



(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 I677265 B

(45) 公告日：中華民國 108 (2019) 年 11 月 11 日

(21) 申請案號：106112173

(22) 申請日：中華民國 106 (2017) 年 04 月 12 日

(51) Int. Cl. : H05H7/02 (2006.01)

H01J37/32 (2006.01)

(30) 優先權：2016/04/20 美國

15/133,461

(71) 申請人：新加坡商 A E S 全球公司 (新加坡) AES GLOBAL HOLDINGS, PTD. LTD. (SG)
新加坡(72) 發明人：崔旻烈 CHOI, MYEONG YEOL (KR)；尚 丹尼 SHAW, DENNIS (US)；穆勒 麥
可 MUELLER, MIKE (US)；羅柏格 傑夫 ROBERG, JEFFREY (US)；喬登 史蒂
夫 JORDAN, STEVE (US)

(74) 代理人：閻啟泰；林景郁

(56) 參考文獻：

TW I430715

TW 201327620A

JP 2008-263587A

JP 2014-222657A

US 7839223B2

US 2006/0220656A1

US 2014/0155008A1

審查人員：鄭敬偉

申請專利範圍項數：16 項 圖式數：11 共 36 頁

(54) 名稱

用於在 RF 產生器中進行頻率調諧的設備

(57) 摘要

提供了一種射頻(RF)產生器，其包括激發器、功率放大器、濾波器、感測器、以及頻率調諧子系統。所述頻率調諧子系統包括非暫時性、有形的機器可讀取媒體，其包含用以執行一方法的指令，所述方法包括接收電漿負載的阻抗軌跡；接收在複數反射係數平面中的參考點，所述參考點落於通過所述參考點和原點的參考向量上；從感測器接收所述電漿負載的經測量的阻抗；確定在參考向量與穿過所述參考點及所述經測量的阻抗所對應在所述複數反射係數平面中的一點的一線之間的測量角度；將所述測量角度以一預定常數來進行縮放，藉以產生一頻率步階；將所述頻率步階添加到初始頻率，藉以產生經調整的頻率；以及致使所述激發器產生一在所述經調整的頻率處振盪的信號。

A radio-frequency (RF) generator is provided that includes an exciter, a power amplifier, a filter, a sensor, and a frequency-tuning subsystem. The frequency-tuning subsystem includes a non-transitory, tangible, machine-readable medium containing instructions to perform a method that includes receiving an impedance trajectory of the plasma load; receiving a reference point in a complex-reflection-coefficient plane, the reference point lying on a reference vector passing through the reference point and the origin; receiving, from the sensor, a measured impedance of the plasma load; determining a measurement angle between a reference vector and a line passing through the reference point and a point in the complex-reflection-coefficient plane corresponding to the measured impedance; scaling the measurement angle by a predetermined constant to produce a frequency step; adding the frequency step to the initial frequency to

produce an adjusted frequency; and causing the exciter to generate a signal oscillating at the adjusted frequency.

指定代表圖：

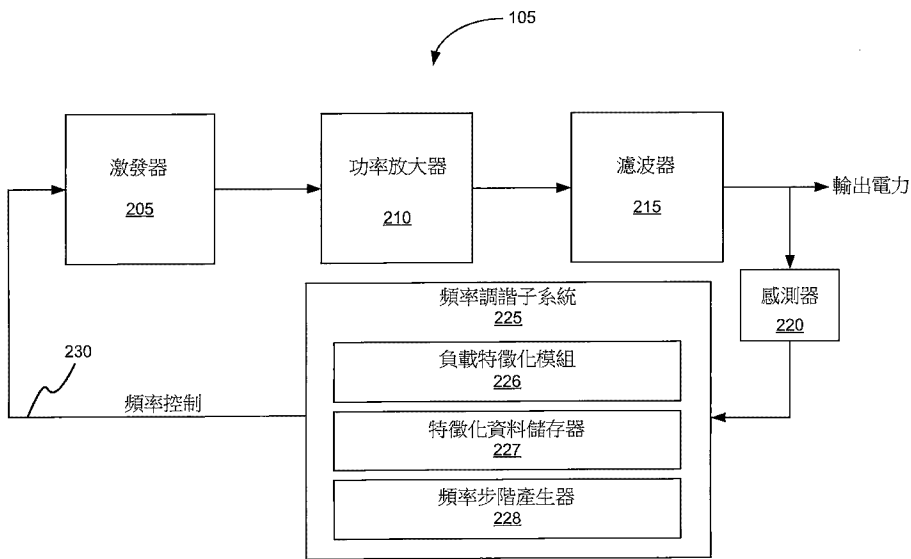


圖2

符號簡單說明：

- 105 . . . RF 產生器
- 205 . . . 激發器
- 210 . . . 功率放大器
- 215 . . . 濾波器
- 220 . . . 感測器
- 225 . . . 頻率調諧子系統
- 226 . . . 負載特徵化模組
- 227 . . . 特徵化資料儲存器
- 228 . . . 頻率步階產生器
- 230 . . . 頻率控制線

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】(中文/英文)

用於在 RF 產生器中進行頻率調諧的設備

APPARATUS FOR FREQUENCY TUNING IN A RF GENERATOR

【技術領域】

【0001】 本揭示大致關於射頻 (RF) 產生器，尤其是關於用以對供電給電漿處理室而以所要的方式改變電漿負載的阻抗之 RF 產生器進行頻率調諧的設備及技術。

【先前技術】

【0002】 在電漿處理中，射頻 (RF) 產生器係用以供電給電漿負載。當今先進的電漿處理包括更複雜的配方和配方更改程序，其中負載 (電漿) 阻抗動態地變化。這樣會使將 RF 產生器的源阻抗與電漿的負載阻抗相匹配來實現高效的功率傳輸成為具有挑戰性。這種阻抗匹配可以使用匹配網路來進行，但是在現代短期間的電漿處理的情況下，這種方法相對較慢。另一種方法是調整 RF 產生器的頻率，從而改變電漿負載的阻抗。在這種情況下，“電漿負載”包括電漿本身和任何匹配網路。這種方法有潛在性比調整匹配網路要快得多。還可以組合這兩種技術 (一或多個匹配網路和頻率調諧)。

【0003】 由於頻率穩定性和快速的頻率調諧兩者同時需要，傳統的頻率調諧演算法與優化這些先進電漿處理的參數相抗衡。因此，在本領域中，需要用於 RF 產生器中的頻率調諧之經改良的設備。

【發明內容】

【0004】 在附圖中所顯示的本發明之示範性實施例係彙整如下。這些和其它實施例在實施方式章節中更充分地描述。然而，應當理解，並不意圖將本發明限制於本發明內容或具體實施方式中所描述的形式。本領域技術人員可以體認到，存在有落於如申請專利範圍中所表示的本發明的精神和範圍內的許多修改、均等物、以及替代構造。

【0005】 一種態樣可被表徵為一種射頻（RF）產生器，其包括：一激發器，所述激發器產生在一初始頻率處振盪的一信號；一功率放大器，所述功率放大器放大所述信號來產生一經放大的振盪信號；一濾波器，所述濾波器對所述經放大的振盪信號進行濾波來產生供電給一電漿處理室中的一電漿負載的一輸出信號；一感測器，所述感測器感測所述電漿負載的至少一特性；以及一頻率調諧子系統。

【0006】 所述頻率調諧子系統包括非暫時性、有形的機器可讀取媒體，其編碼有用以執行一方法的指令，所述方法包括：接收電漿負載的阻抗軌跡，作為激發器頻率的函數；接收在複數反射係數（complex-reflection-coefficient）平面中的參考點，所述參考點落於通過所述參考點和所述複數反射係數平面的原點的參考向量上；從感測器接收所述電漿負載的經測量的阻抗，所述經測量的阻抗沿著所接收的所述阻抗軌跡而分佈；確定在所述參考向量與穿過所述參考點及所述經測量的阻抗所對應在所述複數反射係數平面中的一點的一線之間的測量角度，其以複數反射係數來表示；將所述測量角度以一預定常數來進行縮放，藉以產生一頻率步階；將所述頻率步階添加到初始頻率，藉以產生經調整的頻率；以及致使所述激發器產生一在所述經調整的頻率處振盪的信號。

【0007】 另一種態樣可被表徵為該方法包括疊代地重複以下步驟：從所述感測器接收經測量的阻抗之步驟、所述確定步驟、所述縮放步驟、所述添加步驟、及所述致使步驟，在第一次疊代之後的每次疊代中的初始頻率是在緊接著上一次疊代的期間所產生的經調整的頻率。

【0008】 還有另一種態樣可被表徵為該方法包括藉由從所述測量角度減去一預定解諧角度並將差值以一預定常數來進行縮放來產生所述頻率步階。

【圖式簡單說明】

【0009】

圖 1 是根據本揭示的實施例的電漿處理系統的方塊圖；

圖 2 是根據本揭示的實施例的 RF 產生器的方塊圖；

圖 3 是根據本揭示的實施例的複數反射係數平面的圖示；

圖 4 是根據本揭示的實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法的流程圖；

圖 5 是根據本揭示的另一實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法的流程圖；

圖 6 是根據本揭示還有的另一個實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法的流程圖；

圖 7 是根據本揭示的實施例的複數反射係數平面的圖示；

圖 8 是根據本揭示的實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法的流程圖；

圖 9 是根據本揭示的另一實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法的

流程圖；

圖 10 是根據本揭示還有的另一個實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法的流程圖；以及

圖 11 是描繪根據本揭示的實施例的可用於實施頻率調諧子系統的實體部件的方塊圖。

【實施方式】

【0010】 在射頻 (RF) 產生器中進行頻率調諧的設備可以提供穩定性和快速的調諧，假如 (1) 在每個頻率調整疊代處對 RF 產生器的頻率係在正確的方向 (往上或往下) 中進行調整，並且 (2) 讓頻率步階 (頻率的調整值) 可調適，使得當目前頻率遠離目標頻率時施加大的步階 (促進快速的調諧)，並且當目前頻率接近於目標頻率時施加小的步階 (促進穩定性)。如下面進一步解釋的，在一些實施例中，目標頻率對應於最小 Γ (複數反射係數)，並且在其它實施例 (解諧的實施例) 中，目標頻率對應於除了最小 Γ 之外的有意選擇的 Γ 。

【0011】 實現這些目標的一個關鍵是事先將電漿負載的阻抗表徵為產生器頻率的函數。這種表徵可以透過分析電路模型、透過初步測試 (測量)、或這些技術的組合來實現。舉例而言，可以在特定範圍 (例如，13MHz 至 14MHz) 上的多個不同頻率的每一個頻率處測量電漿負載的阻抗。這種初步的表徵可以產生負載的“阻抗軌跡”，以作為產生器頻率的函數。該阻抗軌跡可以用複數反射係數 Γ 來表示，如以下所進一步討論的。一旦知道這個阻抗軌跡，就可以在每個頻率調整疊代處計算正確的頻率步階方向 (正或負) 和適當的頻率步階大小，如以下所進一步解釋的。

【0012】 現在參考所附圖式，其中在數個圖式中，相同或相似的元件係用相同的元件符號來表示，具體參考圖 1，其是根據本揭示的實施例的電漿處理系統的方塊圖。在圖 1 中，電漿處理系統 100 包括 RF 產生器 105，其經由一或多個匹配網路 110 直接地或間接地將電力輸出到電漿處理室 115 中的電漿（未顯示）。此處，術語“電漿負載”用於表示電漿處理室 115 中的電漿與可能存在的任何匹配網路 110 之組合，取決於特定的實施例（一些實施例不包括匹配網路 110）。換言之，“電漿負載”是指 RF 產生器 105 的輸出所驅動的整個負載。

【0013】 圖 2 是根據本揭示的實施例的 RF 產生器 105 的方塊圖。RF 產生器 105 包括激發器 205、功率放大器 210、濾波器 215、感測器 220、以及頻率調諧子系統 225。激發器 205 以 RF 頻率產生振盪信號，通常為方波的形式。功率放大器 210 放大由激發器 205 所產生的信號以產生經放大的振盪信號。舉例而言，在一個實施例中，功率放大器 210 將 1 mW 的激發器輸出信號放大到 3 kW。濾波器 215 對經放大的振盪信號進行濾波以產生由單一 RF 頻率（正弦曲線）所組成的信號。

【0014】 感測器 220 測量電漿處理室 115 中的電漿負載的一或多個特性。在一個實施例中，感測器 220 測量電漿負載的阻抗 Z 。取決於特定的實施例，感測器 220 可以是（舉例而言，但不侷限於）VI 感測器或定向耦合器。這種阻抗可以替代地表示為複數反射係數，本領域技術人員通常將其表示為“ Γ ”（伽瑪）。頻率調諧子系統 225 從感測器 220 接收阻抗測量值並處理這些測量值，以產生頻率調整值，所述頻率調整值通過頻率控制線路 230 饋送到激發器 205，以調整由激發器 205 所產生的頻率。由頻率調諧

子系統 225 所執行的說明性頻率調諧演算法會在下文中結合圖 3 到圖 10 而詳細討論。

【0015】 在圖 2 所示的實施例中，頻率調諧子系統包括負載特徵化模組 226、特徵化資料儲存器 227、以及頻率步階產生器 228。負載特徵化模組 226 接收或協助獲取與特定電漿負載相關聯的初步負載-阻抗特徵化資料，以產生阻抗軌跡（參見圖 3 中的元件 305）。在負載特徵化期間所獲得的資料可以儲存在特徵化資料儲存器 227 中。頻率步階產生器 228 執行運算以產生經由頻率控制線 230 饋送到激發器 205 的頻率調整值（頻率步階）。由頻率調諧子系統 225 所執行的具體說明性頻率調諧演算法會在下文中結合圖 3 到圖 10 而詳細討論。

【0016】 如下文所進一步討論的，在一些實施例中，目的是要調整激發器 205 的頻率，從而以最小化 Γ 的方式來改變電漿負載的阻抗（即，盡可能地將 Γ 達到接近於零）。如上所述，實現該最小 Γ 的頻率可以被稱為目標頻率。如本領域技術人員所理解的，零的理想複數反射係數對應於其中源和電漿負載阻抗係完全匹配的匹配條件。在其它實施例中，目標不是最小 Γ 。相反地，頻率調諧子系統 225 有意地調諧激發器 205 以產生除了產生最小 Γ 的頻率之外的頻率。這種實施例可以被稱為“解諧”施行方式。

【0017】 圖 3 是根據本揭示的實施例的複數反射係數（ Γ ）平面 300 的圖示。圖 3 示出了與由頻率調諧子系統 225 所執行的演算法有關的概念。在圖 3 中，複數反射係數 Γ 繪製在單位圓內。如本領域技術人員將體認的， Γ 也可以繪製在標準史密斯圖上。在圖 3 中，橫軸對應於 Γ 的實數部份，縱軸對應於 Γ 的虛數部份。圖 3 示出了以 Γ 所表示的電漿負載的預特性化

阻抗軌跡 305。如上所述，阻抗軌跡 305 可以藉由分析、藉由借助於負載特徵化模組 226 經由適當的使用者介面所進行的測試、或其組合來事先確定。本領域技術人員將認識到，阻抗軌跡 305 不會總是與原點 340 相交，如圖 3 所示。在一些實施例中，阻抗軌跡被偏移，使得其不通過原點 340，在這種情況下，最小可實現的 Γ 會大於零。

【0018】 頻率調諧子系統 225 的頻率步階產生器 228 還經由合適的使用者介面接收 Γ 平面 300 中的參考點 315。在一些實施例中，參考點 315 是以參考角度 320 和量值（從原點 340 到參考點的距離）的形式來指定。如本領域技術人員將認識到的，原點 340 對應於在 Γ 平面 300 中的單位圓的中心處的座標 $(0, 0)$ 的點。本領域技術人員還理解，在給定參考角度 320 和量值 M 的情況下，可直接計算參考點 315 的笛卡爾座標。具體而言，座標可以計算為：實數 $(\Gamma) = M \cos(\theta_{\text{Ref}} + \pi)$ 以及虛數 $(\Gamma) = M \sin(\theta_{\text{Ref}} + \pi)$ ，其中參考角度 θ_{Ref} (320) 以弧度表示， M 是小於或等於 1 的正實數。在其它實施例中，是以笛卡爾座標（實數部份和虛數部份）的形式來接收參考點 315。

【0019】 一旦已經接收到參考點，頻率調諧子系統 225 的頻率步階產生器 228 可以確定參考向量 310。參考向量 310 是穿過參考點 315 和 Γ 平面 300 的原點 340 的一線，如圖 3 所示。參考向量 310 的一個重要功能是将 Γ 平面 300 分成兩個區域，其中一個區域是與測量點 325 相關聯的頻率高於最佳頻率的區域（圖 3 中的參考向量 310 右側的區域），其中一個區域是與測量點 325 相關聯的頻率低於最佳頻率的區域（圖 3 中的參考向量 310 左側的區域）。藉由確定測量點 325 處於兩個區域中的哪個區域，可以在每次頻率調整疊代中進行正確方向（正或負）的頻率調整（參見下面的圖 5~6 和圖

9~10)。

【0020】 本領域技術人員將認識到，參考向量 310 不需要是相對於阻抗軌跡 305 的對稱軸，如以 Γ 所表示的。放置參考點 315 位置的選擇（其接著確定參考向量 310）是有些任意的，儘管應該進行選擇，使得支持有效頻率調諧的有用測量角度 330 的計算成為可能。這意味著選擇參考點 315，使得測量角度 330 隨著激發器 205 頻率接近於目標頻率而減小，對應於目標頻率的測量角度 330 為零。

【0021】 感測器 220 提供電漿處理室 115 中的電漿負載的阻抗的頻率測量給頻率調諧子系統 225。圖 3 中的測量點 325 呈現了在 Γ 平面 300 中以 Γ （複數反射係數）所表示的阻抗軌跡 305 上的一個說明性阻抗測量。頻率調諧子系統 225 的頻率步階產生器 228 針對測量點 325 確定相對於參考向量 310 的測量角度 330。該測量角度 330 以預定比例常數 K （迴路增益）來進行縮放，以產生頻率步階（即，由激發器 205 產生的頻率要被調整的量）。根據頻率調諧演算法的頻率解析度（例如，1kHz 對 1Hz）、測量角度計算的解析度、以及電漿負載的特定阻抗特性來選擇 K 。迴路增益 K 可以在配方與配方之間有所不同，它可以根據負載阻抗的變化在給定的配方內改變，在這種情況下，配方中採用的 K 的多個值可以儲存在查找表中。將計算出的頻率步階添加到初始或目前激發器頻率，以產生更接近於對應於所要電漿負載阻抗的期望頻率或目標頻率的經調整的頻率。然後，頻率調諧子系統 225 經由頻率控制線 230 致使激發器 205 產生在所述經調整的頻率處的 RF 信號。

【0022】 如圖 3 所示的還有 Γ 臨界值 335，其功能將在下文中結合圖

6 進行說明。

【0023】 圖 4 是根據本揭示的實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法 400 的流程圖。圖 4 所示的方法是由頻率調諧子系統 225 所執行。在方塊 405 處，頻率調諧子系統 225 經由負載特徵化模組 226 接收電漿處理室 115 中的電漿負載的阻抗軌跡 305。如上所述，阻抗軌跡 305 可以用複數反射係數 (Γ) 表示，如圖 3 所示。在方塊 410 處，頻率調諧子系統 225 的頻率步階產生器 228 接收參考點 315。在方塊 415 處，頻率步階產生器 228 從感測器 220 接收電漿負載的阻抗測量值。在方塊 420 處，頻率步階產生器 228 確定對應於所接收的阻抗測量值的測量點 325 的測量角度 330。在方塊 425 處，頻率步階產生器 228 接著將測量角度 330 以預定的常數 K 進行縮放，以計算頻率步階。注意，當方法 400 開始時，激發器 205 以初始頻率產生振盪 RF 信號。在方塊 430 處，頻率步階產生器 228 將頻率步階添加到由激發器 205 所產生的初始頻率，以產生經調整的頻率。在方塊 435 處，頻率調諧子系統 225 經由頻率控制線 230 致使激發器 205 產生在所述經調整的頻率處的振盪 RF 信號，這導致電漿負載的阻抗改變至更接近期望負載阻抗的值。

【0024】 圖 5 是根據本揭示的另一實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法 500 的流程圖。圖 5 所示的方法是由頻率調諧子系統 225 所執行。方法 500 類似於方法 400，除了在方法 500 中，於迴路中疊代地重複在方塊 415、420、425、430、以及 435 處所執行的操作（頻率調諧）。本領域技術人員將認識到，在該實施例中，在第一次疊代之後的每次疊代的初始激發器 205 頻率是在緊接著前一次疊代期間所產生的經調整的頻率。這可以用數學式表示為經調整的頻率（或下一頻率）=電流頻率+頻率步階。在該實

施例中，當演算法收斂到最佳頻率時，可以實現零的最小 Γ 或非常接近零的最小 Γ 。

【0025】 圖 6 是根據本揭示還有的另一個實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法 600 的流程圖。圖 6 所示的方法是由頻率調諧子系統 225 所執行。方法 600 類似於方法 400 和 500，除了方法 600 添加了用於終止頻率調整的 Γ 臨界值 335 (0 和 1 之間的值)，一旦激發器 205 所產生的頻率已經達到一個產生被認為足夠接近期望值的電漿負載阻抗的值。方法 600 就像方法 500 一樣進行到方塊 435。在判定方塊 605 處，頻率步階產生器 228 確定目前測量點 325 處的 Γ 在量值上是否小於臨界值 335 (在圖 3 中示出為環繞原點 340 的等量值圓形鄰域)。如果是，則頻率步階產生器 228 在方塊 610 處終止激發器 205 的頻率調整。在這種情況下，激發器 205 頻率保持在其目前值，並且不進行對頻率的進一步調整。否則，如果目前測量點 325 處的 Γ 的量值大於或等於臨界值 335，則控制返回到方塊 415，並且進行激發器 205 頻率調整的另一個疊代。

【0026】 圖 7 到圖 10 介紹了其中目標不是最小 Γ 的另一群實施例。如上所述，這些實施例可以被稱為“解諧”實施方式。在一些實施方式中，由於其特定的阻抗特性（阻抗軌跡）的原因，會選擇解諧配置以實現特定電漿負載的更高的頻率穩定性。

【0027】 圖 7 是根據本揭示的實施例的複數反射係數 (Γ) 平面 700 的圖示。為了清楚起見，圖 3 所示的一些元件不會在圖 7 中重複。然而，圖 3 和圖 7 旨在與以下所討論的解諧的實施例一起結合而使用。伽瑪平面 700，和以上所述的 Γ 平面 300 一樣，包括以 Γ 所表示的阻抗軌跡 305、參

考向量 310、參考點 315、以及參考角度 320。參考點 315 以與圖 3 中的實施例所結合的上述說明之相同方式被接收。如圖 7 所示的解諧實施例進一步包括解諧點 710，其作為阻抗軌跡 305 上的預定點。在參考向量 310 與穿過參考點 315 和解諧點 710 的“解諧向量” 715 之間的角度可稱為“解諧角度” 705。在解諧的實施例中，頻率調諧演算法的目標頻率是對應於解諧點 710 的頻率(即，達到對應於 Γ 平面 700 中的解諧點 710 的負載阻抗的頻率)。可以選擇解諧點 710 以實現期望的頻率穩定性。如下面所進一步解釋的，從測量角度 330 (參見圖 3) 中減去該解諧角度 705，並且將所得到的差值以一預定常數 K 來進行縮放。這導致由頻率步階產生器 228 執行的頻率調諧演算法收斂到除了最小 Γ 點 (其為原點 340 (參見圖 3)) 之外的阻抗軌跡 305 之上的一點 (即，解諧點 710)。如以下將進一步解釋的，解諧的實施例還可以利用 Γ 臨界值 720。

【0028】 圖 8 是根據本揭示的實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法 800 的流程圖。圖 8 所示的方法是由頻率調諧子系統 225 所執行。方法 800 類似於方法 400，除了在方法 800 中，頻率步階產生器 228 在方塊 805 處從測量角度 330 中減去解諧角度 705。在方塊 810 處，頻率步階產生器 228 將所得到的差值以一預定常數 K 來進行縮放。剩餘的操作(方塊 430 和 435) 與以上結合圖 4 所討論的方法 400 相同。

【0029】 圖 9 是根據本揭示的另一實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法 900 的流程圖。圖 9 所示的方法是由頻率調諧子系統 225 所執行。方法 900 類似於方法 800，除了在方法 900 中，於迴路中疊代地重複在方塊 415、805、810、430、以及 435 處所執行的操作 (頻率調諧)。在該實施例

中，激發器 205 頻率收斂到或接近於產生對應於阻抗軌跡 305（以 Γ 表示）上的解諧點 710 的電漿負載阻抗的頻率。

【0030】 圖 10 是根據本揭示還有的另一個實施例的用於調諧 RF 產生器的頻率的方法 1000 的流程圖。圖 10 所示的方法由頻率調諧子系統 225 所執行。方法 1000 類似於方法 800 和 900，除了方法 1000 添加了用於終止頻率調整的 Γ 臨界值 720，一旦激發器 205 頻率已經達到一個產生被認為足夠接近於對應於解諧點 710 的電漿負載阻抗的值。方法 1000 就像方法 900 一樣進行到方塊 435。在判定方塊 1005 處，頻率步階產生器 228 確定目前測量點 325（如圖 3 所示，以 Γ 表示）和解諧點 710 之間的差值的量值是否小於臨界值 720。如果是，則頻率調諧子系統 225 在方塊 1010 處終止激發器 205 的頻率調整。否則，控制返回到方塊 415，並且進行激發器 205 頻率調整的另一個疊代。

【0031】 在一些實施例中，頻率步階產生器 228 在將結果以該預定常數（迴路增益） K 來進行縮放之前，將測量角度 330 提高到大於 1 的冪次。此技術是在測量角度 330 較小時提供相對小的頻率步階且在測量角度 330 較大時提供相對大的頻率步階的一種方式。換句話說，與測量角度 330 非線性變化的頻率步階可以進一步改良頻率調諧演算法的性能，例如結合圖 4~圖 6 和圖 8~圖 10 所描述的實施例。

【0032】 結合於本文揭露的實施例所描述的方法可以直接體現在硬體中、直接體現在編碼於非暫時機器可讀取媒體中的處理器可執行指令中，或者兩者的組合。舉例而言，參考圖 11，其示出了描繪根據本揭示的說明性實施例的可用於實施頻率調諧子系統 225 及其部件模組的實體部件

的方塊圖。如圖所示，在此實施例中，顯示部分 1112 和非揮發性記憶體 1120 耦合到匯流排 1122，匯流排 1122 還耦合到隨機存取記憶體（“RAM”）1124、處理部分（其包括 N 個處理部件）1126、現場可編程閘極陣列（FPGA）1127、以及包括 N 個收發器的收發器部件 1128。雖然圖 11 中所描繪的部件表示實體部件，圖 11 並不意圖描繪詳細的硬體圖式；因此，圖 11 中所描繪的許多部件可以藉由通用結構實現或分佈在進一步的實體部件之間。此外，預期可以使用其他現有的以及尚待開發的實體部件和架構來實現參考於圖 11 所描述的功能部件。

【0033】 顯示部分 1112 通常用於為使用者提供使用者介面，並且在數個實施方式中，顯示器是由觸控螢幕顯示器來實現。舉例而言，顯示部分 1112 可以用來連結於特徵化電漿負載而控制負載特徵化模組 226 以及與負載特徵化模組 226 互動，以產生相關聯的阻抗軌跡 305。此使用者介面也可用於輸入參考點 315。通常，非揮發性記憶體 1120 是用於儲存（例如，持續儲存）資料和機器可讀取（例如，處理器可執行）碼（包括與實現本文所述的方法相關聯的可執行碼）的非暫時性記憶體。在一些實施例中，舉例而言，非揮發性記憶體 1120 包括系統啟動加載程式碼、作業系統碼、檔案系統碼、以及非暫時性處理器可執行碼，以便於執行以上所述參考圖 4~圖 6 和圖 8~圖 10 所描述的方法。

【0034】 在許多實施方式中，非揮發性記憶體 1120 由快閃記憶體（例如，NAND 或 ONENAND 記憶體）來實現，但也可以考慮使用其它類型的記憶體。雖然可以從非揮發性記憶體 1120 執行程式碼，但是非揮發性記憶體中的可執行碼通常被加載到 RAM 1124 中，並由處理部分 1126 中的 N 個

處理部件中的一或多個處理部件所執行。

【0035】 在操作中，連結於 RAM 1124 的 N 個處理部件通常可用以執行儲存在非揮發性記憶體 1120 中的指令，以實現頻率調諧子系統 225 的功能。舉例而言，用以實現參考圖 4~圖 6 和圖 8~圖 10 所描述的方法的非暫時性處理器可執行指令可以持續地儲存在非揮發性記憶體 1120 中，並且由連結於 RAM 1124 的 N 個處理部件所執行。如本領域技術人員將理解的，處理部分 1126 可以包括視頻處理器、數位信號處理器 (DSP)、圖形處理單元 (GPU)、以及其它處理部件。

【0036】 此外或替代性地，現場可編程閘極陣列 (FPGA) 1127 可以被配置為實現本文所描述的方法的一或多個態樣 (例如，參考圖 4~圖 6 和圖 8~圖 10 所描述的方法)。舉例而言，非暫時性 FPGA 配置指令可以被持續地儲存在非揮發性記憶體 1120 中並被 FPGA 1127 所存取 (例如，在系統啟動期間)，以配置 FPGA 1127 來實現頻率調諧子系統 225 的功能。

【0037】 輸入部件可操作以接收指示電漿處理室 115 中的輸出產生器電力和電漿負載的一或多個特性的信號 (例如，來自感測器 220)。在輸入部件處所接收的信號可以包括 (舉例而言) 電壓、電流、順向電力、反射電力、以及電漿負載阻抗。輸出部件通常操作以提供一或多個類比或數位信號以實現產生器的操作態樣。舉例而言，輸出部分可以在頻率調諧期間經由頻率控制線 230 將經調整的頻率發送到激發器 205。

【0038】 所描繪的收發器部件 1128 包括 N 個收發器鏈，其可以用於經由無線或有線網路與外部裝置進行通信。N 個收發器鏈中的每一個可以表示與特定通信方案 (例如，WiFi、Ethernet、Profibus、等等) 相關聯的收

發器。

【0039】 提供本案所揭露的實施例以上所述的說明以使得本領域的任何技術人員能夠製造或使用本發明。這些實施例的各種修改對於本領域技術人員來說會是顯而易見的，並且在不脫離本發明的精神或範圍的情況下，本文定義的一般原理可以應用於其它實施例。因此，本發明並不意圖受限於本文所示的實施例，而是符合與本文所公開的原理和新穎特徵相一致的最寬範圍。

【符號說明】

【0040】

- 100 電漿處理系統
- 105 RF 產生器
- 110 匹配網路
- 115 電漿處理室
- 205 激發器
- 210 功率放大器
- 215 濾波器
- 220 感測器
- 225 頻率調諧子系統
- 226 負載特徵化模組
- 227 特徵化資料儲存器
- 228 頻率步階產生器
- 230 頻率控制線

300 複數反射係數 (Γ) 平面

305 阻抗軌跡

310 參考向量

315 參考點

320 參考角度

325 測量點

330 測量角度

335 臨界值

340 原點

400 方法

405~435 步驟方塊

500 方法

600 方法

605 判定方塊

610 步驟方塊

700 複數反射係數 (Γ) 平面

705 解諧角度

710 解諧點

715 解諧向量

720 臨界值

800 方法

805 步驟方塊

- 810 步驟方塊
- 900 方法
- 1000 方法
- 1005 判定方塊
- 1010 步驟方塊
- 1100 實體部件的方塊圖
- 1112 顯示部分
- 1120 非揮發性記憶體
- 1122 匯流排
- 1124 隨機存取記憶體
- 1126 處理部分
- 1127 現場可編程閘極陣列
- 1128 收發器部件

公告本

I677265

發明摘要

※ 申請案號：106112173

※ 申請日：106/04/12

※IPC 分類：**H05H 7/02** (2006.01)

H01J 37/32 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

用於在 RF 產生器中進行頻率調諧的設備

APPARATUS FOR FREQUENCY TUNING IN A RF GENERATOR

【中文】

提供了一種射頻 (RF) 產生器，其包括激發器、功率放大器、濾波器、感測器、以及頻率調諧子系統。所述頻率調諧子系統包括非暫時性、有形的機器可讀取媒體，其包含用以執行一方法的指令，所述方法包括接收電漿負載的阻抗軌跡；接收在複數反射係數平面中的參考點，所述參考點落於通過所述參考點和原點的參考向量上；從感測器接收所述電漿負載的經測量的阻抗；確定在參考向量與穿過所述參考點及所述經測量的阻抗所對應在所述複數反射係數平面中的一點的一線之間的測量角度；將所述測量角度以一預定常數來進行縮放，藉以產生一頻率步階；將所述頻率步階添加到初始頻率，藉以產生經調整的頻率；以及致使所述激發器產生一在所述經調整的頻率處振盪的信號。

【英文】

A radio-frequency (RF) generator is provided that includes an exciter, a power amplifier, a filter, a sensor, and a frequency-tuning subsystem. The frequency-tuning subsystem includes a non-transitory, tangible, machine-readable medium containing

instructions to perform a method that includes receiving an impedance trajectory of the plasma load; receiving a reference point in a complex-reflection-coefficient plane, the reference point lying on a reference vector passing through the reference point and the origin; receiving, from the sensor, a measured impedance of the plasma load; determining a measurement angle between a reference vector and a line passing through the reference point and a point in the complex-reflection-coefficient plane corresponding to the measured impedance; scaling the measurement angle by a predetermined constant to produce a frequency step; adding the frequency step to the initial frequency to produce an adjusted frequency; and causing the exciter to generate a signal oscillating at the adjusted frequency.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 2 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

- 105 RF 產生器
- 205 激發器
- 210 功率放大器
- 215 濾波器
- 220 感測器
- 225 頻率調諧子系統
- 226 負載特徵化模組
- 227 特徵化資料儲存器
- 228 頻率步階產生器
- 230 頻率控制線

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

無

圖式

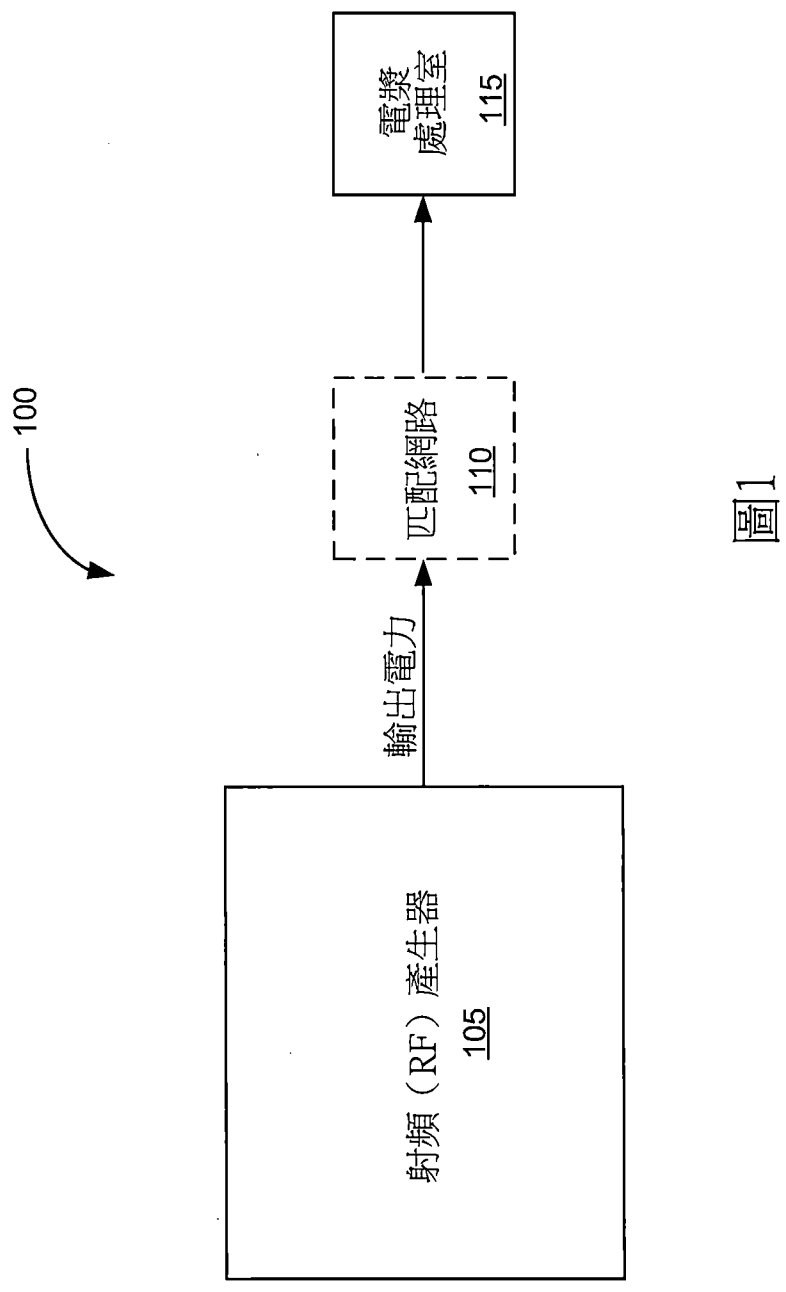


圖1

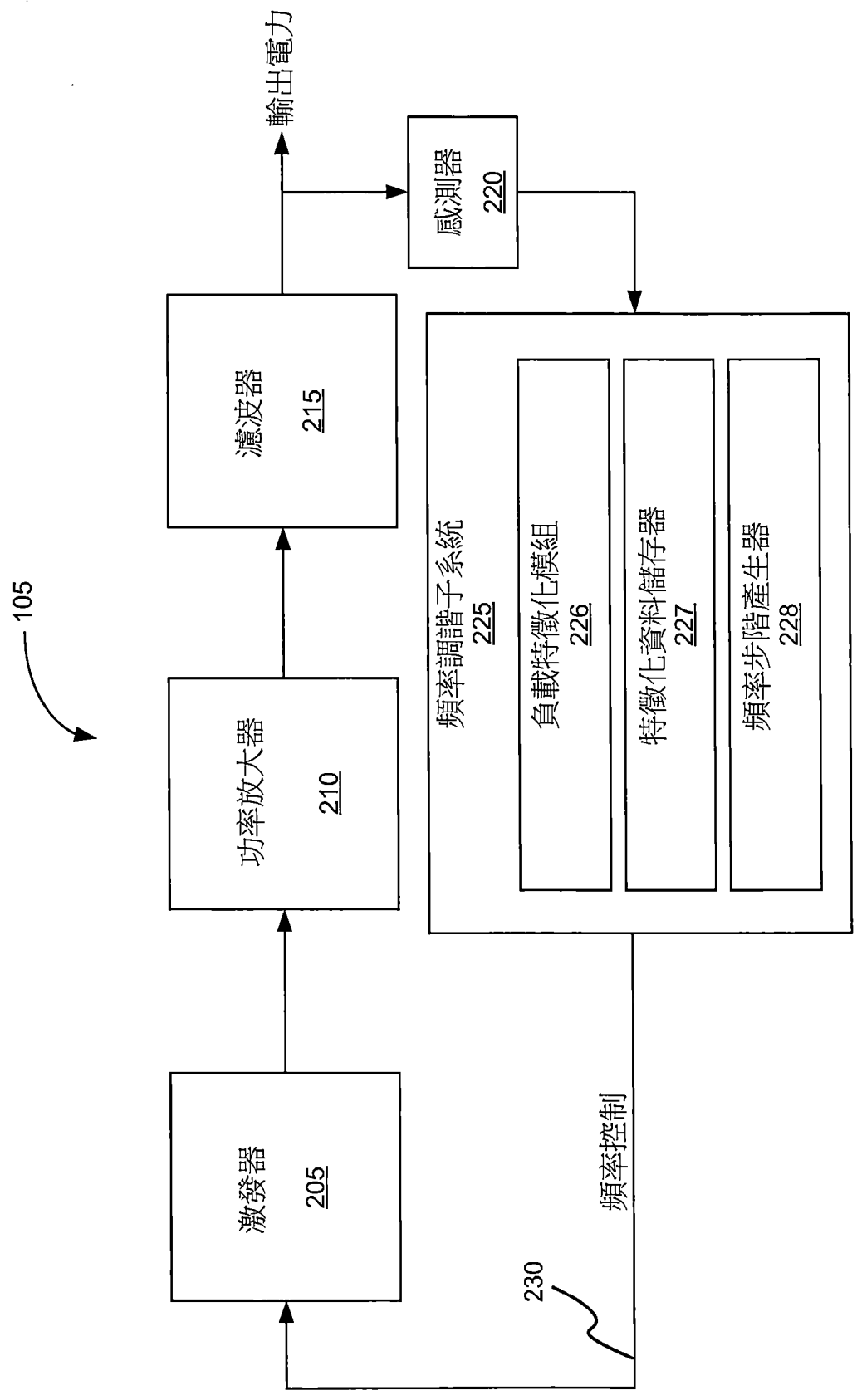


圖2

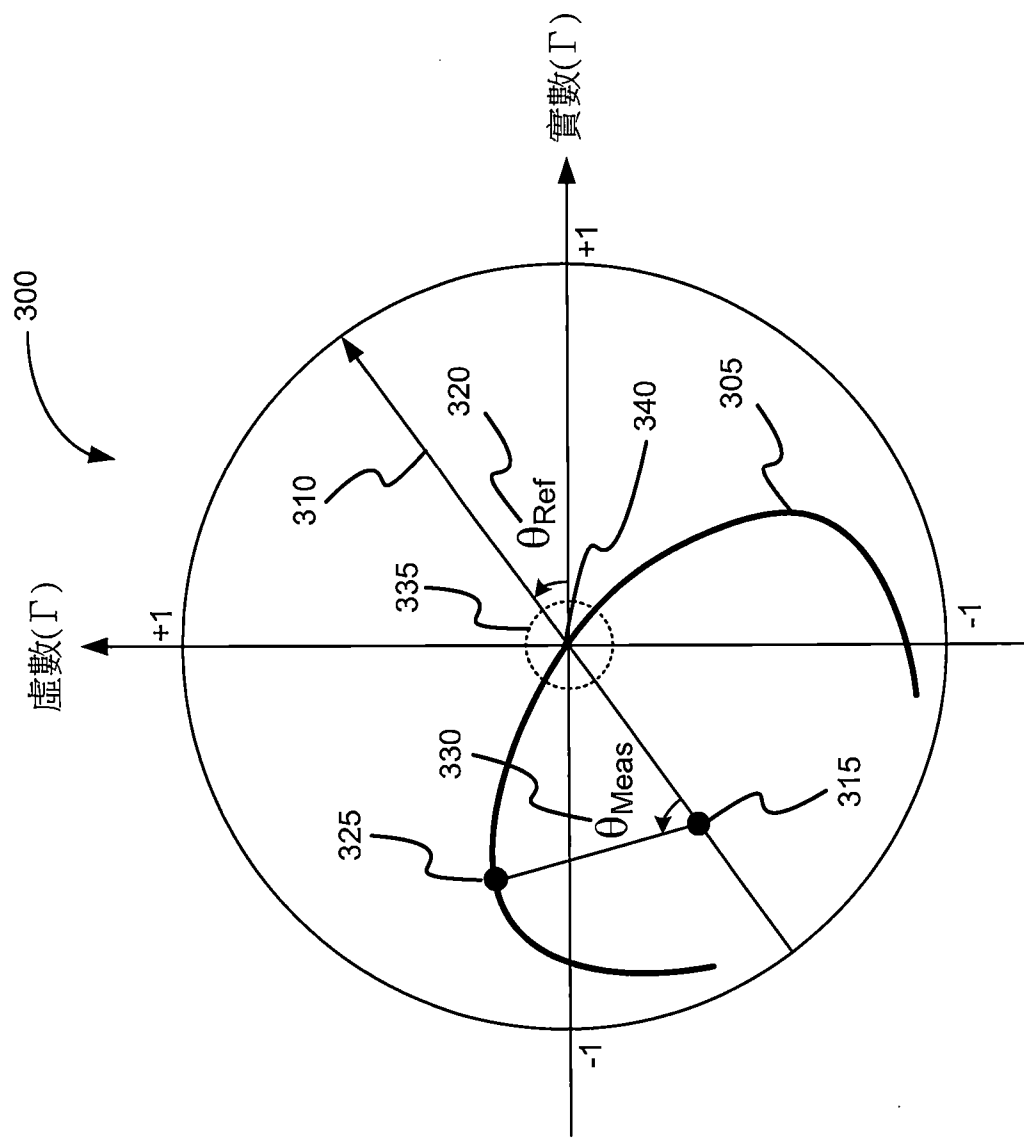


圖3

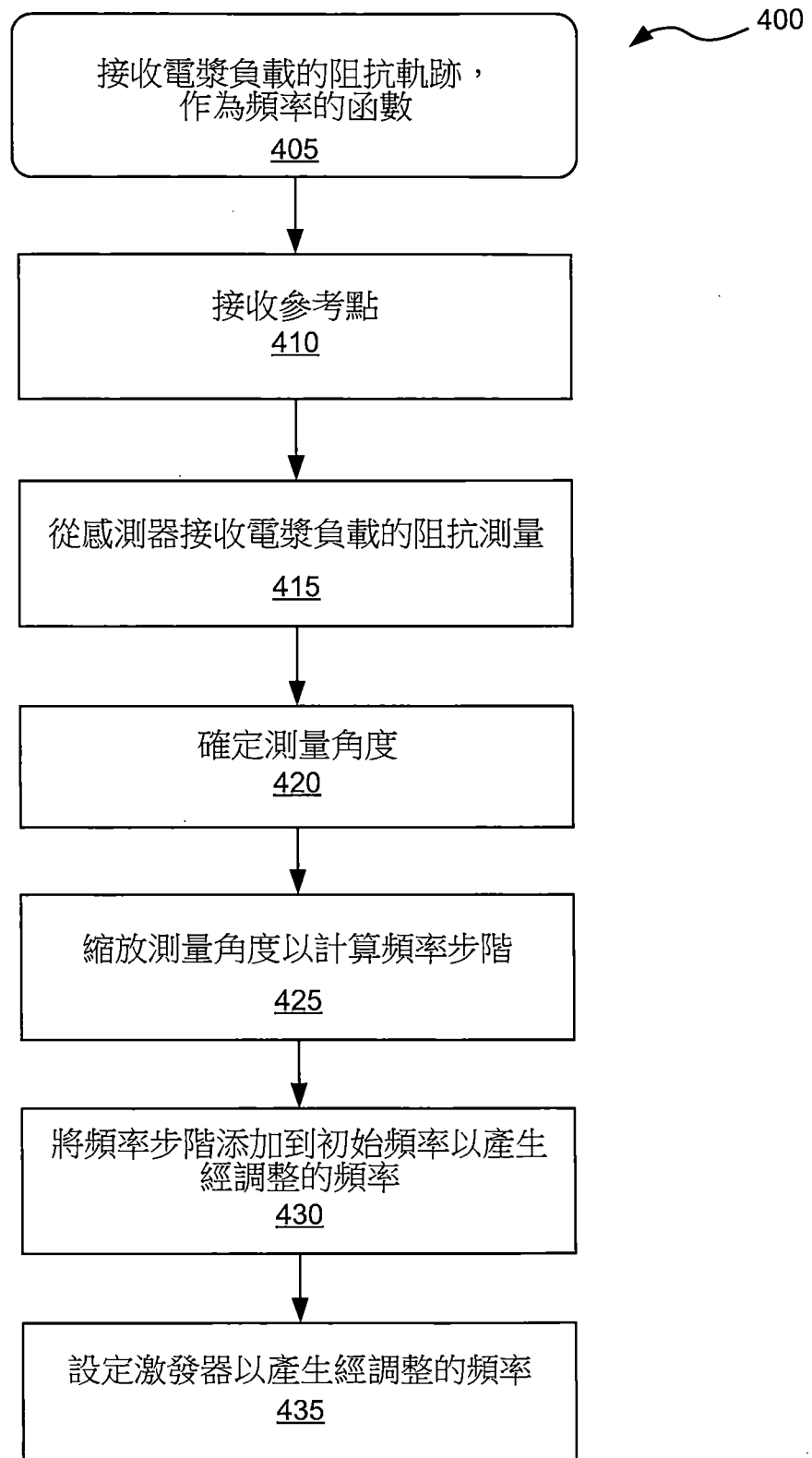


圖4

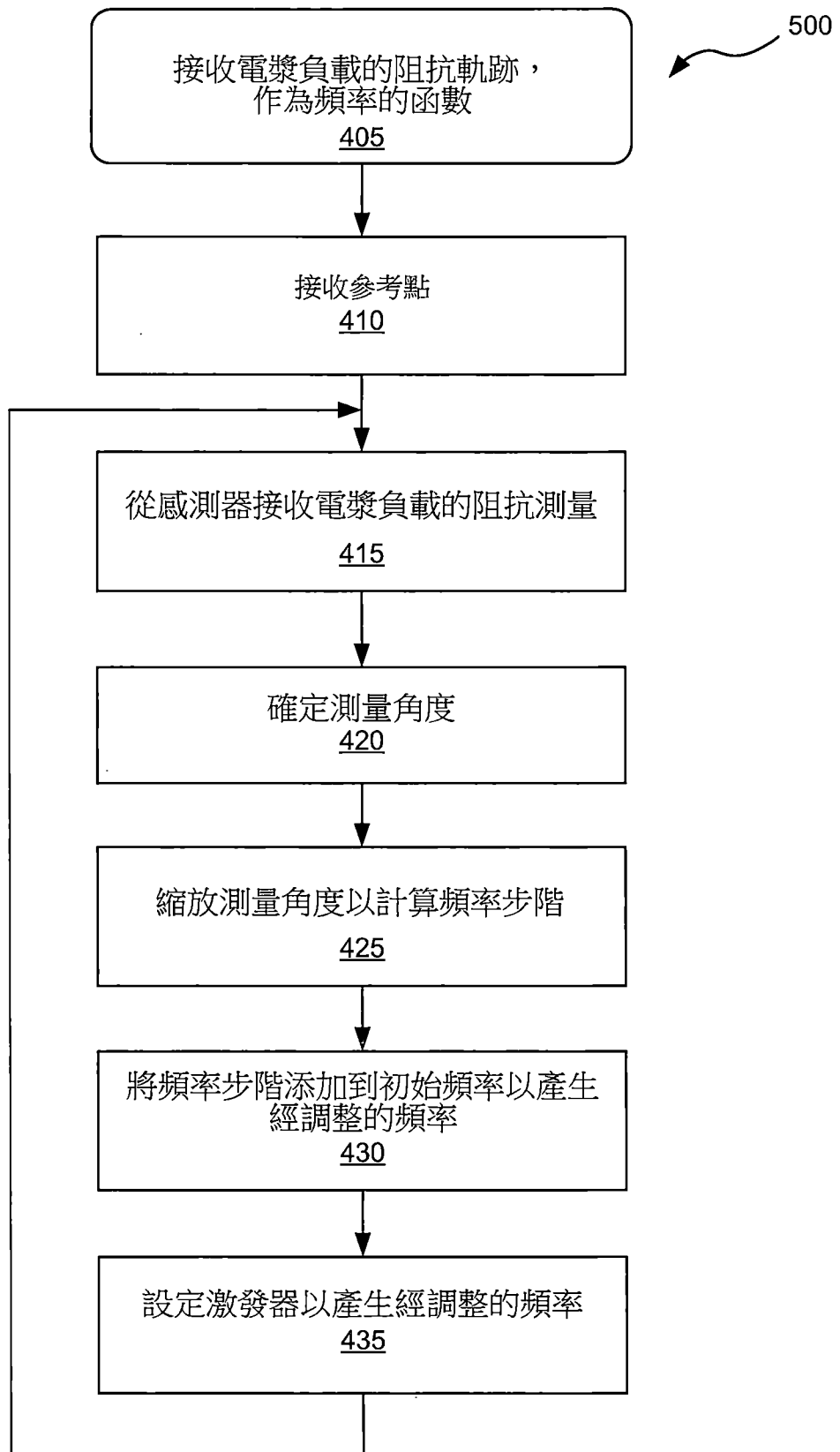


圖5

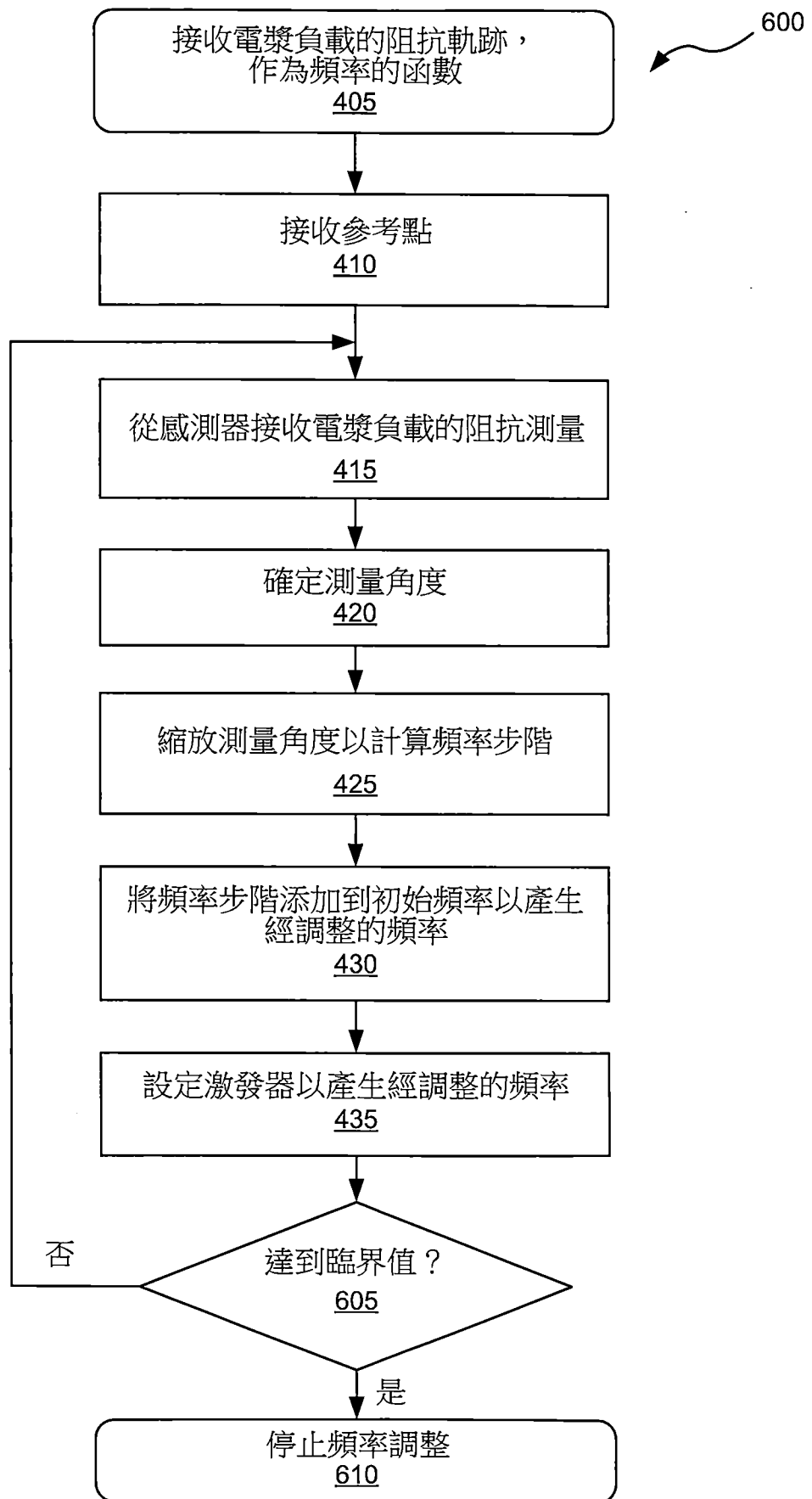


圖6

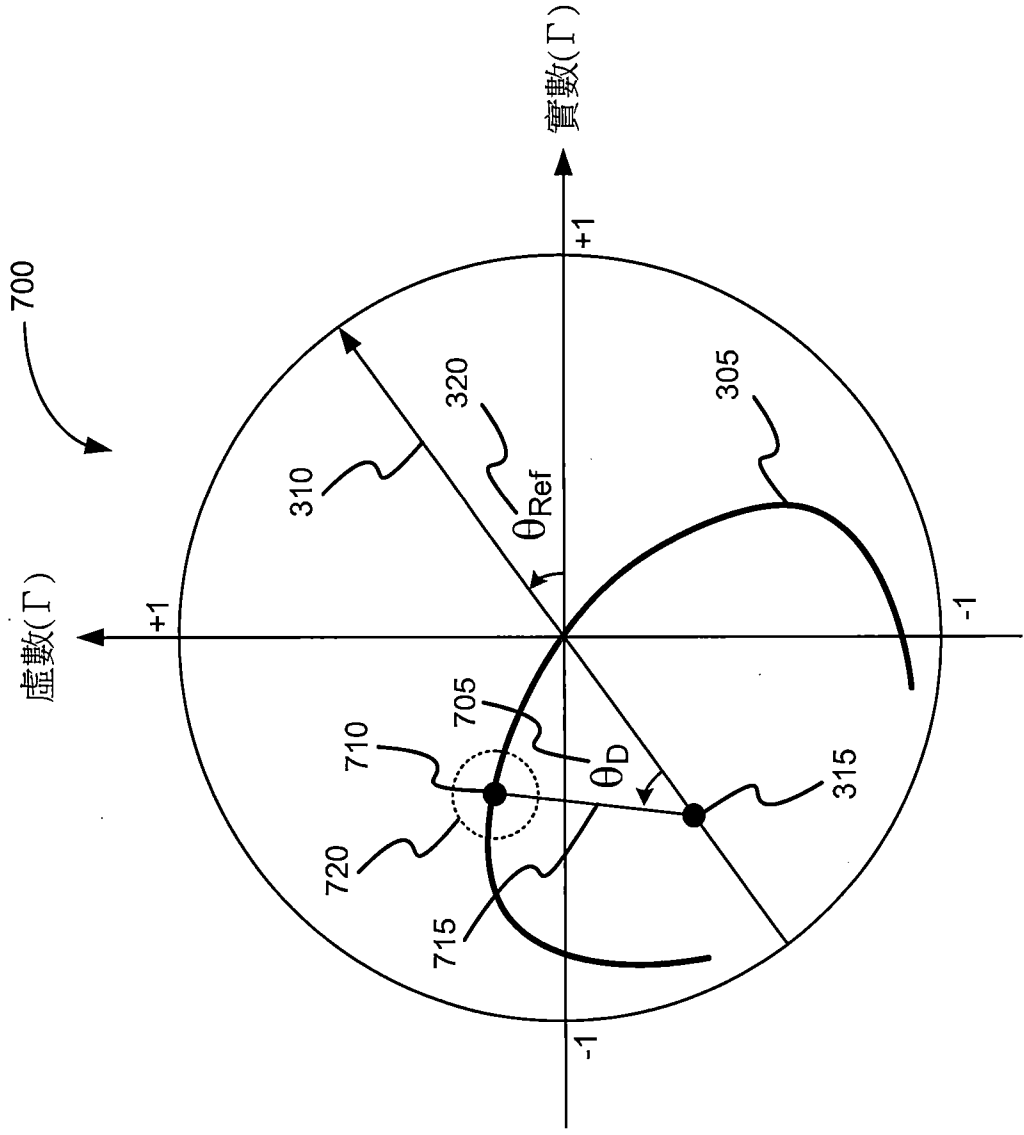


圖7

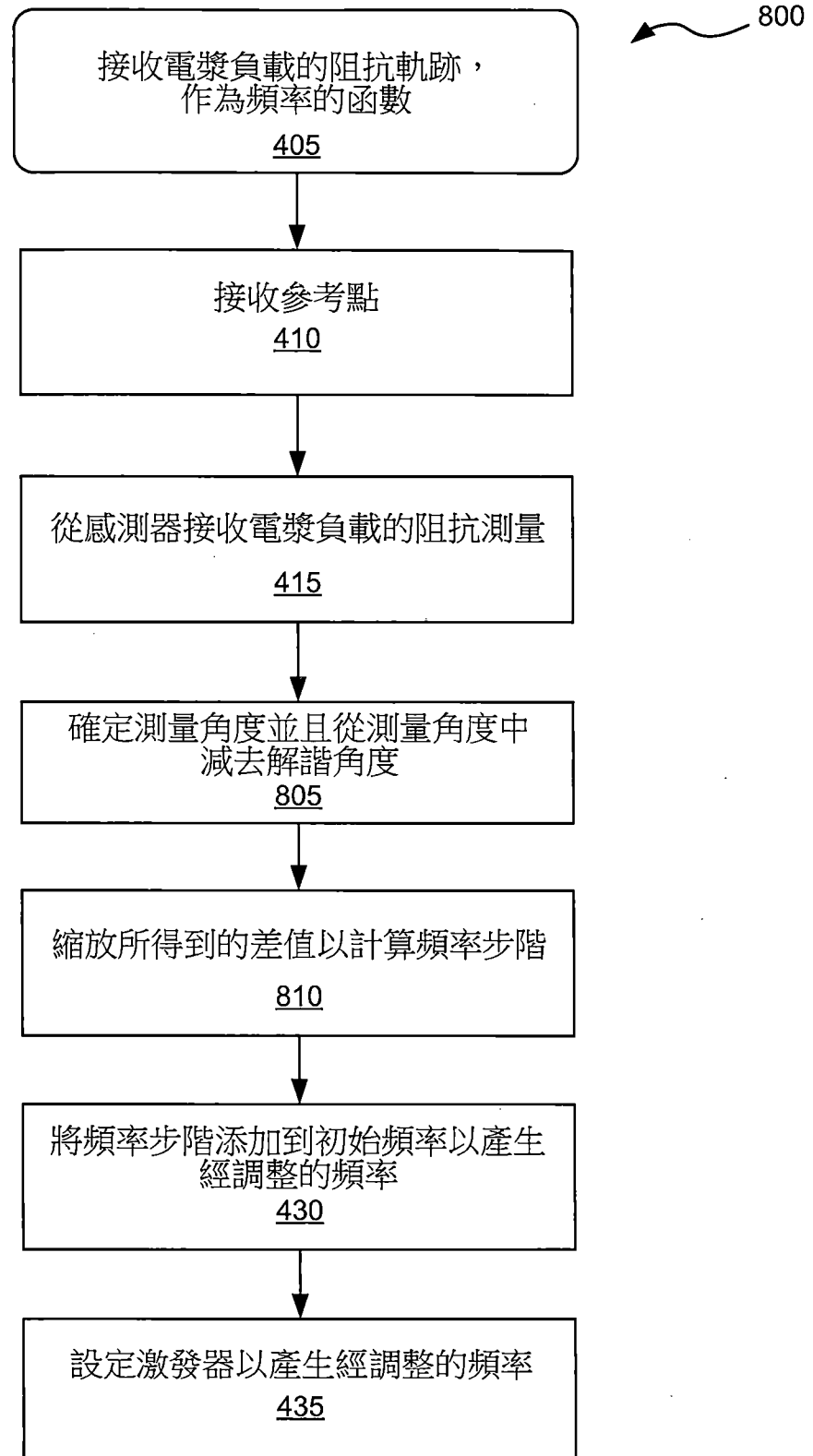


圖8

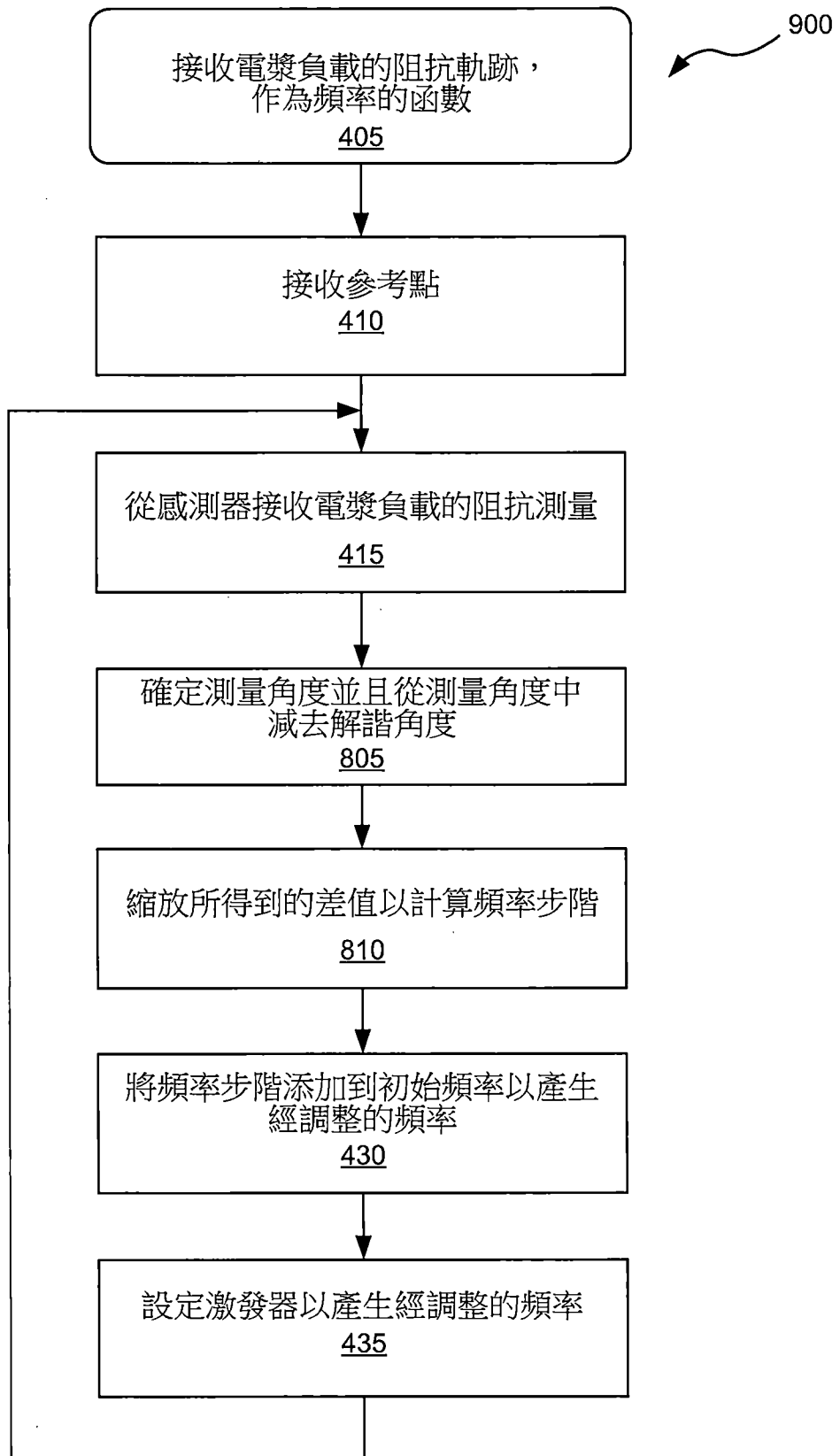


圖9

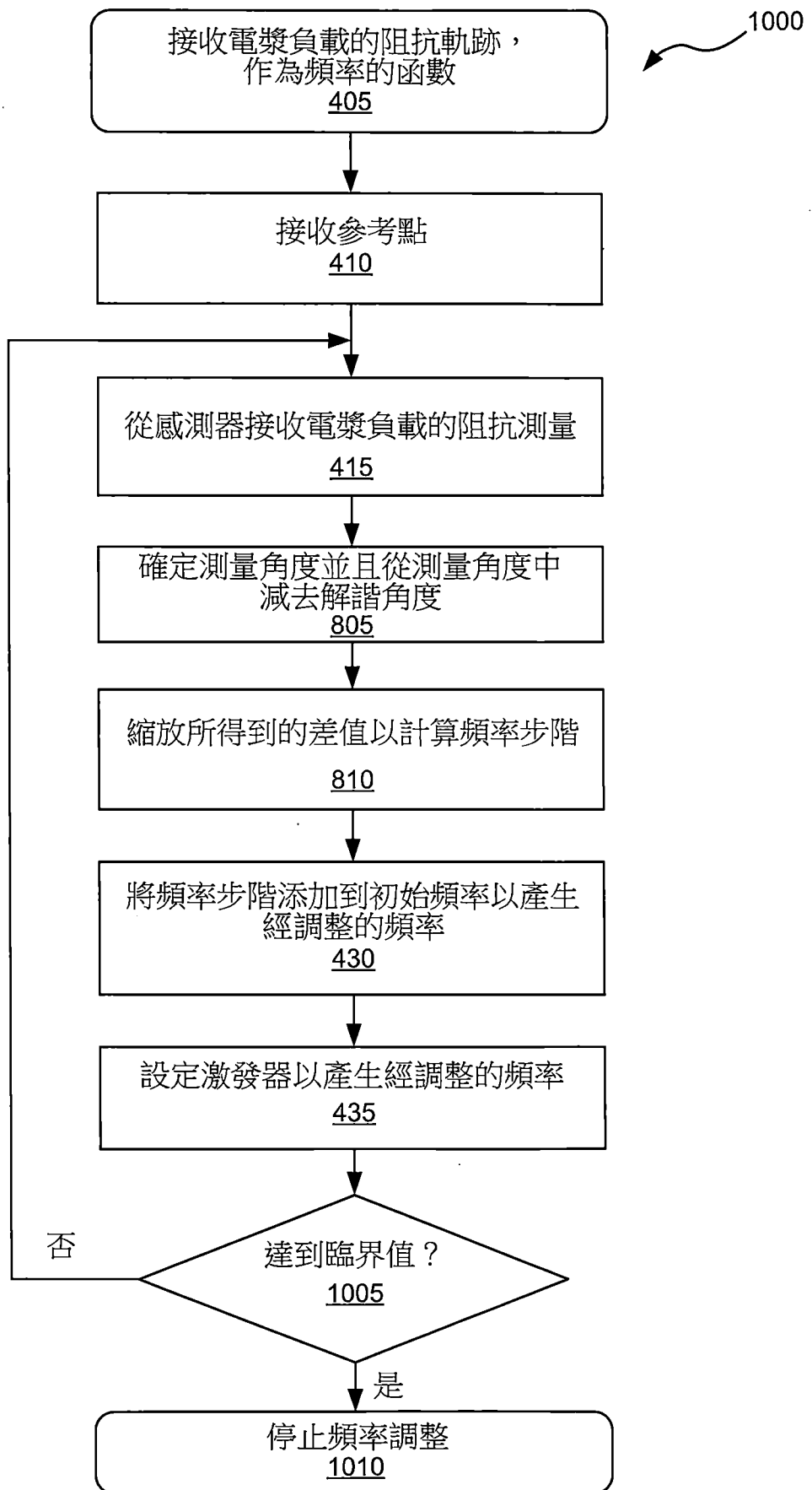


圖10

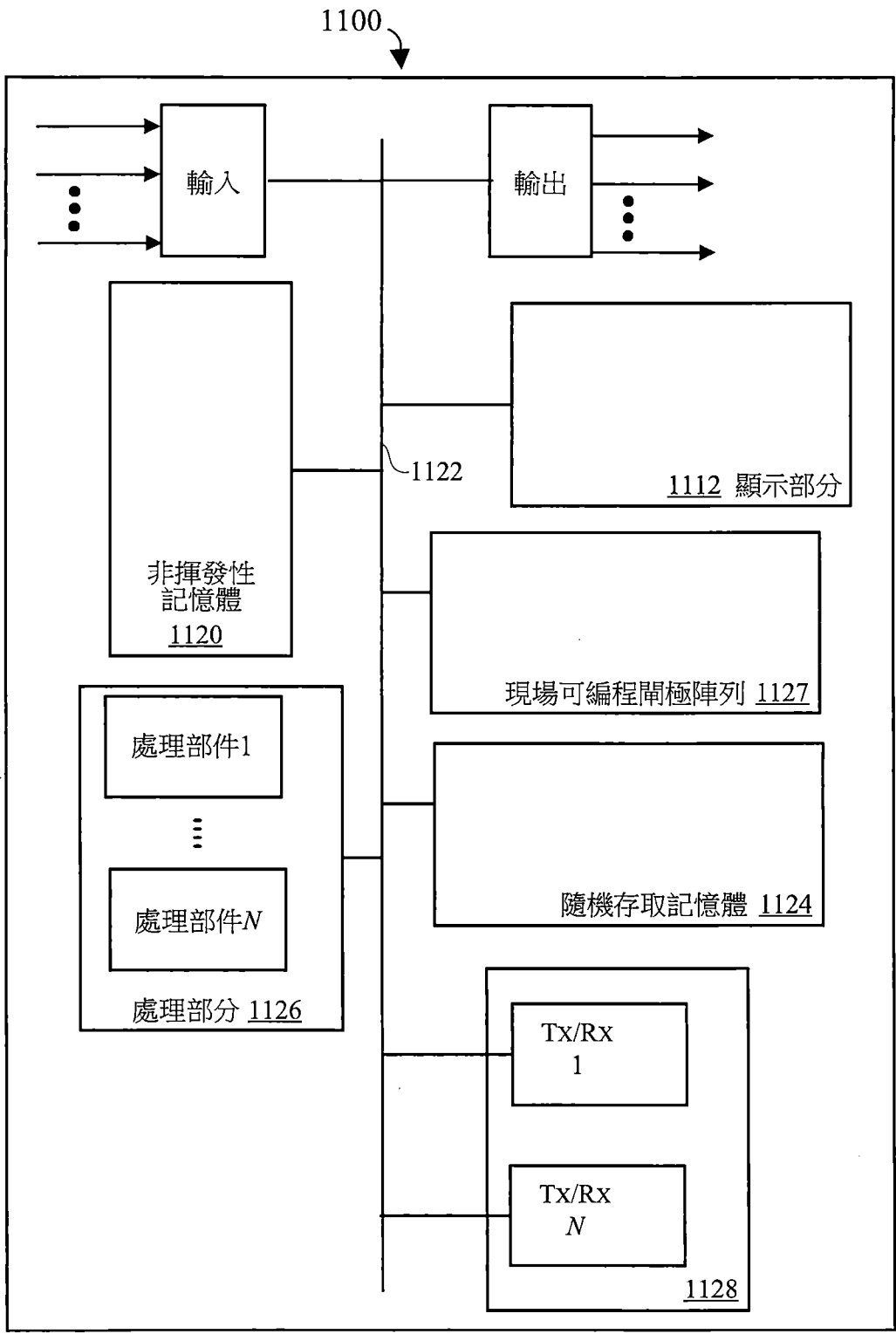


圖11

申請專利範圍

1.一種射頻 (RF) 產生器，其包括：

一激發器，所述激發器產生在初始頻率處振盪的信號；

一功率放大器，所述功率放大器放大所述信號來產生經放大的振盪信號；

一濾波器，所述濾波器對所述經放大的振盪信號進行濾波來產生供電給電漿處理室中的電漿負載的輸出信號；

一感測器，所述感測器感測所述電漿負載的至少一特性；以及

一頻率調諧子系統，所述頻率調諧子系統被配置用以：

產生所述電漿負載的阻抗軌跡，作為激發器頻率的函數；

接收在複數反射係數平面中的一參考點，所述參考點落於一參考向量上，所述參考向量通過所述參考點和所述複數反射係數平面的原點；

從所述感測器接收所述電漿負載的經測量的阻抗，所述經測量的阻抗沿著所述阻抗軌跡而分佈；

確定在所述參考向量與一線之間的測量角度，所述線穿過所述參考點及所述經測量的阻抗所對應在所述複數反射係數平面中的一點，所述經測量的阻抗係以複數反射係數來表示；

將所述測量角度以一預定常數來進行縮放，藉以產生頻率步階；

將所述頻率步階添加到所述初始頻率，藉以產生經調整的頻率；以及

及

致使所述激發器產生在所述經調整的頻率處振盪的信號。

2.如申請專利範圍第 1 項所述之 RF 產生器，其中所述 RF 產生器被配

置用以經由一或多個匹配網路來供電給所述電漿負載。

3.如申請專利範圍第 1 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧子系統被配置用以疊代地重複以下動作：

從所述感測器接收所述電漿負載的經測量的阻抗；

確定在所述參考向量與所述線之間的測量角度，所述線穿過所述參考點及所述經測量的阻抗所對應在所述複數反射係數平面中的一點；

將所述測量角度以所述預定常數來進行縮放，藉以產生頻率步階；

將所述頻率步階添加到所述初始頻率，藉以產生經調整的頻率；以及

致使所述激發器產生在所述經調整的頻率處振盪的信號。

4.如申請專利範圍第 3 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧子系統被配置用以疊代地重複以下動作，直到對應於所述經測量的阻抗之複數反射係數的量值小於預定臨界值為止：

從所述感測器接收所述電漿負載的經測量的阻抗；

確定在所述參考向量與所述線之間的測量角度，所述線穿過所述參考點及所述經測量的阻抗所對應在所述複數反射係數平面中的一點；

將所述測量角度以所述預定常數來進行縮放，藉以產生頻率步階；

將所述頻率步階添加到所述初始頻率，藉以產生經調整的頻率；以及

致使所述激發器產生在所述經調整的頻率處振盪的信號。

5.如申請專利範圍第 1 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧子系統被配置用以藉由從所述測量角度減去預定解諧角度並將差值以所述預定常數來進行縮放來產生所述頻率步階。

6.如申請專利範圍第 3 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧子系統

被配置用以在每次疊代處，藉由從所述測量角度減去預定解諧角度並將差值以所述預定常數來進行縮放來產生所述頻率步階。

7.如申請專利範圍第 6 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧子系統被配置用以在對應於所述經測量的阻抗之複數反射係數與所述阻抗軌跡上的一預定解諧點之間的差值小於預定臨界值的時候終止頻率調整的疊代動作，所述預定解諧點係以所述複數反射係數平面中的複數反射係數來表示。

8.如申請專利範圍第 1 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧子系統被配置用以藉由將所述測量角度提高到大於 1 的冪次並將結果以所述預定常數來進行縮放來產生所述頻率步階。

9.一種射頻 (RF) 產生器，其包括：

產生信號的構件，所述信號在初始頻率處振盪；

放大所述信號的構件，其係用以放大所述信號來產生經放大的振盪信號；

濾波構件，所述濾波構件對所述經放大的振盪信號進行濾波來產生供電給電漿處理室中的電漿負載的輸出信號；

感測構件，所述感測構件感測所述電漿負載的至少一特性；以及

頻率調諧構件，所述頻率調諧構件包括：

產生所述電漿負載的阻抗軌跡作為頻率的函數的構件；

接收在複數反射係數平面中的一參考點的構件，所述參考點落於一參考向量上，所述參考向量通過所述參考點和所述複數反射係數平面的原點；

從所述感測構件接收所述電漿負載的經測量的阻抗的構件，所述經

測量的阻抗沿著所述阻抗軌跡而分佈；

確定在所述參考向量與一線之間的測量角度的構件，所述線穿過所述參考點及所述經測量的阻抗所對應在所述複數反射係數平面中的一點，所述經測量的阻抗係以複數反射係數來表示；

將所述測量角度以一預定常數來進行縮放藉以產生頻率步階的構件；

將所述頻率步階添加到所述初始頻率藉以產生經調整的頻率的構件；以及

致使所述產生信號的構件產生在所述經調整的頻率處振盪的信號的構件。

10.如申請專利範圍第 9 項所述之 RF 產生器，其中所述 RF 產生器被配置用以經由一或多個匹配網路來供電給所述電漿負載。

11.如申請專利範圍第 9 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧構件包括疊代地重複以下動作的構件：

從所述感測器接收所述電漿負載的經測量的阻抗；

確定在所述參考向量與所述線之間的測量角度，所述線穿過所述參考點及所述經測量的阻抗所對應在所述複數反射係數平面中的一點；

將所述測量角度以所述預定常數來進行縮放，藉以產生頻率步階；

將所述頻率步階添加到所述初始頻率，藉以產生經調整的頻率；以及

致使所述產生信號的構件產生在所述經調整的頻率處振盪的信號。

12.如申請專利範圍第 11 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧構件包括疊代地重複以下動作直到對應於所述經測量的阻抗之複數反射係數的

量值小於預定臨界值為止的構件：

從所述感測器接收所述電漿負載的經測量的阻抗；

確定在所述參考向量與所述線之間的測量角度，所述線穿過所述參考點及所述經測量的阻抗所對應在所述複數反射係數平面中的一點；

將所述測量角度以所述預定常數來進行縮放，藉以產生頻率步階；

將所述頻率步階添加到所述初始頻率，藉以產生經調整的頻率；以及

致使所述產生信號的構件產生在所述經調整的頻率處振盪的信號。

13.如申請專利範圍第 9 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧構件包括藉由從所述測量角度減去預定解諧角度並將差值以所述預定常數來進行縮放來產生所述頻率步階的構件。

14.如申請專利範圍第 11 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧構件包括在每次疊代處藉由從所述測量角度減去預定解諧角度並將差值以所述預定常數來進行縮放來產生所述頻率步階的構件。

15.如申請專利範圍第 14 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧構件包括在對應於所述經測量的阻抗之複數反射係數與所述阻抗軌跡上的一預定解諧點之間的差值小於預定臨界值的時候終止頻率調整的疊代動作的構件，所述預定解諧點係以所述複數反射係數平面中的複數反射係數來表示。

16.如申請專利範圍第 9 項所述之 RF 產生器，其中所述頻率調諧構件包括藉由將所述測量角度提高到大於 1 的幕次並將結果以所述預定常數來進行縮放來產生所述頻率步階的構件。