

Technical Article

整合式電阻分壓器如何提升 EV 電池系統性能



Jacob Fattakhov

在現代電動車 (EV) 與混合動力電動車 (HEV) 中，電池管理系統 (BMS) 可做為電池組的大腦，負責確保電池性能、安全性與壽命。BMS 會監控充電狀態等參數，以深入了解剩餘可用能源，並掌握健康狀態，以評估電池芯的整體狀況和老化情況。這些指標有助於維持高效率的能源使用，並延遲電池過早劣化的時間。

為了符合有關電池效率和環境永續性的法規，汽車製造商必須在車輛使用壽命期間維持高水準的電池健康狀態。例如，加州空氣資源委員會 (California Air Resources Board) 推出了相關標準，規定 2030 車型年款電動車的電池續航里程至少為 10 年或 15 萬英里的 80%。這是最早將於 2026 車型年款開始生效的較低要求的最大結果，其中規定在 2031 車型年款之後繼續收緊法規。類似的標準已在全球各地生效，因此需要在 BMS 中採用更先進的整合式解決方案，才能提升感測準確度。在本文中，我將展示整合式高電壓電阻分壓器如何提供比離散式電阻鏈更精確且更節省空間的電壓衰減方法，使 BMS 能夠更適當地平衡電池組並延長其使用壽命。

圖 1 圖示了 EV 內的電池芯和電池管理系統。



圖 1. $\geq 400V$ EV 電池透過電阻分壓器進行衰減，以與 BMS 的其餘部分連接

應用基本知識

典型的 EV 電池電壓為 $\geq 400\text{V}$ ，產業趨勢朝向 1kV 或更高電壓發展。更高電壓的電池有助於降低最大電流需求並顯著地提高效率。測量此電壓並將其傳輸至相關車輛系統時，需要使用類比轉數位轉換器 (ADC) 進行訊號轉換，該轉換器通常由大約 5V 的電壓供電。ADC 無法接受大於該電壓的輸入訊號。

為了保護 ADC 和其他低電壓零組件免受電池相對較大電壓的影響，需要使用隔離放大器等裝置來維持高電壓域與低電壓域之間的屏障。儘管隔離式放大器是兩個電壓域之間的橋接器，但只能接受與 ADC 相似的電壓範圍，因此須在到達隔離放大器之前衰減電池電壓。電阻分壓器通常用於此目的，可將高電壓訊號降低至較低的電壓全刻度範圍。

圖 2 是使用長電阻器串進行 DC 匯流排量測的電路圖，以將電池電壓衰減至可接受的位準。

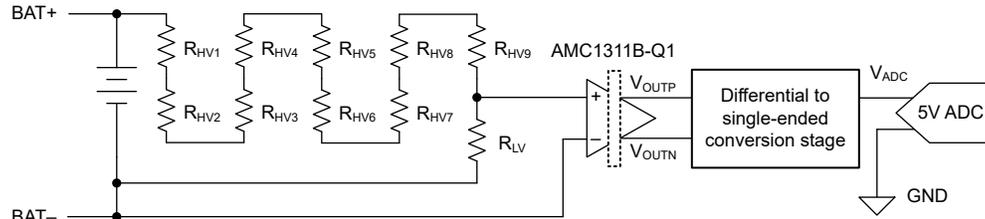


圖 2. 使用離散式梯形電阻器量測電池電壓的電路

離散式電阻器鏈的缺點

處理大於 400V 的電壓時，必須考量爬電距離和電氣間隙，以避免電弧並確保安全絕緣。儘管傳統電阻分壓器只需要兩個電阻器，但高電壓衰減通常具有長電阻鏈的爬電距離和電氣間隙，以增加高電壓和低電壓節點間的實體距離。根據 IEC 60115-8，每個電阻器上的最大持續壓降均受到限制；通常，每個 1206 外殼尺寸的表面貼裝電阻器為 200V，每個 0805 外殼尺寸的電阻器為 150V。

此設計方法確實存在一些缺陷。即使採用精密電阻器，各離散式電阻器的固有容差變化也可能導致分壓比出現顯著差異，導致電壓量測結果不準確。離散式電阻器也容易受到溫度變化和老化造成的電阻變化影響。此類電阻器任一端的焊接點也會暴露在外，除非您採用三防塗層或其他保護措施，否則可能造成額外洩漏和寄生電容或電感，進而增加解決方案成本。

在離散式電阻器的長鏈中，這些影響可能會加劇，進而使電壓感測準確度隨時間下降；造成充電狀態和健康狀態評估錯誤，導致電池管理決策不理想，例如充電和放電週期不正確；最終會縮短電池續航力並削弱 EV 的續航里程。

整合的優勢

RES60A-Q1 整合式電阻分壓器的寬體 SOIC 封裝專為符合國際電子電機委員會 61010 標準定義的爬電距離與電氣間隙標準而設計，可處理高達 1.7kV 的電壓。

本裝置在性能與可靠性方面提供了顯著的優勢。指定的初始比率和隨時間容差的最大限制有助於確保分壓比保持準確，儘管存在老化或環境變化 (例如溫度變化) 的影響。這種可靠性對於優先考慮一致性能的應用非常重要。

積體電路封裝設計消除了對離散式電阻器冗長鏈的需求，減少所需的印刷電路板體積。這種整合不僅簡化了電路佈局，也降低了組裝成本。較少的暴露節點可降低洩漏或寄生錯誤的可能性，因此不再需要三防塗層，也可能降低成本。

圖 3 是 DC 匯流排量測的電路圖，其中 RES60A-Q1、RES11A-Q1 和 AMC1311B-Q1 提供了測量穿過隔離柵電壓的方式，並能達到 <1% 的全刻度範圍誤差。

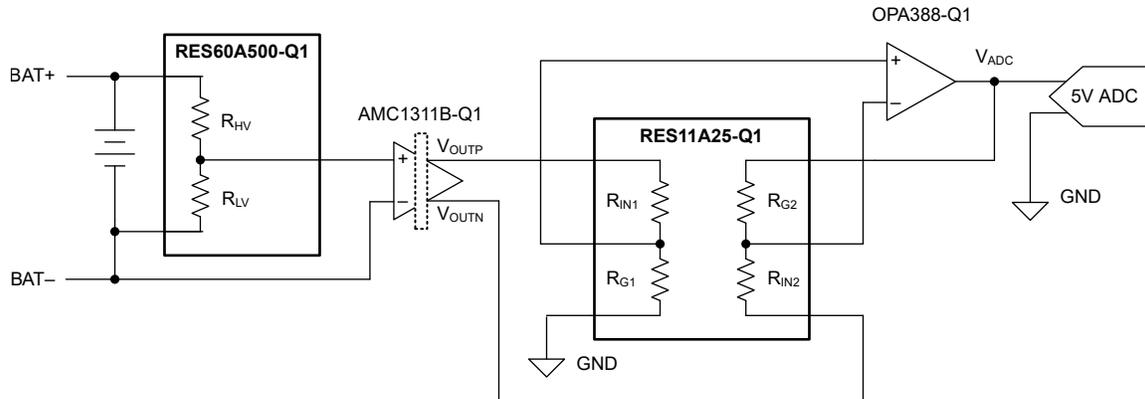


圖 3. 採用 RES60A-Q1、RES11A-Q1 和 AMC1311B-Q1 的電池電壓測量電路

差動至訊號端轉換

配備差動输出的隔離式放大器 (如 TI 的 [AMC1311B-Q1](#)) 十分受歡迎，因為差動输出非常適合在更遠的距離傳輸訊號，且出於安全原因，設計人員通常會將低電壓元件置於遠離高電壓來源的位置。將此訊號饋送至單端 ADC 需要透過增加整合式差動放大器，或在放大器周圍配置四個離散式電阻器，來進行差動至單端轉換 (請參閱 [圖 3](#))。

離散式電阻分壓器會在衰減期間引入誤差，基於相同的原因，個別電阻器也會在離散式差動放大器實作中造成比率漂移。結合 RES11A-Q1 等整合式電阻器與 OPA388-Q1 等高精密度放大器，即可產生具有高共模拒斥比的差動放大器，有助於減少雜訊和其他誤差。

結論

在設計 BMS 的高電壓衰減電路時，從離散式電阻鏈轉換至 RES60A-Q1 等解決方案可帶來許多優勢。搭配 RES11A-Q1 等互補式元件進行差動訊號轉換時，這些整合式裝置有助於電動車長時間維持電池健康狀態。

其他資源

- 請參閱 [RES60A-Q1 產品規格表](#)。
- 請閱讀應用說明「[以精密比對的電阻分壓器對最佳化差動放大器電路中的 CMRR](#)」。
- 前往 TI.com 訂購評估模組 ([RES60EVM](#)) 並立即開始使用。

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 © 2024, 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated