

發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：97124374

※ 申請日期：97/06/27

※IPC 分類：H02P6/06 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

同步馬達之控制方法及控制裝置暨使用其之同步馬達

CONTROL METHOD AND CONTROL DEVICE FOR SYNCHRONOUS MOTOR, AND
SYNCHRONOUS MOTOR USING SAME

二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

THK 股份有限公司 / THK Co., Ltd. (THK 株式会社)

代表人：(中文/英文)

寺町彰博 / Akihiro TERAMACHI (寺町彰博)

住居所或營業所地址：(中文/英文)

日本國東京都品川區西五反田3丁目11番6號

11-6, Nishi Gotanda 3-chome, Shinagawa-ku, Tokyo 141-8503 Japan

國籍：(中文/英文)

日本 / Japan

三、發明人：(共 2 人)

姓名：(中文/英文)

(1) 淺生利之 / ASO Toshiyuki (淺生利之)

(2) 野村祐樹 / NOMURA Yuki

國籍：(中文/英文)

(1)~(2) 日本 / Japan

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項 第一款或 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 日本；2007/06/29；2007-173058
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

五、中文發明摘要：

本發明提供不需要位置檢測器，並且容易控制之嶄新的同步馬達之控制裝置。

使用 d-q 座標，以形成磁場之磁通方向作為 d 軸，以領先 d 軸 $\pi / 2$ 之相位作為 q 軸的同步馬達之控制裝置，具備有：相位檢測器 14，以產生與位置指令相對應之 d 軸電位角；電流檢測器 17，以檢測在同步馬達 20 中流動之 3 相交流電流；3 相交流 / d-q 座標轉換器 16，根據相位檢測器 14 所產生之電位角，將電流檢測器 17 所檢測到之 3 相交流電流，座標轉換成為 d 軸電樞電流和 q 軸電樞電流；以及 q 軸、d 軸電樞電流控制器 12、13，控制 d 軸電樞電流和 q 軸電樞電流，使電流在 d 軸電樞流動，並使電流不在 q 軸電樞流動。

六、英文發明摘要：

The present invention relates to a novel control device for a synchronous motor, which requires no position detector and can be easily controlled.

The control device for a synchronous motor using a d-q coordinate system with the magnetic flux direction of generating the magnetic field as the d-axis and the phase of $\pi/2$ in advance of the d-axis as the q-axis comprises: a phase detector 14 for producing a d-axis electrical angle corresponding to a position instruction; a current detector 17 for detecting a 3-phase alternating current flowing in the synchronous motor 20; a 3-phase alternating current/d-q coordinate transformer 16 for coordinate transformation of the 3-phase alternating current detected by the current detector 17 to a d-axis armature current and a q-axis armature current according to the electrical angle produced by the phase detector 14; and q-axis and d-axis armature current controllers 12, 13 for controlling the d-axis armature current and the q-axis armature current so that the current flows in the d-axis armature and does not flow in the q-axis armature.

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (6) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- 11 位置控制器
- 12 q 軸電樞電流控制器(電流控制手段)
- 13 d 軸電樞電流控制器(電流控制手段)
- 14 相位檢測器(相位產生手段)
- 15 電力轉換器
- 16 向量旋轉器 · 3 相交流 / d-q 座標轉換器
- 17 電流檢測器
- 19 向量旋轉器 · d-q 座標 / 3 相交流轉換器
- 20 同步馬達
- 21 位置檢測器
- 24 位置判定器(位置判定手段)

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明有關於使用永久磁鐵為磁場的同步馬達之控制方法及控制裝置。

【先前技術】

用於伺服馬達之同步馬達，利用永久磁鐵形成磁場磁通，使 3 相電樞電流流動，以使與磁場磁通之合成向量成為正交，以產生推力。伺服馬達之系統方塊圖以圖 7 表示。其基本構造包含有：同步馬達 31；電壓型 PWM 反相等電力轉換器 32，以對同步馬達 31 供給電力；相位檢測器 33，以決定電力轉換器 32 對同步馬達 31 供給之電壓或流動之電流的相位；以及電流控制器 34，以控制電流。欲控制速度時可附加速度檢測器 35，欲控制位置時則附加位置檢測器 36。相位檢測器 33、速度檢測器 35 和位置檢測器 36 大多共用。

在同步馬達的電路方程式之中，最容易處理者是電壓，電流以直流量之 d-q 座標表示。在 d-q 座標中，形成磁場之磁通的方向為 d 軸，領先 d 軸 $\pi/2$ 之相位為 q 軸。對可動部之推力與在 q 軸電樞流動之電流成正比例。在使用有相位檢測器 33 之習知伺服馬達中，控制 q 軸電樞電流以獲得必要之轉矩。d 軸為磁場中磁通之方向，所以 d 軸電樞電流被控制成通常不流動。電流控制器 34 藉由相位檢測器 33 算出現在的磁極位置(d 軸之位置)，使電流從磁極位置流向偏移 $\pi/2$ 之位置的 q 軸電樞，而控制成

可動部可順利動作。當使用伺服馬達時可以控制正確之定位，因為可以依照轉矩而控制電流之大小，所以馬達效率良好，可以減少消耗電力，為其優點。

但是，使用 $d-q$ 座標而進行回饋控制時，需要編碼器或脈波產生器等高價格之位置檢測器（或磁性感測器等相位檢測器）。在不知磁極之位置（ d 軸之位置）時，3 相交流 / $d-q$ 座標轉換器 37 無法將 3 相交流電流座標轉換成為 d 軸、 q 軸電樞電流， $d-q$ 座標 / 3 相交流轉換器 38 無法將 3 相交流電流座標轉換成為 d 軸、 q 軸電樞電流。

不使用位置檢測器，而以無位置感測器控制電路作為控制同步馬達之位置的電路為習知者（例如參照專利文獻 1）。無位置感測器控制中，檢測在馬達流動之馬達電流，使用馬達電流推定馬達之轉子位置，對 PWM 反相器施加使馬達依照指令之旋轉速度而旋轉的信號。

另外，不使用位置檢測器，而依照對驅動電路輸入之脈波數，以開放迴路控制馬達之旋轉角度以作為控制馬達位置之方法的脈波馬達亦為習知者。

專利文獻 1：日本專利特開 2006-67656 號公報

【發明內容】

（發明所欲解決之問題）

但是，在無位置感測器控制電路中，需要將實軸（ $d-q$ 座標軸）上之電壓方程式座標轉換成為控制軸（ $\delta-\gamma$ 座標軸）上之電壓方程式，所以其控制變為複雜，為其問題。

另外，脈波馬達需要可以實現正確定位之齒輪狀特殊轉

子，所以馬達本身變成高價格和大型化，為其問題。

因此，本發明之目的是提供不需要位置檢測器，且易於控制之嶄新的同步馬達之控制裝置及方法。

(解決問題之手段)

為解決上述之問題，第 1 態樣發明是一種同步馬達之控制方法，使用 $d-q$ 座標，以形成磁場之磁通方向作為 d 軸，以領先 d 軸 $\pi/2$ 之相位作為 q 軸，其中，產生與位置指令相對應的 d 軸之電位角；並且控制 d 軸電樞電流和 q 軸電樞電流，使電流在 d 軸電樞中流動，且使電流不在 q 軸電樞中流動。

第 2 態樣發明之特徵是在第 1 態樣的同步馬達之控制方法中，控制 d 軸電樞電流，使 d 軸電樞電流成為一定。

第 3 態樣發明是一種同步馬達之控制裝置，使用 $d-q$ 座標，以形成磁場磁通方向作為 d 軸，以領先 d 軸 $\pi/2$ 之相位作為 q 軸，其中具備有：相位產生手段，以產生與位置指令相對應之 d 軸電位角；電流檢測器，以檢測在同步馬達中流動之 3 相交流電流；3 相交流 $/d-q$ 座標轉換手段，根據上述相位產生手段所產生之上述電位角，將上述電流檢測器所檢測到之 3 相交流電流，座標轉換為 d 軸電樞電流和 q 軸電樞電流；以及電流控制手段，控制 d 軸電樞電流和 q 軸電樞電流，使電流在 d 軸電樞中流動，並使電流不在 q 軸電樞中流動。

第 4 態樣發明之特徵是在第 3 態樣的同步馬達之控制裝置中，上述電流控制手段控制 d 軸電樞電流，使 d 軸電樞

電流成為一定。

第 5 態樣發明之特徵是在第 3 態樣的同步馬達之控制裝置中，更具備有：位置檢測器，以檢測上述同步馬達之位置；和位置判定手段，比較位置指令和上述檢測器所檢測到的上述同步馬達之位置，當上述同步馬達未依照位置指令動作時，加大在上述 d 軸電樞流動之電流值，或改變 d 軸之電位角。

第 6 態樣之發明是一種同步馬達，其利用第 1 或 2 態樣的同步馬達之控制方法控制。

(發明效果)

依照本發明時，因為控制成產生與位置指令相對應之電位角，使電流在 d 軸電樞流動，並使電流不在 q 軸電樞流動，所以可使磁極之位置(d 軸之位置)停止在依照位置指令之電位角。另外，經由連續改變電位角，可以驅動同步馬達。

【實施方式】

以下根據附圖詳細說明本發明一實施形態的同步馬達之控制裝置。作為控制之對象的同步馬達，使用以永久磁鐵為磁場的永久磁鐵同步馬達。永久磁鐵同步馬達可以使用圖 1 所示旋轉磁場型同步馬達，亦可以使用圖 2 所示可動線圈型同步線性馬達。在旋轉磁場型同步馬達中，使 3 相交流電流在電樞繞組 1 中流動，使形成磁場之永久磁鐵 2 旋轉。在可動線圈型同步線性馬達中，在定子 3 側交替地配置 N 極和 S 極之永久磁鐵 4，在動子 5 側則捲繞 U、V、

W 之線圈 6。藉由使 3 相電樞電流在線圈 6 流動，產生直線移動之移動磁場，使動子 5 相對於定子 3 而直線移動。

在使磁場旋轉之旋轉磁場型同步馬達中，或在使磁場直線移動之可動線圈型同步線性馬達中，均可使用屬旋轉座標之 $d-q$ 座標系，以控制 d 、 q 軸電樞電流。對於同步馬達之固定部份和可動部份均作 $d-q$ 轉換，轉換為旋轉的正交座標，此座標系為 $d-q$ 座標系。 q 軸相對於 d 軸，其相位領先 $\pi/2$ 。在同步馬達之情況，一般採用形成磁場的磁通方向為 d 軸。

圖 3 是以 $d-q$ 座標表示的同步馬達之等效電路。在圖 3 中， v_{da} 、 v_{qa} 是 d 、 q 軸電樞電壓， i_{da} 、 i_{qa} 是 d 、 q 軸電樞電流， ϕ_{fa} 是電樞繞組鏈交磁通數， R_a 是電樞繞組電阻， L_a 是電樞繞組本身之阻抗。從該等效電路求得電壓，電流，阻抗之關係式，亦即電路方程式時，可得：

[數 1]

$$\begin{bmatrix} v_{da} \\ v_{qa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + PL_a & -\omega_{re}L_a \\ \omega_{re}L_a & R_a + PL_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{da} \\ i_{qa} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_{re}\phi_{fa} \end{bmatrix}$$

。該式右邊第 2 項表示利用永久磁鐵之磁場，在 d 、 q 軸電樞繞組所感應之速度電動勢 e_{da} 、 e_{qa} ，為 $e_{da} = 0$ 、 $e_{qa} = \omega_{re}\phi_{fa}$ 。圖 3 表示電樞繞組如同 DC 馬達般，連接到整流器，在半徑方向具有無數個，以與磁場相同速度旋轉而配置在 d 、 q 軸上之電刷通過該等，受施加電壓 v_{da} 、 v_{qa} ，而產生 i_{da} 、 i_{qa} 流動。 v_{da} 、 v_{qa} 為直流電壓時， i_{da} 、 i_{qa} 亦成為直流電壓，以 2 軸直流處理。

將數 1 之式變化成為狀態方程式(微分方程式)，可得：

[數 2]

$$P \begin{bmatrix} i_{da} \\ i_{qa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & \omega_{re} \\ -\omega_{re} & -\frac{R_a}{L_a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{da} \\ i_{qa} \end{bmatrix} + \frac{1}{L_a} \begin{bmatrix} v_{da} \\ v_{qa} \end{bmatrix} - \frac{1}{L_a} \begin{bmatrix} 0 \\ e_{qa} \end{bmatrix}$$

該式表示可以以 d、q 軸之電樞電壓 v_{da} 和 v_{qa} ，控制 d、q 軸之電樞電流 i_{da} 和 i_{qa} 。

圖 4 表示本發明第一實施形態中，使用 d-q 座標系之控制裝置的方塊圖。本實施形態之控制裝置在驅動同步馬達時，不使用位置檢測器，而使一定之電流經常流動在同步馬達之 d 軸(永久磁鐵之磁通之方向)，以開放迴路驅動同步馬達。

控制裝置具備有：位置控制器 11，接受位置指令；q 軸、d 軸電樞電流控制器 12、13，為控制 q 軸、d 軸電樞電流之電流控制手段；相位檢測器 14，為產生與位置指令相對應之電位角的相位產生手段；以及電壓型 PWM 反相器等電力轉換器 15，依照 q 軸、d 軸電樞電壓指令而對同步馬達供給電力。

從電腦等上游控制裝置對位置控制器 11 施加位置指令 θ^*_{rm} 。位置控制器 11 將位置指令 θ^*_{rm} 輸出到相位檢測器 14。相位檢測器 14 算出與位置指令相對應之電位角 θ^*_{re} ，將電位角 θ^*_{re} 輸出到作為 3 相交流 / d-q 座標轉換手段之向量旋轉器。3 相交流 / d-q 座標轉換器 16。向量旋

轉器·3相交流/d-q座標轉換器16根據電位角 θ^*_{re} ，將來自電流檢測器17之3相回饋電流值 i_u 、 i_v 、 i_w 轉換成為q軸電樞電流 i_{qa} 和d軸電樞電流 i_{da} 。

q軸電樞電流控制器12取q軸電樞電流指令和q軸電樞電流 i_{qa} 之偏差，運算q軸電樞電壓之指令值 v^*_{qa} 。在此處，q軸電樞電流指令設定為0。q軸電樞電流控制器12控制q軸電樞電流 i_{qa} ，使q軸電樞電流 i_{qa} 成為0。在習知伺服馬達中，依照所需要之轉矩使q軸電樞電流指令成為可變，但是在本實施形態中，q軸電樞電流指令經常設定為0，為其特徵。

d軸電樞電流控制器13取d軸電樞電壓指令和d軸電樞電流 i_{da} 之偏差，運算d軸電樞電壓之指令值 v^*_{da} 。在此處，d軸電樞電流指令設定為一定之電流值，例如設定為同步馬達之額定電流。額定電流是同步馬達在有電流長時間流動之下，同步馬達亦不會燒毀之電流值。在習知之伺服馬達中，d軸電流指令 i^*_{da} 通常設定為0，但在本實施形態中則設定一定之電流值，為其特徵。

向量旋轉器·d-q座標/3相交流轉換器19根據該等電壓指令 v^*_{da} 、 v^*_{qa} 和電角度 θ^*_{re} ，輸出3相電壓指令 v^*_u 、 v^*_v 、 v^*_w 。電力轉換器15根據該等電壓指令，PWM控制輸出電壓，以控制在同步馬達20中流動之電流。

圖5表示實施形態中以d-q座標表示的同步馬達之動作圖。圖5(a)表示使用有位置檢測器之習知回饋控制的動作圖，圖5(b)表示本實施形態中未使用有位置檢測器

之開放迴路控制的動作圖。在習知回饋控制中，控制成使 d 軸電樞電流成為 0，使 q 軸電樞電流成為符合必要轉矩之值。經由使電流在 q 軸電樞流動而產生轉矩，使同步馬達 20 之永久磁鐵 23 旋轉((a1)→(a2)→(a3))。d 軸之位置(磁極位置)由位置檢測器所檢測到的位置資訊算出。

與此相對地，在本實施形態之開放迴路控制中，首先，算出依位置指令而驅動之永久磁鐵 23 的磁極位置指令 22(d 軸指令)。然後，使一定之電流在 d 軸電樞中流動，控制 d 軸電樞電流和 q 軸電樞電流，使 q 軸電樞中沒有電流流動。如此，永久磁鐵 23 之磁極位置(d 軸之位置)依照磁極位置指令 22 而停止在磁極位置指令 22 之位置。依照圖 5(b)中之(b1)→(b2)→(b3)之順序而改變磁極位置指令 22 時，則永久磁鐵 23 旋轉。在停止時，因額定電流在同步馬達 20 流動而產生保持力。

在本實施形態之開放迴路控制中，因為在 q 軸電樞中沒有電流流動，所以同步馬達 20 產生的轉矩很小。因此，當對同步馬達 20 施加負載時，會有同步馬達 20 無法追隨電位角變化的問題。但是，藉由使額定電流在同步馬達 20 流動，可以使同步馬達 20 之轉矩變大。另外，隨著電位角以 +5 度、+10 度、+15 度等而逐漸變大，同步馬達 20 亦以逐漸變大之轉矩動作(在電角度為 +90 度時，以最大轉矩動作)，藉由使電位角變大可以使同步馬達動作。同步馬達一旦動作時，其後利用其慣性可使同步馬達繼續動作，所以最後可以接近電位角。

圖 6 表示本發明第二實施形態的控制裝置之方塊圖。在該實施形態之控制裝置中，為使同步馬達 20 確實動作，在上述第一實施形態之控制裝置中更附加有：編碼器等位置檢測器 21，以檢測同步馬達 20 之位置；和作為位置判定手段之位置判定器 24，在同步馬達 20 不動作時，使同步馬達 20 之轉矩變大。其他之位置控制器 11，d 軸、q 軸電樞電流控制器 12、13，向量旋轉器·3 相交流 / d-q 座標轉換器 16，向量旋轉器·d-q 座標 / 3 相交流轉換器 19，相位檢測器 14，和電力轉換器 15 的構造，因為與上述第一實施形態相同，所以附加相同之元件符號而省略其說明。

當同步馬達 20 不動作而要使同步馬達 20 動作時，需要增加在同步馬達 20 中流動的電流，或使改變同步馬達 20 之電位角。例如，相較於電位角 +5 度，電位角 +90 度時產生較大之轉矩。

位置判定器 24 比較位置指令和位置檢測器 21 所檢測到的同步馬達 20 之位置。然後，當同步馬達 20 無法依位置指令而動作時，增加 d 軸電樞電流之電流指令，或改變 d 軸之電位角。在改變 d 軸之電位角時，操作相位檢測器 14，例如發送將轉矩旋轉器設為 +90 度之指令。藉由使在同步馬達 20 中流動之電流增加或改變同步馬達 20 之電位角，因為使同步馬達 20 之轉矩變大，所以可以使同步馬達 20 動作。

同步馬達 20 一旦動作後，利用其慣性旋轉既定之電位

角。位置判定器確認同步馬達 20 動作之時，可以使 d 軸電樞電流回到一定之電流值，或使電角度回到原先與位置指令相對應之電位角。

另外，本發明並不只限於上述實施形態，在不變更本發明要旨之範圍內，可以變更成為各種實施形態。例如，伺服馬達可以是類比伺服系，亦可以是軟體伺服系。在軟體伺服系之情況，在控制裝置組入控制用之微電腦。

【圖式簡單說明】

圖 1 是概略圖，用來表示本發明實施例之旋轉磁場型同步馬達。

圖 2 是概略圖，用來表示本發明實施例之可動線圈型同步線性馬達。

圖 3 是本發明實施例中以 d-q 座標表示之同步馬達的等效電路。

圖 4 是本發明第一實施形態中使用 d-q 座標系之控制裝置的方塊圖。

圖 5 是本發明實施例中以 d-q 座標表示之同步馬達的動作圖(圖中(a)表示習知同步馬達之動作圖，圖中(b)表示本實施形態之馬達的動作圖)。

圖 6 是本發明第二實施形態之控制裝置的方塊圖。

圖 7 是習知伺服馬達之系統方塊圖。

【主要元件符號說明】

- | | |
|---|------|
| 1 | 電樞繞組 |
| 2 | 永久磁鐵 |

- 3 定子
- 4 永久磁鐵
- 5 動子
- 6 線圈
- 11 位置控制器
- 12 q 軸電樞電流控制器(電流控制手段)
- 13 d 軸電樞電流控制器(電流控制手段)
- 14 相位檢測器(相位產生手段)
- 15 電力轉換器
- 16 向量旋轉器 · 3 相交流 / d-q 座標轉換器
- 17 電流檢測器
- 19 向量旋轉器 · d-q 座標 / 3 相交流轉換器
- 20 同步馬達
- 21 位置檢測器
- 22 磁極位置指令
- 23 永久磁鐵
- 24 位置判定器(位置判定手段)

十、申請專利範圍：

1. 一種同步馬達之控制方法，使用 $d-q$ 座標，以形成磁場之磁通方向作為 d 軸，以領先 d 軸 $\pi/2$ 之相位作為 q 軸，其中，

從來自上游之位置指令，而算出使永久磁鐵產生驅動之磁極位置指令，即為 d 軸指令，

並根據上述 d 軸指令將同步馬達之回饋電流轉換成 d 軸電樞電流及 q 軸電樞電流，並且以使一定之電流流動於 d 軸電樞且使電流不流動於 q 軸電樞之方式加以控制 d 軸電樞電流及 q 軸電樞電流，而使上述永久磁鐵的磁極位置依存於上述磁極位置指令，

使來自上述上游之上述位置指令產生變化而藉此驅動同步馬達。

2. 一種同步馬達之控制裝置，使用 $d-q$ 座標，以形成磁場之磁通方向作為 d 軸，以領先 d 軸 $\pi/2$ 之相位作為 q 軸，其中具備有：

相位產生手段，從來自上游之位置指令，而算出使永久磁鐵產生驅動之磁極位置指令，即為 d 軸指令；

電流檢測器，以檢測在同步馬達中流動之 3 相交流電流；

3 相交流 / $d-q$ 座標轉換手段，根據上述相位產生手段所算出之上述 d 軸指令，將上述電流檢測器所檢測到之 3 相交流電流，座標轉換成為 d 軸電樞電流和 q 軸電樞電流；以及，

電流控制手段，以使一定之電流流動於 d 軸電樞且使電流不流動於 q 軸電樞之方式加以控制 d 軸電樞電流及 q 軸電樞電流，而使上述永久磁鐵的磁極位置依存於上述磁極位置指令；

而使來自上述上游之上述位置指令產生變化而藉此驅動同步馬達。

3. 如申請專利範圍第 2 項之同步馬達之控制裝置，其中，上述同步馬達之控制裝置更具備有：

位置檢測器，以檢測上述同步馬達之位置；以及，

位置判定手段，比較位置指令和上述檢測器所檢測到的上述同步馬達之位置，當上述同步馬達未依位置指令動作時，加大在上述 d 軸電樞中流動之電流值，或改變 d 軸之電位角。

4. 一種同步馬達，其利用申請專利範圍第 1 項之同步馬達之控制方法進行控制。

十一、圖式：

圖 1

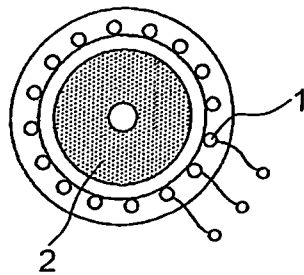


圖 2

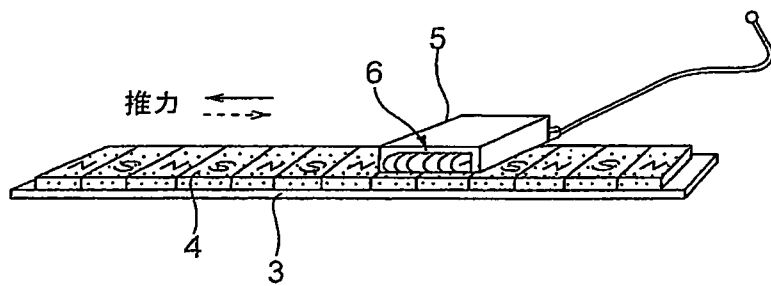


圖 3

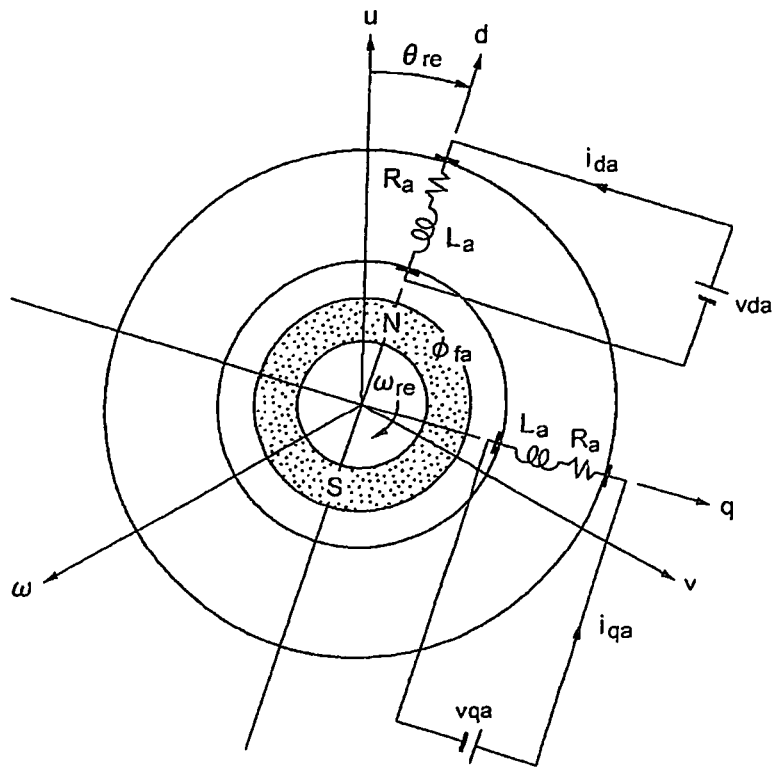


圖 4

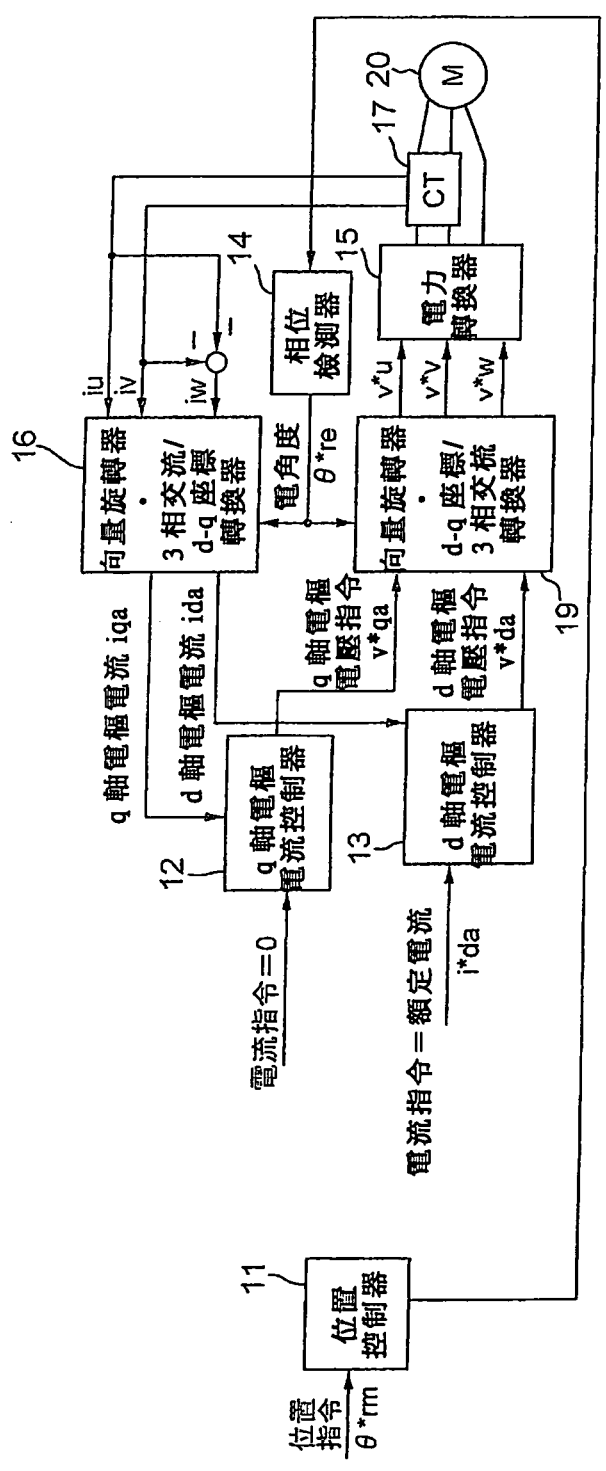


圖 5

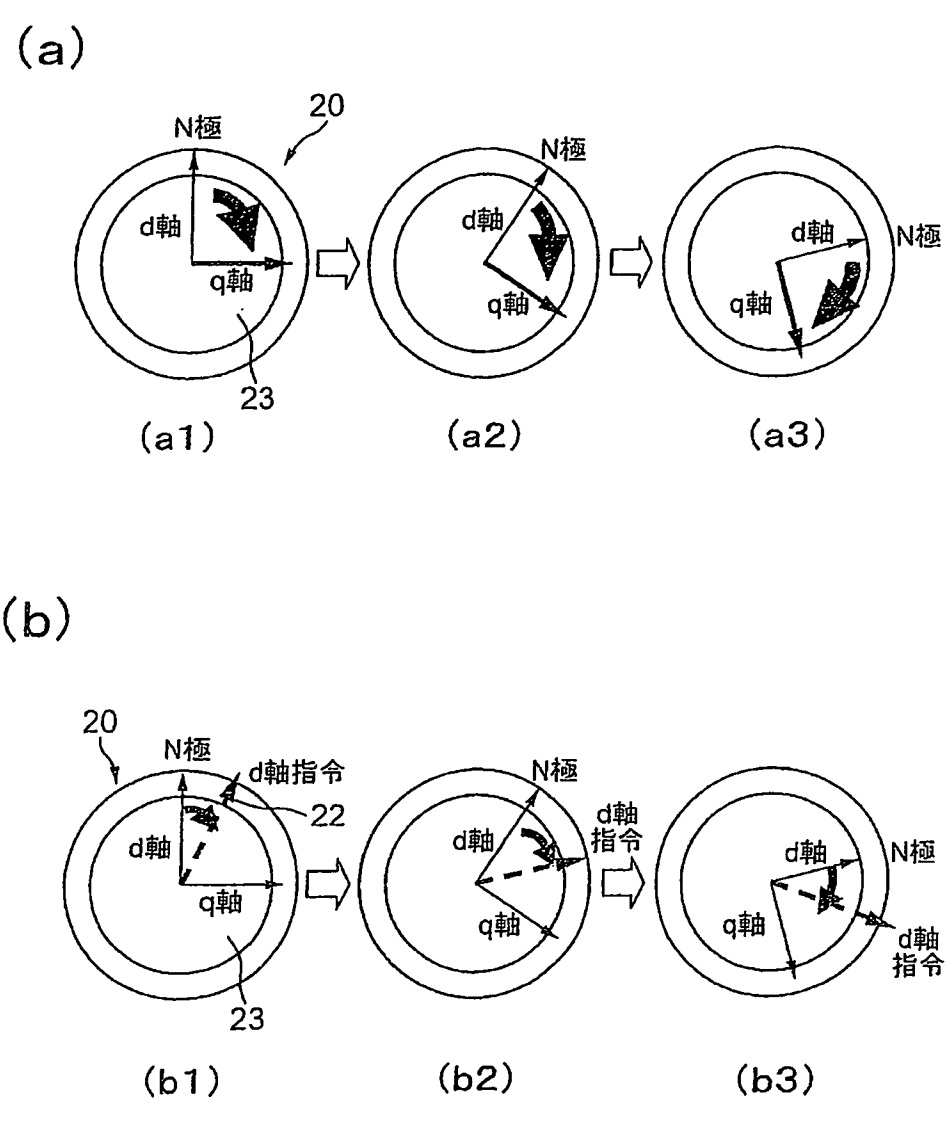


圖 6

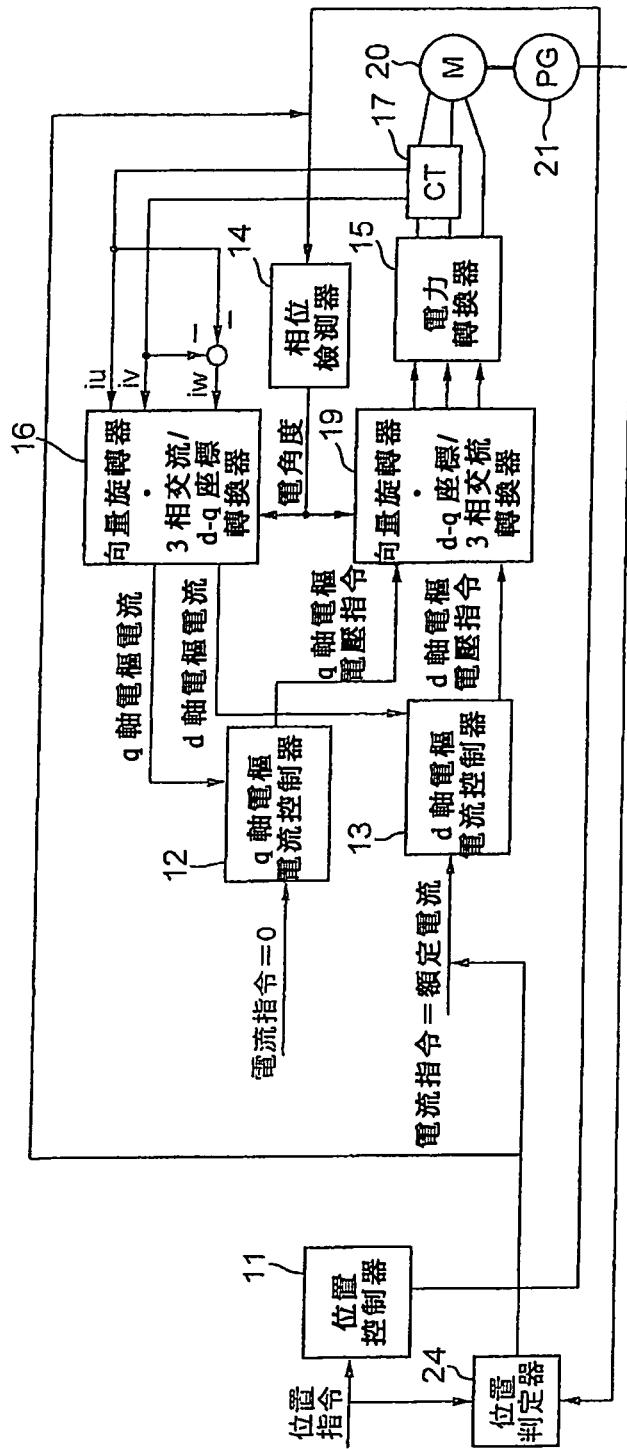


圖 7

