

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5273450号
(P5273450)

(45) 発行日 平成25年8月28日 (2013. 8. 28)

(24) 登録日 平成25年5月24日 (2013. 5. 24)

(51) Int. Cl.

F 1

H 0 2 P 6/18 (2006. 01)

H 0 2 P 6/02 3 7 1 S

H 0 2 P 29/00 (2006. 01)

H 0 2 P 7/00 N

B 6 2 D 5/04 (2006. 01)

B 6 2 D 5/04

B 6 2 D 6/00 (2006. 01)

B 6 2 D 6/00

請求項の数 1 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2008-164560 (P2008-164560)
 (22) 出願日 平成20年6月24日 (2008. 6. 24)
 (65) 公開番号 特開2010-11542 (P2010-11542A)
 (43) 公開日 平成22年1月14日 (2010. 1. 14)
 審査請求日 平成23年2月21日 (2011. 2. 21)

(73) 特許権者 000001247
 株式会社ジェイテクト
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 (74) 代理人 100087701
 弁理士 稲岡 耕作
 (74) 代理人 100101328
 弁理士 川崎 実夫
 (72) 発明者 小松 逸人
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 株式会社ジェイテクト内
 (72) 発明者 谷沢 明
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 株式会社ジェイテクト内

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】

ロータと、このロータに対向するステータとを備えたモータを制御するためのモータ制御装置であって、

前記ロータの回転位置を検出する回転センサと、

この回転センサの正常時には当該回転センサの出力信号に基づいて前記モータを制御する一方で、前記回転センサの故障時には前記正常時の制御態様に対して制限を加えた制御態様で、前記回転センサの出力信号を用いずに、前記モータを制御する制御手段とを含み、

前記モータが、車両の舵取り機構に転舵力を付与する転舵用モータであり、

前記制御手段は、前記回転センサの故障時に、車両の操向のための操作部材に加えられる操作トルクが所定のトルク閾値以下であることを条件に、所定の通電パターンで前記モータを駆動するものであり、前記トルク閾値が前記所定の通電パターンで前記モータを駆動するときに脱調が生じるおそれのない範囲で可能な限り大きな値に定められている、モータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、ブラシレスモータを駆動するためのモータ制御装置に関する。ブラシレスモータは、たとえば、電動パワーステアリング装置における操舵補助力の発生源として利

10

20

用される。

【背景技術】

【0002】

ブラシレスモータを駆動制御するためのモータ制御装置は、一般に、ロータの回転位置を検出するための回転センサの出力に応じてモータ電流の供給を制御するように構成されている。回転センサとしては、たとえば、ロータ回転位置（電気角）に対応した正弦波信号および余弦波信号を出力するレゾルバが用いられる。

回転センサに故障が生じると、ロータ回転位置を一意に特定することができなくなるから、ブラシレスモータの駆動制御を継続できなくなる。そこで、回転センサの故障時には、ブラシレスモータを停止させている。

10

【0003】

回転センサの故障には、回転センサ自身の故障、回転センサの信号線または給電線の断線故障が含まれる。

【特許文献1】特開2001-112282号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

電動パワーステアリング装置においては、モータが停止すれば、操舵補助力が得られなくなるから、操舵フィーリングの悪化は避けられない。したがって、回転センサの故障時においても、可能な限りモータの駆動を継続することが好ましい。

20

電動パワーステアリング装置の駆動源としてのモータに限らず、他の用途のブラシレスモータにおいても、回転センサの故障後も、可能な限りモータ駆動を継続することが好ましい。

【0005】

そこで、この発明の目的は、回転センサに故障が生じたときでも、モータの駆動を継続することができるモータ制御装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明は、ロータ（50）と、このロータに対向するステータ（55）とを備えたモータ（1）を制御するためのモータ制御装置（10、10A）であって、前記ロータの回転位置を検出する回転センサ（2）と、この回転センサの正常時には当該回転センサの出力信号に基づいて前記モータを制御する一方で、前記回転センサの故障時には前記正常時の制御態様に対して制限を加えた制御態様で、前記回転センサの出力信号を用いずに、前記モータを制御する制御手段（12、12A）を含む、モータ制御装置を提供する。なお、括弧内の英数字は後述の実施形態における対応構成要素等を表す。以下、この項において同じ。

30

【0007】

この構成によれば、回転センサに故障が生じると、回転センサの正常時の制御態様に対して制限を加えた制御態様でモータが制御される。これにより、回転センサの故障時における、いわゆる延命制御が可能になり、モータの回転を継続することができる。

40

より具体的には、この発明では、前記モータが、車両の舵取り機構に転舵力を付与する転舵用モータ（1）であり、前記制御手段は、前記回転センサの故障時に、車両の操向のための操作部材に加えられる操作トルクが所定のトルク閾値以下であることを条件に、所定の通電パターンで前記モータを駆動するものであり、前記トルク閾値が前記所定の通電パターンで前記モータを駆動するときに脱調が生じるおそれのない範囲で可能な限り大きな値に定められている（24、S5～S8）。

転舵用モータは、操作部材に加えられる操作トルクに応じた転舵力を舵取り機構に付与する。したがって、操作部材に大きな操作トルクが加えられると、それに応じて、転舵用モータには大きな電流が供給され、大きな転舵トルクが転舵用モータから発生する。回転センサによる正確な回転位置が検出されていないときには、所定の通電パターンによるモ

50

ータ駆動で大きなトルクを発生させようとする、モータが脱調するおそれがある。そこで、この発明では、操作部材に加えられる操作トルクが一定値以下であることを条件に、所定の通電パターンによって、モータを駆動するようにしている。こうして、回転センサの故障時において、脱調が生じない条件下で、所定の通電パターンを用いて、モータの駆動が継続される。

【0014】

回転センサの故障は、既知の手段によって検出可能である。たとえば、回転センサの出力信号が伝送される信号線を電源電圧にプルアップまたはグランド電位にプルダウンしておき、回転センサの出力信号が導出されなくなったときに、当該信号線に電源電圧またはグランド電位が現れるようにしておけばよい。これにより、信号線の電位が電源電圧またはグランド電位に固定されたことに基づいて、回転センサ（信号線の断線および短絡故障を含む）の故障を検出できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下では、この発明の実施の形態を、添付図面を参照して詳細に説明する。

図1は、この発明の一実施形態に係るモータ制御装置を適用した電動パワーステアリング装置の電氣的構成を説明するためのブロック図である。この電動パワーステアリング装置は、車両のステアリングホイールに加えられる操作トルクを検出するトルクセンサ7と、車両の速度を検出する車速センサ8と、車両の舵取り機構3に操舵補助力を与えるモータ1と、このモータ1を駆動制御するモータ制御装置10とを備えている。モータ制御装置10は、トルクセンサ7が検出する操作トルクおよび車速センサ8が検出する車速に応じてモータ1を駆動することによって、操舵状況に応じた適切な操舵補助を実現する。モータ1は、たとえば、三相ブラシレスモータであり、図2(a)に図解的に示すように、界磁としてのロータ50と、U相、V相およびW相のステータ巻線51, 52, 53を含むステータ55とを備えている。モータ1は、ロータの外部にステータを配置したインナーロータ型のものであってもよいし、筒状のロータの内部にステータを配置したアウターロータ型のものであってもよい。

【0016】

モータ制御装置10は、電流検出部11、信号処理部としてのマイクロコンピュータ12、および駆動回路13を有する。このモータ制御装置10に、モータ1内のロータの回転位置を検出するレゾルバ2（回転センサ）とともに、前述のトルクセンサ7および車速センサ8が接続されている。

電流検出部11はモータ1のステータ巻線51, 52, 53を流れる電流を検出する。より具体的には、電流検出部11は、3相（U相、V相およびW相）のステータ巻線51, 52, 53における相電流をそれぞれ検出する電流検出器11u, 11v, 11wを有する。

【0017】

マイクロコンピュータ12は、プログラム処理（ソフトウェア処理）によって実現される複数の機能処理部を備えている。これらの複数の機能処理部には、基本目標電流値演算部15、d q軸目標電流値演算部16、d q軸電流演算部17、d軸偏差演算部18d、q軸偏差演算部18q、d q軸電圧指令値演算部19、電圧指令値座標変換部20、PWM（パルス幅変調）制御部21、位置算出部22、通電パターン駆動部24、センサ故障判定部25、切換え部26、トルク判定部27、トルク方向判定部28、偏差演算部29およびPI制御部30などが含まれている。

【0018】

駆動回路13は、インバータ回路で構成され、PWM制御部21または通電パターン駆動部24からの制御信号が、切換え部26から与えられるようになっている。この制御信号によって制御されることにより、駆動回路13は、車載バッテリー等の電源（図示せず）からの電力を、モータ1のU相、V相およびW相のステータ巻線51, 52, 53に供給する。

【 0 0 1 9 】

位置算出部 2 2 は、レゾルバ 2 の出力信号に基づいて、モータ 1 のロータ 5 0 の回転位置（電気角）を算出する。

基本目標電流値演算部 1 5 は、トルクセンサ 7 により検知される操作トルクと、車速センサ 8 により検出される車速とに基づいて、モータ 1 の基本目標電流値 I^* を演算する。基本目標電流値 I^* は、たとえば、操作トルクの大きさが大きいほど大きく、車速が小さい程大きくなるように定められる。

【 0 0 2 0 】

基本目標電流値演算部 1 5 により演算された基本目標電流値 I^* は d q 軸目標電流値演算部 1 6 に入力される。d q 軸目標電流値演算部 1 6 は、d 軸方向の磁界を生成するための d 軸目標電流値 I_d^* と、q 軸方向の磁界を生成するための q 軸目標電流値 I_q^* とを演算する。ただし、d 軸とは、モータ 1 のロータ 5 0 の有する界磁の磁束方向に沿う軸であり、q 軸とは、d 軸およびロータ回転軸に直交する軸である。d q 座標平面はロータ 5 0 の回転方向に沿う平面であり、d 軸および q 軸は、ロータ 5 0 とともに回転する回転座標系を規定する（図 2 参照）。d q 軸目標電流値演算部 1 6 における演算は公知の演算式を用いて行うことができる。

10

【 0 0 2 1 】

電流検出部 1 1 から出力される相電流 I_u, I_v, I_w （以下、まとめていうときには「三相検出電流 I_{uvw} 」という。）は d q 軸電流演算部 1 7 に入力される。d q 軸電流演算部 1 7 は、位置算出部 2 2 によって算出された回転位置に基づいて、相電流 I_u, I_v, I_w を座標変換することにより、d 軸電流値 I_d および q 軸電流値 I_q （モータ電流値としての検出電流値）を演算する。d q 軸電流演算部 1 7 における演算は公知の演算式を用いて行うことができる。

20

【 0 0 2 2 】

d 軸偏差演算部 1 8 d は、d 軸目標電流値 I_d^* と d 軸電流 I_d との間の偏差（d 軸偏差） I_d を求める。同様に、q 軸偏差演算部 1 8 q は、q 軸目標電流値 I_q^* と q 軸電流 I_q との間の偏差（q 軸偏差） I_q を求める。

d q 軸電圧指令値演算部 1 9 は、d 軸偏差 I_d に対応する d 軸電圧指令値 V_d^* と q 軸偏差 I_q に対応する q 軸電圧指令値 V_q^* とを求める。

【 0 0 2 3 】

電圧指令値座標変換部 2 0 は、位置算出部 2 2 によって算出された回転位置に基づいて、d 軸電圧指令値 V_d^* および q 軸電圧指令値 V_q^* の座標変換を行い、U 相ステータ巻線 5 1、V 相ステータ巻線 5 2 および W 相ステータ巻線 5 3 にそれぞれ印加すべき印加電圧指令値 V_u^*, V_v^*, V_w^* を演算する。電圧指令値座標変換部 2 0 における演算は公知の演算式を用いて行えばよい。

30

【 0 0 2 4 】

PWM 制御部 2 1 は、印加電圧指令値 V_u^*, V_v^*, V_w^* に対応するデューティ比を有するパルス信号である各相の PWM 制御信号を生成する。この PWM 信号が切換え部 2 6 を介して駆動回路 1 3 に与えられることにより、d 軸電圧指令値 V_d^* および q 軸電圧指令値 V_q^* に対応する電圧が駆動回路 1 3 から各相のステータ巻線 5 1、5 2、5 3 に印加され、ロータ 5 0 の回転力が発生する。

40

【 0 0 2 5 】

通電パターン駆動部 2 4 は、120 度通電方式による所定の通電パターンに従ってモータ 1 を駆動するための制御信号を生成する。通電パターン駆動部 2 4 は、PWM デューティ設定部 2 4 a を備えている。通電パターン駆動部 2 4 は、PWM デューティ設定部 2 4 a によって設定されたデューティでパルス幅変調された矩形波駆動信号を生成する。

センサ故障判定部 2 5 は、レゾルバ 2 の故障の有無を判定する。たとえば、センサ故障判定部 2 5 は、レゾルバ 2 の信号線 2 a に導出される信号を監視することによって、レゾルバ 2 の故障、信号線 2 a の断線故障、信号線 2 a の接地故障を検出することができる。より具体的には、レゾルバ 2 とモータ制御装置 1 0 との間の信号線 2 a をプルアップ抵抗

50

を介して電源電位に接続したり、プルダウン抵抗を介して接地電位に接続したりする構成をとることができる。この場合、信号線 2 a が断線すると、当該信号線 2 a には、レゾルバ 2 からの信号（正弦信号または余弦信号）が導出されなくなり、代わりに、当該信号線 2 a は、電源電位または接地電位に固定される。そこで、センサ故障判定部 2 5 は、信号線 2 a が電源電位または接地電位に固定されているかどうかを判定することで、レゾルバ 2 の故障（信号線の故障を含む）の有無を判定することができる。むろん、レゾルバ 2 の故障検出には、その他の公知の方法を適用してもよい。

【0026】

切換え部 2 6 は、センサ故障判定部 2 5 が故障なしと判定している通常状態においては、PWM制御部 2 1 からの制御信号を駆動回路 1 3 に供給する。一方、センサ故障判定部 2 5 が故障ありと判定している故障状態においては、切換え部 2 6 は、通電パターン駆動部 2 4 が生成する制御信号を駆動回路 1 3 に供給する。

10

トルク判定部 2 7 は、トルクセンサ 7 によって検出される操作トルクの大きさを所定のトルク閾値（たとえば、7 Nm）と比較し、その比較結果を通電パターン駆動部 2 4 に与える。トルク閾値は、通電パターン駆動部 2 4 によって所定の通電パターンでモータ 1 を駆動するときに、脱調が生じるおそれのない範囲で可能な限り大きな値に定められる。

【0027】

トルク方向判定部 2 8 は、トルクセンサ 7 によって検出される操作トルクの方が右回りトルクか、左回りトルクかを判定し、その判定結果を通電パターン駆動部 2 4 に与える。ただし、右回り方向とは、舵取り車輪を右方向に転舵させる方向に対応し、左回り方向とは、舵取り車輪を左方向に転舵させる方向に対応するものとする。

20

偏差演算部 2 9 は、基本目標電流値演算部 1 5 によって設定される基本目標電流値 I^* と、UVW/dq座標変換部 1 7 が生成するq軸電流値 I_q を変換部 3 1 で変換して得られる相電流振幅（検出電流値） I （後述の式(2)参照。 $I = - (2/3) I_q$ ）との偏差 I （ $= I^* - I$ ）を求める。

【0028】

PI制御部 3 0 は、偏差 I に対する比例積分制御を行うことによって、印加電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* を求める。

通電パターン駆動部 2 4 に備えられたPWMデューティ設定部 2 4 a は、PI制御部 3 0 によって演算される印加電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に応じたPWMデューティを設定する。

30

【0029】

図 3 は、駆動回路 1 3 の具体的な構成を説明するための電気回路図である。モータ 1 のU相ステータ巻線 5 1、V相ステータ巻線 5 2 およびW相ステータ巻線 5 3 に対して、U相電流 I_u 、V相電流 I_v およびW相電流 I_w が駆動回路 1 3 から与えられるようになっている。

駆動回路 1 3 は、U相に対応した直列回路 4 0 Uと、V相に対応した直列回路 4 0 Vと、W相に対応した直列回路 4 0 Wとを備え、これらが電源（車載バッテリー。図示せず）に対して並列に接続されている。直列回路 4 0 Uは、ハイサイドパワースイッチング素子 4 1 Uと、ローサイドパワースイッチング素子 4 2 Uとを直列に接続し、これらの間の接続点 4 3 Uをモータ 1 のU相ステータ巻線 5 1 に接続して構成されている。同様に、直列回路 4 0 Vは、ハイサイドパワースイッチング素子 4 1 Vと、ローサイドパワースイッチング素子 4 2 Vとを直列に接続し、これらの間の接続点 4 3 Vをモータ 1 のV相ステータ巻線 5 2 に接続して構成されている。また、直列回路 4 0 Wは、ハイサイドパワースイッチング素子 4 1 Wと、ローサイドパワースイッチング素子 4 2 Wとを直列に接続し、これらの間の接続点 4 3 Wをモータ 1 のW相ステータ巻線 5 3 に接続して構成されている。切換え部 2 6 からのPWM制御信号は、必要に応じて増幅されて、パワースイッチング素子 4 1 U、4 2 U；4 1 V、4 2 V；4 1 W、4 2 Wの各ゲートに与えられるようになっている。

40

【0030】

50

d q 軸電圧指令値演算部 19 は、正弦波駆動のための電圧指令値 V_d^* 、 V_q^* を生成し、それに応じた制御信号が PWM 制御部 21 から生成される。したがって、PWM 制御部 21 が生成した制御信号が切換え部 26 から駆動回路 13 に供給されるときには、モータ 1 の U 相、V 相および W 相ステータ巻線 51、52、53 に正弦波状の相電流 I_u 、 I_v 、 I_w が流れるように、モータ 1 が正弦波駆動される。

【0031】

図 4 A および図 4 B は、通電パターン駆動部 24 が生成する制御信号の一例を示す波形図であり、図 4 A は、モータ 1 から右回り方向のトルクを発生させるべきときの波形（通電パターン）を示し、図 4 B はモータ 1 から左まわり方向のトルクを発生させるべきときの波形（通電パターン）を示す。

通電パターン駆動部 24 は、各相のハイサイドパワースイッチング素子 41 U、41 V、41 W に対して、それぞれ 120 度の電気角の期間に渡って、PWM パルスからなる制御信号を出力する。各相のハイサイドパワースイッチング素子 41 U、41 V、41 W に PWM パルスが与えられる 120 度の期間は、120 度ずつ位相がずれている。つまり、ハイサイドパワースイッチング素子 41 U、41 V、41 W は、120 度ずつ位相がずらされた各 120 度の期間に、循環的に PWM 制御される。この PWM 制御される各 120 度の期間に、PWM デューティに応じた電圧がモータ 1 の各相に印加される。

【0032】

一方、各相のローサイドパワースイッチング素子 42 U、42 V、42 W は、各相のハイサイドパワースイッチング素子 41 U、41 V、41 W が PWM 制御される期間から電気角で 60 度シフトされた 120 度の期間に渡ってオン状態とされ、残余の期間はオフ状態とされる。したがって、各相のローサイドパワースイッチング素子 42 U、42 V、42 W がオン状態となる 120 度の期間は、120 度ずつ位相がずれている。つまり、ローサイドパワースイッチング素子 42 U、42 V、42 W は、120 度ずつ位相がずらされた各 120 度の期間に、循環的にオン状態となる。

【0033】

各相において、ハイサイドパワースイッチング素子 41 U、41 V、41 W およびローサイドパワースイッチング素子 42 U、42 V、42 W のいずれもがオフ状態とされる期間には、対応する相のステータ巻線には誘起電圧のみが現れる。

図 4 A に示す右回り通電パターン波形では、U 相駆動波形に対して 120 度だけ V 相駆動波形の位相が遅れ、V 相駆動波形に対して 120 度だけ W 相駆動波形の位相が遅れているのが分かる。これに対して、図 4 B に示す左回り通電パターン波形では、W 相駆動波形に対して 120 度だけ V 相駆動波形の位相が遅れ、V 相駆動波形に対して 120 度だけ U 相駆動波形の位相が遅れているのが分かる。

【0034】

図 5 は、マイクロコンピュータ 12 が所定の制御周期毎に繰り返し実行する制御内容を説明するためのフローチャートである。マイクロコンピュータ 12 は、トルクセンサ 7、車速センサ 8、レゾルバ 2 および電流検出部 11 の各出力信号を取り込む（ステップ S1）。基本目標電流値演算部 15 は、トルクセンサ 7 が検出した操作トルクおよび車速センサ 8 が検出した車速に基づいて、基本目標電流値 I^* を演算する（ステップ S2）。一方、センサ故障判定部 25 は、信号線 2a に導出される信号に基づいて、レゾルバ 2 の故障の有無を判定する（ステップ S3）。

【0035】

レゾルバ 2 に故障がなければ（ステップ S3：NO）、通常の制御が実行される（ステップ S4）。より具体的には、d q 軸目標電流値演算部 16 によって d 軸目標電流値 I_d^* および q 軸目標電流値 I_q^* が設定される。また、電流検出部 11 が検出する三相検出電流 I_{uvw} が、d q 軸電流演算部 17 で座標変換され、d 軸検出電流 I_d および q 軸検出電流 I_q が求められる。d 軸偏差演算部 18 d および q 軸偏差演算部 18 q は、d 軸電流偏差 $I_d (= I_d^* - I_d)$ および q 軸電流偏差 $I_q (= I_q^* - I_q)$ をそれぞれ求める。d q 軸電圧指令値演算部 19 は、電流偏差 I_d 、 I_q に対する P I（比例積分）演算等を行う

10

20

30

40

50

ことにより、 d 軸電圧指令値 V_d^* および q 軸電圧指令値 V_q^* を生成する。これらが電圧指令値座標変換部 20 において座標変換されることによって、 UVW 相の電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* が生成される。これらの電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に対応する PWM 制御信号が PWM 制御部 21 によって生成される。切換え部 26 は、この PWM 制御信号を駆動回路 13 に供給する。 dq 軸電流演算部 17 および電圧指令値座標変換部 20 における座標変換演算のために、位置算出部 22 によって算出される回転位置 が用いられる。

【0036】

一方、センサ故障判定部 25 によって、レゾルバ 2 に故障が生じていると判定されると（ステップ S3：YES）、トルク判定部 27 は、操作トルクが所定のトルク閾値（たとえば、7 Nm）以下かどうかを判定する（ステップ S5）。操作トルクがトルク閾値以下であれば（ステップ S5：YES）、トルク方向判定部 28 は、トルクセンサ 7 の出力信号に基づいて、操作トルク方向が右回り方向か左回り方向かを判定する（ステップ S6）。操作トルク方向が右回り方向であれば、通電パターン駆動部 24 は、右回り通電パターン（図 4 A 参照）に従う矩形波駆動信号を生成し（ステップ S7）、操作トルク方向が左回り方向であれば、通電パターン駆動部 24 は、左回り通電パターン（図 4 B 参照）に従う矩形波駆動信号を生成する（ステップ S8）。

【0037】

このとき、PWM デューティ設定部 24 a は、PI 制御部 30 によって求められた電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に対応するデューティを設定する。この設定されたデューティでパルス幅変調された PWM 制御信号が通電パターン駆動部 24 から生成されることになる。切換え部 26 は、この PWM 制御信号を駆動回路 13 に供給する。つまり、図 4 A および図 4 B に示されているように、各相のハイサイドパワースイッチング素子 41 U、41 V、41 W が、120 度ずつ位相がずれた各 120 度の期間に循環的に PWM 制御され、この各 120 度の期間において、前記設定されたデューティに応じた電圧がモータ 1 の各相に印加される。

【0038】

一方、操作トルクがトルク閾値を超えている場合（ステップ S5：NO）には、通電パターン駆動部 24 は、制御信号を生成しない。これにより、モータ 1 が停止される。操作トルクがトルク閾値を超えるほど大きいときには、一定の通電パターンでの駆動では、モータ 1 が脱調するおそれがある。そこで、この実施形態では、通電パターン駆動部 24 によって所定の通電パターンでモータ 1 を駆動するときには、操作トルクがトルク閾値以下であることを条件としている。換言すれば、トルク閾値は、図 4 A および図 4 B に示す所定の通電パターンによる駆動でモータ 1 の脱調を生じさせることなく正常に駆動することができる範囲で可能な限り大きな値に定められている。

【0039】

以上のように、この実施形態によれば、レゾルバ 2 に故障が生じた場合には、通電パターン駆動部 24 が生成する所定の通電パターンの矩形波駆動信号によって、120 度通電方式による矩形波駆動が行われる。これにより、モータ 1 の回転を継続することができるので、舵取り機構 3 に対して操舵補助力を与えることができる。

また、レゾルバ 2 が正常のときには正弦波駆動が行われるのに対して、レゾルバ 2 に故障が生じているときには、矩形波駆動が行われるので、故障時には、トルクリップルが生じることになる。これにより、運転者に対して、異常発生を報知することができ、早期修理を促すことができる。

【0040】

図 6 は、参考形態に係る電動パワーステアリング装置の電氣的構成を示すブロック図である。この図 6 において、前述の図 1 に示された各部に対応する部分には、同一の参照符号を付して示す。この実施形態は、誘起電圧検出部 35、回転速度推定部 36 および位相推定部 37 が備えられており、トルク判定部 27 およびトルク方向判定部 28 が備えられていない点が、前述の実施形態とは異なる。

【0041】

誘起電圧検出部 35 は、モータ 1 の各相の誘起電圧を所定のサンプリング周期毎に測定する。より具体的には、各相のステータ巻線 51, 52, 53 に電圧が印加されない期間（各相のハイサイドおよびローサイドのパワースイッチング素子がいずれもオフとなる期間。図 4A および図 4B 参照）に、当該巻線に誘導される電圧を検出する。

回転速度推定部 36 は、誘起電圧検出部 35 によって検出される誘起電圧から、ロータの回転速度を推定する。たとえば、隣接する 2 つのサンプリング点での誘起電圧の変化を正弦波にフィッティングすることによって、ロータ回転速度を推定することができる。

【0042】

位相推定部 37 は、誘起電圧検出部 35 によって検出される誘起電圧および回転速度推定部 36 によって推定されるロータ回転速度に基づいて、ロータの位相（電気角）を推定する。具体的には、所定のサンプリング周期で検出される誘起電圧を正弦波にフィッティングすることによって、誘起電圧の正負が切り換わるゼロクロス点を推定できる。こうして推定されるゼロクロス点からの経過時間およびロータ回転速度に基づいて、ロータの位相が推定される。この推定された位相に基づいて、通電パターン駆動部 24 は、相切換えタイミングを求める。通電パターン駆動部 24 は、求められた相切換えタイミングに基づいて、各相の矩形波駆動信号の立ち上げおよび立ち下げを行う。より具体的には、図 4A および図 4B に示されているように、60 度毎の位相で駆動回路 13 のパワースイッチング素子のオン/オフパターンを切り換える。

【0043】

このように、この参考形態によれば、レゾルバ 2 の故障時には、オフ相の誘起電圧から推定されるゼロクロス点およびロータ回転速度に基づいてロータの位相が推定され、この推定されたロータの位相に基づいて、120 度通電方式の矩形波駆動により、モータ 1 を駆動することができる。したがって、レゾルバ 2 が故障した後においても、モータ 1 を継続して駆動することができ、操舵補助を継続できる。しかも、第 1 の実施形態とは異なり、操作トルクによる制限もない。

【0044】

レゾルバ 2 の故障時において、モータ 1 が回転していないときには、誘起電圧検出部 35 は誘起電圧を検出することができない。この場合には、切換え部 26 を PWM 制御部 21 側に切り換えるとともに、基本目標電流値演算部 15 によって、基本目標電流値 $I^* = 0$ に設定すればよい。そして、基本目標電流値 I^* がゼロに維持されている状態でステアリングホイールが操作されると、モータ 1 が外力によって回転される結果、誘起電圧が生じる。そこで、所定値以上の誘起電圧が誘起電圧検出部 35 によって検出されたことに応答して、切換え部 26 を通電パターン駆動部 24 側に切り換えればよい。これにより、その後は、通電パターン駆動部 24 が生成する PWM 制御信号によって、モータ 1 を制御できる。

【0045】

図 7 は、他の参考形態に係るモータ制御装置を適用した電動パワーステアリング装置の電氣的構成を説明するためのブロック図である。この図 7 において、前述の図 1 に示された各部に対応する部分には、同一の参照符号を付して示す。

モータ制御装置 10A は、マイクロコンピュータ 12A と、このマイクロコンピュータ 12A によって制御され、モータ 1 に電力を供給する駆動回路（インバータ回路）13 と、モータ 1 の各相のステータ巻線 51 ~ 53 に流れる電流を検出する電流検出部 11 とを備えている。

【0046】

マイクロコンピュータ 12A は、CPU およびメモリ（ROM および RAM など）を備えており、所定のプログラムを実行することによって、複数の機能処理部として機能するようになっている。この複数の機能処理部には、基本目標電流値演算部 15 と、dq 軸目標電流値演算部 16 と、PI（比例積分）制御部 19A と、電圧指令値生成部 19B と、
/ 座標変換部 20A と、/ UVW 座標変換部 20B と、PWM 制御部 21 と、
UVW / 座標変換部 17A と、/ 座標変換部 17B と、偏差演算部 18 と

10

20

30

40

50

、位置算出部 2 2 と、回転速度演算部 2 3 と、センサ故障判定部 2 5 と、制限部 3 3 と、位置推定部 6 0 と、センシング信号発生部 6 5 と、切換え部 6 6 とを備えている。

【 0 0 4 7 】

基本目標電流値演算部 1 5 は、トルクセンサ 7 により検知される操作トルクと、車速センサ 8 により検出される車速とに基づいて、モータ 1 の基本目標電流値 I^* を演算する。基本目標電流値 I^* は、たとえば、操作トルクの大きさが大きいほど大きく、車速が小さい程大きくなるように定められる。

制限部 3 3 は、センサ故障判定部 2 5 によってレゾルバ 2 の故障が生じていると判定されたときに、基本目標電流値 I^* に対して制限を加える。

【 0 0 4 8 】

d q 軸目標電流値演算部 1 6 は、基本目標電流値 I^* に基づいて、モータ 1 のロータ磁極方向に沿う d 軸電流成分の目標値 (d 軸目標電流値 I_d^*) と、d 軸に直交する q 軸電流成分の目標値 (q 軸目標電流値 I_q^*) とを生成する。以下、これらをまとめていうときには、「目標電流値 I_{dq} 」という。

モータ 1 の U 相、V 相および W 相に与えるべき電流 (正弦波電流) の振幅を表す基本目標電流値 I^* を用いると、d 軸目標電流値 I_d^* および q 軸目標電流値 I_q^* は、次式 (1) (2) のように表される。

【 0 0 4 9 】

【 数 1 】

$$I_d^* = 0 \quad \cdots (1)$$

$$I_q^* = -\sqrt{\frac{3}{2}} I^* \quad \cdots (2)$$

したがって、d q 軸目標電流値演算部 1 6 は、d 軸目標電流値 $I_d^* = 0$ を生成する一方で、トルクセンサ 7 によって検出される操作トルクに応じた q 軸目標電流値 I_q^* を生成する。

【 0 0 5 0 】

電流検出部 1 1 は、モータ 1 の U 相電流 I_u 、V 相電流 I_v および W 相電流 I_w を検出する (以下、これらをまとめていうときには「三相検出電流 I_{uvw} 」という)。その検出値は、U V W / 座標変換部 1 7 A に与えられる。

U V W / 座標変換部 1 7 A は、三相検出電流 I_{uvw} を、二相固定座標系 (-) 上での電流 I および I (以下、これらをまとめていうときには「二相検出電流 I 」という) に座標変換する。二相固定座標系 (-) とは、ロータ 5 0 の回転中心を原点として、ロータ 5 0 の回転平面内に 軸およびこれに直交する 軸を定めた固定座標系である (図 2 参照)。座標変換された二相検出電流 I は、 / 座標変換部 1 7 B に与えられる。

【 0 0 5 1 】

/ 座標変換部 1 7 B は、二相検出電流 I を、制御上のロータ回転位置 θ (以下、「制御回転位置 θ 」という) に従う二相回転座標系 (-) 上での電流 I および I (以下、これらをまとめていうときには「二相検出電流 I 」という) に座標変換する。二相回転座標系 (-) は、制御回転位置 θ にロータ 5 0 がある場合に、ロータ磁極方向に沿う 軸と、この 軸に直交する 軸とによって規定される回転座標系である。制御回転位置 θ に誤差がなく、実際のロータ回転位置と一致しているとき、二相回転座標系 (d - q) と二相回転座標系 (-) とは一致する。制御回転位置 θ は、位置算出部 2 2 または位置推定部 6 0 によって演算され、切換え部 6 6 によって選択されたロータ回転位置である。

【 0 0 5 2 】

10

20

30

40

50

二相検出電流 I_{dq} は、偏差演算部 18 に与えられるようになっている。この偏差演算部 18 は、 d 軸目標電流値 I_d^* に対する d 軸電流 I_d の偏差、および q 軸目標電流値 I_q^* に対する q 軸電流 I_q の偏差を演算する。これらの偏差が PI 制御部 19A に与えられてそれぞれ PI 演算処理を受ける。そして、これらの演算結果に応じて、電圧指令値生成部 19B によって、 d 軸電圧指令値 V_d^* および q 軸電圧指令値 V_q^* (以下、これらをまとめていうときには「二相電圧指令値 V_{dq}^* 」という。) が生成されて、座標変換部 20A に与えられる。

【0053】

座標変換部 20A は、 d 軸電圧指令値 V_d^* および q 軸電圧指令値 V_q^* を、二相固定座標系 ($d-q$) の電圧指令値である d 軸電圧指令値 V_d^* および q 軸電圧指令値 V_q^* (以下、これらをまとめていうときには「二相電圧指令値 V_{dq}^* 」という。) に座標変換する。この二相電圧指令値 V_{dq}^* は、 UVW 座標変換部 20B に与えられる。

10

【0054】

UVW 座標変換部 20B は、 d 軸電圧指令値 V_d^* および q 軸電圧指令値 V_q^* を三相固定座標系の電圧指令値、すなわち、 U 相、 V 相および W 相の電圧指令値 V_u^* , V_v^* , V_w^* (以下、これらをまとめていうときには「三相電圧指令値 V_{uvw}^* 」という。) に変換する。

PWM 制御部 21 は、三相の電圧指令値 V_u^* , V_v^* , V_w^* に応じて制御されたデューティ比の駆動信号を生成して駆動回路 13 に与える。これにより、モータ 1 の各相には、該当する相の電圧指令値 V_u^* , V_v^* , V_w^* に応じたデューティ比で電圧が印加されることになる。

20

【0055】

このような構成によって、舵取り機構 3 に結合された操作部材としてのステアリングホイール (図示せず) に操作トルクが加えられると、これがトルクセンサ 7 によって検出される。そして、その検出された操作トルクおよび車速に応じた目標電流値 I_{dq} が dq 軸目標電流値演算部 16 によって生成される。この目標電流値 I_{dq} と二相検出電流 I_{dq} との偏差が偏差演算部 18 によって求められ、この偏差をゼロに導くように PI 制御部 19A による PI 演算が行われる。この演算結果に対応した二相電圧指令値 V_{dq}^* が電圧指令値生成部 19B によって生成され、これが、座標変換部 20A, 20B を経て三相電圧指令値 V_{uvw}^* に変換される。そして、 PWM 制御部 21 の働きによって、その三相電圧指令値 V_{uvw}^* に応じたデューティ比で駆動回路 13 が動作することによって、モータ 1 が駆動され、目標電流値 I_{dq} に対応したアシストトルクが舵取り機構 3 に与えられることになる。こうして、操作トルクおよび車速に応じて操舵補助を行うことができる。電流検出部 11 によって検出される三相検出電流 I_{uvw} は、座標変換部 17A, 17B を経て、目標電流値 I_{dq} に対応するように二相回転座標系 ($d-q$) で表された二相検出電流 I_{dq} に変換された後に、偏差演算部 18 に与えられる。

30

【0056】

回転座標系と固定座標系との間での座標変換のためには、ロータ 50 の回転位置 (位相角、すなわち電気角) θ が必要である。この回転位置を表す制御回転位置 θ^* が、レゾルバ 2 の出力を用いて位置算出部 22 で生成されるか、または位置推定部 60 での推定演算によって推定されるようになっている。そして、いずれかによって演算された制御回転位置 θ^* が、切換え部 66 から、座標変換部 17B および座標変換部 20A に与えられるようになっている。

40

【0057】

回転速度演算部 23 は、切換え部 26 から所定の制御周期毎に与えられる制御回転位置 θ^* の差分 $\Delta\theta$ を求めることにより、ロータ 50 の回転速度 ω ($= \Delta\theta / \Delta t$) を演算する。この回転速度 ω は、制限部 33 および位置推定部 60 において用いられる。

センシング信号発生部 65 は、ロータ 50 の停止時および極低速回転時 (250 rpm 以下) においてロータ 50 の回転位置 θ を推定するために、モータ 1 に探査信号 (センシ

50

ング信号)を印加するセンシング信号印加手段として機能する。このセンシング信号発生部65は、モータ1の定格周波数に比較して十分に高い周波数(たとえば、200Hz)の高周波正弦電圧(図8(b)参照)を、センシング信号として、モータ1のU相、V相およびW相のステータ巻線51, 52, 53に印加するための電圧指令値を生成し、PWM制御部21に与える。より具体的には、ロータ50の回転を引き起こすことのない程度のデューティ比の高周波電圧の印加によって、V-W相通電、W-U相通電およびU-V相通電を順次繰り返させることにより、ロータ50の回転中心まわりで空間的に回転する高周波電圧ベクトルを印加する。この高周波電圧ベクトルは、ロータ50の回転中心を原点とする固定座標である座標の原点まわりに定速回転する一定の大きさの電圧ベクトルである(図2(a)参照)。

10

【0058】

センシング信号発生部65は、ロータ50の停止時および極低速回転時において、前述のような高周波電圧の印加のための指令値を生成してPWM制御部21に与える。ロータ50の回転が十分に速くなると(たとえば、250rpmを超えると)、センシング信号発生部65は、高周波電圧指令の発生を停止する。

図9は、位置推定部60の構成を説明するためのブロック図である。位置推定部60は、モータ1に流れるモータ電流と、モータ1に印加されるモータ電圧とに基づいて、ロータ50の回転位置を推定するものである。この位置推定部60は、低速域用位置推定部61と、高速域用位置推定部62と、推定位置切換え部63とを備えている。

【0059】

20

低速域用位置推定部61は、モータ1の停止時および極低速回転時(たとえば、0~100rpm)におけるロータ50の位置推定に適合するように設計されており、UVW/座標変換部17Aが出力する二相検出電流 I_{uv} と、座標変換部20Aが生成する二相電圧指令値 V_{uv} とに基づいて、ロータ50の回転位置を推定する。以下、低速域用位置推定部61によって推定されるロータ回転位置を「低速推定回転位置 θ_L 」という。

【0060】

高速域用位置推定部62は、モータ1の高速回転時(たとえば、200rpm以上)におけるロータ50の位置推定に適合するように設計されており、UVW/座標変換部17Aが出力する二相検出電流 I_{uv} と、座標変換部20Aが生成する二相電圧指令値 V_{uv} とに基づいて、ロータ50の回転位置を推定する。以下、高速域用位置推定部62によって推定されるロータ回転位置を「高速推定回転位置 θ_H 」という。

30

【0061】

推定位置切換え部63は、回転速度演算部23によって求められる回転速度 ω に基づいて、低速推定回転位置 θ_L および高速推定回転位置 θ_H のいずれかを選択し、制御回転位置 θ^* として出力する。位置推定部60には、低速域用位置推定部61によって求められた低速推定回転位置 θ_L と、高速域用位置推定部62によって求められた高速推定回転位置 θ_H とをロータ回転速度 ω に応じて内分して内分推定回転位置 θ_M を求める内分処理部がさらに備えられていてもよい。この場合には、推定位置切換え部63は、低速推定回転位置 θ_L 、高速推定回転位置 θ_H および内分推定回転位置 θ_M のうちのいずれか一つを回転速度 ω に基づいて選択して出力する。

40

【0062】

図10は、低速域用位置推定部61の構成例を説明するためのブロック図である。低速域用位置推定部61は、高周波応答抽出部68と、ロータ位置推定部69とを備えている。高周波応答抽出部68には、UVW/座標変換部17Aが出力する二相検出電流 I_{uv} が与えられるようになっている。高周波応答抽出部68は、たとえば、ハイパスフィルタであり、センシング信号発生部65が発生するセンシング信号(高周波電圧)の周波数に対応した周波数成分をUVW/座標変換部17Aの出力信号から抽出するフィルタ処理を実行する。ロータ位置推定部69は、高周波応答抽出部68によって抽出される高周波成分と、二相電圧指令値 V_{uv} とに基づいて、ロータ回転位置を推定する。

50

【 0 0 6 3 】

具体的には、センシング信号発生部 6 5 からのセンシング信号の印加によって、図 2 (a) に示すように、座標の原点まわりにロータ 5 0 の回転方向に沿って回転する高周波電圧ベクトル（大きさは一定）が形成される。高周波電圧ベクトルは、ロータ 5 0 の回転速度に対して十分に高速に回転する電圧ベクトルである。この高周波電圧ベクトルの印加に伴って、U、V、W相のステータ巻線 5 1、5 2、5 3 に電流が流れる。この三相の電流の大きさおよび方向を座標上で表した電流ベクトルは、原点まわりに回転することになる。

【 0 0 6 4 】

ロータ 5 0 のインダクタンスは、d 軸方向と q 軸方向とで異なる値をとる。そのため、電流ベクトルの大きさは、d 軸に近い方向の場合に大きく、q 軸に近い方向の場合に小さくなる。その結果、図 2 (b) に示すように、電流ベクトルの終点は、座標上において、ロータ 5 0 の d 軸方向を長軸とする楕円形の軌跡 5 4 を描く。

したがって、電流ベクトルの大きさは、ロータ 5 0 の N 極方向および S 極方向において極大値を有する。すなわち、電圧ベクトルの大きさが図 8 (b) のように変化するのに対して、電流ベクトルの大きさは、図 8 (a) に示すように、その 1 周期中に、2 つの極大値を有する。この場合、電圧ベクトルの大きさが十分に大きければ、ステータの磁気飽和の影響により、ロータ 5 0 の N 極側の方が S 極側よりもインダクタンスが小さくなり、N 極方向の電流ベクトルの大きさが最大値をとることになる（曲線 L 1 参照）。

【 0 0 6 5 】

そこで、十分に大きな高周波電圧ベクトルを印加して N 極に対応した電流ベクトルの極大を特定しておき、その後は、大きさを小さくした高周波電圧ベクトルを印加し、電流ベクトルの極大値に基づいて、ロータ 5 0 の位相を推定することができる。より具体的には、大きさが最大値をとるときの電流ベクトルの軸成分 I_d および軸成分 I_q （すなわち、二相検出電流 I_{α} ）により、低速推定回転位置 θ_L は、 $\theta_L = \tan^{-1}(I_q / I_d)$ として求めることができる。

【 0 0 6 6 】

ただし、この参考形態では、低速推定回転位置 θ_L は、電流ベクトルの大きさが極大値をとるときの二相電圧指令値 V_{α}^* 、 V_{β}^* を用いて、次の (3) 式に従って求められるようになっている。これは、高周波電圧ベクトルは大きさが一定であるので、演算が容易であり、演算結果も正確だからである。

$$\theta_L = \tan^{-1}(V_{\beta}^* / V_{\alpha}^*) \dots (3)$$

図 1 1 は、高速域用位置推定部 6 2 の構成例を示すブロック図である。高速域用位置推定部 6 2 は、信号処理部 7 0 と、ロータ位置推定部 7 3 とを備えている。

【 0 0 6 7 】

信号処理部 7 0 は、二相電圧指令値 V_{α}^* の高周波成分を除去する低域通過フィルタで構成された電圧フィルタ 7 1 と、二相検出電流 I_{α} の高周波成分を除去する低域通過フィルタで構成された電流フィルタ 7 2 とを有している。

ロータ位置推定部 7 3 には、信号処理部 7 0 によって信号処理（フィルタリング）された後の二相電圧指令値 V_{α}^* および二相検出電流 I_{α} が与えられるようになっている。ロータ位置推定部 7 3 は、モータ 1 の数学モデルであるモータモデルに基づき、モータ 1 の誘起電圧を外乱として推定する外乱オブザーバ 7 5 と、この外乱オブザーバ 7 5 が出力する推定誘起電圧から高周波成分を除去する低域通過フィルタで構成された推定値フィルタ 7 6 と、この推定値フィルタ 7 6 が出力する推定誘起電圧（フィルタリング後の値）に基づいて、ロータ 5 0 の高速推定回転位置 θ_H を生成する推定位置生成部 7 7 とを有している。そして、信号処理部 7 0 の電圧フィルタ 7 1 によってフィルタリングされた二相電圧指令値 V_{α}^* と、電流フィルタ 7 2 によってフィルタリングされた二相検出電流 I_{α} とが、ロータ位置推定部 7 3 の外乱オブザーバ 7 5 にそれぞれ入力されるようになっている。

【 0 0 6 8 】

図 12 は、外乱オブザーバ 75 およびこれに関連する構成の一例を説明するためのブロック図である。モータ 1 の数学モデルであるモータモデルは、たとえば、 $(R + pL)^{-1}$ と表すことができる。ただし、 R は電機子巻線抵抗、 L は 軸インダクタンス、 p は微分演算子である。モータ 1 には、二相電圧指令値 V と誘起電圧 E (軸誘起電圧 E および 軸誘起電圧 E) とが印加されると考えることができる。

【0069】

外乱オブザーバ 75 は、二相検出電流 I を入力としてモータ電圧を推定する逆モータモデル (モータモデルの逆モデル) 78 と、この逆モータモデル 78 によって推定されるモータ電圧と二相電圧指令値 V との偏差を求める電圧偏差演算部 79 とで構成することができる。電圧偏差演算部 79 は、二相電圧指令値 V に対する外乱を求めること

10

になるが、図 12 から明らかなとおり、この外乱は誘起電圧 E に相当する推定値 E^{\wedge} (軸誘起電圧推定値 E^{\wedge} および 軸誘起電圧推定値 E^{\wedge} (以下、まとめて「推定誘起電圧 E^{\wedge} 」という。) になる。逆モータモデル 78 は、たとえば、 $R + pL$ で表される。

【0070】

このように、この参考形態では、外乱オブザーバ 75 は、二相固定座標系の電圧指令値 V および検出電流 I を用いて推定誘起電圧 E^{\wedge} を求める構成であるので、モータ 1 の回転速度の影響を受けることなく誘起電圧を推定できる。これにより、回転速度変動の生じやすい電動パワーステアリング装置に使用されるモータ 1 のロータ回転位置推定精度の向上に寄与できる。

20

【0071】

推定値フィルタ 76 は、たとえば、 $a / (s + a)$ で表される低域通過フィルタで構成することができる。 a は、設計パラメータであり、この設計パラメータ a により、推定値フィルタ 76 の遮断周波数 ω_c が定まる。

誘起電圧 E は、次の(4)式で表すことができる。ただし、 K_E は誘起電圧定数、 θ はロータ回転位置、 ω はロータ回転速度である。

【0072】

【数 2】

$$E_{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} E_{\alpha} \\ E_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -K_E \omega \sin \theta \\ K_E \omega \cos \theta \end{bmatrix} \dots\dots(4)$$

30

したがって、推定誘起電圧 E^{\wedge} が求まれば、次の(5)式に従って、高速推定回転位置 θ_H が求まる。この演算が、推定位置生成部 77 によって行われるようになっている。

【0073】

【数 3】

$$\theta_H = \tan^{-1} \frac{E_{\alpha}^{\wedge}}{E_{\beta}^{\wedge}} \dots\dots(5)$$

40

低速域用位置推定部 61 による位置推定のためには、モータ電流の応答からセンシング信号成分が抽出される必要がある。しかし、モータ電流には、トルクを発生させるための電流成分 (トルク電流成分) が含まれているから、トルク電流成分が大きいときには、センシング信号成分の抽出効率が悪くなる。その結果、位置推定精度が悪くなる。

【0074】

そこで、この参考形態では、レゾルバ 2 に故障が生じて位置推定部 60 によるロータ位置推定を行う場合には、低速域用位置推定部 61 による位置推定が行われる低回転速度領域において目標電流値を制限するようにしている。

50

具体的には、センサ故障判定部 25 によってレゾルバ 2 の故障が生じたと判定されると、制限部 33 の働きによって目標電流値の上限値（以下、「目標電流上限値」という。）が図 13 に示すように制限される。モータ 1 の回転速度 が所定の閾値 1 以下の低速領域において、目標電流上限値が、第 1 上限値 I_1 に制限される。閾値 1 よりも大きな閾値 2 以上の高速領域においては、目標電流上限値は、第 1 上限値 I_1 よりも大きな第 2 上限値 I_2 とされている。ただし、閾値 2 よりも大きな所定速度 3 以上の回転速度領域では、モータ 1 の逆起電力のためにモータ電流が低下するので、それに応じて、回転速度 の増加に伴ってリニアに減少する特性で目標電流上限値が定められており、この特性に従って基本目標電流値演算部 15 における基本目標電流値 I^* の設定が行われる。

【0075】

閾値 1, 2 の間の遷移領域では、回転速度 の増加に伴って、第 1 上限値 I_1 から第 2 上限値 I_2 までリニアに増加するように、目標電流上限値が定められる。制限部 33 は、閾値 2 以下の回転速度領域において、通常時（図 13 の破線参照）よりも低い目標電流上限値を定めるものである。

たとえば、閾値 1 以下の低速領域におけるロータ位置の推定は低速域用位置推定部 61 によって行われ、閾値 2 を超える速度領域（中・高速領域）におけるロータ位置の推定は、高速域用位置推定部 62 によって行われる。

【0076】

したがって、低速域用位置推定部 61 による位置推定が行われるときには、目標電流上限値が第 1 上限値 I_1 とされる。これにより、モータ電流の応答からセンシング信号成分を効率的に抽出することができる状態に維持することができるから、低速域における位置推定精度を確保することができる。

レゾルバ 2 に故障が生じていない通常時には、閾値 2 以下の領域の目標電流上限値は、図 13 において破線で示すように第 2 上限値 I_2 に定められる。すなわち、制限部 33 による制限は行われず、基本目標電流値演算部 15 は、第 2 上限値 I_2 を上限として基本目標電流値 I^* を定める。

【0077】

なお、制限部 33 による目標電流上限値の制限は、図 13 において二点鎖線 L11 で示す特性に従って行われてもよい。すなわち、目標電流上限値をいずれの回転速度においても第 1 上限値 I_1 以下に制限するようにしてもよい。

図 14 は、マイクロコンピュータ 12A が所定の制御周期毎に繰り返し実行する処理を説明するためのフローチャートである。マイクロコンピュータ 12A は、トルクセンサ 7、車速センサ 8、レゾルバ 2、および電流検出部 11 の各出力信号を取り込む（ステップ S11）。基本目標電流値演算部 15 は、トルクセンサ 7 が検出した操作トルクおよび車速センサ 8 が検出した車速に基づいて、基本目標電流値 I^* を演算する（ステップ S12）。一方、センサ故障判定部 25 は、信号線 2a に導出される信号に基づいて、レゾルバ 2 の故障の有無を判定する（ステップ S13）。

【0078】

レゾルバ 2 に故障がなければ（ステップ S13：NO）、切換え部 66 によって、位置算出部 22 が算出する制御回転位置 θ （レゾルバ出力による制御回転位置）が選択されて（ステップ S14）、レゾルバ 2 の出力信号を用いながら基本目標電流値 I^* に基づいてモータ 1 を駆動する通常の制御が実行される（ステップ S15）。より具体的には、d-q 軸目標電流値演算部 16 によって d 軸目標電流値 I_d^* および q 軸目標電流値 I_q^* が設定される。また、電流検出部 11 が検出する相電流 I_{uvw} が、座標変換部 17A, 17B で座標変換され、 d 軸電流 I_d および q 軸電流 I_q が求められる。偏差演算部 18 は、 d 軸電流偏差 $I_d (= I_d^* - I_d)$ および q 軸電流偏差 $I_q (= I_q^* - I_q)$ を求める。PI 制御部 19A は、電流偏差 I_d, I_q に対する PI（比例積分）演算等を行い、この PI 演算に基づいて、電圧指令値生成部 19B によって、 d 軸電圧指令値 V_d^* および q 軸電圧指令値 V_q^* が生成される。これらが座標変換部 20A, 20B において座標変換されることによって、UVW 相の電圧指令値 V_u^*, V_v^*, V_w^* が生成される。これらの電圧指

10

20

30

40

50

令値 V_u^* , V_v^* , V_w^* に対応する PWM 制御信号が PWM 制御部 21 によって生成される。
座標変換部 17B および座標変換部 20A における座標変換演算には、レゾルバ 2 の出力信号に基づいて位置算出部 22 によって算出される制御回転位置 θ^* が用いられる (ステップ S14)。

【0079】

一方、センサ故障判定部 25 によって、レゾルバ 2 に故障が生じていると判定されると (ステップ S13: YES)、切換え部 66 によって、位置推定部 60 が演算する制御回転位置 θ^* (推定回転位置) が選択され (ステップ S16)、さらに、制限部 33 による制限処理が行われる (ステップ S17, S18)。すなわち、基本目標電流値演算部 15 によって演算された基本目標電流値 I^* が目標電流上限値 (図 13 参照。回転速度 ω に応じた値) 以上かどうか判断される (ステップ S17)。基本目標電流値 I^* が目標電流上限値未満であれば (ステップ S17: NO)、基本目標電流値 I^* をそのまま用いる。すなわち、位置推定部 60 が演算する制御回転位置 θ^* を用いつつ、基本目標電流値 I^* に基づいてモータ 1 が制御される (ステップ S15)。これに対して、基本目標電流値 I^* が目標電流上限値以上であるときには (ステップ S17: YES)、制限部 33 の働きによって、基本目標電流値 I^* に目標電流上限値が代入される (ステップ S18)。したがって、目標電流上限値に基づいて、位置推定部 60 が演算する制御回転位置 θ^* を用いつつ、モータ 1 が制御される。

【0080】

位置推定部 60 の推定位置切換え部 63 は、回転速度演算部 23 が求めるモータ回転速度 ω が閾値 ω_1 以下のときには、推定位置切換え部 63 は、低速域用位置推定部 61 によって推定された低速推定回転位置 θ_L を出力する。また、モータ回転速度が閾値 ω_1 を超えているときには、推定位置切換え部 63 は、高速域用位置推定部 62 によって推定された高速推定回転位置 θ_H を出力する。

【0081】

このように、この参考形態では、レゾルバ 2 に故障が発生したときには、位置推定部 60 によって求められる推定回転位置を制御回転位置 θ^* として用いたセンサレス制御 (レゾルバ 2 の出力信号を用いずに行うモータ制御) に切り換えられる。これにより、レゾルバ 2 が故障した後も、モータ 1 の駆動を継続でき、操舵補助力を舵取り機構 3 に与えることができる。また、センサレス制御が行われる場合において、低速域用位置推定部 61 によってロータ回転位置の推定が行われる低速域では、目標電流上限値が、一定以上のロータ位置推定精度が得られる値 I_1 に制限されるようになっている。これにより、低速域においても、ロータ回転位置を精度よく推定することができるので、モータ 1 をスムーズに回転させることができる。これにより、良好な操舵フィーリングを実現できる。

【0082】

低速域用位置推定部 61 によるロータ回転位置の推定には、ある程度の時間が必要である。すなわち、低速域用位置推定部 61 を用いたセンサレス制御のためには、センシング信号発生部 65 からセンシング信号を発生させ、それに対するモータ電流の応答を検出し、それに基づいてロータ回転位置を演算する一連の処理が必要となる。これらの処理のために、制御開始初期には、位置不定期間が生じる。この問題は、レゾルバ 2 の故障が検出されてセンサレス制御に移行した直後の期間において、その直前にレゾルバ 2 の出力信号から得られた制御回転位置 θ^* を、センサレス制御のための初期値として用いることによって解決できる。

【0083】

高速域用位置推定部 62 による位置推定処理では、モータ 1 の誘起電圧を用いているので、速やかにロータ回転位置を推定できる。したがって、センサレス制御に移行した直後におけるロータ回転速度 ω が閾値 ω_1 以下の場合 (低速域用位置推定部 61 による演算が行われる場合) に限って、レゾルバ 2 の出力に基づいて最後 (故障判定直前) に演算された制御回転位置 θ^* をセンサレス制御の初期値として用いることとしてもよい。

【0084】

10

20

30

40

50

図 15 は、さらに他の参考形態に係るモータ制御装置を適用した電動パワーステアリング装置の電氣的構成を説明するためのブロック図である。この図 15 において、前述の図 7 に示された各部に対応する部分には、同一の参照符号を付して示す。

この参考形態では、位置推定部 60A には、低速域用位置推定部が備えられておらず、誘起電圧に基づいてロータ回転位置を推定する高速域用位置推定部 62 だけが備えられている。また、レゾルバ 2 の故障時の制御態様を定めるための制御則決定器 80 が備えられている。

【0085】

ロータが停止しているか、またはロータ回転速度が低い場合には、誘起電圧が小さいので、ロータ位置を推定することができない。そこで、この参考形態では、誘起電圧が小さいときには、目標電流値をゼロとし、ステアリングホイールの回転によってモータ 1 から誘起電圧が発生したときに、この誘起電圧に基づいてロータ回転位置を推定するようにしている。

【0086】

図 16 は、マイクロコンピュータ 12A の働きを説明するためのフローチャートである。この図 16 において、前述の図 14 に示された各ステップと同様の処理が行われるステップは、図 14 中の符号と同符号を付して示す。

マイクロコンピュータ 12A は、トルクセンサ 7、車速センサ 8、レゾルバ 2、および電流検出部 11 の各出力信号を取り込む（ステップ S11）。基本目標電流値演算部 15 は、トルクセンサ 7 が検出した操作トルクおよび車速センサ 8 が検出した車速に基づいて、基本目標電流値 I^* を演算する（ステップ S12）。一方、センサ故障判定部 25 は、信号線 2a に導出される信号に基づいて、レゾルバ 2 の故障の有無を判定する（ステップ S13）。

【0087】

レゾルバ 2 に故障のない通常時には（ステップ S13：NO）、レゾルバ 2 の出力信号を用いて位置算出部 22 が演算する制御回転位置 θ^* が切換え部 66 によって選択される（ステップ S14）。そして、この制御回転位置 θ^* を用いつつ基本目標電流値 I^* に基づいて、モータ 1 の制御が実行される（ステップ S15）。

一方、センサ故障判定部 25 によって、レゾルバ 2 に故障が生じていると判定されると（ステップ S13：YES）、切換え部 66 は、位置推定部 60A の推定演算によって求められる制御回転位置 θ^* （推定回転位置）を選択する（ステップ S16）。

【0088】

また、制御則決定器 80 は、基本目標電流値演算部 15 から生成される基本目標電流値 I^* をゼロとする（ステップ S20）。これにより、電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* は、モータ 1 の誘起電圧に等しくなる。そこで、制御則決定器 80 は、電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* （誘起電圧）からモータ 1 の誘起電圧を求める（ステップ S21）。そして、制御則決定器 80 は、求めた誘起電圧を所定の閾値 V_{th} と比較する（ステップ S22）。この閾値 V_{th} は、外乱オブザーバ 75（図 11 参照）による誘起電圧の推定が可能な下限値に近い値とされる。

【0089】

誘起電圧が閾値 V_{th} よりも大きいときには（ステップ S22：YES）、制御則決定器 80 は、高速域用位置推定部 62 によってロータ回転位置の推定を行わせるとともに（ステップ S23）、基本目標電流値演算部 15 には、操作トルクおよび車速に応じた基本目標電流値 I^* を演算させる（ステップ S24）。この演算を省いて、ステップ S12 で求めた基本目標電流値 I^* をそのまま用いてもよい。こうして求められた基本目標電流値 I^* に基づいて、高速域用位置推定部 62 によって演算された制御回転位置 θ^* を用いつつ、モータ 1 の制御が行われる（ステップ S15）。

【0090】

誘起電圧が閾値 V_{th} 以下のときには（ステップ S22：NO）、高速域用位置推定部 62 によるロータ回転位置推定演算は行われず、基本目標電流値 I^* がゼロに維持される。

すなわち、基本目標電流値 I^* をゼロとした状態で、モータ 1 の駆動が行われる（ステップ S 1 5）。これにより、モータ 1 が操舵抵抗となることを回避できる。

基本目標電流値 I^* がゼロに維持されている状態でステアリングホイールが操作されると、モータ 1 が外力によって回転される結果、誘起電圧が生じる。この誘起電圧が閾値 V_{th} を超えると（ステップ S 2 2：YES）、高速域用位置推定部 6 2 によって制御回転位置 θ^* が演算され（ステップ S 2 3）、この演算された制御回転位置 θ^* に基づいてモータ 1 が駆動されることになる（ステップ S 1 5）。このとき、基本目標電流値 I^* は、操作トルクおよび車速に応じた有意値に設定される（ステップ S 2 4）。

【0091】

このようにして、この参考形態によれば、レゾルバ 2 が故障した後でも、高速域用位置推定部 6 2 による位置推定が可能な大きさの誘起電圧が生じている限りにおいて、モータ 1 を駆動することができ、舵取り機構 3 に対して操舵補助力を与えることができる。

以上、この発明の実施形態および参考形態について説明したが、さらに他の形態での実施も可能である。たとえば、前述の図 7 の参考形態では、基本目標電流値を制限するようにしているが、モータ 1 に供給される実電流を制限するようにしても同様の効果が得られる。

【0092】

また、前述の図 7 の参考形態において、センシング信号が三相電圧指令値 V_{UVW} に重畳しているが、電圧指令値生成部 1 9 B が生成する電圧指令値 V または / 座標変換部 2 0 A が生成する二相電圧指令値 V にセンシング信号を重畳する構成としてもよい。

さらにまた、前述の実施形態および参考形態では、電動パワーステアリング装置の駆動源としてのモータ 1 を制御する場合について説明したが、前述の参考形態は、電動パワーステアリング装置以外の用途のモータ制御にも適用することができる。

【0093】

その他、特許請求の範囲に記載された事項の範囲で種々の設計変更を施すことが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0094】

【図 1】この発明の一実施形態に係るモータ制御装置を適用した電動パワーステアリング装置の電氣的構成を説明するためのブロック図である。

【図 2】モータの構成、ならびに高周波電圧ベクトルおよび電流ベクトルの回転を説明するための図である。

【図 3】駆動回路の構成を説明するための電気回路図である。

【図 4】図 4 A および図 4 B は、通電パターン駆動部が生成する制御信号の一例を示す波形図である。

【図 5】前記実施形態の動作を説明するためのフローチャートである。

【図 6】参考形態に係る電動パワーステアリング装置の電氣的構成を示すブロック図である。

【図 7】他の参考形態に係るモータ制御装置を適用した電動パワーステアリング装置の電氣的構成を説明するためのブロック図である。

【図 8】高周波電圧ベクトルの印加によるロータ位相角推定動作を説明するための図である。

【図 9】位置推定部の構成を説明するためのブロック図である。

【図 10】低速域用位置推定部の構成例を説明するためのブロック図である。

【図 11】高速域用位置推定部の構成例を示すブロック図である。

【図 12】外乱オブザーバおよびこれに関連する構成の一例を説明するためのブロック図である。

【図 13】基本目標電流値の制限を説明するための特性図である。

【図 14】前記図 7 の参考形態の動作を説明するためのフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図 15】さらに他の参考形態に係るモータ制御装置を適用した電動パワーステアリング装置の電気的構成を説明するためのブロック図である。

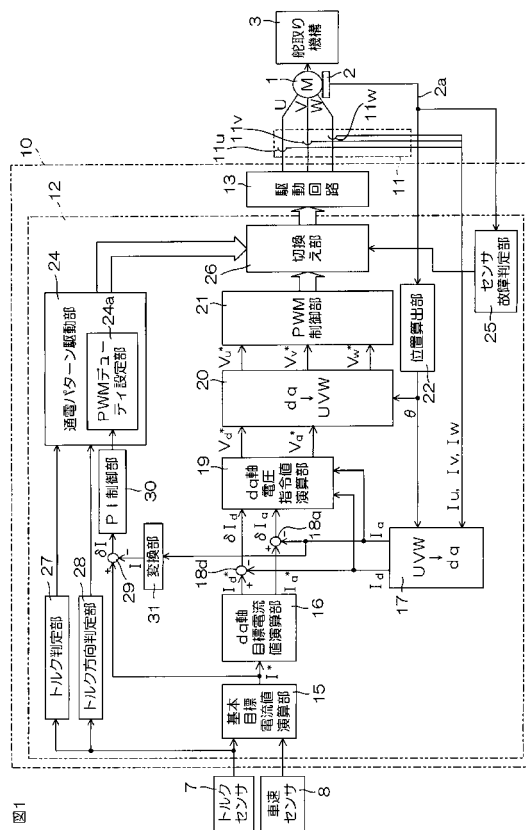
【図 16】前記図 15 の参考形態の動作を説明するためのフローチャートである。

【符号の説明】

【0095】

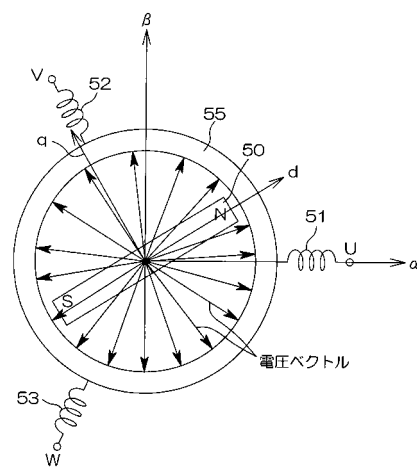
1 ... モータ、2 ... レゾルバ、10, 10A ... モータ制御装置、12, 12A ... マイクロコンピュータ、50 ... ロータ、55 ... ステータ

【図 1】

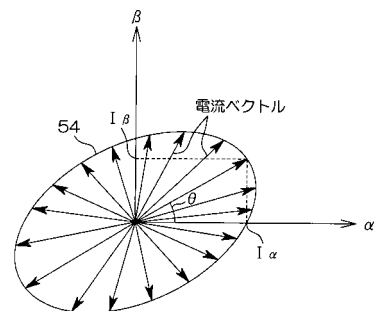


【図 2】

図2
(a)

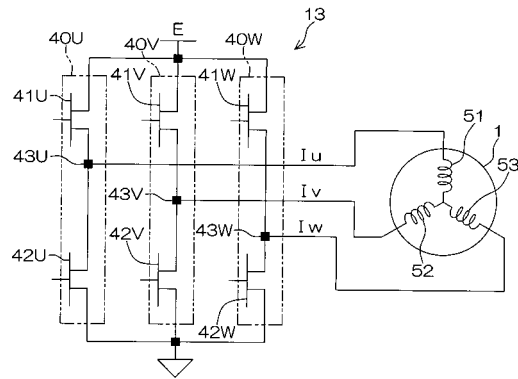


(b)



【図 3】

図3



【図 4】

図4A

<右回りの方向>

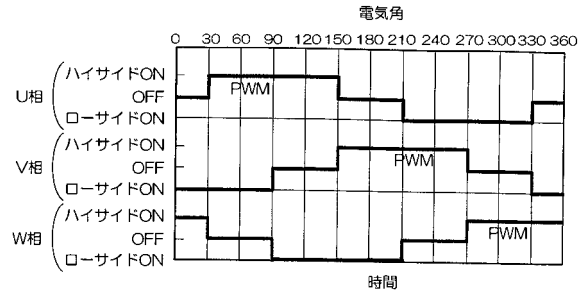
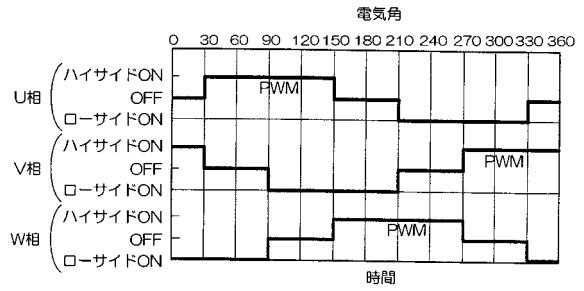


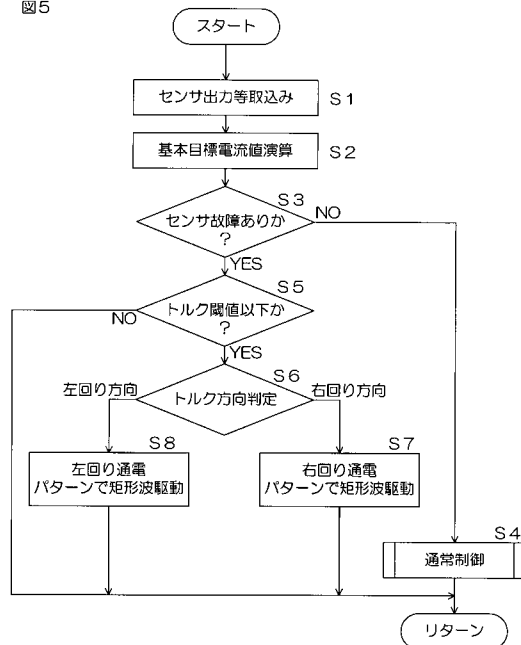
図4B

<左回りの方向>

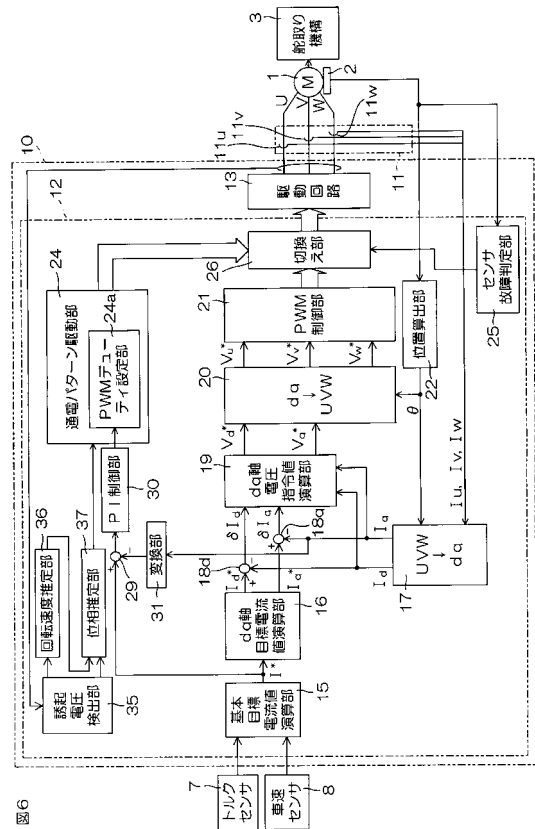


【図 5】

図5

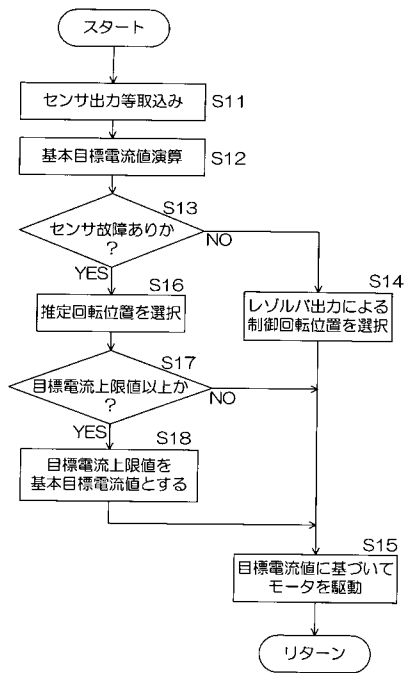


【図 6】



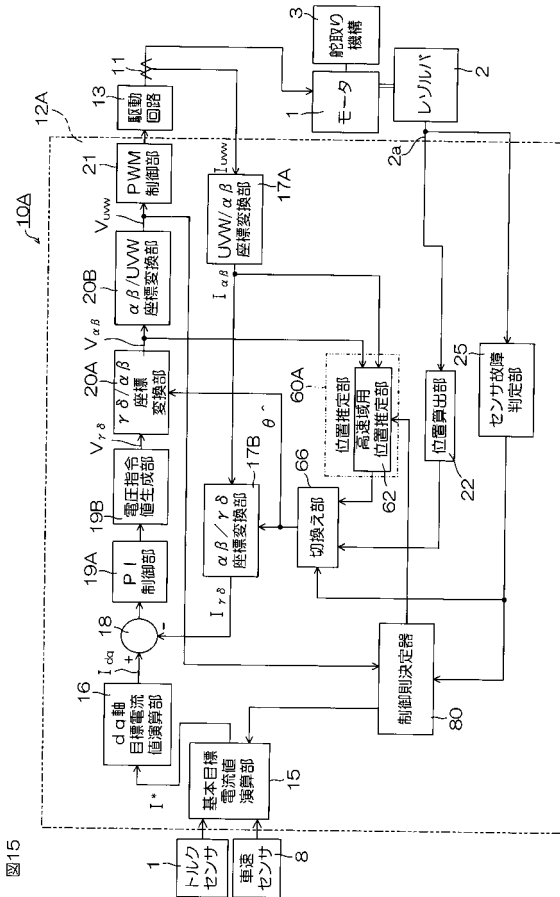
【図 14】

図14



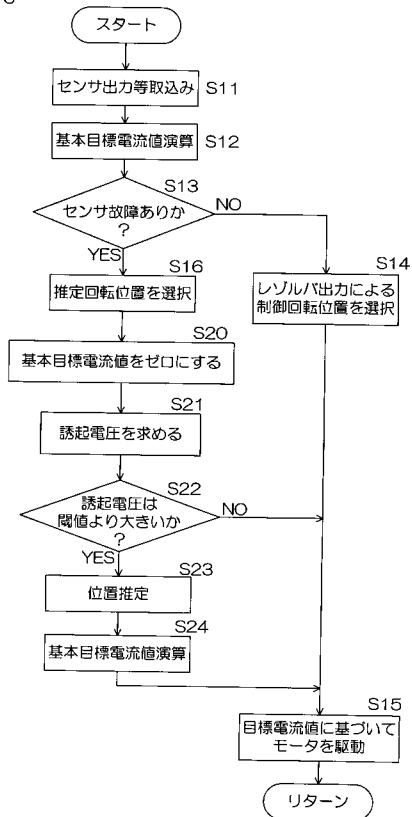
【図 15】

図15



【図 16】

図16



フロントページの続き

- (72)発明者 瀬川 雅也
大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
- (72)発明者 狩集 裕二
大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内
- (72)発明者 吉田 航也
大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 株式会社ジェイテクト内

審査官 櫻田 正紀

- (56)参考文献 特開2005-253226(JP,A)
特開平04-312388(JP,A)
特開平10-014300(JP,A)
特開2007-269277(JP,A)
特開2001-112282(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|-------|
| H02P | 6/18 |
| H02P | 29/00 |
| B62D | 5/04 |
| B62D | 6/00 |