201830846

(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 201830846 A

(43)公開日： 中華民國 107 (2018) 年 08 月 16 日

(21)申請案號：106138752 (22)申請日： 中華民國 106 (2017) 年 11 月 09 日

(51)Int. Cl.： *H02P21/18 (2016.01)* *H02P6/20 (2016.01)*
H02P6/18 (2016.01)

(30)優先權：2016/11/09 中國大陸 201610987245.7
2017/11/02 美國 15/802,246

(71)申請人：美商微晶片科技公司(美國)MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED (US)
美國

(72)發明人：王微子 WANG, WEIZI (CN)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：20 項 圖式數：10 共 30 頁

(54)名稱

用於啟動同步馬達的系統及方法

SYSTEM AND METHOD FOR STARTING SYNCHRONOUS MOTORS

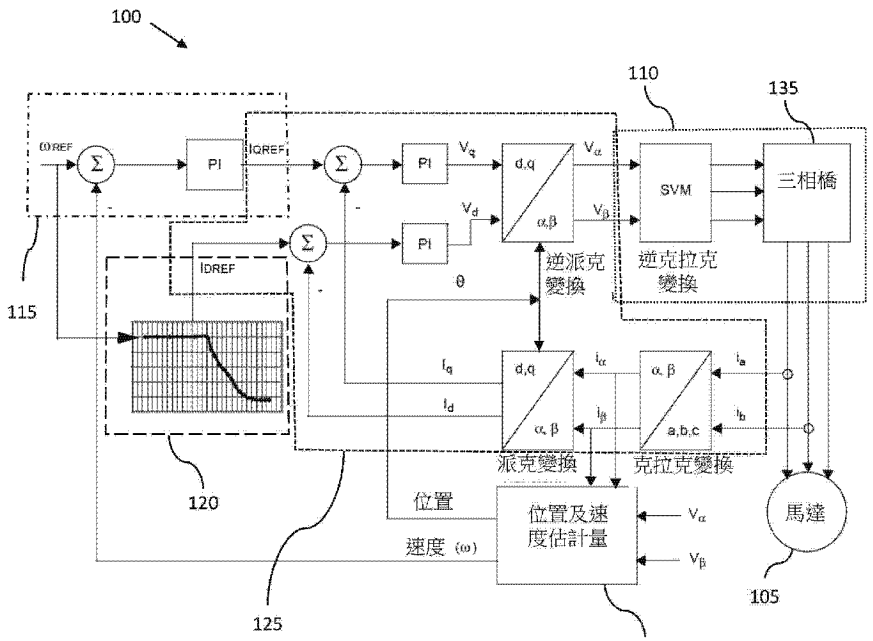
(57)摘要

為避免由風轉中之一永久磁體同步馬達(PMSM)之啟動引起的控制故障，在啟動之前判定初始速度及位置。一種控制器使用具有一速度 PI 控制迴圈、磁場減弱控制、一電流 PI 控制迴圈及一速度觀測器之一 FOC 常式。當該控制器接收啟動該 PMSM 之一指令時，其延遲啟動且執行一「估計」階段，其中該控制器執行該 FOC 常式，但停用該速度 PI 控制迴圈及該磁場減弱控制。該估計階段重複多次，其中若干估計透過連續迭代而收斂至實際速度及位置。當經估計速度及位置值已穩定時，使用該等估計，按用於驅動該 PMSM 之初始速度及位置來啟動馬達。其中啟用該速度 PI 控制迴圈及該磁場減弱控制之該 FOC 常式，用於驅動該 PMSM。

To avoid control failure resulting from startup of a PMSM that is windmilling, initial speed and position are determined before startup. A controller uses a FOC routine having a speed PI control loop, field-weaken control, a current PI control loop, and a speed observer. When the controller receives an instruction to start the PMSM, it delays startup and executes an "estimation" stage, in which the controller executes the FOC routine but with the speed PI control loop and the field-weaken control disabled. The estimation stage is repeated multiple times, with estimates converging to actual speed and position through successive iterations. When estimated speed and position values have stabilized, the motor is started using the estimates as initial speed and position for driving the PMSM. The FOC routine, with the speed PI control loop and the field-weaken control enabled, is used to drive the PMSM.

指定代表圖：

TW 201830846 A



【圖1】

符號簡單說明：

100・・・無感測器磁場定向控制(FOC)向量控制常式/階段

105・・・永久磁體同步馬達(PMSM)

110・・・驅動器

115・・・速度比例積分(PI)控制迴圈

120・・・通量減弱控制

125・・・電流比例積分(PI)控制迴圈

130・・・速度觀測器

135・・・三相橋

【發明說明書】

【中文發明名稱】

用於啟動同步馬達的系統及方法

【英文發明名稱】

SYSTEM AND METHOD FOR STARTING SYNCHRONOUS MOTORS

【技術領域】

本發明大體上係關於易於在啟動之前旋轉之同步馬達之啟動，且更特定言之係關於不具有用於接收關於其等馬達之初始位置(角度)及/或旋轉速度之資訊之感測器但可在啟動時風轉之三相永久磁體同步馬達(PMSM)之啟動。

【先前技術】

永久磁體同步馬達(PMSM)由於其等相較於其等類別中之其他馬達之高功率密度、快速動態回應及高效率而係裝置製造商之一普遍選擇。使用PMSM，轉子場速必須等於定子(電樞)場速(即，同步)。轉子磁場與定子磁場之間的同步損耗可導致馬達停止，且因此知曉馬達速度及位置在避免此等馬達中之控制故障時可為關鍵的。判定轉子之位置及速度之習知方法包含使用編碼器，諸如解析器編碼器、增量ABZ編碼器、絕對位置編碼器及sin/cos編碼器，但此等編碼器增大成本及空間要求。有時使用霍爾效應(Hall effect)感測器，但此等感測器增大成本且具有低可靠性。亦可使用三相馬達終端電壓感測電路，但此等三相馬達終端電壓感測電路需要用於操作馬達之控制器之資源。例如，一傳統控制方法涉及在六步進程序中驅動定子以在所產生扭矩上產生振盪。在此六步級控制中，使一對繞組通電

直至轉子到達下一位置且接著將馬達換向至下一步級。霍爾感測器可用於判定轉子位置以使馬達電子換向。

為降低成本，通常使用不具有編碼器及霍爾感測器之馬達(稱為「無感測器馬達」)。為補償此等感測器之缺失，無感測器馬達可實施使用在定子繞組中產生之反EMF (反電動勢)來判定轉子位置之演算法。其他無感測器馬達在驅動期間使用一速度觀測器來估計轉子速度及位置。然而，在一些應用中，一馬達可甚至在其控制器停止操作之後仍能夠旋轉。即，可藉由一外側負載扭矩旋轉馬達或在控制器已停止操作馬達之後馬達可由於其自身慣性而保持旋轉。一旦馬達不再被驅動時，此等馬達通常不具有阻止馬達旋轉之剎車。當馬達能夠在啟動之前旋轉其自身(即，易於風轉)時，控制器在啟動時並不知曉轉子之初始位置及速度。儘管無感測器馬達可能夠在馬達被驅動時使用反EMF或一速度觀測器來判定或估計轉子位置及/或速度，但此等方法並不提供關於在馬達已啟動之前的風轉馬達之初始速度及位置之資訊。

一些無感測器馬達使用無需量測馬達速度、位置、扭矩及電壓之磁場定向控制(FOC)向量演算法。此在諸如空調機組、吊扇、泵、電動自行車、烘手機、風力發電機及無人航空載具(如無人靶機)之應用中係常見的。一馬達控制器/微控制器(「MCU」)及變流器通常用於驅動此等PMSM。由於此等馬達之轉子在控制器啟動馬達之前可具有一初始「空轉」速度，故控制器/MCU並不知曉初始空轉速度及轉子位置。此難以平穩運行馬達且已減小用於PMSM之無感測器FOC之適用性。

PMSM之有效控制需要在馬達啟動時之PMSM之初始位置及速度之知識。當前系統使用編碼器或霍爾感測器來量測速度/位置或使用額外感

測電路來量測馬達相電壓；此等使系統更複雜且昂貴。當無法自感測器讀數獲得此資訊時，需要一種用於在啟動之前估計一PMSM之位置及/或速度之經濟方法及系統。

【發明內容】

所揭示本發明涉及在啟動一同步馬達之前估計該馬達之位置及速度。在例示性實施例中，一控制器(「MCU」)使用一磁場定向控制(FOC)向量控制常式來控制一永久磁體同步馬達(PMSM)，該磁場定向控制(FOC)向量控制常式包含一速度比例積分(PI)控制迴圈、一磁場減弱控制、一電流PI控制迴圈及一速度觀測器。當該MCU接收開始運行該PMSM之一指令時，其延遲啟動達一延遲週期，使得其可執行一量測及同步(「MAS」)或「估計」階段。在MAS階段中，該MCU執行通常用於運行該馬達之該FOC向量控制常式，但該MCU撤銷啟動該FOC向量控制常式中之該速度PI控制迴圈及該磁場減弱控制。藉由將由該速度PI控制迴圈及該磁場減弱控制輸出(且由該FOC向量控制常式中之其他模組使用)之電流設定為實質上零(或一恆定低值)而有效地撤銷啟動該速度PI控制迴圈及該磁場減弱控制。

該MAS階段可在延遲週期期間執行多次，其中各迭代提供對速度及位置之一估計。在該MAS階段之各迭代中，該FOC向量控制常式之該速度觀測器接收來自該PMSM之電流量測及來自該電流PI控制迴圈之電壓作為輸入，且其提供對速度及位置之估計作為輸出。由該速度觀測器輸出之該等經估計速度及位置值隨著該MAS階段之各迭代而變化，其中對速度及位置之該等估計隨著該MAS階段重複而收斂至該PMSM之實際速度及位置。

一旦該經估計速度及位置已穩定，即，當透過該MAS階段之後續迭代之經估計速度及位置之變化小得可接受時，可終止該延遲週期。在該延遲週期結束時，該MCU開始使用該FOC向量控制常式來運行該PMSM，但其中撤銷啟動該速度PI控制迴圈及通量減弱控制。在該延遲週期結束時之該等最終經估計速度及位置值用作該控制器開始驅動該PMSM時之初始速度及位置。視情況，可判定該馬達在執行該MAS階段之前或之後是否風轉。

在馬達啟動之前使用一MAS階段估計速度及/或位置大幅增強同步馬達之控制而無需使用感測器量測位置及速度。在該MAS階段中，一零電流命令可消除該控制器啟動該馬達時之扭矩震動。在此階段中，該速度觀測器即時分析及估計轉子速度及位置，從而提供一延遲週期，該控制器能夠在該延遲週期期間使其演算法與該馬達同步。有利地，可使用該PMSM之微控制器實現此一啟動而無需額外硬體。

將自此文獻之其餘部分結合相關聯圖式明白本發明之進一步優勢及特徵。

【圖式簡單說明】

圖1係用於驅動一永久磁體同步馬達(PMSM)之一無感測器磁場定向控制(FOC)演算法之一方塊圖表示。

圖2A繪示一克拉克變換(Clarke Transform)且圖2B繪示一派克變換(Park Transform)，該兩者皆用於圖1之FOC演算法中。

圖3繪示可如何實施圖1之FOC演算法之比例積分(PI)控制迴圈。

圖4A繪示一逆克拉克變換且圖4B繪示一逆派克變換，該兩者皆用於圖1之FOC演算法中。

圖5A展示表示變流器輸出之八個可能狀態之六者之一空間向量調變(SVM)「星形」。圖5B表示SVM程序，其中由兩個相鄰向量之分量之總和表示一所得向量。

圖6表示一脈衝寬度調變(PWM)週期T，其中針對T1/T輸出一向量T1，針對T2/T輸出一向量T2，且其餘時間輸出零向量。

圖7提供一位置估計量功能方塊圖。可基於圖1之FOC演算法中之經量測電流及經計算電壓來估計馬達位置及速度。

圖8表示一磁場減弱程序之一功能方塊圖。

圖9提供在左側上修改(一量測及同步(「MAS」)階段)以撤銷啟動速度PI控制迴圈及通量減弱控制(一量測及同步(「MAS」)階段)且在右側上未修改(其繪示用於在正在進行的基礎上驅動PMSM之FOC向量控制常式)之圖1之FOC演算法之簡化方塊圖表示。

圖10A及圖10B係其中可使用圖9之MAS階段啟動易於風轉之一PMSM之例示性程序之流程圖。

儘管在圖式中展示且在本文中詳細描述特定例示性實施例，但應理解，特定例示性實施例之本文中描述不意欲將本發明限於本文中揭示之特定形式。

【實施方式】

優先權

本申請案主張2016年11月9日申請之中國專利申請案第201610987245.7號之優先權，該案之全部內容係以引用的方式併入本文中。

本發明係關於在磁場定向控制(「FOC」)下驅動之三相永久磁體同步

馬達(PMSM)之啟動。馬達之FOC向量控制係其中三相AC電馬達之定子電流以馬達之磁通量及其扭矩為特徵之一控制方法。FOC係其中出於使定子電流之扭矩與通量產生分量解耦合之目的而將通量(轉子、定子或氣隙)之一者處理為用於產生其他通量之一者之一參考系(reference frame)之一基礎之一方法。此解耦合幫助確保以相同於具有分離激發之DC馬達之方式解除複雜三相馬達之控制。電樞電流可用於扭矩產生，且激發電流可用於通量產生。在某些應用中，轉子通量可視為定子及氣隙通量之一參考系。在文獻中論述FOC背後之原理，包含來自Microchip Technology Inc.之若干應用註解，諸如AN1078「Sensorless Field Oriented Control of a PMSM」(2010)及AN1292「Sensorless Field Oriented Control (FOC) for a Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) Using a PLL Estimator and Field Weakening (FW) Controllers」(2009)，該等案之兩者係以引用的方式併入本文中。

首先參考圖1中之無感測器FOC向量控制的方塊圖，一PMSM 105自三相橋135接收電流，三相橋135可包含一整流器、一變流器，以及獲取與保護電路。可使用藉由一微控制器(「MCU」)執行之軟體實施的間接向量控制程序可總結如下。一，量測三相定子電流以提供i_a值及i_b值。可使用方程式$i_a+i_b+i_c=0$來計算i_c值。二，將三相電流轉換為雙軸系統。此轉換使用經量測i_a值及i_b值以及經計算i_c值來提供變量i_α及i_β；i_α及i_β係如自定子視角觀察之時變正交電流值。三，使用在控制迴圈之最後迭代計算的變換角度來旋轉雙軸座標系統以與轉子通量對準。此轉換自i_α及i_β提供I_d變量及I_q變量。I_d及I_q係變換為旋轉座標系統之正交電流。對於穩態條件，I_d及I_q係恆定。

四，使用I_d及I_q連同各者之參考值來形成誤差信號。在轉子磁化通量之控制中涉及I_d參考，且在馬達之扭矩輸出之控制中涉及I_q參考。將誤差信號輸入至PI控制器。控制器之輸出提供V_d及V_q，其等係將被發送至馬達之電壓向量。五，估計變換角度，其中v_α、v_β、i_α及i_β係輸入。變換角度就將下一電壓向量放置在何處來引導FOC演算法。六，使用變換角度將來自PI控制器之V_d輸出值及V_q輸出值旋轉回至靜止參考系。此計算提供下一正交電壓值v_α及v_β。及七，將v_α值及v_β值變換回為三相值v_a、v_b及v_c。三相電壓值係用以計算產生所要電壓向量之新脈衝寬度調變(PWM)工作循環值。在圖1中繪示變換、PI迭代、反向變換及產生PWM之程序。現將提供此間接向量控制程序之額外細節。

透過一系列座標變換，可使用經典PI控制迴圈間接判定及控制扭矩及通量之非時變值。程序開始於量測三相馬達電流。首先，克拉克變換將參考至定子的三軸二維座標系統移動至雙軸系統上，從而保持相同參考(見圖2A，其中i_a、i_b及i_c係個別相電流)。當在具有α-β軸之雙軸正交系統上表示定子電流時，下一步驟係變換為隨著轉子通量旋轉之另一雙軸系統。此變換使用派克變換，如在圖2B中繪示。此雙軸旋轉座標系統稱為d-q軸。此處，θ表示轉子角度。

存在用於獨立控制三個互動變量之三個相依PI控制迴圈：轉子速度、轉子通量及轉子扭矩，各受控於一分開之PI模組。特定言之，一個PI迴圈係用於控制馬達速率，且兩個PI迴圈係用於控制經變換馬達電流I_d及I_q。在控制通量時涉及I_d迴圈且在控制馬達扭矩時涉及I_q值。實施方案包含限制積分飽和(integral windup)之項「Kc•Excess」，如在圖3中繪示。藉由減去無限輸出(U)及有限輸出(Out)來計算「Excess」。項Kc乘以

Excess且限制經累積積分部分(Sum)。在PI迭代之後，旋轉d-q軸中存在兩個電壓分量向量。互補逆變換用於返回至三相馬達電壓。首先，程序自雙軸旋轉d-q參考系變換為雙軸靜止參考系α-β。此變換使用圖4A中繪示之逆派克變換。接著，程序自靜止雙軸α-β參考系變換為定子之靜止三軸三相參考系。在數學上，使用圖4B中繪示之逆克拉克變換完成此變換。

向量控制程序中之最後步驟係針對三相馬達電壓信號之各者產生脈衝寬度調變(PWM)信號，此可使用空間向量調變(SVM)技術來完成。為簡化程序，可將逆克拉克變換摺疊為SVM常式。三個變流器輸出之各者可處於兩個狀態之一者。可將變流器輸出連接至加(+)匯流排軌道或減(-)匯流排軌道，從而允許輸出之二的立方(即，8)個可能狀態，如在表1中展示：

表1

相位 C	相位 B	相位 A	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_{ds}	V_{qs}	向量
0	0	0	0	0	0	0	0	U_{000}
0	0	1	V_{DC}	0	$-V_{DC}$	$2/3V_{DC}$	0	U_0
0	1	1	0	V_{DC}	$-V_{DC}$	$V_{DC}/3$	$V_{DC}/3$	U_{60}
0	1	0	V_{DC}	V_{DC}	0	$V_{DC}/3$	$V_{DC}/3$	U_{120}
1	1	0	$-V_{DC}$	0	V_{DC}	$-2V_{DC}/3$	0	U_{180}
1	0	0	0	$-V_{DC}$	V_{DC}	$-V_{DC}/3$	$-V_{DC}/3$	U_{240}
1	0	1	V_{DC}	$-V_{DC}$	0	$V_{DC}/3$	$-V_{DC}/3$	U_{300}
1	1	1	0	0	0	0	0	U_{111}

其中所有三個輸出連接至加(+)匯流排或減(-)匯流排之兩個狀態被視為零狀態，此係因為不存在跨任何相位之線間電壓。此等標繪於SVM星形之原點處。其餘六個狀態經表示為在各狀態之間具有60度旋轉之向量，如在圖5A中展示。SVM程序允許由兩個相鄰向量之分量之總和表示任何所得向量。在圖5B中，UOUT係所要結果。其位於U60與U0之間的區段中。在一給定PWM週期T期間，若針對T1/T輸出U0且針對T2/T輸出U60，則週期之平均值將為UOUT。T0表示其中未施加有效電壓至繞組之

時間；即，其中施加一零向量。可藉由使用一經修改逆克拉克變換提取T1值及T2值而不具有額外計算。若V_α及V_β顛倒，則產生自SVM星形偏移30度之一參考軸。因此，對於六個片段之各者，一個軸與該片段正好相對且另兩個軸對稱地界定片段之界限。沿著該兩個定界軸之向量分量之值等於T1及T2。

圖6中可見，對於PWM週期T，針對T1/T輸出向量T1，且針對T2/T輸出向量T2。在其餘時間期間，輸出零向量。微控制器可經組態用於中心對準PWM，其促使圍繞週期中心之對稱性。此組態在各週期期間產生兩個線間脈衝。有效切換頻率經加倍，從而減小漣波電流而不增大功率裝置中之切換損耗。

為估計換向角度(θ)及馬達速度(ω)，無感測器控制技術藉由估計馬達之位置來實施FOC演算法而不使用位置感測器。圖7繪示位置估計量功能之一簡化方塊圖。基於經量測電流及經計算電壓來估計馬達位置及速度。

用於PMSM之磁場減弱控制意謂加諸定子電流之一負值於旋轉參考系之d軸，此具有減弱氣隙磁鏈之作用。在一變流器之情況中，電壓輸出在定子電阻及感性電抗上降低，且其餘電壓用於抵消反EMF，其與馬達之速度及馬達之電壓常數KΦ成比例。考量變流器對最大輸出電壓之限制，可藉由減小電壓常數(KΦ)而達成一速度增大(高於標稱速度)，其與氣隙磁鏈成比例。氣隙磁鏈之一減小與扭矩之減小同義。然而，對於某些應用，馬達需要運行地高於額定速度且因此，磁場減弱特徵用於增大馬達之速度範圍以超過其標稱速度額定。圖8繪示磁場減弱之方塊圖，其中y軸係以安培數為單位之I_d，且x軸係以每分鐘旋轉數(RPM)為單位之速度。

參考圖9，本發明之例示性實施例在無感測器FOC向量控制常式100

下增強三相PMSM 105之啟動。通常，此等應用僅量測馬達電流而不量測馬達速度、位置、扭矩及電壓，以便降低成本。一控制器(MCU) (例如，一數位信號控制器(DSC)或具有一數位信號處理器(DSP)之一微控制器)將用作用於PMSM 105之驅動器110之部分。階段100表示在其正常運行時用於驅動PMSM之無感測器FOC向量控制常式。驅動器110包含一脈衝寬度調變器(PWM)及一變流器驅動單元；其係負責實現來自施加至馬達相位之實際三相電壓向量($\vec{V}_s^*$)之電壓向量命令($\vec{V}_s^*$)之致動器。當將$\vec{V}_s^*$施加至PMSM 105時，PMSM 105將產生馬達電流$\vec{I}_s$、扭矩T_e、馬達位置θ_e及轉子旋轉速度ω_e。

在PMSM無感測器FOC向量控制常式100中，MCU並不知曉轉子位置、速度及扭矩，此係因為系統並不包含用於量測其等之對應感測器(諸如霍爾感測器、ABZ編碼器等)。可用於MCU之唯一經量測回應係馬達電流向量$\vec{I}_s$。可使用任何合適電流感測器量測馬達電流，諸如一LEM電流感測器，且MCU可將經量測電流轉換為一總馬達電流向量。由於轉子位置及速度對PMSM FOC向量控制常式必不可少，故在無感測器控制模式中，速度觀測器130用於估計轉子速度及位置。速度觀測器130係一適應性演算法，其係基於控制理論及電馬達數學模型化，其接收V_s^*及$\vec{I}_s$作為輸入且提供經估計速度$\hat{\omega}_e$及位置$\hat{\theta}_e$作為輸出。在後續控制迴圈期間，經估計速度及位置輸出將收斂至實際馬達速度及位置。FOC向量控制常式可適應不同類型之速度觀測器。可用之速度觀測器類型包含SMO (滑動模式觀測器)、鎖相迴圈(PLL)觀測器、全階觀測器、卡爾曼濾波器(Kalman-filter)觀測器等。

區塊145包含速度PI控制迴圈115及通量減弱控制120，且區塊150包

含區塊145結合電流PI控制迴圈125。電流PI控制迴圈125之功能係允許來自區塊145之馬達回饋電流向量$\vec{I}_s$及電流向量命令$\vec{I}_s^*$調節輸出電壓向量命令$\vec{V}_s^*$。區塊145之功能係調節馬達電流向量命令$\vec{I}_s^*$以幫助使馬達按所要速度運行。

在啟動PMSM 105之前，執行一量測及同步(MAS)階段200。在風轉期間，MCU並不知曉轉子位置θ_e及速度ω_e，且此可導致MCU無法啟動馬達105。新控制階段200用作在PMSM FOC向量控制常式100用於正在進行的馬達操作之前的第一控制階段。在MAS階段200期間，MCU將電流向量命令$\vec{I}_s$設定為零($\vec{I}_s^* = 0 \Leftrightarrow I_{QREF} = 0 = I_{DREF}$)。此有效停用區塊145但允許其餘區塊繼續。電流PI 125控制迴圈保持作用中以在MAS階段200期間迫使馬達電流向量$\vec{I}_s$等於零。在MAS階段200處，速度觀測器130運行且即時估計轉子之位置$\hat{\theta}_e$及速度$\hat{\omega}_e$值。在MCU自MAS 200接收經估計值之後，MCU可將其等用作正在進行的FOC控制常式100之區塊150中之初始值。

MAS階段200將持續足以使經估計位置及速度變得穩定之一段時間。合適延遲週期(其間允許MAS階段200運行)隨應用而變化。儘管較長週期可為較佳的，此係因為將提供更多時間以允許經估計位置及速度收斂至實際位置及速度，但較長延遲可能不適合於需要快速馬達啟動的某些應用。在許多應用中，延遲週期之範圍可為幾十毫秒至幾百秒。

參考圖10，一例示性啟動控制程序5開始於系統電力開啟(10)及可在啟動之前風轉之一馬達(15)。MCU可接收起始PMSM 105 (即，開始使用驅動器110來運行馬達105)之一命令(20)。在啟動馬達105之前，MCU可起始一MAS階段200以估計馬達速度及位置(30)。在MAS階段200之各迭代後，MCU可評估經估計位置及速度值是否已穩定(35)。此可藉由比較

電流速度及位置估計與先前迭代之經估計速度及位置來完成。隨著重複MAS階段，預期估計之變化減小(且可接近於零)。若值尚未穩定(35)，則MCU返回至MAS階段200之另一迭代(30)。但當此等差異縮小至一足夠小值時，延遲週期可結束，且MCU可繼續馬達啟動(40)及正在進行的FOC控制常式(45)以用於驅動PMSM 105，以便根據經估計速度及位置值來繼續馬達之旋轉。此幫助馬達甚至在風轉條件下平穩旋轉。一旦接收停止馬達之一指令(50)，MCU可停止驅動PMSM (55)。在馬達停止55後，馬達可再次開始風轉(15)，且程序可重複。

若待判定PMSM 105是否風轉，則MCU可視情況經組態以在執行MAS階段200 (30)之前評估PMSM 105是否風轉(及可能到何種程度)(25)。為判定是否存在風轉，MCU可使用馬達電流感測器來判定是否存在來自PMSM 105之可偵測馬達電流讀數。若否，則MCU可略過步驟30及35 (即，MAS階段200)，且繼續馬達啟動40 (及隨後繼續FOC控制(45))。此在其中風轉並非普遍發生且其中期望判定步驟(25)所用之時間小於用於執行MAS 200 (區塊30及35)之延遲的狀況中可為期望的。視情況，系統可允許使用者經由一使用者更動輸入及使MCU往前跳過之一對應指令來更動MAS 200階段(未展示)，且往前跳至啟動(40)。

在替代實施例中，例示性系統及方法可用於控制需要頻繁運行/停止操作(或以其他方式使用其等操作)之馬達。此處，控制器可遵循一運行命令使用FOC控制常式來驅動馬達(如在圖1中展示且如圖9中之階段100)。當控制器接收一停止命令時，控制器將允許系統及馬達進入階段200 (圖9)且馬達將被一零電流向量驅動。速度觀測器130將即時估計馬達速度及位置，且MCU將在一停止命令週期期間具有經估計值。一旦控制器接收

一運行命令，系統可立即進入階段100，此係因為MCU由於階段200在停止命令週期期間繼續工作而已知曉馬達精確估計速度及位置值。由於將一零電流向量施加至馬達，故在系統處於停止命令狀態下時，在馬達上致動之扭矩比重可被忽略，如在實際停止狀況下經歷。由圖10B中之程序300表示此等替代實施例之某些版本，其中在接收一運行命令(310)之後運行MAS步驟(315)。

已依據一或多個實施例描述本發明，且應瞭解，可進行除明確陳述以外且除以各種方式組合前述版本之不同特徵以外的許多等效物、替代方案、變化、添加及修改且其等可在本發明之範疇內。

【符號說明】

5	啟動控制程序
10	步驟
15	步驟
20	步驟
25	步驟
30	步驟
35	步驟
40	步驟
45	步驟
50	步驟
55	步驟
100	無感測器磁場定向控制(FOC)向量控制常式/階段
105	永久磁體同步馬達(PMSM)

110	驅動器
115	速度比例積分(PI)控制迴圈
120	通量減弱控制
125	電流比例積分(PI)控制迴圈
130	速度觀測器
135	三相橋
145	區塊
150	區塊
200	量測及同步(MAS)階段

201830846

【發明摘要】

【中文發明名稱】

用於啟動同步馬達的系統及方法

【英文發明名稱】

SYSTEM AND METHOD FOR STARTING SYNCHRONOUS MOTORS

【中文】

為避免由風轉中之一永久磁體同步馬達(PMSM)之啟動引起的控制故障，在啟動之前判定初始速度及位置。一種控制器使用具有一速度PI控制迴圈、磁場減弱控制、一電流PI控制迴圈及一速度觀測器之一FOC常式。當該控制器接收啟動該PMSM之一指令時，其延遲啟動且執行一「估計」階段，其中該控制器執行該FOC常式，但停用該速度PI控制迴圈及該磁場減弱控制。該估計階段重複多次，其中若干估計透過連續迭代而收斂至實際速度及位置。當經估計速度及位置值已穩定時，使用該等估計，按用於驅動該PMSM之初始速度及位置來啟動馬達。其中啟用該速度PI控制迴圈及該磁場減弱控制之該FOC常式，用於驅動該PMSM。

【英文】

To avoid control failure resulting from startup of a PMSM that is windmilling, initial speed and position are determined before startup. A controller uses a FOC routine having a speed PI control loop, field-weaken control, a current PI control loop, and a speed observer. When the controller receives an instruction to start the PMSM, it delays startup and executes an "estimation" stage, in which the controller executes the

FOC routine but with the speed PI control loop and the field-weaken control disabled. The estimation stage is repeated multiple times, with estimates converging to actual speed and position through successive iterations. When estimated speed and position values have stabilized, the motor is started using the estimates as initial speed and position for driving the PMSM. The FOC routine, with the speed PI control loop and the field-weaken control enabled, is used to drive the PMSM.

【指定代表圖】

圖1

【代表圖之符號簡單說明】

100	無感測器磁場定向控制(FOC)向量控制常式/階段
105	永久磁體同步馬達(PMSM)
110	驅動器
115	速度比例積分(PI)控制迴圈
120	通量減弱控制
125	電流比例積分(PI)控制迴圈
130	速度觀測器
135	三相橋

【發明申請專利範圍】

【第1項】

一種馬達控制器，其經組態以驅動一永久磁體同步馬達(PMSM)，該馬達控制器包含一處理器及一非暫態機器可讀媒體，該媒體包含指令，當藉由該處理器載入及執行該等指令時，組態該馬達控制器以：

接收啟動該PMSM之一命令；

在啟動該PMSM之前，藉由使用一磁場定向控制(FOC)向量控制常式來估計該PMSM之位置及速度；

在該FOC向量控制常式期間，停用一速度比例積分(PI)控制迴圈；

使用該經估計位置及速度作為該馬達之初始速度及位置來啟動該PMSM；及

在啟用該速度PI控制迴圈之情況下，使用該FOC向量控制常式來驅動該PMSM。

【第2項】

如請求項1之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以：

在該FOC向量控制常式期間，執行一通量減弱常式；及

停用該通量減弱常式，以估計該PMSM之位置及速度。

【第3項】

如請求項1之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以在不具有速度及位置之所接收感測器讀數之情況下驅動該PMSM。

【第4項】

如請求項1之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以：

在該FOC向量控制常式期間，執行速度觀測，其中接收馬達電流及

電壓作為輸入，且判定位置及速度作為輸出；

當在啟動該PMSM之前估計位置及速度時，重複該FOC向量控制常式多次；及

透過該FOC向量控制常式之連續迭代，將經估計位置及速度收斂至實際位置及速度。

【第5項】

如請求項4之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以迴圈執行該FOC向量控制常式直至該經估計位置及速度已穩定，使得連續迴圈之間之經估計位置及速度中實質上不存在可變性。

【第6項】

如請求項1之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以在該FOC向量控制常式期間執行一電流比例積分(PI)控制迴圈，其經組態以輸出用於驅動該PMSM之電壓。

【第7項】

如請求項1之馬達控制器，進一步包括一電流感測器，該電流感測器經組態以：

量測該PMSM之一馬達電流；及

將該馬達電流提供至該馬達控制器。

【第8項】

如請求項7之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以在該FOC向量控制常式期間執行速度觀測，以基於馬達電流輸入來判定速度及位置。

【第9項】

如請求項8之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以在該FOC向量控制常式期間執行一比例積分(PI)控制迴圈，其經組態以輸出用於速度觀測之電壓。

【第10項】

如請求項1之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以：

接收自該PI控制迴圈輸出之一電流值；及

將該電流值設定為實質上零以停用該速度PI控制迴圈，以在啟動之前估計該PMSM之位置及速度。

【第11項】

如請求項1之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以：

在該FOC向量控制常式期間，執行一通量減弱常式；

當在啟動之前估計該PMSM之位置及速度時，於使用該FOC向量控制常式時停用該通量減弱常式。

【第12項】

如請求項11之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以：

在該通量減弱常式期間，識別一電流值；及

將該電流值設定為實質上零以停用該通量減弱常式，以在啟動之前估計該PMSM之位置及速度。

【第13項】

如請求項1之馬達控制器，其中該馬達控制器經進一步組態以透過具有一多相橋之一馬達驅動電路來驅動該PMSM，該多相橋經組態以為該PMSM提供一電壓向量。

【第14項】

一種系統，其包括：

一永久磁體同步馬達(PMSM)，其經由磁場定向控制(FOC)，該PMSM包含一可旋轉轉子；

一馬達控制器，其包含一處理器及一非暫態機器可讀媒體，該媒體包含指令，當藉由該處理器載入及執行該等指令時，組態該馬達控制器以：

接收啟動該PMSM之一命令；

在啟動該PMSM之前，藉由使用一磁場定向控制(FOC)向量控制常式來估計該PMSM之位置及速度，其中停用一速度比例積分(PI)控制迴圈及一通量減弱常式兩者；

使用該經估計位置及速度作為該馬達之初始速度及位置來啟動該PMSM；及

在啟用該速度PI控制迴圈之情況下，使用該FOC向量控制常式來驅動該PMSM。

【第15項】

一種控制具有一轉子之一永久磁體同步馬達(PMSM)之方法，其包括：

接收啟動該PMSM之一命令；

在啟動該PMSM之前，藉由使用一磁場定向控制(FOC)向量控制常式來估計該PMSM之位置及速度，其中停用一速度比例積分(PI)控制迴圈；

使用該經估計位置及速度作為初始速度及位置來啟動該PMSM；及

在啟用該速度PI控制迴圈之情況下，使用該FOC向量控制常式來驅動該PMSM。

【第16項】

如請求項15之方法，其中當估計位置及速度時，停用該FOC向量控制常式之一通量減弱常式。

【第17項】

如請求項15之方法，進一步包括：

在該FOC向量控制常式期間，使用一馬達電流作為輸入來執行一速度觀測，且識別位置及速度作為輸出；

當在PMSM啟動之前估計位置及速度時，重複該FOC向量控制常式多次；及

透過該FOC向量控制常式之連續迭代，使該等經估計位置及速度值朝向實際位置及速度收斂。

【第18項】

如請求項17之方法，進一步包括：

使用一電流感測器來量測該PMSM之一馬達電流；及

將該馬達電流輸入至一速度觀測器中，且接收速度及位置作為輸出。

【第19項】

如請求項18之方法，其中該FOC向量控制常式進一步包含輸出電壓之一電流比例積分(PI)控制迴圈，該方法進一步包括將由該電流PI控制迴圈輸出之該等電壓提供至該速度觀測器。

【第20項】

如請求項15之方法，其中該方法係在未自感測器接收位置及速度量測之情況下執行。