

【發明說明書】

【中文發明名稱】

非對稱半橋高降壓轉換器

【英文發明名稱】

ASYMMETRIC HALF-BRIDGE HIGH STEP-DOWN CONVERTER

【技術領域】

【0001】 本發明係有關於一種非對稱半橋高降壓轉換器，尤其是指一種具有高降壓比、高轉換效率及低電壓應力等功效，而在其整體施行使用上更增實用功效特性之非對稱半橋高降壓轉換器創新設計者。

【先前技術】

【0002】 按，由於油源日趨減少，使得節能意識高漲，由美國環境保護組織（The U.S. Environmental Protection Agency）和美國能源部門（The U.S. Department of Energy）共同發起的 Energy Star 標籤認證計劃成立於1992年，其目的是讓消費者透過電子或電器產品上的能源標籤來識別具節能效益的產品，進而減低溫室效應。而 Energy Star 4.0 將 80 PLUS 規範列入標準，對提供給個人電腦內部的 AC-DC 切換式電源供應器，無論在電腦處在待機或是休眠狀態時，電

源供應器在輸出負載 20%、50%、100%時，最少要有 80% 以上的效率。此外，能源之星也與 Intel 發起的 C S C I 拯救氣候行動計劃 (Climate Savers Computing Initiative, C S C I) 合作，加快節能技術和規範的採用。由於 80 PLUS 符合節能與環保的思潮，因此目前新推出的電源供應器幾乎都以支援 80 PLUS 規範為主要賣點，以節能省電的特色，來獲得歐美消費市場認同。在 2008 年 80 PLUS 規範增加了更嚴格的銅、銀、金牌標章認證。而且 2009 年 7 月 1 日起 Energy Star 5.0 和 80 PLUS 銅牌標章兩者有同樣的效率要求。因此選擇使用符合 80 PLUS 和 Energy Star 認可的電源供應器，將有助於節省更多的能源及成本。因此設計高效率之電源轉換器，滿足日趨嚴苛的電源規範已是時勢所趨。

【0003】 其中，就一般常見之轉換器而言，請參閱第二十一圖現有之降壓式轉換器電路圖所示，該降壓式轉換器 (2) 主要係透過開關 S 與二極體 D 組成的斬波器得到脈波電壓後，經過由電感 L 及電容 C 所組成之二階低通濾波器取出輸出電壓 V_o ，其滿足 $V_o = DV_m$ ，其透過開關 S 導通責任比 D 調整；然而，該降壓式轉換器 (2) 應用於高輸入電壓低輸出電壓時，操作之導通責任比需極端窄小，易受雜訊干擾，且不易做閉迴路穩壓控制，又開關 S 利用率低，影響電路效率，同時該開關 S 屬硬性切換，無柔性切換性能，在高頻切換時，切換損失會導致開關 S 元件溫度上升，減少開關 S 元件壽命。

【0004】 請再參閱第二十二圖現有之雙晶順向式轉換器電路圖所示，該雙晶順向式轉換器(3)主要係加入變壓器以達到電氣隔離，輸出電壓 $V_o = DV_m/n$ ，雖有 $D < 0.5$ 的限制，但是具有降壓彈性，不需利用極小的導通責任比達成高降壓特性，而是利用變壓器匝比 $n > 1$ 達成，如此，開關導通責任比即可操作在正常可控制範圍，此外，該雙晶順向式轉換器(3)的兩個主開關 S_1 、 S_2 均會被二極體箝位在輸入電壓 V_m ，因此適合應用於大輸入電壓場合；然而，該雙晶順向式轉換器(3)於使用上卻發現，由於其 $D < 0.5$ 的限制，限縮該雙晶順向式轉換器(3)輸入電壓的應用範圍，且若要達到高降壓則變壓器的匝比 n 要越大，導致變壓器的體積變大，會產生寄生電容、繞線電組及漏電感也會增大，使整體電路的突波上升，造成元件需承受更大的應力，亦使該雙晶順向式轉換器(3)效率下降，應用於高輸入電壓低輸出電壓時，變壓器的二次側之整流二極體與磁性元件，仍須承受大電流應力，會導致元件損失上升，同時其開關屬硬性切換，無柔性切換性能，在高頻切換時，切換損失會導致開關元件溫度上升，減少開關元件壽命。

【0005】 另，請再參閱第二十三圖現有之雙晶順向式高降壓轉換器電路圖所示，該雙晶順向式高降壓轉換器(4)為改善變壓器匝比 n 過大，又需要達到高降壓目的，在整流二極體 D_1 後串聯降壓電感 [buck inductor]，使 $i_{LB} = i_L$ 時變壓器能量才會傳至輸出側，使二次側實際導通責任比小於開關導通責任比 D ，而達到高降壓目的；然而，該雙晶順向式高降壓轉換器(4)於使用上卻

發現，由於其 $D < 0.5$ 的限制，限縮該雙晶順向式高降壓轉換器（4）輸入電壓的應用範圍，應用於高輸入電壓低輸出電壓時，變壓器的二次側二極體與磁性元件，須承受大電流應力，導致元件損失與熱應力上升，並由於該雙晶順向式高降壓轉換器（4）之電壓轉換比受到降壓電感影響，且與頻率有關，使得小信號建模時須將頻率當做一個變數，不僅增加小信號模式推導的難度，也使穩壓控制較難達成，同時其開關屬硬性切換，無柔性切換性能，在高頻切換時，切換損失會導致開關元件溫度上升，減少開關元件壽命。

【0006】 又，請再參閱第二十四圖現有之非對稱半橋式轉換器電路圖所示，該非對稱半橋式轉換器（5）利用主開關與輔助開關進行互補操作時，讓兩個驅動信號產生死帶，在此時間區間內，使開關的寄生電容與變壓器的漏電感產生共振迴路，經共振使開關跨壓下降至零之後，開關在切換為 on，達到零電壓柔性切換；然而，該非對稱半橋式轉換器（5）於使用過程中，若要達到高降壓則變壓器的匝比 n 要越大，導致變壓器的體積變大，會產生寄生電容、繞線電組及漏電感也會增大，使整體電路的突波上升，造成元件需承受更大的應力，亦使轉換器效率下降。二次側半導體元件與磁性元件須承受大電流應力，導致元件損失上升，且於高降壓成輸出低壓大電流及高功率應用時，二次側二極體與磁性元件，須承受大電流應力，導致元件損失與熱應力上升，並因開關驅動信號須互補且需具有死帶，於整體電路設計上較為複雜。

【0007】 緣是，發明人有鑑於此，秉持多年該相關行業之豐富設計開發及實際製作經驗，針對現有之結構及缺失再予以研究改良，提供一種非對稱半橋高降壓轉換器，以期達到更佳實用價值性之目的者。

【發明內容】

【0008】 本發明之主要目的在於提供一種非對稱半橋高降壓轉換器，其主要係具有高降壓比、高轉換效率及低電壓應力等功效，而在其整體施行使用上更增實用功效特性者。

【0009】 本發明非對稱半橋高降壓轉換器之主要目的與功效，係由以下具體技術手段所達成：

【0010】 其主要係令轉換器於輸入電源 V_{in} 之正極並聯有輔助開關 S_2 的第一端及電容 C_B 的第一端，於輸入電源 V_{in} 之負極則連接有主開關 S_1 的第一端，該主開關 S_1 的第二端則並聯有輔助開關 S_2 的第二端及電感 L_r 的第一端，該電容 C_B 的第二端與該電感 L_r 的第二端則連接有變壓器的一次側，於該變壓器的二次側正極連接有整流二極體 D_1 的正極，該整流二極體 D_1 的負極連接有降壓電感 L_b 的第一端，該降壓電感 L_b 的第二端並聯有飛輪二極體 D_2 的負極及輸出電感 L_o 的第一端，該輸出電感 L_o 的第二端並聯有輸出電容 C_o 的第一端及負載 R 的第一端，於該變壓器的二次側負極連接有該飛輪二極體 D_2 的正極、輸出電容 C_o 的第二端及負載 R 的第二端。

【圖式簡單說明】

- 【0011】 第一圖：本發明之電路圖
- 【0012】 第二圖：本發明之主要元件時序波形圖
- 【0013】 第三圖：本發明之第一操作階段等效電路圖
- 【0014】 第四圖：本發明之第二操作階段等效電路圖
- 【0015】 第五圖：本發明之第三操作階段等效電路圖
- 【0016】 第六圖：本發明之第四操作階段等效電路圖
- 【0017】 第七圖：本發明之第五操作階段等效電路圖
- 【0018】 第八圖：本發明之第六操作階段等效電路圖
- 【0019】 第九圖：本發明之第七操作階段等效電路圖
- 【0020】 第十圖：本發明之第八操作階段等效電路圖
- 【0021】 第十一圖：本發明之第九操作階段等效電路圖
- 【0022】 第十二圖：本發明之第十操作階段等效電路圖
- 【0023】 第十三圖：本發明之主開關驅動信號、輸入電源及輸出電壓的模擬波形圖
- 【0024】 第十四圖：本發明之主開關驅動信號、輸入電源及輸出電壓的實作波形圖
- 【0025】 第十五圖：本發明之主開關驅動信號與其跨壓模擬波形圖
- 【0026】 第十六圖：本發明之主開關驅動信號與其跨壓實作波形圖

- 【0027】 第十七圖：本發明之輔助開關驅動信號與其跨壓模擬波形圖
- 【0028】 第十八圖：本發明之輔助開關驅動信號與其跨壓實作波形圖
- 【0029】 第十九圖：本發明之降壓電感電流與輸出電感電流模擬波形圖
- 【0030】 第二十圖：本發明之降壓電感電流與輸出電感電流實作波形圖
- 【0031】 第二十一圖：現有之降壓式轉換器電路圖
- 【0032】 第二十二圖：現有之雙晶順向式轉換器電路圖
- 【0033】 第二十三圖：現有之雙晶順向式高降壓轉換器電路圖
- 【0034】 第二十四圖：現有之非對稱半橋式轉換器電路圖

【實施方式】

【0035】 為令本發明所運用之技術內容、發明目的及其達成之功效有更完整且清楚的揭露，茲於下詳細說明之，並請一併參閱所揭之圖式及圖號：

【0036】 首先，請參閱第一圖本發明之電路圖所示，本發明之轉換器（1）主要係於輸入電源 V_{in} 之正極並聯有輔助開關 S_2 的第一端及電容 C_B 的第一端，於輸入電源 V_{in} 之負極則連接有主開關 S_1 的第一端，該主開關 S_1 的第二端則並聯有輔助開關 S_2 的第二端及電感 L_r 的第一端，該電容 C_B 的第二端與該電感 L_r 的第二端則連接有變

壓器 (1 1) 的一次側，於該變壓器 (1 1) 的二次側正極連接有整流二極體 D_1 的正極，該整流二極體 D_1 的負極連接有降壓電感 L_b 的第一端，該降壓電感 L_b 的第二端並聯有飛輪二極體 D_2 的負極及輸出電感 L_o 的第一端，該輸出電感 L_o 的第二端並聯有輸出電容 C_o 的第一端及負載 R 的第一端，於該變壓器 (1 1) 的二次側負極連接有該飛輪二極體 D_2 的正極、輸出電容 C_o 的第二端及負載 R 的第二端。

【0037】 而該轉換器 (1) 在使用過程中，根據該主開關 S_1 、該輔助開關 S_2 、該主開關 S_1 的本體二極體 D_{s1} 、該輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{s2} 、該整流二極體 D_1 、該飛輪二極體 D_2 之導通與否，可以將該轉換器 (1) 在一個切換週期 T_s 的動作，分成十個線性階段，其各線性階段線性等效電路以及主要元件波形如下所示，請再一併參閱第二圖本發明之主要元件時序波形圖所示：

【0038】 第一階段 [$t_0 \sim t_1$] : [主開關 S_1 : off、輔助開關 S_2 : off、主開關 S_1 的本體二極體 D_{s1} : off、輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{s2} : off、整流二極體 D_1 : on、飛輪二極體 D_2 : off] : 請再一併參閱第三圖本發明之第一操作階段等效電路圖所示，本階段當主開關 S_1 切換為 off 時，主開關 S_1 跨壓 v_{ds1} 線性上升，輔助開關 S_2 跨壓 v_{ds2} 線性下降，當該變壓器 (1 1) 二次側之飛輪二極體 D_2 切換為 on 時進入下一階段。

【0039】 第二階段 [$t_1 \sim t_2$] : [主開關 S_1 : off、輔助開關 S_2 : off、

主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} : off、輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} : off、整流二極體 D_1 : on、飛輪二極體 D_2 : on] : 請再一併參閱第四圖本發明之第二操作階段等效電路圖所示，本階段當飛輪二極體 D_2 切換為 on 時，該變壓器 (1 1) 二次側之二極體電流開始換向，主開關 S_1 跨壓 v_{ds1} 共振上升，輔助開關 S_2 跨壓 v_{ds2} 共振下降，當輔助開關 S_2 跨壓 v_{ds2} 共振下降至零後，該輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} 切換為 on 時進入下一階段。

【0040】 第三階段 [$t_2 \sim t_3$] : [主開關 S_1 : off、輔助開關 S_2 : off、主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} : off、輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} : on、整流二極體 D_1 : on、飛輪二極體 D_2 : on] : 請再一併參閱第五圖本發明之第三操作階段等效電路圖所示，本階段當輔助開關 S_2 跨壓 v_{ds2} 共振下降至零，輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} 切換為 on，輔助開關 S_2 隨時可以切換為 on 達到 ZVS，當輔助開關 S_2 切換為 on 時進入下一階段。

【0041】 第四階段 [$t_3 \sim t_4$] : [主開關 S_1 : off、輔助開關 S_2 : on、主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} : off、輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} : on、整流二極體 D_1 : off、飛輪二極體 D_2 : on] : 請再一併參閱第六圖本發明之第四操作階段等效電路圖所示，本階段當輔助開關 S_2 切換為 on 時，達成 ZVS，當輔助開關 S_2 之電流 i_2 變為正值時，輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} 切換為 off 進入下一階段。

【0042】 第五階段 [$t_4 \sim t_5$] : [主開關 S_1 : off、輔助開關 S_2 : on、

主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} : off、輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} : off、整流二極體 D_1 : off、飛輪二極體 D_2 : on } : 請再一併參閱第七圖本發明之第五操作階段等效電路圖所示，本階段當輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} 切換為 off 時，該輔助開關 S_2 之電流 i_2 流經開關本體，當輔助開關 S_2 切換為 off 時進入下一階段。

【0043】 第六階段 [$t_5 \sim t_6$] : [主開關 S_1 : off、輔助開關 S_2 : off、主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} : off、輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} : off、整流二極體 D_1 : off、飛輪二極體 D_2 : on] : 請再一併參閱第八圖本發明之第六操作階段等效電路圖所示，本階段當輔助開關 S_2 切換為 off 時，該輔助開關 S_2 跨壓 v_{ds2} 線性上升，主開關 S_1 跨壓 v_{ds1} 線性下降，當該變壓器 (1 1) 二次側之整流二極體 D_1 切換為 on 時進入下一階段。

【0044】 第七階段 [$t_6 \sim t_7$] : [主開關 S_1 : off、輔助開關 S_2 : off、主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} : off、輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} : off、整流二極體 D_1 : on、飛輪二極體 D_2 : on] : 請再一併參閱第九圖本發明之第七操作階段等效電路圖所示，本階段當整流二極體 D_1 切換為 on 時，該變壓器 (1 1) 二次側之二極體電流開始換向，輔助開關 S_2 跨壓 v_{ds2} 共振上升，主開關 S_1 跨壓 v_{ds1} 共振下降，當主開關 S_1 跨壓 v_{ds1} 共振下降至零後，主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} 切換為 on 時進入下一階段。

【0045】 第八階段 [$t_7 \sim t_8$] : [主開關 S_1 : off、輔助開關 S_2 : off、

主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} : on、輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} : off、整流二極體 D_1 : on、飛輪二極體 D_2 : on] : 請再一併參閱第十圖本發明之第八操作階段等效電路圖所示，本階段當主開關 S_1 跨壓 v_{ds1} 共振下降至零，該主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} 切換為 on，該主開關 S_1 隨時可以切換為 on，達到 ZVS，當主開關 S_1 切換為 on 時進入下一階段。

【0046】 第九階段 [$t_8 \sim t_9$] : [主開關 S_1 : on、輔助開關 S_2 : off、主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} : off、輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} : off、整流二極體 D_1 : on、飛輪二極體 D_2 : on] : 請再一併參閱第十一圖本發明之第九操作階段等效電路圖所示，本階段當主開關 S_1 切換為 on 時，達成 ZVS，當變壓器 (1 1) 二次側之二極體電流換向完成，飛輪二極體 D_2 切換為 off 時進入下一階段。

【0047】 第十階段 [$t_9 \sim t_{10}$] : [主開關 S_1 : on、輔助開關 S_2 : off、主開關 S_1 的本體二極體 D_{S1} : off、輔助開關 S_2 的本體二極體 D_{S2} : off、整流二極體 D_1 : on、飛輪二極體 D_2 : on] : 請再一併參閱第十二圖本發明之第十操作階段等效電路圖所示，本階段當飛輪二極體 D_2 切換為 off 時，能量傳至負載負載 R ，主開關 S_1 切換為 off 時，回到第一階段。

【0048】 依據上述電路動作分析，使用 IsSpice 模擬軟體及實作結果驗證上述之高降壓特性，以及主開關 S_1 與輔助開關 S_2 柔性切換性能。設定該轉換器 (1) 之相關參數為：輸入電源 $V_{in}=400V$ 、輸

出電壓 $V_o=48\text{V}$ 、輸出功率 $P_o=100\sim 400\text{W}$ 、切換頻率 $f_s=100\text{kHz}$ 、變壓器匝數比 $n=1$ 、變壓器一次側磁化電感 $L_m=302\mu\text{H}$ 、降壓電感 $L_b=4\mu\text{H}$ 、輸出電感 $L_o=207\mu\text{H}$ 、電容 $C_B=33\mu\text{F}$ 、電感 $L_r=25\mu\text{H}$ 、主開關 S_1 本體電容 $C_{S1}=1250\mu\text{F}$ 、輔助開關 S_2 本體電容 $C_{S2}=1250\mu\text{F}$ 、輸出電容 $C_o=1000\mu\text{F}$ ；以下以模擬波形與實作結果檢驗該轉換器（1）的特點：

【0049】 A. 電氣規格驗證：請再一併參閱第十三圖本發明之主開關驅動信號、輸入電源及輸出電壓的模擬波形圖與第十四圖本發明之主開關驅動信號、輸入電源及輸出電壓的實作波形圖所示，實作中導通比 $D=0.46$ 時，輸出電壓 V_o 為 48V ；但若是以傳統非對稱半橋轉換器之電壓轉換比公式 $V_o = D(1-D)V_{in}/n$ ，在 $n=1$ 、 $D=0.46$ 時，輸出電壓 V_o 為 99.3V ，，明顯無法降至訂定的電氣規格。

【0050】 B. 主開關 S_1 與輔助開關 S_2 柔切性能：請再一併參閱第十五圖本發明之主開關驅動信號與其跨壓模擬波形圖、第十六圖本發明之主開關驅動信號與其跨壓實作波形圖、第十七圖本發明之輔助開關驅動信號與其跨壓模擬波形圖及第十八圖本發明之輔助開關驅動信號與其跨壓實作波形圖所示，於滿載輸出功率 $P_o=400\text{W}$ 時，主開關 S_1 之跨壓 v_{ds1} 下降至零後，驅動信號 v_{gs1} 才切換為 on，達到 ZVS 性能；輔助開關 S_2 之跨壓 v_{ds2} 下降至零後，驅動信號 v_{gs2} 才切換為 on，達到 ZVS 性能，此外亦可知主開關 S_1 與輔助開關 S_2 之電壓應力皆為 $V_{in} = 400\text{V}$ 。

【0051】 C.高降壓性能驗證：請再一併參閱第十九圖本發明之降壓電感電流與輸出電感電流模擬波形圖及第二十圖本發明之降壓電感電流與輸出電感電流實作波形圖所示，加入降壓電感 L_b 能使轉換器（1）達到高降壓，係因為當主開關 S_1 切換為 on 時，二次側二極體電流開始換向，降壓電感 L_b 電流 i_{L_b} 開始上升，須等到降壓電感電流 $i_{L_b} = i_{L_O}$ 時，二極體電流換向完畢，能量才能傳至負載 R 亦即二次側所得之實際導通責任比較主開關 S_1 之導通責任比小。

【0052】 藉由以上所述，本發明之使用實施說明可知，本發明與現有技術手段相較之下，本發明主要係具有下列優點：

【0053】 1.高降壓比：本發明利用降壓電感法達到高降壓，不需將導通責任比操作於極端窄小，亦不需使用匝數比 n 較大的變壓器，可降低變壓器的寄生元件，減少轉換器的突波。

【0054】 2.高轉換效率：本發明之主開關與輔助開關均可達成 ZVS 柔性切換，以降低切換損失，提高轉換器的轉換效率。

【0055】 3.低電壓應力：本發明之主開關與輔助開關可分擔輸入電壓，使開關元件具有低電壓應力，適用於高電壓輸入應用。

【0056】 然而前述之實施例或圖式並非限定本發明之產品結構或使用方式，任何所屬技術領域中具有通常知識者之適當變化或修飾，皆應視為不脫離本發明之專利範疇。

【0057】 綜上所述，本發明實施例確能達到所預期之使用功效，又其

所揭露之具體構造，不僅未曾見諸於同類產品中，亦未曾公開於申請前，誠已完全符合專利法之規定與要求，爰依法提出發明專利之申請，懇請惠予審查，並賜准專利，則實感德便。

【符號說明】

【0058】 (1) 轉換器

【0059】 (1 1) 變壓器

【0060】 (2) 降壓式轉換器

【0061】 (3) 雙晶順向式轉換器

【0062】 (4) 雙晶順向式高降壓轉換器

【0063】 (5) 非對稱半橋式轉換器