

# 多相電流模式控制器可驅最 新一代 20nm FPGA

作者：Bruce Haug/凌力爾特資深產品行銷工程師

目前可提供的 28nm 以下現場可程式設計閘陣列(FPGA)採用了業界僅有速度高達 1,500Gbps 浮點運算的硬浮點數位訊號處理(DSP)模組。這些 FPGA 採用 28nm 以下製成，可提供高達 17.4Gbps 的運算速度以支援長距離背板，並具有高達 28.3Gbps 的資料速率以將高階頻寬性能納入中階設備。

這些新型 FPGA 需要高達 105A 電流來為其內核供電，並採用 VID(電壓識別) 6 位元介面嚴密地控制其工作電壓(10mV 步進)以實現最優性能。對於如此大的電流，應使電流感測元件的電阻盡可能低，以最大限度地降低電源傳導損耗，這一點是至關緊要的。然而，低電阻的電流感測元件產生較低的斜坡電壓，這在採用電流模式控制器時不利於實現穩定的運作。低斜坡電壓導致一個電流模式控制型開關電源具有顯著的抖動，而且它在許多應用中有可能變得不穩定。因此，常規的做法是採用電壓模式控制器作為替代，儘管其存在性能不足和潛在的可靠性問題。

儘管如此，相較於電壓模式替代方案，電流模式控制型開關電源仍然擁有幾個優勢。具體如下：

1. 利用旨在提供輸出短路和超載保護的快速、逐週期電流感測實現了較高的可靠性
2. 較簡單的回饋迴路補償
3. 在大電流多相設計中可實現準確的均流
4. 較快的暫態響應

然而，對於大電流輸出(通常大於每相 20A)，要求  $m$  以下 DCR 鐵氧體電感器以實現高效率。但是這些電感器將不會產生使電流模式控制器在所有操作條件下均保持穩定所需的足夠電壓斜坡訊號。於是，電壓模式解決方案就變得更有吸引力。迄今為止，情況就是如此。

近期推出的電流模式兩相 DC/DC 降壓控制器 LTC3877 具有感測非常低的斜坡電壓並保持卓越穩定性的能力。該元件以真正電流模式控制方式運作，並可憑藉其新穎的感測方案使用非常低(低至  $0.3m$ )的 DC 電阻(DCR)功率電感器，這能提高電流感測訊號的訊噪比。這種感測方法顯著地降低了通常與低 DCR 電阻應用有關的開關抖動，而且 LTC3877 可調的電流限制可針對非常低的 10mV 至 30mV 感測電壓進行配置，以最大限度地降低功率損耗。由於減低了電感器功率損耗且擁有感測較低斜坡電壓的能力，故而該較低的電感器 DCR 允許最大輸出電流高至每相 30A。因此，4 相設計可支援一個 120A 負載。

另外，LTC3877 還具有 6 位元電壓識別(VID)控制功能，可實現 10mV 輸出電壓步進解析度，當為具備非常嚴格輸入電壓容差的 FPGA 和 ASIC 供電時，這種特性是必要的。可並聯多達 12 相和採取異相的時鐘以最大限度減少輸入和輸出濾波。LTC3877 的相位擴展器還可用於高相位數應用，因此可對凌力爾特的低 DCR 峰值電流模式控制器發揮補充作用，並提供針對多相從屬設計的所有必要功能，包括用於穩態和動態負載的準確相位間之均

流。當輸出並聯時，LTC3877 相位之間保持優於  $\pm 2.5\%$  的電流失配，從而使該元件能理想地滿足高達 300A 的非常大電流要求。

在-40°C至125°C的工作溫度範圍內，LTC3877 可保持  $\pm 1\%$  的輸出電壓準確度(包括內部電阻分壓器和遠端差動感測放大器誤差)。兩個內建差動放大器針對兩路輸出實現遠端輸出電壓感測。該元件的最短導通時間為 40ns，因此在高工作頻率時可實現高的降壓比。LTC3877 的可選固定工作頻率範圍為 250kHz 至 1MHz，或者該元件還可同步至一個外部時脈。強大的內建全 N 通道閘極驅動器最大限度地降低了 MOSFET 開關損耗，而其 DCR 溫度補償可在寬廣的溫度範圍內保持恒定的電流限制門檻。其他特點包括可調軟啟動或追蹤、折返電流限制、短路軟恢復、輸出過壓保護以及兩個電源良好輸出電壓訊號。LTC3877 採用 44 接腳 7mm x 7mm QFN 封裝。

因此，可使用 LTC3877 與 LTC3874 的組合，以透過利用 6 位元 VID 介面來給內核電源軌供電，從而降低 FPGA 的靜態和動態功耗。

## 採用 VID 的 120A 電流解決方案

圖 1 中的簡化原理圖示出了 LTC3877 與 LTC3874 雙通道相位擴展器配合使用的情形。最終的 4 相設計能利用 0.6V 至 1.23V 的 VID 控制型輸出電壓產生高達 120A。每相採取了異相時脈，從而實現了較低的輸出漣波和較快的負載階躍暫態響應。

圖 2:4 相 120A VID 轉換器的效率

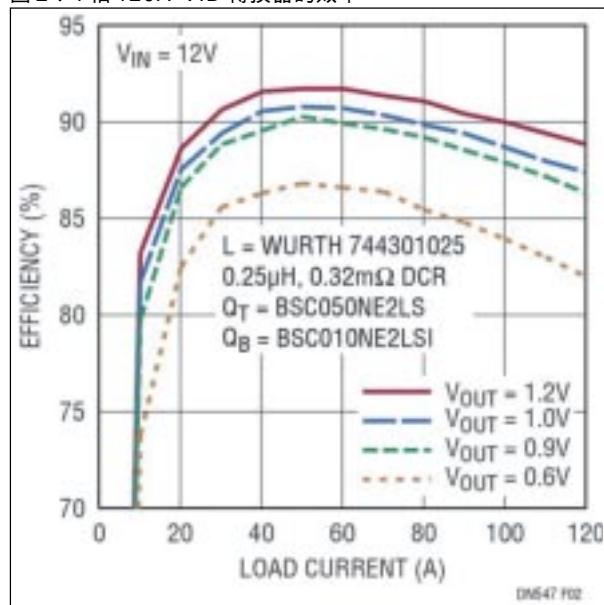
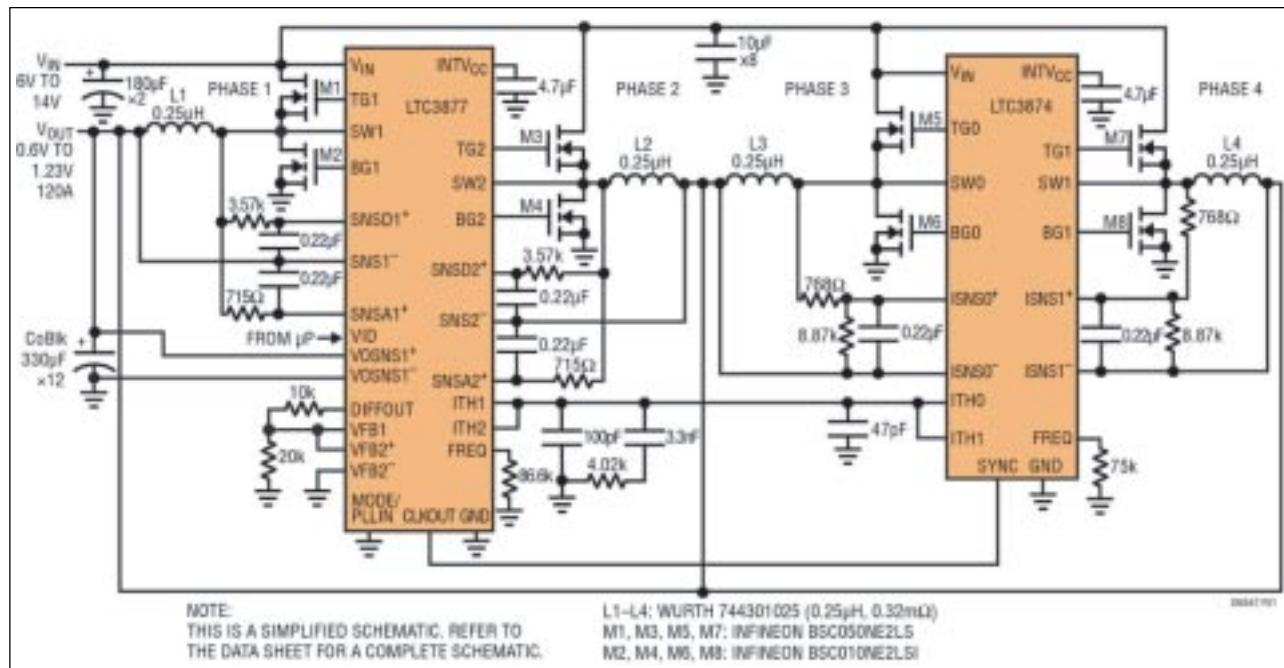


圖 1：用於提供低電壓 120A 輸出的 LTC3877/LTC3874 組合原理圖



應。

如圖 2 所示，對於 1.2V/120A 輸出的滿載效率為 88.8%，並在 60A 時達到 92% 的峰值。獲得這高效率是源於強大的內建閘極驅動器、兩個控制器 IC 的簡短死區時間、MOSFET 的選擇和低 DCR 鐵氧體電感器。

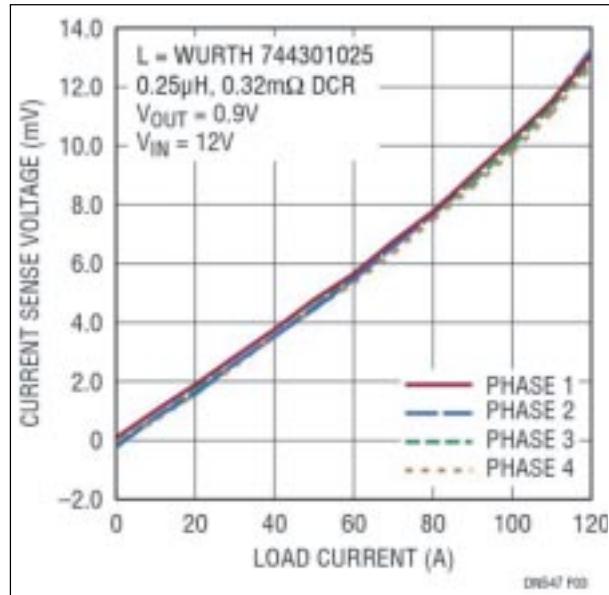
該設計中所使用的電感器具有 0.32mΩ 的導線電阻，因此 4 個電感器的組合 DCR 功率損耗為  $(120A/4)^2 \times 0.00032 \times 4 = 1.2W$ ，採用公式  $P_{LOSS} (DCR) = I^2 \times DCR \times \text{相的數量}$ 。不具備 mΩ 以下 DCR 感測功能的標準電流模式控制器將需要至少 1mΩ 的電感器電阻，這就產生了  $(120A/4)^2 \times 0.0010 \times 4 = 3.6W$  的較高功率損耗。當與 1.2V 輸出一起使用時，這種較低電阻電感器設計會將功率損耗降低 2.4W，並將滿負載效率提升 1.3%。

LTC3877 包括兩個電流感測接腳(SNSD+ 和 SNSA+)以採集電感器斜坡電壓訊號並對其進行處理，以為低電壓感測訊號提供 14 dB 的訊噪比改善。電流限制門檻是電感器峰值電流及其 DCR 值的一個函數，並能以 5mV 步進準確地設定在 10mV 至 30mV 的範圍內。元件與元件之間的電流限制誤差在整個溫度範圍內僅為 1mV，從而確保了出色的準確度。

此外，LTC3877 還包含兩個差動放大器，以適合那些需要進行遠端採樣的應用。對負載實施差動感測相當有利於大電流、低電壓應用中的調節，在此類應用中，電路板互連損耗會在總誤差分配中占據很大一部分。LTC3877 採用一種定頻峰值電流模式控制架構，其保證了逐週期峰值電流限制和電源相位之間的卓越均流。由於運用了一種可改善電流感測電路之訊噪比的獨特架構，因此該元件特別適合低電壓、大電流電源。改善的訊噪比可最大限度地抑制由有可能損壞訊號的開關雜訊所引起的抖動。

LTC3877 和 LTC3874 均採用了專為 mΩ 以下 DCR 感測而設計的專有 DCR 電流感測架構，其可提供均流和電流限制的嚴格控制。圖 3 所示為圖 1

圖 3：採用 LTC3877 和 LTC3874 的 4 相均流



中的 4 相轉換器的均流性能。當感測輸出電感器兩端的電壓降時，相位之間的均流誤差小於 1mV。

## 結論

LTC3877 允許把 mΩ 以下 DCR 電感器與其電流模式控制架構一起使用，以在大電流應用中提高效率。電流模式控制器提供了幾項勝過電壓模式控制器的優勢，即：利用快速逐週期電流感測實現的較高可靠性、相位之間的準確均流、簡單的回饋迴路補償和較快的暫態響應。LTC3877 非常適合於最新一代 FPGA 中常見的大電流負載點 VID 應用，並能夠很容易地支援高達每相 30A(總共 60A)的電流。對於更高功率應用，增設 LTC3874 相位擴展器可額外提供每相 30A 的電流，總電流達到 120A。此外，由於這種轉換器組合降低了功率損耗，因此效率升幅的增加可大幅減少了熱設計的工作量。

CTA