

專為物聯網和微功率應用量身訂製的升降壓轉換器

作者：Dava Salerno

凌力爾特電源產品部設計部負責人

由於支援物聯網的無線感測器激增，所以針對無線低功率設備而訂製的小型、高效率電源轉換器的需求也因而提高了。最新的 LTC3129 和 LTC3129-1 設計滿足了這種需求。LTC3129 和 LTC3129-1 均是單片升降壓 DC/DC 轉換器，輸入電壓範圍為 2.42V 至 15V。LTC3129 的輸出電壓範圍為 1.4V 至 15.75V，而 LTC3129-1 有 8 個針腳可選的固定輸出電壓(在 1.8V 至 15V)。這兩款元件在降壓模式都提供了 200mA 最低輸出電流。

LTC3129 和 LTC3129-1 在禁止工作時電流為零(V_{IN} 和 V_{OUT} 均為零)，而當選擇省電的 Burst Mode 模式工作時， V_{IN} 的靜態電流僅為 $1.3 \mu A$ ，這些特點使低功率感測器非常受益，因此這兩款元件非常適合微功率和能量收集應用，在這類應用中，高效率和極輕負載是至關重要。這兩款元件的升降壓架構使它們非常適合多種電源。

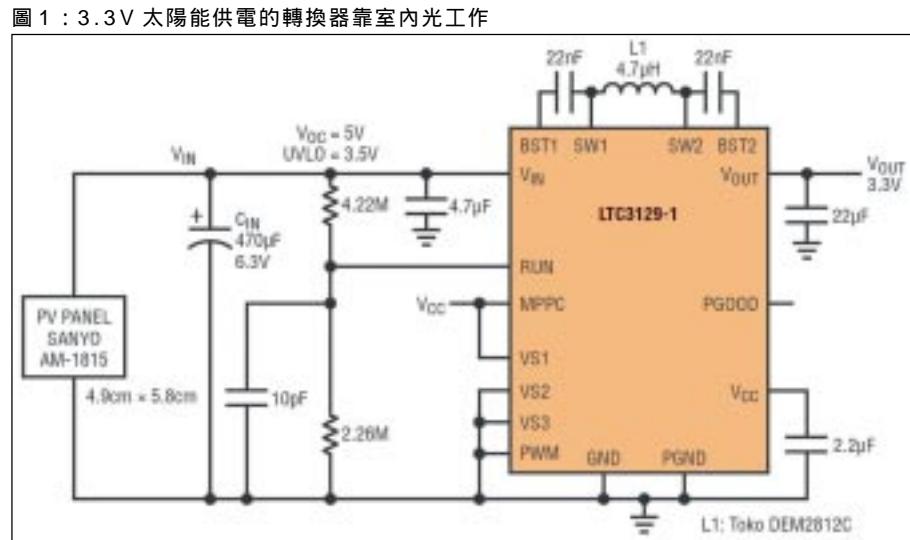
LTC3129 和 LTC3129-1 的其他關鍵特點包括固定 1.2MHz 操作頻率、電流模式控制、內部迴路補償、自動 Burst Mode 模式工作或低雜訊 PWM 模式工作、準確的 RUN 針腳門檻以允許設定 UVLO 門限、電源良好輸出和 MPPC(最大功率點控制)功能以從光伏電池供電時優化功率傳送。

精小的 $3mm \times 3mm$ QFN

封裝和高整合度使得 LTC3129/LTC3129-1 在空間受限的應用中配置更為容易。透過此這兩款元件完成電源設計僅需要少量的幾個外部元件和一個電感，而且這些外部元件可以小至 $2mm \times 3mm$ 。內部迴路補償可進一步簡化設計流程。

3.3V 轉換器靠室內光照條件用小型太陽能電池工作

圖 1 電路利用了 LTC3129 和 LTC3129-1 獨特的能力，可採用低至 $7.5 \mu W$ 的輸入電源啟動和運行，這使其能夠利用小型(不到 1 平方英寸)低成本太陽能電池、靠不到 200 流明的室內光級別的光照工作。這使由室內光供電的無線感測器等應用得以實現，在這類應用中，由於工作時工作週期非常



低，所以 DC/DC 轉換器必須從非常低的可用功率支持極低的平均功率要求，同時盡可能少地消耗功率。

為了實現這種低電流啟動，LTC3129 和 LTC3129-1 僅汲取非常低的 $2 \mu A$ 電流(關機時更小)，直至滿足以下 3 個條件為止：

RUN 針腳電壓必須超過 1.22V(典型情況)

V_{IN} 針腳電壓必須超過 1.9V(典型情況)

V_{CC} 電壓(在內部靠 V_{IN} 產生，不過也可以從外部提供)必須超過 2.25V(典型情況)

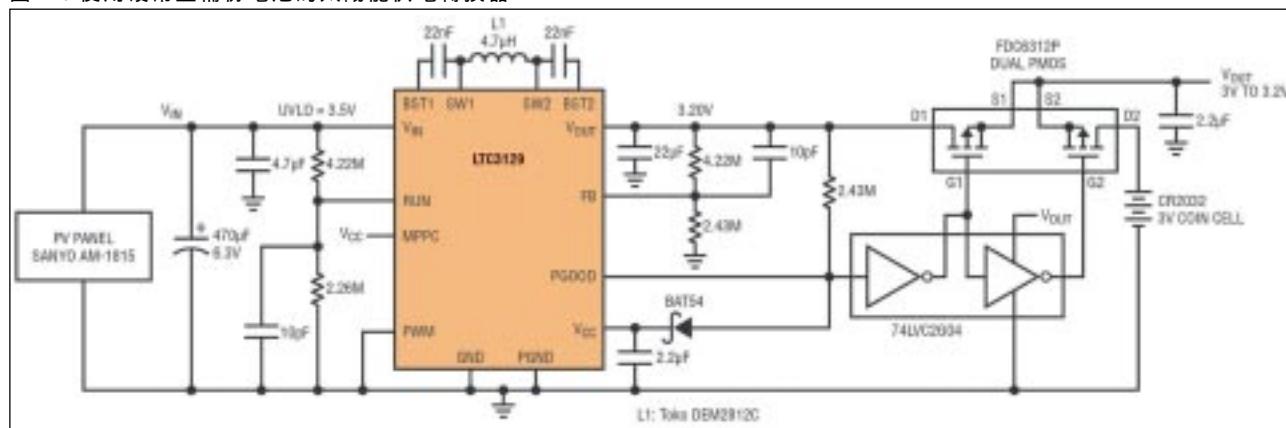
直至所有這 3 個條件都滿足為止，該元件始終處於 " 軟關機 " 或備用狀態，僅汲取 $2 \mu A$ 電流。

這允許功率微弱的輸入源給輸入存儲電容器充電，直至電容電壓足夠高到可滿足前述 3 個條件為止，這時，LTC3129/LTC3129-1 開始切換，如果輸入電容儲存了充足的能量，那麼 V_{OUT} 上升至穩定值。利用 RUN 針腳上的外部電阻分壓器，輸入電壓可以設定為 2.4V 至 15V 之間的任意值，在這個設定電壓值上，該元件退出 UVLO 狀態。RUN 針腳電流典型值低於 $1nA$ ，因此可以使用電阻值很大的電阻，以將 V_{IN} 端汲取的電流降至最低。

在圖 1 所示應用實例中，一旦轉換器啟動，儲存在 C_{IN} 中的能量就用來使 V_{OUT} 進入穩定狀態。如果 V_{OUT} 的平均功率需求低於太陽能電池提供的功率，那麼 LTC3129/LTC3129-1 就保持高載模式工作， V_{OUT} 保持穩定狀態。

如果平均輸出功率需求超過可用輸入功率，

圖 2：使用硬幣型備份電池的太陽能供電轉換器



那麼 V_{IN} 降低，直至達到 UVLO 為止，在這個點上，轉換器重新進入軟關機狀態。也是在這個點上， V_{IN} 開始再充電，從而允許週期重複。在這種打嗝模式工作中， V_{IN} 遲滯地設定在大約 UVLO 點，在這實例中， V_{IN} 漣波大約為 290mV。這個漣波是由 RUN 針腳的 100mV 遲滯設定的，由 UVLO 分壓比而獲得。

請注意，透過針對選定太陽能電池，將轉換器的 UVLO 電壓設定為 MPP(最大功率點)電壓(典型情況下為 70% 至 80% 開路電壓)，太陽能電池可以始終靠近最大功率傳輸電壓工作(除非平均負載要求低於太陽能電池的功率輸出，在這種情況下， V_{IN} 上升，並保持高於 UVLO 電壓)。

為了進一步優化效率和消除不必要的 V_{OUT} 負載，LTC3129/LTC3129-1 在軟啟動或任何時候選擇了 Burst Mode 模式時都不從 V_{OUT} 吸取電流。這防止了轉換器在軟啟動時給 V_{OUT} 放電，因此保持了輸出電容上的電量。實際上，當 LTC3129 處於休眠狀態時，在 V_{OUT} 端根本就不汲取電流。就 LTC3129-1 而言，由於存在高阻抗內部回饋分壓器， V_{OUT} 端汲取低於微安級的電流。

增加電池備份

在很多太陽能供電應用中，當太陽能電池功率不足時，由備份電池供電。圖 2 顯示了一個應用，與之前的實例相比，本圖中轉換器增加了一個硬幣型鋰離子主電池和幾個外部元件，以在萬一光

源不能提供維持 V_{OUT} 所需的必要功率時，作為備份電源使用。在這個例子中使用了 LTC3129，允許 V_{OUT} 針對 3.2V 來設定，以更良好與硬幣型電池電壓相匹配。

在這個例子中，電池放置在轉換器的輸出端，設定 LTC3129 以調節 V_{OUT} 略高於電池電壓。這樣就可確保無論何時，只要 V_{OUT} 可以有太陽能輸入供電，在電池就沒有負載。萬一由於給負載供電的光照不足而導致 V_{OUT} 下降，那麼 LTC3129 的 PGOOD 輸出就降低，負載就從轉換器輸出端切換到電池端，從而保持 V_{OUT} 等於電池電壓，轉換器的輸入和輸出電容器能夠進行再充電(如果有光照可用)，從而使負載能夠借助 PGOOD 訊號週期性地從電池切換至轉換器。採用這種方法以後，負載會盡可能由太陽能輸入供電，電池則僅以分時方式使用，從而延長了電池壽命。

在 V_{CC} (因此也是 PGOOD) 有效之前，連接從 PGOOD 至 V_{CC} 的二極體用來在啟動時保持 PGOOD 為低位準。

選擇在何處放置備份電池

在前述例子中，備份電池放置在輸出端。就輕負載應用而言，這麼做的優點是，電池不會暴露於相對較高的轉換器啟動輸入電流突發之下，因為電池有可能是低容量和具高內部阻抗。這種突發會導致較大幅的電池電壓下降和內部功耗，從而縮短電池壽命。

將備份電池放置在轉換器輸出端的缺點，是電池電壓與想要的輸出電壓必須良好匹配，電池必須具備相對平坦的放電曲線，以便合理保持 V_{OUT} 穩定。3V 鋰離子電池滿足所有這些要求。

將備份電池放置在轉換器的輸入端，允許電池電壓與想要的輸出電壓不同。但是電

池必須能夠承受轉換器啟動或負載瞬態時產生的較大電流。備份電池如果放置在輸入端，那麼就長壽命應用而言，鋰亞硫醯氯電池一般是較好的選擇。它可以與太陽能電池進行二極體"合路"連接，或者用類似於圖2所示的方法，用MOSFET開關連接和斷接備份電池。

5V 轉換器無縫地用各種輸入源工作

圖 3 說明，LTC3129-1 能夠以最少的外部元件，在多種負載和輸入電壓情況下以高效率工作。在這個例子中，輸出已經用 VS1 - VS3 針腳針對 5V 電壓設定，可以由 5V USB 輸入、各種電池或者 3V 至 15V 交流適配器供電。在軍用無線電設備等至關重要的現場應用中，能夠靈活無縫地用多種電源工作是非常有價值的。

LTC3129-1 在休眠模式時 IQ 僅為很低的 $1.3 \mu A$ ，加之高阻抗內部回饋分壓器，所以該元件能夠在寬廣的負載範圍內保持高效率，如圖 4 所示。當負載電流僅為 $100 \mu A$ 時，效率在幾乎整個 V_{IN} 範圍內均為大約 80%。這個特點很重要，在大量時間處於低功率狀態的應用中，可延長電池壽命。

電壓階躍響應(V_{IN} 從 5V 階躍至 12V)如圖 5 所示，圖中顯示了重負載和輕負載情況下的 V_{OUT} 。在 200mA 負載時，該元件以 PWM 模式工作， V_{OUT} 過沖僅為 150mV(3%)。在 10mA 負載時，該元件以

圖 3 · 多輸入 5V 轉換器

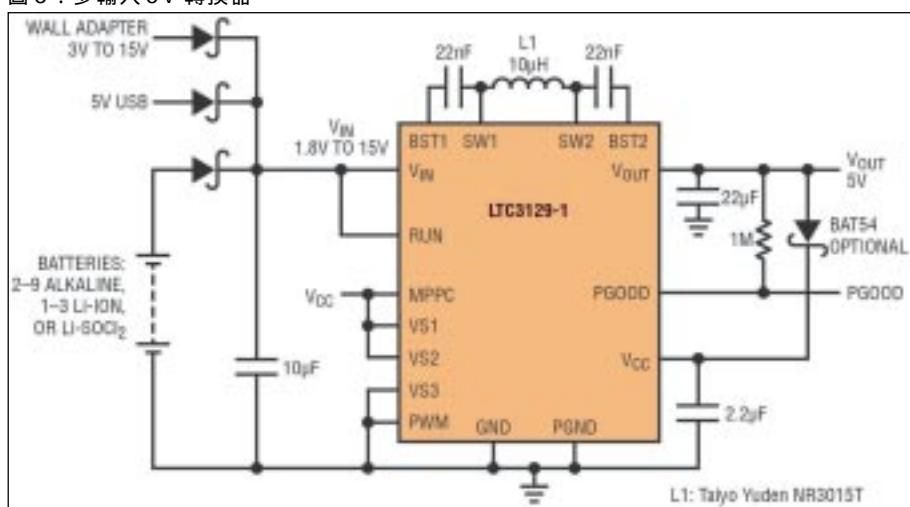
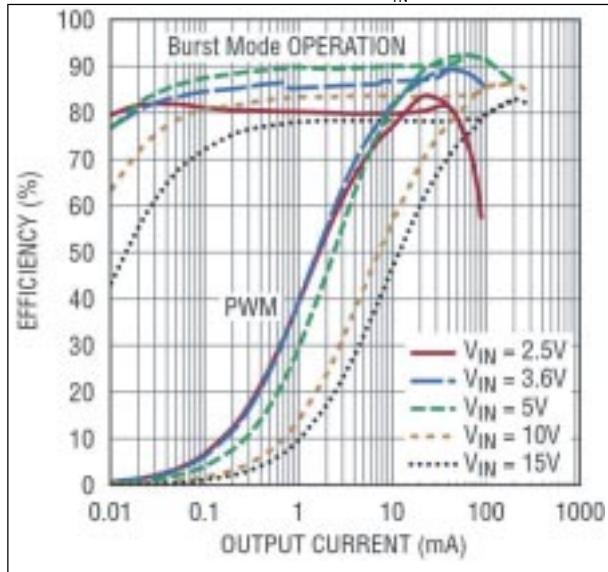


圖 4：圖 3 所示 5V 轉換器的效率隨 V_{IN} 和負載的變化

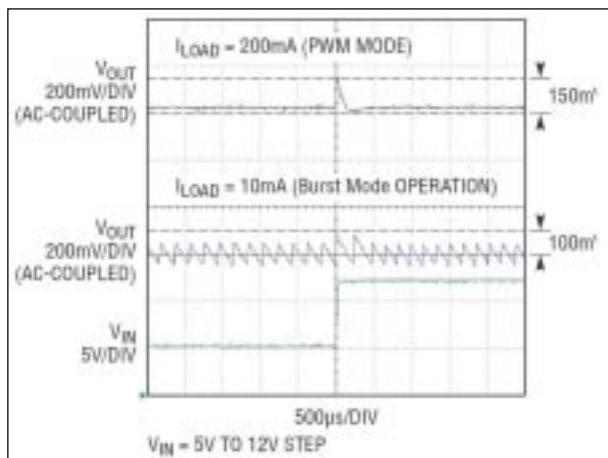


Burst Mode 模式工作，突發漣波為 $100\text{mV}_{\text{PK-PK}}$ (2%)，由於電壓階躍而產生了低於 100mV 的 V_{OUT} 過沖。

V_{CC} 針腳是內部 LDO 的輸出，從 V_{IN} 產生標稱 3.9V 電壓以給 IC 供電。這個 LDO 設計為可以從外部向後驅動至高達 5V 。本例中顯示，在 V_{OUT} 至 V_{CC} 之間連接了一個可選自舉二極體。

增加這個外部自舉二極體有兩個優勢。首先，它提高了低 V_{IN} 時的效率，並透過向內部開關提供更高的柵極驅動電壓以提供很大的負載電流，從而降低了 $R_{DS(ON)}$ 。另外，在高 V_{IN} 和輕負載時，它透過降低用來產生 V_{CC} 內部 LDO 中的功率損耗以

圖 5：圖 3 所示 5V 轉換器的電壓暫態響應



提高效率。(請注意， V_{CC} 針腳禁止升高至高於 6V ，所以它不能用二極體連接至更高的輸出電壓。)

增加一個自舉二極體的第二個優勢是，允許以較低的 V_{IN} 工作。啟動之後，如果 V_{CC} 保持高於其 2.2V 最低值(在本例中靠輸出電壓保持)，那麼轉換器就能夠以低至 1.75V 的更低輸入電壓工作，在這裡達到了固定的內部 V_{IN} UVLO 門限。這種能力使可用電壓範圍有了足夠大的擴展，因此有可能用兩個幾乎沒電的鹼性電池運行。請注意，如果電池電壓低於 2.4V ，轉換器關斷(或者 V_{OUT} 短路)，那麼該 IC 就不能重新啟動。

具 MPPC 的室外太陽能電池轉換器 / 充電器

LTC3129 和 LTC3129-1 包括最大功率點控制(MPPC)功能，允許轉換器跟隨 V_{IN} 至低於負載的最低電壓(使用者設定)。應用如果採用較大電流的太陽能電池或其他內部阻抗很高的電源，那麼調節 V_{IN} 可保持最佳功率傳輸。當用電流受限的電源工作時，這個功能防止轉換器導致輸入電壓崩潰。

MPPC 控制迴路是透過降低轉換器控制的平均電感器電流而工作，因此可保持所設定的最低 V_{IN} 電壓低於負載電壓。這個電壓用一個連接至 V_{IN} 和 MPPC 針腳的外部電阻器分壓器設定，如圖 6 的超級電容器充電實例所示。MPPC 控制環路設計為，用 22 μF 最小輸入電容可穩定。

請注意，如果輸出電壓驅動常規負載，那麼使電感器電流降至低於 MPPC 點的電流會導致輸出電壓下降。因此，大多數具 MPPC 的應用都涉及到用太陽能電池給一個大型存儲電容器充電(或者給電池涓流充電)的問題。MPPC 功能保證，電容或電池以最大電流充電，同時使太陽能電池以最大功率點電壓工作。

有一點很重要，請注意，當 LTC3129 / LTC3129-1 處於 MPPC 控制狀態時，Burst Mode 模式工作是禁止的，而且 V_{IN} 靜態電流為幾毫安培，

圖 6：具最大功率點控制的室外太陽能電池供電超級電容器充電器

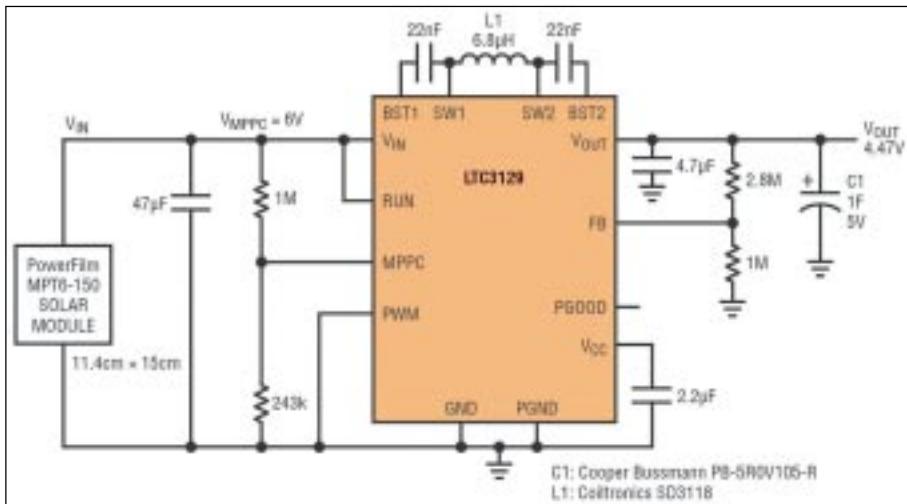
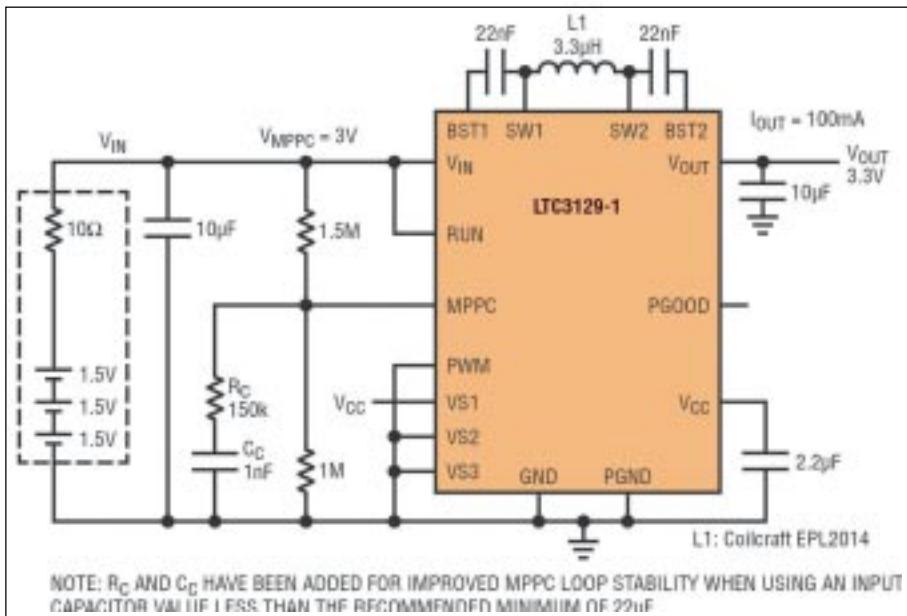


圖 7：用 MPPC 實現固有安全應用的 3.3V 轉換器



因為該 IC 以 1.2MHz 連續地切換。因此，MPPC 不適合與不能提供約 10mA 最小電流的電源一起使用。就需要類似 MPPC 功能但輸入電源電流能力很弱的應用而言，準確的 RUN 針腳應該用來設定一個 UVLO 門限，如圖 1 例子所述。

使用 MPPC 實現固有安全性

MPPC 功能可用在其他應用中，包括用來提供固有安全性的應用，在這類應用中，輸入電源與 DC/DC 轉換器之間有一個串聯限流電阻器。在這種

情況下，MPPC 迴路防止 LTC3129/LTC3129-1 汲取太大的電流，尤其是在啟動且輸出電容器正在充電時，還防止導致輸入電壓崩潰。圖 7 顯示的實例中，輸入電壓保持在 3V 最低值，如 MPPC 分壓器所設定的。

在這種情況下，為安全起見，輸入電容的值限制至僅為 $10\ \mu\text{F}$ (低於使用 MPPC 時所推薦的 $22\ \mu\text{F}$ 最低值)，因此為 MPPC 針腳增加了一個額外的 RC 補償網路，以提高 MPPC 迴路的相位裕度。

用 MPPC 實現輸入電流限制

請注意，MPPC 功能可用來將最大輸入電流設定為給定值。透過選擇串聯輸入電阻器的值，並將 MPPC 電壓設定為低於固定輸入電源電壓的值，最大輸入電流就可以限制為：

$$I_{IN} = (V_{SOURCE} - V_{MPPC}) / R_{SERIES}$$

結論

LTC3129 和 LTC3129-1 單片升降壓 DC/DC 轉換器提供真實世界無線感測器及可攜式電子儀器所需的卓越低功率性能和電源彈性。如果與能量收集系統一起運用，那麼超低 $1.3\ \mu\text{A}$ 靜態電流和高轉換效率可無限期地延長電池壽命。

透過選擇最大功率點控制方案，可以針對多種電源優化電源性能。由於無線監視應用覆蓋範圍日益擴大，因此需要易用、高效和彈性的 DC/DC 電源轉換器解決方案。而 LTC3129 和 LTC3129-1 已經準備好因應此挑戰。