

# 新一代大電流、高性能降壓和升壓型 $\mu$ Module 穩壓器

■作者：Ling Jiang / ADI 資深產品應用經理  
Wesley Ballar / ADI 資深產品應用工程師  
Anjan Panigrahy / ADI 產品應用工程師  
Henry Zhang / ADI 研究員暨資深產品應用總監

許多應用都需要寬廣輸入和 / 或輸出電壓範圍，例如電池供電系統。在輸入電壓可能低於或高於輸出電壓的情況下，電源需要調節其輸出電壓。只要不需要接地隔離，四開關降壓 - 升壓拓撲結構就能為此類應用提供超高的效率和功率密度。此外，降壓 - 升壓穩壓器非常具有彈性，可用於單純的降壓電源或升壓 (具有短路保護) 電源。

ADI  $\mu$ Module 部門開發了多款降壓 - 升壓穩壓器。如圖 1 所示，LTM8045、LTM8049、LTM8083 和 LTM4693 目的在滿足較低電流應用的需求。而 LTM4607 系列、LTM8055 系列以及新發表的 LTM4712 降壓 - 升壓模

組支援大電流應用 (最高 12 A)。LTM4607/LTM4605/LTM4609 系列內部整合了控制器和 MOSFET，但需要在 PCB 上連接外部功率電感和感測電阻 (RSENSE)，以構成完整的電源解決方案，如圖 2 所示。

而 LTM8054、LTM8055 和 LTM8056 則將功率電感和 RSENSE 整合到  $\mu$ Module 封裝中，進而簡化了客戶的設計和佈局工作，如圖 3 所示。相較於 LTM4607 系列，LTM8055 系列提供了更精巧尺寸的解決方案，但其輸出電流受限於精巧尺寸整合電感，因此熱性能和效率方面存在一定的侷限性。

ADI 於 2023 年時發表了新款大電流、四

表 1: LTM4712、LTM4605 系列和 LTM8055 系列總結

	LTM4712	LTM4605	LTM4607	LTM4609	LTM8054	LTM8055	LTM8056
電感、RSENSE	整合 L/DCR	外部 L 和 RSENSE			整合 L 和 RSENSE		
控制策略	峰值電流	谷值電流用於降壓 峰值電流用於升壓			谷值電流用於降壓 峰值電流用於升壓		
V <sub>IN</sub> 範圍	5 V 至 36 V	4.5 V 至 20 V	4.5 V 至 36 V	4.5 V 至 36 V	5 V 至 36 V	5 V 至 36 V	5 V 至 60 V
V <sub>OUT</sub> 範圍	1 V 至 36 V	0.8 V 至 16 V	0.8 V 至 24 V	0.8 V 至 34 V	1.2 V 至 36 V	1.2 V 至 3 V	1.2 V 至 48 V
I <sub>OUT_MAX</sub> (降壓)	12 A	12 A	10 A	10 A	5.4 A	8.5 A	5.5 A
I <sub>OUT_MAX</sub> (6 V <sub>IN</sub> 轉 12 V <sub>OUT</sub> )	6 A	5 A	5 A	4 A	1.8 A	3 A	1.7 A
封裝尺寸 (mm)	16 × 16 × 8.34 (BGA)	15 × 15 × 2.82 (LGA)		15 × 15 × 2.82 (LGA) 15 × 15 × 3.42 (BGA)	15 × 11.25 × 3.4 (BGA)	15 × 15 × 4.92 (BGA)	
接腳相容性	N/A	接腳相容			N/A		接腳相容
效率	最高	中等			最低		

開關降壓-升壓穩壓器 LTM4712。這是一款 36 V<sub>IN</sub> (最大值)、12 A 功率模組，採用高密度 16 mm × 16 mm × 8.34 mm BGA 封裝。其採用 ADI 專有的先進元件封裝技術，將高性能功率電感整合到封裝中。圖 4 顯示了該模組中整合的專有電流感測方案。這不僅節省了空間，而且還有效減少了額外的功率損耗。該元件採用先進的降壓-升壓控制器和先進 ADI 封裝，能夠在寬廣輸入輸出電壓範圍內實現超高的功率水準、功率密度、效率和卓越的熱性能。

LTM4712 具有快速逐週期電流模式控制功能，有助於實現可靠的保護和平穩的模式轉換。當採用並聯配置以支援更高電流的應用時，其有助於實現卓越的均流功能。此外，此款新元

圖 1: ADI 四開關降壓-升壓系列

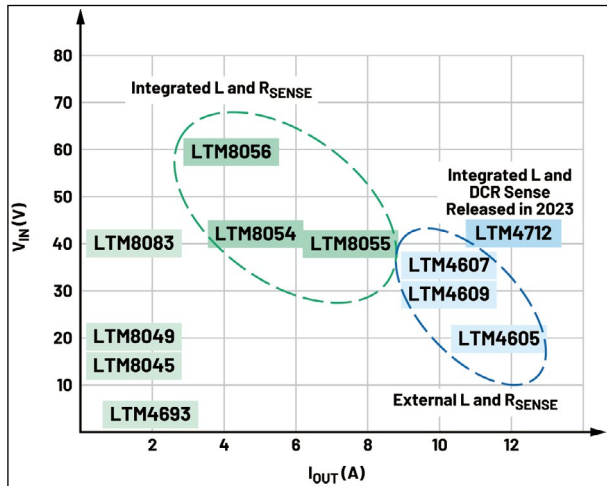


圖 2: LTM4607 功率級原理圖

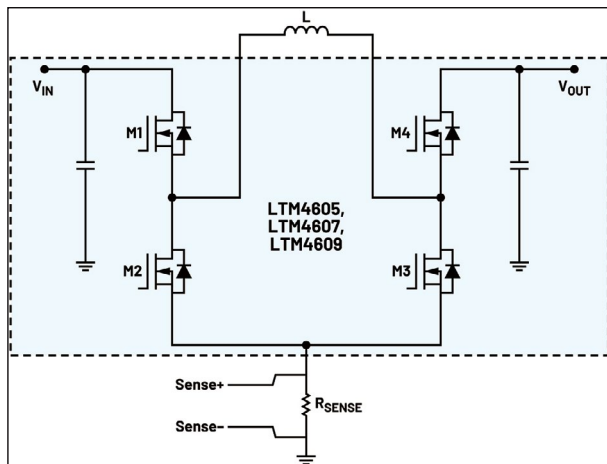


圖 3: LTM8055 典型應用電路

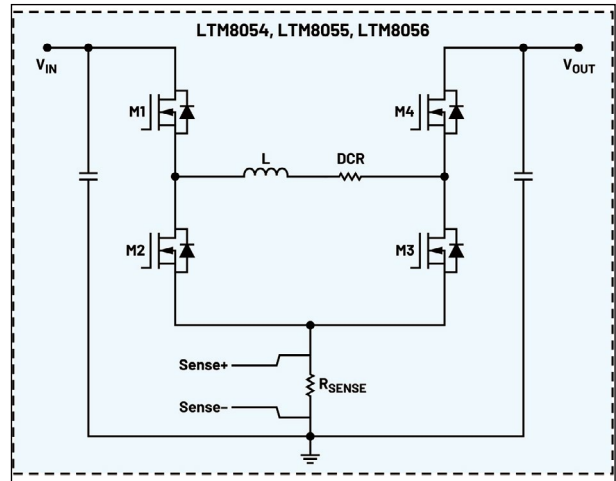
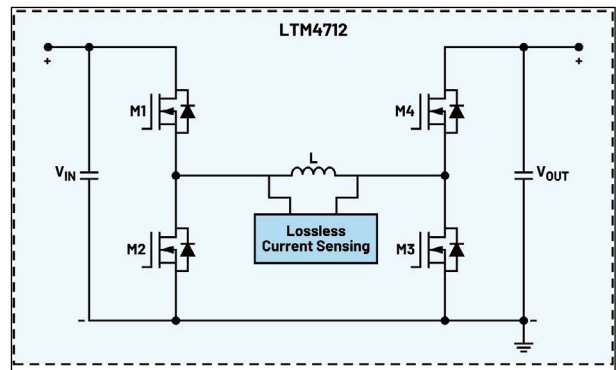


圖 4: LTM4712 典型應用電路



件支援可選的恆定輸出電流模式，可用於電池充電應用，同時還允許冗餘輸入，進而增強其作為冗餘電源的通用性。

表 1 全面比較了 LTM4712、LTM4607 系列和 LTM8055 系列模組。其中 LTM4712 因其大電流、高能效比和用戶友好型設計脫穎而出，非常適合於可接受 8.34 mm 高度的應用。

### LTM4712 帶來明顯的效率提升和熱性能改善

圖 5 比較了 LTM4607、LTM8055 和最近推出的 LTM4712 在 6 V V<sub>IN</sub>、12 V V<sub>IN</sub>、24 V V<sub>IN</sub> 及 12 V V<sub>OUT</sub> 條件下的效率。評估使用了可線上訂購的標準評估板。根據測試結果，LTM4712 在效率方面明顯優於其他兩款產品，並且電流能力更強。

圖 5: LTM4712、LTM4607 和 LTM8055 之間的效率比較

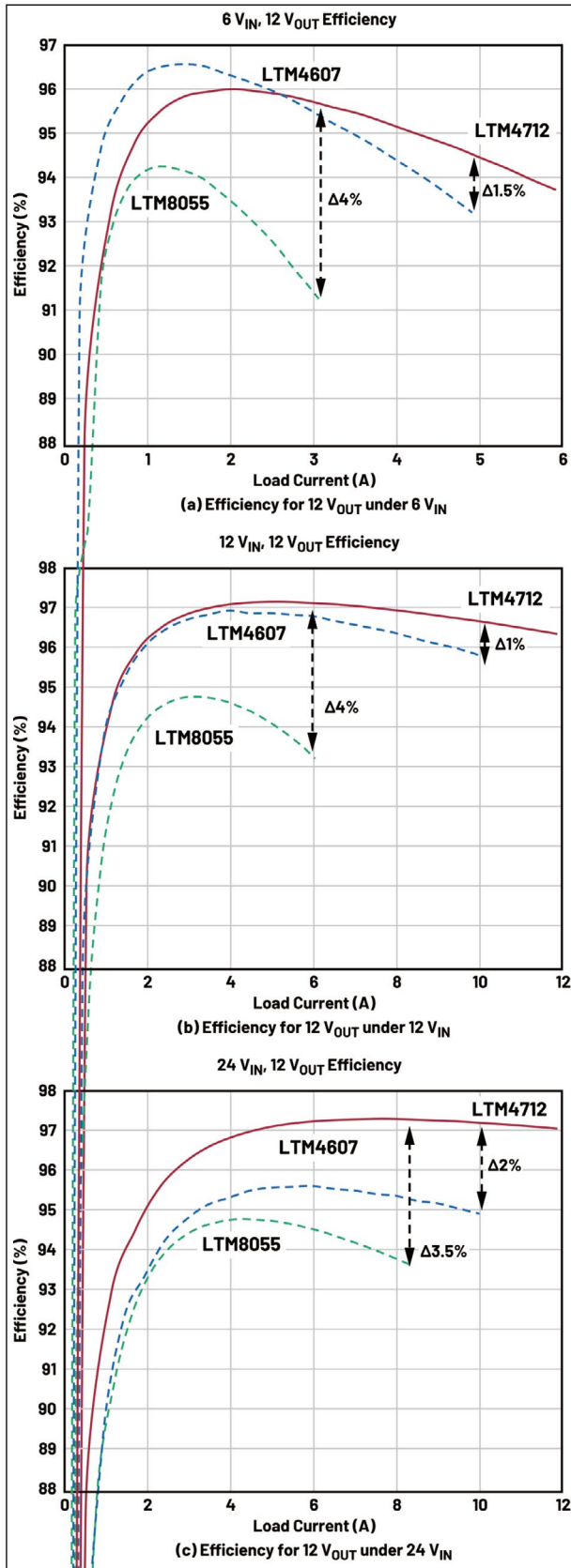


圖 6 顯示了室溫條件下無任何強制散熱措施時的熱性能比較。值得注意的是，在 12 V V<sub>IN</sub> 和 12 V V<sub>OUT</sub> 條件下，相較於 LTM8055，LTM4712 在功率翻倍的情況下溫度降低了 30°C。對於需要 12 A 電流的應用而言，如果使用 LTM8055，則根據散熱系統的不同，可能需要並聯兩到三個元件。然而，如果使用 LTM4712，那麼一個元件就足夠了，由於 PCB 佔用空間大幅減少，電路設計也可更為簡單。

表 2 全面呈現了 LTM4712、LTM4607 和 LTM8055 在各種工作條件下的效率和熱性能，其環境溫度為 25°C，無強制散熱。圖 7 展示了電流密度與解決方案尺寸的關係。所有測試和比較均基於可線上訂購的標準展示板進行。

### 並聯配置下實現良好的均流

LTM4712 支援並聯配置，透過簡單的設定即可實現更高的輸出功率。得益於電流模式控制，其具備卓越的均流性能。EVAL-LTM4712-A2Z 評估套件展示了四個模組並聯運行的情況，此時能提供 48 A 的總輸出電流。

當利用該元件實現並聯配置時，必須參考評估板的設計和配置。為了實現有效均流，並聯模組時需要連接 COMP 接腳和 FB 接腳。PHMODE 接腳可用於配置相移。在四個模組並聯的情況下，PHMODE 接腳連接至 INTV<sub>CC</sub> 可以產生 90° 相移，進而實現卓越的交錯效果。此外，為了實現頻率同步，應將第一個模組的 CLOCKOUT 訊號連接到第二個模組的 SYNC 接腳。

圖 8 展示了無強制散熱情況下的熱圖像，可以看到每個 LTM4712 的溫度相似，表示均流效果良好。圖 9 顯示了 48 A 負載條件下每個元件上的 IMON 電壓。每個 IMON 接腳的電壓平均值約為 0.7 V，表示每個通道的負載為 12 A。這些測試均在評估板上進行。

### 可選恆流調節

LTM4712 用於恆定輸出電流源，因此適用於電池充電器或 LED 驅動器等應用。圖 10 的

示例電路設計用於提供穩定的 10 A 負載電流。

負載電流透過 ISET 接腳和輸出端附近的外部輸出電流感測電阻來設定。公式  $V_{SENSE} = I_{OUT} \times R_{SENSE\_IOUT}$  定義了代表平均輸出電流的電壓。最大  $V_{SENSE}$  由 ISET 接腳上的電壓決定，範圍為 0.2 V 至 1.2 V，線性對應 0 mV 至 50 mV。ISET 接腳電壓  $V_{ISET}$  由一個 15  $\mu$ A 內部電流源和一個連接在 ISET 接腳與地之間的電阻  $R_{ISET}$  決定，表示為  $V_{ISET} = 15 \mu A \times R_{ISET}$ 。因此，輸出電流計算公式為： $I_{OUT} = (V_{ISET} - 0.2 V) / (20 \times R_{SENSE\_IOUT})$ 。根據該公式，基於 5 m $\Omega$   $R_{SENSE\_IOUT}$ 。

表 2: 效率和熱性能比較

工作條件	參數	LTM4712	LTM4607	LTM8055
6 VIN/12 VOUT (升壓)	最大 IOUT (A)	6	5	3
	效率 (%)_IMAX	93.7	93.2	91.5
	溫度 (°C)_IMAX	62	76	80
12 VIN/12 VOUT (降壓 - 升壓)	最大 IOUT (A)	12	10	6
	效率 (%)_IMAX	96.4	95.9	93
	溫度 (°C)_IMAX	80	79	125
24 VIN/12 VOUT (降壓)	最大 IOUT (A)	12	10	6
	效率 (%)_IMAX	97	95	93.6
	溫度 (°C)_IMAX	72	93	110

圖 6: LTM4712、LTM4607 和 LTM8055 之間的熱性能比較，TA = 25°C，無強制散熱

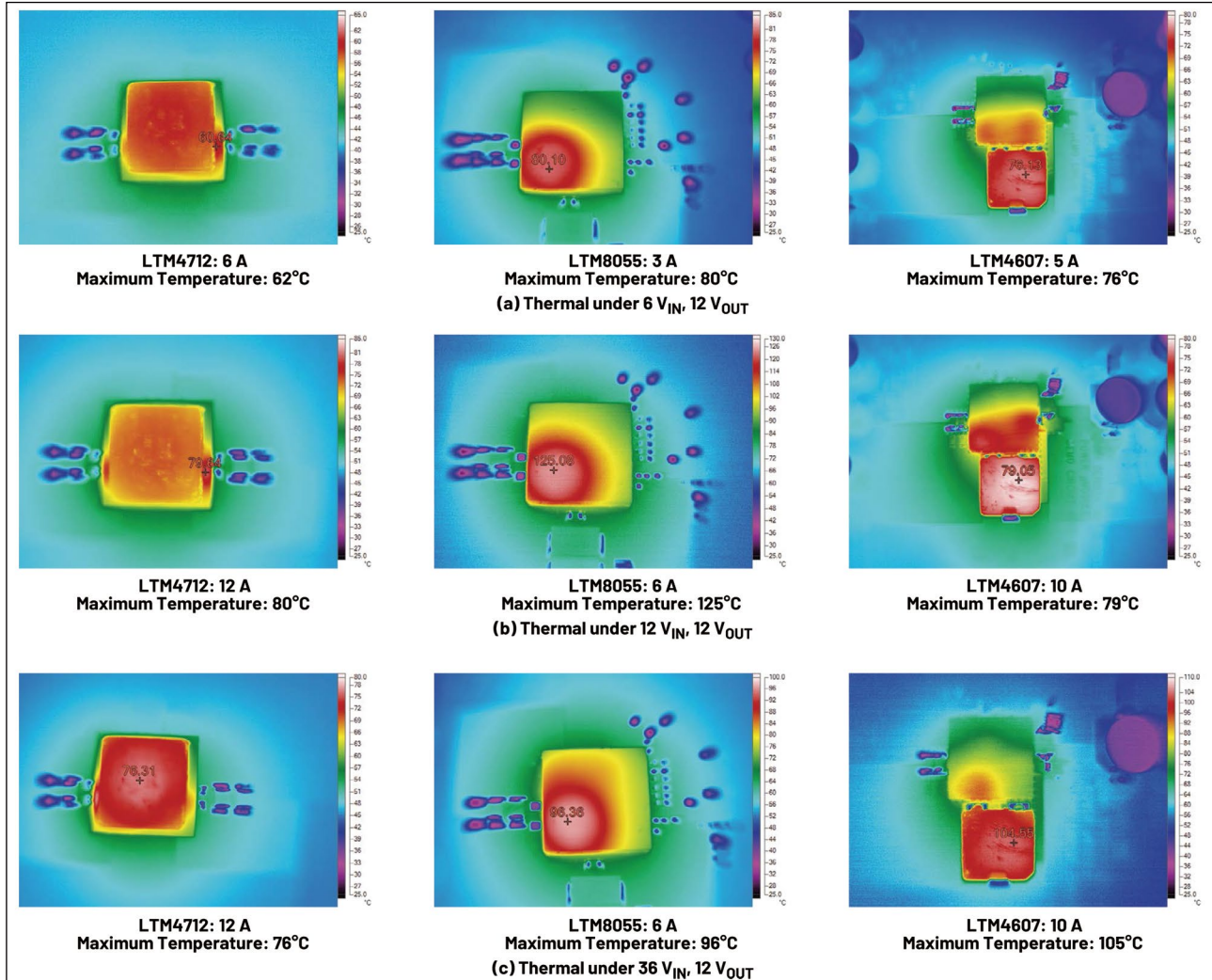


圖 7: LTM4712、LTM4607 和 LTM8055 之間的電流密度比較

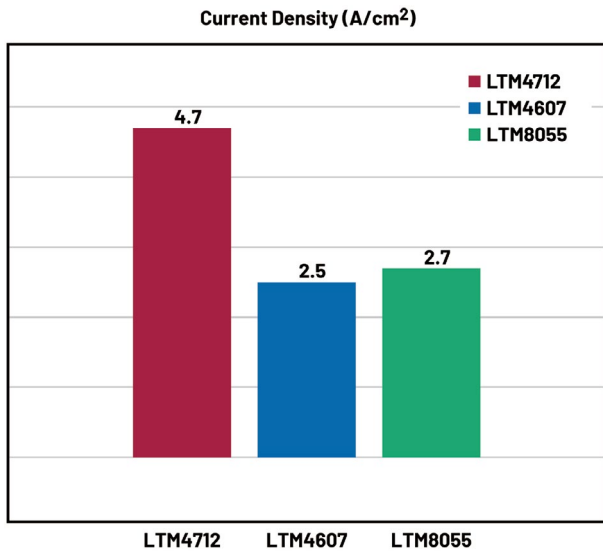
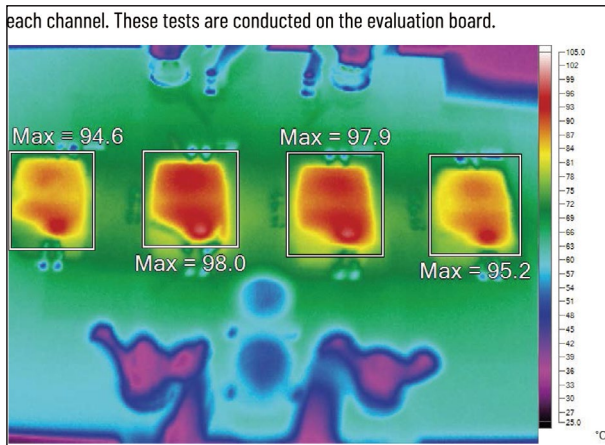
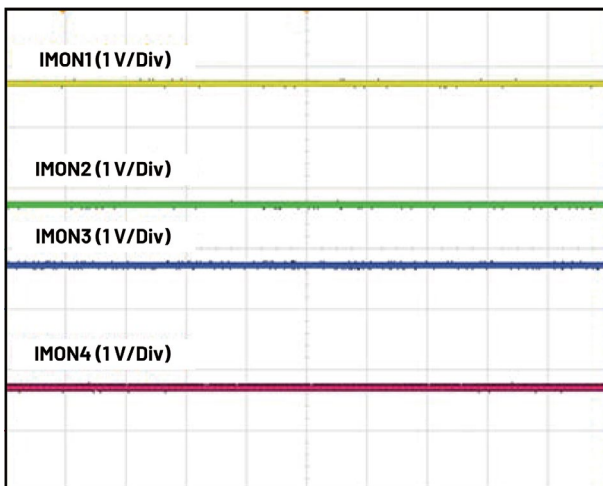
圖 8: 4 個 LTM4712 並聯，在 36 V<sub>IN</sub>、12 V<sub>OUT</sub>、TA = 25°C 下提供 48 A 電流，無外加氣流

圖 9: 48 A 負載下每個 LTM4712 上的 IMON 電壓



$I_{OUT}$  的輸出電流隨不同  $V_{ISET}$  的變化如圖 11 中的藍色曲線所示。圖 11 中的紫色曲線為工作台測試結果。可以看到，測量結果與理想曲線高度吻合，表示恆流調節精度卓越。

需要注意的是，當 ISET 接腳浮空時，或當 ISET 接腳電壓超過 1.2 V 時，內部電路會將最大  $V_{SENSE}$  限制為 50 mV。由於輸出中存在漣波電流，必須在 ISP 和 ISN 接腳上使用 RC 濾波器，以實現準確的平均電流感測。此外，在選擇 FB 接腳和地之間的回饋電阻時，應確保其產生的輸出電壓高於目標  $V_{OUT}$ 。

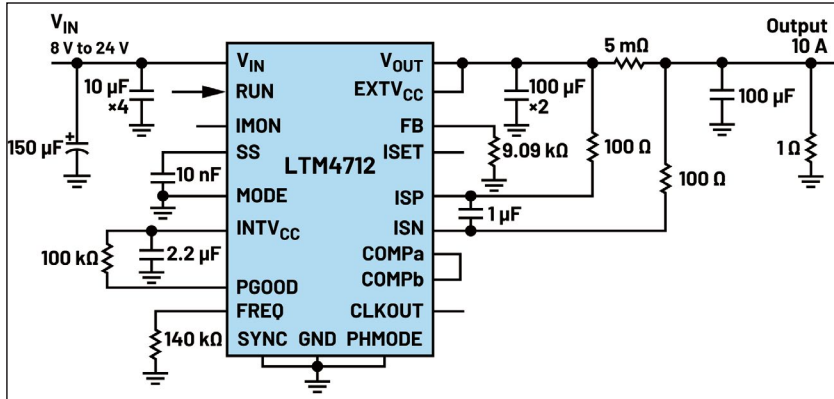
## 安全備用電源

LTM4712 適用於需要安全備用輸入的應用。其可用於需要備用電源的系統，或是那些從不同輸入源獲取電源以支援公共負載的系統。圖 12 顯示了一個示例電路，其中的兩個模組由不同輸入 ( $V_{IN1}$  和  $V_{IN2}$ ) 供電，共同為 24 A 負載提供 12 V 輸出。值得注意的是，任一輸入電壓下降都不會影響輸出調節，而且透過連接 COMP 接腳，峰值電感均流作用始終有效。

圖 13 顯示了兩種不同條件下的工作台測試波形。圖 13a 展示了相位 1 和相位 2 都在降壓 - 升壓模式下運行的情況。最初，相位 1 提供 4 A 負載電流，在相位 2 啟動後，二者逐漸各自分擔一半的負載電流。IMON 波形顯示，當兩個相位都在運行時，兩個相位將平等分擔負載電流。

圖 13b 展示了相同負載條件但輸入不同的情況。這裡的相位 1 以升壓模式運行，而相位 2 則以降壓模式運行。由於 COMP 接腳連接在一起，兩個相位的峰值電感電流相同。因此，相位 1 (升壓) 的輸出電流低於相位 2 (降壓) 的輸出電流。每個相位提供的具體負載電流可以根據電感、開關頻率、 $V_{IN}$ 、 $V_{OUT}$  和總負載電

圖 10: 10 A 恆定負載電流的示例電路

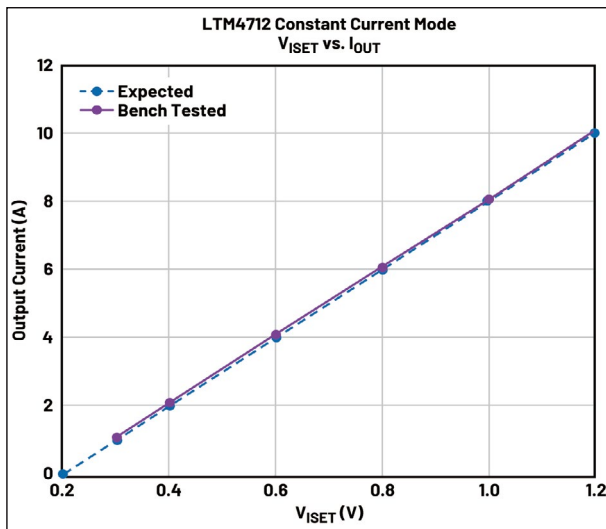


迴路補償和負載瞬態，後者用於執行時域動態模擬。

### 結論

LTM4712 其在並聯配置中表現出良好的均流能力，多個元件可以輕鬆並聯以支援更高功率的應用。該元件可以彈性配置為恆定電流輸出，因此非常適合電池充電系統或 LED 應用。此外，其並支援

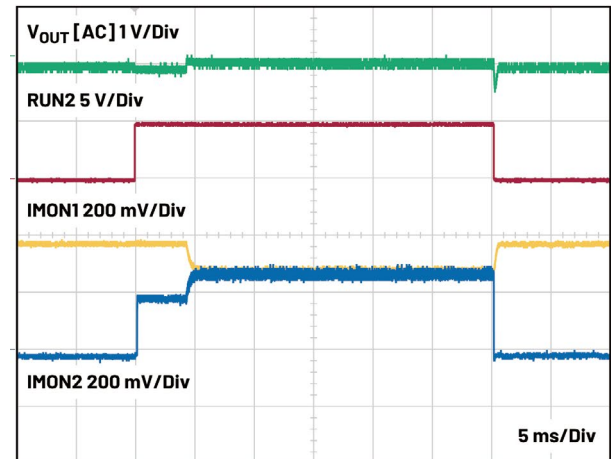
圖 11: 基於 5 mΩ  $R_{SENSE\_IOUT}$ ，不同  $V_{ISET}$  下恆定輸出電流調節的工作台測試



安全備用輸入，進而進一步提高了適應性。

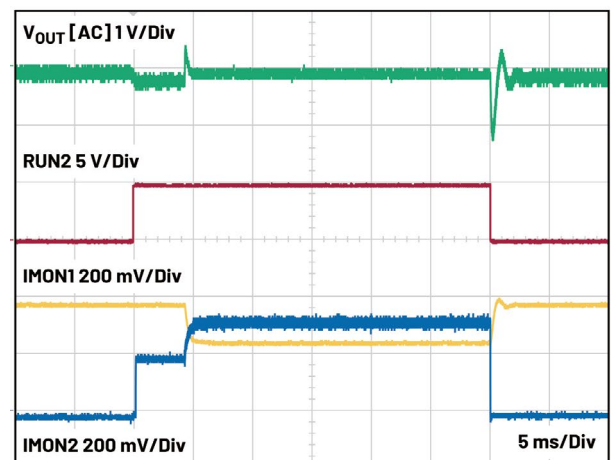
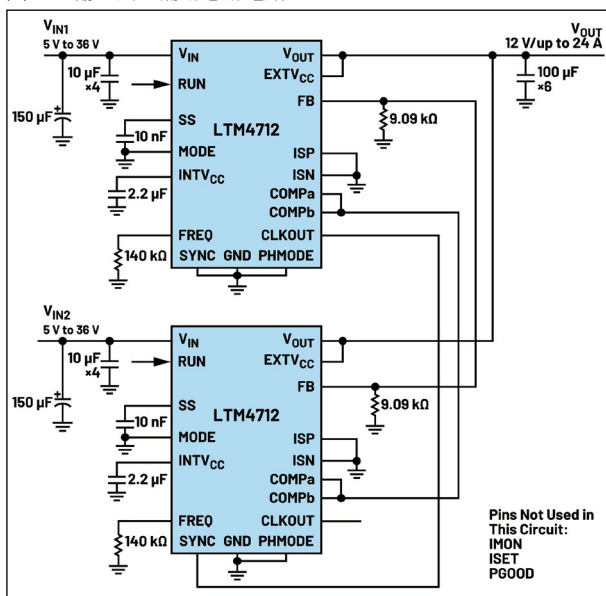
若要全面瞭解如何正確使用該元件，建議參考產品手冊和相關的評估套件設計。CTA

圖 13: 輸入安全備用應用電路



(a) Test Waveform:  $V_{IN1} = V_{IN2} = 24V$ ,  $V_{OUT} = 12V$ ,  $I_O = 4A$

圖 12: 輸入安全備用應用電路



(b) Test Waveform:  $V_{IN1} = 6V$ ,  $V_{IN2} = 24V$ ,  $V_{OUT} = 12V$ ,  $I_O = 4A$