

引導式降壓－升壓轉換器 延長照明時間

本文介紹如何利用降壓－升壓轉換器延長低成本可攜式 LED 燈的電池續航時間。儘管所介紹的方案主要是針對業餘愛好者，但文中探討的技術同樣可應用於各類工業場景。

■作者：Simon Bramble / ADI 首席應用工程師

引言

居住在鄉間小路旁別有一番愜意。這裡環境清幽，滿目自然景致。但也存在缺點：停電現象可能時有發生。當地每年約停電五次，頻繁的斷電帶來諸多不便，尤其到了夜晚，整棟房屋會陷入一片漆黑。不少家庭即便斷網尚可勉強生活，但沒有照明卻是一個嚴重的問題。經歷上一次停電後，我設計了一套工程解決方案，以避免類似問題再次發生。

車庫裡一盞積滿灰塵的舊露營燈被重新清理，並裝入四顆全新的 D 型電池後投入使用，能夠提供數小時的照明。但隨著電池電量逐步耗盡，燈光亮度持續衰減，最終完全熄滅。為提升性能，本文探索了多種方法來更高效地驅動 LED。

LTC3115 降壓－升壓轉換器

LED 通常採用串聯方式連接，並由恆流源驅動。這款露營燈的內部架構也採用了類似的串聯配置，依靠限流電阻為 LED 燈串進行電流調節。在電池放電過程中，隨著供電電壓逐漸下降，加在 LED 兩端的正向偏置電壓減小，導致發光強度逐漸降低，直至電壓降至其最低工作閾值以下時，LED 熄滅。因此，可採用降壓

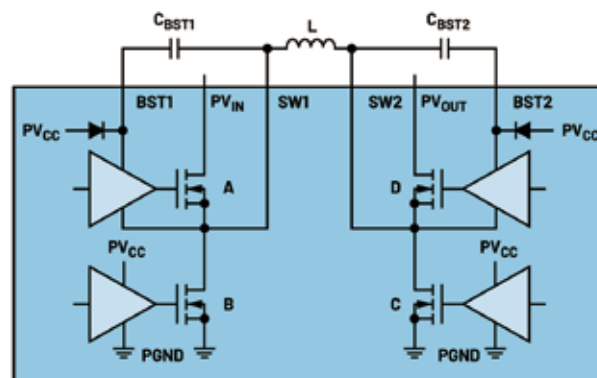
－升壓轉換器為 LED 燈串提供穩定電壓，並搭配小型電阻實現限流。這種做法還有一大優勢：當電池電壓低於 LED 正向偏置電壓時，電路可對電池電壓進行升壓，維持 LED 持續點亮。一個可行的設計思路由此逐漸形成。

首先選用 DC2119A (LTC3115-2 降壓－升壓轉換器的評估板) 並整合到燈具外殼中。該元件具備最高 40V 的輸入電壓能力，可在多種供電條件下實現延長工作時間，包括應急備用電源等應用場景。

圖 1 為 LTC3115-2 的內部結構。

值得注意的地方是當 FET A 和 FET B 組成一個降壓轉換器的時候，FET C 常態關斷，FET D 常態導通。當 PV_{IN} 高於 PV_{OUT} 時，FET A 導通，電感兩端產生電壓並完成儲能，電流

圖 1：LTC3115-2 的內部功率電路



由 SW1 流向 SW2。隨後，FET A 關斷，FET B 導通。電流流經 FET B，電感電流繼續從 SW1 流向 SW2，最終匯入接在 PV_{OUT} 端的輸出電容。在升壓模式下，FET C 與 FET D 反相交替導通：FET C 利用輸入電壓為電感充電，FET D 則將電感中的能量釋放至輸出電容。此模式下 FET A 常態導通，FET B 常態關斷。在降壓－升壓模式中，因輸入與輸出電壓相等，電感兩端無壓差，開關邏輯需做出相應調整。圖 2 展示了輸入和輸出電壓均為 6V 時，開關節點電壓與電感電流的變化波形。

(FET A + FET C)：FET A 導通，SW1 節點電壓抬升至 PV_{IN} 。FET C 導通，SW2 節點被拉至 0V。電感兩端承受高壓，電流線性上升，流向為 SW1 至 SW2。

(FET A + FET D)：隨後 FET C 關斷，電感為維持電流不變，兩端產生反向電壓，SW2 節點電壓不斷抬升，直至 FET D 的體二極體導通，此時 SW2 電壓比 PV_{OUT} 高出 0.6V。繼而 FET D 導通，體二極體被旁路，SW2 電壓回落至 PV_{OUT} ，電感電流線性衰減，電能流入輸出電容。

(FET B + FET D)：接著 FET A 關斷，電感再次產生反向電壓，FET B 的體二極體導通，SW1 節點電壓下拉 0.6V。之後 FET B 導通，SW1 節點被短接至 0V。此時 SW1 節點不再等於 V_{IN} ，而是等於 0V，因此電感兩端壓差增大，放電速度加快。

(FET B + FET C)：隨後 FET D 關斷，其體二極體導通，SW2 電壓抬升至超出 PV_{OUT} 0.6V。緊接著 FET C 導通，SW2 被拉至 0V。至此 SW1、SW2 均為 0V，飛跨電容 C_{BST1} 、 C_{BST2} 開始補電，電容儲存的電壓用於高側驅動 FET A 與 FET D。

拆解露營燈後發現，其內部所有 LED 均為並聯接法，電池直接透過四顆 7.5Ω 、3W 大功率電阻為 LED 供電，電能損耗嚴重，加速了電池耗電。大部分電能都耗散在電阻上，電池續航自然大打折扣。實測 LED 兩端工作電壓為 3.2V。

可充電電池在完全放電時端電壓約為 1V，這表示該燈具的電池組電壓會下降至約 4V。雖然簡易降壓轉換器也可滿足需求，最終仍選用了降壓－升壓轉換器。拆除原有大電阻後，

圖說 2：開關節點與電感電流波形



先透過桌上型電源直接為 LED 燈串供電，將電壓調至約 3.3V，達到最佳發光亮度。再將 LTC3115-2 的輸出電壓設定為 3.3V，直接驅動 LED，原理圖見圖 3。

測試結果與自舉技術應用

將電池組連接升壓轉換器後，LED 按照預期滿亮度點亮。但工作約 10 分鐘後，燈光開始閃爍，這顯然不是理想的表現。進一步分析後會發現，電池電壓跌至 2.4V 進入元件的輸入欠壓鎖定閾值，導致元件反覆復位。元件關斷後 LED 熄滅，電池負載解除，電壓逐步回升；隨後元件重新啟動，LED 再次點亮，如此循環反覆。這種現象被稱為「汽船雜訊」這個說法源自早期可攜式音訊功放：負載反覆連接、斷開會使電路持續振盪，喇叭隨之發出類似汽船發動機「噗噗」的聲響。

透過將 V_{IN} 接腳從輸出電壓進行自舉供電 (bootstrapping)，該問題得到了有效緩解自舉技術是利用輸出電壓為升壓轉換器輸入接腳供電的常用手段，透過增強內部場效應管的驅動能力，通常可提升電路整體效率。元件資料手

冊中也詳細介紹了對 VCC 接腳進行自舉的方案，這種方式可減小 LTC3115 內部低壓差穩壓器 (LDO) 的壓降，進而提升轉換效率。而在本電路中，自舉技術還能讓 V_{IN} 接腳電壓始終高於欠壓鎖定閾值，拓寬元件正常工作的輸入電壓範圍。本電路將 PV_{IN} 與 V_{IN} 接腳獨立驅動，藉由圖 3 中的二極體 D2，把 V_{IN} 接腳連接至 V_{OUT} 端。由於電路啟動瞬間輸出電壓為 0V，額外增設二極體 D1 連接至 V_{IN} ，保障元件順利啟動。兩個二極體型號均為 1N5819。同時增加電容 C3，在電池電壓短暫跌落時，維持 V_{IN} 接腳電壓穩定。LTC3115 的功率迴路 (場效應管、電感) 電流由 PV_{IN} 提供， V_{IN} 接腳功耗極低，搭配常規容值的電容即可實現濾波去耦。上述改造大幅優化了 LED 驅動器的工作表現，電池可放電至更低電壓。

為直覺展示自舉技術的效果，圖 4 為使用老舊電池堆時的波形。其中， PV_{IN} 為黃色， V_{OUT} 為藍色， V_{IN} 為粉色。

觀察波形中心線左側區域，當元件啟動後其 V_{OUT} 電壓逐步抬升，進而為 PV_{IN} 帶來較大負載，致使 PV_{IN} 電壓開始下降。粉色波形取

圖 3：升壓轉換器的原理圖

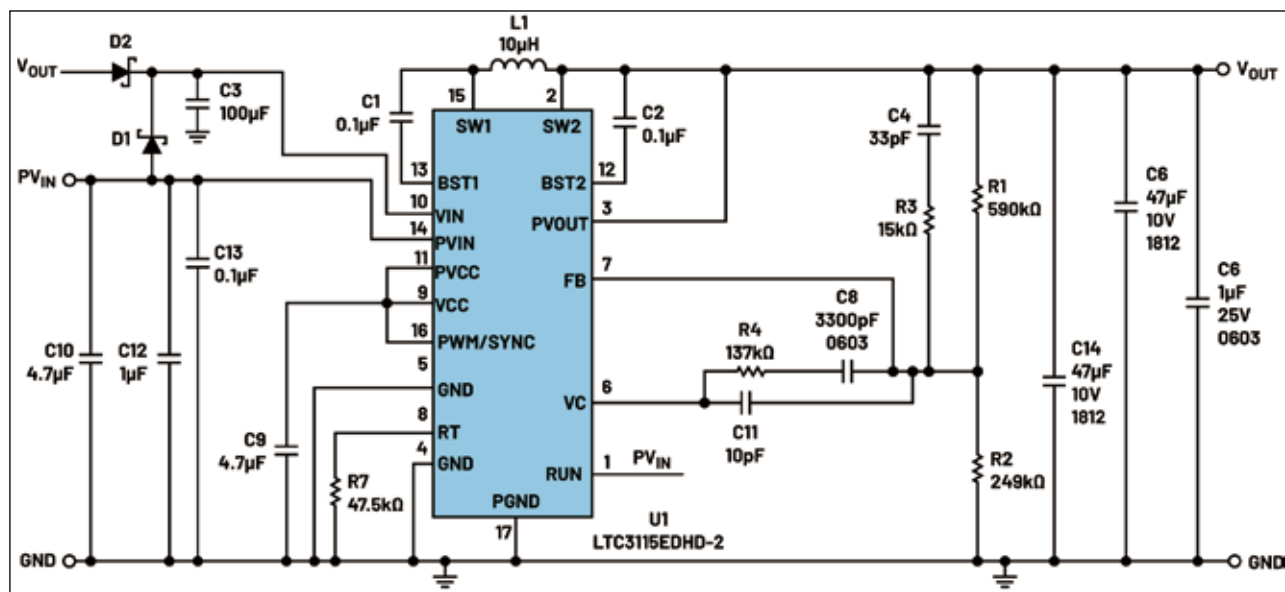
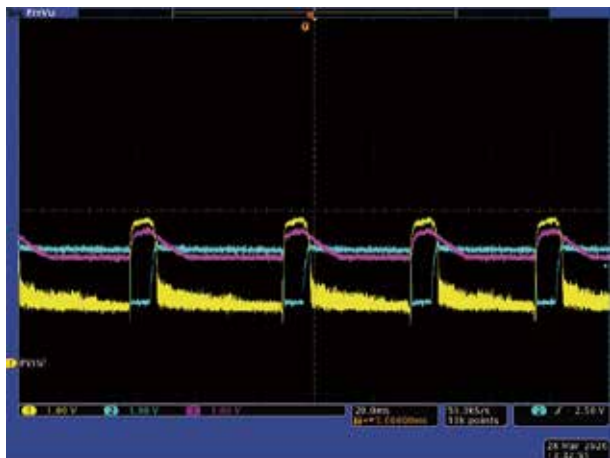


圖 4：使用老舊電池時的電路運作情況：PV_{IN}(黃色)、V_{OUT}(藍色)、VIN(粉色)。



自電容 C3 兩端，該電容由 PV_{IN} 充電，電壓比 PV_{IN} 低一個蕭特基二極體壓降。PV_{IN} 電壓回落時，電容 C3 持續為 V_{IN} 供電，使其電壓暫時保持高位；由於 LTC3115-2 有約 6mA 的靜態電流，V_{IN} 電壓呈線性緩慢下降。當 V_{IN} 電壓低於 V_{OUT} 時，二極體 D2 開始導通，即便 PV_{IN} 電壓大幅跌落，V_{IN} 依舊能維持正常位準。最終電池能量耗盡，在距離波形中心線約 1.6 個刻度處，

PV_{IN} 電壓降至 1.1V (RUN 接腳關斷閾值)，元件停止工作。電池中的負載移除後，PV_{IN} 電壓回升，電路再次啟動，整個過程再次重複。

當為電路更換新電池後，LED 的表現明顯改善，亮度保持穩定且更加一致。後續則藉由桌上型電源，分別對原 7.5Ω 電阻器和降壓－升壓轉換器開展對比測試。當桌上型電源輸出電壓設為 5.90V 時，原電阻電路輸入電流為 320mA，電阻產生嚴重的發熱；而當接入 LTC3115 後，輸入電流則降至約 160mA，電池供電電流便顯著降低。此外，針對搭載降壓－升壓轉換器的電路，即便輸入電壓持續下降，LED 亮度也能始終保持恆定。

結論

LTC3115-2 可有效緩解家庭頻繁停電帶來的不便。圖 3 所示電路結合自舉技術，有效延長了露營燈的使用時間與降壓－升壓轉換器的工作區間。CTA

SEMI 攜手 Silicon Catalyst 建立全球策略夥伴關係 加速半導體創新發展

SEMI 國際半導體產業協會宣布攜手全球唯一專注半導體創新的加速器 Silicon Catalyst 建立全球策略夥伴關係，雙方於 SEMICON Taiwan 2026 正式簽署合作備忘錄 (MOU)。此次合作將整合 SEMI 全球電子設計與製造供應鏈網路，以及 Silicon Catalyst 的半導體新創培育與投資資源，加速創新技術商業化，並深化全球半導體硬體新創、投資人、製造商與技術領導者之間的合作，共同壯大全球半導體創新生態系。

隨著 AI 時代加速技術演進，半導體企業對於新興技術、創新商業模式與突破性創新的需求日益增加。透過此次合作，SEMI 與 Silicon Catalyst 將為既有產業領導企業與下一世代半導體創新者打造更多跨域合作機會，共同推動創新成果加速落地。

本次合作將率先於台灣、美洲及歐洲展開，並規劃逐步擴展至 SEMI 全球各區會員。透過 SEMI 的國際平台，會員企業將可接軌 Silicon Catalyst 的新創投資組合與創新生態系；Silicon Catalyst 所扶植的新創企業，則將受益於 SEMI 全球會員企業、投資人、技術夥伴及產業資源網路。

雙方將於全球各地 SEMICON 展會共同規劃新創主題活動，包括新創展區、創投與投資人交流計畫，以及技術展示平台等。相關計畫將自「晶片新創特區」啟動，並逐步拓展至其他主要 SEMICON 展會，為半導體價值鏈中的新創企業打造全球參與以及持續發展的舞台。

SEMI 與 Silicon Catalyst 新創合作重點

- 建立全球策略夥伴關係，加速 AI 時代半導體創新。
- SEMI 會員可接軌 Silicon Catalyst 新創投資組合與創新生態系。
- Silicon Catalyst 新創企業可連結 SEMI 全球會員企業與產業資源網路。
- 透過全球 SEMICON 展會推動新創主題活動。