

電池管理經驗談

凌力爾特公司訊號處理產品部資深產品行銷工程師 **Greg Zimmer**

引言

就混合動力車 (HEV) 和電動車 (EV) 而言，使用鋰電池可在功率、能量密度、效率和環境影響之間取得最佳平衡。但同時，鋰電池也是易損壞和危險的，而汽車環境又相當棘手、難以應付。混合動力車和電動車的電子產品所面臨的挑戰是，彌補要求苛刻的汽車環境和電池敏感性之間的差距。汽車環境的嚴苛和電池的敏感堪稱嚴酷的絕配。

考慮到汽車對能量、功率和環境的要求，安全、可靠地使用大型鋰電池組絕對不是一個簡單的任務。鋰電池以充滿電狀態或完全放電狀態工作時，容量會降低。考慮到循環往返的充電、組與組之間的差別和不同的環境條件，每顆電池的容量都會隨著時間推移而降低並產生偏離。因此，電池組要實現 15 年、5000 個充電週期的目標，每顆電池都必須保持在有限的工作範圍內工作。透過控制每顆鋰電池的充電狀態 (SOC)，可以最大限度地提高電池組的容量，同時最大限度地減輕容量的降低。確保高效率、安全地使用汽車電池組，是電池管理系統 (BMS) 的責任。

電池管理系統的任務，是仔細追蹤和控制每顆電池的充電狀態¹。電池管理系統的測量準確度至關重要，因為它決定了每顆電池能多麼靠近其可靠充電狀態範圍的邊緣工作。最大限度地提高可用容量的能力決定了所需的電池數量，而電池數量對成本和重量有很大的影響。準確地測量每顆電池的電壓相當困難，因為電池組中的電池易受高共模電壓和高頻雜訊的影響。為了解此點，讓我們思考以下事實：電動車/混合動力車的電池組通常電壓非常高，由 100 至 200 個串聯連接的電池組成。這類電池組必須提供可能超過 200A 的快速充電和放電電流，在電池組的頂端，電壓暫態有可能超過 100V。

對成本和可靠性的關注導致汽車電子產品向整合度更高、元件數更少的方向發展。在高度複雜的電池管理系統中，這種趨勢尤其明顯，在這類系統中，我們看到，諸如凌力爾特 LTC6802 這類電池監視 IC 已經出現。在新式電池管理系統中，這類高度整合的元件是關鍵的資料獲取元件，與之前的分立式解決方案相比，這類元件降低了成本、減少了所需佔用的空間和元件數。電池監視器的主要功能是，直接測量串聯連接電池的電壓，典型情況下每個 IC 監視 12 個通道。這類 IC 中還包括電池容量平衡控制和額外的測量輸入 (如用於溫度的輸入)。為了應對高壓電池組，這類元件一般設計為透過菊鏈式串列介面相互通訊。在電池管理系統中，有一個組成部分一般不可能成功整合到電池監視 IC 中，那就是嵌入式軟體。充電狀態演算法是受到嚴密保護的技術，是特定於化學組成、尺寸、外形、工作條件和應用的。就新式高壓、大功率電池組而言，現成的演算法不可能有用，嵌入式軟體使故障機制影響分析 (FMEA) 變得複雜了，在使用嵌入式軟體的情況下，系統設計師無法進行直接控制。圖 1 說明了由任意顆電池組成的電池模組的基本配置，其中電池組管理系統的演算法是軟體編碼的，並由開發商獨家控制。

¹ 充電狀態控制要求電池容量平衡。透過選擇性地為一些電池放電或移走電荷可實現電池容量平衡，從而使電池電壓保持匹配，並處於特定範圍之內。

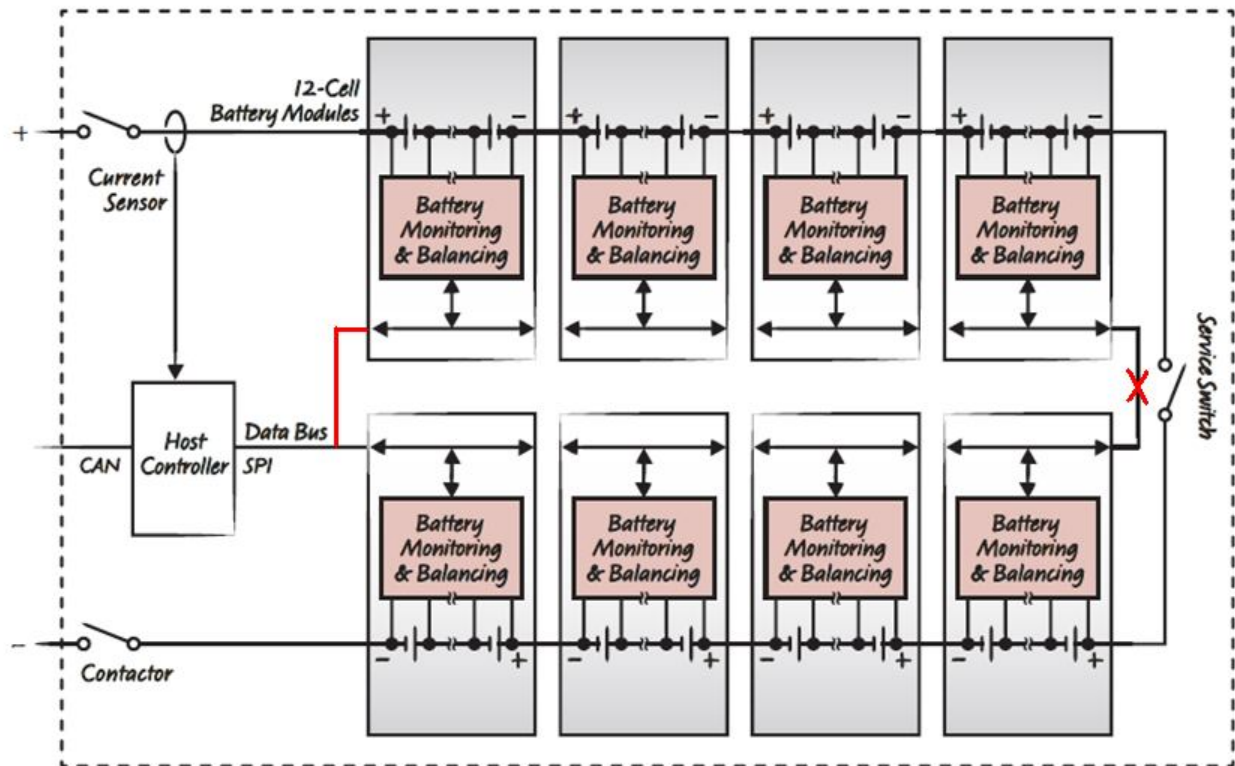


圖 1：由很多顆電池組成的電動車 / 混合動力車電池模組的基本架構

電池監視 IC 的一個關鍵考慮因素是，怎樣處理將遇到的汽車雜訊。例如，很多電池監視器使用快速 SAR 轉換器實現電池的數位化，在超過 100 個通道的資料獲取系統中，這似乎是有利的。然而，汽車環境是有雜訊的，需要進行大量的濾波，而且這種濾波決定有效吞吐量，而不是採樣率。由於這個原因，Delta Sigma ($\Delta\Sigma$) ADC 比 SAR 轉換器有優勢。就給定的 10kHz 雜訊抑制量而言，每秒 1000 次採樣的 Delta Sigma ($\Delta\Sigma$) ADC 提供的吞吐量與每秒 100 萬次採樣的 SAR ADC 提供的吞吐量相同。例如，LTC6802 採用一個每秒 1000 次採樣的 Delta Sigma ($\Delta\Sigma$) ADC，該 ADC 在 10ms 時間內可順序對 10 個輸入通道採樣。內建的線性相位數位濾波器對 10kHz 開關雜訊提供 36dB 的抑制。要在 10kHz 時獲得相同的雜訊抑制，每秒 100 萬次採樣的 SAR 轉換器在每顆電池上都需一個轉角頻率為 160Hz 的單極性 RC 濾波器 (參見圖 2)。RC 濾波器的 12 位穩定時間為 8.4ms，即使 SAR ADC 能在 10us 時間內順序對 10 個通道採樣，由於濾波器的響應，每 8.4 ms 超過 1 次的掃描也是沒有意義的。

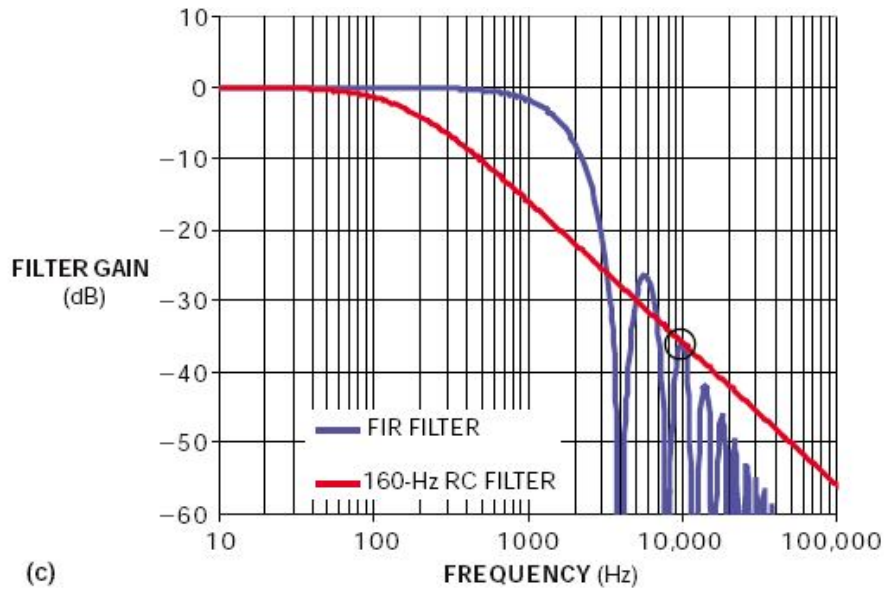
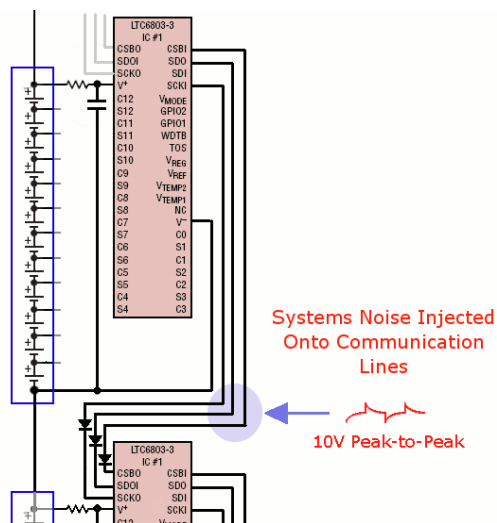


圖 2：轉換器和採用 RC 電路的 SAR 轉換器的比較
轉換器以最佳的濾波性能提供同樣的有效吞吐量

在一長串電池監視 IC 的情況下，串列介面也是一個重要的考慮因素，凌力爾特提供兩種截然不同的選擇。一種選擇（也是大多數電池監視 IC 所支援的）是菊鏈式介面。採用菊鏈式介面時，無需光耦合器或隔離器，鏈中每個 IC 就可與相鄰 IC 通訊，只留下底部的元件與單個微處理器或控制單元連接。此外，凌力爾特還提供第二種選擇，即採用單獨可定址的串列介面。採用這種介面，單個微控制器透過隔離與多個並聯元件通訊。這種架構提供本身更加可靠的“星形配置”，因為失去與一個元件的通訊不會隔斷與其他任何元件的通訊。可定址元件還可用在經過修改的菊鏈式架構中，在這種架構中，相對昂貴的隔離器已經成為過去，取而代之的是不那麼昂貴的“電晶體化” SPI 匯流排配置。結果是具有極寬相容範圍的串列介面。

經過兩年的生產並基於經過實踐檢驗的設計，凌力爾特推出了第二代元件。比較第一代和第二代元件，可以對未來高壓電池系統的發展方向有一些深入的瞭解。LTC6803 的主要目標之一是，即使在最極端的雜訊情況下，也能確保無誤差通訊。對所有命令和資料都進行包誤差檢測，以確保通訊完整性。LTC6803 系列繼續支援菊鏈式和單獨可定址串列通訊，同時 LTC6803 菊鏈能承受超過 20V 的 AC 雜訊和 30V 的快速開關尖峰，而不會產生誤差（圖 3）。



Noise Factor	Max Voltage with No Errors
Noise Voltage Between ICs	> 20V (10kHz)
Noise Edge Rate	> 30 V/us

圖 3：第二代菊鏈可抵抗強雜訊

LTC6803 擁有獨立的電源輸入，該輸入可斷開，且同時其他連接保持完好無損 (圖 4a)。在這種硬體停機情況下，LTC6803 僅汲取幾 nA 的電流。這對電池組的長期儲存很重要，因為整合式的電池管理系統消耗的電流有可能使電池組中的電池容量失衡。LTC6803 還可以用一個獨立的電源工作，從而允許從一個單獨的電源而不是電池組汲取電源電流，如圖 4b 所示。該元件還允許使用簡單的斷電功能。此外，採用單獨的電源時，即使所有電池的電壓都已急劇下降 (在使用超級電容和燃料電池時可能出現)，LTC6803 仍可繼續監視大量電池。圖 4c 說明了擁有獨立電源輸入的優點。

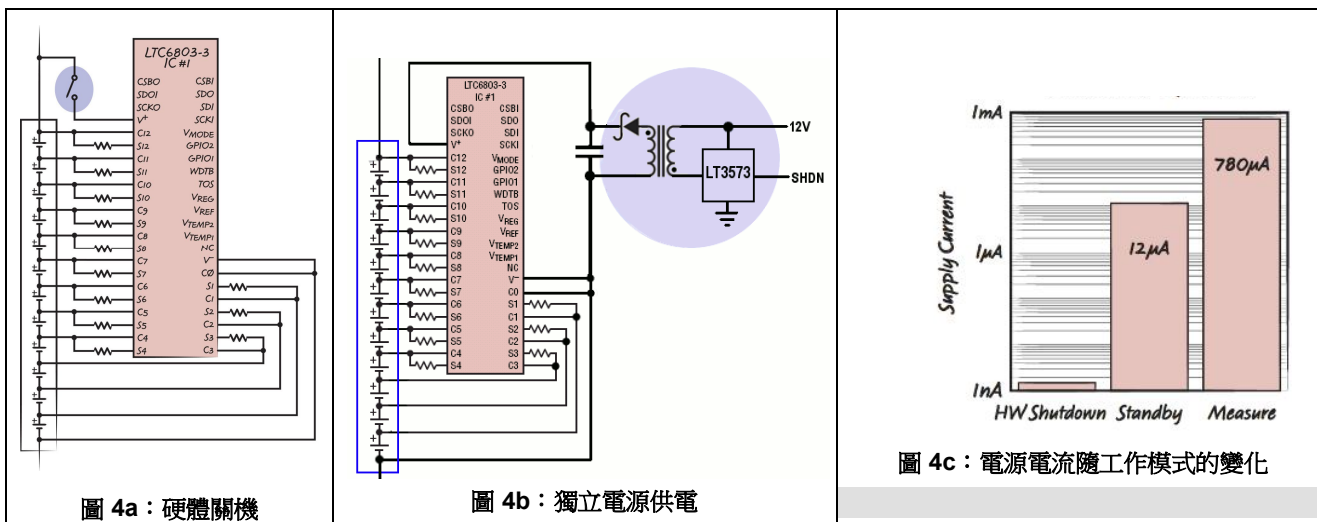


圖 4a：硬體關機

圖 4b：獨立電源供電

圖 4c：電源電流隨工作模式的變化

汽車中的電子產品日益增加，這促使產生了有關汽車電子產品品質和可靠性的新標準。因此，出現了諸如 AEC Q100、ISO 26262 等汽車電子產品標準。這些標準轉化成了廣泛的限定條件和內部功能，以確保滿足系統安全要求。例如，LTC6803 是與 ISO 26262 相容的系統。ISO 26262 是一個實用的安全標準，定義了汽車系統的安全要求，並對系統級設計問題產生影響，如冗餘度、網路配置、資料採集、感測器，等等。LTC6803 內置了導線開路檢測、數位濾波器檢查、多工器解碼器檢查功能以及看門狗計時器和一個備用電壓基準，以實現全面的自我測試能力。

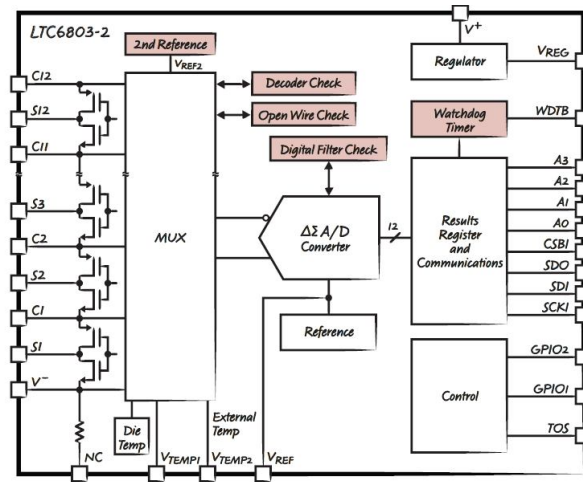


圖 5：LTC6803 的內部自我測試功能

LTC6803 中還包括很多其他方面的改良，以滿足標準汽車設計之外的需求。例如，LTC6803 提供擴展的 -300mV 至 5V 測量範圍，該範圍支援超級電容和鎳氫金屬電池。LTC6803 完全規格可在 -40°C 至 125°C 的溫度範圍內工作，LTC6803 還設計成能承受高達 75V 的電源電壓，以提供超過 20% 的過壓裕度。

汽車環境對電子產品而言非常嚴酷，然而汽車的日益電氣化也是不爭的事實。電動車和混合動力車中的鋰電池系統不久就將成為主流，而諸如 LTC6803 等尖端測量元件，是鋰電池系統取得成功的關鍵，這類元件不僅可用來實現準確測量，而且件必須能在非常嚴苛的條件下長期可靠工作。凌力爾特的 LTC6802 已透過已經上路的汽車，證明上述看法是正確的。