

如何在射頻應用中實現超快速電源瞬態響應

本文展現了在無線，尤其是在射頻領域應用中實現超快速電源瞬態響應的實用方法。其目的在解決由於電源瞬態消隱時間給系統設計開發者帶來的訊號處理效率低下的問題與挑戰。針對不同的應用我們提出了相應的示例解決方案，並引入了 Silent Switcher 3 單晶電源產品實現最佳瞬態性能。

■作者：Xinyu Liang / ADI 應用工程經理

簡介

訊號處理單元和系統單晶片 (SoC) 單元通常具有突然變化的負載瞬態變化。此種負載瞬態變化將干擾電源電壓，而電源電壓在射頻 (RF) 應用中極其重要，因為變化的電源電壓會高度影響時脈頻率。因此，射頻單晶片系統 (RFSoC) 通常在負載瞬態過程中使用消隱時間。在 5G 應用中，資訊品質與轉換區間中的消隱時間高度相關。因此，對於任何射頻單晶片系統 (RFSoC) 來說，越來越需要減少電源側的負載瞬態效應，以提升系統級性能。本文將介紹幾種在射頻應用中實現電源快速瞬態響應的方法。

用於射頻應用的快速瞬態 Silent Switcher 3 系列

實現快速瞬態電源軌的最直接方法之一是選擇具有快速瞬態性能的穩壓器。Silent Switcher 3 系列 IC 具有極低頻輸出雜訊、快速瞬態響應、低 EMI 輻射和高效的特性。其採用超高性能誤差放大器設計，即使採用激進的補償方法也能提供額外的穩定

性。4 MHz 的最大切換頻率使 IC 能夠在固定頻率峰值電流控制模式下將控制迴路的頻寬推至 50 kHz 的範圍。表 1 列出了設計人員可以選擇用以實現快速瞬態性能的 Silent Switcher 3 IC。

圖 1 顯示了用於 5G RFSoC 的典型 1 V 輸出電源，其基於 LT8625SP，需要同時具有快速瞬態響應和低漣波 / 雜訊水準。1 V 負載由發射 / 接收相關電路以及本振 (LO) 和壓控振盪器 (VCO) 組成。在頻分雙工 (FDD) 操作中，發射 / 接收負載會經歷負載電流的突然變化。與此同時，LO/VCO 負載恆定，但要求高精度和低雜訊，這很關鍵。LT8625SP 的高頻寬特性使設計人員能夠用第二電感 (L2) 分隔動態負載和靜態負載，從而用單個 IC 為兩個關鍵的 1 V 負載組供電。圖 2 顯示了具有 4 A 至 6 A 動態負載瞬態的輸出電壓回應。動態負載在 5 μs 內恢復，不到 0.8% 的峰對峰值電壓，這對靜態負載側的影響極小，不到 0.1% 的峰對峰值電壓。可以修改此電路以支援其他輸出組合，例如 0.8 V 和 1.8 V；由於低頻範圍內的超低雜訊、低電壓漣波和超快速瞬態響應，都能直接為 RFSoC 負載供電，而無需 LDO 穩壓器級。

在時分雙工 (TDD) 模式下，雜訊關鍵的 LO/VCO 會隨著發射 / 接收模式的變化而載入和卸載。因此，

表 1: Silent Switcher 3 系列參數

產品型號	電流水準	封裝	溫度額定值	特性
LT8625S	8 A	20 接腳、4 mm × 3 mm LQFN	125°C	超低雜訊 / 快速瞬變
LT8625SP	8 A	20 接腳、4 mm × 3 mm LQFN	150°C	超低雜訊 / 快速瞬變 / 頂部散熱
LT8625SP-1	8 A	24 接腳、4 mm × 4 mm LQFN	150°C	超低雜訊 / 快速瞬變 / 頂部散熱
LT8627SP	16 A	24 接腳、4 mm × 4 mm LQFN	150°C	超低雜訊 / 快速瞬變 / 頂部散熱

圖 1:LT8625SP 的典型應用電路，動態 / 靜態射頻負載分離

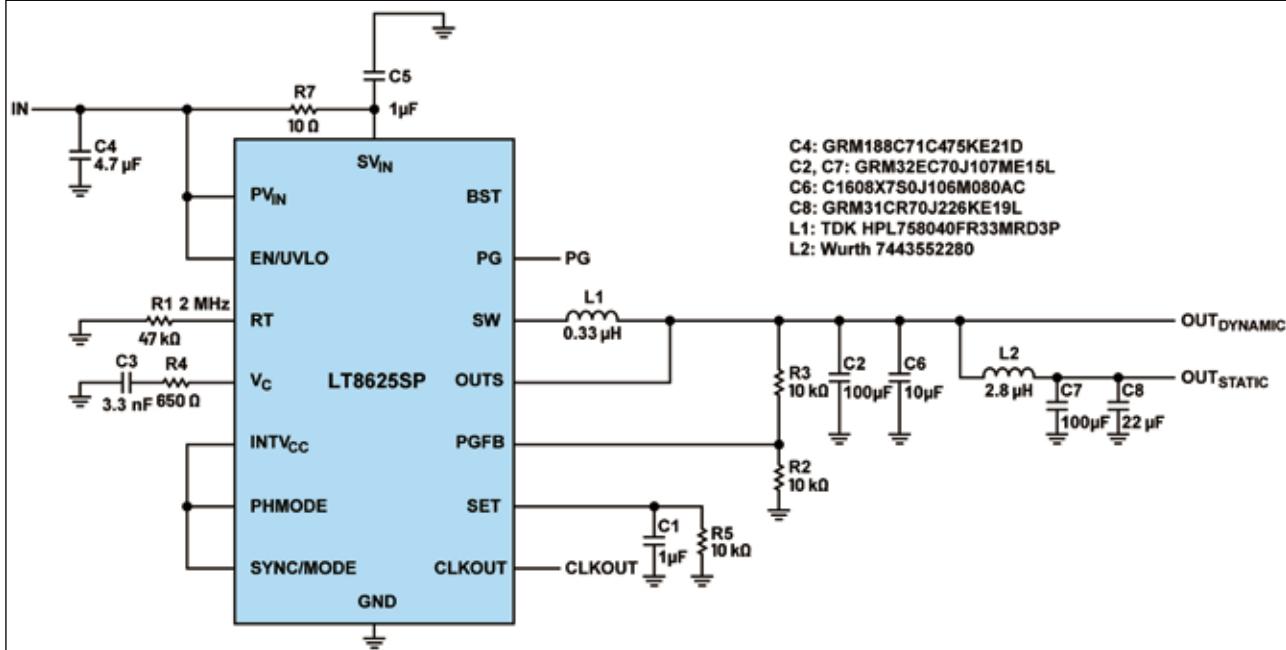
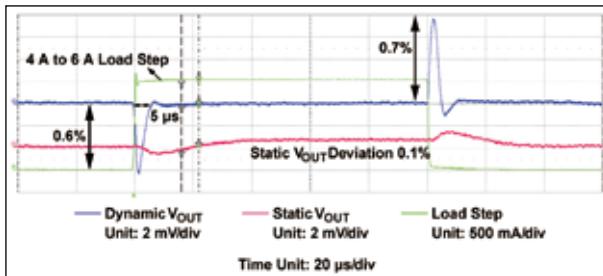


圖 2: 負載瞬態響應很快， V_{OUT} 偏差極小，不會影響靜態負載



可以使用圖 3 所示的簡化電路，因為所有負載都被視為動態負載，同時需要更關鍵的後置濾波來保持 LO/VCO 的低漣波 / 低雜訊特性。饋通模式下的 3 端子電容可用於實現足夠的後置濾波，其最小化的等效 L 可保持負載瞬態的快速頻寬。饋通電容與遠端輸出電容一起形成另外兩個 LC 濾波級，而所有 L 都來自 3 端子電容的 ESL，其非常小，對負載瞬態

圖 3:LT8625SP 的典型應用電路，動態 / 靜態射頻負載合併

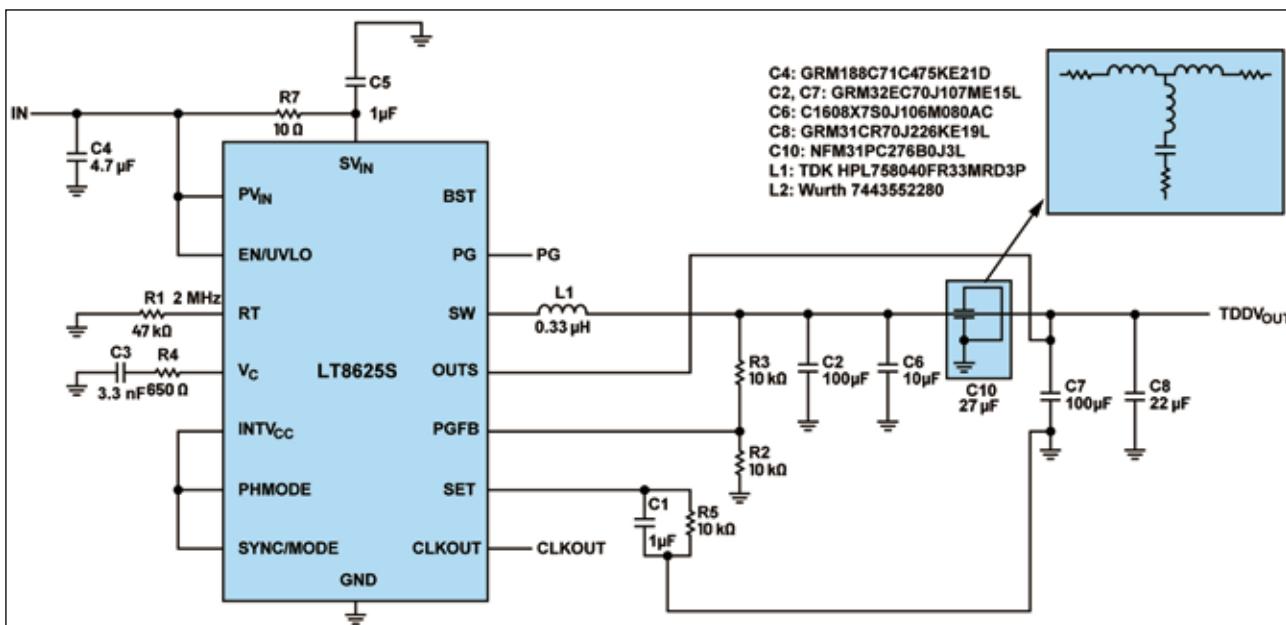
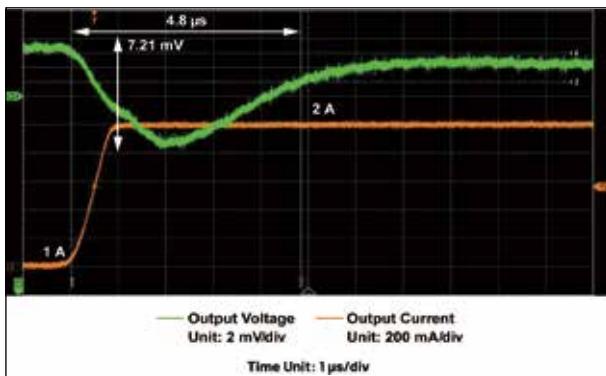


圖 4：饋通電容可提升瞬態響應，同時保持最小輸出電壓漣波



的危害較小。圖 3 並展示了 Silent Switcher 3 系列的簡單遠端感測連接。由於獨特的參考產生和回饋技術，只需將 SET 接腳電容 (C1) 的接地和 OUTS 接腳開爾文連接到所需的遠端回饋點。此種連接不需要位準轉換電路。圖 4 顯示了 1 A 負載瞬態響應波形，恢復時間小於 5 μ s，輸出電壓漣波小於 1 mV。

預充電訊號驅動 Silent Switcher 3 系列以實現快速瞬態響應

在某些情況下，訊號處理單元功能強大，具有足夠的 GPIO，並且訊號處理安排得當，因為可以提前知道瞬態事件。這通常發生在一些 FPGA 電源設計中，其中可以產生預充電訊號以協助驅動電源瞬態響應。圖 5 顯示了一個典型應用電路，其使

用 FPGA 產生的預充電訊號在實際負載轉換發生之前提供偏置，以便 LT8625SP 有額外的時間來適應負載擾動，而不會出現太大的 V_{OUT} 偏差和恢復時間。由於預充電訊號對回饋造成干擾，因此省略了從 FPGA 的 GPIO 到逆變器輸入的調諧電路。位準控制為 35 mV。此外，為了避免預充電訊號對穩態的影響，在預充電訊號和 OUTS 之間設置了一個高通濾波器。圖 6 顯示了 1.7 A 至 4.2 A 負載瞬態響應波形。預充電訊號在實際負載瞬態之前施加到回饋 (OUTS)，而恢復時間小於 5 μ s。

圖 6：預充電訊號和負載瞬態同時影響 LT8625SP，實現快速恢復時間

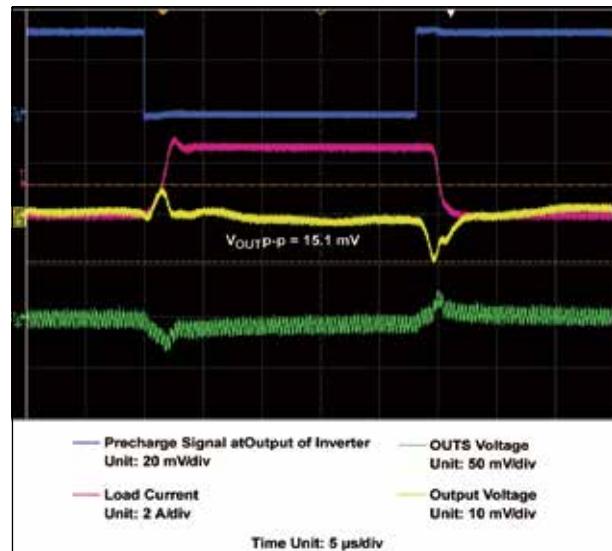
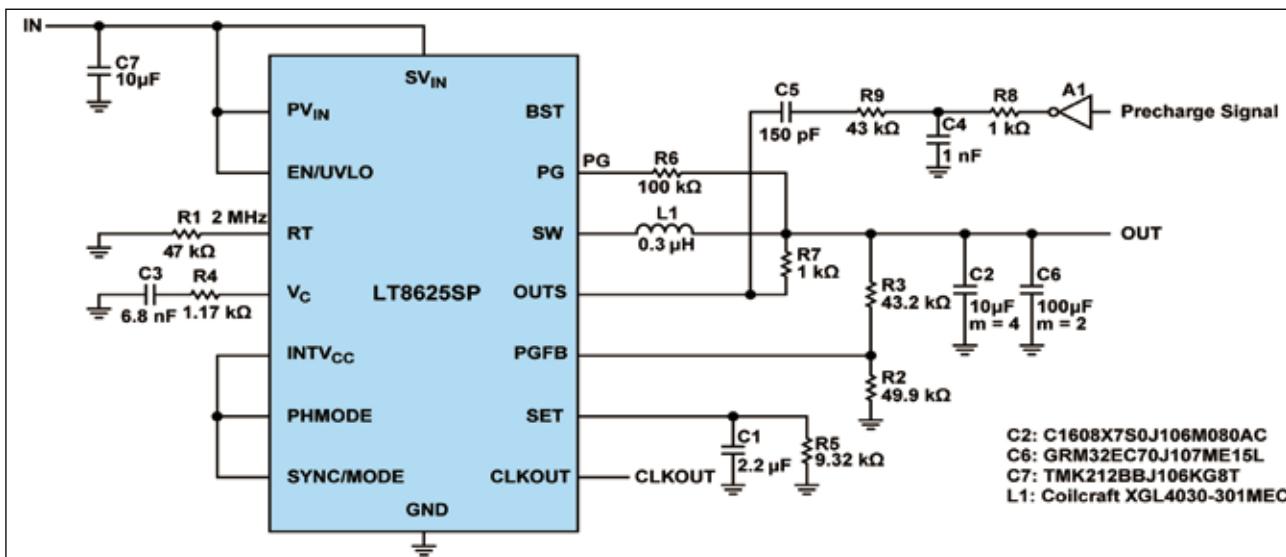


圖 5: T8625SP 將預充電訊號饋入 OUTS 接腳以實現快速瞬態響應



電路主動降壓以實現超快速恢復瞬態

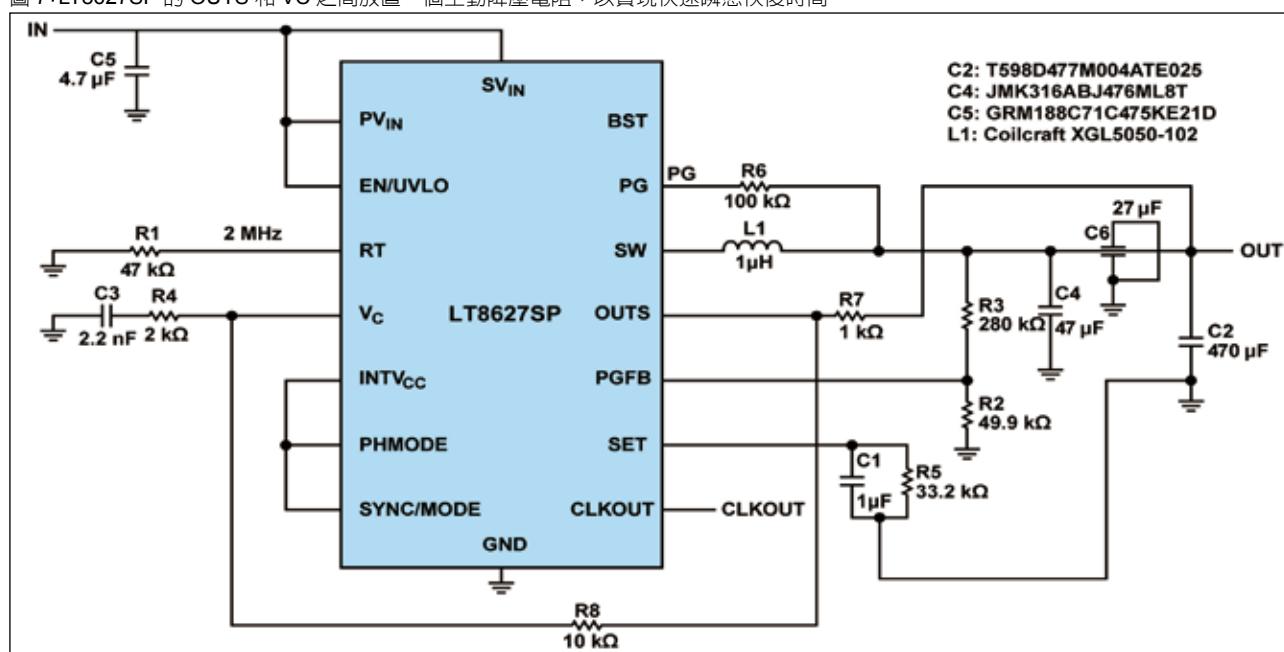
在波束成形器應用中，電源電壓為適應不同的功率水準時刻變化。因此，對電源電壓的精度要求通常為 5% 至 10% 的區間。在此應用中，穩定性比電壓精度更重要，因為在負載瞬態期間最小化恢復時間將大幅提高資料處理效率。降壓電路非常適合此應用，因為下降電壓可減少甚至消除恢復時間。如圖 7 所示 LT8627SP 的主動降壓電路的原理圖。在誤差放大器的負輸入端 (OUTS) 和輸出端 (VC) 之間增加了一個額外的降壓電阻，以在瞬態期間保持回饋控制迴路中的穩態誤差。下降電壓可表示為：

$$\Delta V_{\text{DROOP}} = \frac{R_7}{R_7 + R_8} \times \left(\Delta V_{\text{OUT}} - \frac{\Delta I_{\text{OUT}}}{g} \right) \quad (1)$$

ΔV_{OUT} 是負載瞬態引起的初始電壓變化， ΔI_{OUT} 是負載瞬態電流， g 是用於切換電流增益的 VC 接腳。設計圖 7 所示的降壓電路時，需要特別考慮以下幾點：

- 下降電流不應超過 VC 接腳電流限值。對於 LT8627SP 的誤差放大器輸出，最好將電流限制在 200 μA 以下以避免飽和，這可以透過改變 R7 和 R8 的值來實現。
- 下降電壓需要適應輸出電容，以便瞬態期間的電

圖 7:LT8627SP 的 OUTS 和 VC 之間放置一個主動降壓電阻，以實現快速瞬態恢復時間



壓偏差與下降電壓大致接近，從而在瞬態期間實現最短恢復時間。

圖 8：可以實現降壓瞬態響應，以大幅縮短 LT8627SP 的瞬態恢復時間

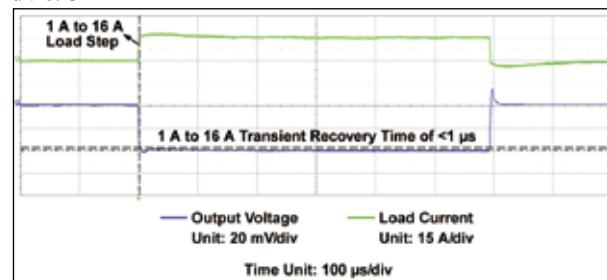


圖 8 顯示了上述電路在 1 A 至 16 A 至 1 A 負載瞬態期間的典型波形。值得注意的是，現在 16 A 至 1 A 負載瞬態速度不再受頻寬限制，但受穩壓器最短導通時間限制。

由於高速訊號處理的時間關鍵特性，無線射頻領域變得越來越依賴計算，並且對瞬態響應時間敏感。系統設計工程師面臨的挑戰是提高電源瞬態響應速度，以使消隱時間最小化。Silent Switcher 3 系列是新一代單體式穩壓器，針對無線、工業、防務和醫療健康領域的雜訊敏感、強動態負載瞬態解決方案進行了優化。根據負載條件，可以應用特殊技術和電路來進一步改善瞬態響應。