



(21) 申請案號：110148198

(22) 申請日：中華民國 110 (2021) 年 12 月 22 日

(51) Int. Cl. : H02M3/156 (2006.01)

H02M1/08 (2006.01)

(30) 優先權：2020/12/31 中國大陸

202011622595.6

(71) 申請人：美商茂力科技股份有限公司 (美國) MONOLITHIC POWER SYSTEMS, INC. (US)
美國

(72) 發明人：李暉 LI, HUI (CN) ; 王斯然 WANG, SIRAN (CN) ; 馮林 FENG, LIN (CN)

(74) 代理人：林志剛

(56) 參考文獻：

TW 201624902A

US 2015/0280576A1

審查人員：古文豪

申請專利範圍項數：20 項 圖式數：10 共 50 頁

(54) 名稱

隔離式開關變換器及其控制器和控制方法

(57) 摘要

本發明揭示了隔離式開關變換器及其控制器和控制方法。該開關變換器包括具有初級繞組和次級繞組的變壓器、耦接至初級繞組的初級開關管以及耦接至次級繞組的次級開關管以及隔離電路，該控制方法包括：接收代表開關變換器輸出信號的反饋信號，產生脈衝頻率調變信號；耦接至次級開關管以檢測諧振電壓波形，產生波谷脈衝信號；基於脈衝頻率調變信號與上一週期的波谷數，產生目標波谷數，並提供回應於目標波谷數的波谷致能信號；基於波谷致能信號、脈衝頻率調變信號和波谷脈衝信號，產生初級開通致能信號；將初級開通致能信號送入隔離電路，產生與初級開通致能信號電隔離的同步信號；以及基於同步信號，產生初級控制信號以控制初級開關管。

It is disclosed an isolated switching converter and the control circuit and control method thereof. The switching converter has a transformer having a primary winding and a secondary winding, a primary switch coupled to the primary winding, a secondary switch coupled to the secondary winding and an isolated circuit. The control method including: generating a pulse frequency modulation signal based on a feedback signal indicative of an output voltage; coupling to the secondary switch and generating a valley pulse signal by detecting one or more valleys of a resonant voltage; generating a target valley number based on the pulse frequency modulation signal, the valley pulse signal and a last-cycle valley number and providing a valley enable signal corresponding to the target valley number; generating a primary on enable signal based on the valley enable signal, the pulse frequency modulation signal and the valley pulse signal; sending the primary on enable signal to an input terminal of the isolation circuit and generating a synchronous signal electrically isolated from the primary on enable signal; and generating a primary control signal to control the primary switch based on the synchronous signal.

指定代表圖：

符號簡單說明：

200:隔離式開關變換器

201:波谷檢測電路

202:脈衝頻率調變電路

203:初級開通致能電路

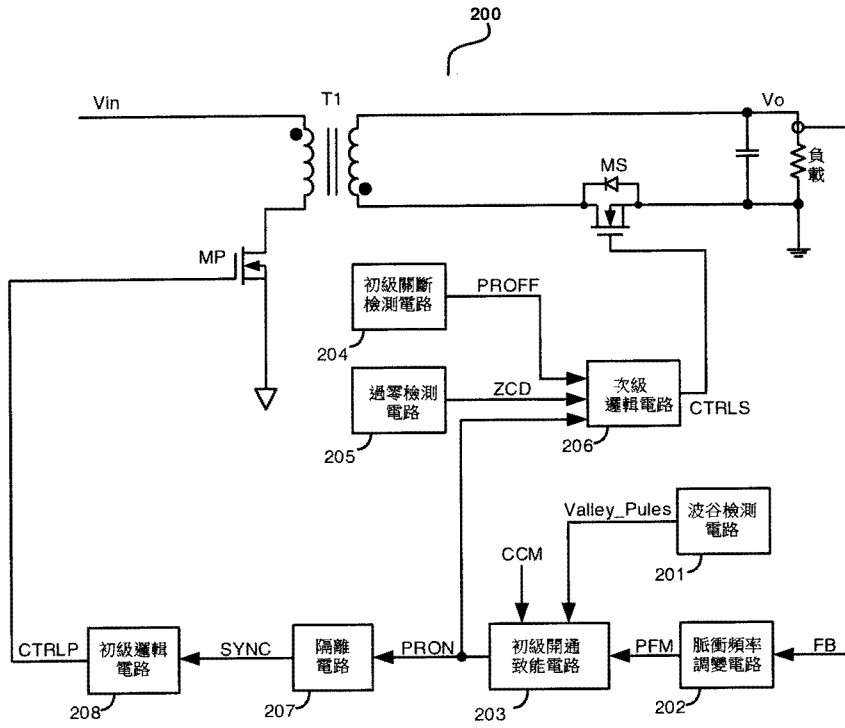
204:初級關斷檢測電路

205:過零檢測電路

206:次級邏輯電路

207:隔離電路

208:初級邏輯電路



【圖 2】



I811910

【發明摘要】**【中文發明名稱】**

隔離式開關變換器及其控制器和控制方法

【英文發明名稱】ISOLATED SWITCHING CONVERTER WITH SECONDARY SIDE
MODULATION AND CONTROL METHOD**【中文】**

本發明揭示了隔離式開關變換器及其控制器和控制方法。該開關變換器包括具有初級繞組和次級繞組的變壓器、耦接至初級繞組的初級開關管以及耦接至次級繞組的次級開關管以及隔離電路，該控制方法包括：接收代表開關變換器輸出信號的反饋信號，產生脈衝頻率調變信號；耦接至次級開關管以檢測諧振電壓波形，產生波谷脈衝信號；基於脈衝頻率調變信號與上一週期的波谷數，產生目標波谷數，並提供回應於目標波谷數的波谷致能信號；基於波谷致能信號、脈衝頻率調變信號和波谷脈衝信號，產生初級開通致能信號；將初級開通致能信號送入隔離電路，產生與初級開通致能信號電隔離的同步信號；以及基於同步信號，產生初級控制信號以控制初級開關管。

【 英文 】

It is disclosed an isolated switching converter and the control circuit and control method thereof. The switching converter has a transformer having a primary winding and a secondary winding, a primary switch coupled to the primary winding, a secondary switch coupled to the secondary winding and an isolated circuit. The control method including: generating a pulse frequency modulation signal based on a feedback signal indicative of an output voltage; coupling to the secondary switch and generating a valley pulse signal by detecting one or more valleys of a resonant voltage; generating a target valley number based on the pulse frequency modulation signal, the valley pulse signal and a last-cycle valley number and providing a valley enable signal corresponding to the target valley number; generating a primary on enable signal based on the valley enable signal, the pulse frequency modulation signal and the valley pulse signal; sending the primary on enable signal to an input terminal of the isolation circuit and generating a synchronous signal electrically isolated from the primary on enable signal; and generating a primary control signal to control the primary switch based on the synchronous signal.

【指定代表圖】圖 2

【代表圖之符號簡單說明】

200:隔離式開關變換器

201:波谷檢測電路

202:脈衝頻率調變電路

203:初級開通致能電路

204:初級關斷檢測電路

205:過零檢測電路

206:次級邏輯電路

207:隔離電路

208:初級邏輯電路

【特徵化學式】無

【發明說明書】

【中文發明名稱】

隔離式開關變換器及其控制器和控制方法

【英文發明名稱】

ISOLATED SWITCHING CONVERTER WITH SECONDARY SIDE
MODULATION AND CONTROL METHOD

【技術領域】

本發明係有關電子電路，尤其有關準諧振控制的隔離式開關變換器及其控制器和控制方法。

【先前技術】

隔離式開關電源通常包括具有初級繞組和次級繞組的變壓器，以提供隔離。初級開關管耦接至初級繞組，控制儲存在初級繞組的能量向次級繞組傳遞。次級開關管耦接至次級繞組，作為同步整流管取代傳統的整流二極體來降低損耗，提高隔離式開關電源的效率。圖1為現有的同步整流技術的波形圖，其中， V_{ds} 為次級開關管的汲極源極電壓， I_{sec} 為流過次級繞組的電流， $DRVS$ 為次級開關管的控制信號。 V_{ds} 被用作分別與兩個閾值電壓，例如 -70mV 和 -500mV 進行比較。

如圖1所示，當次級開關管的體二極體導通，使得 V_{ds} 小於 -500mV 時，次級開關管被導通；當初級開關管導

通，使得 V_{ds} 大於 $-70mV$ 時，次級開關管一被關斷。然而，這樣容易導致初級開關管和次級開關管同時導通(直通，Shoot through)，降低開關電源的效率甚至造成開關電源損壞。此外，在高頻應用中，開關管的開關動作會產生開關損耗和電磁干擾，從而進一步影響隔離式開關電源的效率。

【發明內容】

針對現有技術中存在的一個或多個問題，本發明的目的在於提供能夠有效避免直通和/或能提高效率且避免電磁干擾的隔離式開關變換器及其控制器和控制方法。

根據本發明實施例的一種用於隔離式開關變換器的控制器，該開關變換器包括具有初級繞組和次級繞組的變壓器、耦接至初級繞組的初級開關管以及耦接至次級繞組的次級開關管，該控制器包括：波谷檢測電路，耦接至次級開關管以檢測開關變換器諧振電壓的波形，並輸出表示諧振電壓波谷的波谷脈衝信號；脈衝頻率調變電路，接收代表開關變換器輸出信號的反饋信號，產生脈衝頻率調變信號；初級開通致能電路，其中，當變換器操作在準諧振模式時，初級開通致能電路基於脈衝頻率調變信號和波谷脈衝信號，在輸出端輸出初級開通致能信號，當開關變換器操作在電流連續模式時，初級開通致能電路將脈衝頻率調變信號作為初級開通致能信號在輸出端輸出；初級關斷檢測電路，檢測初級開關管是否關斷，產生初級關斷檢測信

號；過零檢測電路，檢測流過次級開關管的電流是否過零，並產生過零檢測信號；以及次級邏輯電路，耦接至初級關斷檢測電路、過零檢測電路和初級開通致能電路以接收初級關斷檢測信號、過零檢測信號和初級開通致能信號，產生次級控制信號以控制次級開關管；隔離電路，具有接收初級開通致能信號的輸入端，在輸出端產生與初級開通致能信號電隔離的同步信號；以及初級邏輯電路，耦接至隔離電路的輸出端以接收同步信號，並基於同步信號產生初級控制信號以控制初級開關管。

根據本發明實施例的一種用於隔離式開關變換器的控制器，該開關變換器包括具有初級繞組和次級繞組的變壓器、耦接至初級繞組的初級開關管、耦接至次級繞組的次級開關管以及隔離電路，該控制器包括：波谷檢測電路，耦接至次級開關管以檢測開關變換器諧振電壓的波形，並輸出表示諧振電壓波谷的波谷脈衝信號；脈衝頻率調變電路，接收代表開關變換器輸出信號的反饋信號，產生脈衝頻率調變信號；波谷選定電路，具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，第一輸入端接收脈衝頻率調變信號，第二輸入端接收波谷脈衝信號，波谷選定電路基於脈衝頻率調變信號與上一週期的波谷數，產生目標波谷數，並在輸出端提供回應於目標波谷數的波谷致能信號；初級開通致能電路，具有第一輸入端、第二輸入端、第三輸入端和輸出端，其中，第一輸入端接收脈衝頻率調變信號，第二輸入端接收波谷脈衝信號，第三輸入端接收波谷致能

信號，基於頻率調變信號、波谷脈衝信號以及波谷致能信號，在輸出端產生初級開通致能信號至隔離電路的輸入端；初級關斷檢測電路，檢測初級開關管是否關斷，產生初級關斷檢測信號；過零檢測電路，檢測流過次級開關管的電流是否過零，並產生過零檢測信號；次級邏輯電路，耦接至初級關斷檢測電路和過零檢測電路以接收初級關斷檢測信號和過零檢測信號，並基於初級關斷檢測信號與過零檢測信號產生次級控制信號以控制次級開關管；以及初級邏輯電路，耦接至隔離電路的輸出端以接收與初級開通致能信號電隔離的同步信號，並基於同步信號產生初級控制信號以控制初級開關管。

根據本發明實施例的一種隔離式開關變換器，包括如前所述的控制器。

根據本發明實施例的一種隔離式開關變換器的控制方法，該開關變換器包括具有初級繞組和次級繞組的變壓器、耦接至初級繞組的初級開關管、耦接至次級繞組的次級開關管以及隔離電路，該控制方法包括：接收代表開關變換器輸出信號的反饋信號，產生與反饋信號有關的脈衝頻率調變信號；耦接至次級開關管以檢測開關變換器的諧振電壓波形，產生表示諧振電壓波谷的波谷脈衝信號；基於脈衝頻率調變信號與上一週期的波谷數，產生目標波谷數，並提供回應於目標波谷數的波谷致能信號；基於波谷致能信號、脈衝頻率調變信號和波谷脈衝信號，產生初級開通致能信號；將初級開通致能信號送入隔離電路，產生

與初級開通致能信號電隔離的同步信號；以及基於同步信號，產生初級控制信號以控制初級開關管。

在本發明的實施例中，引入準諧振控制，基於脈衝頻率調變信號和波谷脈衝信號產生初級開通致能信號，並透過與初級開通致能信號電隔離的同步信號控制初級開關管谷底導通，大大減小了開關損耗和電磁干擾。同時，基於該初級開通致能信號和初級關斷檢測電路來控制次級開關管，並基於與初級開通致能信號電隔離的同步信號控制初級開關管，可以準確控制初級開關管和次級開關管的導通與關斷，無需在初級開關管導通後才關斷次級開關管，有效地避免了直通。

【圖式簡單說明】

[圖1]為現有的同步整流技術的波形圖；

[圖2]為根據本發明一實施例的隔離式開關變換器200的方塊圖；

[圖3]為根據本發明一實施例的隔離式開關變換器300的方塊圖；

[圖4]為根據本發明一實施例的隔離式開關變換器400的電路原理圖；

[圖5]為根據本發明實施例的圖4所示隔離式開關變換器400的操作波形圖；

[圖6]為根據本發明一實施例的隔離式開關變換器500的電路原理圖；

[圖 7]為根據本發明一實施例的圖 6 所示波谷檢測電路 501 的操作波形圖；

[圖 8]為根據本發明一實施例的圖 6 所示波谷選定電路 511 的電路原理圖；

[圖 9]為根據本發明一實施例的圖 6 所示隔離式開關變換器 500 的操作波形圖；

[圖 10]為根據本發明一實施例的準諧振控制的隔離式開關變換器的控制方法 900 的方法流程圖。

【實施方式】

下面將詳細描述本發明的具體實施例，應當注意，這裡描述的實施例只用於舉例說明，並不用於限制本發明。在以下描述中，為了提供對本發明的透徹理解，闡述了大量特定細節。然而，對於本領域普通技術人員顯而易見的是，不必採用這些特定細節來實行本發明。在其他實施例中，為了避免混淆本發明，未具體描述公知的電路、材料或方法。

在整個說明書中，對“一個實施例”、“實施例”、“一個示例”或“示例”的提及意味著：結合該實施例或示例描述的特定特徵、結構或特性被包含在本發明至少一個實施例中。因此，在整個說明書的各個地方出現的短語“在一個實施例中”、“在實施例中”、“一個示例”或“示例”不一定都指同一個實施例或示例。此外，可以以任何適當的組合和/或子組合將特定的特徵、結構或特性組合在一個或多

個實施例或示例中。此外，本領域普通技術人員應當理解，在此提供的圖式都是為了說明的目的，並且圖式不一定是按比例繪製的。應當理解，當稱“元件”“連接到”或“耦接”到另一元件時，它可以是直接連接或耦接到另一元件或者可以存在中間元件。相反，當稱元件“直接連接到”或“直接耦接到”另一元件時，不存在中間元件。相同的圖式標記指示相同的元件。這裡使用的術語“和/或”包括一個或多個相關列出的專案的任何和所有組合。

本發明可以被應用於任何隔離式變換器。在接下來的詳細描述中，為了簡潔起見，僅以反激變換器 (flyback converter) 為例來解釋本發明的具體操作原理。

圖2為根據本發明一實施例的隔離式開關變換器200的方塊圖。如圖2所示，隔離式開關變換器200包括變壓器T1、初級開關管MP、次級開關管MS以及控制器。變壓器T1具有初級繞組和次級繞組，其中，初級繞組和次級繞組均具有第一端和第二端，初級繞組的第一端接收輸入電壓 V_{in} ，次級繞組的第一端提供直流輸出電壓 V_o ，第二端耦接至次級參考地。初級開關管MP耦接在初級繞組的第二端與初級參考地之間。次級開關管MS耦接在次級繞組的第二端與負載之間。然而，本領域技術人員可知，次級開關管MS也可耦接在次級繞組的第一端與負載之間。

在圖2所示的實施例中，隔離式開關變換器200的控制器引入了準諧振控制。在準諧振控制中，開關變換器操作在非電流連續模式，當流過儲能元件(變壓器T1)的電流下

降至零後，儲能元件與初級開關管MP的寄生電容器開始諧振，諧振電壓波形隨之產生。當初級開關管MP兩端的諧振電壓在其最小值時，初級開關管MP被導通(通常被成為谷底導通)，從而減小開關變換器200的開關損耗和電磁干擾。

控制器包括波谷檢測電路201、脈衝頻率調變電路202、初級開通致能電路203、初級關斷檢測電路204、過零檢測電路205、次級邏輯電路206、隔離電路207以及初級邏輯電路208。在一些實施例中，控制器與次級開關管MS整合在同一個晶片內。

在圖2所示的隔離開關變換器200中，由位於變壓器次級側的波谷檢測電路201來檢測諧振電壓的波形。在一個實施例中，波谷檢測電路201耦接至次級開關管MS以檢測諧振電壓的波形，並輸出表示諧振電壓波谷的波谷脈衝信號Valley_Pulse。脈衝頻率調變電路202基於代表開關變換器200輸出電壓Vo的反饋信號，產生脈衝頻率調變信號PFM。初級開通致能電路203接收模式指示信號CCM、波谷脈衝信號Valley_Pulse和脈衝頻率控制信號PFM，在輸出端提供初級開通致能信號PRON。當模式指示信號CCM有效，開關變換器200操作在電流連續模式，初級開通致能電路203允許脈衝頻率調變信號PFM通過，作為初級開通致能信號PRON在輸出端輸出。當模式指示信號CCM無效，開關變換器200操作在準諧振模式時，初級開通致能電路203基於脈衝頻率調變信號PFM和波谷脈衝信號

Valley_Pulse，在輸出端輸出初級開通致能信號PRON。

初級關斷檢測電路204檢測初級開關管MP是否關斷，產生初級關斷檢測信號PROFF。初級關斷檢測電路204可以基於次級開關管MS的汲極源極電壓、流過次級開關管MS的電流、次級繞組兩端的電壓等電參數來判斷初級開關管MP是否關斷。初級關斷檢測電路204也可以透過其他方式從初級側獲取指示初級開關管MP是否關斷的信號。

過零檢測電路205檢測流過次級開關管MS的電流是否過零，並產生過零檢測信號ZCD。次級邏輯電路206具有第一輸入端、第二輸入端、第三輸入端和輸出端，其中，第一輸入端耦接至初級關斷檢測電路204以接收初級關斷檢測信號PROFF，第二輸入端耦接至過零檢測電路205的輸出端以接收過零檢測信號ZCD，第三輸入端耦接至初級開通致能電路203以接收初級開通致能信號PRON。次級邏輯電路206基於初級關斷檢測信號PROFF、過零檢測信號ZCD以及初級開通致能信號PRON，在輸出端產生次級控制信號CTRLS以控制次級開關管MS。

隔離電路207具有輸入端和輸出端，其中，輸入端耦接至初級開通致能電路203的輸出端以接收初級開通致能信號PRON。隔離電路207基於初級開通致能信號PRON，在輸出端產生與初級開通致能信號PRON電隔離的同步信號SYNC。隔離電路207可以包括光電耦合器、變壓器、容性隔離裝置或任何其他合適的電隔離裝置。在其他的實施例中，隔離電路202可以設置在控制器積體電路的外部。

初級邏輯電路208具有輸入端和輸出端，其中，輸入端耦接至隔離電路207的輸出端以接收同步信號SYNC。初級邏輯電路208基於同步信號SYNC，在輸出端產生初級控制信號CTRLP以控制初級開關管MP。

在準諧振控制下，次級邏輯電路206在過零檢測電路205檢測到流過次級開關管MS的電流過零時，將次級開關管MS關斷。在電流連續模式下，次級邏輯電路206基於初級開通致能信號PRON的上升邊緣，將次級開關管MS關斷。同時，次級開關管MP基於初級開通致能信號PRON導通。

無論在非電流連續模式下的準諧振控制還是電流連續模式下，圖2所示的隔離式開關變換器200均無需在初級開關管MP導通後才關斷次級開關管MS，從原理上避免了直通。

在一些實施例中，為了確保初級開關管MP在次級開關管MS關斷後才被導通，延時電路被耦接在初級開通致能電路203和隔離電路207之間，或隔離電路207和初級邏輯電路208之間。

圖3為根據本發明一實施例的隔離式開關變換器300的方塊圖。與圖2所示的開關變換器200類似地，開關變換器300包括變壓器T1、初級開關管MP、次級開關管MS、波谷檢測電路301、脈衝頻率調變電路302、初級開通致能電路303、初級關斷檢測電路304、過零檢測電路305、次級邏輯電路306、隔離電路307以及初級邏輯電路308。

其中，脈衝頻率調變電路 302 包括誤差放大電路 3021、調變信號產生電路 3022 和第一比較電路 3023。誤差放大電路 3021 具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，第一輸入端接收代表開關變換器輸出信號(例如，輸出電壓、輸出電流、輸出功率)的反饋信號 **FB**，第二輸入端接收參考信號 **VREF**。誤差放大電路 3021 基於反饋信號 **FB** 和參考信號 **VREF** 之差，在輸出端產生補償信號 **COMP**。調變信號產生電路 3022 產生調變信號 **VM**，該調變信號 **VM** 可以為鋸齒波信號、三角波信號或其他合適的信號。第一比較電路 3023 具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，第一輸入端耦接至誤差放大電路 3021 的輸出端以接收補償信號 **COMP**，第二輸入端耦接至調變信號產生電路 3022 以接收調變信號 **VM**。第一比較電路 3023 將補償信號 **COMP** 與調變信號 **VM** 進行比較，在輸出端產生脈衝頻率調變信號 **PFM**。

此外，開關變換器 300 還包括第二比較電路 309。第二比較電路 309 具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，第一輸入端接收代表流過初級開關管 **MP** 電流的初級電流取樣信號 **ISENP**，第二輸入端接收第一閾值電壓 **VTH1**。第二比較電路 309 將初級電流取樣信號 **ISENP** 與第一閾值電壓 **VTH1** 進行比較，在輸出端產生第二比較信號 **CMPO2**。初級邏輯電路 308 耦接至第二比較電路 309 的輸出端以接收第二比較信號 **CMPO2**，並基於第二比較信號 **CMPO2** 和同步信號 **SYNC**，產生初級控制信號 **CTRLP** 以控

制初級開關管MP。第一閾值電壓VTH1可以為恆定值，也可隨隔離信號SYNC變化而變化。在一個實施例中，開關變換器300還包括閾值產生電路310。閾值產生電路310具有輸入端和輸出端，其中，輸入端耦接至隔離電路307的輸出端以接收同步信號SYNC，輸出端耦接至第二比較電路309的第二輸入端。閾值產生電路310基於同步信號SYNC在輸出端產生第一閾值電壓VTH1。

在一些實施例中，為了限制開關變換器300的開關頻率，限頻電路3024被耦接在第一比較電路3023的輸出端與調變信號產生電路3022之間。限頻電路3024具有輸入端和輸出端，其中，輸入端耦接至第一比較電路3023的輸出端以接收脈衝頻率調變信號PFM，輸出端耦接至調變信號產生電路3022以提供限頻信號FLMT。限頻電路3024透過限頻信號FLMT對調變信號VM的頻率和脈衝調變信號PFM的頻率進行限制，從而進一步限制初級開關管MP切換的最大頻率。

圖4為根據本發明一實施例的隔離式開關變換器400的電路原理圖。如圖4所示，波谷檢測電路401包括比較器COM1和單脈衝產生電路4011。比較器COM1的同相輸入端接收次級開關管MS的汲極電壓VSRD，反相輸入端接收第二閾值電壓VTH2，輸出端耦接至單脈衝產生電路4011的輸入端，在單脈衝產生電路4011的輸出端提供波谷脈衝信號Valley_Pulse。

脈衝頻率調變電路402包括誤差放大電路4021、調變

信號產生電路 4022、第一比較電路 4023 以及限頻電路 4024。其中，誤差放大電路 4021 包括誤差放大器 EA。誤差放大器 EA 的反相輸入端接收代表輸出電壓 V_o 的反饋信號 FB，同相輸入端接收參考信號 V_{REF} ，輸出端耦接至第一比較電路 4023 以提供補償信號 COMP。調變信號產生電路 4022 包括電容器 C1、開關管 S1 和電流源 IS1。電容器 C1 具有第一端和第二端，其中，第一端耦接至第一比較電路 4023 以提供調變信號 VM，第二端耦接至次級參考地。開關管 S1 具有第一端、第二端和控制端，其中，第一端耦接至電容器 C1 的第一端，第二端耦接至次級參考地，控制端透過限頻電路 4024 耦接至第一比較電路 4023 的輸出端。電流源 IS1 具有輸入端和輸出端，其中，輸入端耦接至次級參考地，輸出端耦接至電容器 C1 的第一端。在一個實施例中，調變信號產生電路 4023 還包括齊納二極體 ZD1。齊納二極體 ZD1 的陰極耦接至電容器 C1 的第一端，陽極耦接至次級參考地。第一比較電路 4023 包括比較器 COM2。比較器 COM2 的同相輸入端耦接至調變信號產生電路 4022 以接收調變信號 VM，反相輸入端耦接至誤差放大電路 4021 以接收補償信號 COMP，輸出端耦接至初級開通致能電路 403 以提供脈衝頻率調變信號 PFM。

初級開通致能電路 403 包括 D 觸發器 4031、或閘 OR1 以及及閘 AND1。D 觸發器 4031 具有輸入端、時鐘端和輸出端，其中，輸入端耦接至波谷檢測電路 401 的輸出端以接收波谷脈衝信號 Valley_Pulse，時鐘端耦接至脈衝頻率調

變電路 402 的輸出端以接收脈衝頻率調變信號 PFM，輸出端耦接至或閘 OR1 的第一輸入端。或閘 OR1 的第二輸入端接收模式指示信號 CCM，或閘 OR1 的輸出端耦接至及閘 AND1 的第一輸入端。及閘 AND1 的第二輸入端接收脈衝頻率調變信號 PFM，輸出端耦接至隔離電路 407 和次級邏輯電路 406 以提供初級開通致能信號 PRON。

初級關斷檢測電路 404 包括比較器 COM3。比較器 COM3 的同相輸入端接收次級開關管 MS 的汲極電壓 VSRD，反相輸入端接收第三閾值電壓 VTH3，輸出端耦接至次級邏輯電路 406 以提供初級關斷檢測信號 PROFF。過零檢測電路 405 包括比較器 COM4。比較器 COM4 的同相輸入端耦接收第四閾值電壓 VTH4，反相輸入端接收代表流過次級開關管 MS 電流的次級電流取樣信號 ISENS，輸出端耦接至次級邏輯電路 406 以提供過零檢測信號 ZCD。在其他實施例中，過零檢測電路 405 檢測到次級開關管 MS 的汲極電壓 VSRD 由負電壓變為正電壓時，產生的過零檢測信號 ZCD 由低電平變為高電平時，以關斷次級開關管。

次級邏輯電路 406 包括或閘 OR2 以及觸發器 FF2。或閘 OR2 具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，第一輸入端耦接至過零檢測電路 405 以接收過零檢測信號 ZCD，第二輸入端耦接至初級開通致能電路 403 以接收初級開通致能信號 PRON。觸發器 FF2 具有設定端、重定端和輸出端，其中，設定端耦接至初級關斷檢測電路 404 的輸出端以接收初級關斷檢測信號 PROFF，重定端耦接至或閘

OR2的輸出端，輸出端耦接至次級開關管MS的閘極以提供次級控制信號CTRLS。

初級邏輯電路408包括觸發器FF1。觸發器FF1具有設定端、重定端和輸出端，其中，設定端耦接至隔離電路407的輸出端以接收同步信號SYNC，重定端耦接至第二比較電路409的輸出端以接收第二比較信號CMPO2，輸出端耦接至初級開關管MP的閘極以提供初級控制信號CTRLP。第二比較電路409包括比較器COM5。比較器COM5的同相輸入端接收初級電流取樣信號ISENP，反相輸入端耦接至閾值產生電路410以接收第一閾值電壓VTH1，輸出端耦接至初級邏輯電路408以提供第二比較信號CMPO2。

圖5為根據本發明實施例的圖4所示隔離式開關變換器400的操作波形圖。如圖5所示，在次級開關管MS的關斷期間，當汲級電壓VSRD大於第二閾值VTH2時，波谷檢測電路401提供波谷脈衝信號Valley_Pulse，該波谷脈衝信號Valley_Pulse的脈衝數取決於諧振電壓波形的波谷數。

當模式指示信號CCM為低電平，開關變換器400操作在準諧振模式，在脈衝頻率調變信號PFM的上升邊緣來臨後的下個波谷脈衝來臨時，初級開通致能信號PRON有效，初級開通致能信號PRON由低電平變為高電平。幾乎與此同時，隔離電路407輸出的同步信號SYNC也由低電平變為高電平，觸發器FF1被設定，初級控制信號CTRLP由低電平變為高電平，初級開關管MP被導通。流過初級開

關管MP的電流增大，初級電流取樣信號ISENP也增大。當初級電流取樣信號ISENP增大至第一閾值電壓VTH1時，觸發器FF1被重定，初級控制信號CTRLP由高電平變為低電平，初級開關管MP被關斷。在初級開關管MP被關斷後，次級開關管MS的汲極電壓VSRD由正電壓變為負電壓，汲極電壓VSRD減小到第三閾值VTH3，觸發器FF2被設定，次級控制信號CTRLS由低電平變為高電平，次級開關管MS被導通。變壓器電流從初級傳遞到次級，流過次級開關管MS的電流開始減小，次級電流取樣信號ISENS也減小。一旦檢測到次級電流取樣信號ISENS減小至第四閾值電壓VTH4時，例如過零時，觸發器FF2被重定，次級控制信號CTRLS由高電平變為低電平，次級開關管MS被關斷。當流過初級和次級的電流都為零時，儲能元件與開關管的寄生電容器開始諧振，產生諧振電壓，該諧振電壓的波形由位於次級側波谷檢測電路401檢測到，產生波谷脈衝信號Valley_Pulse。以上步驟不斷重複，直到模式指示信號CCM變為高電平為止。

當模式指示信號CCM由低電平變為高電平，開關變換器400進入電流連續模式，初級開通致能電路403允許脈衝頻率調變信號PFM作為初級開通致能信號PRON輸出。次級開關管MS也在初級開通致能信號PRON的上升邊緣被關斷。當初級開通致能信號PRON的上升邊緣來臨，幾乎與此同時，隔離電路407輸出的同步信號SYNC也由低電平變為高電平，初級控制信號CTRLP由低電平變為高電平，初

級開關管MP被導通。當初級電流取樣信號ISENP增大至第一閾值電壓VTH1時，初級開關管MP被關斷。在初級開關管MP被關斷後，次級開關管MS的汲極電壓VSRD由正電壓變為負電壓，次級開關管MS被導通。以上步驟不斷重複，直到模式指示信號CCM由高電平變為低電平為止。

圖6為根據本發明一實施例的隔離式開關變換器500的電路原理圖。與圖4所示的開關變換器400類似地，開關變換器500包括變壓器T1、初級開關管MP、次級開關管MS、波谷檢測電路501、脈衝頻率調變電路502、初級開通致能電路503、初級關斷檢測電路504、過零檢測電路505、次級邏輯電路506、隔離電路507、初級邏輯電路508、第二比較電路509以及閾值產生電路510。此外，開關變換器500還包括波谷選定電路511。波谷選定電路511具有第一輸入端、第二輸入端和第一輸出端，其中，第一輸入端接收波谷脈衝信號Valley_Pulse，第二輸入端接收脈衝頻率調變信號PFM，波谷選定電路511基於脈衝頻率調變信號PFM與上一週期的波谷數VALLEY_LOCK(n-1)，產生目標波谷數VALLEY_LOCK(n)，並在輸出端提供對應於目標波谷數的波谷致能信號VEN。在一個實施例中，波谷選定電路511將脈衝頻率調變信號PFM上升邊緣來臨時所累計的波谷數與上一週期的波谷數VALLEY_LOCK(n-1)進行比較，根據比較結果選擇繼續保持或切換至另一合適的波谷數。在另一個實施例中，波谷選定電路511還具有第二輸出端，基於目標波谷數的數值，產生模式指示信號

CCM。其中，當目標波谷數的數值為0時，模式指示信號CCM為高電平，指示電流連續模式。

在圖6所示的實施例中，波谷檢測電路501包括波谷比較器COM5、下降邊緣觸發電路5011、觸發器FF3、及閘AND2以及單脈衝產生電路5012。其中，波谷比較器COM5的同相輸入端耦接至次級開關管MS以接收次級開關管的汲極電壓VSRD，反相輸入端接收開關變換器的輸出電壓Vo，波谷比較器COM5將次級開關管的汲極電壓VSRD與輸出電壓Vo進行比較，在輸出端產生波谷比較信號。觸發器FF3具有設定端、重定端和反向輸出端，其中，設定端接收初級開通致能信號PRON，重定端經下降邊緣觸發電路5011接收次級控制信號CTRLS。及閘AND2具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，第一輸入端耦接至波谷比較器COM5的輸出端以接收波谷比較信號，第二輸入端耦接至觸發器FF3的反向輸出端。單脈衝產生電路5012具有輸入端和輸出端，其中，輸入端耦接至及閘AND2的輸出端，在輸出端提供波谷脈衝信號Valley_Pulse。

圖7為根據本發明一實施例的圖6所示波谷檢測電路501的操作波形圖。如圖7所示，當初級開通致能信號PRON有效，初級控制信號CTRL由低電平變為高電平，觸發器FF3被設定，其反向輸出端輸出低電平，波谷比較信號被遮罩或禁止。當次級控制信號CTRLS的下降邊緣來臨時，即次級控制信號CTRLS由高電平變為低電平，次級開關管MS被關斷，觸發器FF3被重定，其反向輸出端輸出高

電平，允許波谷比較信號透過及閘 AND2 傳輸到單脈衝產生電路 5012。並由單脈衝產生電路 5012 在波谷比較信號的上升邊緣產生具有預定脈衝寬度的波谷脈衝信號 Valley_Pulse。在一些實施例中，為了確保初級開關管 MP 在波谷處導通，一延時電路被耦接在及閘 AND2 與單脈衝產生電路 5012 之間。

圖 8 為根據本發明一實施例的波谷選定電路 511 的電路原理圖。在圖 8 所示的實施例中，波谷選定電路 511 包括第一計數器 5110、第一暫存器 5111、目標波谷數產生器 5112 以及數位比較器 5113。第一計數器 5110 具有時鐘端，重定端和輸出端，其中，時鐘端接收波谷脈衝信號 Valley_Pulse，重定端接收初級開通致能信號 PRON，第一計數器 5110 對一週期內波谷脈衝信號 Valley_Pulse 的脈衝個數進行計數，在輸出端提供第一數值 VALLEY_CNT。第一暫存器 5111 具有輸入端，時鐘端和輸出端，其中，輸入端接收第一數值 VALLEY_CNT，時鐘端接收脈衝頻率調變信號 PFM，在輸出端產生第二數值 VALLEY_PFM。目標波谷數產生器 5112 將第二數值 VALLEY_PFM 與上一週期的波谷數 VALLEY_LOCK(n-1) 進行比較，根據比較結果在輸出端產生目標波谷數 VALLEY_LOCK(n)。數位比較器 5113 將第一數值 VALLEY_CNT 與目標波谷數 VALLEY_LOCK(n) 進行比較，當第一數值 VALLEY_CNT 大於或等於目標波谷數 VALLEY_LOCK(n) 時，在輸出端提供波谷致能信號 VEN。

當目標波谷數 $VALLEY_LOCK(n)=0$ 時，波谷選定電路 511 提供的模式識別信號 CCM 由低電平變為高電平，表示開關變換器進入電流連續模式。

在圖 8 所示的實施例中，目標波谷數產生器 5112 包括第一多路選擇器 521、第二多路選擇器 522、第二暫存器 523 和減法器 524。在其他實施例中，目標波谷產生器 5112 採用其他形式的數位電路來實現。

在初級開關管 MP 關斷時，或者每一個初級關斷檢測信號 PROFF 的上升邊緣來臨時，目標波谷產生器 5112 產生目標波谷數 $VALLEY_LOCK(n)$ ，並暫存在第二暫存器 523 中。

當第二數值 $VALLEY_PFM$ 大於上一週期波谷數 $VALLEY_LOCK(n-1)$ 時， $VALLEY_LOCK(n)=VALLEY_LOCK(n-1)+1$ 。在一個實施例中，當上一週期的波谷數 $VALLEY_LOCK(n-1)$ 大於 3 且比第二數值 $VALLEY_PFM$ 大 2 時， $VALLEY_LOCK(n)=VALLEY_LOCK(n-1)-1$ 。此外，當上一週期的波谷數 $VALLEY_LOCK(n-1)$ 為 2 或 1，同時脈衝頻率調變信號 PFM 的上升邊緣來臨時刻比第一波谷脈衝提早一預設時長到達時，目標波谷數 $VALLEY_LOCK(n)=VALLEY_LOCK(n-1)-1$ 。在其他情形下，目標波谷數 $VALLEY_LOCK(n)$ 保持上一週期的波谷數 $VALLEY_LOCK(n-1)$ 不變。

繼續如圖 6 所示，初級開通致能電路 503 包括及閘 AND3、或閘 OR3 和及閘 AND4。其中，及閘 AND3 具有第

一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，第一輸入端接收波谷脈衝信號 **Valley_Pulse**，第二輸入端耦接至波谷選定電路 511 的第一輸出端以接收波谷致能信號 **VEN**。或閘 **OR3** 具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，第一輸入端耦接至及閘 **AND3** 的輸出端、第二輸入端耦接至波谷選定電路 511 的第二輸出端以接收模式指示信號 **CCM**。及閘 **AND4** 具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，第一輸入端接收脈衝頻率調變信號 **PFM**，第二輸入端耦接至或閘 **OR3** 的輸出端，在輸出端提供初級開通致能信號 **PRON**。

在電流連續模式下，初級開通致能電路 503 允許脈衝頻率調變信號 **PFM** 通過，作為初級開通致能信號 **PRON** 在輸出端輸出。在準諧振模式下，初級開通致能電路 503 在波谷致能信號 **VEN** 有效且脈衝頻率調變信號 **PFM** 的上升邊緣來臨時，輸出有效的初級開通致能信號 **PRON**，控制初級開關管 **MP** 導通。

圖 9 為根據本發明一實施例的圖 6 所示隔離式開關變換器 500 的操作波形圖。

當模式指示信號 **CCM** 為低電平，在次級開關管 **MS** 的每個關斷期間內，波谷檢測電路 501 基於次級開關管的汲級電壓 **VSRD** 與輸出電壓 **Vo** 的比較結果，產生波谷脈衝信號 **Valley_Pulse**。第一計數器 5110 對每個週期內的波谷脈衝進行計數，作為第一數值 **VALLEY_CNT**。第一暫存器 5111 記錄脈衝頻率調變信號 **PFM** 上升邊緣來臨時的第一數

值 VALLEY_CNT，提供第二數值 VALLEY_PFM。根據目標波谷數產生器 5112 的控制原理，產生目標波谷數 VALLEY_LOCK。初級開關管 MP 根據對應於目標波谷數的初級開通致能信號 PRON 導通。

當模式指示信號 CCM 變高，脈衝頻率調變信號 PFM 作為初級開通致能信號 PRON 來控制初級開關管 MP 導通。

上述實施例均有關既可操作在電流連續模式又可在非電流連續模式下準諧振操作的隔離式開關變換器。本發明的實施例僅需要稍作改變就可以用於僅採用準諧振控制的隔離式開關變換器。僅採用準諧振控制的隔離式反激變換器同樣滿足本發明的精神和保護範圍。

圖 10 為根據本發明一實施例的準諧振控制的隔離式開關變換器的控制方法 900 的方法流程圖。該開關變換器包括具有初級繞組和次級繞組的變壓器、耦接至初級繞組的初級開關管、耦接至次級繞組的次級開關管以及隔離電路，該控制方法包括步驟 901 至 906。

在步驟 901，接收代表開關變換器輸出信號的反饋信號，產生與反饋信號有關的脈衝頻率調變信號。

在步驟 902，耦接至次級開關管以檢測開關變換器的諧振電壓波形，產生表示諧振電壓波谷的波谷脈衝信號。

在步驟 903，基於脈衝頻率調變信號與上一週期的波谷數，產生目標波谷數，並提供回應於目標波谷數的波谷致能信號。在一個實施例中，將脈衝頻率調變信號上升邊緣來臨時所累計的波谷數與上一週期的波谷數相比較，選

擇繼續保持或切換至另一合適的波谷數。

在步驟 904，基於波谷致能信號、脈衝頻率調變信號和波谷脈衝信號，產生初級開通致能信號。

在步驟 905，將初級開通致能信號送入隔離電路，產生與初級開通致能信號電隔離的同步信號。

在步驟 906，基於同步信號，產生初級控制信號以控制初級開關管。

控制方法 900 進一步包括：檢測初級開關管是否關斷，產生初級關斷檢測信號；檢測流過次級開關管的電流是否過零，產生過零檢測信號；以及基於初級關斷檢測信號和過零檢測信號，產生次級控制信號以控制次級開關管。

在一個實施例中，步驟 903 包括：接收波谷脈衝信號，對一週期內波谷脈衝信號的脈衝進行計數，提供第一數值；記錄脈衝頻率調變信號上升邊緣來臨時的第一數值，作為第二數值；將第二數值與上一週期波谷數進行比較，根據比較結果產生目標波谷數；以及將第一數值與目標波谷數進行比較，當第一數值大於或等於目標波谷數時，在輸出端提供波谷致能信號。

在說明書中，相關術語例如第一和第二等可以只是用於將一個實體或動作與另一個實體或動作區分開，而不必或不意味著在這些實體或動作之間的任意實體這種關係或者順序。數字順序例如“第一”、“第二”、“第三”等僅僅指的是多個中的不同個體，並不意味著任何順序或序列，除

非請求項語言有具體限定。在任何一個請求項中的文本的順序並不意問這處理步驟必須以根據這種順序的臨時或邏輯順序進行，除非請求項語言有具體規定。在不脫離本發明範圍的情況下，這些處理步驟可以按照任意順序互換，只要這種互換不會是請求項語言矛盾並且不會出現邏輯上荒謬。

上述說明書和實施方式僅僅是示例性的，並不用於限定本發明的範圍。對於揭示的實施例進行變化和修改都是可能的，其他可行的選擇性實施例和對實施例中元件的等同變化可以被本技術領域的普通技術人員所瞭解。本發明所揭示的實施例的其他變化和修改並不超出本發明的精神和保護範圍。

【符號說明】

200:隔離式開關變換器

201:波谷檢測電路

202:脈衝頻率調變電路

203:初級開通致能電路

204:初級關斷檢測電路

205:過零檢測電路

206:次級邏輯電路

207:隔離電路

208:初級邏輯電路

300:隔離式開關變換器

301:波谷檢測電路

- 302:脈衝頻率調變電路
- 303:初級開通信號產生電路
- 304:初級關斷檢測電路
- 305:過零檢測電路
- 306:次級邏輯電路
- 307:隔離電路
- 308:初級邏輯電路
- 309:第二比較電路
- 310:閾值產生電路
- 400:隔離式開關變換器
- 401:波谷檢測電路
- 402:脈衝頻率調變電路
- 403:初級開通致能電路
- 404:初級關斷檢測電路
- 405:過零檢測電路
- 406:次級邏輯電路
- 407:隔離電路
- 408:初級邏輯電路
- 409:第二比較電路
- 410:閾值產生電路
- 500:隔離式開關變換器
- 501:波谷檢測電路
- 502:脈衝頻率調變電路
- 503:初級開通致能電路
- 504:初級關斷檢測電路
- 505:過零檢測電路

- 506:次級邏輯電路
- 507:隔離電路
- 508:初級邏輯電路
- 509:第二比較電路
- 510:閾值產生電路
- 511:波谷選定電路
- 521:第一多路選擇器
- 522:第二多路選擇器
- 523:第二暫存器
- 524:減法器
- 3021:誤差放大電路
- 3022:調變信號產生電路
- 3023:第一比較電路
- 3024:限頻電路
- 4011:單脈衝產生電路
- 4021:誤差放大電路
- 4022:調變信號產生電路
- 4023:第一比較電路
- 4024:限頻電路
- 4031:D觸發器
- 5011:下降邊緣觸發電路
- 5012:單脈衝產生電路
- 5110:第一計數器
- 5111:第一暫存器
- 5112:目標波谷數產生器
- 5113:數位比較器

T1:變壓器
MP:初級開關管
MS:次級開關管
Vin:輸入電壓
Vo:輸出電壓
PFM:脈衝頻率調變信號
CCM:模式指示信號
Valley_Pulse:波谷脈衝信號
PRON:初級開通致能信號
ZCD:過零檢測信號
PROFF:初級關斷檢測信號
SYNC:同步信號
CTRLP:初級控制信號
FB:反饋信號
VREF:參考信號
VM:調變信號
COMP:補償信號
VTH1:第一閾值電壓
ISENP:初級電流取樣信號
CMPO2:第二比較信號
FLMT:限頻信號
COM1:比較器
VSRD:汲極電壓
VTH2:第二閾值電壓
EA:誤差放大器
C1:電容器

IS1:電流源

S1:開關管

ZD1:齊納二極體

COM2:比較器

OR1:或閘

AND1:及閘

COM3:比較器

COM4:比較器

ISENS:次級電流取樣信號

VTH4:第四閾值電壓

OR2:或閘

FF1:觸發器

FF2:觸發器

COM5:比較器

VTH3:第三閾值

VEN:波谷致能信號

COM5:波谷比較器

FF3:觸發器

AND2:及閘

AND3:及閘

OR3:或閘

AND4:及閘

VALLEY_CNT:第一數值

VALLEY_PFM:第二數值

【發明申請專利範圍】

【請求項 1】一種用於隔離式開關變換器的控制器，該開關變換器包括具有初級繞組和次級繞組的變壓器、耦接至該初級繞組的初級開關管以及耦接至該次級繞組的次級開關管，該控制器包括：

波谷檢測電路，耦接至該次級開關管以檢測該開關變換器諧振電壓的波形，並輸出表示該諧振電壓波谷的波谷脈衝信號；

脈衝頻率調變電路，接收代表該開關變換器輸出信號的反饋信號，產生脈衝頻率調變信號；

初級開通致能電路，其中，當該開關變換器操作在準諧振模式時，該初級開通致能電路基於該脈衝頻率調變信號和該波谷脈衝信號，在輸出端輸出初級開通致能信號，當該開關變換器操作在電流連續模式時，該初級開通致能電路將該脈衝頻率調變信號作為該初級開通致能信號在該輸出端輸出；

初級關斷檢測電路，檢測該初級開關管是否關斷，產生初級關斷檢測信號；

過零檢測電路，檢測流過該次級開關管的電流是否過零，並產生過零檢測信號；以及

次級邏輯電路，耦接至該初級關斷檢測電路、該過零檢測電路和該初級開通致能電路以接收該初級關斷檢測信號、該過零檢測信號和該初級開通致能信號，產生次級控制信號以控制該次級開關管；

隔離電路，具有接收該初級開通致能信號的輸入端，在輸出端產生與該初級開通致能信號電隔離的同步信號；以及

初級邏輯電路，耦接至該隔離電路的該輸出端以接收該同步信號，並基於該同步信號產生初級控制信號以控制該初級開關管。

【請求項 2】如請求項 1 所述的控制器，其中，該脈衝頻率調變電路包括：

誤差放大電路，具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，該第一輸入端接收該反饋信號，該第二輸入端接收參考信號，該誤差放大電路基於該反饋信號和該參考信號之差，在該輸出端產生補償信號；

調變信號產生電路，產生調變信號；以及

第一比較電路，具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，該第一輸入端耦接至該誤差放大電路的該輸出端以接收該補償信號，該第二輸入端耦接至該調變信號產生電路以接收該調變信號，該第一比較電路將該補償信號與該調變信號進行比較，在該輸出端產生該脈衝頻率調變信號。

【請求項 3】如請求項 1 所述的控制器，該初級開通致能電路包括：

D 觸發器，具有輸入端、時鐘端和輸出端，其中，該輸入端接收該波谷脈衝信號，該時鐘端接收該脈衝頻率調變信號；

第一或閘，具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，該第一輸入端耦接至該 D 觸發器的該輸出端，該第二輸入端接收代表該開關變換器操作模式的模式指示信號；以及

第一及閘，具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，該第一輸入端耦接至該第一或閘的該輸出端，該第二輸入端接收該脈衝頻率調變信號，該第一及閘在該輸出端提供該初級開通致能信號。

【請求項 4】如請求項 1 所述的控制器，還包括：

第二比較電路，具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，該第一輸入端接收代表流過該初級開關管電流的初級電流取樣信號，該第二輸入端接收第一閾值電壓，該第二比較電路將該初級電流取樣信號與該第一閾值電壓進行比較，在該輸出端產生第二比較信號；以及

其中，該初級邏輯電路還耦接至該第二比較電路的該輸出端以接收該第二比較信號，並基於該第二比較信號和該同步信號產生該初級控制信號。

【請求項 5】如請求項 1 所述的控制器，其中，該波谷檢測電路包括：

波谷比較器，具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，該第一輸入端耦接至該次級開關管以接收該次級開關管的汲極電壓，該第二輸入端接收該開關變換器的輸出電壓，該波谷比較器將該次級開關管的該汲極電壓與該輸出電壓進行比較，在該輸出端產生波谷比較信號；

觸發器，具有設定端、重定端和反向輸出端，其中，該設定端接收該初級開通致能信號，該重定端經下降邊緣觸發電路接收該次級控制信號；

第二及閘，具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，該第一輸入端接收該波谷比較信號，該第二輸入端耦接至該觸發器的該反向輸出端；以及

單脈衝產生電路，具有輸入端和輸出端，其中，該輸入端耦接至該第二及閘的該輸出端，在該輸出端提供該波谷脈衝信號。

【請求項 6】如請求項 1 所述的控制器，還包括：

波谷選定電路，具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，該第一輸入端接收該脈衝頻率調變信號，該第二輸入端接收該波谷脈衝信號，該波谷選定電路基於該脈衝頻率調變信號與上一週期的波谷數，產生目標波谷數，並在該輸出端提供對應於該目標波谷數的波谷致能信號；以及

該初級開通致能電路還包括接收該波谷致能信號的第三輸入端，基於該脈衝頻率調變信號、該波谷脈衝信號以及該波谷致能信號，在該輸出端產生該初級開通致能信號。

【請求項 7】如請求項 6 所述的控制器，其中，當該目標波谷數為 0 時，該開關變換器進入該電流連續模式。

【請求項 8】如請求項 6 所述的控制器，其中，該波谷選定電路將該脈衝頻率調變信號上升邊緣來臨時所累計的

波谷數與該上一週期的波谷數相比較，根據比較結果選擇繼續保持或切換至另一合適的波谷，並在目前波谷數達到該目標波谷數時提供該波谷致能信號。

【請求項 9】如請求項 8 所述的控制器，其中，該波谷選定電路包括：

計數器，具有時鐘端，重定端和輸出端，其中，該時鐘端接收該波谷脈衝信號，該重定端接收該初級開通致能信號，該計數器對一週期內該波谷脈衝信號的脈衝個數進行計數，在該輸出端提供第一數值；

暫存器，具有輸入端，時鐘端和輸出端，其中，該輸入端接收該第一數值，該時鐘端接收該脈衝頻率調變信號，在該輸出端產生第二數值；

目標波谷數產生器，將該第二數值與該上一週期的波谷數進行比較，在該輸出端產生該目標波谷數；以及

數位比較器，將該第一數值與該目標波谷數進行比較，當該第一數值大於或等於該目標波谷數時，在該輸出端提供該波谷致能信號。

【請求項 10】如請求項 9 所述的控制器，其中：

當該第二數值大於該上一週期的波谷數時，該目標波谷數等於該上一週期的波谷數加 1；

當該上一週期波谷數大於 3 且比該第二數值大 2 時，該目標波谷數等於該上一週期波谷數減 1；以及

當該上一週期波谷數為 2 或 1，且該脈衝頻率調變信號的上升邊緣來臨時刻比第一波谷提早一預設時長到達時，

該目標波谷數等於該上一週期波谷數減 1。

【請求項 11】如請求項 6 所述的控制器，其中，當該波谷致能信號有效且該脈衝頻率調變信號的上升邊緣來臨時，該初級開通致能信號有效，控制該初級開關管導通。

【請求項 12】一種用於隔離式開關變換器的控制器，該開關變換器包括具有初級繞組和次級繞組的變壓器、耦接至該初級繞組的初級開關管、耦接至該次級繞組的次級開關管以及隔離電路，該控制器包括：

波谷檢測電路，耦接至該次級開關管以檢測該開關變換器諧振電壓的波形，並輸出表示該諧振電壓波谷的波谷脈衝信號；

脈衝頻率調變電路，接收代表該開關變換器輸出信號的反饋信號，產生脈衝頻率調變信號；

波谷選定電路，具有第一輸入端、第二輸入端和輸出端，其中，該第一輸入端接收該脈衝頻率調變信號，該第二輸入端接收該波谷脈衝信號，該波谷選定電路基於該脈衝頻率調變信號與上一週期的波谷數，產生目標波谷數，並在該輸出端提供回應於該目標波谷數的波谷致能信號；

初級開通致能電路，具有第一輸入端、第二輸入端、第三輸入端和輸出端，其中，該第一輸入端接收該脈衝頻率調變信號，該第二輸入端接收該波谷脈衝信號，該第三輸入端接收該波谷致能信號，基於該脈衝頻率調變信號、該波谷脈衝信號以及該波谷致能信號，在該輸出端產生初級開通致能信號至該隔離電路的輸入端；

初級關斷檢測電路，檢測該初級開關管是否關斷，產生初級關斷檢測信號；

過零檢測電路，檢測流過該次級開關管的電流是否過零，並產生過零檢測信號；

次級邏輯電路，耦接至該初級關斷檢測電路和該過零檢測電路以接收該初級關斷檢測信號和該過零檢測信號，並基於該初級關斷檢測信號與該過零檢測信號產生次級控制信號以控制該次級開關管；以及

初級邏輯電路，耦接至該隔離電路的輸出端以接收與該初級開通致能信號電隔離的同步信號，並基於該同步信號產生初級控制信號以控制該初級開關管。

【請求項 13】如請求項 12 所述的控制器，其中，該波谷選定電路將該脈衝頻率調變信號上升邊緣來臨時所累計的波谷數與該上一週期的波谷數相比較，根據比較結果選擇繼續保持或切換至另一合適的波谷，並在目前波谷數達到該目標波谷數時提供該波谷致能信號。

【請求項 14】一種隔離式開關變換器，包括如請求項 1 至 13 中任一項所述的控制器。

【請求項 15】一種隔離式開關變換器的控制方法，該開關變換器包括具有初級繞組和次級繞組的變壓器、耦接至該初級繞組的初級開關管、耦接至該次級繞組的次級開關管以及隔離電路，該控制方法包括：

接收代表該開關變換器輸出信號的反饋信號，產生與該反饋信號有關的脈衝頻率調變信號；

耦接至該次級開關管以檢測該開關變換器的諧振電壓波形，產生表示該諧振電壓波谷的波谷脈衝信號；

基於該脈衝頻率調變信號與上一週期的波谷數，產生目標波谷數，並提供回應於該目標波谷數的波谷致能信號；

基於該波谷致能信號、該脈衝頻率調變信號和該波谷脈衝信號，產生初級開通致能信號；

將該初級開通致能信號送入該隔離電路，產生與該初級開通致能信號電隔離的同步信號；以及

基於該同步信號，產生初級控制信號以控制該初級開關管。

【請求項 16】如請求項 15 所述的控制方法，還包括：
檢測該初級開關管是否關斷，產生初級關斷檢測信號；

檢測流過該次級開關管的電流是否過零，產生過零檢測信號；以及

基於該初級關斷檢測信號和該過零檢測信號，產生次級控制信號以控制該次級開關管。

【請求項 17】如請求項 15 所述的控制方法，產生該目標波谷數的方法包括：

將該脈衝頻率調變信號上升邊緣來臨時所累計的波谷數與該上一週期的波谷數相比較，選擇保持或切換至另一合適的波谷數。

【請求項 18】如請求項 15 所述的控制方法，其中，提

供該波谷致能信號的方法包括：

接收該波谷脈衝信號，對一週期內該波谷脈衝信號的脈衝進行計數，提供第一數值；

記錄該脈衝頻率調變信號上升邊緣來臨時的該第一數值，作為第二數值；

將該第二數值與該上一週期波谷數進行比較，根據比較結果產生目標波谷數；以及

將該第一數值與該目標波谷數進行比較，當該第一數值大於或等於該目標波谷數時，在輸出端提供該波谷致能信號。

【請求項 19】如請求項 18 所述的控制方法，其中：

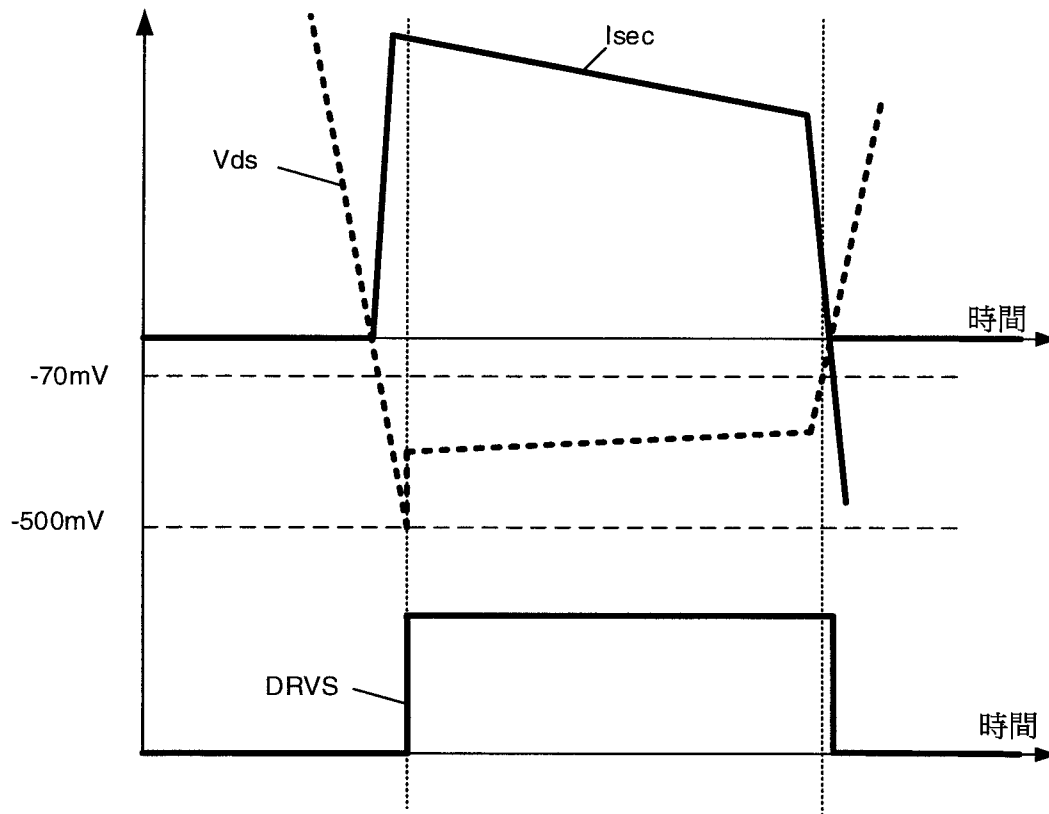
當該第二數值大於該上一週期的波谷數時，該目標波谷數等於該上一週期的波谷數加 1；

當該上一週期波谷數大於 3 且比該第二數值大 2 時，該目標波谷數等於該上一週期波谷數減 1；以及

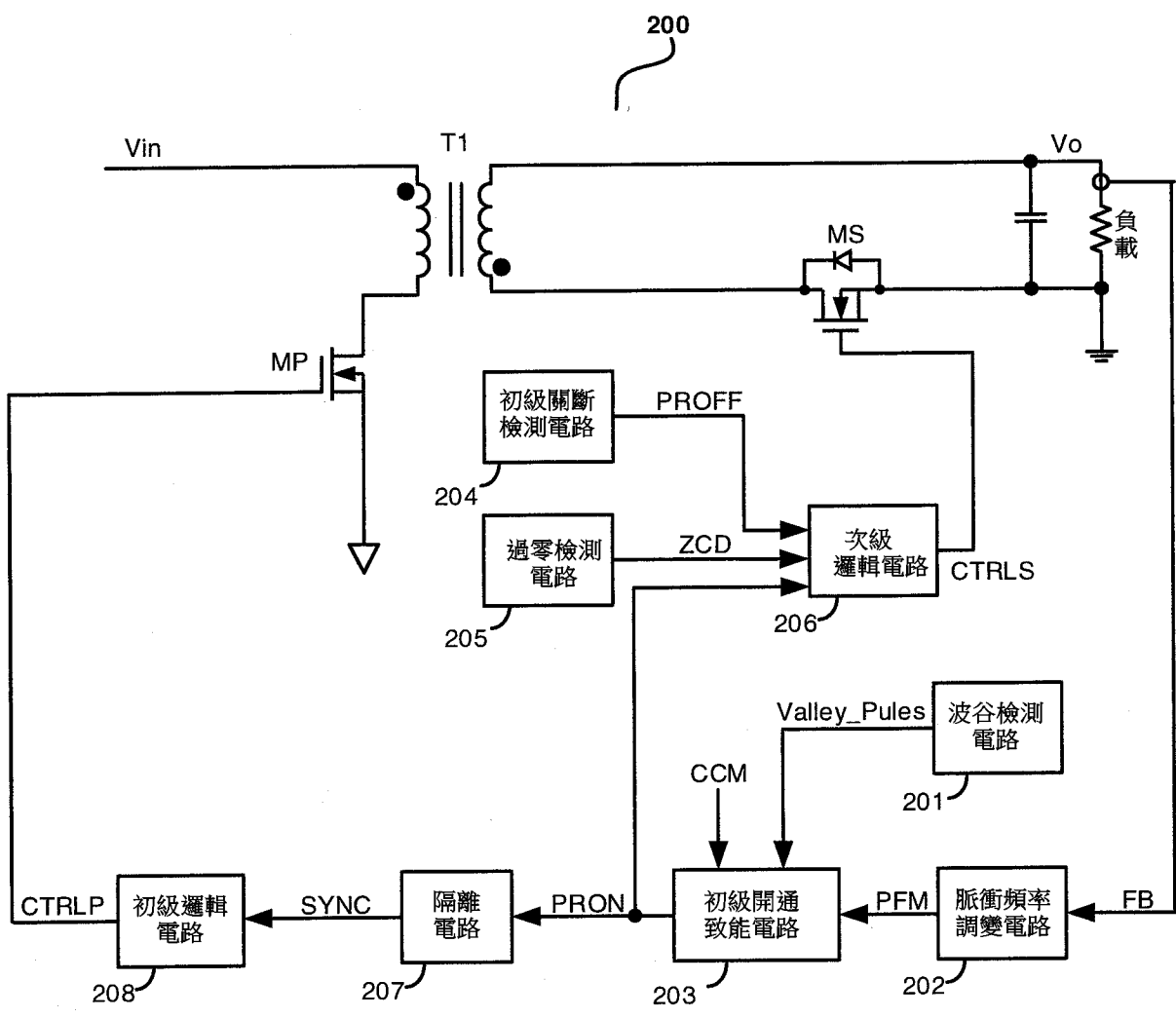
當該上一週期波谷數為 2 或 1，且該脈衝頻率調變信號的上升邊緣來臨時刻比第一波谷提早一預設時長到達時，該目標波谷數等於該上一週期波谷數減 1。

【請求項 20】如請求項 15 所述的控制方法，其中，當該目標波谷數為 0 時，該開關變換器進入電流連續模式。

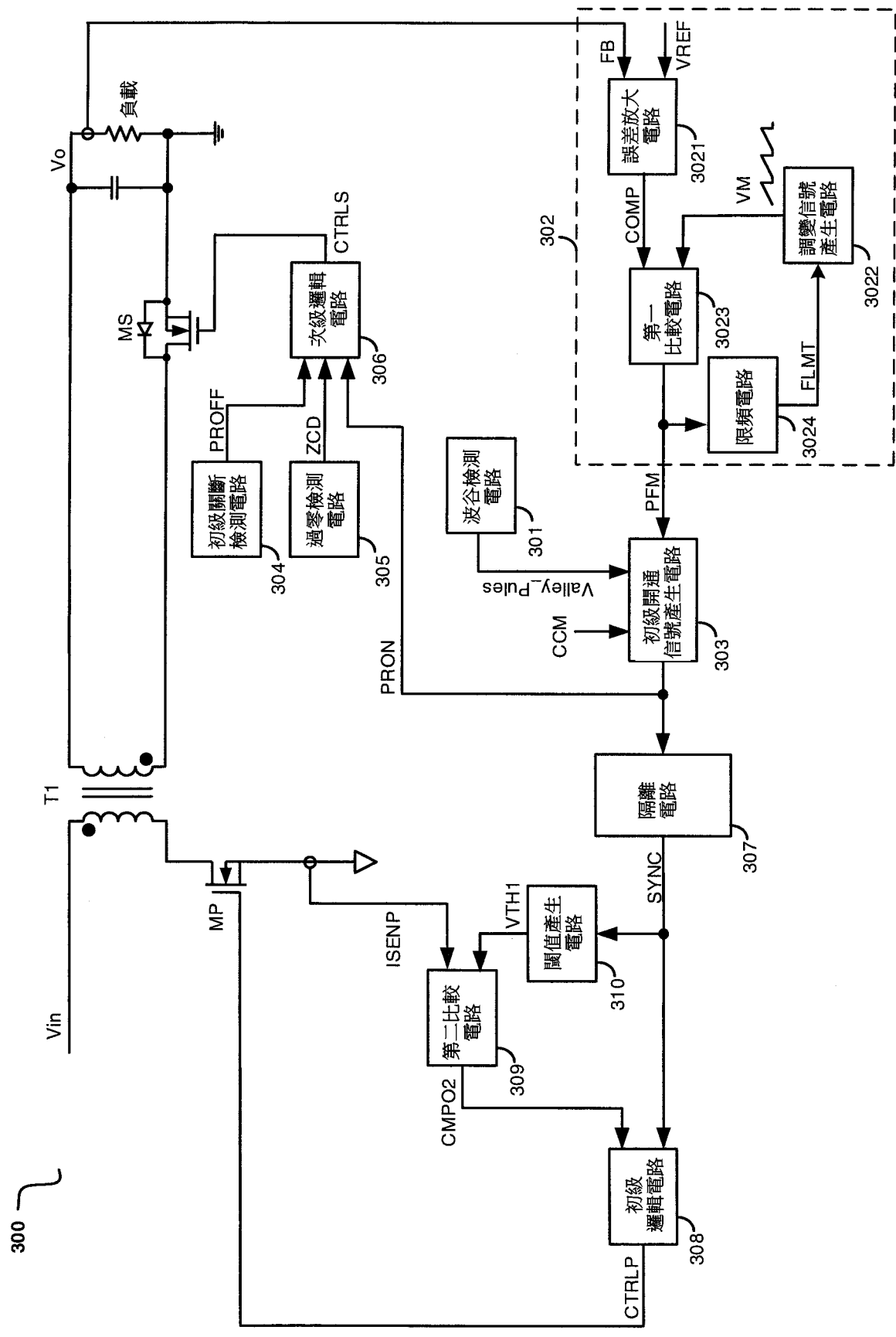
【發明圖式】



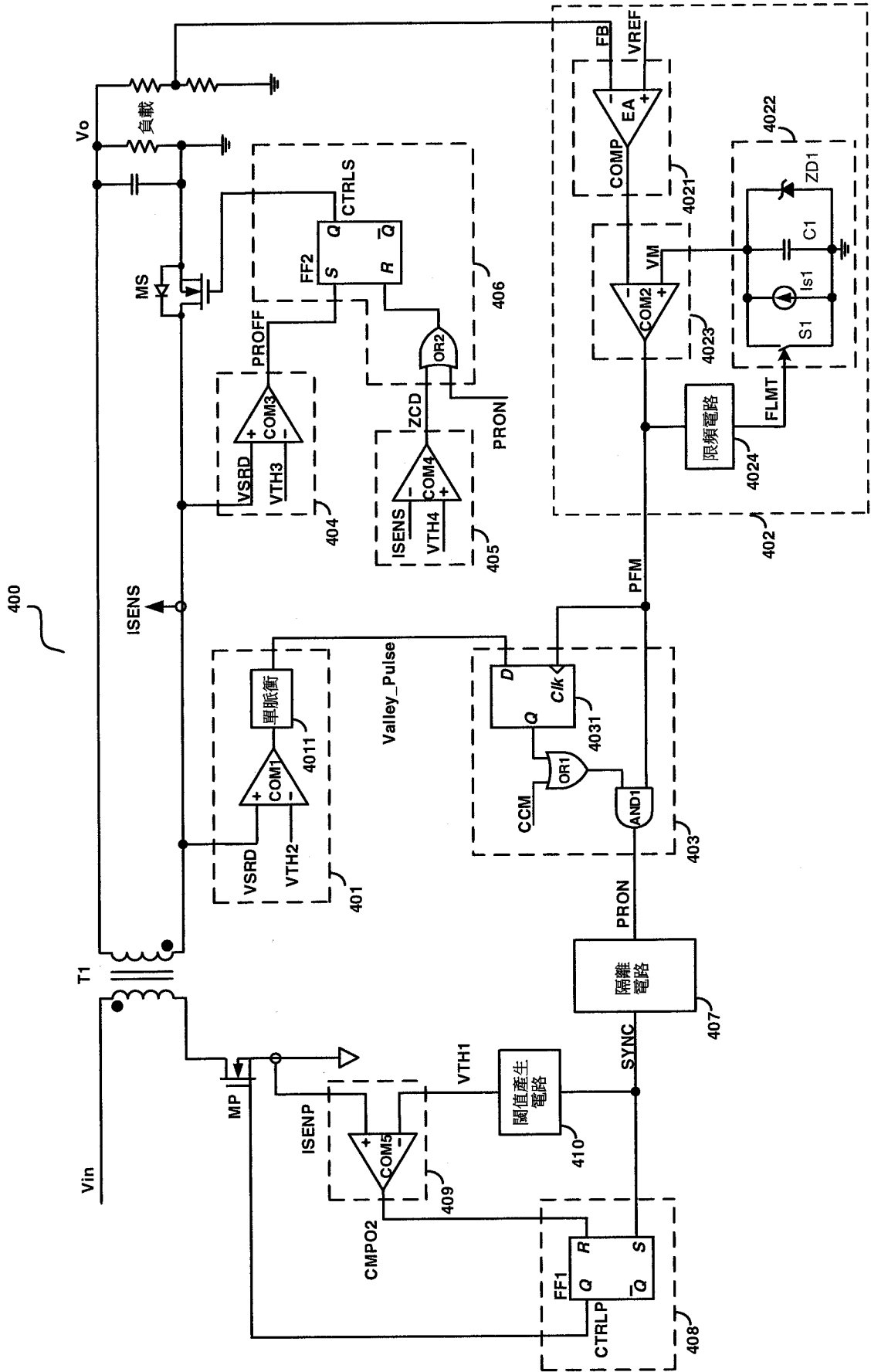
【圖 1】



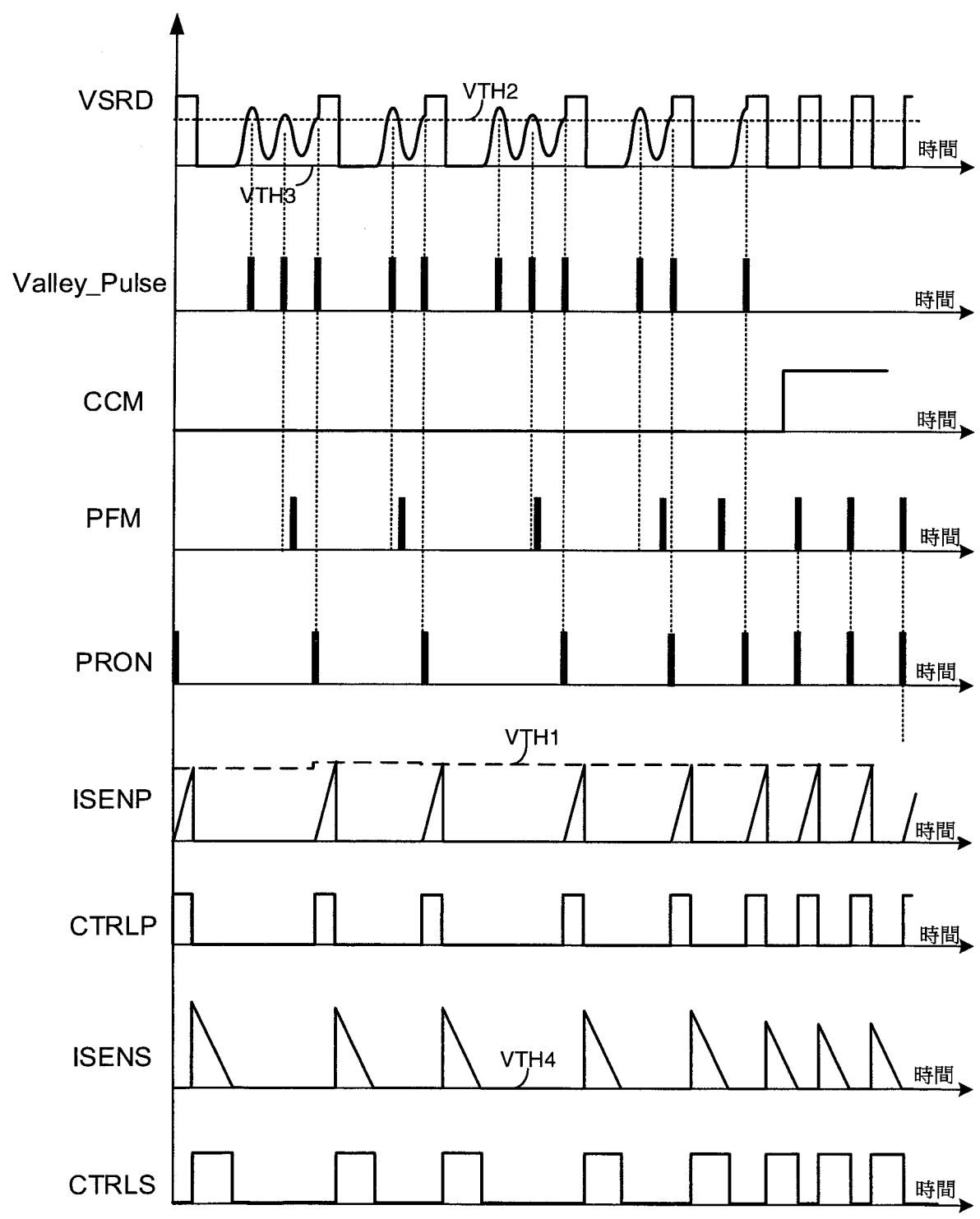
【圖 2】



【圖 3】

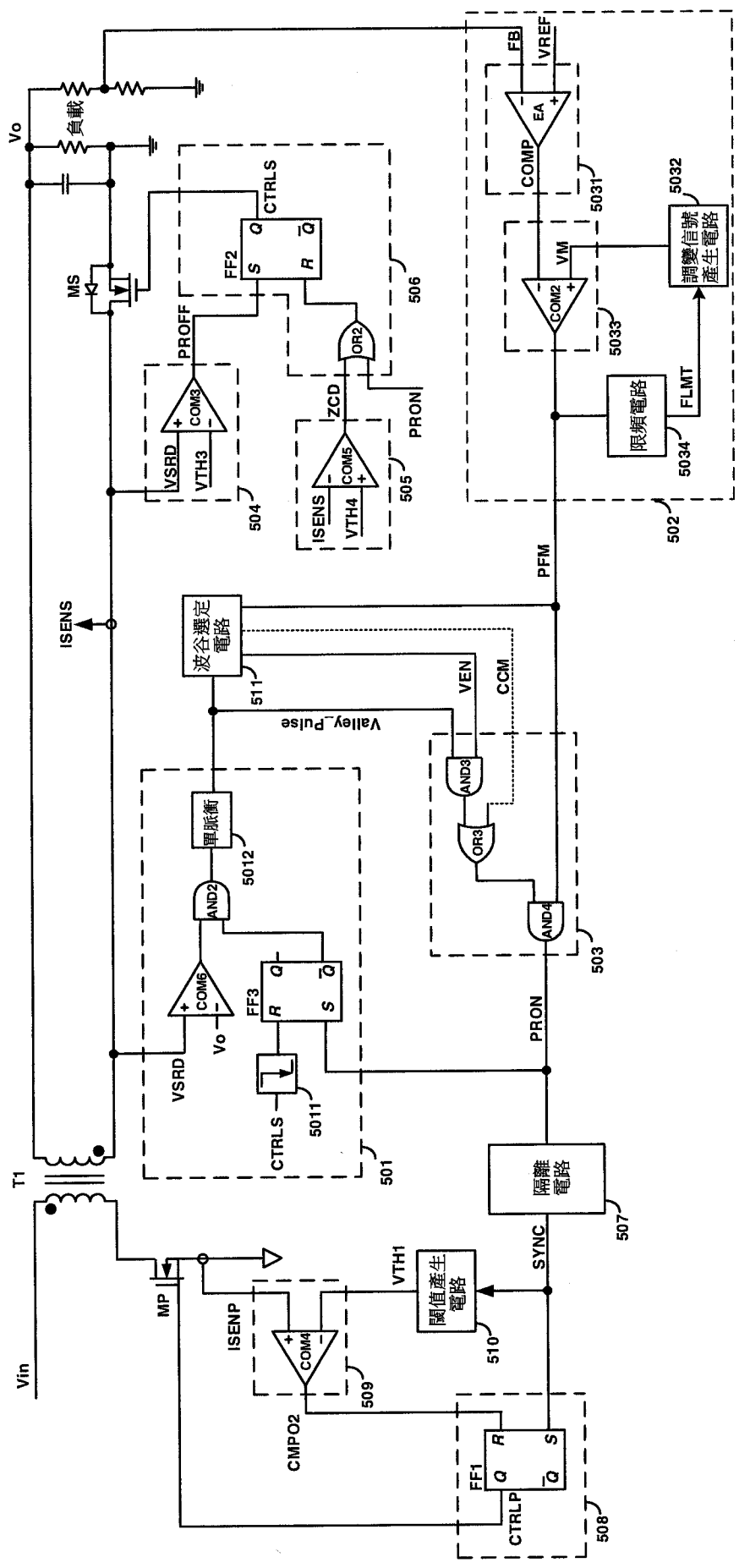


【圖4】

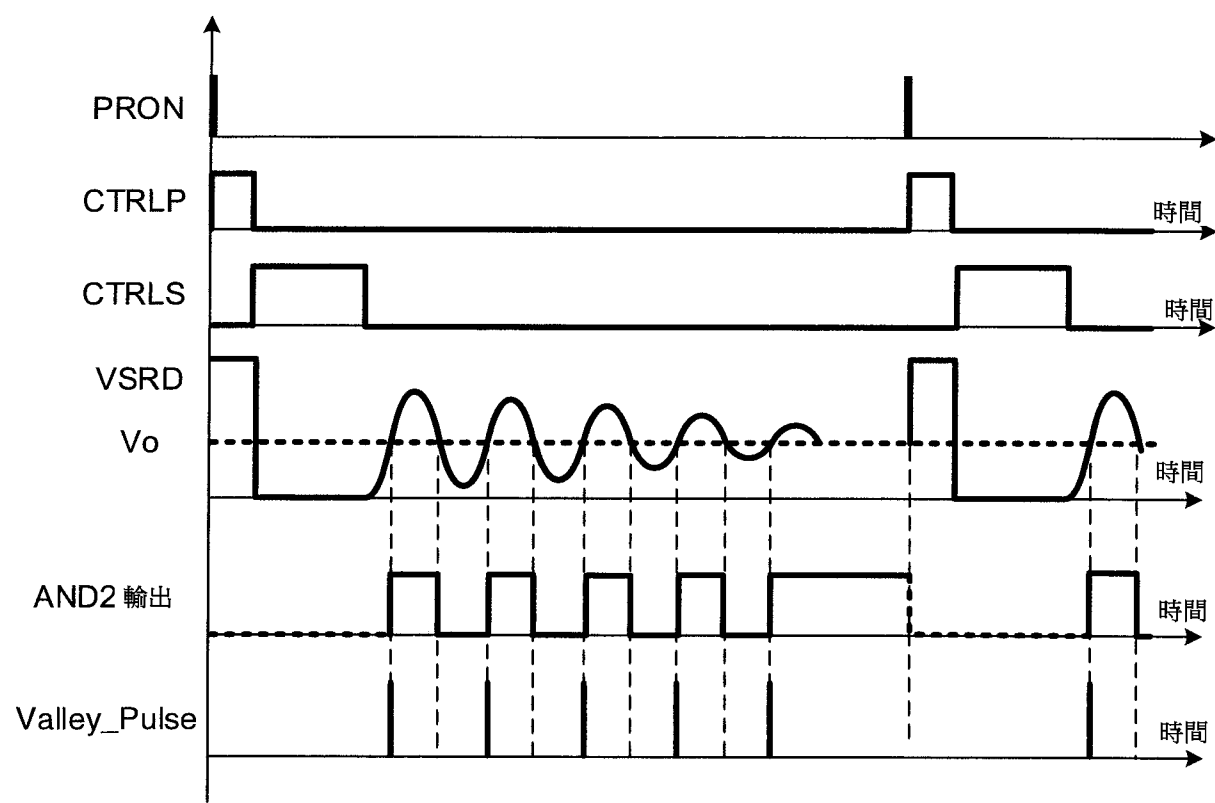


【圖 5】

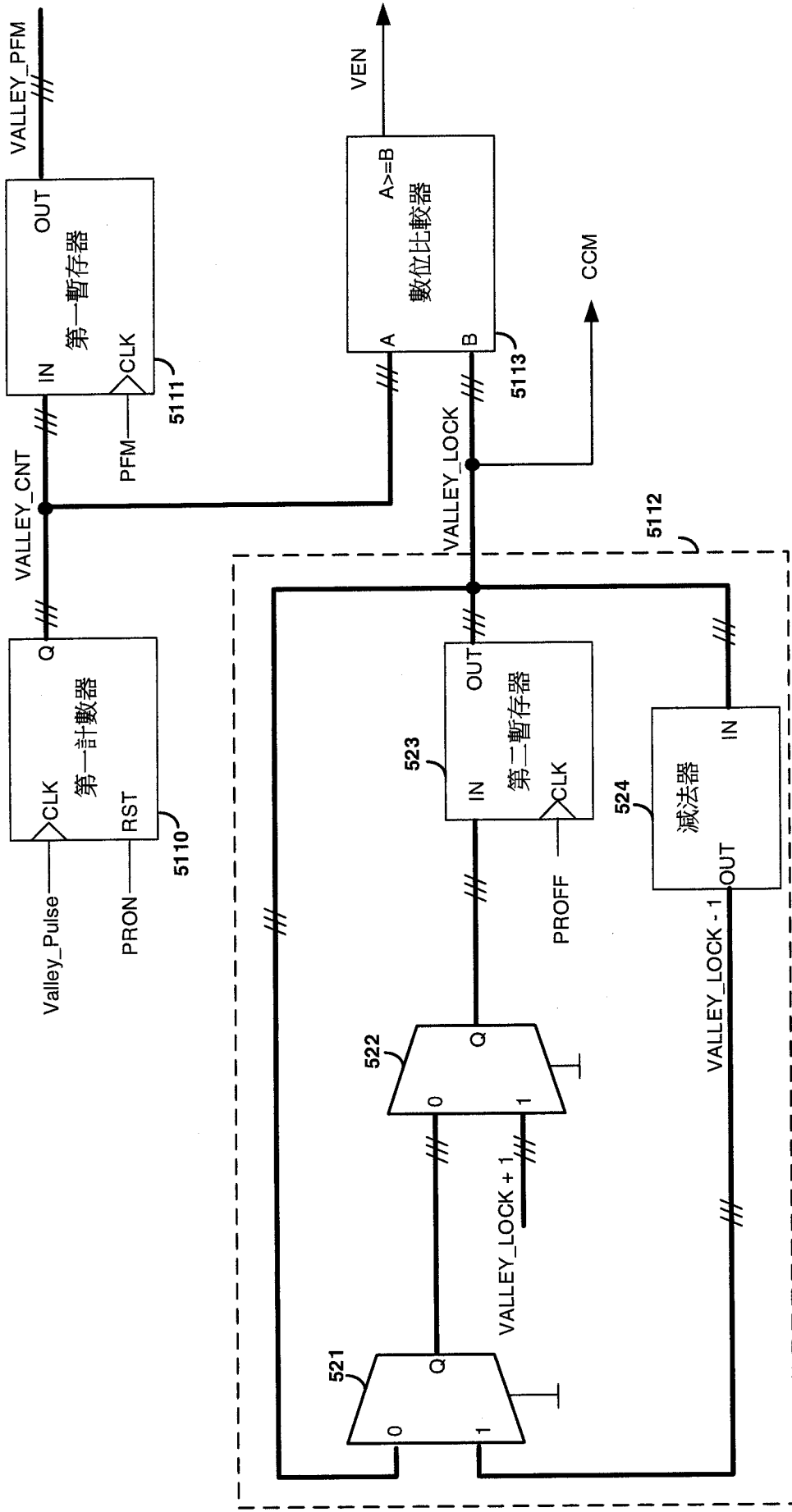
500



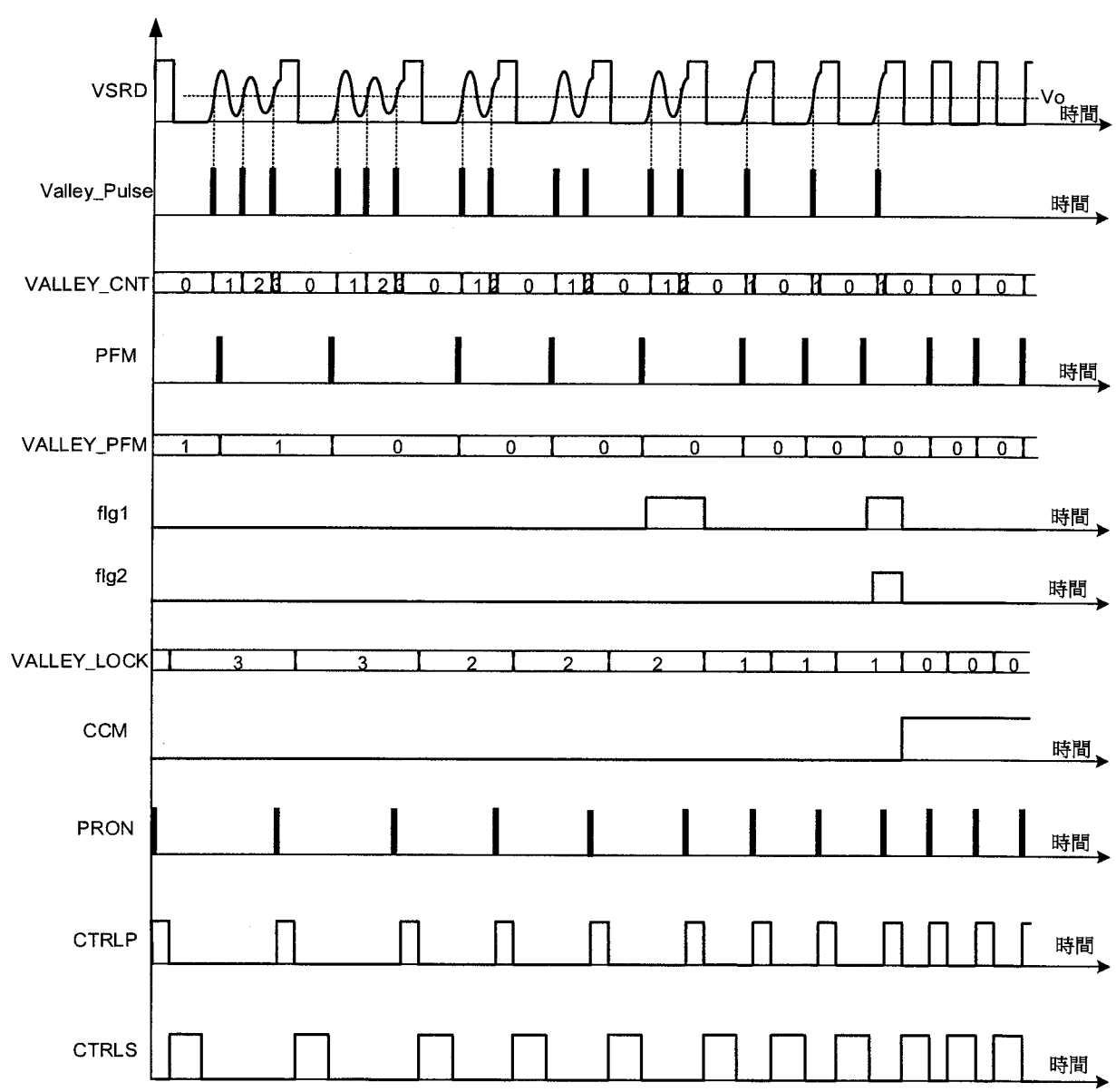
【圖6】



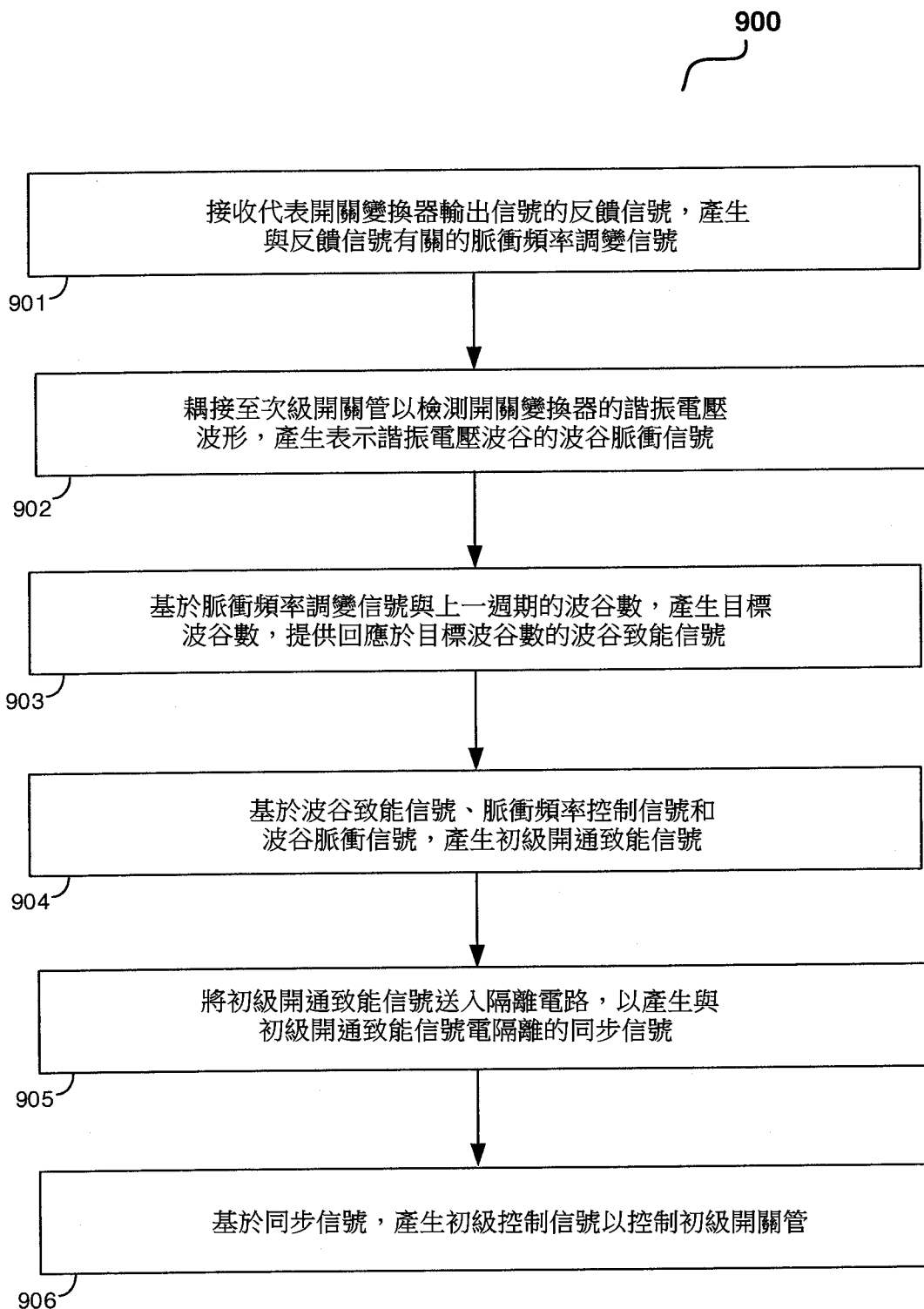
【圖 7】



【圖 8】



【圖 9】



【圖 10】