

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6433404号  
(P6433404)

(45) 発行日 平成30年12月5日 (2018. 12. 5)

(24) 登録日 平成30年11月16日 (2018. 11. 16)

(51) Int. Cl.

F I

H02P 6/18 (2016.01)

H02P 6/18

H02P 6/20 (2016.01)

H02P 6/20

請求項の数 3 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2015-204291 (P2015-204291)  
 (22) 出願日 平成27年10月16日 (2015. 10. 16)  
 (65) 公開番号 特開2017-77122 (P2017-77122A)  
 (43) 公開日 平成29年4月20日 (2017. 4. 20)  
 審査請求日 平成29年10月20日 (2017. 10. 20)

(73) 特許権者 000006013  
 三菱電機株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号  
 (74) 代理人 100073759  
 弁理士 大岩 増雄  
 (74) 代理人 100088199  
 弁理士 竹中 岑生  
 (74) 代理人 100094916  
 弁理士 村上 啓吾  
 (74) 代理人 100127672  
 弁理士 吉澤 憲治  
 (72) 発明者 古谷 真一  
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三  
 菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

永久磁石同期モータの回転子速度と磁極位置を推定する推定器を備えたモータ制御装置であって、前記推定器は、モータモデルに基づくオブザーバと適応同定器により永久磁石同期モータの推定速度と推定磁極位置とを求める第1推定部と、モータ誘起電圧から永久磁石同期モータの推定速度と推定磁極位置とを求める第2推定部と、前記第1推定部の推定磁極位置および前記第2推定部の推定磁極位置、ならびに前記第2推定部の推定速度の少なくとも何れかを用いて前記第1推定部の推定速度および推定磁極位置のリセットの判定を行う判定・起動処理部を備え、前記判定・起動処理部は、前記第1推定部の推定磁極位置と前記第2推定部の推定磁極位置との差を用いて前記第1推定部の脱調を検知した場合、前記第2推定部の推定速度および推定磁極位置を用いて前記第1推定部の推定速度および推定磁極位置をリセットする判定を行うことを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 2】

前記判定・起動処理部は、前記第2推定部の推定速度の絶対値が予め定められた値以上となった場合に、前記第1推定部の推定磁極位置と前記第2推定部の推定磁極位置との差を用いて前記第1推定部の脱調を検知することを特徴とする請求項1に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

前記判定・起動処理部は、前記第2推定部の推定速度の絶対値が予め定められた値未満の場合に、前記第2推定部の推定速度および推定磁極位置を用いて前記第1推定部の推定

10

20

速度および推定磁極位置をリセットする判定を行い前記第1推定部を起動させることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はモータの回転子位置情報や回転子速度情報を用いずにセンサレス制御を行って永久磁石同期モータの制御を行うモータ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

永久磁石同期モータの位置制御にはモータの回転子位置情報が必要である。同様に永久磁石同期モータの速度制御にはモータの回転子速度情報が必要となる。また永久磁石同期モータの電流制御では回転子の位置情報からモータの磁極位置を計算し、これを用いて交流電流信号を直流電流信号に変換する座標変換処理を行う。この位置情報や速度情報を取得するためにはモータの回転子にインクリメンタルエンコーダやアブソリュートエンコーダやレゾルバといった位置速度センサを接続する必要がある。しかし位置速度センサの利用にはコスト増加や設置スペースの増加、センサ故障などの問題があり、モータの電圧や電流の情報からモータの回転子速度や磁極位置を推定する制御方式が広く用いられている。位置情報や速度情報を検出するセンサを位置速度センサ、回転子速度や磁極位置を推定する制御方式をセンサレス制御と呼ぶ。

【0003】

このセンサレス制御は前述の通り位置速度センサの代替としての利用が主であるが、位置速度センサ付モータの制御装置に適用して位置速度センサの故障検知にも適用可能である。さらに故障検知後に位置速度センサからの磁極位置情報や速度情報の代替として推定速度や推定磁極位置を用いてモータの制御処理を行い、所定の速度指令に従ってモータの停止処理を行う動作も実現できる。

【0004】

次にセンサレス制御方式の概略を説明する。永久磁石同期モータに適用可能な方式を大別するとオブザーバ方式と誘起電圧方式の2種類がある。まずオブザーバ方式について説明する。モータ制御装置の内部に永久磁石同期モータの数式モデルを設けておき、永久磁石同期モータに印加する電圧値を同数式モデルに入力して永久磁石同期モータの電流を推定する。前記のモデル演算と平行して電流センサを用いてモータ電流の検出を行い検出したモータ電流と前記推定電流を比較する。その電流の差異が前記数式モデルに内包されるモータ速度情報の誤差に起因するものとして、モデルに内包された推定速度のフィードバック修正を行うことで推定速度を得る。電流制御に必要な推定磁極位置は前記推定速度の積分で推定できる。これは所謂適応同定に基づく推定速度と推定磁極位置の取得方法である。数式モデルは単にモータの数式モデルを用いるだけではなく、推定電流と検出電流の差に所定のゲインを乗じた信号を前記数式モデルに入力される電圧値に加算するオブザーバ方式を取る場合が多い。このオブザーバ方式を用いると推定電流の信号応答を所望の値に設定できたり、モータ定数の誤差に対してロバスト性を持たせる等のメリットがある。

【0005】

次に誘起電圧方式について説明する。これは永久磁石同期モータの誘起電圧に基づいて行うものであり、誘起電圧は永久磁石同期モータ回転子の磁石磁束の時間的な変化によって発生し、モータ電流やモータ電圧からモータモデルに基づいて計算できる。3相の永久磁石同期モータならば磁極位置に対して3相正弦波状の誘起電圧波形となり逆正接計算により磁極位置が計算できる。

【0006】

これらの両センサレス制御方式はどちらもモータの磁極位置やモータ速度を推定できる。またどちらの方式も計算の過程でモータに印加される電圧情報を用いる。このときオブザーバ方式は前記電圧情報に含まれるセンサレス制御系に流入する高周波電圧外乱の感度が比較的 low、比較的滑らかな推定速度や推定磁極位置を得ることができる。一方誘起電

10

20

30

40

50

圧方式は高周波電圧外乱に対する感度が非常に高く、推定速度や推定磁極位置に高周波電圧外乱成分が流入し過渡的な推定誤差を生じる場合がある。従ってセンサレス制御により永久磁石同期モータを制御する場合、誘起電圧方式よりオブザーバ方式が採用される場合が多くある。位置速度センサ故障時の停止処理においてはなるべく早く永久磁石同期モータを停止させたい場合もあるが、モータに接続された負荷装置の都合により所定の速度指令軌跡に沿って停止させたい場合もあり、このような条件では特にオブザーバ方式が採用される。なお前述した高周波電圧外乱は例えばインバータ出力電圧に含まれるPWMキャリアリプル成分やデッドタイム電圧、永久磁石同期モータが持つ誘起電圧高調波などがある。

両センサレス制御の違いとしてはさらに次に示す脱調の有無がある。オブザーバ方式は電流推定誤差フィードバックによる推定速度情報の修正という構造上、速度推定には遅れが生じる。この遅れが顕著な場合、推定磁極位置と永久磁石同期モータ磁極位置との間にずれが生じる。このずれが多くなると推定磁極位置と永久磁石同期モータの磁極位置が同期しない脱調と呼ばれる状態となる。この脱調状態となると、オブザーバ方式が非脱調状態に復帰するのは困難である。しかし誘起電圧方式はフィードバック構造を持たないため、永久磁石同期モータ磁極位置あるいはモータ速度の急変時に瞬間的な磁極位置推定誤差が発生しても、オブザーバ方式とは異なり非脱調状態に復帰することが可能である。

#### 【0007】

以上のセンサレス制御方式を適用して位置速度センサの故障検知やその後のモータ停止処理を行う場合について説明する。永久磁石同期モータでは前記の2種類のセンサレス制御方式が実施できるが、前記の高周波電圧外乱の影響により確実な位置速度センサの故障検知や安定したモータ停止制御の実現のためには、可能な限りオブザーバ方式による推定速度や推定磁極位置を用いることが望ましい。このためオブザーバ方式を動作させると次に示すような現象が発生する。位置速度センサ付制御により永久磁石同期モータが高応答に位置制御または速度制御がされる場合、適応同定をベースとしたオブザーバ方式は速度や位置の変化に追従できず脱調状態に容易になり得る。前述したようにオブザーバ方式では一度脱調すると元の同期した状態には戻りにくい。脱調状態であれば正確な速度推定や位置推定が実施できないため、位置速度センサの故障検知が実施できなくなる。このような問題に対し特許文献1に示す技術が開示されている。特許文献1に示す技術はモータ電圧とモータ電流から求めたモータ誘起電圧より計算した第1の推定速度と、モータ推定磁極位置が真の磁極位置に追従するようPLLを用いて求めた第2の推定速度の2種類を導出する。すなわち計算方式の異なる2種類の推定速度を比較して脱調検出を行うものである。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0008】

【特許文献1】特許第4198162号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0009】

位置速度センサの故障検知と故障発生時の安定したモータ停止制御処理を目的としてオブザーバ方式のセンサレス制御を適用する場合、前述した特許文献1に示す技術を用い、特許文献1に記載されたPLLによる推定部をオブザーバによる第1の推定部に置き換えることで目的が達成できる。しかしオブザーバによる第1の推定速度と誘起電圧による第2の推定速度を比較して脱調検出を行う場合、モータが可変速度運転をすると、下述のような課題が生じる。

一般にオブザーバ方式による第1の推定速度はモータ速度に対して特定の遅れ伝達特性を持つ。一方、誘起電圧方式による第2の推定速度は、永久磁石同期モータの誘起電圧波形から推定磁極位置を得て、推定磁極位置を微分することにより得るため、第1の推定速度とは、モータ速度に対する伝達特性が異なる。この伝達特性の違いは特に高周波数領域に

10

20

30

40

50

て顕著である。ここで言う「周波数」とはモータ速度が含有する成分であり、高い加速度にてモータが駆動されたり頻繁な加速と減速が実施される場合や高いジャーク（加速度の時間変化率）にてモータが駆動される場合に、モータ速度には高い周波数成分が多く含まれる。このときオブザーバの脱調（オブザーバ脱調ともいう）に至らないまでも、第１の推定速度と第２の推定速度に過渡的な差が生じる。前記第１と第２の推定速度の差でオブザーバ脱調を検知する場合は、その推定速度の差の大きさやその継続時間などの脱調検知基準を設けるが、第１と第２の推定速度の過渡的な差が発生するという原理上、モータ速度の軌跡により推定速度差の軌跡が異なるため、脱調の検知基準の設定に労力を要する課題があった。また所定のモータ速度軌跡で脱調検知基準を調整しても、異なったモータ速度軌跡ではそれが変化するため、オブザーバ脱調を誤って検知してしまう場合があった。誘起電圧方式では永久磁石同期モータの誘起電圧波形から推定磁極位置を得て、推定磁極位置を微分することにより推定速度を得る。元々誘起電圧波形は高周波電圧外乱の影響を受けやすくノイズを含んだ信号となる。さらに微分処理により高周波成分が増幅されるので、第１の推定速度と第２の推定速度を単純に比較すると、この場合もノイズにより非脱調状態にもかかわらず誤った脱調検知を行ってしまう場合があった。

10

【００１０】

本発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、永久磁石同期モータの速度が高応答に制御されている場合に、モータの回転速度と磁極位置を推定するオブザーバの脱調を高精度に検出できるモータ制御装置を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【００１１】

本発明に係るモータ制御装置においては、永久磁石同期モータの回転子速度と磁極位置を推定する推定器を備えたモータ制御装置であって、推定器は、モータモデルに基づくオブザーバと適応同定器により永久磁石同期モータの推定速度と推定磁極位置とを求める第１推定部と、モータ誘起電圧から永久磁石同期モータの推定速度と推定磁極位置とを求める第２推定部と、第１推定部の推定磁極位置および第２推定部の推定磁極位置、または第２推定部の推定速度を用いて第１推定部の推定速度および推定磁極位置のリセットの判定を行う判定・起動処理部を備え、判定・起動処理部は、第１推定部の推定磁極位置と第２推定部の推定磁極位置との差を用いて第１推定部の脱調を検知した場合、第２推定部の推定速度および推定磁極位置を用いて第１推定部の推定速度および推定磁極位置をリセットする判定を行うものである。

30

【発明の効果】

【００１２】

本発明のモータ制御装置によれば、オブザーバ方式である第１推定部からの第１推定速度と誘起電圧方式である第２推定部からの第２推定速度の差に含まれ過渡的な速度推定誤差となる高周波成分の含有量が抑制でき、脱調検知精度を向上できる。

【図面の簡単な説明】

40

【００１３】

【図１】本発明の実施の形態１におけるモータ制御装置を示すブロック図である

【図２】本発明の実施の形態１に係るモータ制御装置における判定・起動処理部の処理の流れを説明するためのフローチャートである。

【図３】本発明の実施の形態１に係るモータ制御装置における推定部における動作を整理して表した図である。

【図４】本発明の実施の形態１に係るモータ制御装置における磁極位置・速度推定器の詳細構成を示すブロック図である。

【図５】本発明の実施の形態１におけるモータ制御装置の動作を説明する説明図である。

【図６】本発明の実施の形態１に係るモータ制御装置における第１推定部の脱調時の各信

50

号波形の例を示した説明図である

【図 7】本発明の実施の形態 2 におけるモータ制御装置の動作を説明するための図である。

【図 8】本発明の実施の形態 3 におけるモータ制御装置を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

実施の形態 1 .

図 1 は本発明の実施の形態 1 を説明するブロック図であり、永久磁石同期モータの制御装置を示している。図 1 に示すモータ制御装置は、特に位置速度センサ情報に基づいて永久磁石同期モータの速度制御を行い、並行して前記位置速度センサの故障検知を実施する。さらに故障検知後にセンサレス制御に基づいて永久磁石同期モータの速度制御を継続する場合の永久磁石同期モータの制御装置の構成を示している。なお図 1 では永久磁石同期モータの制御装置だけではなく、永久磁石同期モータや位置速度センサ、速度指令を生成する上位のコントローラも示している。

【0015】

図 1 に示すように永久磁石同期モータを制御するモータ制御装置 100 は、速度制御器 1、電流制御器 2、インバータ 3、電流センサ 4、信号切替器 5、磁極位置・速度推定器 6、速度換算器 7、磁極位置換算器 8、故障検知器 9 で構成される。

また、電流制御器 2 は、電流制御部 2a、座標変換器 2b、2c、PWM 処理部 2d を有している。更に磁極位置・速度推定器 6 は、第 1 推定部 6a、第 2 推定部 6b、判定・起動処理部 6c および機械速度換算部 6d を備えている。

【0016】

次に各部の動作について説明する。速度制御器 1 では上位コントローラ 200 より送信された速度指令  $10$  ( $\ast$ ) とフィードバック速度  $15$  ( $\quad$ ) に基づいて速度制御処理が実施され、電流指令  $11$  ( $I_d \ast$ 、 $I_q \ast$ ) が出力される。電流制御器 2 は電流指令  $11$  ( $I_d \ast$ 、 $I_q \ast$ )、座標変換用位相  $16$  ( $\quad$ )、検出電流  $13$  ( $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ ) を入力して、制御処理を実施しスイッチング指令  $14$  を出力する。インバータ 3 はスイッチング指令  $14$  に従って動作し永久磁石同期モータ 300 に電力を供給する。永久磁石同期モータ 300 に流れる電流は電流センサ 4 によって検出され、検出電流  $13$  ( $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ ) として電流制御器 2 に送られる。電流制御器 2 の内部では電流制御部 2a は電流指令  $11$  ( $I_d \ast$ 、 $I_q \ast$ ) と検出電流 ( $I_d$ 、 $I_q$ ) を入力して両者の差がゼロとなるよう制御処理を行い電圧指令 ( $V_d \ast$ 、 $V_q \ast$ ) を出力する。この電圧指令 ( $V_d \ast$ 、 $V_q \ast$ ) や電流指令  $11$  ( $I_d \ast$ 、 $I_q \ast$ ) はモータ回転子の磁極位置に同期した回転座標上の信号であり、座標変換器 2b にて 3 相静止座標上へ、あるいは回転座標上の信号へそれぞれ変換される。電流センサ 4 から得た検出電流  $13$  ( $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$ ) は座標変換器 2c にて回転座標上の電流  $I_d$ 、 $I_q$  に変換される。また電圧指令 ( $V_d \ast$ 、 $V_q \ast$ ) は座標変換器 2b にて静止座標上の電圧指令  $12$  ( $V_u \ast$ 、 $V_v \ast$ 、 $V_w \ast$ ) に変換される。この座標変換処理は座標変換用位相  $16$  ( $\quad$ ) が使用される。この座標変換用位相  $16$  ( $\quad$ ) が永久磁石同期モータの磁極位置に相当する。位置速度センサ 400 より出力されたモータ位置信号  $17$  は永久磁石同期モータ 300 の回転子の機械位置である。磁極位置  $d e t$  は機械位置一回転に対しモータの極対数倍回転するので前記機械位置を単純に極対数倍すれば得られる。磁極位置換算器 8 においては前記処理を行い永久磁石同期モータ 300 の検出磁極位置  $19$  ( $d e t$ ) を出力する。速度換算器 7 はモータ位置信号  $17$  を微分して検出速度  $18$  ( $d e t$ ) を出力する。以上の速度制御器 1 や電流制御器 2 の動作や構成はよく知られた公知の技術であるため詳細な説明は省略する。

【0017】

次に故障検知器 9 と信号切替器 5 の動作について説明する。位置速度センサ 400 が故障していない通常の動作時は、検出磁極位置  $19$  ( $d e t$ ) を切替部 5b を介して座標変換用位相  $16$  ( $\quad$ ) に割り当て、検出速度  $18$  ( $d e t$ ) を切替部 5a を介してフィードバック速度  $15$  ( $\quad$ ) に割り当てることで、速度制御器 1 と電流制御器 2 を動作させ

10

20

30

40

50

る。故障検知器 9 が位置速度センサ故障の検知を行い、同センサが故障と検知される場合、故障検知信号 2 2 を発し、それに応じて信号切替器 5 が、切替部 5 a, 5 b を切替動作させて信号割り当ての変更を行う。位置速度センサ 4 0 0 の故障時は推定磁極位置 2 0 ( e s t ) を切替部 5 b を介して座標変換用位相 1 6 ( ) に割り当て、推定速度 2 1 ( e s t ) をフィードバック速度 1 5 ( ) に割り当てる。

このような構成とすると、位置速度センサ 4 0 0 の故障時でも永久磁石同期モータ 3 0 0 の運転継続が可能となる。故障検知器 9 が発する故障検知信号 2 2 は上位コントローラ 2 0 0 にも送信され、モータ停止用の速度指令パターンが速度指令 1 0 として発生される。位置速度センサ 4 0 0 の故障検知は検出磁極位置 1 9 ( d e t ) と推定磁極位置 2 0 ( e s t ) の比較により行う。例えば両者の差が所定値以上であり、その状態が所定時間以上継続したら故障と判定する方法がある。その他にも故障検知は位置速度センサ 4 0 0 の故障モードに応じて色々な方法があり、例えば位置速度センサ内部の論理信号の整合性から内部ロジック回路の異常判定を実施したり、インピーダンスの変化からケーブルの断線検知を行うなどがある。故障検知器 9 では前記の処理群をまとめて実施し位置速度センサ 4 0 0 の故障検知を行う。上記にて説明した、故障検知器 9 と信号切替器 5 の動作はセンサレス制御技術の応用例としてはよく知られた公知の技術となるため詳細な説明は省略する。

#### 【 0 0 1 8 】

次に本発明の要となる磁極位置・速度推定器 6 の構成と動作について詳細を説明する。磁極位置・速度推定器 6 は電圧指令 1 2 と検出電流 1 3 を入力して推定磁極位置 2 0 ( e s t ) と推定速度 2 1 ( e s t ) を出力する。磁極位置・速度推定器 6 は主に第 1 推定部 6 a と第 2 推定部 6 b、判定・起動処理部 6 c から構成される。第 1 推定部 6 a はオブザーバを用いた適応同定による磁極位置・速度推定動作を行い第 1 推定磁極位置 6 e と第 1 推定速度 6 f を出力する。第 2 推定部 6 b は永久磁石による誘起電圧により磁極位置・速度推定動作を行い第 2 推定磁極位置 6 g と第 2 推定速度 6 h を出力する。判定・起動処理部 6 c は第 1 推定部 6 a を安定して起動させるために、また第 1 推定部 6 a が脱調しても第 2 推定部 6 b からの情報を用いて復帰できるように、図 2 に示すフローチャートに従って判定動作を行う。判定動作の詳細は後述する。第 1 推定速度 6 f と第 2 推定速度 6 h は共に永久磁石同期モータの磁極位置の回転速度であるため、機械速度換算部 6 d にて永久磁石同期モータ極対数で割り推定機械速度の換算を行って推定速度 2 1 ( e s t ) として出力する。

#### 【 0 0 1 9 】

永久磁石同期モータ 3 0 0 に接続された位置速度センサ 4 0 0 に異常がないものとしてモータ制御装置が始動すると、判定・起動処理部 6 c は、第 2 推定部 6 b からの第 2 推定速度 6 h を入力して前記推定速度の絶対値が閾値となる所定値 t h 未満かどうかを判断し(ステップ S 2 0 1)、所定値 t h 未満では第 1 推定部 6 a へリセットを行うようリセット指示信号 6 i を出力する(ステップ S 2 0 2)。第 1 推定部 6 a ではリセット指示信号 6 i を受信しリセットが必要な場合は、内部で計算している第 1 推定磁極位置 6 e を第 2 推定磁極位置 6 g にて上書きする。

さらに第 1 推定速度 6 f を第 2 推定速度 6 h にて上書きする。リセット指示信号 6 i が発生している間は第 1 推定部 6 a ではリセット処理が継続される。このとき第 1 推定磁極位置 6 e や第 1 推定速度 6 f は第 2 推定部 6 b からの情報で上書きされるため、第 1 推定部 6 a 内のオブザーバや適応同定器の動きは停止する。

また、推定磁極位置 2 0 ( e s t ) は第 2 推定磁極位置 6 g と等しくなる。推定速度 2 1 ( e s t ) は第 2 推定速度 6 h と等しくなる。第 2 推定速度 6 h の絶対値が所定値(閾値) t h 未満ではリセット処理を継続し続ける(ステップ S 2 0 2)。なお、ステップ S 2 0 2 においてリセット指示が出された場合、ステップ S 2 0 6 においてモータ運転が終了しているか否かを判断し、モータ運転が終了していなければステップ S 2 0 1 に戻り、モータ運転が終了しておれば処理を終了する。

#### 【 0 0 2 0 】

永久磁石同期モータ300が位置速度センサ情報のフィードバックにより適切に制御され、モータ速度が上昇し第2推定速度6hの絶対値が所定値  $t_h$  となると、リセット指示を停止する。このときから第1推定部6aは元々備えられているオブザーバや適応同定器を用いて磁極位置・速度の推定動作を開始する。この第1推定部6aが動作開始する瞬間の第2推定速度6hを第1推定速度6fの初期値とする。また同瞬間の第2推定磁極位置6gを第1推定磁極位置6eの初期値として、オブザーバや適応同定器6a2の動作を開始する。これにより第1推定部を安定に起動させることができる。

さらに、第1推定磁極位置6eを第2推定磁極位置6gの差を監視し、両者の差の絶対値  $e_r$  が所定の閾値  $e_{rth}$  以上か否かを判断し(ステップS203)、絶対値  $e_r$  が所定の閾値  $e_{rth}$  以上であり、それが時間  $T_{th}$  以上継続した場合に(ステップS204)、第1推定部6aのオブザーバが脱調したものとして、判定・起動処理部6cは、リセット指示信号6iを出力する(ステップS205)。ステップS205においてリセット指示が出された場合、ステップS206においてモータ運転が終了しているか否かを判断し、モータ運転が終了していなければステップS201に戻り、モータ運転が終了しておれば処理を終了する。

#### 【0021】

なお、判定・起動処理部6cは、第1推定磁極位置6eを第2推定磁極位置6gの差に限らず、第1推定磁極位置6eを第2推定磁極位置6gの和・積・商の何れの演算結果を用いて閾値  $e_{rth}$  と比較してもよい。

#### 【0022】

また図2のフローチャート中のステップS202におけるリセット指示は、永久磁石同期モータ300の速度が第1推定部6aが安定に動作できない低い速度であることを理由とするリセット指示であり、また同図のステップS205におけるリセット指示は、第1推定部6aの脱調を検知したことを理由とするリセット指示となる。

#### 【0023】

なお、図2において、判定・起動処理部6cは、運転条件に応じて、始動時のステップS202におけるリセット指示、または脱調時のステップS205におけるリセット指示のいずれかのみを行っても良い。

#### 【0024】

図3は、図2におけるフローチャートに従った各部の動作を整理して表わしたものである。第2推定速度6hの絶対値が所定値  $t_h$  未満では第1推定部6aは停止し脱調検知も実施しない。同推定速度の絶対値が所定値  $t_h$  以上では、第1推定部6aを動作させ、脱調検知も実施する。第2推定部6bは常に動作するものとする。

#### 【0025】

センサレス制御を適用した位置速度センサの故障検知においては次に示す課題がある。オブザーバ方式は一般的にモータの回転速度が低い場合は安定に動作させることが困難であることが知られている。これは永久磁石同期モータ駆動に必要な電圧に対してインバータデッドタイム電圧などの外乱電圧が低速時ほど相対的に大きくなるためである。このため、オブザーバは永久磁石同期モータが停止状態から所定の速度へ加速する起動時にはオブザーバを自己起動させることが困難である。永久磁石同期モータ起動時にオブザーバを安定して起動させるには、外部からのモータ励磁位置情報やモータ速度情報が必要となる。これは位置速度センサ情報を用いれば可能であるが、位置速度センサはモータ起動前から故障している可能性もあり、確実な故障検知と故障発生時の安定したモータ停止制御処理の実現のためには位置速度センサ情報なしでオブザーバを起動させる必要があった。

#### 【0026】

第1推定部6aはオブザーバにもとづく構成のためゼロ速度からの自己始動は困難である。しかし位置速度センサ400の情報を用いて始動する構成とすると当然のことながら位置速度センサ400が故障していると始動ができない。同構成の場合は位置速度センサ400が故障により誤った位置情報を出力している場合は、誤った情報に基づいて始動す

10

20

30

40

50

ることになるため、第1推定磁極位置6 eや第1推定速度6 fは誤差を持ち、本来の目的である位置速度センサ故障検知やその後の停止制御処理が実施できない。第2推定部6 bは内部にフィードバック処理構造を持たないため容易に自己始動ができ、ゼロ速度を含む低速度では精度が低いものの推定磁極位置や推定速度を出力できる。本発明はこの性質を利用して第2推定部6 bからの推定情報を用いて第1推定部6 aを起動するので、前記の第1推定部6 aの自己始動困難性を解消できる。かつ第1推定部6 aの始動に際して位置速度センサ情報を用いないので、本来の目的である位置速度センサ故障検知や停止制御処理も問題なく実施できる効果がある。永久磁石同期モータの中には磁極位置に依存したモータインダクタンスの変化することを利用し、モータに高周波電流を重畳して磁極位置推定が可能な埋め込み磁石型と呼ばれる種類のものがある一方で、磁極位置に対してインダクタンス変化がない表面磁石型と呼ばれる種類のものがある。図2のフローチャートは特に表面磁石型の永久磁石同期モータに対して有効である。これは埋め込み磁石型永久磁石同期モータのような高周波電流重畳による磁極位置推定ができなくても第1推定部6 aを起動できるからである。なお図2のフローチャートは埋め込み磁石型の永久磁石同期モータに対しても適用可能であることはいうまでもない。

10

#### 【0027】

次に第1推定部6 aからの第1推定磁極位置と第2推定部6 bからの第2推定磁極位置の比較により脱調検知を行う効果について説明する。図5はモータ加速運転時の第1推定速度と第2推定速度、第1推定磁極位置と第2推定磁極位置の一例を示している。第1推定速度と第2推定速度の差がモータの加速パターンにより軌跡が変わる例を示している。図5(a)と図5(b)では加速レートが異なっており、図5(b)の方がより急加速を実施している。このとき、仮に図5(a)に基づいて第1推定速度と第2推定速度の差より、第1推定部6 aのオブザーバ脱調検知の閾値を速度差300rpm以上と設定する。しかし図5(b)の記載の通り加速レートが変化した場合、脱調が発生していなくても、前記の閾値を満たし脱調の誤検知を行ってしまう。図5に示すように第1推定速度と第2推定速度の差の軌跡はもとのモータ速度の軌跡の影響を受けるため、それが適用先により大きく変化する場合では適用先に合わせた調整作業が膨大となる。一方、第1推定磁極位置と第2推定磁極位置の差異は、最大でも第1推定部起動時の0.5[rad]に留まっており、図5(a)と図5(b)でも波形の形状の差異が少ない。これは上述したように、推定速度と推定磁極位置間の積分特性により、高周波成分が抑制された結果であり、この第1推定磁極位置と第2推定磁極位置の差に基づいて脱調検知を行うことで誤検知の少ない信頼性の高い脱調検知が実現できる。なおオブザーバの脱調を真のモータ磁極位置へ追従できない状態とすると、少なくとも第1推定磁極位置と第2推定磁極位置の差の絶対値が90度(1.5708[rad])以上となると、推定磁極位置に基づく回転座標上の各電圧・電流信号の極性が真の値に対し反転するため復帰は困難となりこれが脱調と定義できる。図6はオブザーバ脱調時の第1推定磁極位置と第2推定磁極位置の信号波形の一例である。時刻0.2[sec]にて第1推定部6 aの第1推定磁極位置にオフセット誤差を加算し脱調状態を模擬させたものである。脱調発生後、第2推定部6 bの位相が所定の周期で変化するのに対し、第1推定部6 aの位相は停止に近い状態となる。このため、第1推定磁極位置と第2推定磁極位置の差ものこぎり状となり、その絶対値が90度( / 2 [rad])以上を脱調検知の閾値とすると、継続時間の閾値は2 / / 4 [sec]となる。以上のように、推定速度の比較に対して脱調検知の閾値の設定も容易である。前記の脱調検知の閾値設定は一例であり、より各推定磁極位置の差の閾値を大きくし継続時間の閾値を長くして誤検知を抑制するほうに調整したり、その逆をして脱調検知の時間を早めることも可能である。

20

30

40

#### 【0028】

図4は第1推定部6 aと第2推定部6 bをより詳細に記載した図である。第1推定部6 aは、オブザーバ6 a 1、適応同定器6 a 2、座標変換器6 a 3、6 a 4、積分器6 a 5で構成され、第2推定部6 bは、誘起電圧計算部6 b 1、3相/2相変換部6 b 2、6 b 3、逆正接演算部6 b 4、微分器6 b 5で構成されている。

50



## 【 0 0 2 9 】

第 1 推定部 6 a では入力された電圧指令 1 2 (  $Vu^*$  ,  $Vv^*$  ,  $Vw^*$  ) と検出電流 1 3 (  $Iu$  ,  $Iv$  ,  $Iw$  ) を座標変換器 6 a 3 , 6 a 4 にて回転座標上の信号に変換する。電圧指令 1 2 は電圧信号  $Vd'$  ,  $Vq'$  に、検出電流 1 3 は電流信号  $Id'$  ,  $Iq'$  に変換される。座標変換の式は下記の式 ( 1 ) と式 ( 2 ) となる。

## 【 0 0 3 0 】

## 【数 1】

数 1

$$\begin{bmatrix} Vd' \\ Vq' \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{est1}) & \sin(\theta_{est1}) \\ -\sin(\theta_{est1}) & \cos(\theta_{est1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vu^* \\ Vv^* \\ Vw^* \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

10

## 【 0 0 3 1 】

## 【数 2】

数 2

$$\begin{bmatrix} Id' \\ Iq' \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta_{est1}) & \sin(\theta_{est1}) \\ -\sin(\theta_{est1}) & \cos(\theta_{est1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Iu \\ Iv \\ Iw \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

20

## 【 0 0 3 2 】

座標変換に用いるのは第 1 推定部 6 a の推定磁極位置 6 e であり、ここでは  $est1$  と記載している。記号「'」は推定磁極位置上の信号を示し、図 1 に記載した位置速度センサベースの磁極位置上の信号と区別するため記載している。オブザーバ ( オブザーバ計算部ともいう ) 6 a 1 は下記の式 ( 3 ) に示す回転座標上の永久磁石同期モータの回路方程式より導出される。

## 【 0 0 3 3 】

30

## 【数 3】

数 3

$$\begin{bmatrix} Vd \\ Vq \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + pL & -\omega_{re} \cdot L \\ \omega_{re} \cdot L & R + pL \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Id \\ Iq \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_{re} \cdot \Phi \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

$L$  : インダクタンス、 $R$  : 巻線抵抗、 $\omega_{re}$  : 電気角速度、 $\Phi$  : 誘起電圧定数

## 【 0 0 3 4 】

下記式 ( 4 ) にてオブザーバ処理を実施する。オブザーバ 6 a 1 や適応同定器 6 a 2 の構成は様々な方式が開発されており、ここではその一例を示す。電圧信号  $Vd'$  ,  $Vq'$  を入力として推定電流  $Idest$  ,  $Iqest$  を出力する。オブザーバ 6 a 1 はまた推定電流  $Idest$  ,  $Iqest$  と電流信号  $Id'$  ,  $Iq'$  の差異を所定倍してフィードバックする処理も実施しており、そのゲイン  $h$  はオブザーバ 6 a 1 やセンサレス制御の推定速度の推定応答や推定磁極位置の推定応答を調整するパラメータとなるが本発明の本質ではないので説明は省略する。前記のオブザーバ内部情報のリセットは、時間変化する推定変数を検出値で上書きする処理を示す。式 ( 1 ) や式 ( 2 ) で用いられる第 1 推定磁極位置 6 e (  $est1$  ) は第 2 推定磁極位置 6 g (  $est2$  ) で上書きされる。同時に式 ( 1 ) で導出される電流信号  $Id'$  ,  $Iq'$  も変化する。下記式 ( 5 ) においては、リセット時には推定電流  $Idest$  ,  $Iqest$  をそれぞれ、第 2 推定磁極位置 6 g (  $est$

40

50

2)と式(1)で計算された電流信号 $I_d'$ 、 $I_q'$ にて上書きする。推定磁束 $d_{rest}$ は誘起電圧定数で上書きする。式(5)以外のオブザーバ6a1を適用する場合も同様であり、時間変化する状態変数(推定電流)を第2推定磁極位置6g( $est2$ )を用いて座標変換した検出電流値やモータ定数で上書きする。

【0035】

【数4】

数4

$$\begin{bmatrix} \Delta Id \\ \Delta Iq \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Id_{est} - Id' \\ Iq_{est} - Iq' \end{bmatrix} \cdots \cdots \cdots (4)$$

10

【0036】

【数5】

数5

$$p \begin{bmatrix} Id_{est} \\ Iq_{est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & \omega_{est1} & 0 \\ -\omega_{est1} & -\frac{R}{L} & -\omega_{est1} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Id_{est} \\ Iq_{est} \\ \Phi_{d_{rest}} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \\ h_{31} & h_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Id_{est} - Id' \\ Iq_{est} - Iq' \end{bmatrix} \cdots \cdots \cdots (5)$$

20

$h_{11}$ 、 $h_{12}$ 、 $h_{21}$ 、 $h_{22}$ 、 $h_{31}$ 、 $h_{32}$ :オブザーバフィードバックゲイン

【0037】

適応同定器6a2は電流推定誤差 $I_d$ 、 $I_q$ を入力して推定速度6f( $est1$ )を計算する。この適応同定器6a2の処理は積分器6a5でPI(比例・積分)処理によって実施される。下記式(6)はその一例である。リセット時は比例項が保持する成分をゼロ、積分項が保持する成分を第2推定部6bによる推定速度6h( $est2$ )にて上書きする。

30

【0038】

【数6】

数6

$$\omega_{est1} = K_p \cdot \Delta Iq + Ki \int \Delta Iq \cdot dt \cdots \cdots \cdots (6)$$

$K_p$ :適応同定器比例ゲイン、 $K_i$ :適応同定器積分ゲイン

【0039】

40

式(6)による適応同定器6a2の構成は電流推定誤差 $I_q$ のみを用いた一例であり、電流推定誤差 $I_d$ も使用する他の構成方法も知られているが、比例項に相当する箇所をゼロ、積分器などの過去の数値情報を保持する箇所を推定速度6h( $est2$ )で上書きすれば同様の動作となる。

式(6)により得られた推定速度6f( $est1$ )を積分器6a5で積分することで推定磁極位置6e( $est1$ )が得られる。オブザーバ方式のセンサレス制御では電流推定誤差 $I_d$ 、 $I_q$ はオブザーバ6a1に内包されるモータ速度情報に誤りがあるため発生するという原理に基づいて処理ループが構成されるので、推定速度6f( $est1$ )はオブザーバ6a1にもフィードバックされる。式(4)に示すオブザーバ処理を行うオブザーバ6a1や適応同定器6a2について、それらの構成やフィードバックゲインの

50

設計はまた一つの技術分野が形成されており、また本発明の本質ではないので詳細な説明は省略する。ただし上述したように本質的にフィードバックによる推定機構であるため速度推定や磁極位置推定応答に限界があり、脱調という問題が発生する。

第2推定部6bは下記の式(7)に示す永久磁石同期モータの2相静止座標上の回路方程式に基づく。誘起電圧計算部6b1で計算される誘起電圧 $E_\alpha$ 、 $E_\beta$ は下記の式(8)となる。

【0040】

【数7】

数7

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + pL & 0 \\ 0 & R + pL \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_\alpha \\ E_\beta \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

10

【0041】

【数8】

数8

$$\begin{bmatrix} E_\alpha \\ E_\beta \end{bmatrix} = \omega_{re} \cdot \Phi \cdot \begin{bmatrix} -\sin(\theta_{re}) \\ \cos(\theta_{re}) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

20

$\theta_{re}$  : 電気角 (磁極位置)

【0042】

誘起電圧波形の推定用の電流信号 $I_u$ 、 $I_v$ 、電圧信号 $V_u$ 、 $V_v$ は3相/2相変換部6b2、6b3において下記の式(9)、式(10)で得る。

【0043】

【数9】

数9

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_u^* \\ V_v^* \\ V_w^* \end{bmatrix} \dots\dots\dots (9)$$

30

【0044】

【数10】

数10

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_u \\ I_v \\ I_w \end{bmatrix} \dots\dots\dots (10)$$

40

【0045】

式(7)、式(8)に示す回路方程式に基づき誘起電圧波形は下記の式(11)により推定する。推定した誘起電圧波形より逆正接演算部6b4において下記の(12)にて推

50

定磁極位置 6 g ( e s t 2 ) を導出する。第 2 推定部 6 b の推定速度 6 h ( e s t 2 ) は推定磁極位置 6 g ( e s t 2 ) を微分器 6 b 5 で時間微分することで入手できる。

【 0 0 4 6 】

【数 1 1】

数 11

$$\begin{bmatrix} E\alpha_{est} \\ E\beta_{est} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V\alpha \\ V\beta \end{bmatrix} - p \frac{1}{L} \begin{bmatrix} I\alpha \\ I\beta \end{bmatrix} - R \begin{bmatrix} I\alpha \\ I\beta \end{bmatrix} \dots\dots\dots (11)$$

10

E e s t , E e s t : 推定誘起電圧

【 0 0 4 7 】

【数 1 2】

数 12

$$\theta_{est2} = \tan^{-1} \left( - \frac{E\beta_{est}}{E\alpha_{est}} \right) \dots\dots\dots (12)$$

20

【 0 0 4 8 】

図 2 に示すフローチャートに基づく判定・起動処理部 6 c の動作の信号処理面での作用効果は次に説明するとおりである。即ち、1 番目の効果としては、第 1 の推定磁極位置と第 2 の推定磁極位置の比較により第 1 推定部 6 a のオブザーバの脱調検知精度を向上できる。またオブザーバの脱調を検知した場合、誘起電圧方式の第 2 推定部 6 b からの推定速度や推定磁極位置情報を用いてリセット処理を行うので、脱調からの復帰ができるとともに、磁極位置・速度推定器 6 全体の動作として推定磁極位置や推定速度の出力が継続できる。さらにモータ停止時からの自己起動可能な第 2 推定部からの推定速度や推定磁極位置情報を用いて第 1 推定部 6 a の起動時の初期値とすることで、モータ停止時を含む低速時の動作が困難な第 1 推定部 6 a の起動が安定に、かつ、その他外部からのモータ位置あるいは速度情報なしに実現できる。

30

【 0 0 4 9 】

以上に説明した磁極位置・速度推定器 6 の利用は、サーボモータ向けの駆動システムのような位置速度センサ付制御で高応答な位置あるいは速度制御がなされるモータ制御装置において、位置速度センサ 4 0 0 の故障検知と減速停止制御を確実に実施するときに特に効果がある。サーボモータでは位置あるいは速度制御が 5 0 0 H z や 1 k H z といった高応答で実施されるためモータ速度の変化が激しく第 1 推定部 6 a のオブザーバの脱調が容易に発生するが、脱調が発生しても磁極位置・速度推定器 6 の利用により推定磁極位置や推定速度の入手が継続できるため、位置速度センサ 4 0 0 の故障検知が継続できる。磁極位置・速度推定器 6 全体としてその他外部からのモータ位置あるいは速度情報に依存しないため、故障検知処理のロバスト化が達成できる。特に前記のサーボモータでは表面磁石型の永久磁石同期モータが利用されることが多い。このとき埋め込み磁石型の永久磁石同期モータとは異なり高周波電流重畳による磁極位置推定ができないが、本発明の構成を利用することにより第 1 推定部 6 a のオブザーバの起動が安定して実施できる。故障検知後の減速停止制御では、可能な限り第 1 推定部 6 a からの推定磁極位置、推定速度に基づいてモータ制御を行うため、サーボモータの負荷装置が要求する速度指令軌跡に沿って滑らかな速度制御が実現できる。

40

【 0 0 5 0 】

以上のように、オブザーバ方式、誘起電圧方式のどちらのセンサレス制御方式において

50

も推定磁極位置は推定速度に対して積分相当の関係となる。従ってモータ速度を起因として、オブザーバ方式である第1推定部からの第1推定速度と誘起電圧方式である第2推定部からの第2推定速度の差に含まれ過渡的な速度推定誤差となる高周波成分が、第1推定磁極位置と第2推定磁極位置の差においては、前記積分特性により抑制される。この高周波成分が脱調検知精度の低下を招いていたが、第1推定磁極位置と第2推定磁極位置の差に基づいて検知を行うことで、前記高周波成分の含有量が推定速度と推定磁極位置間の積分特性により抑制でき、脱調検知精度を向上できる。

【0051】

また、特に第2推定速度に含まれる高周波電圧外乱起因の高周波成分が原因となる脱調検知精度低下の防止に対しても同様の効果がある。

10

更に、第2推定部はフィードバック構造を持たないため、永久磁石同期モータが停止状態から起動する際にも、外部の情報を必要とせず推定磁極位置や推定速度を出力することが可能である。このため、第2推定部からの推定情報を用いることで、第1推定部のオブザーバを起動して、適切な故障検知や滑らかな停止制御処理が実現できる。

【0052】

要するに、永久磁石同期モータの回転子速度と磁極位置を推定する推定器は、モータモデルに基づくオブザーバと適応同定器により永久磁石同期モータの推定速度と推定磁極位置とを求める第1推定部と、モータ誘起電圧から永久磁石同期モータの推定速度と推定磁極位置とを求める第2推定部と、第1推定部の推定磁極位置および第2推定部の推定磁極位置、または第2推定部の推定速度を用いて第1推定部の推定速度および推定磁極位置のリセットの判定を行う判定・起動処理部を備えたことにより、永久磁石同期モータの速度が高応答に制御されている場合に、モータの回転子速度と磁極位置を推定するオブザーバの脱調を高精度に検出できる。

20

【0053】

また、判定・起動処理部は、第1推定部の推定磁極位置および第2推定部の推定磁極位置を用いて第1推定部の脱調を検知した場合、第2推定部の推定速度および推定磁極位置を用いて第1推定部の推定速度および推定磁極位置をリセットする判定を行うことにより、永久磁石同期モータの速度が高応答に制御されている場合に、オブザーバの脱調が発生してもモータの回転子速度を磁極位置の推定が継続できる。

【0054】

30

また、判定・起動処理部は、第2推定部の推定速度の絶対値が予め定められた値を超えた場合に、第2推定部の推定速度および推定磁極位置を用いて第1推定部の推定速度および推定磁極位置をリセットする判定を行い第1推定部を起動させることにより、磁気突極性を持たない永久磁石同期モータの制御システムにおいて、永久磁石同期モータに接続された位置速度センサ(位置検出器)の情報を用いずにオブザーバを起動することができる。

【0055】

なお、本実施の形態1においては、判定・起動処理部は、第1推定部の推定磁極位置および第2推定部の推定磁極位置を用いて第1推定部の脱調を検知した場合、第2推定部の推定速度および推定磁極位置を用いて第1推定部の推定速度および推定磁極位置をリセットする判定と、第2推定部の推定速度の絶対値が予め定められた値を超えた場合に、第2推定部の推定速度および推定磁極位置を用いて第1推定部の推定速度および推定磁極位置をリセットする判定を共に行う構成について示したが、これらは第1推定部の脱調の検知の機能と、第1推定部の起動の機能となるため、機能としては独立しており、それぞれ片方のみで使用してもよい。

40

【0056】

なお以上に説明した本発明の構成は永久磁石同期モータの機種に関わらず、また巻線界磁型の同期モータでも適用可能であることは言うまでもない。

【0057】

実施の形態2.

本発明の実施の形態2について説明する。モータ制御装置内部の電流制御器2が次に説

50

明するような条件では、本発明の構成は特に有効である。インバータ 3 は図 1 に記載した電流制御器 2 における PWM 処理部 2 d からスイッチング指令 1 4 を受けて動作し、その結果、永久磁石同期モータ 3 0 0 には矩形波状の電圧が印加される。この矩形波状の電圧には永久磁石同期モータを駆動する成分の他に PWM リプル成分が含まれる。これによりモータを流れる電流には PWM 起因のリプルが含まれる。スイッチング指令 1 4 は電圧指令 1 2 とキャリア波の大小比較にて生成される。キャリア波は三角波が選択されることが極めて多い。電流制御器 2 が電流センサ 4 からの検出電流（信号）1 3 を取り込む場合、所定の周期でサンプリングを実施するが、前記の電流リプルが電流サンプリング値に含まれることを回避するために、三角波の山タイミングまたは谷タイミングに同期して電流サンプリングが実施される。ところが場合によっては、電流制御器 2 の動作が三角波の山・谷タイミングに同期しなかったり、三角波よりも高速に動作する場合がある。このとき検出電流 1 3 には多くの電流リプルが含まれる。またこの電流リプルをキャンセルすべく電流制御器 2 の電流制御部 2 a が動作するので電圧指令 1 2 も脈動する。このため磁極位置・速度推定器 6 にも、電圧指令 1 2 と検出電流 1 3 を介して PWM 起因の外乱信号が多量に入力される。ここで第 2 推定部 6 b における磁極位置推定の過程においては、式（11）から明らかなように電流の微分が含まれる。また第 2 推定速度  $est2$  も第 2 推定磁極位置  $est2$  の微分で導出されるため、第 2 推定速度  $est2$  には多くの外乱成分が含まれる。図 7 は、第 2 推定速度が PWM 起因の電流リプルにより脈動する例を示している。図 7 はその動作例であり、キャリア周波数 4.5 kHz、電流制御器 2 の動作周期を 100 kHz とした場合の結果である。電流制御器 2 は三角波よりも早い周期で動作し、かつその山谷に同期していない。このため前記のプロセスにより、第 2 推定速度  $est2$  はモータ速度が一定にもかかわらず脈動しており、第 1 推定速度  $est1$  と第 2 推定速度  $est2$  も脈動が顕著であり、これに基づく脱調の誤検知の可能性がある。しかし第 1 推定磁極位置  $est1$  と第 2 推定磁極位置  $est2$  の差は 0.5 [rad] 以下に保たれており、同磁極位置の差より脱調検知を行い、実施の形態 1 にて説明したような脱調検知の閾値とすると、誤検知を防止することができる。

#### 【0058】

サーボモータ向けの駆動システムでは、位置制御応答の高応答化または速度制御応答の高応答化を目的として、それらのマイナーループである電流制御応答の高応答化を行う。このときキャリアである三角波より高い周期で電流制御器 2 が動作し、図 7 のような動作状態が顕著に発生する。このような場合でも第 1 推定磁極位置  $est1$  と第 2 推定磁極位置  $est2$  の比較により脱調の誤検知を抑制することが可能となる。

#### 【0059】

実施の形態 3 .

次に本発明の実施の形態 3 について説明する。図 8 は実施の形態 3 におけるモータ制御装置の構成を示している。

実施の形態 1 では図 1 に記載したモータ制御装置内の特定の機能を持った各構成要素が連携して動作し、課題の解決を図るものとして説明したが、プロセッサ上で実行されるプログラムの信号処理とプロセッサ上に設けられた論理回路における信号処理の結果、機能が実現される構成としてもよい。図 8 はその構成図であり、図中のプロセッサ 2 3 はプログラムを記憶装置 2 4 より読み出して、実行する。またプロセッサ 2 3 は、その処理の過程で一時的に記憶すべき情報を書き込んだり読み出しを行う。

#### 【0060】

プロセッサ 2 3 によりプログラムが実行されて実現される処理は、実施の形態 1 を示す図 1 における速度制御器 1、電流制御器 2、インバータ 3、電流センサ 4、速度換算器 7、磁極位置換算器 8、信号切替器 5、故障検知器 9、磁極位置・速度推定器 6 と同じとなる。推定磁極位置 2 0 (  $est$  )、推定速度 2 1 (  $est$  )、座標変換用位相 1 6 ( )、フィードバック速度 1 5 ( )、故障検知信号 2 2、電圧指令 1 1、検出磁極位置 1 9 (  $det$  )、検出速度 1 8 (  $det$  )、電圧指令 1 2 は記憶装置 2 4 に一時的に記憶される情報として実現される。速度指令 1 0 は上位コントローラ 2 0 0 から通信によ

り送信されるが同様に記憶装置 24 に一時的に記憶される情報として実現される。電流制御器 2 内部の PWM 処理部 2 d についてはプロセッサ上に設けられた論理回路にて実現されるためスイッチング指令 14 は前記論理回路上の信号となる。故障検知信号 22 はプロセッサ 23 から通信にて上位コントローラ 200 へ送信される。プロセッサ上で実行されるプログラムの信号処理とプロセッサ上に設けられた論理回路における信号処理の結果、機能が実現される構成としても実施の形態 1 で示すような効果が得られる。

【0061】

本発明は、その発明の範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略することができる。

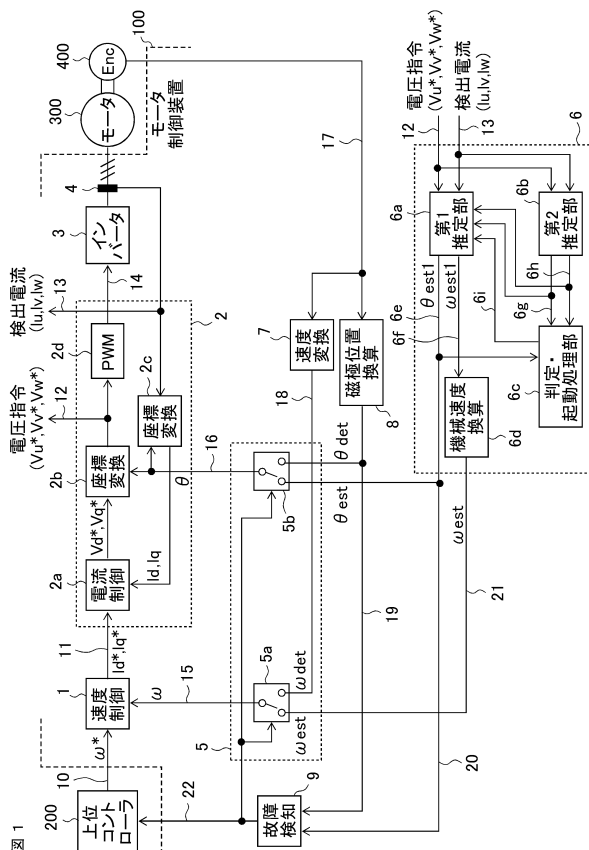
【符号の説明】

【0062】

1 速度制御器、2 電流制御器、6 磁極位置・速度推定器、6 a 第 1 推定部、6 a 1 オブザーバ、6 a 2 適応同定器、6 b 第 2 推定部、6 c 判定・起動処理部、9 故障検知器、100 モータ制御装置

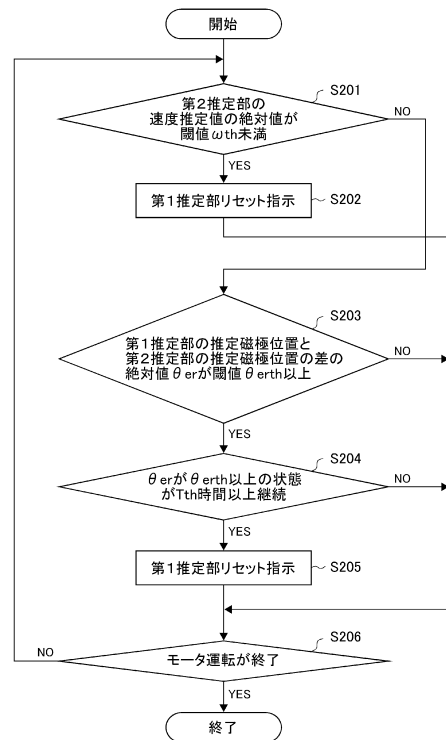
10

【図 1】



【図 2】

図 2



【図 3】

図 3

	第1 推定部	第2 推定部	脱調 検知
第2推定速度の 絶対値が $\omega_{th}$ 未満	停止	動作	非実施
第2推定速度の 絶対値が $\omega_{th}$ 以上	動作	動作	実施

【図 4】

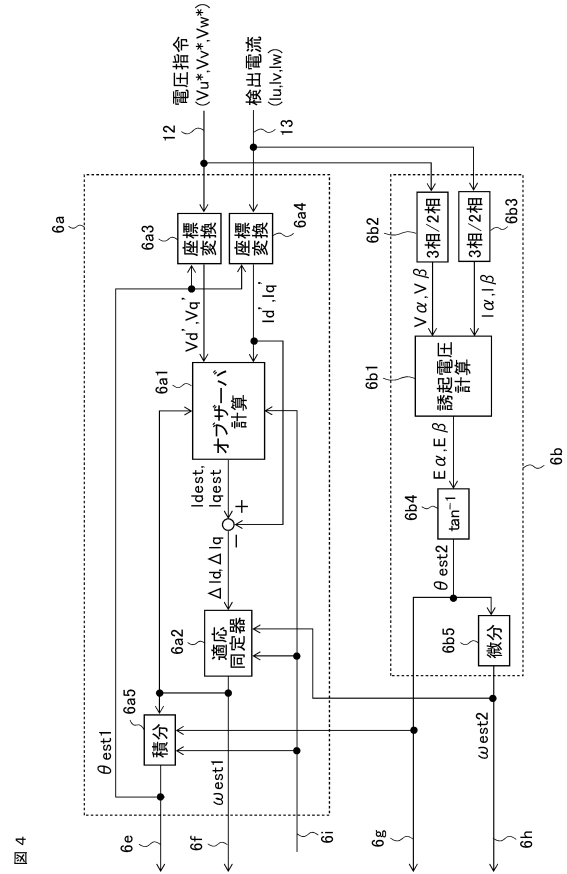


図 4

【図 5】

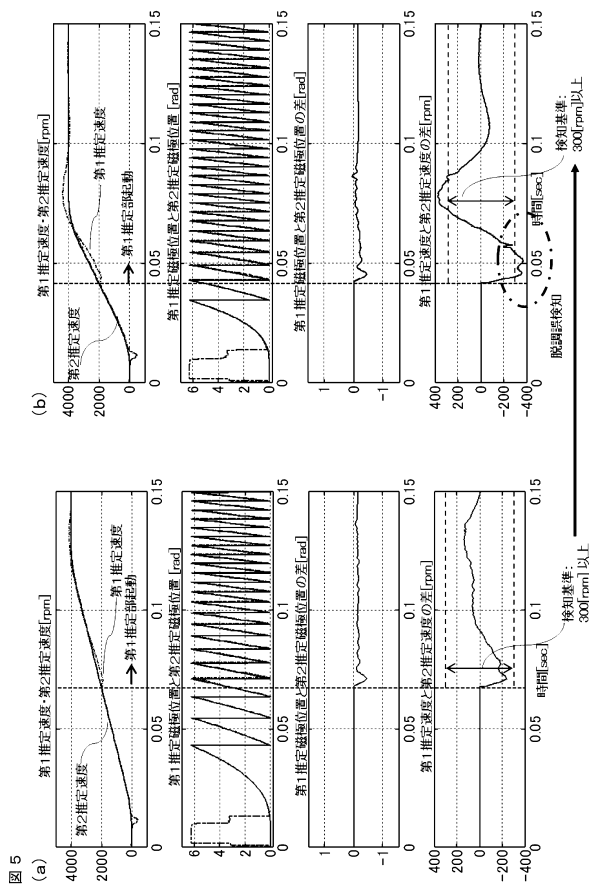
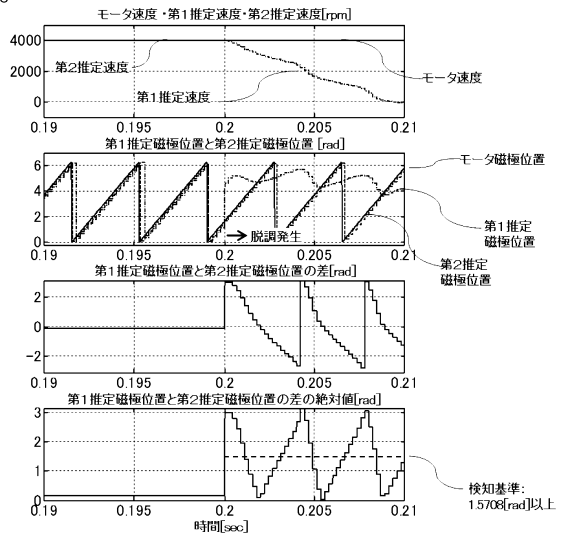


図 5

【図 6】

図 6





【図 7】

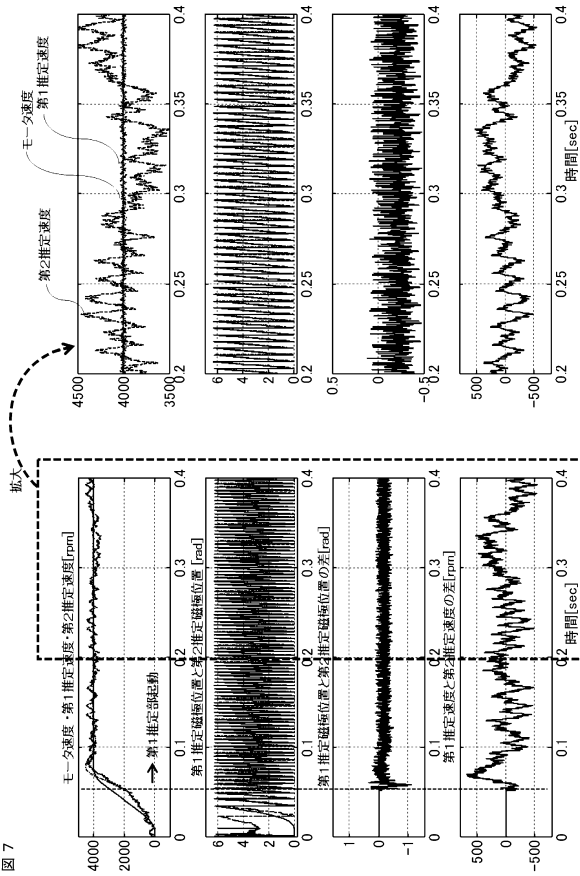


図 7

【図 8】

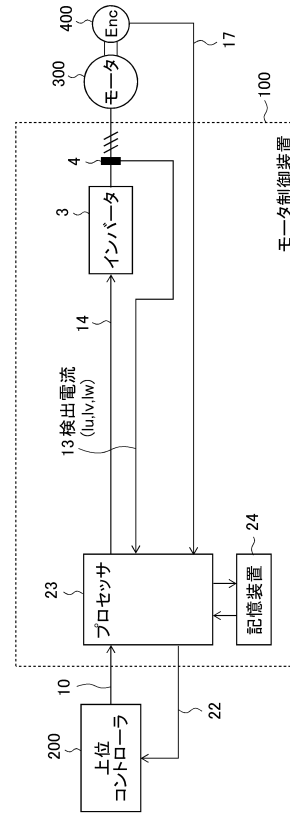


図 8

---

フロントページの続き

(72)発明者 五十嵐 裕司  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 池田 貴俊

(56)参考文献 特開2008-220169(JP,A)  
国際公開第2015/059769(WO,A1)  
特開2006-149122(JP,A)  
特開2001-197769(JP,A)  
米国特許出願公開第2001/0007416(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H02P 6/18  
H02P 6/20