

圖片來源：安森美

導入CCM運作 QR返馳電源實現高峯值

◆ Jean-Paul Louvel

CCM兼具PWM與QR優勢，能符合市場對於更高安全性、小尺寸、低耗電量的要求，並同時具備額定功率的準諧振方案特性，已快速成為高峯值QR反馳式電源轉換器的首選方案，將在市場中蔚為風潮。

設計工程師在設計開關電源轉換器時，通常會根據產品的最大輸出功率設計散熱方案，如50瓦的轉換器須具備足夠的散熱能力，才能在啟動後，在最低輸入線路電壓與最高溫度下，迅即提供50瓦功率。

然而，某些應用並非從電源汲取恆定功率，如當印表機的列印頭處於工作狀態或處理列印紙時，印表機以脈波方式消耗功率。在此案例中，轉換器的散熱設計並非針對處理峯值功率，而是較小的平均值功率。

返馳式電源轉換器各有千秋

輸出功率小於70瓦的低功率轉換器通常使用返馳式拓撲結構，因為此拓撲結構在多路輸出應用中提供良

好的互穩態(Cross-regulation)性能；能夠採用寬輸入電壓範圍(90~264V_{ac})工作，且不需要功率因數校正(PFC)預轉換器；提供極低能耗待機模式。

變壓器提供與交流主電源的隔離，並儲存初級端能量，然後在開關切斷事件期間將能量轉移至次級端。此簡單技術的每路輸出電壓，係使用單顆功率金屬氧化物半導體場效應晶體(MOSFET)開關，以及單個二極體來限制開關元件。

假定上述原則對所有返馳式轉換器而言都很常見，接下來就要分析多個子系列返馳式轉換器各自的優缺點。

固定頻率脈波寬度調變(PWM)返馳式轉換器是當今最常見的架構。由於內部時鐘驅動的開關頻率可供選擇，從而使轉換器產生的電磁干擾(EMI)遠離關鍵頻率範圍。穩態迴路確定功率開關的導電時間，並控制轉換器儲存/傳輸的能量。此類轉換器能以連續導電模式(CCM)工作，儲存在變壓器中的能量在關斷時間的末段，並未完全傳輸至次級端電容。在下一個週期出現時，變壓器仍然保持磁化狀態。此模式提供梯形初級電流波形(而非三角波形)，以有限的均方根(rms)電流提供更高的輸出功率。由於採用CCM工作，變壓器的設計可以具有更大的初級電感，從而提升低功率待機模式下的能效數字。

另一常見版本是準諧振(QR)類型，提供所謂的谷底開關導通：功率MOSFET在副極-源極電壓(V_{ce})的谷底(最小值)導通。此技術與硬開關(Hard Switching)版本技術相比，提供更好的EMI性能。此類轉換器的開關損耗降低，但也強制要求降低開關頻率，從而傳遞峰值功率，同時維持完整的變壓器退磁(Demagnetization)。此更低工作頻率要求的開關週期所儲存的能量越多，要求變壓器的尺寸越大(及成本越高)，使初級MOSFET及次級端二極體均承受高峰值電流。

第三類是遲滯(Hysteretic)轉換器。此類轉換器透過調整開關頻率來提供所要求的能量(為傳輸量多電能，則頻率更高)，確保以凍結(Frozen)初級峰值電流傳輸電能。如同PWM技

術般，此方案並不控制功率MOSFET開關事件，不能提供谷底開關工作(以最低谷底開關，降低開關損耗)。

本文探討的主題是QR返馳式轉換器的峰值功率能力。我們將具體分析此類轉換器的特性，特別是它如何處理峰值功率要求。

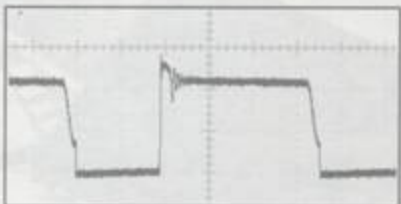


圖1 採用最低電壓開關工作的準諧振返馳式轉換器的副極-源極電壓波形。

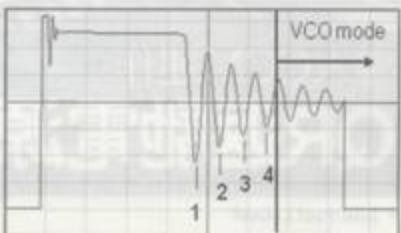


圖2 以谷底開關及谷底鎖定工作的準諧振返馳式轉換器的副極-源極電壓波形(從第一節谷底逐漸轉移至第四個谷底，然後是VCO模式，週期間轉換器傳輸的能量減少)。

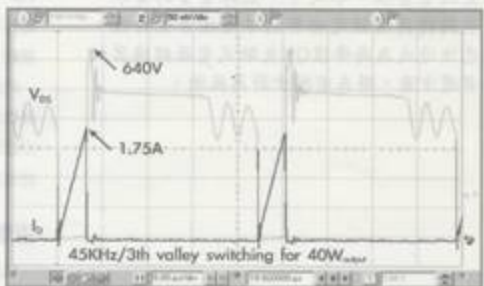


圖3 中等功率準諧振返馳式轉換器

低EMI與開關損耗 高峯值QR返馳式轉換器優勢現

與傳統PWM轉換器不同，此類轉換器採用可變頻率工作，恰好在漏極-源極電壓處於最低值(圖1)的時間點導通MOSFET，減少EMI及降低開關損耗。

為保持谷底開關工作，在低輸出功率情況下，導通時間縮短表示開關週期更長；反過來也要求更短導通時間(請如此類)，從而逐週限制從初級端傳輸到次級端的能量，令其低於所要求的限制值。

為限制開關頻率漂移，業界已開發出錯位控制最低導通時間及最大開關頻率的新方案。為保持準諧振工作，同時確保最低 V_{DS} 開關，創新的谷底鎖定(Valley-lockout)方案已被開發出來，它能工作至第四個谷底，然後切換至可變頻率模式，即壓控振盪器(VCO)模式(圖2)。此方案確保提供極佳的輕載待機能耗性能。

此種能量傳輸方法似乎不錯，然不利的是，在需要更高峯值功率時，問題就會出現。為逐週增加傳輸的能量，初級電流應當更大，相應地具備更長的導通時間。次級端二極體的導通時間也延長，迫使控制器減小開關頻率，從而確保變壓器完全退磁。雖然頻率更低，但每週期的能量應當增加，迫使開關頻率進一步降低。

確保變壓器完全退磁所需的此雙重效應將迫使轉換器大幅降低頻率，接受峯值功率上升。因此，變壓器的設計應當可以接受更高能量，且這些能量逐週儲存；這就需要更大尺寸的變壓器，配合採用高峯值功率工作的準諧振返馳式轉換器。

若上述特性在高功率期間產生問題，那麼在次級端輸出對地電平短路的情況下，此問題就變成自然的優勢。在出現短路的情況下，退磁將經歷更長的時間，確保頻率極低，因而減少電能的傳輸。由於此工作模式，安全性也大幅提升，一旦次級端輸出電

壓重新上升(如在消除短路的情況下)，開關頻率將立即上升。

圖3~5為70瓦輸出功率設計的準諧振返馳式轉換器峯值功率及示波器波形捕獲結果；黑色跡線為MOSFET電流 $I_D(t)$ ，0.5A/div；灰色跡線為MOSFET電壓 $V_{DS}(t)$ ，100V/div；時間=5 μ s/div。

從圖3~5示波器螢幕截圖，可確定功率最高70瓦，開關頻率最低39kHz的準諧振返馳式設計的功率能力。

我們想定義一種新的電源轉換方案，此方案提供更高峯值功率能力，不含過大尺寸元件，同時保持準諧

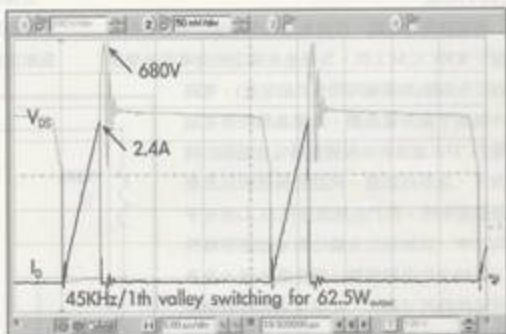


圖4 大功率準諧振返馳式轉換器

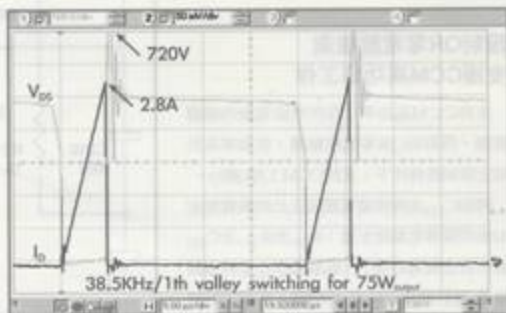


圖5 高峯值功率準諧振返馳式轉換器

工作的返馳式轉換器優勢，亦即在額定/平均功率條件下，保持準諧振的低EMI及更低開關損耗的優勢。

在大功率條件下，使用CCM，避免頻率降低及變壓器尺寸較大、過大；同時保持準諧振輸出短路特性和極佳的自然安全性。

加入CCM 實現更高峰值QR返馳轉換器

NPC1380的零電壓檢測(ZCD)電路的工作原理，係在輔助繞組電壓施加在ZCD輸入的條件下，此控制器能夠控制能量傳輸的終結。增設的二極體 D_{203} 和電阻 R_{205} 用於MOSFET導通期間NCP1379的過功率預警(OPP)功能。

應當修改此電路，從而在出現高峰值功率需求的情況下支持CCM工作。為避免在規定的功率等級變壓器完全退磁(如傳輸時間長於給定值)，電路中增加了額外電晶體。此電晶體的存在迫使ZCD在還沒有出現變壓器完全退磁的情況下，重啟控制器。得益於極佳的自然準諧振安全性，我們也應該使用ZCD來在平均功率、起始相位及輸出對地短路等條件下保持完全退磁控制，避免應力過大及多個元件的尺寸過大。此舉是透過控制輔助繞組反射電壓來實現的，極佳地映射了次級輸出電壓。

箝制QR零電壓檢測 支援CCM高功率工作

支持CCM高功率工作所增添電路的細節原理，係抑制QR零電壓檢測，在功率高於給定限制值條件下，支持CCM工作(圖6)。

例如 C_{211} 由供電電壓成正比的負電壓在初級開關導電期間充電； R_{215} 和 R_{254} 及 C_{211} 組合設定延遲時間 T ，電晶體 Q_{206} 是將電路導通(基於開關定時器)的開關；在規定的時間 T 內， Q_{206} 切換為導通狀態，並將ZCD接

腳1拉至地電平(從而以儲存在變壓器中的能量重啟下一個週期)。串列電容確保IC輸入端的低電壓電平，即使是在 Q_{206} 的飽和電壓 $V_{CE(sat)}$ 條件下。

此外，由於 Q_{206} 由直接連接至繞組的電阻 R_{234} 充電，在次級二極體導電期間，CCM連接至次級端反射電壓；若反射電壓/次級端輸出電壓過高(如在啟動相位或是輸出對地短路)，CCM就不能被激活。

圖7~9為修改後的70瓦輸出設計，帶前端PFC的CCM準諧振返馳式轉換器的峰值功率及示波器截圖。黑色跡線為MOSFET電流 $I_D(t)$ ，0.5A/div，灰色跡線為MOSFET電壓 $V_{DS}(t)$ ，100V/div，時間=5 μ s/div。

這種新方案支持增加約50%的功率能力，且無須增加總元件尺寸及成本(主要是變壓器)，保持所有準諧振額定負載及安全特性優勢。

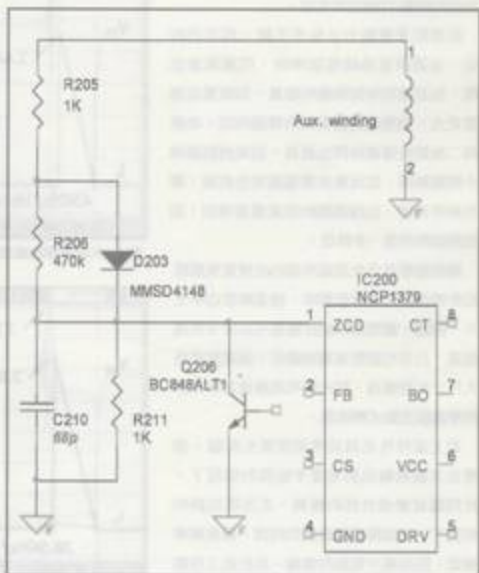


圖6 連續導電模式準諧振返馳式轉換器的原理

CCM準諧振返馳式轉換器 適用無前端PFC

在低交流主電源電壓條件下，功率能力被降低，即使CCM定時器的關閉時間控制較短（在交流主電源輸入電壓較低的條件下，與供電電壓成正比的反射負電壓也較小），在較低交流主電源條件下，較長的導通時間（旨在獲得相同的MOSFET漏極電流）對開關頻率影響較小，降低功率能力。

這種新方案也能夠在無前端PFC的條件下使用，從而增加功率低於75瓦限制值、不含PFC之應用的峰值功率。

組型類及此新方案的兩個局限。其一為CCM不用於高輸出電壓應用，係由於高輸出電壓應用要求極短反向恢復時間(trr)的次級端二極體；而CCM通常局限用於自然地採用肖特基二極體、電壓低於30V_{DC}的低壓應用（對於19伏特配接器或印表機應用而言尤為如此）。

在配有次級端同步整流的大輸出電壓應用中，難使用CCM。次級端同步整流MOSFET在新週期開始之間，應當切換為關閉狀態，從而避免此雙向開關短路。變壓器初級端的極高電流將激活初級過流限制功能，並使電源停止工作。

高峰值QR返馳轉換器新露鋒芒

此新方案使用帶高峰值功率能力的QR返馳轉換器。與標準準諧振轉換器相比，功率提高約50%。針對更高峰值功率的CCM設計，可避免變壓器、MOSFET及次級端二極體尺寸過大。而如今針對平均功率最佳化的設計能更為緊湊，且提升低功率/待機模式性能，因為增加變壓器電感，可同時保持針對額定功率的準諧振方案所有優勢。

應用於QR返馳式電源轉換器的CCM結合PWM(CCM模式下更高峰值功率能力)和QR(輸出對地短路條件下更低EMI、更低開關損耗及自然的安

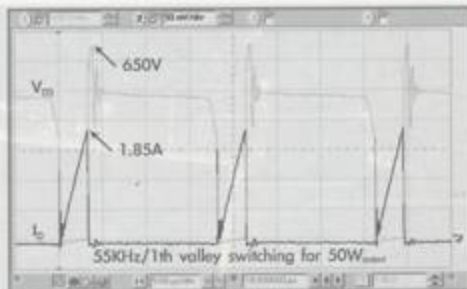


圖7 限制至CCM的中等功率準諧振返馳式轉換器

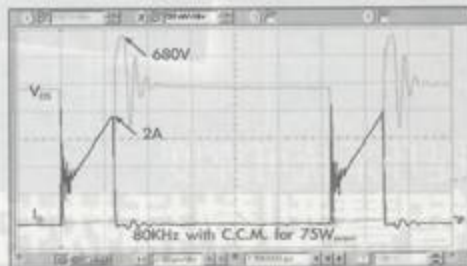


圖8 採用CCM的大功率準諧振返馳式轉換器

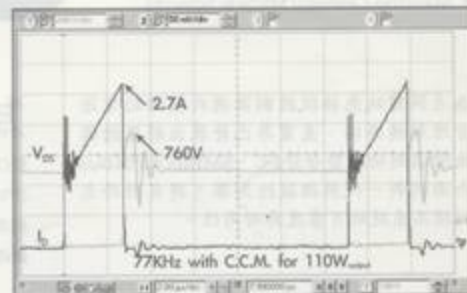


圖9 採用CCM的峰值功率準諧振返馳式轉換器

全特性的優勢，正在迅速成為未來產品之首選返馳式方案，提供極佳且自然的安全特性（更低開關頻率、輸出對地短路）。

（本文作者任職於安森美半導體）