



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I807257 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 07 月 01 日

(21)申請案號：110105564

(22)申請日：中華民國 110 (2021) 年 02 月 18 日

(51)Int. Cl. : **H01J37/32 (2006.01)**

(30)優先權：2020/05/29 美國 16/887,346

(71)申請人：美商MK S 儀器公司(美國) MKS INSTRUMENTS, INC. (US)
美國

(72)發明人：菲斯克 賴瑞 J 二世 FISK, LARRY J. II (US)；吉特琳 班傑明 J GITLIN, BENJAMIN J. (US)；歐傑 馬里烏什 OLDZIEJ, MARIUSZ (US)；巴里 亞倫 M BURRY, AARON M. (US)；哈林頓 馬修 G HARRINGTON, MATTHEW G. (US)；拉多姆斯基 亞倫 T RADOMSKI, AARON T. (US)

(74)代理人：張仲謙

(56)參考文獻：

TW 200836595A

TW 200935988A

TW 201503212A

TW 201811122A

CN 102630337A

審查人員：曾宏仁

申請專利範圍項數：24 項 圖式數：9 共 41 頁

(54)名稱

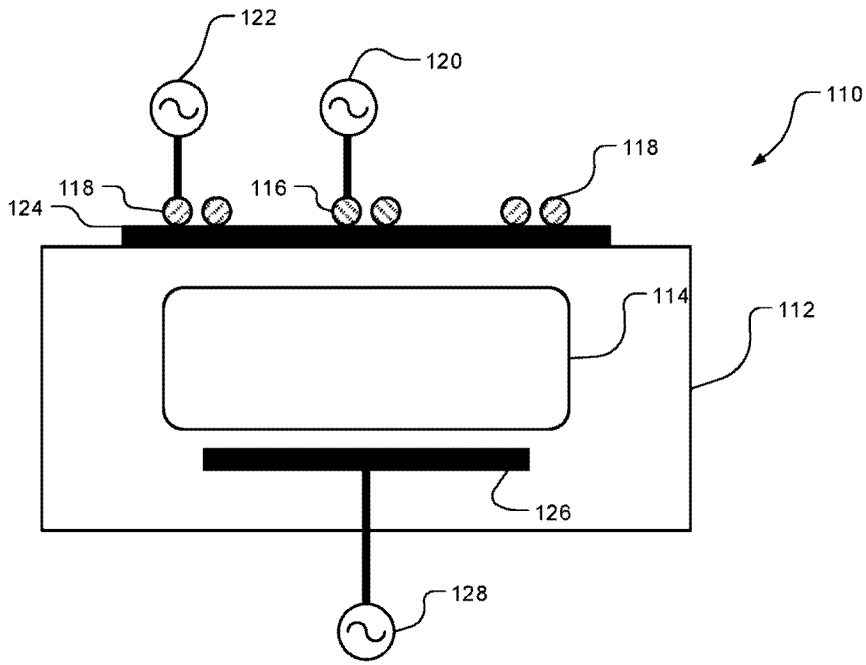
電弧檢測系統、用於電弧檢測的射頻功率產生器系統及在非線性負載中檢測電弧的方法

(57)摘要

本發明係提供一種用於射頻電源供應器系統的電弧檢測器，其中射頻電源供應器系統包含第一射頻電源供應器及第二射頻電源供應器。施加至非線性負載的訊號係根據來自第一射頻電源供應器及第二射頻電源供應器中的一個的輸出而變化。此訊號具有一頻率。在非線性負載的電弧或電弧情況下，此訊號的頻率會發生變化，並且如果此頻率在選定範圍之外，則會指示電弧或電弧情況。可以透過將此訊號數位化為一系列的脈衝並測量脈衝之間的時間或間隔以確定此頻率。

An arc detector for a RF power supply system, where the RF power supply includes a first RF power supply and a second RF power supply. A signal applied to a non-linear load varies in accordance with an output from one of the first RF power supply or the second RF power supply. The signal has a frequency. During an arc or arc condition in the non-linear load, the frequency of the signal changes. And if the frequency is outside of a selected range, an arc or arc condition is indicated. The frequency can be determined by digitizing the signal into a series of pulses and measuring a time or period between pulses.

指定代表圖：



符號簡單說明：

110:電感耦合電漿系統

112:電漿腔室

114:電漿

116,118:線圈

120,122,128:電源

124:介電窗

126:基板

第 1 圖

**公告本**

I807257

【發明摘要】

【中文發明名稱】 電弧檢測系統、用於電弧檢測的射頻功率產生器系統及在非線性負載中檢測電弧的方法

【英文發明名稱】 AN ARC DETECTION SYSTEM, RF POWER GENERATOR SYSTEM FOR ARC DETECTION, AND A METHOD FOR ARC DETECTION IN A NON-LINEAR LOAD

【中文】

本發明係提供一種用於射頻電源供應器系統的電弧檢測器，其中射頻電源供應器系統包含第一射頻電源供應器及第二射頻電源供應器。施加至非線性負載的訊號係根據來自第一射頻電源供應器及第二射頻電源供應器中的一個的輸出而變化。此訊號具有一頻率。在非線性負載的電弧或電弧情況下，此訊號的頻率會發生變化，並且如果此頻率在選定範圍之外，則會指示電弧或電弧情況。可以透過將此訊號數位化為一系列的脈衝並測量脈衝之間的時間或間隔以確定此頻率。

【英文】

An arc detector for a RF power supply system, where the RF power supply includes a first RF power supply and a second RF power supply. A signal applied to a non-linear load varies in accordance with an output from one of the first RF power supply or the second RF power supply. The signal has a frequency. During an arc or arc condition in the non-linear load, the frequency of the signal changes. And if the frequency is outside of a selected range, an arc or arc condition is indicated. The frequency can be determined by digitizing the signal into a series of pulses and measuring a time or period between pulses.

【指定代表圖】 第1圖

第 1 頁，共 2 頁(發明摘要)

【代表圖之符號簡單說明】

110:電感耦合電漿系統

112:電漿腔室

114:電漿

116,118:線圈

120,122,128:電源

124:介電窗

126:基板

【發明說明書】

【中文發明名稱】 電弧檢測系統、用於電弧檢測的射頻功率產生器系統及在非線性負載中檢測電弧的方法

【英文發明名稱】 AN ARC DETECTION SYSTEM, RF POWER GENERATOR SYSTEM FOR ARC DETECTION, AND A METHOD FOR ARC DETECTION IN A NON-LINEAR LOAD

【技術領域】

【0001】 本揭露涉及一種交流(Alternating Current, AC)電源供應器系統以及透過監視偏產生器的輸出訊號以檢測非線性負載中的電弧。

【先前技術】

【0002】 提供於此的先前技術說明是為了總體上呈現本案的內容。目前所列發明人的研發成果，或可能在此先前技術部分中描述，其與在實施方式中描述的在申請時不構成先前技術的實施態樣相同，皆非明示或暗示申請人承認先前技術部分之記載內容可作為核駁本案的習知技術。

【0003】 電漿蝕刻經常用於半導體製造中。在電漿蝕刻中，離子透過電場加速以蝕刻基板上的裸露表面。在一種基本的實施方式中，電場可基於透過功率輸送系統的各別的射頻(Radio Frequency, RF)或直流(Direct Current, DC)產生器的RF或DC功率訊號而產生。為有效執行電漿蝕刻，必須精確地控制產生器所產生的功率訊號。

【發明內容】

【0004】 一種電弧檢測系統，其包含位準檢測器模組。位準檢測器模組根據施加至非線性負載的交流訊號以產生位準訊號。位準訊號根據交流訊號的大小而包含第一狀態及第二狀態中的至少一個。電弧檢測系統也包含計時模組。計時模組接收位準訊號並根據位準訊號的第一狀態或第二狀態的持續時間以產生計時訊號，其中，當計時訊號滿足選定標準時，指示非線性負載中的電弧情況。

【0005】 一種射頻功率產生器系統，其包含產生第一射頻訊號至非線性負載的第一射頻電源、產生第二射頻訊號至負載的第二射頻電源、以及接收根據第一射頻訊號而變化的感測訊號的電弧檢測器。電弧檢測器判斷感測訊號的頻率是否小於第一選定閾值或大於第二選定閾值。當感測訊號的頻率小於第一選定閾值或大於第二選定閾值時，電弧檢測器指示電弧情況。

【0006】 一種用於檢測非線性負載中的電弧的方法，其包含檢測施加至負載的交流訊號。此方法包含確定施加至負載的交流訊號的頻率。如果頻率滿足選定標準，則此方法指示電弧情況或電弧。

【0007】 根據詳細說明、申請專利範圍及圖式，本揭露進一步的應用領域將更加顯而易見。詳細說明及特定實施例旨在用於說明目的，並非旨在限制本揭露的範圍。

【圖式簡單說明】

【0008】 透過下文中的詳細說明及所附圖式，將可以更充分地理解本揭露。

第1圖為電感耦合電漿系統的示意圖；

第2圖為電容耦合電漿系統的示意圖；

第3圖為根據本揭露的各種實施例配置的具有多個電源供應器的功率輸送系統的示意圖；

第4圖為射頻訊號的波形及調變射頻訊號的脈衝的示意圖；

第5A圖至第5C圖為根據本揭露配置的雙射頻產生器功率輸送系統的波形的示意圖；

第6圖為根據各種實施例的基於轉換為二進制訊號的輸入訊號以確定頻率的功能方塊圖；

第7圖為使用類比數位轉換器以根據輸入訊號以確定頻率的功能方塊圖；

第8圖為根據各種實施例配置的例示性控制模組的功能方塊圖；以及

第9圖為根據本揭露的原理配置的控制系統的操作流程圖。

【0009】 在圖式中，元件符號可以重複使用以標示相似及/或相同的元件。

【實施方式】

【0010】 電源系統可以包含射頻功率產生器、匹配網路及負載(例如，非線性負載、處理腔室、電漿腔室或者具有固定或可變阻抗的反應器)。功率產生器產生射頻功率訊號，其由匹配網路或者阻抗最佳化控制器或電路接收。匹配網路或者阻抗最佳化控制器或電路將匹配網路的輸入阻抗及功率產生器與匹配網路之間的傳輸線的特性阻抗進行匹配。阻抗匹配有助於最大化傳輸至匹配網路的功率(「正向功率(forward power)」)及最小化從匹配網路反射回電源產生器的功率(「反向功率(reverse power)」)。當匹配網路的輸入阻抗與傳輸線的特性阻抗匹配時可以最大化正向功率並且可以最小化反向功率。

【0011】 在射頻電源或電源供應的領域中，通常有兩種將功率訊號施加至負載的方法。第一種較傳統的方法為施加連續的功率訊號至負載。在連續模式或連續波模式下，連續功率訊號通常為恆定的正弦射頻功率訊號，其透過電源連續地輸出至負載。在連續模式方法中，功率訊號呈現恆定的正弦輸出，並且可以改變功率訊號的振幅及/或(射頻功率訊號的)頻率，以改變施加至負載的輸出功率。

【0012】 第二種施加功率訊號至負載的方法包含使用脈衝射頻訊號，而非施加連續的射頻訊號至負載。在脈衝模式的操作中，射頻訊號透過調變訊號以進行調變，以定義用於調變功率訊號的包絡(envelope)。射頻訊號可以為，例如正弦射頻訊號或其他隨時間變化的訊號。傳輸至負載的功率通常隨著調變訊號而變化。調變訊號可以具有任意數量的形狀，其包含方波、具有不同振幅的多個狀態的方波、或者具有一或多個狀態或部分的其他波形。

【0013】 在典型的電源供應器配置中，使用感測器以確定施加至負載的輸出功率，此感測器測量施加至負載的射頻訊號的正向及反射功率或者電壓及電流。這些訊號中的任意一組皆在控制迴路中進行分析。此分析通常用以確定用於調節電源供應器的輸出的功率值，以改變施加至負載的功率。在負載為處理腔室或其他非線性負載又或者隨時間變化的負載的功率輸送系統中，負載的變化阻抗將造成施加至負載的功率發生對應的變化，因為所施加的功率係部分地為負載的阻抗的函數。

【0014】 在各種設備的製造依賴於向負載引入功率以控制製造過程的系統中，通常以兩種配置中的一種來輸送電力。在第一配置中，電源係電容耦合至負載。此類系統稱為電容耦合電漿(Capacitively Coupled Plasma, CCP)系統。在第二配置中，電源係電感耦合至負載。此類系統稱為電感耦合電漿(Inductively Coupled Plasma, ICP)系統。電源耦合至電漿也可以透過微波頻率下的波耦合

(Wave Coupling)來實現。這種方法通常使用電子迴旋共振(Electron Cyclotron Resonance, ECR)或微波源。螺線管源(Helicon Sources)為波耦合源的另一種形式，且通常以類似於傳統的ICP及CCP系統的射頻頻率工作。功率輸送系統可以包含施加至負載的一個或複數個電極的偏置功率(Bias Power)及/或源功率(Source Power)。源功率通常用來產生電漿並控制電漿密度，而偏置功率用來在包含電漿的鞘層形成過程中的離子進行調變。根據各種設計考量，偏置功率及源功率可以共用相同的電極或者可以使用單獨的電極。

【0015】 當功率輸送系統對時變或非線性負載，例如處理腔室、電漿腔室或反應器，進行驅動時，電漿體鞘層所吸收的功率將產生具有一定範圍離子能量的離子密度。離子能量的一種特性測量為離子能量分佈函數(Ion Energy Distribution Function, IEDF)。可以透過偏置功率以控制IEDF。透過改變與頻率及相位相關的多個射頻訊號，可以作為控制用於將多個射頻功率訊號施加至負載的系統的IEDF的一種方式。可以鎖定多個射頻訊號之間的頻率，並且同樣可以鎖定多個射頻訊號之間的相對相位。此系統的實施例可以參照美國專利案號第7,602,127號、美國專利案號第8,110,991號以及美國專利案號第8,395,322號，其全部內容轉讓給本申請案的申請人，並且透過引用將其全部內容併入本申請案中。

【0016】 時變或非線性負載可以存在於各種應用中。在一種應用中，電漿處理系統同樣可以包含用於電漿產生及控制的組件。一種這樣的組件為實現為諸如電漿腔室或反應器等的處理腔室的非線性負載。在電漿處理系統中使用的典型的電漿腔室或反應器，例如用於薄膜製造的，可以使用雙電源系統。一個功率產生器(源(the source)功率)控制電漿的產生，另一功率產生器(偏置(the bias)功率)控制離子能量。雙電源系統的實施例包含在上文中所引用的美國專利案號第7,602,127號、美國專利案號第8,110,991號以及美國專利案號第8,395,322號中

第 5 頁，共 26 頁(發明說明書)

所述的系統。在上述參考專利中所說明的雙電源系統需要閉迴路控制系統以適應電源供應器操作，以控制離子密度及其相應的IEDF。

【0017】 目前存在多種用於控制處理腔室的方法，例如可以用於產生電漿的方法。舉例來說，在射頻功率輸送系統中，在相同或相近的頻率運作的多個驅動射頻訊號的相位及頻率可以用於控制電漿的產生。對於射頻驅動電漿源，影響電漿鞘層動力學及對應的離子能量的週期波形通常為已知的，並且透過週期波形的頻率及對應的相位相互作用以進行控制。射頻功率傳輸系統中的另一種方法涉及雙頻率控制。也就是說，在不同的頻率下運作的兩個射頻頻率源用於向電漿腔室供電，以提供對離子及電子密度的實質上獨立的控制。

【0018】 另一種方法為使用寬頻射頻電源(Wideband RF Power Source)以驅動電漿腔室。寬頻方法存在某些挑戰。其中一個挑戰為將功率耦合至電極。第二個挑戰為，為產生的波形至所需IEDF的實際鞘層電壓制定相應的移轉函數時，該移轉函數必須要滿足泛用性(Wide-Process Space)以支援材料表面的相互作用。在電感耦合電漿系統中的一種因應方法中，控制施加至源電極的功率以控制電漿密度，同時控制施加至偏置電極的功率以調變離子以控制IEDF提供蝕刻速率控制。透過使用源電極及偏壓電極的控制，可以透過離子密度及能量控制蝕刻速率。

【0019】 隨著積體電路及裝置製造的不斷進步，用於控制製造過程的功率要求也在不斷發展。舉例來說，隨著記憶體裝置的製造，對偏置功率的要求也不斷地增加。增加的功率會產生更高能的離子且加快表面的交互作用，從而增加離子的蝕刻速率及方向性。在射頻系統中，增加的偏置功率有時伴隨著較低的偏置頻率要求，以及耦合至電漿腔室中產生的電漿鞘層的偏置功率源的數量增加。較低偏置頻率下的功率增加以及偏置功率源的數量增加將導致鞘層調變

產生交互調變失真(Intermodulation Distortion, IMD)。IMD發射可能顯著地降低造成電漿產生的源所傳輸的功率。

【0020】 在2013年3月15號所提交的名稱為「透過監視另一頻帶的功率的脈衝同步(Pulse Synchronization by Monitoring Power in Another Frequency Band)」之第13/834,786號美國申請案，其轉讓給本申請案的申請人，並且透過引用將其全部內容併入本申請案中，其說明了一種透過監視另一個頻帶中的功率的脈衝同步方法。在參考的美國專利申請案中，根據在第二射頻產生器所檢測到第一射頻產生器的脈衝以控制第二射頻產生器的脈衝，進而使得兩個射頻產生器之間的脈衝同步。

【0021】 在射頻產生器提供一或多個射頻訊號至電漿腔室或負載的電漿蝕刻應用中，有時會產生電漿的電弧。在電漿腔室中的產生電弧的原因包含工作服務的污染或碎屑或者電壓超過容許極限。這樣的電弧可能對電漿腔室中的卡盤或晶片有害，並且可能影響向電漿腔室供電的射頻產生器的操作。由於相對於典型的電壓及電流感測裝置及處理而言，電弧發生相對地較快，因此有賴於高速(Significant Speed)的電弧檢測方法以便即時指示電弧情況(Arc Condition)。

【0022】 當前的電弧檢測方法包含在源功率產生器處使用電壓/電流探針或者方向性耦合器以監視反射功率。電壓或電流探針將感測反射訊號的變化率，例如反射電壓、電流或功率。在典型的射頻功率傳輸系統中，相較於源射頻產生器，低頻偏置射頻產生器以相對較低的頻率工作，其導致在沒有電弧的情況下源將承受相對較高的反射功率。相應地，當在源射頻產生器處檢測到電弧時，必須將指示電弧情況的檢測閾值設置的較高，以避免假電弧指示。此外，這樣的方法可能相對較慢並且需要複雜的處理，其導致系統的總成本增加。由於電弧檢測的挑戰，部分系統配置為省略電弧檢測。

【0023】第1圖為電感耦合電漿(ICP)系統110的例示性示意圖。電感耦合電漿系統110包含諸如反應器、電漿反應器或電漿腔室112的非線性負載以產生電漿114，其中反應器、電漿反應器及電漿腔室在本文中將交互使用。電壓或電流形式的功率透過一對線圈施加至電漿腔室112，此對線圈包括線圈組件，其在各種實施例中包含內部線圈116及外部線圈118。功率透過射頻功率產生器或電源120施加至內部線圈116，並且功率透過射頻功率產生器或電源122施加至外部線圈118。線圈116及118安裝至介電窗124，以幫助將功率耦合至電漿腔室112。基板126放置在電漿腔室112中，並且通常形成作為電漿操作的對象的工件。射頻功率產生器、電源供應器或電源128(這些術語在本文中交互使用)透過基板126以施加功率至電漿腔室112。在各種配置中，電源120及122提供源電壓或電流以激發(Ignite)或產生電漿114或者控制電漿密度。同樣在各種配置中，電源128提供調變離子的偏置電壓或電流以控制電漿114的離子能量或離子密度。在各種實施例中，電源120及122被鎖定以在相同的頻率、電壓及電流下以固定或變化的相對相位進行操作。在各種其他實施例中，電源120及122可以在不同的頻率、電壓及電流下進行操作。

【0024】第2圖為電容耦合電漿(CCP)系統210的例示性示意圖。電容耦合電漿系統210包含用於產生電漿214的電漿腔室。放置在電漿腔室212中的一對電極216、218連接至各別的射頻產生器或電源220、222。在各種實施例中，電源220提供源電壓或電流以激發或產生電漿214或者控制電漿密度。在各種實施例中，電源222提供調變電漿中的離子的偏置電壓或電流以控制電漿214的離子能量及/或離子密度。在各種射頻實施例中，當電源220、222在調和相關(Harmonically Related)時，電源220、222以相對相位進行操作。在各種其他實施例中，電源220、222在不同的頻率、電壓及電流下以固定或變化的相對相位進

行操作。同樣在各種實施例中，電源220、222可以連接至相同的電極，同時相對電極接地或者連接至第三射頻功率產生器(未示出)。

【0025】 第3圖繪示了射頻產生器或電源供應器系統310。電源供應器系統310包含一對射頻(Radio Frequency, RF)產生器或電源供應器312a、312b、匹配網路318a、318b及負載322，例如非線性負載、電漿腔室、處理腔室等。在各種實施例中，射頻產生器312a被稱作源射頻產生器或電源供應器，並且匹配網路318a被稱作源匹配網路。同樣在各種實施例中，射頻產生器312b被稱作偏置射頻產生器或電源供應器，並且匹配網路318b被稱作偏置匹配網路。可以理解的是，可以使用元件符號以單獨地或共同地標示這些組件，而無需使用字母下標或角分符號。

【0026】 在各種實施例中，源射頻產生器312a在輸入埠360處接收來自匹配網路318b、偏置射頻產生器312b的偏置感測鏈結330，或者來自偏置射頻產生器312b的偏置感測鏈結330'。如將在下文中更詳細說明的，偏置感測鏈結330或330'為輸入至源射頻產生器312a的輸入訊號，其指示偏置射頻產生器312b的一個或多個操作特徵或參數。在各種實施例中，偏置感測器或檢測器334感測從匹配網路318b輸出至負載332的射頻訊號，並且透過偏置感測鏈結330輸出感測訊號或偏置感測訊號至偏置射頻產生器312a。在各種實施例中，偏置感測鏈結330'可以從射頻產生器312b輸出至射頻產生器312a，而非偏置感測鏈結330。透過偏置感測鏈結330、330'傳輸的訊號之間的差異可能是由匹配網路318b的效果所造成的，匹配網路318b可以改變來自匹配網路318b的輸入訊號與輸出訊號之間的相位。在各種實施例中，偏置感測鏈結330、330'傳送關於偏置射頻產生器312b的操作的資訊，其包含施加至負載332的射頻訊號的頻率，此資訊能夠檢測負載332中的電弧。

【0027】 射頻產生器312a、312b包含各別的射頻放大器或射頻電源314a、314b、感測器316a、316b以及處理器、控制器或控制模組320a、320b。射頻電源314a、314b產生輸出至各別的感測器316a、316b的各別的射頻電源訊號322a、322b。感測器316a、316b接收射頻電源314a、314b的輸出並且產生各別的射頻電源訊號或射頻電源訊號 f_1 、 f_2 。感測器316a、316b進一步輸出根據從負載332感測到的各種參數而變化的訊號。雖然感測器316a、316b示出為在各別的射頻電源供應器(射頻產生器312a、312b)內，但是感測器316a、316b可以位於射頻電源供應器(射頻產生器312a、312b)的外部。這種外部感測可以發生在射頻產生器的輸出、射頻產生器與負載之間的阻抗匹配裝置的輸入或者阻抗匹配裝置的輸出(包含在阻抗匹配裝置內)與負載之間。

【0028】 感測器316a、316b檢測負載322的操作參數以及輸出X訊號324a、324b及Y訊號326a、326b。感測器316a、316b可以包含電壓感測器、電流感測器及/或方向性耦合器感測器。感測器316a、316b可以檢測(i)電壓V及電流I及/或(ii)從各別功率放大器(射頻電源314a、314b)及/或射頻電源供應器(射頻產生器312a、312b)輸出的正向功率 P_{FWD} 以及從連接至各別的感測器316a、316b的各別的匹配網路318a、318b或負載332接收的反向或反射功率 P_{REV} 。電壓V、電流I、正向功率 P_{FWD} 及反向功率 P_{REV} 可以為與各別的射頻電源314a、314b相關聯的實際電壓、電流、正向功率及反向功率的按比例縮放及/或濾波的版本。感測器316a、316b可以為類比及/或數位感測器。在數位的實施方式中，感測器316a、316b可以包含具有對應採樣率的類比數位(Analog-to-Digital, A/D)轉換器及訊號取樣組件。X訊號324a、324b及Y訊號326a、326b可以代表電壓V、電流I、正向(或源)功率或 P_{FWD} 及反向(或反射)功率 P_{REV} 中的任意一個。

【0029】 感測器316a、316b產生感測X訊號324a、324b及Y訊號326a、326b，其由各別控制器或功率控制模組320a、320b所接收。功率控制模組320a、320b

處理各別的X訊號324a、324b及Y訊號326a、326b，並且產生一個或複數個回饋控制訊號328a、328b至各別的射頻電源314a、314b。射頻電源314a、314b基於所接收的回饋控制訊號328a、328b以調整射頻電源訊號322a、322b。在各種實施例中，功率控制模組320a、320b可以透過各別的控制訊號321a、321b各別地控制匹配網路318a、318b。功率控制模組320a、320b可以至少包含比例-積分-微分(Proportional Integral Derivative, PID)控制器或其子集及/或直接數位合成(Direct Digital Synthesis, DDS)組件及/或以下說明的與模組相關的各種組件中的任意一個。

【0030】在各種實施例中，功率控制模組320a、320b為PID控制器或其子集並且可以包含功能、過程、處理器或子模組。回饋控制訊號328a、328b可以為驅動訊號並且可以包含直流偏移或導軌電壓、電壓或電流大小、頻率及相位分量。在各種實施例中，回饋控制訊號328a、328b可以作為一或多個控制迴路的輸入。在各種實施例中，多個控制迴路可以包含用於射頻驅動及用於導軌電壓的比例-積分-微分(Proportional Integral Derivative, PID)控制迴路。在各種實施例中，回饋控制訊號328a、328b可以在多輸入多輸出(Multiple Input Multiple Output, MIMO)控制方案中使用。透過參考在2018年5月9號所提交的名稱為「(Pulsed Bidirectional Radio Frequency Source/Load)」之第15/974,947號美國申請案，其轉讓給本申請案的申請人，並且透過引用將其全部內容併入本申請案中，可以找到MIMO控制方案的實施例。

【0031】在各種實施例中，電源供應器系統310可以包含控制器320'。功率控制器320'可以設置在射頻產生器312a、312b中的一個或兩個的外部，並且可以被稱作外部或通用控制器320'。在各種實施例中，控制器320'可以實現與功率控制模組320a、320b中的一個或兩個相關的在本文中所說明的一個或複數個功能、過程或演算法。相應地，控制器320'透過一對各別的鏈結336、338與各別的

射頻產生器312a、312b進行通訊，這使得能夠在控制器320'與射頻產生器312a、312b之間適當地交換資料及控制訊號。對於各種實施例來說，控制模組320a、320b及控制器320'可以分散地且協作地提供對射頻產生器312a、312b的分析及控制。在各種其他實施例中，控制器320'可以提供對射頻產生器312a、312b的控制，以消除了對各別的本地功率控制模組320a、320b的需求。

【0032】 在各種實施例中，射頻電源314a、感測器316a、功率控制模組320a及匹配網路318a可以被稱作源射頻電源314a、源感測器316a、源功率控制模組320a及源匹配網路318a。相似地，在各種實施例中，射頻電源314b、感測器316b、功率控制模組320b及匹配網路318b可以被稱作偏置射頻電源314b、偏置感測器316b、偏置功率控制模組320b及偏置匹配網路318b。在各種實施例中並且如上所述，術語「源」表示產生電漿的射頻產生器，並且術語「偏置」表示調諧相對於偏置射頻電源供應器的電漿離子能量分佈函數(Ion Energy Distribution Function, IEDF)的射頻產生器。在各種實施例中，源射頻產生器及偏置射頻產生器以不同的頻率進行操作。在各種實施例中，源射頻電源供應器以高於偏置射頻電源供應器的頻率進行操作。在各種其他實施例中，源射頻產生器及偏置射頻產生器以相同的頻率或實質上相同的頻率進行操作。

【0033】 根據各種實施例，源射頻產生器312a及偏置射頻產生器312b包含用於外部通訊的多個埠。源射頻產生器312a包含脈衝同步輸出埠340、數位通訊埠342及射頻輸出埠344。偏置射頻產生器312b包含射頻輸入埠348、數位通訊埠350及脈衝同步輸入埠352。脈衝同步輸出埠340將脈衝同步訊號354輸出至偏置射頻產生器312b的脈衝同步輸入埠352。源射頻產生器312a的數位通訊埠342及偏置射頻產生器312b的數位通訊埠350透過數位通訊鏈結356以進行通訊。射頻輸出埠344產生輸入至射頻輸入埠348的射頻控制訊號358。在各種實施例中，射頻控制訊號358基本上與控制源射頻產生器312a的射頻控制訊號358相同。在各

種其他實施例中，射頻控制訊號358與控制源射頻產生器312a的射頻控制訊號358相同，但是其根據偏置射頻產生器312b產生的請求相移而在源射頻產生器312a內相移。因此，在各種實施例中，源射頻產生器312a及偏置射頻產生器312b由實質上相同的射頻控制訊號358或者由以一預定量相移的實質上相同的射頻控制訊號358驅動。

【0034】源射頻產生器312a的輸入埠360與偏置感測鏈結330進行通訊，並且處理偏置感測訊號以判斷負載332中是否存在電弧。偏置檢測器334產生偏置感測訊號並且透過偏置感測鏈結330進行訊號傳輸。在各種實施例中，偏置感測訊號根據匹配網路318b所輸出的射頻訊號而變化並且施加至負載332。相應地，偏置感測訊號可以為具有根據偏置射頻產生器312b所輸出的射頻訊號而變化的頻率、相位及振幅的正弦訊號。輸入埠360接收透過上述的偏置感測鏈結330或偏置感測鏈結330'所傳輸的訊號，並且處理偏置感測訊號以判斷負載332中是否存在電弧或電弧情況。在各種實施例中，處理可以在匹配網路318b或控制器320'中發生，或者在任意在電源供應器系統310中的其他控制器或處理器中發生，並且負載332中是否存在電弧情況的判斷結果可以提供至源射頻產生器312a或者電源供應器系統310中的任意控制器或模組。

【0035】第4圖繪示了電壓對時間的曲線圖410，其用於說明從射頻產生器向負載，例如第3圖的負載332，輸送功率的脈衝操作模式。在第4圖中，由射頻產生器輸出的射頻訊號412透過脈衝訊號或脈衝414進行調變，其指示打開(On)或關閉(Off)射頻產生器輸出的脈衝。如脈衝414的部分416的所示，當脈衝414打開時，射頻產生器輸出射頻訊號412。相反地，在脈衝414的部分418中，脈衝414關閉，並且射頻產生器不輸出射頻訊號412。脈衝414可以以恆定的工作週期或可變的工作週期進行重複。此外，脈衝414不需要實現為如第4圖所示的方波。進一步地，脈衝414可以具有變化的振幅及持續時間的多個部分。此多個部分可

以在固定或可變的週期內重複。可以理解的是，本文所揭露內容適用於射頻產生器系統的連續波及脈衝實施方式。

【0036】 第5A圖至第5C圖繪示了波形，其用於說明當在電漿腔室中發生電弧時或者當負載透過射頻電源供應器系統驅動時的雙頻射頻電源供應器系統的操作。第5A圖繪示了波形510，其指示從匹配網路輸出並施加至負載的電壓512，例如從偏置匹配網路318b輸出並施加至負載332的電壓，如同透過第3圖中的偏置檢測器334所測量的，其可以被稱作後匹配網路偏置電壓(Post-Matching Network Bias Voltage)。電壓512通常顯示為正弦波形。然而，在電壓512的區域514中，由於負載332中的電弧而導致波形開始崩潰。電壓512的崩潰可能導致電壓512的振盪，如區域514所示。頻率增加伴隨著電壓512的崩潰，使得偏置射頻訊號的頻率在標稱(Nominal)或中心偏置射頻頻率之上大幅地(Substantially)增大。頻率的增加為至少兩倍(Factor of Two)。

【0037】 第5A圖的電壓512的振盪伴隨著源射頻電源器處的反向或反射功率而增加。第5B圖繪示出指示在諸如源射頻產生器312a的源射頻電源供應器處的反射源功率522的波形520。第5B圖的反射電源供應器(反射源功率522)在區域524中增加。因此，如第5A圖的區域514所示，在源處增加的反射功率併同(Coincide)偏置電壓512的崩潰而發生。

【0038】 第5C圖繪示出指示根據偏置電壓而變化的二進制訊號532的波形530。二進制訊號532為電壓512的二進制表示法。在二進制訊號532的區域534中，第5A圖電壓512的崩潰係透過二進制訊號532的增加而表示。電壓512的頻率增加及二進制訊號532的合成頻率增加可以用於表示負載，例如第3圖的負載332，中的電弧情況。

【0039】 參照第3圖，偏置檢測器334傳輸電壓512至輸入埠360。電壓512在源射頻產生器312a進行處理以產生二進制訊號532。如將在本文中更詳細說明

的，二進制訊號532為透過檢測電壓512並將電壓512轉換為電壓512的二進制表示法而產生的，例如使用跨零(Zero-Crossing)檢測器。二進制表示法包含第一狀態及第二狀態，其中定義第一狀態及第二狀態為邏輯高位準或低位準，並且根據電壓512的大小將電壓512的一部分分配至第一狀態及第二狀態。在其他配置中，二進制訊號532為使用類比數位轉換器產生的，類比數位轉換器接收偏類比訊號並且將透過類比數位轉換器輸出的數位值分配至高狀態或低狀態以產生二進制訊號532。接續確定二進制訊號532的頻率以指示電弧情況。在各種實施例中，高狀態及低狀態可以為邏輯狀態，並且不需要對應於高訊號位準或低訊號位準。

【0040】進一步參照第3圖，二進制訊號532可以在偏置檢測器334產生，並且透過偏置感測鏈結330傳輸至源射頻產生器312a。在各種其他實施例中，可以在匹配網路318b、偏置檢測器334或控制器中確定電壓512的頻率並且傳輸至源電源供應器(源射頻產生器312a)。在各種其他實施例中，處理電壓512可以分佈在電源供應器系統310的一個或任意數量的控制器或處理器上。

【0041】第6圖繪示出用於確定施加至負載，例如第3圖的負載332，的射頻偏置訊號的頻率的功能性方塊圖610。偏置輸入訊號施加至濾波器612。偏置輸入訊號可以為，例如第5A圖的電壓512。濾波器612濾除不要的分量(Undesirable Components)，例如透過源射頻產生器312a輸出的射頻訊號的分量。濾波器612輸出的濾波訊號輸入至阻塞(Blocking)網路614，阻塞網路614阻止不要的電流或電壓分量向下游傳播。偏置網路616接收來自阻塞網路614的輸出並且施加直流偏壓至接收的訊號。直流偏壓可有利於在訊號上實現跨零功能。位準檢測器或位準檢測模組618接收偏置訊號並且產生二進制訊號或位準訊號，例如第5C圖中的二進制訊號532。二進制訊號輸入至頻率計數器620，並且頻率計數器620輸出指示二進制訊號之頻率的頻率訊號。在各種實施例中，頻率計數器620實現為包

含跨零模組或功能以及計時模組或功能。在跨零功能中，當二進制訊號超過預定值時輸出脈衝。脈衝之間的時間透過計時功能或模組以確定，並藉此定義二進制訊號532的頻率及對應的電壓512。可以理解的是，第6圖的方塊圖包含數個功能及模組。本揭露的原理可以透過功能或模組的變化子集以實現，以獲得射頻偏置訊號的頻率。

【0042】 第7圖繪示出用於使用類比數位轉換器以確定施加至負載，例如第3圖的負載332，的射頻偏置訊號的頻率的功能性方塊圖710。偏置輸入訊號施加至濾波器類比數位轉換器712(A/D converter)。偏置輸入訊號可以為，例如第5A圖的電壓512。類比數位轉換器712將偏置輸入訊號的類比訊號轉換為數位值。數位值表示偏置訊號的對應類比值。數位值被輸入至位準檢測器714，並且位準檢測器714透過將高狀態或低狀態分配至各數位值以產生位準訊號，以有效地產生二進制訊號532的表示法。作為非限制性的實施例，如果類比數位轉換器712從範圍為0至255的一組數字值中輸出數位值，則值0至127定義為數位值的第一組，並且可以分配至低狀態，而值128至255定義為數位值的第二組，並且可以分配至高狀態，也可以選擇相反的分配。因此，數位值127或數位值128被認為是用於分配高狀態及低狀態的位準閾值。二進制訊號輸入至頻率計數器716，並且頻率計數器716輸出二進制訊號的頻率。在各種實施例中，頻率計數器716實現為如上所述的跨零功能。可以理解的是，第7圖的方塊圖包含多個功能或模組。本揭露的原理可以透過第6圖及第7圖的功能或模組的變化子集以實現，以獲得射頻偏置訊號的頻率。在一個非限制性的實施例中，配置在類比數位轉換器712的輸出處的濾波器可以配置為阻擋不要的訊號分量，例如從源匹配網路318a輸出至第3圖的負載332的分量。

【0043】 在各種其他實施例中，第7圖的類比數位轉換器712的輸出可以輸入至快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)功能或模組，並且快速傅立葉

轉換確定偏置輸入的頻率。一旦確定了頻率，就可以使用此頻率以判斷負載中是否發生電弧或電弧情況。在各種其他實施例中，可以使用多種其他方法中的任何一種以確定偏置輸入的頻率，例如可以將確定的頻率與閾值或邊界範圍進行比較，以判斷在負載中的電弧或電弧情況的發生。在各種其他實施例中，負載中的電弧或電弧情況可以透過確定電壓512的頻率以進行確定，並且這樣的確定可以在不將電壓512轉換為二進制訊號的情況下進行，如第6圖及第7圖所述。

【0044】 第8圖繪示出控制模組810。控制模組810結合了第1圖至第7圖的各種組件。控制模組810可以包含電源產生控制模組部812、阻抗匹配模組部814及電弧檢測模組部816。電源產生控制模組部812包含射頻功率模組820、感測模組822及控制模組824。電源產生控制模組部812為如上所述的一般性表示的射頻產生器312。電弧檢測模組部816包含感測模組830、數位化模組832、參數確定模組834及電弧判斷模組836。在各種實施例中，控制模組810包含一個或複數個處理器，其執行與模組部或模組810、812、814、816、820、822、824、830、832、834及836相關的代碼。下文中將參照第9圖說明模組部或模組810、812、814、816、820、822、824、830、832、834及836的操作

【0045】 關於第3圖的功率控制模組320a、320b及320'的進一步定義的結構，參照下文中提供的圖9的流程圖以及下文中提供的對術語「模組(module)」的定義。本文中所揭露的系統可以使用多種方法、實施例以及在第9圖中繪示出的各種控制系統方法來操作。雖然主要參照第4圖的實施方式說明了以下操作，但是可以容易地修改這些操作以應用於本揭露的其他實施方式。這些操作可以重複地執行。雖然以下操作被示出為且主要說明為依序地執行，但是可以在執行一個或多個其他操作的同時執行以下的一個或多個操作。

【0046】 第9圖繪示出用於執行電弧檢測的控制系統910的流程圖，例如第4圖的功率傳輸系統。控制開始於方塊912，並且前進至方塊914，方塊914感測

偏置電壓，例如第5A圖的電壓512。控制進行至方塊916，在方塊916中將偏置電壓轉換為數位訊號。在各種實施例中，數位訊號可以為二進制訊號，如上參照第6圖及第7圖所述。在各種其他實施例中，數位訊號可以不是二進制訊號，例如當透過類比數位轉換器輸出的數位值未被轉換成二進制表示法時。方塊918確定數位訊號的參數。在各種實施例中，此參數可以為頻率，如上參照第6圖及第7圖所述。在各種其他實施例中，此參數可以不是頻率。在一個非限制性實施例中，參數可以為與標稱脈衝形狀的偏差，例如在選定範圍內或選定範圍外的一或多個脈衝或脈衝寬度。

【0047】 方塊924確定參數是否指示電弧或電弧情況。根據滿足確定或選定標準的參數以進行確定。在各種實施例中，如果未滿足選定標準，電弧或電弧情況不存在並且控制返回至方塊916。如果滿足選定標準，電弧或電弧情況存在並且控制進行至方塊916。在各種實施例中，選定標準包含參數是否大於選定閾值或者參數是否小於選定閾值，但不限定於此。在各種其他實施例中，選定標準包含參數是否在範圍內或者參數是否在範圍外，但不限定於此。

【0048】 在方塊926中，回報電弧。電弧情況或電弧可以回報至任意或所有控制器320'，並且電弧緩和(Mitigation)可以響應於電弧的回報而發生。在各種實施例中，可以向控制器指示電弧或電弧情況，並且可以調節透過射頻產生器312所產生的射頻輸出訊號的功率，例如降低或關閉以熄滅(Extinguish)或猝熄(Quench)電弧。緩和可以進一步包含向控制器320'產生警報以進行進一步調查並記錄錯誤事件。

【0049】 在各種實施例中，可以進行額外的電弧檢測以確認上述基於頻率的電弧檢測。透過比較補充參數與補充標準可以產生額外的電弧檢測。參照第5A圖至第5C圖，在各種實施例中，在源射頻電源供應器處的反射源功率522可以用於確認或補充基於頻率的電弧檢測。舉例來說，如果上述的基於頻率的電弧

檢測指示電弧，第3圖的控制器320'可以查詢反射源功率522以判斷反射源功率(即補充參數)是否已經增加到超出選定閾值或邊界(即補充標準)，例如在區域524中。如果檢測到反射源功率522的增加超過了選定邊界，則確認為電弧。如果反射源功率522的增加未超過選定邊界，則未確認為電弧。除了反射源功率522之外，其他系統參數可以被認為用於電弧確認的補充參數。這些參數包含在偏置射頻電源供應器的反射功率，或者在源射頻電源供應器或偏置射頻電源供應器的反射係數。其他電弧判斷的補充方法可以包含美國專利案號第7,728,602號、美國專利案號第8,264,237號、美國專利案號第8,289,029以及美國專利案號第8,334,700號所說明的系統及方法，其全部內容轉讓給本申請案的申請人，並且透過引用將其全部內容併入本申請案中。

【0050】 返回至方塊924，在各種實施例中，如果頻率在選定邊界或閾值之外，控制進行至方塊932。在方塊932中，使用上述參數以執行補充電弧判斷。在方塊934中，如果補充判斷未確認基於頻率的判斷，控制進行至方塊916。如果補充判斷確認基於頻率的判斷，則控制進行到方塊926，並且如上所述地指示電弧或電弧情況。控制接續進行至方塊930並且處理終止。

【0051】 在本文中所說明的系統及方法有助於電弧檢測，因為其不必依賴於將反射功率的大小作為主要檢測參數。因此，不需要依賴外部的電壓/電流探針或者定向耦合器，也不需要這種探針或者耦合器以指示電弧的存在的複雜處理。本揭露進一步提供一種速度顯著的提高，並且可以有效利用現有的產生器配置。

【0052】 以上描述僅是說明性的，並非意指限制本發明、其應用或使用。本發明的廣泛教示可以各種形式來實施。因此，儘管本發明包含特定實施例，但是本發明的實際範圍不限定於此，因為關於研究所附圖式、說明書及所附申請專利範圍的其它修改將變得顯而易見。可以理解的是，方法內的一個或多個

步驟可以以不同的順序(或同時)執行，而不改變本發明的原理。進一步地，儘管以上將每一個實施例說明為具有某些特徵，但是關於本發明的任何實施例說明的那些特徵中的任何一個或多個，可以在任何其它實施例的特徵中實現及/或與其組合，即使沒有明確說明該組合。換句話說，所說明的實施例不是相互排斥的，並且一個或多個實施例彼此的排列仍然在本發明的範圍內。

【0053】 元件之間的空間及功能關係(例如在模組、電路元件、半導體層等之間)使用各種的術語來說明，包含「連接(connected)」、「接合(engaged)」、「耦合(coupled)」、「相鄰(adjacent)」、「旁邊(next to)」、「在...之上(on top of)」、「上方(above)」、「下方(below)」以及「設置(disposed)」。除非明確說明為「直接(direct)」，當在以上揭露中說明在第一元件及第二元件之間的關係時，此關係可以是直接關係，其中第一元件及第二元件之間不存在其它中間元件，但也可以是間接關係，其中在第一元件及第二元件之間存在(任一的空間或功能上)一個或多個中間元件。

【0054】 如本文中所使用的，片語「A、B及C中的至少一個」應被解釋為表示「A OR B OR C」邏輯，其使用非排他性邏輯「OR」，並且不應被解釋為表示「A中的至少一個、B中的至少一個、以及C中的至少一個」。用語「子集」不一定需要合適的「子集」。換句話說，第一組的第一子集可以與第一組共同延伸(等於第一組)。

【0055】 在圖式中，如箭頭所示，箭頭的方向通常說明對圖式感興趣的訊息的連貫性(諸如數據或指令)。例如，當元件A及元件B交換各種訊息，但是從元件A傳送到元件B的訊息與圖式相關時，箭頭可以從元件A指向元件B。此單向箭頭並不意味著沒有其它訊息從元件B傳送到元件A。進一步地，對於從元件A發送到元件B的訊息，元件B能向元件A發送對訊息的請求或接收確認。

【0056】 在本案中，包含以下定義，術語「模組(module)」或術語「控制器(controller)」可以使用術語「電路(circuit)」來替換。術語「模組」可以指一部分的或

包含：特殊應用積體電路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)；數位的、類比的或混合數位/類比的離散電路；數位的、類比的或混合數位/類比的集成電路；結合的邏輯電路；場域可程式化邏輯閘陣列(Field Programmable Gate Array, FPGA)；執行編碼的處理器電路(共享、專用或群組)；記憶體電路(共享、專用或群組)，其儲存由處理器電路執行的編碼；提供所述功能的其它適合的硬體部件；或以上部分或全部的組合，諸如在系統單晶片中。

【0057】 模組可以包含一個或多個介面電路。在一些實例中，介面電路可實現連接至區域網路(Local Area Network, LAN)或無線個人區域網路(Wireless Personal Area Network, WPAN)的有線或無線介面。區域網路的實例有電機電子工程師學會(IEEE)標準802.11-2016(又稱WIFI無線網路標準)及IEEE標準802.3-2015(又稱ETHERNET有線網路標準)。WPAN的實例係為IEEE標準802.15.4(包含ZigBee聯盟的ZIGBEE標準)及藍芽技術聯盟(Bluetooth Special Interest Group, SIG)的BLUETOOTH無線網路標準(包括藍芽SIG的核心規範3.0、4.0、4.1、4.2、5.0及5.1版本)。

【0058】 模組可以透過使用介面電路與其它模組通訊。雖然在本揭露中可將模組說明為在邏輯上直接與其它模組通訊，但在各種實施例中，模組實際上可經由通訊系統通訊。通訊系統係包含物理及/或虛擬網路設備，諸如集線器、交換機、路由器及閘道器。在一些實施方式中，通訊系統連接至或穿越諸如網際網路(the Internet)的廣域網路(WAN)。例如，通訊系統可包含透過使用包含多協定標籤交換(Multiprotocol Label Switching, MPLS)及虛擬私人網路(virtual private networks, VPNs)在內的技術，經由網際網路或點對點租用線路(point-to-point leased lines)彼此連接的多個區域網路(LAN)。

【0059】 在各種實施方式中，模組的功能可分佈在經由通訊系統連接的多個模組之間。例如，多個模組可實現由負載平衡系統分佈的相同功能。在進一

步的實施例中，模組的功能可在伺服器(也稱為遠程或雲端)模組及使用者端(或使用者)模組之間劃分。例如，客戶端模組可以包含在客戶端裝置上執行並與伺服器模組進行網路通訊的本地或Web應用程式。

【0060】 模組的部分或全部硬體特徵可透過使用硬體描述語言來定義，如IEEE標準1364-2005(通常稱為「Verilog」)及IEEE標準1076-2008(通常稱為「VHDL」)。硬體描述語言可用於製造及/或編寫硬體電路。在一些實施方式中，模組的一些或全部特徵可由語言定義，諸如IEEE1666-2005(通常稱為「SystemC」)，其包含如下所述的程式碼及硬體描述。

【0061】 如上述所使用的，用語編碼能包含軟體、韌體及/或微編碼，並且涉及程式、程序、函數、類別、資料結構及/或物件。共享處理器電路包含單個處理器電路，其執行來自多個模組的一些或所有編碼。組合處理器電路包含處理器電路，此處理器電路與附加的處理器電路組合，以執行來自一個或多個模組的一些或所有的編碼。對多個處理器電路的引用包含分立晶片上的多個處理器電路、單個晶片上的多個處理器電路、單個處理器電路的多個核心、單個處理器電路的多個線或以上的組合。共享記憶體電路包含單個記憶體電路，其儲存來自多個模組的一些或所有的編碼。術語組合記憶體電路包含記憶體電路，此記憶體電路與附加的記憶體組合以儲存來自一或多個模組的一些或所有的編碼。

【0062】 術語記憶體電路為電腦可讀取媒體的子集。如本文中所使用的，電腦可讀取媒體不包含透過媒體(諸如在載波上)傳播的過渡電氣或電磁訊號；電腦可讀取媒體因此能被視為有形性及非暫態性的。非暫態性、電腦可讀取媒體的非限制性的實例是非揮發性記憶體電路(諸如快閃記憶體電路、可擦除可規劃式唯讀記憶體電路或遮罩唯讀記憶體電路)、揮發性記憶體電路(諸如靜態隨機存

取記憶體電路或動態隨機存取記憶體電路)、磁儲存媒體(諸如類比或數位的磁帶或硬式磁碟機)以及光儲存媒體(諸如光碟片、影音光碟或藍光光碟)。

【0063】 本案中說明的裝置及方法可以部分地或全部地藉由專用的電腦來實現，此電腦藉由配置一般用途的電腦來創建，以執行電腦程式中包含一個或多個特定功能。以上說明作為軟體規格的功能方塊及流程圖元件，其可以藉由熟練的技術人員或程式設計師的日常工作將此軟體規格轉譯成電腦程式。

【0064】 電腦程式包含處理器可執行指令，其儲存在至少一個非暫態性、電腦可讀取媒體上。電腦程式可以進一步包含或依賴儲存的資料。電腦程式可以包含與專用電腦的硬體交互作用的基本輸入/輸出系統(BIOS)、與專用電腦的特定設備交互作用的裝置驅動器、一個或多個操作系統、使用者應用程式、背景服務、背景應用程式等。

【0065】 電腦程式可以包含：(i)說明文字的分析，諸如HTML(超文件標示語言)、XML(可延伸標示語言)或JSON(JavaScript對象表示法)、(ii)組合碼、(iii)藉由編譯器從源編碼產生的目標碼、(iv)藉由譯碼器執行的原始碼、(v)藉由即時編譯器編譯及執行的原始碼等。僅作為實例，能使用來自包含C、C++、C#、Objective C、Swift、Haskell、Go、SQL、R、Lisp、Java[®]、Fortran、Perl、Pascal、Curl、OCaml、JavaScript[®]、HTML5(超文件標記語言第五修正本)、Ada、ASP(主動伺服器頁)、PHP(PHP: 超文字前處理器)、Scala、Eiffel、Smalltalk、Erlang、Ruby、Flash[®]、Visual Basic[®]、Lua、MATLAB、SIMULINK以及Python[®]之語言的語法(syntax)來撰寫。

【符號說明】

【0066】

110:電感耦合電漿系統
112,212:電漿腔室
114,214:電漿
116,118:線圈
120,122,128,220,222:電源
124:介電窗
126:基板
210:電容耦合電漿系統
216,218:電極
310:電源供應器系統
312,312a,312b:射頻產生器
314a,314b:射頻電源
316a,316b:感測器
318a,318b:匹配網路
320,320a,320b:控制模組
320':控制器
321a,321b:控制訊號
322,332:負載
322a,322b:射頻電源訊號
324a,324b:X訊號
326a,326b:Y訊號
328a,328b:回饋控制訊號

330,330':偏置感測鏈結
334:偏置檢測器
336,338:鏈結
340:輸出埠
342:數位通訊埠
344:射頻輸出埠
348:射頻輸入埠
350:數位通訊埠
352:脈衝同步輸入埠
354:脈衝同步訊號
356:數位通訊鏈結
358:射頻控制訊號
360:輸入埠
410:曲線圖
412:射頻訊號
414:脈衝
416,418:部分
510,520,530:波形
512:電壓
522:反射源功率
514,524,534:區域
532:二進制訊號

610:功能性方塊圖

612:濾波器

614:阻塞網路

616:偏置網路

618:位準檢測器或位準檢測模組

620,716:頻率計數器

710:功能性方塊圖

712:類比數位轉換器

714:位準檢測器

810:控制模組

812:電源產生控制模組部

814:阻抗匹配模組部

816:電弧檢測模組部

820:射頻功率模組

822,830:感測模組

824:控制模組

832:數位化模組

834:參數模組

836:電弧判斷模組

910:控制系統

912,914,916,918,924,926,930,932,934:方塊

f_1, f_2 :射頻電源訊號

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種電弧檢測系統，包含：

一位準檢測器模組，係配置為根據施加至一非線性負載的一交流訊號產生一位準訊號，其中，根據該交流訊號的大小，該位準訊號包含一第一狀態及一第二狀態中的至少一個；以及

一計時模組，係配置為接收該位準訊號並根據該位準訊號的該第一狀態或該第二狀態的持續時間以產生一計時訊號，

其中，當該計時訊號滿足一選定標準時，指示該非線性負載中的一電弧情況。

【請求項2】如請求項1所述之電弧檢測系統，其中當該計時訊號處於小於一第一閾值及大於一第二閾值中的至少一個狀態時滿足該選定標準。

【請求項3】如請求項1所述之電弧檢測系統，其中該交流訊號係透過一第一射頻電源供應器產生。

【請求項4】如請求項1所述之電弧檢測系統，其中該位準檢測器模組係配置為將該交流訊號從一類比訊號轉換為一二進制訊號，並且該二進制訊號包含該第一狀態及該第二狀態，其中當該交流訊號的大小為大於或小於一位準閾值之其中一情況時，發生該第一狀態，並且當該交流訊號的大小為大於或小於該位準閾值中的另一情況時，發生該第二狀態。

【請求項5】如請求項1所述之電弧檢測系統，其中該位準檢測器模組包含一電路，其接收該交流訊號並根據該交流訊號產生該位準訊號，並且該電路包含一跨零檢測器。

【請求項6】如請求項1所述之電弧檢測系統，其中該位準檢測器模組包含一類

比數位轉換器，係配置為接收該交流訊號並根據該交流訊號的大小將該交流訊號轉換為複數個數位值，其中一第一多個數位值(a first plurality of the digital values)定義該第一狀態，並且一第二多個數位值(a second plurality of the digital values)定義該第二狀態。

【請求項7】 如請求項 1 所述之電弧檢測系統，其進一步包含：

一第一電源，係產生該交流訊號；以及

一第二電源，係產生施加至該非線性負載的一第二交流訊號，

其中，根據從該非線性負載反射至該第二電源的功率以及該計時訊號以指示該電弧情況。

【請求項8】 如請求項 7 所述之電弧檢測系統，其中：

該交流訊號為一第一射頻訊號且該第二交流訊號為一第二射頻訊號，並且

該第一射頻訊號及該第二射頻訊號為相同頻率或不同頻率。

【請求項9】 如請求項 1 所述之電弧檢測系統，其中該非線性負載為電漿腔室。

【請求項10】 如請求項 1 所述之電弧檢測系統，其中該交流訊號以一第一頻率運作，且該交流訊號在該電弧情況的期間以一第二頻率運作，並且該第二頻率至少為該第一頻率的兩倍。

【請求項11】 一種射頻功率產生器系統，包含：

一第一射頻電源，係配置為產生一第一射頻訊號至一非線性負載；

一第二射頻電源，係配置為產生一第二射頻訊號至該非線性負載；

以及

一電弧檢測器，係配置為接收根據該第一射頻訊號而變化的一感測訊號，該電弧檢測器進一步配置為：

判斷該感測訊號的頻率是否小於一第一選定閾值或大於一第二選定閾值；以及

當該感測訊號的頻率小於該第一選定閾值或大於該第二選定閾值時，指示一電弧情況。

【請求項12】 如請求項 11 所述之射頻功率產生器系統，其中該電弧檢測器進一步包含：

一位準檢測器，係配置為接收該感測訊號並且根據該感測訊號產生一位準訊號，其中，該位準訊號根據該第一射頻訊號的大小以分配至一第一狀態及一第二狀態中的至少一個；以及

一計數器，係配置為接收該位準訊號並且根據該第一狀態及該第二狀態中的至少一個的持續時間以產生一頻率訊號，其中該頻率訊號根據該感測訊號的頻率而變化，且其中該感測訊號的頻率根據該第一射頻訊號的頻率而變化。

【請求項13】 如請求項 11 所述之射頻功率產生器系統，其中該電弧檢測器進一步包含：

一濾波器，係配置為接收該感測訊號並且從該第二射頻訊號中過濾至少一部份的分量以產生一濾波訊號；

一位準檢測器，係配置為接收該感測訊號並根據該感測訊號產生一位準訊號，其中，該位準訊號根據該第一射頻訊號的大小以分配至一第一狀態或一第二狀態中的至少一個；以及

一計數器，係配置為接收該位準訊號並且根據該第一狀態及該第二狀態中的至少一個的持續時間以產生一頻率訊號，其中該頻率訊號根據該感測訊號的頻率而變化，且其中該感測訊號的頻率根據該第一射頻訊號的頻率而變化。

【請求項14】 如請求項 13 所述之射頻功率產生器系統，其中該位準檢測器係配置為將該第一射頻訊號從一類比訊號轉換為一二進制訊號，並且該二進制訊號包含該第一狀態及該第二狀態，其中當該第一射頻訊號的大小為大於或小於一位準閾值的其中一情況時，分配至該第一狀態，並且當該第一射頻訊號的大小為大於或小於該位準閾值中的另一情況時，分配至該第二狀態。

【請求項15】 如請求項 11 所述之射頻功率產生器系統，其中該電弧檢測器進一步包含：

一類比數位轉換器，係配置為接收該感測訊號並且輸出根據該感測訊號的大小而變化的一數位訊號；以及

一計數器，係配置為接收該數位訊號並且根據該數位訊號確定該感測訊號的一部分的一週期，其中該感測訊號的該部分的該週期根據該數位訊號的頻率而變化，且其中該感測訊號的頻率根據該第一射頻訊號的頻率而變化。

【請求項16】 如請求項 11 所述之射頻功率產生器系統，其中使用快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)以確定該感測訊號的頻率。

【請求項17】 一種在非線性負載中檢測電弧的方法，包含：

檢測施加至一負載的一交流訊號；

確定施加至該負載的該交流訊號的一頻率；以及

如果該頻率滿足一選定標準時指示一電弧情況。

【請求項18】 如請求項 17 所述之方法，其中當該頻率處於小於一第一閾值或大於一第二閾值中的至少一個狀態時滿足該選定標準。

【請求項19】 如請求項 17 所述之方法，其中確定該頻率進一步包含：

將根據該交流訊號而變化的一感測訊號轉換為一數位訊號，其中該

數位訊號包含一對狀態及複數個狀態，且其中該複數個狀態被分

配至該對狀態中的一個或另一個；以及

確定該對狀態中的至少一個的持續時間，以確定施加至該負載的該

交流訊號的該頻率。

【請求項20】 如請求項 17 所述之方法，其中確定該頻率進一步包含：

將根據該交流訊號而變化的一感測訊號轉換為一二進制訊號，其中

該二進制訊號包含一對狀態；並且

確定該對狀態中的至少一個的持續時間，以確定施加至該負載的該

交流訊號的該頻率，

其中，該感測訊號之轉換進一步包含施加該感測訊號至一跨零檢測

器。

【請求項21】 如請求項 17 所述之方法，其中如果該頻率滿足該選定標準，將

補充電弧指示參數與選定補充電弧指示標準進行比較，以確認該比較

之結果是否亦表示該電弧情況。

【請求項22】 如請求項 17 所述之方法，其中一第一電源產生該交流訊號並且

一第二電源產生一第二交流訊號，進一步包含：

將與該第二電源相關聯的參數與一第二選定標準進行比較；以及

根據滿足該選定標準的該頻率以及與該第二電源相關聯的參數與該第二選定標準之間的比較以指示該電弧情況。

【請求項23】 如請求項 17 所述之方法，其中確定該頻率進一步包含：

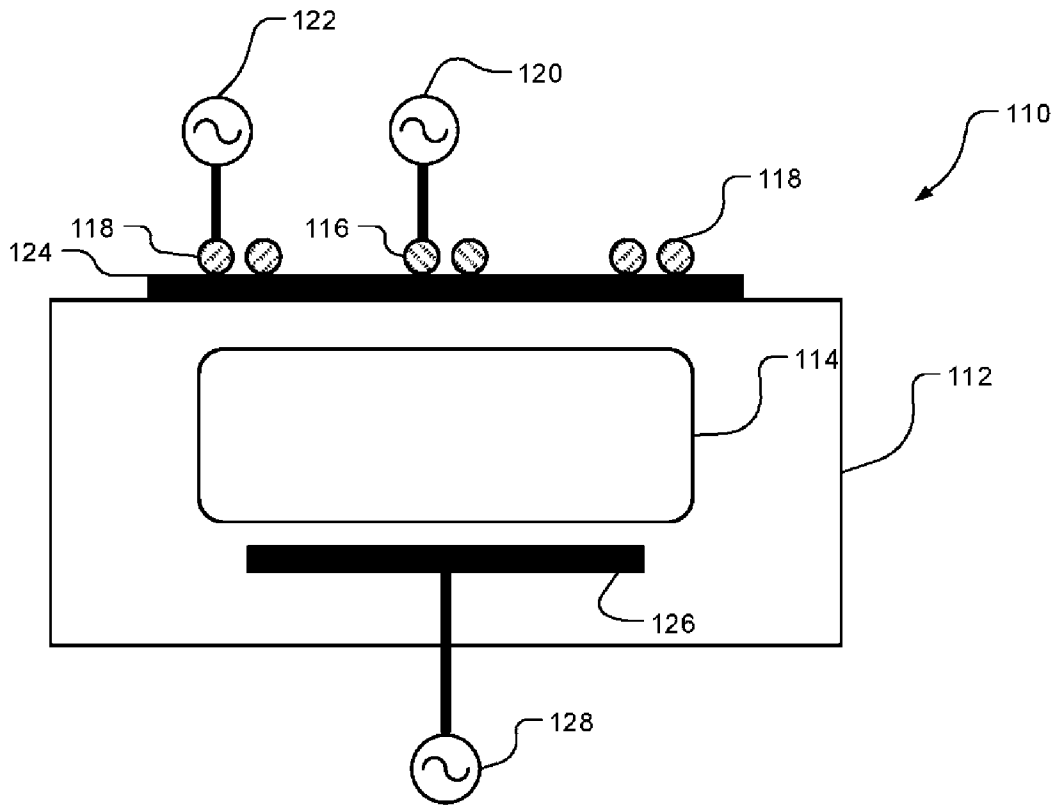
使用一類比數位轉換器將根據該交流訊號而變化的一感測訊號轉

換為一數位訊號，其中一第一組數位值定義一第一狀態，一第二組數位值定義一第二狀態；以及

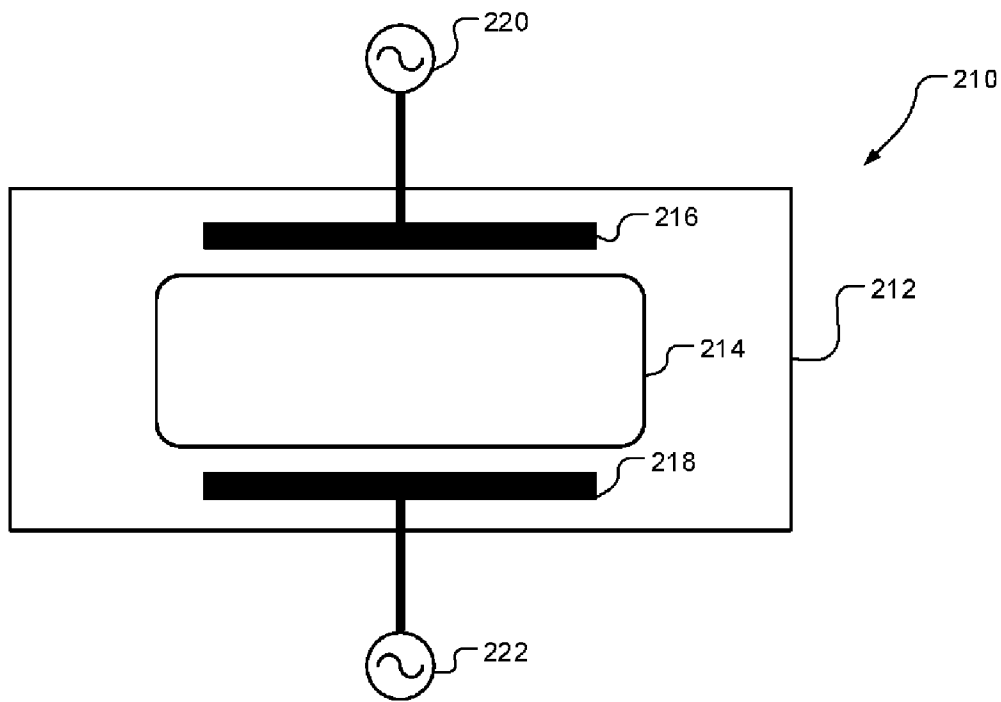
確定該第一狀態及該第二狀態中的至少一個的持續時間，以確定施加至該負載的該交流訊號的該頻率。

【請求項24】 如請求項 17 所述之方法，其中確定施加至該負載的該交流訊號的該頻率進一步包含使用快速傅立葉轉換。

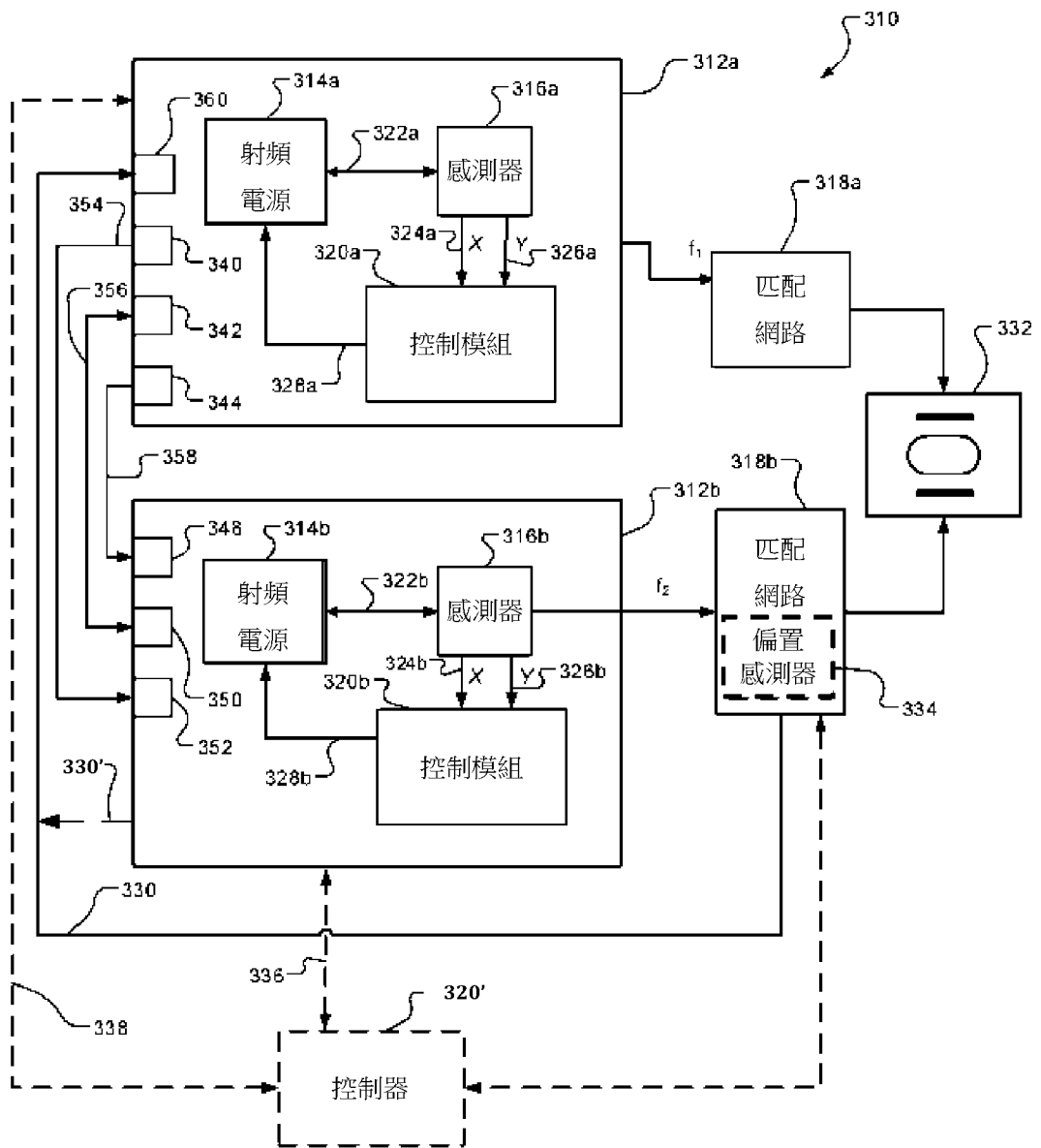
【發明圖式】



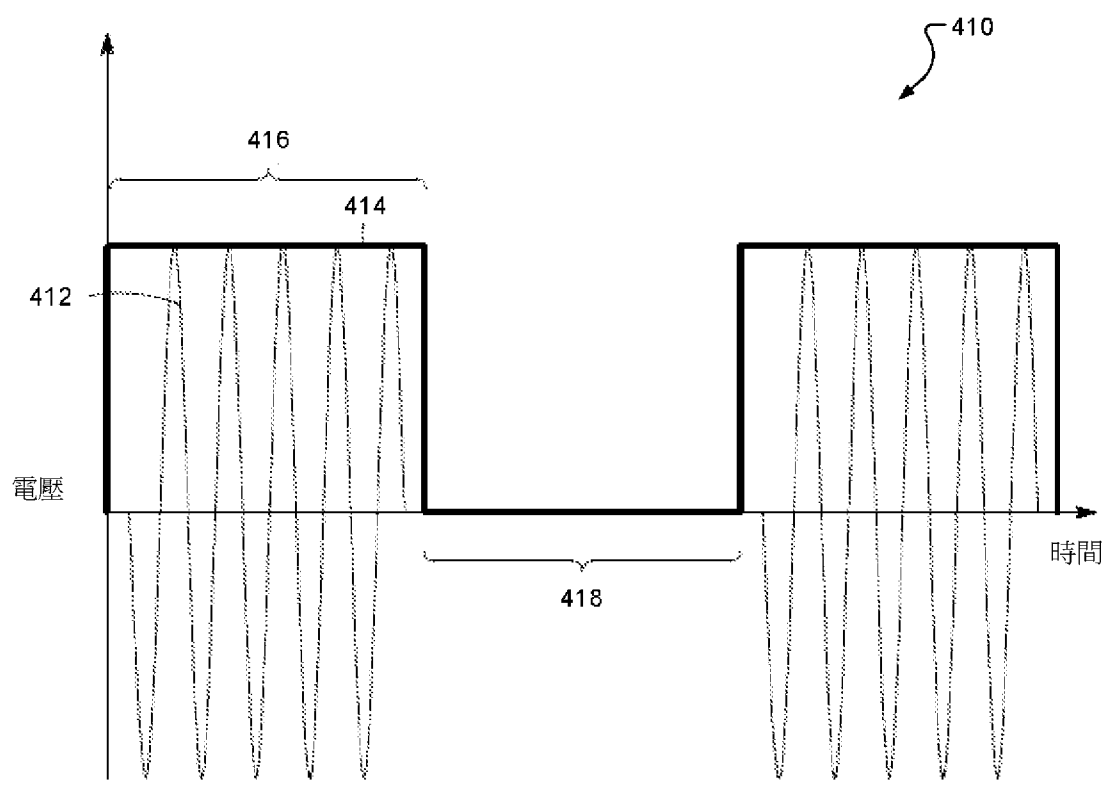
第 1 圖



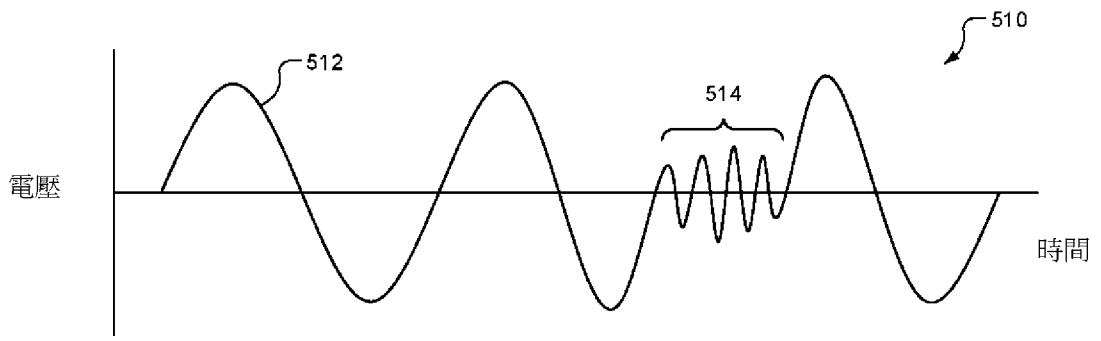
第 2 圖



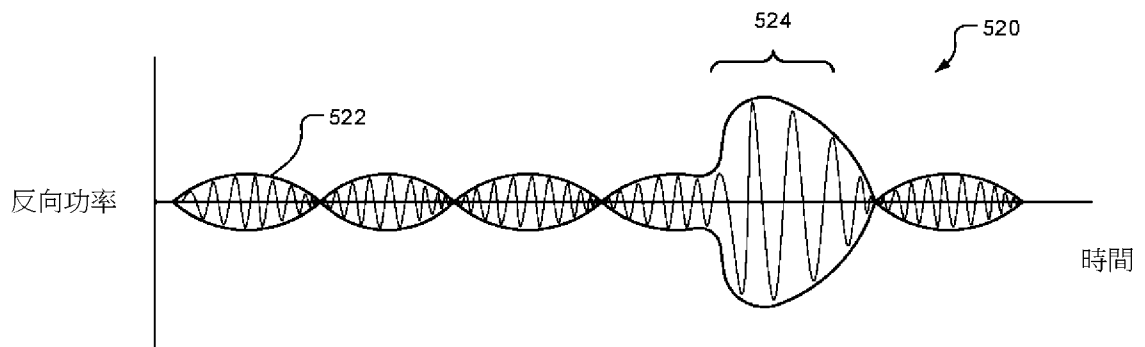
第 3 圖



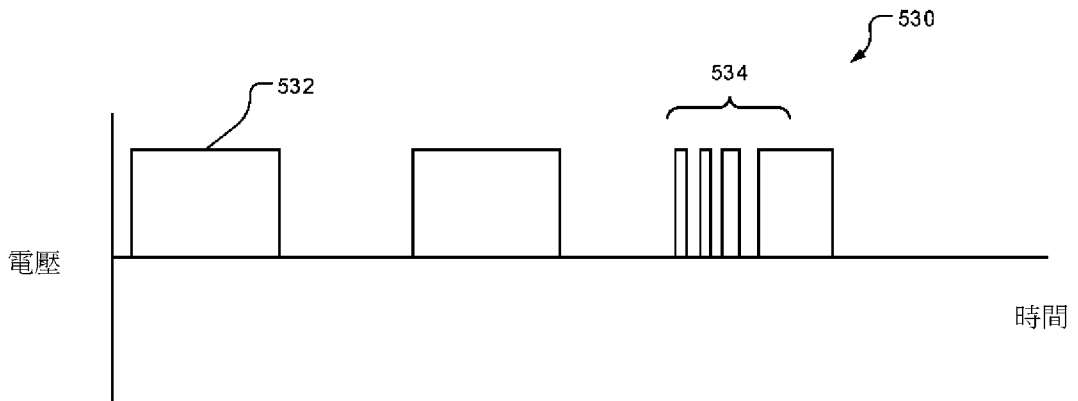
第 4 圖



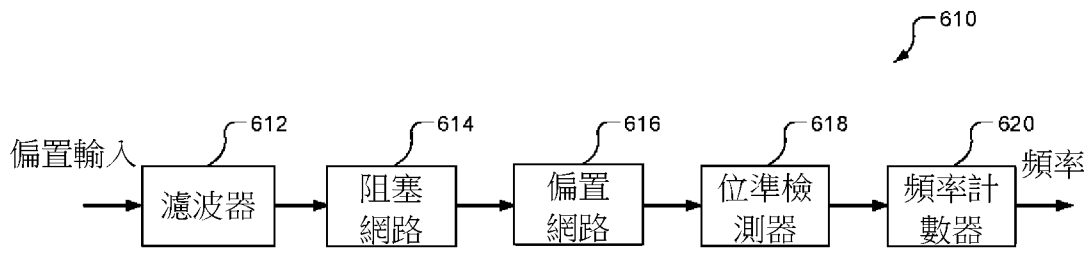
第 5A 圖



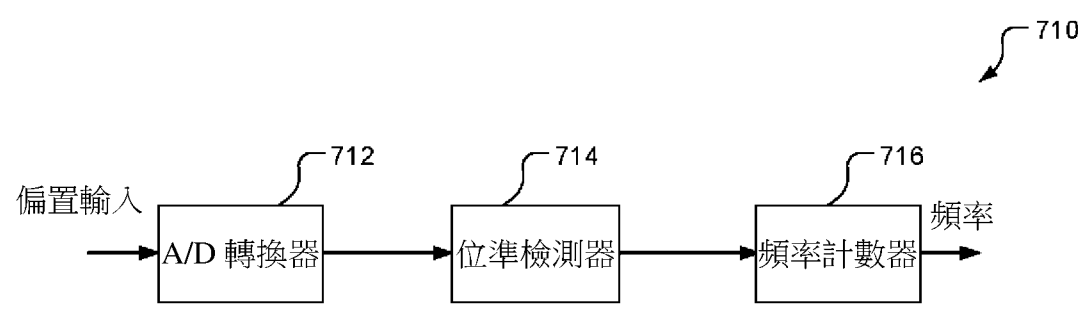
第 5B 圖



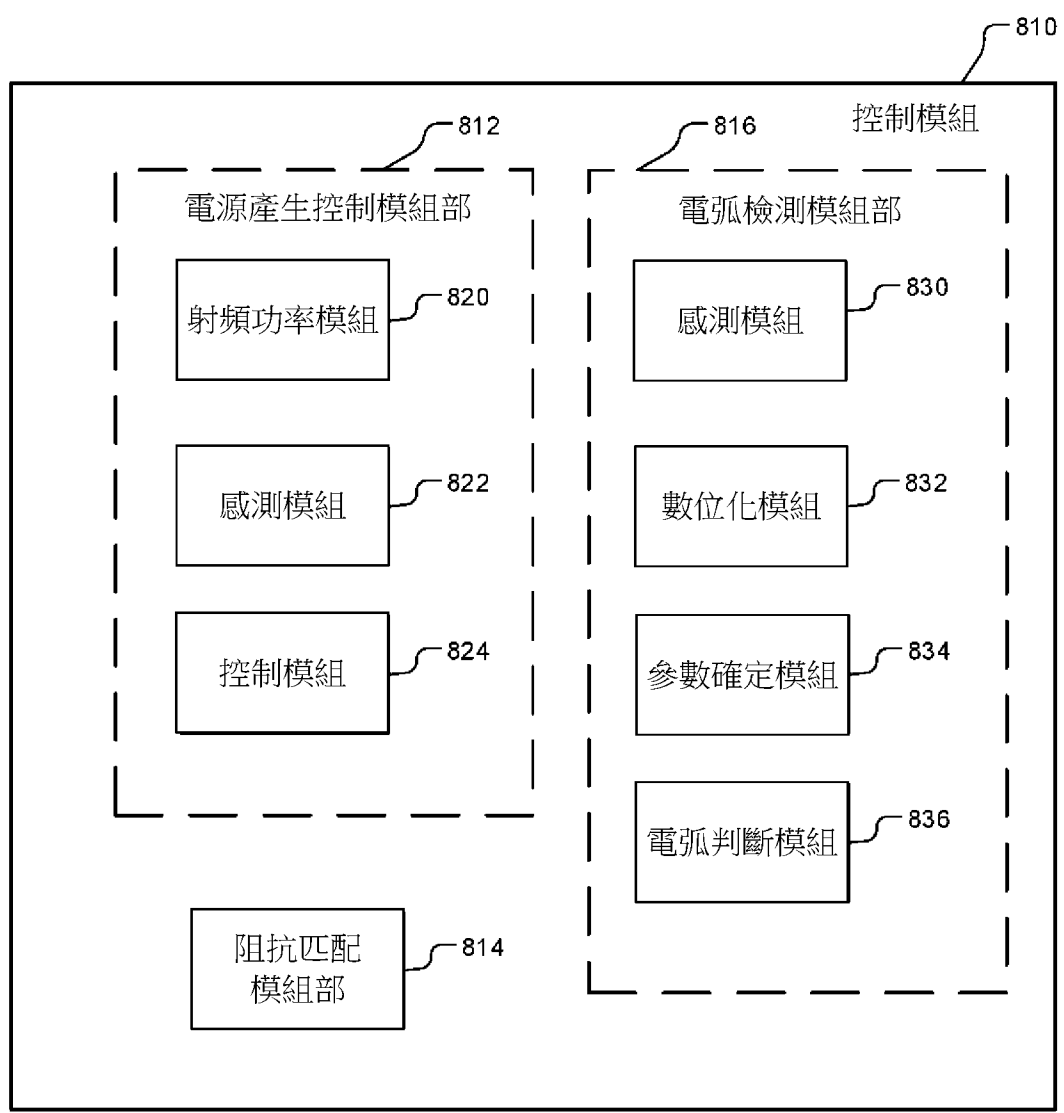
第 5C 圖



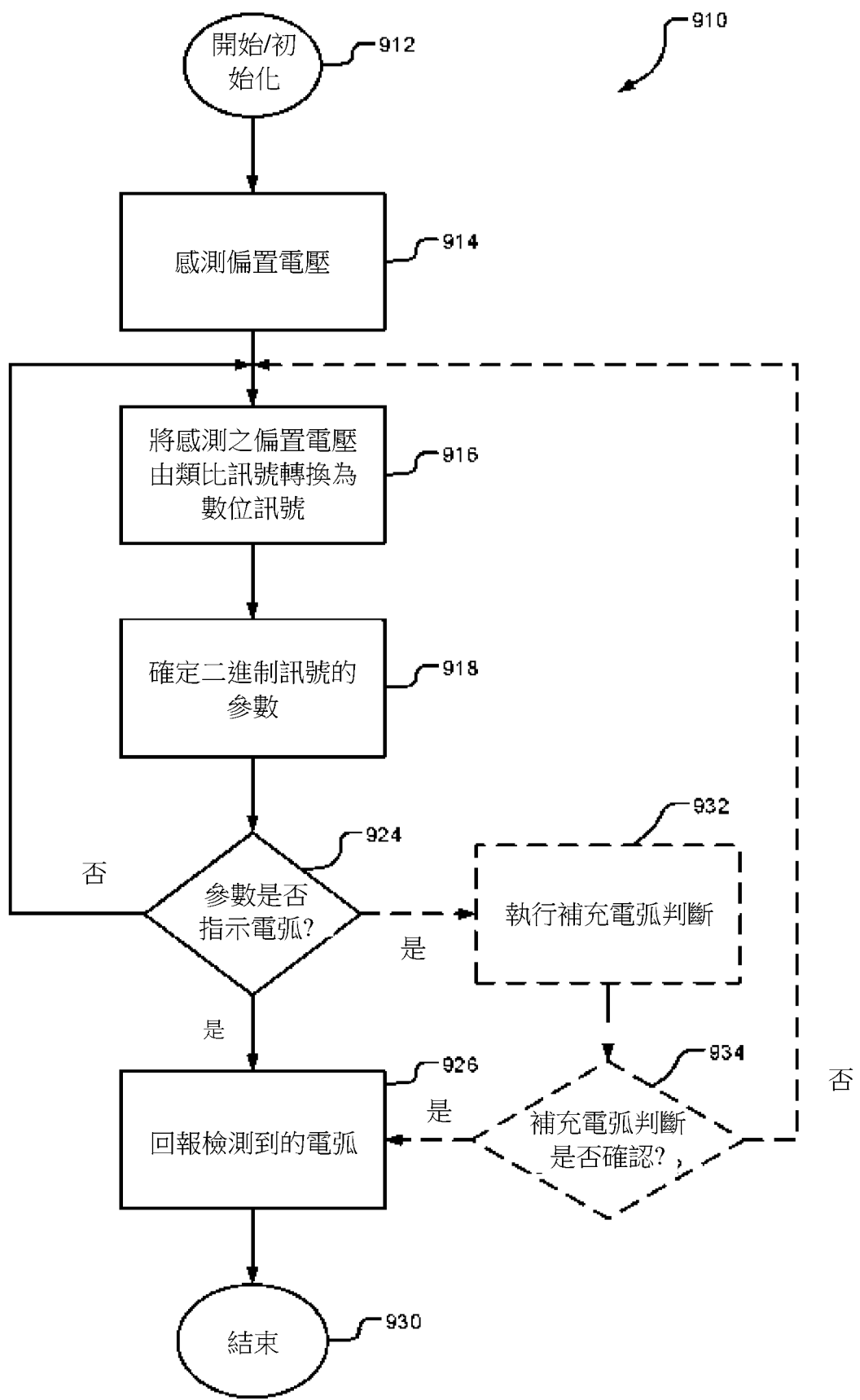
第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖



第 9 圖