

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4486195号  
(P4486195)

(45) 発行日 平成22年6月23日(2010.6.23)

(24) 登録日 平成22年4月2日(2010.4.2)

(51) Int. Cl. F 1  
H02P 6/18 (2006.01) H02P 6/02 371T

請求項の数 9 (全 24 頁)

|           |                              |           |                  |
|-----------|------------------------------|-----------|------------------|
| (21) 出願番号 | 特願平11-343686                 | (73) 特許権者 | 000005821        |
| (22) 出願日  | 平成11年12月2日(1999.12.2)        |           | パナソニック株式会社       |
| (65) 公開番号 | 特開2001-169591(P2001-169591A) |           | 大阪府門真市大字門真1006番地 |
| (43) 公開日  | 平成13年6月22日(2001.6.22)        | (74) 代理人  | 100081422        |
| 審査請求日     | 平成18年6月20日(2006.6.20)        |           | 弁理士 田中 光雄        |
|           |                              | (74) 代理人  | 100100158        |
|           |                              |           | 弁理士 鮫島 睦         |
|           |                              | (74) 代理人  | 100091524        |
|           |                              |           | 弁理士 和田 充夫        |
|           |                              | (74) 代理人  | 100125874        |
|           |                              |           | 弁理士 川端 純市        |
|           |                              | (74) 代理人  | 100113170        |
|           |                              |           | 弁理士 稲葉 和久        |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位置センサレスモータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

永久磁石が配置され回転自在に支持されたロータと、前記ロータに近接して配置されたステータと、前記ステータに巻回された相巻線と、を有するブラシレスモータを制御する位置センサレスモータ制御装置であって、

前記相巻線に印加する電圧の指令値を表す電圧指令値に基づき電圧を印加する駆動手段と、

前記ブラシレスモータを起動させるための複数の起動手段と、

前記相巻線に流れる電流を零に制御するための電圧指令値を作成する電流零制御部と、

前記電流零制御部の作成した前記電圧指令値に基づき前記複数の起動手段から1つの起動手段を選択する選択手段と、を具備し、

前記選択手段において選択された起動手段において、前記相巻線に流れる電流を零にする前記電圧指令値に基づき前記ロータの角度と速度とを演算するよう構成された位置センサレスモータ制御装置。

【請求項2】

前記複数の起動手段は、高速時にブラシレスモータを起動させるための第1の起動手段と、低速時に前記ブラシレスモータを起動させるための第2の起動手段と、を有し、

前記選択手段は、前記相巻線に流れる電流を零に制御したときの前記電圧指令値がしきい値より大きいとき前記第1の起動手段を選択し、前記相巻線に流れる電流を零に制御したときの前記電圧指令値がしきい値より小さいとき前記第2の起動手段を選択するよう構

10

20

成された請求項 1 に記載の位置センサレスモータ制御装置。

【請求項 3】

前記第 2 の起動手手段が前記ブラシレスモータのロータの回転に伴うインダクタンスの変化を利用するよう構成された請求項 2 に記載の位置センサレスモータ制御装置。

【請求項 4】

前記第 2 の起動手手段が磁束の飽和を利用するよう構成された請求項 2 に記載の位置センサレスモータ制御装置。

【請求項 5】

前記第 1 の起動手手段が、前記相巻線に流れる電流を零にするように前記電圧指令値を制御して、前記電圧指令値に基づき前記ロータの角度と速度とを演算し、

前記第 2 の起動手手段が、前記相巻線に流れる電流を零にするように制御し、前記ロータの回転に伴うインダクタンスの変化を利用して前記ロータの角度と速度とを演算するよう構成された請求項 2 に記載の位置センサレスモータ制御装置。

10

【請求項 6】

前記第 1 の起動手手段が、前記相巻線に流れる電流を零にするように前記電圧指令値を制御して、前記電圧指令値に基づき前記ロータの角度と速度とを演算し、

前記第 2 の起動手手段が、前記相巻線に流れる電流を零にするように制御し、磁束の飽和を利用して前記ロータの角度と速度とを演算するよう構成された請求項 2 に記載の位置センサレスモータ制御装置。

【請求項 7】

前記第 1 の起動手手段は、前記電圧指令値に基づき誘起電圧を推定し、前記ロータの角度と速度とを演算するよう構成された請求項 2 に記載の位置センサレスモータ制御装置。

20

【請求項 8】

前記第 2 の起動手手段は、電圧パルスを印加したときの電流応答に基づき、前記ロータの角度と速度とを演算するよう構成された請求項 2 に記載の位置センサレスモータ制御装置。

【請求項 9】

前記電流零制御部が、前記相巻線に流れる電流値が零を示す電流指令値となるように比例積分制御を用いて電圧指令値を作成するよう構成された請求項 2 に記載の位置センサレスモータ制御装置。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、位置センサを用いることなくブラシレスモータをスムーズに起動させる位置センサレスモータ制御装置であり、特に、ロータが回転状態であっても、ブラシレスモータをスムーズに起動させることができる位置センサレスモータ制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

ブラシレスモータは、界磁に永久磁石を使用するため高効率であり、機械的な転流機構を用いないため保守性に優れている。そのため、ブラシレスモータはファン用やポンプ用など様々な用途に使用されている。

40

しかし、ブラシレスモータは、ロータの回転に同期して、ステータの相巻線に電流を流す必要がある。

このようなブラシレスモータを駆動制御する従来のモータ制御装置においては、ブラシレスモータに取り付けられたホール素子、レゾルバ、あるいは光エンコーダなどの位置センサを用いてロータの角度情報を得ていた。したがって、このような位置センサを設ける必要がある分、従来のブラシレスモータはコストが上昇し、大型化していた。

【0003】

このような位置センサを省略することにより、低コスト化と小型化とを実現した従来の位置センサレスモータ制御装置としては、電気学会論文集、D 1 1 7 巻、1号、平成 9 年、

50

98頁～104頁に記載されたものと、電気学会研究会資料、半導体電力変換研究会、SPC-97-7、37頁～42頁に記載されたものが知られている。以下、これらの従来の位置センサレスモータ制御装置について説明する。

【0004】

前者の従来の位置センサレスモータ制御装置は、ある程度の速さでの回転時において、ブラシレスモータのロータの角度を推定するものである。

この従来の位置センサレスモータ制御装置は、まず、相巻線に流れる相電流を検知し、これらの相電流値を座標変換して、軸電流値  $i$  と軸電流値  $i$  とを作成する。次に、ブラシレスモータのモデルを示すd軸とq軸の電圧方程式にモータ定数をあてはめ、軸電流モデル値  $i_m$  と軸電流モデル値  $i_m$  とを作成する。さらに、これらの電流値と電流モデル値との誤差である軸電流誤差値  $i$  と軸電流誤差値  $i$  とを作成する。そして、これらの電流誤差値に基づき推定角度と推定誘起電圧とを補正する。このようにして作成した推定角度を用いて相巻線に所定の電流を流し、ロータを所定の向きに回転させていた。

10

【0005】

一方、後者の従来の位置センサレスモータ制御装置は、停止時、あるいは低速時において、突極性を有するブラシレスモータのロータの角度を推定するものである。

この従来の位置センサレスモータ制御装置は、まず、軸に電圧パルス印加する。次に、この電圧パルスによる相電流の電流応答を検知し、これらの相電流の電流応答を座標変換して、軸電流応答  $i$  と軸電流応答  $i$  とを作成する。ところで、突極性を有するブラシレスモータは、ロータの回転に応じて、インダクタンスが変化する。そこで、インダクタンスにより電流応答が変化することを利用して、これらの軸電流応答  $i$  と軸電流応答  $i$  とに基づき推定角度を作成する。このようにして作成した推定角度を用いて相巻線に電流を流し、ロータを所定の向きに回転させていた。

20

【0006】

また、起動時に停止しているモータを高速で回転させるためには、以下の方法により駆動する。

まず、後者の従来の位置センサレスモータ制御装置で用いられる方式で起動する。次に、適宜、前者の従来の位置センサレスモータ制御装置で用いられる方式に切り替えて、高速まで加速して回転させる。

30

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

ブラシレスモータをファン用に使用した場合等において、起動時に強い風がふいているとき、その風の影響でモータが回転する場合がある。このようにモータが起動時に回転している場合、前述のように起動時に停止している場合と同様に、後者の従来の位置センサレスモータ制御装置に用いられている方式により起動すると、スムーズに起動させることはできなかった。

本発明は、起動時においてロータが回転している場合であっても、ブラシレスモータをスムーズに起動させることができる位置センサレスモータ制御装置を実現することを目的とする。

40

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本発明に係る第1の観点の位置センサレスモータ制御装置は、永久磁石が配置され回転自在に支持されたロータと、前記ロータに近接して配置されたステータと、前記ステータに巻回された相巻線と、を有するブラシレスモータを制御する位置センサレスモータ制御装置であって、

前記相巻線に印加する電圧の指令値を表す電圧指令値に基づき電圧を印加する駆動手段と、

前記ブラシレスモータを起動させるための複数の起動手段と、

前記相巻線に流れる電流を零に制御するための電圧指令値を作成する電流零制御部と、

50

前記電流零制御部の作成した前記電圧指令値に基づき前記複数の起動手手段から1つの起動手手段を選択する選択手段と、を具備し、

前記選択手段において選択された起動手手段において、前記相巻線に流れる電流を零にする前記電圧指令値に基づき前記ロータの角度と速度とを演算するよう構成されている。

この構成により、第1の観点の位置センサレスモータ制御装置は、電流を零に制御したときの電圧指令値の大きさにより適切な起動手手段を選択し動作させることにより、ロータが回転していても、ブラシレスモータをスムーズに起動する位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。また、第1の観点の位置センサレスモータ制御装置は、起動期間において、電流を零に制御することにより、トルクを発生しない位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。

10

【0009】

本発明に係る第2の観点の位置センサレスモータ制御装置は、前記第1の観点における前記複数の起動手手段が、高速時にブラシレスモータを起動させるための第1の起動手手段と、低速時に前記ブラシレスモータを起動させるための第2の起動手手段と、を有し、

前記選択手段は、前記相巻線に流れる電流を零に制御したときの前記電圧指令値がしきい値より大きいとき前記第1の起動手手段を選択し、前記相巻線に流れる電流を零に制御したときの前記電圧指令値がしきい値より小さいとき前記第2の起動手手段を選択するよう構成されている。

この構成により、第2の観点の位置センサレスモータ制御装置は、誘起電圧と等価な電圧指令値により起動手手段を選択することにより、温度変化などで誘起電圧が変化しても、常に最適な起動手手段を選択することが可能な位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。

20

【0010】

本発明に係る第3の観点の位置センサレスモータ制御装置は、前記第2の観点における前記第2の起動手手段を、前記ブラシレスモータのロータの回転に伴うインダクタンスの変化を利用するよう構成してもよい。この構成により、起動期間において、電流を零に制御することにより、トルクを発生しない位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。

【0011】

本発明に係る第4の観点の位置センサレスモータ制御装置は、前記第2の観点における前記第2の起動手手段を、磁束の飽和を利用するよう構成してもよい。この構成により、起動期間において、電流を零に制御することにより、トルクを発生しない位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。

30

【0012】

本発明に係る第5の観点の位置センサレスモータ制御装置は、前記第2の観点における前記第1の起動手手段が、前記相巻線に流れる電流を零にするように前記電圧指令値を制御して、前記電圧指令値に基づき前記ロータの角度と速度とを演算し、

前記第2の起動手手段が、前記相巻線に流れる電流を零にするように制御し、前記ロータの回転に伴うインダクタンスの変化を利用して前記ロータの角度と速度とを演算するよう構成されている。

40

この構成により、電流を零に制御したときの電圧指令値の大きさにより適切な起動手手段を選択し動作させることにより、ロータが回転していても、ブラシレスモータをスムーズに起動する位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。また、この構成により、誘起電圧と等価な電圧指令値により起動手手段を選択することにより、温度変化などで誘起電圧が変化しても、常に最適な起動手手段を選択する位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。さらに、この構成により、起動期間において、電流を零に制御することにより、トルクを発生しない位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。

【0013】

本発明に係る第6の観点の位置センサレスモータ制御装置は、前記第2の観点における前記第1の起動手手段が、前記相巻線に流れる電流を零にするように前記電圧指令値を制御

50

して、前記電圧指令値に基づき前記ロータの角度と速度とを演算し、

前記第2の起動手段が、前記相巻線に流れる電流を零にするように制御し、磁束の飽和を利用して前記ロータの角度と速度とを演算するよう構成されている。

この構成により、電流を零に制御したときの電圧指令値の大きさにより適切な起動部を選択し動作させることにより、ロータが回転していても、ブラシレスモータをスムーズに起動する位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。また、この構成により、誘起電圧と等価な電圧指令値により起動部を選択することにより、温度変化などで誘起電圧が変化しても、常に最適な起動部を選択する位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。さらに、この構成により、起動期間において、電流を零に制御することにより、トルクを発生しない位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。

10

本発明に係る第7の観点の位置センサレスモータ制御装置は、前記第2の観点における前記第1の起動手段を、前記電圧指令値に基づき誘起電圧を推定し、前記ロータの角度と速度とを演算するよう構成してもよい。

本発明に係る第8の観点の位置センサレスモータ制御装置は、前記第2の観点における前記第2の起動手段を、電圧パルスを印加したときの電流応答に基づき、前記ロータの角度と速度とを演算するよう構成してもよい。

本発明に係る第9の観点の位置センサレスモータ制御装置は、前記第2の観点における前記電流零制御部(60)が、前記相巻線に流れる電流値( $i_d$ ,  $i_q$ )が零を示す電流指令値( $i_d^*$ ,  $i_q^*$ )となるように比例積分制御を用いて電圧指令値を作成するよう構成された請求項2に記載の位置センサレスモータ制御装置。

20

【0014】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る位置センサレスモータ制御装置の一実施の形態である具体的な実施例について添付の図面を参照して説明する。

【0015】

《実施例1》

以下、本発明の実施例1である位置センサレスモータ制御装置について説明する。実施例1の位置センサレスモータ制御装置は、電流を0に制御したときの電圧の大きさに基づき高速用起動部あるいは低速用起動部のうち1つを選択し動作させるものである。

【0016】

まず、実施例1の位置センサレスモータ制御装置の構成を説明する。図1は、実施例1における位置センサレスモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

30

ブラシレスモータ1には、電磁鋼板から構成されたステータ(図示せず)と、相電流が流れ被覆銅線から構成されステータに巻回された相巻線2u、2v、2wと、このステータに対向し近接して配置されたロータ3とが設けられている。ここで、相巻線2u、2v、2wはY結線(各相巻線2u、2v、2wの片端が1点で接続される結線)されている。ロータ3は、電磁鋼板から構成されたロータヨーク4とこのロータヨーク4の内部に配置された永久磁石5とロータヨーク4と同一の回転中心を持つシャフト6とから構成されている。このロータ3は回転自在に支持され、相電流により生成される磁束と永久磁石5による磁束との相互作用によりロータ3が回転する。

40

【0017】

実施例1の位置センサレスモータ制御装置は、マイクロコンピュータ(以下、マイコンと略称)10と、相巻線2u、2vに流れる相電流をそれぞれ検知してアナログu相電流値 $i_{ua}$ とアナログv相電流値 $i_{va}$ をそれぞれ出力する電流センサ8u、8vと、スイッチング指令信号 $g_{uh}$ 、 $g_{ul}$ 、 $g_{vh}$ 、 $g_{vl}$ 、 $g_{wh}$ 、 $g_{wl}$ が入力されて相巻線2u、2v、2wに印加する電圧を制御する駆動部9とを具備している。

【0018】

マイコン10には、アナログu相電流値 $i_{ua}$ とアナログv相電流値 $i_{va}$ がそれぞれ入力され、u相電流値 $i_u$ とv相電流値 $i_v$ をそれぞれ出力するADC(アナログ・デジタル・コンバータ)11uとADC11vが設けられている。また、マイコン10は、u相

50

電流値  $i_u$  と  $v$  相電流値  $i_v$  とが入力されて  $u$  相電圧指令値  $v_{u*}$  と  $v$  相電圧指令値  $v_{v*}$  と  $w$  相電圧指令値  $v_{w*}$  とを出力するモータ制御部 12 と、  $u$  相電圧指令値  $v_{u*}$  と  $v$  相電圧指令値  $v_{v*}$  と  $w$  相電圧指令値  $v_{w*}$  とが入力されてスイッチング信号  $g_{uh}$ 、  $g_{ul}$ 、  $g_{vh}$ 、  $g_{vl}$ 、  $g_{wh}$ 、  $g_{wl}$  を出力する PWM 制御部 13 とを有している。

【0019】

モータ制御部 12 は、機能的に、選択部 20 と、高速用起動部 30 と、低速用起動部 40 と、運転部 50 と、電流零制御部 60 とから構成される。このモータ制御部 12 は、ハード的に、CPU、ROM、RAM、タイマ、ポート、およびこれらをつなぐバスなどから構成される。

【0020】

図 2 は、実施例 1 における駆動部 9 の構成を示す回路図である。図 2 に示すように、駆動部 9 には、電源 91 と、コレクタが電源 91 の正極に接続され、エミッタが相巻線 2u、2v、2w にそれぞれ接続された上側 IGBT (絶縁ゲート・バイポーラ・トランジスタ) 92u、92v、92w と、これらの上側 IGBT 92u、92v、92w にそれぞれ逆並列接続された上側フライホイールダイオード 93u、93v、93w が設けられている。また、駆動部 9 には、コレクタがステータ巻線 2u、2v、2w にそれぞれ接続され、エミッタが電源 91 の負極に接続された下側 IGBT 94u、94v、94w と、これらの下側 IGBT 94u、94v、94w にそれぞれ逆並列接続された下側フライホイールダイオード 95u、95v、95w と、スイッチング指令信号  $g_{uh}$ 、 $g_{ul}$ 、 $g_{vh}$ 、 $g_{vl}$ 、 $g_{wh}$ 、 $g_{wl}$  に基づきそれぞれ上側 IGBT 92u、92v、92w のゲート電圧と下側 IGBT 94u、94v、94w のゲート電圧とを制御するプリドライバ器 96 が設けられている。

【0021】

次に、実施例 1 の位置センサレスモータ制御装置の動作について説明する。

図 1 に示したマイコン 10 におけるモータ制御部 12 は、本発明の特徴であり、ブラシレスモータ 5 の起動制御および運転制御を行う。この動作の詳細については後述する。

【0022】

電流センサ 8u、8v は、それぞれ相巻線 2u、2v に流れる電流を検知し、アナログ  $u$  相電流値  $i_{ua}$ 、アナログ  $v$  相電流値  $i_{va}$  を作成する。作成されたアナログ  $u$  相電流値  $i_{ua}$  とアナログ  $v$  相電流値  $i_{va}$  は、ADC 11u と ADC 11v に入力される。ADC 11u、ADC 11v は、それぞれアナログ値であるアナログ  $u$  相電流値  $i_{ua}$ 、アナログ  $v$  相電流値  $i_{va}$  をデジタル値である  $u$  相電流値  $i_u$ 、 $v$  相電流値  $i_v$  に変換する。

【0023】

マイコン 10 における PWM 制御部 13 は、 $u$  相電圧指令値  $v_{u*}$  と  $v$  相電圧指令値  $v_{v*}$  と  $w$  相電圧指令値  $v_{w*}$  とをパルス幅変調 (PWM: Pulse Width Modulation) する。PWM 制御部 13 においては、ある設定された周波数と振幅とを持つ三角波を発生し、この三角波と  $u$  相電圧指令値  $v_{u*}$  とを比較する。そして、 $u$  相電圧指令値  $v_{u*}$  のほうが大きいとき、スイッチング信号  $g_{uh}$  を H、スイッチング信号  $g_{ul}$  を L にする。一方、 $u$  相電圧指令値  $v_{u*}$  のほうが小さいとき、スイッチング信号  $g_{uh}$  を L、スイッチング信号  $g_{ul}$  を H にする。なお、スイッチング信号  $g_{uh}$ 、 $g_{ul}$  の状態が遷移するとき、スイッチング信号  $g_{uh}$ 、 $g_{ul}$  を双方とも L にする短い時間を設ける (この短い時間はデッドタイムと呼ばれる)。また、 $v$  相、および  $w$  相についても同様に、それぞれ  $v$  相電圧指令値  $v_{v*}$ 、および  $w$  相電圧指令値  $v_{w*}$  に基づきスイッチング信号  $g_{vh}$ 、 $g_{vl}$ 、およびスイッチング信号  $g_{wh}$ 、 $g_{wl}$  を作成する。

【0024】

駆動部 9 は、スイッチング信号  $g_{uh}$ 、 $g_{ul}$ 、 $g_{vh}$ 、 $g_{vl}$ 、 $g_{wh}$ 、 $g_{wl}$  で表される電圧を相巻線 2u、2v、2w に印加する。

電源 91 は、駆動部 9 に電力を供給する。

そして、プリドライバ器 96 は、スイッチング信号  $g_{uh}$  が H のとき上側 IGBT 92u

10

20

30

40

50

が通電し、スイッチング信号  $g_{uh}$  が L のとき上側 IGBT92u が非通電となるように、上側 IGBT92u のゲート電圧を制御する。一方、スイッチング信号  $g_{ul}$  が H のとき下側 IGBT94u が通電し、スイッチング信号  $g_{ul}$  が L のとき下側 IGBT94u が非通電となるように、下側 IGBT94u のゲート電圧を制御する。また、v 相、および w 相についても同様に、スイッチング信号  $g_{vh}$ 、 $g_{vl}$ 、 $g_{wh}$ 、 $g_{wl}$  に基づき上側 IGBT92v、92w、下側 IGBT94v、94w のゲート電圧を制御する。

#### 【0025】

次に、実施例 1 の位置センサレスモータ制御装置の動作の原理について説明する。

まず、誘起電圧の大小により、起動方式を切り替える必要があることを説明する。

ブラシレスモータ 1 は回転すると誘起電圧が誘起される。そのため、高速時において、この誘起電圧を利用し、モータのモデル式を用いて、角度を推定する。

10

一方、停止時はもちろんのこと低速時においては、十分な誘起電圧が誘起されないため、高速時と同様の方法を用いることができない。ブラシレスモータ 1 は、永久磁石 5 がロータヨーク 4 の内部に埋め込まれた突極性を有するモータである。そのため、ロータ 3 が回転するとインダクタンスが変化する。そこで、このインダクタンスの変化を利用して、角度を推定する。

このように、誘起電圧の大小により、起動時の角度推定の方式を切り替える必要がある。そのため、起動時に誘起電圧が大きいときは、高速用の方式で起動する。一方、起動時に誘起電圧が小さいときは、低速用の方式で起動する。

#### 【0026】

20

次に、誘起電圧の大小の求め方を説明する。

まず、電流指令値を 0 にし、電流が 0 になるように比例積分制御を用いて電圧指令値を制御する。そして、この電圧指令値で表される電圧を駆動部 9 により相巻線 2u、2v、2w に印加する。

ここで、電流を 0 に制御するため、印加する電圧は誘起電圧に等しい。したがって、電流を 0 に制御したときの電圧指令値が誘起電圧を表す。

これらのことから、電流を 0 に制御したときの電圧指令値の大小により起動方式を切り替える。つまり、電圧指令値の大きさが大きいとき、高速用の方式で起動する。一方、電圧指令値の大きさが小さいとき、低速用の方式で起動する。

#### 【0027】

30

次に、実施例 1 のモータ制御部 12 の動作の詳細を説明する。

まず、動作の流れを説明する。

図 1 に示すように、まず、モータ制御部 12 は選択部 20 を動作させる。次に、選択部 20 は、高速用起動部 30 と低速用起動部 40 のうちどちらを動作させるかを選択する。次に、高速用起動部 30 と低速用起動部 40 のうち選択されたものを動作させる。そして、次に、運転部 50 を動作させる。なお、選択部 20、および高速用起動部 30 または低速用起動部 40 の内部において、電流零制御部 60 が実行される。

#### 【0028】

モータ制御部 12 において、具体的に高速用起動部 30 又は低速用起動部 40 が選択されるとき動作について、以下に説明する。

40

まず、高速用起動部 30 が選択される場合には、選択部 20 を動作させて高速用起動部 30 が選択される。次に、高速用起動部 30 を動作させ、続いて運転部 50 を動作させる。一方、低速用起動部 40 が選択される場合は、まず、選択部 20 を動作させて、低速用起動部 40 が選択される。次に、低速用起動部 40 を動作させ、続いて運転部 50 を動作させる。

#### 【0029】

##### [ 選択部 20 の動作 ]

次に、選択部 20 の動作について説明する。

選択部 20 は、電流を 0 に制御し、一定時間経過後に、電圧指令値の大きさを判断する。そして、電圧指令値の大きさがしきい値に比べて大きいとき、高速用起動部 30 を選択す

50

る。一方、電圧指令値の大きさがしきい値に比べて小さいとき、低速用起動部 40 を選択する。

【 0 0 3 0 】

図 3 は、実施例 1 における選択部 20 の動作を示すフローチャートである。

まず、ステップ S 2 0 1 において、選択部 20 の動作を開始する。

次に、ステップ S 2 0 2 を実行する。ステップ S 2 0 2 においては、カウンタ i を 0 にする。

次に、ステップ S 2 0 3 を実行する。ステップ S 2 0 3 においては、電流零制御部 60 を動作させる。この動作の詳細は後述する。

【 0 0 3 1 】

次に、ステップ S 2 0 4 を実行する。ステップ S 2 0 4 において、カウンタ i に 1 を加える。

次に、ステップ S 2 0 5 を実行する。ステップ S 2 0 5 において、カウンタ i がある設定された値  $i_{020}$  より小さいとき、次に、ステップ S 2 0 3 を実行する。このようにして、ステップ S 2 0 3 の電流零制御部 60 の動作を  $i_{020}$  回だけ繰り返す。

一方、ステップ S 2 0 5 において、カウンタ i がある設定された値  $i_{020}$  以上のとき、ステップ S 2 0 6 を実行する。このように、ステップ S 2 0 5 においては、カウンタ i の値により分岐する。

【 0 0 3 2 】

ステップ S 2 0 6 においては、電圧指令値の二乗値  $v_2$  を作成する。下記式 ( 1 ) のように、d 軸電圧指令値  $v_d^*$  と q 軸電圧指令値  $v_q^*$  との二乗和を電圧指令値の二乗値  $v_2$  とする。ここで、d 軸電圧指令値  $v_d^*$  と q 軸電圧指令値  $v_q^*$  は、電流零制御部 60 において求められる。

【 0 0 3 3 】

$$v_2 = v_d^* \cdot v_d^* + v_q^* \cdot v_q^* \quad \dots (1)$$

【 0 0 3 4 】

次に、ステップ S 2 0 7 を実行する。

ステップ S 2 0 7 において、電圧指令値の二乗値  $v_2$  の大小により何れかの起動部を選択する。電圧指令値の二乗値  $v_2$  がある設定された値  $v_{020}$  より大きいとき、高速用起動部 30 を選択するために、ステップ S 2 0 8 を実行する。

また、ステップ S 2 0 7 において、電圧指令値の二乗値  $v_2$  が  $v_{020}$  以下のとき、低速用起動部 40 を選択するために、ステップ S 2 0 9 を実行する。

【 0 0 3 5 】

ステップ S 2 0 8 において、選択部 20 の動作を終了する。次に、ステップ S 3 0 1 を実行して、高速用起動部 30 の動作を開始する。

一方、ステップ S 2 0 9 において、選択部 20 の動作を終了する。次に、ステップ S 4 0 1 を実行して、低速用起動部 40 の動作を開始する。

【 0 0 3 6 】

次に、実施例 1 におけるモータ制御部 12 の電流零制御部 60 について説明する。

電流零制御部 60 は、電流を 0 に制御するための電圧指令値を作成する。なお、角度と電流指令値とを 0 にし、通常の電流制御をすることにより、制御ルーチンを共有化している。

【 0 0 3 7 】

[ 電流零制御部 60 の構成 ]

まず、電流零制御部 60 の構成について説明する。

図 4 は、実施例 1 における電流零制御部 60 の構成を示すブロック図である。図 4 に示すように、電流零制御部 60 は、仮角度  $t$  を出力する仮角度作成部 61 と、d 軸電流指令値  $i_d^*$  と q 軸電流指令値  $i_q^*$  とを出力する電流指令値作成部 62 とを有している。また、電流零制御部 60 は、三相二相変換部 63 と電圧指令値作成部 64 と二相三相変換部 65 とを具備している。

10

20

30

40

50

三相二相変換部 63 は、角度  $t$  と  $u$  相電流値  $i_u$  と  $v$  相電流値  $i_v$  とが入力され、 $d$  軸電流値  $i_d$  と  $q$  軸電流値  $i_q$  とを出力する。電圧指令値作成部 64 は、 $d$  軸電流指令値  $i_d^*$  と  $q$  軸電流指令値  $i_q^*$  と  $d$  軸電流値  $i_d$  と  $q$  軸電流値  $i_q$  とが入力され、 $d$  軸電圧指令値  $v_d^*$  と  $q$  軸電圧指令値  $v_q^*$  とを出力する。二相三相変換部 65 は仮角度  $t$  と  $d$  軸電圧指令値  $v_d^*$  と  $q$  軸電圧指令値  $v_q^*$  とが入力され、 $u$  相電圧指令値  $v_u^*$  と  $v$  相電圧指令値  $v_v^*$  と  $w$  相電圧指令値  $v_w^*$  とを出力する。

【0038】

[電流零制御部 60 の動作]

次に、電流零制御部 60 の動作について説明する。電流零制御部 60 は、仮角度作成部 61、電流指令値作成部 62、三相二相変換部 63、電圧指令値作成部 64、および二相三相変換部 65 の順に、各構成を動作させる。

仮角度作成部 61 は、下記式 (2) のように、仮角度  $t$  を 0 にする。これは、通常の電流制御と制御ルーチンを共有化するためである。電流零制御部 60 において、常に角度を  $0^\circ$  とし、後述するように三相二相変換部 63 と二相三相変換部 65 において演算する。電流指令値作成部 62 は、下記式 (3)、(4) のように、 $d$  軸電流指令値  $i_d^*$ 、および  $q$  軸電流指令値  $i_q^*$  を 0 にする。

【0039】

$$t = 0 \quad \dots (2)$$

$$i_d^* = 0 \quad \dots (3)$$

$$i_q^* = 0 \quad \dots (4)$$

【0040】

三相二相変換部 63 は、ステータに固定された座標系上の値である  $u$  相電流値  $i_u$  と  $v$  相電流値  $i_v$  とを  $dq$  軸上の値である  $d$  軸電流値  $i_d$  と  $q$  軸電流値  $i_q$  とに変換する。通常は、ロータ 3 の角度を求め、 $dq$  軸はロータ 3 の永久磁石 5 に固定された座標系として変換するが、ここでは、仮角度  $t = 0$  を用いて変換する。そのため、この三相二相変換において、実質的に、三相値が二相値に変換されるのみである。具体的には、下記式 (5)、(6) のように変換する。以下の式において、 $a$  の平方根を  $(a)$  と表示する。

【0041】

$$i_d = \{ (2) \} \cdot \{ i_u \cdot \sin(t + 60^\circ) + i_v \cdot \sin t \} \dots (5)$$

$$i_q = \{ (2) \} \cdot \{ i_u \cdot \cos(t + 60^\circ) + i_v \cdot \cos t \} \dots (6)$$

【0042】

電圧指令値作成部 64 は、 $d$  軸電流値  $i_d$  が  $d$  軸電流指令値  $i_d^*$  のとおりになるように比例積分制御 (PI 制御) を用いて  $d$  軸電圧指令値  $v_d^*$  を制御する。また、 $q$  軸電流値  $i_q$  が  $q$  軸電流指令値  $i_q^*$  のとおりになるように比例積分制御を用いて  $q$  軸電圧指令値  $v_q^*$  を制御する。

下記式 (7) のように、 $d$  軸電流指令値  $i_d^*$  と  $d$  軸電流値  $i_d$  の差に比例ゲイン  $K_{PD}$  を乗じたものと、 $d$  軸電流指令値  $i_d^*$  と  $d$  軸電流値  $i_d$  の差を積分したものに積分ゲイン  $K_{ID}$  を乗じたものとを加算した結果を  $d$  軸電圧指令値  $v_d^*$  とする。

また、下記式 (8) のように、 $q$  軸電流指令値  $i_q^*$  と  $q$  軸電流値  $i_q$  の差に比例ゲイン  $K_{PQ}$  を乗じたものと、 $q$  軸電流指令値  $i_q^*$  と  $q$  軸電流値  $i_q$  の差を積分したものに積分ゲイン  $K_{IQ}$  を乗じたものとを加算した結果を  $q$  軸電圧指令値  $v_q^*$  とする。

【0043】

$$v_d^* = K_{PD} \cdot (i_d^* - i_d) + K_{ID} \cdot (i_d^* - i_d) \dots (7)$$

$$v_q^* = K_{PQ} \cdot (i_q^* - i_q) + K_{IQ} \cdot (i_q^* - i_q) \dots (8)$$

【0044】

二相三相変換部 65 は、 $dq$  軸上の値である  $d$  軸電圧指令値  $v_d^*$  と  $q$  軸電圧指令値  $v_q^*$  とをステータに固定された座標系上の値である  $u$  相電圧指令値  $v_u^*$  と  $v$  相電圧指令値  $v_v^*$  と  $w$  相電圧指令値  $v_w^*$  とに変換する。通常は、ロータ 3 の角度を求め、 $dq$  軸は

10

20

30

40

50

ロータ3の永久磁石5に固定された座標系として変換するが、ここでは、仮角度  $t = 0$  を用いて変換する。そのため、この二相三相変換において、二相値が三相値に変換されるのみである。具体的には、下記式(9)、(10)、(11)のように変換する。

【0045】

$$v u^* = \{ (2/3) \} \cdot \{ v d^* \cdot \cos t - v q^* \cdot \sin t \} \quad \dots (9)$$

$$v v^* = \{ (2/3) \} \cdot \{ v d^* \cdot \cos (t - 120^\circ) - v q^* \cdot \sin (t - 120^\circ) \} \quad \dots (10)$$

$$v w^* = \{ (2/3) \} \cdot \{ v d^* \cdot \cos (t + 120^\circ) - v q^* \cdot \sin (t + 120^\circ) \} \quad \dots (11)$$

10

【0046】

以上のように、実施例1におけるモータ制御部12の電流零制御部60は、電流が0になるように、電圧指令値を制御する。

このように、モータ制御部12における選択部20は、以上の動作をすることにより、電圧指令値の大きさが大きいとき高速用起動部30を選択し、電圧指令値の大きさが小さいとき低速用起動部40を選択する。

【0047】

[高速用起動部30の動作]

次に、実施例1におけるモータ制御部12の高速用起動部30の動作について説明する。高速用起動部30は、誘起電圧が大きいときのための起動方式であり、電流を0に制御したときの電圧指令値に基づき推定角度  $m$  と推定速度  $m$  とを作成する。

20

図5は、実施例1における高速用起動部30の動作を示すフローチャートである。

まず、ステップS301において、高速用起動部30の動作を開始する。次に、ステップS302を実行する。ステップS302において、カウンタ  $i$  を0にする。

【0048】

次に、ステップS303を実行する。ステップS303において、電流零制御部60を動作させる。この電流零制御部60は前述の動作を行うため、その説明は省略する。

次に、ステップS304を実行する。ステップS304において、推定角度  $m$  を作成する。電流を0に制御したときの電圧指令値は誘起電圧を表す。図6は、実施例1における高速用起動部30で電流を零に制御したときの電圧指令値の変化を示す波形図である。図6に示すように、角度  $\theta$  (実際のロータの角度を示す) が変化すると、d軸電圧指令値  $v d^*$  とq軸電圧指令値  $v q^*$  とは互いに  $90^\circ$  ずれて正弦波状に変化する。そこで、この関係より角度を推定する。具体的には、下記式(12)のように、逆正接関数  $\arctan$  (アークタンジェント) を用いて推定角度  $m$  を求める。ここで、d軸電圧指令値  $v d^*$  の符号により、推定角度  $m$  を  $180^\circ$  ずらす。

30

【0049】

$$m = \arctan (v d^* / v q^*) \quad (v d^* \leq 0 \text{ のとき})$$

$$m = \arctan (v d^* / v q^*) + 180^\circ \quad (v d^* > 0 \text{ のとき})$$

$\dots (12)$

【0050】

40

次に、ステップS305を実行する。ステップS305において、推定速度  $m$  を作成する。下記式(13)のように、推定角度  $m$  を差分し、ローパスフィルタを作用させたものを推定速度  $m$  とする。式(13)において、KW30はローパスフィルタの係数である。このKW30は、1以下の正值であり、小さいほどローパスフィルタの作用が大きくなる。また、 $m(i)$  は今回にステップS304で作成された推定角度  $m$  であり、 $m(i-1)$  は前回にステップS304で作成された推定角度  $m$  である。さらに、T30は、ステップS305を動作させる周期である。

【0051】

$$m = KW30 \cdot \{ m(i) - m(i-1) \} / T30 + (1 - KW30) \cdot m \quad \dots (13)$$

50

## 【 0 0 5 2 】

次に、ステップ S 3 0 6 を実行する。ステップ S 3 0 6 において、カウンタ  $i$  に 1 を加える。

次に、ステップ S 3 0 7 を実行する。ステップ S 3 0 7 において、カウンタ  $i$  がある設定された値  $i 0 3 0$  より小さいとき、次に、ステップ S 3 0 3 を実行する。このようにして、ステップ S 3 0 3 の電流零制御部 6 0 の動作とステップ S 3 0 4 の推定角度  $m$  の作成とステップ S 3 0 5 の推定速度  $m$  の作成とを  $i 0 3 0$  回だけ繰り返す。

一方、ステップ S 3 0 7 において、カウンタ  $i$  がある設定された値  $i 0 3 0$  以上のとき、ステップ S 3 0 8 を実行する。このように、ステップ S 3 0 7 においては、カウンタ  $i$  の値により分岐する。ステップ S 3 0 8 においては、高速用起動部 3 0 の動作を終了させる

10

## 【 0 0 5 3 】

次に、ステップ S 5 0 1 を実行し、運転部 5 0 の動作を開始する。高速用起動部 3 0 において求められた推定角度  $m$  と推定速度  $m$  とを初期値として、前述の従来技術の欄で述べた前者の位置センサレスモータ制御装置で用いられる方式でブラシレスモータ 1 を駆動する。

## 【 0 0 5 4 】

[ 低速用起動部 4 0 の動作 ]

次に、実施例 1 におけるモータ制御部 1 2 の低速用起動部 4 0 の動作について説明する。低速用起動部 4 0 は、誘起電圧が小さいときのための起動方式であり、ロータ 2 の回転に伴いインダクタンスが変化することを利用して推定角度  $m$  と推定速度  $m$  とを作成する

20

図 7 は、実施例 1 における低速用起動部 4 0 の動作を示すフローチャートである。

まず、ステップ S 4 0 1 において、低速用起動部 4 0 の動作が開始する。次に、ステップ S 4 0 2 を実行する。ステップ S 4 0 2 において、カウンタ  $i$  を 0 にする。

次に、ステップ S 4 0 3 を実行する。ステップ S 4 0 3 において、カウンタ  $j$  を 0 にする。次に、ステップ S 4 0 4 を実行する。ステップ S 4 0 4 において、電流零制御部 6 0 を動作させる。この電流零制御部 6 0 は、前述と同様の動作を行うため、その説明は省略する。

## 【 0 0 5 5 】

次に、ステップ S 4 0 5 を実行する。ステップ S 4 0 5 において、カウンタ  $j$  に 1 を加える。

30

次に、ステップ S 4 0 6 を実行する。ステップ S 4 0 6 において、カウンタ  $j$  がある設定された値  $j 0 4 0$  より小さいとき、次に、ステップ S 4 0 4 を実行する。このようにして、ステップ S 4 0 4 の電流零制御部 6 0 の動作を  $j 0 4 0$  回だけ繰り返す。

一方、ステップ S 4 0 6 において、カウンタ  $j$  がある設定された値  $j 0 4 0$  以上のとき、ステップ S 4 0 7 を実行する。このように、ステップ S 4 0 6 においては、カウンタ  $j$  の値により分岐する。

ステップ S 4 0 7 において、推定角度  $m$  を作成する。このステップ S 4 0 7 の動作の詳細は後述する。

40

## 【 0 0 5 6 】

次に、ステップ S 4 0 8 において、推定速度  $m$  を作成する。下記式 ( 1 4 ) のように、推定角度  $m$  を差分し、ローパスフィルタを作用させたものを推定速度  $m$  とする。式 ( 1 4 ) において、 $K W 4 0$  はローパスフィルタの係数である。この  $K W 4 0$  は、1 以下の正値であり、小さいほどローパスフィルタの作用が大きくなる。また、 $m ( i )$  は今回にステップ S 4 0 7 で作成された推定角度  $m$  であり、 $m ( i - 1 )$  は前回にステップ S 4 0 7 で作成された推定角度  $m$  である。さらに、 $T 4 0$  は、ステップ S 4 0 8 を動作させる周期である。

## 【 0 0 5 7 】

$$m = K W 4 0 \cdot \{ m ( i ) - m ( i - 1 ) \} / T 4 0$$

50

+ ( 1 - K W 4 0 ) · m · · · ( 1 4 )

【 0 0 5 8 】

次に、ステップ S 4 0 9 を実行する。ステップ S 4 0 9 において、カウンタ i に 1 を加える。

次に、ステップ S 4 1 0 を実行する。ステップ S 4 1 0 において、カウンタ i がある設定された値 i 0 4 0 より小さいとき、次に、ステップ S 4 0 3 を実行する。このようにして、ステップ S 4 0 7 の推定角度 m の作成とステップ S 4 0 8 の推定速度 m の作成とを i 0 4 0 回だけ繰り返す。

一方、ステップ S 4 1 0 において、カウンタ i がある設定された値 i 0 4 0 以上のとき、ステップ S 4 1 1 を実行する。このように、ステップ S 4 1 0 において、カウンタ i の値により分岐する。

ステップ S 4 1 1 においては、極性が判断される。このステップ S 4 1 1 の動作の詳細については後述する。

【 0 0 5 9 】

次に、ステップ S 4 1 2 を実行する。ステップ S 4 1 2 において、低速用起動部 4 0 の動作を終了する。

次に、ステップ S 5 0 2 を実行し、運転部 5 0 の動作を開始する。低速用起動部 4 0 において求められた推定角度 m と推定速度 m とを初期値として、前述の従来技術の欄で述べた後者の位置センサレスモータ制御装置で用いられる方式によりブラシレスモータ 1 を駆動する。

【 0 0 6 0 】

次に、推定角度 m を作成するステップ S 4 0 7 の動作について説明する。

まず、推定角度 m を作成するステップ S 4 0 7 の動作の原理を説明する。

図 8 は、実施例 1 における電圧パルスと電流応答との関係を示す波形図である。誘起電圧が小さいため、d 軸電圧指令値 v d \*、および q 軸電圧指令値 v q \* は小さい。ここで、d 軸電圧指令値 v d \* にパルス電圧を重畳する。この重畳により、パルス電圧にตอบสนองして、d 軸電流値 i d が d 軸電流応答 i d だけ変化する。また、q 軸電流値 i q が q 軸電流応答 i q だけ変化する。なお、演算における角度は仮角度 t = 0 として固定する。

【 0 0 6 1 】

図 9 は、実施例 1 における角度と電流応答との関係を示す波形図である。ブラシレスモータ 1 は、突極性を有するため、角度 ( 実際のロータの角度を示す ) が変化すると、インダクタンスが変化する。そのため、角度 が変化すると、d 軸電流応答 i d と q 軸電流応答 i q とが変化する。この関係から推定角度 m を求める。なお、インダクタンスの変化は、180°の周期を持つため、推定角度 m は 0 ~ 180°の範囲で求められるのみである。

【 0 0 6 2 】

次に、推定角度 m を作成するステップ S 4 0 7 の動作の詳細について説明する。

図 10 は、実施例 1 における低速用起動部 4 0 での推定角度 m を作成するステップ S 4 0 7 の動作を示すフローチャートである。

まず、ステップ S 7 0 1 において、推定角度 m を作成するステップ S 4 0 7 の動作を開始する。

次に、ステップ S 7 0 2 を実行する。ステップ S 7 0 2 において、仮角度 t を 0 にする。次に、ステップ S 7 0 3 を実行する。ステップ S 7 0 3 において、電圧パルスの正パルス部を印加し、この状態をある設定された時間だけ保持する。下記式 ( 1 5 )、( 1 6 )、( 1 7 ) のように、d 軸電圧指令値 v d \* に電圧パルスを重畳し、二相三相変換したものを u 相電圧指令値 v u \*、v 相電圧指令値 v v \*、w 相電圧指令値 v w \* とする。そして、この状態をある設定された時間だけ保持する。

【 0 0 6 3 】

$$v u * = \{ ( 2 / 3 ) \} \cdot \{ ( v d * + V ) \cdot \cos t - v q * \cdot \sin t \} \cdot \cdot \cdot ( 1 5 )$$

10

20

30

40

50

$$v v^* = \left\{ \left( \frac{2}{3} \right) \right\} \cdot \left\{ (v d^* + V) \cdot \cos(t - 120^\circ) - v q^* \cdot \sin(t - 120^\circ) \right\} \quad \dots (16)$$

$$v w^* = \left\{ \left( \frac{2}{3} \right) \right\} \cdot \left\{ (v d^* + V) \cdot \cos(t + 120^\circ) - v q^* \cdot \sin(t + 120^\circ) \right\} \quad \dots (17)$$

## 【0064】

u相電圧指令値 $v u^*$ 、v相電圧指令値 $v v^*$ 、w相電圧指令値 $v w^*$ が設定された時から、ある設定された時間だけ経過した後、ステップS704を実行する。

ステップS704において、u相電流値 $i u$ 、およびv相電流値 $i v$ をそれぞれu相電流応答 $i u$ 、およびv相電流応答 $i v$ として保存する。

## 【0065】

次に、ステップS705を実行する。ステップS705において、電圧パルスの負パルス部を印加し、この状態をある設定された時間だけ保持する。下記式(18)、(19)、(20)のように、d軸電圧指令値 $v d^*$ に電圧パルスを重畳し、二相三相変換したものをu相電圧指令値 $v u^*$ 、v相電圧指令値 $v v^*$ 、w相電圧指令値 $v w^*$ とする。そして、この状態をある設定された時間だけ保持する。

## 【0066】

$$v u^* = \left\{ \left( \frac{2}{3} \right) \right\} \cdot \left\{ (v d^* - V) \cdot \cos t - v q^* \cdot \sin t \right\} \quad \dots (18)$$

$$v v^* = \left\{ \left( \frac{2}{3} \right) \right\} \cdot \left\{ (v d^* - V) \cdot \cos(t - 120^\circ) - v q^* \cdot \sin(t - 120^\circ) \right\} \quad \dots (19)$$

$$v w^* = \left\{ \left( \frac{2}{3} \right) \right\} \cdot \left\{ (v d^* - V) \cdot \cos(t + 120^\circ) - v q^* \cdot \sin(t + 120^\circ) \right\} \quad \dots (20)$$

## 【0067】

その後、u相電圧指令値 $v u^*$ 、v相電圧指令値 $v v^*$ 、w相電圧指令値 $v w^*$ を、それぞれ前述の式(9)、(10)、(11)で設定された、電圧パルスを印加する前の値に戻す。

次に、ステップS706を実行する。ステップS706において、ステータに固定された座標系上の値であるu相電流応答 $i u$ とv相電流応答 $i v$ とをdq軸上の値であるd軸電流応答 $i d$ とq軸電流応答 $i q$ とに変換する。ここで、q軸電流応答 $i q$ は、変換後、さらに、-1を乗じる。通常は、ロータ3の角度を求め、dq軸はロータ3の永久磁石5に固定された座標系として変換する。しかし、ここでは、仮角度 $t = 0$ とし変換する。そのため、この三相二相変換において、実質的に、三相値が二相値に変換されるのみである。具体的には、下記式(21)、(22)のように変換する。

## 【0068】

$$i d = \left\{ \left( \frac{2}{3} \right) \right\} \cdot \left\{ i u \cdot \sin(t + 60^\circ) + i v \cdot \sin t \right\} \quad \dots (21)$$

$$i q = - \left\{ \left( \frac{2}{3} \right) \right\} \cdot \left\{ i u \cdot \cos(t + 60^\circ) + i v \cdot \cos t \right\} \quad \dots (22)$$

## 【0069】

次に、ステップS707を実行する。ステップS707において、推定角度 $m$ を演算する。角度(実際のロータ3の角度)と電流応答には、図9に示した関係がある。そのため、下記式(23)のように、逆正接関数 $\text{atan}$ (アークタンジェント)を用いて推定角度 $m$ を求める。ここで、推定角度 $m$ の範囲を $0 \sim 180^\circ$ に限定する。

## 【0070】

$$m = \text{atan}(i q / i d) / 2 \quad (i q \geq 0 \text{ のとき})$$

$$m = \{ \text{atan}(i q / i d) / 2 \} + 90^\circ \quad (i q < 0 \text{ のとき})$$

## … (23)

## 【0071】

次に、ステップS708を実行する。ステップS708において、推定角度 $m$ を作成するステップS407の動作を終了する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 2 】

次に、極性を判断するステップ S 4 1 1 の動作について説明する。

まず、推定角度  $m$  の位置とこの位置と  $180^\circ$  ずれた位置に電圧パルスを印加する。このように電圧パルスを印加することにより、2つの位置における電流応答の大きさが磁気飽和の影響により異なる。そこで、この大きさから極性を判断する。

## 【 0 0 7 3 】

図 1 1 は、実施例 1 における低速起動部 4 0 での極性を判断するステップ S 4 1 1 の動作を示すフローチャートである。

ステップ S 8 0 1 において、極性を判断するステップ S 4 1 1 の動作を開始する。

次に、ステップ S 8 1 1 を実行する。ステップ S 8 1 1 において、カウンタ  $i$  を 0 にする。次に、ステップ S 8 1 2 を実行する。ステップ S 8 1 2 において、電流零制御部 6 0 を動作させる。この電流零制御部 6 0 は、前述の動作と同様に動作するため、その説明は省略する。

10

## 【 0 0 7 4 】

次に、ステップ S 8 1 3 を実行する。ステップ S 8 1 3 において、カウンタ  $i$  に 1 を加える。

次に、ステップ S 8 1 4 を実行する。ステップ S 8 1 4 において、カウンタ  $i$  がある設定された値  $i 0 8 0$  より小さいとき、次に、ステップ S 8 1 2 を実行する。このようにして、ステップ S 8 1 2 の電流零制御部 6 0 の動作を  $i 0 8 0$  回だけ繰り返す。

一方、ステップ S 8 1 4 において、カウンタ  $i$  がある設定された値  $i 0 8 0$  以上のとき、ステップ S 8 2 1 を実行する。このように、ステップ S 8 1 4 においては、カウンタ  $i$  の値により分岐する。

20

ステップ S 8 2 1 において、仮角度  $t$  を推定角度  $m$  とする。次に、ステップ S 8 2 2 を実行する。ステップ S 8 2 2 からステップ S 8 2 4 までは、前述のステップ S 7 0 3 からステップ S 7 0 5 までと同様の内容を実行する。そのため、その実行内容の説明は、前述のステップ S 7 0 3 からステップ S 7 0 5 までの説明を援用して、ここでは省略する。

## 【 0 0 7 5 】

次に、ステップ S 8 2 5 を実行する。ステップ S 8 2 5 において、ステータに固定された座標系上の値である  $u$  相電流応答  $i_u$  と  $v$  相電流応答  $i_v$  とを  $dq$  軸上の値である  $d$  軸電流応答  $i_d$  に変換する。この変換は、前述のステップ S 7 0 6 においてなされたものと同様であり、その説明は省略する。

30

## 【 0 0 7 6 】

次に、ステップ S 8 2 6 を実行する。ステップ S 8 2 6 において、 $d$  軸電流応答  $i_d$  を第 1 の  $d$  軸電流応答  $i_{d1}$  として保存する。次に、ステップ S 8 3 1 を実行する。ステップ S 8 3 1 において、カウンタ  $i$  を 0 にする。次に、ステップ S 8 3 2 を実行する。ステップ S 8 3 2 において、電流零制御部 6 0 を動作させる。この電流零制御部 6 0 の動作は、前述の動作と同様であるため、その説明は省略する。

## 【 0 0 7 7 】

次に、ステップ S 8 3 3 を実行する。ステップ S 8 3 3 において、カウンタ  $i$  に 1 を加える。

40

次に、ステップ S 8 3 4 を実行する。ステップ S 8 3 4 において、カウンタ  $i$  がある設定された値  $i 0 8 0$  より小さいとき、次に、ステップ S 8 3 2 を実行する。このようにして、ステップ S 8 3 2 の電流零制御部 6 0 の動作を  $i 0 8 0$  回だけ繰り返す。

## 【 0 0 7 8 】

一方、ステップ S 8 3 4 において、カウンタ  $i$  がある設定された値  $i 0 8 0$  以上のとき、ステップ S 8 4 1 を実行する。このように、ステップ S 8 3 4 においては、カウンタ  $i$  の値により分岐する。

ステップ S 8 4 1 においては、仮角度  $t$  を推定角度  $m + 180^\circ$  とする。

次に、ステップ S 8 4 2 を実行する。ステップ S 8 4 2 からステップ S 8 4 5 までは、前述のステップ S 8 2 2 からステップ S 8 2 5 までと同様の内容を実行する。このため、そ

50

の実行内容の説明を省略する。

【0079】

ステップS846において、d軸電流応答  $i_d$  を第2のd軸電流応答  $i_{d2}$  として保存する。次に、ステップS851を実行する。ステップS851において、第1のd軸電流応答  $i_{d1}$  と第2のd軸電流応答  $i_{d2}$  とを比較し、分岐する。第1のd軸電流応答  $i_{d1}$  が第2のd軸電流応答  $i_{d2}$  以上のとき、ステップS852を実行する。ステップS852において、推定角度  $m$  を推定角度  $m$  とする。次に、ステップS861を実行する。

【0080】

一方、ステップS851において、第1のd軸電流応答  $i_{d1}$  が第2のd軸電流応答  $i_{d2}$  未満のとき、ステップS853を実行する。ステップS853において、推定角度  $m$  を推定角度  $m + 180^\circ$  とする。次に、ステップS861を実行する。

ステップS861において、極性を判断するステップS411の動作を終了する。

以上のように、実施例1の位置センサレスモータ制御装置を構成して、動作させることにより、ロータ2が回転していても、ブラシレスモータ5のスムーズな起動が実現可能となる。

【0081】

次に、実施例1の位置センサレスモータ制御装置の効果について説明する。

従来の位置センサレスモータ制御装置においては、前述の従来の技術の欄で述べたように、ロータ3が停止しているとして、後者の従来の位置センサレスモータ制御装置で用いられる方式により起動する。そして、適宜、前者の従来の位置センサレスモータ制御装置で用いられている方式に切り替えて、高速まで加速させていた。

そのため、起動直前にロータ3が回転しているとき、前述のように起動時に停止しているとして、後者の従来の位置センサレスモータ制御装置で用いられる方式で起動させると、スムーズに起動できないという問題があった。

【0082】

実施例1の位置センサレスモータ制御装置は、まず、電流を零に制御する。このときの電圧指令値は、誘起電圧と等価になるため、この電圧指令値の大きさにより起動方式を選択する。すなわち、電圧指令値の大きさが大きいとき、電圧指令値に基づき角度と速度とを推定する高速用起動部を動作させる。一方、電圧指令値の大きさが小さいとき、ロータ3の回転に伴うインダクタンスの変化を利用して角度と速度とを推定する低速用起動部を動作させる。

このように、実施例1の位置センサレスモータ制御装置は、電流を零に制御したときの電圧指令値の大きさにより適切な起動部を選択し動作させることで、ロータ3が回転していても、ブラシレスモータ1のスムーズな起動を実現している。

【0083】

次に、回転数により起動方式を選択することを考える。誘起電圧は、ブラシレスモータ1の製造のばらつきにより、個体差がある。また、永久磁石5の温度が変化すると誘起電圧の大きさが変化する。そのため、回転数により起動方式を選択する場合には、常に最適な起動部を選択することができなかった。

実施例1の位置センサレスモータ制御装置は、まず、電流を零に制御する。このときの電圧指令値は、誘起電圧と等価になるため、この電圧指令値の大きさにより起動方式を選択する。

このように、実施例1の位置センサレスモータ制御装置は、誘起電圧と等価な電圧指令値により起動部を選択することで、温度変化などで誘起電圧が変化しても、常に最適な起動部の選択を実現する。

【0084】

次に、起動期間中に電流を流すことを考える。起動期間中は、角度を正確に推定することができない。このため、ある電流を流すためにある電圧指令値を与えても、この電圧指令値のとおり電流を流すことができなかった。そのため、起動期間中に電流を流すと、不

10

20

30

40

50

適切な電流が流れ、振動や異音が発生する場合があった。

実施例 1 の位置センサレスモータ制御装置は、選択部 20 において電流を零に制御し、トルクを発生させない。また、高速用起動部 30 において電流を零に制御し、トルクを発生させない。同様に、低速用起動部 40 において電流を零に制御し、トルクを発生させない。このように、実施例 1 の位置センサレスモータ制御装置は、起動期間において、電流を零に制御することにより、トルクを発生させない構成である。このため、実施例 1 の位置センサレスモータ制御装置は、起動期間中に電流を流しても、異常な電流が流れることがなく、振動や異音の発生が防止されている。

【0085】

《実施例 2》

次に、本発明に係る実施例 2 の位置センサレスモータ制御装置について添付の図面を参照しつつ説明する。

前述の実施例 1 の位置センサレスモータ制御装置において、低速用起動部 40 は、ロータ 3 の回転に伴うインダクタンスの変化を利用して角度と速度とを推定した。実施例 2 の位置センサレスモータ制御装置においては、低速用起動部 2040 が磁束の飽和を利用して角度と速度とを推定するものである。

また、実施例 1 の位置センサレスモータは、永久磁石 5 がロータヨーク 4 の内部に埋め込まれた埋込磁石型モータを制御する構成である。実施例 2 の位置センサレスモータは、永久磁石 2005 がロータヨーク 2004 の表面に配置された表面磁石型モータを制御するものである。

【0086】

以下、実施例 2 の位置センサレスモータ制御装置の構成について説明する。図 12 は、実施例 2 における位置センサレスモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

実施例 2 のブラシレスモータ 2001 には、電磁鋼板から構成されたステータ（図示せず）と、被覆銅線から構成され相電流が流れるステータに巻回された相巻線 2u、2v、2w と、このステータに対向し近接して配置されたロータ 2003 とが設けられている。相巻線 2u、2v、2w は Y 結線されている。ロータ 2003 は、電磁鋼板から構成されたロータヨーク 2004 とこのロータヨーク 2004 の表面に配置された永久磁石 2005 とロータヨーク 2004 と同一の回転中心を持つシャフト 2006 とから構成される。このロータ 2003 は回転自在に支持され、相電流により生成される磁束と永久磁石 2005 による磁束との相互作用によりロータ 2003 が回転する。

【0087】

実施例 2 の位置センサレスモータ制御装置に含まれる構成のうち、マイコン 2010 が実施例 1 と異なる。このマイコン 2010 に含まれる構成のうち、モータ制御部 2012 が実施例 1 と異なる。このモータ制御部 2012 に含まれる構成のうち、低速用起動部 2040 が実施例 1 と異なる。その他の構成は、実施例 1 と同様であるため、それらの構成と動作の説明は実施例 1 の説明を援用して、実施例 2 においては省略する。

【0088】

次に、実施例 2 における低速用起動部 2040 の動作について説明する。

低速用起動部 2040 は、誘起電圧が小さいときのための起動方法であり、磁束の飽和を利用して推定角度  $\theta_m$  と推定速度  $\omega_m$  とを作成する。

まず、低速用起動部 2040 の動作の原理について説明する。

図 8 に示したように、誘起電圧は小さいため、d 軸電圧指令値  $v_d^*$ 、および q 軸電圧指令値  $v_q^*$  は小さい。ここで、d 軸電圧指令値にパルス電圧を重畳すると、この電圧パルスにตอบสนองして、d 軸電流値  $i_d$  が d 軸電流応答  $i_d$  だけ変化する。なお、演算における角度は仮角度  $\theta_t = 0$  として固定する。

【0089】

図 13 は、実施例 2 における角度（横軸）と電流応答（縦軸）との関係を示す波形図である。角度（実際のロータ 2003 の角度）が 0 のとき、電圧パルスにより、永久磁石 2005 が発生する磁束を強める方向に磁束が発生する。このように磁束が発生すると、ス

10

20

30

40

50

テータにおいて磁束飽和が発生するため、電流応答が大きくなる。したがって、電流応答が一番大きくなる時、推定角度  $m = 0$  とすればよい。

【0090】

次に、低速用起動部2040の動作の詳細について説明する。

図14は、実施例2における低速用起動部2040の動作を示すフローチャートである。

ステップS2401において、低速用起動部2040の動作を開始する。

次に、ステップS2402を実行する。ステップS2402において、カウンタ*i*の値を0にする。次に、ステップS2403を実行する。ステップS2403において、カウンタ*j*の値を0にする。

次に、ステップS2404を実行する。ステップS2404において、電流零制御部60を動作させる。この電流零制御部60の動作は、前述の実施例1における電流零制御部60の動作と同様であるため、その説明は省略する。

10

【0091】

次に、ステップS2405を実行する。ステップS2405において、カウンタ*j*に1を加える。

次に、ステップS2406を実行する。ステップS2406において、カウンタ*j*がある設定された値*j*<sub>02040</sub>より小さいとき、次に、ステップS2404を実行する。このようにして、ステップS2404の電流零制御部60の動作を*j*<sub>02040</sub>回だけ繰り返す。

一方、ステップS2406において、カウンタ*j*がある設定された値*j*<sub>02040</sub>以上のとき、ステップS2407を実行する。このように、ステップS2406においては、カウンタ*j*の値により分岐する。

20

ステップS2407からステップS2410までは、前述の図10に示した実施例1におけるステップS702からステップS705までの動作と同様の内容を実行する。このため、その実行内容の説明は省略する。

【0092】

ステップS2411において、ステータに固定された座標系上の値であるu相電流応答*i*<sub>u</sub>とv相電流応答*i*<sub>v</sub>とをd-q軸上の値であるd軸電流応答*i*<sub>d</sub>に変換する。この変換は、前述の実施例1におけるステップS825の動作と同様であり、その説明は省略する。

30

次に、ステップS2412を実行する。ステップS2412において、d軸電流応答*i*<sub>d</sub>が極大か否かを判断して分岐する。d軸電流応答*i*<sub>d</sub>が極大のとき、ステップS2413を実行する。一方、d軸電流応答*i*<sub>d</sub>が極大でないとき、ステップS2403を実行する。なお、d軸電流応答*i*<sub>d</sub>の傾きが正から負に転じたとき、d軸電流応答*i*<sub>d</sub>が極大であると判断する。このようにして、ステップS2411のd軸電流応答*i*<sub>d</sub>の演算をd軸電流応答*i*<sub>d</sub>が極大となるまで繰り返す。

【0093】

ステップS2413において、推定角度  $m$  を0にする。次に、ステップS2414を実行する。ステップS2414において、推定速度  $m$  を作成する。ステップS2414は、電気角で360°おきに実行される。そのため、速度は、360°をステップS2414が実行される時間間隔で除算したものとなる。そして、この除算結果にローパスフィルタを作用させたものを推定速度  $m$  とする。具体的には、下記式(24)のようになる。式(24)において、KW2040はローパスフィルタの係数である。このKW2040は、1以下の正値であり、小さいほどローパスフィルタの作用が大きくなる。また、T2040は、前回ステップS2414が実行されたときから今回ステップS2414が実行されるまでの時間である。

40

【0094】

$$m = KW2040 \cdot 360^\circ / T2040 + (1 - KW2040) \cdot m \quad \dots (24)$$

【0095】

50

次に、ステップS 2 4 1 5を実行する。ステップS 2 4 1 5において、カウンタ  $i$  に 1 を加える。

次に、ステップS 2 4 1 6を実行する。ステップS 2 4 1 6において、カウンタ  $i$  がある設定された値  $i 0 2 0 4 0$  より小さいとき、次に、ステップS 2 4 0 3を実行する。このようにして、ステップS 2 4 1 3の推定角度  $m$ の作成とステップS 2 4 1 4の推定速度  $m$ の作成とを  $i 0 2 0 4 0$  回だけ繰り返す。

一方、ステップS 2 4 1 6において、カウンタ  $i$  がある設定された値  $i 0 2 0 4 0$  以上のとき、ステップS 2 4 1 7を実行する。このように、ステップS 2 4 1 6においては、カウンタ  $i$  の値により分岐する。ステップS 2 4 1 7においては、低速用起動部 2 0 4 0 の動作を終了させる。

#### 【 0 0 9 6 】

次に、ステップS 5 0 3を実行して、運転部 5 0 の動作を開始する。低速用起動部 2 0 4 0 において求められた推定角度  $m$ と推定速度  $m$ とを初期値として、例えば、特願平 1 0 - 3 2 9 0 4 9 号公報に示される位置センサレスモータ制御装置で用いられる方式によりブラシレスモータ 2 0 0 1 を駆動する。

#### 【 0 0 9 7 】

以上のように、実施例 2 の位置センサレスモータ制御装置を構成して動作させることにより、起動時にロータ 2 0 0 3 が回転していても、ブラシレスモータ 2 0 0 1 のスムーズな起動を実現することができる。

また、実施例 2 の位置センサレスモータ制御装置は、実施例 1 の位置センサレスモータ制御装置と同様の作用を有し、実施例 1 と同様の効果を実現することができる。

#### 【 0 0 9 8 】

なお、実施例 1 においては埋込磁石型モータ（ブラシレスモータ 1）を制御し、実施例 2 においては表面磁石型モータ（ブラシレスモータ 2 0 0 1）を制御する構成の例で説明した。しかし、実施例 1 の方式により表面磁石型モータを制御し、実施例 2 の方式により埋込磁石型モータを制御する構成でもよい。

一般に、表面磁石型モータは、ロータの回転に伴うインダクタンスの変化が小さい。しかし、特定の表面磁石型モータにおいては、比較的インダクタンスの変化に富むものがある。このような表面磁石型モータにおいては、実施例 2 の方式よりも実施例 1 の方式のほうが有効である。

また、一般に、埋込磁石型モータは、ロータの回転に伴うインダクタンスの変化が大きい。しかし、特定の埋込磁石型モータにおいては、インダクタンスの変化が乏しいものがある。このような埋込磁石型モータにおいては、実施例 1 の方式よりも実施例 2 の方式のほうが有効である。

#### 【 0 0 9 9 】

また、前述の実施例の低速用起動部 4 0、2 0 4 0 において、電圧パルスを印加する方式を用いたが、本発明はこの方式に限定されるものではない。例えば、高周波電圧や高周波電流を重畳し、その電流応答や電圧応答により角度を推定する方式を用いてもよい。また、PWMキャリア内での電流応答から角度を推定してもよい。

同様に、前述の実施例の高速用起動部 3 0 においては、実施例 1 の方式に限定されるものではなく、電流を制御して、このときの電圧指令値を用いる構成のものであれば本発明に含まれる。

#### 【 0 1 0 0 】

さらに、本発明は起動時に正転している場合のみに限定されるものではなく、起動時に逆転している場合でもよい。

起動時に逆転の向きに低速で回転しているとき、正転の向きに高速で回転させるために、本発明の位置センサレスモータ制御装置は、以下のように動作する。

まず、選択部 2 0 が動作し、低速用起動部 4 0、2 0 4 0 を選択し、低速用起動部 4 0、2 0 4 0 が動作する。低速用起動部 4 0、2 0 4 0 は、推定角度  $m$  と負の推定速度  $m$  を作成し、これらに基づき運転部 5 0 が動作する。そして、運転部 5 0 は、低速用の角度

10

20

30

40

50

推定を行い、正の向きのトルクを発生する。やがて、逆転の向きで回転していたものが、正転の向きに回転し始める。さらに、適宜、高速用の角度推定を行い、高速まで加速する。

#### 【0101】

一方、起動時に逆転の向きに高速で回転しているとき、正転の向きに高速で回転させるために、本発明の位置センサレスモータ制御装置は、以下のように動作する。

まず、選択部20が動作して、高速用起動部30を選択し、高速用起動部30を動作させる。高速用起動部30は、推定角度  $\theta$  と負の推定速度  $v$  を作成し、これらに基づき運転部50が動作する。そして、運転部50は、高速用の角度推定を行い、正の向きのトルクを発生する。やがて、減速され、適宜、低速用の角度推定を行い、逆転の向きで回転していたものが、正転の向きに回転し始める。さらに、適宜、高速用の角度推定を行い、高速まで加速する。

10

なお、電流零制御部60において、仮角度  $\theta$  を0としたが、その他の角度にしてもよい。この場合、高速起動部30のステップS304における推定角度  $\theta$  の作成を適切に変更する必要がある。

#### 【0102】

##### 【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、電流を零に制御したときの電圧指令値の大きさにより適切な起動部を選択し動作させることにより、ロータが回転していても、ブラシレスモータをスムーズに起動させる位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。

20

また、本発明によれば、誘起電圧と等価な電圧指令値により起動部を選択することにより、温度変化などで誘起電圧が変化しても、常に最適な起動部を選択する位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。

また、本発明によれば、起動期間において、電流を零に制御することにより、トルクが発生せず、スムーズな起動が可能となる位置センサレスモータ制御装置を実現することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る実施例1の位置センサレスモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

【図2】実施例1における駆動部の構成を示す回路図である。

30

【図3】実施例1における選択部の動作を示すフローチャートである。

【図4】実施例1における電流零制御部の構成を示すブロック図である。

【図5】実施例1における高速用起動部の動作を示すフローチャートである。

【図6】実施例1における高速用起動部で電流を零に制御したときの電圧指令値の変化を示す波形図である。

【図7】実施例1における低速用起動部の動作を示すフローチャートである。

【図8】実施例1における電圧パルスと電流応答との関係を示す波形図である。

【図9】実施例1における角度と電流応答との関係を示す波形図である。

【図10】実施例1における低速用起動部での推定角度を作成するステップの動作を示すフローチャートである。

40

【図11】実施例1における低速用起動部での極性を判断するステップの動作を示すフローチャートである。

【図12】本発明に係る実施例2における位置センサレスモータ制御装置の構成を示すブロック図である。

【図13】実施例2における角度と電流応答との関係を示す波形図である。

【図14】実施例2における低速用起動部の動作を示すフローチャートである。

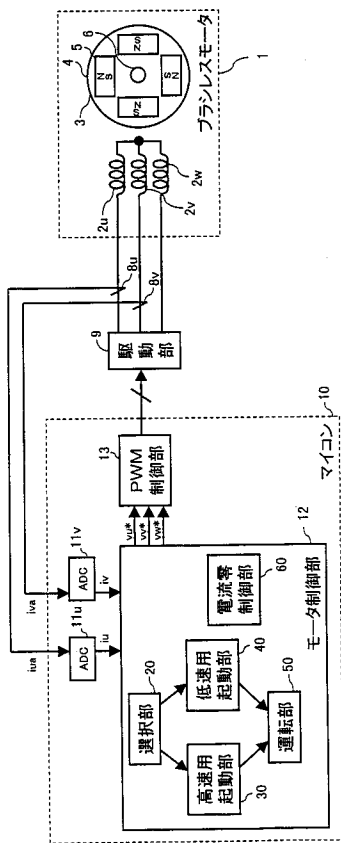
##### 【符号の説明】

- 1 ブラシレスモータ
- 2 u、2 v、2 w 相巻線
- 3 ロータ

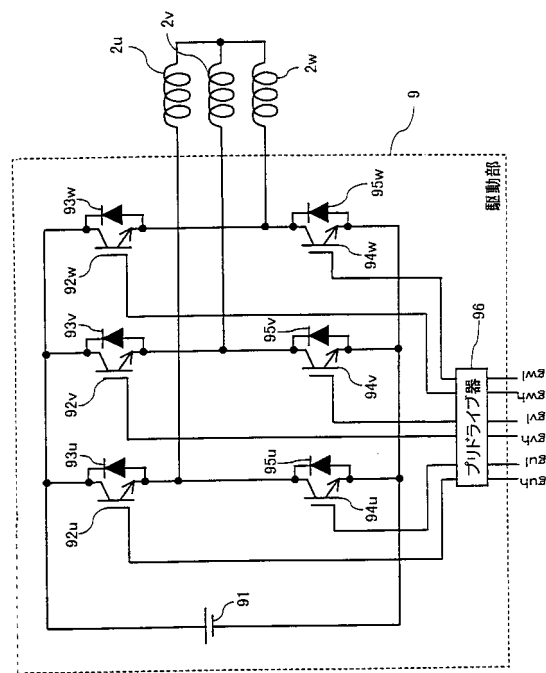
50

- 5 永久磁石
- 8 u、8 v 電流センサ
- 9 駆動部
- 10 マイコン
- 12 モータ制御部
- 20 選択部
- 30 高速用起動部
- 40 低速用起動部

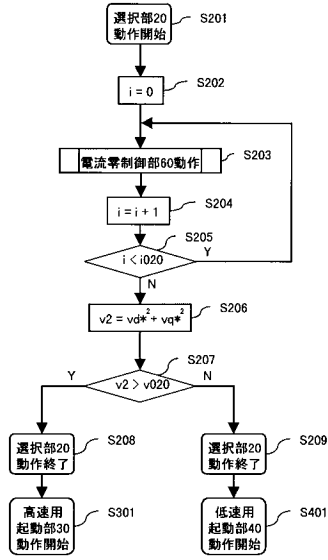
【図1】



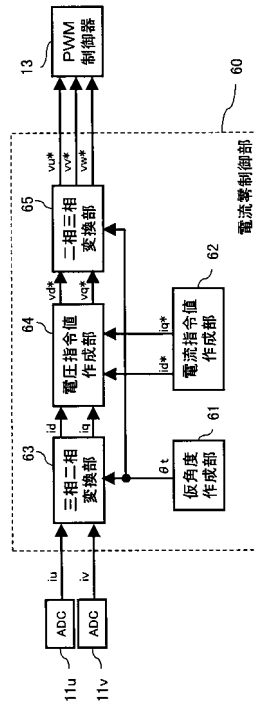
【図2】



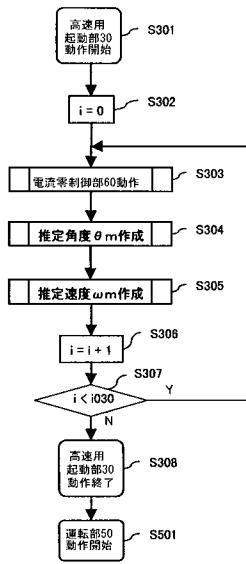
【 図 3 】



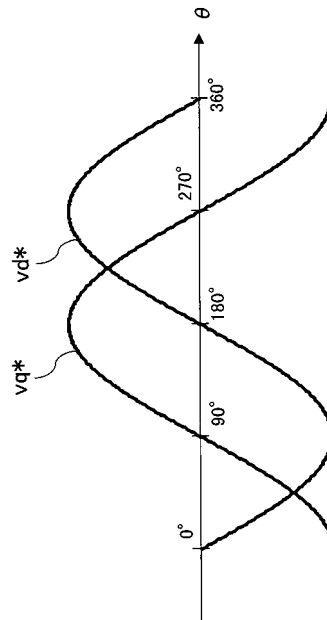
【 図 4 】



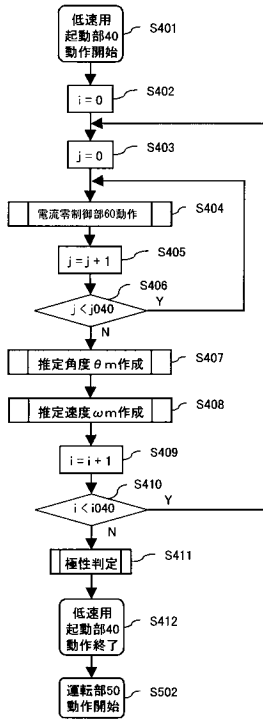
【 図 5 】



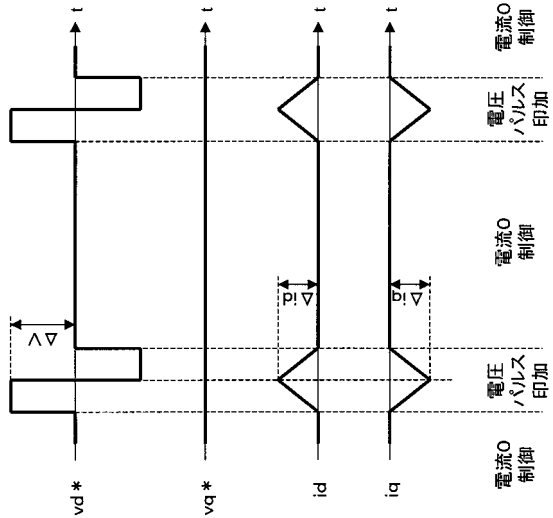
【 図 6 】



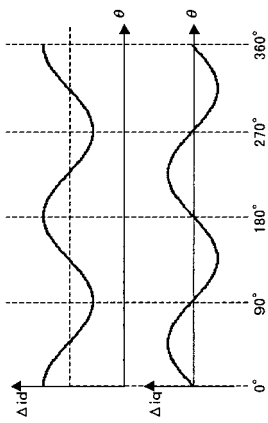
【図7】



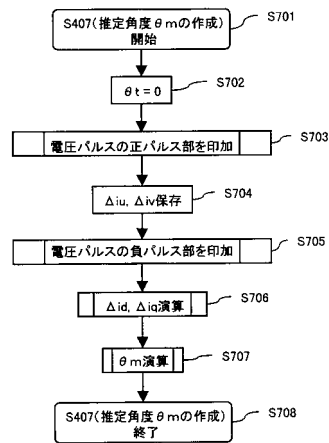
【図8】



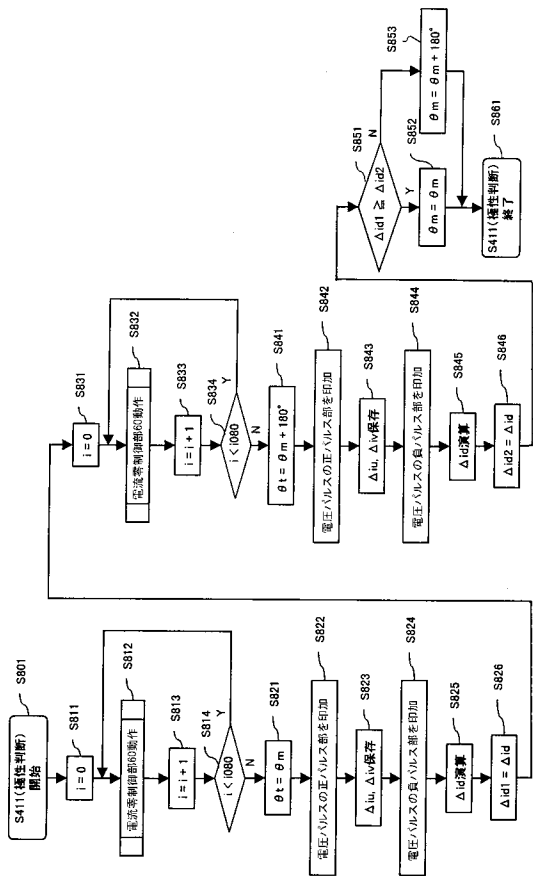
【図9】



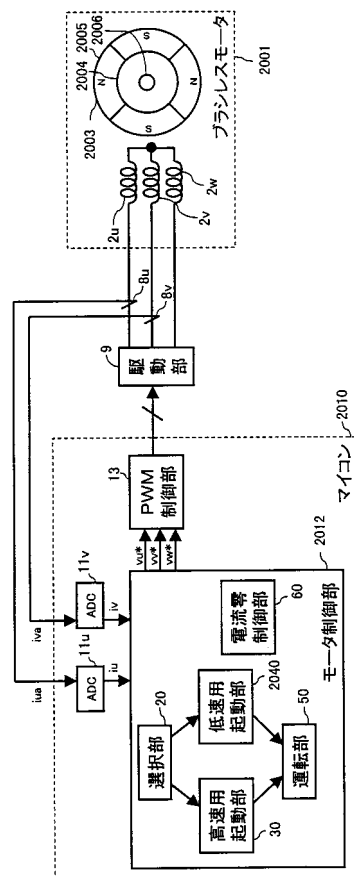
【図10】



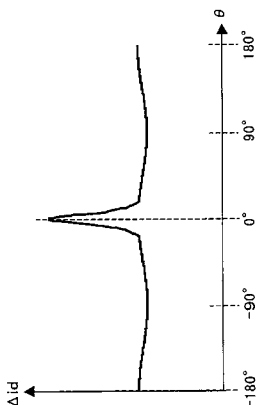
【図11】



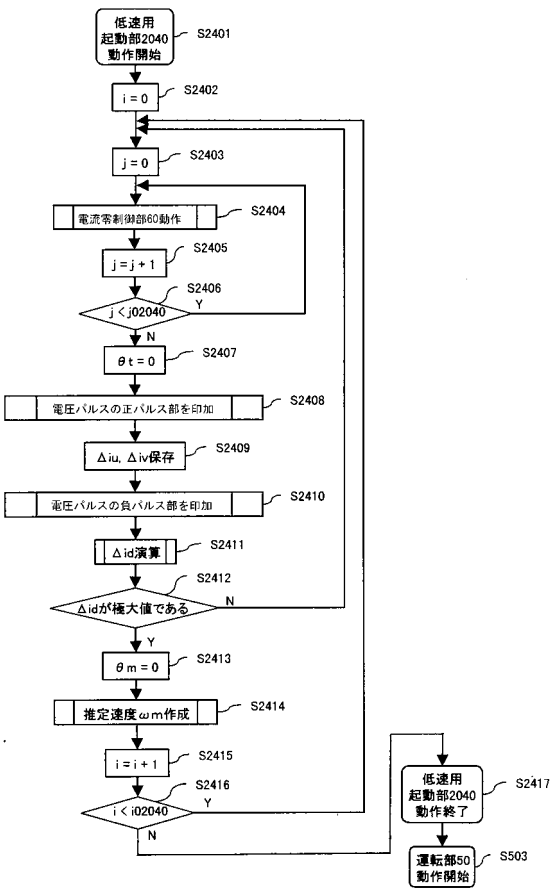
【図12】



【図13】



【図14】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 飯島 友邦  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
- (72)発明者 榎崎 和成  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
- (72)発明者 田澤 徹  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内
- (72)発明者 丸山 幸紀  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

審査官 天坂 康種

- (56)参考文献 特開平11-018483(JP,A)  
特開平07-075399(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 6/06  
H02P 6/16  
H02P 6/18