

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2019-533409  
(P2019-533409A)

(43) 公表日 令和1年11月14日(2019.11.14)

(51) Int.Cl.

HO2P 21/32	(2016.01)
HO2P 6/18	(2016.01)
HO2P 21/22	(2016.01)
HO2P 21/26	(2016.01)

F 1

HO2P	21/32
HO2P	6/18
HO2P	21/22
HO2P	21/26

テーマコード(参考)

5H505
5H560

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2019-512306 (P2019-512306)
(86) (22) 出願日	平成29年11月9日 (2017.11.9)
(85) 翻訳文提出日	平成31年3月1日 (2019.3.1)
(86) 国際出願番号	PCT/US2017/060773
(87) 国際公開番号	W02018/089581
(87) 国際公開日	平成30年5月17日 (2018.5.17)
(31) 優先権主張番号	201610987245.7
(32) 優先日	平成28年11月9日 (2016.11.9)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	中国(CN)
(31) 優先権主張番号	15/802,246
(32) 優先日	平成29年11月2日 (2017.11.2)
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国(US)

(71) 出願人	397050741 マイクロチップ テクノロジー インコーポレイテッド MICROCHIP TECHNOLOGY INCORPORATED アメリカ合衆国 85224-6199 アリゾナ チャンドラー ウエスト チャンドラー ブルヴァード 2355
(74) 代理人	100078282 弁理士 山本 秀策
(74) 代理人	100113413 弁理士 森下 夏樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】同期モータを始動させるためのシステム及び方法

## (57) 【要約】

風車状態である PMSM の始動に起因する制御障害を回避するために、初期速度及び位置を始動前に判定する。コントローラは、速度 P I 制御ループ、弱め界磁制御、電流 P I 制御ループ、及び速度オブザーバを有する F O C ルーチンを使用する。コントローラは、PMSM を始動させる命令を受信すると、始動を遅らせ、「推定」段階を実行し、この段階では、コントローラは、速度 P I 制御ループ及び弱め界磁制御を不能にした状態で F O C ルーチンを実行する。推定段階は複数回繰り返され、推定値は、連続した繰り返しによって実際の速度及び位置に収束する。推定された速度及び位置の値が安定化したとき、これらの推定値を、PMSM を駆動させるための初期速度及び位置として使用して、モータは始動される。速度 P I 制御ループ及び弱め界磁制御を可能にした状態で、F O C ルーチンを使用して、PMSM は駆動される。

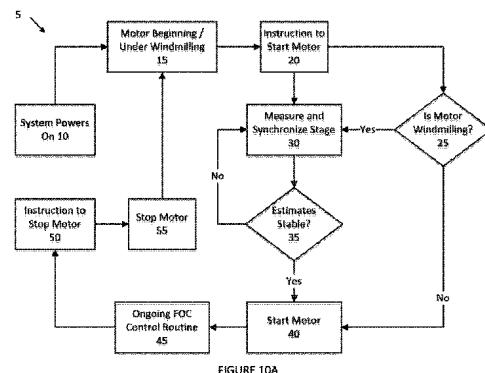


FIGURE 10A

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

永久磁石同期モータ（PMSM）を駆動させるように構成されているモータコントローラであって、前記モータコントローラが、プロセッサ及び非一時的機械可読媒体を含み、前記媒体が命令を含み、前記命令が、前記プロセッサによってロードされ、実行されたとき、

前記PMSMを始動させるコマンドを受信し、

前記PMSMを始動させる前に、磁界方向制御（FOC）ベクトル制御ルーチンを使用することによって前記PMSMの位置及び速度を推定し、

前記FOCベクトル制御ルーチンの間、速度比例積分（PI）制御ループを不能にし、

前記推定された位置及び速度を回転子の初期速度及び位置として使用して前記PMSMを始動させ、

前記速度PI制御ループを可能にした状態で、前記FOCベクトル制御ルーチンを使用して前記PMSMを駆動させる、ように前記モータコントローラを構成する、モータコントローラ。

## 【請求項 2】

前記モータコントローラが、

前記FOCベクトル制御ルーチンの間、弱め磁束ルーチンを実行し、

前記弱め磁束ルーチンが前記PMSMの位置及び速度を推定することを不能にする、ように更に構成されている、請求項1又は3～13のいずれか一項に記載のモータコントローラ。

## 【請求項 3】

前記モータコントローラが、速度及び位置に関する受信されたセンサ読み取り値なしで前記PMSMを駆動させるように更に構成されている、請求項1～2又は4～13のいずれか一項に記載のモータコントローラ。

## 【請求項 4】

前記モータコントローラが、

前記FOCベクトル制御ルーチンの間、速度観測を実行し、モータ電流及び電圧が入力として受信され、位置及び速度が出力として判定され、

前記PMSMを始動させる前に位置及び速度を推定するとき、前記FOCベクトル制御ルーチンを複数回繰り返し、

前記FOCベクトル制御ルーチンの連続した繰り返しによって、推定された位置及び速度を実際の位置及び速度に収束させる、ように更に構成されている、請求項1～3又は6～13のいずれか一項に記載のモータコントローラ。

## 【請求項 5】

前記推定された位置及び速度が安定化し、その結果、連続したループ間で、推定された位置及び速度に変動性が実質的に存在しなくなるまで、前記FOCベクトル制御ルーチンをループさせるように、前記モータコントローラが、更に構成されている、請求項4に記載のモータコントローラ。

## 【請求項 6】

前記モータコントローラが、前記FOCベクトル制御ルーチンの間、前記PMSMを駆動させるために使用される電圧を出力するように構成された電流比例積分（PI）制御ループを実行するように、更に構成されている、請求項1～5又は7～13のいずれか一項に記載のモータコントローラ。

## 【請求項 7】

前記PMSMのモータ電流を測定し、

前記モータ電流を前記モータコントローラに提供する、ように構成されている電流センサを更に含む、請求項1～6又は10～13のいずれか一項に記載のモータコントローラ。

## 【請求項 8】

10

20

30

40

50

前記モータコントローラが、前記FOCベクトル制御ルーチンの間、速度観測を実行して、速度及び位置をモータ電流入力に基づいて判定するように、更に構成されている、請求項7に記載のモータコントローラ。

**【請求項9】**

前記モータコントローラが、前記FOCベクトル制御ルーチンの間、速度観測用の電圧を出力するように構成された比例積分(PI)制御ループを実行するように、更に構成されている、請求項8に記載のモータコントローラ。

**【請求項10】**

前記モータコントローラが、

前記PI制御ループから出力された電流値を受信し、

10

前記電流値を実質的に0に設定して、前記速度PI制御ループが始動前の前記PMSMの位置及び速度を推定することを不能にする、ように更に構成されている、請求項1~9又は11~13のいずれか一項に記載のモータコントローラ。

**【請求項11】**

前記モータコントローラが、

前記FOCベクトル制御ルーチンの間、弱め磁束ルーチンを実行し、

始動前の前記PMSMの位置及び速度を推定するとき、前記FOCベクトル制御ルーチンを使用するときに前記弱め磁束ルーチンを不能にする、ように更に構成されている、請求項1~10又は13のいずれか一項に記載のモータコントローラ。

**【請求項12】**

前記モータコントローラが、

前記弱め磁束ルーチンの間、電流値を識別し、

20

前記電流値を実質的に0に設定して、前記弱め磁束ルーチンが始動前の前記PMSMの位置及び速度を推定することを不能にする、ように更に構成されている、請求項11に記載のモータコントローラ。

**【請求項13】**

前記モータコントローラが、前記PMSMに電圧ベクトルを提供するように構成された多相ブリッジを有するモータ駆動回路を通じて前記PMSMを駆動させるように更に構成されている、請求項1~12のいずれか一項に記載のモータコントローラ。

**【請求項14】**

システムであって、

30

磁界方向制御(FOC)を通じて制御されるように構成された永久磁石同期モータ(PMSM)であって、前記PMSMが、回転可能な回転子を含む、PMSMと、

請求項1~13に記載の前記モータコントローラのうちのいずれかと、を含む、システム。

**【請求項15】**

回転子を有する永久磁石同期モータ(PMSM)を制御する方法であって、請求項1~13に記載の前記モータコントローラのうちのいずれかの操作を含む、方法。

**【発明の詳細な説明】**

**【技術分野】**

40

**【0001】**

(優先権)

本出願は、2016年11月9日に出願された中国特許出願第201610987245.7号に対する優先権を主張し、その内容がその全体にわたって本明細書に組み込まれる。

**【0002】**

本開示は、一般に、始動前の回転に影響されやすい同期モータの始動に関し、より具体的には、始動時に風車状態であり得るが、回転子の初期位置(角度)及び/又は回転速度に関する情報を受信するためのセンサを有しない、三相永久磁石同期モータ(PMSM)の始動に関する。

50

## 【背景技術】

## 【0003】

永久磁石同期モータ（PMSM）は、同じ種類の他のモータと比較して高いパワー密度、速い動的応答、及び高い効率性を有することから、装置製造業者の間で人気のある選択肢である。PMSMを使用する場合、回転子場速度は、固定子（電機子）場速度と等しい（即ち、同期している）必要がある。回転子場と固定子場との間の同期の喪失は、モータを停止させる恐れがあり、そのため、回転子の速度及び位置を知ることが、係るモータにおいて制御故障を回避する上で重要であり得る。回転子の位置及び速度を判定するための従来のアプローチは、レゾルバエンコーダ、インクリメンタルABZエンコーダ、アブソリュート位置エンコーダ、及び正弦/余弦エンコーダなどのエンコーダの使用を含むが、これらは費用及び空間要件を増大させる。ホール効果センサが時々使用されるが、これらは費用を増加させ、また低い信頼性を有する。三相モータ端子電圧検知回路もまた使用され得るが、これらは、モータを動作させるために使用されているコントローラのリソースを必要とする。例えば、従来の制御方法は、生成されたトルクに振動を生じさせるために6工程のプロセスで固定子を駆動させることを必要とする。このような6工程の制御では、回転子が次の位置に到達するまで対の巻線が通電され、次いで、モータが次の工程に転流される。ホールセンサは、電子的にモータを転流させるための回転子位置を判定するために使用され得る。

10

## 【0004】

費用を低く維持するために、「センサレス」モータと称される、エンコーダ及びホールセンサのないモータがしばしば使用される。これらのセンサの欠落を補うために、センサレスモータは、固定子巻線に生じた逆EMF（逆起電力）を使用して回転子位置を判定するアルゴリズムを実装し得る。他のセンサレスモータは、駆動している間、速度オブザーバを使用して回転子の速度及び位置を推定し得る。しかしながら、いくつかの用途では、モータは、そのコントローラが動作を停止させた後でも回転することができる可能性がある。即ち、モータは外部荷重トルクによって回転され得、又はモータは、コントローラがモータを動作させることを止めた後に、それ自体の慣性の結果として回転し続け得る。このようなモータは、一般に、モータが駆動されなくなったらすぐにモータの回転を停止させるブレーキを有しない。始動前に回転子が勝手に回転することができる（即ち、風車状態に影響されやすい）場合、コントローラは、始動時に回転子の初期位置及び速度が分からず、センサレスモータは、モータが駆動されている間、逆EMF又は速度オブザーバを使用して回転子の位置及び/又は速度を判定又は推定することができるが、これらのアプローチは、モータが始動する前に、風車状態のモータの初期速度及び位置に関する情報を提供しない。

20

30

## 【0005】

いくつかのセンサレスモータは、モータの速度、位置、トルク、及び電圧を測定せずに磁界方向制御（FOC）ベクトルアルゴリズムを使用する。これは、空気調節ユニット、天井ファン、ポンプ、電動自転車、ハンドドライヤー、風力発電機、及びドローンのような無人航空機などの用途において一般的である。モータコントローラ/マイクロコントローラ（「MCU」）及びインバータは、このようなPMSMを駆動させるためにしばしば使用される。これらのモータの回転子は、コントローラがモータを始動させる前に初期「フリーラン」速度を有し得るので、初期フリーラン速度及び回転子位置は、コントローラ/MCUにとって不明である。これは、モータを滑らかに作動させることを困難にしており、PMSMに対するセンサレスFOCの利用可能性を低下させている。

40

## 【0006】

PMSMの効果的な制御には、モータ始動時におけるPMSMの初期位置及び速度を知る必要がある。現行のシステムは、エンコーダ若しくはホールセンサを使用して速度/位置を測定するか、又は追加の検知回路を使用してモータ相電圧を測定しており、これらは、システムをより複雑かつ高価なものにしている。必要とされているのは、始動前にPMSMの位置及び/又は速度をセンサ読み取り値から入手することができないとき、これら

50

の情報を推定するための経済的な方法及びシステムである。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

開示する発明は、モータが始動される前の同期モータの位置及び速度の推定を含む。例示的な実施形態では、コントローラ（「MCU」）は、速度比例積分（PI）制御ループ、弱め界磁制御、電流PI制御ループ、及び速度オブザーバを含む磁界方向制御（FOC）ベクトル制御ルーチンを使用して永久磁石同期モータ（PMSM）を制御する。MCUは、命令を受信してPMSMを始動させるとき、測定及び同期（「MAS」）段階又は「推定」段階を実行することができるよう、始動を遅延期間にわたって遅らせる。MAS段階では、MCUは、モータを作動させるために通常使用されているFOCベクトル制御ルーチンを実行するが、MCUは、FOCベクトル制御ルーチン内の速度PI制御ループ及び弱め界磁制御を非活動化する。速度PI制御ループ及び弱め界磁制御は、速度PI制御ループ及び弱め界磁制御によって出力される（並びにFOCベクトル制御ルーチン内の他のモジュールによって使用される）電流を実質的に0（又は一定の低い値）に設定することによって効果的に非活動化される。

10

【0008】

MAS段階は、遅延期間の間に複数回実行されることができ、各繰り返しは、速度及び位置の推定値を提供する。MAS段階の各繰り返しでは、FOCベクトル制御ルーチンの速度オブザーバは、入力としてPMSMから電流測定値を受信し、入力として電流PI制御ループから電圧を受信し、出力として速度及び位置の推定値を提供する。速度オブザーバによって出力される推定された速度及び位置の値は、MAS段階の各繰り返しによって異なり、速度及び位置の推定値は、MAS段階が繰り返されるにつれてPMSMの実際の速度及び位置に収束していく。

20

【0009】

推定された速度及び位置が安定化したら、即ち、MAS段階の後続の繰り返しにわたる推定された速度及び位置の変動が受け入れ可能に小さくなると、遅延期間を終了させることができる。遅延期間の終了時、MCUは、FOCベクトル制御ルーチンを使用してPMSMを始動させるが、速度PI制御ループ及び弱め磁束制御は再活動化される。遅延期間終了時の速度及び位置の最終推定値は、コントローラがPMSMの駆動を開始するときには、初期速度及び位置として使用される。任意追加的に、MAS段階の実行前又は実行後にモータが風車状態であるかどうかを判定することができる。

30

【0010】

モータ始動前にMAS段階を使用して速度及び/又は位置を推定することは、センサを使用して位置及び速度を測定しなくても、同期モータの制御を大いに強化する。MAS段階では、ゼロ電流コマンドは、コントローラがモータを始動するときのトルクショックをなくすことができる。この段階では、速度オブザーバは、回転子の速度及び位置をリアルタイムで解析及び推定しており、コントローラがそのアルゴリズムをモータと同期させることができる遅延期間を提供する。有利には、このような始動は、追加のハードウェアを必要とせずに、PMSMのマイクロコントローラを使用して実現することができる。

40

【0011】

本発明の更なる利点及び特徴は、関連する図面と併せて本文書の残り部分から明白となるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】永久磁石同期モータ（PMSM）を駆動するためのセンサレス磁界方向制御（FOC）アルゴリズムのブロック図表現である。

【図2A】図1のFOCアルゴリズムで使用されている、クラーク変換を示す。

【図2B】図1のFOCアルゴリズムで使用されている、パーク変換を示す。

【図3】図1のFOCアルゴリズムの比例積分（PI）制御ループをどのように実装でき

50

るかを示す。

【図4A】図1のFOCアルゴリズムで使用されている、逆クラーク変換を示す。

【図4B】図1のFOCアルゴリズムで使用されている、逆パーク変換を示す。

【図5A】インバータ出力の8つの可能な状態のうちの6つを表している空間ベクトル変調(SVM)「星形」を示す。

【図5B】合成ベクトルが、2つの隣接するベクトルの成分の和によって表されている、SVMプロセスを表す。

【図6】ベクトルT1がT1/Tに対して出力され、ベクトルT2がT2/Tに対して出力され、ヌルベクトルが残りの時間に対して出力される、パルス幅変調(PWM)期間Tを表す。

【図7】位置推定器機能ブロック図を提供する。モータの位置及び速度は、図1のFOCアルゴリズムにおいて、測定された電流及び計算された電圧に基づいて推定されることがある。

【図8】弱め界磁プロセスの機能ブロック図を表す。

【図9】左側(測定及び同期(「MAS」)段階)では速度PI制御ループ及び弱め磁束制御を非活動化するように修正されており、右側(PMSMを継続的に駆動するために使用されるFOCベクトル制御ルーチンを示す)では修正されていない、図1のFOCアルゴリズムの単純化したブロック図表現を提供する。

【図10A】風車状態に影響されやすいPMSMが図9のMAS段階を使用して始動され得る、例示的なプロセスの流れ図である。

【図10B】風車状態に影響されやすいPMSMが図9のMAS段階を使用して始動され得る、例示的なプロセスの流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

特定の例示的な実施形態が図面で示され、本明細書において詳細に説明されているが、本明細書における特定の例示的な実施形態の説明は、本明細書に開示される特定の形態に本開示を限定することを意図するものではないことを理解されたい。

【0014】

本発明は、磁界方向制御(「FOC」)下で駆動される三相永久磁石同期モータ(PMSM)の始動に関する。モータのFOCベクトル制御は、三相AC電動モータの固定子電流がモータの磁束及びそのトルクによって特徴付けられる制御方法である。FOCは、固定子電流のトルク生成成分及び磁束生成成分を分離することを目的として、磁束のうちの1つ(回転子、固定子、又は空隙)が、他の磁束のうちの1つに対する基準フレームを作成するための基礎として扱われる、方法である。このような分離は、複雑な三相モータに対して、他励磁を有するDCモータと同じように容易に制御するのに役立つ。電機子電流はトルク生成に使用され得、励磁電流は磁束生成に使用され得る。特定の用途では、回転子磁束は、固定子及び空隙磁束に対する基準フレームと見なされ得る。FOCの背景にある原理は、両方が参照により本明細書に組み込まれる、AN1078、「Sensorless Field Oriented Control of a PMSM」(2010)、及びAN1292、「Sensorless Field Oriented Control(FOC) for a Permanent Magnet Synchronous Motor(PMSM) Using a PLL Estimator and Field Weakening(FW) Controllers」(2009)など、Microchip Technology Inc.のいくつかのアプリケーションノートを含めて、文献に記載されている。

【0015】

最初に、図1にあるセンサレスFOCベクトル制御用のブロック図を参照すると、PMSM105は、三相ブリッジ135から電流を受け取り、三相ブリッジ135は、整流器、インバータ、並びに取り込み及び保護回路を含み得る。マイクロコントローラ(「MCU」)によって実行されたソフトウェアを使用して実装することができる、間接型ベクト

ル制御プロセスは、以下のように要約することができる。1.  $i_a$  及び  $i_b$  の値を提供するように三相固定子電流を測定する。 $i_c$  の値は、等式  $i_a + i_b + i_c = 0$  を使用して計算することができる。2. 三相電流を2軸系に変換する。この変換は、測定された  $i_a$  及び  $i_b$  値、並びに計算された  $i_c$  値を使用して、変数  $i$  及び  $i$  を提供し、 $i$  及び  $i$  は、固定子から見て、時間的に変化する直角電流値である。3. 制御ループの最後の繰り返しで計算された変換角度を使用して、回転子磁束と揃うように2軸座標系を回転させる。この変換は、 $i$  及び  $i$  から  $I_d$  及び  $I_q$  変数を提供する。 $I_d$  及び  $I_q$  は、回転座標系に変換された直角電流である。定常条件の場合、 $I_d$  及び  $I_q$  は一定である。

#### 【0016】

4.  $I_d$  及び  $I_q$  をそれぞれの基準値と共に使用して誤差信号を形成する。 $I_d$  基準は、回転子磁化磁束の制御に関与しており、 $I_q$  基準は、モータのトルク出力の制御に関与している。誤差信号は、PIコントローラに入力される。コントローラの出力は、 $V_d$  及び  $V_q$  を提供し、これらは、モータに送られる電圧ベクトルである。5.  $v$ 、 $v$ 、 $i$  及び  $i$  を入力として、変換角度を推定する。変換角度は、次の電圧ベクトルを配置する場所に関してFOCアルゴリズムをガイドする。6. 変換角度を使用して、PIコントローラからの  $V_d$  及び  $V_q$  出力値を静止基準フレームへと逆回転させる。この計算は、次の直角電圧値  $v$  及び  $v$  を提供する。7.  $v$  及び  $v$  値を三相値  $v_a$ 、 $v_b$ 、及び  $v_c$  に逆変換する。この三相電圧値は、所望の電圧ベクトルを生成する新しいパルス幅変調(PWM)デューティサイクル値を計算するために使用される。変換、PI繰り返し、逆変換、及びPWMの生成のプロセスは、図1に示されている。次に、この間接型ベクトル制御プロセスの更なる詳細を提供する。

10

20

30

40

#### 【0017】

一連の座標変換によって、トルク及び磁束の時不变値を古典的なPI制御ループで間接的に決定及び制御することができる。プロセスは、三相モータ電流を測定することから始まる。最初に、クラーク変換は、固定子に参照付けられた、3軸の、2次元座標系を2軸系上に移動させ、同じ基準を維持する(図2Aを参照のこと、 $i_a$ 、 $i_b$ 、及び $i_c$ は個別の相電流である)。-軸を有する2軸の直交系上に表された固定子電流を用いて、次の工程は、回転子磁束と共に回転している別の2軸系に変換する。この変換は、図2Bに示されているように、パーク変換を使用する。この2軸の回転座標系は、d-q軸と呼ばれる。ここで、 $\theta$ は回転子角度を表す。

#### 【0018】

3つの相互作用的な変数、即ち、回転子速度、回転子磁束、及び回転子トルク、を独立して制御するための3つの相互依存のPI制御ループが存在しており、それぞれが別個のPIモジュールによって制御されている。具体的には、1つのPIループは、モータ速度を制御するためのものであり、2つは、変換されたモータ電流  $I_d$  及び  $I_q$  を制御するためのものである。 $I_d$  ループは、磁束を制御することに関与しており、 $I_q$  値は、モータトルクを制御することに関与している。実装は、積分飽和現象を制限するために、図3に示されているように、項「 $K_c \cdot E x c e s s$ 」を含む。「 $E x c e s s$ 」は、制限されていない出力( $U$ )及び制限された出力( $O u t$ )を減算することによって計算される。項  $K_c$  は  $E x c e s s$  を乗算し、累積された積分部分( $S u m$ )を制限する。PI繰り返しの後、回転d-q軸において2つの電圧成分ベクトルが存在する。三相モータ電圧に戻すために、相補的な逆変換が使用される。最初に、プロセスは、2軸の回転d-qフレームから2軸の静止フレーム-に変換する。この変換は、図4Aに示されている逆パーク変換を使用する。次に、プロセスは、静止2軸-フレームから静止3軸の、固定子の三相基準フレームに変換する。数学的には、この変換は、図4Bに示されている逆クラーク変換で達成される。

#### 【0019】

ベクトル制御プロセスの最終工程は、三相モータ電圧信号のそれぞれに対してパルス幅変調(PWM)信号を生成することであり、これは、空間ベクトル変調(SVM)技術を使用して達成することができる。プロセスを単純化するために、逆クラーク変換は、 $S V$

50

Mルーチンに組み込むことができる。3つのインバータ出力のそれぞれは、2つの状態の一方になり得る。インバータ出力は、プラス(+)バスレール又はマイナス(-)バスレールのいずれかに接続されることができ、表1に示すように、2の3乗(即ち、8)とおりの出力の状態が可能となる。

【0020】

【表1】

表1

相C	相B	相A	$V_{ab}$	$V_{bc}$	$V_{ca}$	$V_{ds}$	$V_{qs}$	ベクトル
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	$U(111)$

【0021】

3つ全ての出力がプラス(+)バス又はマイナス(-)バスのいずれかに接続されている2つの状態は、いずれの相を横切ってもライン間電圧が存在しないため、ヌル状態であると見なされる。これらは、SVM星形の原点にプロットされる。残りの6つの状態は、図5Aに示されているように、各状態の間に60度の回転を有するベクトルとして表される。SVMプロセスは、2つの隣接するベクトルの成分の和によって任意の合成ベクトルの表現が可能である。図5Bにおいて、UOUTは所望の合成値である。これは、 $U_{60}$ と $U_0$ との間のセクタ内に存在する。所与のPWM期間Tの間、 $U_0$ が $T_1/T$ に対して出力され、 $U_{60}$ が $T_2/T$ に対して出力されると、この期間に対する平均は $U_{OUT}$ になる。 $T_0$ は、実効電圧が巻線に印加されていない、即ち、ヌルベクトルが印加されている、時間を表している。 $T_1$ 及び $T_2$ に対する値は、修正された逆クラーク変換を使用することによって、追加の計算なしで得ることができる。 $V_+$ 及び $V_-$ が反転されると、SVM星形から30度シフトされた基準軸が生成される。結果として、6つのセグメントのそれについて、1つの軸がそのセグメントとちょうど反対側にあり、他の2つの軸は、対称的にセグメントと境を接している。それら2つの境界軸に沿ったベクトル成分の値は、 $T_1$ 及び $T_2$ に等しい。

【0022】

図6では、PWM期間Tに対して、ベクトル $T_1$ は $T_1/T$ に対して出力され、ベクトル $T_2$ は $T_2/T$ に対して出力されていることを見ることができる。残りの時間の間は、ヌルベクトルが出力されている。マイクロコントローラは、期間の中心に対する対称性を強制するセンターラインPWM用に構成されることがある。この構成は、各期間の間、ライン間に2つのパルスを生成する。実効スイッチング周波数は2倍になり、パワー装置におけるスイッチング損失を増加させることなくリップル電流を減少させる。

【0023】

転流角度( )及びモータ速度( )を推定するために、センサレス制御技術は、位置センサを使用せずにモータの位置を推定することによってFOCアルゴリズムを実装する。図7は、位置推定器機能の単純化したブロック図を示している。モータ位置及び速度は、測定された電流及び計算された電圧に基づいて推定される。

【0024】

PMSM用の弱め界磁制御は、回転フレームのd-軸上で固定子電流用に負の値を課すことを意味しており、空隙鎖交磁束を弱める役割を有する。インバータの場合、電圧出力は、固定子の抵抗及び誘導リアクタンスに対して低下し、残りの電圧は、モータの速度及びモータの電圧定数 に比例する、逆EMFを相殺するために使用される。インバータの最大出力電圧の制限を考慮して、速度の増加(公称速度を上回る)は、空隙鎖交磁束に比例する、電圧定数( )を減少させることによって達成することができる。空隙鎖交

10

20

30

40

50

磁束の減少は、トルクの減少と同義である。しかしながら、特定の用途の場合、モータは、定格速度よりも速く作動する必要があり、したがって、弱め界磁機能は、公称の速度レーティングを超えてモータの速度範囲を拡大させるために有用である。図8は、弱め界磁のプロット図を示しており、y軸はアンペア単位の  $I_d$  であり、x軸は回転毎分 (RPM) 単位の速度である。

## 【0025】

図9を参照すると、本発明の例示的な実施形態は、センサレスFOCベクトル制御ルーチン100の下で三相PMSM105の始動を強化している。通常、このような用途は、費用を低く維持するために、モータ速度、位置、トルク、及び電圧を測定せずに、モータ電流のみを測定する。コントローラ(MCU)、例えば、デジタル信号コントローラ(DSC)、又はデジタル信号プロセッサ(DSP)を有するマイクロコントローラ、が、PMSM105用のドライバ110の一部として使用されることになる。段階100は、PMSMを通常作動時に駆動するために使用されるセンサレスFOCベクトル制御ルーチンを表している。ドライバ110は、パルス幅変調器(PWM)及びインバータ駆動ユニットを含んでおり、モータ相に印加された実三相電圧ベクトル

10

## 【数1】

$$(\vec{V}_s^*)$$

から電圧ベクトルコマンド

## 【数2】

$$(\vec{V}_s)$$

を実現することを担うアクチュエータである。

20

## 【数3】

$$\vec{V}_s$$

がPMSM105に印加されると、PMSM105は、モータ電流

## 【数4】

$$\vec{I}_s$$

トルク  $T_e$ 、回転子位置  $\theta_e$ 、及び回転子回転速度  $\omega_e$  をもたらすことになる。

30

## 【0026】

PMSMセンサレスFOCベクトル制御ルーチン100では、回転子位置、速度、及びトルクは、システムがそれらを測定するための対応するセンサ(ホールセンサ、ABZエンコーダなど)を含んでいないので、MCUにとって不明である。MCUで利用可能であり得る唯一の測定された応答は、モータ電流ベクトル

## 【数5】

$$\vec{I}_s$$

である。モータ電流は、LEM電流センサなど、任意の好適な電流センサを使用して測定することができ、MCUは、測定された電流を合計モータ電流ベクトルに変換することができる。回転子位置及び速度はPMSM FOCベクトル制御ルーチンにとって不可欠であるため、センサレス制御モードでは、速度オブザーバ130を使用して、回転子速度及び位置が推定される。速度オブザーバ130は、制御理論及び電気モータ数学的モデリングに基づいている、適応アルゴリズムであり、

40

## 【数6】

$$\vec{V}_s^* \text{ 及び } \vec{I}_s$$

を入力として受け取り、推定した速度

50

【数7】

 $\omega_e$ 

及び位置

【数8】

 $\theta_e$ 

を出力として提供するものである。後続の制御ループの間、推定された速度出力及び位置出力は、実際のモータ速度及び位置に収束することになる。FOCベクトル制御ルーチンは、様々なタイプの速度オブザーバに適応可能である。使用され得る速度オブザーバタイプとしては、SMO(スライディングモードオブザーバ)、位相同期ループ(PLL)オブザーバ、フルオーダーオブザーバ、カルマンフィルタオブザーバなどが挙げられる。

10

【0027】

ブロック145は、速度PI制御ループ115及び弱め磁束制御120を含み、ブロック150は、電流PI制御ループ125と組み合わせてブロック145を含む。電流PI制御ループ125の機能は、モータフィードバック電流ベクトル

20

【数9】

 $\vec{I}_s$ 

及びブロック145からの電流ベクトルコマンド

【数10】

 $\vec{I}_s^*$ 

が、出力電圧ベクトルコマンド

【数11】

 $\vec{V}_s^*$ 

30

を調節することを可能にするものである。ブロック145の機能は、モータが所望の速度で作動し続けるのに役立つように、モータ電流ベクトルコマンド

【数12】

 $\vec{I}_s^*$ 

を調節するものである。

【0028】

PMSM105が始動される前に、測定及び同期(MAS)段階200が実行される。風車状態の間、回転子位置 $\omega_e$ 及び速度 $v_e$ は、MCUにとって不明であり、これは、MCUに、モータ105の始動を失敗させる可能性がある。新しい制御段階200は、継続モータ動作のためにPMSM FOCベクトル制御ルーチン100が使用される前に、第1の制御段階として使用される。MAS段階200の間、MCUは、電流ベクトルコマンド

40

【数13】

 $\vec{I}_s$ 

を0に設定する

## 【数14】

$$(\overset{\rightarrow}{I_s^*} = 0 \Leftrightarrow I_{QREF} = 0 = I_{DREF}).$$

これは、ブロック145を効果的に不能にするが、残りのブロックは続行可能にする。電流P125制御ループは、MAS段階200の間、アクティブな状態を維持してモータ電流ベクトル

## 【数15】

$$\overset{\rightarrow}{I_s}$$

を強制的に0に等しくさせる。MAS段階200において、速度オブザーバ130は作用し、回転子の位置

## 【数16】

$$\overset{\wedge}{\theta_e}$$

及び速度

## 【数17】

$$\overset{\wedge}{\omega_e}$$

の値をリアルタイムで推定する。MCUがMAS200から推定値を受け取った後、MCUは、継続FOC制御ルーチン100のブロック150内でそれらを初期値として使用することができる。

## 【0029】

MAS段階200は、推定された位置及び速度が安定した状態になるように十分な期間にわたって継続することになる。MAS段階200が作動する、好適な遅延の期間は、用途によって様々である。より長い期間は、推定された位置及び速度が実際の位置及び速度に収束することができるように、より多くの時間が提供されることから、好ましいものであり得るが、より長い遅延は、迅速なモータ始動を必要とする特定の用途には適していないことがある。多くの用途では、遅延期間は、数十ミリ秒～数百秒の範囲であり得る。

## 【0030】

図10を参照すると、例示的な始動制御プロセス5は、システム電源オン(10)及び始動前に風車状態であり得るモータ(15)から始まる。MCUは、PMSM105を始動させる(即ち、ドライバ110を使用してモータ105を作動させること始める)コマンドを受信し得る(20)。モータ105が始動される前に、MCUは、MAS段階200を開始して、モータ速度及び位置を推定し得る(30)。MAS段階200の各繰り返しの後に続いて、MCUは、推定された位置及び速度の値が安定化しているかどうかを評価し得る(35)。これは、現在の速度及び位置の推定値を前の繰り返しの推定された速度及び位置と比較することによって達成され得る。MAS段階が繰り返されるにしたがって、推定値の変動は減少する(及び0に近づき得る)と期待される。値が安定化していないければ(35)、MCUは、MAS段階200の新たな繰り返しに戻る(30)。反対に、これらの差が十分小さい値に縮小しているときは、遅延期間が終了し得、MCUは、推定された速度及び位置の値に合わせて回転子の回転を続けるように、PMSM105を駆動するためのモータ始動(40)及び継続FOC制御ルーチン(45)に進み得る。これは、モータが、風車状態条件下であっても滑らかに回転するのに役立つ。モータを停止させる命令が受信されると(50)、MCUは、PMSMを駆動させることを停止し得る(55)。モータ停止55の後に続いて、モータは、再び風車状態を開始し得(15)、プロセスは繰り返し行うことができる。

## 【0031】

PMSM105が風車状態であるかどうかを判定すべきである場合、MCUは、MAS段階200(30)を実行する前に、PMSM105が風車状態であるかどうか(及び潜

10

20

30

40

50

在的にどの程度そうであるか) (25)を評価するように任意追加的に構成され得る。風車状態が存在するかどうかを判定するために、MCUは、モータ電流センサを使用して、PMSM105からの検出可能なモータ電流読み取り値が存在するかどうかを判定し得る。存在しない場合、MCUは、工程30及び35(即ち、MAS段階200)を飛び越してモータ始動40に(及び、続いて、FOC制御(45)に)進み得る。これは、風車状態があまり発生しない状況、及び判定工程(25)に要する時間が、MAS200(プロック30及び35)を実行するための遅延よりも小さくなると予測される状況において望ましいことがある。任意追加的に、システムは、ユーザが、ユーザオーバーライド入力及びMCUへの対応する飛び越し命令によって、MAS200段階をオーバーライドし(図示せず)、始動(40)まで飛び越すことを可能にし得る。

10

### 【0032】

代替実施形態では、例示的なシステム及び方法は、頻繁な作動/停止操作を必要とする(又はそれらを伴って別の方法で操作されている)モータを制御するために使用することができる。ここで、コントローラは、作動コマンドの後に続いて、(図1に示されているような、及び図9の段階100のような)FOC制御ルーチンを使用してモータを駆動させることができる。コントローラが停止コマンドを受信すると、コントローラは、システム及びモータが段階200(図9)に入ることを可能にし、モータは、ゼロ電流ベクトルによって駆動されることになる。速度オブザーバ130は、モータ速度及び位置をリアルタイムで推定し、MCUは、停止コマンド期間の間、推定された値を有することになる。停止コマンド期間の間、段階200が機能し続けることにより、MCUはモータの正確な推定された速度及び位置の値を既に知っているため、コントローラが作動コマンドを受信したら、システムは直ちに段階100に入ることができる。ゼロ電流ベクトルがモータに印加されているので、システムが停止コマンドステータス下にある間は、現実の停止状況下で経験されるように、モータに作用するトルクの効果を無視することができる。このような代替実施形態の特定のバージョンが、図10Bのプロセス300によって表されており、作動コマンドが受信されるまで(310)、MAS工程(315)が実施される。

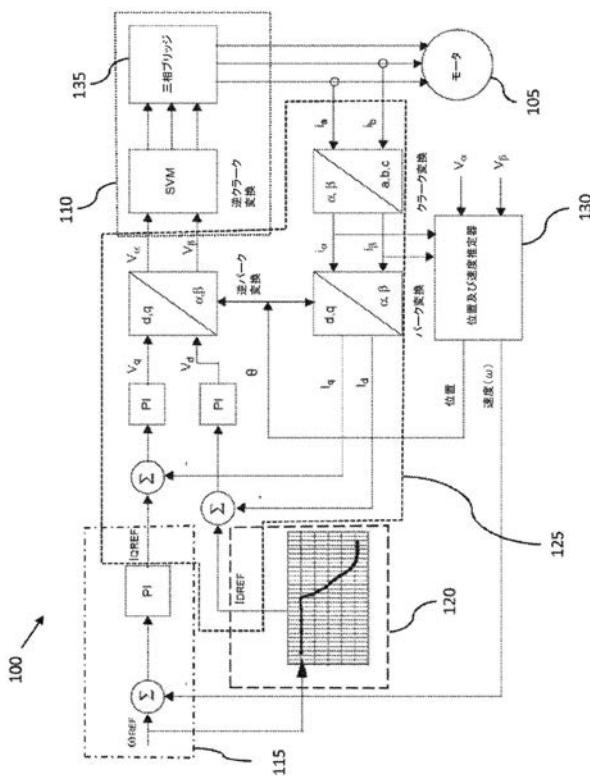
20

### 【0033】

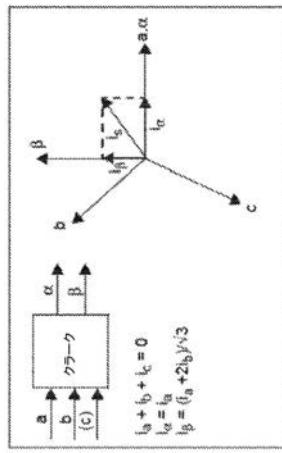
本開示は、1つ以上の実施形態に関して記述されており、多くの等価物、代替物、変形物、付加物、及び修正物が、特に明言されたものは別として、前述の版の様々な機能を様々な方法で組み合わせること以外に、作成されることができ、またこれらが本発明の範囲内にあることは、理解されよう。

30

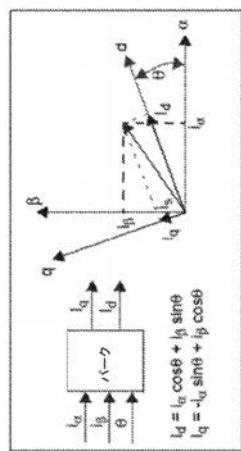
【図1】



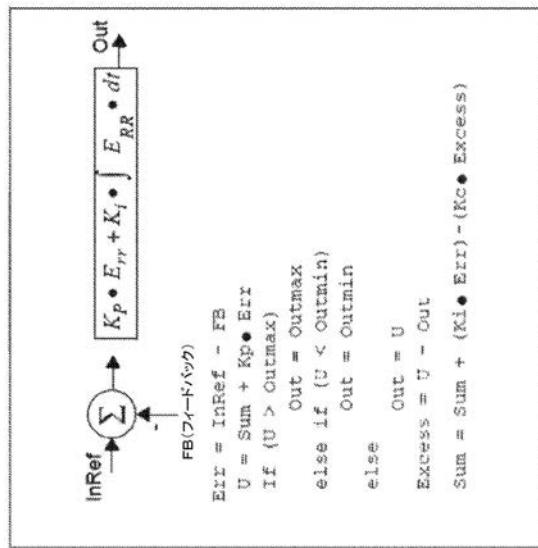
【図2 A】



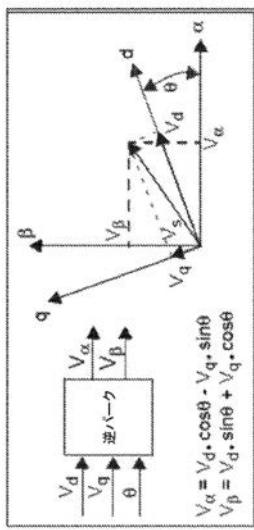
【図2 B】



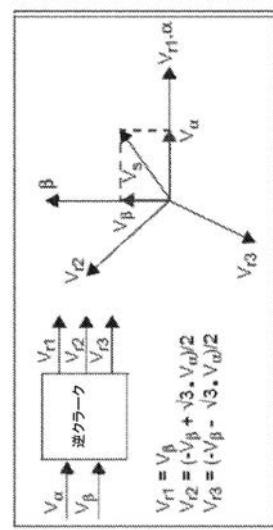
【図3】



【図 4 A】



【図 4 B】



【図 5 A】

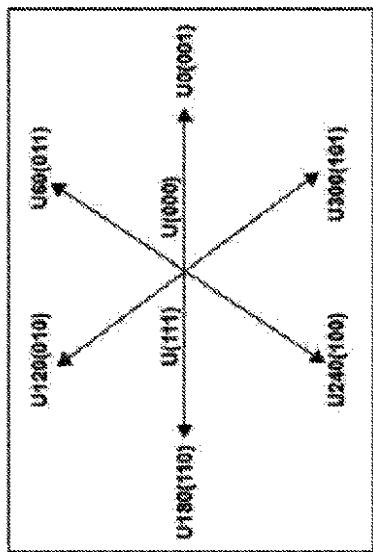
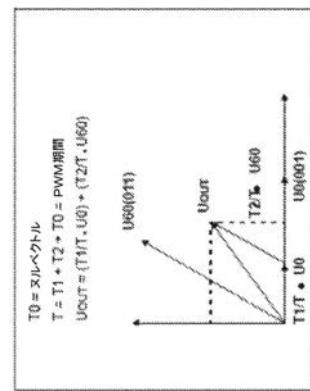


FIGURE 5A

【図 5 B】



【 四 6 】

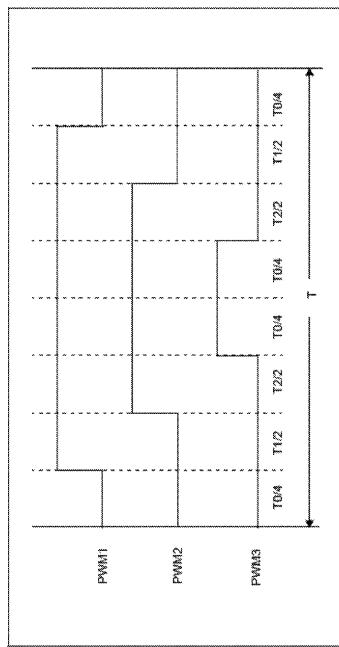
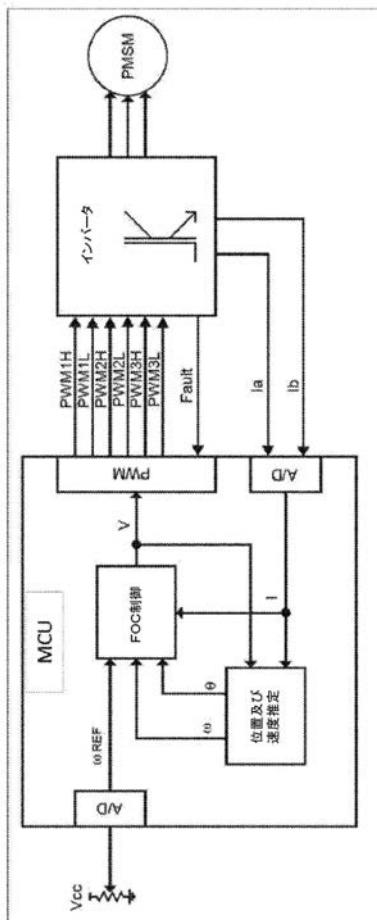


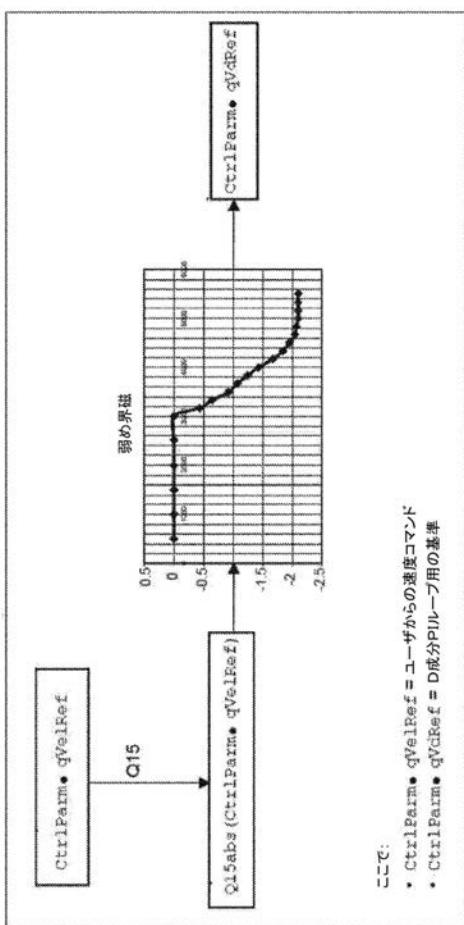
FIGURE 6

【 図 7 】



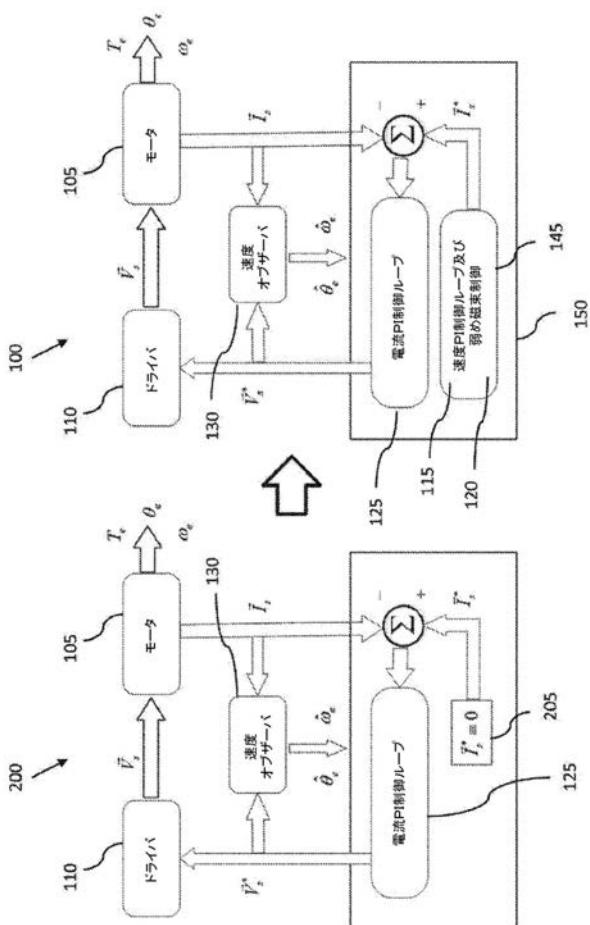
【 図 9 】

【 8 】

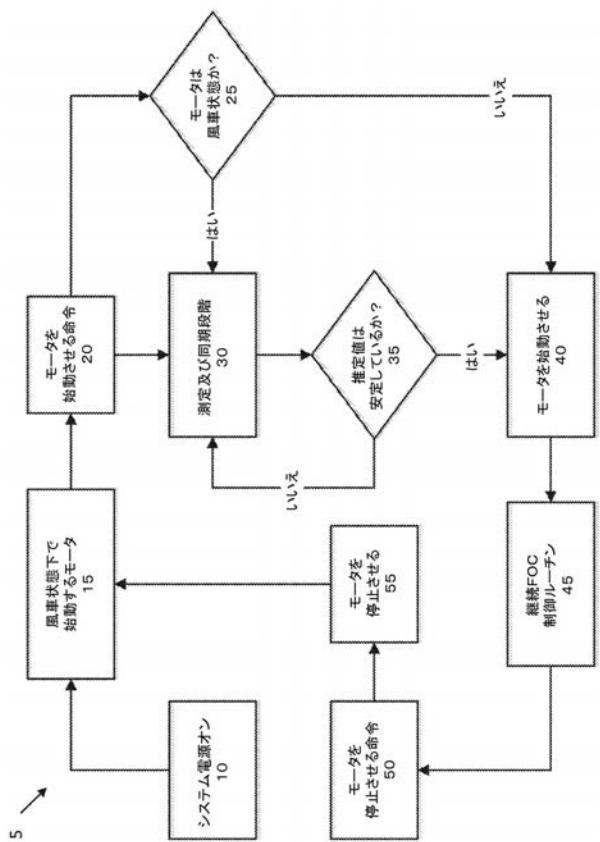


二二二

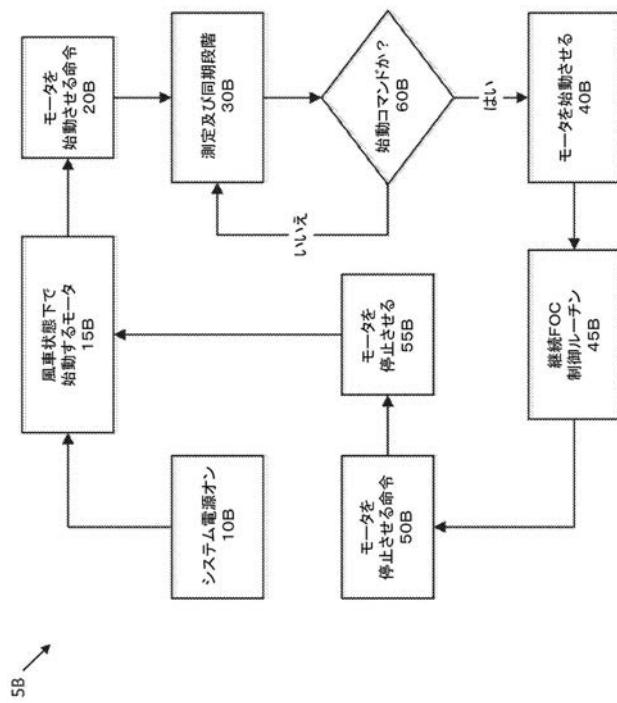
- Ctrl+Parm• qWelRef = ユーザからの速度コマンド
  - Ctrl+Parm• qVCRef = D成分ループ用の基準



【図 10 A】



【図 10 B】



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2017/060773

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H02P21/34 H02P6/18  
ADD. H02P21/00 H02P21/10 H02P1/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 9 369 073 B1 (TIAN GANG [US]) 14 June 2016 (2016-06-14) columns 2-4; figures 3,5 -----	1-15
X	US 2006/097688 A1 (PATEL NITINKUMAR R [US] ET AL) 11 May 2006 (2006-05-11) paragraphs [0028], [0031] - [0033]; figures 3,4,6,7 -----	1-15
X	US 2005/218862 A1 (HUGGETT COLIN [US] ET AL) 6 October 2005 (2005-10-06) paragraphs [0004], [0014], [0030]; figure 3 ----- -/-	1-15

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

Date of mailing of the international search report

11 January 2018

25/01/2018

Name and mailing address of the ISA/  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Fraïssé, Stéphane

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2017/060773

## C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>Jorge Zambada: "Sensorless Field Oriented Control of PMSM Motors",  27 April 2007 (2007-04-27), XP055438878,  Retrieved from the Internet:  URL:<a href="http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01078A.pdf">http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01078A.pdf</a>  [retrieved on 2018-01-08]  cited in the application  the whole document</p> <p>-----</p> <p>EHSANI M ET AL: "Sensorless Control of the BLDC Motors From Near-Zero to High Speeds",  IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS,  INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS  ENGINEERS, USA,  vol. 19, no. 6,  1 November 2004 (2004-11-01), pages  1635-1645, XP011121755,  ISSN: 0885-8993, DOI:  10.1109/TPEL.2004.836625  the whole document</p> <p>-----</p>	1-15
A		1-15

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2017/060773

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 9369073	B1 14-06-2016	US 9369073	B1	14-06-2016
		US 2016276966	A1	22-09-2016
		WO 2016154125	A1	29-09-2016
US 2006097688	A1 11-05-2006	CN 101095278	A	26-12-2007
		JP 4521033	B2	11-08-2010
		JP 2008520181	A	12-06-2008
		US 2006097688	A1	11-05-2006
		WO 2006052739	A1	18-05-2006
US 2005218862	A1 06-10-2005	EP 1730836	A2	13-12-2006
		US 2005218862	A1	06-10-2005
		WO 2005099076	A2	20-10-2005

---

フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,R0,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT

(72)発明者 ワン , ウェイジ

中華人民共和国 201100 シャンハイ シティ , ミンハン , サウス リヤンファ ロード 3988 , ビルディング 706 (ウエスト) , ルーム 2301

F ターム(参考) 5H505 AA04 DD08 EE30 EE41 EE49 FF01 GG04 HB01 JJ03 JJ06  
JJ24 LL22 LL41  
5H560 AA01 BB04 BB12 DA14 DB14 DC12 EB01 HA08 TT15 XA02  
XA12 XA13 XA17