熱穩定性，進而限制發生火災或爆炸的風險。

無線 BMS

使用纜線是現今實作 BMS 的實際方法。在許多情況下，這是達到汽車安全完整性等級 D (ASIL D) 合規性的最可靠方式，因為功能性安全能力會內建至菊輪鏈有線通訊協定中。然而纜線的缺點包含：電纜故障、保固維修和電池更換的費用高昂。

如 **圖 2** 所示，無線 BMS 的優點之一在於電池組組裝和生產的簡易性，這可以在生產期間節省成本並提高效率。生產線技術人員只需組裝電池組並取得即時讀數即可，而有線 BMS 則需要由技術人員將電纜插入每個電池模組中。

無線 BMS 的另一個優點是電纜線束和連接器可能是造成電池組故障的主要原因之一。無線 BMS 可減少低電壓佈線，且有助於讓原始設備製造商 (OEM) 免於面對大量保固申請。

無線 BMS 可協助減輕重量，或許更重要的在於如此一來，電池組中就會有更多空間。隨著空間增加，電池製造商或 OEM 就可在電池組中增加更多電池芯。更多電池芯與更輕的重量，有助於延長行駛距離。

無線 BMS 的固有隔離也可協助節省元件成本，讓汽車製造商不需使用變壓器、電容器或共模扼流器來達到隔離效果，進而省下金錢。

TI 符合汽車標準的 **CC2662R-Q1** SimpleLink™ 無線微控制器 (MCU) 包括 48-MHz Arm® Cortex®-M4 處理器，且能夠執行 2.4-GHz **專利無線 BMS 協定**。

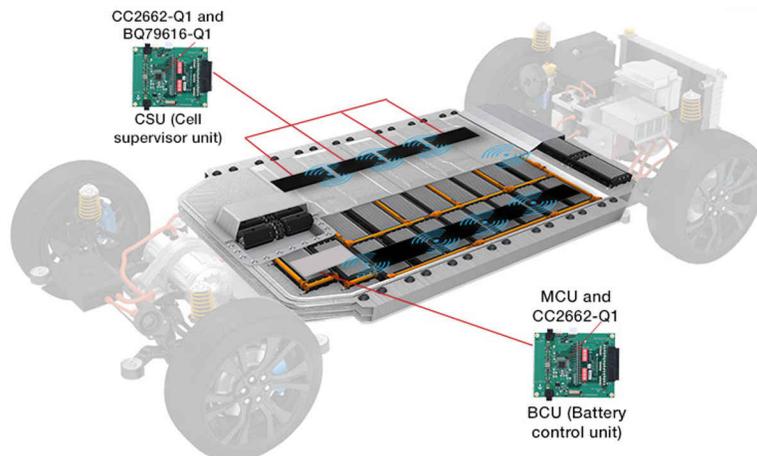


圖 2. TI 的無線 BMS 技術。

電池容量和電池健康狀態的進階評估

準確評估電池剩餘電量，可對剩餘行駛距離帶來直接的影響。即使電池芯製造商會提供電池的額定容量，其仍會隨時間改變。導致電池容量衰退的一些重要因素包括溫度升高、循環 (使用)、放電深度模式和老化。這些因素讓我們需要持續評估電池容量，才可準確評估電池電量資料。

能否準確量測電池的健康狀態，決定了駕駛是會先更換電池，或是只會坐等發生明確且危險的電池故障事件。

有效將電壓與電流同步化，有助於進行精確的電池電量資料、健康狀態與電阻抗光譜 (EIS) 計算，以達到最佳電池使用率。如需詳細資訊，請參閱技術文章：[如何為先進 EV 電池管理系統設計智能電池接線盒](#)。

詳細了解電池監控單元 (CSU)

圖 3 所示為簡化的 CSU。CSU 會在實際的電池組電池芯內緊密運作，其會連接電池芯監控裝置線束，且會確保能有效率地將基本電池組資料傳輸回主機 BCU。

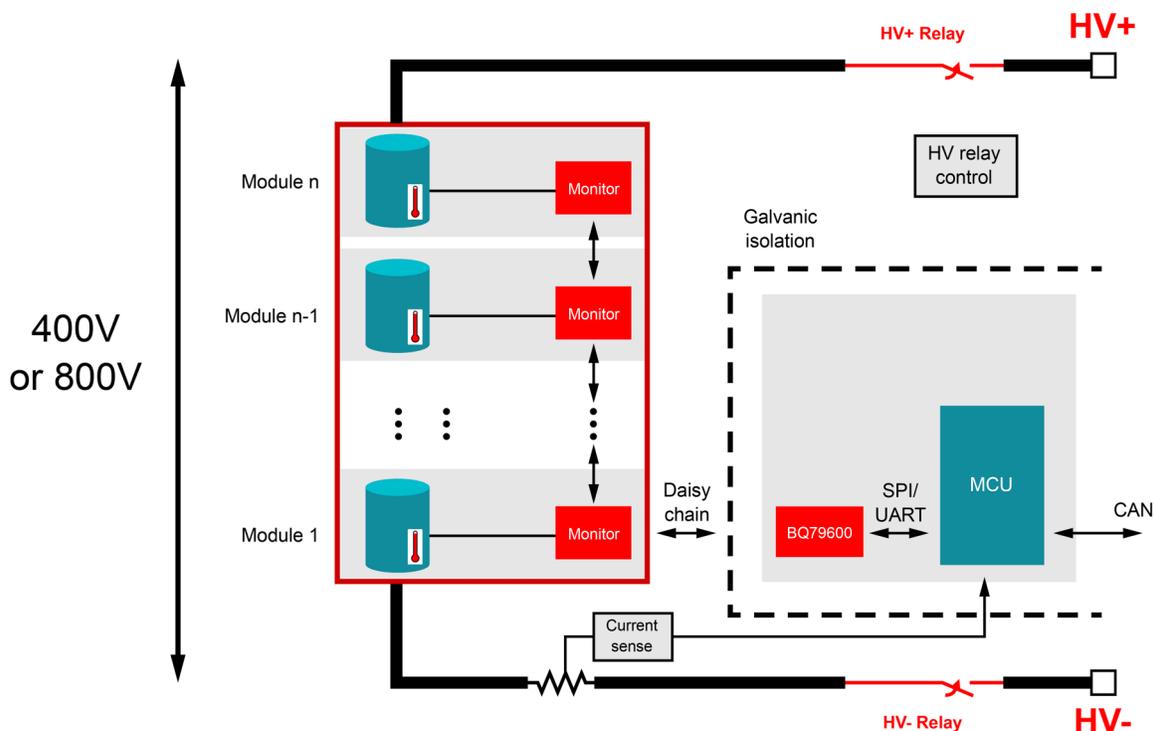


圖 3. 簡化 CSU 系統原理圖。

如果沒有 CSU，就難以獲得有關電池組狀態的資訊。CSU 輸出的診斷數據有助於進行健康狀態與電池電量資料評估，而這會直接影響系統的安全目標。透過高度精確的監控器，這些演算法可針對驅動器提供極為準確的評估，並可充分發揮每次充電的使用性能。此行動通常以被動方式完成，且需在夠高的電流下進行，讓溫度管理的維護和量測變得十分困難。整體而言，在電池組中實作精密的 CSU，有益於車輛的使用壽命充電週期，進而提供更安全且更完善的整體體驗。

CSU 可提供更趨詳盡的電池狀態量測，以將上述電池組效益發揮到極致。就健康狀態和電池電量資料計算而言，若能安全可靠地以最高資料傳輸速率將這些量測同步化，即

可提供最佳的評估。隨著採用 400-V 以上高電壓電池組的趨勢增加，智慧型 CSU 設計有助於因應電池組中與日俱增的電池芯資料傳輸量。為了實現最平價的 HEV/EV，我們所面臨的挑戰在於如何以最低功耗與外部印刷電路板元件來實現這些優勢。

隨著 LFP 越來越受歡迎，其相較於 NMC 更為平緩的放電曲線 (如圖 4 中所示) 需要更為準確的電池電壓量測，才能判斷 EV 的可用行駛里程。德州儀器 (TI) 的 **BQ79718-Q1** 堆疊式電池監控器與電池芯平衡器可量測 18 個串聯電池芯。其提供的電池電壓量測準確度可達 $\pm 1\text{-mV}$ ，並具備 300-mA 電流能力的被動式電池平衡功能。此產品也支援

一併與 BQ79731-Q1 電池監控器進行電壓和電流同步量測，以提供更精確的健康狀態和電池電量資料計算。

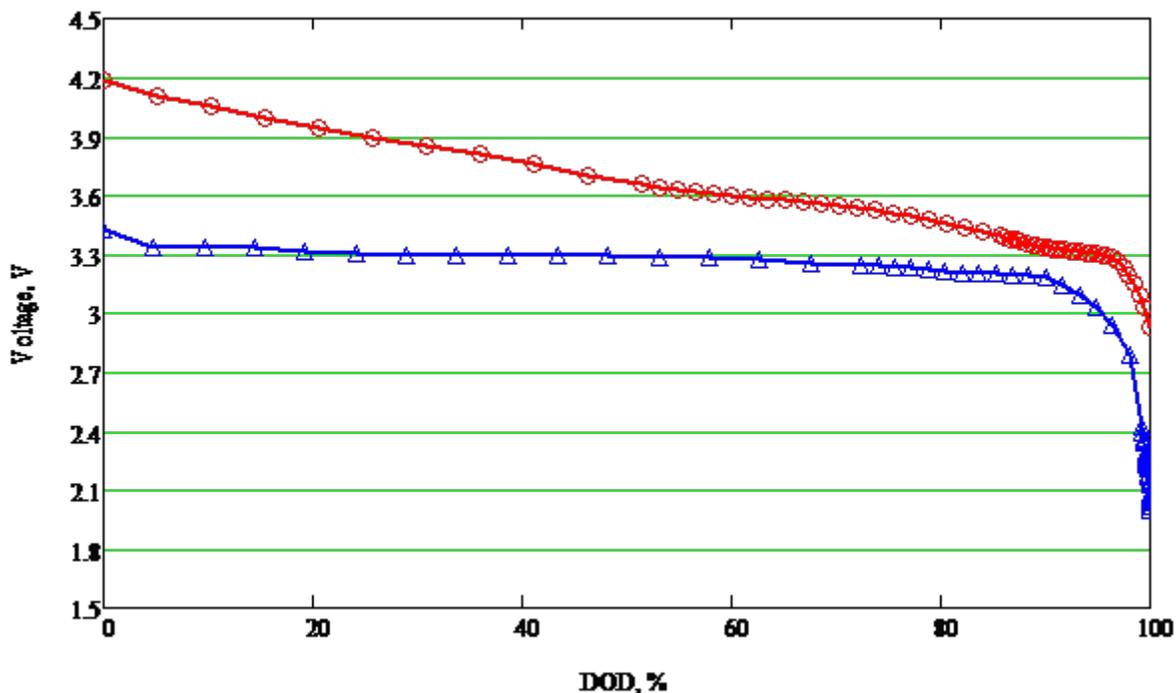


圖 4. 電池化學放電曲線 (紅色= NMC, 藍色= LFP)。

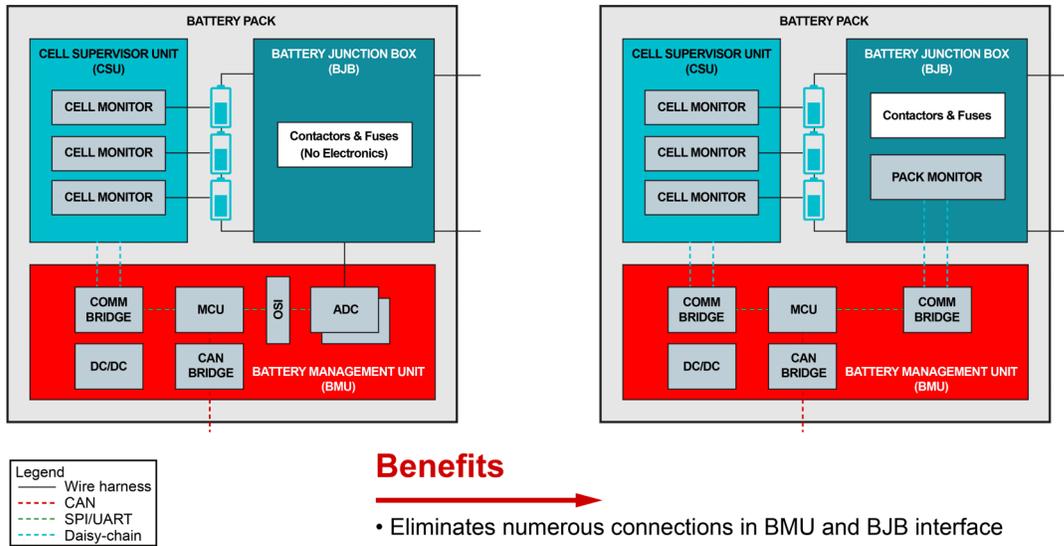
傳統與智能電池接線盒 (BJB)

BMS 架構持續演進。矽創新 (因推出所謂的電池組監控器而帶動此趨勢) 推動邁向更現代化的架構，也就是所謂的智能電池接線盒 (BJB)。傳統 BJB 僅包含機械元件，而智能 BJB 則在 BJB 本身引進主動式矽裝置，可執行高電壓監控、電流感測和絕緣偵測 (傳統上由 BCU 執行的功能)。

智能 BJB 架構 (如 圖 5 所示) 具有幾個明顯的優點。其可明確分離高電壓域與低電壓域，所有高電壓訊號皆直接在

BJB 量測，讓 BCU 成為完全低電壓的設計。電池組監控器使用專有的菊輪鏈介面，可免除昂貴的數位隔離器裝置，因為菊輪鏈可以實現離散式電容隔離。菊輪鏈通訊也具備無需使用收發器 (如 CAN) 等任何其他元件的附加優勢，因此無需額外的 MCU，即可控制及驅動通訊協定。將電池組監控器放在 BJB 中或 BJB 周圍，即可立即存取高電壓訊號，並且再也無需將多條長纜線連接到 BCU。可量測電流以及執行分流電流感測。

Traditional BMS → Intelligent battery junction box (BJB)



Benefits

- Eliminates numerous connections in BMU and BJB interface
- Simplifies hardware and MCU software development
- Synchronized VI measurements

圖 5. 傳統 BMS 架構與現代智能 BJB 架構。

詳細了解 BJB

智能 BJB 可協助透過電壓、電流和絕緣電阻電池組監控器，直接量測電池的高電壓。一般的電池組監控器中有多

個電壓與電流量測通道，可量測保險絲和外包商的電壓，並檢查 BJB 中的隔離電壓。圖 6 是簡化的系統圖。

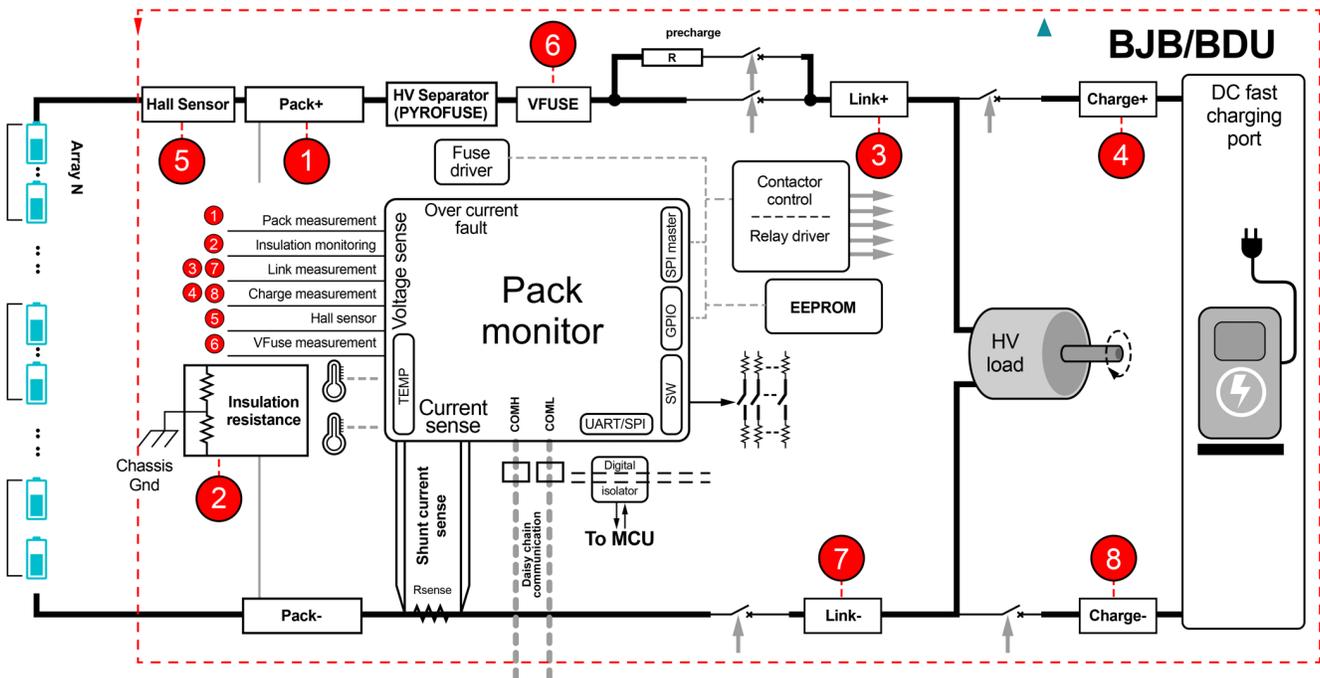


圖 6. 簡化 BJB 系統原理圖。

由於電池組監控器可量測電池組電流，因此在系統中整合了過電流保護。如 **BQ79731-Q1** 等部分電池組監控器，也包含適用於電池電量資料計算的庫侖計數功能。

在 BQ79731-Q1 中執行電壓與電流同步化，即可在 CSU 中量測電池芯電壓的同時，一併量測電池組電流與電壓。可以將透過任何一個菊輪鏈通訊界面所擷取到的所有資訊，輪詢至 BCU。

智能 BJB 與傳統 BJB 的差異在於接觸器驅動器和高溫保險絲的數位控制功能，可在碰撞時斷開電池組與 EV 系統的連線。BQ79731-Q1 包含可控制接觸器驅動器與高溫保險絲的序列周邊介面 (SPI) 控制器通道，可減少 BCU 對額外 SPI 資源的需求。

電池組使用由電池組監控器控制的機械接觸器來連接或斷開車輛中的子系統。請務必避免這些接觸器可能發生故障或接觸高壓連接的情況，以保護駕駛免受會威脅生命的傷害。

在出現不受控的突入電流時，機械式高壓接觸器可透過電弧與孔蝕進行焊接或受到損壞。**為何在高電壓系統中需採用預先充電電路**說明了如何使用 **TPSI3050-Q1** 隔離式開

關驅動器來建立可靠的固態繼電器，以在汽車 BJB 中進行預先充電。TPSI3050-Q1 沒有可動零件，因此可在更換機械預先充電接觸器時，改善系統層級的可靠性或失效率。

高電壓電池組的正極和負極端子必須與車輛底盤充分分離，以保護駕駛或技師免受可能發生的電擊影響。對前述分離進行定期監控的作業，稱為隔離檢查或絕緣電阻監控。如 **TPSI2140-Q1** 等固態繼電器可同時連接與斷開已知電阻值 (如 1 M Ω) 和未知電阻值 (在電池端子與底盤接地之間)。藉由使用 BQ79731-Q1 等電池組監控器來量測組合電阻，即可判斷電池分離是否在公差範圍內 (根據聯邦機動車輛安全標準第 305 條規格，至少應為 500 Ω/V) 或可能有害。

詳細了解電池控制單元 (BCU)

BCU 包含通訊晶片和 MCU。通訊晶片是 MCU 以及 CSU 與 BJB 之間的介面，會將來自 CSU 與 BJB 菊輪鏈的訊號轉換為解碼位元流，以傳送至 MCU。MCU 會輪詢 CSU 和 BJB 量測的所有資訊、計算電池狀態，並回應 CSU 和 BJB 的故障或診斷。圖 7 所示為典型的 BCU 原理圖。

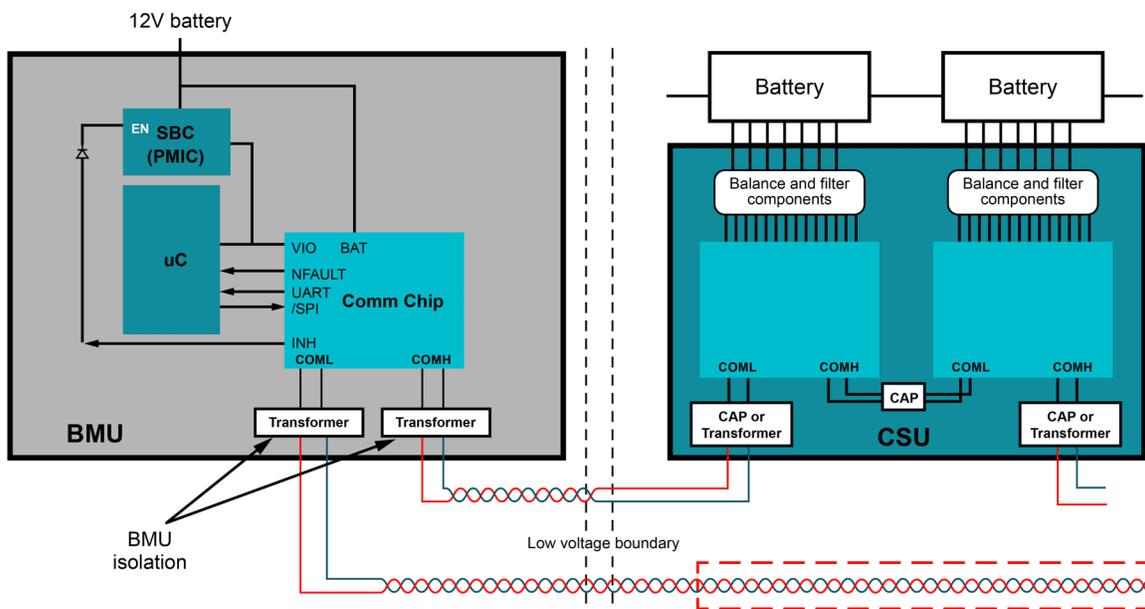


圖 7. 典型 BCU 原理圖。

建立完整的電池測試環境生態系統

為了驗證和測試 BMS，汽車製造商使用硬體迴路 (HiL) 系統，如此可建立安全的環境，以在連接至可能具有危險性的真正電池芯之前，先測試所有功能。

TI 與 Comemso 合作，該公司的電池芯模擬器可針對 BMS 測試提供不同模組的組合，以及可擴充的變體和不同功能。該模擬器的靈活性使 TI 能夠以不同的尺寸實作系統，協助滿足設計工程師的需求。

結論

隨著大家將技術創新與商業取捨一併納入考量，BMS 架構也持續演進。新的電池化學物質、新的矽裝置，再加上與日俱增的安全需求，營造出不同且多變的設計環境。TI 的目標是讓市場可朝任何設計方向靈活移動。探索所有 TI 的 **HEV/EV BMS** 設計資源，以協助汽車製造商實現最高的安全性、可靠性和行駛距離，並進一步推動全球的電動車採用趨勢。

其它資源

- 德州儀器：[EV 電池管理中的有線與無線通訊](#)。
- 觀看網路研討會：[電池管理系統研討會 - 適用於電壓和電流同步化的智能電池接線盒](#)。
- 德州儀器：[車輛電氣化的電池管理功能安全考量](#)。
- 閱讀技術文章：[如何為先進 EV 電池管理系統設計智能電池接線盒](#)。

重要聲明：本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

所有商標均為其各自所有者的財產。

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 © 2023, Texas Instruments Incorporated