

汽車 USB Type-C 電源解決方案

1 平方英寸的 45 W、2 MHz 升降壓控制器

■作者：Kyle Lawrence / ADI 應用工程師

USB Type-C 是一種相對較新的高功率 USB 周邊標準，其用於電腦和可攜式電子裝置。USB Type-C 標準推動了 USB 供電規範的改變，不同於長期存在的 5 V USB 標準，Type-C 標準的匯流排電壓最高可達 20 V，電流輸送能力最高可達 5 A。連接的 USB-C 設備可以相互識別並協商匯流排電壓——從預設 5 V USB 輸出到幾個更高的預設電壓等級，以便在需要時實現更快的電池充電和更高的功率輸送（最高可達 100 W）。

電池充電器中使用的簡單精小型降壓穩壓器和線性穩壓器，僅需要 5 V、500 mA 至 2 A 的 USB 供電，並未充分覆蓋全部 Type-C USB 電源範圍。Type-C USB 電源增加的電壓範圍（5 V 至 20 V），需要的不僅僅是 9 V 至 36 V（或 60 V）汽車電池或其他充電電源的降壓轉換，還需要一個可調升降壓轉換器，以便能夠同時對輸入至輸出電壓進行升壓和降壓。

此外，對於高功率汽車 USB 充電器，升降壓轉換器應支援 10 A 或更高峰值開關電流額定值，並提供低 EMI 性能。將開關頻率設置在 AM 無線電頻帶之外，並使解決方案保持小尺寸的能力，是其頗受肯定的特性。高壓單晶轉換器（具備晶片上切換開關）則不能承受如此高的峰值開關電流而不燒毀。

LT8390A 是一款獨特的 2 MHz 同步四開關升降壓控制器。當在 2 MHz 開關頻率時，它可提供 5 V 至 15 V 的輸出電壓（3 A 時最高 45 W），以透過汽車電池為 USB-C 設備供電。如此高的控制器開關頻

率使得解決方案尺寸很小，頻寬很高，並且 AM 無線電頻帶之外的 EMI 很低。擴頻調頻和低 EMI 電流檢測架構均有助於 LT8390A 應用通過 CISPR 25 Class 5 級 EMI 標準的嚴格考驗。

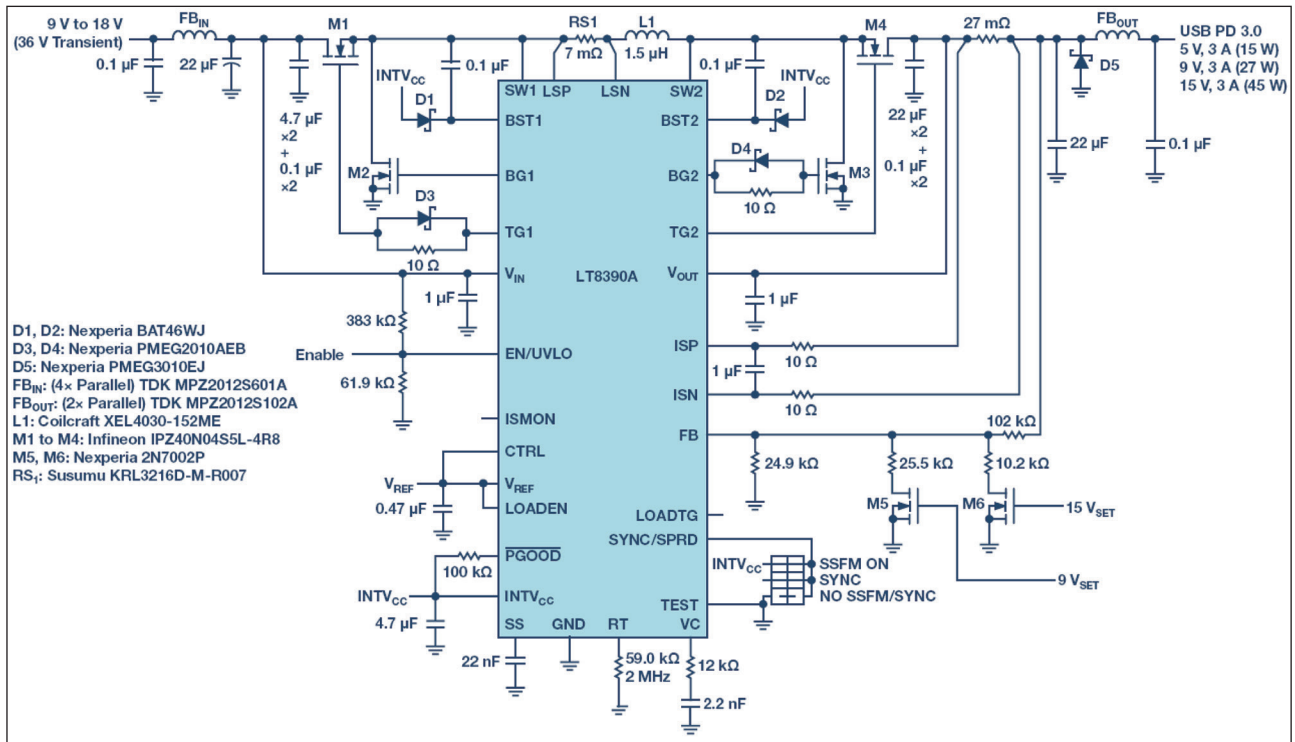
高功率密度轉換：尺寸（和功率）、效率、熱量

在汽車或可攜電子設備環境中操作的電壓調節器系統，其設計受到電路的空間需求以及工作時產

圖 1: 1 平方英寸大小的高效率、低 EMI USB Type-C 電源解決方案。



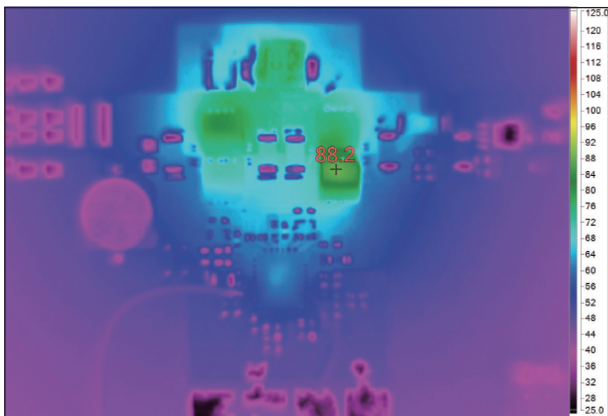
圖 2：此款 LT8390A 穩壓器解決方案採用符合 AEC 標準的 MOSFET、磁性元件和電容，提供最高 3 A 電流和可選的 5 V、9 V 或 15 V 低 EMI 輸出。



生的熱量的限制。在給定設計約束條件下工作時，以上兩個因素決定了可實現功率水準的上限。

提高設計的開關頻率允許使用較小的電感，而這常常是寬輸入電壓四組切換升降壓穩壓器設計中，尺寸最大的元件。相較於 150 kHz 或 400 kHz 設計，LT8390A 的 2 MHz 切換開關頻率能力，使其能夠支援使用尺寸小得多的電感。圖 1 顯示了一個完整設計。除了較小的電感外，該解決方案僅使用

圖 3：在產生 45 W 輸出功率的同時，該小型電路的最大溫升僅比環境溫度高 65°C。



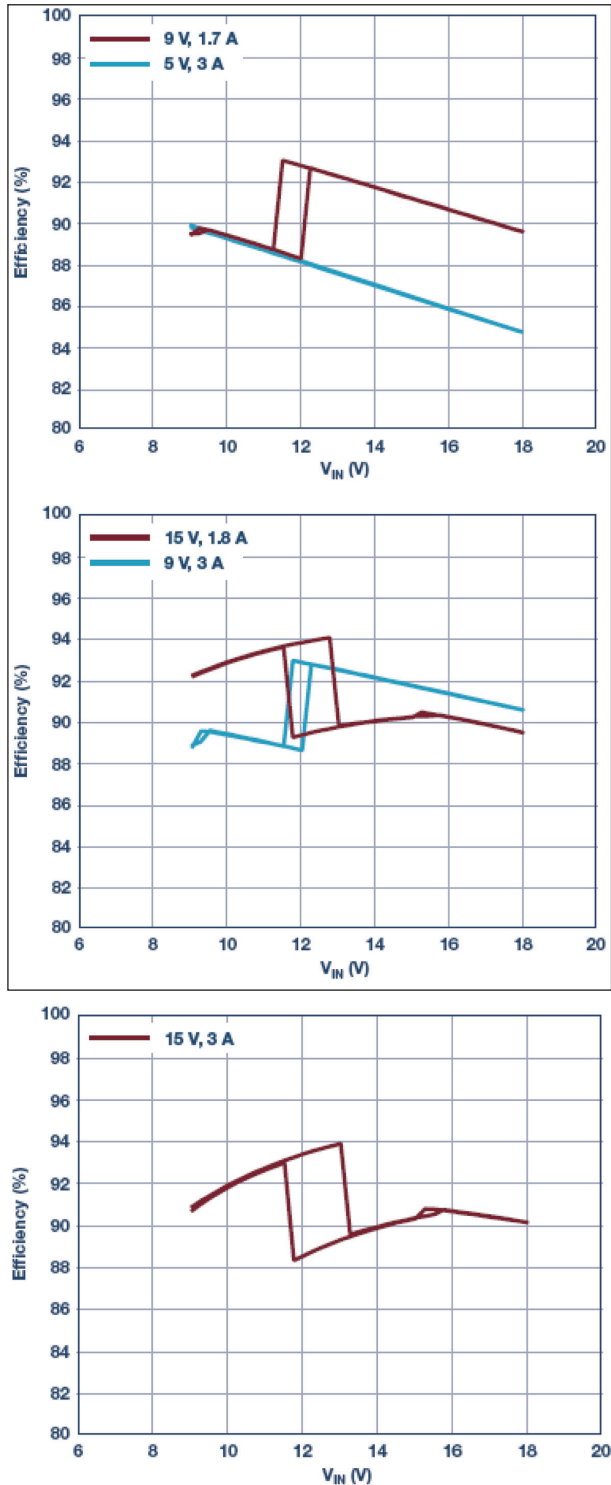
陶瓷型輸出電容，無需使用體積較大的電解電容。該設計所需的全部元件（包括 IC）都包含在一個 1 平方英寸的小型電路板上，如圖 1 所示。

圖 2 顯示了一個採用符合 AEC 標準的元件的 45 W LT8390A 解決方案。該設計相較環境溫度的最高溫升為 65°C，如圖 3 所示。儘管解決方案尺寸很小，但 LT8390A 系統在提供 45 W 輸出時的峰值效率可達 94%；在全輸入範圍內，對於所產生的每個輸出電壓，效率偏差小於 10%，如圖 4 中的圖表所示。

適合汽車應用的低 EMI

LT8390A 具有多種獨特的降低 EMI 的特性，可實現高功率轉換和低雜訊性能，從而簡化其在汽車系統中的實施。LT8390A 與其他四開關控制器之間的顯著差異在於電感電流感測電阻的位置。大多數四組切換開關升降壓控制器往往使用接地參考電流檢測方案來獲得開關電流資訊，而 LT8390A 將其電流檢測電阻與電感串聯。透過將感測電阻與電感

圖 4：利用汽車 SLA 電池供電時，對於全輸出電壓，LT8390A 穩壓器系統保持 94% 至 84% 的效率。



串聯，便可有效地將電阻從降壓和升壓熱迴路中移除，從而縮小迴路尺寸並改善 EMI 性能。

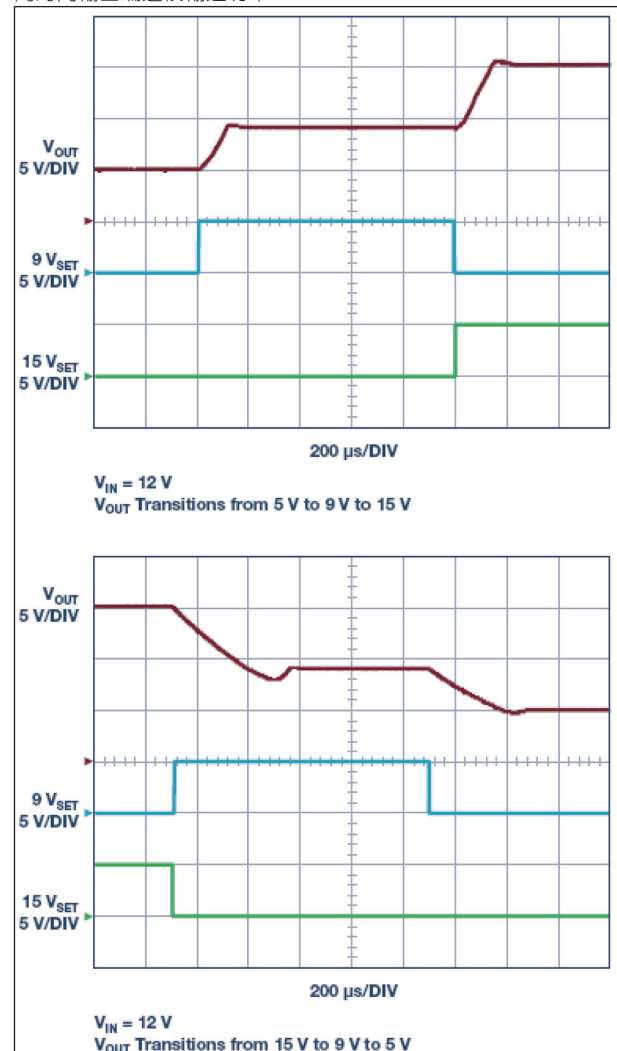
除了電感感測電阻位置的架構優勢外，

LT8390A 還內建了擴頻調頻功能以進一步降低控制器產生的 EMI。此外，降壓和升壓功率開關的邊緣速率僅使用幾個分立元件來控制，以減緩 MOSFET 的導通，確保在降低功率開關的高頻 EMI 與溫升之間達成適當的平衡。憑藉這些降低 EMI 的特性，滿足 CISPR 25 標準所需的唯一濾波器由輸入和輸出上的小型鐵氧體濾波器提供，而不是大型鐵氧體外殼和粗笨的 LC 濾波器。圖 1 所示的解決方案採用符合 AEC-Q100 標準的元件設計。

輸出電壓的無縫轉換

LT8390A 的輸出電壓可以在不關閉轉換器的

圖 5：LT8390A 系統輸出在 5 V、9 V 和 15 V 輸出之間平滑轉換，同時向輸出端連續輸送功率。



情況下進行調整，方法是使用邏輯位準訊號來驅動 MOSFET，從而調節輸出端的電阻分壓器以改變設定電壓。具備 GPIO 針腳的 USB PD 源控制器可與 LT8390A 系統配合使用，為主機和 USB 連接設備之間的協商過程提供高度的便利性，並設定所需的匯流排電壓。

圖 5 顯示了 LT8390A 系統輸出從一個輸出電壓非常平穩地轉換到另一個輸出電壓。當從 12 V 輸入電源供電時，從數位控制訊號的上升沿開始測量，每次轉換到更高輸出電壓最多需要 150 μ s 就能穩定。在輸出電壓改變期間，升降壓控制器經歷降壓、升壓和升降壓操作之間的模式轉換，具體取決於輸入與輸出電壓的關係。這些模式轉換以受控方式執行，防止輸出電壓過度過沖或下降。

擴展到 45 W 以上

要將輸出功率水準提高到 45 W 以上，需要以較低切換開關頻率操作，以便降低切換開關損耗，否則這種功率位準可能會為 MOSFET 帶來熱應力。作為 LT8390A 的替代產品，LT8390 的操作頻率介於 150 kHz 和 600 kHz 之間，具有與 LT8390A 相同的特性組合，可實現低 EMI、高功率升降壓設計。採用較大電感和輸出電容的 400 kHz LT8390 系統，可輕鬆利用汽車電池輸入實現 100 W 的輸出功率，溫升並且在可接受的範圍內。圖 6 顯示了各種電池

供電輸入下 LT8390A 和 LT8390 產品線的功率能力。

結論

針對為連接設備供電的穩壓器的新 USB 標準，支援通過增加穩壓器可提供的輸出電壓範圍和電流輸送來實現更高的功率傳輸。可攜式和汽車電池供電的 USB-C 充電器設備需要一種寬 V_{IN}/V_{OUT} 升降壓穩壓器，以便輸送高於或低於輸入電壓的匯流排電壓。2 MHz 切換開關頻率使 LT8390A 可以提供最高 45 W 的輸出功率，解決方案尺寸很小。對於超過 45 W 的功率水準，可以使用 LT8390，不過解決方案尺寸會略微增大，切換開關頻率會降低。



作者介紹：

Kyle Lawrence [kyle.lawrence@analog.com] 是 ADI 公司應用工程師。他負責設計和測試各種 DC-DC 轉換器，包括針對低 EMI 汽車應用的 4 組切換開關升降壓穩壓器和 LED 驅動器。他 2014 年畢業於加州大學聖克魯茲分校並擁有電氣工程學士學位。CTA

圖 6: LT8390A 和 LT8390 涵蓋了 USB 供電的各種輸出功率等級。

