

解決準方波諧振電源的 谷底跳頻問題

作者: Stéphanie Carrennerre

關鍵字: 安森美半導體、準方波諧振轉換器、QR、電磁干擾、MOSFET

準方波諧振轉換器也稱作準諧振(QR)轉換器,使反激式開關電源(SMPS)設計的訊號電磁干擾(EMI)更低及滿載能效更高。然而,由於負載下降時開關頻率升高,必須限制頻率漂移,避免額外的開關損耗。傳統準諧振控制器採用頻率鉗位元技術來限制頻率漂移。當系統開關頻率到達頻率鉗位元限制值時,就發生谷底跳頻:控制器在兩種可能的谷底頻率選擇中來回跳動,導致變壓器工作不穩定及產生雜訊。克服這個問題的一種新技術是在負載降低時改變谷底頻率,從而逐步降低開關頻率。一旦控制器選擇某個谷底,它就保持鎖定這個谷底頻率,直到輸出功率大幅變化;這就是安森美半導體新近引入的谷底鎖定技術。

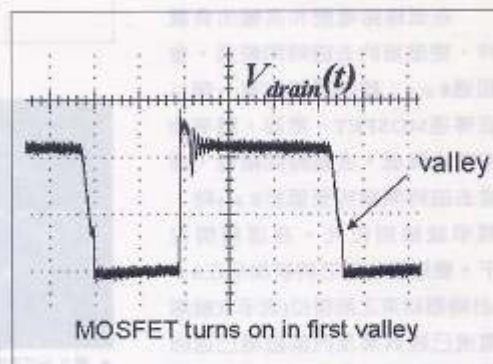
本文除了簡要介紹準諧振電源,還將進一步闡釋谷底跳頻問題,介紹解決這問題的谷底鎖定技術,並分享實驗結果支援理論研究的實際應用案例。

準方波訊號簡介

準方波諧振電源通常也稱作準諧振電源,廣

泛用於筆記型電腦適配器或電視電源。這種架構的主要特徵就是零電壓開關(ZVS)工作,這種技術能降低開關損耗,說明弱化電磁干擾訊號。變壓器去磁完成後,在電壓位於MOSFET漏極節點處存在的電感電容網路諧振導致的自由振盪(即“谷底開關”)的最低值時導通MOSFET,從而實現ZVS工作(圖1)。這個網路實際上由初級電感 L_p 和漏極節點處的寄生電容 C_{oss} 組成,如圖1。

準諧振電源的開關頻率取決於負載條件,本質上變化幅度很大。不利的是,負載降低時開關



▲圖1 MOSFET在谷底導通

頻率增加，導致輕載能效欠佳，因為開關損耗的預算增加了。要改善輕載能效，必須找出方法來將開關頻率鉗位元降至更低。

傳統準諧振轉換器

傳統準諧振控制器包含內部計時器，防止自激(free-running)頻率超過上限。頻率限制值通常固定為125kHz，從而使頻率保持在CISPR-22EMI規範的150kHz起始點頻率之下。圖2是帶有8 μ s計時器以鉗位元開關頻率的準諧振控制器的內部架構簡圖。

為了導通MOSFET，不僅要以過零檢測(ZCD)比較器來檢測谷底，而且8 μ s計時器還必須已經結束計時(圖2)。如果在8 μ s的時間視窗內出現谷底，就不允許MOSFET啓動。因此，功率MOSFET的關閉時間只能通過一個自由振盪週期內的不同階躍(step)來改變。

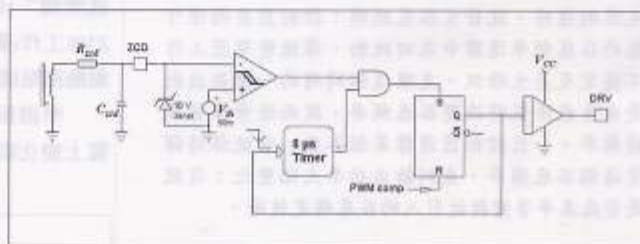
在低線路電壓和高輸出負載時，變壓器的去磁時間較長，會超過8 μ s；控制器將在第一個谷底導通MOSFET。然而，隨著功率需求降低，去磁時間縮短，而當去磁時間縮短至低於8 μ s時，頻率就被鉗位元。在這種情況下，變壓器的磁芯將被指示在8 μ s計時器結束之前復位(表示次級端電流已經到零及內部磁場已返回至零)。MOSFET不會立即重啓，

8 μ s時間視窗會使MOSFET保持在阻斷狀態，而某些谷底會被忽略。如果輸出功率電平使得週期能量平衡所需關閉時間降到兩個鄰近谷底之間，電源將以大小不等的開關週期工作；這就是所謂的谷底跳頻。較長的開關週期會被較短的開關週期補償，反之亦然。在圖3中，2或3個週期的第一種谷底開關之後，跟隨的是1個週期的第二種谷底開關。谷底跳頻現象使開關頻率產生很大變化，而這變化會被大峰值電流跳變補償。而電流跳變導致變壓器中產生可聽雜訊。

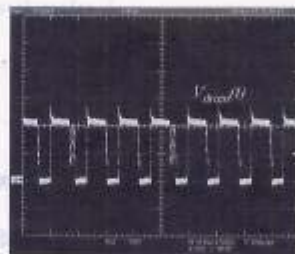
單獨鉗位元開關頻率可以解決輕輸出負載條件下的不穩定問題，但不會改善該特定工作點的能效。因此，傳統準諧振轉換器中，頻率鉗位元要麼涉及跳週期電路，要麼涉及頻率反走電路。

頻率反走

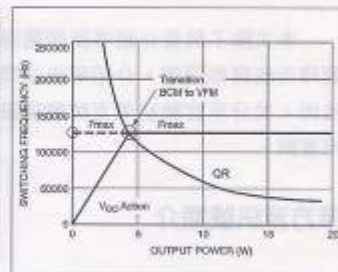
頻率反走電路通常是壓控振盪器(VCO)，在頻率鉗位元時降低開關頻率(圖4)。通過降低工作頻率，開關損耗也得以降低，輕載能效相應改善。然而，在頻率反走模式期間，MOSFET導通事件仍然與谷底檢測同步；控制器頻率在兩個鄰近谷底之間來回跳



▲ 圖 2 傳統準諧振控制開關電路圖



▲ 圖 3 谷底跳頻：控制器頻率在兩個鄰近谷底之間來回跳動



▲ 圖 4 帶頻率反走的準諧振模式

動時發生穀底跳頻，同樣導致準諧振電源中出現可聽雜訊。

這種技術帶來的另一項約束就是滿載和輸入電壓較低時最低頻率的選擇。實際上，頻率鉗位元要求選擇較低的最低頻率，而且這個值必須高於可聽頻率範圍(通常約30kHz)。由於這較低的最低頻率，初級電感值因而增加以提供必要的輸出功率，變壓器尺寸也相應地增大。

解決谷底跳頻問題

一種避免谷底跳頻問題的新方案，是在輸出負載變化時，從某個谷底位置變到下一個/前一個谷底位置，並將控制器頻率鎖定在所選位置。這叫做“谷底鉗定”技術。一旦控制器選定在某個谷底工作，它就保持鎖定在這個谷底，直到輸出功率大幅變化。實際上，可以通過監測回饋電壓 V_{out} 來觀察輸出功率變化。需要計數器來給谷底計數。谷底鉗定乃是通過使電源在特定輸出負載下能有兩個可能的工作點來實現。因此，當輸出負載值使週期能量平衡所需的關閉時間介於兩個鄰近的谷底之間時，峰值電流允許增高到足以在下一個谷底找到穩定的工作點。

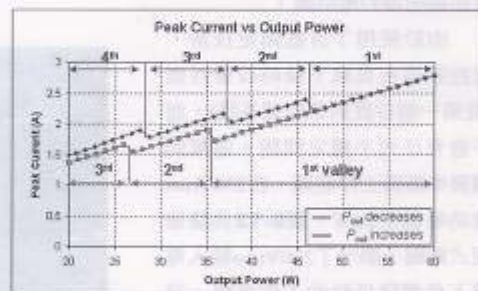
由於使用了這種技術，谷底跳頻不穩定問題就不再存在，而且變壓器中也聽不到可聽雜訊。這種技術的另一特徵是其提供自然的開關頻率限制。實際上，每次控制器谷底遞增時，頻率就以不同階躍來降低，如圖5所示。開關頻率的降低取決於自由振盪週期：

$$t_c = 2\pi\sqrt{L_p C_{loop}} \quad (0.1)$$

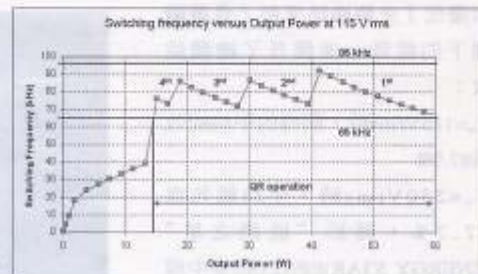
其中： L_p 是初級電感而 C_{loop} 包括功率MOSFET漏極處存在的所有寄生電容(輸出電容 C_{oss} ，變壓器電容等)圖6描繪了使用帶谷底鉗定功能的控制器(如安森美半導體的NCP1380)的適配器開關頻率

的變化過程。輸入電壓為均方根115V時，開關頻率漂移限制在65kHz到95kHz之間，且不須使用任何頻率鉗位元。

這種技術的另一優勢在於優化了整個負載/輸入電壓範圍(特別是高輸入電壓條件下)的能效。高輸入電壓時，不再有零電壓開關工作；開關損耗增加。因此，舉例來說，在第二個谷底而不是在第一個谷底工作或是在第三個谷底而不是在第二個谷底工作更有優勢，從而使電源能夠以較低的頻率開關。圖7很好地描繪了這種情況，此圖中顯示了控制器在第三個谷底或第四個谷底工作時，輸出功率在24W到34W之間時的能效變化。從圖中可以看出，在第四個谷底導通MOSFET提供的能效比在第三個谷底導通MOSFET高出0.3%。開關頻率在第四個谷底時比在第三個谷底時低15kHz。



▲ 圖5 就每個輸出負載而言，在2個鄰近的谷底中間都有相應的工作點



▲ 圖6 帶谷底鉗定功能的控制器開關頻率相對於輸出功率的變化

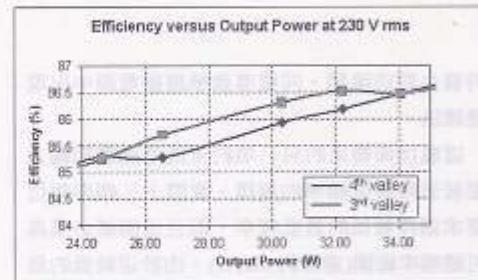
在積體電路中應用谷底鎖定技術

安森美半導體製造的準諧振控制器NCP1379和NCP1380中應用了谷底鎖定技術。實際上，使用了一組比較器在回饋引腳監測電壓，並將資訊饋送給計數器。每個比較器上的磁滯會鎖定工作谷底。因此，就給定輸出功率而言，有兩種可能的工作點：確保穩定工作而沒有谷底跳頻。為了進一步提升輕載能效，基於壓控振盪器的頻率反走電路在輸出功率減小時降低開關頻率。圖8顯示的是NCP1380控制的19V、60W準諧振適配器的電路圖。

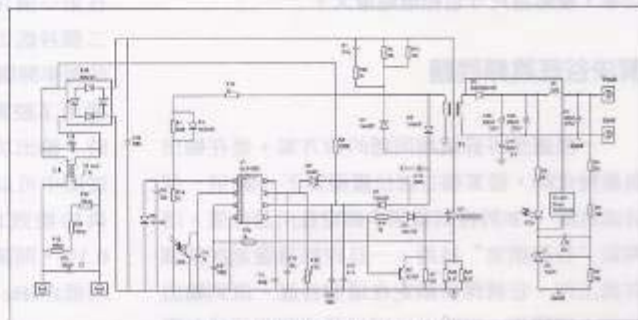
由於使用了谷底鎖定技術，這控制器在負載下降時改變谷底(從第一個谷底到第四個谷底)，而不會有任何不穩定問題。這幫助擴展準諧振工作範圍，在230Vrms時功率低至20W。圖9-12為節檢程式截圖，顯示了230Vrms輸入電壓下負載降低時的工作谷底。沒有觀察到谷底跳頻。谷底鎖定技術優化了完整線路電壓/負載範圍下的能效，並提升了總體能效：

$V_o=115V_{rms}$ 時，測得的平均能效為87.9%

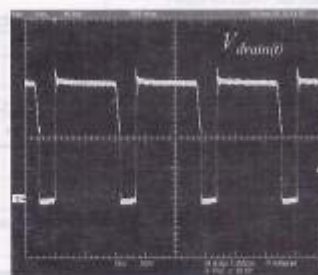
$V_o=230V_{rms}$ 時，平均能效為87.7%，高於“能源之星”(ENERGY STAR)EPA2.0標準中規定的87%限制值輸出輕載時，通



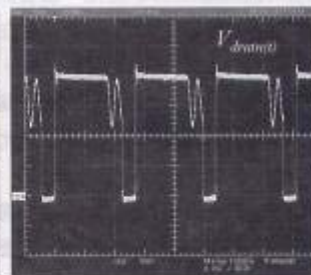
▲圖7 第三個谷底工作和第四個谷底工作實際應用案例中的能效差異



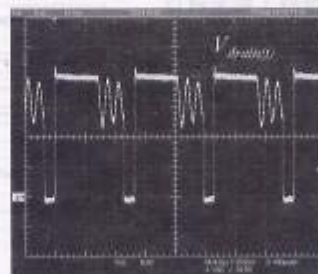
▲圖8 應用NCP1380的60 W适配器電路圖



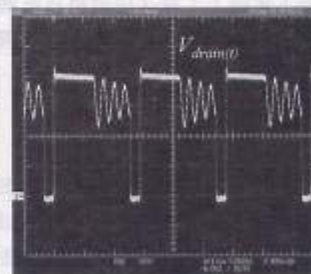
▲圖9 60 W、230 V rms時的第一个谷底



▲圖10 45 W、230 V rms時的第二个谷底



▲圖11 30 W、230 V rms時的第三个谷底



▲圖12 24 W、230 V rms時的第四个谷底

▼表1 輕載能效

P_{out} (W)	115 Vrms		230 Vrms	
	P_{in} (W)	能效(%)	P_{in} (W)	能效(%)
1.0	1.290	77.6	1.340	74.6
0.7	0.923	75.9	0.965	72.2
0.5	0.678	73.8	0.720	69.6

▼表2 空載功耗

P_{out} (W)	115 Vrms	230 Vrms
	P_{in} (mW)	P_{in} (mW)
0	59	85

過頻率反走電路進一步提升了能效。在0.7W輸出功率情況下，適配器從交流主電源消耗的功率低於1W。表1總結了輕載時的能效：

頻率反走技術通過降低開關頻率，也降低了適配器在待機模式下(表示沒有輸出負載連接至適配器)下消耗的功率。230Vrms時，適配器在待機模式下從交流主電源(含X2電容的放電電阻)消耗的功率為85mW，這對未配備高壓啟動電路的控制器而言是相當優秀的結果，如表2。

結論

傳統準諧振控制器容易受到所謂的谷底跳頻問題的影響，因為谷底跳頻會產生大小不同的開關週期，並在變壓器中產生可聽雜訊。在某些線路電壓/負載條件下，當週期能量平衡所需的關閉時間降到兩個鄰近谷底之間時，會出現谷底跳頻。為了解決這個問

題，本文介紹了谷底鎖定技術。這種技術使電源能夠在給定輸出負載條件下選擇兩個可能的穩定工作點，不僅不穩定問題隨之消失，而且在結合使用壓控振盪器的情況下，這種應用中的能效數值明顯升高。基於NCP1380控制器的實際測試結果證實了這種方法的有效性。

本文作者現任於
安森美半導體應用工程師。

參考資料

- [1] 安森美半導體網站，
www.onsemi.com
- [2] NCP1379資料表，www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCP1379-D.PDF
- [3] NCP1380資料表，www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCP1380-D.PDF