

增大升壓轉換器的效用： 以更低電壓驅動更重負載

■作者：Simon Bramble / ADI 現場應用工程師

「自舉」(Bootstrapping) 這項技術適用於大部分升壓轉換器，可以在轉換器的電壓降低時保持驅動重負載。許多可攜式設計要求升壓轉換器將低電池電壓轉換為更高電壓，但是，隨著電池電壓逐漸衰減，對升壓轉換器 FET 的驅動力會降低，有時候會降低傳輸到輸出的電流。「自舉」技術克服了這一問題，不但延長了電池使用壽命，並增強了在驅動重負載時的效率。

這些升壓轉換器專為提升效用而設計

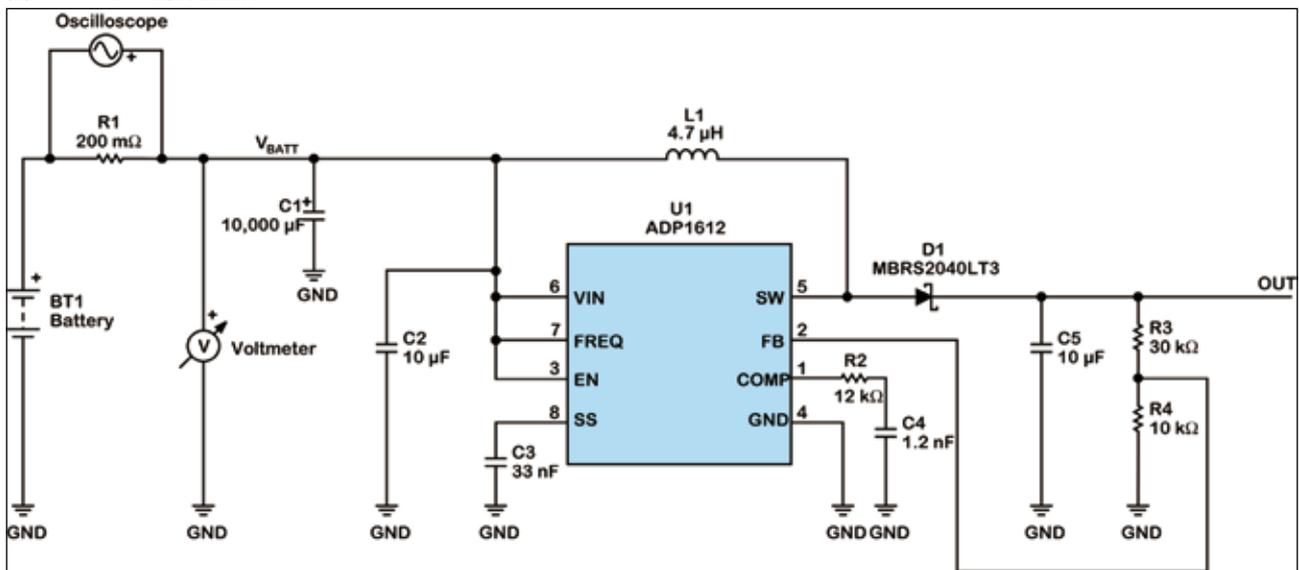
ADP1612 為一款低成本高效率升壓轉換器，採用 1.3 MHz，非常適合必須保持尺寸小巧的消費性電子電路。其中內建關斷接腳，可以將靜態電流降低至低於 2 μA ，並以低至 1.8 V 的輸入電壓運作，因此非常適合電池供電的電子元件。但是，隨著電

池電壓降低，其峰值電流也會下降。如果在電池使用的最後幾小時內，需要平緩處理，這是有利的，但是，在以低電池輸入電壓驅動重負載時，這會導致出現問題。「自舉」技術克服了這個問題，在提供高輸出電流和高效率的同時，允許電池電壓降低至更低的水準。

透過升壓轉換器延長電池壽命

圖 1 顯示了 ADP1612 的標準評估套件。其中增加了一個 200 m Ω 電流感測電阻，與電池輸入串聯，用於測量輸入電流。在電池輸入電路中增加了一個大型電解電容，用於平滑電感器的電流峰值，以便能夠高度準確測量感測電阻上的平均電池電流。電池電壓由數位電壓表進行測量，因此，可以用電池電壓乘以輸入電流來計算輸入功率。在輸出

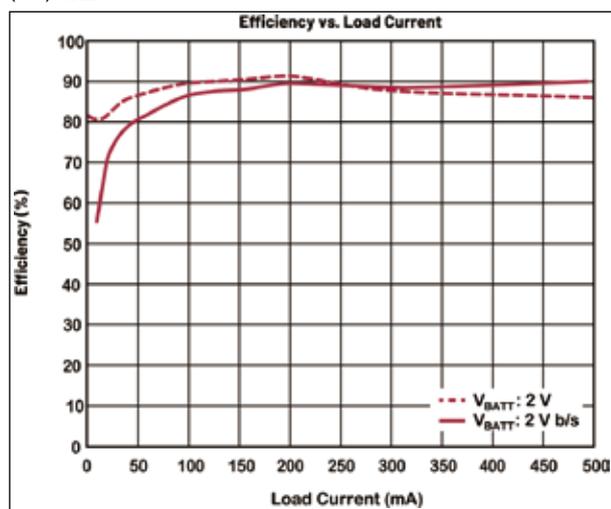
圖 1: ADP1612 的評估套件。



致能接腳可以連接至電池電壓 V_{BATT} ，或連接至輸出電壓。如果電池電壓降至低於約 1.7 V，將其連接至電池電壓會置位元欠壓保護 (UVLO)，但是，在將其連接至輸出電壓時，即使電池電壓降到遠低於此電壓的水準，ADP1612 也可以繼續進行切換。

圖 5 顯示在電池電壓為 2 V，測量輸出電壓為 4.95 V 時，非「自舉」和「自舉」配置的效率結果。

圖 5: 輸入電壓為 2 V 時，ADP1612 在非「自舉」配置和「自舉」(b/s) 配置下的效率。



在圖 5 中，「自舉」配置的效率曲線用實線表示，在輕負載時明顯較低。這主要是因為，元件的靜態電流 (約 4 mA) 現在來自於輸出電壓，實際上乘以了因數

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN} \times \text{Efficiency}} \quad (1)$$

還可以看出在電池電壓降低時，因為 FET 驅動力更高，所以「自舉」電路的重負載電流 (高於約 260 mA) 的效率開始改善。

圖 6 和圖 7 顯示在「自舉」模式下，切換節點底部的電壓。需要注意的是，「自舉」電路只影響控制器 IC 的電源電壓，不會影響功率路徑 (電感器和輸出二極體)。所以，現在可以直接比較 2 V「自舉」和非「自舉」切換節點電壓 (圖 6 和圖 2)，以及 3 V「自舉」和非「自舉」切換節點電壓 (圖 7 和圖 3)。

在低電池電壓下，「自舉」電路具有明顯的優勢。在 2 V 電池電壓下，非「自舉」切換節點電壓

圖 6: 切換節點電壓，2 V 輸入，「自舉」。

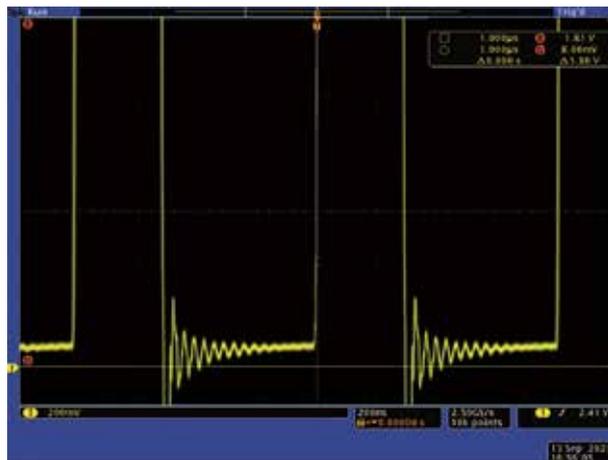
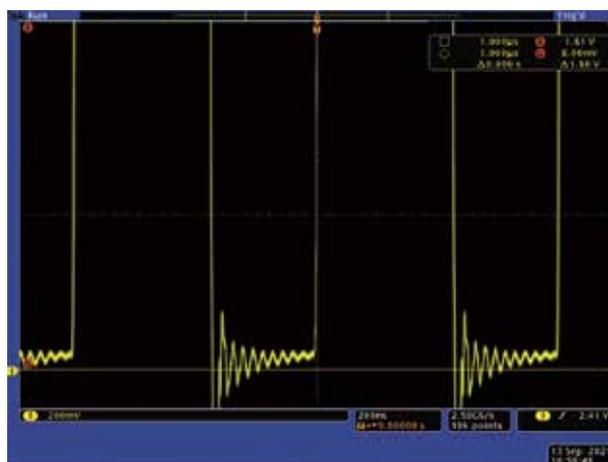


圖 7: 切換節點電壓，3 V 輸入，「自舉」。



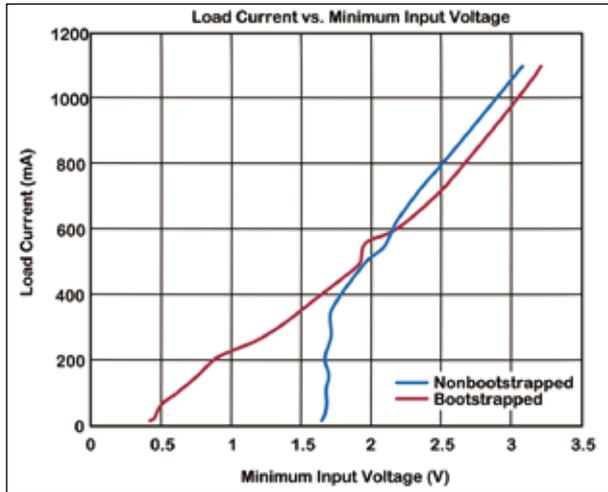
的峰值為 180 mV，「自舉」電路的峰值僅為 100 mV，表示導通電阻 FET 更低，導致的損耗也更低。在 3 V 電池電壓下，「自舉」電路似乎改善甚微乃至無改善，兩個切換節點波形的峰值均為約 80 mV。

最低可降至多低？

另一個有用實驗是，在輸出電壓開始喪失穩壓性之前，查看電池電壓可降低至多低。圖 8 顯示「自舉」和非「自舉」模式之間的比較。

在非「自舉」電路中，我們可以看到，在電池電壓低於約 1.7 V (如藍色曲線所示 0 時，UVLO 電路啟動。與之相反，圖 4 中所示的「自舉」電路的使能和 V_{IN} 接腳均連接至輸出電壓 (5 V)，所以，UVLO 電路不會啟動，允許電路以更低電壓運行。但是，該電路無法憑空產生功率。ADP1612 提供峰

圖 8: 負載電流與最小輸入電壓。



值限流功能：所以，負載電流越高，所需的電池電壓也越高，才能達到固定峰值切換電流所需的負載電流。也因此，圖 8 中的紅色曲線會在負載電流升高時，幾乎成線性成長。

最低工作電壓由轉換器的最大操作週期 (約為 90%) 決定。根據公式

$$Duty\ Cycle \approx \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{V_{OUT}} \quad (2)$$

5 V 輸出電壓和 90% 最大操作週期表示最小電池電壓為 0.5 V，這與圖表中所示的結果一致。

令人驚訝的是，在圖 8 中，當電池電壓高於 2.2 V 時，非「自舉」電路可以提供比「自舉」電路更高的負載電流。這是因為在由輸出電壓供電時，ADP1612 在「自舉」模式下具有更高的靜態電流。此外，ADP1612 的效率低於 100%，這會進一步增大在給定的負載電流下電路所需的輸入電流。因此，在「自舉」模式下，所需的輸入電壓 (約 150 mV) 會稍高於在非「自舉」模式下所需的電壓。如之前

所述，在更高的電池電壓下，「自舉」電路的優勢並不明顯，而更高的開極驅動帶來的優勢並不足以抵消「自舉」電路的靜態電流升高導致的損耗增加。

其他優點和缺點

「自舉」配置也會影響電路的啓動電壓。現在，ADP1612 的 V_{IN} 接腳由輸出供電，其電池電壓需要比非「自舉」電路高出一個蕭特基二極體壓降。蕭特基二極體中的壓降隨電流在約 100 mV (電流約為 50 μ A) 到高於 200 mV (電流更高) 之間變化。透過實驗發現，非「自舉」電路的啓動電壓為約 1.75 V (等於 UVLO 閾值)，「自舉」電路的啓動電壓則升高至約 1.95 V。

結論：升壓轉換器是否已就緒？開始提升效用

相信 Nancy Sinatra 會很自豪*。「自舉」技術適用於在啓動時不會斷開電池電壓和輸出之間連接的任何升壓轉換器。可以透過使用具有非常低的靜態電流的元件來消除低下的輕載效率帶來的影響。更高的啓動電壓並不總是問題，因為在電池耗盡的情況下並不常需要啓動電路。

如果在大部分使用情況下或高電池電壓下，電路的負載電流都相當輕，那麼使用「自舉」技術可能徒勞無益。但是，如果是重負載，且電路需要繼續運行，直至電池電量耗盡那一刻，那麼可以考慮使用「自舉」電路。

“These Boots Are Made for Walkin’”—Nancy Sinatra, 1966 年 

下期預告

現實與虛擬的融合