

# 【發明摘要】

## 【中文發明名稱】

交錯式零電壓切換轉換器

## 【英文發明名稱】

INTERLEAVED ZERO VOLTAGE SWITCHING CONVERTER

## 【中文】

本發明係有關於一種交錯式零電壓切換轉換器，其主要係令轉換器於電源輸入端並聯有相串聯之上橋開關及下橋開關，令該上、下橋開關分別與直流阻隔電容及共振電感連接，令直流阻隔電容及共振電感與變壓器之初級側相並聯，於變壓器之初級側包含磁化電感，令該變壓器次級側並聯有整流二極體及輸出電感，令該輸出電感與輸出電容及輸出負載相連接；藉此，具有零電壓切換性能，能降低切換損失，提升電能轉換效率，且開關電壓應力僅為輸入電壓，能降低開關電壓應力，並具有輸出電流漣波相消效果，降低輸出漣波電流，可減少輸出濾波元件的體積大小，同時能於整體製作成本上能有效降低，而在其整體施行使用上更增實用功效特性者。

## 【英文】

The invention relates to an interleaved zero voltage switching converter. Primarily, a converter is connected with an upper-bridge switch and a lower-bridge switch connected in series at a power input

end in parallel. The upper-bridge switch and the lower-bridge switch are connected to a DC blocking capacitor and a resonant inductor, respectively. The DC blocking capacitor and the resonant inductor is connected to a primary side of a transformer in parallel. The primary side of the transformer includes a magnetizing inductor. A secondary side of the transformer is connected to a rectifier diode and an output inductor in parallel. The output inductor is coupled with an output capacitor and an output load. Accordingly, it has the advantages of zero voltage switching performance, reducing switching loss and improving the efficiency of energy conversion. Furthermore, switching voltage stress is only an output voltage, thus it can lower the switching voltage stress and have the effect of output current ripple cancellation to reduce the output ripple current. It can reduce the volume size of the output filter components. Also, it can efficiently lower the whole production costs, so as to increase the practicality and efficiency for the whole implementation.

【指定代表圖】：第（ 一 ）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

無

【特徵化學式】

無

# 【發明說明書】

## 【中文發明名稱】

交錯式零電壓切換轉換器

## 【英文發明名稱】

INTERLEAVED ZERO VOLTAGE SWITCHING CONVERTER

## 【技術領域】

【0001】 本發明係有關於一種交錯式零電壓切換轉換器，尤其是指一種具有零電壓切換性能，能降低切換損失，提升電能轉換效率，且開關電壓應力僅為輸入電壓，能降低開關電壓應力，並具有輸出電流漣波相消效果，降低輸出漣波電流，可減少輸出濾波元件的體積大小，同時能於整體製作成本上能有效降低，而在其整體施行使用上更增實用功效特性之交錯式零電壓切換轉換器創新設計者。

## 【先前技術】

【0002】 按，由於油源日趨減少，使得節能意識高漲，美國環保署制定的ENERGY STAR 4.0，並且將80 PLUS規範列入標準，對提供給個人電腦內部的AC-D C切換式電源供應器〔switching power supply, SPS〕，無論在電源負載20%、50%、100%狀態下，AC/D C的電源轉換效率都必須達到80%，甚至Version 5.0必須超過80%的效率要

求。由於 80 PLUS 符合節能與環保的思潮，因此目前新推出的切換式電源供應器〔SPS〕幾乎都以支援 80 PLUS 規範為主要賣點，用節能省電的特色，以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；更在 2009 年和 2011 年分別加入了白金和鈦金等級認證。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，請參閱公告於 99 年 1 月 21 日之第 M372997 號「交錯式串聯輸入並聯輸出零電壓切換順向式轉換器」，該轉換器之開關應力為  $V_{in}/2(1-D)$ ，開關應力隨著導通比改變，若導通比  $D > 0.5$ ，則開關電壓應力大於  $V_{in}$ 。

【0004】 請再參閱第十七圖現有之其一電路架構示意圖所示，其係為 K. B. Park, C. E. Kim, G.W. Moon and M. J. Youn, “Three-switch active-clamp forward converter with low switch voltage stress and wide ZVS range for high-input-voltage applications,” *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 25, No. 4, pp. 889- 898, 2010.，該轉換器具有三個功率開關，功率開關數量較多。

【0005】 請再參閱第十八圖現有之其二電路架構示意圖所示，其係為 T. Qian and B. Lehman, “Dual Interleaved Active-Clamp Forward With Automatic Charge Balance Regulation for High Input Voltage Application,” *IEEE Trans. Power Electronics*, Vol. 23, No. 1, pp. 38-44, 2008.，發表一種『交錯式雙主動箝位順向式轉換器』，該轉換器具有自動充電平衡的調整功能，適合於高輸入電壓應用，它必須額外使用兩組額外繞組，因此變壓

器製作較為複雜。在轉換器的四個開關中，需兩個高電壓應力的開關，兩個較低電壓應力的開關。由於此轉換器欠缺共振電感的設計，因此無法保證開關 Z V S 操作，而其變壓器的漏電感將造成開關上的電壓突波，必須額外加入緩震器〔snubber〕電路。

**【0006】** 另，請再參閱第十九圖現有之其三電路架構示意圖所示，其係為 T. Jin, K. Zhang, K. Zhang; K. Smedley, “A New Interleaved Series Input Parallel Output (ISIPO) Forward Converter With Inherent Demagnetizing Features,” IEEE Trans. Power Electronics, Vol. 23, No. 2, pp. 888-895, 2008. 發表『交錯式串聯輸入並聯輸出(ISIPO)順向式轉換器』，其結合交錯式之雙開關順向式轉換器及半橋轉換器的特性與優點，具有天生磁通重置的優點，適合於高輸入電壓、高輸出電流及高功率的應用。雖然只用兩個開關，開關最大電壓應力是  $V_{in}$ ，然而此轉換器的開關是硬性切換，不具有柔性切換性能，因此切換損失較大是其缺點。

**【0007】** 緣是，發明人秉持多年該相關行業之豐富設計開發及實際製作經驗，針對現有之結構再予以研究改良，提供一種交錯式零電壓切換轉換器，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交錯式零電壓切換轉換器，其主要係具有零電壓切換性能，能降低切換損失，提升電能轉換效率，且開關電壓應力僅為輸入電壓，能降低開關電壓應力，並具有輸出電流漣波相消效果，降低輸出漣波電流，可減少輸出濾波元件的體積大小，同

時能於整體製作成本上能有效降低，而在其整體施行使用上更增實用功效特性者。

【0009】 本發明交錯式零電壓切換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電源輸入端  $V_{in}$  並聯有相串聯之上橋開關  $Q_2$  及下橋開關  $Q_1$ ，該上橋開關  $Q_2$  包含有關本體二極體及開關輸出電容  $C_{r2}$ ，該下橋開關  $Q_1$  則包含有關本體二極體及開關輸出電容  $C_{r1}$ ，且開關輸出電容  $C_{r2}$ 、 $C_{r1}$  作為共振電容，令該上橋開關  $Q_2$  兩端點分別與直流阻隔電容  $C_1$  及共振電感  $L_r$  之第一端點連接，該下橋開關  $Q_1$  兩端點則分別與直流阻隔電容  $C_2$  及共振電感  $L_r$  之第一端點連接，令該直流阻隔電容  $C_1$  及共振電感  $L_r$  之第二端點與變壓器  $T_1$  初級側之磁化電感  $L_{m1}$  相並聯，並令該直流阻隔電容  $C_2$  及共振電感  $L_r$  之第二端點與變壓器  $T_2$  初級側之磁化電感  $L_{m2}$  相並聯，令該變壓器  $T_1$  次級側之第二端點與變壓器  $T_2$  次級側之第一端點相連接，而該變壓器  $T_1$  次級側之第一端點並聯有整流二極體  $D_1$  負級及輸出電感  $L_1$  第一端點，該變壓器  $T_2$  次級側之第二端點並聯有整流二極體  $D_2$  負級及輸出電感  $L_2$  第一端點，令該輸出電感  $L_1$ 、 $L_2$  之第二端點一併與輸出電容  $C_o$  及輸出負載  $R$  之第一端點相連接，而該整流二極體  $D_1$ 、 $D_2$  之正極則一併與輸出電容  $C_o$  及輸出負載  $R$  之第二端點相連接。

【圖式簡單說明】

- 【0011】 第一圖：本發明之電路示意圖
- 【0012】 第二圖：本發明之主要元件時序波形圖
- 【0013】 第三圖：本發明之第一線性電路階段電路示意圖
- 【0014】 第四圖：本發明之第二線性電路階段電路示意圖
- 【0015】 第五圖：本發明之第三線性電路階段電路示意圖
- 【0016】 第六圖：本發明之第四線性電路階段電路示意圖
- 【0017】 第七圖：本發明之第五線性電路階段電路示意圖
- 【0018】 第八圖：本發明之第六線性電路階段電路示意圖
- 【0019】 第九圖：本發明之第七線性電路階段電路示意圖
- 【0020】 第十圖：本發明之第八線性電路階段電路示意圖
- 【0021】 第十一圖：本發明之下橋開關與上橋開關的驅動信號、輸入電壓及輸出電壓波形圖
- 【0022】 第十二圖：本發明之下橋開關與上橋開關的驅動信號、直流阻隔電容電壓  $V_{C1}$ 、 $V_{C2}$  波形圖
- 【0023】 第十三圖：本發明之下橋開關與上橋開關的驅動信號與汲-源極電壓波形圖〔滿載 480W〕



【0024】 第十四圖：本發明之下橋開關與上橋開關的驅動信號與汲-源極電壓波形圖〔半載 240W〕

【0025】 第十五圖：本發明之輸出電感電流及總輸出電感電流波形圖

【0026】 第十六圖：本發明之下橋開關與上橋開關的驅動信號及整流二極體電流波形圖

【0027】 第十七圖：現有之其一電路架構示意圖

【0028】 第十八圖：現有之其二電路架構示意圖

【0029】 第十九圖：現有之其三電路架構示意圖

#### 【實施方式】

【0030】 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：

【0031】 首先，請參閱第一圖本發明之電路示意圖所示，本發明之轉換器(1)主要係於電源輸入端  $V_{in}$  並聯有相串聯之上橋開關  $Q_2$  及下橋開關  $Q_1$ ，該上橋開關  $Q_2$  包含有關本體二極體及開關輸出電容  $C_{r2}$ ，該下橋開關  $Q_1$  則包含有關本體二極體及開關輸出電容  $C_{r1}$ ，且開關輸出電容  $C_{r2}$ 、 $C_{r1}$  作為共振電容，令該上橋開關  $Q_2$  兩端點分別與直流阻隔電容  $C_1$  及共振電感  $L_r$  之第一端點連接，該下橋開關  $Q_1$  兩端點則分別與直流阻隔電容  $C_2$  及共振電感  $L_r$  之第一端點連接，令該直流阻隔電容  $C_1$  及共振電感

$L_r$ 之第二端點與變壓器  $T_1$  初級側之磁化電感  $L_{m1}$  相並聯，並令該直流阻隔電容  $C_2$  及共振電感  $L_r$  之第二端點與變壓器  $T_2$  初級側之磁化電感  $L_{m2}$  相並聯，令該變壓器  $T_1$  次級側之第二端點與變壓器  $T_2$  次級側之第一端點相連接，而該變壓器  $T_1$  次級側之第一端點並聯有整流二極體  $D_1$  負級及輸出電感  $L_1$  第一端點，該變壓器  $T_2$  次級側之第二端點並聯有整流二極體  $D_2$  負級及輸出電感  $L_2$  第一端點，令該輸出電感  $L_1$ 、 $L_2$  之第二端點一併與輸出電容  $C_o$  及輸出負載  $R$  之第一端點相連接，而該整流二極體  $D_1$ 、 $D_2$  之正極則一併與輸出電容  $C_o$  及輸出負載  $R$  之第二端點相連接。

【0032】 使得本發明於操作使用上，其係令上橋開關  $Q_2$  及下橋開關  $Q_1$  互為輔助開關，並以互補的交錯式驅動，驅動信號之間有微小的盲時〔dead time〕，作為電路共振時區，使上橋開關  $Q_2$  及下橋開關  $Q_1$  達成零電壓開關〔ZVS〕操作，減少切換損失，提高效率。且由於該上橋開關  $Q_2$  及下橋開關  $Q_1$  為橋式結構，因此開關電壓應力僅為  $V_{in}$ ，適合高輸入電壓應用。另一方面，由於轉換器(1)的輸出為倍流整流架構，輸出電感  $L_1$ 、 $L_2$  的輸出端以並聯連接，因此可分擔總輸出電流並且降低在輸出電容  $C_o$  的電流漣波，進而可使用較小的輸出電感  $L_1$ 、 $L_2$  及輸出電容  $C_o$ ，降低體積大小，因此適合在高輸出電流的應用。

【0033】 如此一來，使得當本發明穩態時，在一個切換週期  $T_s$  中，依據上橋開關  $Q_2$  及下橋開關  $Q_1$  切換和整流二極體  $D_1$ 、 $D_2$  導通與否，電路動作可分成 8 個線性電路階段，其波形即如第二圖本發明之主要元件時序波形圖所示。

【0034】 而於一個切換週期  $T_s$  中之 8 個線性電路階段電路分析如下：

【0035】 第一階段〔 $t_0 \sim t_1$ 〕〔下橋開關  $Q_1$ ：on、上橋開關  $Q_2$ ：off、整流二極體  $D_1$ ：off、整流二極體  $D_2$ ：on〕：請參閱第三圖本發明之第一線性電路階段電路示意圖所示，該第一階段開始於  $t=t_0$ ，下橋開關  $Q_1$  為 on，上橋開關  $Q_2$  為 off，下橋開關  $Q_1$  跨壓  $V_{cr1}=0$ ，變壓器  $T_1$  初級側跨壓  $V_{p1}$  相似於  $V_{in}-V_{c1}>0$ ，磁化電感  $i_{Lm1}$  線性上升，變壓器  $T_1$  次級側  $V_{S1}=n_1(V_{in}-V_{c1})>0$ ，上橋開關  $Q_2$  跨壓  $V_{cr2}=V_{in}$ ，變壓器  $T_2$  初級側跨壓  $V_{p2}$  相似於  $-V_{c2}<0$ ，而變壓器  $T_2$  次級側  $V_{S2}=n_2V_{p2}=-n_2V_{c2}<0$ ，因此整流二極體  $D_2$  為 on，且整流二極體  $D_1$  為 off，輸出電感  $L_1$  之電壓  $V_{L1}=V_{S1}-V_{S2}-V_o>0$ 、電流  $i_{L1}$  線性上升，另一方面，輸出電感  $L_2$  之電壓  $V_{L2}=-V_o<0$ 、電流  $i_{L2}$  線性下降，因此總輸出電流  $i_{Lo}=i_{L1}+i_{L2}$  會有漣波相消的效果。當  $t=t_1$ ，下橋開關  $Q_1$  切換為 off，此階段結束。

【0036】 第二階段〔 $t_1 \sim t_2$ 〕〔下橋開關  $Q_1$ ：off、上橋開關  $Q_2$ ：off、整流二極體  $D_1$ ：off、整流二極體  $D_2$ ：on〕：請參閱第四圖本發明之第二線性電路階段電路示意圖所示，該第二階段開始於  $t=t_1$ ，下橋開關  $Q_1$  切換為 off，共振電感電流  $i_{Lr}$  對開關輸出電容  $C_{r1}$  充電，對開關輸出電容  $C_{r2}$  放電，因此開關輸出電容  $C_{r1}$  之電壓  $V_{Cr1}$  上升且開關輸出電容  $C_{r2}$  之電壓  $V_{Cr2}$  下降。由於開關輸出電容  $C_{r1}$ 、 $C_{r2}$  非常小，開關輸出電容  $C_{r1}$  之電壓  $V_{Cr1}$  上升及開關輸出電容  $C_{r2}$  之電壓  $V_{Cr2}$  下降非常快，因此本階段歷時很短。當  $t=t_2$  時，下橋開關  $Q_1$  跨壓  $V_{cr1}$  上升至  $V_{in}-V_{c1}$ ，上橋開關  $Q_2$  跨壓  $V_{cr2}$  也下降至  $V_{c1}$  時，變壓器  $T_1$  初級側跨壓  $V_{p1}=0$ ，變壓器  $T_2$  初級側跨壓  $V_{p2}=0$ ，因此變壓器  $T_1$  次級側  $V_{S1}=0$  且變壓器  $T_2$  次級側  $V_{S2}=0$ ，整流二極體  $D_1$ 、 $D_2$

皆導通，輸出整流器進入電流換向〔commutation〕，變壓器  $T_1$ 、 $T_2$  之初級側箝位在零電壓，此階段結束。

**【0037】** 第三階段〔 $t_2 \sim t_3$ 〕〔下橋開關  $Q_1$ ：off、上橋開關  $Q_2$ ：off、整流二極體  $D_1$ ：on、整流二極體  $D_2$ ：on〕：請參閱第五圖本發明之第三線性電路階段電路示意圖所示，該第三階段開始於  $t=t_2$ ，下橋開關  $Q_1$  跨壓  $V_{cr1}=V_{in}-V_{c1}$ ，而且上橋開關  $Q_2$  跨壓  $V_{cr2}=V_{c1}$ ，變壓器  $T_1$ 、 $T_2$  之初級側電壓箝位在零電壓；磁化電感  $L_{m1}$ 、 $L_{m2}$  之電流  $i_{Lm1}$ 、 $i_{Lm2}$  保持常數，變壓器  $T_1$ 、 $T_2$  之次級側  $V_{s1}=V_{s2}=0$ ，輸出整流器開始進行電流交換，電流  $i_{D2}$  減小、 $i_{D1}$  增加。共振電感  $L_r$ 、開關輸出電容  $C_{r1}$  和  $C_{r2}$  形成共振電路，下橋開關  $Q_1$  跨壓  $V_{cr1}$  以共振形式持續上升，上橋開關  $Q_2$  跨壓  $V_{cr2}$  持續下降，共振電感  $L_r$  跨負電壓、電流  $i_{Lr}$  下降，輸出整流器持續進行換向，整流二極體  $D_2$  電流  $i_{D2}$  遞減、整流二極體  $D_1$  電流  $i_{D1}$  遞增。在第三階段共振電感  $L_r$  的初始儲能必須大於開關輸出電容  $C_{r2}$ 、 $C_{r1}$  的初始儲能，方能使上橋開關  $Q_2$  跨壓  $V_{cr2}$  下降至零，達到零電壓開關〔ZVS〕的條件。當  $t=t_3$  時，上橋開關  $Q_2$  跨壓  $V_{cr2}$  下降至零，上橋開關  $Q_2$  之本體二極體開始導通，此階段結束。

**【0038】** 第四階段〔 $t_3 \sim t_4$ 〕〔下橋開關  $Q_1$ ：off、上橋開關  $Q_2$ ：on、整流二極體  $D_1$ ：on、整流二極體  $D_2$ ：on〕：請參閱第六圖本發明之第四線性電路階段電路示意圖所示，該第四階段開始於  $t=t_3$ ，上橋開關  $Q_2$  之本體二極體導通，上橋開關  $Q_2$  跨壓  $V_{cr2}$  箝位在零，而且下橋開關  $Q_1$  跨壓  $V_{cr1}=V_{in}$ 。在上橋開關  $Q_2$  電流  $i_{Q2}$  改變流向之前，必須將上橋開關  $Q_2$  切換為 on，達成零電壓開關〔ZVS〕操作。此階段輸出整流器持續進行換向，

變壓器  $T_1$ 、 $T_2$  之初級側電壓為零，共振電感  $L_r$  之電壓  $V_{Lr}$  相似於  $-V_{Cr1}$ 、電流  $i_{Lr}$  線性下降。當  $t=t_4$  時，整流二極體  $D_1$  電流  $i_{D1}$  上升至輸出電感  $L_1$  之電流  $i_{L1}$ ，且整流二極體  $D_2$  電流  $i_{D2}$  下降至 0 換向完成，整流二極體  $D_2$  成為 off，此階段結束。

**【0039】** 第五階段〔 $t_4 \sim t_5$ 〕〔下橋開關  $Q_1$ ：off、上橋開關  $Q_2$ ：on、整流二極體  $D_1$ ：on、整流二極體  $D_2$ ：off〕：請參閱第七圖本發明之第五線性電路階段電路示意圖所示，該第五階段開始於  $t=t_4$ ，輸出整流器換向完成，即整流二極體  $D_1$  電流  $i_{D1}=i_{L1}+i_{L2}$ ，且整流二極體  $D_2$  電流  $i_{D2}=0$ 。磁化電感  $L_{m1}$ 、 $L_{m2}$  之電壓解除箝位， $V_{p2}$  相似於  $V_{in}-V_{c2}>0$ ，磁化電感  $L_{m2}$  之電流  $i_{Lm2}$  線性上升、斜率為  $(V_{in}-V_{c2})/L_{m2}$ ，變壓器  $T_2$  之次級側電壓  $V_{S2}=n_2V_{p2}>0$ ， $V_{p1}$  相似於  $-V_{c1}$ ，因此磁化電感  $L_{m1}$  之電流  $i_{Lm1}$  線性下降。因為變壓器  $T_1$ 、 $T_2$  之次級側電壓  $V_{S1}-V_{S2}<0$ ，所以整流二極體  $D_1$  為 on 且整流二極體  $D_2$  為 off。輸出電感  $L_1$  之電流  $i_{L1}$  因為  $V_{L1}=-V_o$ 、造成電流  $i_{L1}$  線性下降，而輸出電感  $L_2$  之電流  $i_{L2}$  因為  $V_{L2}=V_{S2}-V_{S1}-V_o>0$ 、造成電流  $i_{L2}$  線性上升；所以總輸出電流  $i_{Lc}=i_{L1}+i_{L2}$  會有漣波相消的效果。當  $t=t_5$  時，上橋開關  $Q_2$  切換為 off，此階段結束。

**【0040】** 第六階段〔 $t_5 \sim t_6$ 〕〔下橋開關  $Q_1$ ：off、上橋開關  $Q_2$ ：off、整流二極體  $D_1$ ：on、整流二極體  $D_2$ ：off〕：請參閱第八圖本發明之第六線性電路階段電路示意圖所示，該第六階段開始於  $t=t_5$ ，上橋開關  $Q_2$  切換為 off。共振電感  $L_r$  之電流  $i_{Lr}$  為負值，對開關輸出電容  $C_{r2}$  充電、且對開關輸出電容  $C_{r1}$  放電，開關輸出電容  $C_{r2}$  之電壓  $V_{Cr2}$  上升且開關輸出電容  $C_{r1}$  之電壓  $V_{Cr1}$  下降。由於開關輸出電容  $C_{r1}$ 、 $C_{r2}$  非常小，開關輸出電容  $C_{r2}$

之電壓  $V_{cr2}$  上升及開關輸出電容  $C_{r1}$  之電壓  $V_{cr1}$  下降非常快，因此本階段歷時很短。當  $t=t_6$  時，上橋開關  $Q_2$  跨壓  $V_{cr2}$  上升至  $V_{c1}$ ，下橋開關  $Q_1$  跨壓  $V_{cr1}$  下降至  $V_{in}-V_{c1}$  時，變壓器  $T_2$  初級側跨壓  $V_{p2}=0$ ，而且變壓器  $T_1$  初級側跨壓  $V_{p1}=0$ 。整流二極體  $D_2$  開始導通，整流二極體  $D_1$ 、 $D_2$  電流開始交換，整流二極體  $D_2$  之電流  $i_{D2}$  遞增，整流二極體  $D_1$  之電流  $i_{D1}$  遞減，此階段結束。

**【0041】** 第七階段〔 $t_6\sim t_7$ 〕〔下橋開關  $Q_1$ ：off、上橋開關  $Q_2$ ：off、整流二極體  $D_1$ ：on、整流二極體  $D_2$ ：on〕：請參閱第九圖本發明之第七線性電路階段電路示意圖所示，該第七階段開始於  $t=t_6$ ，變壓器  $T_1$ 、 $T_2$  初級側跨壓  $V_{p1}$ 、 $V_{p2}$  箝位於 0，整流二極體  $D_1$ 、 $D_2$  進行換向，此階段相似於第三階段，磁化電感  $L_{m1}$ 、 $L_{m2}$  之電壓箝位於零；磁化電感  $L_{m1}$ 、 $L_{m2}$  之電流  $i_{Lm1}$ 、 $i_{Lm2}$  保持常數。共振電感  $L_r$ 、開關輸出電容  $C_{r1}$  和  $C_{r2}$  形成共振電路，上橋開關  $Q_2$  跨壓  $V_{cr2}$  持續上升，下橋開關  $Q_1$  跨壓  $V_{cr1}$  持續下降，共振電感  $L_r$  跨正電壓、電流  $i_{Lr}$  上升，輸出整流器持續進行電流換向。在第七階段共振電感  $L_r$  初始儲能必須大於開關輸出電容  $C_{r2}$ 、 $C_{r1}$  的初始儲能，方能使下橋開關  $Q_1$  跨壓  $V_{cr1}$  下降至零，達到零電壓開關〔ZVS〕的條件。當  $t=t_7$  時，下橋開關  $Q_1$  跨壓  $V_{cr1}$  下降至零，下橋開關  $Q_1$  之本體二極體開始導通，此階段結束。

**【0042】** 第八階段〔 $t_7\sim t_8$ 〕〔下橋開關  $Q_1$ ：on、上橋開關  $Q_2$ ：off、整流二極體  $D_1$ ：on、整流二極體  $D_2$ ：on〕：請參閱第十圖本發明之第八線性電路階段電路示意圖所示，該第八階段開始於  $t=t_7$ ，下橋開關  $Q_1$  之本體二極體導通，下橋開關  $Q_1$  跨壓為零，跨壓  $V_{cr1}$  箝位为零，且上橋開關

$Q_2$  跨壓  $V_{cr2}=V_{in}$ 。因為  $V_{cr1}=0$ ，在下橋開關  $Q_1$  電流  $i_{Q1}$  變成正值之前，必須將下橋開關  $Q_1$  切換為 on，達成零電壓開關〔ZVS〕操作。此階段共振電感  $L_r$  之電壓  $V_{Lr}$  相似於  $V_{C2}$ 、電流  $i_{Lr}$  線性上升，輸出整流器持續進行換向過程。當  $t=t_8$  時，整流二極體  $D_2$  電流  $i_{D2}=i_{L1}+i_{L2}$  且  $i_{D2}$  下降至 0，整流二極體  $D_1$  轉換為 off，整流二極體換向完成，此階段結束，進入下一切換週期。

【0043】 而本發明於進行驗證時，先進行穩態特性之驗證，於穩態時，第一階段由於磁化電感  $L_m \gg L_r$ ，因此磁化電感電壓  $V_{p1}$  近似於  $V_{in}-V_{c1}$ ，且  $V_{p2}$  近似於  $-V_{c2}$ ；第五階段當下橋開關  $Q_1$  為 off、上橋開關  $Q_2$  為 on 時， $V_{p1}=-V_{c1}$ ，且  $V_{p2}$  近似於  $V_{in}-V_{c2}$ 。根據伏秒平衡定理， $V_{c1}=DV_{in}$ ， $V_{c2}=(1-D)V_{in}$ ，電壓轉換比則為  $V_o/V_{in}=(n_1+n_2)D(1-D)$ 。令  $V_{in}=400V$ 、 $V_o=24V$ 、 $n_1=n_2=0.145$ ，輸出功率 480W，可求得開關導通比  $D$  近似於 0.3。請參閱第十一圖本發明之下橋開關與上橋開關的驅動信號、輸入電壓及輸出電壓波形圖所示，而於第十二圖本發明之下橋開關與上橋開關的驅動信號、直流阻隔電容電壓  $V_{c1}$ 、 $V_{c2}$  波形圖所示可知，本發明於模擬結果與理論值相當接近。

【0044】 而由第十三圖本發明之下橋開關與上橋開關的驅動信號與汲-源極電壓波形圖〔滿載 480W〕所示，可得知下橋開關  $Q_1$  與上橋開關  $Q_2$  切換為 on 之前，其跨壓  $V_{ds1}$  和  $V_{ds2}$  均已降至零，因此達到零電壓開關〔ZVS〕操作；而請再一併參閱第十四圖本發明之下橋開關與上橋開關的驅動信號與汲-源極電壓波形圖〔半載 240W〕所示，於半載 240W 時，同樣仍能達到零電壓開關〔ZVS〕操作。並可得知當輸入電壓  $V_{in}=400V$ ，

下橋開關  $Q_1$  與上橋開關  $Q_2$  的最大跨壓為  $V_{in}$ ，因此下橋開關  $Q_1$  與上橋開關  $Q_2$  的電壓應力為  $V_{in}$ ，該轉換器(1)具有較低電壓應力。

【0045】 另，請再參閱第十五圖本發明之輸出電感電流及總輸出電感電流波形圖所示，其可知漣波電流大小  $\Delta i_{L1}=1.44A$  和  $\Delta i_{L2}=1.37A$ ，而  $\Delta i_{Lo}=0.3A$ ，因此輸出電感  $L_1$ 、 $L_2$  除了能分擔輸出電流  $i_{Lo}=i_{L1}+i_{L2}$  之外，也具有漣波相消作用，降低輸出電容  $C_o$  的漣波電流。請再參閱第十六圖本發明之下橋開關與上橋開關的驅動信號及輸出整流二極體電流波形圖所示，其穩態電流與電流換向的波形符合分析結果。

【0046】 藉由以上所述，本發明結構之組成與使用實施說明可知，本發明與現有結構相較之下，本發明主要係具有下列優點：

【0047】 1.本發明利用輸出電容與共振電感，形成共振電路，使得其具有零電壓切換性能，降低切換損失，提升電能轉換效率。

【0048】 2.本發明使用兩個串聯之下橋開關與上橋開關構成橋式結構，開關電壓應力僅為輸入電壓，能降低開關電壓應力。

【0049】 3.本發明於輸出端利用兩個輸出電感具有分擔輸出總電流，而且具有輸出電流漣波相消效果，降低輸出電容的漣波電流，可減少輸出濾波元件的體積大小。

【0050】 4.本發明僅使用兩個串聯之下橋開關與上橋開關，使得其於整體製作成本上能有效降低。



【0051】 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。

【0052】 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】

【0053】 (1)轉換器

# 【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種交錯式零電壓切換轉換器，其主要係令轉換器於電源輸入端  $V_{in}$  並聯有相串聯之上橋開關  $Q_2$  及下橋開關  $Q_1$ ，該上橋開關  $Q_2$  包含有關關本體二極體及開關輸出電容  $C_{r2}$ ，該下橋開關  $Q_1$  則包含有關關本體二極體及開關輸出電容  $C_{r1}$ ，且開關輸出電容  $C_{r2}$ 、 $C_{r1}$  作為共振電容，令該上橋開關  $Q_2$  兩端點分別與直流阻隔電容  $C_1$  及共振電感  $L_r$  之第一端點連接，該下橋開關  $Q_1$  兩端點則分別與直流阻隔電容  $C_2$  及共振電感  $L_r$  之第一端點連接，令該直流阻隔電容  $C_1$  及共振電感  $L_r$  之第二端點與變壓器  $T_1$  初級側之磁化電感  $L_{m1}$  相並聯，並令該直流阻隔電容  $C_2$  及共振電感  $L_r$  之第二端點與變壓器  $T_2$  初級側之磁化電感  $L_{m2}$  相並聯，令該變壓器  $T_1$  次級側之第二端點與變壓器  $T_2$  次級側之第一端點相連接，而該變壓器  $T_1$  次級側之第一端點並聯有整流二極體  $D_1$  負級及輸出電感  $L_1$  第一端點，該變壓器  $T_2$  次級側之第二端點並聯有整流二極體  $D_2$  負級及輸出電感  $L_2$  第一端點，令該輸出電感  $L_1$ 、 $L_2$  之第二端點一併與輸出電容  $C_o$  及輸出負載  $R$  之第一端點相連接，而該整流二極體  $D_1$ 、 $D_2$  之正極則一併與輸出電容  $C_o$  及輸出負載  $R$  之第二端點相連接。