(19)中華民國智慧財產局
(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 201345833 A
(43)公開日： 中華民國 102 (2013) 年 11 月 16 日

(21)申請案號：102109911 (22)申請日： 中華民國 102 (2013) 年 03 月 20 日
(51)Int. Cl.： *C01B13/10 (2006.01)* *H02M3/28 (2006.01)*
H02M1/42 (2007.01)
(30)優先權：2012/03/28 美國 13/432,415
(71)申請人：ＭＫＳ儀器公司 (美國) MKS INSTRUMENTS, INC. (US)
美國
(72)發明人：崔恩　肯 TRAN, KEN (US) ；田豐 TIAN, FENG (CN) ；陳新 CHEN, XING (US) ；
李　法蘭克林 LEE, FRANKLIN (US)
(74)代理人：陳長文
申請實體審查：無　申請專利範圍項數：30 項　圖式數：8　　共 49 頁

(54)名稱

用於供能量給臭氣產生單元的小型可組態的電源供應器

COMPACT, CONFIGURABLE POWER SUPPLY FOR ENERGIZING OZONE-PRODUCING CELLS

(57)摘要

可使用本文描述之系統及技術完成供應高頻電力至臭氧產生單元的改良。以實質上大於一負載頻率之一切換頻率操作的一 DC-DC 轉換器之應用支援產生一高電壓 AC 以供電給此等單元，同時允許減小組件大小及減小一負載調諧電路之一品質因數。可使用回饋技術控制用於獲得該切換頻率及該負載頻率之一或多者的可控制功率轉換器，以在外部供應電力及負載條件之一或多者的變異下將穩定的高品質功率提供給臭氧產生單元。亦可提供一突波保護電路以選擇性地引入一限流電阻直至藉由獲自一輸入 DC 匯流排之量測而判定已充分初始化該 DC 匯流排為止。該限流電阻可係一正溫度係數熱敏電阻。

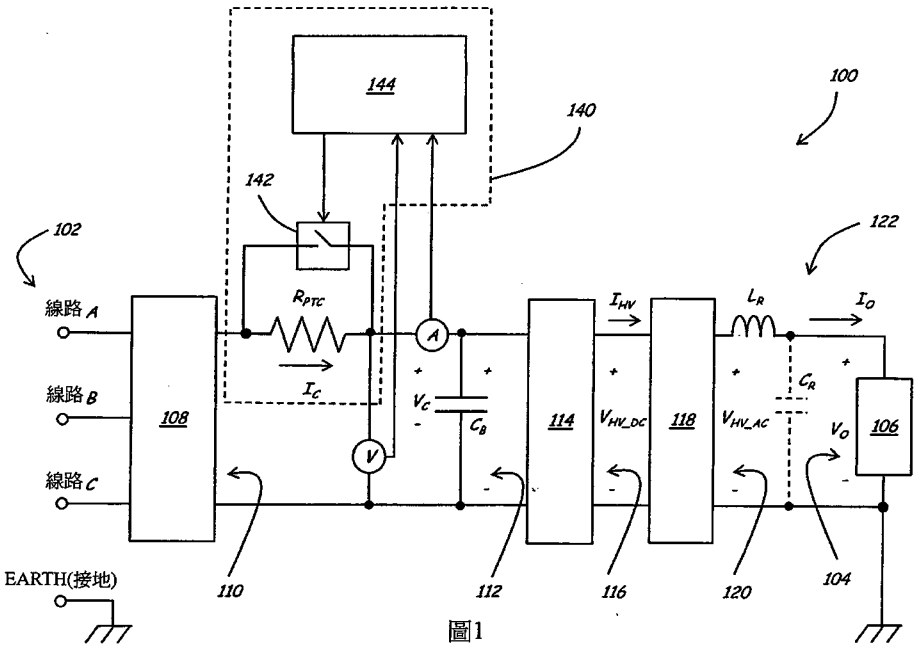


圖1

100：小型臭氧供電系統
102：外部電源/輸入交流電/主電源/三相電源/偏壓電源
104：負載功率
106：臭氧產生單元
108：三相整流器模組
110：整流輸出
112：直流匯流排
114：功率轉換器/直流轉直流轉換器
116：高電壓調節直流匯流排
118：功率轉換器

120：交流輸出電壓

122：共振電路/共振元件

140：突波電流保護電路

142：主動開關

144：突波電流控制器

(19)中華民國智慧財產局
(12)發明說明書公開本 (11)公開編號：TW 201345833 A
(43)公開日： 中華民國 102 (2013) 年 11 月 16 日

(21)申請案號：102109911 (22)申請日： 中華民國 102 (2013) 年 03 月 20 日
(51)Int. Cl.： *C01B13/10 (2006.01)* *H02M3/28 (2006.01)*
H02M1/42 (2007.01)
(30)優先權：2012/03/28 美國 13/432,415
(71)申請人：ＭＫＳ儀器公司 (美國) MKS INSTRUMENTS, INC. (US)
美國
(72)發明人：崔恩　肯 TRAN, KEN (US) ；田豐 TIAN, FENG (CN) ；陳新 CHEN, XING (US) ；
李　法蘭克林 LEE, FRANKLIN (US)
(74)代理人：陳長文
申請實體審查：無　申請專利範圍項數：30 項　圖式數：8　　共 49 頁

(54)名稱

用於供能量給臭氣產生單元的小型可組態的電源供應器

COMPACT, CONFIGURABLE POWER SUPPLY FOR ENERGIZING OZONE-PRODUCING CELLS

(57)摘要

可使用本文描述之系統及技術完成供應高頻電力至臭氧產生單元的改良。以實質上大於一負載頻率之一切換頻率操作的一 DC-DC 轉換器之應用支援產生一高電壓 AC 以供電給此等單元，同時允許減小組件大小及減小一負載調諧電路之一品質因數。可使用回饋技術控制用於獲得該切換頻率及該負載頻率之一或多者的可控制功率轉換器，以在外部供應電力及負載條件之一或多者的變異下將穩定的高品質功率提供給臭氧產生單元。亦可提供一突波保護電路以選擇性地引入一限流電阻直至藉由獲自一輸入 DC 匯流排之量測而判定已充分初始化該 DC 匯流排為止。該限流電阻可係一正溫度係數熱敏電阻。

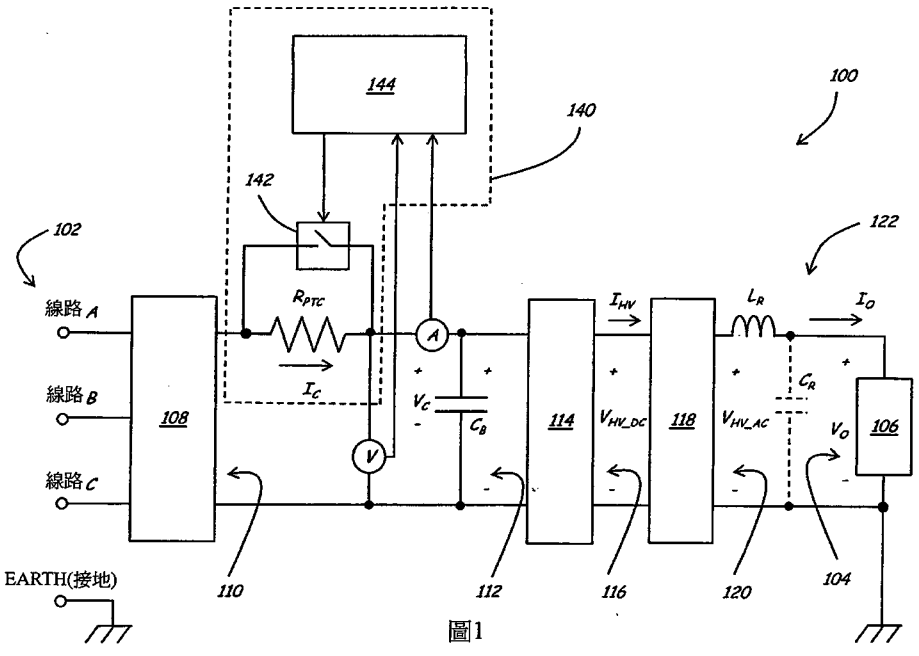


圖1

100：小型臭氧供電系統
102：外部電源/輸入交流電/主電源/三相電源/偏壓電源
104：負載功率
106：臭氧產生單元
108：三相整流器模組
110：整流輸出
112：直流匯流排
114：功率轉換器/直流轉直流轉換器
116：高電壓調節直流匯流排
118：功率轉換器

201345833

發明摘要

※ 申請案號：102109911

※ 申請日：102、3、20　　※IPC 分類：C01B 13/10 (2006.01)
H02M 3/28 (2006.01)
H02M 1/42 (2007.01)

【發明名稱】

用於供能量給臭氣產生單元的小型可組態的電源供應器

COMPACT, CONFIGURABLE POWER SUPPLY FOR ENERGIZING OZONE-PRODUCING CELLS

【中文】

可使用本文描述之系統及技術完成供應高頻電力至臭氧產生單元的改良。以實質上大於一負載頻率之一切換頻率操作的一DC-DC轉換器之應用支援產生一高電壓AC以供電給此等單元，同時允許減小組件大小及減小一負載調諧電路之一品質因數。可使用回饋技術控制用於獲得該切換頻率及該負載頻率之一或多者的可控制功率轉換器，以在外部供應電力及負載條件之一或多者的變異下將穩定的高品質功率提供給臭氧產生單元。亦可提供一突波保護電路以選擇性地引入一限流電阻直至藉由獲自一輸入DC匯流排之量測而判定已充分初始化該DC匯流排爲止。該限流電阻可係一正溫度係數熱敏電阻。

【英文】

Improvements in the supply of high-frequency electrical power to ozone-producing cells can be accomplished using the systems and techniques described herein. Application of a DC-DC converter operating at a switching frequency substantially greater than a load frequency, supports generation of a high-voltage AC for powering such cells, while allowing for reductions in component size and reductions in a quality factor of a load tuning circuit. Controllable power inverters used in obtaining one or more of the switching and load frequencies can be controlled using feedback techniques to provide stable, high-quality power to ozone-producing cells under variations in one or more of externally supplied power and load conditions. An inrush protection circuit can also be provided to selectively introduce a current-limiting resistance until an input DC bus has been sufficiently initialized as determined by measurements obtained from the DC bus. The current limiting resistance can be a positive-temperature coefficient thermistor.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 1 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

100　小型臭氧供電系統

102　外部電源/輸入交流電/主電源/三相電源/偏壓電源

104　負載功率

106　臭氧產生單元

108　三相整流器模組

110　整流輸出

112　直流匯流排

114　功率轉換器/直流轉直流轉換器

116　高電壓調節直流匯流排

118　功率轉換器

120　交流輸出電壓

122　共振電路/共振元件

140　突波電流保護電路

142　主動開關

144　突波電流控制器

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

(無)

發明專利說明書

（本說明書格式、順序，請勿任意更動）

【發明名稱】

用於供能量給臭氣產生單元的小型可組態的電源供應器

COMPACT, CONFIGURABLE POWER SUPPLY FOR ENERGIZING OZONE-PRODUCING CELLS

【技術領域】

本申請案大體上係關於功率轉換且更特定言之關於用於點燃一反應氣體產生器中的電漿之功率轉換。

【先前技術】

臭氧可用於需要高程度氧化之眾多應用。例如，臭氧可用於飲水消毒且自1900初期就已用於水處理。最近，臭氧已用於半導體裝置處理。臭氧用於半導體裝置處理之一應用藉由生長絕緣膜或藉由氧化半導體晶圓上之薄膜而在該晶圓上形成絕緣層，例如可藉由使用一TEOS/臭氧處理器完成高品質SiO_2之高沈積速率化學氣相沈積。

臭氧用於半導體裝置處理之另一應用係用於清洗半導體晶圓及裝備。臭氧對自半導體晶圓之表面或自處理腔移除碳氫化合物特別有用。將臭氧用於清洗係有利的，此係因爲臭氧避免使用需要進行昂貴處理的危險化學物。相比之下，臭氧不存在一有毒廢物處理問題，這係因爲臭氧會衰變成氧氣而無殘留物。

臭氧產生器包含一或多個個別臭氧產生單元，在本文亦稱作臭氧產生單元。各臭氧產生單元通常包含相對的電極板及一介電質障壁。該介電質障壁可定位成倚靠該等電極板之一者，在該介電質障壁與該相對電極板之間形成一通道。在操作中，氧(O_2)提供至該單元且允許傳遞通過該通道，因此該等電極板之間的放電對氧作用時造成氧

原子之至少一部分分解且重組爲臭氧(O_3)分子。

爲了造成放電或電通量(即，點燃一電漿)，跨各臭氧產生單元之相對電極板施加高電壓AC電力。已判定以介於約30 kHz與約40 kHz之間的一相對高頻率施加峰至峰爲約8千伏之一AC負載電壓較佳地用於至少一些此等臭氧產生單元之操作。由於多數應用自一設施原始功率導出此等單元驅動電壓，所以臭氧單元供電系統需要自一設施功率位準(例如，208伏AC或480伏AC三相電源)增大電壓位準或以其他方式使其升壓。此外，該供電系統需要將頻率自設施供電之一相對低值(例如，50/60 Hz)增大至較佳操作頻率之一相對高值。

臭氧產生單元可模型化爲與一電阻器及一雙極瞬變電壓抑制器之一串聯組合並聯的一電容器。電力之施加可能受阻於源自該臭氧單元之電容器的相對大無功負載阻抗。具有此等大無功組件之電負載趨向於導致實質性熱損耗且除此之外加應力於電源供應器之組件。此等組件係以將合適的可用電力(即，非無功)傳遞給該負載所需增大之功率位準操作。

【發明內容】

期望提供經組態用於將電力有效提供給一或多個臭氧產生單元之一小型供電系統。此外，在任一例項中，期望達成靈活地具有可容易調整或可組態用於需要不同電力需求之臭氧產生應用的一共同的此類小型供電系統。又進一步言之，期望在初始化期間對此等供電系統提供一種增強型保護措施以免受可能另起因於不受控制突波電流之毀壞。

本文描述用於達成以下一或多者之裝置及技術：減小將電力供應給一或多個臭氧產生單元之一供電系統之大小；提供針對不同額定功率調整此等供電系統的靈活性；及提供突波電流保護。

在一態樣中，本文描述之至少一實施例提供一種用於將電力供

應給至少一臭氧產生單元之程序。該程序包含：接收一未調節DC電壓；以一第一切換頻率切換該未調節DC電壓；將該經切換DC電壓轉換成實質上大於該未調節DC電壓之一經調節DC高電壓。該程序進一步包含：以該至少一臭氧產生單元之一較佳操作頻率範圍內的一第二切換頻率切換該DC高電壓；及透過一串聯電感將該經切換DC高電壓耦合至該至少一臭氧產生單元。該串聯電感與該至少一臭氧產生單元之一內部電容一起形成一諧振，該諧振經調適以使該至少一臭氧產生單元受到該臭氧產生單元之該較佳操作頻率範圍內的一窄頻帶AC高電壓。

在另一態樣中，本文描述之至少一實施例提供一種用於供能量給至少一臭氧產生單元之功率轉換器。該功率轉換器包含一DC轉DC轉換器，其具有經組態以接收一未調節DC電壓之一輸入及經組態以提供自該未調節DC電壓導出之一經調節DC高電壓之一輸出。特定言之，該DC高電壓之振幅實質上大於該未調節DC電壓之振幅。該功率轉換器亦包含一高頻功率轉換器，其具有與該DC轉DC轉換器之該輸出連通的一輸入。該高頻功率轉換器經組態以在一輸出處提供自該DC高電壓導出之一高頻AC電壓。一串聯電感耦合在該高頻功率轉換器之該輸出與該至少一臭氧產生單元之間。該串聯電感與該至少一臭氧產生單元之一內部電容一起在該高頻AC電壓中形成一諧振，該諧振發生於該至少一臭氧產生單元之一較佳操作頻率範圍內。

在至少一些實施例中，該功率轉換器包含一第一控制器，其具有：一感測輸入，其接收該DC轉DC轉換器之該DC高電壓輸出之一指示；一參考輸入，其經組態以接收一目標DC高電壓之一指示；及一控制輸出，其與該DC轉DC轉換器連通。該第一控制器經組態以回應於該目標DC高電壓及在該感測輸入處接收的該DC高電壓之一指示而調整該DC轉DC轉換器之操作。該功率轉換器亦包含一第二控制器，

其具有：一感測輸入，其經組態以接收供應給該至少一臭氧產生單元的一負載電壓及一負載電流之至少一者之一輸出指示；一參考功率輸入，其經組態以接收一操作負載功率指示；及一控制輸出，其與該高頻功率轉換器連通。該第二控制器經組態以回應於該經接收之操作負載功率指示以及該負載電壓及該負載電流之該至少一者之一指示而調整該高頻功率轉換器之操作。

在另一態樣中，本文描述之至少一實施例提供一種用於將電力供應給至少一臭氧產生單元之程序。該程序包含將一未調節DC電壓轉換成一經調節DC高電壓，該經調節DC高電壓之振幅實質上大於該未調節DC電壓之振幅。回應於一DC高電壓參考輸入而控制該未調節DC電壓成爲該經調節DC高電壓之轉換。將該DC高電壓轉換成一高頻AC電壓。回應於一負載功率參考輸入而控制該DC高電壓成爲高頻AC電壓之轉換，使得由該高頻AC電壓傳遞之電力在透過一串聯電感施加至至少一臭氧產生單元時對應於該負載功率參考輸入。

在另一態樣中，本文描述之至少一實施例提供一種用於供電給至少一臭氧產生單元之功率轉換器。該功率轉換器包含：一整流器，其經組態以對一AC輸入電壓整流；及一匯流排電容器，其並聯耦合至該整流器。該匯流排電容器經組態以回應於經整流AC輸入電壓而產生一未調節DC電壓。該功率轉換器亦包含：第一感測器及第二感測器；以及一功率轉換器，其耦合至該匯流排電容器且經組態以在耦合至至少一臭氧產生單元時回應於該未調節DC電壓而產生一高頻AC輸出電壓。該第一感測器經組態以量測跨該匯流排電容器之一電壓，且該第二感測器經組態以量測該整流器與該匯流排電容器之間的一電流。該功率轉換器進一步包含耦合在該整流器與該匯流排電容器之間的一可控制限流電阻。該可控制限流電阻亦與該第一感測器及該第二感測器之各者連通且經組態以在初始化期間提供一限流電阻並且在初

始化後立即提供一實質上短路。

在又另一態樣中，本文描述之至少一實施例提供一種用於將電力供應給一或多個臭氧產生單元之程序。該程序包含：對一AC輸入電壓整流；藉由該經整流AC輸入電壓將一匯流排電容器充電至一DC操作電壓；及在施加至至少一臭氧產生單元時將該DC操作電壓轉換成一高頻AC電壓。該程序進一步包含區分該匯流排電容器之一初始化狀態與該匯流排電容器之一初始化後狀態；及回應於該經量測電壓及電流而改變一串聯電阻。該串聯電阻限制在初始化期間至該匯流排電容器之電流，否則在初始化後允許不限制電流。

【圖式簡單說明】

在下文詳細描述中參考示出之複數個圖式藉由本揭示內容之實施例之非限制性實例而進一步描述本揭示內容，其中在該等圖式之若干圖中類似參考數字表示類似部件，且其中：

圖1展示運用突波電流保護之一小型臭氧供電系統之一實施例之一示意圖；

圖2展示圖1中所示之小型臭氧供電系統之一DC轉DC功率轉換器之一實施例之一更詳細示意圖；

圖3展示圖1中所示之小型臭氧供電系統之一功率轉換器及共振(tank)電路之一實施例之一更詳細示意圖；

圖4展示一模組化臭氧供電系統之一替代實施例之一示意圖；

圖5展示用於將電力供應給至少一臭氧產生單元的一程序之一實施例之一流程圖；

圖6展示用於將電力供應給至少一臭氧產生單元的一程序之一實施例之一流程圖；

圖7展示用於將電力供應給至少一臭氧產生單元的一程序之另一實施例之一流程圖；

圖8A展示與圖4中圖解說明之第一控制器相關聯的一回饋控制環路之一實例之一圖解方塊圖；

圖8B展示與圖4中圖解說明之第二控制器相關聯的一回饋控制環路之一實例之一圖解方塊圖；及

圖8C展示與圖4中圖解說明之第二控制器相關聯的一回饋控制環路之一替代實施例之一實例之一圖解方塊圖。

【實施方式】

在較佳實施例之下文詳細描述中，參考形成其一部分且在其內藉由圖解說明展示特定實施例，藉由其可實行本揭示內容之隨附圖式。應瞭解可利用其他實施例且可在不背離本揭示內容之範疇的情況下進行結構變更。

本文展示之特定實施例係藉由實例且僅用於本揭示內容之實施例之闡釋性論述之目的且在假設認爲本揭示內容之原理及概念態樣之最有用及最容易理解的描述的情況下呈現。就此而言，未嘗試比本揭示內容之基本理解、在結合圖式論述時熟習此項技術者明白可如何在實行時具體實施若干形式之本揭示內容的描述所需更詳細地展示本揭示內容之結構細節。此外，在各圖式中，類似參考數字及名稱指示類似元件。

本文描述用於將電力提供給至少一臭氧產生單元之裝置及技術。

圖1中圖解說明一小型臭氧供電系統100之一實施例之一示意圖。一般而言，該供電系統100自一外部電源102(諸如設施提供之主電源)接收電力，並將該外部供應之功率轉換成適合於操作一或多個反應氣體產生器(諸如臭氧產生單元106)之一負載功率104。例如，該外部電源102可係公用設施提供之50/60 Hz、208伏、三相AC電源(例如，具有LINE A、LINE B、LINE C及一接地或EARTH參考)。就此而

言，公用設施提供之功率可隨時間改變，該供電系統100較佳經調適以在該外部電源102變化下提供一所期負載功率，例如約+/- 10%之範圍(例如，自約180伏至約230伏AC)。該供電系統100可經組態以適應在約480伏AC之標稱電壓的一指定範圍內(例如，自約430伏至約530伏AC)類似操作之其他主電源(諸如480伏AC)。

一般而言，外部電源102及供應給臭氧產生單元106之經轉換電力可取決於該外部電源102及該等單元106之需求而具有任何各種電壓、電流及頻率。在至少一些實施例中，供應給該臭氧產生單元106之電負載功率104包含約8千伏之一峰至峰AC電壓，頻率介於約20 kHz與約40 kHz之間。應瞭解可供應如可適合於操作一或多個臭氧產生單元之不同電壓及頻率。

對於外部供應之電力102係AC之應用，供電系統100包含用於首先將外部供應之AC電力轉換成DC之一整流器模組108。在該外部供應之電力102係三相AC的闡釋性實例中，該供電系統100包含用於接收輸入AC電力102及提供一經整流輸出110之三相整流器模組108。該經整流輸出110係跨一濾波電容器(亦稱作一匯流排電容器C_B)耦合，該濾波電容器經組態以平滑化該經整流輸出110以更近似用於對一DC匯流排112供電之一DC電壓。在該闡釋性實例中，該DC匯流排112未調節，且與該供電系統100之其他部分相比係以一相對低電壓操作。

雖然未展示，但是應瞭解供電系統100之前端(包含整流器108及匯流排電容器C_B)亦可包含一或多個主要AC熔斷器(未展示)(例如各線路具有一個熔斷器以在任何異常操作期間免受災難性故障)及一電磁干擾(EMI)濾波器(亦未展示)。此等EMI濾波器通常提供在電子電路中例如以防止由該供電系統100產生之任何電干擾傳導回至主電源102中。此外，應瞭解該供電系統100可包含如可用於供電給在操作該供電系統100中使用的電子電路之一或多個偏壓電源供應器(未展示)。

可由輸入主電源102供電給此等偏壓電源供應器，包含三相電源102之一個、兩個或所有三個相腳。特定言之，藉由將偏壓電源102直接連接至三相電源102之所有三個相腳，將減輕對如將否則要求適應Semi-F47事件之一龐大保持電容器的需要。或者或此外，可由DC匯流排112供電給此一偏壓電源供應器。

該供電系統100亦包含具有耦合至該低電壓未調節DC匯流排112之一輸入之至少一功率轉換器114。在至少一些實施例中，該功率轉換器可組態爲一DC轉DC轉換器，其提供亦係一DC電壓之一輸出，但具有不同於該低電壓未調節DC匯流排112之一值。例如，該功率轉換器114可經組態以將該低電壓未調節DC匯流排112之相對較低電壓升壓(即，增加)至一相對較高調節DC電壓。該功率轉換器114之一輸出可耦合至一高電壓調節DC匯流排116。因爲臭氧產生單元106大體上需要實質上大於由該主電源102供應之電壓之一操作電壓，所以由該功率轉換器114提供之任何增加有助於滿足負載要求且放鬆對該供電系統100之一後端部分之設計約束。在至少一些實施例中，該調節DC匯流排116之一電壓實質上大於該低電壓未經調節DC匯流排112之一電壓(例如，介於約200伏至350伏之間的DC)。該高電壓調節DC匯流排116之例示性操作電壓V_{HV_DC}可介於約1千伏與約2千伏之間或更大。

該供電系統100進一步包含一功率轉換器118，該功率轉換器118之一輸入耦合至該高電壓調節DC匯流排116。該功率轉換器118將該高電壓調節DC匯流排116之一電壓轉換爲一相對高頻AC輸出電壓120。該相對高頻AC輸出120耦合至由至少一諧振串聯電感器L_R及該一或多個臭氧產生單元106形成之一諧振或共振電路122。該串聯電感L_R連同該一或多個臭氧產生單元106之一內部電容一起在高頻AC電壓中形成諧振，該諧振發生於該至少一臭氧產生單元之一較佳操作頻率

範圍內。如可由該串聯電感L_R及該一或多個臭氧產生單元106之內部電容C_{EQ}(未展示)形成之一串聯L-C諧振器之一諧振頻率f_0可表達爲：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R C_{EQ}}}$$ 方程式1

在至少一些實施例中，相對高頻AC輸出120 V_{HV_AC}近似(例如)由該功率轉換器118之切換操作引起之一方波。可藉由組合該一或多個臭氧產生單元106之等效內部電容C_{EQ}選擇該串聯電感器L_R之一電感來調整該共振電路122之諧振，以建立一諧振頻率f_0且判定一對應的品質因數或「Q」。藉由濾波該功率轉換器118之相對較高電壓AC輸出120(例如，一切換1千伏或2千伏矩形波)，可在具有小於約5之一Q之一共振電路122內操作。在一些實施例中，約3或4之一Q可能已經足夠。由Q值表示之共振電路122之選擇性可拒斥近似方波AC輸出120之一頻譜之某些部分。因此，藉由適當地調整該功率轉換器118之一切換頻率及該共振電路122之一諧振或中心頻率f_0及Q，可產生一實質上正弦AC電壓V_O以傳遞至該一或多個臭氧產生單元106。例如，該功率轉換器118與該共振電路122組合可回應於一1千伏DC輸入產生具有介於約20 kHz與約40 kHz之間之一頻率及約8千伏峰至峰之一電壓振幅之一正弦波。

在至少一些實施例中，該共振元件122經進一步調諧以減小一無功功率組件。例如，可選擇該串列電感L_R之電感值，使得該電感器L_R之一串聯電阻在(例如，約20 kHz與約40 kHz之間之)一所期頻率操作範圍內有效地抵消該一或多個臭氧產生單元106之一等效串聯電容之一電阻。然而，其大體上可用於該小型臭氧供電系統100以容納可變數目個臭氧產生單元106，有時候被稱爲一臭氧產生單元「堆疊」。因此，該一或多個臭氧產生單元106之一等效內部電容C_{EQ}取決於組合於一給定單元堆疊中之特定數目個臭氧產生單元106。

臭氧產生單元106之此一堆疊之一等效電容可被判定爲(例如)該堆疊中各臭氧產生單元106之個別等效電容之一並聯組合。該供電系統100可容納之單元106通常存在某個最大值。例如，一例示性臭氧單元之一等效電容負載係約1奈法。一5千瓦供電系統100可供電給高達約104個此等臭氧單元。當已知各單元106之等效內部電容(例如，約1 nF)時判定單元之此一最大值允許對具有該最大數目個單元之一單元堆疊判定一等效內部電容之一估計。因此，可基於此一最大等效內部電容C_{EQ_MAX}選擇該串聯電感L_R以有效地抵消或最小化該臭氧產生單元106堆疊處之無功功率組件。

在至少一些實施例中，該共振電路122包含並聯於該一或多個臭氧產生單元106提供之一可選擇分流電容C_R。在至少一些實施例中，可選取電容器之C_R之電容值以補償一特定堆疊中之多個臭氧產生單元106之變動。例如，可選取該分流電容器C_R之一電容值，使得在一操作頻率範圍內，一無功負載近似等於該供電系統100可容納之最大數目個臭氧產生單元106之無功負載與該特定堆疊之該一或多個臭氧產生單元106之一無功負載之間之差。因此，電容器C_R之電阻與臭氧產生單元106之特定組態之等效內部電容C_{EQ}之一組合可維持在近似相同值，即最大電容值C_{EQ_MAX}。可選取該串聯電感L_R之選擇以有效地抵消該分流電容器C_R與該等臭氧產生單元106之等效內部電容C_{EQ}之組合之容抗。

更詳細言之，圖2中圖解說明用於實施一DC轉DC轉換器114之至少一途徑。該DC轉DC轉換器114包含用於藉由切換來自該低電壓未調節DC匯流排112之DC將該低電壓未調節DC匯流排112轉換爲一交流(AC)之一功率轉換器124。此一轉換器124之一實例包含可用以控制切換DC(即，AC)電壓之一頻率之一或多個切換及控制電路。

在至少一些實施例中，該轉換器124包含固態切換元件。該轉換

器124之切換輸出可呈現各種波形，諸如一方波、一經修改之正弦波及一純正弦波。該轉換器124亦可呈現各種拓撲。如所示，一種此拓撲被視爲一全橋或H橋轉換器電路。全橋電路包含至少四個半導體開關S_A、S_B、S_C、S_D及反並聯二極體D_A、D_B、D_C、D_D。如所示，來自該低電壓未調節DC匯流排112之輸入施加於該橋之第一對相對端子(即，頂部端子及底部端子)。亦如所示，一AC輸出係獲自該橋之第二對相對端子126。該等半導體開關S_A、S_B、S_C、S_D之各者可受控於一各自控制輸入端子128。在至少一些實施例中，各半導體開關S_A、S_B、S_C、S_D係與該等二極體D_A、D_B、D_C、D_D之一各自者並聯連接。因此，對各切換元件之控制判定各自二極體是否有效地在「橋中」(開關斷開)或「橋外」(開關閉合)。

在至少一些實施例中，可藉由該轉換器124之半導體開關S_A、S_B、S_C、S_D之一或多者之脈寬調變(PWM)獲得上述切換DC波形之一方波AC演現。藉由控制該等控制輸入端子128來調變或調節一方波脈衝之一寬度可被用作一種調節或調整一轉換器之輸出電壓之方法。此調節有利於在電源102(圖1)或負載條件之一或多者之變動下維持傳遞DC。

一旦轉換爲AC，可藉由使用一變壓器將電壓位準變更爲實際上任何所要電壓位準。闡釋性DC轉DC轉換器114包含藉由切換DC電壓驅動此一變壓器130，該變壓器130之一初級繞組131a與該轉換器124之負載端子126連通。在一些實施例中，該等負載端子126之一者與該變壓器130之間可包含一阻斷DC電容器C_1。在闡釋性實例中，該變壓器130之初級繞組131a具有圍繞一磁芯之各自數目個匝數，且次級繞組131b亦具有圍繞該磁芯之各自數目個匝數。可至少部分藉由該次級繞組131b的匝數對該初級繞組131a的匝數之比率判定輸出電壓之量值。因此，在該次級繞組131b處獲得之變壓器之一輸出可爲獲自該轉

換器124之輸入之一高電壓或升壓演現。有利的是，該變壓器130亦使諸如該一或多個臭氧產生單元106之一負載與該外部電源102隔離。

諸如用於該變壓器130之芯中之供電系統100之磁性元件之一實際大小大體上與一操作頻率成反比。因此，在一相對高頻(例如，與實際一樣高)下可藉由操作該全波轉換器124之半導體開關S_A、S_B、S_C、S_D而減小該DC轉DC轉換器114之變壓器130之大小。在至少一些實施例中，在接近基礎半導體技術之一最大切換頻率之頻率下操作該等半導體開關S_A、S_B、S_C、S_D。例如，可在介於約300 kHz與約600 kHz之間之切換頻率下操作MOSFET開關。隨著半導體切換技術的進展允許較大的切換頻率，此等半導體開關可應用於本文所述之電路且尤其諸如該功率轉換器114之功率轉換器電路，以允許甚至更大的操作切換頻率以允許進一步減小諸如該升壓變壓器130之任何磁性組件之大小。

取決於特定輸入功率，本文所述之相同系統架構或細微修改可適應其他輸入功率位準。例如，可藉由將該高頻變壓器130之一匝數比減小至約用於208伏輸入應用的一半而適應480伏輸入應用。此外，必要時可用具有合適額定電壓及/或電流之組件替換一些組件，諸如該等開關S_A、S_B、S_C、S_D及該等二極體D_A、D_B、D_C、D_D (圖2)。對於480伏輸入應用，可再一次用較佳地具有相同佔據面積之較高額定電壓開關及二極體替換208伏例示性實施例之開關及二極體。或者或此外，亦可用較佳地具有相同佔據面積之較高電壓額定二極體替換三相整流器模組108(圖1)內之整流器二極體。運用此種途徑，無關於輸入電壓，電路之剩餘部分大體上皆可相同。

應注意，在較高頻率(例如，300 kHz至600 kHz或更高)下進行切換亦緩解對該供電系統100之其他組件(諸如如上所述可包含的任何EMI電源線濾波器)的需求。能夠在甚至更高頻率下切換之至少一類

半導體裝置係碳化矽。因此，應瞭解，可使用諸如碳化矽裝置之其他高頻半導體切換裝置以實施該功率轉換器124之開關S_A、S_B、S_C、S_D以支援甚至更高的切換頻率，從而允許甚至更進一步減小該功率轉換器114之某些電路組件之大小。有利的是，藉由應用本文所述之各種技術實現之組件大小、重量及熱損耗之一或多者之此等減小導致供電系統之構造更小、更輕且更有效。在至少一些實施例中，可使用不超過約一個印刷電路板或模組來組態此等供電系統。藉由減小電路板或模組之數目實現之此簡化藉此減小供電系統成本及複雜度之一或多者，並同時改良可靠性。例如，一單個電路板或模組組態消除對互連多個模組之間纜線捆束的需要或以其他方式最小化對互連多個模組之間纜線捆束的需要。

可藉由(例如)經組態以如所示般整流該變壓器130之次級繞組之AC之一整流器132將升壓AC再一次轉換爲直流。此一整流器132可爲一半波整流器或一全波整流器。該升壓變壓器130之整流AC輸出可藉由(例如)一串聯電感器L_O及一分流電容器C_O濾波以平滑化升壓DC輸出。因此，功率轉換器回應於該低電壓未調節DC匯流排112輸入之一輸出供電給一相對高電壓調節DC匯流排116。對於輸入至圖1之闡釋性實例中所述之供電系統100之208 VAC，該高電壓DC匯流排114可具有至少約1千伏DC之一值。將相對低電壓DC匯流排(例如，200伏至350伏DC)以此方式增加至一較高電壓(例如，1 kV)亦允許具有一相對較低「Q」(例如，小於約5)之一共振電路122(圖1)足以濾波該功率轉換器118(圖1)之方波AC輸出120以操作該一或多個臭氧產生單元106。可用一或多個回饋控制環路完成對所供應的電壓DC匯流排116之調節。例如，可高電壓DC輸出電壓V_{HV}之一量測提供至經調適以調整該全橋轉換器114之操作之一控制環路，以將高電壓DC輸出電壓維持在電負載之一範圍(例如，無負載至全負載)內之一容限(例如，+/- 10%)

內。下文更詳細地描述此一回饋控制環路之操作。

在至少一些實施例中，該功率轉換器118包含一相對高電壓半橋轉換器，如圖3中圖解說明。例如，該功率轉換器118可經調適以切換該相對高電壓DC匯流排116。至少就各自如所示般分流一各自二極體D_E、D_F之半導體切換元件S_E、S_F的使用及控制而言，該功率轉換器118可類似於該DC轉DC轉換器114(圖1)之功率轉換器124。較佳地，該功率轉換器118之切換元件S_E、S_F可經操作以產生具有對應於該至少一臭氧產生單元106之一較佳切換頻率之一頻率之一方波。例如，該功率轉換器118之一方波輸出之一基本頻率可介於約20 kHz與約40 kHz之間。

接著參考圖4，圖解說明一模組化臭氧供電系統200之另一實施例之一示意圖。該供電系統200再一次自諸如設施提供的主電源之一外部電源202接收電力且將外部供應的電力202轉換爲一電負載功率V_{OUT}，從而適用於操作一或多個臭氧產生單元206。對於其中設施供應電源202係AC之應用，該供電系統200首先包含用於將設施供應的AC轉換爲一DC電壓之一整流器208。整流輸出208係跨亦被稱爲一匯流排電容器C_B之一濾波電容器耦合。跨該匯流排電容器C_B之一電壓供電給一DC匯流排212。

該供電系統200亦包含具有耦合至該低電壓未調節DC匯流排212之一輸入之至少一功率轉換器214。在至少一些實施例中，該功率轉換器214組態爲一DC轉DC轉換器，其提供亦係一DC電壓之一輸出，但具有不同於該低電壓未調節DC匯流排212之一值。例如，該功率轉換器214可經組態以將該低電壓未調節DC匯流排212之相對較低電壓升壓(即，增加)至一相對較高調節DC電壓。該功率轉換器214之一輸出可耦合至一高電壓調節DC匯流排216。在至少一些實施例中，該調節DC匯流排216之一電壓實質上大於該低電壓未經調節DC匯流排212

之一電壓。

在至少一些實施例中，該供電系統200進一步包含一功率轉換器218，該功率轉換器218之一輸入耦合至該高電壓調節DC匯流排216。該功率轉換器218將該高電壓調節DC匯流排216之一電壓轉換爲一相對高頻AC輸出220。該相對高頻AC輸出220耦合至一諧振或共振電路222，該諧振或共振電路222由至少一諧振串聯電感器L_R及該一或多個臭氧產生單元206形成。該串聯電感L_R連同該一或多個臭氧產生單元206之一內部電容一起在高頻AC電壓中形成諧振。較佳地，諧振f_0發生於該至少一臭氧產生單元206之一較佳操作頻率範圍內。

在至少一些實施例中，該DC轉DC轉換器214實質上與上文關於圖2圖解說明且描述相同，具有一可控制全橋功率轉換器。類似地，在至少一些實施例中，該功率轉換器218實質上與上文關於圖3圖解說明且描述相同，具有一可控制半橋功率轉換器。在至少一些實施例中，該供電系統200包含與該DC轉DC轉換器214連通之一第一控制器230。該第一控制器230感測與該DC轉DC轉換器214相關聯之一或多個電力值232。例如，該第一控制器230可自該DC轉DC轉換器214接收一轉換器電流I_{INV}(參見圖2)、一高電壓DC輸出V_{HV}及一輸出電流I_{HV}之一或多者。回應於此，該第一控制器230可對該DC轉DC轉換器214之全橋功率轉換器之一或多個開關S_A、S_B、S_C、S_D提供切換控制信號228。例如，該第一控制器230可包含藉由相對於一半橋相移另一半橋之切換實施一全橋功率級之控制之一相移脈寬調變器。可操作爲一電壓模式或一電流模式控制器之此一裝置之一實例係德克薩斯州達拉斯(Dallas, TX) Texas Instruments市售之產品編號UCC3895。一種特定的切換形式被稱爲經修改之相移零電壓開關(ZVS)脈寬調變(PWM)切換。

該供電系統200亦包含與該功率轉換器218連通之一第二控制器

240。該第二控制器240感測與該功率轉換器218相關聯之一或多個電力值242。例如，該第二控制器240可自該功率轉換器218接收一輸出電流I_{OUT}(參見圖3)、該高頻AC輸出V_{INV} 220。回應於此，該第二控制器240可對該轉換器218之半橋之開關之一或多者提供切換控制信號238。例如，該第二控制器240亦可包含一相移脈寬調變器，其藉由相移一半橋之切換實施一半橋功率級之控制。在至少一些實施例中，加利福尼亞州聖荷西(San Jose, CA) On Semiconductor市售之產品編號NCP1395可用於該第二控制器240。

在至少一些實施例中，該第一控制器230及該第二控制器240之至少一者接收一外部控制輸入。例如，該第二控制器240具有用於接收一負載功率調整設定(例如，根據一特定應用，一預定千瓦額定值)之一輸入241。可藉由諸如旋鈕之一使用者可調整控制或藉由諸如該供電系統200之一初始組態或再組態期間完成之一內部調整之一組態設定來完成此一設定。在闡釋性實施例中，此一輸入可適應自小於約1 kW上至5 kW或更大之範圍中的功率。在闡釋性實施例中，該第二控制器240視需要對該第一控制器230提供一輸入231(假想虛線中所示)。例如，該第二控制器230之負載功率調整之一使用者選擇設定會設定傳遞至負載(例如，該一或多個臭氧產生單元206)之一功率值。結合而言，該第二控制器對該第一控制器230提供一輸入，從而引起DC高電壓匯流排回應於使用者調整負載功率而產生變動。即，可使用一較低的負載功率設定以減小該DC高電壓匯流排216之一電壓位準，此等特徵允許功率守恆且減小系統組件之不必要的磨損及撕裂。

圖5圖解說明用於供電給至少一臭氧產生單元之一程序300之一實施例之一流程圖。在305處接收一未調節DC電壓。例如，可自諸如圖1中圖解說明之供電系統100中提供之一整流器模組108之一濾波輸出接收該未調節電壓。在310處，在一極高切換頻率下切換該未調節

DC。例如，該未調節DC係施加於一全橋功率轉換器，諸如圖2中圖解說明之全橋功率轉換器124。在315處，將經切換的DC轉換爲調節DC高電壓。例如，可藉由圖2中圖解說明之功率轉換器114之升壓變壓器130完成DC電壓位準之此一增加。亦可藉由調整來自諸如圖4中圖解說明之第一控制器230之一功率轉換器控制器之切換控制信號128完成對高電壓DC之調節。因此，可在負載條件之一範圍及電源102之變動下完成對高電壓DC之調節。在320處，以一臭氧產生單元較佳切換頻率切換高電壓DC。如本文所述，已知此一較佳頻率存在於約20 kHz與約40 kHz之間。可藉由該功率轉換器118、218(圖1及圖3)完成此切換。在325處，透過形成具有一或多個臭氧產生單元106之共振電路之一串聯電感器L_R將切換高電壓DC(例如，一高頻方波)耦合至該一或多個臭氧產生單元。

再次參考圖1，該供電系統100之至少一些實施例包含突波電流保護電路140。在闡釋性實例中，該突波電流保護電路140包含由耦合於該整流器模組108之一輸出與該匯流排電容器C_B之一端之間之一正溫度係數熱敏電阻提供之一串聯電阻R_{PTC}。當自該整流器模組108施加電力於該供電系統100時(即，加電期間)，該串聯電阻R_{PTC}將控制或以其他方式限制流入該匯流排電容器C_B中之最大電流。該突波電流保護電路140亦包含與該串聯電阻R_{PTC}並聯組態之一主動開關142。該主動開關142可包含一可控制單極單投開關，諸如一切換電晶體(例如，一MOSFET)或矽控整流器(SCR)。

該突波電流保護電路140亦包含一突波電流控制器144。該突波電流控制器144經組態以接收跨該匯流排電容器C_B之電壓(例如，來自電壓感測器V)及自該整流器108流向該匯流排電容器C_B之電流(例如，來自電流感測器A)之一或多者之一指示。該突波電流控制器144經進一步組態或經以其他方式程式化以判定何時對該匯流排電容器C_B充

電，例如，高於一預定臨限電壓。例如，可將此一臨限電壓視爲一最小可接受匯流排操作電壓之某個百分比(例如，90% V_{MIN})。在一些實施例中，該突波電流控制器144對該可控制開關142提供一開關控制信號，從而導致閉合通常斷開的開關或以其他方式使該串聯電阻R_{PTC}短路。由該開關142提供之一實質上短路有效地自電路移除串聯電阻，從而允許電流以一實質上無約束的方式自該整流器108流向該匯流排電容器。在至少一些實施例中，該串聯電阻器R_{PTC}大體上被視爲一正溫度係數熱敏電阻。就此而言，若該主動開關142發生故障，則該串聯電阻器經組態以在操作期間自我保護。即，串聯電阻器可回應於通過電阻器之電流浪湧而增加其電阻值以有效地控制或以其他方式限制任何此等電流浪湧。

圖6中圖解說明用於供電給至少一臭氧產生單元之一程序400之一實施例之一流程圖。在405處(即，在加電之前)，最初在一臭氧供電系統100之一整流器模組108之一輸出與一匯流排電容器C_B之間施加諸如R_{PTC}之一限流電阻。在410處，施加電力至該供電系統。更特定言之，在415處施加一AC輸入電壓至一匯流排電容器以對該匯流排電容器C_B充電。充電電流流過該限流電阻器R_{PTC}。當已將該匯流排電容器C_B充電至高於某個臨限值之一值時考慮初始化該匯流排電容器C_B。在420處若未初始化該匯流排電容器C_B，則在415處整流AC輸入電壓透過該串聯電阻R_{PTC}繼續對匯流排電容器充電。然而，在420處若已初始化該匯流排電容器C_B，則在425處可使限流電阻短路或以其他方式自電路移除該限流電阻。在430處，藉由該供電系統100將跨該匯流排電容器C_B建立之一DC電壓轉換爲高頻AC以供電給一臭氧產生單元106。在至少一些實施例中，在435處若該供電系統斷電，則在405處可(例如，藉由斷開該開關142)在整流器輸出與匯流排電容器之間施加限流電阻，預期後續加電。

接著參考圖7，圖解說明用於供電給至少一臭氧產生單元之一程序之另一實施例之一流程圖450。在455處，在初始化期間在一整流器模組108與一匯流排電容器C_B之間施加一限流電阻R_{PTC}。在460處，各自量測流過該串聯電阻R_{PTC}之一電流I_{BUS}及跨該匯流排電容器C_B之一電壓V_{CAP}。若該匯流排電壓V_{CAP}小於一預定臨限電壓V_{TH}，則其指示該匯流排電容器C_B未充滿電或否則未初始化。在此條件下，在455處的初始化及在460處的監控I_{BUS}及V_{CAP}期間，該整流器模組108與該匯流排電容器C_B之間仍存在該限流電阻R_{PTC}。然而，在465處若該電壓V_{CAP}大於或等於該臨限電壓V_{TH}，則接著判定電流I_{BUS}是否大於一預定電流臨限值I_{TH}。若電流仍高於該電流臨限值I_{TH}，則在455處的初始化期間繼續施加該限流電阻R_{PTC}。在初始化期間，亦在460處繼續監控該等值I_{BUS}、V_{CAP}，且在465處比較V_{CAP}與V_{TH}。一旦該電壓V_{CAP}增加至該臨限值V_{TH}以上且電流降低至該臨限值I_{TH}以下，可推斷出該匯流排電容器C_B已充分充電。回應於此情形，在475處，使該限流電阻R_{PTC}短路或以其他方式自電路移除該限流電阻R_{PTC}。在至少一些實施例中，在480處若供電系統斷電，則可在455處再次施加該限流電阻，預期後續加電。

圖8A展示用於改變該功率轉換器114、214(圖2、圖4)之切換操作使得DC轉DC轉換器之一高電壓DC輸出遵循一參考值之一回饋控制系統500之一實例之一示意圖。在至少一些實施例中，回饋控制系統之至少一部分係與圖4中圖解說明之該第一控制器230之應用相關聯。在一第一內部控制環路中，在一第一求和網路502處形成介於該變壓器130(圖2)之初級繞組處之一目標或參考切換電流設定I_{SET_HF}與實際切換電流I_{INV_FBK}(例如，回饋)之一量測之間之一差值。例如可藉由諸如圖2中所示之電流感測器A_1之一第一感測器或其他合適的「傳感器(pick-off)」電路自該切換電流I_{INV}之一量測獲得回饋。該求和網路502

之一輸出表示被判定爲參考I_{SET_HF}與回饋切換電流I_{INV_FBK}之間之差值之一誤差信號。必要時可憑藉由一$G_CHF(s)$區塊503表示之一調節網路來調節(例如，放大)該誤差信號。經調節的誤差信號可用以變更或以其他方式調整一切換控制電路，其傳遞函數由$G_{pwm}HF$區塊508表示。必要時升壓或降壓且以其他方式調節切換電流，一對應於的傳遞函數係由$G_{ppwr}HF(s)$區塊504表示。如可施加於切換電流之傳感部分之任何信號調節(例如，放大)之一傳遞函數係由一$G_{Ifbk}HF(s)$區塊506表示。因此，誤差電流(即，I_{SET_HF} - I_{INV_FBK})可用以驅動或以其他方式改變該轉換器124、214(圖2及圖4)之操作以改變切換電流I_{INV}。

由$G_{pwm}HF$區塊508表示之一例示性控制器提供經調適以調整該轉換器124內之切換之一控制信號以控制切換電流I_{INV}，從而藉由使該求和節點502處獲得之一差值變爲零而有效地閉合環路。此等控制信號可經組態以賦予該等開關S_A、S_B、S_C、S_D之脈寬調變及頻率調變操作模式之一或多者。因此，該內部控制環路經操作以調整切換電流I_{INV}以匹配一所接收或參考切換電流設定I_{SET_HF}。在至少一些實施例中，該控制器230對該轉換器124提供一脈寬調變信號，藉此控制所得切換電流I_{INV}。其中該內部環路在擾動之後穩定之一安定時間可由值T_1表示。

在一第二外部控制環路中，在一第二求和網路510處形成介於指示該高電壓DC匯流排216(圖4)之一所期電壓設定之一輸入或參考高電壓V_{HV_SET}與該高電壓DC匯流排216之實際電壓設定(例如，回饋)V_{HV_FBK}之一指示之間之一差值。例如可藉由諸如圖2中所示之電壓感測器V之一合適的感測器或其他合適的「傳感器」電路自高電壓DC匯流排電壓獲得回饋。該外部控制環路亦包含一$G_{Vfbk}HF(s)$區塊512，其表示如可施加於所量測之高電壓DC匯流排電壓V_{HF}之任何信號調節電路(諸如信號增益及濾波之一或多者)之一傳遞函數。一$G_{OUT}HF(S)$

區塊514表示取樣轉換器電流I_{INV}之點與該傳感點V_{HF}之間提供之任何電路之一傳遞函數。

第二求和網路510之一輸出表示被判定爲參考高電壓與高電壓DC匯流排之回饋取樣之間之一差值(即，V_{HV_SET} - V_{HV_FBK})之一誤差信號。必要時可調節該誤差信號以產生對應於目標或參考切換電流設定I_{SET_HF}之一信號。一G_VHF(S)區塊501表示任何此電路之一傳遞函數。因此，可使用誤差電壓以驅動或以其他方式改變該轉換器124、214(圖2及圖4)之操作以改變切換電流I_{INV}，從而使高電壓DC電壓V_{HF}產生所要變化。

其中該外部環路在擾動之後穩定之一安定時間可由一時間值T_2表示。類似地，該內部環路之一安定時間可由一時間值T_1表示。在至少一些實施例中，該內部環路提供快於該外部控制環路之一回應時間，使得$T_1 < T_2$。在至少一些實施例中，T_2值可爲T_1值之若干倍。在至少一些實施例中，T_2值可比T_1值至少大約10倍。

圖8B展示用於改變該功率轉換器118、218(圖2、圖4)之切換操作使得該功率轉換器100、200(圖1、圖4)之一輸出電流I_{OUT}遵循一可調參考電流之一第二回饋控制系統550之一實例之一示意圖。在至少一些實施例中，該第二回饋控制系統550之至少一部分係與圖4中圖解說明之該第二控制器240相關聯。在一第一內部環路中，在一第一求和網路558處形成介於一目標或參考負載電流設定I_{SET_CMD}與實際功率轉換器輸出電流I_{OUT}之一量測(即，回饋)I_{OUT_FBK}之間之一差值。該輸出電流I_{OUT_FBK}之量測可藉由一感測器(例如，圖3中所示之電流感測器A或其他合適的「傳感器」電路)量測該輸出電流I_{OUT}而加以判定。該第一求和網路558之一輸出表示被判定爲參考I_{SET_CMD}與回饋I_{OUT_FBK}電流之間之差值之一誤差信號。必要時可憑藉一傳遞函數係由一G_CLF(s)區塊555表示之一調節網路調節(例如，放大)該誤差信號。

可使用所調節的誤差信號以變更或以其他方式調整一切換控制電路，諸如該功率轉換器118、218之一切換電路S_E、S_F。切換控制電路判定該切換電路S_E、S_F之操作以產生一所要切換輸出電流。在至少一些實施例中，可提供一個以上切換控制電路，諸如傳遞函數藉由K_{pwm}LF區塊560a表示之一脈寬調變電路及傳遞函數藉由K_{fm}LF區塊560b表示之一頻率調變電路。可在一組合網路561中組合來自切換控制電路之各者之輸出信號。必要時可濾波且調節切換電流，一對應的傳遞函數係藉由G_{PWR}LF(s)區塊562表示。如可施加於切換電流之傳感部分之任何信號調節(例如，放大)之一傳遞函數係由一G_{Ifbk}LF(s)區塊567表示。因此，誤差電流(即，$I_{SET_CMD} - I_{OUT_FBK}$)可用以驅動或以其他方式改變該功率轉換器118、218(圖2及圖4)之操作以改變功率轉換器輸出電流I_{OUT}。

在一些實施例中，提供一第二回饋環路以控制參考負載電流設定I_{SET_CMD}。特定言之，該第二控制環路根據該功率轉換器100、200之一功率位準操作。即，該輸出功率遵循一可調參考功率位準P_{SET}。在一例示性實施例中，在一第二求和網路552處形成介於目標或參考負載功率設定P_{SET}(例如，0 kW < P_{SET} < 5 kW)與實際輸出功率P_{FBK}(例如，回饋)之一量測之間之一差值或誤差信號。該實際輸出功率之指示可判定或以其他方式估計爲各自可在該DC轉DC轉換器114、214(圖2及圖4)之一輸出處量測之輸出電壓V_{HV}與輸出電流I_{HV}之一乘積。可藉由施加各感測輸出於一乘法電路556而獲得一乘積。例如，可藉由諸如圖2中所示之電壓感測器V之一第一感測器而獲得該輸出電壓V_{HV}。同樣地，可藉由諸如圖2中所示之電流感測器A_2之一第二感測器而獲得該輸出電流I_{HV}。或者或此外，輸入電壓V_{BUS}及輸入電流I_{BUS}之一量測可被用作估計實際輸出功率P_{FBK}之一替代途徑。K_{vb}(s)區塊554a表示取樣輸出電壓V_{HV}與該乘法電路556之間之電路之一傳遞函

數。同樣地，$K_{ib}(s)$區塊554b表示取樣輸出電流I_{HV}與該乘法電路556之間之電路之一傳遞函數。

該第二求和網路552之一輸出表示判定爲參考功率位準P_{SET}與回饋功率位準P_{FBK}之間之差值之一誤差信號。必要時可藉由一PID(z)區塊551表示修改或以其他方式調節該誤差信號(例如，比例、積分、微分)，以將功率量測轉換爲電流I_{SET_LF}量測。在至少一些實施例中，必要時藉由憑藉一$G_{PRE}(s)$區塊553表示之一調節網路(例如，一前置放大器)進一步調節(例如，放大)所修改之功率誤差信號。

其中該外部環路在擾動之後穩定之一安定時間可由一時間值T_4表示。類似地，該內部環路之一安定時間可由一時間值T_3表示。在至少一些實施例中，該內部環路提供快於該外部控制環路之一回應時間，使得$T_3 < T_4$。在至少一些實施例中，該第二回饋控制系統550之內部控制環路提供慢於該第一回饋控制系統500之內部控制環路及外部控制環路之任一者之一回應時間（例如：安定時間T_3）(即，$T_3 > T_2 > T_1$)。

圖8C展示包含至該第一控制系統500之一鏈路之第二回饋控制系統550'之一替代性實施例之一示意圖。在該替代性實施例之經鏈結控制器中，在一第三求和網路563處，一目標或參考高電壓DC V_{HV_CMD}與該第一求和網路558之一參考輸入(例如，回饋)之間形成一差值或誤差信號。將該第三求和網路563之一輸出V_{HV_SET}作爲一輸入提供給該第一控制環路500(圖8A)之第二求和網路510，以建立該高電壓調節DC匯流排216(圖2)之一電壓位準。即，該目標負載電流設定I_{SET_CMD}之一樣本可藉由一傳遞函數由一$k_{pv}(s)$區塊564表示之電路修改且與一所接收之高電壓設定命令V_{HV_CMD}組合以產生一目標高電壓DC匯流排設定V_{HV_SET}。此鏈結控制環路之安定時間係其他安定時間中最慢的。因此，此鏈結控制環路之安定時間阻礙其所有他控制環路之間的

互動。

有利的是，當輸出功率要求相對較低時歸因於降低高電壓匯流排之一操作值之能力可實現功率級效率的增加。另一優點係改良穩定性，這係因爲當降低高電壓匯流排時發生電壓應力減小。

在至少一些實施例中，該供電系統100經組態以提供介於約0瓦至約5千瓦之間之功率給臭氧產生單元106之任何組合。一或多個此等供電系統100、200亦可經組合(例如，並聯)以對一或多個臭氧產生單元106、206提供的功率大於任何單個供電系統100、200將以其他方式能夠提供的功率。

鑑於一般技術者在閱讀前述描述之後將毫無疑問地明白本發明之許多變更及修改，應瞭解藉由圖解方式展示並描述之特定實施例決不旨在被視爲限制性。例如，雖然已在類比操作之背景下描述控制環路，但是應瞭解該等環路之一或多者亦可實施爲一數位控制器。進一步言之，已參考特定較佳實施例描述本發明，但是熟習此項技術者將想到本發明之精神及範疇內之變動。應注意，提供前述實例僅僅係爲解釋目的且決不被解釋爲限制本發明。

雖然已參考例示性實施例描述本發明，但是應瞭解，本文中已使用的字詞係描述及圖解之字詞而非限制之字詞。如當前陳述及修正，在隨附請求項之範圍內，可在不脫離本發明之範疇及精神之情況下作出改變。

雖然本文已參考特定方式描述本發明，但是本發明並非意在限於本文所揭示之特定細節；反而本發明擴展至諸如隨附申請專利範圍之範疇內之所有功能等效結構、方法及使用。

【符號說明】

100	小型臭氧供電系統
102	外部電源/輸入交流電/主電源/三相電源/偏壓電源

104	負載功率
106	臭氧產生單元
108	三相整流器模組
110	整流輸出
112	直流匯流排
114	功率轉換器/直流轉直流轉換器
116	高電壓調節直流匯流排
118	功率轉換器
120	交流輸出電壓
122	共振電路/共振元件
124	功率轉換器/全波轉換器/全橋功率轉換器/轉換器
126	第二對相對端子/負載端子
128	控制輸入端子
131a	初級繞組
131b	次級繞組
130	升壓變壓器
132	整流器
140	突波電流保護電路
142	主動開關
144	突波電流控制器
200	臭氧供電系統
202	外部電源
206	臭氧產生單元
208	整流器
212	直流匯流排
214	功率轉換器/直流轉直流轉換器

216	高電壓調節直流匯流排
218	功率轉換器
220	高頻交流輸出
222	共振電路/共振元件
228	切換控制信號
230	第一控制器
231	輸入
232	電力值
238	切換控制信號
240	第二控制器
241	輸入
242	電力值
500	第一控制系統/第一控制環路
501	區塊
502	第一求和網路/求和節點
503	區塊
504	區塊
506	區塊
508	區塊
510	第二求和網路
512	區塊
514	區塊
550	第二回饋控制系統
550'	第二回饋控制系統
551	區塊
552	第二求和網路

553	區塊
554a	區塊
554b	區塊
555	區塊
556	乘法電路
558	第一求和網路
560a	區塊
560b	區塊
561	組合網路
562	區塊
563	第三求和網路
564	區塊
567	區塊
A、A_1	電流感測器
C_B	匯流排電容器/濾波電容器
C_{EQ}	內部電容
C_O	分流電容器
D_A、D_B、D_C、D_D、D_E、D_F	二極體
L_O	串聯電感器
L_R	諧振串聯電感器/串聯電感器/串聯電感
S_A、S_B、S_C、S_D、S_E、S_F	半導體開關/半導體切換元件/切換電路
R_{PTC}	串聯電阻/限流電阻/限流電阻器
V	電壓感測器

申請專利範圍

1. 一種用於將電力供應給至少一臭氧產生單元之方法，其包括：

接收一未調節DC電壓；

以一第一切換頻率切換該未調節DC電壓；

將該經切換DC電壓轉換成實質上大於該未調節DC電壓之一經調節DC高電壓；

以該至少一臭氧產生單元之一較佳操作頻率範圍內的一第二切換頻率切換該DC高電壓；及

透過一串聯電感將該經切換DC高電壓耦合至該至少一臭氧產生單元，該串聯電感與該至少一臭氧產生單元之一內部電容一起形成一諧振，該諧振經調適以使該至少一臭氧產生單元受到該臭氧產生單元之該較佳操作頻率範圍內的一窄頻帶AC高電壓。

2. 如請求項1之方法，其中對於藉由公用設施提供之AC電力之整流獲得的該未調節DC電壓，該DC高電壓介於約1 kV與約2 kV之間。

3. 如請求項1之方法，其中將該經切換DC電壓轉換成一經調節DC高電壓包括：將該經切換DC電壓施加至一升壓變壓器之一初級繞組，該升壓變壓器之實際大小與該第一切換頻率成反比。

4. 如請求項1之方法，其中該第一切換頻率大於約300 kHz。

5. 如請求項1之方法，其中該臭氧產生單元之該較佳操作頻率範圍介於約20 kHz與約40 kHz之間。

6. 如請求項5之方法，其中該AC高電壓之峰至峰電壓約爲8 kV。

7. 如請求項6之方法，其中由該至少一臭氧產生單元之該串聯電感及該內部電容產生的一Q小於約5。

8. 如請求項1之方法，其中切換該未調節DC電壓及該DC高電壓之一或多者包括：相移零電壓開關脈寬調變。

9. 如請求項8之方法，其進一步包括回應於用於驅動該至少一臭氧產生單元之一預定功率而切換該未調節DC電壓及該DC高電壓之一或多者。

10. 如請求項1之方法，其進一步包括回應於一可調整輸出功率而調整該DC高電壓。

11. 一種用於供能量給至少一臭氧產生單元之功率轉換器，其包括：

一DC轉DC轉換器，其具有經組態以接收一未調節DC電壓之一輸入及經組態以提供自該未調節DC電壓導出之一經調節DC高電壓之一輸出，該DC高電壓之振幅實質上大於該未調節DC電壓之振幅；

一高頻功率轉換器，其具有與該DC轉DC轉換器之該輸出連通的一輸入，該高頻功率轉換器經組態以在一輸出處提供自該DC高電壓導出之一高頻AC電壓；及

一串聯電感，其耦合在該高頻功率轉換器之該輸出與該至少一臭氧產生單元之間，該串聯電感與該至少一臭氧產生單元之一內部電容一起在該高頻AC電壓中形成一諧振，該諧振發生於該至少一臭氧產生單元之一較佳操作頻率範圍內。

12. 如請求項11之功率轉換器，其中對於藉由公用設施提供之AC電力之整流獲得的該未調節DC電壓，該DC高電壓介於約1 kV與約2 kV之間。

13. 如請求項11之功率轉換器，其中該DC轉DC轉換器及該高頻功率轉換器之各者包括各自複數個可控制開關，複數個可控制開關之各者係以一各自切換頻率操作。

14. 如請求項3之功率轉換器，其中該DC轉DC轉換器包括實際大小選擇成與該各自複數個可控制開關之該各自切換頻率成反比的一升壓變壓器。

15. 如請求項14之功率轉換器，其中該DC轉DC轉換器之該複數個可控制開關之該各自切換頻率大於約300 kHz。

16. 如請求項11之功率轉換器，其進一步包括：

一第一控制器，其具有：一感測輸入，其接收該DC轉DC轉換器之該DC高電壓輸出之一指示；一參考輸入，其經組態以接收一目標DC高電壓之一指示；及一控制輸出，其與該DC轉DC轉換器連通，該第一控制器經組態以回應於該目標DC高電壓及在該感測輸入處接收的該DC高電壓之一指示而調整該DC轉DC轉換器之操作；及

一第二控制器，其具有：一感測輸入，其經組態以接收供應給該至少一臭氧產生單元的一負載電壓及一負載電流之至少一者之一輸出指示；一參考功率輸入，其經組態以接收一操作負載功率指示；及一控制輸出，其與該高頻功率轉換器連通，該第二控制器經組態以回應於該經接收之操作負載功率指示以及該負載電壓及該負載電流之該至少一者之一指示而調整該高頻功率轉換器之操作。

17. 如請求項16之功率轉換器，其中該第二控制器包括與該第一控制器之該參考輸入連通的一目標DC高電壓輸出。

18. 如請求項16之功率轉換器，其中該第一控制器及該第二控制器之至少一者包括一相移零電壓開關脈寬調變器。

19. 如請求項12之功率轉換器，其中該臭氧產生單元之該較佳操作頻率介於約20 kHz與約40 kHz之間。

20. 如請求項12之功率轉換器，其進一步包括與該至少一臭氧產生

單元並聯耦合之一分流電容，可選擇該分流電容之一值以使添加或移除之臭氧產生單元之內部電容偏移，藉此保留該功率轉換器之一實質上恆定的無功負載。

21. 一種用於將電力供應給至少一臭氧產生單元之方法，其包括：

將一未調節DC電壓轉換成一經調節DC高電壓，該經調節DC高電壓之振幅實質上大於該未調節DC電壓之振幅；

回應於一DC高電壓參考輸入而控制該未調節DC電壓成爲該經調節DC高電壓之轉換；

將該DC高電壓轉換成一高頻AC電壓；及

回應於一負載功率參考輸入而控制該DC高電壓成爲高頻AC電壓之轉換，使得由該高頻AC電壓傳遞之電力在透過一串聯電感施加至至少一臭氧產生單元時對應於該負載功率參考輸入。

22. 如請求項21之方法，其中對於藉由公用設施提供之AC電力之整流獲得的該未調節DC電壓，該DC高電壓介於約1 kV與約2 kV之間。

23. 如請求項21之方法，其中切換該未調節DC電壓及該DC高電壓之一或多者包括：相移零電壓開關脈寬調變。

24. 一種用於供電給至少一臭氧產生單元之功率轉換器，其包括：

一整流器，其經組態以對一AC輸入電壓整流；

一匯流排電容器，其並聯耦合至該整流器，該匯流排電容器經組態以回應於經整流AC輸入電壓而產生一未調節DC電壓；

一功率轉換器，其耦合至該匯流排電容器且經組態以在耦合至至少一臭氧產生單元時回應於該未調節DC電壓而產生一高頻AC輸出電壓；

一第一感測器，其經組態以量測跨該匯流排電容器之一電壓；

一第二感測器，其經組態以量測該整流器與該匯流排電容器之間的一電流；及

一可控制限流電阻，其耦合在該整流器與該匯流排電容器之間，該可控制限流電阻亦與該第一感測器及該第二感測器之各者連通且經組態以在初始化期間提供一限流電阻並且在初始化後立即提供一實質上短路。

25. 如請求項24之功率轉換器，其中該可控制限流電阻包括與一可控制開關並聯耦合之一串聯電阻器，該可控制開關與該第一感測器及該第二感測器連通，在初始化期間斷開且在初始化後閉合。

26. 如請求項25之功率轉換器，其中該可控制開關包括一半導體裝置。

27. 如請求項25之功率轉換器，其中該串聯電阻器包括一正溫度係數(PTC)熱敏電阻。

28. 一種用於供電給至少一臭氧產生單元之方法，其包括：

對一AC輸入電壓整流；

藉由該經整流AC輸入電壓將一匯流排電容器充電至一DC操作電壓；

區分該匯流排電容器之一初始化狀態與該匯流排電容器之一初始化後狀態；及

回應於該經量測電壓及電流而改變一串聯電阻，該串聯電阻限制在初始化期間至該匯流排電容器之電流，否則在初始化後允許不限制電流。

29. 如請求項27之方法，其中區分初始化狀態與初始化後狀態之該動作包括：量測跨該匯流排電容器之一電壓及量測流動至該匯流排電容器中之一電流。

30. 如請求項27之方法，其中該區分動作包括：

量測跨該匯流排電容器之一電壓；

比較該量測電壓與一電壓臨限值；

量測流動至該匯流排電容器中之一電流；及

比較該量測電流與一電流臨限值，高於該臨限電壓之一量測電壓及低於該電流臨限值之該量測電流指示該初始化後狀態。

圖式

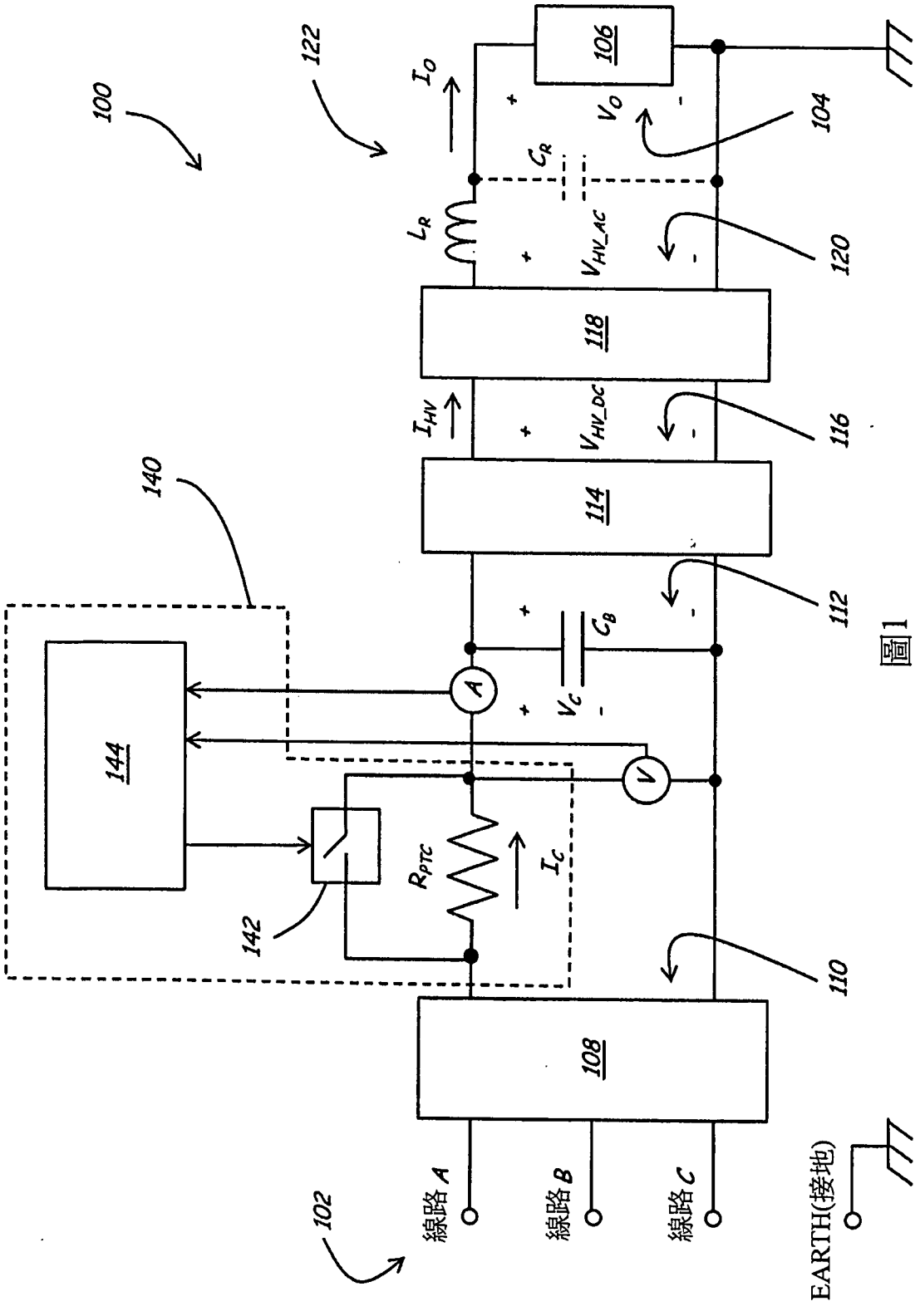

100
122
106
104
I_O
V_O
C_R
L_R
V_{HV_AC}
120
118
I_{HV}
V_{HV_DC}
116
114
140
112
C_B
V_C
A
V
144
142
R_{PTC}
I_C
110
108
102
線路 A
線路 B
線路 C
EARTH(接地)

圖1

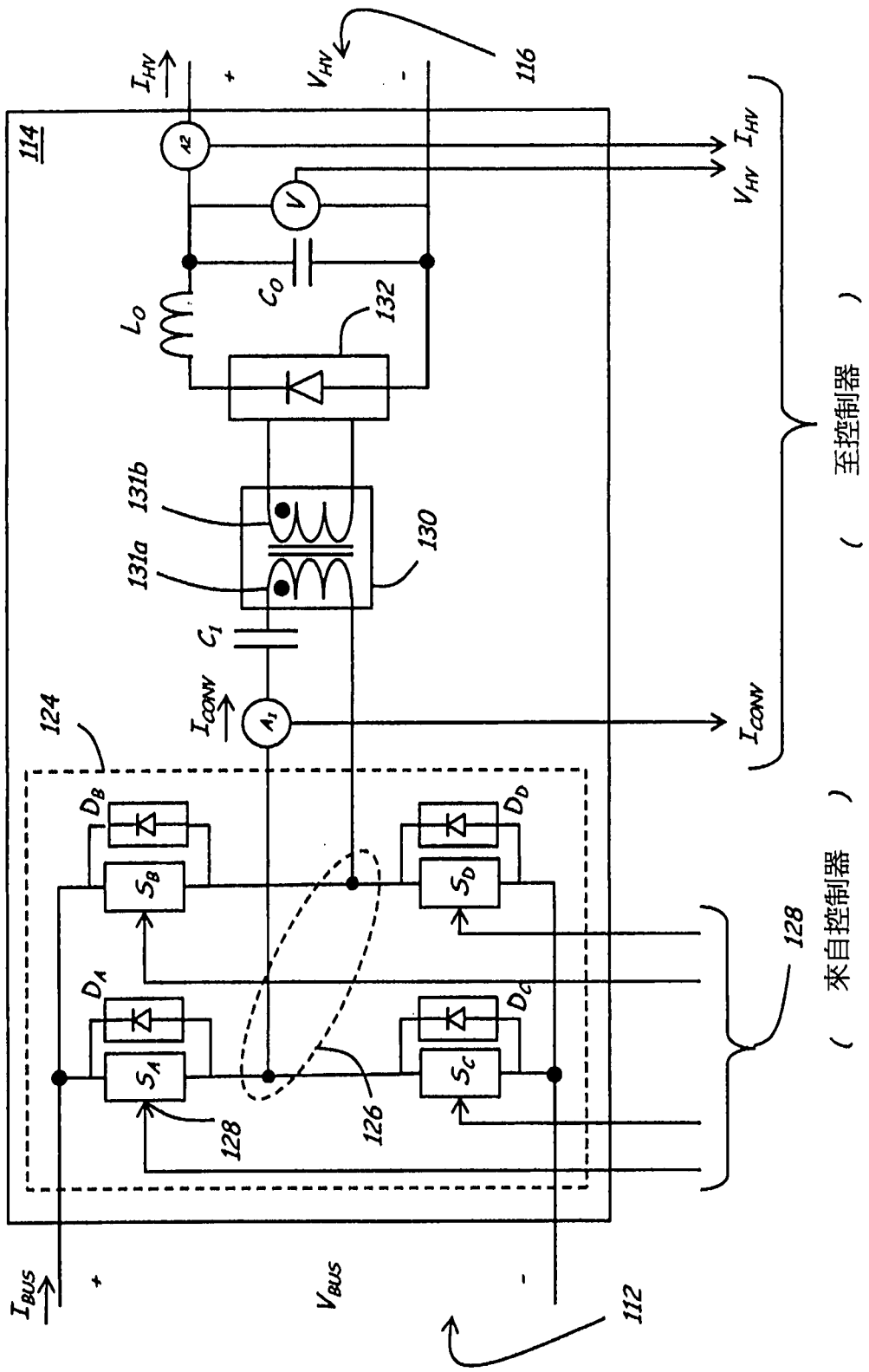

114
I_{HV}
V_{HV}
116
A2
V
L_O
C_O
132
131b
131a
130
C_1
I_{CONV}
A1
124
D_B
S_B
D_D
S_D
D_A
S_A
D_C
S_C
128
126
128
I_{BUS}
+
V_{BUS}
-
112
V_{HV} I_{HV}
I_{CONV}
(至控制器)
(來自控制器)

圖2

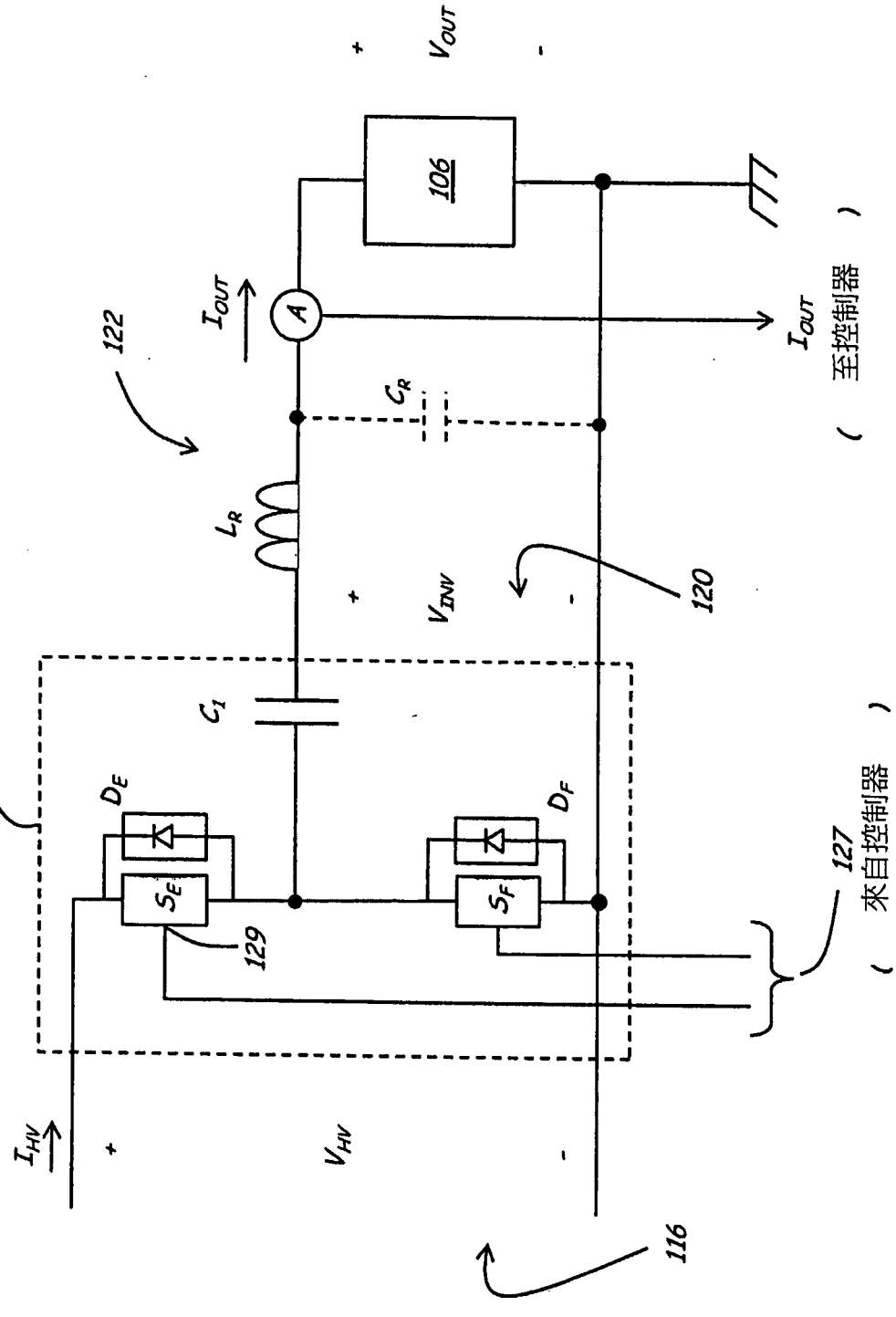

106
V_{OUT}
I_{OUT}
A
122
C_R
L_R
V_{INV}
120
C_1
118
D_E
D_F
S_E
S_F
129
127
來自控制器
至控制器
I_{HV}
V_{HV}
116

圖3

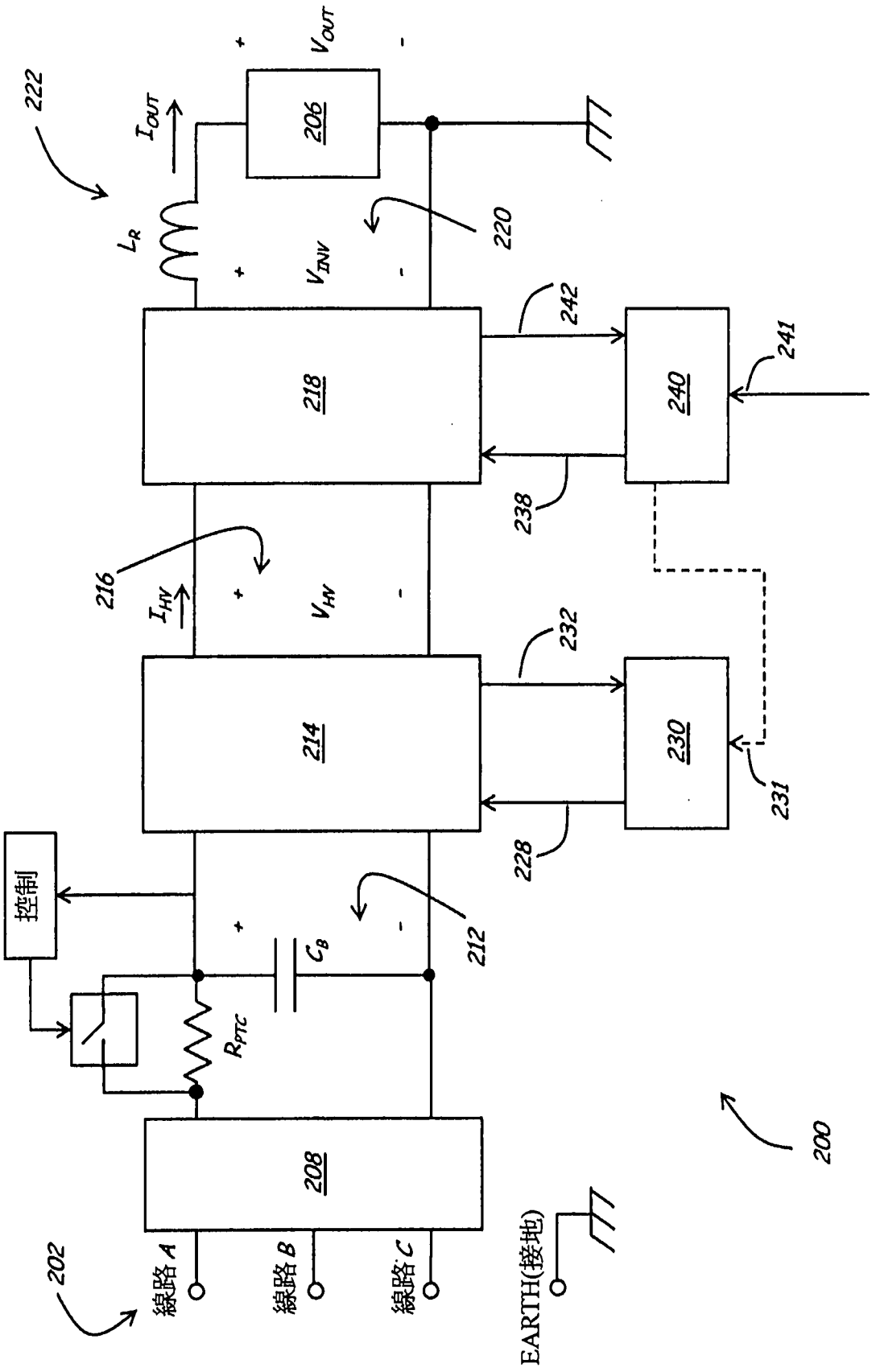

222
I_{OUT}
206
V_{OUT}
L_R
V_{INV}
220
218
242
240
241
238
216
I_{HV}
V_{HV}
232
214
230
231
228
控制
C_B
212
R_{PTC}
208
202
線路 A
線路 B
線路 C
EARTH(接地)
200

圖4

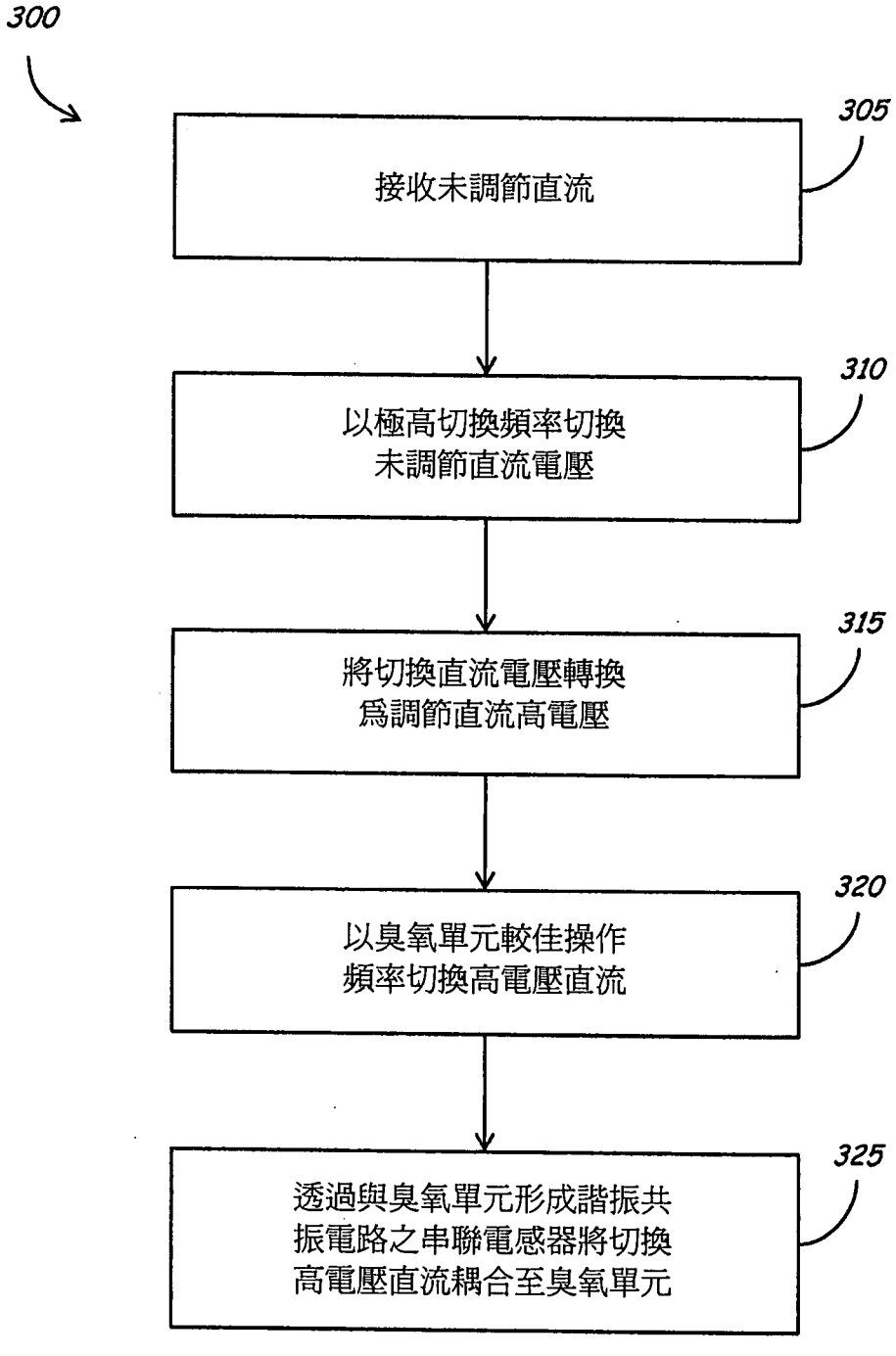

300
305
接收未調節直流
310
以極高切換頻率切換
未調節直流電壓
315
將切換直流電壓轉換
爲調節直流高電壓
320
以臭氧單元較佳操作
頻率切換高電壓直流
325
透過與臭氧單元形成諧振共
振電路之串聯電感器將切換
高電壓直流耦合至臭氧單元

圖5

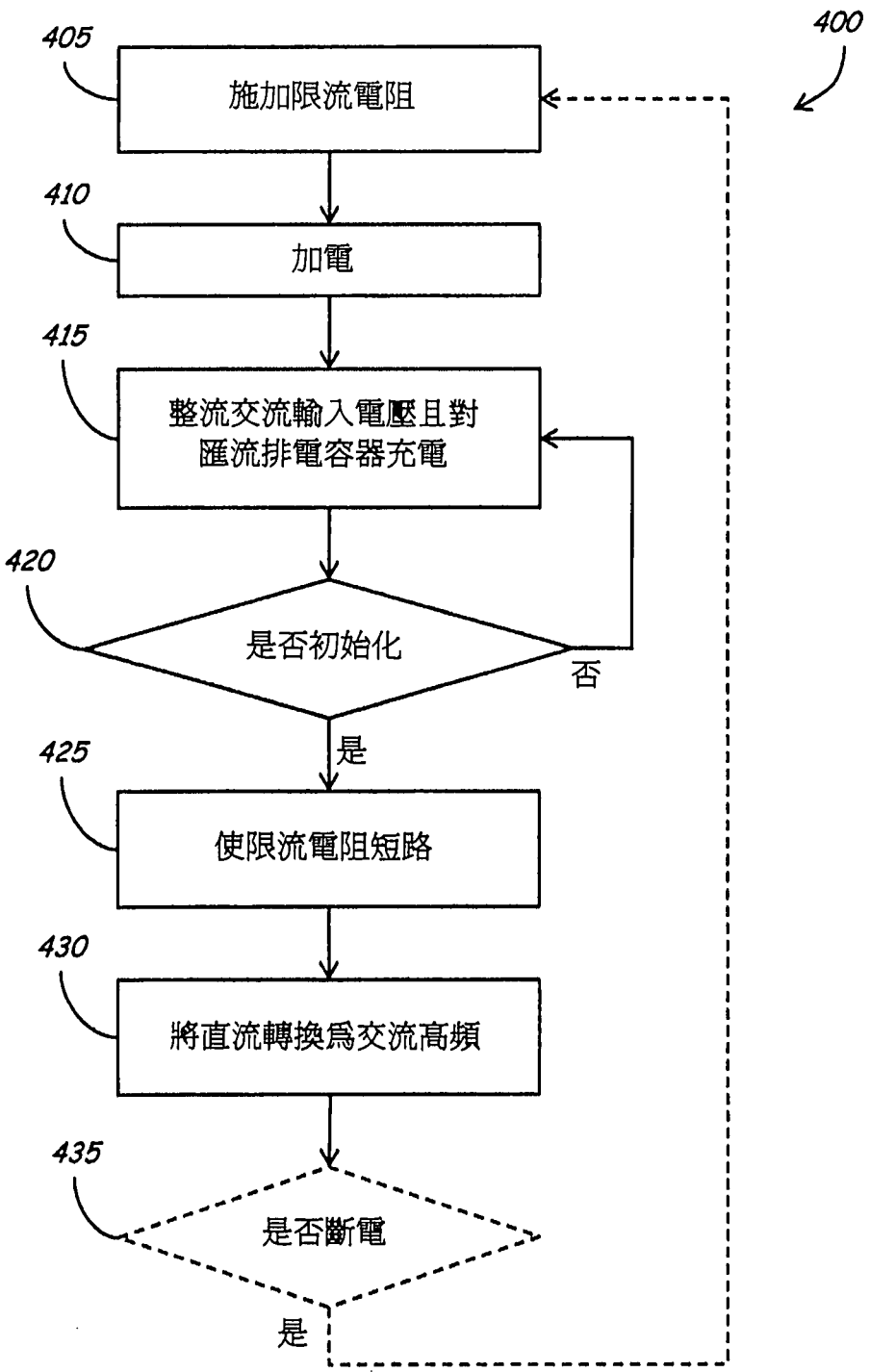

400
405
施加限流電阻
410
加電
415
整流交流輸入電壓且對
匯流排電容器充電
420
是否初始化
否
是
425
使限流電阻短路
430
將直流轉換爲交流高頻
435
是否斷電
是

圖6

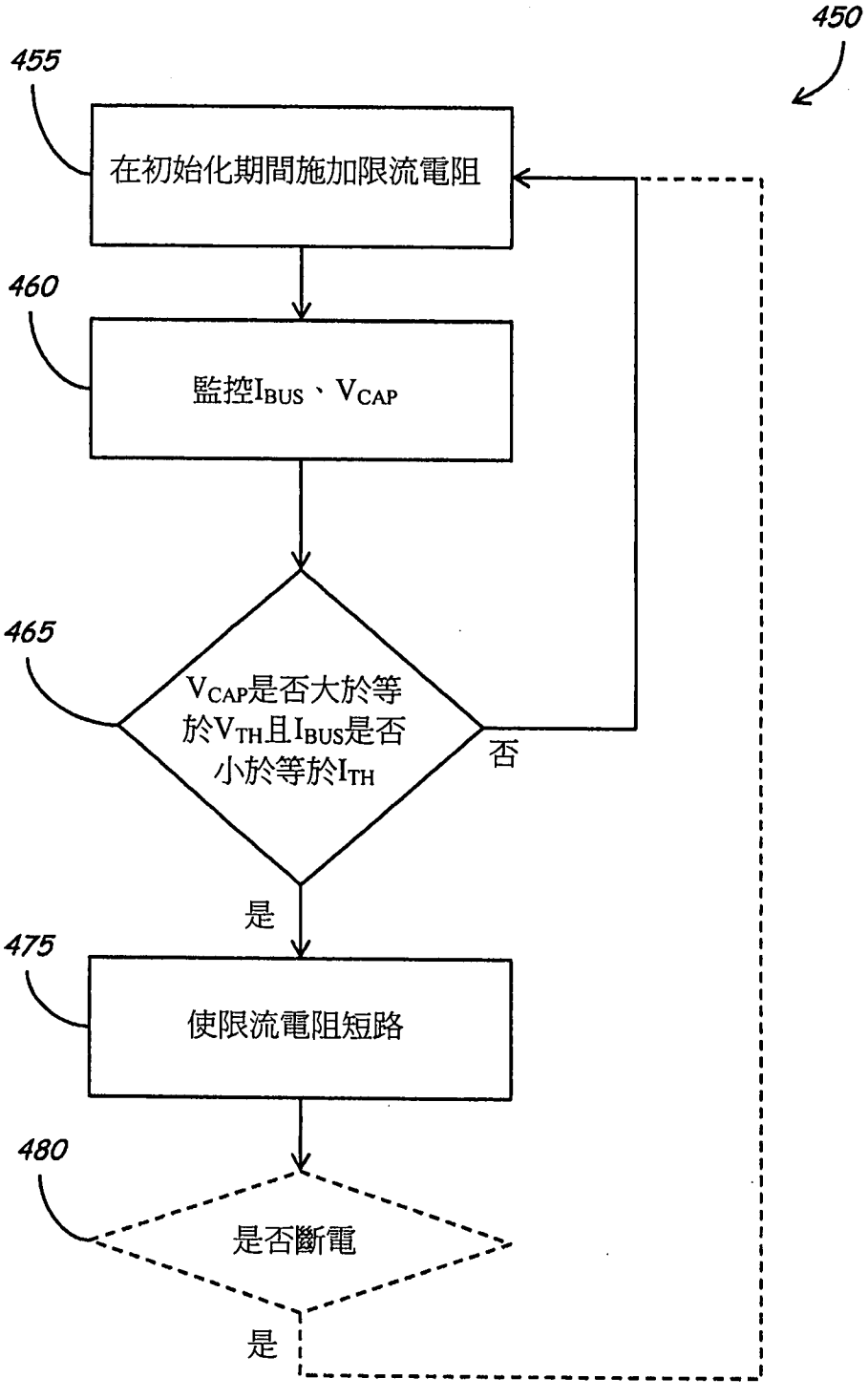

450
455
在初始化期間施加限流電阻
460
監控I_{BUS}、V_{CAP}
465
V_{CAP}是否大於等於V_{TH}且I_{BUS}是否小於等於I_{TH}
否
是
475
使限流電阻短路
480
是否斷電
是

圖7

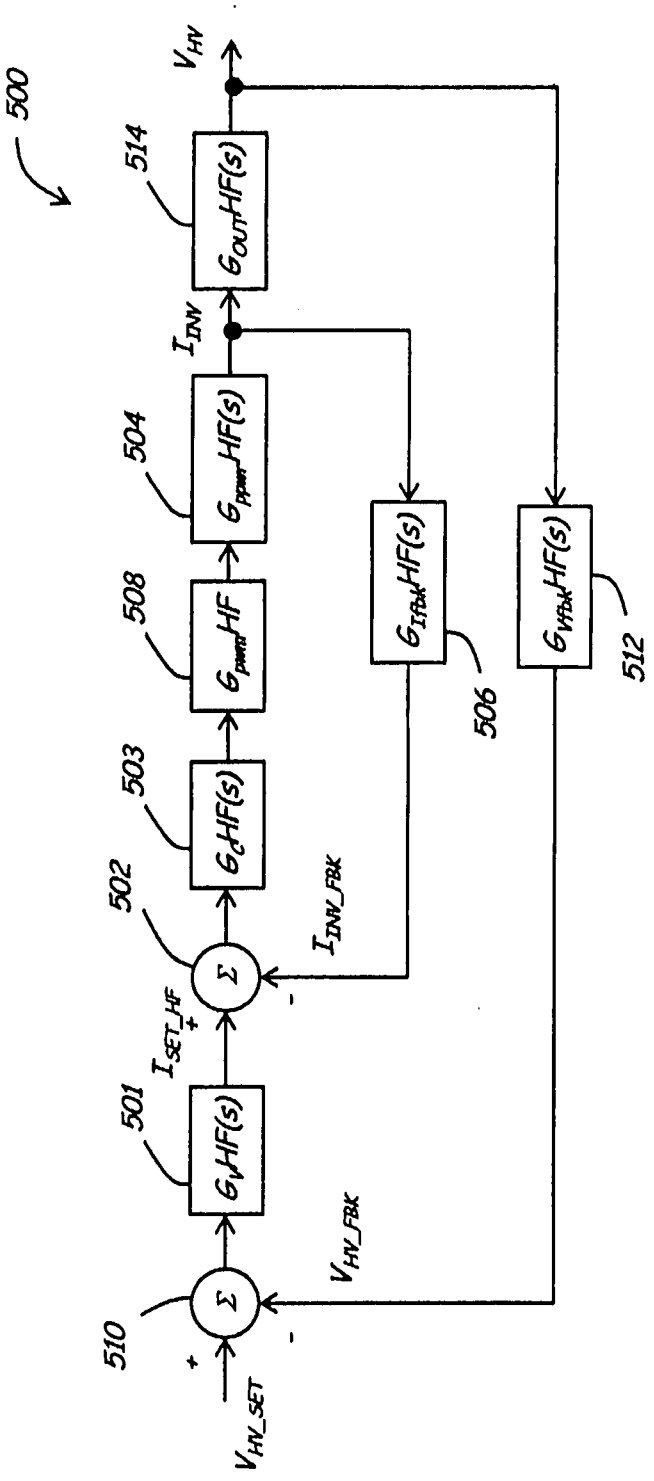

500
510
501
$G_V HF(s)$
I_{SET_HF}
502
503
$G_C HF(s)$
$G_{pwm} HF$
508
504
$G_{ppwr} HF(s)$
I_{INV}
514
$G_{OUT} HF(s)$
V_{HV}
V_{HV_SET}
V_{HV_FBK}
I_{INV_FBK}
506
$G_{IFbk} HF(s)$
512
$G_{VFbk} HF(s)$

圖8A

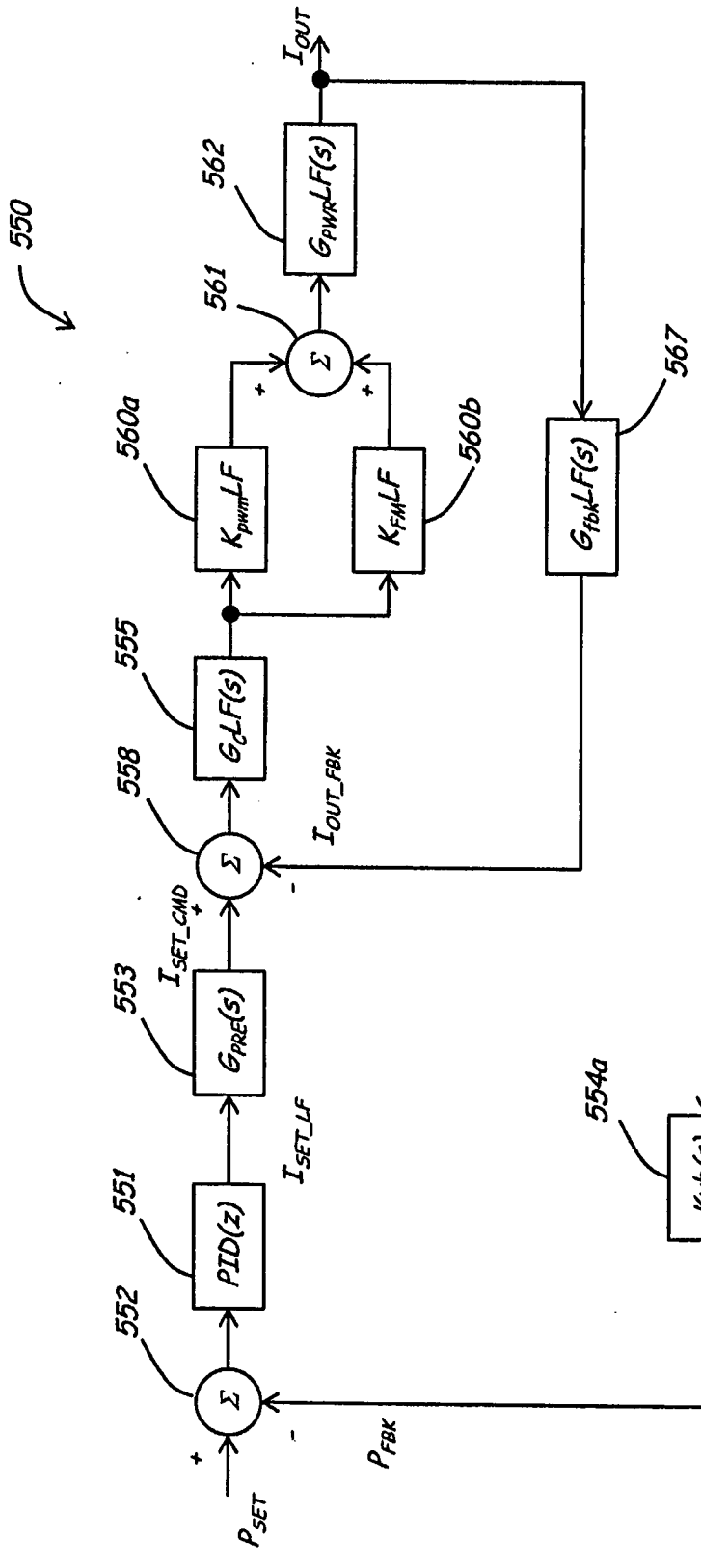

550
562
$G_{PWR}LF(s)$
I_{OUT}
561
Σ
560a
$K_{pwm}LF$
$K_{FM}LF$
560b
567
$G_{fbk}LF(s)$
555
$G_cLF(s)$
558
Σ
I_{OUT_FBK}
I_{SET_CMD}
553
$G_{PRE}(s)$
I_{SET_LF}
551
PID(z)
552
Σ
P_{SET}
P_{FBK}
554a
Kvb(s)
V_{HV}
554b
Kib(s)
I_{HV}
X
556

圖8B

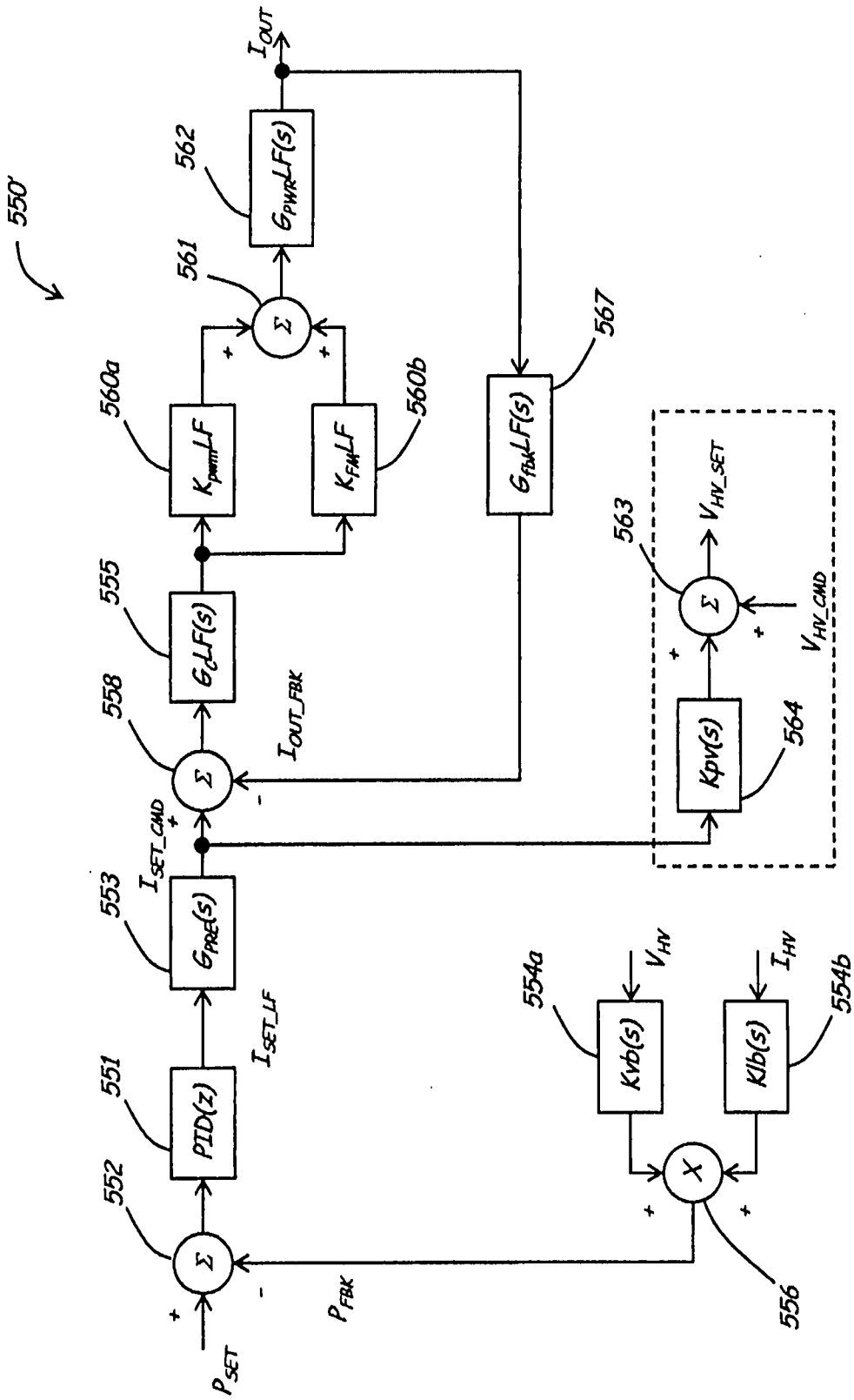

550'
552
551
553
554a
554b
555
556
558
560a
560b
561
562
563
564
567
PID(z)
GPRE(s)
GcLF(s)
KpwmLF
KFMLF
GPWRLF(s)
GFBKLF(s)
Kvb(s)
Klb(s)
Kpv(s)
PSET
PFBK
ISET_LF
ISET_CMD
IOUT_FBK
IOUT
VHV
IHV
VHV_SET
VHV_CMD

圖8C