

(21)申請案號：103102435

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 01 月 23 日

(51)Int. Cl. : **H02P25/06 (2006.01)**

(30)優先權：2013/01/25 中國大陸 201310030302.9

(71)申請人：上海微電子裝備有限公司(中國大陸) (CN)

中國大陸

(72)發明人：張霖(CN)；張曉文(CN)；郭琳(CN)；陳軍(CN)；張志鋼(CN)

(74)代理人：賴經臣；宿希成

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：8 共 23 頁

(54)名稱

磁對準系統及其對準方法

(57)摘要

一種磁對準系統，包括磁鋼陣列(10)、電機轉子(20)、固定工件(30)及力感測器(40)，電機轉子(20)位於磁鋼陣列(10)上方，且藉由力感測器(40)連接至與磁鋼陣列(10)相對位置固定的固定工件(30)上。藉由在一個磁對準角度週期內變換流入電機轉子(20)中的某一個三相線圈的三相電流的角度，並由力感測器(40)測量該線圈組的出力值，即可根據該線圈組出力最大值所對應的三相電流角度得到該線圈組的磁對準角度。

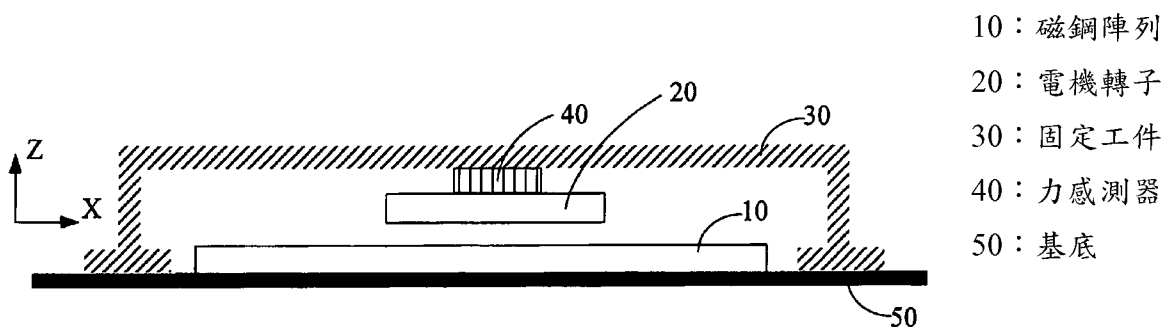


圖 3

(21)申請案號：103102435

(22)申請日：中華民國 103 (2014) 年 01 月 23 日

(51)Int. Cl. : **H02P25/06 (2006.01)**

(30)優先權：2013/01/25 中國大陸 201310030302.9

(71)申請人：上海微電子裝備有限公司(中國大陸) (CN)
中國大陸

(72)發明人：張霖(CN)；張曉文(CN)；郭琳(CN)；陳軍(CN)；張志鋼(CN)

(74)代理人：賴經臣；宿希成

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：10 項 圖式數：8 共 23 頁

(54)名稱

磁對準系統及其對準方法

(57)摘要

一種磁對準系統，包括磁鋼陣列(10)、電機轉子(20)、固定工件(30)及力感測器(40)，電機轉子(20)位於磁鋼陣列(10)上方，且藉由力感測器(40)連接至與磁鋼陣列(10)相對位置固定的固定工件(30)上。藉由在一個磁對準角度週期內變換流入電機轉子(20)中的某一個三相線圈的三相電流的角度，並由力感測器(40)測量該線圈組的出力值，即可根據該線圈組出力最大值所對應的三相電流角度得到該線圈組的磁對準角度。

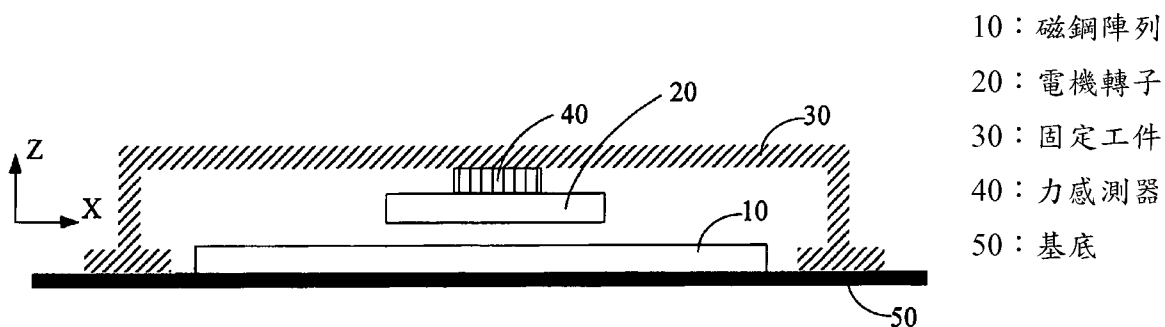


圖 3

發明摘要

※ 申請案號：103102435

※ 申請日：103/01/23

※IPC 分類：

H02P 25/06 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

磁對準系統及其對準方法

【中文】

一種磁對準系統，包括磁鋼陣列(10)、電機轉子(20)、固定工件(30)及力感測器(40)，電機轉子(20)位於磁鋼陣列(10)上方，且藉由力感測器(40)連接至與磁鋼陣列(10)相對位置固定的固定工件(30)上。藉由在一個磁對準角度週期內變換流入電機轉子(20)中的某一個三相線圈的三相電流的角度，並由力感測器(40)測量該線圈組的出力值，即可根據該線圈組出力最大值所對應的三相電流角度得到該線圈組的磁對準角度。

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 3 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

10	磁鋼陣列
20	電機轉子
30	固定工件
40	力感測器
50	基底

【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】(中文/英文)

磁對準系統及其對準方法

【技術領域】

【0001】本發明有關於一種動線圈式磁浮平面電機之磁對準系統及其對準方法。

【先前技術】

【0002】動線圈式磁浮平面電機的基本控制原理類似普通直線電機，即根據線圈在磁場中的位置，改變流入三相線圈的電流角度，使得電機在所需方向上的出力恒定。由於採用 ID、IQ 解耦合的向量控制方式，因此初始磁對準角度的精確與否，除了保證在動線圈式磁浮平面電機之水平方向、垂直方向的出力最大外，還影響到電機水平方向與垂直方向的解耦合。若磁對準角度不夠精確、水平方向與垂直方向的解耦合不夠徹底，則會在控制上引入水平方向與垂直方向的串擾，影響電機的伺服性能。

【0003】US 7,205,741 B2 公開一種現有的檢測初始磁對準角度的系統，如圖 1 所示，該方案提出：在電機線圈 1 與磁鋼 2 表面之間鋪設一層可壓縮材料製成的敏感元件 3，配合以電容或電感距離感測器 4 來檢測電機在垂直方向出力時使敏感元件 3 壓縮形變量。藉由在磁對準範圍內更改三相線圈電流角度並判斷敏感元件 3 的形變量大小，從而搜尋出電機的初始磁對準角度。

【0004】上述磁對準角度系統的精確程度係依賴於電機的垂直方向出力時敏感元件 3 的形變量和距離感測器 4 的解析度，這需

要電機的垂直方向出力與敏感元件 3 的形變量之間有良好的線性關係，當垂直方向出力過大或過小時，這種線性關係將難以滿足，從而會影響所測得的磁對準角度的精度。

【發明內容】

【0005】本發明提供一種動線圈式磁浮平面電機之磁對準系統及其對準方法，以提高磁對準精度。

【0006】為解決上述技術問題，本發明提供一種磁對準系統，包括：磁鋼陣列，用於產生一磁場；電機轉子，設置於該磁鋼陣列上方，該電機轉子包括四個呈矩陣排列的線圈組，每兩個相鄰的線圈組中的一個沿第一方向排列，另一個沿垂直於第一方向的第二方向排列；固定工件，關於該磁鋼陣列具有一固定的相對位置，且該固定工件與該電機轉子及磁鋼陣列均不接觸；以及至少一個力感測器單元，連接於電機轉子與該固定工件之間，該力感測器用於當該電機轉子的某一個線圈組中流入一三相電流時，測量該線圈組在該磁場的作用下產生的出力值。

【0007】較佳地，每個線圈組包括多個平行設置的三相線圈。

【0008】較佳地，該磁鋼陣列包括多個磁體以矩陣方式沿第三和第四方向排列，其中，協力廠商向和第四方向垂直，且該協力廠商向與該第一方向成 45 度夾角，第四方向與該第二方向成 45 度夾角。

【0009】較佳地，每個線圈組中的兩個相鄰的三相線圈之間的距離為 $4\tau/3$ ，其中， τ 為磁鋼陣列中兩個相鄰磁體之間的磁極距。

【0010】較佳地，該力感測器單元包括一個三維以上的力感測器，或者包括三個一維力感測器。

【0011】本發明還提供一種磁對準方法，應用於上述磁對準系統中，該方法包括：

安裝固定工件及力感測器單元，對該四個線圈組中的每一個執行以下步驟以完成初始磁對準：

在一個磁對準角度週期內變換流入線圈組的三相電流的角度，藉由力感測器單元測量該線圈組的水平方向或垂直方向的出力值；

根據對應該線圈組之水平方向或垂直方向的出力值最大的三相電流角度以確定該線圈組的磁對準角度。

【0012】較佳地，該方法還包括：

拆除固定工件及力感測器，對該四個線圈組中的每一個執行以下步驟以伺服修正磁對準角度：

使一個線圈組脫離閉迴路控制，由其餘三個線圈組在一控制器的控制下構成閉迴路控制，記錄此時控制器的輸出作為初始偏置；

給該一個線圈組流入三相電流，並變換該三相電流的角度，記錄此時控制器的輸出作為實際輸出；

將該一個線圈組的三相電流角度調整到使控制器實際輸出與初始偏置為最接近。

【0013】較佳地，變換該三相電流的角度是在初始磁對準角度的基礎上，在 $-1/N$ 個磁對準角度週期到 $+1/N$ 個磁對準角度週期的範圍內變換，其中 N 為自然數。

【0014】與現有技術相比，本發明具有以下優點：

1. 本發明採用力感測器，相較現有技術中採用的可壓縮材料，其具有更可靠的線性工作區間，減少非線性因素對磁對準的影響；

2. 現有技術中的可壓縮材料只能測量電機的垂直方向出力，本發明的力感測器可以測量電機的垂直方向出力，也可以測量其水平方向出力；

3. 該電機轉子藉由力感測器固定於固定工件上，可以避免電機因水平方向出力大於電機轉子與磁鋼陣列之表面的靜摩擦力而產生位置偏移；

4. 採用伺服修正磁對準角度的方法可以在無需多餘感測器的情況下提高磁對準精度，避免感測器解析度對磁對準精度的影響。

【圖式簡單說明】

【0015】

圖 1 為現有技術中的動線圈式磁浮平面電機之磁對準系統的結構示意圖；

圖 2 為本發明之一具體實施方式的動線圈式磁浮平面電機之磁對準系統的俯視結構示意圖；

圖 3 為本發明之一具體實施方式的動線圈式磁浮平面電機之磁對準系統的側視圖；

圖 4 為本發明之一具體實施方式的動線圈式磁浮平面電機之出力示意圖；

圖 5 為本發明之一具體實施方式的動線圈式磁浮平面電機之磁對準方法的流程圖；

圖 6 為本發明之一具體實施方式的動線圈式磁浮平面電機之控制結構框圖；

圖 7 為本發明之一具體實施方式的動線圈式磁浮平面電機之三組線圈構成閉迴路控制的控制結構框圖；以及

圖 8 為本發明之一具體實施方式的伺服修正磁對準角度方法的流程圖。

【實施方式】

【0016】為使本發明的上述目的、特徵和優點能夠更加明顯易懂，下面結合附圖對本發明的具體實施方式做詳細的說明。需說明的是，本發明附圖均採用簡化的形式且均使用非精準的比例，僅用以方便、清晰地輔助說明本發明實施例的目的。

【0017】本發明提供的動線圈式磁浮平面電機之磁對準系統，如圖 2 至圖 4 所示，包括磁鋼陣列 10、電機轉子 20、固定工件 30 以及力感測器 40，具體地，該磁鋼陣列 10 為二維磁鋼陣列，由多個磁體以二維陣列方式排布在 $X'-Y'$ 平面內而構成，每個磁體沿垂直於 $X'-Y'$ 平面的方向放置，且相鄰磁體的磁極相反，即對於一個 N 極朝上放置的磁體而言，其相鄰的磁體為 S 極朝上放置。磁鋼陣列 N 極到 S 極的磁極距由 τ 表示，該磁鋼陣列 10 在其周圍區域形成磁場。該電機轉子 20 置於磁鋼陣列 10 上方，包括四個呈矩陣排布的線圈組 X1、X2、Y1、Y2，其中每兩個相鄰的線圈組中的一個沿第一方向(X 方向)排列，另一個沿垂直於第一方向的第二方向(Y 方向)排列，優佳的，X 與 X' 方向、Y 與 Y' 方向分別互成 45 度夾角，使得該磁鋼陣列 10 的磁密度分佈沿 X 和 Y 方向均呈正弦分佈。該電機轉子 20 的每個線圈組即為一個發力體，具體的，每個線圈組包括若干平行設置的三相線圈 21，本實施例中，每個線圈組包括三個三相線圈 21，當三相線圈 21 流入電流後，磁鋼陣列 10 的磁場將對三相線圈 21 產生作用力，並驅使電機轉子 20 移動。

【0018】為了檢測每個線圈組的初始磁對準角度，需要在線圈

組中流入三相電流的情況下，將電機轉子 20 保持在原處，並準確測量出此時磁場對線圈組在 X、Y、Z 方向上分別產生的作用力。為此，將電機轉子 20 藉由能夠分別測量 X、Y、Z 三個軸向的力的力感測器 40 連接至與該磁鋼陣列 10 相對位置保持不變的固定工件 30 上。在一實施例中，如圖 3 所示，該固定工件 30 採用框架式結構，跨設在磁鋼陣列 10 的外側，具體的，該磁鋼陣列 10 和固定工件 30 均設置在基底 50 上，固定工件 30 具有足夠的寬度和高度，以將磁鋼陣列 10 連同其上方的電機轉子 20 一起容納於固定工件 30 所圍成的空間內，且固定工件 30 不接觸磁鋼陣列 10 及電機轉子 20，從而不會對磁鋼陣列 10 及電機轉子 20 的正常工作產生干擾。該力感測器 40 是一個三維力感測器，即藉由該一個力感測器 40 即可實現 X、Y、Z 三個軸向的力的測量，在其它實施例中，也可採用三個一維力感測器進行組合測量，或者採用一個三維以上的力感測器進行直接測量。該力感測器 40 分別連接電機轉子 20 和固定工件 30，一方面可使電機轉子 20 相對於固定工件 30，進而相對於磁鋼陣列 10 的位置保持不變，另一方面可以即時測量出電機轉子 20 在三維方向上的出力。

【0019】請重點參考圖 4，線圈組 X1 產生水平方向力 $F_{x_{x1}}$ 和垂直方向力 $F_{z_{x1}}$ 、線圈組 X2 產生水平方向力 $F_{x_{x2}}$ 和垂直方向力 $F_{z_{x2}}$ 、線圈組 Y1 產生水平方向力 $F_{y_{y1}}$ 和垂直方向力 $F_{z_{y1}}$ 、線圈組 Y2 產生水平方向力 $F_{y_{y2}}$ 和垂直方向力 $F_{z_{y2}}$ ，較佳地，每個線圈組中的兩個相鄰的三相線圈 21 之間的距離為 $4\tau/3$ ，其中， τ 為磁鋼陣列 N 極到 S 極的磁極距。如前所述，當磁鋼陣列 10 中磁鐵的排布方向與電機轉子 20 中線圈組的排列方向呈 45 度夾角時，該磁鋼陣列 10 的磁密

度分佈沿 X/Y 方向呈正弦分佈，故各發力體之三相線圈 21 處的磁密分佈 k_j 的運算式為：

$$K_j = \hat{K} \sin\left(\frac{\pi[p + 4(j-1)\tau/3]}{\tau}\right), \quad j = 1, 2, 3 \quad (1)$$

【0020】設定驅動器輸出三相電流為：

$$I_j = \hat{I} \sin\left(\frac{\pi[p + 4(j-1)\tau/3]}{\tau} + \varphi\right), \quad j = 1, 2, 3 \quad (2)$$

【0021】其中， $\hat{K}$ 為磁密度幅值， $\hat{I}$ 為三相電流幅值， P 為電機轉子之運動行程，其與電機轉子 20 的運動有關， φ 為電機轉子 20 的三相線圈 21 中電流角度與實際線圈所在磁場位置磁角度的差值，則單個發力體的出力 F 為：

$$F = \frac{3}{2} \hat{K} \hat{I} \cos(\varphi) \quad (3)$$

【0022】由於在固定工件 30 及力感測器 40 的作用下每個發力體相對於磁鋼陣列 10 的位置不變，因而其對應的磁角度也不變，此外，對於給定的磁鋼陣列 10 和電機轉子 20，其對應的磁密度幅值 $\hat{K}$ 和三相電流幅值 $\hat{I}$ 也是不變的，在這樣的條件下，上述公式(3)中的 F 大小將只與三相線圈 21 中的電流角度有關。因此，採用本發明的磁對準系統來檢測某一發力體的初始磁對準角度時，只需在 $[-\tau, \tau]$ 週期內，藉由改變該發力體的三相線圈 21 中的電流角度，利用力感測器 40 尋找使該發力體出力 F 為最大的電流角度，即可獲得對應的 φ 值以作為該發力體的初始磁對準角度，其具體過程將在下文加以詳述。

【0023】本發明還提供了一種動線圈式磁浮平面電機之磁對

準方法，採用上述的動線圈式磁浮平面電機之磁對準系統實現，如圖 5 所示，並結合圖 2 至圖 4，其步驟包括：

選擇一個線圈組；

在三相電流的可變角度範圍(相當於一個磁對準角度週期)內變換流入該線圈組的三相電流的角度，具體地，將磁對準角度週期平均分為 N 份，以 $1/N$ 磁對準角度週期為單位依次改變三相電流的角度，並且每改變一次三相電流的角度值，就藉由力感測器 40 測量該線圈組在水平方向上的相應出力值，對於線圈組 X1、X2 而言，測量的是 X 方向力，對於線圈組 Y1、Y2 而言，測量的是 Y 方向力；

根據對應該線圈組在水平方向上出力值為最大的三相電流角度，確定該線圈組的磁對準角度；

該線圈組初始磁對準結束。

【0024】四個發力體中的每一個均需經過上述初始磁對準步驟。

【0025】需要說明的是，雖然上述實施例中力感測器 40 測量的是水平方向力(X 方向或 Y 方向力)，但也可以改為測量垂直方向力(Z 方向力)，因為無論是垂直方向力還是水平方向力都滿足電機轉子 20 相對磁鋼陣列 10 位置固定時，出力隨 φ 變化呈正弦變化的關係。因此對於測量垂直方向力的情況，只需根據對應該線圈組在垂直方向上出力值為最大的三相電流角度即可確定該線圈組的磁對準角度。

【0026】當按照上述步驟完成初始磁對準，該動線圈式磁浮平面電機即已實現電機水平方向出力與垂直方向出力的初步解耦合，此時可以移除固定工件 30 及力感測器 40，使電機轉子 20 能夠

相對磁鋼陣列 10 進行移動，並可根據所測得的初始磁對準角度對電機實現伺服閉迴路控制。在閉迴路狀態下，藉由監視代表電機出力大小的控制量，可以進一步提高磁對準精度。

【0027】具體地，動線圈式磁浮平面電機之六自由度解耦合控制策略的框圖如圖 6 所示，包括：四個發力體，即四個線圈組 X1、X2、Y1、Y2；六個控制器，即 X 控制器、RX 控制器、Y 控制器、RY 控制器、Z 控制器、RZ 控制器，分別對應六個邏輯軸 X、Rx、Y、Ry、Z、Rz，且用於分別控制相應的邏輯軸輸出；以及執行器系統，用於從六個控制器接收邏輯軸輸出 F_X 、 F_Y 、 F_Z 、 T_{rx} 、 T_{ry} 、 T_{rz} 並將其轉換為八個物理軸 x_1 、 z_1 、 x_2 、 z_2 、 y_1 、 z_3 、 y_2 、 z_4 以進行輸出 $F_{x_1}^*$ 、 $F_{z_1}^*$ 、 $F_{x_2}^*$ 、 $F_{z_2}^*$ 、 F_{y_1} 、 $F_{z_3}^*$ 、 F_{y_2} 、 $F_{z_4}^*$ ，具體的過程為：讀取位置誤差，包括 x_error 、 y_error 、 z_error 、 rx_error 、 ry_error 、 rz_error ，分別對應 x 、 y 、 z 方向平移誤差及 rx 、 ry 、 rz 方向旋轉誤差，以 x_error 為例，該誤差經相對應的 X 控制器轉換為相對的邏輯軸輸出力 F_X ，經執行器系統進行力的再分配，將邏輯軸上的力轉換為物理軸上的力 $F_{x_1}^*$ ，並結合磁角度 ϕ^1 控制驅動器 1 輸出電流 i_{abc_1} ，該輸出電流 i_{abc_1} 流入線圈組 X1 中，控制該線圈組 X1 的發力。

【0028】較佳地，本發明的動線圈式磁浮平面電機之磁對準方法還包括一種伺服修正磁對準角度方法，以進一步提高磁對準精度，該平面電機的各線圈組 X1、X2、Y1、Y2 在一伺服系統中進行閉迴路控制，該伺服系統中的控制器對應控制該平面電機在各運動方向上的出力，如圖 8 所示，其步驟包括：

選擇一個線圈組作為目標線圈組以進行磁對準角度伺服修

正，使該目標線圈組脫離閉迴路控制，由其餘三個線圈組構成閉迴路控制，記錄此時控制器的輸出作為初始偏置，也就是說，對其中一個線圈組(例如線圈組 X1)的磁角度進行伺服修正時，該線圈組 X1 不參與伺服控制，其餘三個線圈組，即線圈組 X2、Y1、Y2 構成閉迴路控制。由於三個發力體也是可以完成電機六自由度控制的，如圖 7 所示，驅動器 1 脫離閉迴路控制，動線圈式磁浮平面電機六自由度之解耦合控制策略的框圖包括電機三個發力體(即三個線圈組 X2、Y1、Y2)、六個邏輯軸(X、Rx、Y、Ry、Z、Rz)及六個物理軸(x2、z2、y1、z3、y2、z4)的控制。此時線圈組 X1 即可用於對該發力體之磁對準角度的進一步修正，而另三個發力體控制電機處於伺服懸浮狀態；

給該目標線圈組流入三相電流，該線圈組在由其餘三個線圈組構成的伺服系統作用下保持在原處，變換該目標線圈組中的三相電流的角度，記錄此時控制器的輸出作為實際輸出，較佳地，對其中一個線圈組的磁對準角度進行伺服修正時，給該目標線圈組流入的三相電流角度是在初始磁對準角度的基礎上，在 $-1/N$ 個磁對準角度週期到 $+1/N$ 個磁對準角度週期的範圍內變換；

以圖 7 所示的驅動器 1 脫離閉迴路控制為例，當另三個發力體控制電機處於伺服懸浮狀態時，該線圈組 X1 流入電流以產生開迴路垂直方向力，若產生水平方向分力則繼續進行磁對準角度調整。也就是說，X 控制器的輸出 F_x 應為一固定偏置值 $F_{x_{offset}}$ (理論上 $F_{x_{offset}} = 0$ ，但由於初始磁對準時對準精度的限制，提供電機懸浮的垂直方向出力會耦合進水平方向)。此時給未處於閉迴路控制中的發力體設置垂直方向電流 i_d ，電機在伺服作用下會保持在原處，記錄

此時的 X 控制器的輸出 F_x ，若 F_x 不等於初始時的固定偏置值 $F_{x_{offset}}$ ，則說明該未處於閉迴路控制中的發力體的垂直方向力耦合進水平方向，即其磁對準精度還可以提高，故需對磁角度繼續進行調整，較佳地，根據讀取該閉迴路控制中的控制量，確定進行伺服修正的線圈組 X1 產生的水平方向分力，進而確定磁角度調整的範圍。

【0029】將對應目標線圈組的三相電流角度調整到控制器實際輸出與初始偏置最接近的位置；

具體地，藉由調整該發力體的磁對準角度 φ^1 ，使觀察到的 F_x 與初始時的固定偏置值 $F_{x_{offset}}$ 最為接近。

【0030】需要說明的是，每個發力體均可藉由上述的伺服修正磁對準角度方法來提高磁對準精度。

【0031】顯然，本領域的技術人員可以對發明進行各種改動和變型而不脫離本發明的精神和範圍。這樣，倘若本發明的這些修改和變型屬於本發明申請專利範圍及其等同技術的範圍之內，則本發明也意圖包括這些改動和變型在內。

【符號說明】

【0032】

- 1 電機線圈
- 2 磁鋼
- 3 敏感元件
- 4 電容或電感距離感測器
- 10 磁鋼陣列
- 20 電機轉子
- 21 三相線圈

30	固定工件
40	力感測器
50	基底
X1	線圈組
X2	線圈組
Y1	線圈組
Y2	線圈組



申請專利範圍

1. 一種磁對準系統，包括：

磁鋼陣列，用於產生一磁場；

電機轉子，設置於該磁鋼陣列上方，該電機轉子包括四個呈矩陣排列的線圈組，每兩個相鄰的線圈組中的一個沿第一方向排列，另一個沿垂直於第一方向的第二方向排列；

固定工件，關於該磁鋼陣列具有一固定的相對位置；以及
力感測器單元，連接於該電機轉子與該固定工件之間，該力感測器單元用於當該電機轉子的某一個線圈組中流入一三相電流時，測量該線圈組在該磁場的作用下產生的出力值。

2. 如申請專利範圍第 1 項之磁對準系統，其中，每個線圈組包括多個平行設置的三相線圈。

3. 如申請專利範圍第 2 項之磁對準系統，其中，該磁鋼陣列包括多個磁體以矩陣方式沿第三和第四方向排列，其中，協力廠商向和第四方向垂直，且該協力廠商向與該第一方向成 45 度夾角，第四方向與該第二方向成 45 度夾角。

4. 如申請專利範圍第 3 項之磁對準系統，其中，每個線圈組中的兩個相鄰的三相線圈之間的距離為 $4\tau/3$ ，其中， τ 為磁鋼陣列中兩個相鄰磁體之間的磁極距。

5. 如申請專利範圍第 1 項之磁對準系統，其中，該力感測器單元包括一個三維以上的力感測器。

6. 如申請專利範圍第 1 項之磁對準系統，其中，該力感測器單元包括三個一維力感測器。

7. 如申請專利範圍第 1 項之磁對準系統，其中，該固定工件與該電

機轉子及該磁鋼陣列均不接觸。

8. 一種磁對準方法，應用於申請專利範圍第 1 至 7 項中任一項之磁對準系統中，其包括下列步驟：

安裝固定工件及力感測器單元，對該四個線圈組中的每一個執行以下步驟以完成初始磁對準：

在一個磁對準角度週期內變換流入線圈組的三相電流的角度，藉由力感測器單元測量該線圈組的水平方向或垂直方向的出力值；

根據對應該線圈組水平方向或垂直方向的出力值為最大的三相電流角度以確定該線圈組的磁對準角度。

9. 如申請專利範圍第 8 項之磁對準方法，還包括下列步驟：

拆除固定工件及力感測器，對該四個線圈組中的每一個執行以下步驟以伺服修正磁對準角度：

使一個線圈組脫離閉迴路控制，由其餘三個線圈組在一控制器的控制下構成閉迴路控制，記錄此時控制器的輸出作為初始偏置；

給該一個線圈組流入三相電流，並變換該三相電流的角度，記錄此時控制器的輸出作為實際輸出；

將該一個線圈組的三相電流角度調整到使控制器實際輸出與初始偏置最接近。

10. 如申請專利範圍第 9 項之磁對準方法，其中，變換該三相電流的角度是在初始磁對準角度的基礎上，在 $-1/N$ 個磁對準角度週期到 $+1/N$ 個磁對準角度週期的範圍內變換，其中 N 為自然數。

圖式

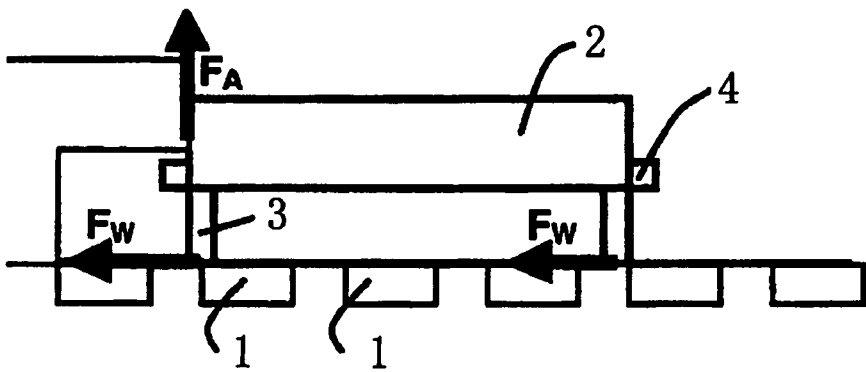


圖 1

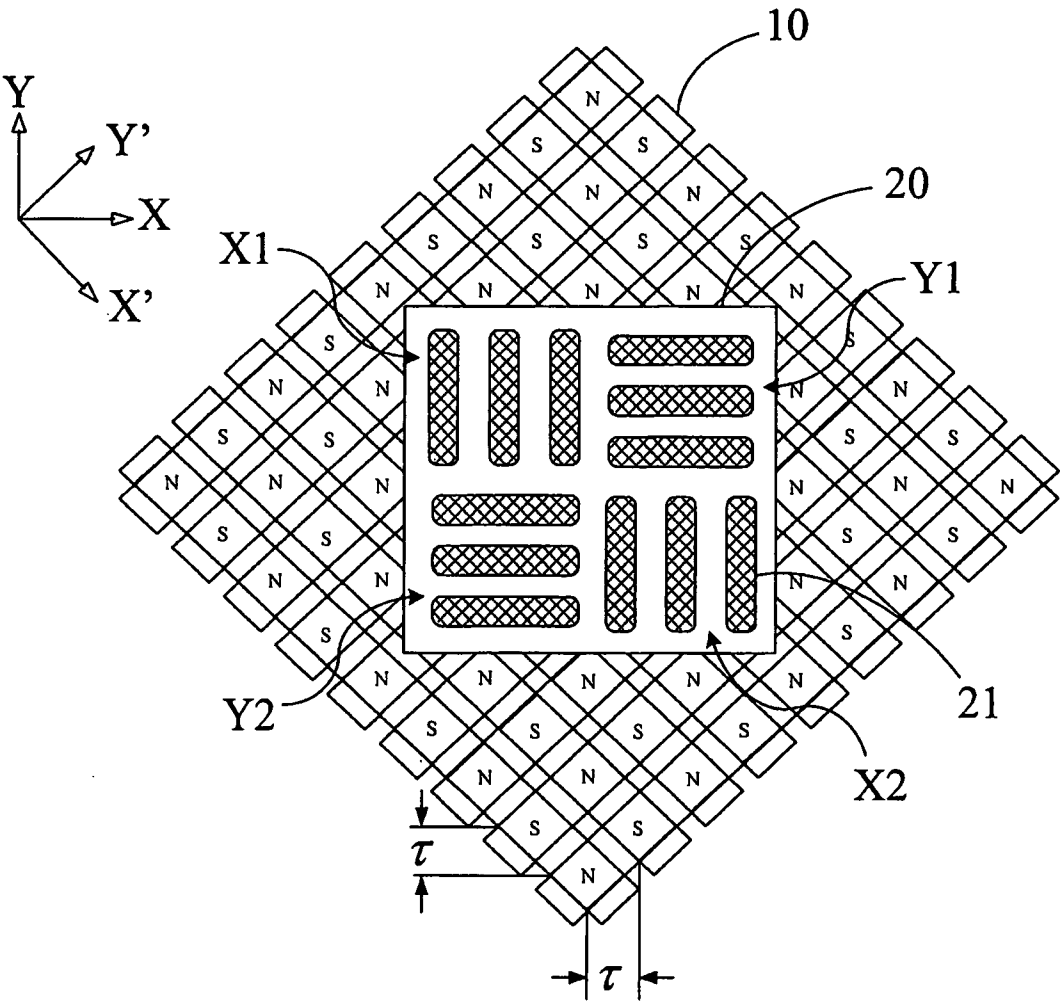


圖 2

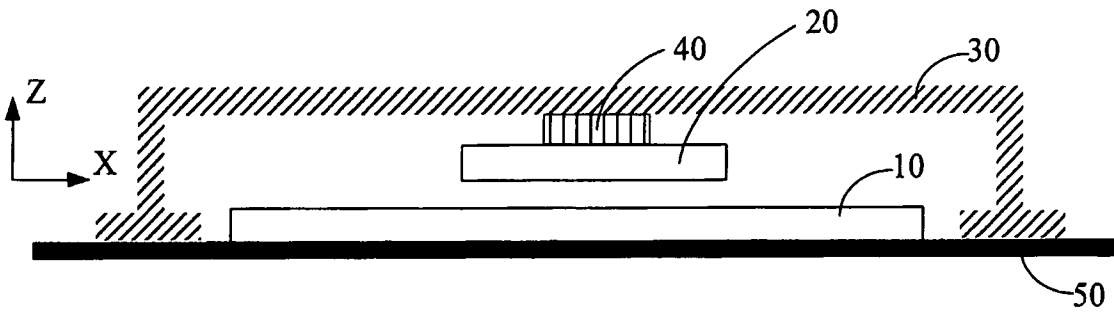


圖 3

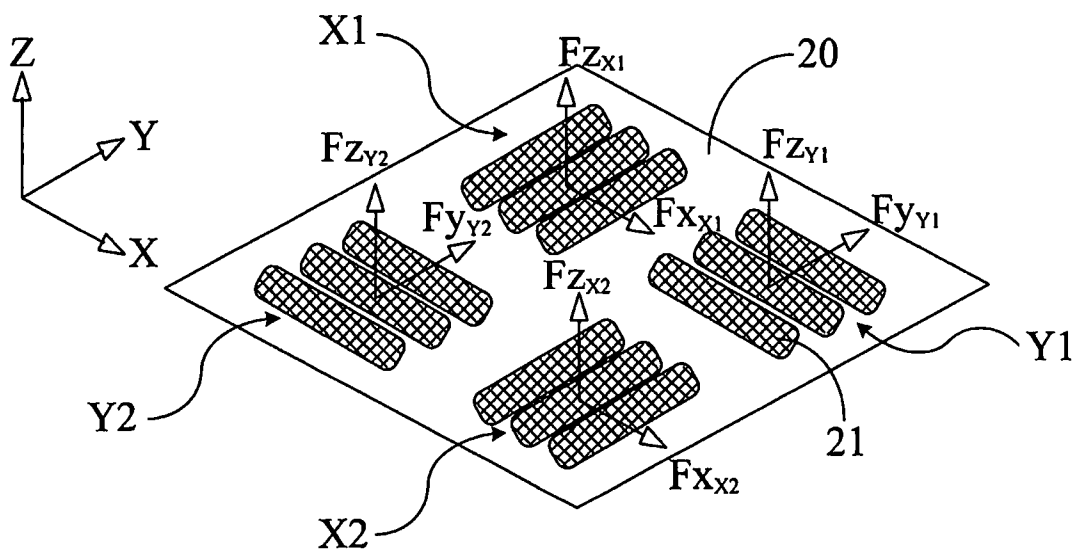


圖 4

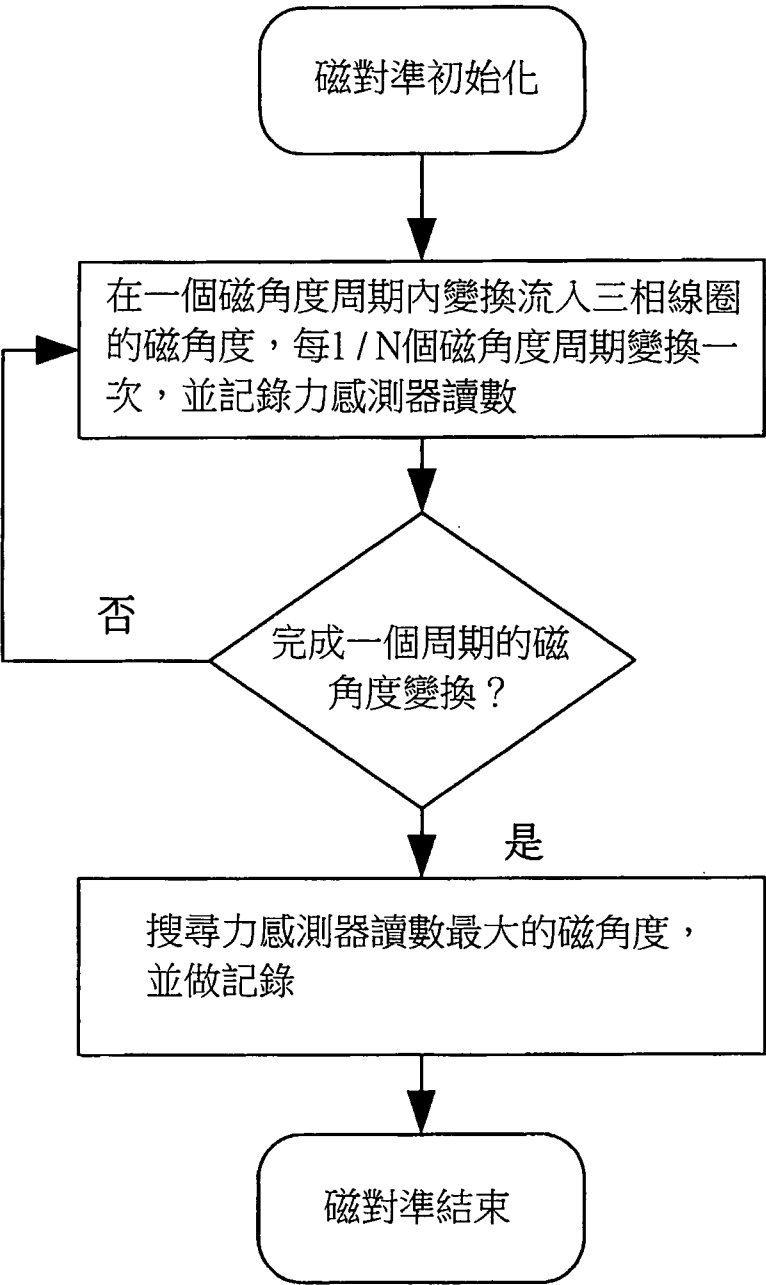


圖 5

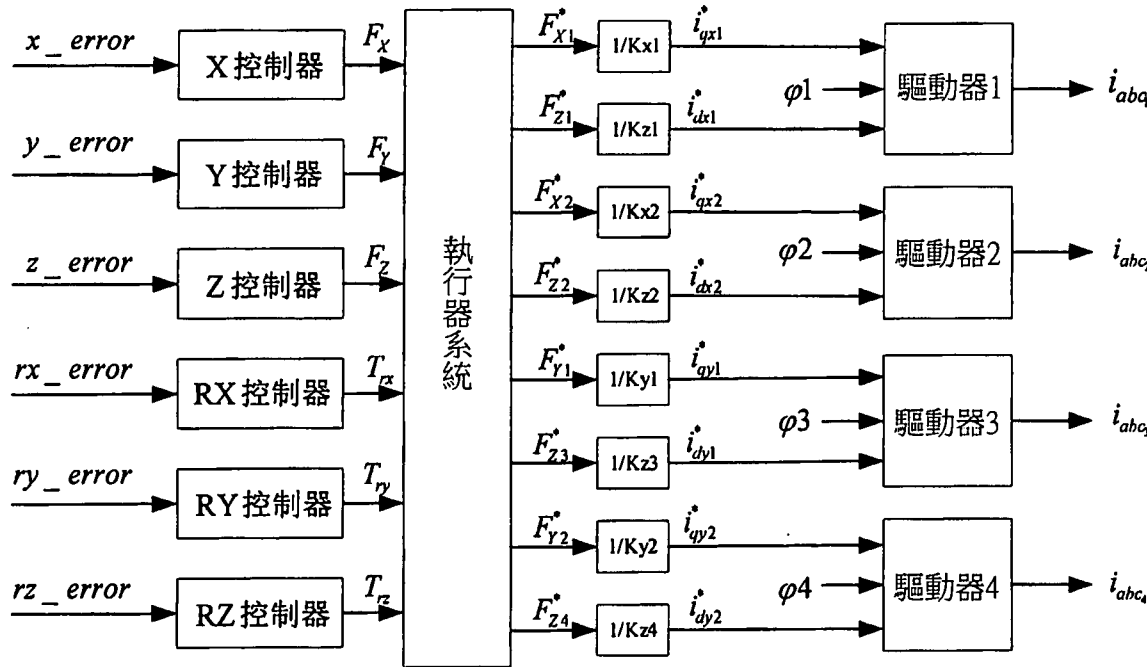


圖 6

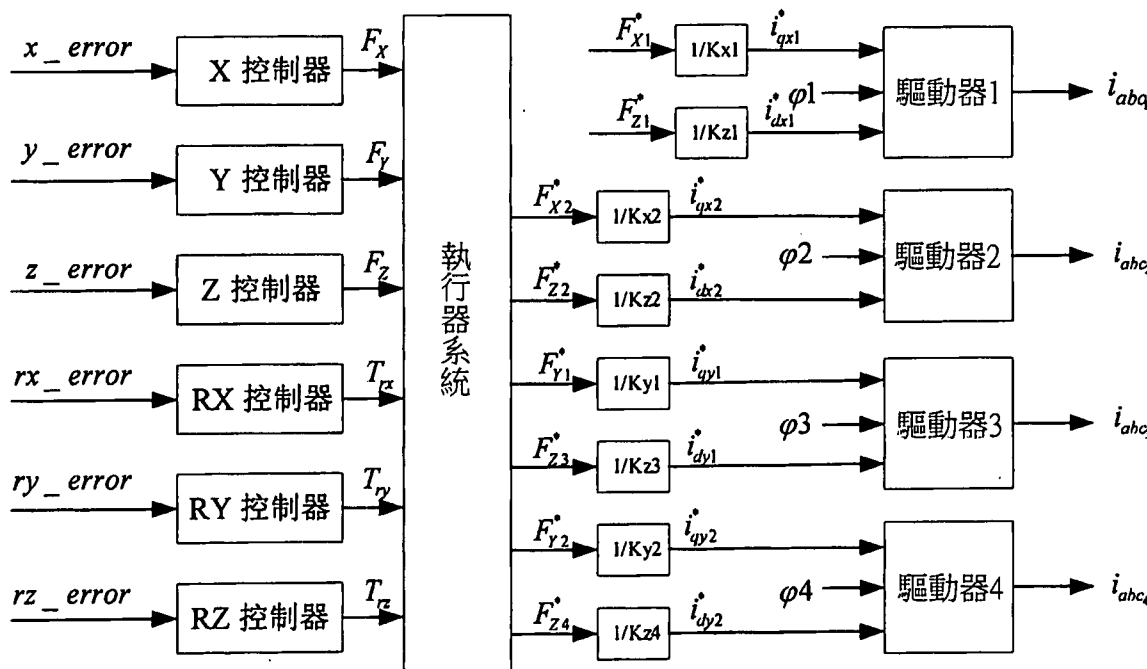


圖 7

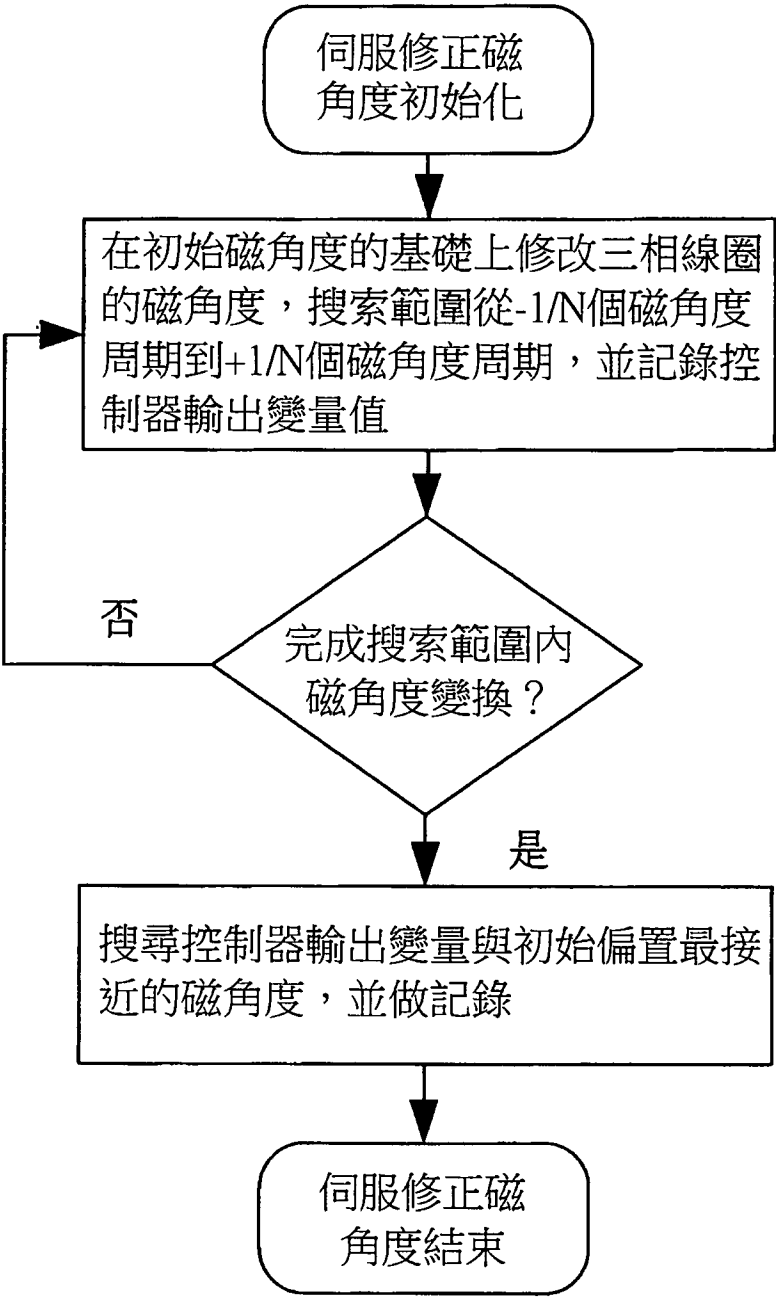


圖 8