

## Technical Article

# 「重新定義電池準確度：Dynamic Z-Track™ 演算法如何預測不可預測的電池負載。」



隨著工業和個人電子產品加入更先進的技術，這些產品也造成電池負載越來越難以預測，因此需要更可靠且更智慧的電池電量計。無論是新興人工智慧 (AI) 強化型裝置，還是無人機、電動工具和機器人等成熟系統，電池都會經歷高度動態的負載輪廓。這些無法預測的負載為仰賴精準計量安全關閉系統或防止意外電壓不足的設計人員帶來挑戰。當無線電鑽意外關機時，可能只會使用戶感到沮喪，但無人機從天空墜落會帶來嚴重的安全風險。

## 電池電量計有什麼作用？

電池電量計使用電流和電壓量測來計算基本參數，例如充電狀態，健康狀態和剩餘容量。基於傳統 Impedance Track™ 技術的電池電量計假設電池負載變化緩慢，因此可在電池放電時進行準確的電阻量測，以計算高準確度的即時電池荷電狀態預測。將電池建模為低頻電阻電容器 (RC) 模型 (如 图 1 所示) 就足以應對這些緩慢變化的電池負載。但具有可變或高頻負載電流的較新應用，需要更全面的模型和適應性演算法，才能維持準確的電池荷電狀態評估。

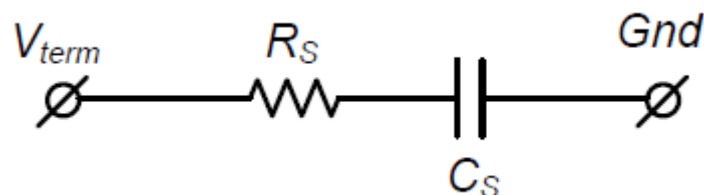


图 1. 低頻 RC 電池模型

動態 Z-Track 算法是為 BQ41Z90 和 BQ41Z50 等裝置設計的電池計量方法。作為傳統 Impedance Track 算法的後繼產品 (可在 BQ40Z50 和 BQ34Z100 等裝置中執行)，Dynamic Z-Track 算法可為動態負載電流條件下的電池提供準確的電池荷電狀態，健康狀態和剩餘容量評估。

當不穩定或高頻率負載影響電池時，Impedance Track 電量計傳統的電池 RC 模型會損失更新電池電阻的解析度。動態 Z-Track 演算法實現了一個寬頻暫態模型，模擬電壓暫態並適應動態電流曲線。即使電流不穩定，此方法也能進行即時電阻估計。

### 電阻為何重要？

追蹤電阻是在電池整個使用壽命期間提供最高準確度電池荷電狀態計算的必要條件。如 图 2 中所示，電池芯的電阻隨著電池的循環和老化而呈線性增加，直到達到某個轉折點，在此處電阻將在壽命結束時呈指數增加。電阻也會隨溫度劇烈波動。電池芯電阻和溫度呈反比關係，溫度越低，電阻越高；因此，電池芯在達到 0% 電池荷電狀態之前可提供的容量或能量就越低。

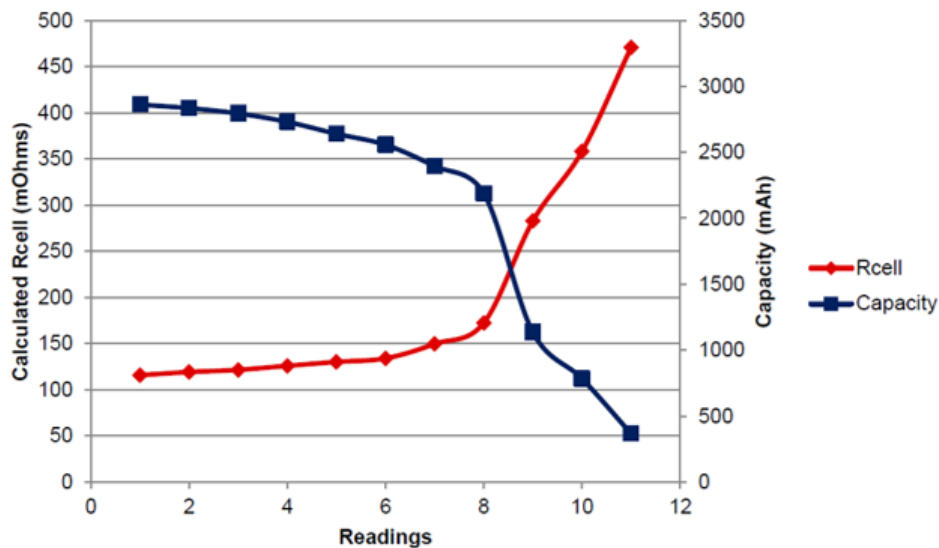


图 2. 鋰離子電池芯的電阻隨時間變化

當電池電量計無法更新電阻時，計算的電池荷電狀態誤差會隨電池老化而成比例增加。在不可預測和不穩定的負載下，如果沒有更新電阻值，電池荷電狀態和剩餘容量估計的誤差可能高達 60%，或低至 10%。當充電狀態突然下降時，最終用戶會遇到這種情況，設備可能會因容量過高而意外關機，如 图 3 所示。

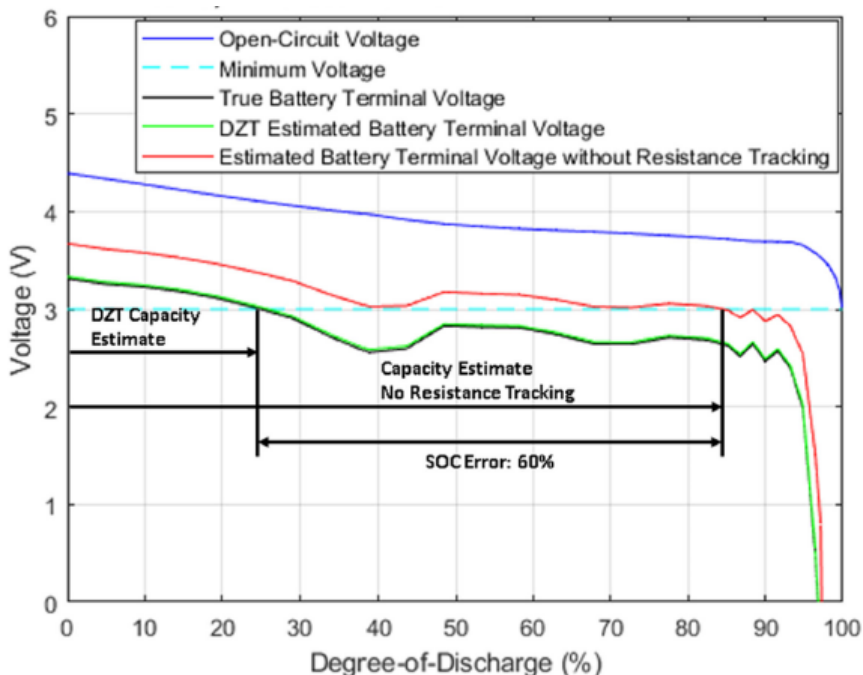


图 3. 剩餘容量估計比較：Impedance Track 技術與動態 Z-Track 技術，對比在 1.75C 負載時無電阻更新

### 使用案例範例

想像一下一個人正在騎著電動自行車回家。他們會檢查充電狀態，看到剩餘 30% 的電量，並決定在回家前繞道前往雜貨店。當他們到達商店時，充電狀態顯示剩餘 15%，但回家的路上，電動自行車突然停止供電，因為充電狀態從 12% 降至 0%。現在，騎車者必須踩踏踏板回家或是叫車回家。

動態 Z-Track 算法可防止出現這種情況。與傳統電池電量計不同，TI 的動態 Z-Track 技術即使在不可預測的負載下也能提供高達 99% 的電池荷電狀態準確度，讓製造商能夠實現最佳電池尺寸，並將電池運作時間延長多達 30%。這最終可在無人機、電動自行車、筆記型電腦以及可攜式醫療儀器等高要求應用中，為終端使用者提供更可靠的效能。

### 結論

雖然不可預測的電池負載帶來重大的設計挑戰，但它們不應決定系統可靠性或終端使用者體驗的限制。動態 Z-Track 演算法等工具有助於實現電池供電裝置順利運作的設計，進而在無人機完成飛行時不會遭遇意外著陸，電動自行車也能讓騎手順利回家。

### 其他資源

如需 Impedance Track 技術與動態 Z-Track 技術運作方式的詳細資訊，請參閱應用說明：

- [Dynamic Z-Track™ 技術：適合動態負載應用的進階電池計量演算法。](#)
- [BQ2750x 系列中阻抗追蹤電池電量計量演算法的理論與實作。](#)

### 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 © 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](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 © 2025, Texas Instruments Incorporated