(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5751442号
(P5751442)

(45)発行日　平成27年7月22日(2015.7.22)　(24)登録日　平成27年5月29日(2015.5.29)

(51)Int.Cl.		F I		
H02P 6/18	(2006.01)	H02P	6/02	371S
B62D 6/00	(2006.01)	B62D	6/00	
B62D 5/04	(2006.01)	B62D	5/04	
B62D 101/00	(2006.01)	B62D	101:00	
B62D 113/00	(2006.01)	B62D	113:00	

請求項の数 3　(全 22 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2011-37212(P2011-37212)
(22)出願日　平成23年2月23日(2011.2.23)
(65)公開番号　特開2012-175860(P2012-175860A)
(43)公開日　平成24年9月10日(2012.9.10)
審査請求日　平成26年1月23日(2014.1.23)

(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
(74)代理人　100086391
弁理士　香山　秀幸
(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　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
最終頁に続く

(54)【発明の名称】モータ制御装置および車両用操舵装置

(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、
制御上の回転角である制御角に従う回転座標系の軸電流値で前記モータを駆動する電流駆動手段と、
前記制御角に加算すべき加算角を演算する加算角演算手段と、
所定の演算周期毎に、前記加算角演算手段によって演算された加算角を制御角の前回値に加算することによって制御角の今回値を求める制御角演算手段と、
前記モータによって駆動される駆動対象に加えられる、モータトルク以外のトルクを検出するためのトルク検出手段と、
前記駆動対象に作用させるべき指示トルクを設定する指示トルク設定手段と、
モータ電圧およびモータ電流に基づいて前記モータの抵抗値を推定するモータ抵抗推定手段と、
前記モータ抵抗推定手段によって推定されたモータ抵抗を用いて、前記モータの誘起電圧を推定する誘起電圧推定手段と、
前記トルク検出手段によって検出されたトルクに基づいて、前記軸電流値の目標値である指示電流値を設定する指示電流設定手段とを含み、
前記加算角演算手段は、前記指示トルク設定手段によって設定される指示トルクと、前記トルク検出手段によって検出される検出トルクとに基づいて、前記加算角を演算するよ

うに構成されており、
前記モータ抵抗推定手段は、前記加算角が第１所定値以下であり、かつ前記誘起電圧推定手段によって推定された誘起電圧推定値が第２所定値以下であり、かつ前記指示電流設定手段によって設定された指示電流値が一定であるときに、前記モータの抵抗を推定して更新するように構成されており、
前記軸電流値は、前記制御角に対応する仮想的なγ軸の電流値であり、前記指示電流値は、前記γ軸の電流値の目標値であるγ軸指示電流値である、モータ制御装置。
【請求項２】
前記誘起電圧推定手段によって推定された誘起電圧に基づいて前記ロータの回転角を推定する回転角推定手段と、
前記指示トルク設定手段によって設定される指示トルクと、前記トルク検出手段によって検出される検出トルクと、前記回転角推定手段によって推定されたロータ回転角とに基づいて、前記加算角を補正する加算角補正手段とをさらに含む、請求項１に記載のモータ制御装置。
【請求項３】
車両の舵取り機構に駆動力を付与するモータと、
前記モータを制御する請求項１または２に記載のモータ制御装置とを含む、車両用操舵装置。
【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およびそれを備えた車両用操舵装置に関する。車両用操舵装置の一例は、電動パワーステアリング装置である。
【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、ロータの回転角を検出するための回転角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。回転角センサとしては、一般的には、ロータ回転角（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。しかし、レゾルバは、高価であり、配線数が多く、また、設置スペースも大きい。そのため、ブラシレスモータを備えた装置のコスト削減および小型化が阻害されるという課題がある。
【０００３】
そこで、回転角センサを用いることなくブラシレスモータを駆動するセンサレス駆動方式が提案されている。センサレス駆動方式は、ロータの回転に伴う誘起電圧を推定することによって、磁極の位相（ロータの電気角）を推定する方式である。ロータ停止時および極低速回転時には、磁極の位相を推定できないので、別の方式で磁極の位相が推定される。具体的には、ステータに対してセンシング信号を注入し、このセンシング信号に対するモータの応答が検出される。このモータ応答に基づいて、ロータ回転位置が推定される。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】特開2009-183063号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
上記のセンサレス駆動方式は、誘起電圧やセンシング信号を用いてロータの回転位置を推定し、その推定によって得られた回転位置に基づいてモータを制御するものである。しかし、この駆動方式は、いずれの用途にも適しているわけではなく、たとえば、車両の舵取り機構に操舵補助力を与える電動パワーステアリング装置その他の車両用操舵装置の駆動源として用いられるブラシレスモータの制御に適用するための手法は未だ確立されてい

ない。そのため、別の方式によるセンサレス制御の実現が望まれている。

【０００６】

そこで、この発明の目的は、回転角センサを用いない新たな制御方式でモータを制御することができるモータ制御装置およびそれを備えた車両用操舵装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

上記の目的を達成するための請求項１記載の発明は、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（３）を制御するためのモータ制御装置（５）であって、制御上の回転角である制御角（θ_C）に従う回転座標系の軸電流値（I_γ^*）で前記モータを駆動する電流駆動手段（３１～３３，３４Ａ，３４Ｂ，３５，３６Ａ，３６Ｂ）と、前記制御角に加算すべき加算角（α）を演算する加算角演算手段（２２，２３）と、所定の演算周期毎に、前記加算角演算手段によって演算された加算角を制御角の前回値に加算することによって、制御角の今回値を求める制御角演算手段（２６）と、モータによって駆動される駆動対象（２）に加えられる、モータトルク以外のトルク（Ｔ）を検出するためのトルク検出手段（１）と、前記駆動対象に作用させるべき指示トルク（Ｔ＊：モータトルク以外のトルクの指示値）を設定する指示トルク設定手段（２１）と、モータ電圧およびモータ電流に基づいて前記モータの抵抗値を推定するモータ抵抗推定手段（２７）と、前記モータ抵抗推定手段によって推定されたモータ抵抗を用いて、前記モータの誘起電圧を推定する誘起電圧推定手段（２８）と、前記トルク検出手段によって検出されたトルクに基づいて、前記軸電流値の目標値である指示電流値を設定する指示電流設定手段（３１）とを含み、前記加算角演算手段は、前記指示トルク設定手段によって設定される指示トルクと、前記トルク検出手段によって検出される検出トルクとに基づいて、前記加算角を演算するように構成されており、前記モータ抵抗推定手段は、前記加算角が第１所定値以下であり、かつ前記誘起電圧推定手段によって推定された誘起電圧推定値が第２所定値以下であり、かつ前記指示電流設定手段によって設定された指示電流値が一定であるときに、前記モータの抵抗を推定して更新するように構成されており、前記軸電流値は、前記制御角に対応する仮想的なγ軸の電流値であり、前記指示電流値は、前記γ軸の電流値の目標値であるγ軸指示電流値である、モータ制御装置である。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。

【０００８】

この構成によれば、制御角に従う回転座標系（γδ座標系。以下「仮想回転座標系」といい、この仮想回転座標系の座標軸を「仮想軸」という。）の軸電流値（以下「仮想軸電流値」という。）によってモータが駆動される一方で、制御角は、演算周期毎に加算角を加算することによって更新される。これにより、制御角を更新しながら、すなわち、仮想回転座標系の座標軸（仮想軸）を更新しながら、仮想軸電流値でモータを駆動することによって、必要なトルクを発生させることができる。こうして、回転角センサを用いることなく、モータから適切なトルクを発生させることができる。

【０００９】

さらに、この発明では、駆動対象に加えられる、モータトルク以外のトルクがトルク検出手段によって検出される。また、駆動対象に作用させるべき指示トルクが指示トルク設定手段によって設定される。加算角演算手段は、たとえば、トルク検出手段によって検出される検出トルクを指示トルクに一致させるべく、加算角を演算するように動作する。これにより、指示トルクに応じたトルク（モータトルク以外のトルク）が駆動対象に加えられる状態となるように、モータトルクが制御される。モータトルクは、ロータの磁極方向に従う回転座標系（ｄｑ座標系）の座標軸と前記仮想軸とのずれ量である負荷角に対応する。負荷角は、制御角とロータ角との差で表される。モータトルクの制御は、負荷角を調整することによって達成され、この負荷角の調整が加算角を制御することによって達成される。

【００１０】

モータ抵抗推定手段によって、モータ電圧およびモータ電流に基づいてモータの抵抗値が推定される。モータ抵抗推定手段は、加算角が第１所定値以下であり、かつ誘起電圧推定手段によって推定された誘起電圧推定値が第２所定値以下であり、かつ指示電流設定手段によって設定された指示電流値が一定であるときに、保舵状態でありかつモータ電流が定常状態であるという抵抗更新条件を満たしていると判別して、モータの抵抗を推定して更新する。これにより、正確なモータの抵抗を求めることができる。

【００１１】

請求項２記載の発明は、前記誘起電圧推定手段によって推定された誘起電圧に基づいて前記ロータの回転角を推定する回転角推定手段（２９）と、前記指示トルク設定手段によって設定される指示トルクと、前記トルク検出手段によって検出される検出トルクと、前記回転角推定手段によって推定されたロータ回転角とに基づいて、前記加算角を補正する加算角補正手段（４０，４１）とをさらに含む、請求項１に記載のモータ制御装置である。

【００１２】

この構成では、誘起電圧推定手段により、モータ抵抗推定手段によって推定されたモータ抵抗を用いて、モータの誘起電圧が推定される。また、回転角推定手段により、誘起電圧推定手段によって推定されたモータの誘起電圧に基づいてロータの回転角が推定される。そして、加算角補正手段により、指示トルク設定手段によって設定される指示トルクと、トルク検出手段によって検出される検出トルクと、回転角推定手段によって推定されたロータ回転角とに基づいて、加算角が補正される。

【００１３】

この構成では、誘起電圧推定手段で用いられるモータ抵抗がモータ抵抗推定手段によって更新される。これにより、モータ温度の変動によるモータ抵抗の変動や、個々のモータにおけるモータ抵抗のばらつきの影響を補償できるから、正確なモータの誘起電圧およびロータ回転角を求めることができる。この結果、正確なロータ回転角を用いて加算角を補正することができる。加算角補正手段は、たとえば、指示トルクと検出トルクとの大小関係に合致しない加算角が演算された場合に、回転角推定手段によって推定されたロータ回転角に基づいて、このような加算角を妥当な値に補正することができる。

【００１４】

請求項３記載の発明は、車両の舵取り機構（２）に駆動力を付与するモータと、前記モータを制御する請求項１または２に記載のモータ制御装置とを含む、車両用操舵装置である。この構成では、請求項１または２記載の発明と同様な効果が得られる車両用操舵装置が実現する。

モータ制御装置は、前記回転角推定手段によって推定されたロータ回転角に基づいて、前記演算周期当たりの前記ロータの角変位を演算する角変位演算手段をさらに含んでいてもよい。また、前記加算角補正手段は、前記角変位演算手段によって演算された角変位に基づいて定められる所定範囲内の値となるように前記加算角を補正するものであってもよい。

【００１５】

制御角は、演算周期間で加算角だけ変化する。つまり、演算周期当たりの制御角の変化は加算角に等しい。加算角が演算周期当たりのロータの角変位よりも大きいとき、負荷角が増加する。したがって、負荷角とモータトルクとに正の相関がある場合、負荷角の増加に応じてモータトルクが増加する。また、負荷角とモータトルクとに負の相関がある場合には、負荷角の増加に応じてモータトルクが減少する。このように、負荷角とモータトルクとの間には相関関係がある。

【００１６】

駆動対象に対して全体として或るトルクを作用させるべき場合（たとえば、モータトルクによって不足のトルクが補われる場合）、モータトルクが増加することによって、駆動対象に加えられるモータトルク以外のトルクが減少するので、検出トルクが減少することになる。一方、モータトルクが減少すれば、駆動対象に加えられるモータトルク以外のト

ルクが増加するので、検出トルクが増加することになる。したがって、指示トルクと検出トルクとの大小関係と、演算周期当たりのロータ角変位と加算角との大小関係とが適切であれば、検出トルクを指示トルクへと近づけることができる。そこで、加算角補正手段は、検出トルクが指示トルクとの比較結果に応じて、ロータの角変位に基づいて定められる所定範囲の値となるように加算角を補正する。

【００１７】

より具体的には、負荷角とモータトルクとに正の相関がある場合、前記加算角補正手段は、前記検出トルクが前記指示トルクよりも大きいときには、前記加算角を前記角変位演算手段によって演算された角変位以上の値に補正し、前記検出トルクが前記指示トルクよりも小さいときには、前記加算角を前記角変位演算手段によって演算された角変位以下の値に補正することが好ましい。

【００１８】

負荷角とモータトルクとに正の相関がある場合には、検出トルクが指示トルクよりも大きい場合には、演算周期当たりのロータ角変位よりも加算角が大きければ、検出トルクを指示トルクへと近づけることができる。そこで、加算角補正手段は、検出トルクが指示トルクよりも大きい場合において、加算角が演算周期当たりのロータ角変位よりも小さいときには、加算角を演算周期当たりのロータ角変位以上の値に補正する。また、検出トルクが指示トルクよりも小さい場合には、演算周期当たりのロータ角変位よりも加算角が小さければ、検出トルクを指示トルクへと近づけることができる。そこで、加算角補正手段は、検出トルクが指示トルクよりも小さい場合において、加算角が演算周期当たりのロータ角変位よりも大きいときには、加算角を演算周期当たりのロータ角変位以下の値に補正する。

【００１９】

このようにして、検出トルクと指示トルクとの大小関係に応じて、加算角を妥当な値に補正することができるので、検出トルクを指示トルクに近づけるように、妥当な制御を行うことができる。

また、負荷角とモータトルクとに正の相関がある場合に、検出トルクが指示トルクよりも大きいときに、演算周期当たりのロータ角変位よりも加算角が過度に大きいと、加算角を適値に収束させるのに時間がかかる。また、検出トルクが指示トルクよりも小さいときに、演算周期当たりのロータ角変位よりも加算角が過度に小さいと、加算角を適値に収束させるのに時間がかかる。そこで、前記加算角補正手段は、前記検出トルクが前記指示トルクよりも大きいときには、前記加算角を前記角変位演算手段によって演算された角変位よりも所定の変化制限値だけ大きい値以下の値に補正し、前記検出トルクが前記指示トルクよりも小さいときには、前記加算角を前記角変位演算手段によって演算された角変位よりも所定の変化制限値だけ小さい値以上の値に補正することが好ましい。これにより、加算角が適値に収束しやすくなるので、制御の安定化を図ることができ、制御異常が生じたときでも正常状態への復帰を効果的に促すことができる。

【００２０】

一方、負荷角とモータトルクとに負の相関がある場合、前記加算角補正手段は、前記検出トルクが前記指示トルクよりも小さいときには、前記加算角を前記角変位演算手段によって演算された角変位以上の値に補正し、前記検出トルクが前記指示トルクよりも大きいときには、前記加算角を前記角変位演算手段によって演算された角変位以下の値に補正することが好ましい。

【００２１】

負荷角とモータトルクとに負の相関がある場合には、検出トルクが指示トルクよりも小さい場合に、演算周期当たりのロータ角変位よりも加算角が大きければ、検出トルクを指示トルクへと近づけることができる。そこで、加算角補正手段は、検出トルクが指示トルクよりも小さい場合において、加算角が演算周期当たりのロータ角変位よりも小さいときには、加算角を演算周期当たりのロータ角変位以上の値に補正する。また、検出トルクが指示トルクよりも大きい場合に、演算周期当たりのロータ角変位よりも加算角が小さけれ

ば、検出トルクを指示トルクへと近づけることができる。そこで、加算角補正手段は、検出トルクが指示トルクよりも大きい場合において、加算角が演算周期当たりのロータ角変位よりも大きいときには、加算角を演算周期当たりのロータ角変位以下の値に補正する。

【００２２】

このようにして、検出トルクと指示トルクとの大小関係に応じて、加算角を妥当な値に補正することができるので、検出トルクを指示トルクに近づけるように、妥当な制御を行うことができる。

また、負荷角とモータトルクとに負の相関がある場合に、検出トルクが指示トルクよりも小さいときに、演算周期当たりのロータ角変位よりも加算角が過度に大きいと、加算角を適値に収束させるのに時間がかかる。また、検出トルクが指示トルクよりも大きいときに、演算周期当たりのロータ角変位よりも加算角が過度に小さいと、加算角を適値に収束させるのに時間がかかる。そこで、前記加算角補正手段は、前記検出トルクが前記指示トルクよりも小さいときには、前記加算角を前記角変位演算手段によって演算された角変位よりも所定の変化制限値だけ大きい値以下の値に補正し、前記検出トルクが前記指示トルクよりも大きいときには、前記加算角を前記角変位演算手段によって演算された角変位よりも所定の変化制限値だけ小さい値以上の値に補正することが好ましい。これにより、加算角が適値に収束しやすくなるので、制御の安定化を図ることができ、制御異常が生じたときでも正常状態への復帰を効果的に促すことができる。

【００２３】

前記モータ制御装置は、前記加算角を所定の制限値（ω_{max}）で制限する加算角制限手段をさらに含んでいてもよい。加算角に適切な制限を加えることによって、実際のロータの回転に比して過大な加算角が制御角に加算されることを抑制できる。これにより、適切にモータを制御することができる。

前記制限値は、たとえば、次式によって定められた値であってもよい。ただし、次式における「最大ロータ角速度」とは、電気角でのロータ角速度の最大値である。

【００２４】

制限値＝最大ロータ角速度×演算周期

たとえば、モータの回転を所定の減速比の減速機構を介して車両用操舵装置の操舵軸に伝達している場合には、最大ロータ角速度は、最大操舵角速度（操舵軸の最大回転角速度）×減速比×極対数で与えられる。「極対数」とは、ロータが有する磁極対（Ｎ極とＳ極との対）の数である。

【００２５】

前記加算角演算手段は、前記検出トルクを前記指示トルクに近づけるように前記加算角を演算するフィードバック制御手段（２２，２３）を含むものであってもよい。

前記モータは、車両の舵取り機構（２）に駆動力を付与するものであってもよい。この場合に、前記トルク検出手段は、前記車両の操向のために操作される操作部材（１０）に加えられる操舵トルクを検出するものであってもよい。また、前記指示トルク設定手段は、操舵トルクの目標値としての指示操舵トルクを設定するものであってもよい。そして、前記加算角演算手段は、前記指示トルク設定手段によって設定される指示操舵トルクと前記トルク検出手段によって検出される操舵トルクとの偏差に応じて前記加算角を演算するものであってもよい。

【００２６】

この構成によれば、指示操舵トルクが設定され、この指示操舵トルクと操舵トルク（検出値）との偏差に応じて前記加算角が演算される。これにより、操舵トルクが当該指示操舵トルクとなるように加算角が定められ、それに応じた制御角が定められることになる。したがって、指示操舵トルクを適切に定めておくことによって、モータから適切な駆動力を発生させて、これを舵取り機構に付与することができる。すなわち、ロータの磁極方向に従う回転座標系（ｄｑ座標系）の座標軸と前記仮想軸とのずれ量（負荷角）が指示操舵トルクに応じた値に導かれる。その結果、適切なトルクがモータから発生され、運転者の操舵意図に応じた駆動力を舵取り機構に付与できる。

【００２７】
前記モータ制御装置は、前記操作部材の操舵角を検出する操舵角検出手段（４）をさらに含み、前記指示トルク設定手段は、前記操舵角検出手段によって検出される操舵角に応じて指示操舵トルクを設定するものであることが好ましい。この構成によれば、操作部材の操舵角に応じて指示操舵トルクが設定されるので、操舵角に応じた適切なトルクをモータから発生させることができ、運転者が操作部材に加える操舵トルクを操舵角に応じた値へと導くことができる。これにより、良好な操舵感を得ることができる。
【００２８】
前記指示トルク設定手段は、前記車両の車速を検出する車速検出手段（６）によって検出される当該車速に応じて指示操舵トルクを設定するものであってもよい。この構成によれば、車速に応じて指示操舵トルクが設定されるので、いわゆる車速感応制御を行うことができる。その結果、良好な操舵感を実現できる。たとえば、車速が大きいほど、すなわち、高速走行時ほど指示操舵トルクを小さく設定することより、すぐれた操舵感が得られる。
【図面の簡単な説明】
【００２９】
【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気的構成を説明するためのブロック図である。
【図２】モータの構成を説明するための図解図である。
【図３】前記電動パワーステアリング装置の制御ブロック図である。
【図４】操舵角に対する指示操舵トルクの特性例を示す図である。
【図５】操舵トルクリミッタの働きを説明するための図である。
【図６】γ軸指示電流値の設定例を示す図である。
【図７】加算角リミッタの働きを説明するためのフローチャートである。
【図８Ａ】加算角ガードの働きを説明するためのフローチャートである。
【図８Ｂ】加算角ガードの働きを説明するためのフローチャートである。
【図９】誘起電圧推定部および回転角推定部の構成を説明するためのブロック図である。
【発明を実施するための形態】
【００３０】
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（車両用操舵装置の一例）の電気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、車両を操向するための操作部材としてのステアリングホイール１０に加えられる操舵トルクＴを検出するトルクセンサ１と、車両の舵取り機構２に減速機構７を介して操舵補助力を与えるモータ３（ブラシレスモータ）と、ステアリングホイール１０の回転角である操舵角を検出する舵角センサ４と、モータ３を駆動制御するモータ制御装置５と、当該電動パワーステアリング装置が搭載された車両の速度を検出する車速センサ６とを備えている。
【００３１】
モータ制御装置５は、トルクセンサ１が検出する操舵トルク、舵角センサ４が検出する操舵角および車速センサ６が検出する車速に応じてモータ３を駆動することによって、操舵状況および車速に応じた適切な操舵補助を実現する。
モータ３は、この実施形態では、三相ブラシレスモータであり、図２に図解的に示すように、界磁としてのロータ５０と、このロータ５０に対向するステータ５５に配置されたＵ相、Ｖ相およびＷ相のステータ巻線５１，５２，５３とを備えている。モータ３は、ロータの外部にステータを対向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対向配置したアウターロータ型のものであってもよい。
【００３２】
各相のステータ巻線５１，５２，５３の方向にＵ軸、Ｖ軸およびＷ軸をとった三相固定座標（ＵＶＷ座標系）が定義される。また、ロータ５０の磁極方向にｄ軸（磁極軸）をと

り、ロータ５０の回転平面内においてｄ軸と直角な方向にｑ軸（トルク軸）をとった二相回転座標系（ｄｑ座標系。実回転座標系）が定義される。ｄｑ座標系は、ロータ５０とともに回転する回転座標系である。ｄｑ座標系では、ｑ軸電流のみがロータ５０のトルク発生に寄与するので、ｄ軸電流を零とし、ｑ軸電流を所望のトルクに応じて制御すればよい。ロータ５０の回転角（ロータ角）θ_Mは、Ｕ軸に対するｄ軸の回転角である。ｄｑ座標系は、ロータ角θ_Mに従う実回転座標系である。このロータ角θ_Mを用いることによって、ＵＶＷ座標系とｄｑ座標系との間での座標変換を行うことができる。

【００３３】

一方、この実施形態では、制御上の回転角を表す制御角θ_Cが導入される。制御角θ_Cは、Ｕ軸に対する仮想的な回転角である。この制御角θ_Cに対応する仮想的な軸をγ軸とし、このγ軸に対して９０°進んだ軸をδ軸として、仮想二相回転座標系（γδ座標系。仮想回転座標系）を定義する。制御角θ_Cがロータ角θ_Mに等しいとき、仮想回転座標系であるγδ座標系と実回転座標系であるｄｑ座標系とが一致する。すなわち、仮想軸としてのγ軸は実軸としてのｄ軸と一致し、仮想軸としてのδ軸は実軸としてのｑ軸と一致する。γδ座標系は、制御角θ_Cに従う仮想回転座標系である。ＵＶＷ座標系とγδ座標系との座標変換は、制御角θ_Cを用いて行うことができる。

【００３４】

制御角θ_Cとロータ角θ_Mとの差を負荷角θ_L（＝$\theta_C-\theta_M$）と定義する。

制御角θ_Cに従ってγ軸電流I_γをモータ３に供給すると、このγ軸電流I_γのｑ軸成分（ｑ軸への正射影）がロータ５０のトルク発生に寄与するｑ軸電流I_qとなる。すなわち、γ軸電流I_γとｑ軸電流I_qとの間に、次式(1)の関係が成立する。

$$I_q = I_\gamma \cdot \sin\theta_L \quad \cdots(1)$$

再び図１を参照する。モータ制御装置５は、マイクロコンピュータ１１と、このマイクロコンピュータ１１によって制御され、モータ３に電力を供給する駆動回路（インバータ回路）１２と、モータ３の各相のステータ巻線に流れる電流を検出する電流検出部１３とを備えている。

【００３５】

電流検出部１３は、モータ３の各相のステータ巻線５１，５２，５３に流れる相電流I_U，I_V，I_W（以下、総称するときには「三相検出電流I_{UVW}」という。）を検出する。これらは、ＵＶＷ座標系における各座標軸方向の電流値である。

マイクロコンピュータ１１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、操舵トルクリミッタ２０と、指示操舵トルク設定部２１と、トルク偏差演算部２２と、ＰＩ（比例積分）制御部２３と、加算角リミッタ２４と、制御角演算部２６と、モータ抵抗推定部２７と、誘起電圧推定部２８と、回転角推定部２９と、ロータ角変位演算部３０と、指示電流値生成部３１と、電流偏差演算部３２と、ＰＩ制御部３３と、γδ／αβ変換部３４Ａと、αβ／ＵＶＷ変換部３４Ｂと、ＰＷＭ（Pulse Width Modulation）制御部３５と、ＵＶＷ／αβ変換部３６Ａと、αβ／γδ変換部３６Ｂと、トルク偏差監視部４０と、加算角ガード４１とが含まれている。

【００３６】

指示操舵トルク設定部２１は、舵角センサ４によって検出される操舵角と、車速センサ６によって検出される車速とに基づいて、指示操舵トルクＴ＊を設定する。たとえば、図４に示すように、操舵角が正の値（右方向へ操舵した状態）のとき指示操舵トルクＴ＊は正の値（右方向へのトルク）に設定され、操舵角が負の値（左方向へ操舵した状態）のとき指示操舵トルクＴ＊は負の値（左方向へのトルク）に設定される。そして、操舵角の絶対値が大きくなるに従って、その絶対値が大きくなるように（図４の例では非線型に大きくなるように）指示操舵トルクＴ＊が設定される。ただし、所定の上限値（正の値。たとえば、＋６Ｎｍ）および下限値（負の値。たとえば－６Ｎｍ）の範囲内で指示操舵トルクＴ＊の設定が行われる。また、指示操舵トルクＴ＊は、車速が大きいほど、その絶対値が小さくなるように設定される。すなわち、車速感応制御が行われる。

【００３７】
操舵トルクリミッタ２０は、トルクセンサ１の出力を所定の上限飽和値＋T_{max}（＋T_{max}＞０。たとえば＋T_{max}＝７Ｎｍ）と下限飽和値－T_{max}（－T_{max}＜０。たとえば－T_{max}＝－７Ｎｍ）との間に制限する。具体的には、操舵トルクリミッタ２０は、図５に示すように、上限飽和値＋T_{max}と下限飽和値－T_{max}の間では、トルクセンサ１の検出操舵トルクＴをそのまま出力する。また、操舵トルクリミッタ２０は、トルクセンサ１の検出操舵トルクＴが上限飽和値＋T_{max}以上であれば、上限飽和値＋T_{max}を出力する。そして、操舵トルクリミッタ２０は、トルクセンサ１の検出操舵トルクＴが下限飽和値－T_{max}以下であれば、下限飽和値－T_{max}を出力する。飽和値＋T_{max}および－T_{max}は、トルクセンサ１の出力信号が安定な領域（信頼性のある領域）の境界を画定するものである。つまり、トルクセンサ１の出力信号は、上限飽和値T_{max}を超える区間、および下限飽和値－T_{max}を下回る区間では不安定であり、実際の操舵トルクに対応しなくなる。換言すれば、飽和値＋T_{max}，－T_{max}は、トルクセンサ１の出力特性に応じて定められる。

【００３８】
トルク偏差演算部２２は、指示操舵トルク設定部２１によって設定される指示操舵トルクＴ＊とトルクセンサ１によって検出され、操舵トルクリミッタ２０による制限処理を受けた操舵トルクＴ（以下、区別するために「検出操舵トルクＴ」という。）との偏差（トルク偏差）ΔＴ（＝Ｔ－Ｔ＊）を求める。ＰＩ制御部２３は、このトルク偏差ΔＴに対するＰＩ演算を行う。すなわち、トルク偏差演算部２２およびＰＩ制御部２３によって、検出操舵トルクＴを指示操舵トルクＴ＊に導くためのトルクフィードバック制御手段が構成されている。ＰＩ制御部２３は、トルク偏差ΔＴに対するＰＩ演算を行うことで、制御角θ_Cに対する加算角αを演算する。したがって、前記トルクフィードバック制御手段は、加算角αを演算する加算角演算手段を構成している。

【００３９】
加算角リミッタ２４は、ＰＩ制御部２３によって求められ、加算角ガード４１によって補正された加算角αに対して制限を加える加算角制限手段である。より具体的には、加算角リミッタ２４は、所定の上限値ＵＬ（正の値）と下限値ＬＬ（負の値）との間の値に加算角αを制限する。上限値ＵＬおよび下限値ＬＬは、所定の制限値ω_{max}（ω_{max}＞０。たとえばω_{max}＝４５度）に基づいて定められる。この所定の制限値ω_{max}は、たとえば、最大操舵角速度に基づいて定められる。最大操舵角速度とは、ステアリングホイール１０の操舵角速度として想定され得る最大値であり、たとえば、８００deg/sec程度である。

【００４０】
最大操舵角速度のときのロータ５０の電気角の変化速度（電気角での角速度。最大ロータ角速度）は、次式(2)のとおり、最大操舵角速度と、減速機構７の減速比と、ロータ５０の極対数との積で与えられる。極対数とは、ロータ５０が有する磁極対（Ｎ極とＳ極との対）の個数である。

最大ロータ角速度＝最大操舵角速度×減速比×極対数　　…(2)

制御角θ_Cの演算間（演算周期）におけるロータ５０の電気角変化量の最大値（ロータ角変化量最大値）は、次式(3)のとおり、最大ロータ角速度に演算周期を乗じた値となる。

【００４１】
ロータ角変化量最大値＝最大ロータ角速度×演算周期
＝最大操舵角速度×減速比×極対数×演算周期　　…(3)

このロータ角変化量最大値が一演算周期間で許容される制御角θ_Cの最大変化量である。そこで、前記ロータ角変化量最大値を制限値ω_{max}とすればよい。この制限値ω_{max}を用いて、加算角αの上限値ＵＬおよび下限値ＬＬは、それぞれ次式(4)(5)で表すことができる。

【００４２】
$UL = +\omega_{max}$　　…(4)
$LL = -\omega_{max}$　　…(5)

加算角リミッタ２４による制限処理後の加算角αが、制御角演算部２６の加算器２６Ａにおいて、制御角θ_Cの前回値$\theta_C(n-1)$（ｎは今演算周期の番号）に加算される（Z^{-1}は信号の前回値を表す）。ただし、制御角θ_Cの初期値は予め定められた値（たとえば零）である。

【００４３】

制御角演算部２６は、制御角θ_Cの前回値$\theta_C(n-1)$に加算角リミッタ２４から与えられる加算角αを加算する加算器２６Ａを含む。すなわち、制御角演算部２６は、所定の演算周期毎に制御角θ_Cを演算する。そして、前演算周期における制御角θ_Cを前回値$\theta_C(n-1)$とし、これを用いて今演算周期における制御角θ_Cである今回値$\theta_C(n)$を求める。

モータ抵抗推定部２７は、誘起電圧推定部２８において用いられるモータ３の電気子巻線抵抗（モータ抵抗）Ｒを推定する。モータ抵抗Ｒは、モータ温度に依存し、かつ、個々のモータごとにばらついている。このようなモータ抵抗Ｒの温度変化や、モータごとのばらつきを吸収するために、モータ抵抗推定部２７は、誘起電圧推定部２８内の抵抗値保持部２８ａに保持されているモータ抵抗Ｒを適値に更新する。モータ抵抗推定部２７の詳細については、後述する。

【００４４】

誘起電圧推定部２８は、モータ抵抗Ｒを保持したモータ抵抗値保持部２８ａを有している。誘起電圧推定部２８は、モータ抵抗値保持部２８ａに保持されているモータ抵抗Ｒ等に基づいて、モータ３の回転によって生じる誘起電圧を推定するものである。回転角推定部２９は、誘起電圧推定部２８によって推定された誘起電圧に基づいて、ロータ５０の回転角の推定値（推定回転角）θ_Eを演算するものである。誘起電圧推定部２８および回転角推定部２９の具体例については、後述する。ロータ角変位演算部３０は、演算周期間の推定回転角θ_Eの変化量を求めることによって、演算周期当たりのロータ５０の角変位Δθ（回転角速度に相当する値）を求める。

【００４５】

指示電流値生成部３１は、制御上の回転角である前記制御角θ_Cに対応する仮想回転座標系であるγδ座標系の座標軸（仮想軸）に流すべき電流値を指示電流値として生成するものである。具体的には、γ軸指示電流値I_γ^*およびδ軸指示電流値I_δ^*（以下、これらを総称するときには「二相指示電流値$I_{\gamma\delta}^*$」という。）を生成する。指示電流値生成部３１は、γ軸指示電流値I_γ^*を有意値とする一方で、δ軸指示電流値I_δ^*を零とする。より具体的には、指示電流値生成部３１は、トルクセンサ１によって検出される検出操舵トルクＴに基づいてγ軸指示電流値I_γ^*を設定する。

【００４６】

検出操舵トルクＴに対するγ軸指示電流値I_γ^*の設定例は、図６に示されている。検出操舵トルクＴが零付近の領域には不感帯ＮＲが設定されている。γ軸指示電流値I_γ^*は、不感帯ＮＲの外側の領域で急峻に立ち上がり、所定のトルク以上でほぼ一定値Ｑとなるように設定される。これにより、運転者がステアリングホイール１０を操作していないときには、モータ３への通電が停止され、不必要な電力消費が抑制される。

【００４７】

電流偏差演算部３２は、指示電流値生成部３１によって生成されるγ軸指示電流値I_γ^*に対するγ軸検出電流I_γの偏差$I_\gamma^* - I_\gamma$と、δ軸指示電流値I_δ^*（＝０）に対するδ軸検出電流I_δの偏差$I_\delta^* - I_\delta$とを演算する。γ軸検出電流I_γおよびδ軸検出電流I_δは、αβ／γδ変換部３６Ｂから偏差演算部３２に与えられるようになっている。

【００４８】

ＵＶＷ／αβ変換部３６Ａは、電流検出部１３によって検出されるＵＶＷ座標系の三相検出電流I_{UVW}（Ｕ相検出電流I_U、Ｖ相検出電流I_VおよびＷ相検出電流I_W）を二相固定座標系であるαβ座標系の二相検出電流I_αおよびI_β（以下総称するときには「二相検出電流$I_{\alpha\beta}$」という。）に変換する。αβ座標系は、図２に示すように、ロータ５０の回転中心を原点として、ロータ５０の回転平面内にα軸およびこれに直交するβ軸

（図２の例ではＵ軸と同軸）を定めた固定座標系である。αβ／γδ変換部３６Ｂは、二相検出電流$I_{\alpha\beta}$をγδ座標系の二相検出電流I_{γ}およびI_{δ}（以下総称するときには「二相検出電流$I_{\gamma\delta}$」という。）に変換する。これらが電流偏差演算部３２に与えられるようになっている。αβ／γδ変換部３６Ｂにおける座標変換には、制御角演算部２６で演算される制御角θ_Cが用いられる。

【００４９】

ＰＩ制御部３３は、電流偏差演算部３２によって演算された電流偏差に対するＰＩ演算を行うことにより、モータ３に印加すべき二相指示電圧$V_{\gamma\delta}^{*}$（γ軸指示電圧V_{γ}^{*}およびδ軸指示電圧V_{δ}^{*}）を生成する。この二相指示電圧$V_{\gamma\delta}^{*}$が、γδ／αβ変換部３４Ａに与えられる。

γδ／αβ変換部３４Ａは、二相指示電圧$V_{\gamma\delta}^{*}$をαβ座標系の二相指示電圧$V_{\alpha\beta}^{*}$に変換する。この座標変換には、制御角演算部２６で演算された制御角θ_Cが用いられる。二相指示電圧$V_{\alpha\beta}^{*}$は、α軸指示電圧V_{α}^{*}およびβ軸指示電圧V_{β}^{*}からなる。αβ／ＵＶＷ変換部３４Ｂは、二相指示電圧$V_{\alpha\beta}^{*}$に対して座標変換演算を行うことによって、三相指示電圧V_{UVW}^{*}を生成する。三相指示電圧V_{UVW}^{*}は、Ｕ相指示電圧V_{U}^{*}、Ｖ相指示電圧V_{V}^{*}およびＷ相指示電圧V_{W}^{*}からなる。この三相指示電圧V_{UVW}^{*}は、ＰＷＭ制御部３５に与えられる。

【００５０】

ＰＷＭ制御部３５は、Ｕ相指示電圧V_{U}^{*}、Ｖ相指示電圧V_{V}^{*}およびＷ相指示電圧V_{W}^{*}にそれぞれ対応するデューティのＵ相ＰＷＭ制御信号、Ｖ相ＰＷＭ制御信号およびＷ相ＰＷＭ制御信号を生成し、駆動回路１２に供給する。

駆動回路１２は、Ｕ相、Ｖ相およびＷ相に対応した三相インバータ回路からなる。このインバータ回路を構成するパワー素子がＰＷＭ制御部３５から与えられるＰＷＭ制御信号によって制御されることにより、三相指示電圧V_{UVW}^{*}に相当する電圧がモータ３の各相のステータ巻線５１，５２、５３に印加されることになる。

【００５１】

電流偏差演算部３２およびＰＩ制御部３３は、電流フィードバック制御手段を構成している。この電流フィードバック制御手段の働きによって、モータ３に流れるモータ電流が、指示電流値生成部３１によって設定される二相指示電流値$I_{\gamma\delta}^{*}$に近づくように制御される。

トルク偏差監視部４０は、トルク偏差演算部２２によって演算されるトルク偏差ΔＴの符号を監視することにより、指示操舵トルクＴ*と検出操舵トルクＴとの大小関係を判定する。その判定結果は、加算角ガード４１に与えられるようになっている。

【００５２】

加算角ガード４１は、ＰＩ制御部２３が生成する加算角αに対して加算角ガード処理を施すためのものである。加算角ガード処理とは、ＰＩ制御部２３によって生成された加算角αが、指示操舵トルクＴ*と検出操舵トルクＴとの大小関係と矛盾する場合に、この矛盾を解消するように加算角αを補正する処理である。より具体的には、加算角ガード４１は、必要時において、ロータ角変位演算部３０によって求められるロータ角変位Δθに基づいて加算角αを補正する。

【００５３】

図３は、前記電動パワーステアリング装置の制御ブロック図である。ただし、説明を簡単にするために、加算角ガード４１および加算角リミッタ２４の機能は省略してある。

指示操舵トルクＴ*と検出操舵トルクＴとの偏差（トルク偏差）ΔＴに対するＰＩ制御（K_Pは比例係数、K_Iは積分係数、１／ｓは積分演算子である。）によって、加算角αが生成される。この加算角αが制御角θ_Cの前回値$\theta_C(n\text{-}1)$に対して加算されることによって、制御角θ_Cの今回値$\theta_C(n)=\theta_C(n\text{-}1)+\alpha$が求められる。このとき、制御角$\theta_C$とロータ５０の実際のロータ角$\theta_M$との偏差が負荷角$\theta_L=\theta_C-\theta_M$となる。

【００５４】

したがって、制御角θ_Cに従うγδ座標系（仮想回転座標系）のγ軸（仮想軸）にγ軸

指示電流値I_{γ}^{*}に従ってγ軸電流I_{γ}が供給されると、q軸電流$I_q = I_{\gamma}\sin\theta_L$となる。このq軸電流$I_q$がロータ５０の発生トルクに寄与する。すなわち、モータ３のトルク定数K_Tをq軸電流I_q（$=I_{\gamma}\sin\theta_L$）に乗じた値が、アシストトルクT_A（$=K_T \cdot I_{\gamma}\sin\theta_L$）として、減速機構７を介して、舵取り機構２に伝達される。このアシストトルクT_Aを舵取り機構２からの負荷トルクT_Lから減じた値が、運転者がステアリングホイール１０に与えるべき操舵トルクTである。この操舵トルクTがフィードバックされることによって、この操舵トルクTを指示操舵トルクT^{*}に導くように系が動作する。つまり、検出操舵トルクTを指示操舵トルクT^{*}に一致させるべく、加算角αが求められ、それに応じて制御角θ_Cが制御される。

【００５５】

このように制御上の仮想軸であるγ軸に電流を流す一方で、指示操舵トルクT^{*}と検出操舵トルクTとの偏差ΔTに応じて求められる加算角αで制御角θ_Cを更新していくことにより、負荷角θ_Lが変化し、この負荷角θ_Lに応じたトルクがモータ３から発生するようになっている。これにより、操舵角および車速に基づいて設定される指示操舵トルクT^{*}に応じたトルクをモータ３から発生させることができるので、操舵角および車速に対応した適切な操舵補助力を舵取り機構２に与えることができる。すなわち、操舵角の絶対値が大きいほど操舵トルクが大きく、かつ、車速が大きいほど操舵トルクが小さくなるように、操舵補助制御が実行される。

【００５６】

このようにして、回転角センサを用いることなくモータ３を適切に制御して、適切な操舵補助を行うことができる電動パワーステアリング装置を実現できる。これにより、構成を簡単にすることができ、コストの削減を図ることができる。

この実施形態では、負荷角θ_Lとモータトルク（アシストトルク）とが正の相関を有する領域で負荷角θ_Lが調整されるように、加算角αが制御される。具体的には、q軸電流$I_q = I_{\gamma}\sin\theta_L$であるから、$-９０° \leqq \theta_L \leqq ９０°$となるように、加算角αが制御される。むろん、負荷角θ_Lとモータトルク（アシストトルク）とが負の相関を有する領域で負荷角θ_Lが調整されるように、加算角αを制御することもできる。この場合、$９０° \leqq \theta_L \leqq ２７０°$となるように、加算角αが制御される。ＰＩ制御部２３のゲインを正にすれば正の相関領域での制御となり、ＰＩ制御部２３のゲインを負にすれば負の相関領域での制御となる。

【００５７】

図７は、加算角リミッタ２４の働きを説明するためのフローチャートである。加算角リミッタ２４は、ＰＩ制御部２３によって求められ、加算角ガード４１によって補正された加算角αを上限値ＵＬと比較し（ステップＳ１）、加算角αが上限値ＵＬを超えている場合（ステップＳ１：ＹＥＳ）には、上限値ＵＬを加算角αに代入する（ステップＳ２）。したがって、制御角θ_Cに対して上限値ＵＬ（$=+\omega_{max}$）が加算されることになる。

【００５８】

ＰＩ制御部２３によって求められ、加算角ガード４１によって補正された加算角αが上限値ＵＬ以下であれば（ステップＳ１：ＮＯ）、加算角リミッタ２４は、さらに、その加算角αを下限値ＬＬと比較する（ステップＳ３）。そして、その加算角αが下限値未満であれば（ステップＳ３：ＹＥＳ）、下限値ＬＬを加算角αに代入する（ステップＳ４）。したがって、制御角θ_Cに対して下限値ＬＬ（$=-\omega_{max}$）が加算されることになる。

【００５９】

ＰＩ制御部２３によって求められ、加算角ガード４１によって補正された加算角αが下限値ＬＬ以上上限値ＵＬ以下（ステップＳ３：ＮＯ）であれば、その加算角αがそのまま制御角θ_Cへの加算のために用いられる。

このようにして、加算角αを上限値ＵＬと下限値ＬＬとの間に制限することができるので、制御の安定化を図ることができる。より具体的には、電流不足時や制御開始時に制御不安定状態（アシスト力が不安定な状態）が発生しても、この状態から安定な制御状態への遷移を促すことができる。

【００６０】
図８Ａは、加算角ガード処理を説明するためのフローチャートである。ただし、負荷角θ_Lとモータトルク（アシストトルク）とが正の相関を有する領域で負荷角θ_Lが調整されるように、加算角αが制御される場合の処理例が示されている。
トルク偏差監視部４０は、トルク偏差演算部２２によって演算されるトルク偏差ΔＴの符号を監視しており、指示操舵トルクＴ＊と検出操舵トルクＴとの大小関係に関する情報を加算角ガード４１に与える。
【００６１】
検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きいとき（ステップＳ１１：ＹＥＳ）、加算角ガード４１は、ＰＩ制御部２３によって求められた加算角αが、ロータ角変位演算部３０によって求められた演算周期当たりのロータ角変位Δθよりも小さいかどうかを判断する（ステップＳ１２）。この判断が肯定されると、加算角ガード４１は、加算角αにロータ角変位Δθを代入する（ステップＳ１３）。すなわち、加算角αがロータ角変位Δθに補正される。加算角αがロータ角変位Δθ以上であれば（ステップＳ１２：ＮＯ）、加算角ガード４１は、さらに、加算角αを、ロータ角変位Δθよりも所定の変化制限値Ａ（Ａ＞０。たとえばＡ＝７deg）だけ大きな値（Δθ＋Ａ）と比較する（ステップＳ１４）。加算角αが当該値（Δθ＋Ａ）よりも大きいときには（ステップＳ１４：ＹＥＳ）、加算角ガード４１は、加算角αに当該値（Δθ＋Ａ）を代入する（ステップＳ１５）。加算角αが当該値（Δθ＋Ａ）以下であれば（ステップＳ１４：ＮＯ）、加算角αの補正は行われない。
【００６２】
一方、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さいとき（ステップＳ１１：ＮＯ。ステップＳ１６：ＹＥＳ）、加算角ガード４１は、ＰＩ制御部２３によって求められた加算角αがロータ角変位Δθよりも大きいかどうかを判断する（ステップＳ１７）。この判断が肯定されると、加算角ガード４１は、加算角αにロータ角変位Δθを代入し（ステップＳ１３）、加算角αをロータ角変位Δθに補正する。加算角αがロータ角変位Δθ以下であれば（ステップＳ１７：ＮＯ）、加算角ガード４１は、さらに、加算角αを、ロータ角変位Δθよりも前記変化制限値Ａだけ小さな値（Δθ－Ａ）と比較する（ステップＳ１８）。加算角αが当該値（Δθ－Ａ）よりも小さいときには（ステップＳ１８：ＹＥＳ）、加算角ガード４１は、加算角αに当該値（Δθ－Ａ）を代入する（ステップＳ１９）。加算角αが当該値（Δθ－Ａ）以上であれば（ステップＳ１８：ＮＯ）、加算角αの補正は行われない。
【００６３】
また、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊に等しいとき（ステップＳ１１およびステップＳ１６の判断がいずれも否定）、加算角ガード４１は、加算角αにロータ角変位Δθを代入する（ステップＳ２１）。
加算角αは、演算周期間の制御角θ_Cの変化量であり、γδ座標軸の演算周期当たりの角変位（回転速度に相当する。）に等しい。よって、加算角αが演算周期当たりのロータ角変位Δθよりも大きければ負荷角θ_Lが大きくなり、加算角αがロータ角変位Δθよりも小さければ負荷角θ_Lが小さくなる。そして、負荷角θ_Lとモータトルク（アシストトルク）とに正の相関がある場合には、負荷角θ_Lが大きくなればモータトルクが大きくなり、負荷角θ_Lが小さくなればモータトルクが小さくなる。
【００６４】
一方、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きい場合とは、モータトルク（アシストトルク）が不足している状態である。したがって、モータトルクを増加させるために、負荷角θ_Lを増加させればよい。つまり、加算角αがロータ角変位Δθ以上であれば、検出操舵トルクＴを指示操舵トルクＴ＊に近づけることができる。そこで、この実施形態では、図８ＡのステップＳ１１～Ｓ１３の処理によって、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きい場合に、加算角αをロータ角変位Δθ以上に制限する加算角ガード処理が行われる。換言すれば、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きい

にも拘わらず、加算角αがロータ角変位Δθ未満であれば、制御の目的に合致せず、矛盾が生じている。たとえば、ＰＩ制御部２３の応答性によっては、このような状況が生じ得る。そこで、このような場合には、加算角αをロータ角変位Δθ以上の値（この実施形態ではロータ角変位Δθに等しい値）に補正することとしている。むろん、加算角αをロータ角変位Δθよりも大きい値（たとえば所定値（変化制限値Ａよりも小さな値）だけ大きな値）に補正してもよい。

【００６５】

同様に考察すると、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さい場合とは、モータトルク（アシストトルク）が過剰となっている状態である。したがって、モータトルクを減少させるために、負荷角θ_Lを減少させればよい。つまり、加算角αがロータ角変位Δθ以下であれば、検出操舵トルクＴを指示操舵トルクＴ＊に近づけることができる。そこで、この実施形態では、図８ＡのステップＳ１６，Ｓ１７およびＳ１３の処理によって、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さい場合に、加算角αをロータ角変位Δθ以下に制限する加算角ガード処理が行われる。換言すれば、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さいにも拘わらず、加算角αがロータ角変位Δθを超えていれば、制御の目的に合致せず、矛盾が生じている。たとえば、ＰＩ制御部２３の応答性によっては、このような状況が生じ得る。そこで、このような場合には、加算角αをロータ角変位Δθ以下の値（この実施形態ではロータ角変位Δθに等しい値）に補正することとしている。むろん、加算角αをロータ角変位Δθよりも小さい値（たとえば所定値（変化制限値Ａよりも小さな値）だけ小さな値）に補正してもよい。

【００６６】

さらにこの実施形態では、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きい場合（ステップＳ１１：ＹＥＳ）において、加算角αがロータ角変位Δθに変化制限値Ａを加算した値よりも大きいときは（ステップＳ１２：ＮＯ。ステップＳ１４：ＹＥＳ）、加算角αをΔθ＋Ａに補正することとしている（ステップＳ１５）。これは、演算周期当たりのロータ角変位Δθよりも加算角αが過度に大きいと、加算角αを適値に収束させるのに時間がかかるからである。また、検出トルクＴが指示トルクＴ＊よりも小さい場合において、（ステップＳ１６：ＹＥＳ）において、加算角αがロータ角変位Δθから変化制限値Ａを減算した値よりも小さいときは（ステップＳ１７：ＮＯ。ステップＳ１８：ＹＥＳ）、加算角αをΔθ－Ａに補正することとしている（ステップＳ１９）。これは、演算周期当たりのロータ角変位Δθよりも加算角αが過度に小さいと、加算角を適値に収束させるのに時間がかかる。このような補正を行うことにより、加算角αが適値に収束しやすくなるから、制御の安定化を図ることができ、制御異常が生じたときでも正常状態への復帰を効果的に促すことができる。

【００６７】

このように、図８Ａのガード処理では、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きいときには、Δθ＋Ａ≧α≧Δθの範囲に加算角αが制限され、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さいときには、Δθ≧α≧Δθ－Ａの範囲に加算角αが制限される。こうして、加算角αは、ロータ角変位Δθに応じた妥当な値をとることができる。

【００６８】

負荷角θ_Lとモータトルク（アシストトルク）とが負の相関を有する領域で負荷角θ_Lが調整されるように、加算角αが制御される場合の加算角ガード処理の例を図８Ｂに示す。図８Ｂにおいて、図８Ａ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には、図８Ａ中と同一参照符号を付して示す。

図８Ｂに示す処理では、検出操舵トルクＴと指示操舵トルクＴ＊との大小関係に応じた処理が、図８Ａの処理とは逆になっている。すなわち、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さいとき（ステップＳ１１Ａ：ＹＥＳ）、加算角ガード４１は、加算角αが、ロータ角変位Δθよりも小さいかどうかを判断する（ステップＳ１２）。この判断が肯定されると、加算角ガード４１は、加算角αにロータ角変位Δθを代入する（ステップ

Ｓ１３）。すなわち、加算角αがロータ角変位Δθに補正される。加算角αがロータ角変位Δθ以上であれば（ステップＳ１２：ＮＯ）、加算角ガード４１は、さらに、加算角αを、ロータ角変位よりも変化制限値Ａだけ大きな値（Δθ＋Ａ）と比較する（ステップＳ１４）。加算角αが当該値（Δθ＋Ａ）よりも大きいときには（ステップＳ１４：ＹＥＳ）、加算角ガード４１は、加算角αに当該値（Δθ＋Ａ）を代入する（ステップＳ１５）。加算角αが当該値（Δθ＋Ａ）以下であれば（ステップＳ１４：ＮＯ）、加算角αの補正は行われない。

【００６９】

一方、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きいとき（ステップＳ１１Ａ：ＮＯ。ステップＳ１６Ａ：ＹＥＳ）、加算角ガード４１は、加算角αがロータ角変位Δθよりも大きいかどうかを判断する（ステップＳ１７）。この判断が肯定されると、加算角ガード４１は、加算角αにロータ角変位Δθを代入し（ステップＳ１３）、加算角αをロータ角変位Δθに補正する。加算角αがロータ角変位Δθ以下であれば（ステップＳ１７：ＮＯ）、加算角ガード４１は、さらに、加算角αを、ロータ角変位Δθよりも前記変化制限値Ａだけ小さな値（Δθ－Ａ）と比較する（ステップＳ１８）。加算角αが当該値（Δθ－Ａ）よりも小さいときには（ステップＳ１８：ＹＥＳ）、加算角ガード４１は、加算角αに当該値（Δθ－Ａ）を代入する（ステップＳ１９）。加算角αが当該値（Δθ－Ａ）以上であれば（ステップＳ１８：ＮＯ）、加算角αの補正は行われない。

【００７０】

また、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊に等しいとき（ステップＳ１１ＡおよびステップＳ１６Ａの判断がいずれも否定）、加算角ガード４１は、加算角αにロータ角変位Δθを代入する（ステップＳ２１）。

負荷角θ_Lとモータトルク（アシストトルク）とに負の相関がある場合には、負荷角θ_Lが大きくなればモータトルクが小さくなり、負荷角θ_Lが小さくなればモータトルクが大きくなる。

【００７１】

一方、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さい場合とは、モータトルク（アシストトルク）が過剰な状態である。したがって、モータトルクを減少させるために、負荷角θ_Lを増加させればよい。つまり、加算角αがロータ角変位Δθ以上であれば、検出操舵トルクＴを指示操舵トルクＴ＊に近づけることができる。そこで、この実施形態では、図８Ｂのステップ Ｓ１１Ａ～Ｓ１３の処理によって、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さい場合に、加算角αをロータ角変位Δθ以上に制限する加算角ガード処理が行われる。換言すれば、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さいにも拘わらず、加算角αがロータ角変位Δθ未満であれば、制御の目的に合致せず、矛盾が生じている。そこで、このような場合には、加算角αをロータ角変位Δθ以上の値（この実施形態ではロータ角変位Δθに等しい値）に補正することとしている。むろん、加算角αをロータ角変位Δθよりも大きい値（たとえば所定値（変化制限値Ａよりも小さな値）だけ大きな値）に補正してもよい。

【００７２】

同様に考察すると、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きい場合とは、モータトルク（アシストトルク）が不足している状態である。したがって、モータトルクを増加させるために、負荷角θ_Lを減少させればよい。つまり、加算角αがロータ角変位Δθ以下であれば、検出操舵トルクＴを指示操舵トルクＴ＊に近づけることができる。そこで、この実施形態では、図８Ｂのステップ Ｓ１６Ａ，Ｓ１７およびＳ１３の処理によって、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きい場合に、加算角αをロータ角変位Δθ以下に制限する加算角ガード処理が行われる。換言すれば、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きいにも拘わらず、加算角αがロータ角変位Δθを超えていれば、制御の目的に合致せず、矛盾が生じている。そこで、このような場合には、加算角αをロータ角変位Δθ以下の値（この実施形態ではロータ角変位Δθに等しい値）に補正することとしている。むろん、加算角αをロータ角変位Δθよりも小さい値（たとえば所定値

（変化制限値Ａよりも小さな値）だけ小さな値）に補正してもよい。

【００７３】

さらに図８Ｂの処理では、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さい場合（ステップＳ１１Ａ：ＹＥＳ）において、加算角αがロータ角変位Δθに変化制限値Ａを加算した値よりも大きいときは（ステップＳ１２：ＮＯ。ステップＳ１４：ＹＥＳ）、加算角αをΔθ＋Ａに補正することとしている（ステップＳ１５）。これは、演算周期当たりのロータ角変位Δθよりも加算角αが過度に大きいと、加算角αを適値に収束させるのに時間がかかるからである。また、検出トルクＴが指示トルクＴ＊よりも大きい場合において、（ステップＳ１６Ａ：ＹＥＳ）において、加算角αがロータ角変位Δθから変化制限値Ａを減算した値よりも小さいときは（ステップＳ１７：ＮＯ。ステップＳ１８：ＹＥＳ）、加算角αをΔθ－Ａに補正することとしている（ステップＳ１９）。これは、演算周期当たりのロータ角変位Δθよりも加算角αが過度に小さいと、加算角を適値に収束させるのに時間がかかる。このような補正を行うことにより、加算角αが適値に収束しやすくなるから、制御の安定化を図ることができ、制御異常が生じたときでも正常状態への復帰を効果的に促すことができる。

【００７４】

このような処理が行われることによって、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも小さいときには、Δθ＋Ａ≧α≧Δθの範囲に加算角αが制限され、検出操舵トルクＴが指示操舵トルクＴ＊よりも大きいときには、Δθ≧α≧Δθ－Ａの範囲に加算角αが制限される。こうして、加算角αは、ロータ角変位Δθに応じた妥当な値をとることができる。

【００７５】

図９は、誘起電圧推定部２８および回転角推定部２９の構成を説明するためのブロック図である。誘起電圧推定部２８は、二相検出電流$I_{\alpha\beta}$と二相指示電圧$V_{\alpha\beta}^{*}$と、モータ方程式とに基づいて、モータ３のα軸誘起電圧推定値$E\hat{}_{\alpha}$およびβ軸誘起電圧推定値$E\hat{}_{\beta}$（以下、まとめて「推定誘起電圧$E\hat{}_{\alpha\beta}$」という。）を演算する。

αβ座標系でのモータ方程式は、次式(6)(7)で示される。

【００７６】

$$E\hat{}_{\alpha}=V_{\alpha}^{*}-(R+pL)I_{\alpha} \quad \cdots(6)$$

$$E\hat{}_{\beta}=V_{\beta}^{*}-(R+pL)I_{\beta} \quad \cdots(7)$$

ただし、Ｒはモータ抵抗、Ｌはモータインダクタンス、ｐは微分演算子である。

より具体的には、誘起電圧推定部２８は、モータ３の数学モデルであるモータモデルに基づき、モータ３の誘起電圧を外乱として推定する外乱オブザーバとしての形態を有している。外乱オブザーバは、モータ方程式に基づいて作成される。モータモデルは、たとえば、$(R+pL)^{-1}$と表すことができる。モータ３には、二相指示電圧$V_{\alpha\beta}^{*}$と誘起電圧$E_{\alpha\beta}$（α軸誘起電圧E_{α}およびβ軸誘起電圧E_{β}）とが印加されると考えることができる。

【００７７】

誘起電圧推定部２８は、二相検出電流$I_{\alpha\beta}$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）６５と、この逆モータモデル６５によって推定されるモータ電圧と二相指示電圧$V_{\alpha\beta}^{*}$との偏差を求める電圧偏差演算部６６とで構成することができる。電圧偏差演算部６６は、二相指示電圧$V_{\alpha\beta}^{*}$に対する外乱を求めることになるが、図９から明らかなとおり、この外乱は誘起電圧$E_{\alpha\beta}$に相当する推定値$E\hat{}_{\alpha\beta}$（α軸誘起電圧推定値$E\hat{}_{\alpha}$およびβ軸誘起電圧推定値$E\hat{}_{\beta}$）になる。逆モータモデル６５は、たとえば、Ｒ＋ｐＬで表される。

【００７８】

一方、モータの誘起電圧$E_{\alpha\beta}$は、次の(8)式で表すことができる。ただし、K_Eは誘起電圧定数、θ_Mはロータ角、ωはロータ回転角速度である。

【００７９】

【数１】

$$E_{\alpha\beta}=\begin{bmatrix}E_\alpha\\E_\beta\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-K_E\omega\sin\theta_M\\K_E\omega\cos\theta_M\end{bmatrix}\quad\cdots(8)$$

【００８０】

したがって、推定誘起電圧Ｅ^$_{\alpha\beta}$が求まれば、次の(9)式に従って、推定回転角θ$_E$が求まる。この演算が、回転角推定部２９によって行われる。

【００８１】

【数２】

$$\theta_E=\tan^{-1}\frac{-\hat{E}_\alpha}{\hat{E}_\beta}\quad\cdots(9)$$

【００８２】

推定回転角θ$_E$が求まると、ロータ角変位演算部３０によって、演算周期間の推定回転角θ$_E$の変化量が、ロータ５０の角変位Δθとして求められる。

次に、モータ抵抗推定部２７の動作について説明する。

前記モータ方程式(6)(7)から、二相検出電流Ｉ$_{\alpha\beta}$（モータ電流）が定常状態のときには、微分項が零となる。また、前記式(8)から、回転角速度ωが零のとき、すなわち、ロータ５０が回転していないと見做せる状態（以下、「保舵状態」という）であるときには、誘起電圧Ｅ$_{\alpha\beta}$は零となる。すなわち、モータ方程式(6)(7)における誘起電圧Ｅ$_{\alpha\beta}$の項が零になる。このとき、モータ３に印加されている電圧Ｖ$_{\alpha\beta}$は、モータ抵抗Ｒによる電圧降下（Ｒ・Ｉ$_{\alpha\beta}$）に等しい。すなわち、次式（10)(11)が成立する。

【００８３】

Ｖ$_\alpha$*＝Ｒ・Ｉ$_\alpha$　　…(10)

Ｖ$_\beta$*＝Ｒ・Ｉ$_\beta$　　…(11)

そこで、モータ抵抗推定部２７は、保舵状態でありかつモータ電流が定常状態であるという抵抗更新条件を満たしているときには、そのときの二相検出電流Ｉ$_{\alpha\beta}$と二相指示電圧Ｖ$_{\alpha\beta}$*から、モータ抵抗Ｒを演算する。

【００８４】

モータ抵抗推定部２７は、抵抗更新条件を満たしているか否かを判定するために、次の３つの条件を満たしているか否かを監視する。

第１条件：加算角リミッタ２４から出力される加算角αの絶対値が所定の閾値Ｂ（０＜Ｂ＜ω$_{max}$）以下であること。閾値Ｂは、たとえば、３度程度に設定される。なお、ＰＩ制御部２３によって演算される加算角αの絶対値が所定の閾値Ｂ（０＜Ｂ＜ω$_{max}$）以下であることを第１条件としてもよい。

【００８５】

第２条件：誘起電圧推定部２８によって推定されたα軸誘起電圧推定値Ｅ^$_\alpha$およびβ軸誘起電圧推定値Ｅ^$_\beta$のいずれもが所定の閾値Ｃ以下であること。閾値Ｃは、たとえば、０．１Ｖ程度に設定される。

第３条件：γ軸指示電流値Ｉ$_\gamma$*が所定範囲Ｗ内にあること。所定範囲Ｗとは、図６を参照して、不感帯ＮＲの外側の一定値Ｑを中心とする所定幅の範囲（Ｑ－ｄ≦Ｗ≦Ｑ＋ｄ）である。ｄは、たとえば、５Ａ程度に設定される。

【００８６】

前記第１条件および前記第２条件は、保舵状態であるか否かを判定するための条件である。つまり、加算角αの絶対値が閾値Ｂ以下であれば、ロータ５０が回転していないと考えられる。また、誘起電圧推定値Ｅ^$_{\alpha\beta}$が閾値Ｃ以下であれば、ロータ５０が回転していないと考えられる。

前記第３条件は、保舵状態であるか否かおよびモータ電流が定常状態であるか否かを判定するための条件である。γ軸指示電流値Ｉ$_{\gamma}$＊が所定範囲Ｗ内にある場合には、図６に示すように、γ軸指示電流値Ｉ$_{\gamma}$＊がほぼ一定であると考えられる。一方、γ軸指示電流値Ｉ$_{\gamma}$＊が所定範囲Ｗ内にない場合には、γ軸指示電流値Ｉ$_{\gamma}$＊が変化している可能性がある。γ軸指示電流値Ｉ$_{\gamma}$＊が変化しているときには、それに応じて負荷角θ$_{L}$が変化するため、ロータ５０が回転していると考えられる。また、γ軸指示電流値Ｉ$_{\gamma}$＊が所定範囲Ｗ内にある場合には、モータ電流が定常状態にあると考えられる。

【００８７】

そこで、モータ抵抗推定部２７は、前記第１条件および前記第２条件のうちの少なくとも一方の条件を満たし、かつ前記第３の条件を満たしていると判定したときには、抵抗更新条件を満たしていると判定する。抵抗更新条件を満たしていると判定したときには、モータ抵抗推定部２７は、次式（12)(13)のいずれか一方または両方（たとえば、両式から得られるＲの値の平均値をとる。）により、モータ抵抗Ｒを求め、モータ抵抗値保持部２８ａに保持されているモータ抵抗値Ｒを更新する。

【００８８】

$$R = V_{\alpha}^{*} / I_{\alpha} \quad \cdots(12)$$

$$R = V_{\beta}^{*} / I_{\beta} \quad \cdots(13)$$

なお、モータ抵抗推定部２７は、前記第１条件および前記第２条件の両方の条件を満たし、かつ前記第３の条件を満たしていると判定したときに、抵抗更新条件を満たしていると判定するようにしてもよい。また、モータ抵抗推定部２７は、前記第１条件を満たしていると判定したときに、抵抗更新条件を満たしていると判定するようにしてもよい。また、モータ抵抗推定部２７は、前記第１条件を満たし、かつ前記第３の条件を満たしていると判定したときに、抵抗更新条件を満たしていると判定するようにしてもよい。また、モータ抵抗推定部２７は、α軸誘起電圧推定値Ｅ^$_{\alpha\ \beta}$が閾値Ｃ以下であるか否かを判定する代わりに、ロータ角変位演算部３０によって演算されるロータ角変位Δθが所定値以下であるか否かを判定してもよい。

【００８９】

前記実施形態では、モータ抵抗推定部２７によって誘起電圧推定部２８で用いられるモータ抵抗Ｒが更新される。このため、モータ温度の変動によるモータ抵抗の変動や、個々のモータにおけるモータ抵抗のばらつきの影響を補償できる。これにより、正確な回転角θ$_{E}$およびロータ角変位Δθを求めることができる。

以上、この発明のいくつかの実施形態について説明したが、この発明はさらに他の形態で実施することもできる。たとえば、前述の実施形態では、回転角センサを備えずに、専らセンサレス制御によってモータ３を駆動する構成について説明したが、レゾルバ等の回転角センサを備え、この回転角センサの故障時に前述のようなセンサレス制御を行う構成としてもよい。これにより、回転角センサの故障時にもモータ３の駆動を継続できるから、操舵補助を継続できる。

【００９０】

この場合、回転角センサを用いるときには、指示電流値生成部３１において、操舵トルクおよび車速に応じて、所定のアシスト特性に従ってδ軸指示電流値Ｉ$_{\delta}$＊を発生させるようにすればよい。

さらに、前述の実施形態では、電動パワーステアリング装置にこの発明が適用された例について説明したが、この発明は、電動ポンプ式油圧パワーステアリング装置のためのモータの制御や、パワーステアリング装置以外にも、ステア・バイ・ワイヤ（ＳＢＷ）システム、可変ギヤレシオ（ＶＧＲ）ステアリングシステムその他の車両用操舵装置に備えられたブラシレスモータの制御のために用いることができる。むろん、車両用操舵装置に限らず、他の用途のモータの制御のためにも本発明のモータ制御装置を適用できる。

【００９１】

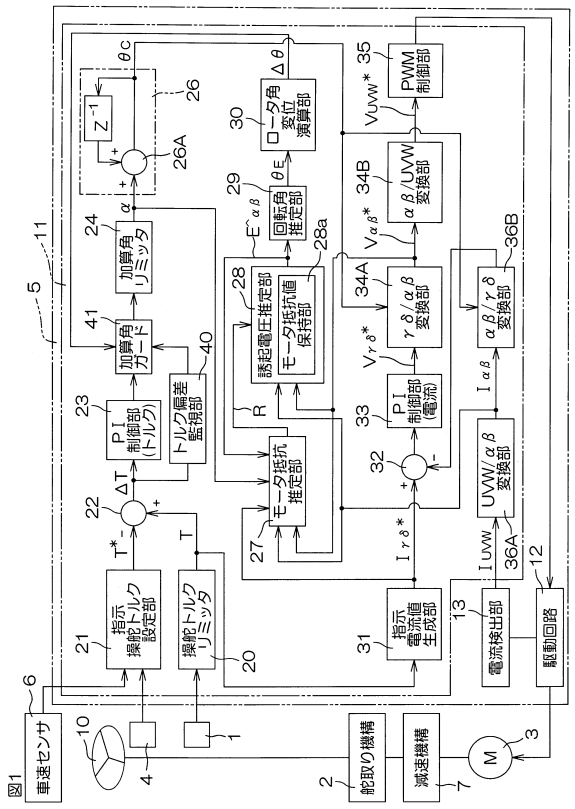
その他、特許請求の範囲に記載された事項の範囲で種々の設計変更を施すことが可能である。

【符号の説明】

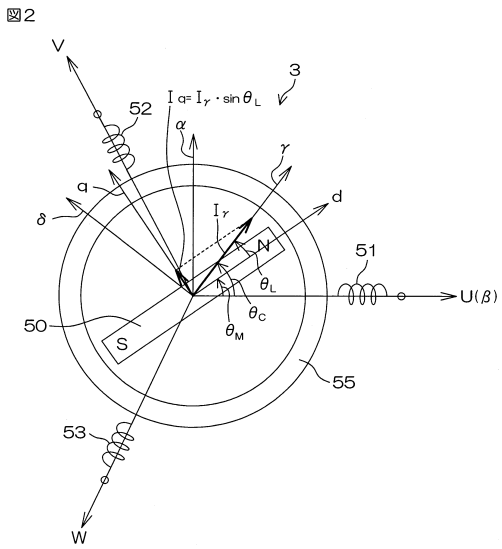
【００９２】

１…トルクセンサ、３…モータ、５…モータ制御装置、１１…マイクロコンピュータ、２６…制御角演算部、２７…モータ抵抗推定部、５０…ロータ、５１，５２，５３…ステータ巻線、５５…ステータ

【図１】



【図２】



【図３】

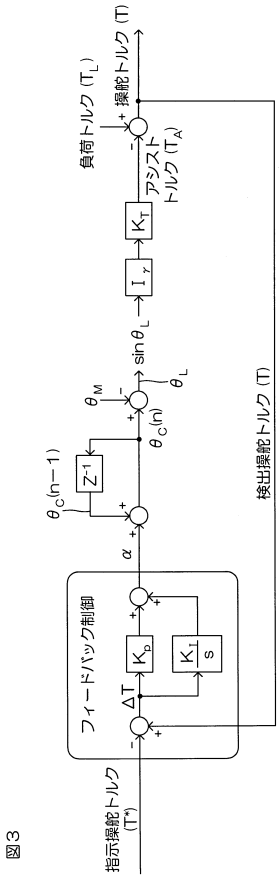
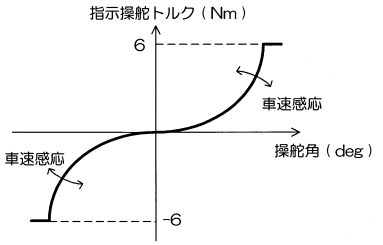


図3

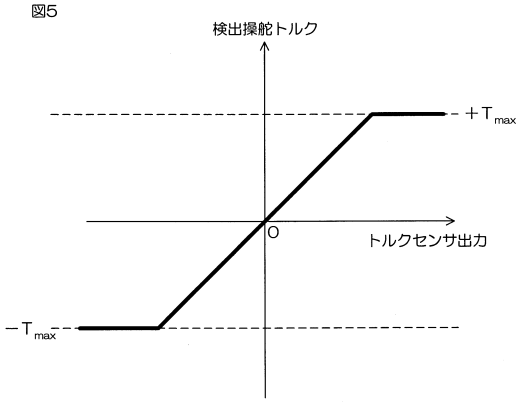
【図４】

図4



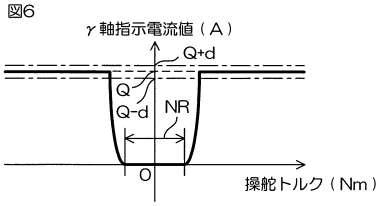
【図５】

図5



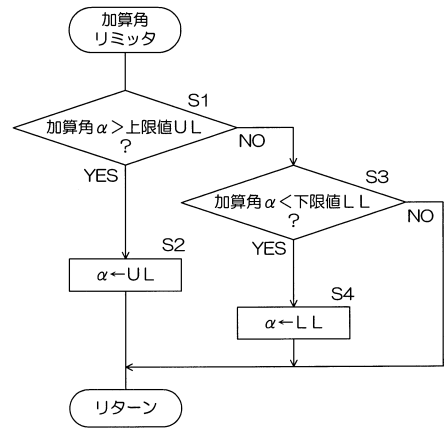
【図６】

図6



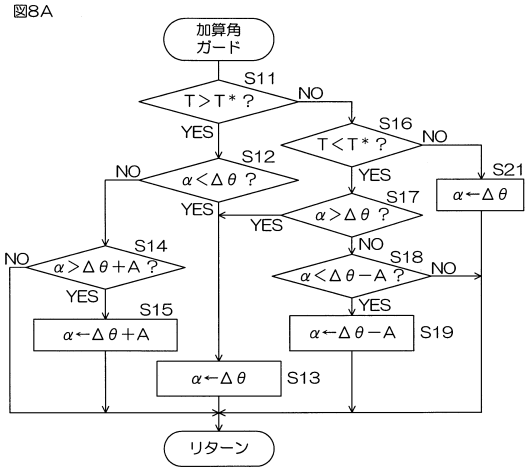
【図７】

図7



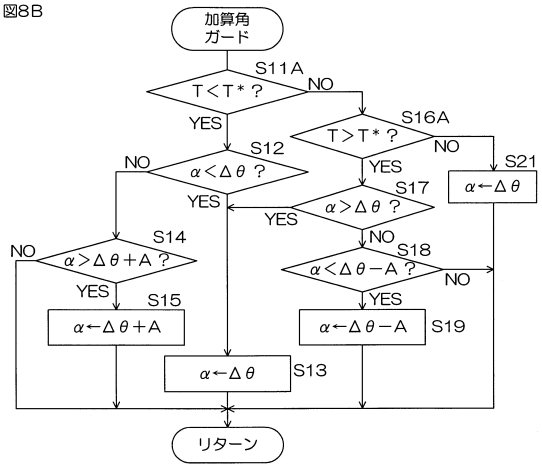
【図８Ａ】

図8A



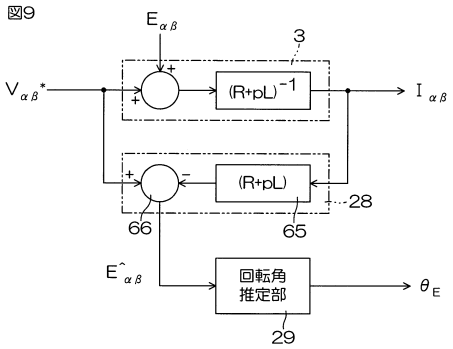
【図８Ｂ】

図8B


加算角
ガード
S11A
T＜T＊？
NO
YES
S16A
T＞T＊？
NO
YES
S12
α＜Δθ？
NO
YES
S21
α←Δθ
S17
α＞Δθ？
YES
NO
S14
α＞Δθ＋A？
NO
YES
S18
α＜Δθ－A？
NO
YES
S15
α←Δθ＋A
α←Δθ－A
S19
α←Δθ
S13
リターン

【図９】

図9


$E_{\alpha\beta}$
3
$V_{\alpha\beta}^{*}$
$(R+pL)^{-1}$
$I_{\alpha\beta}$
(R+pL)
28
66
65
$\hat{E}_{\alpha\beta}$
回転角
推定部
θ_E
29

フロントページの続き

(51)Int.Cl. FI
Ｂ６２Ｄ 119/00 (2006.01) Ｂ６２Ｄ 119:00

審査官 宮崎 基樹

(56)参考文献 特開２０１０－２３９８５４（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－０２９０２９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－０９５０７５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０２Ｐ １／００－３１／００
Ｂ６２Ｄ ５／００－ ６／００
Ｂ６２Ｄ １０１／００
Ｂ６２Ｄ １１３／００
Ｂ６２Ｄ １１９／００