

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-241165

(P2010-241165A)

(43) 公開日 平成22年10月28日(2010.10.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B62D 6/00 (2006.01)	B62D 6/00	3D232
B62D 5/04 (2006.01)	B62D 5/04	3D233
H02P 21/00 (2006.01)	H02P 5/408 C	5H505
H02P 27/04 (2006.01)	H02P 6/00 321P	5H560
H02P 6/08 (2006.01)	H02P 6/02 371D	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2009-89120 (P2009-89120)
 (22) 出願日 平成21年4月1日(2009.4.1)

(71) 出願人 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 110000213
 特許業務法人プロスペック特許事務所
 (72) 発明者 藤本 雅樹
 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
 Fターム(参考) 3D232 CC32 CC38 DA15 DA23 DA63
 DA64 DC08 DD01 DD10 EA01
 EC23 EC24 GG01
 3D233 CA02 CA03 CA13 CA16 CA20
 CA21

最終頁に続く

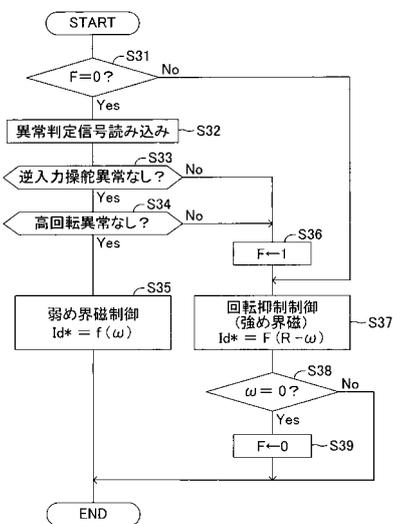
(54) 【発明の名称】 電動パワーステアリング装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 大きな逆入力働いた場合には、電動モータの回転速度の増加を抑制して、ステアリングシャフトに加わる衝撃を低減する。

【解決手段】 d軸電流演算部は、逆入力操舵異常の判定信号と高回転異常の判定信号とを読み込みS32、両方の判定信号が正常信号である場合には、弱め界磁制御を行うためのd軸電流指令値 I_d^* を算出するS35。また、判定信号のうち何れか一方でも異常検出信号であれば、回転抑制制御を行うためのd軸電流指令値 I_d^* を算出するS37。この場合、回転速度が増加するにしたがって強め界磁制御電流が増加するようにd軸電流指令値 I_d^* を算出する。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ステアリング機構に設けられて操舵アシストトルクを発生する電動モータと、
操舵ハンドルに連結されたステアリングシャフトに働く操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、

前記電動モータの回転速度を検出する回転速度検出手段と、

前記電動モータの回転方向を q 軸とするとともに前記回転方向と直交する方向を d 軸とする 2 相回転磁束座標系を用いて、前記操舵トルク検出手段により検出した操舵トルクに基づいてトルク発生用の q 軸電流指令値を算出し、前記回転速度検出手段により検出した回転速度に基づいて弱め界磁制御電流としての d 軸電流指令値を算出するモータ電流指令値算出手段と、

前記算出された電流指令値にしたがって前記電動モータを駆動するモータ駆動制御手段と

を備えた電動パワーステアリング装置において、

タイヤからの逆入力により異常操舵されてしまう逆入力操舵異常状態、および、前記電動モータの回転速度が異常高速回転となる高回転異常状態の少なくとも一方の異常状態を検出する異常状態検出手段を備え、

前記モータ電流指令値算出手段は、

前記異常状態検出手段により異常状態が検出されていない状況においては、前記回転速度検出手段により検出される回転速度の増加に伴って弱め界磁制御電流が増加するように d 軸電流指令値を算出する正常時モードを選択し、前記異常状態検出手段により異常状態が検出されている状況においては、前記正常時モードに比べて弱め界磁制御電流が少なくなるように d 軸電流指令値を算出する異常時モードを選択する制御モード切替手段を備えたことを特徴とする電動パワーステアリング装置。

【請求項 2】

前記モータ電流指令値算出手段は、前記異常時モードにおいて、前記弱め界磁制御電流を流さない d 軸電流指令値を算出することを特徴とする請求項 1 記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 3】

前記モータ電流指令値算出手段は、前記異常時モードにおいて、前記弱め界磁制御電流に代えて強め界磁制御電流を流す d 軸指令電流値を算出することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 4】

前記モータ電流指令値算出手段は、前記異常時モードにおいて、前記回転速度検出手段により検出される回転速度の増加に伴って強め界磁制御電流が増加するように d 軸指令電流値を算出することを特徴とする請求項 3 記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 5】

前記異常状態検出手段は、

タイヤからの逆入力により異常操舵されてしまう逆入力操舵異常状態であるか否かを判定する逆入力操舵異常判定手段と、

前記回転速度検出手段により検出される回転速度が予め設定した異常判定用速度を超える高回転異常状態であるか否かを判定する高回転異常判定手段と、

を備え、

前記制御モード切替手段は、前記逆入力操舵異常判定手段あるいは前記高回転異常判定手段の何れか一方でも異常状態を検出したときには前記異常時モードを選択することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 の何れか一項記載の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、運転者の操舵操作に基づいて電動モータを駆動制御して操舵アシストトルク

10

20

30

40

50

を発生する電動パワーステアリング装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、電動パワーステアリング装置は、運転者が行った操舵操作に基づいて目標アシストトルクを設定し、この目標アシストトルクがステアリング機構に付与されるように電動モータの通電量を制御する。電動モータとして3相ブラシレスモータを使用した電動パワーステアリング装置も知られている。3相ブラシレスモータを使用した場合、一般に、2相回転磁束座標系(d-q座標系)で記述されるベクトル制御を用いて電動モータの通電が制御される。こうした電動モータの通電は、マイクロコンピュータを備えたアシストECUにより制御される。

10

【0003】

アシストECUは、電動モータをベクトル制御によって駆動する場合、例えば、運転者がハンドルに入力した操舵トルクと車速とに基づいて目標アシストトルクを設定し、この目標アシストトルクを発生させるためのq軸電流指令値を算出する。同時に、電動モータの回転速度に応じた弱め界磁制御電流としてのd軸電流指令値を算出する。d軸電流指令値は、電動モータが高速で回転しやすいように、回転速度の増加にしたがって弱め界磁制御電流が増加するように算出される。アシストECUは、電動モータに流れる実電流を検出してd-q座標系の電流に変換し、実q軸電流値がq軸電流指令値と等しくなるように、かつ、実d軸電流値がd軸電流指令値と等しくなるように電流フィードバック制御を行う。こうした、d-q座標系で記述されるベクトル制御によって電動モータを駆動する電動パワーステアリング装置は、例えば、特許文献1に提案されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開WO2006-098516号

【発明の概要】

【0005】

車両の走行中において、例えば、前輪タイヤが縁石に衝突したケースなど、タイヤからステアリング機構に大きな力が加わった場合には、操舵輪が転舵しラックバーに大きな軸力が働く。これにより、ラックバーが軸方向に移動するとともに、ラックバーに連結されたステアリングシャフトが回転する。このようにタイヤからステアリング機構に逆入力働いて運転者の意志に反して操舵されてしまう状態を、本明細書においては逆入力操舵異常状態と呼ぶ。逆入力大きい場合には、ラックバーの先端に設けたラックエンド部材が、ラックハウジングに形成されたストッパに衝突し、ステアリング機構に大きな衝撃力が働く。

30

【0006】

こうした逆入力操舵異常状態においては、電動モータも一緒に回転するが、逆入力大きい場合には、電動モータの回転速度が非常に大きくなるため、回転速度の増加に伴って弱め界磁制御電流が増加し、電動モータの回転速度の増加を助長してしまう。また、アシストECUは、モータ回転角センサの出力する信号に基づいてモータ回転角を検出し、この回転角に基づいて電動モータの通電を制御するが、モータ回転速度が大きくなりすぎると、モータ回転角センサの出力する信号のサンプリングが間に合わなくなる。

40

【0007】

例えば、モータ回転角センサとしてレゾルバを使った場合、センサ出力信号はモータ電気角に応じた鋸歯形状の信号となるが、モータ回転速度が大きくなりすぎると、アシストECU側のサンプリング間隔が鋸歯形状信号の1周波分を越えてしまう。このため、センサ信号からモータ回転角を適正に検出できなくなり、制御上における回転角と実際の回転角とにずれが生じ、d-q座標系に位相遅れが発生する。この位相遅れにより、図14に示すように、弱め界磁制御電流となるd軸電流成分が大きくなってしまい、電動モータの回転速度が更に大きくなる。このように、大きな逆入力働いた場合には、電動モータを

50

適正に制御することができなくなる。

【0008】

このため、ラックエンド部材とストッパとの衝突エネルギーが増大し、ステアリング機構、特に、ステアリングシャフトに大きな衝撃力が働くことになる。従って、ステアリングシャフトの強度を上げる必要が生じる。

【0009】

本発明の目的は、上記問題に対処するためになされたもので、大きな逆入力働いた場合には、電動モータの回転速度の増加を抑制して、ステアリングシャフトに加わる衝撃を低減することにある。

【0010】

上記目的を達成するために、本発明の特徴は、ステアリング機構に設けられて操舵アシストトルクを発生する電動モータと、操舵ハンドルに連結されたステアリングシャフトに働く操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、前記電動モータの回転速度を検出する回転速度検出手段と、前記電動モータの回転方向をq軸とするとともに前記回転方向と直交する方向をd軸とする2相回転磁束座標系を用いて、前記操舵トルク検出手段により検出した操舵トルクに基づいてトルク発生用のq軸電流指令値を算出し、前記回転速度検出手段により検出した回転速度に基づいて弱め界磁制御電流としてのd軸電流指令値を算出するモータ電流指令値算出手段と、前記算出された電流指令値にしたがって前記電動モータを駆動するモータ駆動制御手段とを備えた電動パワーステアリング装置において、

タイヤからの逆入力により異常操舵されてしまう逆入力操舵異常状態、および、前記電動モータの回転速度が異常高速回転となる高回転異常状態の少なくとも一方の異常状態を検出する異常状態検出手段を備え、前記モータ電流指令値算出手段は、前記異常状態検出手段により異常状態が検出されていない状況においては、前記回転速度検出手段により検出される回転速度の増加に伴って弱め界磁制御電流が増加するようにd軸電流指令値を算出する正常時モードを選択し、前記異常状態検出手段により異常状態が検出されている状況においては、前記正常時モードに比べて弱め界磁制御電流が少なくなるようにd軸電流指令値を算出する異常時モードを選択する制御モード切替手段を備えたことにある。

【0011】

本発明においては、モータ電流指令値算出手段が、電動モータの回転方向をq軸とするとともに回転方向と直交する方向（界磁方向）をd軸とする2相回転磁束座標系（d-q軸座標系）を用いて、操舵トルク検出手段により検出した操舵トルクに基づいてトルク発生用のq軸電流指令値を算出し、回転速度検出手段により検出した電動モータの回転速度に基づいて弱め界磁制御電流としてのd軸電流指令値を算出する。つまり、操舵トルクの増加に伴って大きくなるq軸電流指令値を算出し、電動モータの回転速度の増加に伴って弱め界磁を大きくするd軸電流指令値を算出する。そして、モータ駆動制御手段が、この算出された両電流指令値にしたがって電動モータを駆動する。

【0012】

車両の走行中において、例えば、前輪タイヤが縁石に衝突したケースなどで逆入力がかかった場合、運転者の意志に反して操舵されてしまう。この場合、電動モータもそれに合わせて回転するが、逆入力が大きいとその回転速度が非常に大きくなり、弱め界磁制御電流としてのd軸電流指令値が増大して電動モータの回転速度増加を助長してしまう。そこで、本発明においては、異常状態検出手段が、タイヤからの逆入力により異常操舵されてしまう逆入力操舵異常状態、および、電動モータの回転速度が異常高速回転となる高回転異常状態の少なくとも一方の異常状態を検出し、この異常状態が検出されているときに、モータ電流指令値算出手段が、電動モータの回転速度増加を抑制するように電流指令値を演算する。

【0013】

強い逆入力働いた場合には、直接的にモータ回転速度を検出しなくても、電動モータの回転速度が異常高速回転となることを推定あるいは予測することができる。そこで、異常状態検出手段は、タイヤからの逆入力により異常操舵されてしまう逆入力操舵異常状態

10

20

30

40

50

、および、電動モータの回転速度が異常高速回転となる高回転異常状態の少なくとも一方の異常状態を検出する。

【0014】

モータ電流指令値算出手段は、こうした電動モータの異常高速回転を抑制するために、電動モータの制御モードを切り替える制御モード切替手段を備えている。制御モード切替手段は、異常状態が検出されていない状況においては正常時モードを選択し、異常状態が検出されている状況においては異常時モードを選択する。正常時モードにおいては、回転速度検出手段により検出される回転速度の増加に伴って弱め界磁制御電流が増加するようにd軸電流指令値が算出される。従って、d軸電流が界磁を弱める方向に作用して電動モータの回転により発生する逆起電力を抑えるため、電動モータを高速で回転させることができる。

10

【0015】

一方、異常時モードにおいては、正常時モードに比べて弱め界磁制御電流が少なくなるようにd軸電流指令値を算出する。従って、正常時モードに比べて逆起電力が多く発生し、電動モータの回転に制動力を与える。この結果、電動モータの回転速度の異常上昇を抑制することができる。これにより、タイヤから逆入力働いた場合でも、電動モータを適正に制御できるようになり、ステアリング機構に働く衝撃力を低減しステアリング機構を保護することができる。

【0016】

本発明の他の特徴は、前記モータ電流指令値算出手段は、前記異常時モードにおいて、前記弱め界磁制御電流を流さないd軸電流指令値を算出することにある。

20

【0017】

本発明によれば、異常時モードにおいて弱め界磁制御電流を流さないため、電動モータの回転に確実に制動力を加えることができる。

【0018】

本発明の他の特徴は、前記モータ電流指令値算出手段は、前記異常時モードにおいて、前記弱め界磁制御電流に代えて強め界磁制御電流を流すd軸指令電流値を算出することにある。

【0019】

本発明によれば、異常時モードにおいて、弱め界磁制御電流に代えて強め界磁制御電流を流すため、更に制動力を増すことができる。

30

【0020】

本発明の他の特徴は、前記モータ電流指令値算出手段は、前記異常時モードにおいて、前記回転速度検出手段により検出される回転速度の増加に伴って強め界磁制御電流が増加するようにd軸指令電流値を算出することにある。

【0021】

本発明によれば、異常時モードにおいて、回転速度検出手段により検出される回転速度の増加に伴って強め界磁制御電流が増加するため、異常回転速度に応じた適切な大きさで制動力を加えることができる。

【0022】

本発明の他の特徴は、前記異常状態検出手段は、タイヤからの逆入力により異常操舵されてしまう逆入力操舵異常状態であるか否かを判定する逆入力操舵異常判定手段と、前記回転速度検出手段により検出される回転速度が予め設定した異常判定用速度を超える高回転異常状態であるか否かを判定する高回転異常判定手段とを備え、前記制御モード切替手段は、前記逆入力操舵異常判定手段あるいは前記高回転異常判定手段の何れか一方でも異常状態を検出したときには前記異常時モードを選択することにある。

40

【0023】

本発明によれば、タイヤからの逆入力により異常操舵されてしまう逆入力操舵異常状態、あるいは、電動モータの回転速度が異常判定用速度を超える高回転異常状態の何れか一方でも検出されたときには、異常時モードが選択される。従って、電動モータの回転異常

50

を確実に検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の実施形態に係る電動パワーステアリング装置の概略構成図である。

【図2】アシストECUのマイクロコンピュータの処理を表す機能ブロック図である。

【図3】基本アシストトルクテーブルを表すグラフである。

【図4】弱め界磁制御電流テーブルを表すグラフである。

【図5】モータ電流の指令値をq軸電流指令値 I_{q^*} とd軸電流指令値 I_{d^*} とに分解したベクトル図である。

【図6】モータ電流の指令値をq軸電流指令値 I_{q^*} とd軸電流指令値 I_{d^*} とに分解したベクトル図である。

【図7】逆入力操舵異常判定ルーチンを表すフローチャートである。

【図8】異常高速回転判定ルーチンを表すフローチャートである。

【図9】d軸電流指令値算出ルーチンを表すフローチャートである。

【図10】回転抑制制御電流テーブルを表すグラフである。

【図11】q軸電流指令値算出ルーチンを表すフローチャートである。

【図12】モータ電流の指令値をq軸電流指令値 I_{q^*} とd軸電流指令値 I_{d^*} とに分解したベクトル図である。

【図13】異常時における回転速度の推移を表すグラフであり、実線が回転抑制制御を行った場合の推移を表し、破線が弱め界磁制御を行った場合の推移を表す。

【図14】q軸電流の位相遅れを説明するベクトル図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の一実施形態に係る電動パワーステアリング装置について図面を用いて説明する。図1は、同実施形態に係る車両の電動パワーステアリング装置の概略構成を表している。

【0026】

この電動パワーステアリング装置は、操舵ハンドル11の操舵操作により操舵輪である左前輪Wflと右前輪Wfrとを転舵するステアリング機構10と、ステアリング機構10に組み付けられ操舵アシストトルクを発生する電動モータ20と、電動モータ20を駆動するためのモータ駆動回路30と、電動モータ20の作動を制御する電子制御装置100とを主要部として備えている。以下、電子制御装置100をアシストECU100と呼ぶ。

【0027】

ステアリング機構10は、操舵ハンドル11の回動操作に連動したステアリングシャフト12の軸線周りの回転をラックアンドピニオン機構13によりラックバー14の左右方向のストローク運動に変換して、このラックバー14のストローク運動により左前輪Wflと右前輪Wfrとを転舵するようになっている。ステアリングシャフト12は、操舵ハンドル11を上端に連結したメインシャフト12aと、ラックアンドピニオン機構13と連結されるピニオンシャフト12cと、メインシャフト12aとピニオンシャフト12cとをユニバーサルジョイント12d, 12eを介して連結するインターメディアイトシャフト12bとから構成される。

【0028】

ラックバー14は、ギヤ部14aがラックハウジング15内に収納され、その左右両端がラックハウジング15から露出してタイロッド16と連結される。左右のタイロッド16の他端は、左右前輪Wfl, Wfrに設けられたナックル17に接続される。ラックバー14のタイロッド16との連結部には、ラックエンド部材18が設けられている。一方、ラックハウジング15の両端には、ストッパ部15aが形成されている。ラックバー14は、ラックエンド部材18とストッパ部15aとの当接により、その左右のストローク移動範囲が機械的に制限される。以下、ラックバー14がストッパ部15aにより移動制限される位置をストロークエンドと呼ぶ。また、左前輪Wflと右前輪Wfrとを単に操舵輪Wと

10

20

30

40

50

呼ぶ。

【0029】

ステアリングシャフト12（メインシャフト12a）には減速ギヤ19を介して電動モータ20が組み付けられている。電動モータ20は、例えば、3相同期式永久磁石モータ（ブラシレスモータ）が使用される。電動モータ20は、ハウジング内に固定されたステータを備え、ステータに巻かれたコイルに3相電流を流すことにより3相回転磁界を形成し、この3相回転磁界内を永久磁石を固着したロータが3相電流に応じて回転するものである。電動モータ20は、ロータの回転により減速ギヤ19を介してステアリングシャフト12をその中心軸周りに回転駆動して、操舵ハンドル11の回動操作に対してアシストトルクを付与する。

10

【0030】

電動モータ20には、回転角センサ21が設けられる。この回転角センサ21は、例えば、レゾルバにより構成され、電動モータ20のロータの回転角度の変化に伴って鋸歯形状に変化する信号を出力する。本実施形態においては、回転角センサ21は、電動モータ20の電気角の1周期（2）に対して1周波となる鋸歯形状の信号を出力する。この回転角センサ21から出力される検出信号は、電動モータ20の回転角（電気角に対応する）および回転速度（角速度）の計算に利用される。

【0031】

また、電動モータ20とステアリングシャフト12とが減速ギヤ19を介して連結されていることから、電動モータ20の回転角は、操舵ハンドル11の操舵角に対応したものとなる。そこで本実施形態においては、回転角は、操舵角の計算に共通して用いられる。操舵角の検出は、操舵ハンドル11が中立位置（操舵輪Wが直進方向を向く位置）となる電動モータ20の回転位置を原点位置として予め記憶しておき、この原点位置からの回転角を検出することにより行われる。以下、電動モータ20の回転角から検出される操舵角を操舵角 h と呼ぶ。操舵角 h は、中立位置に対して右方向の操舵角を正の値で、中立位置に対して左方向の操舵角を負の値で表すことにする。また、電動モータ20の回転速度は、電動モータ20の回転角の単位時間当たりの変化量から算出される。この回転速度は、運転者が操舵ハンドル11を回動操作する操舵速度に比例したものとなる。回転速度は、操舵ハンドル11が右方向に回転するときの回転速度を正の値で、操舵ハンドル11が左方向に回転するときの回転速度を負の値で表すことにする。また、操舵角 h や回転速度の大きさを論じる場合には、その絶対値を用いる。

20

30

【0032】

ステアリングシャフト12（メインシャフト12a）には、操舵ハンドル11と減速ギヤ19との間に操舵トルクセンサ22が設けられている。操舵トルクセンサ22は、ステアリングシャフト12（メインシャフト12a）に介装されているトーションバー（図示略）に働いた捩り力を、操舵ハンドル11に付与された操舵トルク T として検出する。例えば、トーションバーの両端にレゾルバを設け、この2つのレゾルバにより検出される回転角度の差に基づいて操舵トルク T を検出する。

【0033】

尚、操舵トルク T は、ステアリングシャフト12に右回転方向に働くトルク（トーションバーの上部が下部に対して相対的に右回転位置となる捩り状態でのトルク）を正の値で、左回転方向に働くトルク（トーションバーの上部が下部に対して相対的に左回転位置となる捩り状態でのトルク）を負の値で表すことにする。また、操舵トルク T の大きさについて論じる場合には、その絶対値を用いる。

40

【0034】

モータ駆動回路30は、MOS-FET（Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）からなる6個のスイッチング素子31～36により3相インバータ回路を構成したものである。具体的には、第1スイッチング素子31、第3スイッチング素子33、第5スイッチング素子35を並列に設けた上アーム回路と、第2スイッチング素子32、第4スイッチング素子34、第6スイッチング素子36を並列に設けた下ア

50

ーム回路とを直列接続し、上下のアーム回路の間から電動モータ20への電力供給ライン37を引き出した構成を採用している。

【0035】

モータ駆動回路30には、電動モータ20に流れる電流を検出する電流センサ38が設けられる。この電流センサ38は、各相(U相, V相, W相)ごとに流れる電流をそれぞれ検出し、その検出した電流値に対応した検出信号をアシストECU100に出力する。以下、この測定された3相の電流値をモータ電流 I_{uvw} と総称する。

【0036】

モータ駆動回路30の各スイッチング素子31~36は、それぞれゲートがアシストECU100に接続され、アシストECU100から出力されるPWM制御信号によりデューティ比が制御される。これにより電動モータ20の駆動電圧が目標電圧に調整される。尚、図中に回路記号で示すように、スイッチング素子31~36を構成するMOSFETには、構造上ダイオードが寄生している。

【0037】

アシストECU100は、CPU, ROM, RAM等からなるマイクロコンピュータを主要部として構成される。アシストECU100は、回転角センサ21、操舵トルクセンサ22、電流センサ38、および、車速 v を検出する車速センサ25を接続し、それらの出力する検出信号を入力する。そして、入力した検出信号に基づいて、運転者の操舵操作に応じた最適な操舵アシストトルクが得られるように電流指令値を算出し、その電流指令値で表される電流が電動モータ20に流れるようにモータ駆動回路30の各スイッチング素子31~36のデューティ比を制御する。この電動モータ20の駆動制御にあたっては、2相回転磁束座標系(d-q座標系)で記述されるベクトル制御が用いられる。電動モータ20の駆動制御については後述する。

【0038】

次に、電動パワーステアリング装置の電源供給システムについて説明する。電動パワーステアリング装置は、車載電源装置80から電源供給される。車載電源装置80は、定格出力電圧12Vの一般的な車載バッテリーである主バッテリー81と、エンジンの回転により発電する定格出力電圧14Vのオルタネータ82とを並列接続して構成される。車載電源装置80には、電源供給元ライン83と接地ライン84が接続される。電源供給元ライン83は、制御系電源ライン85と駆動系電源ライン86とに分岐する。制御系電源ライン85は、アシストECU100に電源供給するための電源ラインとして機能する。駆動系電源ライン86は、モータ駆動回路30とアシストECU100との両方に電源供給する電源ラインとして機能する。

【0039】

制御系電源ライン85には、イグニッションスイッチ87が接続される。駆動系電源ライン86には、主電源リレー88が接続される。この主電源リレー88は、アシストECU100からのオン信号により接点を閉じて電動モータ20への電力供給回路を形成し、オフ信号により接点を開いて電動モータ20への電力供給回路を遮断するものである。制御系電源ライン85は、アシストECU100の電源+端子に接続されるが、その途中で、イグニッションスイッチ87よりも負荷側(アシストECU100側)においてダイオード89を備えている。このダイオード89は、カソードをアシストECU100側、アノードを車載電源装置80側に向けて設けられ、電源供給方向にのみ通電可能とする逆流防止素子である。

【0040】

駆動系電源ライン86には、主電源リレー88よりも負荷側において制御系電源ライン85と接続する連結ライン90が分岐して設けられる。この連結ライン90は、制御系電源ライン85におけるダイオード89の接続位置よりもアシストECU100側に接続される。また、連結ライン90には、ダイオード91が接続される。このダイオード91は、カソードを制御系電源ライン85側に向け、アノードを駆動系電源ライン86側に向けて設けられる。従って、連結ライン91を介して駆動系電源ライン86から制御系電源ラ

10

20

30

40

50

イン 85 には電源供給できるが、制御系電源ライン 85 から駆動系電源ライン 86 には電源供給できないような回路構成となっている。駆動系電源ライン 86 および接地ライン 84 は、モータ駆動回路 30 の電源入力部に接続される。また、接地ライン 84 は、アシスト ECU 100 の接地端子にも接続される。

【0041】

次に、アシスト ECU 100 の機能について図 2 を用いて説明する。図 2 は、アシスト ECU 100 のマイクロコンピュータのプログラム制御により処理される機能を表す機能ブロック図である。

【0042】

アシスト ECU 100 は、電動モータ 20 の回転方向を q 軸とするとともに回転方向と直交する方向を d 軸とする 2 相回転磁束座標系 (d - q 座標系) で記述されるベクトル制御によって電動モータ 20 の回転を制御する。q 軸および d 軸について、表現方法を換えると、d 軸が界磁方向であり、q 軸がそれに直交する方向である。従って、q 軸電流は、電動モータ 20 にトルクを発生させるように作用し、d 軸電流は、電動モータ 20 にトルクを発生させるようには作用しなく界磁磁束を変化させるように作用する。

【0043】

アシスト ECU 100 は、電流指令部 101 を備えている。電流指令部 101 は、q 軸電流指令値 I_q^* を演算する q 軸電流演算部 101 q と、d 軸電流指令値 I_d^* を演算する d 軸電流演算部 101 d とを備えている。電流指令部 101 は、後述する異常状態判定部 110 から出力される 2 つの異常判定信号を入力し、異常判定信号が逆入力操舵異常状態あるいは高回転異常状態を表す異常検出信号である場合と、逆入力操舵異常状態あるいは高回転異常状態が検出されていないことを表す正常信号である場合とで、電動モータ 20 の制御モードを切り替える機能を備えている。

【0044】

ここでは、アシスト ECU 100 の全体的な機能を先に説明するために、異常状態が検出されていないときの制御モード、つまり、正常時モードを例に各機能部の処理について説明する。

【0045】

q 軸電流演算部 101 q は、車速 v 、操舵トルク T 、回転角 θ 、回転速度 ω を表す検出信号、及び、異常状態判定部 110 から出力される異常判定信号を入力する。q 軸電流演算部 101 q は、異常状態判定部 110 から出力される異常判定信号が正常信号である場合、操舵トルクセンサ 22 から出力される操舵トルク T 及び車速センサ 25 から出力される車速 v を入力して、図 3 に示す基本アシストトルクテーブルを参照することにより基本アシストトルク T_{as} を計算する。基本アシストトルク T_{as} は、操舵トルク T の増加にしたがって増加するとともに車速 v の増加にしたがって減少するように設定されている。この基本アシストトルクテーブルは、例えば、ROM 等の記憶素子に予め記憶されている。尚、図 3 においては、右方向に操舵したときの基本アシストトルクテーブルを表しているが、左方向に操舵した場合は、基本アシストトルク T_{as} の方向が反対方向となるだけで、その大きさ (絶対値) は同じである。また、本実施形態では、基本アシストトルク T_{as} を基本アシストトルクテーブルを用いて計算するようにしているが、基本アシストトルクテーブルに代えて操舵トルク T および車速 v に応じて変化する基本アシストトルク T_{as} を定義した関数を用意しておき、この関数を用いて基本アシストトルク T_{as} を計算するようによい。

【0046】

また、q 軸電流演算部 101 q は、後述する回転角変換部 104 により検出された回転角 θ を入力し、この回転角 θ を舵角中立位置を基準とした角度に変換した操舵ハンドル 11 の操舵角 h を算出するとともに、後述する回転速度変換部 107 により検出された電動モータ 20 のロータの回転速度 (角速度) ω を入力する。そして、操舵角 h と回転速度 ω を使って基本アシストトルク T_{as} に対する補償値 T_c を計算する。補償値 T_c は、例えば、操舵角 h に比例して大きくなるステアリングシャフト 12 の中立位置への復帰

10

20

30

40

50

力と回転速度 に比例して大きくなるステアリングシャフト 1 2 の回転に対する抵抗力に対応した戻しトルクとの和として計算される。q 軸電流演算部 1 0 1 q は、計算した基本アシストトルク T_{as} と補償値 T_c の和を目標アシストトルク T^* として設定し、この目標アシストトルク T^* をトルク定数で除算することにより、d - q 座標系における q 軸電流指令値 I_{q^*} を算出する。

【 0 0 4 7 】

一方、d 軸電流演算部 1 0 1 d は、回転速度変換部 1 0 7 により検出された電動モータ 2 0 のロータの回転速度（角速度） と、異常状態判定部 1 1 0 から出力される異常判定信号を入力する。d 軸電流演算部 1 0 1 d は、異常状態判定部 1 1 0 から出力される異常判定信号が正常信号である場合、図 4 に示す弱め界磁制御電流テーブルを参照することにより弱め界磁制御電流としての d 軸電流指令値 I_{d^*} を算出する。本実施形態においては、d 軸電流を弱め界磁制御用と強め界磁制御用との両方に使い分ける。そして、弱め界磁制御電流として通電する場合の d 軸電流を負の値で表し、強め界磁制御電流として通電する場合の d 軸電流を正の値で表す。

10

【 0 0 4 8 】

弱め界磁制御電流テーブルは、回転速度 に対応する d 軸電流指令値 I_{d^*} を設定したもので、回転速度 が設定値 1 以下であれば、d 軸電流指令値 I_{d^*} をゼロ ($I_{d^*} = 0$) に設定し、回転速度 の大きさが設定値 1 を越える場合には、回転速度 の増加にしたがって d 軸電流指令値 I_{d^*} が増加するように設定する。また、回転速度 の大きさが設定値 2 を越える範囲においては、一定の大きな d 軸電流指令値 I_{d^*} が設定される。この d 軸電流指令値 I_{d^*} は、回転速度 の増加に伴って d 軸電流指令値 I_{d^*} が増加するように設定されるものであれば、この弱め界磁制御電流テーブルで示す特性に限らず、任意の特性を使って算出することができる。また、弱め界磁制御電流テーブルに代えて、回転速度 に応じて変化する d 軸電流指令値 I_{d^*} を定義した関数を用意しておき、この関数を用いて d 軸電流指令値 I_{d^*} を計算するようにしてもよい。

20

【 0 0 4 9 】

尚、本明細書において検出値や計算値 (h 、 T 、 I_{q^*} 、 I_{d^*}) の大きさを論じる場合には、その値は、方向（正負）を区別しない絶対値を表すものとする。

【 0 0 5 0 】

図 5、図 6 は、モータ電流の指令値を、トルクに対応した q 軸電流指令値 I_{q^*} と、磁束に対応した d 軸電流指令値 I_{d^*} とに分解したベクトル図である。図 5、回転速度 の大きさが設定値 1 を越える場合の例であり、図 6 は、回転速度 の大きさが設定値 1 以下となる場合の例である。

30

【 0 0 5 1 】

このように計算された q 軸電流指令値 I_{q^*} と d 軸電流指令値 I_{d^*} とは、フィードバック制御部 1 0 2 に出力される。フィードバック制御部 1 0 2 は、q 軸電流指令値 I_{q^*} から q 軸実電流値 I_q を減算した偏差 I_q を算出し、この偏差 I_q を使った比例積分制御により q 軸実電流値 I_q が q 軸電流指令値 I_{q^*} に追従するように q 軸電圧指令値 V_{q^*} を計算する。同様に、d 軸電流指令値 I_{d^*} から d 軸実電流値 I_d を減算した偏差 I_d を算出し、この偏差 I_d を使った比例積分制御により d 軸実電流値 I_d が d 軸電流指令値 I_{d^*} に追従するように d 軸電圧指令値 V_{d^*} を計算する。

40

【 0 0 5 2 】

q 軸実電流値 I_q および d 軸実電流値 I_d は、電動モータ 2 0 のコイルに実際に流れた 3 相電流の検出値 I_u 、 I_v 、 I_w を d - q 座標系の 2 相電流に変換したものである。この 3 相電流 I_u 、 I_v 、 I_w から d - q 座標系の 2 相電流 I_d 、 I_q への変換は、3 相 / 2 相変換部 1 0 3 によって行われる。3 相 / 2 相変換部 1 0 3 は、回転角変換部 1 0 4 から出力される回転角（電気角に対応する）を入力し、その回転角 に基づいて、電流センサ 3 8 から出力される 3 相電流 I_u 、 I_v 、 I_w を d - q 座標系の 2 相電流 I_d 、 I_q に変換する。回転角変換部 1 0 4 は、回転角センサ 2 1 が出力する鋸歯形状の信号を所定のサンプリング周期で読み取ることにより電動モータ 2 0 の回転角 を計算する。

50

【0053】

また、回転角変換部104が出力する回転角は、回転速度変換部107に入力される。回転速度変換部107は、入力した回転角を時間で微分して(例えば、単位時間あたりの回転角の変化量から)電動モータ20の回転速度を算出し、算出した回転速度を電流指令部101および異常状態判定部110に出力する。

【0054】

フィードバック制御部102により算出されたq軸電圧指令値 V_q^* とd軸電圧指令値 V_d^* は、2相/3相座標変換部105に出力される。2相/3相座標変換部105は、回転角変換部104から出力される回転角に基づいて、q軸電圧指令値 V_q^* とd軸電圧指令値 V_d^* を3相電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に変換して、その変換した3相電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* をPWM信号発生部106に出力する。PWM信号発生部106は、3相電圧指令値 V_u^* 、 V_v^* 、 V_w^* に対応したPWM制御信号をモータ駆動回路30のスイッチング素子31~36に出力する。これにより電動モータ20が駆動され、目標アシストトルク T^* に追従した操舵アシストトルクがステアリング機構10に付与される。また、電動モータ20が高速回転する場合には、弱め界磁制御電流として作用するd軸電流が流れるため、逆起電力の発生が抑制され、電動モータ20が良好に回転する。従って、運転者が操舵ハンドル11を速く回動操作しても、電動モータ20の回転が良好に追従するため、ハンドル操作に引っ掛かりを感じさせない。

【0055】

ところで、前輪タイヤが縁石に衝突したケースのように、ステアリング機構10に強い逆入力が入ると、操舵輪Wが転舵されラックバー14が軸方向に移動する。これにより、ラックバー14の軸方向の運動エネルギーがラックアンドピニオン機構13を介してステアリングシャフト12に伝達され、ステアリングシャフト12が回転する。また、ステアリングシャフト12の回転により、電動モータ20のロータが同方向に回されることとなる。そして、ラックバー14がストロークエンドに達して、ラックバー14の両端に設けたラックエンド部材18の一方が、ラックハウジング15のストッパ部15aに衝突する。以下、この衝突をストロークエンド衝突と呼ぶ。

【0056】

ストロークエンド衝突が起きると、ステアリングシャフト12の出力側の回転はラックバー14の停止により規制されるが、ステアリングシャフト12の入力側は、開放されているためハンドル慣性トルクとモータ慣性トルクとにより更に回転する。このため、ストロークエンド衝突時には、ステアリングシャフト12における減速ギヤ19より出力側が振られて大きな衝撃が加わる。特に、本実施形態のように、ステアリングシャフト12に減速ギヤ19を介して電動モータ20を連結しているコラムアシスト方式においては、電動モータ20の慣性トルクが大きく影響するため衝撃が大きい。従って、ステアリングシャフト12の強度(インターミディエイトシャフト12b、ピニオンシャフト12c、および、それらを連結するユニバーサルジョイント12d、12eの強度)を高くする必要がある。

【0057】

また、このような逆入力操舵異常状態においては、非常に速い速度で操舵輪Wが転舵されることから電動モータ20もそれに比例して高速回転する。このため、弱め界磁制御電流としてのd軸電流指令値 I_d^* が増大して電動モータ20の回転速度増加を助長してしまう。また、これに伴って、回転角変換部104が回転角を正確に検出できる回転速度範囲を超えてしまうこともある。つまり、回転角変換部104において回転角センサ21の出力する信号のサンプリングが間に合わなくなる。この場合には、制御上における回転角が実際の回転角よりも少なく計算されてd-q座標系に位相遅れが発生する。この位相遅れにより、弱め界磁制御電流となるd軸電流が大きくなってしまい、電動モータ20の回転速度が更に大きくなる。このため、ストロークエンド衝突が一層強いものとなる。

【0058】

そこで、本実施形態においては、逆入力操舵異常状態、あるいは、逆入力により電動モ

10

20

30

40

50

ータ20が通常の運転操作ではあり得ないような速さで回転する高回転異常状態を検出する異常状態判定部110を備える。そして、異常状態判定部110において異常状態を検出したときに、電流指令部101に異常検出信号を出力して、制御モードを切り替えるようにしている。

【0059】

異常状態判定部110は、逆入力判定部111と高速回転判定部112とを備えている。まず、逆入力判定部111について説明する。逆入力判定部111は、タイヤからステアリング機構10に逆入力が入力して運転者の意志に反して操舵されてしまう逆入力操舵異常状態になっているか否かを判定する機能部である。この逆入力操舵異常状態は、セルフアライニングトルクのように運転者が保舵できるような弱い外力が働く状態を含むものではない。

10

【0060】

逆入力判定部111は、図7に示す逆入力操舵異常判定ルーチンにしたがって逆入力操舵異常状態を判定する。逆入力操舵異常判定ルーチンは、アシストECU100の制御プログラムの一部としてROM内に記憶され、イグニッションスイッチ87がオンしている期間、所定の短い周期で繰り返される。

【0061】

逆入力操舵異常判定ルーチンが起動すると、逆入力判定部111は、ステップS11において、操舵トルクセンサ22から出力される操舵トルクT、回転角変換部104から出力される回転角、回転速度変換部107から出力される回転速度を読み込む。続いて、ステップS12において、操舵トルクTの表す符号と、回転速度の表す符号とが一致していないか否かを判断する。図中において、 $\text{sign}(T)$ は、操舵トルクTの符号、つまり操舵トルクTの働く方向を表す。また、 $\text{sign}(\quad)$ は、回転速度の符号、つまり、電動モータ20の回転方向（操舵ハンドル11の回転方向に対応する）を表す。そして、 $\text{sign}(T) \times \text{sign}(\quad)$ は、両者の符号が同じであるか否かを判定する式であり、両者の符号が同じであれば判定結果が正の値をとり、両者の符号が異なっていれば判定結果が負の値をとる。

20

【0062】

逆入力が発生して操舵ハンドル11が回されてしまう場合には、操舵トルクTの方向と、操舵ハンドル11の回転方向である電動モータ20の回転方向とは互いに反対方向となる。例えば、前輪タイヤが縁石に衝突して操舵輪Wが左方向に転舵した場合、操舵ハンドル11はステアリング機構10を介して左方向に回転するが、操舵トルクTは右方向として検出される。従って、ステップS12において、両者の符号が同じであると判定した場合(S12:No)には、ステップS13において、逆入力操舵異常状態ではないと判定する。この場合、逆入力判定部111は、電流指令部101のq軸電流演算部101qとd軸電流演算部101dと対して、逆入力操舵異常の判定信号として正常信号を出力する。

30

【0063】

一方、逆入力判定部111は、ステップS12において、操舵トルクTの方向と電動モータ20の回転方向とが相違すると判定した場合には、更に、ステップS14において、回転角から舵角中立位置を基準とした操舵角 h を算出し、この操舵角 h の大きさ $|h|$ が増大しているか否かを判断する。つまり、操舵ハンドル11が中立位置から遠ざかる方向に回転しているか否かを判断する。操舵トルクTの方向と電動モータ20の回転方向とが相違するケースとしては、逆入力が入力して異常操舵されているケースと、運転者がセルフアライニングトルクを利用して操舵ハンドル11を戻しているケースとの2つが考えられる。操舵ハンドル11の戻し状態であれば、操舵角 h は中立位置に近づく方向に変化するため、操舵角 h の大きさ $|h|$ は減少する。

40

【0064】

そこで、逆入力判定部111は、操舵ハンドル11が中立位置に向かう戻し状態であれば(S14:No)、その処理を上記ステップS13に進めて、逆入力操舵異常状態では

50

ないと判定し、逆入力操舵異常の判定信号として正常信号を出力する。

【 0 0 6 5 】

また、操舵角 h の大きさ $|h|$ が増大している場合 (S 1 4 : Y e s) には、ステップ S 1 5 において逆入力操舵異常状態であると判定する。この場合、逆入力判定部 1 1 1 は、電流指令部 1 0 1 の q 軸電流演算部 1 0 1 q と d 軸電流演算部 1 0 1 d と対して、逆入力操舵異常の判定信号として異常検出信号を出力する。

【 0 0 6 6 】

逆入力判定部 1 1 1 は、ステップ S 1 3 あるいはステップ S 1 5 において逆入力操舵異常の判定信号を出力すると、逆入力操舵異常判定ルーチをいったん終了する。そして、所定の短い周期で逆入力操舵異常判定ルーチを繰り返し実行する。

10

【 0 0 6 7 】

次に、高速回転判定部 1 1 2 の処理について説明する。図 8 は、高速回転判定部 1 1 2 の実行する異常高速回転判定ルーチンを表すフローチャートである。異常高速回転判定ルーチンは、アシスト E C U 1 0 0 の制御プログラムの一部として R O M 内に記憶され、イグニッションスイッチ 8 7 がオンしている期間、所定の短い周期で繰り返される。

【 0 0 6 8 】

異常高速回転判定ルーチンが起動すると、高速回転判定部 1 1 2 は、ステップ S 2 1 において、回転速度変換部 1 0 7 から出力される回転速度 ω を読み込む。続いて、ステップ S 2 2 において、回転速度 ω が予め設定した異常判定用速度 A を越えているか否かを判断する。逆入力操舵異常時においては、電動モータ 2 0 が通常時では検出されない異常な速さで回転する。こうした場合、回転角変換部 1 0 4 が回転角 θ を正確に検出できなくなるほど回転速度が速くなるおそれがある。従って、この異常判定用速度 A は、回転角変換部 1 0 4 が正確に回転角 θ を検出できる回転速度の範囲内で、かつ、通常時には検出されない高回転速度に設定される。

20

【 0 0 6 9 】

高速回転判定部 1 1 2 は、回転速度 ω が異常判定用速度 A 以下であれば (S 2 2 : N o)、ステップ S 2 3 において、高回転異常状態ではないと判定する。この場合、高速回転判定部 1 1 2 は、電流指令部 1 0 1 の q 軸電流演算部 1 0 1 q と d 軸電流演算部 1 0 1 d と対して、高回転異常の判定信号として正常信号を出力する。

【 0 0 7 0 】

一方、高速回転判定部 1 1 2 は、回転速度 ω が異常判定用速度 A を越えていれば (S 2 2 : Y e s)、ステップ S 2 4 において、高回転異常状態であると判定する。この場合、高速回転判定部 1 1 2 は、電流指令部 1 0 1 の q 軸電流演算部 1 0 1 q と d 軸電流演算部 1 0 1 d と対して、高回転異常の判定信号として異常検出信号を出力する。

30

【 0 0 7 1 】

高速回転判定部 1 1 2 は、ステップ S 2 3 あるいはステップ S 2 4 において高回転異常の判定信号を出力すると、異常高速回転判定ルーチンをいったん終了する。そして、所定の短い周期で異常高速回転判定ルーチンを繰り返し実行する。

【 0 0 7 2 】

次に、こうした異常判定信号に基づいて制御モードを切り替える電流指令部 1 0 1 の処理について説明する。図 9 は、d 軸電流演算部 1 0 1 d が実行する d 軸電流指令値算出ルーチンを表す。この d 軸電流指令値算出ルーチンは、アシスト E C U 1 0 0 の制御プログラムの一部として R O M 内に記憶され、イグニッションスイッチ 8 7 がオンしている期間、所定の短い周期で繰り返される。

40

【 0 0 7 3 】

d 軸電流指令値算出ルーチンが起動すると、d 軸電流演算部 1 0 1 d は、ステップ 3 1 において、フラグ F が「 0 」に設定されているか否かを判断する。このフラグ F は、後述する異常時モードとしての回転抑制制御が選択されているときに「 1 」に設定されるもので、本ルーチンの起動時においては、「 0 」に設定されている。従って、ここでは、「 Y e s 」と判断して、その処理をステップ S 3 2 に進める。

50

【 0 0 7 4 】

d 軸電流演算部 1 0 1 d は、ステップ S 3 2 において、異常状態判定部 1 1 0 から異常判定信号を読み込む。この場合、逆入力判定部 1 1 1 の出力する逆入力操舵異常の判定信号と、高速回転判定部 1 1 2 の出力する高回転異常の判定信号とを読み込む。

【 0 0 7 5 】

続いて、d 軸電流演算部 1 0 1 d は、ステップ S 3 3 において、逆入力操舵異常の判定信号に基づいて逆入力操舵異常が検出されていないか否かを判断する。逆入力操舵異常の判定信号が正常信号であれば (S 3 3 : Y e s)、逆入力操舵異常が検出されていないことになる。この場合、d 軸電流演算部 1 0 1 d は、ステップ S 3 4 において、高回転異常の判定信号に基づいて高回転異常が検出されていないか否かを判断する。高回転異常の判定信号が正常信号であれば (S 3 4 : Y e s)、高回転異常が検出されないことになる。

10

【 0 0 7 6 】

d 軸電流演算部 1 0 1 d は、異常状態判定部 1 1 0 から読み込んだ 2 つの異常判定信号がともに正常信号である場合には、ステップ S 3 5 において、正常時モードとしての弱め界磁制御を行うために設定された d 軸電流指令値 $I d *$ を算出する。つまり、上述した弱め界磁制御電流テーブル (図 4 参照) を参照して、回転速度 に対応する d 軸電流指令値 $I d *$ を算出する。従って、d 軸電流演算部 1 0 1 d は、回転速度 の増加に伴って増加する d 軸電流指令値 $I d *$ を設定する。尚、このステップ S 3 5 においては、回転速度 を読み込む処理を含んでいる。

20

【 0 0 7 7 】

d 軸電流演算部 1 0 1 d は、算出した d 軸電流指令値 $I d *$ をフィードバック制御部 1 0 2 に出力して d 軸電流指令値算出ルーチンをいったん終了する。そして、所定の短い周期で d 軸電流指令値算出ルーチンを繰り返し実行する。

【 0 0 7 8 】

逆入力操舵異常および高回転異常が検出されていないあいだ (S 3 3 , S 3 4 : Y e s) は、上述したステップ S 3 1 ~ S 3 5 の処理が繰り返される。そして、異常状態判定部 1 1 0 から読み込んだ異常判定信号が正常信号から異常検出信号に変わると、d 軸電流演算部 1 0 1 d は、異常時モードに切り換えてステップ S 3 6 以降の処理を開始する。

【 0 0 7 9 】

30

車両走行中に前輪タイヤが縁石等に強く衝突して操舵輪 W が転舵されると、異常状態判定部 1 1 0 は、上述した逆入力操舵異常判定ルーチンおよび異常高速回転判定ルーチンの実行によりそれぞれ異常検出信号を出力する。異常状態判定部 1 1 0 における 2 つの異常判定ルーチンは、判定手法が異なるため、異常検出信号の出力するタイミングが相違する。d 軸電流演算部 1 0 1 d は、逆入力操舵異常の判定信号と高回転異常の判定信号の両方を読み、何れか一方でも正常信号から異常検出信号に変わったときに異常時モードに切り換える。従って、逆入力により操舵輪 W が転舵されたときに早い段階で異常時モードに切り換えることができる。

【 0 0 8 0 】

d 軸電流演算部 1 0 1 d は、ステップ S 3 3 あるいはステップ S 3 4 において、異常判定信号が異常検出信号であることを検出すると、その処理をステップ S 3 6 に進め、フラグ F を「 1 」に設定する。

40

【 0 0 8 1 】

続いて、ステップ S 3 7 において、異常時モードとしての回転抑制制御を行うために設定された d 軸電流指令値 $I d *$ を算出する。この場合、図 1 0 に示す回転抑制制御電流テーブルを参照して d 軸電流指令値 $I d *$ を算出する。回転抑制制御電流テーブルは、予め設定した基準回転速度 R から回転速度変換部 1 0 7 により検出された回転速度 を減算した値 ($R -$) と、強め界磁制御電流としての d 軸電流指令値 $I d *$ との対応関係を設定したもので、ROM 等の記憶素子に記憶されている。基準回転速度 R は、通常時においては検出されない非常に速い回転速度に設定されている。回転抑制制御電流テーブルでは、

50

減算値 ($R - X$) が小さくなるにしたがって増加する強め界磁制御電流としての d 軸電流指令値 I_d^* を設定する。つまり、回転速度 の増加に伴って強め界磁制御電流が増加するように d 軸電流指令値 I_d^* を設定する。また、減算値 ($R - X$) が X 以上となる場合、つまり、回転速度 が ($R - X$) 以下となる場合には、d 軸電流指令値 I_d^* をゼロに設定する。

【 0 0 8 2 】

従って、d 軸電流演算部 1 0 1 d は、異常時モードにおいては、弱め界磁制御電流を流さないように、かつ、回転速度 が ($R - X$) を越えるような異常高速回転する場合には、その回転速度 が増加するにしたがって強め界磁制御電流が増加するように d 軸電流指令値 I_d^* を設定する。そして、設定した d 軸電流指令値 I_d^* をフィードバック制御部 1 0 2 に出力する。これにより、正常時モードに比べて逆起電力が増大し、電動モータ 2 0 の回転に対して大きな制動力が働く。尚、このステップ S 3 7 においても、回転速度を読み込む処理を含んでいる。また、d 軸電流指令値 I_d^* の算出にあたっては、回転抑制制御電流テーブルに代えて、回転速度 に応じて変化する d 軸電流指令値 I_d^* を定義した関数を用意しておき、この関数を用いて d 軸電流指令値 I_d^* を計算するようにしてもよい。

10

【 0 0 8 3 】

続いて、d 軸電流演算部 1 0 1 d は、ステップ S 3 8 において、回転速度 がゼロにまで低下したか否かを判断する。回転速度 がゼロでない場合は、そのまま d 軸電流指令値算出ルーチンをいったん終了する。そして、所定の短い周期で d 軸電流指令値算出ルーチンを繰り返し実行する。この場合、フラグ F が「 1 」に設定されているため、次の d 軸電流指令値算出ルーチンの開始時においては、ステップ S 3 1 の判断が「 N o 」となり、その処理を上述したステップ S 3 7 に進める。従って、いったん異常モードに切り替わった後は、異常状態判定部 1 1 0 が出力する異常判定信号を読み込むことなく、回転抑制制御を行うための d 軸電流指令値 I_d^* を算出する。

20

【 0 0 8 4 】

こうした異常時モードにおいては、ステップ S 3 8 において、回転速度 がゼロにまで低下したか否かについて繰り返し判断される。回転速度 がゼロにまで低下しないあいだは、異常判定信号に関わらず異常時モードが継続される。そして、回転速度 がゼロに達すると、d 軸電流演算部 1 0 1 d は、ステップ S 3 9 において、フラグ F を「 0 」にリセットする。従って、その後は、ステップ S 3 1 の判断が「 Y e s 」となり、異常判定信号に基づいた制御モードが選択されるようになる。

30

【 0 0 8 5 】

次に、q 軸電流演算部 1 0 1 q において行われる異常判定信号に基づく制御モードの切替処理について説明する。図 1 1 は、q 軸電流演算部 1 0 1 q が実行する q 軸電流指令値算出ルーチンを表す。この q 軸電流指令値算出ルーチンは、アシスト E C U 1 0 0 の制御プログラムの一部として R O M 内に記憶され、イグニッションスイッチ 8 7 がオンしている期間、所定の短い周期で繰り返される。尚、q 軸電流指令値算出ルーチンにおいて、異常判定信号を読み込んで制御モードを切り替える処理に関しては、上述した d 軸電流指令値算出ルーチン (図 9) と同一であるため、同一の処理に関しては、図面に d 軸電流指令値算出ルーチンのステップ番号と同じステップ番号を付して説明を省略する。

40

【 0 0 8 6 】

q 軸電流演算部 1 0 1 q は、異常状態判定部 1 1 0 の出力する 2 つの異常判定信号を読み込み (S 3 2)、両異常判定信号が正常信号である場合 (S 3 3 , S 3 4 : Y e s) には、ステップ S 4 5 において、正常時モードとしての操舵アシスト制御を行うために設定された q 軸電流指令値 I_q^* を算出する。この q 軸電流指令値 I_q^* は、上述したように、操舵トルク T と車速 v とに基づいて算出した基本アシストトルク T_{as} と、操舵角 h と回転速度 とに基づいて算出した補償値 T_c との和を目標アシストトルク T^* として設定し、この目標アシストトルク T^* をトルク定数 K で除算することにより算出される。

【 0 0 8 7 】

50

一方、異常状態判定部 110 の出力する 2 つの異常判定信号のうち、一つでも異常検出信号である場合 (S33, or, S34: No) には、ステップ S47 において、異常時モードとしての q 軸電流指令値 I_{q^*} をゼロ ($I_{q^*} = 0$) に設定する。そして、異常時モードに設定した後は、回転速度 がゼロになるまで q 軸電流指令値 I_{q^*} がゼロに維持する。

【0088】

従って、異常時モードにおいては、モータ電流の指令値は、例えば、図 12 に示すように、強め界磁制御電流としての d 軸電流指令値 I_{d^*} となる。

【0089】

以上説明した本実施形態の電動パワーステアリング装置によれば、異常状態判定部 110 により逆入力操舵異常状態と高回転異常状態の何れか一方でも検出されたとき、直ちに電動モータ 20 の制御モードを正常時モードから異常時モードに切り換える。そして、異常時モードにおいては、弱め界磁制御電流が流れないように、かつ、回転速度 が高速であれば、回転速度 の増加に伴って強め界磁制御電流が増加するように d 軸電流指令値 I_{d^*} を算出する。また、同時に、q 軸電流指令値 I_{q^*} をゼロに設定する。この結果、従来のように弱め界磁制御によるモータ回転速度の増加を助長してしまうことがなく、かつ、電動モータ 20 の回転に対して制動力を加えるため、図 13 に示すように、電動モータ 20 の回転速度を回転角検出可能な範囲に維持することができる。このため、d-q 座標系に位相遅れが発生しなくなり、異常時モードでの電動モータ 20 の制動制御を良好に行うことができる。

10

20

【0090】

従って、ストロークエンドに達する前にラックバー 14 の移動速度の上昇を抑えることができ、ストロークエンド衝突時における衝撃を弱めることができる。これにより、ステアリング機構 10、特に、ステアリングシャフト 12 に加わる衝撃を適正に低減することができる。この結果、ステアリングシャフト 12 の小径化を図ることができる。また、操舵ハンドル 11 から運転者に伝わる衝撃を低減することもできる。

【0091】

また、逆入力判定部 111 においては、操舵トルク T の方向と回転速度 の方向との比較、および、操舵角 h の変化する方向に基づいて逆入力操舵異常を判定するため、その判定精度が高い。また、電流指令部 101 においては、逆入力操舵異常の判定信号と高回転異常の判定信号との両方を読み、何れか一方でも異常検出信号に変わったときに異常時モードに切り換えるため、逆入力により操舵輪 W が転舵されたときに早い段階で異常時モードによる制御を実施することができる。

30

【0092】

以上、本実施形態の電動パワーステアリング装置について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を逸脱しない限りにおいて種々の変更が可能である。

【0093】

例えば、本実施形態では、異常時モードにおいて、弱め界磁制御電流が流れないような d 軸電流指令値 I_{d^*} を設定しているが、正常時モードにおける弱め界磁制御電流よりも少ない弱め界磁制御電流を流すような d 軸電流指令値 I_{d^*} を設定するようにしてもよい。また、本実施形態では、異常時モードにおいて、回転速度 の増加に伴って強め界磁制御電流を流すように d 軸電流指令値 I_{d^*} を設定しているが、強め界磁制御電流を流さないようにしてもよい。例えば、異常時モードでは、回転速度 の増加に関わらず常に d 軸電流指令値 I_{d^*} をゼロに設定するようにしてもよい。

40

【0094】

また、q 軸電流指令値 I_{q^*} に関して、本実施形態では、異常時モードにおいて q 軸電流指令値 I_{q^*} をゼロに設定しているが、必ずしもゼロに設定する必要はなく、例えば、正常時モードと同じ指令値を算出するようにしてもよい。

【0095】

50

また、本実施形態においては、電動モータ20の回転角に基づいて回転速度を検出するようにしているが、例えば、ステアリングシャフト12に回転角センサを設け、この回転角センサにより検出される回転角の変化量から得られる回転速度を電動モータ20の回転速度として検出する構成でもよい。

【0096】

また、本実施形態においては、異常状態判定部110で逆入力操舵異常状態と高回転異常状態との両方を検出するようにしているが、何れか一方のみを検出する構成であってもよい。

【0097】

また、本実施形態においては、操舵トルクTの方向と回転速度の方向との比較、および、操舵角hの変化する方向に基づいて逆入力操舵異常を判定するが、逆入力操舵異常の判定は、これに限ったものではない。例えば、逆入力操舵異常時においては、操舵トルクが通常の操舵操作時において検出されないほどの大きな値となるため、予め判定基準トルクT_{ref}を設定しておき、検出したトルクTが判定基準トルクT_{ref}を上回ったときに、逆入力操舵異常が発生したと判定するようにしてもよい。

【0098】

また、本実施形態においては、車載電源装置80の供給する電源をそのままモータ駆動回路30に供給するが、例えば、モータ駆動回路30の入力側に、車載電源装置80から供給される電源を昇圧する昇圧回路を設けて電動モータ20の大出力化を図るようにしてもよい。

【0099】

また、本実施形態においては、操舵トルクTと車速vとに基づいて算出される基本アシストトルクT_{as}と、補償値T_cとの和から目標アシストトルクT*を算出し、この目標アシストトルクT*からq軸電流指令値I_q*を算出しているが、目標アシストトルクT*の計算は任意に設定できるものであり、例えば、補償値T_cを加味しないようにしてもよい。

【0100】

また、本実施形態においては、回転角センサ21としてレゾルバを用いているが、ロータが所定角度回転するたびにパルス信号を出力するエンコーダを使った回転角センサを採用することもできる。この場合、回転角変換部104は、モータ回転方向に応じてパルス信号をカウントアップ、カウントダウンすることによりモータ回転角を検出する。

【0101】

尚、本実施形態の回転角センサ21と回転角変換部104と回転速度変換部107とからなる構成が本発明の回転速度検出手段に相当する。また、本実施形態の電流指令部101が本発明の電流指令値算出手段に相当する。また、本実施形態のフィードバック制御部102、3相/2相変換部103、回転角変換部104、2相/3相座標変換部105、PWM信号発生部、モータ駆動回路30からなる構成が本発明のモータ駆動制御手段に相当する。また、本実施形態の異常状態判定部110が本発明の異常状態検出手段に相当する。また、本実施形態のd軸電流指令値算出ルーチンを実施するd軸電流演算部101dが本発明の制御モード切替手段に相当する。また、回転角センサ21と回転角変換部104とにより電動モータ20の回転角を検出する回転角検出手段を構成し、モータ駆動制御手段は、この回転角検出手段により検出された回転角を用いて、電流指令値にしたがって電動モータを駆動する。

【符号の説明】

【0102】

10...ステアリング機構、11...操舵ハンドル、12...ステアリングシャフト、14...ラックバー、20...電動モータ、21...回転角センサ、22...操舵トルクセンサ、25...車速センサ、30...モータ駆動回路、38...電流センサ、100...電子制御装置、101...電流指令部、101d...d軸電流演算部、101q...q軸電流演算部、102...フィードバック制御部、103...3相/2相変換部、104...回転角変換部、105...2相/3

10

20

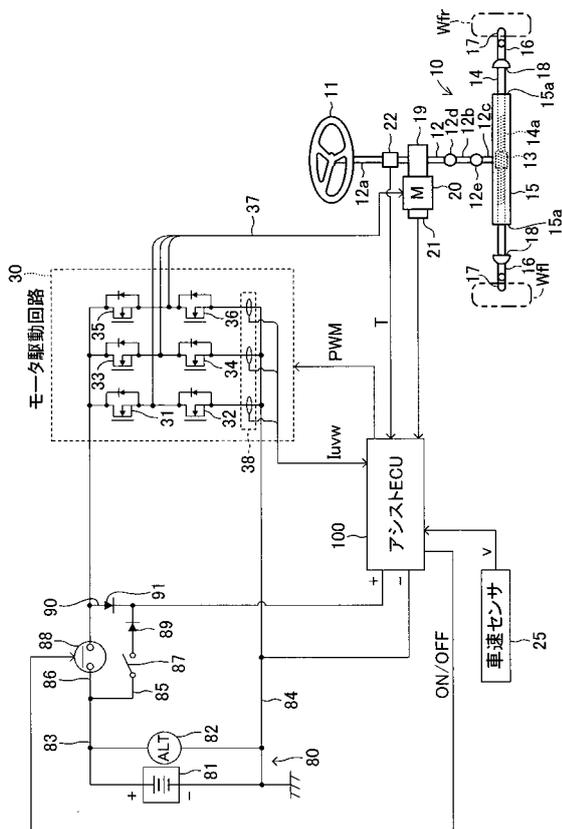
30

40

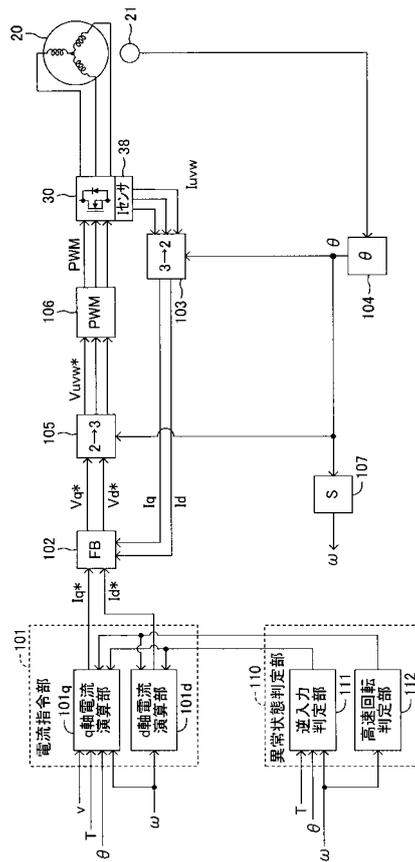
50

相座標変換部、106...PWM信号発生部、107...回転速度変換部、110...異常状態判定部、111...逆入力判定部、112...高速回転判定部、W...操舵輪。

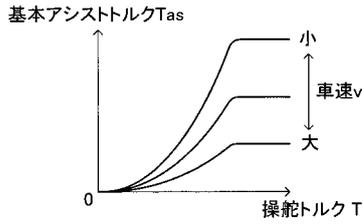
【図1】



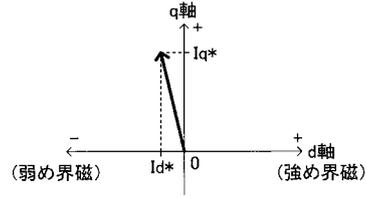
【図2】



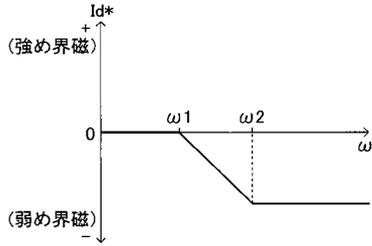
【 図 3 】



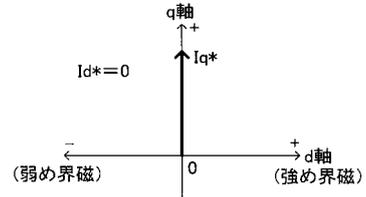
【 図 5 】



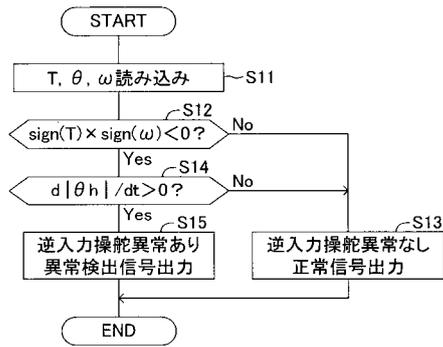
【 図 4 】



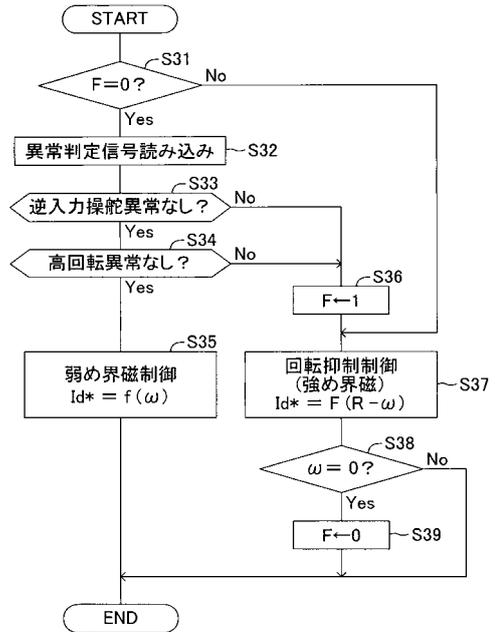
【 図 6 】



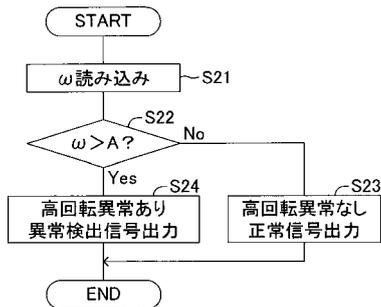
【 図 7 】



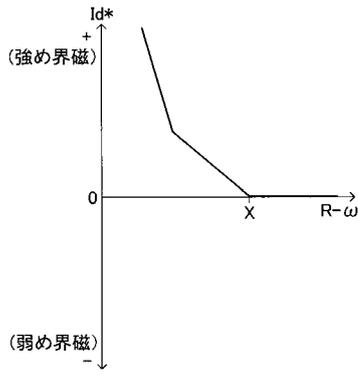
【 図 9 】



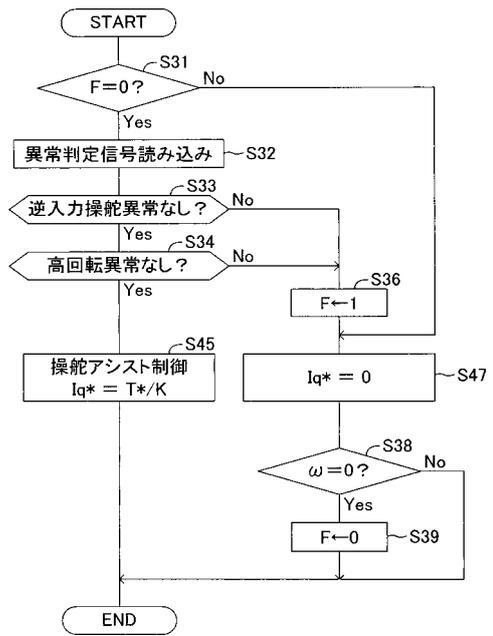
【 図 8 】



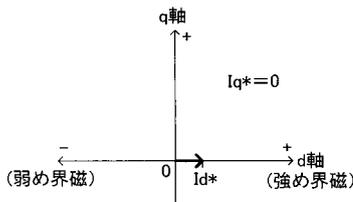
【 図 1 0 】



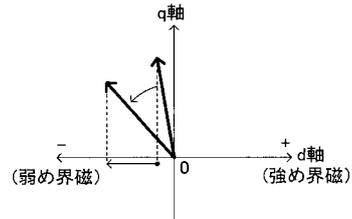
【 図 1 1 】



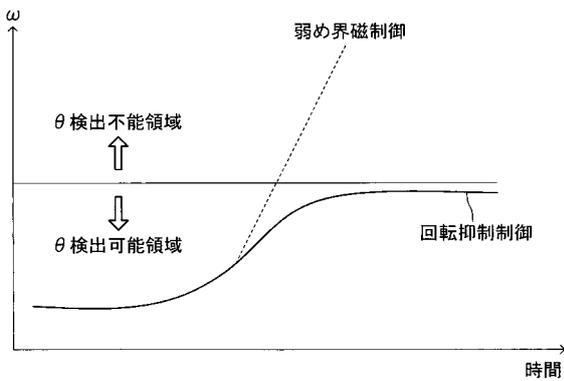
【 図 1 2 】



【 図 1 4 】



【 図 1 3 】



 フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I	テーマコード(参考)
H 0 2 P 6/12	(2006.01)	B 6 2 D 101:00	
B 6 2 D 101/00	(2006.01)	B 6 2 D 119:00	
B 6 2 D 119/00	(2006.01)		

Fターム(参考)	5H505	AA16	BB06	CC04	DD03	EE08	EE30	EE41	EE49	EE55	FF08
		GG04	GG07	HA09	HB02	JJ03	JJ12	JJ17	JJ25	KK06	LL01
		LL22	LL38	LL41	LL54	LL58	PP01				
	5H560	AA10	BB04	BB07	DA07	DA10	DB20	DC03	DC12	EB01	GG04
		JJ01	JJ17	JJ19	SS02	TT02	TT11	TT15	UA05	XA02	XA08
		XA12	XA13	XA17							