

Application Brief

高電壓 BMS 如何強化安全性與電池續航力



電池儲能系統 (BESS) 在住宅、商業、工業和電網儲能管理中扮演著重要角色。在現代 BESS 中，電池管理系統 (BMS) 作為電池組的核心，負責監測電壓、電流與溫度等參數，並提供充電狀態 (評估剩餘可用能量) 與健康狀態 (評估電池單體的整體狀況與老化程度) 的洞察資訊。BMS 可確保更優異的電池監控準確度並提升系統級安全性，有助於維持高效率的能源使用，並延遲電池過早劣化，延長 BESS 使用壽命。

確保電池監控器的準確度

電池組監控器不僅可提升電池電壓量測的準確度，也有助於改善充電狀態評估和過電壓保護。充電狀態演算法和其他高電壓系統診斷也需要準確的電池組電壓和電流報告。

在磷酸鋰鐵 (LiFePO₄) 電池中，由於其可靠性與合理的成本，已成為儲能系統 (BESS) 中常見的電池類型。進行高度精確的量測，對於確保其運作的可靠性有直接的關聯。LiFePO₄ 電池的電壓分布特點為其大部分有用容量的基本平坦充電與放電曲線，因此在電量即將結束前可產生更穩定的操作電壓，而電壓位準則會快速下降。若未偵測充電與放電曲線的平坦區域中的輕微電壓變化，可能會增加充電狀態估計錯誤的風險。

提升系統級安全

有多種因素會直接影響電池老化，包括過充電、過放電狀況、高溫、低溫和高充電電流。BMS 中的整合式監控和保護套件有助於減少這些狀況的發生率。例如，整合式電池平衡等功能可確保電池緊密平衡，防止較弱的「不平衡」電池對整體封裝造成負擔，從而大幅提升整體電池的使用壽命。精準平衡與高準確度電池量測可減少並偵測電池操作和調節中的低效率現象。

在電池組使用壽命期間，電池芯間的差異會持續增加。隨著電池單體容量持續增加，被動式平衡已無法滿足儲能系統 (ESS) 的需求。因此，採用主動式單體平衡與主動式電池組平衡，有助於延長儲能系統壽命並降低人工維護成本。

電池組對電池組平衡的主動平衡設計方法使用雙向隔離式 DC/DC 實現能源傳輸，可幫助整體系統提升利用率。

使用壽命更長

隨著儲能電池的世代更迭，其循環壽命從 10,000 次提升至 12,000 次，甚至 15,000 次。這些提升有潛力使產品壽命在未來達到 20 至 25 年。延長電池續航力是開發 BESS 時的重要考量，可讓設計人員提供具競爭力且有效率的產品。

應用基本知識

图 1 所示為 BESS 架構。此系統適用於高電壓 (1,500V) 鋰離子與磷酸鋰鐵 (LiFePO₄) 電池系統，並包含多個參考設計，以實現完整的系統解決方案。

適用於能源儲存系統的高達 1,500V 堆疊式電池管理單元參考設計結合了多個電池管理單元，以堆疊方式利用 BQ78706 電池監視器偵測電池故障，並提供備援資料測量功能。

接下來，針對儲能系統的 1,500V 高電壓機架監控單元參考設計，展示了一個高電壓監控單元 (HMU)，該單元採用 BQ79731-Q1 電池組監測器，以支援匯流排電壓與電流的偵測與量測，並整合了備援資料量測能力。電池控制單元 (BCU) 能可靠地驅動系統開關，協助維持系統安全。

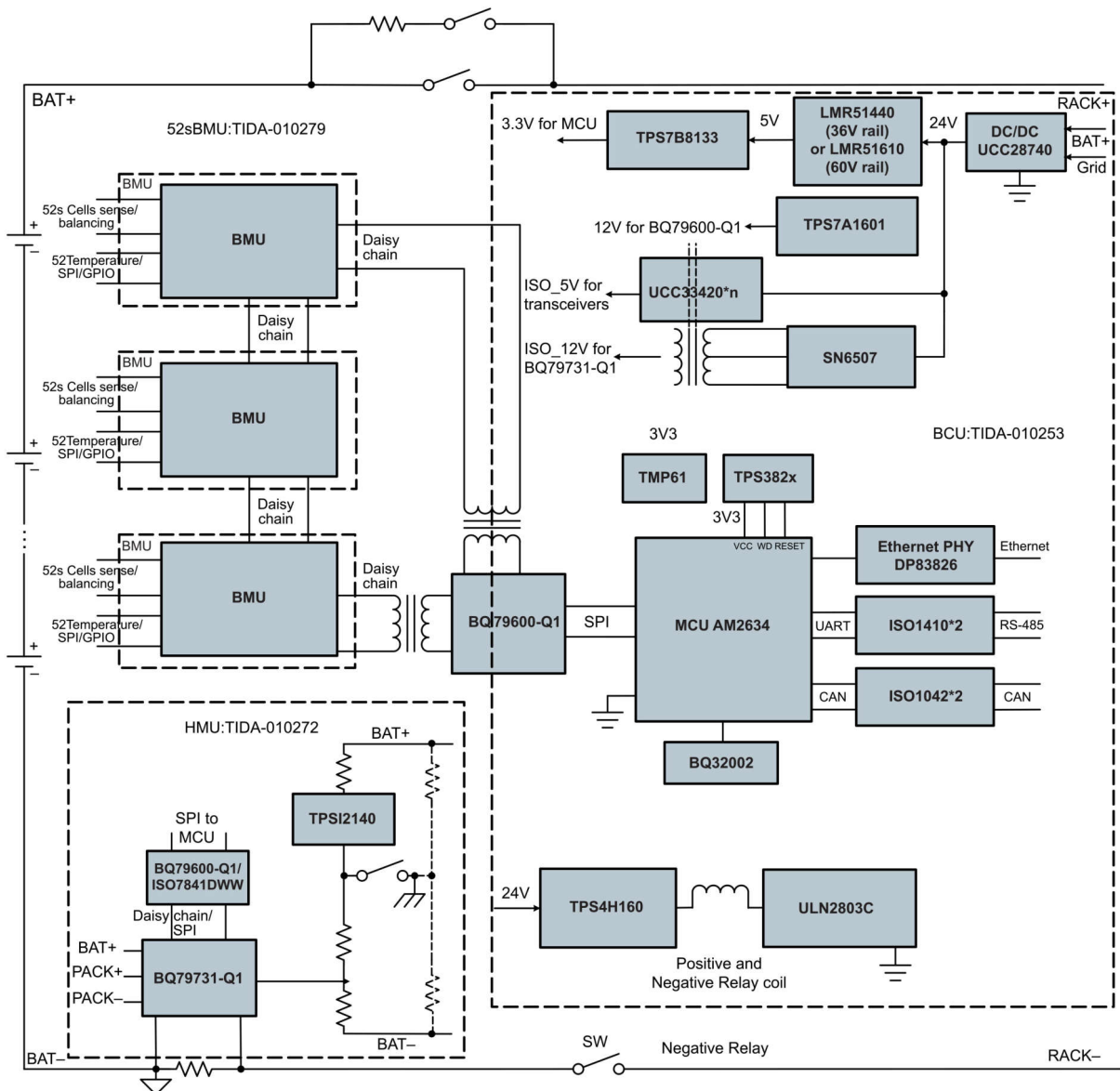


图 1. BESS 架構的方塊圖

實現精準的電池感測與可靠的系統架構

图 1 說明 BCU 與 HMU 的組合如何實現可靠的系統安全等級。HMU 中的 BQ79731-Q1 可進行高準確度匯流排電壓量測，最大準確度為 $\pm 3.16\text{mV}$ 。這種準確度有助於提高隔離阻抗測量和接觸焊接偵測校準的可靠性和簡化性。BQ79731-Q1 還結合了連續取樣模數轉換器，具有低增益誤差 ($\pm 0.065\%$) 和低偏移 ($-2.5\mu\text{V}$ 至 $7.5\mu\text{V}$)。電壓與電流量測診斷可使用 BQ79731-Q1 支援的安全機制 (TI 符合汽車安全完整性等級 [ASIL] D 的功能安全機制) 執行，以可靠的量測結果實現系統等級安全。

图 2 展示 TI 用於能源儲存系統的電池控制單元參考設計，該設計使用 BQ78706 電池監視器在 -40°C 至 125°C 的溫度範圍內實現了 $\pm 2.4\text{mV}$ 的電池電壓誤差。本設計透過 TMUX 擴充和 TMP61 高準確度 (-25°C 至 65°C 時為 $\pm 1^\circ\text{C}$) 熱敏電阻感測器，測量每個獨立電池通道的溫度。如同在 BMU 中，單體電壓與溫度的診斷透過 BQ78706 的內建安全機制 (符合 ASIL B 等級的 TI 功能安全標準) 執行，以取得可靠的結果。以 MSPM0G3519 為基礎的軟體開發套件有助於簡化設計程序，以加快上市時間。

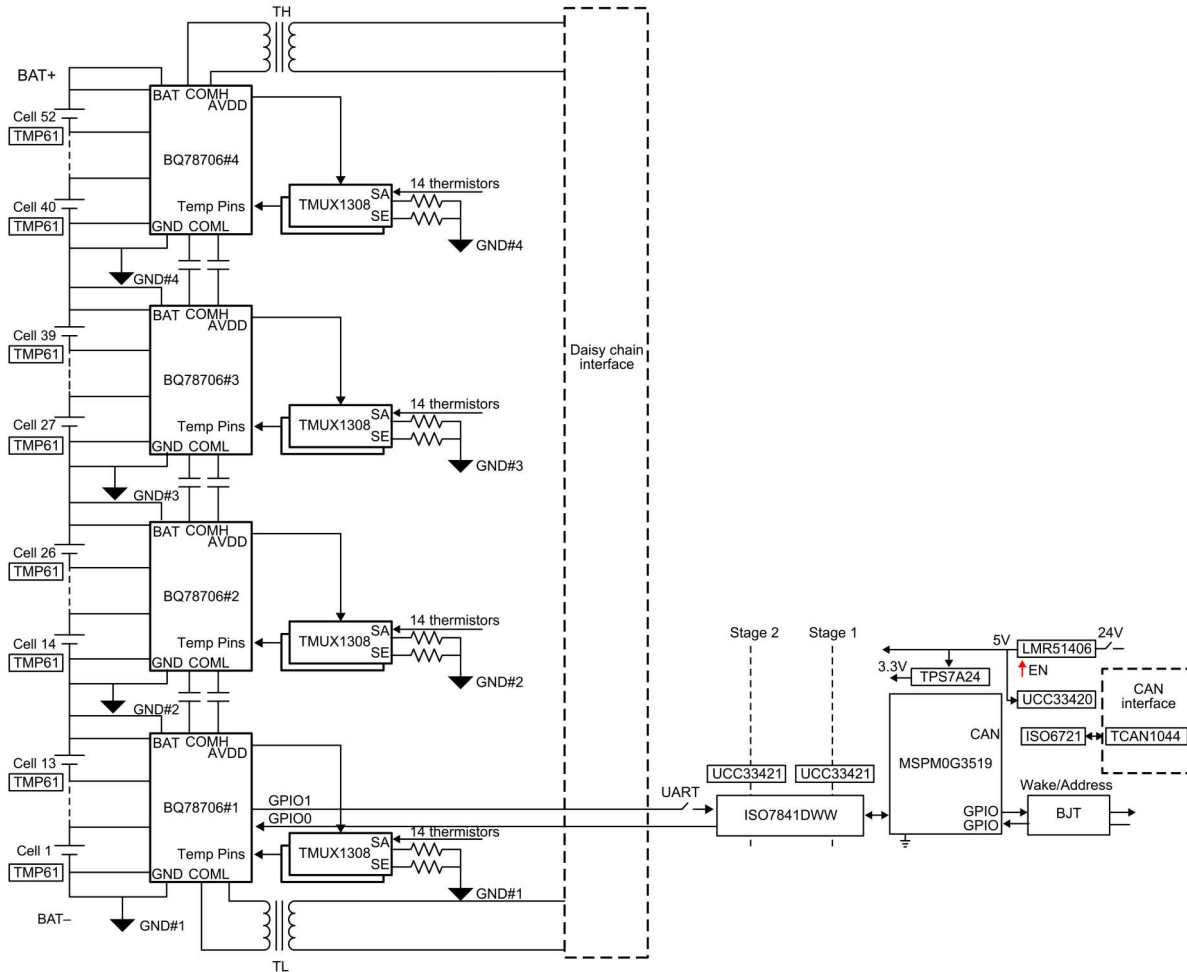


图 2. 適用於儲能系統的電池控制單元參考設計圖，其中展示可堆疊 BMU 架構

電池監控單元 (BMU 與 HMU 的設計)，符合國際電工委員會 (IEC) 62477-2 與美國保險商實驗室 (UL) 1973 的強化絕緣要求，最高可達 1,500V。此設計可搭配 [ISO7841](#) 和 [UCC33421](#) 等強化型隔離器使用，或搭配超寬爬電變壓器的菊輪鍊使用，以確保充分的系統級安全。

結論

安全且可靠的 BMS 在提升 ESS 的壽命、效率，以及最重要的安全性方面，扮演著關鍵角色，尤其是在鋰離子電池轉向磷酸鋰鐵電池及其他電池化學材料的趨勢下。透過提供精確的資料感測，並實現 ESS 所有模式下的電池組與單體層級平衡，BMS 的設計方法能最大化利用太陽能與風力等再生能源的能源，有助於在高需求期間穩定電網，或在停電期間用於備用電源。

註冊商標

所有商標均為其各自所有者的財產。

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](#) 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