技術白皮書

利用新型 USB-C 二合一型降壓-升壓電池充電 IC 優化行動電腦系統性能

Zhigang Liang, 瑞薩電子公司電池及光學解決方案部門技術行銷經理
Ashwini Ravindran, 瑞薩電子公司電池及光學解決方案部門資深應用工程師
Sungkeun Lim, 瑞薩電子公司電池及光學解決方案部門應用工程經理
Starry Tsai, 瑞薩電子公司電池及光學解決方案部門資深產品行銷經理
2018 年 10 月

摘要

藉由加入 USB-C 埠來優化行動電腦系統的做法，近來越來越受到關注。透過 USB-C 為行動電腦裝置的電池充電，已成為一種新趨勢。為了進一步說明此類 USB-C 埠的使用普及化情形，本文將先介紹傳統 USB-C 窄電壓直流（Narrow Voltage DC，NVDC）降壓-升壓充電 IC 拓撲，並簡述其優缺點；接著再討論瑞薩所開發的二合一式電池充電 IC 解決方案，該解決方案能夠在 NVDC 以及新的 HPBB（Hybrid Power Buck-Boost，混合電源式降壓-升壓）模式下動作。

簡介

USB-C 介面正在革命性地改變我們為電子設備充電的方式，特別是在行動電腦設備上。傳統的行動電腦設備，如膝上型或筆記型電腦等，上面都有一專用且通常是廠商所專有的電源轉換器插頭座。當電源轉換器插入此專用插頭座時，電池充電 IC 除了進行系統電源的供應控制外，還將負責為電池的充電。

但近來，一些行動電腦裝置製造商已經開始在其產品上加入 USB 埠，以支援新出現的 USB Type-C（USB-C）或 USB Power Delivery（USB PD）協定。USB-C 可支援在位準上比先前版本的 5V USB 埠高出很多的雙向電源流，其初始電壓從 5V 開始，但 USB-C 埠控制器能與插入的

設備相互協商，從而將埠上的電壓升高到 12V、20V、或雙方所同意的其它電壓，並提供雙方同意的電流位準。此 USB-C 埠可提供的最大電力為 20V 的 5A 電流，相當於是 100W 的功率，即使對於電腦的充電來說都是綽綽有餘。因此，比起傳統上使用單獨且廠商專有的電源轉換器插頭座的方式，透過 USB-C 埠來對行動電腦設備充電的做法，目前相對地越來越流行。

USB-C 降壓-升壓 NVDC 充電 IC 拓撲

前述的新 USB-C 協定，為電池充電系統定義了更寬廣的輸入電壓（Vin）範圍，該電壓可低於或高於電池組電壓和系統匯流排電壓。因此，降壓-升壓轉換器便成為其最合適的選擇。圖 1 所示，為一傳統的 NVDC 四開關降壓-升壓充電拓撲的簡化圖。此 NVDC 充電 IC 是由四個內含於降壓-升壓轉換器的開關 FET，以及一個位於電池和系統電壓匯流排 Vsys 之間的 BFET 所組成。降壓-升壓轉換器的輸入可以來自廠商專有的 AC/DC 插壁式電源轉換器，或是來自 USB-C 埠。

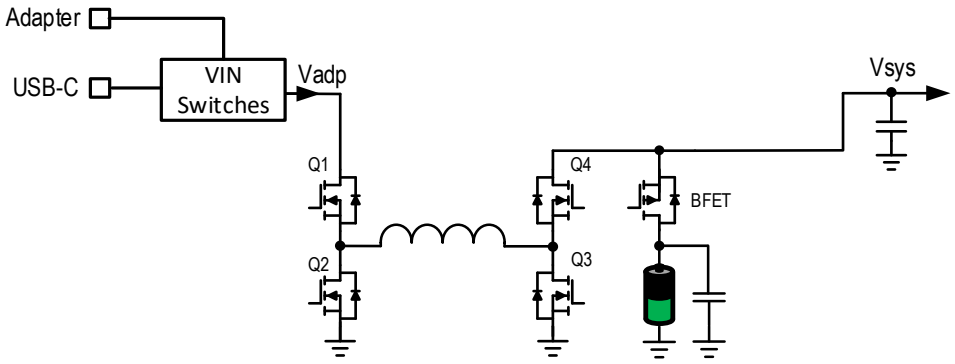

圖 1. USB-C 的傳統 NVDC 降壓-升壓充電 IC 拓撲

圖 2 所示，是當輸入電源存在時的電源路徑。此模式中有以下三種動作情境。

i. 當電池充飽電時，降壓-升壓充電 IC 會關閉 BFET。在此情況下，降壓-升壓充電 IC 會將 Vsys 調整到所需電壓，並提供輸出電力給系統。

ii. 當電池未充飽電，而降壓-升壓充電 IC 正在為電池充電時，BFET 會導通。在慢充（trickle charging）模式中，BFET 會在飽和區中工作，其行為特性就類似於一線性穩壓器（LDO），而 Vsys 則會被調整到目標電壓。如果充電 IC 處於 CC 或 CV 模式且 BFET 完全導通，則 Vsys 會等於 Vbat（假設 BFET 上未存在壓降），而輸入電力=系統電力+電池充電電力（假設輸入電力 > 系統電力）。

iii. 無論電池是否處於充電狀態，一旦系統電力 > 輸入電力時，Vsys 便會下降。一般來說，如果 Vsys < Vbat - Vdrop（Vdrop 代表本體二極體的壓降，其典型值為 0.7V），BFET 中的本體（body）二極體便會導通。或者，BFET 也可藉由較複雜的控制而更快速地導通，以便”趕上”並供應 Vsys。但不論是上述的哪一情況下，電池都將開始放電，且電池電力會與輸入電力合併，以提供系統所需的電源。

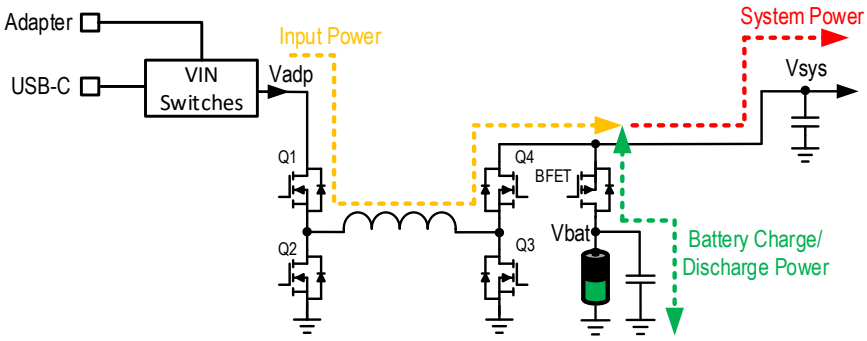

圖 2. 輸入電源存在時的 NVDC 降壓-升壓充電 IC 的電源路徑

圖 3 為只有電池存在的模式下，電源路徑的狀況。比起前一模式，此模式相對較簡單，因為電池隨時都在 BFET 強制導通的情況下為系統供電。在此模式下，Vsys 等於 Vbat。

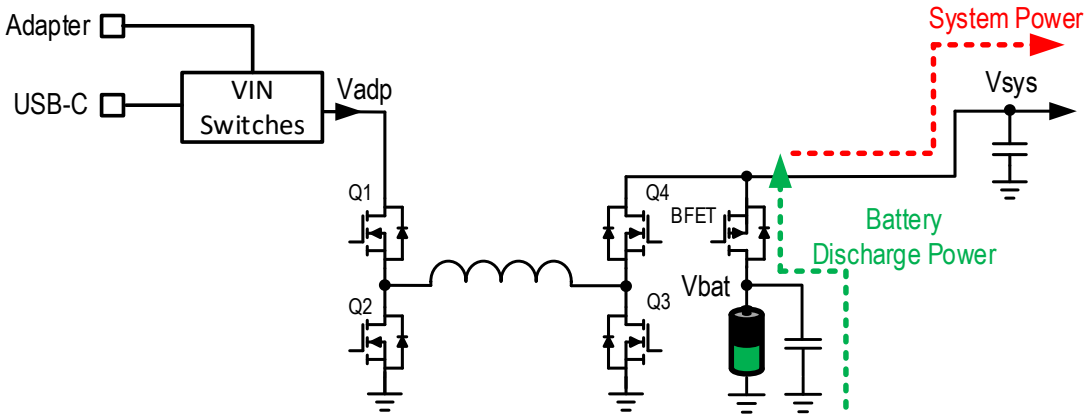

圖 3. 只有電池存在的模式下的 NVDC 降壓-升壓充電 IC 電源路徑

NVDC 配置的典型特徵之一，是所有電力都會流過降壓-升壓充電 IC，並由其加以處理。由於 MOSFET 的開關和導通損耗、電感芯損耗、以及銅箔損耗等原因，因此不可避免地會導致電力的

損耗。其功率電感需要使用正確的規格，以便處理整個系統的電力，以及充電電力，因此會需要較大的電感。因此，NVDC 配置較適用於低電力的系統，如 60W 或更低的功率。NVDC 配置的優點之一，是其簡單的控制結構。當系統進入渦輪（Turbo）模式時，由於系統電力會高於電源轉換器電力，因此充電 IC 除了處理電源轉換器的電流控制外，不須控制任何其它功能。電池會透過 BFET 自然地進行電流放電，以自動支援系統。

瑞薩新型混合電源式降壓 - 升壓（HPBB）配置

圖 4 所示，為新型的 HPBB 電池充電 IC 配置。 在此模式下，輸入電力會通過旁路（Bypass）FET，而非降壓-升壓充電 IC。 因此，與 NVDC 模式相比，電力損耗可大幅降低。由於降壓 - 升壓充電 IC 僅負責處理電池充/放電，在此配置中不需要用到較大的電感。

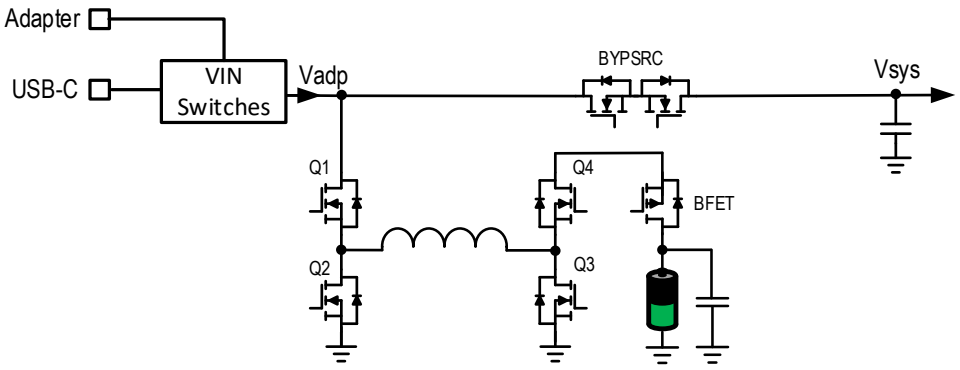

***圖 4.** 瑞薩 HPBB 降壓-升壓充電 IC 的配置*

當輸入電力存在時，此模式有兩種動作情境：

i. 輸入電力>系統電力：如果符合此條件，降壓-升壓電池充電 IC 將不會供電給系統。如果此時電池組已充滿電或者正在充電時，則降壓-升壓充電 IC 將處於待機模式。圖 5 為 HPBB 模式在此情境下的電源路徑。

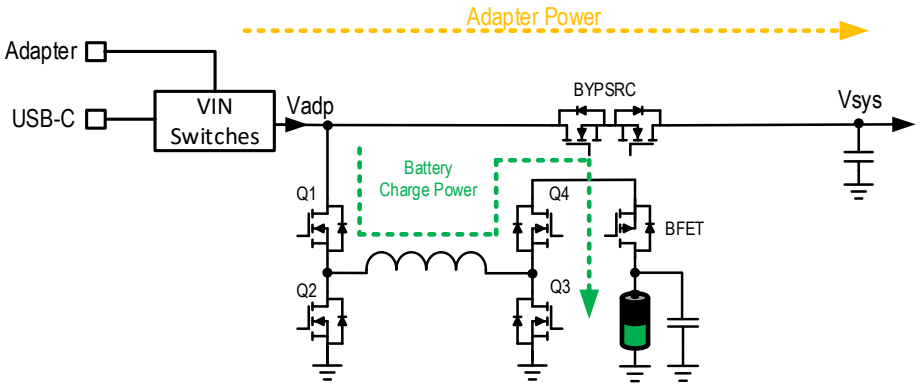

圖 5. 瑞薩 HPBB 降壓-升壓充電 IC 的配置

ii. 輸入電力<系統電力：在此情況下，電池需要放電，而降壓-升壓充電此時是以反向模式動作，以便將能量從電池泵送到 Vadp 端。也就是說，由電池電力與輸入電力的結合，來支援系統的電源。此模式也稱為“反向渦輪升壓”模式。圖 6 為 HPBB 模式在此情境下的電源路徑。

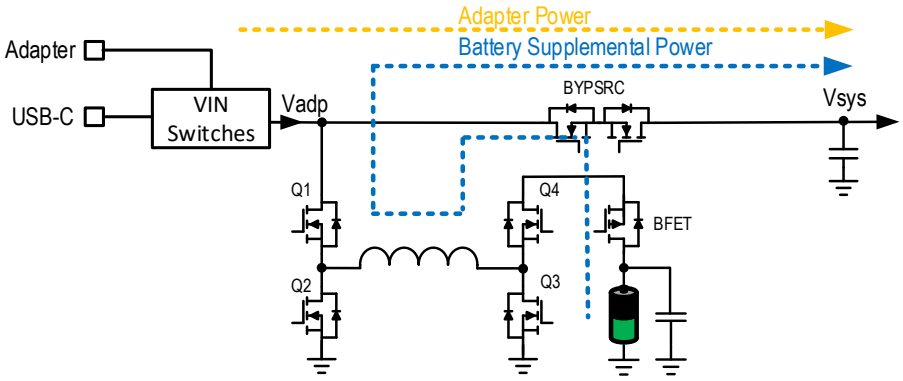

圖 6. “反向渦輪升壓”模式下的瑞薩 HPBB 降壓-升壓充電 IC

瑞薩推出二合一式「降壓-升壓電池充電 IC：ISL9241」

ISL9241 是瑞薩最新推出的降壓-升壓充電 IC 產品，它也是業界唯一同時支援 NVDC 和 HPBB 配置的 USB-C 降壓-升壓充電 IC。

在 NVDC 模式下，ISL9241 能自動選擇電源轉換器和/或電池，來做為系統電力的來源。ISL9241 的 NVDC 模式動作可導通 BGATE FET 來支援渦輪模式，以便將電源轉換器的電流限制在設定範圍內，並由電池提供系統所需的其餘電力。

在 HPBB 模式下，ISL9241 可支援旁路、旁路+充電、以及反向渦輪升壓模式等。

藉由支援 HPBB 和 NVDC 兩種配置，ISL9241 為客戶的設計提供了額外的靈活性，以及優化的系統性能。當需要使用不同的電源（如 AC / DC 電源轉換器或 USB-PD 埠的輸入）時，這兩種模式可由 EC（嵌入式系統控制器）中的韌體來加以重新配置。

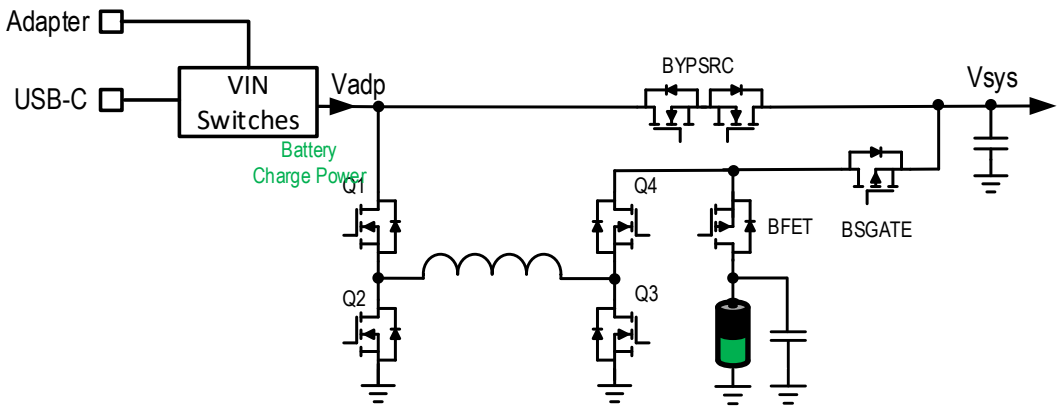

圖 7. 支援 NVDC 和 HPBB 配置的 ISL9241 二合一降壓-升壓充電 IC

為提高效率以及優化 BOM 成本，ISL9241 僅使用了 NFET 來提供充電功能、系統匯流排整流、和保護等功能。它採用了先進的瑞薩 R3™技術，以提供高效率的輕負載充電模式。ISL9241 的補償可重新配置性，讓設計人員得以針對多種電力位準的優化，使用較小的電感並得到較高的效率。

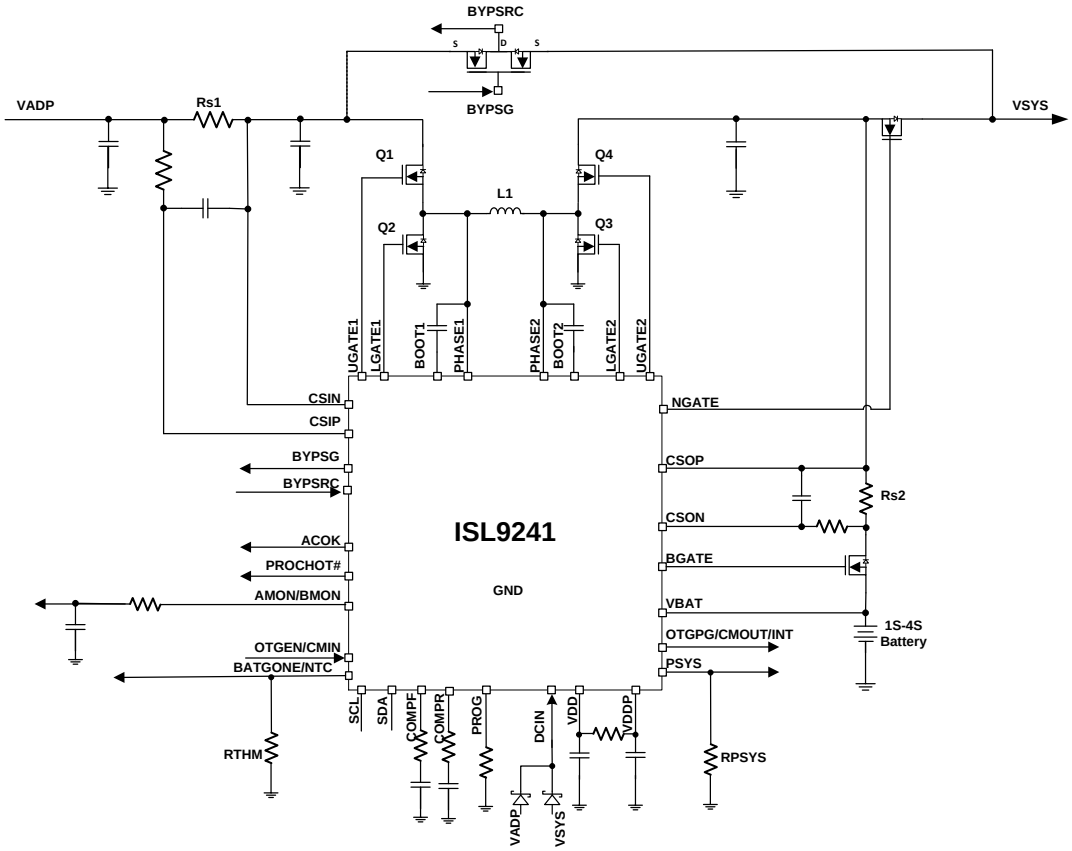

圖 8. ISL9241 二合一型降壓-升壓充電 IC 的典型應用電路

ISL9241 可從各種的直流電源（傳統電源轉換器、旅行電源轉換器、USB C 型電源埠等）取得輸入電源，並安全地為具有多達 4 串鋰電池的電池組進行充電。ISL9241 還能支援具有自動 EOC（充電結束）功能的自動充電。HPBB 的旁路模式是透過控制器的韌體來實現，以便讓電源轉換器能直接供電給系統。

ISL9241 能從具有 2 至 4 串電池的電池組，支援電源轉換器埠（OTG 模式）的反向降壓、升壓、或降壓-升壓動作，以便為可編程電源供應（PPS）埠實現可支援 USB-C 供電（PD）輸出的配置。ISL9241 可單靠一電池、或一電源轉換器、或兩者同時的供電來動作。系統電源可來自電源轉換器、電池、或兩者的合併。針對符合 Intel IMVP 標準的系統，ISL9241 內建的 System Power（PSYS，系統電源）監視功能，能提供一個代表整體平台電源狀態的類比信號。此 PSYS 的輸出可連接到各種 IMVP 核心穩壓器，以提供符合 IMVP 標準的電源域功能。ISL9241 還具有一處理器發熱（Process-Hot，PROCHOT＃）監視器，並支援輔助模式，以便將電池電壓保持在規定的最小電壓位準以上，來符合 Intel 的 Vmin 自適應保護（Vmin Adaptive Protection，VAP）

要求。 ISL9241 採用了 SMBus/I²C 串列通信，以允許各關鍵參數的編程設定，實現客制化的解決方案。

ISL9241 會持續性地監視其本身的動作，並透過中斷來傳遞其故障/警告狀態。ISL9241 內建的 8 位元 ADC，可實現重要系統參數的遙測，例如溫度（PCB 和接面）、電源轉換器的電流/電壓、電池充/放電電流、以及系統匯流排電壓等。

ISL9241 的可重新配置充電架構，讓使用者能靈活地將充電 IC 用於多埠配置中，以滿足系統的設計需求。其多埠 USB-C 支援，則讓使用者能構建出多埠 USB-C 系統，並仍然 100%符合 USB-PD 3.0 標準。

ISL9241 的輸入電壓範圍為 3.9V~23.4V，輸出電壓則為適用於 2 至 4 串電池組的 3.9V~18.304V；最高 20 V On-The-Go；並可在不需與嵌入式控制器通信的情況下，啟用自動充電和充電結束。其自動感測功能，能讓設備在電池將耗盡時，進入慢充模式；它具有兩個位準的電源轉換電流限制的設定；而電池學習模式則能校準電池電量計。該元件的 SMBus 或 I2C 埠可編程設定功能，為用戶提供了設計上的靈活性。

瑞薩所提供的設計工具

評估板/使用者手冊

瑞薩為 ISL9241 提供了一評估板和詳細的使用者手冊，供客戶進行測試與評估，評估板的照片如圖 9 所示。

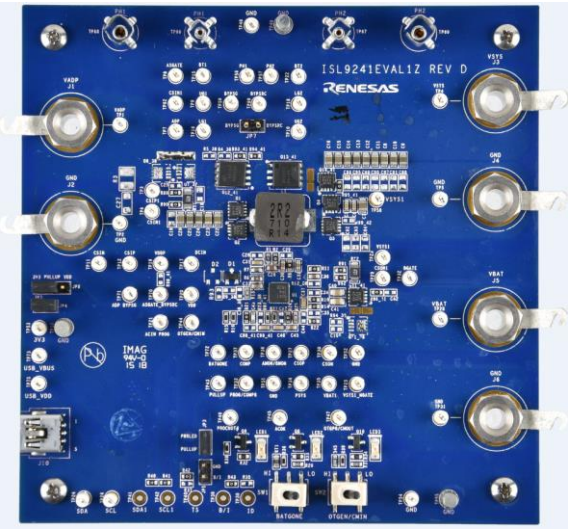

圖 9. ISL9241 的評估板

ISL9241 GUI

瑞薩所提供的 ISL9241 GUI 軟體，可協助設計人員加速電池充電器的設計、測試、定案、及除錯。它能連接到開發板，以設定各種可調的系統參數和閾值。圖 10 為 ISL9241 GUI 軟體視窗的範例。

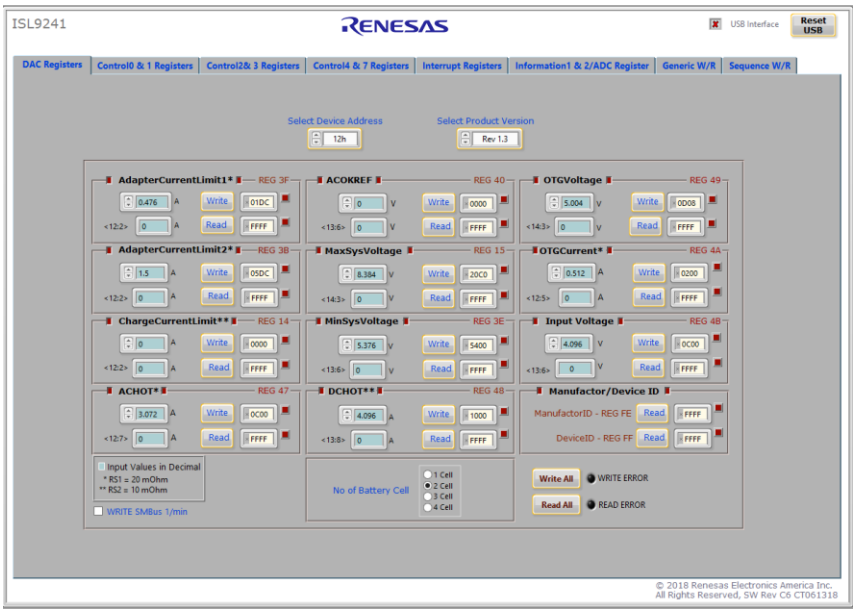

圖 10. ISL9241 GUI 的畫面

其他資源

有關瑞薩為電池充電 IC 設計所提供的其它線上資源，請參考以下網址：
https://www.renesas.com/us/en/products/power-management/battery-management-systems/multiple-cell-battery-chargers.html

結論

本白皮書概述了目前在筆記型電腦這類消費型行動電腦設備中，電池充電的拓撲和動作原理。對於行動設備的電源管理來說，電池充電 IC 是一關鍵組件，它不僅可為電池組充電，還負責管理從電源轉換器一路到運算設備的整個電源流。運算系統中的電池充電 IC，需要能與其它的系統管理組件無縫地配合工作（例如嵌入式控制器），以便有效地支援系統電力的需求。ISL9241 透過其 NVDC 和 HPBB 兩種配置選擇，提供了較大的靈活性，以利設計人員優化電池充電器的設計。ISL9241 的暫存器表與瑞薩其它既有的充電 IC 產品（如 ISL9238）能高度地相容，因此，當設計人員要將使用其它瑞薩充電 IC 產品所設計的電池充電器，升級改用 ISL9241 時，其開發工作量得以大幅降低。此外，用於 NVDC 模式的嵌入式控制器韌體，僅需要進行少量的修改，便可讓 ISL9241 能夠動作於 HPBB 模式，從而減少了在各類不同運算平台上使用 ISL9241 時的開發和認證工作負擔。

©2018 瑞薩電子美國公司（REA）。版權所有。所有商標均為其各自所有者的財產。REA 相信此處的資訊在提供時是正確的，但不承擔其品質或使用上的風險。所有資訊均以其原始狀態提供，且無任何明示、暗示、法定、或由交易、使用、或貿易慣例所產生的保證，包括但不限於適銷性、特定用途適用性、或不侵權。REA 不對因使用或依賴此處資訊而導致的任何直接、間接、特殊、後果性、偶發性、或其他損害承擔責任，即使已被告知可能發生此類損害。REA 保留權利在不另行通知的情況下，停止產品或更改其產品的設計或規格或此處的其它資訊。所有內容均受美國和國際版權法保護。除非此處特別許可，未經瑞薩電子美國公司事先書面許可，不得以任何形式或透過任何方式複製本文中的任何部分。訪客或使用者不得針對此處的任何內容，進行修改、散佈、發行、傳送、或創建衍生產品，用於任何公共或商業目的。