

# 設計準確且多功能的鋰離子 電池測試解決方案

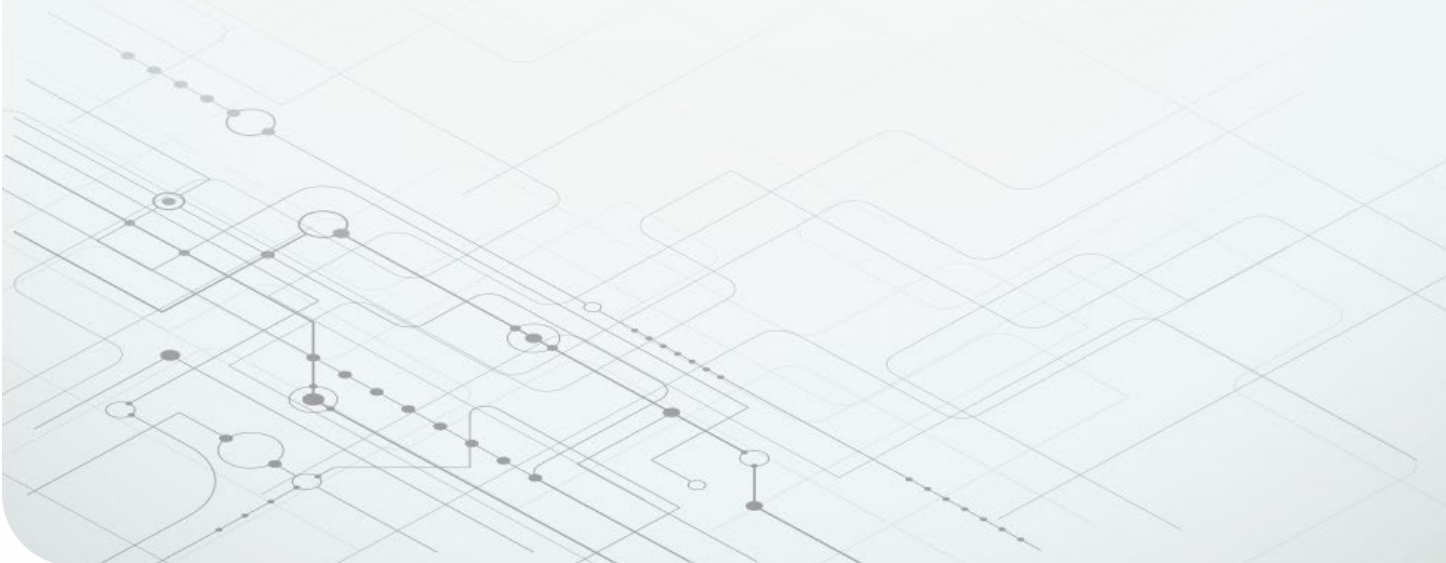


## Shaury Anand

測試與測量系統工程師  
德州儀器

## Taras Dudar

資料轉換器系統工程師  
德州儀器



在小型電子裝置和更大型的應用中都會採用鋰離子 (Li-ion) 電池，可想而知這類電池所涵蓋的尺寸、電壓和體積甚廣。然而這種廣度意味著電池製造商必須針對每種電池購買並維護測試解決方案，因此相關的資本投資也會大幅增加，進而直接佔了電池最終成本的 **20%** 之多。

顯然我們需要靈活的單一測試解決方案，並且可因應更廣泛的電池電壓、容量與實體尺寸。建立全方位多用途測試設備極具挑戰性，因為市場 (如圖 1 所示) 要求的是具成本效益的解決方案。

在這份文件中，我們會將焦點放在分離式解決方案的優點上，而非整合式解決方案，以滿足目前和未來的電池測試挑戰，且文中也包含高度靈活的電池測試設計範例。

### 電池測試挑戰

進行電池組裝程序後，會對每個鋰離子電池進行漸進充電；在此期間，鋰離子電池會生成固液界面膜 (SEI) 層，這對其長期功能而言至關重要。如果未能妥善控制此程序，電池可能損失高達 50% 的容量。因此，測試設備必須可精準控制 SEI 層的厚度，如此即可將損失的容量減少至低於 5%。

許多應用所使用的電池組都是以串聯與並聯設定連接多個電池芯，以達到更高的輸出電壓和更大的電量。專為電池組設計的測試電池芯提升了其本身的複雜度，因為電池組內的所有電池芯必須幾乎完全相同，這不只在於尺寸和容量相同，而且如阻抗和壽命等參數也需要完全相同。因為電池阻抗和容量存在固有的製程變異，使得測試成為關鍵所在，除

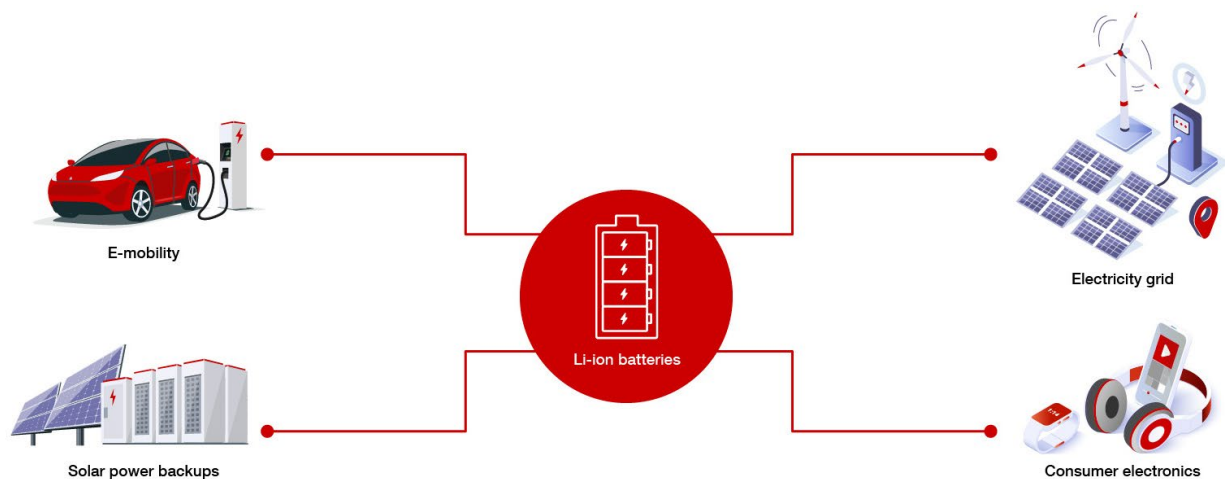


圖 1。鋰離子電池應用。

了需藉此排除不良電池之外，也需藉此挑出適用於電池組的相同電池。而由於所有品項皆為大量生產，所以總會發現極少比率的電池為不良電池。

有鑑於鋰電池具有可能爆炸的性質及其能源儲存密度，所以在測試環境中對其充電和放電時，皆需具有高度的操作安全性。因此，電池測試必須包含對各種不同系統故障的保護措施，藉此提高整體設備強固性和可靠性。

現今的測試設備是專為特定電池類型所設計。測試較大電池時需要較大量的電流，所以需要較大的矽片、電感、磁性元件、路由和更粗的線路。而較小型電池的電流需求要求則較低，所以生產這類電池的電池製造商一般使用的測試器，皆為特別針對較低電流位準最佳化，使得高電流電池測試器受到閒置。若測試器能測試大小不同的電池，將可減少這種冗餘情況，進而降低電池生產的整體成本。

為了達到最大的電池生產產量，並實現最高品質，電池製造商一直持續改善生成程序期間的充電和放電設定檔。此外，因為可使用測試設備開發新電池技術、嘗試新作法 and 取得競爭優勢，所以電池製造商都希望測試設備製造商能提供更多功能。

現在讓我們更進一步地瞭解為何針對此應用設計整合式解決方案，會是相當困難的工作。

### 整合式解決方案挑戰

電池測試器的需求相當獨特，而目前並不存在合適的技術節點，可讓設計人員滿足所有需求。若要在單一設計中結合速度、功率與精密度，則可能會犧牲其他特點，導致出現不夠快、不夠精密，或高電流傳輸效率受限等等問題。

就一方面而言，有部分需求著重於鋰離子電池的功率層面。因為電池的充電和放電需要傳輸高度能量，所以此程序的關鍵考量是效率。另一方面的需求則在於精密度層面。除了需轉換功率並將其傳送至電池和從電池傳出之外，這段程序也必須以極高的精密度進行。

從以前到現在，一直難以設計出能夠以高精密度提供高功率的單一產品。電源產品所使用的技術，著

重於實現低汲極至源極導通電阻和閘極電容，以利用低成本提供更大功率。精密產品所使用的技術則著重於實現低偏移和漂移，其方法為在製造程序中加入額外步驟，因此會提高積體電路 (IC) 成本。以精密技術設計電源產品可能適用於低功率位準，因為相較於電路的其他部分，其切換功率場效電晶體 (FET) 面積較小。不過對高於 1 A 的高電流應用而言，將功率 FET 與精密電路的其他部分整合至相同晶粒上並非最佳方法，因為相較於電路的其他部分，功率 FET 的尺寸較大。這時，離散 FET 甚或離散閘極驅動器 IC 就成為較符合邏輯的解決方案。

部分 IC 設計人員選擇將閘極驅動器和系統分離，但將其餘功能整合至單一晶片上。此方法能加速電池測試器設計週期，然而也會降低靈活性、縮減可能的應用、限制 IC 生產量，進而提高最終成本。

分離式解決方案設計可分別解決功率和精密挑戰。雖然電池測試並非極度高速的應用，不過分離式設計可在 1 ms 內切換不同電流位準以及充電和放電狀態，所以其迅速程度足以因應此應用。

### 設計高度靈活的解決方案

這個[適合 50-A、100-A 和 200-A 應用的模組化電池測試器參考設計](#)，使用多個獨立控制的低電流電池測試器通道，這些通道以並聯連接，以滿足不同程度的高電流電池測試器需求。此架構提供了模組化電池測試解決方案，讓您可透過單一設計，靈活地測試不同電流位準的電池。

此參考設計使用 [LM5170](#) 電流控制器，這是完整整合的電源解決方案，適用於雙向電源供應器。此雙相同步降壓/升壓控制器可調節在高電壓和低電壓電源供應器之間流動的平均電流。每個相位都使用獨立的電流迴路，可自動平衡相位之間的電流。此外，有鑑於汽車電池的電流規格可能提高，所以此參考設計可堆疊多個裝置，以達到大於 50 A 的電流。例如，若以並聯方式新增次要控制器，即可將設計從 50 A 擴充至 100 A，而若以八相位菊輪鍊配置連接四個 LM5170 裝置，還可進一步擴充設計，使其充電和放電電流能多達 200 A，且無需犧牲準確度。

LM5170 具有穩固的保護機制以確保高系統可靠性，如逐週期電流限制可防止發生過電流故障，而對高電壓側和低電壓側進行的過電壓偵測，則能確保輸入和輸出皆受到保護。

圖 2 為分離式解決方案的詳細方塊圖。若使用 **TLV2197-Q1** 等適合搭配精密多工器使用的運算放大器做為誤差放大器，即可使定電流和定電壓控制準確度達到 0.01% 以內。**INA188** 儀器放大器可感測輸出電流，而 **TLV07** 精密運算放大器則可感測輸出電壓。隨後會將電池電流和電壓與 **DAC80508** 數位類比轉換器所產生的精密參考電壓進行比較。定電流迴路會直接驅動 LM5170 控制器的電流設定命令接腳，而定電壓迴路放大器則為透過二極體連接。當輸出電壓超過充電模式的參考，或下降至低於放電模式的參考時，定電壓迴路即會減少電流設定命令，以取得控制。如此一來，即可順暢地從定電流模式轉換至定電壓模式，而這對於鋰離子電池而言相當重要。雙級控制 (搭配 LM5170 電流內迴路以及定電流和定電壓外迴路) 可簡化補償設計。透過簡單的 Type I 或 II 補償器，就能實現快速且穩定的暫態響應。

分離式定電流和定電壓迴路，讓您可分別將不同電流和電壓規格最佳化。例如，您可以使用可編程儀器放大器來設計高度靈活的系統，並以數位方式控制可編程增益放大器，以改變不同的輸出電流位準。

**ADS131M08** 24 位元 Delta-Sigma 同步取樣類比數位轉換器可感測輸出電壓和電流，並且連接至主機處理器。因此可以針對電壓和電流校準，開發簡單的軟體。

解決功率和準確度問題後，還剩下轉換速度的挑戰；當使用者嘗試從某一電流位準轉換至另一個電流位準時，或從充電模式切換至放電模式時，就會出現轉換速度的挑戰。使用兩個串接控制迴路有助於達到 1-ms 轉換時間的目標。電流內迴路是針對大於 10-kHz 的頻寬所設計，因此能確保在充電和放電狀態之間快速切換。若能將電流外迴路的頻寬維持為接近 1 kHz，即可確保具備轉換速度和精密度。下頁圖 3 展示了從放電狀態切換至充電狀態時，電流轉換時間小於 0.5 ms 的情況。

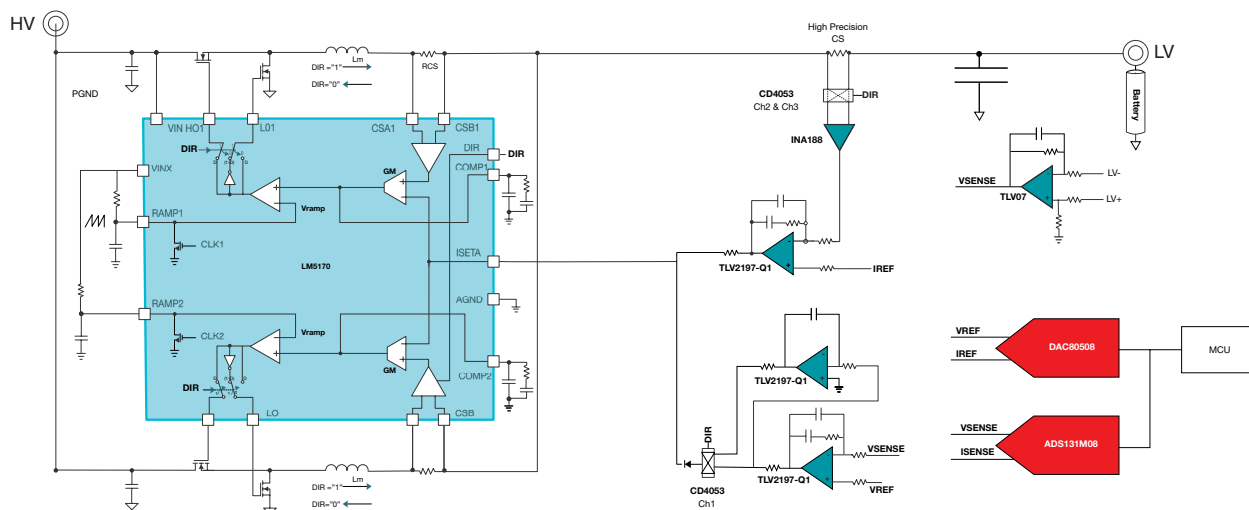


圖 2. 分離式解決方案方塊圖。

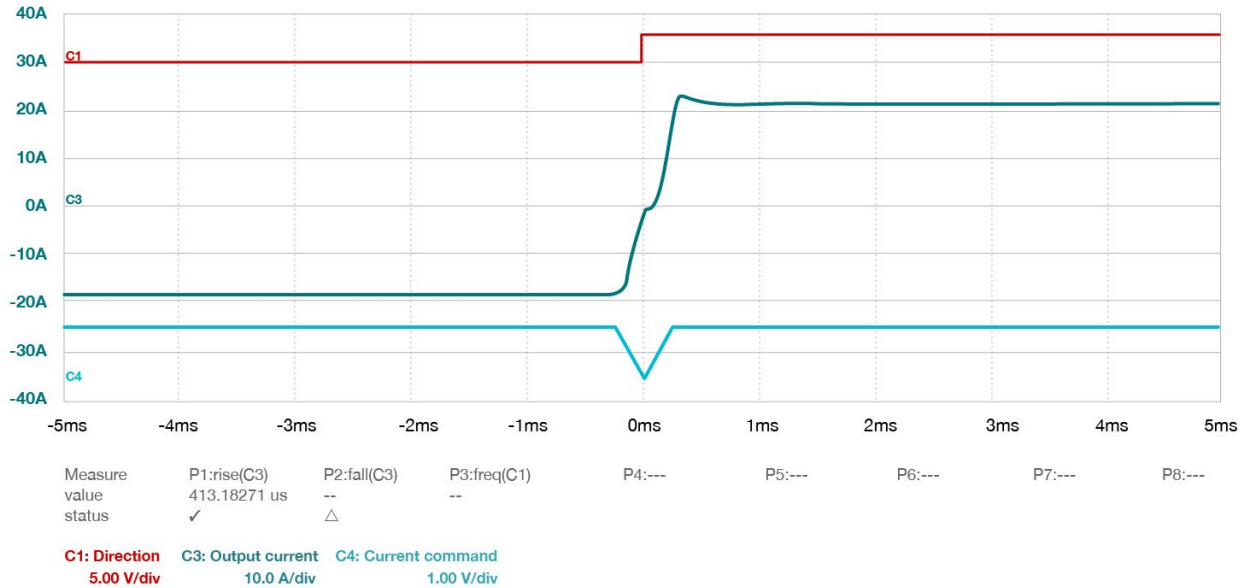


圖 3。從放電轉換至充電模式期間的電流波形。

## 不需妥協也可實現全方位且準確的測試

市面上各種鋰離子電池需要靈活、全方位且高度準確，又不會產生大電池、多相位和額外元件相關高昂成本的測試設備。

模組化電池測試器參考設計說明無需對電池測試設備投入鉅額資本投資，也可滿足高準確度、高電流、速度和靈活性的要求。現在您不需要為了不同

電流位準投資多種架構，而是可以測試各種電流，所以在測試低電流電池時，您的高電流設備再也不會受到閒置了。

此參考設計不但讓您可投資低電流電池測試設備，更讓您不需犧牲準確度，即可享有測試高電流應用的能力和靈活性。

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。

所有商標皆屬於其各自所有者之財產。

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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, 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 ([www.ti.com/legal/termsofsale.html](http://www.ti.com/legal/termsofsale.html)) or other applicable terms available either on [ti.com](http://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.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2020, Texas Instruments Incorporated