



(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 201944729 A

(43)公開日：中華民國 108 (2019) 年 11 月 16 日

(21)申請案號：107140786

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 11 月 16 日

(51)Int. Cl.：

H03H7/38 (2006.01)

H05H1/46 (2006.01)

H01J37/32 (2006.01)

(30)優先權：2018/01/21

美國

15/876,189

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

美國

(72)發明人：柯莫 大衛 J COUMOU, DAVID J. (US)；布朗 丹尼斯 M BROWN, DENNIS M.

(US)；茂特 埃爾德里奇 M 四世 MOUNT, ELDRIDGE M. IV (US)

(74)代理人：張仲謙

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：35 項 圖式數：10 共 48 頁

(54)名稱

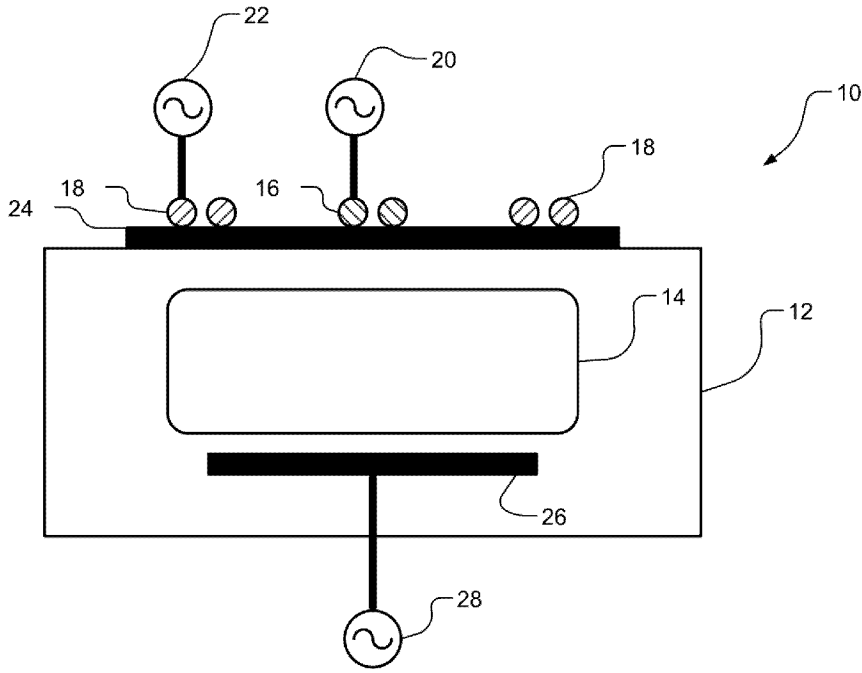
射頻電漿系統中用來控制阻礙及 I MD 堵塞損害的自動調整反制

(57)摘要

一種雙頻 RF 產生系統中的射頻(RF)產生器。RF 產生器檢測由兩個頻率的相互作用所產生的互調失真(IMD)分量。藉由調整 RF 產生器輸出的 RF 訊號的相位來降低 IMD。在各種配置中，還可以藉由施加功率調整值來降低 IMD。

A radio frequency generator in a dual frequency RF generation system is provided. The RF generator detects IMD components resulting from interaction of the two frequencies. The IMD is reduced by adjusting the phase of the RF signal output by the RF generator. In various configurations, the IMD may also be reduced by applying a power adjustment value.

指定代表圖：



符號簡單說明：

10 . . . 電感耦合電漿系統

12 . . . 電漿腔室

14 . . . 電漿

16 . . . 內線圈

18 . . . 外線圈

20、22、28 . . . 電源

24 . . . 介電窗

26 . . . 基板

圖1

【發明說明書】

【中文發明名稱】射頻電漿系統中用來控制阻礙及IMD堵塞損害的自動調整反制

【英文發明名稱】ADAPTIVE COUNTER MEASURE CONTROL THWARTING
IMD JAMMING IMPAIRMENTS FOR RF PLASMA SYSTEMS

【技術領域】

【0001】本揭露涉及電漿系統，並且涉及在具有驅動非線性負載的多個功率產生器的系統中控制互調失真(IMD)。

【先前技術】

【0002】這裡提供的背景技術描述是為了一般性地呈現本揭露的上下文的目的。當發明人的成果被描述於此先前技術段落內，且所描述的態樣於申請時不屬先前技術，則不可以明確地或暗示地被用作為核駁本揭露的先前技術。

【0003】電漿蝕刻經常用於半導體製造中。在電漿蝕刻中，藉由電場加速離子以蝕刻基板上暴露的表面。在一個基本實踐中，電場是基於RF功率訊號而產生，RF功率訊號是由RF功率系統的射頻(RF)產生器產生的。必須精確控制由RF產生器產生的RF功率訊號，以有效地執行電漿蝕刻。

【發明內容】

【0004】射頻(RF)產生器包括功率放大器，功率放大器根據輸入控制訊號產生施加到非線性負載的第一RF訊號。互調失真(IMD)模組決定從非線性負載反

射的訊號中的IMD，其中IMD係根據第一RF訊號和來自第二RF產生器且被施加到非線性負載的第二RF訊號之間的相互作用而產生。相位調整模組接收由IMD模組決定的IMD並決定相位調整。相位調整模組產生調整訊號以降低IMD，調整訊號改變第一RF訊號的相位。

【0005】 用於降低IMD的裝置包括互調失真(IMD)模組，其被配置以響應於分別透過第一射頻產生器和第二射頻產生器施加至非線性負載的第一射頻訊號和第二射頻訊號來決定從非線性負載反射的IMD。IMD係根據第一RF訊號和第二RF訊號之間的相互作用而產生。相位調整模組接收由IMD模組決定的IMD並決定相位調整。相位調整模組產生調整訊號以降低IMD，其中調整訊號改變第一RF訊號或第二RF訊號中所選擇的一個的相位。調整訊號輸入到RF產生器的功率放大器，其中的RF產生器係指產生所選擇的第一RF訊號或第二RF訊號中的一個的RF產生器，以改變所選的該個RF訊號的相位(所選的第一RF訊號或第二RF訊號係由所選的第一RF產生器或第二RF產生器輸出)。

【0006】 用來降低IMD的方法包括響應於分別透過第一射頻產生器以及第二射頻產生器施加到非線性負載的第一射頻訊號以及第二射頻訊號來決定從非線性負載反射的互調失真分量。根據第一RF訊號和第二RF訊號之間的相互作用產生IMD。決定相位調整並產生調整訊號以降低IMD，其中調整訊號改變第一RF訊號或第二RF訊號中所選擇的一個的相位。調整訊號輸入到RF產生器的功率放大器，其中的RF產生器係指產生所選擇的第一RF訊號或第二RF訊號中的一個的RF產生器，以改變所選的該個RF訊號的相位(所選的第一RF訊號或第二RF訊號係由所選的第一RF產生器或第二RF產生器輸出)。

【0007】 根據下面的詳細說明、申請專利範圍和所附圖式，本揭露的其他應用範圍將變得顯而易見。詳細描述和具體示例僅用於說明的目的，並不旨在限制本揭露的範圍。

【圖式簡單說明】

【0008】 從下面的詳細描述和所附圖式中將更全面地理解本揭露，其中：

【0009】 圖1係繪示電感耦合電漿系統；

【0010】 圖2係繪示電容耦合電漿系統；

【0011】 圖3係繪示根據本揭露的各種實施例設置的電漿系統的廣義表示；

【0012】 圖4係繪示由一對RF產生器驅動的電漿系統並指出返回其中一個RF產生器的IMD的示意性方塊圖；

【0013】 圖5係繪示一對RF產生器的波形的頻率對振幅圖以及在該對RF產生器之間產生的IMD；

【0014】 圖6係繪示第一組RF波形的歸一化相位對歸一化傳輸線電壓的曲線圖；

【0015】 圖7係繪示第二組RF波形的歸一化相位對歸一化傳輸線電壓的曲線圖；

【0016】 圖8是根據本揭露設置的IMD反制系統的示意性方塊圖；

【0017】 圖9是根據本揭露設置的IMD反制系統的詳細方塊圖；以及

【0018】 圖10是描述用於降低IMD的方法的流程圖。

【0019】 在附圖中，可以重複使用元件符號來標識相似和/或相同的元件。

【實施方式】

【0020】 現在將參考附圖更全面地描述示例實施例。

【0021】 RF功率系統可以包括RF產生器、匹配網路和負載(例如，電漿腔室)。RF產生器產生RF功率訊號，其由匹配網路接收。匹配網路將匹配網路的輸入阻抗與RF產生器和匹配網路之間的傳輸線的特徵阻抗相匹配。這個阻抗匹配有助於最大化傳送到匹配網路的功率量(正向(forward)功率)並最小化從匹配網路反射回RF產生器的功率量(反向功率)。當匹配網路的輸入阻抗與傳輸線的特徵阻抗匹配時，可以最大化正向功率並最小化反向功率。

【0022】 在RF電源或RF電源供應器領域中，通常有兩種將RF訊號施加到負載的方法。第一種較傳統的方法是將連續波訊號施加到負載。在連續波模式中，連續波訊號通常是正弦波，其由RF電源連續輸出到負載。在連續波的方法中，RF訊號呈現正弦輸出，並且可以改變正弦波的振幅和/或頻率以便改變施加到負載的輸出功率。

【0023】 將RF訊號施加到負載的第二種方法涉及產生脈衝形式的RF訊號，而不是將連續波訊號施加到負載。在脈衝操作模式中，RF正弦訊號由調變訊號調變以定義所調變的正弦訊號的封包。在傳統的脈衝調變方案中，RF正弦訊號通常以恆定的頻率和振幅輸出。藉由改變調變訊號而不是改變正弦RF訊號來改變傳輸給負載的功率。

【0024】 在典型的RF電源供應配置中，施加到負載的輸出功率是藉由感測器測量施加到負載的RF訊號的正向(forward)和反射功率或是電壓和電流來決定。在一控制迴路中分析這些訊號的每一個集合(set)。該分析通常決定一功率值，該功率值則用於調整RF電源供應器的輸出以便改變施加到負載的功率。在

RF功率輸送系統中，該負載是指電漿腔室或其他非線性負載，負載的阻抗變化相應地導致了施加到負載的功率變化，因為所施加的功率部分地是負載的阻抗的函數。

【0025】 在電漿系統中，通常以兩種配置之一輸送電力。在第一種配置中，電力以電容耦合方式被耦合到電漿腔室。這種系統稱為電容耦合電漿(CCP)系統。在第二種配置中，電力以電感耦合方式被耦合到電漿腔室。這種系統通常稱為電感耦合電漿(ICP)系統。電漿輸送系統通常包括施加到一個或複數個電極的偏壓功率(bias power)和電源功率(source power)。電源功率係典型地產生電漿並控制電漿密度，而偏壓功率調變(modulate)鞘層(sheath)成分中的離子。根據各種設計考量，偏壓和電源可以共用相同的電極或可以使用不同的電極。

【0026】 當RF功率輸送系統驅動一非線性負載形式的負載時，例如電漿腔室，被電漿鞘層吸收的RF功率產生了具有一定範圍的離子能量的離子聚集(density)。離子能量的一個特徵量度(characteristic measure)是離子能量分佈函數(IEDF)。可以利用偏壓RF波形來控制離子能量分佈函數(IEDF)。對於一個施加多個RF功率訊號到負載的系統，係藉由改變與頻率和相位相關的多個RF訊號來控制IEDF。可以鎖定多個RF功率訊號之間的頻率，並且還可以鎖定多個RF訊號之間的相對相位。這種系統的實例可以參考美國專利No.7,602,127、美國專利No.8,110,991和美國專利No.8,395,322找到，上述專利都轉讓給本發明的受讓人並藉由引用結合在本申請中。

【0027】 RF電漿處理系統還可以包括用於電漿生成和控制的構件。這樣的構件之一是非線性負載，例如電漿腔室或反應器。在RF電漿處理系統中使用的典型電漿腔室或反應器，例如，用於薄膜製造，可以使用雙頻系統。雙頻系統

的一個頻率(電源)控制電漿的產生，而雙頻系統的另一個頻率(偏壓)控制離子能量。雙頻系統的示例包括在上面引用的美國專利No.7,602,127、美國專利8,110,991和美國專利No.8,395,322中描述的系統。在上述專利中描述的雙頻系統需要閉迴路控制系統以調整RF電源操作以控制離子密度及其相應的離子能量分佈函數(IEDF)。

【0028】 存在多種用於控制電漿腔室以產生電漿的方法。例如，驅動RF訊號的相位和頻率可用於控制電漿生成。對於RF驅動的電漿電源，影響電漿鞘層動態和相應的離子能量的周期性波形通常是已知的，並且由周期性波形的頻率和相關的相位相互作用控制。另一種方法涉及雙頻控制。也就是說，兩個RF頻率電源係用於為電漿腔室供電以大致上獨立地控制離子和電子的密度。

【0029】 另一種方法利用寬帶RF電源來驅動電漿腔室。寬帶方法帶來了某些挑戰。一個挑戰是將電源耦合到電極。第二個挑戰是，對所需IEDF的實際鞘層電壓，必須針對寬製程空間(wide-process space)來制定所產生的波形的傳遞函數，以支持材料表面相互作用。在電感耦合電漿系統中的一種響應方法中，電漿密度係以控制施加到電源電極的功率來控制，而以對施加到偏壓電極的功率的控制來調變離子，以控制IEDF而得以控制蝕刻速率。利用對電源電極和偏壓電極的控制，蝕刻速率得以藉由離子密度和能量來控制。

【0030】 隨著積體設備製造的不斷發展，用於設備結構製造的電漿控制的功率要求也在不斷發展。例如，對於記憶裝置的製造，RF偏壓功率的要求持續增加。增加的功率產生更高的能量離子以得到更快的表面相互作用，從而提高蝕刻速率。增加的偏壓功率有時伴隨著較低的偏壓頻率要求並增加了耦合到在電漿腔室中產生的電漿鞘層的RF偏壓電源的數量。在較低偏壓頻率下增加的功

率和RF偏壓電源的增加導致了來自鞘層調變(sheath modulation)的互調變失真(intermodulation distortion, IMD)發射。IMD發射可以顯著降低用來產生電漿的電源所提供的RF功率。美國專利申請No.13 / 834,786描述了一種藉由監視另一頻帶中的功率來進行脈衝同步的方法。在所引用的美國專利申請中，根據在第二RF產生器處檢測第一RF產生器的脈衝來控制第二RF產生器的脈衝，從而使兩個RF產生器之間的脈衝同步。

【0031】 雖然上述系統能夠對電漿處理進行一定程度的控制，但是，需要持續改進上述方法以滿足對更高偏壓功率和更低偏壓頻率的不斷增長的需求。

【0032】 圖1描繪了電感耦合電漿(ICP)系統10的示例性表示。ICP系統10包括非線性負載，例如電漿腔室12，其在本文中可互換使用，ICP系統10用於產生電漿14。藉由一對線圈將電壓或電流形式的電力施加到電漿腔室12，所述一對線圈包括線圈總成(coil assembly)，線圈總成在各種實施例中包括內線圈16和外線圈18。經由RF產生器或電源20向內線圈16供電，並且經由RF產生器或電源22向外線圈18供電。內線圈16和外線圈18安裝到介電窗24，介電窗24有助於將功率耦合到電漿腔室12。基板26放置在電漿腔室12中，並且基板26通常是作為電漿操作對象的工件。RF產生器、電源供應器或電源28(這些術語在本文中可互換使用)經由基板26向電漿腔室12供電。在各種配置中，RF電源20、22提供電源電壓或電源電流以點燃或產生電漿14或控制電漿密度。同樣在各種配置中，RF電源28提供偏壓電壓或偏壓電流，其調變離子以控制電漿14的離子能量或離子密度。在各種實施例中，RF電源20、22以固定的或變化的相對相位被鎖定以在相同的頻率、電壓和電流下操作。在各種其他的實施例中，RF電源20、22可以在不同的頻率、電壓和電流以及相對相位下操作。

【0033】圖2描繪了電容耦合電漿(CCP)系統30的示例性表示。CCP系統30包括了用來產生電漿34的電漿腔室32。放置在電漿腔室32內的一對電極36、38分別連接到RF產生器或RF電源40、42。在各種實施例中，RF電源40提供電源電壓或電源電流以點燃或產生電漿34或控制電漿密度。同樣在各種實施例中，RF電源42提供偏壓電壓或偏壓電流，這對電漿中的離子進行了調變，以控制電漿34的離子能量和/或離子密度。在各種實施例中，當RF電源諧波相關(harmonically related)時，電源40，42在相對相位下操作。在各種其他實施例中，電源40，42以固定的或變化的相對相位操作在不同的頻率、電壓和電流下。同樣在各種實施例中，電源40，42可以連接到同一電極，而相對電極(counter electrode)連接到地或者連接到第三RF產生器。

【0034】圖3描繪了雙頻電漿系統50的概括表示，並且將用於描述本揭露的RF功率系統的一般操作。電漿系統50包括連接到地面54的第一電極52和與第一電極52間隔開的第二電極56。第一RF電源58以第一頻率 f (低頻)產生施加到第二電極56的第一RF功率。第二電源60(以高頻)產生施加到第二電極56的第二RF功率。在各種實施例中，電源60以第二頻率 $n\omega$ 操作，第二頻率 $n\omega$ 是第一電源58的頻率的第 n 階諧波頻率。在各種其他實施例中，電源60的操作頻率不是第一電源58的頻率的倍數。

【0035】以多個諧波來驅動電極提供了電控制DC自偏壓的機會，並提供了定制(tailor)離子密度的能量水平的機會。在製定合適的解決方法以消除或降低IMD分量的功率頻譜時，必須考慮控制鞘層動態和電漿生成的均衡(equation)。在這樣做時，當運用了能夠減輕IMD損害的方法時，期待能避免對鞘層動態造成改變。藉由較高RF電源所產生的電漿生成不會造成對電漿生成產生影響的功

率或功能也是很重要的。離子和電漿生成都是用於表面去除(surface removal)的控制元素，並且對電漿參數的任何影響將不利地影響製程條件，例如蝕刻速率或選擇性。

【0036】 將第一和第二功率分別施加到第二電極56產生具有電子密度 n_e 的電漿62。在電漿62內是鞘層，其具有較大密度的正離子，並且因此，所有過量的正電荷平衡了與其接觸的電漿內的材料(未示出)的表面的相反負電荷。決定鞘層的位置與電漿處理操作有關。鞘層厚度是時間的函數，如方程式(1)所示：

$$s(t) = s_1(1 - \sin(\omega t + \phi)) \quad (1)$$

其中：

$\omega = 2\pi f$ ， f 是雙頻系統的較低頻率；且
 ϕ 是頻率之間的相對相位。

s_n 是鞘層振盪的振幅，其定義在等式(2)中：

$$s_n = \frac{I_n}{e n_e \omega_n A} \quad (2)$$

其中：

I_n 是與 ω_n 相關的驅動電流；
 n_e 是電子密度；
 A 是電極放電區域；以及
 e 是電子電荷。

【0037】 等式(1)和(2)表明，鞘層的厚度是根據 ϕ (方程式(1))以及所施加的功率(方程式(2)， I_n)之間的相對相位而變化。就IEDF而言，施加的功率 I_n 有時被稱為相對振幅變量(variable)或寬度，並且相對相位 ϕ 有時被稱為相對相位變量或偏斜(skew)。

【0038】 由下面的方程式(3)所描述的時間依持鞘層電壓(time dependent sheath voltage)可以找到用來賦予鞘層特徵的有用特性：

$$V_{bias}(t) = \frac{en_e}{2\epsilon_0} s^2(t) \quad (3)$$

其中：

ϵ_0 是真空的電子介電常數，並且

e 、 n_e 和 $s^2(t)$ 則如上所述。

【0039】 圖4描繪了簡化的電漿生成系統70的示意性方塊圖。電漿生成系統70包括非線性負載72，例如電漿腔室，其具有由第一RF產生器74透過匹配網路76來驅動的電極(未示出)。非線性負載72也由第二RF產生器78透過匹配網路80來驅動。如圖4所示，RF產生器74被配置為低頻RF產生器，例如作為偏壓RF產生器。RF產生器78被配置為高頻RF產生器，例如RF產生器78。當以兩個不同的頻率操作非線性負載72時，可以經由RF產生器78和非線性負載72之間的傳輸線在RF產生器78處造成IMD。

【0040】 在各種實施例中，匹配網路76、80可以組合成單一匹配網路82，而不是被配置為分開的個別匹配網路。當匹配網路76、80組合成單一匹配網路82時，來自此單一匹配網路82的輸出(以虛線示出)被輸入到非線性負載72。在這樣的配置中，兩個RF產生器74、78驅動非線性負載72的相同電極。在各種實施例中，非線性負載72的另一電極可以連接到地面。

【0041】 第5圖描繪了RF產生器74和RF產生器78輸出的頻率，其在頻率域示出了功率的大小。第5圖的實施例包括低頻諧波84，其可以由RF產生器74輸出。低頻諧波表示由RF產生器74輸出的RF功率的第0階諧波。RF產生器74的輸出功率諧波以諧波86a、86b、86c和86d示出。在各種實施例中，諧波86a、86b、

86c和86d可表示第一、第二、第三和第四諧波，或者在各種實施例中可表示一組偶次諧波、一組奇次諧波或諧波的一些其他混合。第5圖還包括RF產生器78輸出的RF功率的高頻諧波88。在各種實施例中，諧波88表示由RF產生器78輸出的RF功率的第0階諧波。第5圖還描繪了諧波88的一組諧波90a、90b、90c和90d。在各種實施例中，諧波90可分別表示第一、第二、第三和第四諧波、一組偶次諧波、一組奇次諧波或是諧波的一些其他混合。第5圖還描繪了在諧波88的高頻側示出的第一組IMD分量92和在諧波88的低頻側示出的第二組IMD分量94。

【0042】 回到方程式(3)，應當注意，RF偏壓功率的平方產生諧波組86a~86d、90a~90d。值得注意的是，偏壓電壓方程式(3)包括電漿密度項 n_e 。來自鞘層混合(sheath mixing)的RF功率頻譜產生一組發射，如圖5的諧波組86a~86d、90a~90d所示。鞘層混合還產生第5圖的IMD分量92、94。這些IMD分量在光譜上圍繞高頻諧波88。鞘層發射IMD分量，且IMD分量耦合到RF產生器，例如RF產生器78。耦合到RF產生器的IMD分量可以在RF產生器78上產生應力。隨著電漿製造工業降低了偏壓頻率並增加了偏壓功率，IMD的影響已經加劇。

【0043】 從前述內容可以看出，鞘層電壓是驅動頻率和鞘層吸收的功率的函數。此外，可以看出離子電壓直接受鞘層電壓的影響。因此，降低IMD損害的一種方法是產生不影響鞘層電壓的產生或電漿生成的、反向的、抵銷的功率。本揭露將描述產生功率IMD分量(power IMD components)以消除IMD分量而不改變電漿和/或鞘層的方法。

【0044】 可以如下面關於方程式(4)所示描述第k階的特定發射：

$$X(t) = \alpha_{HF} \alpha_{LF} \sin((\omega_{HF} + k\omega_{LF})t + \phi_{HF} + k\phi_{LF}) \quad (4)$$

其中：

α_{HF} 、 α_{LF} 表示各個高頻和低頻產生器的功率大小；

ω_{HF} 、 ω_{LF} 是各個高頻和低頻RF產生器的中心工作頻率；

ϕ_{HF} 、 ϕ_{LF} 是各個高頻和低頻RF產生器的相位；以及

k 是常數。

如果受IMD功率頻譜影響的電源RF產生器在一組IMD分量處產生一定程度的功率，則可以進行傳輸線下的IMD消除。由RF電源產生的訊號可以如下關於等式(5)描述：

$$\varphi(t) = \psi^G \sin((\omega_{HF} + k\omega_{LF})t + \phi^G) \quad (5)$$

其中：

$\varphi(t)$ 是來自電源 RF 產生器的輸出訊號

ψ^G 是 IMD 消除訊號的功率；

ϕ^G 是 IMD 消除訊號的相位；以及

ω_{HF} ， ω_{LF} 如上所述。

從方程式(5)可以看出， $\varphi(t)$ 由電源RF產生器產生，並由 ψ^G 和 ϕ^G 參數化以破壞由IMD $X(t)$ 產生的干擾(disturbance)和干涉(interference)。

【0045】 第6圖和第7圖描繪了一對波形，其導致藉由 ϕ^G 的相位控制來消除IMD。第6圖和第7圖中的每一個示出了代表IMD發射的第一節點電壓100，以及代表由RF產生器(例如RF產生器78)產生的功率的第二節點電壓102，RF產生器係檢測到IMD發射，所產生的功率係用以消除IMD。如第6圖所示，在歸一化相位零度處，傳輸線上的功率被消除，如節點電壓104所示。在第7圖，IMD 100和第二節點電壓102的大小不具有同樣的功率，且可以抑制歸一化相位零度處的IMD，而不進一步增加功率，如節點電壓104所示。特別值得注意的是，功率在

傳輸線上被消除，而不是從RF產生器78消除，而且從RF產生器傳遞的功率不大於IMD功率。這避免了干擾離子和電子密度的電漿參數以及對製程條件的相應影響。

【0046】 在各種實施例中，不需要去除全部的IMD。在各種實施例中，僅希望將IMD干擾降低到不會對RF功率輸送系統產生不利應力並損害可靠度的水平。在各種實施例中，將控制系統鎖定到IMD一個支脈(spur)或一組支脈，但不一定鎖定所有IMD支脈。然後藉由關於方程式(5)所描述的參數化致動器來調整功率，以控制足以降低IMD功率頻譜的響應。

【0047】 第8圖描繪了控制阻礙及堵塞損害的自動調整反制系統110的概括示意性方塊圖。系統110包括第一RF產生器112，第一RF產生器112經由感測器116和匹配網路118產生施加到非線性負載(例如電漿腔室)的RF訊號。第二RF產生器120經由匹配網路122產生第二RF訊號到非線性負載114。

【0048】 RF產生器112包括功率放大器126，功率放大器126將RF訊號產生到感測器116。功率放大器126接收控制訊號128。在各種實施例中，控制訊號128是頻率訊號，此頻率訊號使功率放大器126以預定頻率產生施加到非線性負載114的RF訊號。藉由施加到頻率/相位調整器模組130的頻率設定點來設定頻率，這將在本文中更詳細地描述。功率放大器126輸出的功率可以藉由功率控制器134產生的功率控制訊號132來控制。功率控制器134接收功率設定值並產生施加到功率放大器126的功率控制訊號132。

【0049】 在各種實施例中，RF產生器112還包括IMD檢測器136。如本文將更詳細描述的，IMD檢測器136接收輸入訊號、判定由RF產生器112和RF產生器120之間的交互作用而產生的互調失真(IMD)、並產生施加於頻率/相位調整器模

組130的IMD訊號138。頻率/相位調整器模組130根據IMD訊號138和頻率設定點調整功率放大器126的頻率和相位。在各種實施例中，IMD檢測器136輸出於其中存在IMD分量的頻率，並輸出藉由分別來自於RF產生器112和RF產生器120的RF訊號間的交互作用所產生的IMD。

【0050】 在各種實施例中，施加到IMD檢測器136的輸入訊號可採用各種形式。在各種實施例中，輸入到IMD檢測器136的訊號可以是從感測器116接收的處理訊號。IMD檢測器136可以檢測鎖定到IMD頻率的頻率，IMD頻率是RF產生器120的諧波之一。在各種實施例中，可以利用在RF產生器112的數位共同激發器核心(digital common exciter core)中找到的相位檢測器來實現鎖頻(frequency locking)，參考例如轉讓給本申請的受讓人美國專利No.7,602,127所描述的，以將迴路鎖相到RF產生器120的頻率。在各種其他實施例中，IMD檢測器136可以鎖相到由RF產生器112和RF產生器120所輸出且制定(formulate)出IMD功率頻譜的RF頻率。在這樣的配置中，控制系統被整合(integrate)到RF產生器112中，並且可以獨立於任何共同激發而操作。在各種其他實施例中，可以經由來自RF產生器120的輸入訊號來實現對IMD檢測器136的輸入，從而允許IMD檢測器136鎖相到RF產生器120的RF頻率，以便決定IMD訊號138。在各種實施例中，鎖相迴路可以用時間參考模組產生的時間參考訊號代替。

【0051】 在各種實施例中，RF產生器112是電源RF產生器，通常以相對高的頻率操作，以及RF產生器120是偏壓RF產生器，通常在較低頻率下操作。因此，在各種實施例中，RF產生器112決定在非線性負載114中實現的電漿腔室中的電漿密度，以及RF產生器120在作為非線性負載114的電漿腔室內調變離子。

【0052】第9圖描繪了根據各種實施例設置的RF電漿系統140的自動調整的反制控制阻礙IMD阻塞損害的示意性方塊圖。系統140包括第一RF產生器142，其通常稱為高頻RF產生器或電源RF產生器，系統140還包括第二RF產生器144，其通常稱為低頻RF產生器或偏壓RF產生器。電源RF產生器142產生施加到感測器146的RF訊號，在各種實施例中，感測器146可以是電壓/電流感測器(VI感測器)或定向耦合器(directional coupler)。通過感測器146的RF訊號被施加到匹配網路148，然後到非線性負載150，非線性負載150可以實施為電漿腔室。偏壓RF產生器144產生RF訊號，RF訊號被施加到匹配網路152，然後到非線性負載150。除了電漿控制系統的典型元件，例如偏壓RF產生器144和電源RF產生器142、匹配網路148、152，自動調整的反制系統140包括在電源RF產生器142處的IMD校正。如第9圖所示，電源RF產生器142包括IMD檢測器156、操作頻率檢測器158和功率調整部分160。

【0053】RF產生器142的操作頻率檢測器158將感測器146輸出的一對訊號作為其輸入訊號接收。來自感測器146的輸出通過傳遞函數(transfer function) $G_F(s)$ ，傳遞函數 $G_F(s)$ 係運用具有帶寬的過濾函數以將系統頻譜限制到IMD頻譜。傳遞函數162的輸出被施加到類比/數位(A / D)轉換器164。A / D轉換器164的輸出被施加到操作頻率檢測器158的數位擷取器(digital decimator, DDC)165。

【0054】RF產生器142的操作頻率檢測器158包括傳遞函數 $H_0(z)$ ，傳遞函數 $H_0(z)$ 以數位擷取器165來實現。傳遞函數 $H_0(z)$ 還接收RF功率放大器166的指令操作頻率 $(\omega_c + \Delta\theta_c)$ 。DDC 165的輸出則輸入到鎖相迴路168。鎖相迴路168包括相位檢測器170、用於累加檢測到的相位的累加器172以及增益174。來自鎖相迴路

168的輸出被輸入到加法器176，加法器176將鎖相迴路168所輸出的測量操作頻率與指令操作頻率($\omega_c + \Delta\theta_c$)進行比較。加法器176的輸出被輸入到加法器178，這將結合IMD檢測器156進行描述。

【0055】藉由將A / D轉換器164的輸出施加於DDC 180來決定IMD，DDC 180實現傳遞函數 $H_1(z)$ 。DDC 180還接收頻率訊號 ω_x ，其表示偏壓產生器144的操作頻率。可以基於偏壓產生器144的工作頻率的諧波掃描頻率訊號 ω_x 以便檢測IMD分量。傳遞函數 $H_1(z)$ 180的輸出包括在偏壓RF產生器144的輸出處引入並且表示為虛量 $\zeta = x + jy$ 的IMD分量。該虛量 ζ 被輸入到鎖相迴路184的開關182。如果IMD的 ζ 的大小小於預定量 τ ，則傳遞函數 $H_1(z)$ 180的輸出不連接到鎖相迴路184的相位檢測器186，使得相位檢測器186的輸入保持斷開。如果IMD的 ζ 的大小大於預定量 τ ，則開關182的輸出端連接到相位檢測器186。相位檢測器186連接到累加器188和增益190。來自鎖相迴路184的輸出 ω_z 被輸入到加法器178。加法器178還接收來自上述加法器176的誤差訊號以及 ω_x (ω_x 如上所述)。加法器178向相位調整模組(或稱為相位調整部分)236輸出頻率 ω_D ，頻率 ω_D 表示IMD的頻率。

【0056】在相位調整部分236中，頻率 ω_D 表示IMD的第0階諧波。頻率 ω_D 決定i階和k階IMD的校正。本揭露IMD示例針對IMD的第0和第1階的校正決定。

【0057】對於0階IMD校正，頻率 ω_D 輸入到加法器190並且加到指令操作頻率($\omega_c + \Delta\theta_c$)。頻率 ω_D 和($\omega_c + \Delta\theta_c$)的總和的輸出被輸入到加法器192，加法器192還接收IMD的相位 $\phi^{G_0^+}$ ，相位 $\phi^{G_0^+}$ 用於在指令操作頻率($\omega_c + \Delta\theta_c$)的正側消除0階IMD。加法器196也在操作頻率($\omega_c + \Delta\theta_c$)的負側接收用來消除0階IMD的相位。在頻率($\omega_c + \Delta\theta_c$)的負側的IMD是透過在增益194反轉(invert) ω_D 並且在加法

器196將反轉的 ω_D 加到IMD的相位 ϕ^{G^-} 而產生的。加法器192、196的輸出則被輸入到加法器210。

【0058】對IMD的第1階諧波進行同樣的校正。第0階諧波在增益200處乘以增益 G_1 並輸入到加法器202和反相器204。加法器202的運作方式類似於加法器190，但是加法器202是針對第1階諧波運作，而不是第0階諧波。來自加法器202的輸出被施加到加法器206中，加法器206的運作與加法器192類似，但是加法器206是加上IMD的相位 ϕ^{G^+} 來決定在指令操作頻率($\omega_c + \Delta\theta_c$)的正側的第0階諧波的相位。來自反相器204的輸出被輸入到加法器208，加法器208的運作與加法器192類似，但其運作在第1階諧波的指令頻率($\omega_c + \Delta\theta_c$)的負側。

【0059】在加法器210處加上在指令操作頻率的正側和負側的第0階諧波的抵消分量。加法器206和208的輸出針對第一諧波在加法器212處疊加，並為IMD的第1階諧波提供在IMD的正側和負側的相位校正。加法器212的輸出也與加法器192和加法器196的輸出一起被加到加法器210。來自加法器210的輸出對指令操作頻率($\omega_c + \Delta\theta_c$)提供了相位校正，並加到加法器214中。

【0060】相位調整訊號從加法器214輸出並被施加到直接數位合成器(direct digital synthesizer, DDS)216。來自直接數位合成器216的輸出被施加到數位/類比轉換器(DAC)218。來自數位/類比轉換器218的輸出被輸入到傳遞函數 $G_a(s)$ 220。由DAC 218輸出且輸入到傳遞函數 $G_a(s)$ 220的類比訊號則被施加到功率放大器166，以產生相位調整訊號，相位調整訊號由功率放大器166輸出，用來消除從非線性負載150返回到功率放大器166的IMD產物(IMD product)。

【0061】在各種實施例中，系統140還包括功率調整部分160，其基於功率設定點提供功率校正。作為功率設定點230的預定值被輸入到加法器232。加法

器232還提供DDC 165輸出的訊號的縮放版本。加法器232的輸入訊號在傳遞函數 $D_c(z)$ 234處從原始感測器量(raw sensor quantity)縮放到校準值以提供功率值。加法器232輸出誤差訊號 e ，其表示相對於功率設定點的測量功率誤差。誤差訊號由數位控制器傳遞函數 $D_c(z)$ 234縮放，並且施加到功率放大器166，以改變功率放大器166輸出的訊號的振幅。

【0062】除了由功率調整部分提供的功率訊號之外，可以控制功率放大器166以一補充功率控制訊號 ψ^G 來降低IMD，如上面的方程式(5)所描述的。如圖所示，功率放大器166接收功率調整值 ψ^G 。在各種實施例中，可以基於下面的式子(6)和(7)來決定 ψ^G ：

$$\begin{bmatrix} \psi_{n+1}^{G_i} \\ \phi_{n+1}^{G_i^+} \\ \phi_{n+1}^{G_i^-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \psi_n^{G_i} & \lambda_{\psi}^{G_i} \alpha_{\psi}^{G_i} & \lambda_{\psi}^{G_i} \beta_{\psi}^{G_i} \\ \phi_n^{G_i^+} & \lambda_{\phi}^{G_i^+} \alpha_{\phi}^{G_i^+} & \lambda_{\phi}^{G_i^+} \beta_{\phi}^{G_i^+} \\ \phi_n^{G_i^-} & \lambda_{\phi}^{G_i^-} \alpha_{\phi}^{G_i^-} & \lambda_{\phi}^{G_i^-} \beta_{\phi}^{G_i^-} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \zeta_n^{G_i} \\ \zeta_{n-1}^{G_i} \end{bmatrix} \forall i \quad (6)$$

以及

$$\zeta = T_{set} - T_{actual} \quad (7)$$

其中：

ψ^{G_i} 是 i 階IMD產物的功率振幅；

$\phi^{G_i^+}$ ， $\phi^{G_i^-}$ 是用來降低正負側 i 階IMD產物的訊號的相位；

$\lambda_{\psi}^{G_i}$ 是用於調整功率的 i 階IMD產物的增益IMD校正係數；

$\alpha_{\psi}^{G_i}$ 是用於調整功率的 i 階IMD產物的第一IMD校正係數；

$\beta_{\psi}^{G_i}$ 是用於調整功率的 i 階IMD產物的第二IMD校正係數；

$\lambda_{\phi}^{G_i^+}, \lambda_{\phi}^{G_i^-}$ 是用於調整相位的正、負側 i 階IMD產物的IMD增益校正係數；

$\alpha_{\phi}^{G_i^+}, \alpha_{\phi}^{G_i^-}$ 是用於調整相位的正、負側 i 階IMD產物的第一IMD校正係數；

$\beta_{\phi}^{G_i^+}, \beta_{\phi}^{G_i^-}$ 是用於調整相位的正、負側 i 階IMD產物的第二IMD校正係數；

T_{set} 是需求功率(requested power)；以及

T_{actual} 是所測得的功率。

【0063】 在一些配置中，選擇RF產生器142的IMD消除分量的大小而不完全消除IMD。這允許了IMD的檢測，否則，如果返回到RF產生器142的IMD分量被完全消除，則無法檢測IMD。

【0064】 基於指令電源頻率(commanded source frequency) ω_s 和自動頻率更新(auto frequency update)222來決定指令操作頻率($\omega_c + \Delta\theta_c$)。如圖所示，指令電源頻率 ω_s 和自動頻率更新222被輸入到加法器224，其中自動頻率更新222被添加到控制電源頻率 ω_s 。加法器224的輸出訊號是輸入到傳遞函數 $D_c(z)$ 226的誤差訊號 e ，傳遞函數 $D_c(z)$ 226產生指令操作頻率($\omega_c + \Delta\theta_c$)。

【0065】 參照第10圖，其描述用於消除IMD的方法。該方法起始於步驟250並進行到步驟252。在步驟252，選擇用於決定IMD的基底。如上所述，用於決定IMD的基底可以採用各種形式。例如，可以利用在電源RF產生器的數位共同激發器核心中找到的相位檢測器來實現鎖頻。或者，可以將IMD檢測器鎖相到制定IMD功率頻譜且由電源RF產生器和偏壓RF產生器輸出的RF頻率。在各種其他的配置中，來自偏壓RF產生器的輸入訊號可以允許相位檢測器鎖定到偏壓RF產生器的RF頻率。此外，在各種配置中，時間參考模組產生的時間參考訊號可以取代鎖相迴路。可以彈性地實現基底或者將基底限於特定方法。

【0066】 一旦在步驟252選擇了基底，該方法就前進到步驟254。如上所述，在步驟254決定IMD。輸出IMD。在步驟256，決定IMD是否高於一預設閾值。如果IMD低於預定閾值，則不降低IMD，且該方法返回到步驟256。如果IMD高於預定閾值，則該方法前進到步驟258或262中的一個或兩個。在步驟258，決定

RF訊號的相位調整以降低IMD。該方法進行到步驟260，將相位調整施加到RF產生器的指令RF訊號，以便輸出得以消除在RF產生器和負載之間的傳輸線下的IMD的RF訊號。一旦將相位調整施加到RF產生器的指令RF訊號，該方法就前進到步驟266。在步驟266中，RF產生器的功率放大器將RF訊號輸出到負載。

【0067】 在各種實施例中，除了相位調整外，還可以進行功率調整以便降低IMD。在各種可選的配置中，步驟262和264基於功率調整來降低IMD。在步驟262，決定對RF訊號的功率調整以降低IMD。一旦決定了RF訊號的功率調整，該方法就前進到步驟264。在步驟264，對RF產生器的功率放大器施加功率調整。因此，功率放大器的振幅被調整以幫助降低IMD。該方法進行到步驟266，RF訊號的輸出被施加到負載。然後該方法進行到步驟268，完成該方法。

【0068】 根據各種實施例，上述系統提供了若干優點，但是本文描述的優點是示例性的而不是限制本揭露的範圍。這裡描述的系統顯著地降低了由低頻偏壓產生器引入高頻電源產生器的IMD。該系統能夠以更高的功率操作低頻偏壓產生器，而不會對產生電漿的RF電源產生器施加應力。該系統降低了IMD損害，同時不會消耗電漿中的功率或降低向電漿輸送的功率，同時具有準確度和靈敏度。該系統還可以在不改變電漿游離和解離速率的情況下降低IMD效應。該系統保持鞘層動態碰撞的準確度而不改變電子密度以及電漿的生成，並提供可變性以基於可以作為可配置參數的閾值來緩解IMD效應，例如內部RF產生器耗散或是一些或全部的帶外(out-of-band)採樣功率頻譜的振幅。該系統降低或消除了IMD，而不改變蝕刻速率和選擇性等製程狀況。此外，前述的裝置和方法可以針對特定的IMD階(IMD orders)進行對應的IMD降低，像是選擇最高階的IMD，並自動定制控制以反制特定IMD。該系統還可以降低多個IMD以更大程度

地降低耗散和應力，或者藉由相位和振幅控制的組合來對治特定的IMD。該系統還對靈敏的頻率電源進行主動控制，以追蹤電源RF頻率以及偏壓電源。

【0069】 前面的描述本質上僅是說明性的，決不是要限制本揭露、其應用或用途。本揭露的廣泛教義可以以各種形式實現。因此，儘管本揭露包括特定示例，但是本揭露的真實範圍不應受此限制，因為在研讀附圖、說明書和所附申請專利範圍時，其它的改變將變得顯而易見。應當理解，方法內的一個或多個步驟可以以不同的順序(或同時)執行，而不改變本揭露的原理。此外，儘管上面將每個實施例被描述為具有某些特徵，但是關於本揭露的任何實施例描述的那些特徵中的任何一個或多個可以在任何其他實施例的特徵中實現和/或與其組合，即使該組合未明確描述。換句話說，所描述的實施例不是相互排斥的，且一個或多個實施例彼此的排列仍然在本揭露的範圍內。

【0070】 利用各種術語來描述元件之間的空間和功能關係(例如，模組、電路元件、半導體層等之間)，包括「連接」、「接合」、「耦合」、「相鄰」、「旁邊」、「在...之上」、「上方」、「下方」和「配置」。除非明確地描述為「直接」，否則當在上面的揭露中描述第一和第二元件之間的關係時，該關係可以是在第一和第二元件之間不存在其他中間元件的直接關係，但也可以是間接關係，意即在第一和第二元件之間存在(空間或功能上)一個或多個中間元件。如這裡所使用的，短語A、B和C中的至少一個應該被解釋為表示邏輯(A OR B OR C)，即使用非排他性邏輯OR，並且不應該被解釋為表示「A中的至少一個、B中的至少一個及C中的至少一個」。

【0071】 在附圖中，箭頭所指示的箭頭方向通常表示圖式所關注的資訊(例如資料或指令)的流動。例如，當元件A和元件B交換各種資訊，但是資訊是從元

件A發送到元件B，則可以從元件A繪示箭頭指向元件B。該單向箭頭並不意味著沒有其他資訊從元件B傳送到元件A。此外，對於從元件A傳送到元件B的資訊，元件B可以向元件A發送資訊的請求或接收的確認。

【0072】 在本申請中，包括以下定義，術語「模組」或術語「控制器」可以用術語「電路」代替。術語「模組」可以指部分的或包括專用積體電路(ASIC)；數位、類比或混合類比/數位分立電路；數位、類比或混合類比/數位積體電路；組合邏輯電路；現場可程式化邏輯閘陣列(FPGA)；執行編碼的處理器電路(共享、專用或組)；記憶體電路(共享、專用或組)，其儲存由處理器電路執行的編碼；可以提供上述功能的其他合適的硬體元件；或是上述裝置的部分或全部的組合，例如在晶片上系統(system-on-chip)內。

【0073】 模組可以包括一個或多個介面電路。在一些示例中，介面電路可以包括連接到區域網路(LAN)、網際網路、廣域網路(WAN)或其組合的有線或無線介面。任何在本揭露中給定的模組的功能可以分佈在經由介面電路連接的多個模組之間。例如，多個模組可以允許負載平衡。在另一示例中，伺服器(也稱為遠程或雲端)模組可代表客戶端模組完成某些功能。

【0074】 如上所使用的術語編碼可以包括軟體、韌體和/或微碼，並且可以指程式、程序、函數、分類、資料結構和/或物件。術語共享處理器電路包括單個處理器電路，其執行來自多個模組的一些或所有編碼。術語組處理器電路包括處理器電路，該處理器電路與附加處理器電路組合，執行來自一個或多個模組的一些或所有編碼。對多個處理器電路的引用包括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程、或上述的組合。術語共享記憶體電路包括單個記憶體電路，

其儲存來自多個模組的一些或所有編碼。術語組記憶體電路包括記憶體電路，該記憶體電路與附加記憶體組合儲存來自一個或多個模組的一些或所有編碼。

【0075】術語記憶體電路是術語電腦可讀媒體的子集。這裡使用的術語電腦可讀媒體不包括藉由媒體傳播的暫態電訊號或電磁訊號(例如在載波上)；因此，術語電腦可讀媒體可以被認為是有形的和非暫時的。非暫時性有形電腦可讀媒體的非限制性示例是非揮發性記憶體電路(諸如快閃記憶體電路、抹除式可編程唯讀記憶體或遮罩唯讀記憶體)、揮發性記憶體電路(例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(例如類比或數位磁帶或硬碟驅動器)和光學儲存媒體(例如CD、DVD或藍光硬碟)。

【0076】本申請中描述的裝置和方法可以藉由專用電腦部分實現或全部實現，該專用電腦藉由配置通用計算機以執行電腦程式中包含的一個或多個特定功能而創建。功能性方塊、流程圖步驟和上述的其他元件係用作為軟體規範，其可以藉由熟練技術人員或程式人員的例行工作轉換成電腦程式。

【0077】電腦程式包括儲存在至少一個非暫時性有形電腦可讀媒體上的處理器可執行指令。電腦程式還可以包括或依賴於儲存的數據。電腦程式可以包括與專用電腦的硬體互動的基本輸入/輸出系統(BIOS)、與專用電腦的特定設備互動的設備驅動程式、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。

【0078】電腦程式可以包括：(i)要解析的描述性文本，例如HTML(超文件標示語言)、XML(可延伸標示語言)或JSON(JavaScript物件表示法)；(ii)組合編碼；(iii)藉由編譯器從原始碼產生的目標編碼；(iv)藉由編譯器執行的原始碼；(v)由即時編譯器編譯和執行的原始碼等。僅作為示例，可以使用來自程式語言的

語法來編寫原始碼，包括C、C++、C#、Objective C、Swift、Haskell、Go、SQL、R、Lisp、Java®、Fortran、Perl、Pascal、Curl、OCaml、Javascript®、HTML5(超文件標示語言第5版)、Ada、ASP(動態伺服器網頁)、PHP(PHP：超文字預處理器)、Scala、Eiffel、Smalltalk、Erlang、Ruby、Flash®、VisualBasic®、Lua、MATLAB、SIMULINK和Python®等語法。

【0079】申請專利範圍中所述的任何要素均不是35 U.S.C. § 112(f)所解釋的手段功能用語。除非元件以短語「用於.....的手段」來記載，或在方法項使用短語「為了.....的操作」或「為了.....的步驟」。

【符號說明】

10：電感耦合電漿系統

12、32：電漿腔室

14、34、62：電漿

16：內線圈

18：外線圈

20、22、28、40、42：電源

24：介電窗

26：基板

30：電容耦合電漿系統

36、38：電極

50：電漿系統

52：第一電極

- 54：地面
- 56：第二電極
- 58、60：電源
- 70：電漿生成系統
- 72、114、150：非線性負載
- 74、112：第一射頻產生器
- 76、80、82、118、122、148、152：匹配網路
- 78、120：第二射頻產生器
- 84、86a、86b、86c、86d、88、90a、90b、90c、90d：諧波
- 92：第一組IMD分量
- 94：第二組IMD分量
- 100：第一節點電壓
- 102：第二節點電壓
- 104：節點電壓
- 110：自動調整反制系統
- 116、146：感測器
- 126、166：功率放大器
- 128：控制訊號
- 130：頻率/相位調整器
- 132：功率控制訊號
- 134：功率控制器
- 136、156：IMD檢測器

138：IMD訊號

140：射頻電漿系統

142：射頻產生器

144：偏壓射頻產生器

158：操作頻率檢測器

160：功率調整部分

162、220、226、234：傳遞函數

164：A / D轉換器

165、180：數位抽樣器

168、184：鎖相迴路

170：相位檢測器

172、188：累加器

174、194、200：增益

176、178、190、192、196、202、206、208、210、212、214、224、232：

加法器

182：開關

186：相位檢測器

204：反相器

216：數位合成器

218：數位/類比轉換器

222：自動頻率更新

230：功率設定點

236：相位調整部分

250、252、254、256、258、260、262、264、266、268：步驟



201944729

【發明摘要】

【中文發明名稱】 射頻電漿系統中用來控制阻礙及IMD堵塞損害的自動調整反制

【英文發明名稱】 ADAPTIVE COUNTER MEASURE CONTROL THWARTING
IMD JAMMING IMPAIRMENTS FOR RF PLASMA SYSTEMS

【中文】

一種雙頻 RF 產生系統中的射頻(RF)產生器。RF 產生器檢測由兩個頻率的相互作用所產生的互調失真(IMD)分量。藉由調整 RF 產生器輸出的 RF 訊號的相位來降低 IMD。在各種配置中，還可以藉由施加功率調整值來降低 IMD。

【英文】

A radio frequency generator in a dual frequency RF generation system is provided. The RF generator detects IMD components resulting from interaction of the two frequencies. The IMD is reduced by adjusting the phase of the RF signal output by the RF generator. In various configurations, the IMD may also be reduced by applying a power adjustment value.

【指定代表圖】 圖1**【代表圖之符號簡單說明】**

10：電感耦合電漿系統

12：電漿腔室

14：電漿

16：內線圈

18：外線圈

20、22、28：電源

24：介電窗

26：基板

【特徵化學式】無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種射頻產生器，其包含：

一功率放大器，該功率放大器根據一輸入控制訊號產生施加到一非線性負載的一第一射頻訊號，該輸入控制訊號根據一指令操作訊號而變化；

一互調失真模組，該互調失真模組決定從該非線性負載反射的一訊號中的至少一個互調失真分量，該至少一個互調失真分量根據該第一射頻訊號以及從一第二射頻產生器施加到該非線性負載的一第二射頻訊號之間的交互作用產生，該互調失真模組產生一互調失真分量訊號；以及

一相位調整模組，該相位調整模組接收該指令操作訊號和該互調失真分量訊號，該相位調整模組產生一互調失真調整訊號以降低該至少一個互調失真分量，該相位調整模組改變該指令操作訊號以及該互調失真分量訊號之間的一相位，以產生該互調失真調整訊號，該相位調整模組組合該指令操作訊號和該互調失真調整訊號以改變該輸入控制訊號。

【第2項】 如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其中該互調失真模組包括一鎖相迴路，其中該相位被鎖定到該互調失真分量的一諧波的一頻率。

【第3項】 如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其中該互調失真模組包括一鎖相迴路，其中該相位被鎖定到一預定輸入訊號。

【第4項】 如申請專利範圍第 3 項所述之射頻產生器，其中該預定輸入訊號根據該第二 RF 訊號的一頻率而變化。

【第5項】 如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其中，該至少一個

第 1 頁，共 9 頁(發明申請專利範圍)

互調失真分量是互調失真的一次諧波或一次諧波的負值。

【第6項】如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其中，該至少一個互調失真分量是互調失真的 n 階諧波。

【第7項】如申請專利範圍第 6 項所述之射頻產生器，其中，該至少一個互調失真分量是互調失真的 n 階諧波的負值。

【第8項】如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其中，該至少一個互調失真分量是選定的一組互調失真的諧波。

【第9項】如申請專利範圍第 8 項所述之射頻產生器，其中，該至少一個互調失真分量是選定的該組互調失真的諧波的負值。

【第10項】如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其中，該至少一個互調失真分量是選定的一組互調失真的偶次諧波中的一個。

【第11項】如申請專利範圍第 10 項所述之射頻產生器，其中，該至少一個互調失真分量是選定的該組互調失真的偶次諧波的負值。

【第12項】如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其中該至少一個互調失真分量是選定的一組互調失真的奇次諧波中的一個。

【第13項】如申請專利範圍第 12 項所述之射頻產生器，其中該至少一個互調失真分量是選定的該組互調失真的奇次諧波的負值。

【第14項】如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其進一步包括一第一頻率檢測器，該第一頻率檢測器決定該指令操作訊號的一頻率之間的一誤差、指示該第一射頻訊號的一頻率以及該第一射頻訊號的一測量頻率，並產生一個誤差訊號。

【第15項】如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其進一步包括一功率調整模組，該功率調整模組根據下式向該功率放大器施加一

功率調整訊號：

$$\begin{bmatrix} \psi_{n+1}^{G_i} \\ \phi_{n+1}^{G_i^+} \\ \phi_{n+1}^{G_i^-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \psi_n^{G_i} & \lambda_\psi^{G_i} \alpha_\psi^{G_i} & \lambda_\psi^{G_i} \beta_\psi^{G_i} \\ \phi_n^{G_i^+} & \lambda_\phi^{G_i^+} \alpha_\phi^{G_i^+} & \lambda_\phi^{G_i^+} \beta_\phi^{G_i^+} \\ \phi_n^{G_i^-} & \lambda_\phi^{G_i^-} \alpha_\phi^{G_i^-} & \lambda_\phi^{G_i^-} \beta_\phi^{G_i^-} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \zeta_n^{G_i} \\ \zeta_{n-1}^{G_i} \end{bmatrix} \forall i$$

以及

$$\zeta = T_{set} - T_{actual}$$

其中：

ψ^{G_i} 是一 i 階互調失真產物的一功率振幅；

$\phi^{G_i^+}$ ， $\phi^{G_i^-}$ 是用於降低一正負側 i 階互調失真產物的一訊號的一相位；

$\lambda_\psi^{G_i}$ 是用於調整功率的該 i 階互調失真產物的一增益互調失真校正係數；

$\alpha_\psi^{G_i}$ 是用於調整功率的該 i 階互調失真產物的一第一互調失真校正係數；

$\beta_\psi^{G_i}$ 是用於調整功率的該 i 階互調失真產物的一第二互調失真校正係數；

$\lambda_\phi^{G_i^+}, \lambda_\phi^{G_i^-}$ 是用於調整相位的該正負側 i 階互調失真產物的一互調失真增益校正係數；

$\alpha_\phi^{G_i^+}, \alpha_\phi^{G_i^-}$ 是用於調整相位的該正負側 i 階互調失真產物的一第一互調失真校正係數；

$\beta_\phi^{G_i^+}, \beta_\phi^{G_i^-}$ 是用於調整相位的該正負側 i 階互調失真產物的一第二互調失真校正係數；

T_{set} 是一所請求功率；以及

T_{actual} 是一測量功率。

【第16項】如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其中該射頻產生器以一脈衝操作模式或一連續波操作模式中的至少一種操作。

【第17項】一種降低互調失真的裝置，其包括：

一互調失真模組，其被配置為響應於分別透過一第一射頻產生器以及一第二射頻產生器施加到一非線性負載的一第一射頻訊號以及一第二射頻訊號來決定從該非線性負載接收的一互調失真分量，該互調失真分量根據該第一射頻訊號和該第二射頻訊號之間的交互作用而產生，該互調失真模組產生一互調失真分量訊號；以及

一相位調整模組，其設置以接收一指令操作訊號和該互調失真分量訊號，該相位調整模組係進一步設置以產生一互調失真調整訊號，該相位調整模組改變該指令操作訊號與該互調失真分量訊號之間的一相位，以產生該互調失真調整訊號，該相位調整模組組合該指令操作訊號和該互調失真調整訊號，以降低該互調失真分量並改變一輸入控制訊號，

其中該輸入控制訊號被輸入到產生引入該互調失真分量的該第一射頻訊號或該第二射頻訊號的該第一射頻產生器或該第二射頻產生器的另一個的一功率放大器。

【第18項】如申請專利範圍第 17 項所述之降低互調失真的裝置，其中該互調失真模組包括一鎖相迴路，其中該相位被鎖定到該互調失真分量的一諧波的一頻率。

【第19項】如申請專利範圍第 17 項所述之降低互調失真的裝置，其中該互調失真模組包括一鎖相迴路，其中該相位被鎖定到一預定輸

入訊號。

【第20項】如申請專利範圍第 19 項所述之降低互調失真的裝置，其中該預定輸入訊號根據引入該互調失真分量的該第一射頻訊號的一頻率而變化。

【第21項】如申請專利範圍第 17 項所述之降低互調失真的裝置，其中該相位調整模組降低互調失真的一 n 階諧波的該互調失真分量。

【第22項】如申請專利範圍第 17 項所述之降低互調失真的裝置，其中該相位調整模組降低選定的一組互調失真的諧波的該互調失真分量。

【第23項】如申請專利範圍第 22 項所述之降低互調失真的裝置，其中該互調失真分量是選定的該組互調失真的諧波的負值。

【第24項】如申請專利範圍第 17 項所述之降低互調失真的裝置，其進一步包括一功率調整模組，該功率調整模組根據下式向該功率放大器施加一功率調整訊號：

$$\begin{bmatrix} \psi_{n+1}^{G_i} \\ \phi_{n+1}^{G_i^+} \\ \phi_{n+1}^{G_i^-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \psi_n^{G_i} & \lambda_\psi^{G_i} \alpha_\psi^{G_i} & \lambda_\psi^{G_i} \beta_\psi^{G_i} \\ \phi_n^{G_i^+} & \lambda_\phi^{G_i^+} \alpha_\phi^{G_i^+} & \lambda_\phi^{G_i^+} \beta_\phi^{G_i^+} \\ \phi_n^{G_i^-} & \lambda_\phi^{G_i^-} \alpha_\phi^{G_i^-} & \lambda_\phi^{G_i^-} \beta_\phi^{G_i^-} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \zeta_n^{G_i} \\ \zeta_{n-1}^{G_i} \end{bmatrix} \forall i$$

以及

$$\zeta = T_{set} - T_{actual}$$

其中：

ψ^{G_i} 是一 i 階互調失真產物的功率振幅；

$\phi^{G_i^+}$ ， $\phi^{G_i^-}$ 是用於降低一正負側 i 階互調失真產物的一訊號的一相位；

$\lambda_{\psi}^{G_i}$ 是用於調整功率的該 i 階互調失真產物的一增益互調失真校正係數；

$\alpha_{\psi}^{G_i}$ 是用於調整功率的該 i 階互調失真產物的一第一互調失真校正係數；

$\beta_{\psi}^{G_i}$ 是用於調整功率的該 i 階互調失真產物的一第二互調失真校正係數；

$\lambda_{\phi}^{G_i^+}, \lambda_{\phi}^{G_i^-}$ 是用於調整相位的該正負側 i 階互調失真產物的互調失真增益校正係數；

$\alpha_{\phi}^{G_i^+}, \alpha_{\phi}^{G_i^-}$ 是用於調整相位的該正負側 i 階互調失真產物的一第一互調失真校正係數；

$\beta_{\phi}^{G_i^+}, \beta_{\phi}^{G_i^-}$ 是用於調整相位的該正負側 i 階互調失真產物的一第二互調失真校正係數；

T_{set} 是一所請求功率；以及

T_{actual} 是一測量功率。

【第25項】如申請專利範圍第 17 項所述之降低互調失真的裝置，其中每一該第一 RF 產生器和該第二 RF 產生器以一脈衝操作模式或一連續波操作模式中的至少一種操作。

【第26項】一種降低互調失真的方法，包括：

響應於分別透過一第一射頻產生器和一第二射頻產生器施加至一非線性負載的一第一射頻訊號和一第二射頻訊號來決定從該非線性負載反射的互調失真，該互調失真根據該第一射頻訊號和該第二射頻訊號之間的交互作用而產生；

產生一互調失真訊號；

在一指令操作訊號和該互調失真訊號之間施加一相位調整，並產生一互調失真調整訊號；

組合該指令操作訊號和該互調失真調整訊號以產生一輸入控制訊號，以降低互調失真；以及

將該輸入控制訊號施加至被選為產生引入該互調失真的該第一射頻訊號或第該二射頻訊號的該第一射頻產生器或該第二射頻產生器中的另一個的一功率放大器；

其中該指令操作訊號與該第一射頻訊號或該第二射頻訊號中的另一個相關聯。

【第27項】如申請專利範圍第 26 項所述之降低互調失真的方法，其進一步包括選擇一頻率基底以根據互調失真的一諧波的一頻率、由該第一射頻產生器中的至少一個所輸出的一射頻訊號的一頻率或一時間基底訊號中的至少一個來決定互調失真。

【第28項】如申請專利範圍第 26 項所述之降低互調失真的方法，其進一步包括應用該相位調整以降低一組互調失真的一 n 次諧波的互調失真。

【第29項】如申請專利範圍第 26 項所述之降低互調失真的方法，其進一步包括應用該相位調整以降低選擇的一組互調失真的諧波的互調失真。

【第30項】如申請專利範圍第 29 項所述之降低互調失真的方法，其進一步包括應用該相位調整以降低選擇的該組互調失真的諧波的負值的互調失真。

【第31項】如申請專利範圍第 26 項所述之降低互調失真的方法，其進一步包括根據下式將一功率調整訊號施加到該功率放大器：

第 7 頁，共 9 頁(發明申請專利範圍)

$$\begin{bmatrix} \psi_{n+1}^{G_i} \\ \phi_{n+1}^{G_i^+} \\ \phi_{n+1}^{G_i^-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \psi_n^{G_i} & \lambda_{\psi}^{G_i} \alpha_{\psi}^{G_i} & \lambda_{\psi}^{G_i} \beta_{\psi}^{G_i} \\ \phi_n^{G_i^+} & \lambda_{\phi}^{G_i^+} \alpha_{\phi}^{G_i^+} & \lambda_{\phi}^{G_i^+} \beta_{\phi}^{G_i^+} \\ \phi_n^{G_i^-} & \lambda_{\phi}^{G_i^-} \alpha_{\phi}^{G_i^-} & \lambda_{\phi}^{G_i^-} \beta_{\phi}^{G_i^-} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \zeta_n^{G_i} \\ \zeta_{n-1}^{G_i} \end{bmatrix} \forall i$$

以及

$$\zeta = T_{set} - T_{actual}$$

其中：

ψ^{G_i} 是一 i 階互調失真產物的功率振幅；

$\phi^{G_i^+}$ ， $\phi^{G_i^-}$ 是用於降低一正負側 i 階互調失真產物的一訊號的一相位；

$\lambda_{\psi}^{G_i}$ 是用於調整功率的該 i 階互調失真產物的一增益互調失真校正係數；

$\alpha_{\psi}^{G_i}$ 是用於調整功率的該 i 階互調失真產物的一第一互調失真校正係數；

$\beta_{\psi}^{G_i}$ 是用於調整功率的該 i 階互調失真產物的一第二互調失真校正係數；

$\lambda_{\phi}^{G_i^+}$ ， $\lambda_{\phi}^{G_i^-}$ 是用於調整相位的該正負側 i 階互調失真產物的互調失真增益校正係數；

$\alpha_{\phi}^{G_i^+}$ ， $\alpha_{\phi}^{G_i^-}$ 是用於調整相位的該正負側 i 階互調失真產物的一第一互調失真校正係數；

$\beta_{\phi}^{G_i^+}$ ， $\beta_{\phi}^{G_i^-}$ 是用於調整相位的該正負側 i 階互調失真產物的一第二互調失真校正係數；

T_{set} 是一所請求功率；以及

T_{actual} 是一測量功率。

【第32項】如申請專利範圍第 26 項所述之降低互調失真的方法，其中每

一該第一射頻產生器和該第二射頻產生器係以一脈衝操作模式或一連續波操作模式中的至少一種操作。

【第33項】如申請專利範圍第 26 項所述之降低互調失真的方法，其進一步包括一功率調整模組，該功率調整模組將一功率調整訊號施加到該功率放大器以降低該互調失真分量。

【第34項】如申請專利範圍第 1 項所述之射頻產生器，其進一步包括一功率調整模組，該功率調整模組將一功率調整訊號施加到該功率放大器以降低該至少一個互調失真分量。

【第35項】如申請專利範圍第 17 項所述之降低互調失真的裝置，其進一步包括一功率調整模組，該功率調整模組將一功率調整訊號施加到該功率放大器以降低該互調失真分量。

【發明圖式】

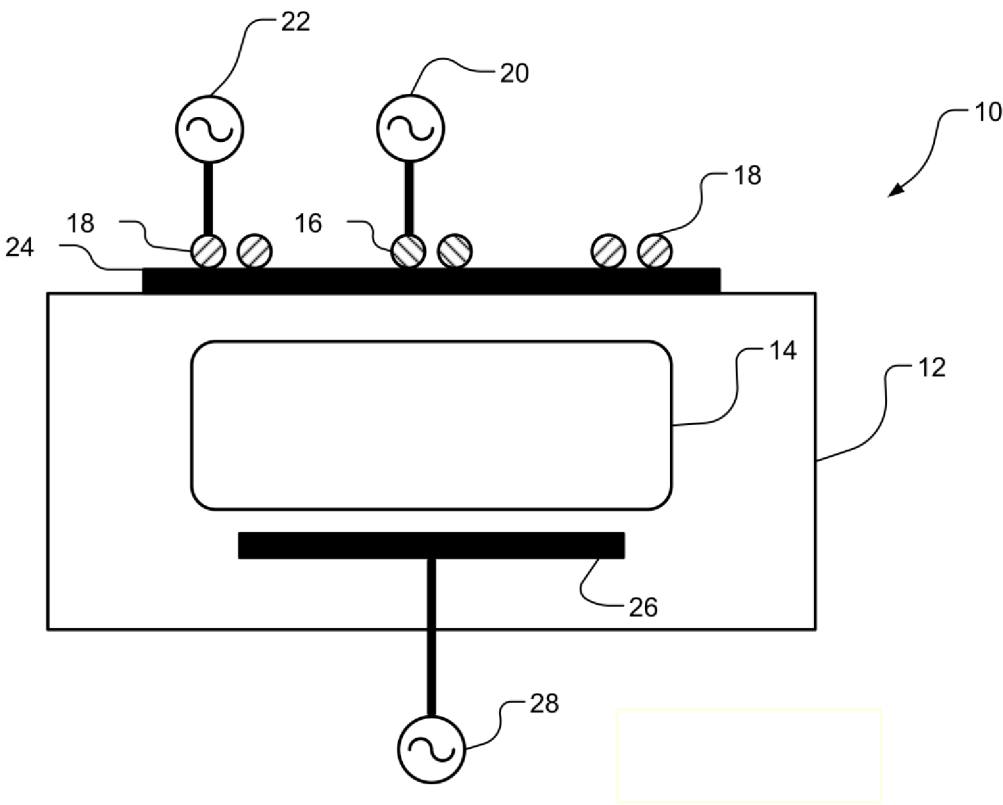


圖1

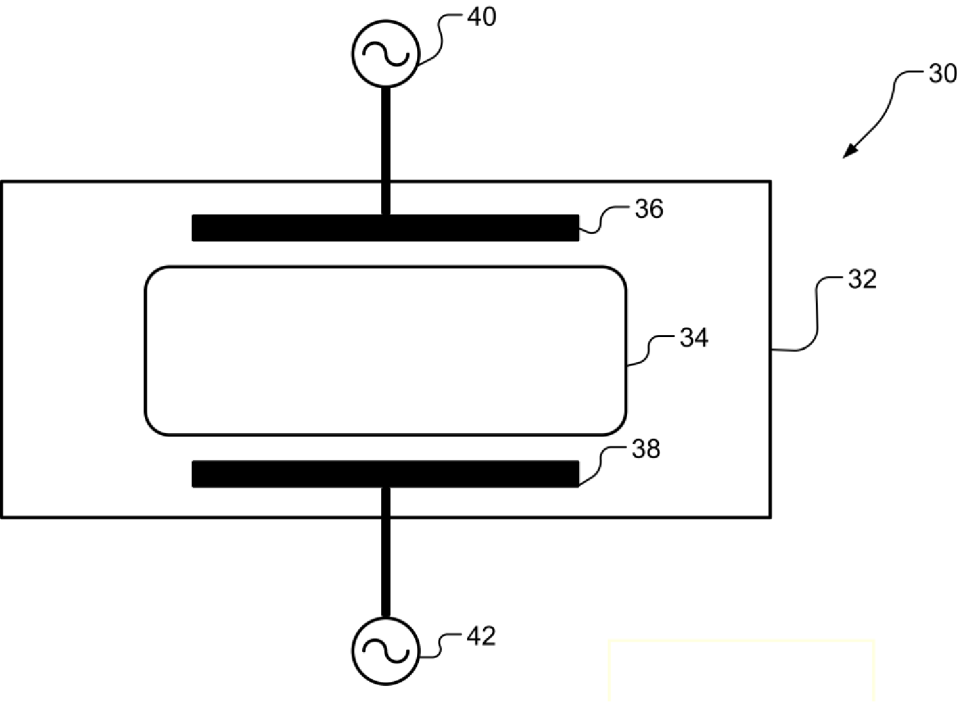


圖2

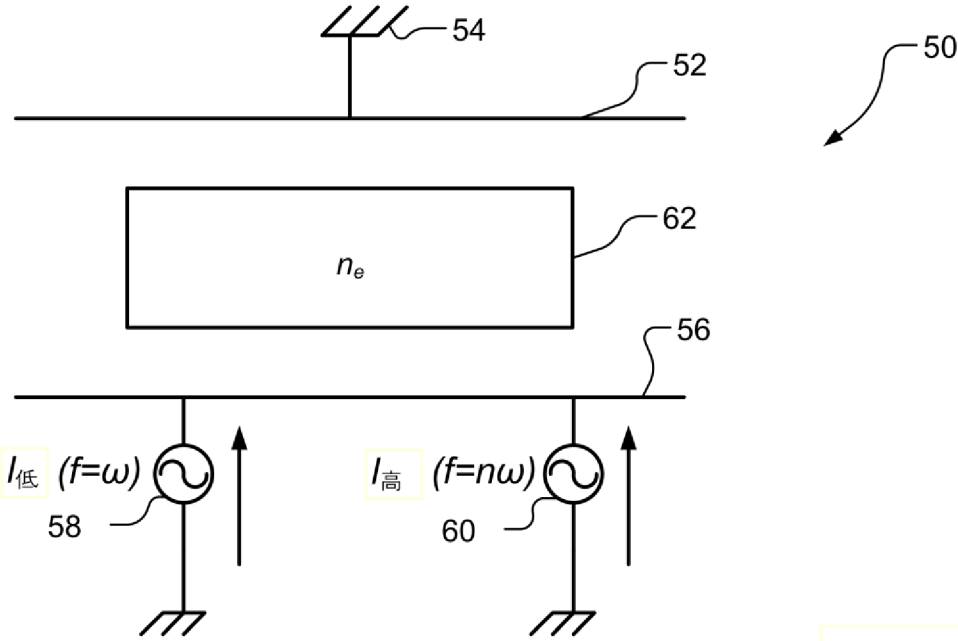


圖3

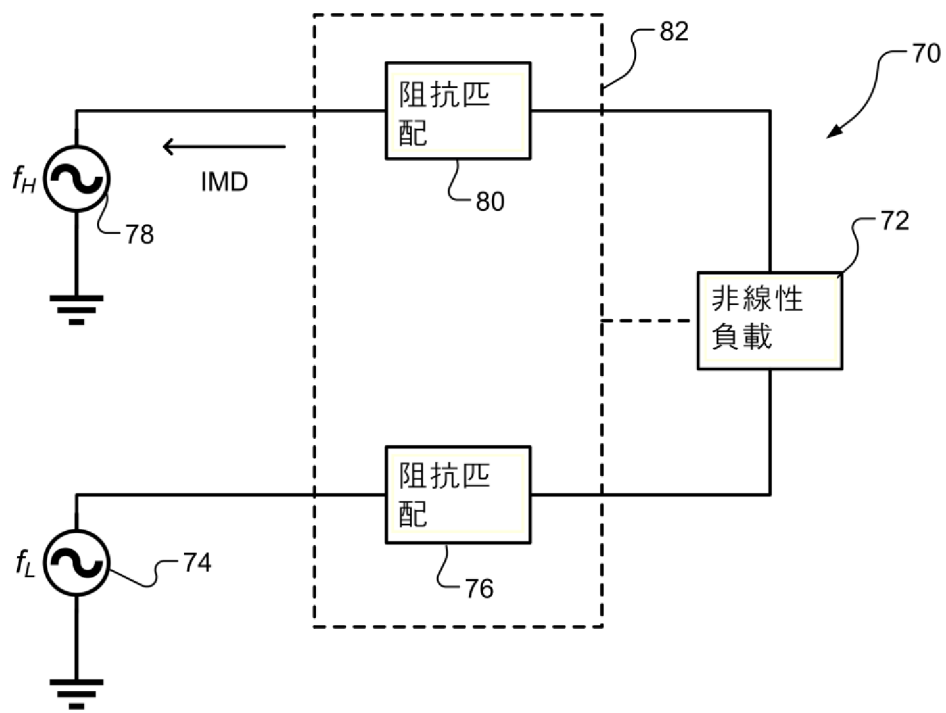


圖4

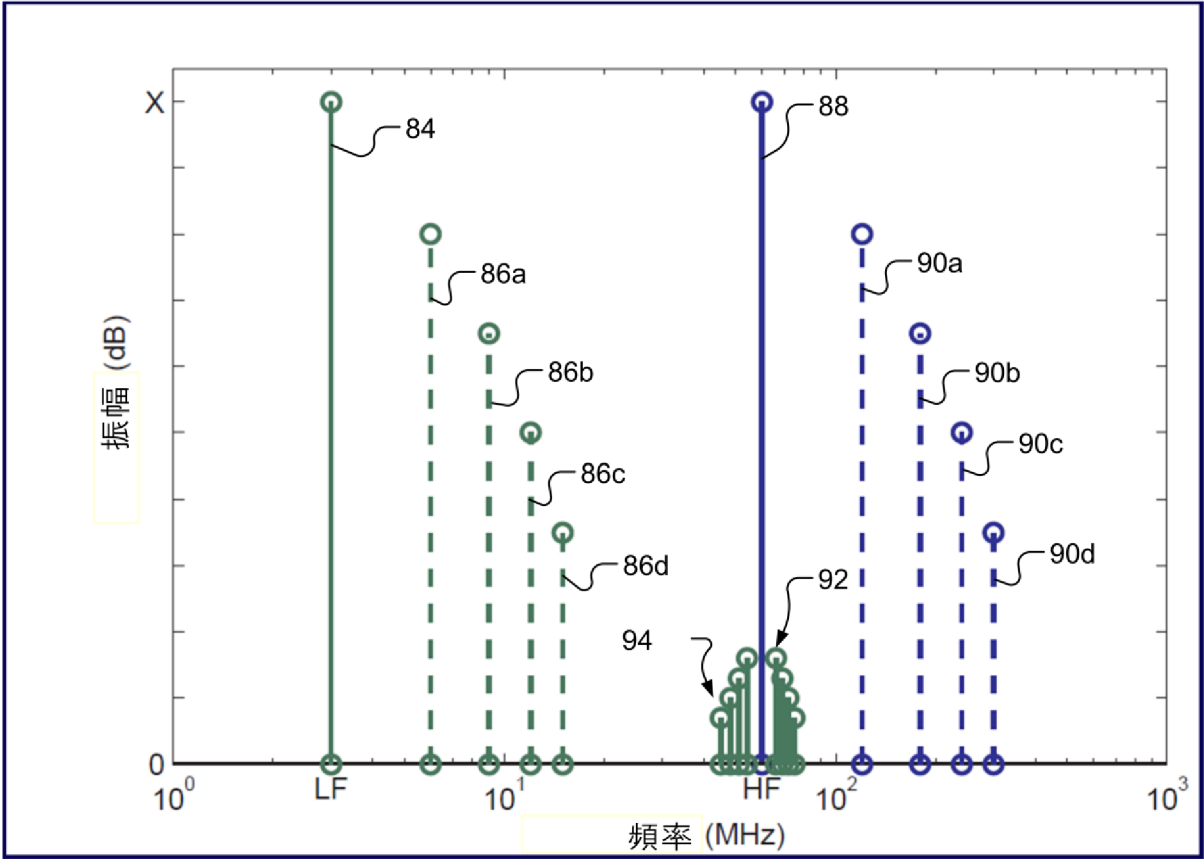


圖5

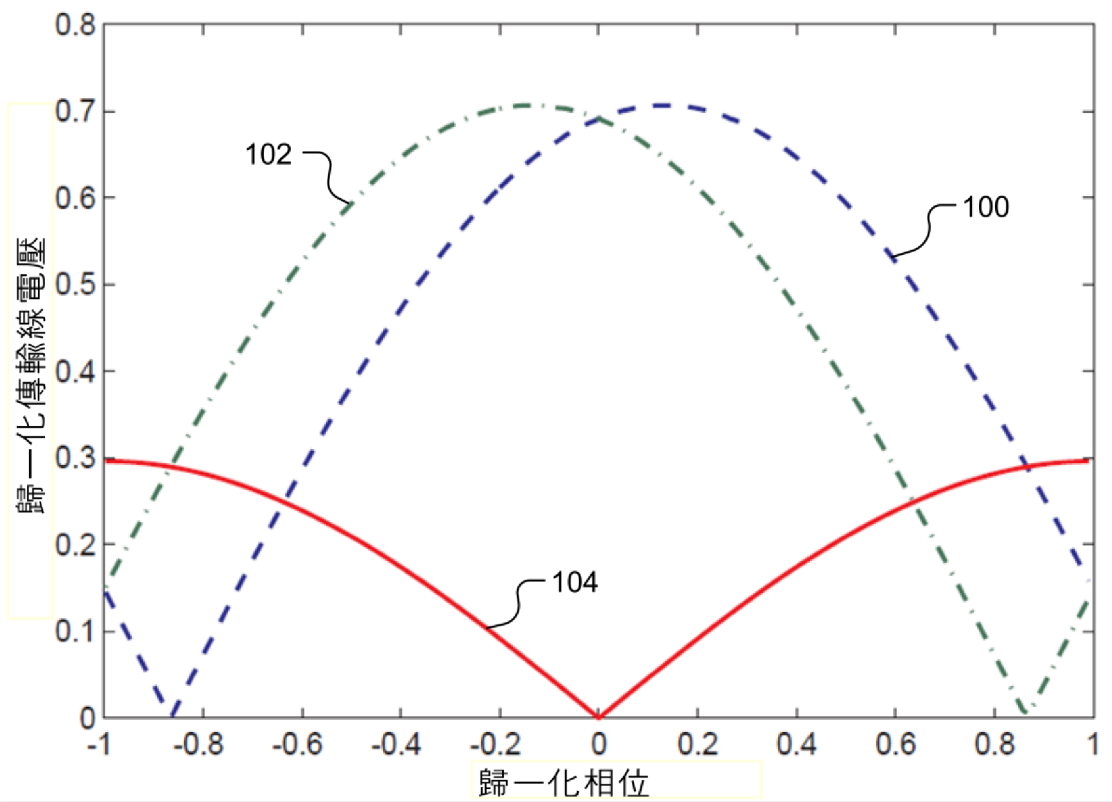


圖6

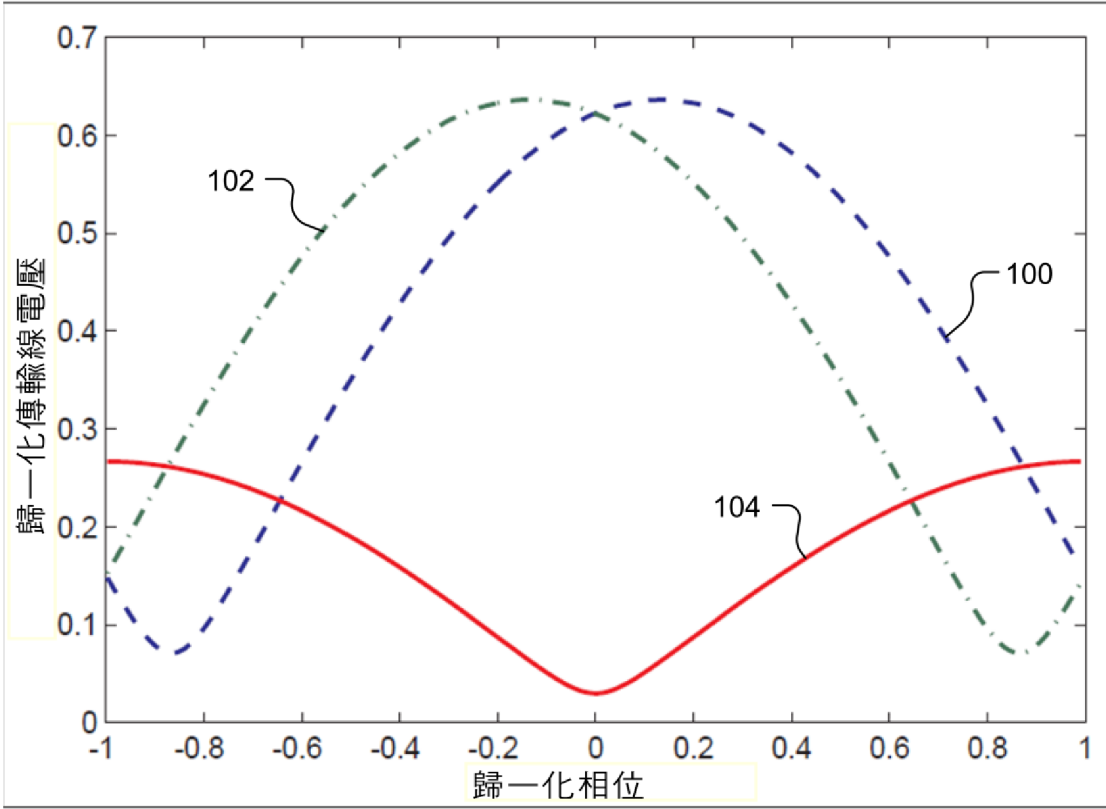


圖7

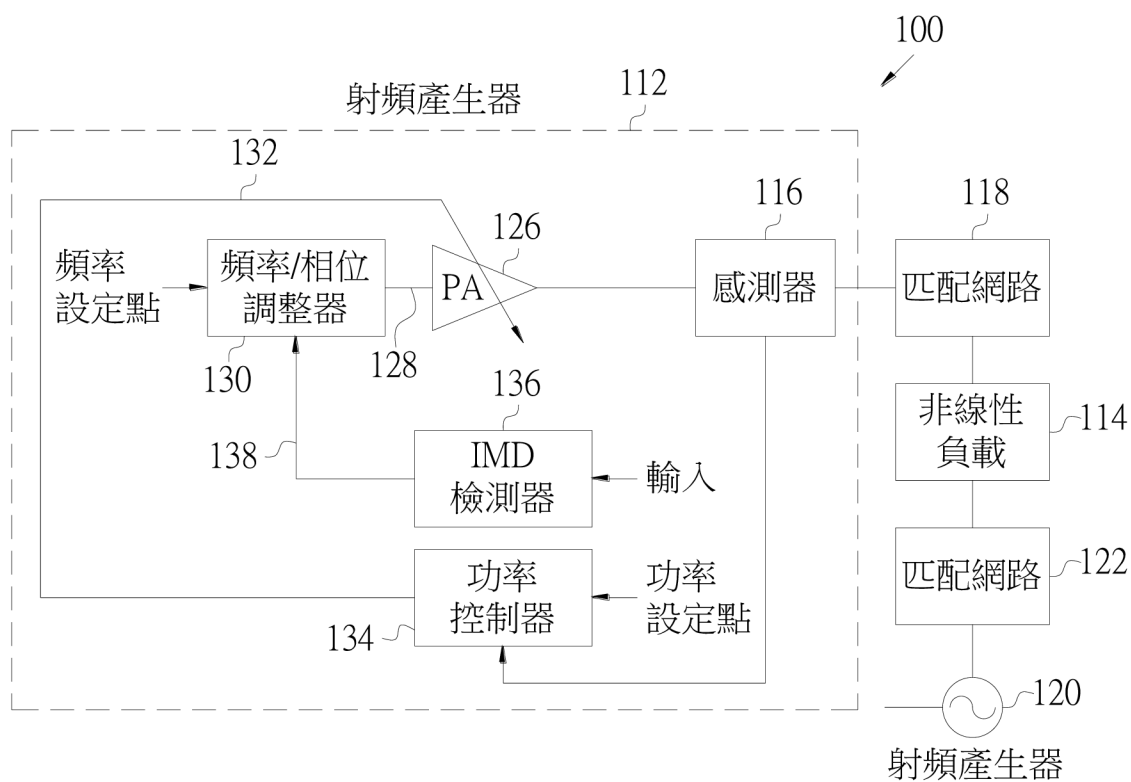


圖8

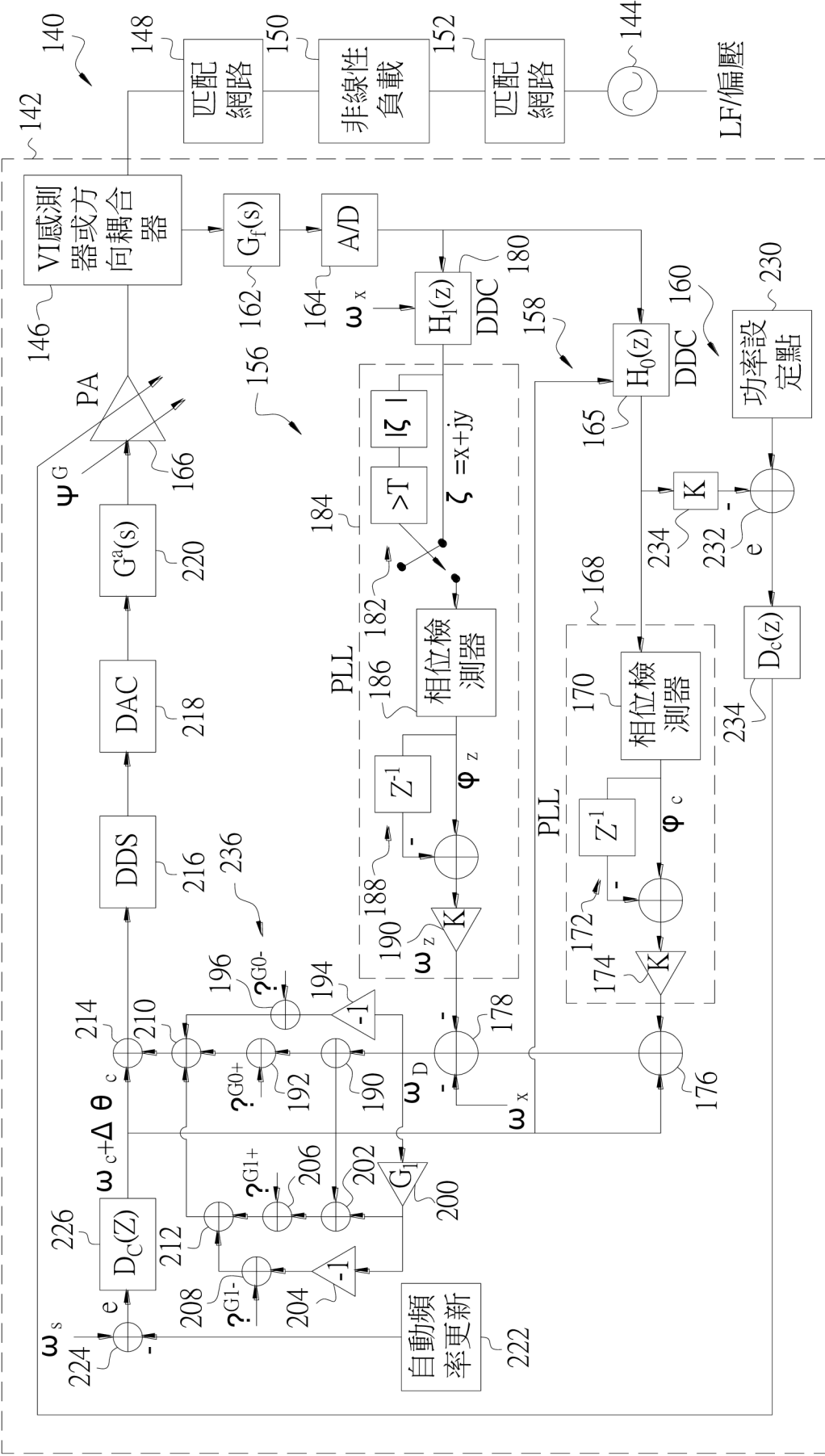


圖 9

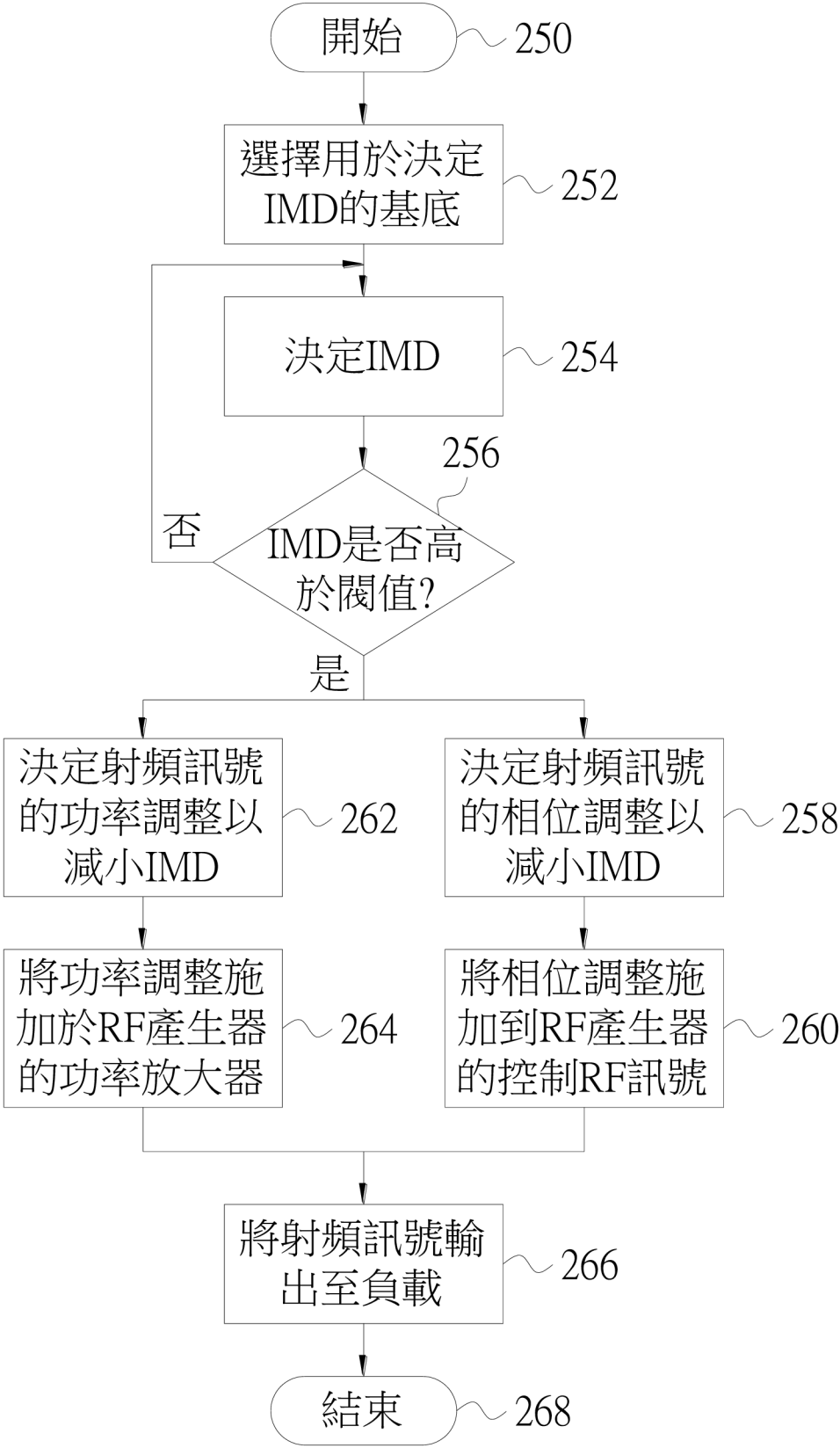


圖10