



(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 201511460 A

(43)公開日：中華民國 104 (2015) 年 03 月 16 日

(21)申請案號：102132710

(22)申請日：中華民國 102 (2013) 年 09 月 11 日

(51)Int. Cl.：

H02P6/08 (2006.01)

H02P6/16 (2006.01)

(71)申請人：立錡科技股份有限公司 (中華民國) RICHTEK TECHNOLOGY CORPORATION
(TW)

新竹縣竹北市台元街 20 號 5 樓

(72)發明人：李國忠 LEE, KUO CHUNG (TW)；張煒旭 CHANG, WEI HSU (TW)；陳安東 CHEN, AN TUNG (TW)；王春文 WANG, CHUN WEN (TW)

(74)代理人：任秀妍

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：16 項 圖式數：8 共 38 頁

(54)名稱

多相馬達控制方法與裝置

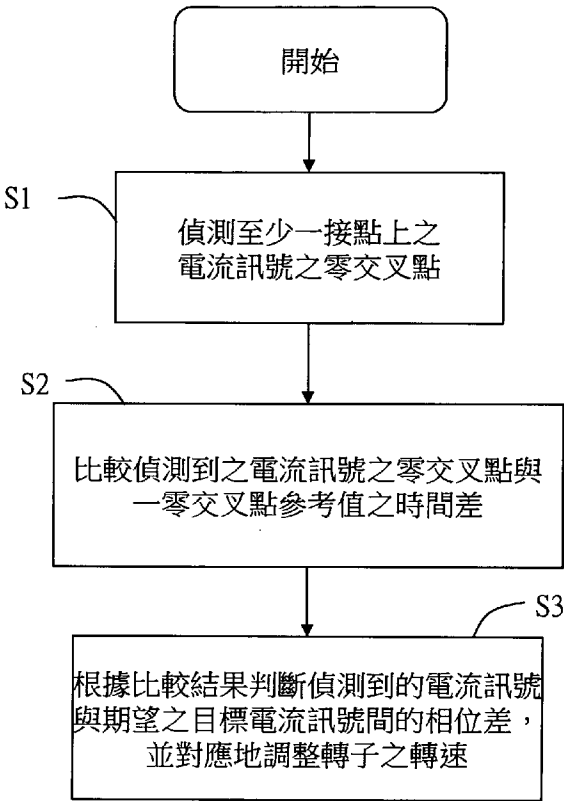
MULTI-PHASE MOTOR CONTROL METHOD AND DEVICE USING SAME

(57)摘要

本發明提供一種多相馬達控制方法，係用於控制多相馬達之換相操作，其中多相馬達具有複數接點，分別耦接於對應複數驅動電壓訊號以控制多相馬達中一轉子相對於一定子之旋轉，多相馬達控制方法包含：感測至少一接點上之電流訊號之相位，例如偵測其零交叉點；給定該電流訊號之一參考相位；以及比較感測之電流訊號相位與該參考相位之相位差，並根據比較結果控制定子換相頻率之加速或減速，最終使感測之電流訊號之相位與該電流訊號之參考相位同相或相近，以此來間接調整轉子在一給定驅動電壓下所能達到之恰當或最佳的轉速。此外，本發明亦提供使用此法之一種多相馬達控制裝置。

The invention provides a multi-phase motor control method for controlling phase switch operation of a multi-phase motor, wherein the motor includes multiple voltage nodes respectively receiving a corresponding number of driving voltage signals to control a rotation of a rotor with respect to a stator in the motor. The motor control method includes: sensing a phase of at least one current signal corresponding to one of the voltage nodes, for example by detecting a zero crossing point of the current signal; determining a reference phase for the current signal; calculating a phase difference between the sensed phase of the current signal and the reference phase; and controlling a phase switching frequency of the stator according to the phase difference, such that the sensed phase is close to or in phase with the reference phase, to thereby adjust an optimum rotation speed of the stator corresponding to a given driving voltage. The present invention also provides a multi-phase motor control device using the motor control method.

S1、S2、S3 . . . 步驟



第2圖

發明摘要

※ 申請案號：102132710

※ 申請日：102. 9. 11

※IPC 分類：

H02P 6/08 (2006.01)
H02P 6/16 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

多相馬達控制方法與裝置

MULTI-PHASE MOTOR CONTROL METHOD AND DEVICE USING
SAME

【中文】

本發明提供一種多相馬達控制方法，係用於控制多相馬達之換相操作，其中多相馬達具有複數接點，分別耦接於對應複數驅動電壓訊號以控制多相馬達中一轉子相對於一定子之旋轉，多相馬達控制方法包含：感測至少一接點上之電流訊號之相位，例如偵測其零交叉點；給定該電流訊號之一參考相位；以及比較感測之電流訊號相位與該參考相位之相位差，並根據比較結果控制定子換相頻率之加速或減速，最終使感測之電流訊號之相位與該電流訊號之參考相位同相或相近，以此來間接調整轉子在一給定驅動電壓下所能達到之恰當或最佳的轉速。此外，本發明亦提供使用此法之一種多相馬達控制裝置。

【英文】

The invention provides a multi-phase motor control method for controlling phase switch operation of a multi-phase motor, wherein the motor includes multiple voltage nodes respectively receiving a corresponding number of driving voltage signals to control a rotation of a rotor with respect to a stator in the motor. The motor control method includes: sensing a phase of at least one current signal corresponding to one of the voltage nodes, for example by detecting a zero crossing point of the current signal; determining a reference phase for the current signal; calculating a phase difference between the sensed phase of the current signal and the reference phase; and controlling a phase switching frequency of the stator according to the phase difference, such that the

sensed phase is close to or in phase with the reference phase, to thereby adjust an optimum rotation speed of the stator corresponding to a given driving voltage. The present invention also provides a multi-phase motor control device using the motor control method.

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第（ 2 ）圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

S1、S2、S3：步驟

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：

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)

多相馬達控制方法與裝置

MULTI-PHASE MOTOR CONTROL METHOD AND DEVICE USING
SAME

【技術領域】

【0001】 本發明有關於一種多相馬達控制方法，特別是一根據相位差以判斷多相馬達換相頻率之方法。

【先前技術】

【0002】 第1A圖顯示一Y接線之三相無感測器永磁同步馬達控制電路示意圖，其操作方式可參考第1B圖。第1B圖水平座標 0° 到 360° 代表馬達定子的電氣週期，而垂直座標中 V_u 、 V_v 以及 V_w 則為第1A圖中接點 V_u 、 V_v 以及 V_w 之電壓，即分別為三相馬達上三接點上之驅動電壓訊號，第1B圖中呈鋸齒狀之曲線 V_c 為第1A圖中Y接線中性點 V_c 之電壓曲線。

【0003】 以六步方波趨動為例，三相無感測器永磁同步馬達之換相依據，為感測 V_u 、 V_v 以及 V_w 接點中之浮接相電壓(floating phase voltage)，與中性點電壓 V_c 之間的感應電動勢(back electromotive force, BEMF)，當BEMF出現零交叉點(zero-crossing point，圖式中標示符號 P_z)時即準備換相切換。例如第1B圖中， 0° 到 60° 的階段中，接點 V_u 透過中性點 V_c 對接點 V_v 供電，而接點 V_w 為浮接相(floating phase)。比較電壓 V_w 與中性點之電壓 V_c ，當零交叉點 P_z 被感測時再等 30° 以進行換相。之後， 60° 到 120° 的階段中，接點 V_u 透過中性點 V_c 對接點 V_w 供電，而接點 V_v 為浮接相。比較電壓 V_v 與電壓 V_c ，當零交叉點 P_z 被感測時再等 30° 以進行換相，如此接續下去完成 0° 到 360° 的電氣週期。當用脈波調變(pulse width modulation)進行轉速控制，或用軟切換(soft-switching)來修整相電流波型成類弦波的形式時，其換相之判斷皆可利用浮接相進行BEMF零交叉點之感測而判斷

之，其中不同處僅為對零交叉點 P_z 的感測區間之大小不同。

【0004】 馬達之運轉，其轉矩來自於定子所產生的電磁場與轉子之永磁磁場作用所產生的。要使馬達在運轉時無噪音，馬達永磁的充磁需為正弦波的充磁磁場，每一相定子線圈所感應到的 BEMF 也為正弦波的波形，同時每一相的相電流也要為正弦波的波形，並盡量使相電流與 BEMF 同相位，以使馬達運轉在最佳效率。用浮接相進行 BEMF 零交叉點之操作方式，因需要輪流使每一相浮接，該相在浮接的期間其電流為零電流，因此相電流將無法為正弦波的波形，其結果為定子所產生的電磁場與轉子之永磁磁場作用所產生的轉矩會有瞬間的不平衡，因而會產生換相顫動噪音，雖然可利用類弦波之平滑訊號處理方式以降低浮接時間比例，進而降低換相噪音，但在安靜的環境或對噪音要求較高的環境下，其所產生之噪音仍可能造成困擾。

【0005】 美國專利號 8,093,847、7,034,478、5,491,393 中所揭露之馬達控制方法，對於換相噪音雖有不同之處理方式，但皆無法解決浮接接點所造成之換相噪音。

【發明內容】

【0006】 本發明有關於一種多相馬達控制方法，以及使用此法之裝置。

【0007】 就其中一個觀點，本發明提供一種多相馬達控制方法，所控制之多相馬達具有複數接點，分別耦接於對應複數驅動電壓訊號以控制該多相馬達中一轉子之旋轉，該多相馬達控制方法包含：感測至少一接點上之一電流訊號之相位；比較該感測之電流訊號相位與一期望之目標電流訊號之相位差；以及根據比較結果控制該轉子之轉速。

【0008】 在其中一種實施型態中，該複數驅動電壓訊號係正弦波驅動電壓訊號，或空間向量脈波寬度調變訊號(space vector pulse width modulation, SVPWM)。

【0009】 在其中一種實施型態中，比較該感測之電流訊號相位與一

期望之目標電流訊號之相位差之步驟包含：偵測該感測電流訊號對地之一零交叉點時間；給定期望之目標電流訊號之零交叉點時間；以及根據該兩零交叉點間之時間差，以計算該相位差。

【0010】 上述實施型態中，該期望之目標電流訊號之零交叉點時間較佳宜為對應之驅動電壓訊號對地之零交叉點時間加上一預設值。

【0011】 在其中一種實施型態中，比較該感測之電流訊號相位與一期望之目標電流訊號之相位差之步驟包含：計算偵測兩接點之該複數電流訊號間之一差動零交叉點時間；給定兩接點對應之兩相期望之目標電流訊號之相位差動零交叉點時間；以及根據該兩交叉點間之時間差，以計算該相位差。

【0012】 上述實施型態中，該兩相期望之目標電流訊號之相位差動零交叉點時間較佳宜為對應之兩相驅動電壓訊號相位差動零交叉點時間加上一預設值。

【0013】 上述實施型態中，該預設值可設為一內部常數值或該內部常數值與一正或負安全值之和，該內部常數值等於線路中之等效電感除以等效電阻。

【0014】 在其中一種實施型態中，該根據比較結果控制該轉子之轉速之步驟包含：當感測之電流訊號相位落後期望之目標電流訊號之相位，提高該驅動電壓訊號之換相頻率以提高該轉子之轉速；或當感測之電流訊號相位領先期望之目標電流訊號之相位，降低該複數驅動電壓訊號之換相頻率以降低該轉子之轉速。

【0015】 在其中一種實施型態中，該多相馬達控制方法又包含：啟動該多相馬達，並於確定轉子開始轉動後，切換至前述感測至少一接點上之驅動電壓訊號與電流訊號之步驟。

【0016】 在其中一種實施型態中，該多相馬達控制方法又包含：啟動該多相馬達，並感測轉子之速度，當速度到達一預定速度後，改切換

至前述感測至少一接點上之驅動電壓訊號與電流訊號之步驟。

【0017】 在其中一種實施型態中，該多相馬達控制方法又包含：比較該感測之電流訊號相位與期望之目標電流訊號之相位差，並根據比較結果調整該驅動電壓訊號之換相頻率，使該感測之電流訊號之零交叉點趨近該期望之目標電流訊號之零交叉點，而其中該期望之目標電流訊號之相位之零交叉點大於一零交叉點參考值加上該馬達之一內部常數值；又當該驅動電壓訊號之換相頻率持續下降至一臨界值，判斷該多相馬達處於鎖死狀態。

【0018】 在其中一種實施型態中，該多相馬達控制方法又包含：比較該感測之電流訊號相位與期望之目標電流訊號之相位差，並根據比較結果調整該驅動電壓訊號之換相頻率，使該感測之電流訊號之零交叉點趨近該期望之目標電流訊號之零交叉點，而其中該期望之目標電流訊號之相位之零交叉點小於一零交叉點參考值加上該馬達之一內部常數值；又當該驅動電壓訊號之換相頻率持續上升至一臨界值，判斷該多相馬達處於鎖死狀態。

【0019】 就另一個觀點，本發明提供一種多相馬達控制方法，所控制之多相馬達具有複數接點，分別耦接於對應複數驅動電壓訊號以控制該多相馬達中一轉子之旋轉，該多相馬達控制方法包含：感測至少一接點上之該驅動電壓訊號與一電流訊號；計算該電流訊號落後該驅動電壓訊號之一相位差；比較該相位差與一預設交叉相位差，並根據比較結果調整該驅動電壓訊號之換相頻率，使該驅動電壓訊號與該電流訊號間之相位差趨近該預設交叉相位差，而其中該預設交叉相位差大於該預設值；以及當該驅動電壓訊號之換相頻率持續下降至一臨界值，判斷該多相馬達處於鎖死狀態。

【0020】 就又一個觀點，本發明提供一種多相馬達控制方法，所控制之多相馬達具有複數接點，分別耦接於對應複數驅動電壓訊號以控制

該多相馬達中一轉子之旋轉，該多相馬達控制方法包含：感測至少一接點上之該驅動電壓訊號與一電流訊號；計算該電流訊號落後該驅動電壓訊號之一相位差；比較該相位差與一預設交叉相位差，並根據比較結果調整該驅動電壓訊號之換相頻率，使該驅動電壓訊號與該電流訊號間之相位差趨近該預設交叉相位差，而其中該預設交叉相位差小於該預設值；以及當該驅動電壓訊號之換相頻率持續上升至一臨界值，判斷該多相馬達處於鎖死狀態。

【0021】 就又再一個觀點，本發明提供一種多相馬達控制裝置，所連接之多相馬達具有複數接點，分別耦接於對應複數驅動電壓訊號以控制該多相馬達中一轉子之旋轉，該多相馬達控制裝置包含：一零交叉點感測器，接收一電流訊號，並偵測該電流訊號對地之一零交叉點；一相位時間計算電路，根據偵測之電流訊號零交叉點與期望之目標電流訊號零交叉點，計算該兩零交叉點之時間差而得出相位差，並根據該相位差產生一轉速調整訊號；以及一驅動器，根據該轉速調整訊號以控制調整該轉子之轉速。

【0022】 就又再一個觀點，本發明提供一種多相馬達控制裝置，所連接之多相馬達具有三個接點，分別耦接於三個驅動電壓訊號以控制該多相馬達中一轉子之旋轉，該多相馬達控制裝置包含：一差動相交叉點感測器，用以偵測兩接點上對應的兩相電流訊號的差動零交叉點；一相位時間計算電路，根據偵測之兩相電流差動零交叉點與期望之目標電流訊號之兩相電流差動零交叉點，計算該兩交叉點之時間差而得出相位差，並根據該相位差產生一轉速調整訊號；以及一驅動器，根據該轉速調整訊號以控制調整該轉子之轉速。

【0023】 底下藉由具體實施例詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

【圖式簡單說明】**【0024】**

第 1A、1B 圖顯示一先前技術之三相馬達控制裝置以及當中訊號關係之示意圖。

第 2 圖顯示根據本發明之三相馬達控制方法一實施例。

第 3A、3B、3C、3D 圖顯示根據本發明之三相馬達控制方法一實施例中各種訊號關係之示意圖。

第 3E 圖說明偵測一相電流的零交叉點與相對相電流的差動零交叉點的不同實施方式。

第 4A、4B、4C、4D 圖顯示根據本發明之三相馬達控制方法另一實施例中各種訊號關係之示意圖。

第 5A、5B 圖，其中顯示本發明之三相馬達控制方法如何判斷轉子鎖死之一實施例。

第 6A、6B 圖，其中顯示本發明之三相馬達控制方法如何判斷轉子鎖死之另一實施例。

第 7 圖顯示本發明之三相馬達控制裝置一實施例之示意圖。

第 8 圖顯示本發明之三相馬達控制裝置另一實施例之示意圖。

【實施方式】

【0025】 有關本發明之前述及其他技術內容、特點與功效，在以下配合參考圖式之一較佳實施例的詳細說明中，將可清楚的呈現。以下實施例中所提到的方向用語，例如：上、下、左、右、前或後等，僅是參考附加圖式的方向。本發明中的圖式均屬示意，主要意在表示各裝置以及各元件之間之功能作用關係，至於形狀、厚度與寬度則並未依照比例繪製。

【0026】 以下以三相馬達為例說明本發明，但本發明可應用至任意多相的馬達，而不限於三相馬達。

【0027】 參照第 2 圖，其中顯示根據一觀點，本發明提供一種三相馬達控制方法，係用於控制三相馬達之換相操作，其中三相馬達具有三個

接點(V_u 、 V_v 、 V_w ，第 1 圖)，分別耦接於三個驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 以控制三相馬達中一轉子之旋轉，三相馬達控制方法包含：感測至少一接點上之電流訊號之零交叉點 ($S1$)；比較偵測到之電流訊號之零交叉點與一零交叉點參考值之時間差($S2$)；以及根據比較結果判斷偵測到的電流訊號與期望之目標電流訊號間的相位差，並對應地控制轉子之轉速($S3$)。其中，所謂「電流訊號之零交叉點」可為對地的絕對零交叉點或是與其他訊號的相對(或稱差動)零交叉點。

【0028】 第 3A、3B、3C、3D 圖顯示本發明一實施例中訊號關係之示意圖，其中 V_u 、 V_v 、 V_w 為分別三相馬達上三接點之驅動電壓訊號，而 I_u 、 I_v 、 I_w 為分別對應之電流訊號。

【0029】 第 3A 圖顯示轉子為靜止狀態時(例如啟動瞬間轉子處於靜止狀態或轉子鎖死)，驅動電壓訊號與電流訊號間之關係。由於線路等效電感(L)以及等效電阻(R)之影響(參閱第 1 圖，線路指各接點 V_u 、 V_v 、 V_w 至中性點(對 Δ -連接方式的馬達而言為等效中性點) V_c 之線路)，電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 會分別落後驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 之一延遲時間值，此延遲時間值在靜止狀態時接近而大致等於 L/R ，可藉由計算或感測電路操作而得到，其中時間差之感測例如可根據同一接點上之驅動電壓訊號對地零交叉點與電流訊號對地零交叉點互相比對而得。 L/R 可視為一內部常數，當轉子為靜止狀態時，延遲時間值大致等於此內部常數，但當轉子開始轉動而具有轉速時，延遲時間值會隨速度而改變。參照第 3A 圖，前述之步驟 $S1$ 可感測任何一接點之對應之電流訊號(I_u 、 I_v 、 I_w 之一)之對地零交叉點之時間，而步驟 $S2$ 便可計算偵測到之電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 零交叉點之時間與一零交叉點參考值之時間差，在第 3A 圖的情況，此零交叉點參考值為驅動電壓訊號對地的零交叉點。當比較結果得到兩者(電流訊號零交叉點與零交叉點參考值)的差值等於一預設值時(此預設值例如可設為前述內部常數 L/R ，亦可為其他值，容後說明)，根據比較結果可以得知偵測到的電流訊號與期望之目標電流訊號間沒有相位差(本例中轉子為靜止狀態)，而對應地控制轉子之轉速(步驟 $S3$)。此外，當轉子為靜

止狀態時，亦可能為鎖死(locked)的情況，其相關之判斷於後詳細說明。

【0030】 參照第 3B 圖，顯示當轉子為轉動狀態且低於驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 之負載能力所可驅動之最高速時，驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 與電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 間之關係。其中，轉子轉動時受磁場感應作用產生感應電動勢(back electromotive force) B_u 、 B_v 、 B_w ，而當轉子轉動低於可驅動之最高速時，感應電動勢 B_u 、 B_v 、 B_w 之相位會領先驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 。為便利了解，以下僅以其中一相的驅動電壓訊號 V_u 、感應電動勢 B_u 、電流訊號 I_u 來說明，而其他相的情形亦同（請參閱圖中之空心圓）。比較驅動電壓訊號 V_u 與感應電動勢 B_u 之零交叉點，可看出感應電動勢 B_u 的相位領先 Δt_1 ，且感應電動勢 B_u 與驅動電壓訊號 V_u 的交越處會落後驅動電壓訊號 V_u 的零交叉點，此落後值為 Δt_2 ；此時電流訊號 I_u 的對地零交叉點與驅動電壓訊號 V_u 的對地零交叉點相較，其延遲時間值為 $(L/R + \Delta t_2)$ 。也就是說，當延遲時間值大於內部常數 L/R 時，表示馬達的轉速還未到可驅動之最高速，而可以繼續加速。對照前述的方法步驟，在第 3B 圖的情況，前述之步驟 S1 可感測任何一接點之電流訊號（ I_u 、 I_v 、 I_w 之一）之對地零交叉點之時間，而步驟 S2 便可計算電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 零交叉點之時間與零交叉點參考值（驅動電壓訊號對地的零交叉點）之時間差，在第 3B 圖的情況，此時間差為 $(L/R + \Delta t_2)$ ，而預設值為 L/R ，因此偵測到之時間差高於預設值，根據比較結果可以得知偵測到的電流訊號與期望之目標電流訊號間具有相位差 $+\Delta t_2$ ，表示馬達的轉速還未到可驅動之最高速，而對應地控制轉子之轉速(步驟 S3)。舉例而言，可提高驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 之換相頻率以加速轉子之轉速。

【0031】 參照第 3C 圖，顯示當轉子為轉動狀態且高於驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 之負載能力所可驅動之最高速時，驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 與電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 間之關係。其中，當轉子轉動高於可驅動之最高速時，感應電動勢 B_u 、 B_v 、 B_w 之相位會落後驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 。為便利了解，以下同樣僅以其中一相的驅動電壓訊號 V_u 、感應電動勢 B_u 、電流訊號 I_u 來說明，而其他相的情形亦同（請參閱圖中之

空心圓)。比較驅動電壓訊號 V_u 與感應電動勢 B_u 之零交叉點，可看出感應電動勢 B_u 的相位落後 Δt_3 ，且感應電動勢 B_u 與驅動電壓訊號 V_u 的交越處會領先驅動電壓訊號 V_u 的零交叉點，此領先值為 Δt_4 ；此時電流訊號 I_u 的對地零交叉點與驅動電壓訊號 V_u 的對地零交叉點相較，其延遲時間值為 $(L/R - \Delta t_4)$ 。也就是說，當延遲時間值小於內部常數 L/R 時，表示馬達的轉速已超過可驅動之最高速，而應當減速。對照前述的方法步驟，在第 3C 圖的情況，前述之步驟 S1 可感測電流訊號 (I_u 、 I_v 、 I_w 之一)之對地零交叉點之時間，而步驟 S2 便可計算電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 零交叉點之時間與零交叉點參考值(驅動電壓訊號對地的零交叉點)之時間差，在第 3C 圖的情況，此時間差為 $(L/R - \Delta t_4)$ ，而預設值為 L/R ，因此偵測到之時間差低於預設值，根據比較結果可以得知偵測到的電流訊號與期望之目標電流訊號間具有相位差 $-\Delta t_4$ ，表示馬達的轉速已超過可驅動之最高速，而對應地控制轉子之轉速(步驟 S3)。舉例而言，可降低驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 之換相頻率以降低轉子之轉速。

【0032】 參照第 3D 圖，顯示當轉子為轉動狀態且驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 與各相的感應電動勢 B_u 、 B_v 、 B_w 同相位時，驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 與感應電動勢 B_u 、 B_v 、 B_w 及電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 間之關係。其中，當轉子轉動高於此狀態時，感應電動勢 B_u 、 B_v 、 B_w 之相位會落後驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 。為便利了解，以下同樣僅以其中一相的驅動電壓訊號 V_u 、感應電動勢 B_u 、電流訊號 I_u 來說明，而其他相的情形亦同(請參閱圖中之空心圓)。比較驅動電壓訊號 V_u 與感應電動勢 B_u 之零交叉點，可看出兩者無相位差，且此時電流訊號 I_u 的對地零交叉點與驅動電壓訊號 V_u 的對地零交叉點相較，其延遲時間值恰為 (L/R) 。也就是說，當延遲時間值等於內部常數 L/R 時，應當維持。對照前述的方法步驟，在第 3D 圖的情況，前述之步驟 S1 可感測電流訊號 (I_u 、 I_v 、 I_w 之一)之對地零交叉點之時間，而步驟 S2 便可計算電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 零交叉點之時間與零交叉點參考值(驅動電壓訊號對地的零交叉點)之時間差，在第 3D 圖的情況，此相位差為 L/R ，而預設值為 L/R ，因此根據比較結果可以得知馬達運轉時的零交叉

點之時間即為預設之電流訊號之零交叉點之時間，此時可維持驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 之換相頻率以維持轉子之轉速。

【0033】 第 3A、3B、3C、3D 圖中顯示之實施例，當中驅動電壓訊號可以為但不受限為正弦波驅動電壓訊號，其他例如類正弦波驅動電壓訊號、或脈寬調變訊號形式之驅動電壓訊號如空間向量脈波寬度調變訊號(space vector pulse width modulation, SVPWM)等也可應用本發明之方法。

【0034】 此外，第 3A、3B、3C、3D 圖中顯示之實施例，在說明時預設值係以 L/R 為例，亦即控制的目標是將電流訊號落後驅動電壓訊號之相位差鎖定在 L/R 。然實施時不受限於此，預設值可例如為一常數或依其他需求而定，例如當轉子之旋轉摩擦為須考量之因素，預設值可於 L/R 外增加另一摩擦參數，或根據應用環境的需求而做其他調整。舉例而言，在預設值等於內部常數 L/R 的情況下，轉子將無多餘的扭力去對抗外部突然而來的阻力，外來的阻力將會使轉子的轉速快速降低。為了讓轉子能對抗外部突來的阻力，可將所欲鎖定之相位差，設定在比內部常數 L/R 稍大或稍小一些的位置，亦即預設值等於 $(L/R+K)$ ，其中 K 為一個常數值。若 K 大於 0，則此時轉子的轉速會比所能達到之最高轉速低一點，但是運轉時的穩定度會更好；若 K 小於 0，則有機會進入弱磁控制區，此時轉子的轉速能達到最高轉速，但是運轉時的穩定度較差；當然 K 也可為 0。

【0035】 上述計算偵測之電流訊號零交叉點與零交叉點參考值之時間差(或相位差)(S2)之步驟有各種實施方式。例如，此步驟可包含：給定一相電流訊號對地之一零交叉點參考時間；偵測一相電流訊號對地之一零交叉點時間；以及比較兩零交叉點以計算時間差。或是，此步驟可包含：給定兩相電流訊號彼此間的差動零交叉點參考時間；偵測兩相電流訊號彼此間的差動零交叉點時間；以及比較兩零交叉點以計算時間差。(參閱第 3E 圖，黑圈間的相位差與空心圓的相位差是相等的。)兩者步驟之差異點為前者係分別比較電流訊號對地之零交叉點，後者為比較兩接點之電流訊號間之交叉點，其意義為前者係相對地作比較，後者係相對

相作比較；所得結果為等效，但其使用方法以及相關電路皆有不相同處。

【0036】 第 4A、4B、4C、4D 圖顯示本發明另一實施例中訊號關係之示意圖，與第 3A、3B、3C、3D 圖比較，其主要差異為第 3A、3B、3C、3D 圖係相對地(計算對地之零交叉點)作比較，第 4A、4B、4C、4D 圖係相對相(計算不同相間之差動零交叉點)作比較。

【0037】 類似於第 3A 圖，第 4A 圖顯示轉子為靜止狀態時之訊號關係，且其中電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 分別落後驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 之一延遲時間值 L/R 。不同於第 3A 圖，第 4A 圖中之偵測到之電流訊號與期望之目標電流訊號之相位差計算方式為：根據兩接點之電流訊號間之一差動零交叉點(例如 I_u 與 I_v 交越處之空心圓)以及一差動零交叉點參考值間之比較，以計算偵測到之電流訊號與期望之目標電流訊號之差動零交叉點之相位差，其中該差動零交叉點參考值例如為此兩接點之驅動電壓訊號間之另一交叉點(例如 V_u 與 V_v 交越處之空心圓)。當轉子為靜止時，此偵測到之電流訊號對驅動電壓訊號之相位差或延遲時間值為 L/R ，與期望之目標電流訊號之差動零交叉點之延遲時間 L/R 相同。

【0038】 類似於第 3B 圖，參照第 4B 圖顯示當轉子為轉動狀態且低於驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 之負載能力所可驅動之最高速時，驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 與電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 間之關係。量測兩接點之電流訊號間之一差動零交叉點之時間(例如 I_u 與 I_v 之交叉點)並比較一差動零交叉點參考值[本例中為此兩接點之驅動電壓訊號間之另一交叉點(例如 V_u 與 V_v 之交叉點)]，根據此兩交叉點之時間差，可得知偵測到之電流訊號對驅動電壓訊號之相位差或延遲時間值為 $(L/R + \Delta t_2)$ ，也就是偵測到的電流訊號與期望之目標電流訊號間具有相位差 $+\Delta t_2$ 。由於此相位差大於預設值 L/R ，因此表示馬達的轉速還未到可驅動之最高速，而可對應地控制增加轉子之轉速。

【0039】 類似於第 3C 圖，第 4C 圖顯示當轉子為轉動狀態且高於驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 之負載能力所可驅動之最高速時，驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 與電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 間之關係。量測兩接點之電流訊號間之一差動零交叉點之時間(例如 I_u 與 I_v 之交叉點)並比較

一差動零交叉點參考值[本例中為此兩接點之驅動電壓訊號間之另一交叉點（例如 V_u 與 V_v 之交叉點）]，根據此兩交叉點之時間差，可得知偵測到之電流訊號對驅動電壓訊號之相位差或延遲時間值為 $(L/R - \Delta t_4)$ ，也就是偵測到的電流訊號與期望之目標電流訊號間具有相位差 $-\Delta t_4$ 。由於此相位差小於預設值 L/R ，因此表示馬達的轉速已超過可驅動之最高速，而可對應地控制降低轉子之轉速。

【0040】 類似於第 3D 圖，第 4D 圖顯示當轉子為轉動狀態且驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 與各相的感應電動勢 B_u 、 B_v 、 B_w 同相位時，驅動電壓訊號 V_u 、 V_v 、 V_w 與 B_u 、 B_v 、 B_w 及電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 間之關係。偵測兩接點之電流訊號間之一差動零交叉點（例如 I_u 與 I_v 之交叉點）並比較一差動零交叉點參考值[本例中為此兩接點之驅動電壓訊號間之另一交叉點（例如 V_u 與 V_v 之交叉點）]，以計算電流訊號 I_u 、 I_v 、 I_w 與期望之目標電流訊號間之相位差；此期望之目標電流訊號的差動零交叉點為落後驅動電壓訊號的差動零交叉點 L/R ，而偵測到之電流訊號的差動零交叉點也落後驅動電壓訊號的差動零交叉點 L/R ，此兩訊號相位差為零，因而可對應地控制維持轉子之轉速。

【0041】 第 4A、4B、4C、4D 圖中顯示之實施例，當中驅動電壓訊號可但不受限為正弦波驅動電壓訊號，其他例如類正弦波驅動電壓訊號、或脈寬調變訊號形式之驅動電壓訊號等也可應用本發明之方法。

【0042】 此外，第 4A、4B、4C、4D 圖中顯示之實施例，在說明時預設值係以 L/R 為例，然實施時不受限於此；如前所述，預設值可以等於 $(L/R + K)$ ，其中 K 為一個常數值。若 K 大於 0，則此時轉子的轉速會比所能達到之最高轉速低一點，但是運轉時的穩定度會更好；若 K 小於 0，則有機會進入弱磁控制區，此時轉子的轉速能達到最高轉速，但是運轉時的穩定度較差；當然 K 也可為 0。

【0043】 在一種較佳實施型態中，馬達啟動時可先經過一個啟動程序、再進入第 2 圖的步驟 S1-S3。根據其中一種啟動方式，三相馬達控制方法又包含：啟動三相馬達，並感測轉子之速度，到達一預定速度後，改切換至前述第 2 圖之步驟 S1-S3 繼續控制轉子之速度。上述第一種啟動方式

中，可使用任何方式感測轉子的速度，例如可將其中一相浮接並偵測感應電動勢之零交叉點等。根據另一種啟動方式，三相馬達控制方法又包含：啟動三相馬達，根據偵測到之相電流訊號之零交叉點，是否有持續的落後期望之目標電流訊號的零交叉點，並於確定轉子開始轉動後，切換至前述第 2 圖之步驟 S1-S3 繼續控制轉子之速度。上述第二種啟動方式中，並不絕對必須感測轉子的速度，例如可使用開迴路的控制方式等，僅需確定轉子開始轉動即可。

【0044】 當將預設值設定為等於內部常數 L/R 時，由於在轉子鎖死狀態與受控運轉狀態時，電流訊號落後驅動電壓訊號的相位差都會等於預設值 L/R ，因此需要另外的機制來判斷轉子是否在鎖死狀態。若預設值的設定並非等於內部常數 L/R ，則無此困擾。

【0045】 參照第 5A、5B 圖，其中顯示本發明之三相馬達控制方法如何判斷轉子鎖死之一實施例。根據本實施例，判斷步驟可包含：比較電流訊號落後該驅動電壓訊號之相位差與一預設交叉相位差 V_{dp1} ，並根據比較結果控制驅動電壓訊號之換相頻率，使該電流訊號與該驅動電壓訊號間之相位差趨近該預設交叉相位差，而其中預設交叉相位差 V_{dp1} 大於預設值 L/R ；又當驅動電壓訊號之換相頻率持續下降至一臨界值 F_{t1} ，判斷三相馬達處於鎖死狀態。

【0046】 參考第 5A 圖，其中預設交叉相位差 V_{dp1} 為大於預設值 L/R 。當轉子為轉動狀態，電流訊號 I_r 與驅動電壓訊號 V 間之時間差會隨換相頻率改變；但當轉子為鎖死狀態，鎖死電流訊號 I_{lock} 與驅動電壓訊號 V 間之時間差不會隨換相頻率改變。因此，當轉子為轉動狀態時，根據比較結果下降調整驅動電壓訊號之換相頻率，電流訊號 I_r 會逐漸逼近預設交叉相位差 V_{dp1} ，而驅動電壓訊號之換相頻率可到達一對應的平衡位置。但當轉子為鎖死狀態時，下調驅動電壓訊號之換相頻率，鎖死電流訊號 I_{lock} 不會逐漸逼近預設交叉相位差 V_{dp1} ，導致調整驅動電壓訊號之換相頻率不斷下降。參考第 5B 圖，其中當換相頻率持續下降至一臨界值 F_{t1} ，可判斷為轉子鎖死。

【0047】 參照第 6A、6B 圖，其中顯示本發明之三相馬達控制方法如

何判斷轉子鎖死之另一實施例。根據本實施例，判斷步驟可包含：比較電流訊號落後該驅動電壓訊號之相位差與一預設交叉相位差 V_{dp2} ，並根據比較結果調整驅動電壓訊號之換相頻率，使該電流訊號與該驅動電壓訊號間之相位差趨近該預設交叉相位差，而其中預設交叉相位差 V_{dp2} 小於預設值 L/R ；又當驅動電壓訊號之換相頻率持續上升至一臨界值 F_{t2} ，判斷三相馬達處於鎖死狀態。

【0048】 參考第 6A 圖，其中預設交叉相位差 V_{dp2} 為小於預設值 L/R 。當轉子為轉動狀態，電流訊號 I_r 與驅動電壓訊號 V 間之時間差會隨換相頻率改變；但當轉子為鎖死狀態，鎖死電流訊號 I_{lock} 與驅動電壓訊號 V 間之時間差不會隨換相頻率改變。因此，當轉子為轉動狀態時，根據比較結果上調驅動電壓訊號之換相頻率，電流訊號 I_r 會逐漸逼近預設交叉相位差 V_{dp1} ，而驅動電壓訊號之換相頻率可到達一對應的平衡位置。當轉子為鎖死狀態時，上調驅動電壓訊號之換相頻率，鎖死電流訊號 I_{lock} 不會逐漸逼近預設交叉相位差 V_{dp2} ，導致調整驅動電壓訊號之換相頻率不斷上升。參考第 5B 圖，其中當換相頻率持續上升至一臨界值 F_{t2} ，可判斷為轉子鎖死。

【0049】 參照第 7 圖，其中為本發明提供一種三相馬達控制裝置 10 之示意圖，係用於控制一三相馬達 M 之換相操作，其中三相馬達具有三個接點(未顯示)，分別耦接於三個驅動電壓訊號以控制三相馬達中一轉子(未顯示)之旋轉，三相馬達控制裝置 10 包含：一零交叉點感測器 11，接收同一接點上一電流訊號，並偵測該電流訊號對地之一零交叉點；一相位時間計算電路 12，根據偵測之電流訊號零交叉點與期望之目標電流訊號零交叉點，計算其間之時間差而得出相位差，並根據比較結果產生一轉速調整訊號；以及一驅動器 14，根據轉速調整訊號以控制調整轉子之轉速。其中「同一接點」不限於固定接點，可視需要而調整感測之接點，僅需驅動電壓訊號與電流訊號來自同一接點即可。

【0050】 參照第 8 圖，其中為本發明提供一種三相馬達控制裝置 20 之示意圖，係用於控制一三相馬達 M 之換相操作，其中三相馬達 M 具有三個接點(未顯示)，分別耦接於三個驅動電壓訊號以控制三相馬達中一轉子

(未顯示)之旋轉，三相馬達控制裝置 20 包含：一差動零交叉點感測器 21，接收兩接點上的電流訊號，並偵測兩接點上兩相電流訊號間一差動零交叉點；相位時間計算電路 22，根據偵測之兩相電流差動零交叉點與期望之目標電流訊號之兩相電流差動零交叉點，計算其間之時間差而得出相位差，並根據比較結果產生一轉速調整訊號；以及一驅動器 24，根據轉速調整訊號以控制調整轉子之轉速。其中「兩接點」不限於固定之兩接點，可視需要而調整感測之接點，僅需交叉的驅動電壓訊號與交叉的電流訊號來自相同的兩接點即可。

【0051】 與先前技術相較，本發明在啟動進入正常運轉後，不需要將某一相完全浮接來偵測反電動勢，因此電流的波形不會因浮接的因素而變形，優於先前技術。此外，本發明可辨識出「馬達鎖死」的情況，此點亦具有進步性。

【0052】 以上已針對較佳實施例來說明本發明，唯以上所述者，僅係為使熟悉本技術者易於了解本發明的內容而已，並非用來限定本發明之權利範圍。對於熟悉本技術者，當可在本發明精神內，立即思及各種等效變化。故凡依本發明之概念與精神所為之均等變化或修飾，均應包括於本發明之申請專利範圍內。例如，實施例圖示直接連接的各電路或元件，其間可插置不影響主要功能的其他電路或元件。又例如，本發明的方法與裝置顯然可應用於任意複數相數的馬達，而不限於三相馬達。本發明的任一實施例或申請專利範圍不須達成本發明所揭露之全部目的或優點或特點。摘要部分和標題僅是用來輔助專利文件搜尋之用，並非用來限制本發明之權利範圍。

【符號說明】

- 10、20：三相馬達控制裝置
- 11：零交叉點感測器
- 12、22：時間計算電路
- 13、23：相位比較器
- 14、24：驅動器

21：相交叉點感測器

Bu、Bv、Bw：感應電動勢

Ft1、Ft2：臨界值

Iu、Iv、Iw、Ir：電流訊號

Ilock：鎖死電流訊號

L：線路等效電感

Pz：零交叉點

R：線路等效電阻

S1、S2、S3：步驟

Vc：中性點

Vdp1、Vdp2：預設交叉相位差

Vu、Vv、Vw：接點、或該接點處的驅動電壓訊號

V：驅動電壓訊號

$\Delta t1$ 、 $\Delta t2$ 、 $\Delta t3$ 、 $\Delta t4$ ：時間差

申請專利範圍

1. 一種多相馬達控制方法，所控制之多相馬達具有複數接點，分別耦接於對應複數驅動電壓訊號以控制該多相馬達中一轉子之旋轉，該多相馬達控制方法包含：

感測至少一接點上之一電流訊號之相位；

比較該感測之電流訊號相位與一期望之目標電流訊號之相位差；以及

根據比較結果控制該轉子之轉速。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述之多相馬達控制方法，其中該複數驅動電壓訊號係正弦波驅動電壓訊號，或空間向量脈波寬度調變訊號(space vector pulse width modulation, SVPWM)。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述之多相馬達控制方法，其中比較該感測之電流訊號相位與一期望之目標電流訊號之相位差之步驟包含：

偵測該感測電流訊號對地之一零交叉點時間；

給定期望之目標電流訊號之零交叉點時間；以及

根據該兩零交叉點間之時間差，以計算該相位差。

4. 如申請專利範圍第 3 項所述之多相馬達控制方法，其中該期望之目標電流訊號之零交叉點時間為對應之驅動電壓訊號對地之零交叉點時間加上一預設值。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述之多相馬達控制方法，其中比較該感測之電流訊號相位與一期望之目標電流訊號之相位差之步驟包含：

計算偵測兩接點之該複數電流訊號間之一差動零交叉點時間；

給定兩接點對應之兩相期望之目標電流訊號之相位差動零交叉點時間；以及

根據該兩交叉點間之時間差，以計算該相位差。

6. 如申請專利範圍第 5 項所述之多相馬達控制方法，其中該兩相期望之目標電流訊號之相位差動零交叉點時間為對應之兩相驅動電壓訊

號相位差動零交叉點時間加上一預設值。

7. 如申請專利範圍第 4 或 6 項所述之多相馬達控制方法，其中該預設值係設為一內部常數值或該內部常數值與一正或負安全值之和，該內部常數值等於線路中之等效電感除以等效電阻。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述之多相馬達控制方法，其中該根據比較結果控制該轉子之轉速之步驟包含：當感測之電流訊號相位落後期望之目標電流訊號之相位，提高該驅動電壓訊號之換相頻率以提高該轉子之轉速；或當感測之電流訊號相位領先期望之目標電流訊號之相位，降低該複數驅動電壓訊號之換相頻率以降低該轉子之轉速。

9. 如申請專利範圍第 1 項所述之多相馬達控制方法，其中該多相馬達控制方法又包含：啟動該多相馬達，並於確定轉子開始轉動後，切換至前述感測至少一接點上之驅動電壓訊號與電流訊號之步驟。

10. 如申請專利範圍第 1 項所述之多相馬達控制方法，其中該多相馬達控制方法又包含：啟動該多相馬達，並感測轉子之速度，當速度到達一預定速度後，改切換至前述感測至少一接點上之驅動電壓訊號與電流訊號之步驟。

11. 如申請專利範圍第 1 項所述之多相馬達控制方法，其中該多相馬達控制方法又包含：比較該感測之電流訊號相位與期望之目標電流訊號之相位差，並根據比較結果調整該驅動電壓訊號之換相頻率，使該感測之電流訊號之零交叉點趨近該期望之目標電流訊號之零交叉點，而其中該期望之目標電流訊號之相位之零交叉點大於一零交叉點參考值加上該馬達之一內部常數值；又當該驅動電壓訊號之換相頻率持續下降至一臨界值，判斷該多相馬達處於鎖死狀態。

12. 如申請專利範圍第 1 項所述之多相馬達控制方法，其中該多相馬達控制方法又包含：比較該感測之電流訊號相位與期望之目標電流訊號之相位差，並根據比較結果調整該驅動電壓訊號之換相頻率，使該

感測之電流訊號之零交叉點趨近該期望之目標電流訊號之零交叉點，而其中該期望之目標電流訊號之相位之零交叉點小於一零交叉點參考值加上該馬達之一內部常數值；又當該驅動電壓訊號之換相頻率持續上升至一臨界值，判斷該多相馬達處於鎖死狀態。

13. 一種多相馬達控制方法，所控制之多相馬達具有複數接點，分別耦接於對應複數驅動電壓訊號以控制該多相馬達中一轉子之旋轉，該多相馬達控制方法包含：

感測至少一接點上之該驅動電壓訊號與一電流訊號；

計算該電流訊號落後該驅動電壓訊號之一相位差；

比較該相位差與一預設交叉相位差，並根據比較結果調整該驅動電壓訊號之換相頻率，使該驅動電壓訊號與該電流訊號間之相位差趨近該預設交叉相位差，而其中該預設交叉相位差大於該預設值；以及

當該驅動電壓訊號之換相頻率持續下降至一臨界值，判斷該多相馬達處於鎖死狀態。

14. 一種多相馬達控制方法，所控制之多相馬達具有複數接點，分別耦接於對應複數驅動電壓訊號以控制該多相馬達中一轉子之旋轉，該多相馬達控制方法包含：

感測至少一接點上之該驅動電壓訊號與一電流訊號；

計算該電流訊號落後該驅動電壓訊號之一相位差；

比較該相位差與一預設交叉相位差，並根據比較結果調整該驅動電壓訊號之換相頻率，使該驅動電壓訊號與該電流訊號間之相位差趨近該預設交叉相位差，而其中該預設交叉相位差小於該預設值；以及

當該驅動電壓訊號之換相頻率持續上升至一臨界值，判斷該多相馬達處於鎖死狀態。

15. 一種多相馬達控制裝置，所連接之多相馬達具有複數接點，分別耦接於對應複數驅動電壓訊號以控制該多相馬達中一轉子之旋轉，該

多相馬達控制裝置包含：

一零交叉點感測器，接收一電流訊號，並偵測該電流訊號對地之一零交叉點；

一相位時間計算電路，根據偵測之電流訊號零交叉點與期望之目標電流訊號零交叉點，計算該兩零交叉點之時間差而得出相位差，並根據該相位差產生一轉速調整訊號；以及

一驅動器，根據該轉速調整訊號以控制調整該轉子之轉速。

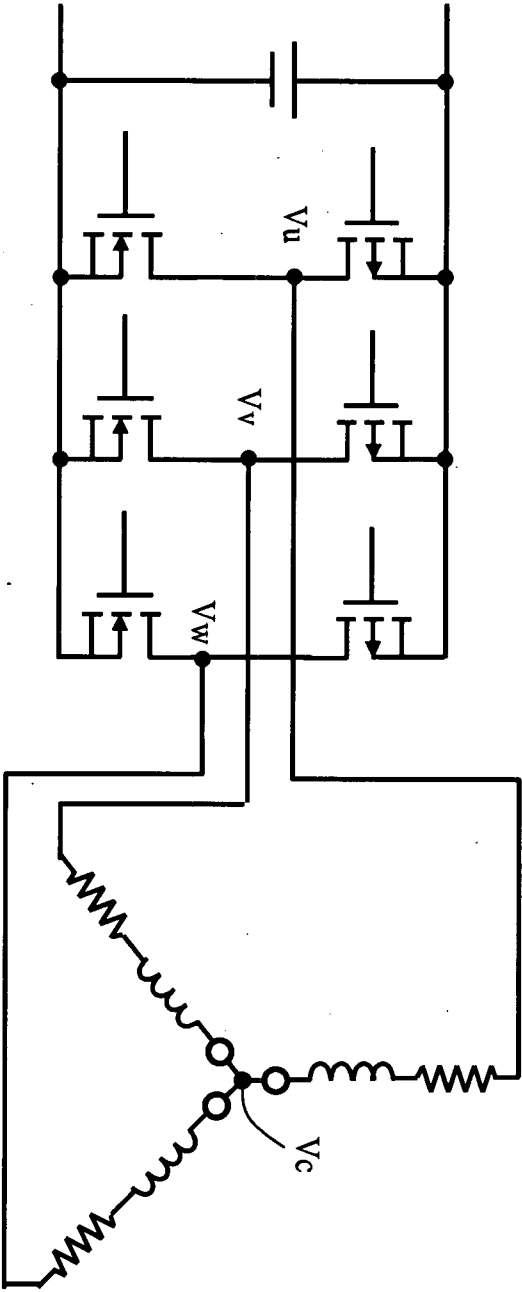
16. 一種多相馬達控制裝置，所連接之多相馬達具有三個接點，分別耦接於三個驅動電壓訊號以控制該多相馬達中一轉子之旋轉，該多相馬達控制裝置包含：

一差動相交叉點感測器，用以偵測兩接點上對應的兩相電流訊號的差動零交叉點；

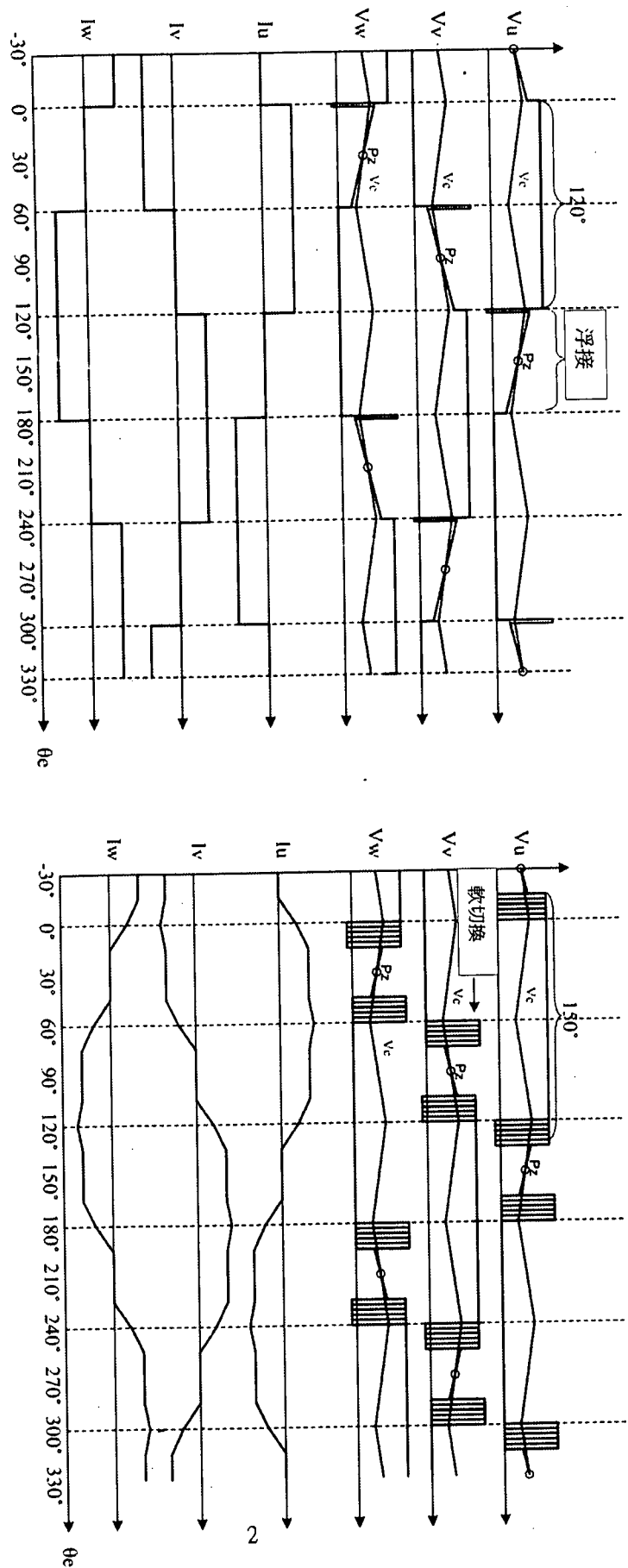
一相位時間計算電路，根據偵測之兩相電流差動零交叉點與期望之目標電流訊號之兩相電流差動零交叉點，計算該兩交叉點之時間差而得出相位差，並根據該相位差產生一轉速調整訊號；以及

一驅動器，根據該轉速調整訊號以控制調整該轉子之轉速。

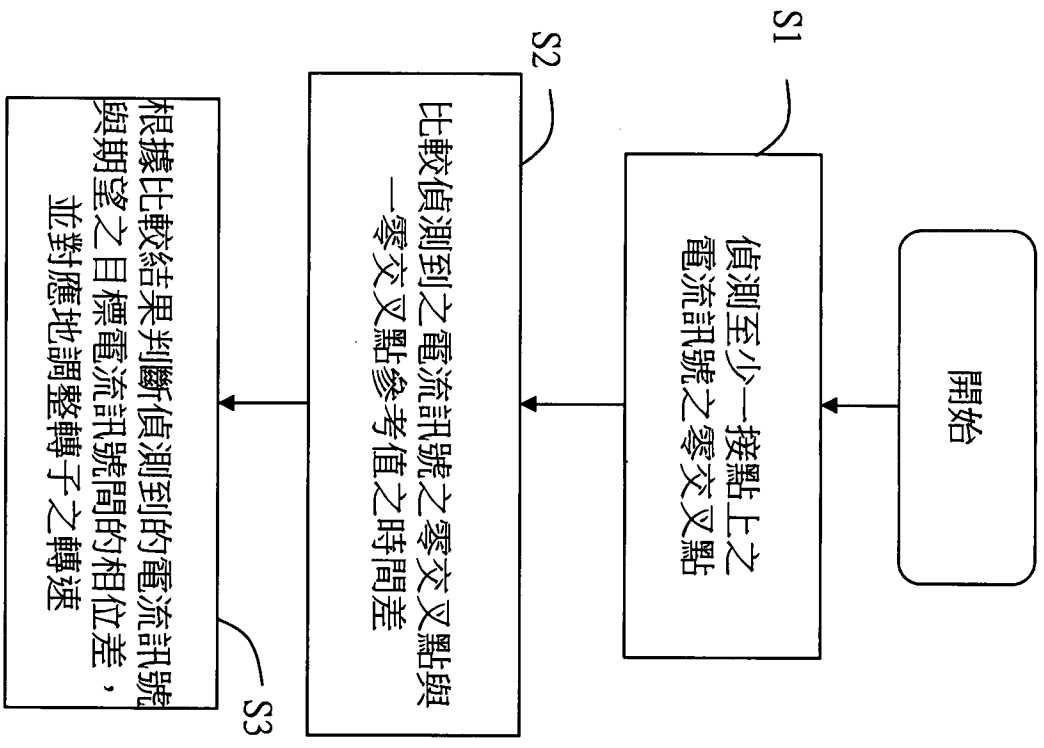
圖式



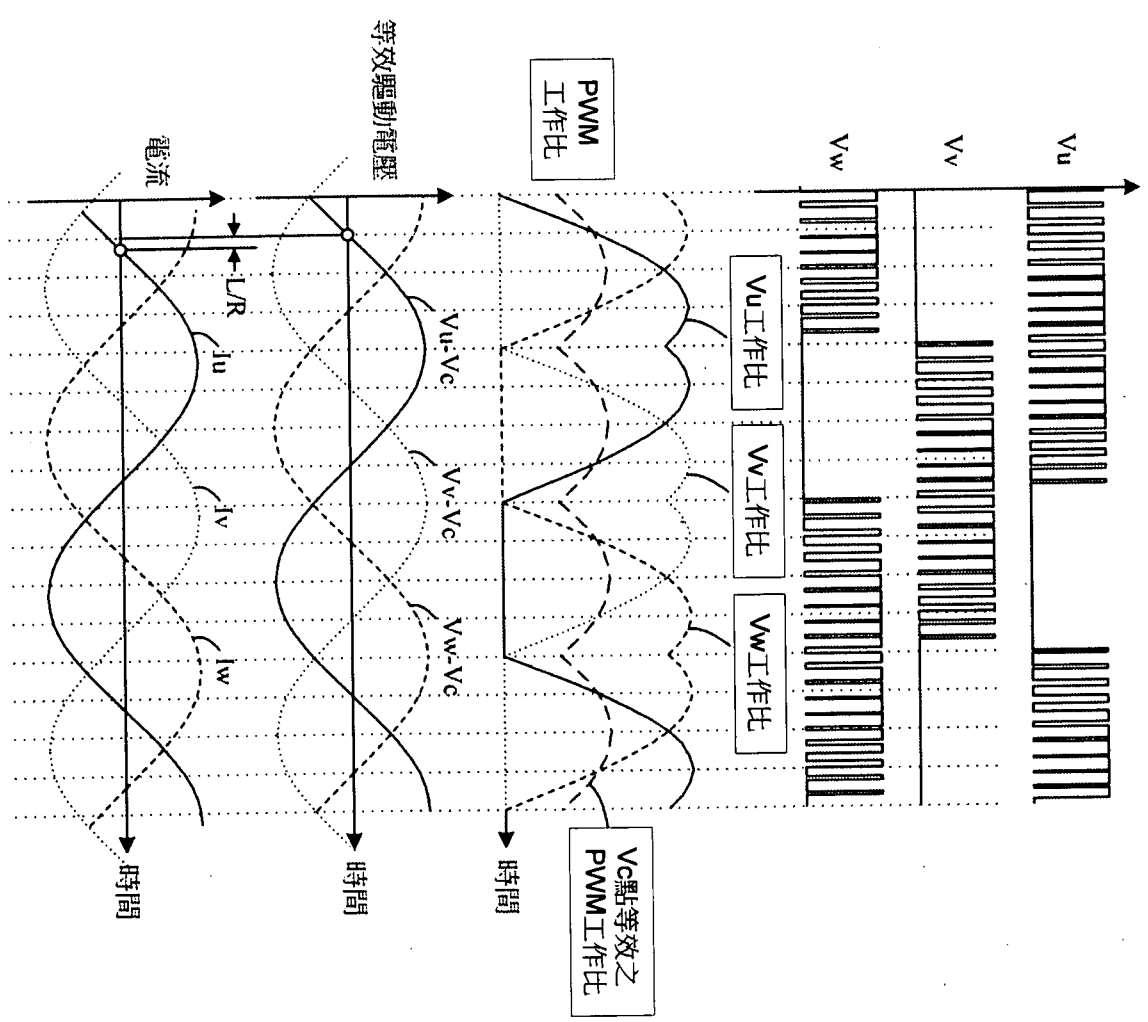
第1A圖
(先前技術)



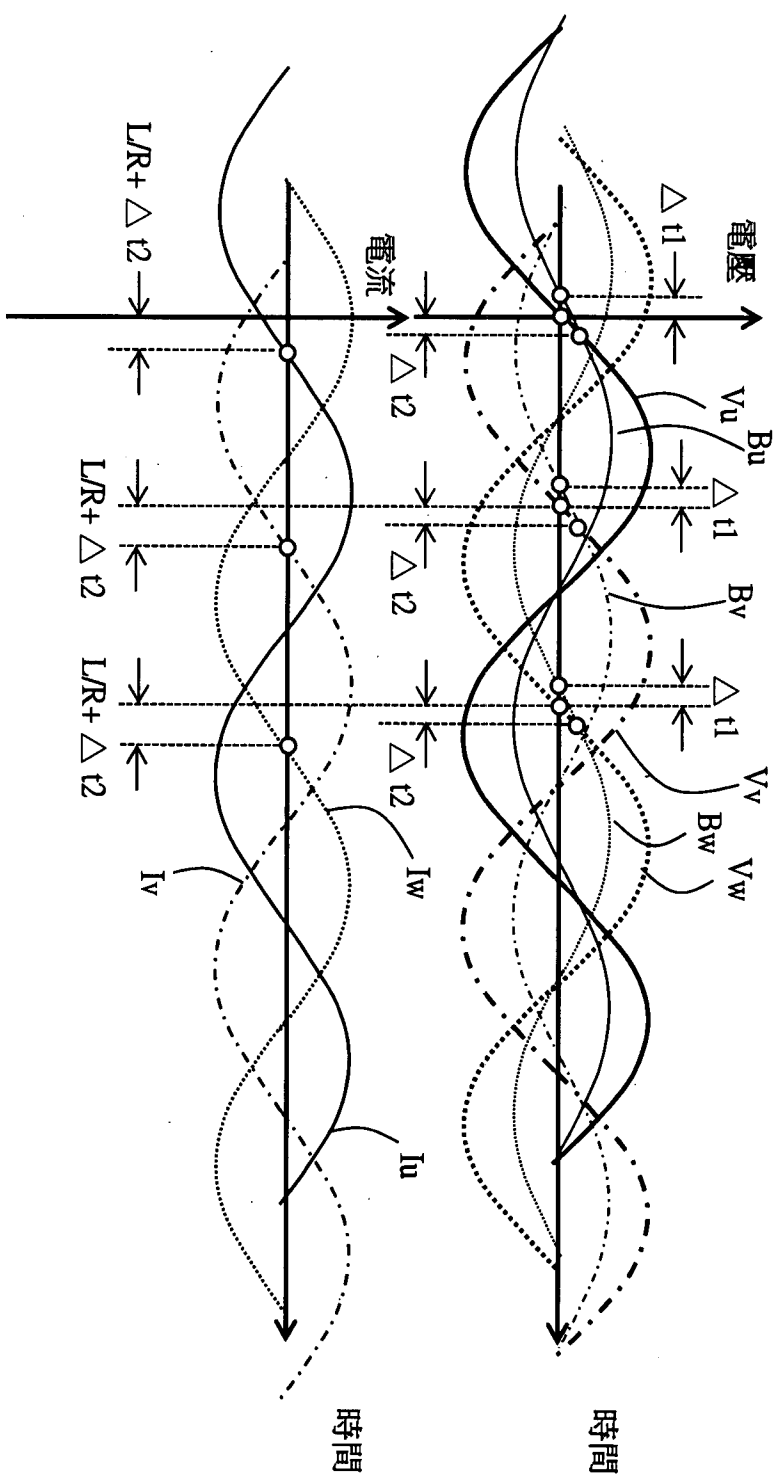
第1B圖
(先前技術)



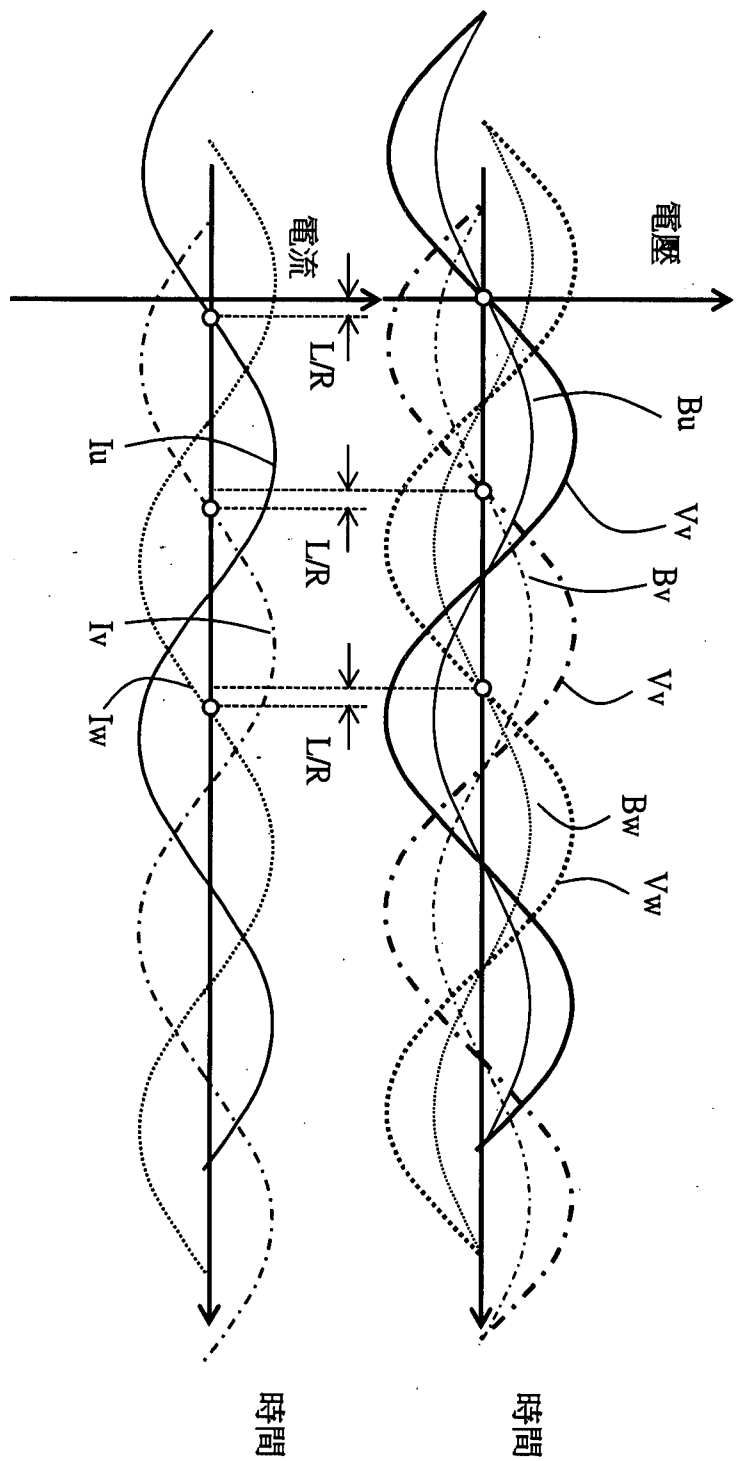
第2圖



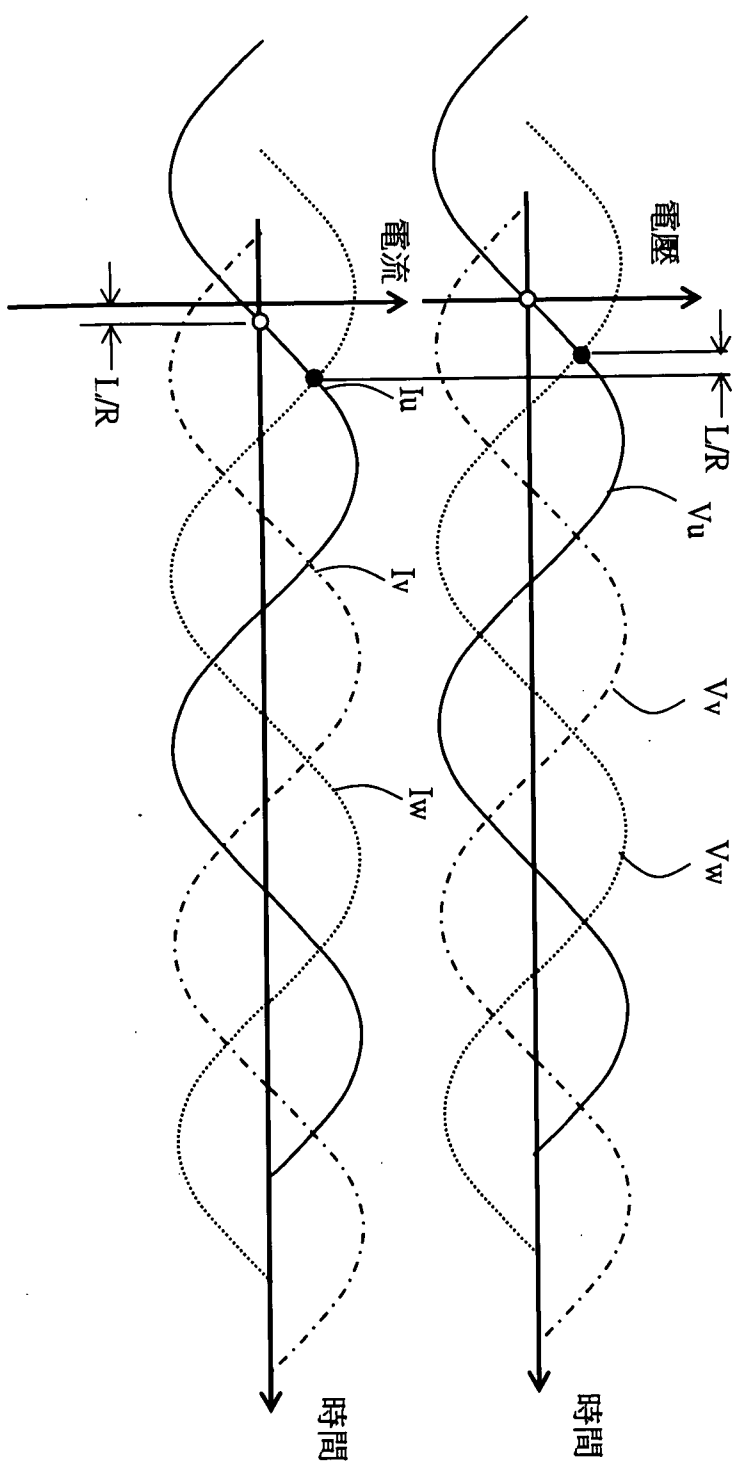
第3A圖



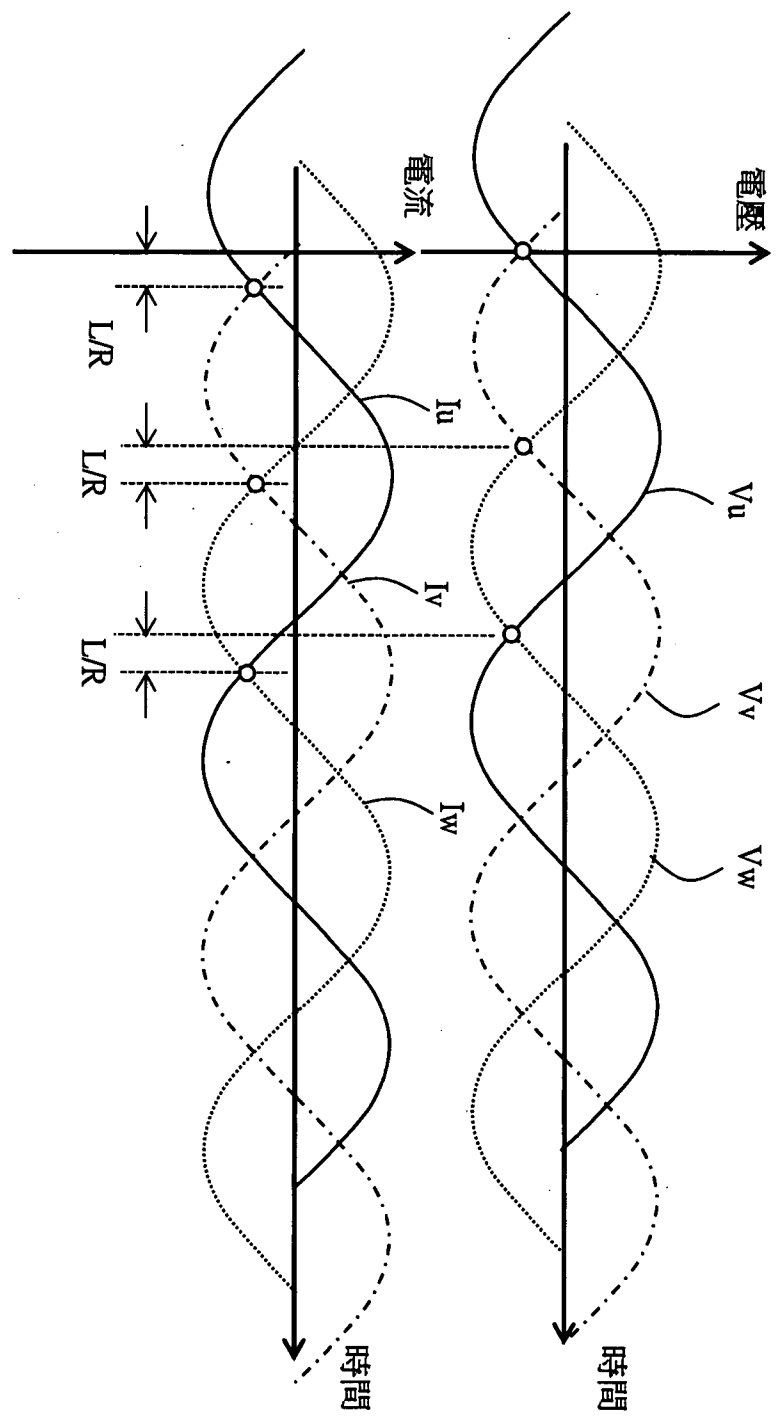
第3B圖



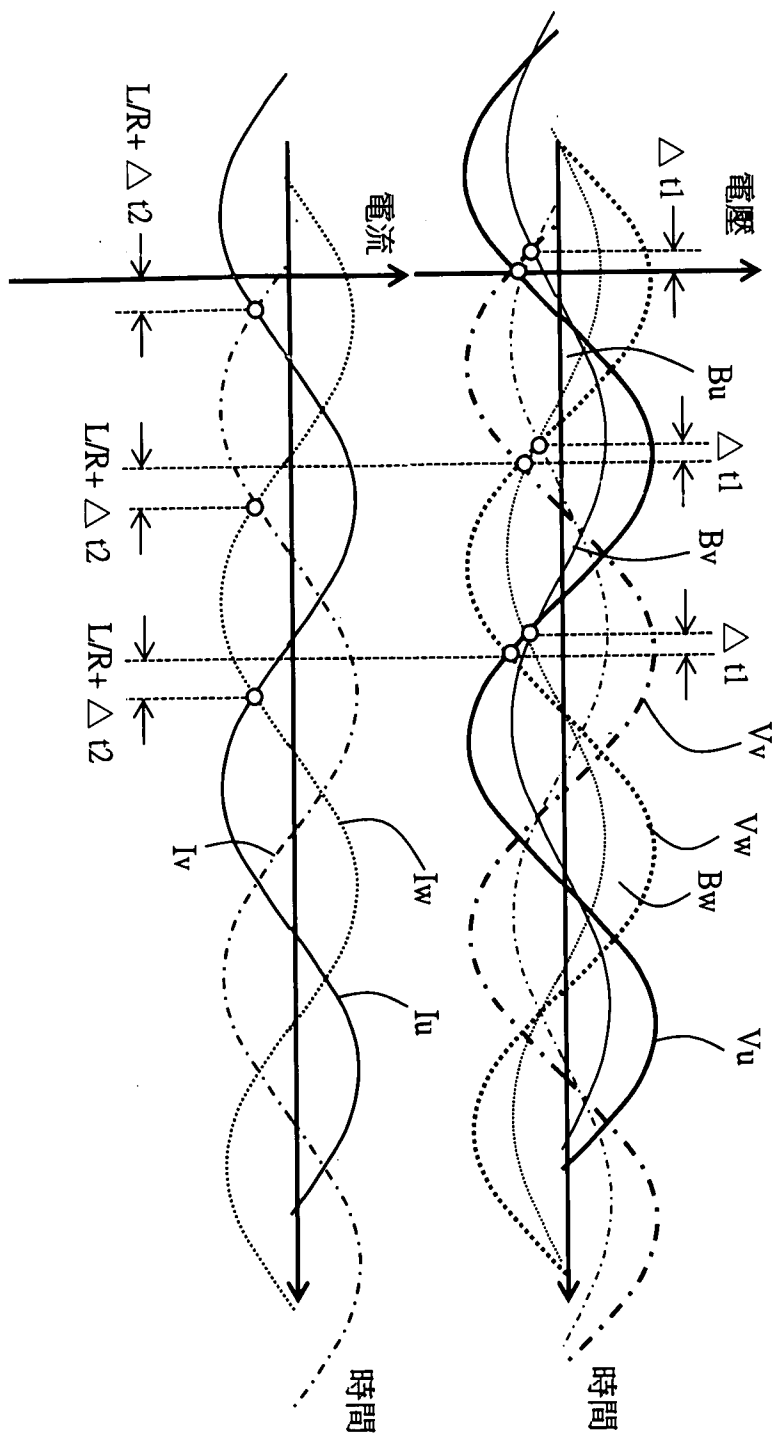
第3D圖



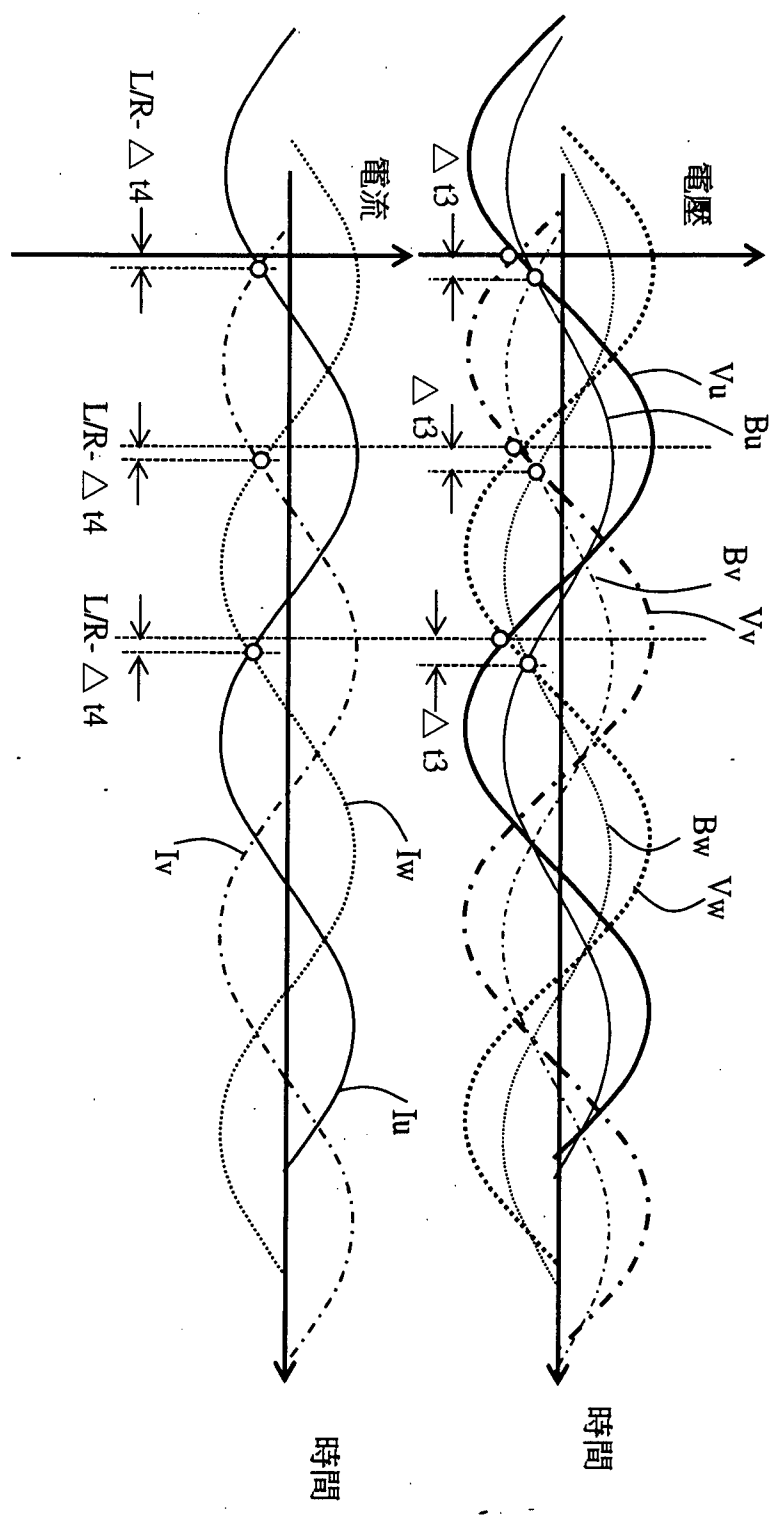
第3E圖



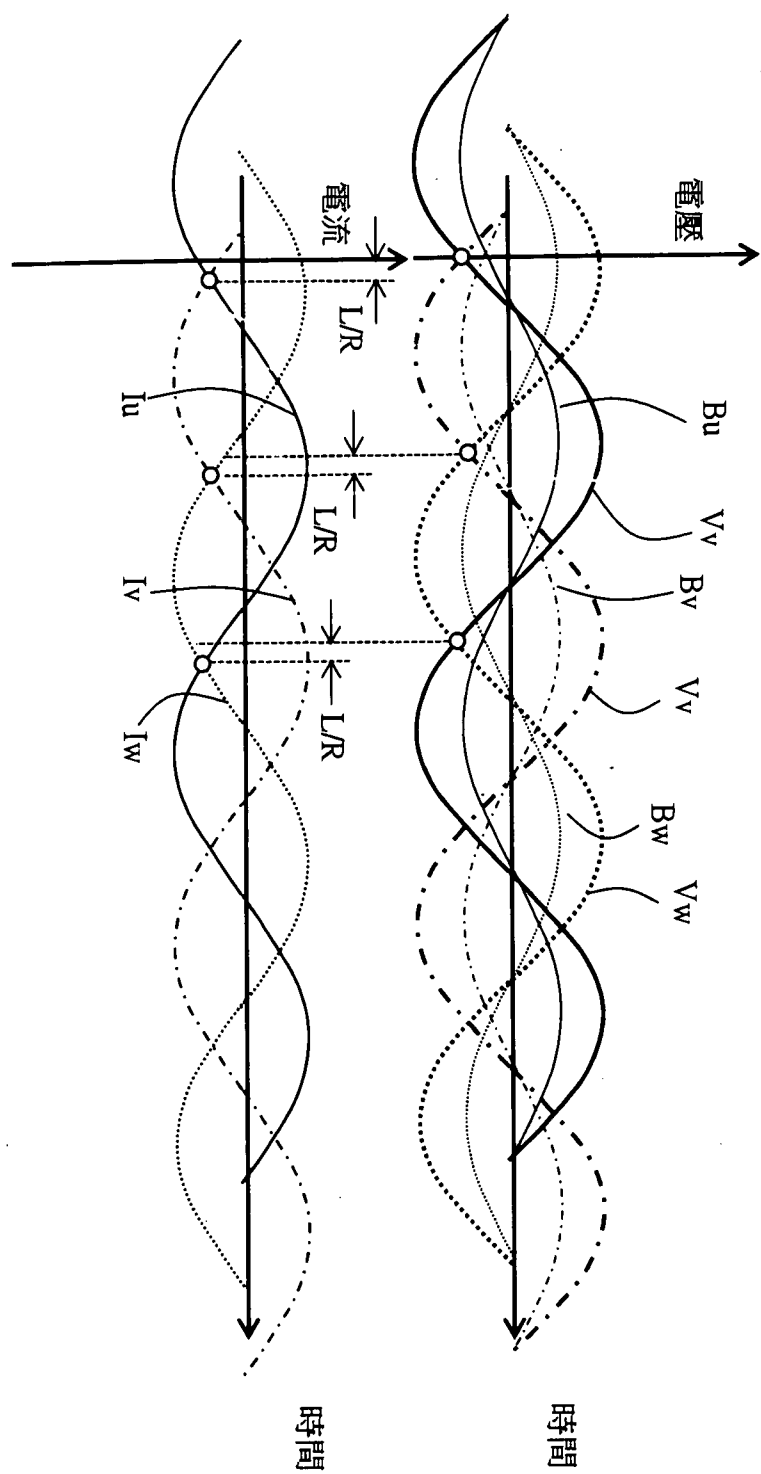
第4A圖



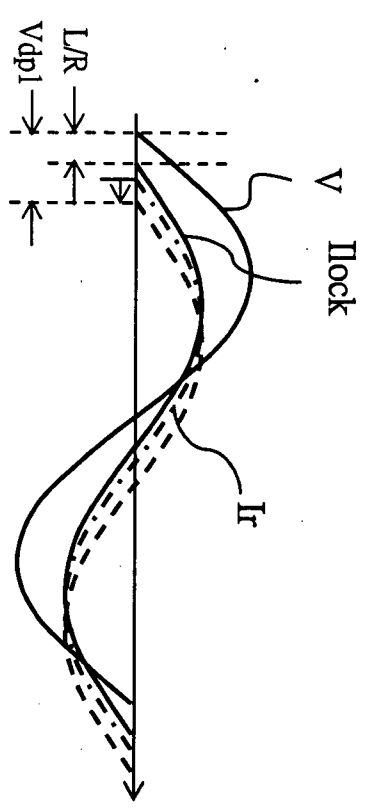
第4B圖



第4C圖

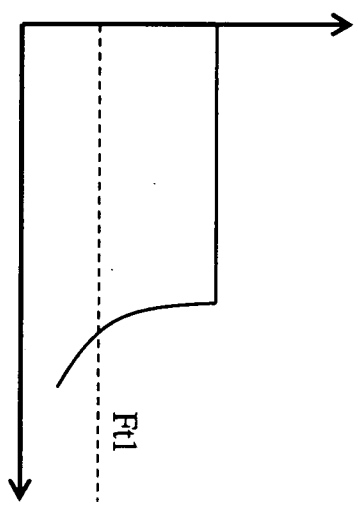


第4D圖

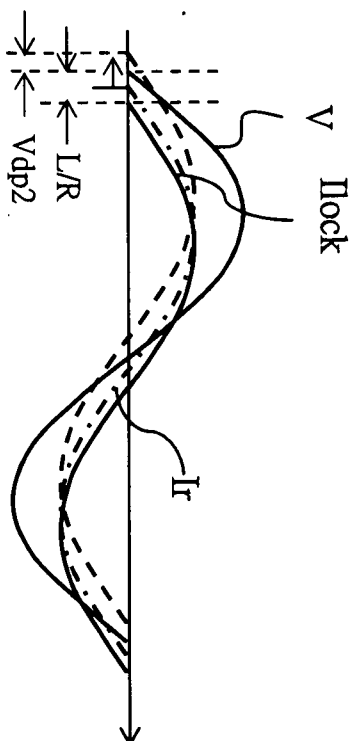


第5A圖

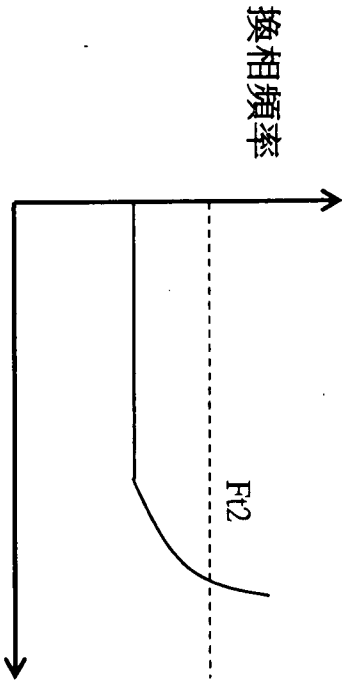
換相頻率



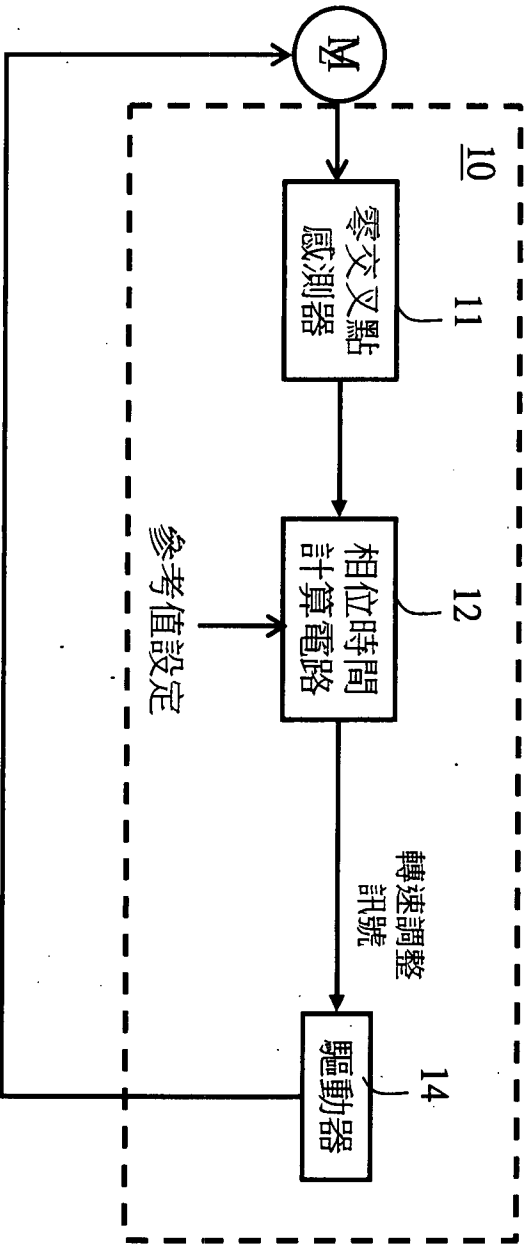
第5B圖



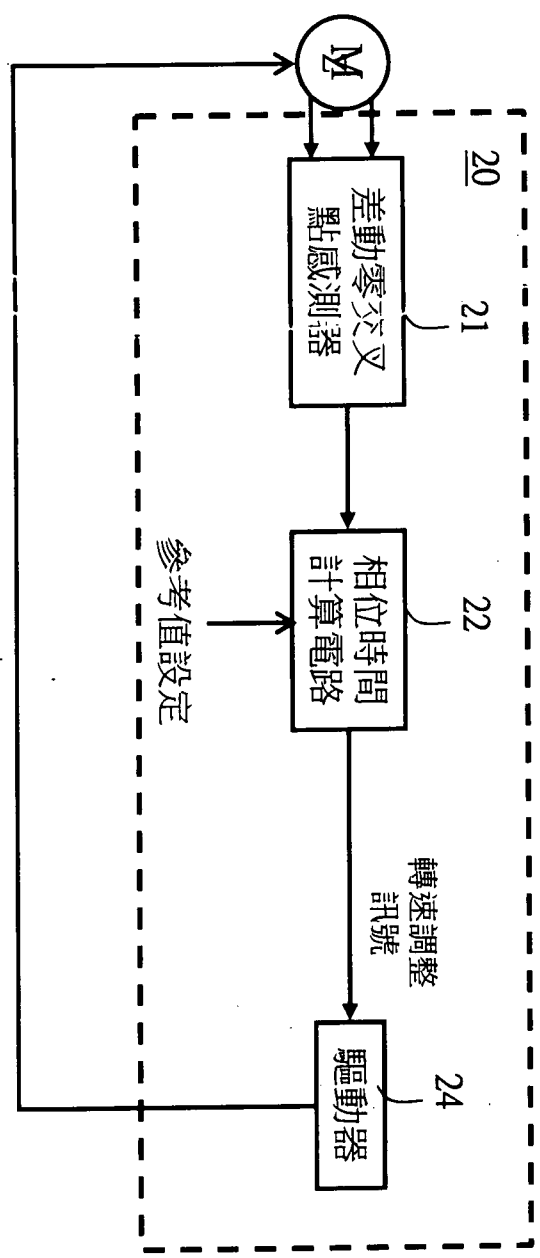
第6A圖



第6B圖



第7圖



第8圖