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

特許第5282376号
(P5282376)

(45)発行日　平成25年9月4日(2013.9.4)　(24)登録日　平成25年6月7日(2013.6.7)

(51)Int.Cl.		F I		
H02P 6/12	(2006.01)	H02P	6/02	371D
H02P 27/04	(2006.01)	H02P	5/408	H
B62D 5/04	(2006.01)	B62D	5/04	
B62D 6/00	(2006.01)	B62D	6/00	
B62D 101/00	(2006.01)	B62D	101:00	

請求項の数 1　(全 21 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2007-172387 (P2007-172387)
(22)出願日　平成19年6月29日 (2007.6.29)
(65)公開番号　特開2009-6963 (P2009-6963A)
(43)公開日　平成21年1月15日 (2009.1.15)
審査請求日　平成22年6月7日 (2010.6.7)

(73)特許権者　000004204
日本精工株式会社
東京都品川区大崎１丁目６番３号
(74)代理人　100075579
弁理士　内藤　嘉昭
(72)発明者　前田　将宏
群馬県前橋市鳥羽町７８番地　日本精工株式会社内

審査官　佐々木　訓

最終頁に続く

(54)【発明の名称】電動パワーステアリング装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
操舵系に対して操舵補助力を発生させる各相コイルがスター結線された３相ブラシレスモータと、前記操舵系に伝達される操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、該操舵トルク検出手段で検出した操舵トルクに応じて操舵補助電流指令値を算出し、算出した操舵補助電流指令値に基づいて前記３相ブラシレスモータを駆動制御する操舵補助制御装置とを備えた電動パワーステアリング装置であって、
前記操舵補助制御装置は、各相コイルの駆動系統の通電異常を検出するコイル駆動系異常検出手段と、前記操舵トルクに基づいて操舵補助電流指令値を算出する操舵補助電流指令値算出手段と、前記コイル駆動系異常検出手段で、各相コイルの駆動系統の異常が検出されないときに、前記操舵補助電流指令値に基づいて３相コイルを使用する相電流指令値を算出する正常時モータ指令値算出手段と、前記コイル駆動系異常検出手段で各相コイルのうちの１相の駆動系統に通電異常を検出したときに、前記操舵補助電流指令値に基づいて残りの２相のコイルを使用する相電流指令値を算出する異常時モータ指令値算出手段と、前記正常時モータ指令値算出手段で算出した相電流指令値と前記異常時モータ指令値算出手段で算出した相電流指令値とを選択する指令値選択部と、該指令値選択部で選択した相電流指令値に基づいて前記３相ブラシレスモータを駆動するモータ制御手段と、前記各相コイルの駆動系統に介挿された通電を遮断可能な通電遮断手段と、前記コイル駆動系異常検出手段で、１相の駆動系統に通電異常を検出したときに、該当する駆動系統に介挿された通電遮断手段を遮断状態に制御する遮断制御手段と、モータ回転角を検出して電気角

及び電気角速度を算出する電気角情報算出手段とを備え、
前記正常時モータ指令値算出手段は、ｄ軸電流を設定するｄ軸電流設定手段と、３相コイルの誘起電圧波形をロータ回転座標系に変換して求めたｄ軸電圧及びｑ軸電圧と電気角との関係を表す３相駆動用記憶テーブルを参照してｄ軸電圧及びｑ軸電圧を算出するｄ－ｑ電圧算出手段と、前記操舵補助電流指令値、ｄ軸電圧、ｑ軸電圧、ｄ軸電流及び電気角速度に基づいてｑ軸電流を算出するｑ軸電流算出手段とを少なくとも備え、
前記異常時モータ指令値算出手段は、正常な２相コイルの誘起電圧波形の合成値より求めた誘起電圧と電気角との関係を表す２相駆動用記憶テーブルを参照して誘起電圧を算出する誘起電圧算出手段と、前記操舵補助電流指令値、電気角速度及び前記誘起電圧に基づいてロータ角度の関数として２相の相電流指令値を算出する相電流指令値算出手段とを備えていることを特徴とする電動パワーステアリング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、操舵系に対して操舵補助力を発生させる各相コイルがスター結線された３相ブラシレスモータと、該３相ブラシレスモータを前記操舵系に伝達される操舵トルクに応じて駆動制御する操舵補助制御装置とを備えた電動パワーステアリング装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

この種の電動パワーステアリング装置では、モータ駆動回路に異常が発生した場合は、リレー等のスイッチング手段を介して駆動回路とモータとの間を遮断するフェイルセーフ機能により対処するようにしている。この場合は、確かにリレー等のスイッチング手段の遮断機能により、ブラシレスモータのブレーキ状態は回復できるので、電動パワーステアリング装置を有しない通常のマニュアルステアリングとなる構成であるから、運転者による操舵は可能であり、車両の走行が不能となることは回避することができる。

【０００３】

しかしながら、マニュアルステアリングに移行すると、ステアリング操作に必要な操舵力が大幅に増加するため、運転者は著しい違和感を生じて、慣れるまでの間はぎこちない操舵状態となるという可能性があるという問題点がある。

この問題点を解決するために、例えば２つの電界効果トランジスタを直列に接続した直列回路を５相ブラシレスモータの相数に対応する組数分並列に接続してＦＥＴ回路を構成し、各直列回路における電界効果トランジスタの接続点を不導通検出回路を介してスター結線された各相コイルの他端に接続し、不導通検出回路で各相のうちの一つの相が不導通状態である異常を検出したときに、ブラシレスモータに流れる駆動電流を、正常時に比べて小さくすることにより、ブラシレスモータの一つの相が不導通となった場合でも、ブラシレスモータの駆動を継続してステアリングが重くなることを抑制するようにした電動式パワーステアリング装置が知られている（例えば、特許文献１参照）。

【特許文献１】特開平１０－１８１６１７号公報（第１頁、図２）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

しかしながら、上記特許文献１に記載の従来例にあっては、５相ブラシレスモータでは駆動電流を小さくしてもブラシレスモータの回転駆動が可能であるが、３相ブラシレスモータでは、１相が不導通異常となったときに、残りの２相のみの通電で駆動してもモータ内部で発生する磁界ベクトルを回転させることができないため、モータを回転させることができず、また操舵力などの外力によりモータが回転させられたとしてもモータが発生するトルク脈動が大きく、運転者は著しい違和感を生じるという未解決の課題がある。

【０００５】

そこで、本発明は、上記従来例の未解決の課題に着目してなされたものであり、３相ブラシレスモータで、１相に異常が発生したときに、残りの２相における駆動電流の大きさ

と方向を制御して回転駆動を継続させることができる電動パワーステアリング装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

上記目的を達成するために、請求項１に係る電動パワーステアリング装置は、操舵系に対して操舵補助力を発生させる各相コイルがスター結線された３相ブラシレスモータと、前記操舵系に伝達される操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、該操舵トルク検出手段で検出した操舵トルクに応じて操舵補助電流指令値を算出し、算出した操舵補助電流指令値に基づいて前記３相ブラシレスモータを駆動制御する操舵補助制御装置とを備えた電動パワーステアリング装置であって、

前記操舵補助制御装置は、各相コイルの駆動系統の通電異常を検出するコイル駆動系異常検出手段と、前記操舵トルクに基づいて操舵補助電流指令値を算出する操舵補助電流指令値算出手段と、前記コイル駆動系異常検出手段で、各相コイルの駆動系統の異常が検出されないときに、前記操舵補助電流指令値に基づいて３相コイルを使用する相電流指令値を算出する正常時モータ指令値算出手段と、前記コイル駆動系異常検出手段で各相コイルのうちの１相の駆動系統に通電異常を検出したときに、前記操舵補助電流指令値に基づいて残りの２相のコイルを使用する相電流指令値を算出する異常時モータ指令値算出手段と、前記正常時モータ指令値算出手段で算出した相電流指令値と前記異常時モータ指令値算出手段で算出した相電流指令値とを選択する指令値選択部と、該指令値選択部で選択した相電流指令値に基づいて前記３相ブラシレスモータを駆動するモータ制御手段と、前記各相コイルの駆動系統に介挿された通電を遮断可能な通電遮断手段と、前記コイル駆動系異常検出手段で、１相の駆動系統に通電異常を検出したときに、該当する駆動系統に介挿された通電遮断手段を遮断状態に制御する遮断制御手段と、モータ回転角を検出して電気角及び電気角速度を算出する電気角情報算出手段とを備え、

前記正常時モータ指令値算出手段は、ｄ軸電流を設定するｄ軸電流設定手段と、３相コイルの誘起電圧波形をロータ回転座標系に変換して求めたｄ軸電圧及びｑ軸電圧と電気角との関係を表す３相駆動用記憶テーブルを参照してｄ軸電圧及びｑ軸電圧を算出するｄ－ｑ電圧算出手段と、前記操舵補助電流指令値、ｄ軸電圧、ｑ軸電圧、ｄ軸電流及び電気角速度に基づいてｑ軸電流を算出するｑ軸電流算出手段とを少なくとも備え、

前記異常時モータ指令値算出手段は、正常な２相コイルの誘起電圧波形の合成値より求めた誘起電圧と電気角との関係を表す２相駆動用記憶テーブルを参照して誘起電圧を算出する誘起電圧算出手段と、前記操舵補助電流指令値、電気角速度及び前記誘起電圧に基づいてロータ角度の関数として２相の相電流指令値を算出する相電流指令値算出手段とを備えていることを特徴としている。

【発明の効果】

【００１０】

本発明によれば、３相ブラシレスモータのスター結線されたコイルのうち１相の駆動系統に通電異常が発生した場合でも、正常時よりも小さい操舵補助トルクを継続して出力することができ運転者の負荷を低減すると同時に、その際のトルク変動により異常が発生したことを運転者に確実に報知することができるという効果が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１１】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図１は、本発明の一実施形態を示す全体構成図であって、図中、１は、ステアリングホイールであり、このステアリングホイール１に運転者から作用される操舵力が入力軸２ａと出力軸２ｂとを有するステアリングシャフト２に伝達される。このステアリングシャフト２は、入力軸２ａの一端がステアリングホイール１に連結され、他端は操舵トルク検出手段としての操舵トルクセンサ３を介して出力軸２ｂの一端に連結されている。

【００１２】

そして、出力軸２ｂに伝達された操舵力は、ユニバーサルジョイント４を介してロアシ

ャフト５に伝達され、さらに、ユニバーサルジョイント６を介してピニオンシャフト７に伝達される。このピニオンシャフト７に伝達された操舵力はステアリングギヤ８を介してタイロッド９に伝達され、図示しない転舵輪を転舵させる。ここで、ステアリングギヤ８は、ピニオンシャフト７に連結されたピニオン８ａとこのピニオン８ａに噛合するラック８ｂとを有するラックアンドピニオン形式に構成され、ピニオン８ａに伝達された回転運動をラック８ｂで車幅方向の直進運動に変換している。

【００１３】

ステアリングシャフト２の出力軸２ｂには、操舵補助力を出力軸２ｂに伝達する操舵補助機構１０が連結されている。この操舵補助機構１０は、出力軸２ｂに連結した減速ギヤ１１と、この減速ギヤ１１に連結された操舵補助力を発生する３相ブラシレスモータ１２とを備えている。

操舵トルクセンサ３は、ステアリングホイール１に付与されて入力軸２ａに伝達された操舵トルクを検出するもので、例えば、操舵トルクを入力軸２ａ及び出力軸２ｂ間に介挿した図示しないトーションバーの捩れ角変位に変換し、この捩れ角変位を抵抗変化や磁気変化に変換して検出するように構成されている。

【００１４】

また、３相ブラシレスモータ１２は、図２に示すように、Ｕ相コイルＬｕ、Ｖ相コイルＬｖ及びＷ相コイルＬｗの一端が互いに接続されてスター結線とされ、各コイルＬｕ、Ｌｖ及びＬｗの他端が操舵補助制御装置２０に接続されて個別にモータ駆動電流Ｉｕ、Ｉｖ及びＩｗが供給されている。また、３相ブラシレスモータ１２は、ロータの回転位置を検出するホール素子、レゾルバ等で構成されるロータ回転角検出回路１３を備えている。

【００１５】

操舵補助制御装置２０は、操舵トルクセンサ３で検出された操舵トルクＴ及び車速センサ２１で検出された車速Ｖｓが入力されると共に、ロータ回転角検出回路１３で検出されたロータ回転角θｍが入力され、さらに３相ブラシレスモータ１２の各相コイルＬｕ、Ｌｖ及びＬｗに供給されるモータ駆動電流Ｉｕ、Ｉｖ及びＩｗを検出するモータ電流検出回路２２から出力されるモータ駆動電流検出値Ｉｕｄ、Ｉｖｄ及びＩｗｄが入力されている。

【００１６】

この操舵補助制御装置２０は、操舵トルクＴ及び車速Ｖとモータ電流検出値Ｉｕｄ、Ｉｖｄ及びＩｗｄとロータ回転角θｍとに基づいて操舵補助電流目標値を演算して、各相モータ電圧指令値Ｖｕ、Ｖｖ及びＶｗを出力する制御演算装置２３と、３相ブラシレスモータ１２を駆動する電界効果トランジスタ（ＦＥＴ）で構成されるモータ駆動回路２４と、制御演算装置２３から出力される相電圧指令値Ｖｕ、Ｖｖ及びＶｗに基づいてモータ駆動回路２４の電界効果トランジスタのゲート電流を制御するＦＥＴゲート駆動回路２５と、モータ駆動回路２４及び３相ブラシレスモータ１２との間に接続されたスイッチング手段としての遮断用リレー回路２６と、３相ブラシレスモータ１２に供給されるモータ駆動電流Ｉｕ、Ｉｖ及びＩｗの異常を検出する異常検出回路２７とを備えている。

【００１７】

制御演算装置２３は、図３に示すように、操舵トルクセンサ３で検出した操舵トルクＴと車速センサ２１で検出した車速Ｖｓとが入力され、これらに基づいて操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆを算出する操舵補助電流指令値演算部３１と、ロータ回転角検出回路１３で検出したロータ回転角θｍに基づいて電気角θｅ及び電気角速度ωｅを算出する角度情報演算部３２と、操舵補助指令値Ｉｒｅｆ、電気角θｅ及び電気角速度ωｅに基づいて３相電流指令値Ｉｕｒｅｆ～Ｉｗｒｅｆを算出する正常時モータ指令値算出部３３と、後述する異常検出回路２７から入力される異常検出信号ＡＳ、操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆ、電気角θｅ及び電気角速度ωｅに基づいて正常なコイルＬｉ（ｉ＝ｕ～ｗ）及びＬｊ（ｊ＝ｖ～ｕ）に対する２相電流指令値Ｉｉｒｅｆ及びＩｊｒｅｆを算出する異常時モータ指令値算出部３４と、正常時モータ指令値算出部３３及び異常時モータ指令値算出部３４から出力される３相電流指令値Ｉｕｒｅｆ～Ｉｗｒｅｆと異常時モータ指令値算出部３４から出

力される２相電流指令値Ｉｒｅｆ及びＩｊｒｅｆとを選択する指令値選択部３５と、この指令値選択部３５で選択された電流指令値とモータ電流検出回路２２で検出したモータ電流検出値Ｉｕｄ、Ｉｖｄ及びＩｗｄとで電流フィードバック処理を行うモータ電流制御部３６を備えている。

【００１８】

操舵補助電流指令値演算部３１は、操舵トルクＴ及び車速Ｖｓをもとに図４に示す操舵補助電流指令値算出マップを参照して操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆを算出する。ここで、操舵補助電流指令値算出マップは、図４に示すように、横軸に操舵トルクＴをとり、縦軸に操舵補助指令値Ｉｒｅｆをとると共に、車速検出値Ｖｓをパラメータとした放物線状の曲線で表される特性線図で構成され、操舵トルクＴが“０”からその近傍の設定値Ｔｓ１までの間は操舵補助指令値Ｉｒｅｆが“０”を維持し、操舵トルクＴが設定値Ｔｓ１を超えると最初は操舵補助指令値Ｉｒｅｆが操舵トルクＴの増加に対して比較的緩やかに増加するが、さらに操舵トルクＴが増加すると、その増加に対して操舵補助指令値Ｉｒｅｆが急峻に増加するように設定され、この特性曲線は車速Ｖｓが増加するに従って傾きが小さくなるように設定されている。

【００１９】

また、角度情報演算部３２は、ロータ回転角検出回路１３で検出したロータ回転角θｍを電気角θｅに変換する電気角変換部３２ａと、この電気角変換部３２ａから出力される電気角θｅを微分して電気角速度ωｅを算出する微分回路３２ｂとを有する。

正常時モータ指令値算出部３３は、図３に示すように、操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆと電気角速度ωｅとに基づいてｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆを算出するｄ軸電流指令値算出部３３ａ、電気角θｅに基づいてｄ軸電圧ｅｄ（θｅ）及びｑ軸電圧ｅｑ（θｅ）を算出するｄ－ｑ軸電圧算出部３３ｂ及びこのｄ－ｑ軸電圧算出部３３ｂから出力されるｄ軸電圧ｅｄ（θｅ）及びｑ軸電圧ｅｑ（θｅ）とｄ軸電流指令値算出部３３ａから出力されるｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆと操舵補助電流指令値演算部３１から出力される操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆとに基づいてｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆを算出するｑ軸電流指令値算出部３３ｃで構成されるｄ－ｑ軸電流指令値算出部３３ｄと、ｄ軸電流指令値算出部３３ａから出力されるｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆとｑ軸電流指令値算出部３３ｃから出力されるｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆとを３相電流指令値Ｉｕｒｅｆ、Ｉｖｒｅｆ及びＩｗｒｅｆに変換する２相／３相変換部３３ｅとを備えている。

【００２０】

また、ｄ軸電流指令値算出部３３ａは、図５に示すように、操舵補助電流指令値演算部３１から出力される操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆを３相ブラシレスモータ１２へのベース角速度ωｂに換算する換算部５１と、操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆの絶対値｜Ｉｒｅｆ｜を算出する絶対値部５２と、電気角速度ωｅとモータの磁極数Ｐとからモータの機械角速度ωｍ（＝ωｅ／Ｐ）を算出する機械角算出部５３と、ベース角速度ωｂと機械角速度ωｍとに基づいて進角Φ＝ａｃｏｓ（ωｂ／ωｍ）を算出するａｃｏｓ算出部５４と、進角Φに基づいてｓｉｎΦを求めるｓｉｎ算出部５５と、絶対値部５２からの絶対値｜Ｉｒｅｆ｜とｓｉｎ算出部５５から出力されるｓｉｎΦとを乗算して－１倍することによりｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ（＝－｜Ｉｒｅｆ｜ｓｉｎΦ）を求める乗算器５６とを備えている。

【００２１】

このように、ｄ軸電流指令値算出部３３ａを構成することにより、ｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆは、

Ｉｄｒｅｆ＝－｜Ｉｒｅｆ｜・ｓｉｎ（ａｃｏｓ（ωｂ／ωｍ））　……（１）

となり、この（１）式のａｃｏｓ（ωｂ／ωｍ）の項に関し、モータの回転速度が高速でない場合、つまり３相ブラシレスモータ１２の機械角速度ωｍがベース角速度ωｂより低速時の場合は、ωｍ＜ωｂとなるのでａｃｏｓ（ωｂ／ωｍ）＝０となり、よってＩｄｒｅｆ＝０となる。しかし、高速回転時、つまり機械角速度ωｍがベース角速度ωｂより高速になると、電流指令値Ｉｄｒｅｆの値が現れて、弱め界磁制御を始める。上記（１）式

に表されるように、電流指令値Ｉｄｒｅｆは３相ブラシレスモータ１２の回転速度によって変化するため、高速度回転時の制御をつなぎ目なく円滑に行うことが可能であるという優れた効果がある。

【００２２】

また、別の効果としてモータ端子電圧の飽和の問題に関しても効果がある。モータの相電圧Ｖは、一般的に、

Ｖ＝Ｅ＋Ｒ・Ｉ＋Ｌ（ｄｉ／ｄｔ）　……（２）

で表される。ここで、Ｅは逆起電圧、Ｒは固定抵抗、Ｌはインダクタンスであり、逆起電圧Ｅはモータが高速回転になるほど大きくなり、バッテリー電圧などの電源電圧は固定であるから、モータの制御に利用できる電圧範囲が狭くなる。この電圧飽和に達する角速度がベース角速度ωｂで、電圧飽和が生じるとＰＷＭ制御のデューティ比が１００％に達し、それ以上は電流指令値に追従できなくなり、その結果トルクリップルが大きくなる。

【００２３】

しかし、上記（１）式で表される電流指令値Ｉｄｒｅｆは極性が負であり、上記（２）式のＬ（ｄｉ／ｄｔ）に関する電流指令値Ｉｄｒｅｆの誘起電圧成分は、逆起電圧Ｅと極性が反対となる。よって、高速回転になるほど値が大きくなる逆起電圧Ｅを、電流指令値Ｉｄｒｅｆによって誘起される電圧で減じる効果を示す。その結果、３相ブラシレスモータ１２が高速回転になっても、電流指令値Ｉｄｒｅｆの効果によってモータを制御できる電圧範囲が広くなる。つまり、電流指令値Ｉｄｒｅｆの制御による弱め界磁制御によってモータの制御電圧は飽和せず、制御できる範囲が広くなり、モータの高速回転時にもトルクリップルが大きくなることを防止できる効果がある。

【００２４】

さらに、ｄ－ｑ軸電圧算出部３３ｂは、電気角θｅをもとに図６に示す３相駆動用記憶テーブルとしてのｄ－ｑ軸電圧算出用記憶テーブルを参照してｄ軸電圧ｅｄ（θｅ）及びｑ軸電圧ｅｑ（θｅ）を算出する。ここで、ｄ－ｑ軸電圧算出用記憶テーブルは、図６に示すように、横軸に電気角θｅをとり、縦軸に各相コイルが発生する誘起電圧波形を回転座標に変換したｄ軸電圧ｅｄ（θ）及びｑ軸電圧ｅｑ（θ）をとって構成され、３相ブラシレスモータ１２が図７に示すように正常時の誘起電圧波形Ｕ相ＥＭＦ、Ｖ相ＥＭＦ及びＷ相ＥＭＦが夫々１２０度位相の異なる正弦波となる正弦波誘起電圧モータである場合には、図７に示すように、電気角θには関係なくｅｄ（θ）及びｑ軸電圧ｅｑ（θ）が共に一定値となる。

【００２５】

さらにまた、ｑ軸電流指令値算出部３３ｃは、入力される操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆ、ｄ軸電圧ｅｄ（θｅ）、ｑ軸電圧ｅｑ（θｅ）、ｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ及び電気角速度ωｅに基づいて下記（３）式の演算を行ってｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆを算出する。

$$Iqref = \{Kt \times Iref \times \omega e - ed(\theta e) \times Idref(\theta e)\} / eq(\theta e) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

ここで、Ｋｔはモータトルク定数である。

【００２６】

また、異常時モータ指令値算出部３４は、３相ブラシレスモータ１２の１相の駆動系統に異常が発生した場合に、残りの２相のコイルを使用して３相ブラシレスモータ１２の回転駆動を継続するためのものである。

すなわち、３相ブラシレスモータ１２では、例えば図８（ａ）に示すようにＵ相コイルＬｕに対する駆動系統に断線が発生して、Ｕ相コイルＬｕにモータ電流を供給できない状態となった場合を例にとると、モータ電流を供給可能なコイルはＶ相コイルＬｖ及びＷ相コイルＬｗの２つのコイルとなり、これらＶ相コイルＬｖ及びＷ相コイルＬｗに供給する電流の方向は、Ｖ相コイルＬｖからモータ電流を入力してＷ相コイルＬｗから出力する場合と、逆にＷ相コイルＬｗからモータ電流を入力してＶ相コイルＬｖから出力する場合の２通りとなる。

【００２７】

これらモータ電流によって発生するステータ合成磁界は、図８（ｂ）及び（ｃ）に示すように、１８０度異なる方向にのみ形成することができるだけであるので、これらのステータ合成磁界のみでは３相ブラシレスモータ１２を２相駆動することはできない。

このため、本実施形態では、例えばＵ相の駆動系統に通電異常が発生したときに、残りのＶ相及びW相を使用してモータ駆動する場合のモータ誘起電圧は、図９に示すように、電気角θｅに対する特性曲線Ｌ１及びＬ２で示される誘起電圧ＥＭＦｖ（θｅ）及びＥＭＦｗ（θｅ）を合成した特性曲線Ｌ３で示される合成誘起電圧ＥＭＦａとなるものとし、この合成誘起電圧ＥＭＦａに基づいてモータ電流Ｉｍ（θｅ）を算出するようにしている。

【００２８】

すなわち、異常時モータ指令値算出部３４を、図３に示すように、電気角θｅ及び後述する異常検出回路２７から出力される異常検出信号ＡＳに基づいて合成誘起電圧ＥＭＦａ（θｅ）を算出する誘起電圧算出部６１と、この誘起電圧算出部６１で算出された合成誘起電圧ＥＭＦａ（θｅ）、操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆ及び電気角速度ωｅに基づいて相電流指令値Ｉｍ（θｅ）を算出する相電流指令値算出部６２と、この相電流指令値算出部６２で算出した相電流指令値Ｉｍ（θｅ）をモータ駆動回路２４で出力可能な最大電流値Ｉｍａｘで制限する電流制限部６３と、この電流制限部６３で制限された相電流指令値に基づいて該当する２相の相電流指令値を出力する２相電流指令値算出部６４とで構成する。

【００２９】

ここで、誘起電圧算出部６１は、Ｖ－Ｗ２相で駆動する場合の図９の特性曲線Ｌ３で表される合成誘起電圧ＥＭＦａと電気角θｅとの関係を示す合成誘起電圧算出用記憶テーブル、Ｕ－Ｖ２相で駆動する場合の合成誘起電圧ＥＭＦａと電気角θｅとの関係を表す合成誘起電圧算出テーブル及びＵ－Ｗ２相で駆動する場合の合成誘起電圧ＥＭＦａと電気角θｅとの関係を表す合成誘起電圧算出用記憶テーブルの３つの２相駆動用記憶テーブルとしての合成誘起電圧算出用記憶テーブルを有し、異常検出信号ＡＳに基づいて正常である２相に対応する合成誘起電圧算出用記憶テーブルを選択し、電気角θｅをもとに選択した合成誘起電圧算出用記憶テーブルを参照して合成誘起電圧ＥＭＦａ（θｅ）を算出する。

【００３０】

また、相電流指令値算出部６２は、誘起電圧算出部６１から出力される合成誘起電圧ＥＭＦａ、操舵補助電流指令値演算部３１で算出された操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆ及び電気角速度ωｅに基づいて下記（４）の演算を行って、相電流指令値Ｉｍ（θｅ）を算出する。

Ｉｍ（θｅ）＝（Ｋｔ２×Ｉｒｅｆ×ωｅ）／ＥＭＦａ（θｅ）　……（４）

ここで、Ｋｔ２は２相通電時のモータトルク定数である。

【００３１】

さらに、２相電流指令値算出部６４は、異常検出回路２７から出力される異常検出信号ＡＳに基づいて通電する２相を決定すると共に、相電流指令値算出部６２で算出した相電流指令値Ｉｍ（θｅ）の符号に基づいて相電流指令値Ｉｍ（θｅ）の通電方向を設定して、設定された通電方向に対応する１つの相の電流指令値Ｉｋｒｅｆ（ｋ＝ｕ～ｗ）をモータ電流制御部３６の減算器８１ｋに出力する。

【００３２】

さらに、指令値選択部３５では、常閉接点に正常時モータ指令値算出部３３の２相／３相変換部３３ｅで算出された各相電流指令値Ｉｕｒｅｆ、Ｉｖｒｅｆ及びＩｗｒｅｆが入力され、他方の常開接点に異常時モータ指令値算出部３４から出力されるモータ電流指令値Ｉｕｒｅｆ、Ｉｖｒｅｆ及びＩｗｒｅｆが入力された切換スイッチ７１ｕ、７１ｖ及び７１ｗと、これら切換スイッチ７１ｕ、７１ｖ及び７１ｗを切換え制御する選択制御部７２とを備えている。

【００３３】

ここで、選択制御部７２は、異常検出回路２７から出力される異常検出信号ＡＳが“０

”であるときに切換スイッチ７１ｕ～７１ｗに対して常閉接点を選択する論理値“０”の選択信号ＳＳを出力すると共に、後述する遮断リレー回路ＲＬＹ１～ＲＬＹ３に対してこれらをオン状態に制御するリレー制御信号ＲＳ１～ＲＳ３を出力し、異常検出信号ＡＳが“１”～“３”であるときに切換スイッチ７１ｕ～７１ｗに対して常開接点を選択する論理値“１”の選択信号ＳＳを出力すると共に、異常となった駆動系統に対応する遮断リレー回路ＲＬＹｘ（ｘ＝ｕ～ｗ）に対してこれをオフ状態に制御するリレー制御信号ＲＳｘを出力する。

【００３４】

モータ電流制御部３６は、指令値選択部３５から供給される電流指令値Ｉｕｒｅｆ，Ｉｖｒｅｆ，Ｉｗｒｅｆから電流検出回路２２で検出した各相コイルＬｕ、Ｌｖ、Ｌｗに流れるモータ相電流検出値Ｉｕｄ、Ｉｖｄ、Ｉｗｄを減算して各相電流誤差ΔＩｕ、ΔＩｖ、ΔＩｗを求める減算器８１ｕ、８１ｖ及び８１ｗと、求めた各相電流誤差ΔＩｕ、ΔＩｖ、ΔＩｗに対して比例積分制御を行って指令電圧Ｖｕ、Ｖｖ、Ｖｗを算出するＰＩ制御部８２とを備えている。

【００３５】

そして、ＰＩ制御部８２から出力される指令電圧Ｖｕ、Ｖｖ、ＶｗがＦＥＴゲート駆動回路２５に供給される。

モータ駆動回路２４は、図２に示すように、各相コイルＬｕ、Ｌｖ及びＬｗに対応して直列に接続されたＮチャンネルＭＯＳＦＥＴで構成されるスイッチング素子Ｑｕａ，Ｑｕｂ、Ｑｖａ，Ｑｖｂ及びＱｗａ，Ｑｗｂを並列に接続されたインバータ構成を有し、スイッチング素子Ｑｕａ，Ｑｕｂの接続点、Ｑｖａ，Ｑｖｂの接続点及びＱｗａ，Ｑｗｂの接続点が夫々相コイルＬｕ、Ｌｖ及びＬｗの中性点Ｐｎとは反対側に接続されている。

【００３６】

そして、モータ駆動回路２４を構成する各スイッチング素子Ｑｕａ，Ｑｕｂ、Ｑｖａ，Ｑｖｂ及びＱｗａ，ＱｗｂのゲートにＦＥＴゲート駆動回路２５から出力されるＰＷＭ（パルス幅変調）信号が供給されている。

さらに、遮断用リレー回路２６は、３相ブラシレスモータ１２の相コイルＬｕ、Ｌｖ及びＬｗの中性点Ｐｎとは反対側の端子と、モータ駆動回路２４の電界効果トランジスタＱｕａ，Ｑｕｂ、Ｑｖａ，Ｑｖｂ及びＱｗａ，Ｑｗｂの接続点との間に個別に介挿されたリレー接点ＲＬＹ１、ＲＬＹ２及びＲＬＹ３で構成されている。そして、各リレー接点ＲＬＹ１～ＲＬＹ３は、異常検出回路２７で総ての相で異常が検出されない正常状態では閉状態に制御され、何れか１つの相で異常が検出されたときに異常となった相のリレー接点ＲＹＬｉ（ｉ＝１～３）が開状態に制御される。

【００３７】

さらにまた、異常検出回路２７は、ＦＥＴゲート駆動回路２５に供給する電圧指令値Ｖｕ、Ｖｖ及びＶｗ又はモータ駆動回路２４に供給するパルス幅変調信号と各相のモータ電圧とを比較することによってＵ相、Ｖ相、及びＷ相の不導通及び短絡異常を検出することができる。そして、異常検出回路２７では、Ｕ相、Ｖ相及びＷ相の全てが正常である場合には、“０”、Ｕ相不導通異常時には“Ｕ１”、Ｕ相短絡異常時には“Ｕ２”、Ｖ相不導通異常時には“Ｖ１”、Ｖ相短絡異常時には“Ｖ２”、Ｗ相不導通異常時には“Ｗ１”、Ｗ相短絡異常時には“Ｗ２”となる相異常検出信号ＡＳを制御演算装置２３の異常時モータ指令値算出部３４及び指令値選択部３５に出力する。

【００３８】

次に、上記第１の実施形態の動作を説明する。

今、モータ駆動回路２４を構成する各電界効果トランジスタＱｕａ～Ｑｗｂが正常であると共に、３相ブラシレスモータ１２の各相コイルＬｕ～Ｌｗに断線や地絡が生じていない正常状態では、異常検出回路２７で異常状態が検出されることはなく、“０”を表す異常検出信号が異常時モータ指令値算出部３４及び指令値選択部３５に出力される。

【００３９】

このため、指令値選択部３５の選択制御部７２から論理値“０”の選択信号ＳＳが切換

スイッチ７１ｕ～７１ｗに出力されることにより、各切換スイッチ７１ｕ～７１ｗが常閉接点側即ち正常時モータ指令値算出部３３から出力される相電流指令値Ｉｕｒｅｆ～Ｉｗｒｅｆを選択してモータ電流制御部３６に出力する。これと同時に各リレー接点ＲＬＹ１～ＲＬＹ３に対してこれを閉状態に制御するリレー制御信号ＲＳが出力される。

【００４０】

このため、モータ駆動回路２４から出力されるモータ駆動電流Ｉｕ、Ｉｖ及びＩｗがリレー接点ＲＬＹ１、ＲＬＹ２及びＲＬＹ３を介して３相ブラシレスモータ１２の各相コイルＬｕ、Ｌｖ及びＬｗに供給される。

この状態で、例えば車両の停止時に、ステアリングホイール１を操舵していない状態では、操舵トルクセンサ３で検出される操舵トルクＴが“０”であるので、制御演算装置２３の操舵補助電流指令値演算部３１で算出される操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆも“０”となると共に、角度情報演算部３２の微分回路３２ｂから出力される電気角速度ωｅも“０”となるので、ｄ軸電流指令値算出部３３ａで算出されるｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆも“０”となり、ｑ軸電流指令値算出部３３ｃで前記（３）式に従って算出されるｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆも“０”となることから、２相／３相変換部３３ｅから出力される相電流指令値Ｉｕｒｅｆ、Ｉｖｒｅｆ及びＩｗｒｅｆも“０”となる。

【００４１】

このとき、３相ブラシレスモータ１２も停止しているので、モータ電流検出回路２２で検出されるモータ電流検出値Ｉｕｄ、Ｉｖｄ及びＩｗｄも“０”となることから、モータ電流制御部３６の減算器８１ｕ、８１ｖ及び８１ｗから出力される電流偏差ΔＩｕ、ΔＩｖ及びΔＩｗも“０”となり、ＰＩ制御部８２から出力される電圧指令値Ｖｕ、Ｖｖ及びＶｗも“０”となって、ＦＥＴゲート駆動回路２５からモータ駆動回路２４の電界効果トランジスタＱｕａ，Ｑｕｂ、Ｑｖａ，Ｑｖｂ及びＱｗａ，Ｑｗｂのゲートに出力されるパルス幅変調信号のデューティ比が５０％に制御され、且つ上アームの電界効果トランジスタに供給するパルス幅変調信号と下アームの電界効果トランジスタに供給するパルス幅変調信号とにはデッドタイムが設けられているので、上アームの電界効果トランジスタＱｕａ、Ｑｖａ、Ｑｗａと下アームの電界効果トランジスタＱｕｂ、Ｑｖｂ、Ｑｗｂとが導通することはなく、３相ブラシレスモータ１２の各相コイルＬｕ、Ｌｖ及びＬｗに供給されるモータ電流Ｉｕ、Ｉｖ及びＩｗは“０”となり、３相ブラシレスモータ１２は停止状態を維持する。

【００４２】

このステアリングホイール１の非操舵状態から、車両の停止時にステアリングホイール１を操舵して所謂据え切り状態とすると、これに応じて操舵トルクセンサ３で検出される操舵トルクＴが大きな値となると共に、車速Ｖｓが“０”であるので、図４の操舵補助電流指令値算出マップで一番急峻な特性曲線が選択されることにより、操舵トルクＴの増加に応じて大きな値の操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆが算出されることになる。このため、ｄ軸電流指令値算出部３３ａで算出されるｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆが増加する。

【００４３】

このとき、３相ブラシレスモータ１２が停止しているので、電気角速度ωｅは“０”の状態を継続するが、図６のｄ－ｑ軸電圧算出用記憶テーブルでは電気角速度ωｅにかかわらずｄ軸電圧ｅｄ（θ）が“０”、ｑ軸電圧ｅｑ（θ）が例えば３．０に維持され、これがｑ軸電流指令値算出部３３ｃに供給されるので、このｑ軸電流指令値算出部３３ｃで前記（３）式の演算を行ってｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆを算出する。

【００４４】

そして、算出されたｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ及びｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆが２相／３相変換部３３ｅで三相分相処理が行われて、各相電流指令値Ｉｕｒｅｆ、Ｉｖｒｅｆ及びＩｗｒｅｆが算出され、これらがモータ電流制御部３６に供給される。

このため、モータ電流制御部３６では、モータ電流検出回路２２から入力されるモータ電流検出値Ｉｕｄ、Ｉｖｄ及びＩｗｄが“０”を維持しているので、減算器８１ｕ、８１ｖ及び８１ｗから出力される電流偏差ΔＩｕ、ΔＩｖ及びΔＩｗが“０”から変化し、Ｐ

Ｉ制御部８２で電流偏差ΔＩｕ、ΔＩｖ及びΔＩｗにＰＩ制御処理を行って指令電圧Ｖｕ、Ｖｖ及びＶｗを算出し、これらをＦＥＴゲート駆動回路２５に供給する。このため、モータ駆動回路２４の各電界効果トランジスタが制御されて、このモータ駆動回路２４から１２０度位相がずれたモータ相電流Ｉｕ、Ｉｖ及びＩｗを３相ブラシレスモータ１２の相コイルＬｕ、Ｌｖ及びＬｗに出力することにより、３相ブラシレスモータ１２が回転駆動されて、ステアリングホイール１に入力される操舵トルクに応じた操舵補助力を発生し、これが減速ギヤ１１を介してステアリングシャフト２に伝達されることにより、ステアリングホイール１を軽い操舵力で操舵することができる。

【００４５】

その後、車両が走行を開始すると、これに応じて操舵補助電流指令値演算部３１で算出される操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆが低下することにより、ｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ及びｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆが減少して、２相／３相変換部３３ｅから出力されるモータ電流指令値Ｉｕｒｅｆ、Ｉｖｒｅｆ及びＩｗｒｅｆが減少し、これに応じてモータ駆動電流Ｉｕ、Ｉｖ及びＩｗが減少して、３相ブラシレスモータ１２で発生する操舵補助力が減少される。

【００４６】

このモータ駆動回路２４の正常状態から、例えばＵ相コイルＬｕを駆動する駆動系統即ちモータ駆動回路２４の電界効果トランジスタＱｕａ又はＱｕｂがオフ状態を継続したままとなるか、Ｕ相コイルＬｕを含む通電経路に断線が生じることにより、Ｕ相コイルＬｕが不導通となる異常が発生すると、これが異常検出回路２７で検出され、この異常検出回路２７から不導通異常を表す“Ｕ１”の相異常検出信号ＡＳが異常時モータ指令値算出部３４及び指令値選択部３５に供給される。

【００４７】

このため、指令値選択部３５で、論理値“１”の異常検出信号ＡＳが入力されると、選択スイッチ７１ｕ～７１ｗに対して論理値“１”の選択信号ＳＳを出力すると共に、遮断リレー回路ＲＬＹ１に対してこれをオフ状態とするリレー制御信号ＲＳ１を出力する。

これに応じて、選択スイッチ７１ｕ～７１ｗが常閉接点側から常開接点側に切換えられ、正常時モータ指令値算出部３３から出力される相電流指令値Ｉｕｒｅｆ～Ｉｗｒｅｆから異常時モータ指令値算出部３４から出力される相電流指令値Ｉｕｒｅｆ～Ｉｗｒｅｆに切換えられる。

【００４８】

一方、異常時モータ指令値算出部３４では、異常検出回路２７から入力される異常検出信号ＡＳがＵ相不導通異常を表す“Ｕ１”であるので、誘起電圧算出部６１で、Ｖ相誘起電圧とW相誘起電圧との合成誘起電圧を表す誘起電圧算出用記憶テーブルを選択し、この誘起電圧算出用記憶テーブルを角度情報演算部３２から入力される電気角θｅをもとに参照することにより、Ｖ相誘起電圧とW相誘起電圧との合成誘起電圧ＥＭＦａ（θｅ）を算出する。

【００４９】

そして、算出された合成誘起電圧ＥＭＦａ（θｅ）が相電流指令値算出部６２に供給されて、この相電流指令値算出部６２で前記（４）式の演算を行って相電流指令値Ｉｍ（θｅ）を算出する。算出された相電流指令値Ｉｍ（θｅ）は、図１０に示すように、電気角θｅが０°から７５°に達するまでの間に＋２０Ａから＋８０Ａまで上に凸となる円弧状に増加し、７５°～９０°の間＋８０Ａを維持し、９０°で－８０Ａまで反転し、その後１０５°までの間－８０Ａを維持し、その後１８０°までの間に上に凸となる円弧状に－２０Ａまで増加し、その後２５５°までの間に上に凸となる円弧状に減少し、２５５°～２７０°の間で－８０Ａを維持し、２７０°で＋８０Ａまで反転し、その後２８５°までの間＋８０Ａを維持してからその後下に凸となる湾曲状に減少して３６０°で＋２０Ａまで減少する特性曲線Ｌ４となる。

【００５０】

そして、算出された相電流指令値Ｉｍ（θｅ）が電流制限部６３に供給されて、この電

流制限部６３で、モータ駆動回路２４で出力可能な最大電流値Ｉｍａｘを超える場合にはこの最大電流値Ｉｍａｘに制限される。

そして、電流制限部６３で制限された相電流指令値Ｉｍ（θｅ）が２相電流指令値算出部６４に供給され、この２相電流指令値算出部６４で、異常検出回路２７から入力される異常検出信号ＡＳに基づいてＶ相電流指令値Ｉｖｒｅｆ及びW相電流指令値Ｉｗｒｅｆが選択されると共に、相電流指令値Ｉｍ（θｅ）の符号に基づいて、Ｖ相電流指令値Ｉｖｒｅｆ及びW相電流指令値Ｉｗｒｅｆの何れの側から電流を流すかを設定して、これに応じた相電流指令値Ｉｖｒｅｆ又はＩｗｒｅｆを選択する。このとき、電気角θｅが０°～９０°であるときにはW相コイルＬｗからＶ相コイルＬｖに向けて電流を流すようにW相電流指令値Ｉｗｒｅｆを正値に設定し、電気角θｅが９０°～２７０°であるときにはＶ相コイルＬｖからW相コイルＬｗに向けて電流を流すようにＶ相電流指令値Ｉｖｒｅｆを正値に設定し、電気角θｅが２７０°～３６０°であるときにW相コイルＬｗからＶ相コイルＬｖに向けて電流を流すようにW相電流指令値Ｉｗｒｅｆを正値に設定し、他の相電流指令値Ｉｕｒｅｆを“０”とする相電流指令値Ｉｕｒｅｆ～Ｉｗｒｅｆを選択スイッチ７１ｕ～７１ｗに出力する。

【００５１】

このため、３相ブラシレスモータ１２に対して、電気角θｅが０°～９０°であるときに、W相モータ電流Ｉｗが供給されて、W相コイルＬｗからＶ相コイルＬｖを通じて流れることにより、回転するステータ合成磁界を発生させてロータを回転させ、電気角θｅが９０°～１８０°であるときには、Ｖ相モータ電流Ｉｖが供給されて、Ｖ相コイルＬｖからW相コイルＬｗを通じて流れることにより、回転するステータ合成磁界を発生させてロータをさらに回転させ、その後電気角θｅが１８０°～２７０°であるときにW相モータ電流Ｉｗが供給されて、W相コイルＬｗからＶ相コイルＬｖを通じて流れることにより、回転するステータ合成磁界を発生させてロータを回転させ、電気角θｅが２７０°～３６０°であるときには、Ｖ相モータ電流Ｉｖが供給されて、Ｖ相コイルＬｖからW相コイルＬｗを通じて流れることにより、回転するステータ合成磁界を発生させてロータをさらに回転させ、これを繰り返すことにより、３相ブラシレスモータ１２を２相駆動することができる。

【００５２】

すなわち、前述した（４）式で算出した図１０で特性曲線Ｌ４で表される相電流指令値Ｉｍ（θｅ）をｄ－ｑ軸座標に変換して、ｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ及びｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆを算出すると、これらｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ及びｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆは、図１１に示すようにｑ軸電流指令値はＩｑｒｅｆが特性曲線Ｌ６で示すように電気角θｅが９０°及び２７０°近傍で一旦０Ａとなる以外は、＋２０Ａを維持し、ｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆは特性曲線Ｌ７で示すように、電気角θｅが０°から７５°に達するまでの間に＋０Ａから＋４０Ａまで下に凸となる円弧状に増加し、７５°～９０°の間＋４０Ａを維持し、９０°で一旦０Ａとなってから－４０Ａまで反転し、その後１０５°までの間－４０Ａを維持し、その後１８０°までの間に上に凸となる円弧状に０Ａまで増加し、その後２５５°までの間に０Ａから＋４０Ａまで下に凸となる円弧状に増加し、２５５°～２７０°の間で＋４０Ａを維持し、２７０°で一旦０Ａとなってから－４０Ａまで反転し、その後２８５°までの間－４０Ａを維持してから上に凸となる湾曲状に増加して３６０°で０Ａとなる。

【００５３】

このため、ｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ及びｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆに基づいて３相ブラシレスモータ１２を２相駆動する場合のモータ動作モデルは、図１２に示すようになり、電気角θｅが０°であるときにはトルク電流を表すｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆのみが出力されてロータ磁極がステータ磁極と直交する状態となり、その後、電気角θｅが３０°となると、ｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆは変化しないが、界磁電流を表すｄ軸電流指令値Ｉｄが正方向に増加することにより、これらｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ及びｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆの合成ベクトルで表される相電流指令値Ｉｍ（θｅ）がロータ磁極に対して４

５°の方向となり、これがステータ磁極のＮ極に対向することになり、その後さらにｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆが正方向に増加されることにより、相電流指令値Ｉｍ（θｅ）がロータ磁極に対して３０°の方向となり、これらに応じてロータ磁極が回転される。

【００５４】

その後、図１２に示すように、電気角９０°で、ｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ及びｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆが共に“０”となることより、操舵補助トルクが“０”の状態となるが、このときには、ロータがステータ磁極によって引き寄せられることになり、ロータ端部がステータ磁極と対向する状態となる。

その後、ｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆが負方向の大きな値となることにより、相電流指令値Ｉｍ（θｅ）がロータ磁極に対して１３５°の角度となってロータ磁極が回転し、その後順次界磁電流を表すｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆが変化するに応じて、ロータ磁極が回転を継続する。

【００５５】

因みに、図１３の特性曲線Ｌ８で示すように、電気角θｅに応じてモータ電流Ｉｍ（θｅ）の電流値を変化させず、モータ電流の方向のみを変化させた場合には、３相ブラシレスモータ１２で発生する操舵補助トルクは、図１３の特性曲線Ｌ９で示すように、電気角０°で最大値１Ｎｍとなり、その後電気角９０°までの間で円弧状に減少して電気角９０°で“０”となり、その後電気角９０°から電気角１８０°までの間で円弧状に増加して電気角９０°で最大値１Ｎｍに達し、その後電気角２７０°までの間で円弧状に減少して電気角２７０°で“０”となることを繰り返すことになる。

【００５６】

このため、モータ電流Ｉｍ（θｅ）の電流の方向のみを切り換える場合には、トルク変動が大きくなり、運転者に違和感を与えることになるが、本実施形態では、図１０の特性曲線Ｌ４で示す電流特性となるので、操舵補助トルクが小さくなる範囲が小さくなり、操舵補助トルクが低下する領域を乗り越え易くなる効果を発揮することができる。しかも、操舵補助トルクは、図１０の特性曲線Ｌ５で示すように、電気角θｅが９０°及び２７０°の近傍では一旦“０”となるトルク変動を生じることから、運転者に３相ブラシレスモータ１２の通電異常が発生したことを確実に報知することができる。

【００５７】

また、異常検出回路２７で検出したＵ相駆動系統の異常がモータ駆動回路２４の電界効果トランジスタＱｕａ又はＱｕｂの短絡異常であるときには、異常検出回路２７から“Ｕ２”で表される異常検出信号ＡＳが出力され、これが指令値選択部３５の選択制御部７２に供給されると、この選択制御部７２でＵ相の遮断用リレーＲＬＹ１を遮断状態とするリレー制御信号ＲＳ１が遮断用リレーＲＬＹ１に供給されることにより、３相ブラシレスモータ１２のＵ相コイルＬｕへの電力供給系統が遮断されることを除いては、前述した不導通異常と同様の処理が行われて、３相ブラシレスモータ１２が２相通電制御されて、回転駆動が継続される。

【００５８】

なお、Ｕ相の駆動系統以外に、Ｖ相又はＷ相の駆動系統に不導通異常や短絡異常が発生した場合も上記と同様に正常な２相を通電制御することにより、回転駆動を継続することができる。

このように、上記第１の実施形態によると、３相ブラシレスモータ１２の各相コイルＬｕ～Ｌｗへの駆動系統が正常であるときには、通常通り正常時モータ指令値算出部３３で、操舵補助電流指令値演算部３１で算出した操舵トルクＴに応じた操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆ及び電気角速度ωｅに基づいてｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆを算出すると共に、ｄ－ｑ軸電流指令値算出部３３ｄで電気角θｅをもとに図６に示すｄ－ｑ軸電圧算出用記憶テーブルを参照してｄ軸電圧ｅｄ（θｅ）及びｑ軸電圧ｅｑ（θｅ）を算出し、前記（３）式に従ってｑ軸電流Ｉｑｒｅｆを算出する。そして、ｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ及びｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆを２相／３相変換して各相電流指令値Ｉｕｒｅｆ、Ｉｖｒｅｆ及びＩｗｒｅｆを算出し、これら各相電流指令値Ｉｕｒｅｆ、Ｉｖｒｅｆ及びＩｗｒｅｆとモ

ータ電流検出回路２２で検出したモータ電流Ｉｕｄ、Ｉｖｄ及びＩｗｄとで３相ブラシレスモータ１２をフィードバック制御することにより、操舵トルクＴ及び車速Ｖｓとに応じた最適な操舵補助力を３相ブラシレスモータ１２で発生して、最適な操舵補助制御を行うことができる。

【００５９】

ところが、３相ブラシレスモータ１２の各相コイルＬｕ～Ｌｗの何れか１つの駆動系統で断線が発生して何れかの相コイルＬｙ（ｙ＝ｕ～ｗ）にモータ電流Ｉｙを供給できない状態となったときには、これが異常検出回路２７で検出され、これにより指令値選択部３５で異常時モータ指令値算出部３４が選択されると共に、この異常時モータ指令値算出部３４で、正常な２相のコイルを使用する電気角θｅで、図１０に示すように、０°～９０°の範囲、９０°～１８０°の範囲、１８０°～２７０°の範囲及び２７０°～３６０°の範囲で通電方向を変化させる相電流指令値を算出し、この相電流指令値とモータ電流検出回路２２で検出したモータ電流とに基づいてフィードバック制御を行うことにより、３相ブラシレスモータ１２の駆動を継続することができる。

【００６０】

このときに３相ブラシレスモータ１２で発生する操舵補助トルクは、図１０の特性線Ｌ５で示すように、電気角θｅが９０°及び２７０°の近傍で一旦零となるトルク変動を生じることになるが、このトルク変動によって３相ブラシレスモータ１２に異常が発生したことを運転者に確実に報知することができる。

したがって、３相ブラシレスモータ１２の相コイルの何れか１相の駆動系統に異常が発生した場合に、残りの２相のコイルを使用して回転駆動を継続することができ、この場合の異常時モータ指令値算出部３４が、電気角θｅに基づいて正常な２相の合成誘起電圧ＥＭＦａ（θｅ）を算出する合成誘起電圧算出用記憶テーブルを参照して、合成誘起電圧ＥＭＦａ（θｅ）を算出し、算出した合成誘起電圧ＥＭＦａ（θｅ）と操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆと電気角速度ωｅとに基づいて前記（４）式に基づいて相電流指令値Ｉｍ（θｅ）を算出し、この相電流指令値Ｉｍ（θｅ）と異常検出信号ＡＳに基づいて正常な２相の相電流指令値を算出するので、正常な２相コイルを使用した回転駆動の継続を容易且つ確実に行うことができる。

【００６１】

しかも、運転者がステアリングホイール１を操舵していることにより、３相ブラシレスモータ１２で発生する操舵補助トルクが低下しても、図１４に示す電動パワーステアリング装置の運動モデルに表される電動パワーステアリング装置の慣性トルクは、ステアリングホイール１における慣性トルク（＝Ｊｈ・（θｈ）″）、減速ギヤ１１におけるステアリングシャフト２側における慣性トルク（＝Ｊｇ１・（θｇ）″）、減速ギヤ１１におけるモータ側における慣性トルク（＝（ｒｇ１／ｒｇ２）^{2}・Ｊｇ２・（θｇ）″）及びモータ部の慣性トルク（＝（ｒｇ１／ｒｇ２）^{2}・Ｊｍ・（θｇ）″）で表される。

【００６２】

これら各部の慣性（Ｊｈ、Ｊｇ１、Ｊｇ２、Ｊｍ）と各部位の各加速度（θｈ）″、（θｇ）″とによる慣性トルクが３相ブラシレスモータ１２で発生する操舵補助トルクの低下を補うので、操舵補助トルクが低下する電気角θ（ｅ）の領域即ち９０°及び２７０°近傍の領域を乗り越え易くなる。

次に、本発明の第２の実施形態を図１５及び図１６について説明する。

【００６３】

この第２の実施形態では、合成誘起電圧算出用記憶テーブルを参照して電気角θｅに基づいて合成誘起電圧ＥＭＦａ（θｅ）を算出し、前記（４）式に従って、相電流指令値Ｉｍ（θｅ）を算出する場合に代えて、３ブラシレスモータ１２の何れか１相の駆動系統に異常が発生したときに、ロータ角度の関数としてモータ電流を通電するようにしたものである。

【００６４】

すなわち、第２の実施形態では、図１５に示すように、異常時モータ指令値算出部３４

が、図３に示す構成において、誘起電圧算出部６１が省略されると共に、相電流指令値算出部６２が操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆをもとに図１６に示す相電流指令値算出用記憶テーブルを参照して電気角θｅに基づく相電流指令値Ｉｍ（θｅ）を算出するように構成されていることを除いては図３と同様の構成を有し、図３との対応部分には同一符号を付し、その詳細説明はこれを省略する。

【００６５】

ここで、相電流指令値算出用記憶テーブルは、図１６に示すように、前述した第１の実施形態において前記（４）式に従って算出される相電流指令値Ｉｍ（θｅ）と同様の特性曲線となっており、電気角θｅが０°から７５°に達するまでの間に＋２０Ａから＋８０Ａまで上に凸となる円弧状に増加し、７５°～９０°の間＋８０Ａを維持し、９０°で－８０Ａまで反転し、その後１０５°までの間－８０Ａを維持し、その後１８０°までの間に上に凸となる円弧状に－２０Ａまで増加し、その後２５５°までの間に上に凸となる円弧状に減少し、２５５°～２７０°の間で－８０Ａを維持し、２７０°で＋８０Ａまで反転し、その後２８５°までの間＋８０Ａを維持してからその後下に凸となる湾曲状に減少して３６０°で＋２０Ａまで減少するように特性曲線Ｌ１０
が設定されている。

【００６６】

この第２の実施形態によると、３相ブラシレスモータ１２が正常である場合には、前述した第１の実施形態と同様に正常時モータ指令値算出部３３で算出される相電流指令値Ｉｕｒｅｆ～Ｉｗｒｅｆを指令値選択部３５の選択スイッチ７１ｕ～７１を介してモータ電流制御部３６に供給することにより、このモータ電流制御部３６で、相電流指令値Ｉｕｒｅｆ～Ｉｗｒｅｆとモータ電流検出回路２２で検出したモータ電流Ｉｕｄ～Ｉｗｄとに基づいてのフィードバック制御を行って電圧指令値Ｖｕ～Ｖｗを算出し、算出した電圧指令値Ｖｕ～ＶｗをＦＥＴゲート駆動回路２５に供給することにより、このＦＥＴゲート駆動回路２５でモータ駆動回路２４の電界効果トランジスタを駆動制御して３相モータ電流Ｉｕ～Ｉｗを３相ブラシレスモータ１２に出力することにより、３相ブラシレスモータ１２で操舵トルクＴ及び車速Ｖｓに応じた最適な操舵補助力を発生させて、最適な操舵補助制御を行うことができる。

【００６７】

ところが、３相ブラシレスモータ１２の各相コイルＬｕ～Ｌｗの何れか１相のコイル例えばU相コイルＬｕに対する駆動系統に断線又はモータ駆動回路２４の電界効果トランジスタの短絡が発生した場合には、相電流指令値算出部６２で、電気角θｅに基づいて図１６に示す相電流指令値算出用記憶テーブルを参照することにより、相電流指令値Ｉｍ（θｅ）を算出する。

【００６８】

そして、算出された相電流指令値Ｉｍ（θｅ）を電流制限部６３に供給して相電流指令値Ｉｍ（θｅ）の最大値をモータ駆動回路２４で出力可能な最大値を超える場合にその最大値に制限し、電流制限した相電流指令値Ｉｍ（θｅ）を２相電流指令値算出部６４に供給して、相電流指令値Ｉｍ（θｅ）の符号と異常検出信号ＡＳに基づいて決定される異常となった駆動系統とからの正常な２相のＶ相コイルＬｖ及びW相コイルＬｗに対する電流方向を設定する。

【００６９】

そして、設定された電流方向に基づいて算出した相電流指令値Ｉｖｒｅｆ及びＩｗｒｅｆを選択スイッチ７１ｕ～７１ｗを介してモータ電流制御部３６に供給することにより、相電流指令値Ｉｖｒｅｆ及びＩｗｒｅｆとモータ電流検出回路２２で検出したモータ電流Ｉｖｄ及びＩｗｄとに基づいてフィードバック制御を行って、２相の電圧指令値Ｖｖ及びＶｗを算出し、これら電圧指令値Ｖｖ及びＶｗに基づいてＦＥＴゲート駆動回路２５でモータ駆動回路２４をパルス幅変調信号で駆動制御することにより、前述した第１の実施形態と同様のモータ電流Ｉｖ及びＩｗを形成して、３相ブラシレスモータ１２の相コイルＬｖ及びＬｗに供給する。

【００７０】
これにより、前述した第１の実施形態と同様に、３相ブラシレスモータ１２の１相の通電系統に異常が発生した場合に、前述した第１の実施形態と同様に、残りの２相を使用して３相ブラシレスモータ１２の回転駆動を継続することができる。
このように、上記第２の実施形態によると、電気角θ（ｅ）をもとに相電流指令値算出用記憶テーブルを参照して相電流指令値Ｉｍ（θｅ）を算出するので、前述した（４）式の演算処理を行う必要がなく、相電流指令値算出処理を短時間で容易に行うことができる。

【００７１】
そして、この第２の実施形態の場合でも、前述した第１の実施形態で説明したように、運転者がステアリングホイール１を操舵していることにより、３相ブラシレスモータ１２で発生する操舵補助トルクが低下しても、前述した図１４に示す電動パワーステアリング装置の運動モデルに表される電動パワーステアリング装置の慣性（Ｊｈ、Ｊｇ１、Ｊｇ２、Ｊｍ）と各部位の各加速度による慣性トルクが３相ブラシレスモータで発生する操舵補助トルクの低下を補うので、操舵補助トルクが低下する電気角の領域を乗り越え易くなる。

【００７２】
なお、上記第１及び第２の実施形態においては、正常時モータ指令値算出部３３において、ｄ軸電流指令値算出部３３ａで操舵補助電流指令値Ｉｒｅｆに基づいてｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆを算出し、ｄ－ｑ軸電圧算出部３３ｂで、ｄ軸電圧ｅｄ（θｅ）及びｑ軸電圧ｅｑ（θｅ）を算出し、ｑ軸電流指令値算出部３３ｃで前述した（３）式の演算を行ってｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆを算出する場合について説明したが、これに限定されるものではなく、図１７に示す記憶テーブルを参照して、モータ角速度ωｍ（＝ωｅ／ｐ　ｐ：モータ極対数）に基づいてｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆを形成するｄ軸直流電流指令値I_{dDC}を“０”に設定するか図１８に示す記憶テーブルを参照して、モータ角速度ωｍに基づく関数として算出するかを決定し、決定したｄ軸直流電流指令値I_{dDC}をｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆとして設定するようにしてもよい。

【００７３】
また、上記第１及び第２の実施形態においては、３相ブラシレスモータ１２の各相コイルＬｕ～Ｌｗとモータ駆動回路２４との間に遮断用リレー回路ＲＬＹ１～ＲＬＹ３を介挿した場合について説明したが、遮断用リレー回路ＲＬＹ１～ＲＬＹ３の何れか１つを省略するようにしてもよい。この場合には、省略した遮断用リレー回路を含む駆動系統におけるモータ駆動回路２４における上アーム又は下アームの電界効果トランジスタにショートが生じた場合には、対応することができなくなり、異常時における３相ブラシレスモータの２相駆動の適用範囲が２個所減少するだけであり、大きな問題とはなることはない。

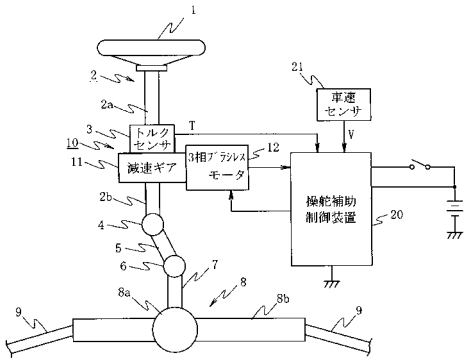
【００７４】
なおさらに、上記第１及び第２の実施形態においては、正常時モータ指令値算出部３３のｄ－ｑ軸電流指令値算出部３３ｄの出力側に２相／３相変換部３３ｅを設けた場合について説明したが、これに限定されるものではなく、この２相／３相変換部３３ｅを省略し、これに代えてモータ電流検出回路２２から出力されるモータ電流検出値Ｉｕｄ、Ｉｖｄ及びＩｗｄを３相／２相変換部に供給して、回転座標のｄ軸電流Ｉｄｄ及びｑ軸電流Ｉｑｄに変換し、モータ電流制御部３６でｄ軸電流指令値Ｉｄｒｅｆ及びｑ軸電流指令値Ｉｑｒｅｆからｄ軸電流Ｉｄｄ及びｑ軸電流Ｉｑｄを減算して電流偏差ΔＩｄ及びΔＩｑを算出し、これらをＰＩ制御部８２でＰＩ制御処理してｄ軸指令電圧Ｖｄ及びｑ軸指令電圧Ｖｑを算出し、これらを２相／３相変換部で３相の指令圧Ｖｕ、Ｖｖ及びＶｗに変換して、ＦＥＴゲート駆動回路２５に供給するようにして制御演算装置２３全体をベクトル制御系に構成するようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

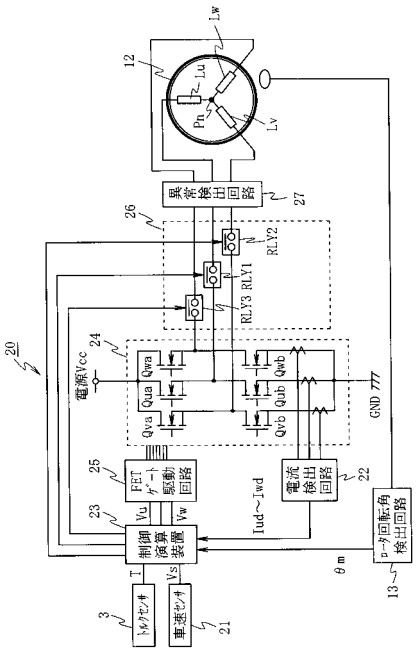
【００７５】
【図１】本発明に係る電動パワーステアリング装置の第１の実施形態を示すシステム構成

図である。
【図２】操舵補助制御装置の具体的構成を示すブロック図である。
【図３】図２の制御演算装置２３の具体的構成を示すブロック図である。
【図４】操舵トルクと操舵補助電流指令値との関係を表す操舵補助電流指令値算出マップを示す特性線図である。
【図５】ベクトル相指令値算出回路のｄ軸電流指令値算出部の具体的構成を示すブロック図である。
【図６】ｄ－ｑ軸電圧算出用記憶テーブルを示す特性線図である。
【図７】正常時の３相ブラシレスモータで発生する誘起電圧波形を示す特性線図である。
【図８】３相ブラシレスモータにおける２相通電時のステータ磁界モデルを示す説明図である。
【図９】３相ブラシレスモータにおける２相通電時のモータ誘起電圧を示す特性線図である。
【図１０】３相ブラシレスモータにおける２相通電時のモータ電流とモータトルクとの関係を示す特性線図である。
【図１１】図１０の相電流指令値をｄ軸電流指令値及びｑ軸電流指令値へ変換した結果を示す特性線図である。
【図１２】第１の実施形態における２相駆動時のモータ動作モデルを示す説明図である。
【図１３】３相ブラシレスモータの２相通電時におけるモータ電流を一定とし、通電方向のみを変化させた場合のモータ電流とモータトルクとの関係を示す特性線図である。
【図１４】電動パワーステアリング装置の運動モデルを示す説明図である。
【図１５】本発明の第２の実施形態を示す操舵補助制御装置のブロック図である。
【図１６】第２の実施形態における相電流指令値算出用記憶テーブルを示す特性線図である。
【図１７】モータ角速度と操舵補助電流指令値とに基づいてｄ軸直流電流指令値の有無を判断する記憶テーブルを示す特性線図である。
【図１８】操舵補助電流指令値に基づいてｄ軸直流電流指令値を算出する記憶テーブルを示す特性線図である。
【符号の説明】
【００７６】
１…ステアリングホイール、２…ステアリングシャフト、３…操舵トルクセンサ、８…ステアリングギヤ、１０…操舵補助機構、１２…３相ブラシレスモータ、１３…ロータ回転角検出回路、２０…操舵補助制御装置、２１…車速センサ、２２…モータ電流検出回路、２３…制御演算装置、２４…モータ駆動回路、２５…ＦＥＴゲート駆動回路、２６…遮断用リレー回路、２７…異常検出回路、３１…操舵補助電流指令値演算部、３２…角度情報演算部、３２ａ…電気角変換部、３２ｂ…微分回路、３３…正常時モータ指令値算出部、３３ａ…ｄ軸電流指令値算出部、３３ｂ…ｄ－ｑ軸電圧算出部、３３ｃ…ｑ軸電流指令値算出部、３３ｅ…２相／３相変換部、３４…異常時モータ指令値算出部、３５…指令値選択部、３６…モータ電流制御部、６１…誘起電圧算出部、６２…相電流指令値算出部、６３…電流制限部、６４…相電流指令値算出部、７１ｕ～７１ｗ…選択スイッチ、７２…選択制御部、８１ｕ～８１ｗ…減算器、８２…ＰＩ制御部

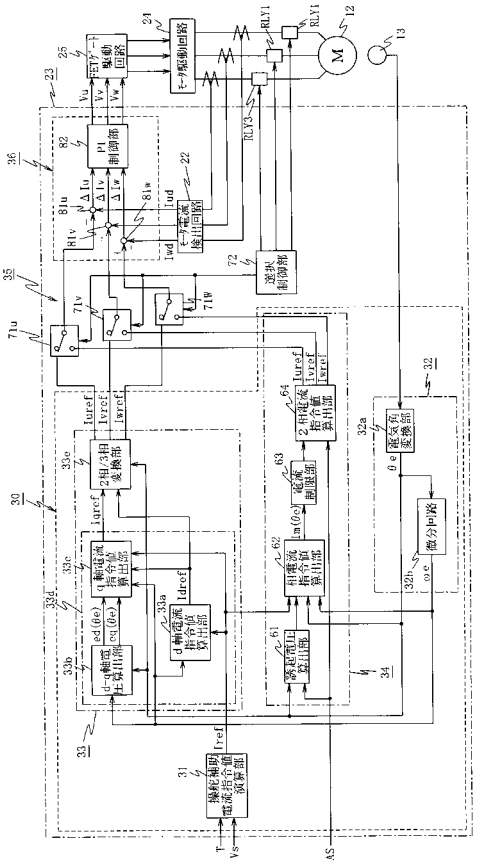
【図１】


トルクセンサ
減速ギア
3相ブラシレスモータ
車速センサ
操舵補助制御装置

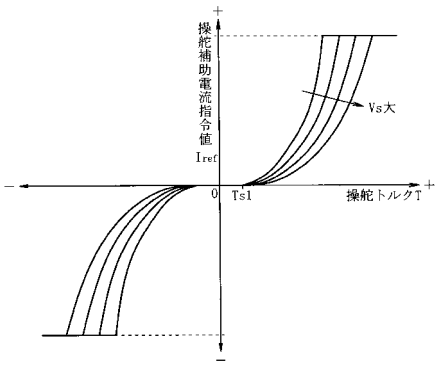
【図２】


電源Vcc
GND
FETゲート駆動回路
制御演算装置
電流検出回路
ロータ回転角検出回路
トルクセンサ
車速センサ

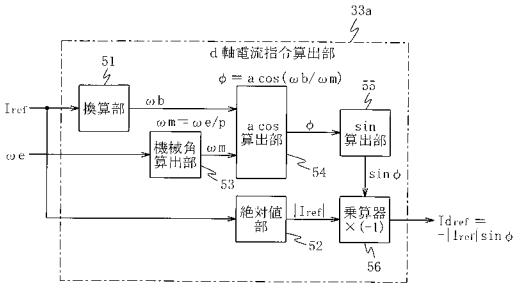
【図３】



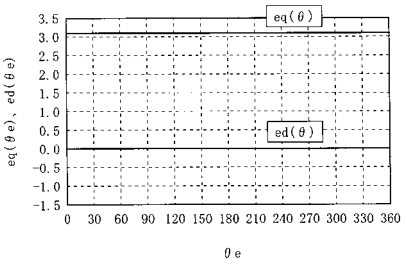
【図４】


操舵補助電流指令値
Iref
Vs大
0
Ts1
操舵トルクT

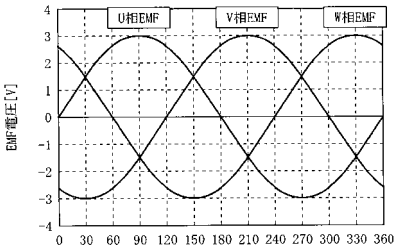
【図５】



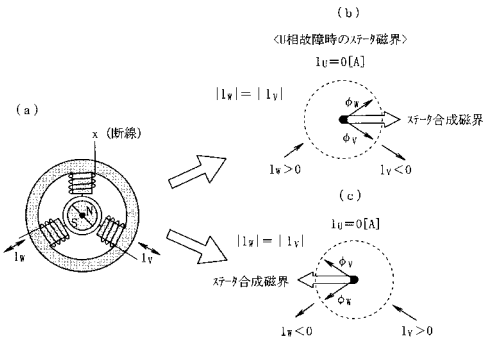
【図６】



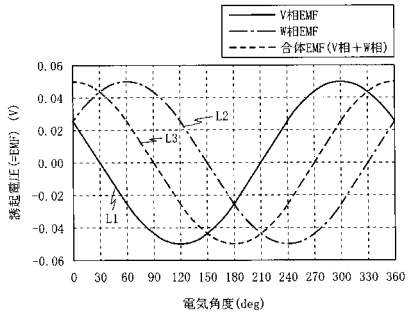
【図７】



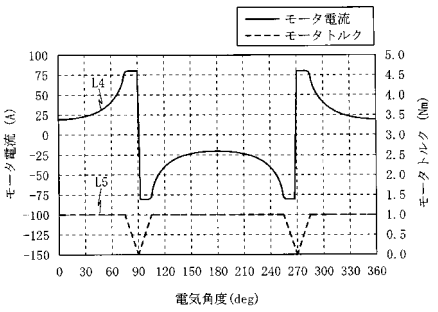
【図８】



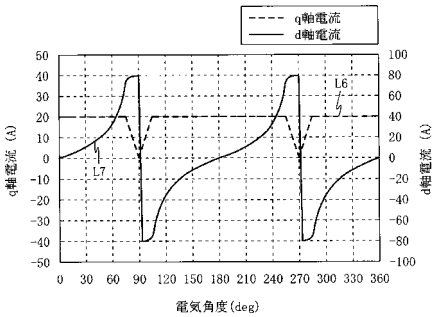
【図９】



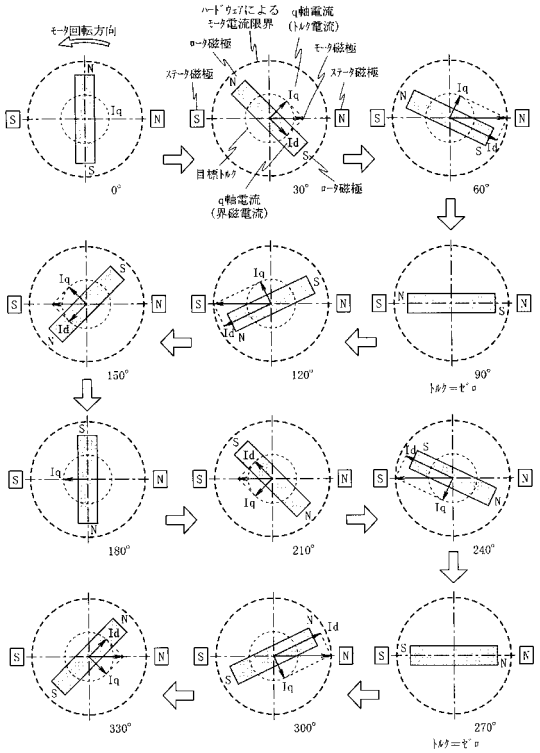
【図１０】



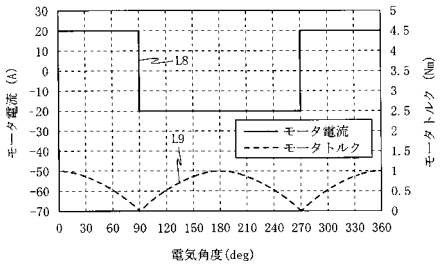
【図１１】



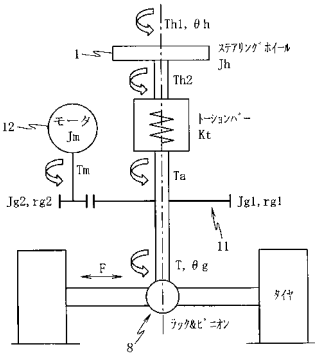
【図１２】



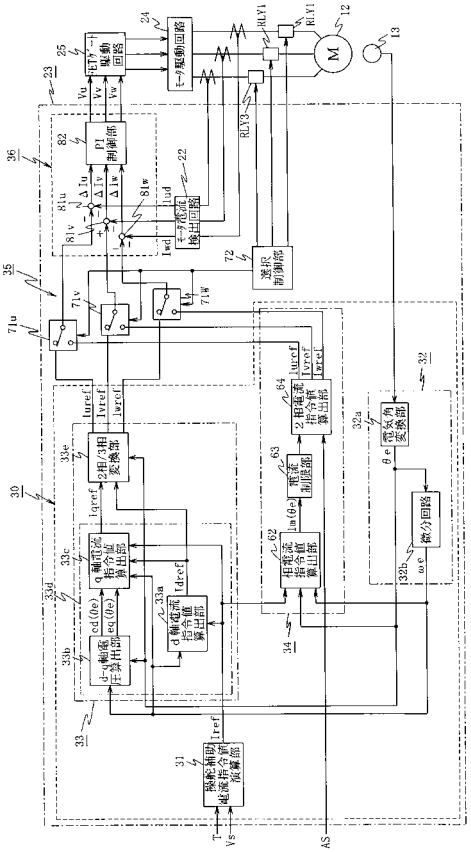
【図１３】



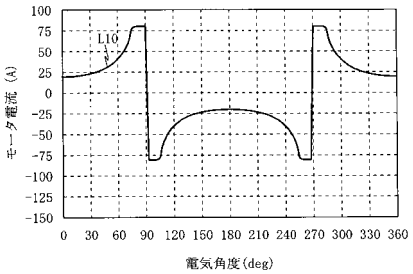
【図１４】



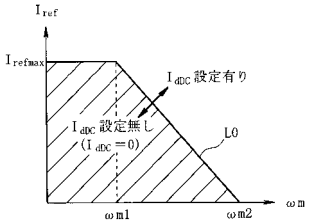
【図１５】



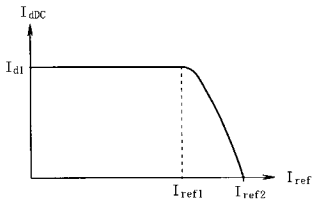
【図１６】



【図１７】



【図１８】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ＦＩ

Ｂ６２Ｄ 119/00	*(2006.01)*	Ｂ６２Ｄ 119:00
Ｂ６２Ｄ 137/00	*(2006.01)*	Ｂ６２Ｄ 137:00

(56)参考文献 特開２００７－０９９０６６（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００５／０９１４８８（WO，Ａ１）
特開２００３－２６０２０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)

Ｈ０２Ｐ ６／１２
Ｈ０２Ｐ ２７／０４
Ｂ６２Ｄ ５／０４
Ｂ６２Ｄ ６／００
Ｂ６２Ｄ １０１／００
Ｂ６２Ｄ １１９／００
Ｂ６２Ｄ １３７／００