

## 開關模式鋰離子電池充電 IC

### 摘要

高耗電的可攜式產品如智慧手機、平板電腦等應用對大容量鋰離子電池的採用和縮短充電時間的需求是開關模式鋰離子電池充電 IC 流行的第一推力，而不同的應用和需要也對這樣的產品提出了不同的規格要求，這就催生了一代又一代產品的不斷更新，使用方法也越趨複雜。本文針對不同的方面對開關模式充電 IC 及其應用問題進行討論，並介紹幾種具體的器件和它們的開發環境供讀者參考。

### 目錄

1. 概述 .....	2
2. 鋰離子電池的充電策略 .....	2
3. 對鋰離子電池進行快充面臨的挑戰 .....	3
4. 開關模式充電器件的應用和它們的特殊功能 .....	4
平均輸入電流調整(AICR) .....	4
最低輸入電壓調整(MIVR) .....	4
通過 D+ 和 D- 對 USB 充電埠進行檢測.....	5
IR 補償功能 .....	5
在不同的溫度下對電池進行充電 .....	6
自動電源路徑管理 .....	7
USB On-The-Go (OTG)功能.....	9
用高輸入電壓進行充電 .....	10
5. 開關模式充電 IC 實例 .....	10
RT9458.....	12
RT9460.....	14
RT9466.....	15
6. 總結 .....	21

## 1. 概述

對於現今的智慧手機、平板電腦、移動銷售終端等可攜式設備來說，電池使用時間和充電時間都成了問題，主要是因為越來越強大的處理器對電源的消耗也越來越大了，電池的容量必須不斷增長以滿足使用時長的需求。要對大容量的電池進行充電，延長充電時間或加大充電電流以縮短充電時間就成了必然的選擇，而為了使用上的便利性，選擇加大充電電流必然成為最後的唯一選項。

要用大電流對電池進行充電，傳統的線性充電器件受到諸多限制，以開關模式工作的充電器件走上前臺成為大多數情況下的必然之選。本文針對開關模式充電器件在單節鋰離子電池充電應用中的問題進行解釋，同時根據幾種不同的需求介紹三款不同型號的立錡器件：RT9458(1.55A)，RT9460(3A)，RT9466(5A)。

## 2. 鋰離子電池的充電策略

對鋰離子電池的充電是需要特別小心的，因為錯誤的充電方法可以縮短電池壽命、對電池造成傷害，甚至可能造成安全問題。下圖顯示的是最典型的鋰離子電池充電策略：

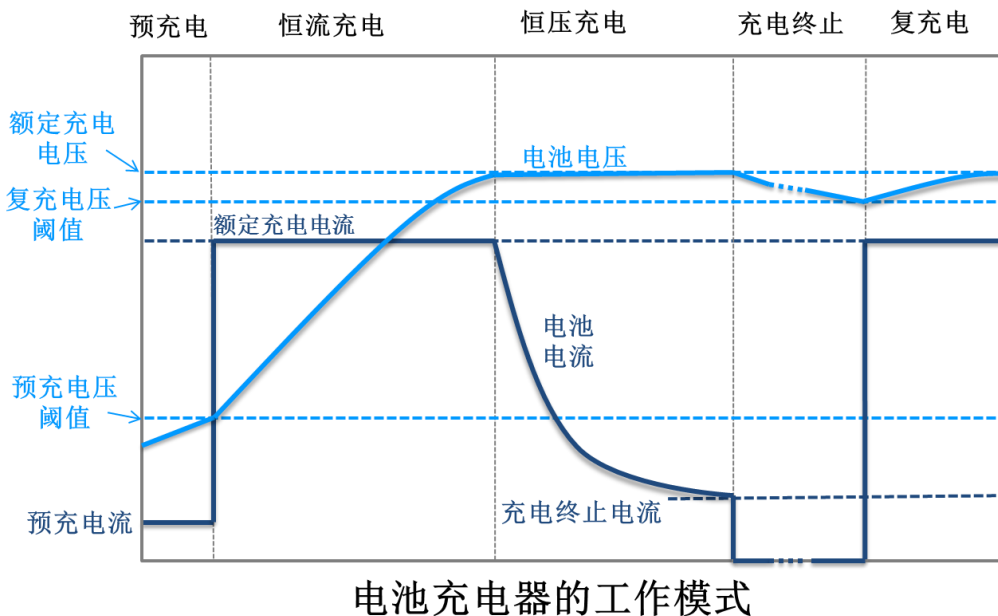


圖 1

深度放電的鋰離子電池在充電初期需要一個預充過程，這時候的電池電壓低於某個閾值，充電電流必須很小，這樣可以使電池進入可以接受大電流充電的狀態。預充過程還有解除電池保護電路的欠壓保護狀態的作用。在正常的使用狀態下，預充過程通常不會發生，因為大多數應用都不會容許進入電池的深度放電狀態。

當電池電壓超過預充閾值以後，充電過程就可以進入快充狀態。在這種模式下，充電器件按照預先定義好的恒定電流（CC, Constant Current）為電池提供電流，其資料通常是與電池的容量相關的。大多數應用的快充電流介於  $0.5C \sim 1C$  之間（ $C$  是電池的容量，其單位一般為 Ah 或 mAh），較低內阻的電池可以使用較高的充電速率，這個規則反過來也是成立的。大電流的鋰聚合物電池具有特別的構造，它們可以接受比較高的充電速率（如  $2C \sim 4C$ ）。

當電池電壓達到電池額定電壓的時候，充電器就要從恒流(CC)模式切入恒壓(CV, Constant Voltage)模式，充電電流也會逐漸下降。對充電器的恒壓模式輸出電壓需要進行精確的控制以避免對電池的過充和可能導致的危險，這個值通常介於 4.15V~4.4V 之間。對於大多數鋰離子電池來說，所謂的充滿是指電池的電壓達到了它的額定電壓，而且充電的電流也降到額定充電電流的5%以下了。一旦如此，充電過程就要被終止。對充滿以後的鋰離子電池進行持續的涓流充電是不被推薦的，那將導致電池壽命的縮減。假如電池電壓在充電終止以後又下降到了某個閾值（通常在 3.9V~4.0V 之間），大多數充電器件會重啟充電過程。

從上述內容可以看出，鋰離子電池充電器件需要具有精確的電池電壓檢測能力和對輸出電壓、輸出電流分別進行控制以實現恒流輸出、恒壓輸出的能力。當把開關模式的充電器件用於這樣的應用中時，由於應用場合的多樣性，它的很多參數應當是可調的，而最好用的控制參數的傳送介面通常是 I<sup>2</sup>C 介面。

### 3. 對鋰離子電池進行快充面臨的挑戰

在對鋰離子電池進行快速充電的實踐中，有許多實際的因素對理想充電條件的達成構成了限制條件，圖 2 對此進行了表達。

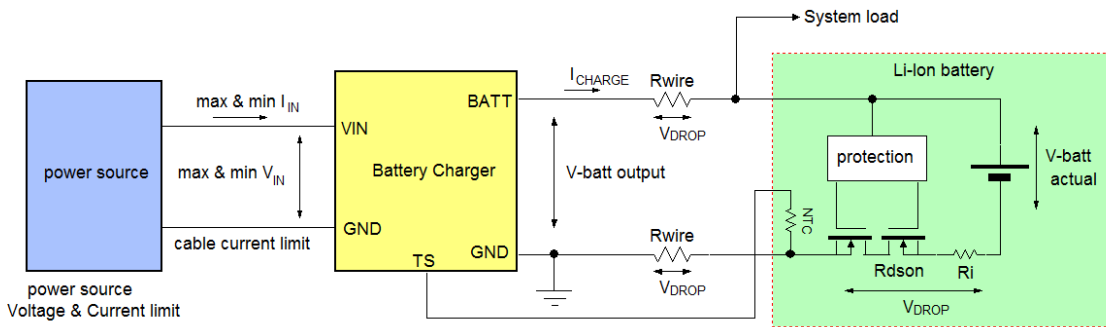


圖 2

- 電源供應器可能提供不了足夠的電流和電壓以滿足快速充電的需求，這種狀況在從 USB 埠取電時尤其突出，因為它們具有嚴格的輸出電流限制。
- 充電電流變大以後，充電器件和電池連接線路上的電阻（包括 PCB 線路電阻、連接器電阻、保護用 MOSFET 的導通電阻和電池內阻等）上的電壓降都會變大，這將導致檢測到的電池電壓和實際的電池電壓之間的差異。
- 快充會導致電池溫升的提高，因此大部分充電器件都會對電池溫度進行檢測，並在溫度太高時降低充電電流和/或電壓以避免過熱狀況的發生。
- 當系統功率消耗與電池充電功率的和超過電源供應器的最大供應能力時，系統消耗的增加就意味著電池充電電流的減少。

## 4. 開關模式充電器件的應用和它們的特殊功能

圖 3 顯示了開關模式充電器件的典型應用狀況：

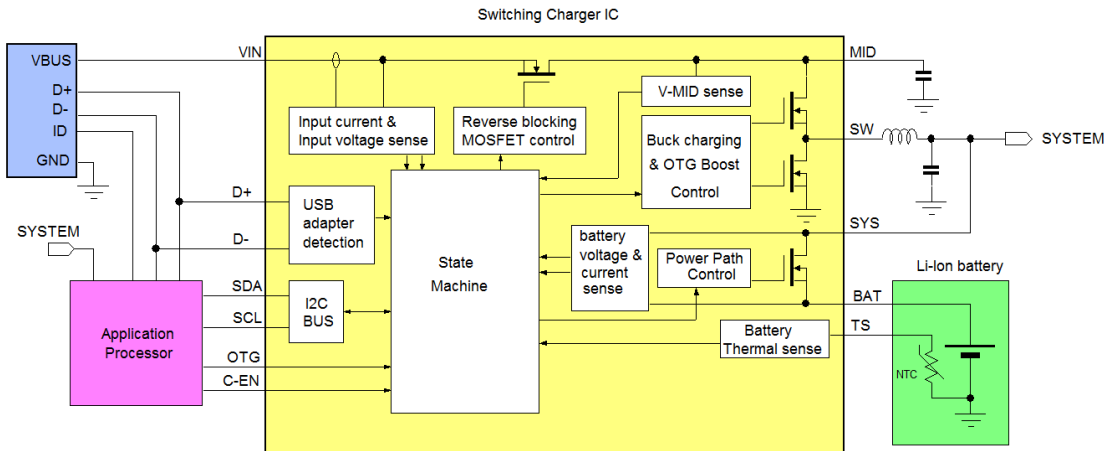


圖 3

在實際應用中，充電 IC 的電源供應常常來源於 USB 埠，而開關模式充電器件實際上就是基本的 Buck 架構轉換器再加上輸出電壓和輸出電流的控制回路而形成的，其作用是將 VBUS 電壓轉換為適合系統供電用的電壓，同時為電池進行充電。大多數應用系統都會有一個應用處理器，它可以對接入的 USB 埠的供電能力進行檢測，再根據此能力和所用電池的類型對充電的參數進行設定，而開關模式充電器件也含有很多與電池充電有關的功能與之進行配合，它們也同時具有對輸入電壓和電流進行控制的能力以適配具體的環境。下面的段落將對開關模式充電器件的特殊功能進行描述，說明它們是如何與 USB 埠的能力進行配合的，又是如何對充電參數進行優化的。

### 平均輸入電流調整(AICR)

大多數開關模式充電器件都會將平均輸入電流調整（AICR）的功能納入其設計中，其目標是通過對充電電流的調節使充電器的輸入電流不要超過某個門限，而輸入電流的門限是根據供電源的負載能力來進行調整的，這種調整可以通過 I<sup>2</sup>C 介面進行，或是通過對 USB 埠的自動檢測來實現。

開關模式充電器的輸入電流由下述公式予以確定：

$$I_{IN} = \frac{V_{BATT} \cdot I_{CHARGE}}{\eta \cdot V_{IN}}$$

其中的  $\eta$  是充電器的轉換效率。很顯然，在 AICR 模式下，當電池電壓上升以後，充入電池的電流將會降低。

### 最低輸入電壓調整(MIVR)

由於不能總是清楚地知道與之連接的電源的種類，充電器件試圖吸入的電流超過電源供應能力的狀況是有可能發生的。為了避免這種問題，在充電器件中加入最低輸入電壓控制回路就成了合理的選擇，它能對充電器的輸入電壓進行監測，並在輸入電壓下降至一定水準時降低電池充電電流使輸入電壓維持在某個閾值之上。假如通過 USB 埠進行充電，MIVR 的水準就可以設定為 4.5V，這樣可以確保該 USB 埠不會出現超載的情形。

## 通過 D+ 和 D- 對 USB 充電埠進行檢測

標準的 USB 2.0 埠只能提供 500mA 的電流，因此，當利用它為設備充電時，充電器的輸入電流就必須低於 500mA 以避免造成埠超載。因為這個原因，大多數開關模式充電器都會在開始工作時就進入 AICR = 500mA 的模式。為了讓 USB 埠能夠通過更大的電流，USB-IF 所制訂的 USB 電池充電標準 BC1.2 定義了一套通過 USB 埠進行交流的方法，將 D+ 和 D- 資料線引入其中，使之能夠發揮更大的效用。它所定義的埠類型有 3 種：

- 標準下行埠(SDP, Standard Downstream Port)，它的 D+ 和 D- 各有一隻 15k 電阻連接到 GND。
- 專用充電埠(DCP, Dedicated Charging Port)，它的 D+ 和 D- 連接在一起。
- 充電下行埠(CDP, Charging Downstream Port)，它包含了一些邏輯電路，能夠與檢測電路進行握手操作。

SDP 埠可以提供 500mA 電流輸出，DCP 和 CDP 則都能提供至少 1.5A 的電流輸出。DCP 埠是不能通過 D+ 和 D- 進行資料傳輸的，而 CDP 則仍然保留了通過 D+ 和 D- 進行資料傳輸的能力。

除了 BC1.2 所定義的方法以外，一些品牌廠商制訂了自己的通過 D+/D- 進行識別的方法。如 Apple、Samsung、Sony 和 Nokia 等廠商，它們的電源適配器都使用了自己定義的電阻分壓器在 D+ 和 D- 上，便於它們自己的產品進行識別。

充電 IC 可以在上電過程中對 USB 埠上的 D+ 和 D- 線進行檢測以確定自己連接到的埠類型，然後再據此設定 AICR 的電流閾值，確保與 USB 埠的類別或是電源適配器的能力是匹配的。

## IR 補償功能

如圖 2 顯示的那樣，充電器件的輸出到電池之間的路徑上存在 PCB 路徑電阻、電池連接器阻抗、電池保護用 MOSFET 的導通電阻以及電池的內部阻抗，它們會在充電器件的電壓檢測端子和實際的電池之間形成壓差，這種作用在較高的充電電流下會變得更明顯，可以導致充電 IC 提前進入 CV 模式，其結果就是使 CV 充電的時間更長，因而加長了總的充電時間，此作用用圖形來表達就如圖 4 所示的那樣。

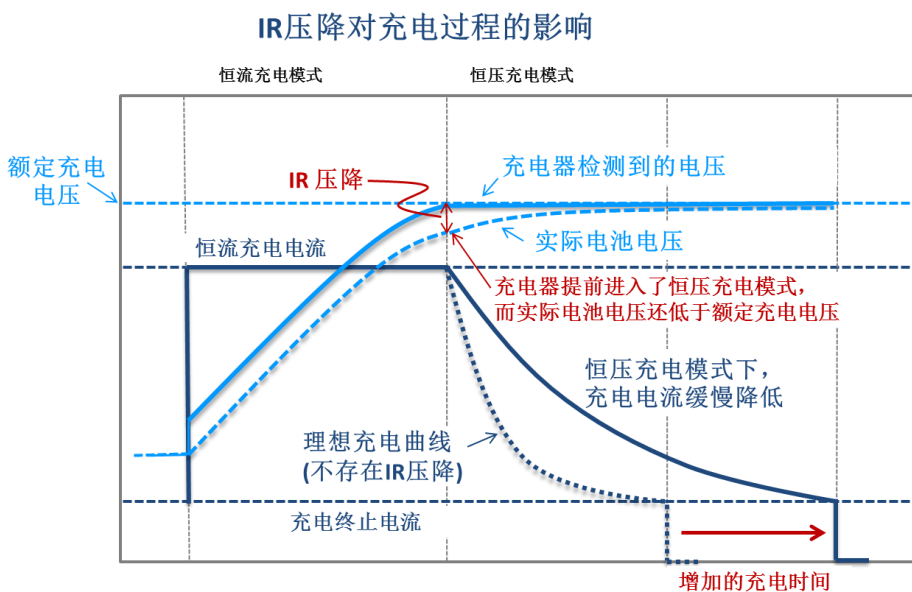


圖 4

為了消除 IR 壓降所帶來的影響，一些開關模式充電器件導入了可程式設計的 IR 壓降補償功能，可對充電 IC 所檢測到的電壓進行與實際電流有關的補償，補償的依據是充電 IC 與電池之間的總電阻的大小。添加了 IR 壓降補償的充電曲線顯示在圖 5 中。

### IR 壓降補償對充電曲線的修正

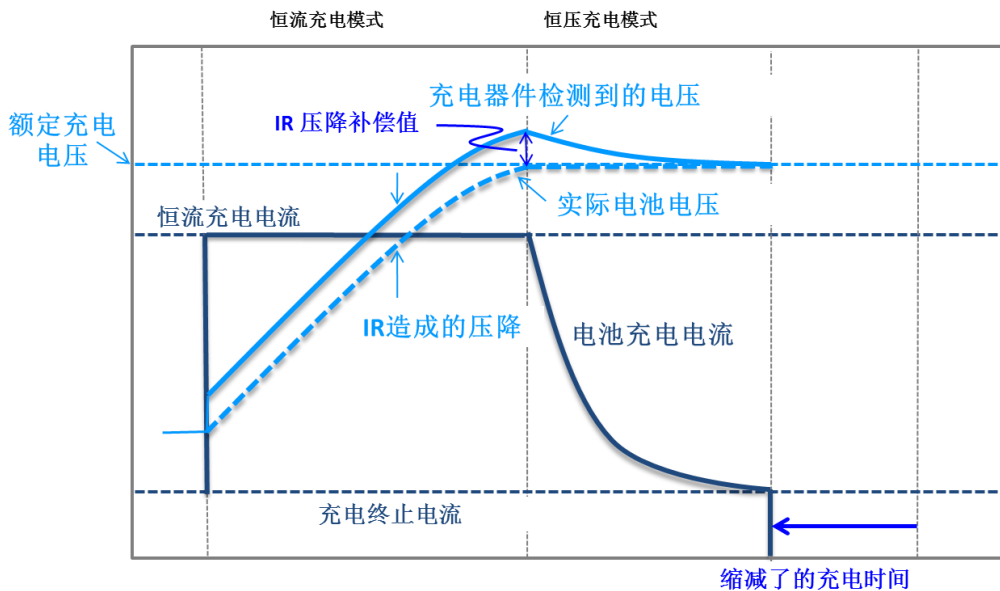


圖 5

### 在不同的溫度下對電池進行充電

很多開關模式充電器件都能按照 JEITA 所制訂的規範在不同的溫度下採取不同的充電策略，它們把實用的溫度範圍分成 5 個區間（冷，涼，常溫，暖，熱），並在不同的區間實施不同的充電參數。在冷、熱區間裡，充電是被禁止的；在涼、暖區間裡，建議將充電電流和充電電壓之一或是兩者都降下來；在常溫區間裡，充電電壓和充電電流都保持在正常值。具體的規則見圖 6。

### JEITA 推荐的锂离子電池充電方法

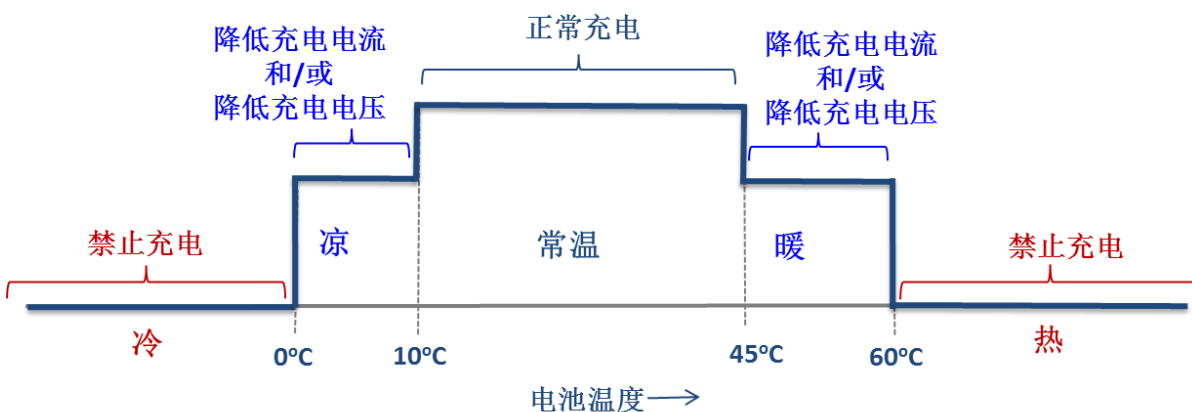


圖 6

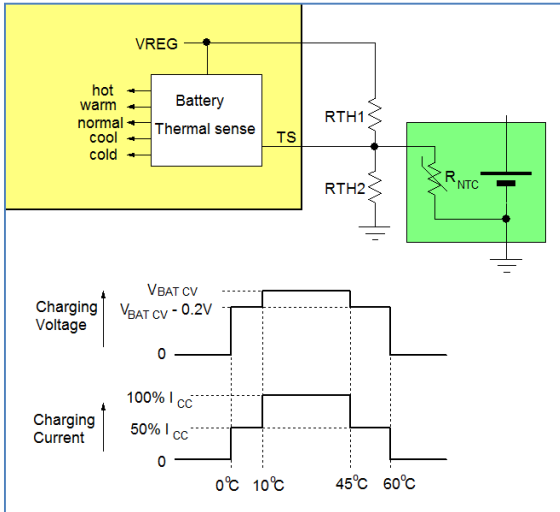


圖 7

對電池溫度進行檢測的方法是將電池包中的 NTC 熱敏電阻和充電 IC 連接起來，並通過一個由 IC 生成的參考電壓供電的電阻分壓器進行偏置（如圖 7 所示）。RTH1 和 RTH2 的值可以根據所選熱敏電阻的類型進行選擇，其目標是使熱敏電阻在 0°C 和 60°C 下所形成的 TS 端電壓與 IC 內部的判定冷和熱的閾值剛好一致。此後，充電 IC 即可自動改變其在涼、暖溫區的充電參數，並在冷、熱溫區裡進入充電掛起狀態。大部分充電 IC 都容許對涼、暖溫區的充電參數進行程式化的改變。圖 7 除了給出電池溫度檢測的方法外，還給出了在不同溫度區間對充電電流和電壓進行修改的例子。

### 自動電源路徑管理

具有自動電源路徑管理功能的開關模式充電器件具有為系統負載選擇電源的能力。在圖 8 所示的電路中，充電器件與電源適配器連接，電池正在被充電，系統也正在被供電，這時的電源路徑 MOSFET 處於導通狀態，Buck 功率級在為系統提供工作電流的同時也在為電池提供充電電流。

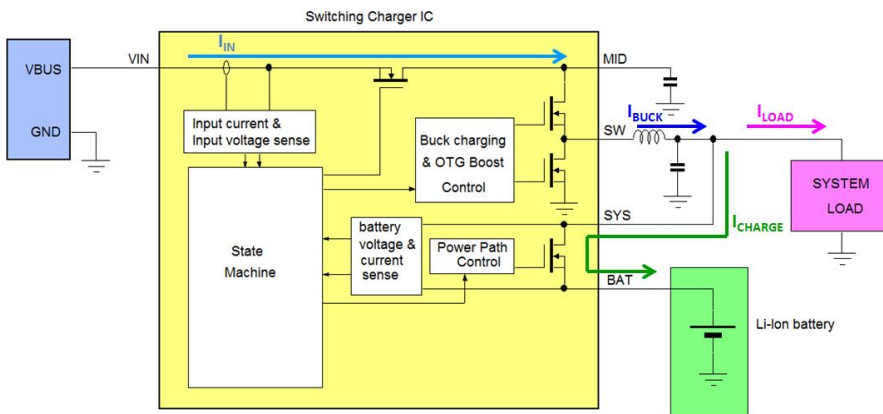


圖 8: 充電器同時為系統和電池充電提供電流

在系統負載很重的時候，電池電流可以倒轉過來，實際上就是適配器和電池一起向負載供電（如圖 9 所示）。

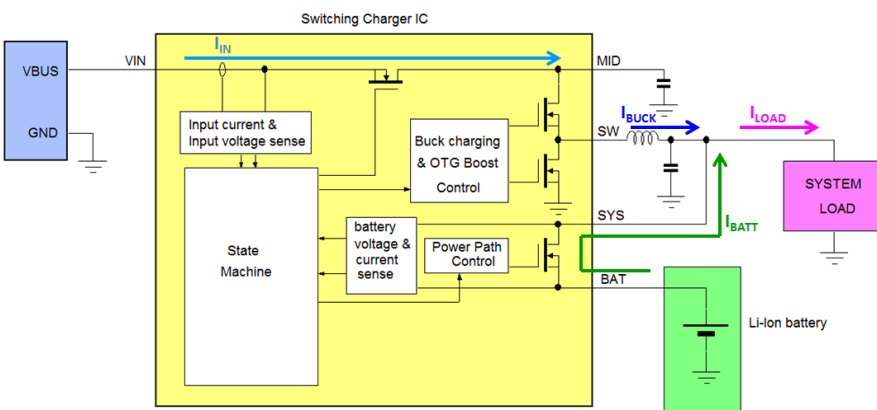


圖 9: 充電器和電池一起為負載供電

當電池被充滿了的時候，作為電流通道存在的 MOSFET 開關就會被關斷，這時候就只有適配器在向系統負載供電了（如圖 10 所示）。某些充電器件具有一種被稱為工廠模式的狀態，它能在沒有電池存在的情況下為系統提供穩定的工作電壓。

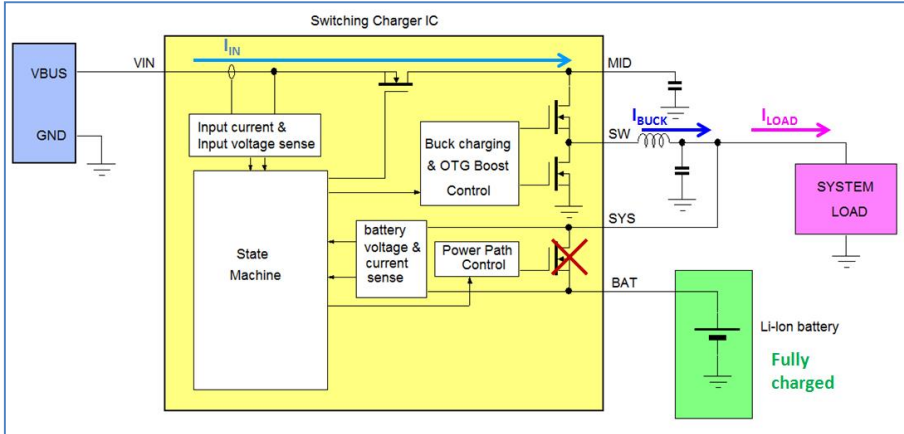


圖 10: 電池充滿狀態：充電器僅為系統供電

當適配器被移除時，電源路徑控制開關將會自動接通，電池開始向系統負載供電，此時位於 VIN 進入路徑上起阻斷作用的 MOSFET 開關將會關斷，開始發揮其應有的作用。（見圖 11）

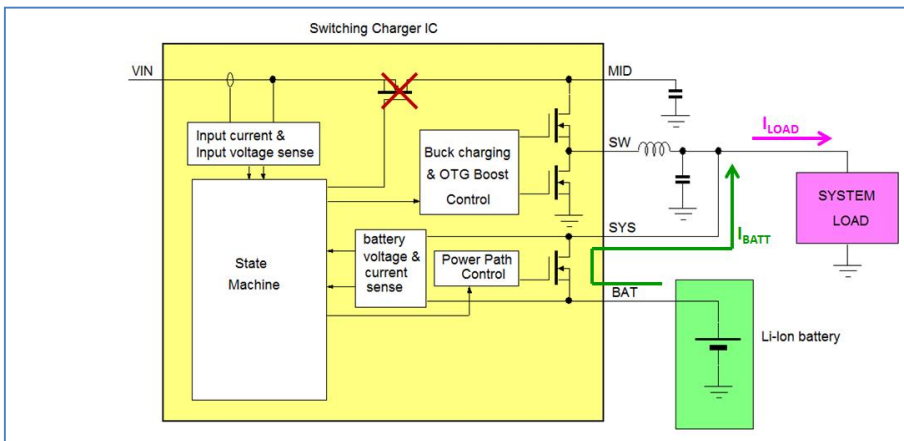


圖 11: 充電器件沒有了輸入，電池開始為負載供電

假如設備將在很長一段時間內不會被使用（例如處於運輸階段），某些充電器件還能進入運輸模式。在運輸模式下，用於電源路徑管理的 MOSFET 會被關斷，這樣就可將電池電量的損耗降低到最小化。只要重新接入外部電源，或是通過 I<sup>2</sup>C 介面發送命令，充電器件的運輸模式就可以被終止。參見圖 12。



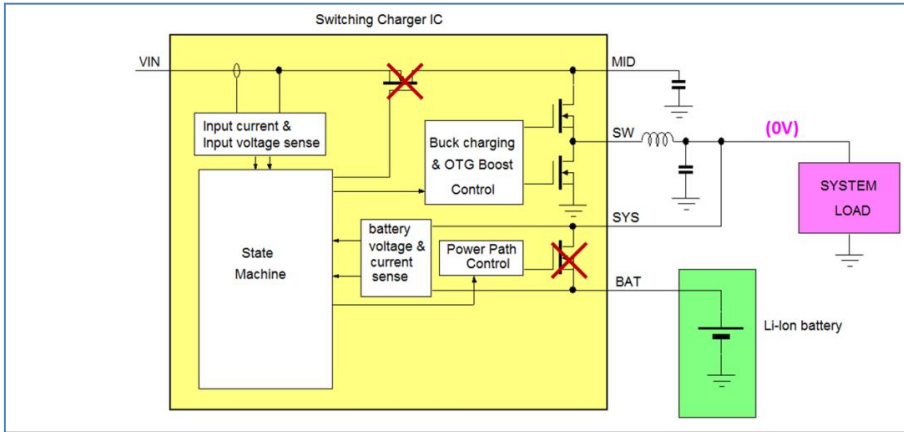


圖 12: 處於運輸模式的充電器件，電池消耗降到了最低

### USB On-The-Go (OTG)功能

有些可攜式設備的 USB 埠可以承擔多種角色：與適配器連接的時候是充電的電源輸入埠；與 slave（從設備）如快閃記憶體盤、數碼相機、滑鼠或鍵盤連接的時候是 Host（主機）埠；還可以作為 slave（從設備）與 PC 連接起來進行資料交換。這樣的設計意味著此埠在某些時候是電源輸入端，有些時候又需要向外部連接的設備供電，有些時候就完全是一個 slave 埠。USB On-The-Go(OTG)對這樣的埠進行了定義，它在小型和微型 USB 連接器裡新增了一個 ID 端子，目的是對設備的 Host 或 slave 角色進行標識。在有這樣的埠的設備中，應用處理器通過檢測 ID 端的狀態並和連接設備進行通訊來決定它到底是 Host 還是 slave，也由此決定它是否需要向外部設備供電。在 Host 狀態下，應用處理器將啟動開關模式充電器件的 OTG 模式，它將使其在充電時工作在 Buck 模式下的 MOSFET 開關以同步 Boost 方式工作，從電池取電將 MID 端的電壓提升到 5V，再打開連接 MID 端和 VIN 端的阻斷開關使 5V 電壓輸出到埠上。充電器件的 OTG 工作狀態顯示在圖 13 中。

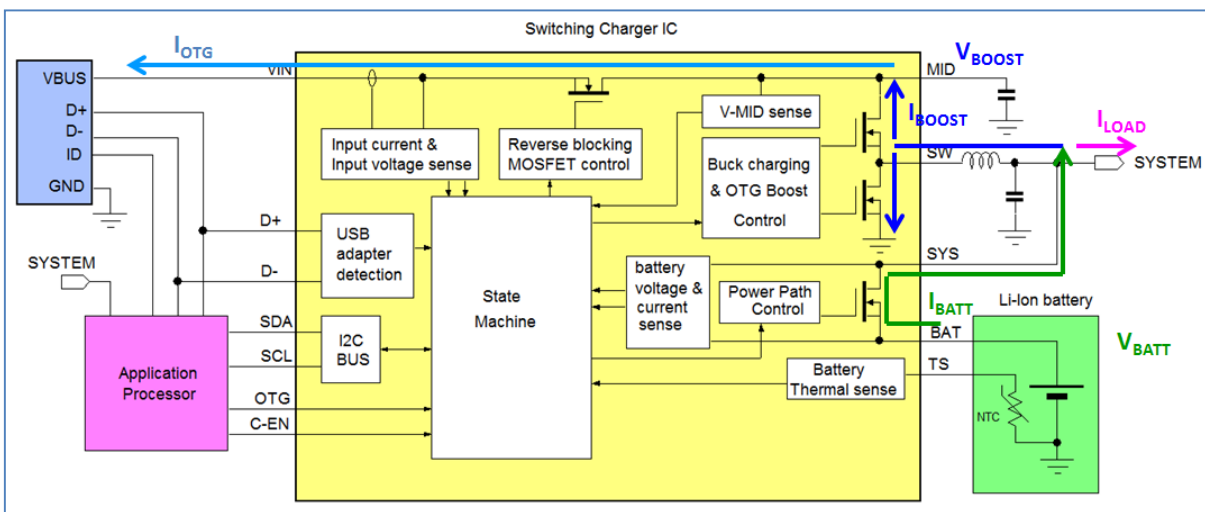


圖 13

工作在 Boost 模式下的轉換器的輸出電流限制是可程式設計的，這就容許 OTG 模式的輸出可以相容于普通的 USB 埠。

某些充電 IC 的反向阻止開關可以被禁止導通，這樣就使得位於 MID 端的 Boost 轉換器的輸出可以作為獨立的 5V 電源來使用，移動電源配置通常就是這樣做的。

## 用高輸入電壓進行充電

在以 5V 作為輸入電壓時，電池充電的大電流很容易就能導致高輸入電流的形成，因為鋰離子電池的電壓並沒有比 5V 低多少，由適配器的電流限制和電纜、連接器的電流限制很快就會成為大電流充電的限制因素（舉例而言，微型 USB 連接器的最大電流承受能力就只有 1.8A）。新型的開關模式充電器件通常能夠工作在更高的輸入電壓下，這樣就可以使用高於 5V 的輸入電壓（例如 9V、12V）。由於降壓型開關模式充電器的輸入電流是由公式  $I_{IN} = \frac{V_{BATT} \cdot I_{CHARGE}}{\eta \cdot V_{IN}}$  決定的，輸入電壓較高就可以降低輸入電流。需要注意的是，較高的輸入電壓也會導致轉換器損耗的提高，因而轉換效率也會下降，但這可以通過降低開關切換頻率進行一些補償，只是這樣也需要使用更大一些的濾波元件。

對於可以改變輸入電壓的充電系統來說，出現在 USB 埠上的初始電壓必須仍然是 5V 以避免對標準的單 5V 系統造成傷害。這樣的系統在連接以後會有通訊信號在充電器件和適配器之間進行傳遞，以便出現在 USB VBUS 上的電壓是可以提高的，很多公司已經開發了自己的特殊通訊方法來完成這一任務。

高通公司解決此問題的方法是定義了 QuickCharge™ 協議，它使用 D+ 和 D- 信號線與適配器進行溝通。

MediaTek 所發展的方法被稱為 MTK Pump Express™，它讓充電 IC 對輸入電流進行調製以實現和適配器之間的通訊。

使用全新 USB C 型介面的設備可以利用標準的 USB PD 協議在充電器件和適配器之間進行通訊，它可讓 VBUS 上的電壓在 5V~20V 之間變化，而電流則可以高達 5A。

## 5. 開關模式充電 IC 實例

立錡科技的產品目錄中包含了大量的單節鋰離子電池充電 IC，它們可以被分為三種類型：線性充電 IC，開關模式充電 IC 和無線充電 IC。在本文中，我們將向你介紹三種不同的開關模式充電 IC：RT9458, RT9460, RT9466。實際上，它們也分別具有不同的能力，下面的比較表將把它們的基本異同表現出來。

基本功能比較

功能	RT9458	RT9460	RT9466
功率級	1.5MHz / 同步	0.75/1.5MHz / 同步	0.75/1.5MHz / 同步
充電電流	最大 1.55A	最大 3A	最大 5A
適配器電壓	5V	5V~12V	5V~14V
電源路徑管理	無	有, 可外加 MOSFET	有, 內置 MOSFET
OTG Boost 功能	有, 1A	有, 1A	有, 2.4A
溫度檢測	無	有, 支持 JEITA 電流可調	有, 支持 JEITA 電流/電壓可調
USB 埠檢測	無	有, BC1.2	無
輸入電流限制設定方法	I <sup>2</sup> C	I <sup>2</sup> C	I <sup>2</sup> C 和外部電阻
運輸模式	無	無	有
工廠模式	無	無	有
IR 壓降補償	無	無	有
狀態輸出	無	有 (充電狀態)	有 (充電、VBUS 狀態)
實際充電電流報告	無	無	有
展頻降噪	無	有	無
MTK Pump Express 支持	無	無	支持 MTK PE1.0 & 2.0
獨立運作能力	需要 I <sup>2</sup> C 控制	支援, 可按預設參數運行	支持 可按 ILIM 電阻和預設參數運行
封裝	WL-CSP-20B2.1x1.87mm	WL-CSP-25B2.52x2.52mm	WQFN-24L 4x4

充電參數比較

參數	RT9458	RT9460	RT9466
最高輸入電壓	20V	28V	22V
工作電壓範圍	4.3V~6V	4.3~12V	4.0~14V
充電電流	0.5~1.55A (150mA 級差) (預設 0.5A)	1.25~3.125A (125mA 級差) (預設 1.25A)	0.1~5A (100mA 級差) (預設 2A)
充電電壓	3.5~4.45 (20mV 級差, 1%) (預設 4.2V)	3.5~4.62 (20mV 級差, 1%) (預設 4.0V)	3.9~4.71 (10mV 級差, 1%) (預設 4.2V)
輸入電流控制(AICR)	0.1/0.5/0.7A/禁止 (預設 0.5A)	0.1~3A(0.1A 級差)/禁止 (預設 0.5A)	0.1~3.25A(0.1A 級差) / 禁止 (R-ILIM 預設)
輸入電壓控制(MIVR)	4.1~4.7V(0.1V 級差)/ 禁止 (預設 4.5V)	4.0~15.5V(0.25V 級差)/ 禁止 (預設 4.0V)	3.9~13.4V(0.1V 級差)/ 禁止 (預設 4.4V)
預充電壓	2V~3V (0.2V 級差) (預設 2.4V)	2V~3V (0.2V 級差) (預設 2.4V)	2V~3.5V (0.1V 級差) (預設 3V)
預充電流	20~60mA (20mA 級差) (預設 60mA)	100~850mA (50mA 級差) (預設 250mA)	100~850mA (50mA 級差) (預設 150mA)
充電終止電流	50~400mA (50mA 級差) (預設 150mA)	100~450mA (50mA 級差) (預設 200mA)	100~850mA (50mA 級差) (預設 250mA)
IR 補償	無	無	0~175mΩ (25mΩ 級差) 0~224mV 限制(32mV 級差)

USB OTG Boost 參數

參數	RT9458	RT9460	RT9466
OTG 最大輸出電流	1A	0.5A/1A (預設 0.5A)	0.5~2.4A (300mA 級差) (預設 0.5A)
OTG 輸出電壓	4.425~5.6V (25mV 級差, 1%) (預設 5.325V)	4.425~5.825V (25mV 級差, 1%) (預設 5.05V)	4.425~5.825V (25mV 級差, 1%) (預設 5.05V)
OTG 工作最低電池電壓	2.9V(啟動時)/ 2.5V(運行時)	2.9V(啟動時)/ 2.5V(運行時)	2.3V~3.8V (0.4V 滯回量, 0.1V 級差) (預設 2.8V)

保護功能

參數	RT9458	RT9460	RT9466
輸入過壓保護	有, 6.7V	有, 16V	有, 14.5V
適配器失效保護	無	有	有, VBUS < 3.8V @ 50mA
電池缺失保護	有	有	有
電池過壓保護	Yes, > 117 ± 6%	Yes, > 117 ± 6%	Yes, 108 ± 2%
溫度調整	溫度 > 120°C 時 降低充電電流	溫度 > 120°C 時 降低充電電流	溫度 > 60/80/100/120°C (預設 120°C) 時降低充電電流

RT9458

RT9458 是一款最基本的開關模式充電 IC，主要的應用目標是取代線性充電 IC 以提高效率、優化小電流適配器用於充電時的體驗，它具有 1.5A 電流充電能力，適合用於 1.8Ah 以下的中低容量鋰離子電池應用中。

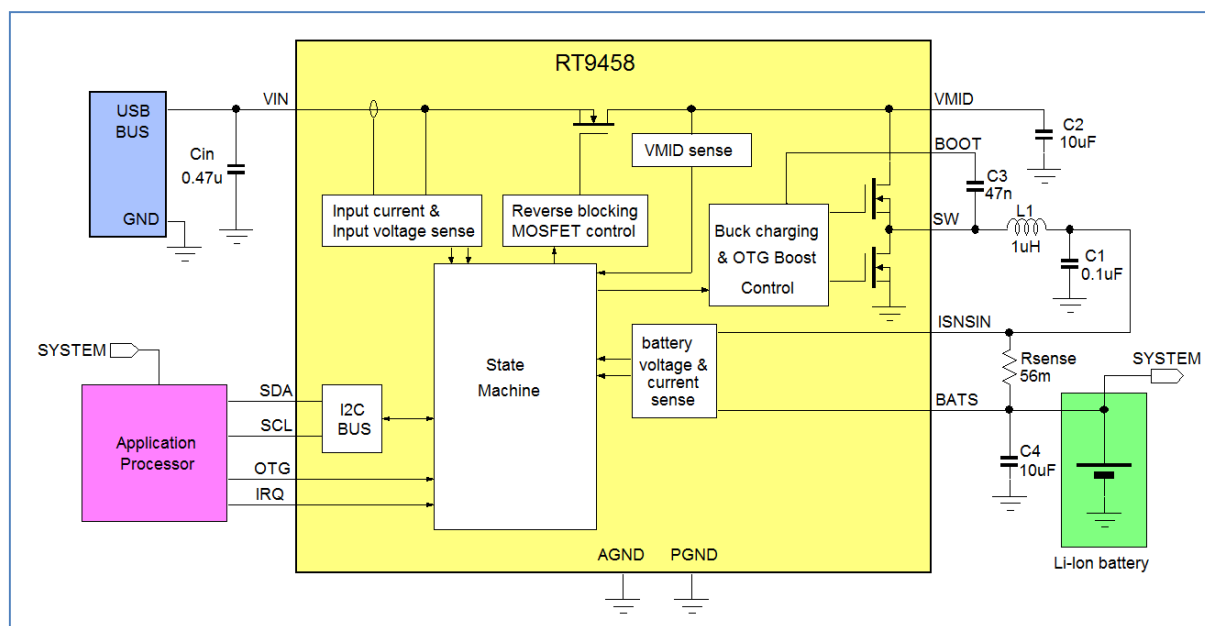


圖 14

圖 14 顯示了 RT9458 的典型應用電路圖，它使用了一隻外接電阻進行電池電流檢測。由於不含電源路徑管理功能，系統負載直接和電池連接在一起。

RT9458 需要使用 I<sup>2</sup>C 介面對其進行控制以完成常規的充電過程，它的內部含有負責安全的看門狗計時器，而它需要受到定期的關照以在確保安全的狀態下對電池進行充電，因而不能將 RT9458 作為獨立的充電器件來使用。

圖 15 顯示了以開關模式工作的 RT9458 在面臨 500mA 的 USB 電流限制情況下相對線性充電 IC 的好處：線性充電 IC 的最大充電電流就等於 USB 埠的 500mA 電流限制，而開關方式充電 IC 的最大充電電流則遠高於 500mA 的輸入電流限制，這在電池電壓很低時表現尤為明顯，因而在用開關方式充電 IC 進行充電時所需要的時間會更短，而充電 IC 的發熱量也會更小。

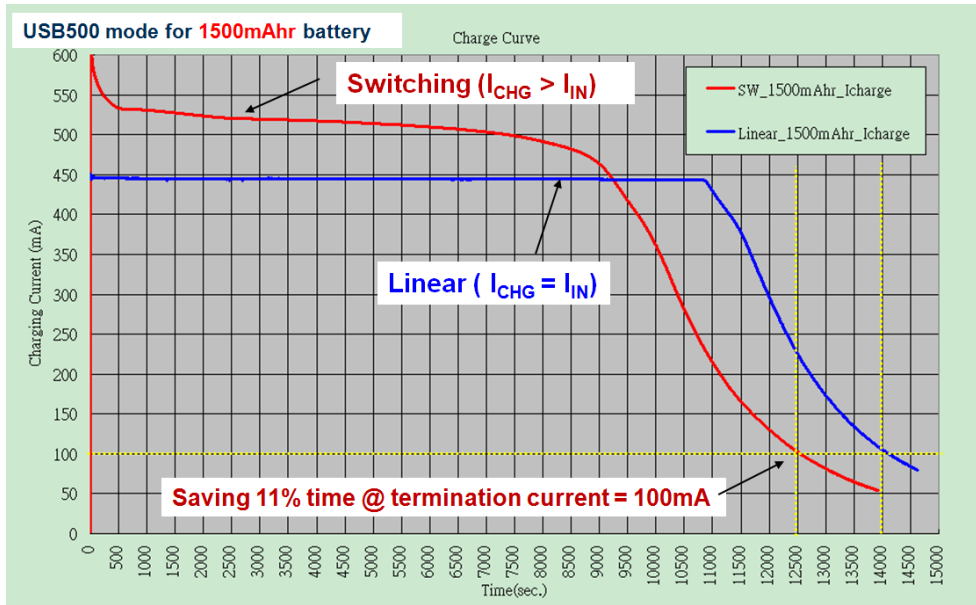


圖 15

關於 RT9458 的設計資源

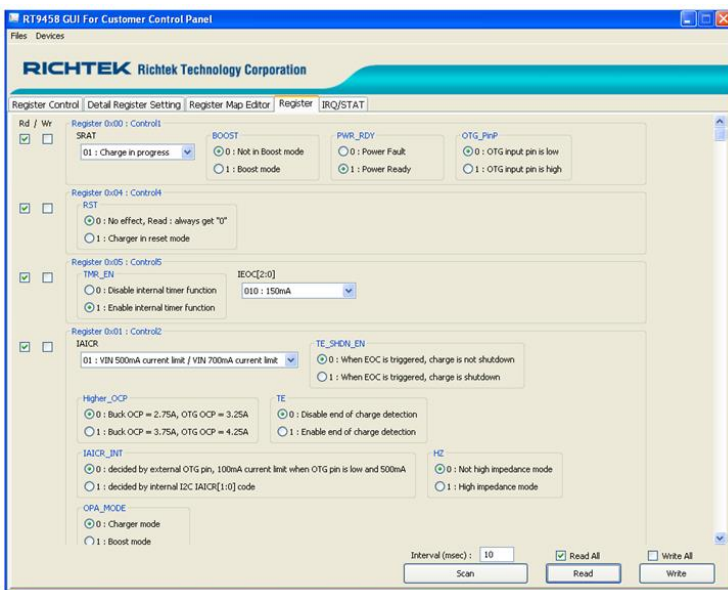


圖 16



為了讓使用者能夠順利使用上開關模式充電 IC，立錡提供了 RT9458 專用的評估工具，它是一個完整的評估板，其中包含了 RT9458 晶片和能讓它工作起來的全部週邊器件，還有大量的測試和連接端子，只要連接上電源、電池和含有 I<sup>2</sup>C 介面的 MCU，系統就可以工作起來了。

此外，立錡也為用戶準備了專用的 I<sup>2</sup>C 介面轉換工具，可將評估板和 PC 系統連接起來，並有專用的圖形化使用者介面可供使用，方便使用者直接對晶片的內部寄存器進行讀寫操作。關於該工具的狀況，請參閱 [Richtek Wrenboard utility](#)。

## RT9460

RT9460 是更先進一些的開關模式充電 IC，它具有適配器檢測能力，充電電流達到 3A，具有動態電源路徑控制能力，可對電池溫度進行偵測並採取相應措施，輸入電壓範圍達 4.3V~12V，適合用於電池容量達 2.5Ah~2.8Ah 的大容量電池應用中。由於具有適配器檢測能力，它可根據 BC1.2 的規定對各種埠進行分辨，可以識別出幾大品牌的適配器類型並根據檢測的結果選擇最優的輸入電流限制參數，能在供電源不出現超載的情況下以最快的速度對電池進行充電。

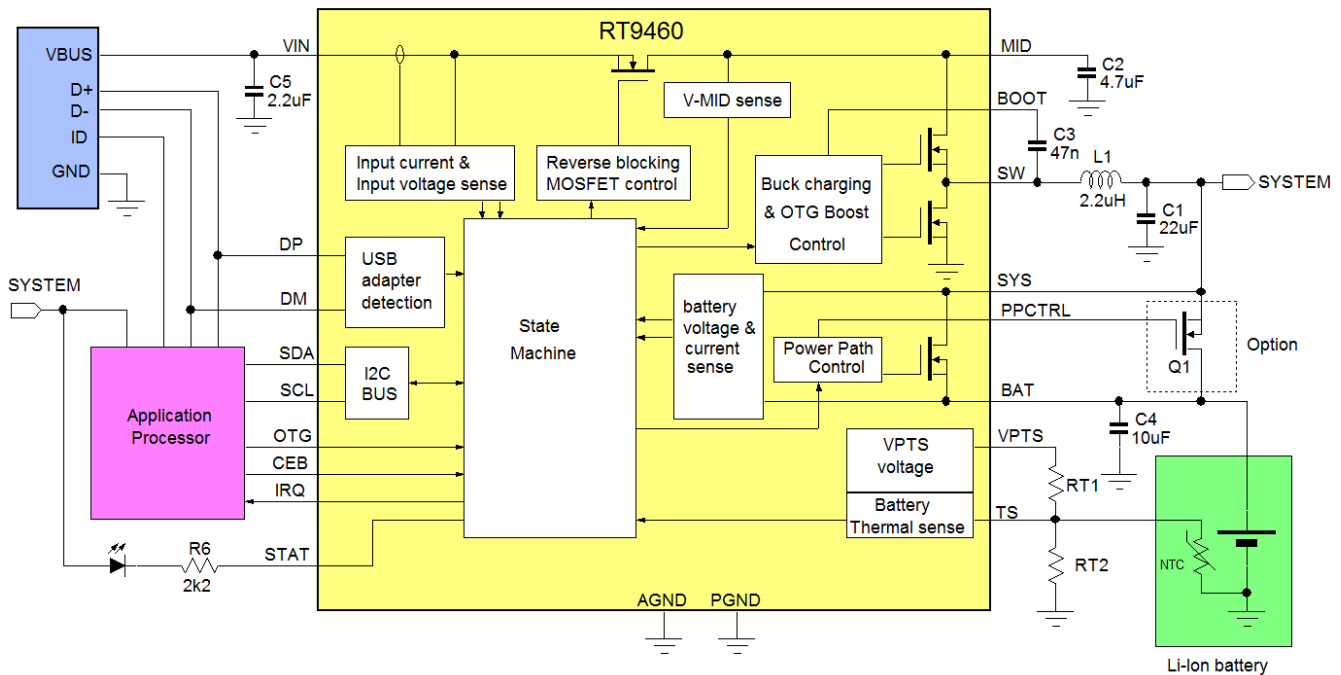


圖 17

圖 17 顯示的是 RT9460 的典型應用電路，當輸入電壓通過 USB 埠接入時，RT9460 將執行一連串的动作進行適配器檢測，它會去檢測 D+/D-線上的電壓水準，通過一些列的連接和握手過程測知適配器的電流供應能力，其結果可以通過讀取其內部寄存器獲得。

在充電模式下，Buck 架構的功率級將生成可供系統使用的輸出電壓和為電池充電的電流。流過路徑控制 MOSFET 的電池充電電流將會受到檢測，而外部 MOSFET Q1 則處於關斷狀態。當外部適配器被移除以後，電池將通過內部 MOSFET 向系統供電，可選的外部 MOSFET Q1 也可打開以降低 BAT 和 SYS 之間的電壓降。

在 OTG 模式下，功率開關的配置轉換為 Boost 架構，它將 MID 端的電壓提升到所需的 OTG 電壓，再通過導通了的反向阻斷 MOSFET 通向 VIN 端形成輸出。OTG 輸出的電流限制為兩檔（0.5A 和 1A），使用者可以根據需要進行選擇。電池溫度可通過 NTC 熱敏電阻進行偵測，共有 5 個 JEITA 規定的溫度區間可供使用，充電電流可在涼、溫兩個區間裡發生改變。

如果沒有 I<sup>2</sup>C 介面的控制命令，RT9460 即以獨立的充電方式進行工作，所有的工作參數是已經預設好的：充電電流 1.25A，額定電池充電電壓為 4.0V，輸入電流限制因 OTG 端的狀態不同可有兩種選擇：OTG 為低電平時，AICR = 500mA；OTG 為高電平時，AICR = 1A。OTG Boost 狀態在獨立運行模式下無法實現，它只能通過 I<sup>2</sup>C 匯流排命令才能生效。

RT9460 的工作電壓範圍很寬，使得它可在很高的電壓如 9V/12V 下工作，這樣就有可能用它去實施 MTK Pump Express™ 協議，只要通過應用處理器經 I<sup>2</sup>C 介面向它發送輸入電流調整的指令，相容於 Pump Express™ 協定的適配器就可以根據其中蘊含的指令去改變輸出電壓。它也可以和 USB PD 控制器配合工作，通過其發送指令去改變 VBUS 上的電壓。

**關於 RT9460 的設計資源**

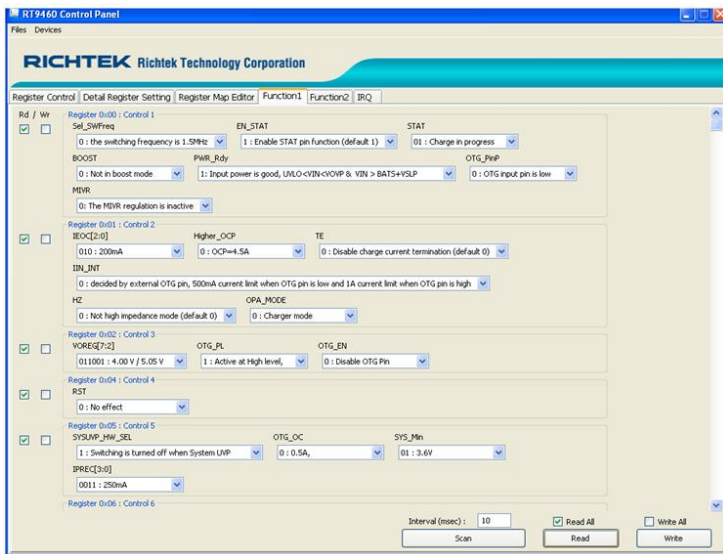


圖 18

立錡可向用戶提供 RT9460 的評估套件，其中包含了一塊 RT9460 的評估板，板上含有 RT9460 晶片和全部週邊器件、測試和連接端子。利用立錡的 I<sup>2</sup>C 介面調試工具 [Richtek Wrenboard utility](#) 與之配合工作可以對其內部寄存器進行讀寫操作，相應的圖形化使用者介面也可提供用戶使用。參見圖 18。

**RT9466**

RT9466 是一款強大的開關模式充電 IC，輸入電壓範圍為 4V~14V，充電電流可達 5A，可對高端智慧手機、平板電腦所用的大容量電池進行充電，它們的電池容量可能高達 3~4Ah。在這麼高的電流下對電池進行充電需要對電池狀態進行嚴密的監控，而 RT9466 則將精確的電池電壓和電流的檢測機制和報告機制都收納其中，還能進行 IR 補償、電池過壓保護、在過熱條件下降低充電電流，集成了超低 R<sub>DS(ON)</sub>的電源路徑開關和切換開關。圖 19 顯示了 RT9466 的典型應用電路圖。

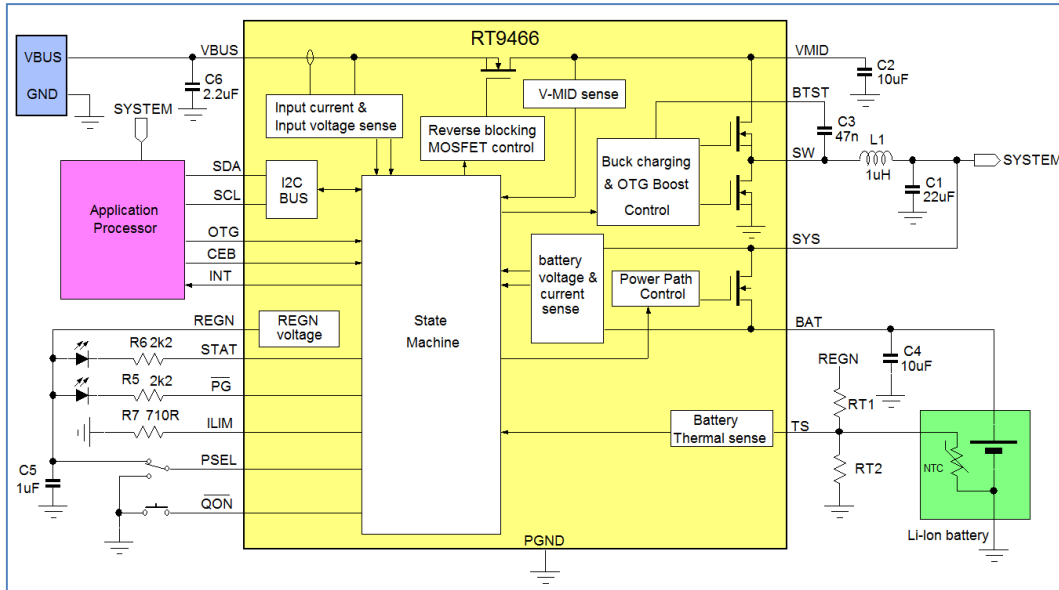


圖 19

RT9466 有一些端子可以用於設定其工作參數，使得它在沒有 I<sup>2</sup>C 控制指令的情況下也能很好地工作：

PSEL 可用於電源選擇，PSEL 為高電平時將輸入電流限制設定為 500mA 以符合標準 USB 介面的規格，PSEL 為低電平時將輸入電流限制設定為 3.25A 以滿足適配器供電應用的需要。

連接在 ILIM 端的外接電阻  $R_{ILIM}$  可按照  $355A\Omega/R_{ILIM}$  的規格設定最大輸入電流限制。當晶片進入啟動狀態時，輸入電流限制是以由 PSEL 和 ILIM 所設定的資料中的最小值為依據進行工作的。

STAT 端可對充電狀態進行指示，PG 端可指示 VBUS 的欠壓或過壓狀態。

RT9466 支援運輸模式，該模式下的電源路徑控制開關處於斷開狀態，電池的消耗被最小化，這種模式可用 QON 端子的狀態改變來使之退出。

RT9466 可通過 NTC 熱敏電阻進行電池溫度檢測，並按 JEITA 所制訂的規範將溫度區間分為 5 個，充電電壓和充電電流在涼、溫兩個區間裡都會被改變。

RT9466 也有很強大的 OTG 工作能力，其最大電流輸出能力為 2.4A，輸出電壓和電流限制均可通過 I<sup>2</sup>C 介面進行調節。

雖然 RT9466 可以工作在沒有 I<sup>2</sup>C 指令控制的獨立模式，但它在此模式下的工作參數是受限的：充電電流為 2A，電池充滿電壓為 4.2V，輸入電流限制閾值取決於 PSEL 端的狀態和 ILIM 端外接電阻的大小，充電終止電流檢測的功能也處於停用狀態，因而獨立工作的 RT9466 會進入涓流充電狀態。此外，RT9466 的 OTG Boost 工作模式也只能通過 I<sup>2</sup>C 指令才能被啟動，獨立工作的 RT9466 是不會進入此狀態的。



RT9466 的 IR 壓降補償功能

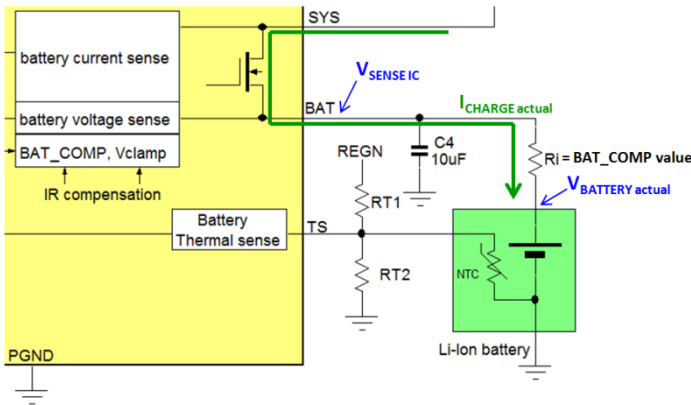


圖 20

高充電電流會導致 IC 電池電壓檢測的錯誤，因為 PCB 路徑和電池內阻會形成較高的壓降，通過在 RT9466 的 BAT\_COMP 寄存器和 V\_CLAMP 寄存器設置資料能夠對此進行補償。BAT\_COMP 中能夠置入的資料介於 0Ω ~ 175mΩ 之間，步進級距為 25mΩ，RT9466 將據此資料為測量到的電池電壓資料添加一個偏移量為  $I_{CHARGE\ actual} * BAT\_COMP$  的資料以修正由 IR 壓降所帶來的誤差。偏移量的最大值是有限制的，這由 V\_CLAMP 寄存器中的資料所決定。

設計師應當確保 BAT\_COMP 值的選擇是穩妥的，確保不會導致電池過充。設定正確的 BAT\_COMP 值可以加長恒流快充階段的時間，因而可以縮減總的充電時間。在一個 PCB 路徑電阻和電池內阻總共為 50mΩ、充電電流為 2A 的實際案例中，通過將 BAT\_COMP 中的資料設定為 50mΩ 使得總的充電時間縮短了 18 分鐘，參見圖 21 的記錄。

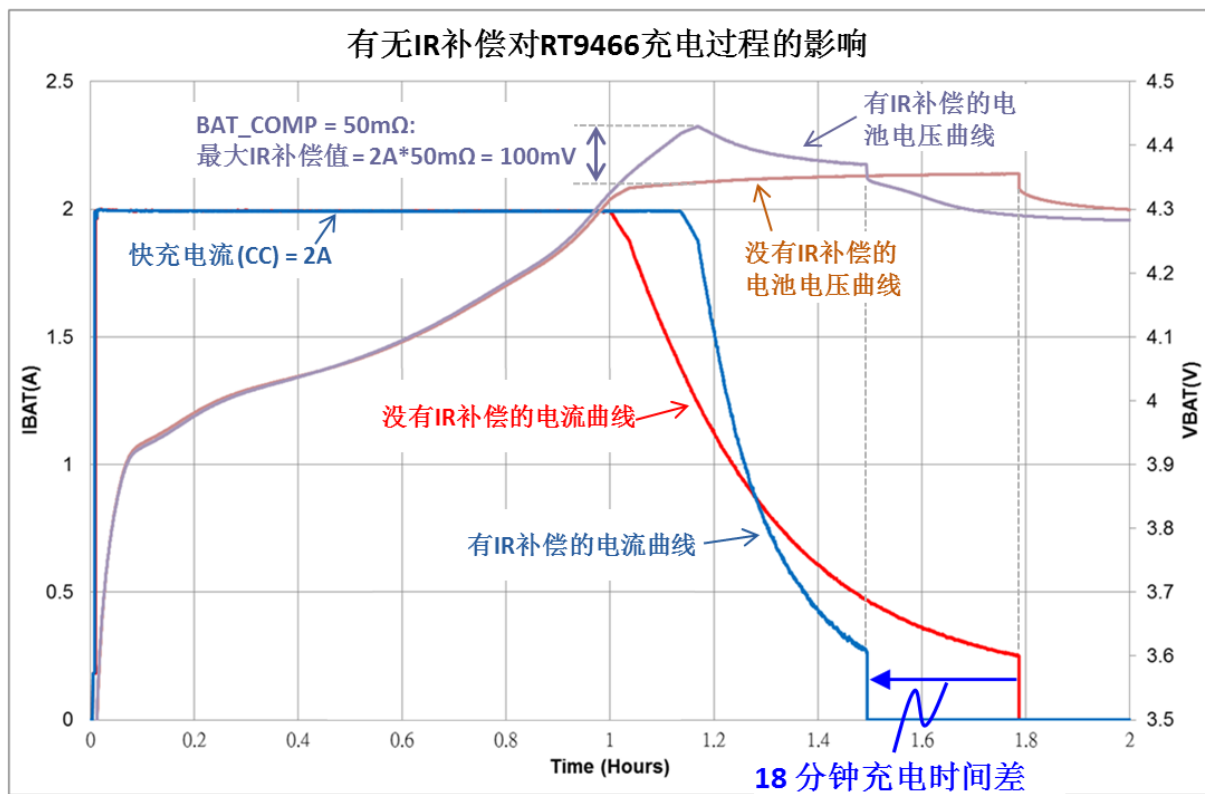


圖 21

對 MediaTek Pump Express 的支持

RT9466 的設計中包含了所有實施 MTK Pump Express™ (PE+) 1.0/2.0 的硬體邏輯，當此功能被啟動時，它可以按照 PE+標準的規定在輸入電流上生成以電流為載體的指令脈衝。假如與之連接的適配器是與 PE+相容的，它就可以從這電流脈衝串中解析出指令資料並根據這些指令改變其輸出電壓。這樣的系統的工作狀況顯示在圖 22 中。

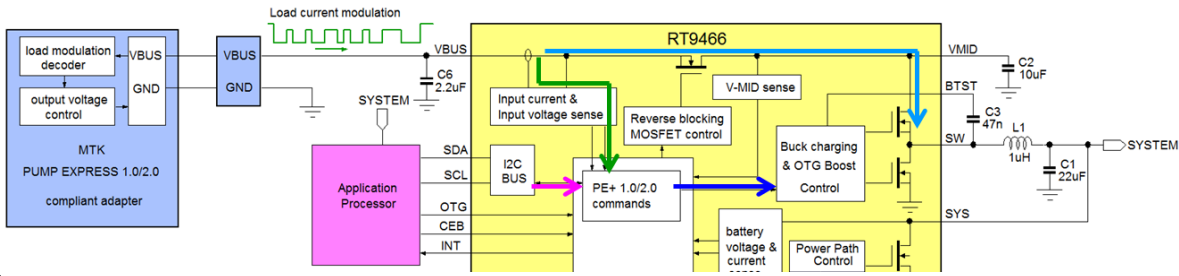


圖 22

PE+ 1.0 容許 VBUS 電壓在 5V/7V/9V/12V 上進行增減跳變；PE+ 2.0 容許 VBUS 電壓以 0.5V 的步幅在 5.5V~20V 之間跳變，容許對適配器進行健康檢查，可以開啟或關閉適配器的電纜壓降補償功能。較高的 VBUS 電壓可以將輸入電流降低，可以在不超過適配器電流限制或電纜、連接器電流限制的情況下實現大電流充電。

圖 23 展示了 PE+ 2.0 進行負載電流調製的方法，其中含有 150ms 的開始時段、5 個資料位元、190ms 的結束時段和看門狗計時器溢出時段。5 個資料位元是由負載電流的高低脈衝寬度的不同組合來表達的，實際的電流高/低狀態必須大於判定電流高/低的檢測閾值。

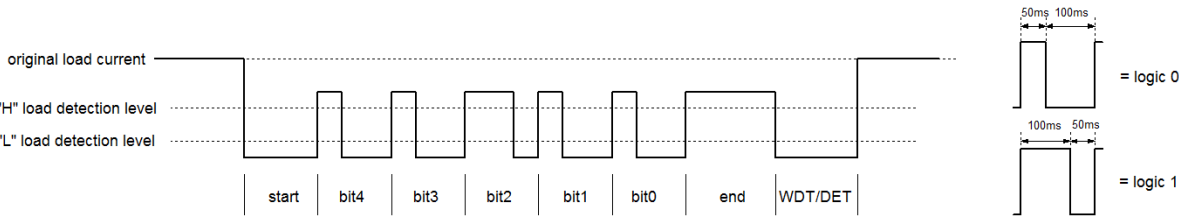


圖 23

圖 24 顯示的是 RT9466 在 PE+ 2.0 應用中的測試結果，其中傳遞的是要求將 VBUS 電壓設定為 12.0V 的指令。最初的時候，VBUS 電壓為 5V，2A 的電池充電電流所導致的輸入電流大約為 1.8A。當需要將 VBUS 電壓調整為 12V 時，RT9466 按照 PE+ 2.0 的規定對輸入電流進行調製（電流在最大值和最小值之間跳變，此例中的資料是 01101，它代表對 12V 供電的申請），由於此過程中存在負載的動態變化，VBUS 電壓會有一定的波動。命令發出以後，與 PE+ 2.0 相容的適配器在完成解碼後將會變成 12V 的輸出。此後，對電池的充電電流仍然是 2A，但輸入電流卻會出現可觀的下降。這時候的充電電流可以再增加，但卻不會出現超出 USB 電纜和連接器的電流額定參數的問題。

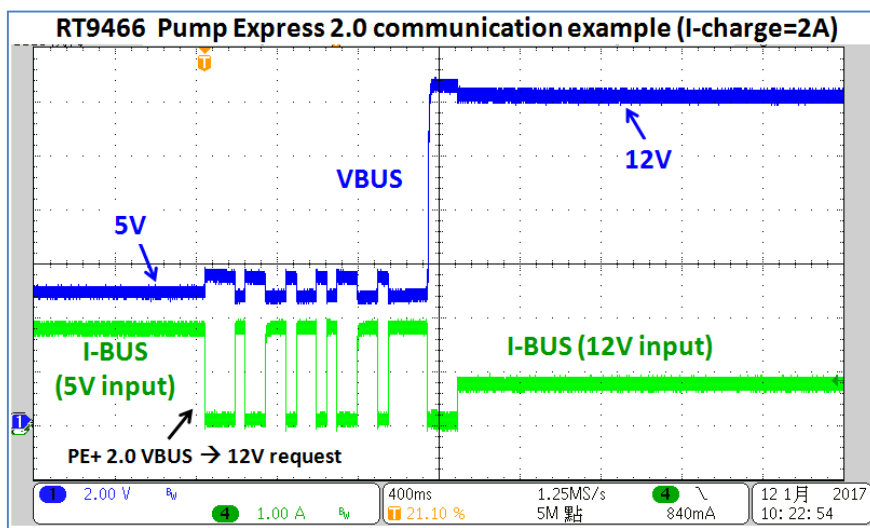


圖 24

主-從式充電系統

雖然 RT9466 的充電電流可以高達 5A，但通常並不能一直這麼連續使用，因為在移動裝備的狹小空間裡有很嚴格的發熱限制。需要使用高於 3A 的充電電流的手機通常採取主-從配合的充電方式：當需要以 4.5~5A 的電流進行長時間充電的時候，可以另加一顆開關模式充電 IC 與 RT9466 一起並聯工作。處於從屬地位的充電 IC 並不需要像 RT9466 那樣擁有完整的功能，它只需含有一個 Buck 功率級、電池電壓檢測和 I<sup>2</sup>C 介面就差不多了。圖 25 給出的是用比較簡單的充電 IC RT9465 作為從機和 RT9466 一起構成的主-從式充電系統。

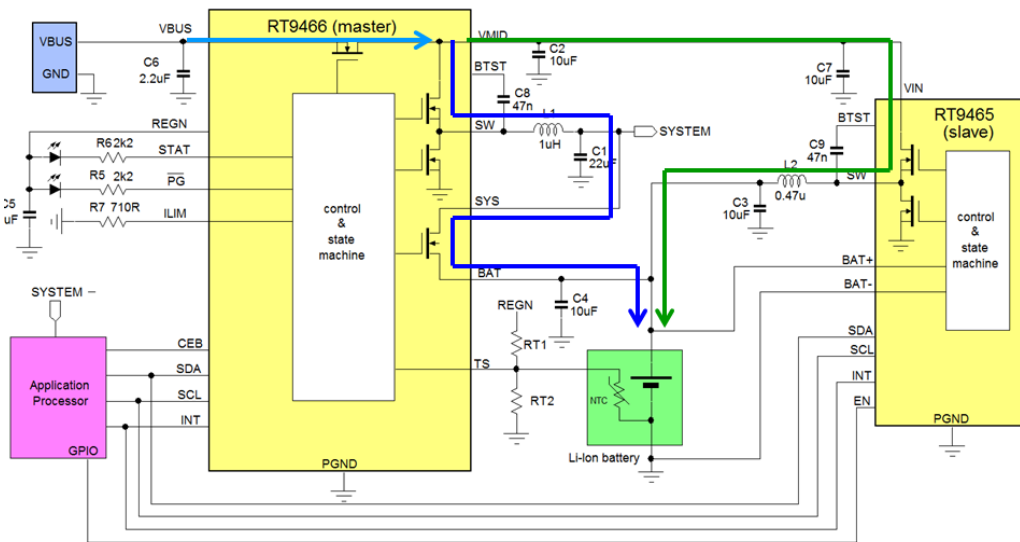


圖 25：主-從式充電系統

在主-從式的配置中，主充電 IC 承擔起了充電狀態檢測、設定的職責，如預充電、恒流模式、恒壓模式和終止充電的決定等。當主充電 IC 進入恒流充電模式時，應用處理器發出指令使從屬充電 IC 也進入恒流充電模式以增加充電電流。在此過程中，兩顆充電 IC 的內核溫度都會受到監控，充電電流需要被隨時調整以確保其處於一定的限制內。當主充電 IC 進入恒壓模式後，從充電 IC 的輸出電流也可以在應用處理器的控制下逐漸降下來，並在某個時刻被完全關閉，最後剩下主充電 IC 去完成此後的充電過程。在圖 26 中，一個配置了 IR 壓降補償的主-從式充電過程被完整的記錄了下來，3Ah 的電池在一個小時內被完全充滿。

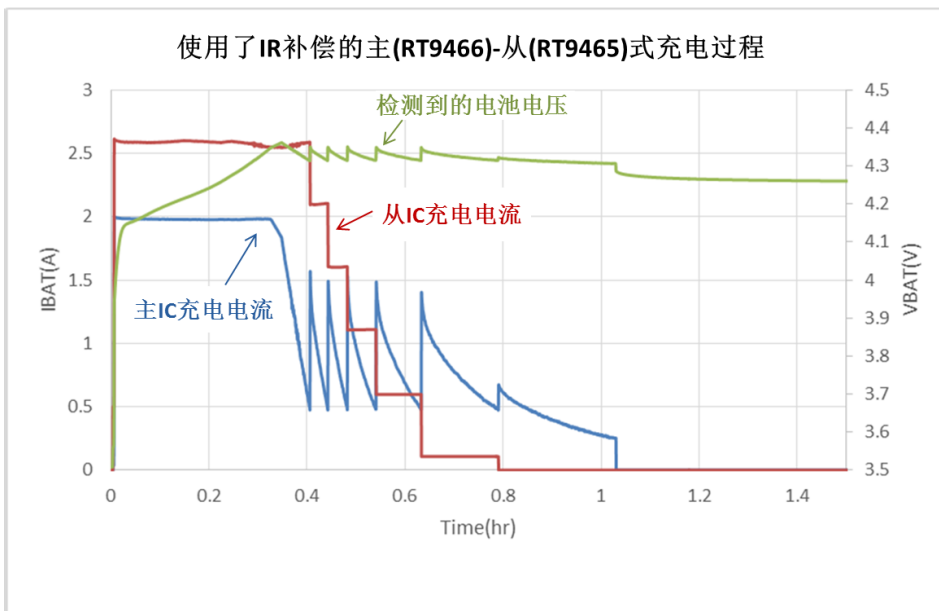


圖 26

USB C 型介面上電源傳輸(PD)協定的應用

採用 USB C 型介面的設備可以啟用 USB PD 協定，它可以在 USB 匯流排上的下行埠和上行埠之間通過協商的形式改變 VBUS 上的電壓，電壓範圍可在 5V~20V 之間變化，最大電流可達 5A。具有角色輪替功能的 USB C 型埠還容許移動設備像電源一樣向與其連接的其他設備提供電源。在圖 27 所示的案例中，USB C 型埠的 USB PD 協定控制器 RT1711H 可經 CC 線與連接在一起的設備進行溝通，按照應用處理器的要求對 VBUS 上的電壓進行調節，使 RT9466 的工作條件優化。

在擔當供電者的角色時，RT1711H 可將 RT9466 的 OTG 模式供電能力提供給受電方，在 RT9466 的 OTG 模式被啟動以後即可開始經 VBUS 向外供電。

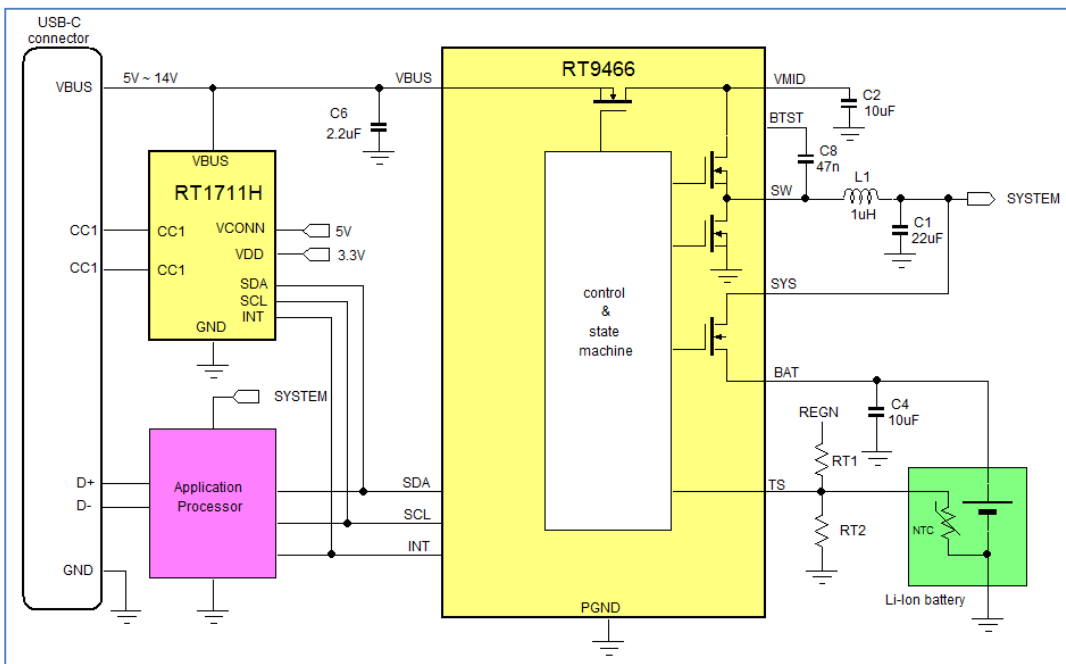


圖 27

關於 RT9466 的設計資源

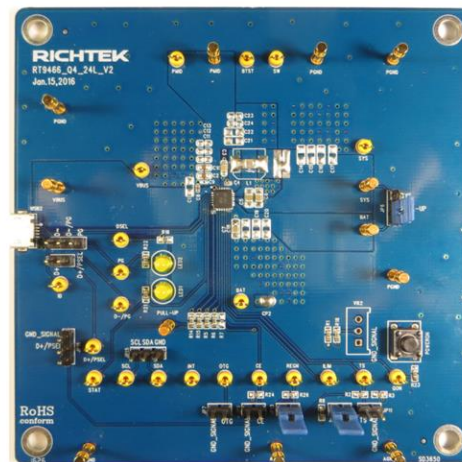
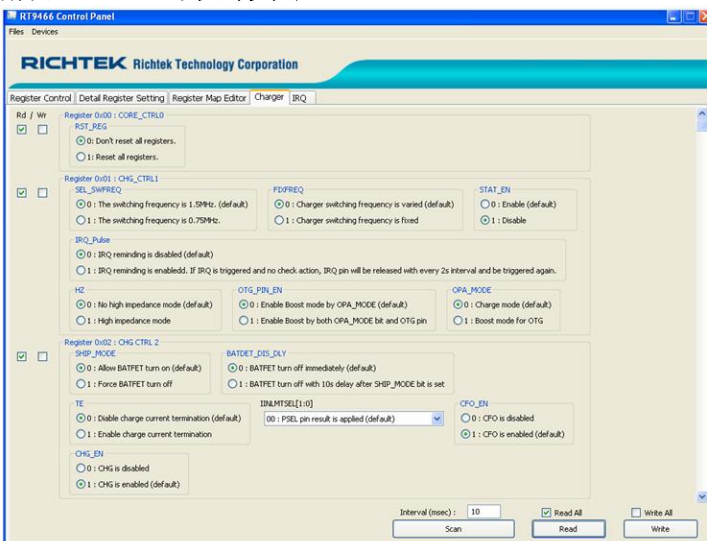


圖 28

立錡可向用戶提供 RT9466 的評估套件，該套件包含的評估板上含有 RT9466 及其所有週邊元件和檢測、連接端子，可讓使用者迅速進入工作狀態。通過立錡的 I<sup>2</sup>C 介面轉換裝置 [Richtek Wrenboard utility](#) 對該評估板進行操作的圖形化使用者介面也可提供使用者使用，參見圖 28。

## 6. 總結

對可攜式設備的大容量鋰離子電池進行快充需要對電源供電能力、電池特性、充電器件的能力和熱效應等方面有特別的考慮，立錡擁有多種開關模式充電 IC 來滿足各種不同規格應用的需要，它們都集成了很多經過優化的功能，還有廣泛的硬體和軟體上的支援可以提供。敬請登陸立錡官方網站獲取產品規格和設計支援工具的資料，也可聯絡你附近的立錡分支機構索取樣品、評估套件和各種幫助。

相關產品	
<a href="#">RT9458</a>	Switch-Mode Single Cell Li-Ion Battery Charger with USB-OTG
<a href="#">RT9460</a>	Switch-Mode Single Cell Li-Ion Charger with USB-OTG
<a href="#">RT9466</a>	5A Single Cell Li-Ion Switching Battery Charger with Power Path Management and USB-OTG Boost Mode
<a href="#">RT1711H</a>	Programmable USB Type-C PD Controller

相關資源	
Richtek Newsletter	<a href="#">Subscribe Richtek Newsletter</a>

### Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Tai Yuen 1st Street, Chupei City

Hsinchu, Taiwan, R.O.C.

Tel: 886-3-5526789

Richtek products are sold by description only. Richtek reserves the right to change the circuitry and/or specifications without notice at any time. Customers should obtain the latest relevant information and data sheets before placing orders and should verify that such information is current and complete. Richtek cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Richtek product. Information furnished by Richtek is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Richtek or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Richtek or its subsidiaries.