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

特許第6514295号
(P6514295)

(45)発行日　令和1年5月15日(2019.5.15)　(24)登録日　平成31年4月19日(2019.4.19)

(51)Int.Cl.			F I		
G01L	3/10	(2006.01)	G01L	3/10	301L
B62D	5/04	(2006.01)	B62D	5/04	
B62D	6/00	(2006.01)	B62D	6/00	
G01L	25/00	(2006.01)	G01L	25/00	A

請求項の数 14　(全 20 頁)

(21)出願番号　特願2017-193045(P2017-193045)
(22)出願日　平成29年10月2日(2017.10.2)
(65)公開番号　特開2019-66357(P2019-66357A)
(43)公開日　平成31年4月25日(2019.4.25)
審査請求日　平成29年10月6日(2017.10.6)
審判番号　不服2018-5921(P2018-5921/J1)
審判請求日　平成30年4月27日(2018.4.27)

早期審査対象出願

(73)特許権者　000146010
株式会社ショーワ
埼玉県行田市藤原町１丁目１４番地１
(74)代理人　100104880
弁理士　古部　次郎
(74)代理人　100125346
弁理士　尾形　文雄
(72)発明者　栗原　紘章
栃木県芳賀郡芳賀町芳賀台１１２番地１
株式会社ショーワ栃木開発センター内

合議体
審判長　中塚　直樹
審判官　中村　説志
審判官　清水　稔

最終頁に続く

(54)【発明の名称】故障検出装置、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】
回転軸に印加されたトルクを２つのトルクセンサにて検出するトルク検出部の故障を検出する故障検出部と、
モータの駆動を制御する制御部と、
を備え、
前記制御部は、前記トルク検出部が有する前記２つのトルクセンサの内の一方のトルクセンサが故障していることを検出した場合に、前記２つのトルクセンサの内の他方のトルクセンサにて検出可能なトルクを連続的に発生させる連続トルクを出力させ、
前記故障検出部は、前記モータが前記連続トルクを出力した場合に、前記トルクセンサが検出する前記連続トルクに起因する振動のパターンによって前記他方のトルクセンサの故障を診断し、前記振動の１周期内で、前記他方のトルクセンサの出力値が、トルクがゼロである場合の出力値を跨らない場合に故障していると判断する
故障検出装置。
【請求項２】
前記制御部は、前記連続トルクに起因する振動にて前記トルク検出部の故障を報知するように前記モータの駆動を制御する
請求項１に記載の故障検出装置。
【請求項３】
前記制御部は、前記連続トルクにて車両のステアリングホイールに振動を与えることで

前記トルク検出部の故障を報知するように前記モータの駆動を制御する
請求項２に記載の故障検出装置。
【請求項４】
前記制御部は、前記連続トルクによる振動の音にて前記トルク検出部の故障を報知するように前記モータの駆動を制御する
請求項２に記載の故障検出装置。
【請求項５】
前記制御部は、前記連続トルクを出力させるために前記モータに供給する電流の波形を正弦波状とする
請求項１～４のいずれか１項に記載の故障検出装置。
【請求項６】
前記制御部は、前記連続トルクを出力させるために前記モータに供給する電流の波形を、矩形波、三角波、のこぎり波のいずれかとする
請求項１～４のいずれか１項に記載の故障検出装置。
【請求項７】
前記制御部は、前記連続トルクに起因する振動の周波数を５Ｈｚ～７ｋＨｚとする
請求項２～６のいずれか１項に記載の故障検出装置。
【請求項８】
前記制御部は、前記連続トルクにて前記ステアリングホイールに与える振動の周波数を５Ｈｚ以上６００Ｈｚ以下とする
請求項３に記載の故障検出装置。
【請求項９】
前記制御部は、前記連続トルクによる振動の音の周波数を３０Ｈｚ以上４ｋＨｚ以下とする
請求項４に記載の故障検出装置。
【請求項１０】
前記制御部は、前記故障検出部が前記トルク検出部の故障を検出した後の経過時間に応じて前記連続トルクに起因する振動の振幅を変更する
請求項１～９のいずれか１項に記載の故障検出装置。
【請求項１１】
前記制御部は、前記故障検出部が前記トルク検出部の故障を検出した後の経過時間に応じて前記連続トルクに起因する振動の周波数を小さくする
請求項１～９のいずれか１項に記載の故障検出装置。
【請求項１２】
前記故障検出部は、前記モータが前記連続トルクを出力した場合に前記トルク検出部が有する前記２つのトルクセンサの内のいずれのトルクセンサが故障しているかを検出する
請求項１～１１のいずれか１項に記載の故障検出装置。
【請求項１３】
操舵トルクを２つのトルクセンサにて検出するトルク検出部と、
前記トルク検出部の故障を検出する故障検出部と、
モータの駆動を制御する制御部と、
を備え、
前記制御部は、前記トルク検出部が有する前記２つのトルクセンサの内の一方のトルクセンサが故障していることを検出した場合に、前記２つのトルクセンサの内の他方のトルクセンサにて検出可能なトルクを連続的に発生させる連続トルクを出力させ、前記連続トルクにて車両のステアリングホイールに振動を与えることで前記トルク検出部の故障を報知し、前記連続トルクにて前記ステアリングホイールに与える振動の周波数を５Ｈｚ以上６００Ｈｚ以下とし、
前記故障検出部は、前記モータが前記連続トルクを出力した場合に、前記トルクセンサが検出する前記連続トルクに起因する振動のパターンによって前記他方のトルクセンサの

故障を診断し、前記振動の振幅が基準振幅未満である場合に前記他方のトルクセンサが故障していると判断する
電動パワーステアリング装置。
【請求項１４】
操舵トルクを２つのトルクセンサにて検出するトルク検出部と、
前記トルク検出部の故障を検出する故障検出部と、
モータの駆動を制御する制御部と、
を備え、
前記制御部は、前記トルク検出部が有する前記２つのトルクセンサの内の一方のトルクセンサが故障していることを検出した場合に、前記２つのトルクセンサの内の他方のトルクセンサにて検出可能なトルクを連続的に発生させる連続トルクを出力させ、
前記故障検出部は、前記モータが前記連続トルクを出力した場合に、前記トルクセンサが検出する前記連続トルクに起因する振動のパターンによって前記他方のトルクセンサの故障を診断し、前記振動の１周期内で、前記他方のトルクセンサの出力値が、トルクがゼロである場合の出力値を跨らない場合に故障していると判断する
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、故障検出装置、電動パワーステアリング装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
例えば、特許文献１に記載の、電動パワーステアリング装置に組み込まれるトルク検出装置は、磁界の作用により電気的特性（抵抗）が変化するホール素子からなる感磁素子を２つ備えている。そして、これら２つの感磁素子は、入力軸（回転軸）に加わるトルクを検出するセンサとして機能する。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２００５－３００２６７号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
操舵トルクを安定的にかつ精度良く検出するためには、少なくとも２つのトルクセンサを備えていることが望ましい。これは、操舵トルクを検出可能なトルクセンサが２つある場合、２つのトルクセンサそれぞれから出力される出力値を比較することで２つのトルクセンサが正常であることを精度高く判断することが可能だからである。他方、２つのトルクセンサの内の一方のトルクセンサが故障した場合には、他方のトルクセンサが正常に動作していることを判断した上で、他方のトルクセンサから出力された出力値に応じて、モータアシストを継続することが望ましい。
本発明は、正常なトルクセンサが一つである場合においても、このトルクセンサが正常に動作していることを判断できる故障検出装置、電動パワーステアリング装置を提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
かかる目的のもと完成させた本発明は、回転軸に印加されたトルクを２つのトルクセンサにて検出するトルク検出部の故障を検出する故障検出部と、モータの駆動を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、前記トルク検出部が有する前記２つのトルクセンサの内の一方のトルクセンサが故障していることを検出した場合に、前記２つのトルクセンサの内の他方のトルクセンサにて検出可能なトルクを連続的に発生させる連続トルクを出力さ

せ、前記故障検出部は、前記モータが前記連続トルクを出力した場合に、前記トルクセンサが検出する前記連続トルクに起因する振動のパターンによって前記他方のトルクセンサの故障を診断し、前記振動の１周期内で、前記他方のトルクセンサの出力値が、トルクがゼロである場合の出力値を跨らない場合に故障していると判断する故障検出装置である。

【発明の効果】

【０００６】

本発明によれば、正常なトルクセンサが一つである場合においても、このトルクセンサが正常に動作していることを判断できる。

【図面の簡単な説明】

【０００７】

【図１】第１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を示す図である。

【図２】制御装置の概略構成図である。

【図３】第１トルク検出信号，第２トルク検出信号の出力範囲を示す図である。

【図４】トルク検出装置の故障検出範囲を示す図である。

【図５】（ａ）は、故障時制御実行中の目標電流を示す図である。（ｂ）及び（ｃ）は、トルクセンサから出力されるトルク検出信号の一例を示す図である。

【図６】（ａ）は、故障時制御実行中の仮目標電流の変化の一例を示す図である。（ｂ）は、故障時制御実行中の故障検出電流（強制振動発生電流）の変化を示す図である。（ｃ）は、トルクセンサから出力されるトルク検出信号の一例を示す図である。

【図７】（ａ）は、故障時制御実行中の仮目標電流の変化の一例を示す図である。（ｂ）は、トルクセンサから出力されるトルク検出信号の一例を示す図である。

【図８】制御装置が行うアシスト制御処理の手順を示すフローチャートである。

【図９】制御装置が行うトルクセンサ故障時制御処理の手順を示すフローチャートである。

【図１０】第２の実施形態に係る故障診断手法を示す図である。

【図１１】（ａ）～（ｃ）は、強制振動発生電流の波形の他の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【０００８】

以下、添付図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

＜第１の実施形態＞

図１は、第１の実施形態に係る電動パワーステアリング装置１００の概略構成を示す図である。

電動パワーステアリング装置１００（以下、単に「ステアリング装置１００」と称する場合もある。）は、車両の進行方向を任意に変えるためのかじ取り装置であり、本実施形態においては車両の一例としての自動車１に適用した構成を例示している。なお、図１は、自動車１を前方から見た図である。

【０００９】

ステアリング装置１００は、自動車１の進行方向を変えるために運転者が操作する車輪（ホイール）状のステアリングホイール（ハンドル）１０１と、ステアリングホイール１０１に一体的に設けられたステアリングシャフト１０２とを備えている。また、ステアリング装置１００は、ステアリングシャフト１０２と自在継手１０３ａを介して連結された連結シャフト１０３と、この連結シャフト１０３と自在継手１０３ｂを介して連結されたピニオンシャフト１０６とを備えている。ピニオンシャフト１０６は、ステアリングホイール１０１の回転に連動して回転する。ピニオンシャフト１０６の下端部には、ピニオン１０６ａが形成されている。

【００１０】

また、ステアリング装置１００は、転動輪としての左側前輪１５１，右側前輪１５２それぞれに連結されたタイロッド１０４と、タイロッド１０４に連結されたラック軸１０５とを備えている。ラック軸１０５に形成されたラック歯１０５ａと、ピニオンシャフト１０６に形成されたピニオン１０６ａとがラック・ピニオン機構を構成する。

【００１１】
また、ステアリング装置１００は、ピニオンシャフト１０６の捩れに基づいて、ステアリングホイール１０１に加えられた操舵トルクＴを検出するトルク検出装置２００を備えている。トルク検出装置２００は、第１トルクセンサ２０１と、第２トルクセンサ２０２とを有している。第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２は、磁歪に起因する磁気特性の変化に基づいてピニオンシャフト１０６の捩れに応じた操舵トルクＴを検出する磁歪式のセンサであることを例示することができる。第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２による操舵トルクＴの検出のために、ピニオンシャフト１０６の外周面に磁歪膜が形成されている。なお、第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２は、ホールＩＣ、ＭＲ素子を用いる周知のトルクセンサであっても良い。以下、第１トルクセンサ２０１と第２トルクセンサ２０２とを総称して「トルクセンサ２０３」と称する場合がある。
【００１２】
また、ステアリング装置１００は、ピニオンシャフト１０６を収納するステアリングギヤボックス１０７と、ステアリングギヤボックス１０７に支持された電動モータ１１０と、電動モータ１１０の駆動力を減速してピニオンシャフト１０６に伝達する減速機構１１１とを有している。減速機構１１１は、例えば、ピニオンシャフト１０６に固定されたウォームホイール（不図示）と、電動モータ１１０の出力軸に固定されたウォームギヤ（不図示）などから構成される。電動モータ１１０は、ピニオンシャフト１０６に回転駆動力を加えることにより、ラック軸１０５に左側前輪１５１，右側前輪１５２を転動させる駆動力（ラック軸力）を加える。本実施の形態に係る電動モータ１１０は、電動モータ１１０の回転角度であるモータ回転角度θｍに連動した回転角度信号θｍｓを出力するレゾルバ１２０を有する３相ブラシレスモータである。
【００１３】
また、ステアリング装置１００は、電動モータ１１０の作動を制御する制御装置１０を備えている。制御装置１０には、上述したトルク検出装置２００からの出力信号が入力される。また、制御装置１０には、自動車１に搭載される各種の機器を制御するための信号を流す通信を行うネットワーク（ＣＡＮ）を介して、自動車１の移動速度である車速Ｖｃを検出する車速センサ１７０からの出力信号ｖなどが入力される。
【００１４】
以上のように構成されたステアリング装置１００は、トルク検出装置２００が検出した操舵トルクＴに基づいて電動モータ１１０を駆動し、電動モータ１１０の駆動力（発生トルク）をピニオンシャフト１０６に伝達する。これにより、電動モータ１１０の発生トルクが、ステアリングホイール１０１に加える運転者の操舵をアシストする。このように、電動モータ１１０は、運転者のステアリングホイール１０１の操舵に対してアシスト力を付与する。
【００１５】
{制御装置}
次に、制御装置１０について説明する。
図２は、制御装置１０の概略構成図である。
制御装置１０は、ＣＰＵ、ＲＯＭ、ＲＡＭ、バックアップＲＡＭ等からなる算術論理演算回路である。
制御装置１０には、上述した第１トルクセンサ２０１から出力される第１トルク検出信号ＴＳ１、第２トルクセンサ２０２から出力される第２トルク検出信号ＴＳ２、車速センサ１７０からの車速Ｖｃに対応する車速信号ｖなどが入力される。
【００１６】
そして、制御装置１０は、電動モータ１１０が供給するのに必要となる目標電流Ｉｔを算出（設定）する目標電流算出部２０と、目標電流算出部２０が算出した目標電流Ｉｔに基づいてフィードバック制御などを行う制御部３０とを備えている。
また、制御装置１０は、第１トルクセンサ２０１から出力される第１トルク検出信号Ｔ

Ｓ１又は第２トルクセンサ２０２から出力される第２トルク検出信号ＴＳ２に基づいて操舵トルクに応じた値を出力すると共にトルク検出装置２００の故障を診断する出力部８０を備えている。

【００１７】

〔目標電流算出部〕

目標電流算出部２０は、仮の目標電流である仮目標電流Ｉｔｆを決定する仮目標電流決定部２５と、出力部８０がトルク検出装置２００の故障を検出したか否かに応じて故障検出電流Ｉｆを決定する故障検出電流決定部２８と、最終的に電動モータ１１０に供給する目標電流Ｉｔを決定する最終目標電流決定部２９とを備えている。

なお、目標電流算出部２０には、出力部８０から出力される後述するトルク信号Ｔｄ、車速Ｖｃに応じた車速センサ１７０からの出力信号などが入力される。

【００１８】

仮目標電流決定部２５は、トルク信号Ｔｄと、車速センサ１７０からの出力信号ｖとに基づいて仮目標電流Ｉｔｆを決定する。操舵トルクＴがプラスである場合には仮目標電流Ｉｔｆはプラス、操舵トルクＴがマイナスである場合には仮目標電流Ｉｔｆはマイナスとすることを例示することができる。なお、不感帯領域を設定することもできる。また、仮目標電流Ｉｔｆは、操舵トルクＴの絶対値が同じである場合には、車速Ｖｃが低速であるほど仮目標電流Ｉｔｆの絶対値が大きくなる。

【００１９】

故障検出電流決定部２８については後で詳述する。

最終目標電流決定部２９は、出力部８０から第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２が共に故障している旨の情報を取得していない場合には、仮目標電流決定部２５にて決定された仮目標電流Ｉｔｆと、故障検出電流決定部２８にて決定された故障検出電流Ｉｆとを加算した値を最終的な目標電流Ｉｔとして決定する。他方、最終目標電流決定部２９は、出力部８０から第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２が共に故障している旨の情報を取得した場合には、目標電流Ｉｔをゼロとして決定する。

【００２０】

目標電流算出部２０は、仮目標電流決定部２５、故障検出電流決定部２８及び最終目標電流決定部２９が、所定期間（例えば１ミリ秒）毎に出力部８０や車速センサ１７０等の各種センサからの出力値を取得すると共に各処理を行い、所定期間毎に目標電流Ｉｔを算出する。

出力部８０は、所定期間（例えば１ミリ秒）毎にトルク検出装置２００からの出力値を取得すると共に各処理を行い、所定期間毎にトルク信号Ｔｄやトルク検出装置２００が故障している旨の信号等を出力する。

【００２１】

ここで、ピニオンシャフト１０６の捩れ量が０の状態を中立状態（中立位置）とし、中立状態（中立位置）からのステアリングホイール１０１の右回転時におけるピニオンシャフト１０６の捩れが変化する方向をプラス（操舵トルクＴがプラス）とする。また、中立状態からのステアリングホイール１０１の左回転時におけるピニオンシャフト１０６の捩れが変化する方向をマイナス（操舵トルクＴがマイナス）とする。

そして、基本的に、トルク検出装置２００にて検出された操舵トルクＴがプラスであるときに、電動モータ１１０を右回転方向に回転させるように仮目標電流Ｉｔｆが算出され、その仮目標電流Ｉｔｆが流れる方向をプラスとする。つまり、基本的に、操舵トルクＴがプラスのときに仮目標電流決定部２５はプラスの仮目標電流Ｉｔｆを決定し、電動モータ１１０を右回転方向に回転させる方向のトルクを発生させる。操舵トルクＴがマイナスのときに仮目標電流決定部２５はマイナスの仮目標電流Ｉｔｆを決定し、電動モータ１１０を左回転方向に回転させる方向のトルクを発生させる。

【００２２】

〔制御部〕

制御部３０は、電動モータ１１０の作動を制御するモータ駆動制御部（不図示）と、電

動モータ１１０を駆動させるモータ駆動部（不図示）と、電動モータ１１０に実際に流れる実電流Ｉｍを検出するモータ電流検出部（不図示）とを有している。

モータ駆動制御部は、目標電流算出部２０にて最終的に決定された目標電流Ｉｔと、モータ電流検出部にて検出された電動モータ１１０へ供給される実電流Ｉｍとの偏差に基づいてフィードバック制御を行うフィードバック（Ｆ／Ｂ）制御部（不図示）と、電動モータ１１０をＰＷＭ駆動するためのＰＷＭ（パルス幅変調）信号を生成するＰＷＭ信号生成部（不図示）とを有している。

【００２３】

フィードバック制御部は、目標電流算出部２０にて最終的に決定された目標電流Ｉｔとモータ電流検出部にて検出された実電流Ｉｍとの偏差を求める偏差演算部（不図示）と、その偏差がゼロとなるようにフィードバック処理を行うフィードバック（Ｆ／Ｂ）処理部（不図示）とを有している。

ＰＷＭ信号生成部は、フィードバック制御部からの出力値に基づいて電動モータ１１０をＰＷＭ（パルス幅変調）駆動するためのＰＷＭ信号を生成し、生成したＰＷＭ信号を出力する。

【００２４】

モータ駆動部は、所謂インバータであり、例えば、スイッチング素子として６個の独立したトランジスタ（ＦＥＴ）を備え、６個の内の３個のトランジスタは電源の正極側ラインと各相の電気コイルとの間に接続され、他の３個のトランジスタは各相の電気コイルと電源の負極側（アース）ラインと接続されている。そして、６個の中から選択した２個のトランジスタのゲートを駆動してこれらのトランジスタをスイッチング動作させることにより、電動モータ１１０の駆動を制御する。

モータ電流検出部は、モータ駆動部に接続されたシャント抵抗の両端に生じる電圧から電動モータ１１０に流れる実電流Ｉｍの値を検出する。

【００２５】

〔出力部〕

出力部８０は、トルク検出装置２００が故障しているか否か、言い換えれば、第１トルクセンサ２０１と第２トルクセンサ２０２の少なくともいずれかが故障しているか否かを診断する一次故障診断部８１を備えている。また、出力部８０は、トルク検出装置２００が故障していると一次故障診断部８１が診断した場合に、第１トルクセンサ２０１、第２トルクセンサ２０２のどちらが故障しているかを特定すると共に、故障していない正常なトルクセンサ２０３が故障したか否かを診断する二次故障診断部８２を備えている。また、出力部８０は、故障診断結果に基づいて、第１トルクセンサ２０１から出力された第１トルク検出信号ＴＳ１か、第２トルクセンサ２０２から出力された第２トルク検出信号ＴＳ２かを、トルク信号Ｔｄとして用いるのを切り替える切替部８５を備えている。

【００２６】

《一次故障診断部》

一次故障診断部８１には、第１トルクセンサ２０１から出力される第１トルク検出信号ＴＳ１、第２トルクセンサ２０２から出力される第２トルク検出信号ＴＳ２が入力される。そして、一次故障診断部８１は、第１トルク検出信号ＴＳ１及び第２トルク検出信号ＴＳ２に基づいて、第１トルクセンサ２０１又は第２トルクセンサ２０２が故障しているか否かを診断する。故障診断方法については後で詳述する。

【００２７】

〔一次故障診断〕

以下、一次故障診断部８１が行う故障診断について説明する。

図３は、第１トルク検出信号ＴＳ１，第２トルク検出信号ＴＳ２の出力範囲を示す図である。以下、第１トルク検出信号ＴＳ１と第２トルク検出信号ＴＳ２とをまとめて「トルク検出信号ＴＳ」と称する場合もある。

第１トルク検出信号ＴＳ１は、図３に示すように、操舵トルクＴの右方向への大きさが増加するのに伴って上昇すると共に、最大電圧ＶＨｉと最小電圧ＶＬｏとの間で変化する

。第２トルク検出信号ＴＳ２は、図３に示すように、操舵トルクＴの左方向への大きさが増加するのに伴って上昇すると共に、最大電圧ＶＨｉと最小電圧ＶＬｏとの間で変化する。最大電圧ＶＨｉは４．５Ｖ、最小電圧ＶＬｏは０．５Ｖであることを例示することができる。また、操舵トルクＴがゼロ（中点）である場合には、第１トルク検出信号ＴＳ１及び第２トルク検出信号ＴＳ２は共に中点電圧Ｖｃｌ（＝（ＶＨｉ＋ＶＬｏ）／２）である。

【００２８】

図４は、トルク検出装置２００の故障検出範囲を示す図である。

トルク検出装置２００に故障が生じた場合には、図４に示した故障検出範囲に入る。トルク検出装置２００の故障としては、回路の固着故障、断線、信号異常故障であることを例示することができる。

第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２が共に正常に作動している場合、第１トルク検出信号ＴＳ１と第２トルク検出信号ＴＳ２とを合計した合計電圧Ｖｔは、常に所定電圧（ＶＨｉ＋ＶＬｏ）（＝２Ｖｃｌ）になる（図４の実線参照）。

【００２９】

一次故障診断部８１は、第１トルク検出信号ＴＳ１と第２トルク検出信号ＴＳ２とを合計した合計電圧Ｖｔが、所定電圧（ＶＨｉ＋ＶＬｏ）を中心とする所定範囲内である場合には第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２は正常であり、トルク検出装置２００は正常であると診断する。他方、一次故障診断部８１は、合計電圧Ｖｔが、所定範囲から外れた場合に、第１トルクセンサ２０１又は第２トルクセンサ２０２が故障しており、トルク検出装置２００は故障していると診断する。所定範囲は、図４に示すように、所定電圧（ＶＨｉ＋ＶＬｏ）より低い下限基準値ＶＬ以上であって、所定電圧（ＶＨｉ＋ＶＬｏ）より高い上限基準値ＶＨ以下の領域であることを例示することができる。

【００３０】

故障検出電流決定部２８は、一次故障診断部８１から第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２が故障していない旨の信号を取得した場合（トルク検出装置２００が故障した旨の信号を取得していない場合）には、故障検出電流Ｉｆをゼロとする。他方、一次故障診断部８１から第１トルクセンサ２０１又は第２トルクセンサ２０２が故障している旨の信号を取得した場合には、電動モータ１１０が振動を発生する強制振動発生電流を故障検出電流Ｉｆとして決定する。強制振動発生電流は、正弦波状に正と負の値に周期的に変化する値であることを例示することができる。

【００３１】

以上のように構成された制御装置１０において、トルク検出装置２００が正常である場合、すなわち第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２のいずれも正常である場合には、故障検出電流決定部２８が故障検出電流Ｉｆをゼロとする。その結果、目標電流算出部２０は、仮目標電流決定部２５にて決定された仮目標電流Ｉｔｆを最終的な目標電流Ｉｔとして決定する。

一方、トルク検出装置２００が故障している場合、すなわち第１トルクセンサ２０１と第２トルクセンサ２０２の少なくともいずれかが故障している場合には、故障検出電流決定部２８が強制振動発生電流を故障検出電流Ｉｆとして決定する。その結果、目標電流算出部２０は、仮目標電流決定部２５にて決定された仮目標電流Ｉｔｆに故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）を加算した電流を最終的な目標電流Ｉｔとして決定する。

以下では、制御装置１０が、トルク検出装置２００が正常である場合に行う電動モータ１１０の駆動制御を「通常制御」と称し、トルク検出装置２００が故障している場合に行う電動モータ１１０の駆動制御を「故障時制御」と称す。

【００３２】

《二次故障診断部》

故障時制御において、仮目標電流Ｉｔｆに故障検出電流Ｉｆを加算すると、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）相当分の電動モータ１１０の駆動トルクによりピニオンシャフト１０６が周期的に捩れる。そのため、トルクセンサ２０３が正常である場合には、故

障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを検出する。他方、トルクセンサ２０３が故障している場合には、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを検出できない。

かかる事項に鑑み、出力部８０の二次故障診断部８２は、トルクセンサ２０３から取得する信号が、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを反映している場合には、トルクセンサ２０３は正常であると判断し、反映していない場合には故障していると判断する。

【００３３】

〔二次故障診断〕

図５（ａ）は、故障時制御実行中の目標電流Ｉｔの一例を示す図である。図５（ｂ）及び図５（ｃ）は、トルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳの一例を示す図である。

図５（ａ）では、故障時制御実行中において、仮目標電流Ｉｔｆがゼロである場合、つまり目標電流Ｉｔが故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）と等しい場合を例示している。図５（ａ）に示すように、強制振動発生電流は、正弦波状に正と負の値に周期的に変化する値である。

図５（ｂ）には、トルクセンサ２０３が、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを反映している場合のトルク検出信号ＴＳの一例を示している。言い換えれば、図５（ｂ）には、電動モータ１１０が連続トルク（故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するトルク）を出力した場合に、トルクセンサ２０３が検出する連続トルクに起因する振動のパターンの一例を示している。

図５（ｃ）には、トルクセンサ２０３が、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを反映していない場合のトルク検出信号ＴＳの一例を示している。

【００３４】

図６（ａ）は、故障時制御実行中の仮目標電流Ｉｔｆの変化の一例を示す図である。図６（ｂ）は、故障時制御実行中の故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）の変化を示す図である。図６（ｃ）は、トルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳの一例を示す図である。

図６（ａ）では、仮目標電流Ｉｔｆの想定される最大値Ｍａｘｆ及び最小値Ｍｉｎｆ（｜Ｍａｘｆ｜＝｜Ｍｉｎｆ｜）を、それぞれ正の頂点、負の頂点とする正弦波状の仮目標電流Ｉｔｆを例示している。

第１の実施形態に係る強制振動発生電流（故障検出電流Ｉｆ）は、正弦波状に正と負の値に周期的に変化する値であって、振幅が、最大値Ｍａｘｆの２倍よりも大きな値となる。それゆえ、仮目標電流Ｉｔｆの値に関わらず、強制振動発生電流を１周期Ｔｉｆ分加算（出力）した場合には、正常なトルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳは、中点電圧Ｖｃｌを跨ぐ。例えば、トルク検出信号ＴＳの符号を、中点電圧Ｖｃｌよりも高い場合（Ｖｃｌ＜ＴＳ≦ＶＨｉ）をプラス、中点電圧Ｖｃｌよりも低い場合（ＶＬｏ≦ＴＳ＜Ｖｃｌ）をマイナスとした場合に、トルク検出信号ＴＳの符号がプラスからマイナスへ、又はマイナスからプラスへ変化する。

【００３５】

二次故障診断部８２は、故障検出電流決定部２８が故障検出電流Ｉｆを強制振動発生電流としている期間における強制振動発生電流の１周期Ｔｉｆ間にトルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳが中点電圧Ｖｃｌを跨ぐか否かに基づいて、トルクセンサ２０３の故障を診断する。言い換えれば、二次故障診断部８２は、１周期Ｔｉｆ間にトルク検出信号ＴＳの符号が変化したか否かに基づいて、トルクセンサ２０３の故障を診断する。例えば、図６（ｃ）のＡ期間に示すように、期間Ｔｉｆ間にトルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳの符号が変化した場合には、二次故障診断部８２は、トルクセンサ２０３からの出力値が強制振動発生電流（故障検出電流Ｉｆ）に起因するピニオンシャフト１０６の捩れを正確に反映しているとして、トルクセンサ２０３は正常である

と判断する。言い換えれば、図６（ｃ）のＡ期間には、電動モータ１１０が連続トルク（故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するトルク）を出力した場合に、正常なトルクセンサ２０３が検出する、連続トルクに起因する振動のパターンの一例を示している。一方、図６（ｃ）のＢ期間に示すように、期間Ｔｉｆ間にトルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳの符号が変化しなかった場合には、二次故障診断部８２は、トルクセンサ２０３からの出力値が強制振動発生電流（故障検出電流Ｉｆ）に起因するピニオンシャフト１０６の捩れを正確に反映していないとして、トルクセンサ２０３は故障していると判断する。言い換えれば、図６（ｃ）のＢ期間には、電動モータ１１０が連続トルク（故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するトルク）を出力した場合に、故障しているトルクセンサ２０３が検出する、連続トルクに起因する振動のパターンの一例を示している。期間Ｔｉｆ間にトルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳの符号が変化しない場合には、トルクセンサ２０３にオフセット故障が生じている可能性があるからである。また、故障判断にあたって、トルク検出信号ＴＳの符号が変化しなかった回数を所定期間カウントし、そのカウント値が一定の値を超えた場合に故障していると判断しても良い。

【００３６】

図７（ａ）は、故障時制御実行中の仮目標電流Ｉｔｆの変化の一例を示す図である。図７（ｂ）は、トルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳの一例を示す図である。図７（ａ）では、仮目標電流Ｉｔｆの想定される最大値Ｍａｘｆの１／２及び最小値Ｍｉｎｆの１／２を、それぞれ正の頂点、負の頂点とする正弦波状の仮目標電流Ｉｔｆを例示している。

また、二次故障診断部８２は、故障検出電流決定部２８が故障検出電流Ｉｆを強制振動発生電流としている時（故障時制御実行時）にトルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳの振幅Ａに基づいてトルクセンサの故障を診断する。例えば、図７（ｂ）のＣ期間に示すように、トルク検出信号ＴＳの振幅Ａが予め定められた基準振幅Ａ０以上である場合には、二次故障診断部８２は、トルクセンサ２０３からの出力値が強制振動発生電流に起因するピニオンシャフト１０６の捩れを正確に反映しているとして、トルクセンサ２０３は正常であると判断する。言い換えれば、図７（ｂ）のＣ期間には、電動モータ１１０が連続トルク（故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するトルク）を出力した場合に、正常なトルクセンサ２０３が検出する、連続トルクに起因する振動のパターンの一例を示している。一方、例えば、図７（ｂ）のＤ期間に示すように、トルク検出信号ＴＳの振幅Ａが基準振幅Ａ０未満となった場合には、二次故障診断部８２は、トルクセンサ２０３からの出力値が強制振動発生電流に起因するピニオンシャフト１０６の捩れを正確に反映していないとして、トルクセンサ２０３は故障していると判断する。言い換えれば、図７（ｂ）のＤ期間には、電動モータ１１０が連続トルク（故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するトルク）を出力した場合に、故障しているトルクセンサ２０３が検出する、連続トルクに起因する振動のパターンの一例を示している。トルク検出信号ＴＳの振幅Ａが基準振幅Ａ０未満である場合や振幅Ａが０となった場合には、トルクセンサ２０３に固着故障が生じている可能性があるからである。

【００３７】

二次故障診断部８２は、トルク検出装置２００が故障していると一次故障診断部８１が診断した場合に、第１トルク検出信号ＴＳ１、第２トルク検出信号ＴＳ２に基づいて、第１トルクセンサ２０１、第２トルクセンサ２０２のどちらが故障しているかを特定する。

また、二次故障診断部８２は、第１トルクセンサ２０１が故障していると特定した場合には、第２トルク検出信号ＴＳ２に基づいて第２トルクセンサ２０２が故障したか否かを診断する。また、二次故障診断部８２は、第２トルクセンサ２０２が故障していると特定した場合には、第１トルク検出信号ＴＳ１に基づいて第１トルクセンサ２０１が故障したか否かを診断する。二次故障診断部８２は、トルク検出装置２００が故障していると一次故障診断部８１が診断した後に、第１トルクセンサ２０１、第２トルクセンサ２０２のどちらが故障しているかを特定した場合には、その情報を切替部８５に出力する。

また、二次故障診断部８２は、正常だったトルクセンサ２０３が故障したと診断し、最終的に、第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２が共に故障していると判断した場合には、その旨の信号を、最終目標電流決定部２９に出力する。

【００３８】

《切替部》

切替部８５は、一次故障診断部８１が第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２が故障していないと判断している場合には、第１トルクセンサ２０１から出力される第１トルク検出信号ＴＳ１を、トルク信号Ｔｄとして出力する。

また、切替部８５は、第２トルクセンサ２０２が故障していると二次故障診断部８２が判断している場合には、第１トルクセンサ２０１から出力される第１トルク検出信号ＴＳ１を、トルク信号Ｔｄとして出力する。

また、切替部８５は、第１トルクセンサ２０１が故障していると二次故障診断部８２が判断している場合には、第２トルクセンサ２０２から出力される第２トルク検出信号ＴＳ２を、トルク信号Ｔｄとして出力する。

【００３９】

次に、フローチャートを用いて、制御装置１０が行うアシスト制御処理の手順について説明する。

図８は、制御装置１０が行うアシスト制御処理の手順を示すフローチャートである。

制御装置１０は、このアシスト制御処理を、例えば予め定めた期間（例えば１ミリ秒）毎に繰り返し実行する。

制御装置１０は、トルク検出装置２００が故障しているか否かを判断する（Ｓ８０１）。これは、一次故障診断部８１が、上述した一次故障診断を行うことにより判断する処理である。トルク検出装置２００が故障していない場合（Ｓ８０１でＮｏ）、上述した通常制御を行う（Ｓ８０２）。

【００４０】

他方、トルク検出装置２００が故障している場合（Ｓ８０１でＹｅｓ）、第１トルクセンサ２０１、第２トルクセンサ２０２のどちらが故障しているかを特定するべく、上述した強制振動発生電流を故障検出電流Ｉｆとして決定する（Ｓ８０３）。その後、第１トルクセンサ２０１から出力された第１トルク検出信号ＴＳ１が、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを反映しているか否かを判断する（Ｓ８０４）。これは、二次故障診断部８２が、上述した二次故障診断を行うことにより判断する処理である。そして、反映している場合（Ｓ８０４でＹｅｓ）、第２トルクセンサ２０２が故障していると確定し（Ｓ８０５）、第２トルクセンサ２０２が故障していると確定した場合にＯＮにされる第２トルクセンサ故障フラグをＯＮとする（Ｓ８０６）。

【００４１】

一方、第１トルクセンサ２０１から出力された第１トルク検出信号ＴＳ１が、強制振動発生電流に起因するピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを反映していない場合（Ｓ８０４でＮｏ）、第１トルクセンサ２０１が故障していると確定し（Ｓ８０７）、第１トルクセンサ２０１が故障していると確定した場合にＯＮにされる第１トルクセンサ故障フラグをＯＮとする（Ｓ８０８）。

【００４２】

次に、フローチャートを用いて、制御装置１０が行うトルクセンサ故障時制御処理の手順について説明する。

図９は、制御装置１０が行うトルクセンサ故障時制御処理の手順を示すフローチャートである。

制御装置１０は、第１トルクセンサ故障フラグ又は第２トルクセンサ故障フラグがＯＮとなった後、このトルクセンサ故障時制御処理を、例えば予め定めた期間（例えば１ミリ秒）毎に繰り返し実行する。

【００４３】

制御装置１０は、正常と考えられるトルクセンサ２０３（第１トルクセンサ故障フラグがＯＮである場合には第２トルクセンサ２０２、第２トルクセンサ故障フラグがＯＮである場合には第１トルクセンサ２０１）から出力されたトルク検出信号ＴＳが、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを反映しているか否かを判断する（Ｓ９０１）。これは、二次故障診断部８２が、上述した二次故障診断を行うことにより判断する処理である。反映している場合には（Ｓ９０１でＹｅｓ）、本処理の実行を終了する。

他方、反映していない場合には（Ｓ９０１でＮｏ）、正常と考えられるトルクセンサ２０３が故障したと判断し（Ｓ９０２）、第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２が共に故障しているので、正常と考えられるトルクセンサ２０３の故障フラグをＯＮとすると共に、電動モータ１１０の駆動を停止してアシストを停止するべく、その旨の信号を、最終目標電流決定部２９に出力する（Ｓ９０３）。最終目標電流決定部２９は、第１トルクセンサ故障フラグ及び第２トルクセンサ故障フラグがＯＮの場合にＩｔ＝０とする。

【００４４】

なお、上述した実施形態において、制御装置１０（二次故障診断部８２）は、故障検出電流決定部２８が強制振動発生電流を故障検出電流Ｉｆとして決定しているときに、トルクセンサ２０３から出力されたトルク検出信号ＴＳが、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを反映していない場合にはそのトルクセンサが故障していると判断しているが（例えば、Ｓ８０５、Ｓ８０７、Ｓ９０２）、特にかかる態様に限定されない。例えば、制御装置１０（二次故障診断部８２）は、トルクセンサ２０３から出力されたトルク検出信号ＴＳが、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを予め定められた期間（例えば１秒間）に亘って反映していない場合にそのトルクセンサが故障していると判断しても良い。また、制御装置１０（二次故障診断部８２）は、予め定められた期間に亘って反映していないのを、予め定められた回数（例えば３回）継続した場合にそのトルクセンサが故障していると判断しても良い。

【００４５】

以上説明したように、第１の実施形態に係るステアリング装置１００は、操舵トルクＴを検出するトルク検出部の一例としてのトルク検出装置２００と、トルク検出装置２００の故障を検出する故障検出部の一例としての出力部８０と、モータの駆動を制御する制御部の一例としての目標電流算出部２０と、を備えている。そして、目標電流算出部２０は、トルク検出装置２００が有する２つのトルクセンサの内の一方のトルクセンサが故障していることを検出した場合に、２つのトルクセンサの内の他方のトルクセンサにて検出可能なトルクを連続的に発生させる連続トルクを出力させる。つまり、目標電流算出部２０は、仮目標電流Ｉｔｆに強制振動発生電流を加算した電流を目標電流Ｉｔとして設定する。そして、出力部８０は、電動モータ１１０が連続トルク（強制振動発生電流に起因するトルク）を出力した場合に他方のトルクセンサが故障しているか否かを検出し、目標電流算出部２０は、出力部８０が他方のトルクセンサが故障していることを検出した場合には電動モータ１１０の駆動を停止する。つまり、目標電流算出部２０は、目標電流Ｉｔをゼロとする。

また、出力部８０と、目標電流算出部２０とを備える制御装置１０は、トルク検出装置２００の故障を検出する故障検出装置の一例である。

【００４６】

そして、以上のように構成された第１の実施形態に係るステアリング装置１００においては、トルク検出装置２００が故障した場合（第１トルクセンサ２０１又は第２トルクセンサ２０２が故障した場合）、故障検出電流決定部２８が強制振動発生電流を故障検出電流Ｉｆとして決定すると共に、二次故障診断部８２がトルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳに基づいて故障診断を行う。二次故障診断部８２は、故障検出電流決定部２８が強制振動発生電流を故障検出電流Ｉｆとして決定しているときに、トルクセン

サ２０３から出力されたトルク検出信号ＴＳが示す、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因するピニオンシャフト１０６の振動のパターンによって故障を診断する。これにより、ステアリング装置１００は、第１トルクセンサ２０１、第２トルクセンサ２０２のどちらが故障したかを確定することができる。そして、どちらのトルクセンサが故障したかを確定した後も、正常なトルクセンサに故障が生じたか否か診断することができる。つまり、正常なトルクセンサが一つである場合においても、このトルクセンサが正常に動作することを判断できる。それゆえ、正常なトルクセンサから出力されるトルク検出信号ＴＳは信頼できる値である。このように、第１の実施形態に係るステアリング装置１００によれば、第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２の２つのトルクセンサの内の一方のトルクセンサが故障した後も、正常な他方のトルクセンサから出力されるトルク検出信号ＴＳに基づいて電動モータ１１０のアシスト制御を継続することができる。その結果、一方のトルクセンサが故障した後にアシスト制御を停止する構成や操舵角θｓに基づいてアシスト制御を行う構成に比べて、より精度高く運転者の負担を低減させることができる。

【００４７】

また、故障検出電流決定部２８が、ピニオンシャフト１０６の周期的な捩れを生じさせるトルクを連続的に発生させるように電動モータ１１０の駆動を制御することで、ステアリングホイール１０１に伝達されるトルクも連続的なものになる。その結果、ステアリングホイール１０１に生じるトルクが間欠的なものである場合に比べて、操舵フィーリングはよい。

【００４８】

以上のように構成された第１の実施形態に係るステアリング装置１００において、故障検出電流決定部２８は、故障検出電流Ｉｆである強制振動発生電流の周波数を５Ｈｚ以上にすると良い。周波数を５Ｈｚ以上にすることで、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）相当分の電動モータ１１０の駆動トルクによりピニオンシャフト１０６が周期的に捩れることに起因してステアリングホイール１０１が５Ｈｚ以上の周波数で振動する。ステアリングホイール１０１が５Ｈｚ以上の周波数で振動すると、ステアリングホイール１０１を握っている運転者は、ステアリングホイール１０１の振動を感じることが可能となる。その結果、運転者は、トルク検出装置２００が故障していることを把握することが可能となる。

【００４９】

言い換えれば、本実施の形態に係る制御装置１０は、トルク検出装置２００が故障した場合に、故障検出電流決定部２８が５Ｈｚ以上の周波数の強制振動発生電流を故障検出電流Ｉｆとして決定するので、運転者にステアリングホイール１０１の振動を感知させ、トルク検出装置２００が故障していることを把握させることできる。つまり、本実施の形態に係る制御装置１０は、トルク検出装置２００が故障した場合に、ステアリングホイール１０１の振動を用いて、運転者にトルク検出装置２００が故障していることを報知することができる。強制振動発生電流の周波数は６００Ｈｚ以下であることが好ましい。この範囲ではイナーシャによって振動が伝達しづらくなるという現象が発生しづらくなり、より好適に振動を伝えることができるからである。なお、強制振動発生電流の周波数は５００Ｈｚ以下であることがより好ましい。より確度高く振動を伝えることができるからである。さらに、強制振動発生電流の周波数は４００Ｈｚ以下であることがより好ましい。さらに確度高く振動を伝えることができるからである。

【００５０】

故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）に起因する電動モータ１１０の振動の周波数が２０Ｈｚより大きくなると、運転者は、音が発生していることに気づくことが可能となる。その結果、運転者は、トルク検出装置２００が故障していることを音に基づいて把握することが可能となる。

なお、電動モータ１１０の振動の周波数が高くなると、耳障りな音となることから、強制振動発生電流の周波数は７０００Ｈｚ（７ｋＨｚ）以下であることが好ましい。より好

ましくは４０００Ｈｚ（４ｋＨｚ）以下であると良い。
【００５１】
目標電流算出部２０が、例えば１ミリ秒毎に目標電流Ｉｔを算出するのであれば、５００Ｈｚにて正と負の値に周期的に変化する強制振動発生電流を加算した目標電流Ｉｔとすることが可能になる。強制振動発生電流の周波数を７０００Ｈｚ（７ｋＨｚ）とする場合には、目標電流算出部２０が、０．０７ミリ秒毎に目標電流Ｉｔを算出すれば良い。
【００５２】
なお、上述した実施形態においては、最終目標電流決定部２９は、出力部８０から第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２が共に故障している旨の情報を取得した場合には、目標電流Ｉｔをゼロとして決定するが、特にかかる態様に限定されない。例えば、最終目標電流決定部２９は、出力部８０から第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２が共に故障している旨の情報を取得した場合には、目標電流Ｉｔを、直前の値からゼロまで漸減しても良い。
また、目標電流算出部２０は、出力部８０から第１トルクセンサ２０１及び第２トルクセンサ２０２が共に故障している旨の情報を取得した場合には、操舵角算出部７３が算出した操舵角θｓに基づいて目標電流Ｉｔを算出しても良い。
【００５３】
また、減速機構１１１や、ピニオンシャフト１０６及びラック軸１０５の質量などから定まる電動モータ１１０の駆動トルクのピニオンシャフト１０６への伝達係数が小さいほど、ピニオンシャフト１０６が捩れ難くなる。それゆえ、伝達係数が小さいほどトルクセンサ２０３からのトルク検出信号ＴＳは小さくなる。かかる事項に鑑み、伝達係数が小さいほど基準振幅Ａ０を小さくするなど、伝達係数に応じて基準振幅Ａ０を変動させることを例示することができる。
また、トルク検出信号ＴＳの振幅Ａに基づいて診断する場合、車速Ｖｃが小さいほどトルクセンサからのトルク検出信号ＴＳは大きくなることから、車速Ｖｃが小さいほど基準振幅Ａ０を大きくするなど、車速Ｖｃに応じて基準振幅Ａ０を変動させても良い。
【００５４】
＜第２の実施形態＞
第２の実施形態に係るステアリング装置１００は、第１の実施形態に係るステアリング装置１００に対して、二次故障診断部８２が診断する故障診断手法が異なる。以下、第１の実施形態と異なる点について説明する。
【００５５】
図１０は、第２の実施形態に係る故障診断手法を示す図である。
第２の実施形態に係る二次故障診断部８２は、トルクセンサ２０３から出力されたトルク検出信号ＴＳが示す、故障検出電流Ｉｆに起因するピニオンシャフト１０６の振動のパターンによって故障を診断するにあたって、予め定められた基準期間Ｔ３におけるトルクセンサ２０３から出力されるトルク検出信号ＴＳの周波数ｆ（＝１／Ｔｔｓ）に基づいてトルクセンサ２０３の故障を診断する。例えば、二次故障診断部８２は、基準期間Ｔ３におけるトルク検出信号ＴＳの周波数ｆが予め定められた基準周波数以上である場合にトルクセンサ２０３は正常であると判断し、基準期間Ｔ３におけるトルク検出信号ＴＳの周波数ｆが基準周波数未満である場合にトルクセンサ２０３は故障していると判断すると良い。
トルク検出信号ＴＳの周波数ｆに基づいてトルクセンサの故障を診断する場合、伝達係数が小さいほどトルクセンサ２０３からのトルク検出信号ＴＳの応答は遅くなることから、伝達係数が小さいほど基準周波数を小さくするなど、伝達係数に応じて基準周波数を変動させると良い。ただし、基準周波数は予め定められていても良い。
【００５６】
＜第３の実施形態＞
第３の実施形態に係るステアリング装置１００は、第１の実施形態に係るステアリング装置１００に対して、故障検出電流決定部２８が決定する強制振動発生電流の波形が異な

る。以下、第１の実施形態と異なる点について説明する。
電動モータ１１０に振動を発生させるための強制振動発生電流としては、正と負の値に周期的に変化する値であれば第１の実施形態で述べた正弦波状に限定されない。
【００５７】
図１１（ａ）～図１１（ｃ）は、強制振動発生電流の波形の他の例を示す図である。
電動モータ１１０に振動を発生させるための強制振動発生電流の波形は、図１１（ａ）に示すように矩形波状でも良い。
また、強制振動発生電流の波形は、図１１（ｂ）に示すように三角波状でも良い。
また、強制振動発生電流の波形は、図１１（ｃ）に示すようにのこぎり波状でも良い。
図１１（ａ）～図１１（ｃ）に示した波形の強制振動発生電流であっても、トルクセンサ２０３からのトルク検出信号ＴＳに基づいて、二次故障診断部８２は、これらの強制振動発生電流に起因するピニオンシャフト１０６の捩れを反映しているか否か（トルクセンサ２０３が故障しているか否か）を精度高く診断することができる。
【００５８】
＜第４の実施形態＞
第４の実施形態に係るステアリング装置１００は、制御装置１０が、運転者にトルク検出装置２００が故障していることを報知する態様を、トルク検出装置２００が故障した後の（一次故障診断部８１がトルク検出装置２００の故障を検出した後の）経過時間に応じて変える機能を備えている。
【００５９】
制御装置１０は、ステアリングホイール１０１の振動を用いてトルク検出装置２００が故障していることを報知する際に、トルク検出装置２００が故障した後の経過時間が所定時間を越えた場合には、所定時間を越える前よりも振動を大きくしても良い。振動を大きくすることで、トルク検出装置２００が故障していることをより確度高く運転者に報知することが可能となる。振動を大きくするために、制御装置１０は、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）の振幅を大きくすることを例示することができる。また、制御装置１０は、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）の周波数を小さくすることで振動を大きくしても良い。
また、制御装置１０は、ステアリングホイール１０１の振動を用いてトルク検出装置２００が故障していることを報知する際に、トルク検出装置２００が故障した後の経過時間が長くなるほど振動を大きくするようにしても良い。
【００６０】
制御装置１０は、電動モータ１１０の振動の音に基づいてトルク検出装置２００が故障していることを報知する際に、トルク検出装置２００が故障した後の経過時間が所定時間を越えた場合には、所定時間を越える前よりも音を大きくしても良い。音を大きくすることで、トルク検出装置２００が故障していることをより確度高く運転者に報知することが可能となる。音を大きくするために、制御装置１０は、故障検出電流Ｉｆ（強制振動発生電流）の振幅を大きくすることを例示することができる。
また、制御装置１０は、電動モータ１１０の振動の音に基づいてトルク検出装置２００が故障していることを報知する際に、トルク検出装置２００が故障した後の経過時間が長くなるほど振動を大きくするようにしても良い。
【００６１】
なお、第１の実施形態～第４の実施形態に係るステアリング装置１００の特徴点を互いに組み合わせても良い。
また、第１の実施形態～第４の実施形態に係るトルク検出装置２００は、２つのトルクセンサを備えるがトルクセンサの数は２つに限定されない。例えば、３つ以上のトルクセンサを備える構成であっても、上述した制御装置１０により、３つ以上のトルクセンサの内のいずれのトルクセンサが故障しているかを特定することができると共に、正常なトルクセンサが一つとなった場合においても、このトルクセンサが正常動作していることを判断できる。また、１つのトルクセンサを備える構成であっても、上述した制御装置１０に

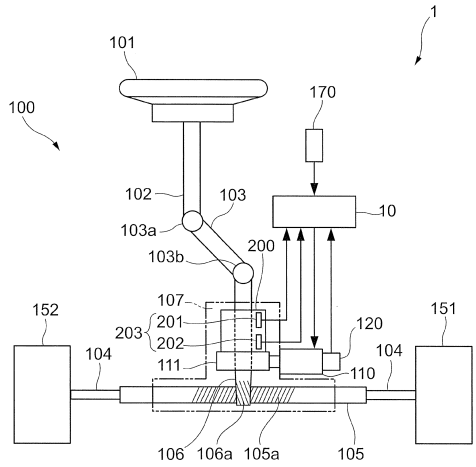
より、このトルクセンサが正常動作していることを判断できる。

【符号の説明】

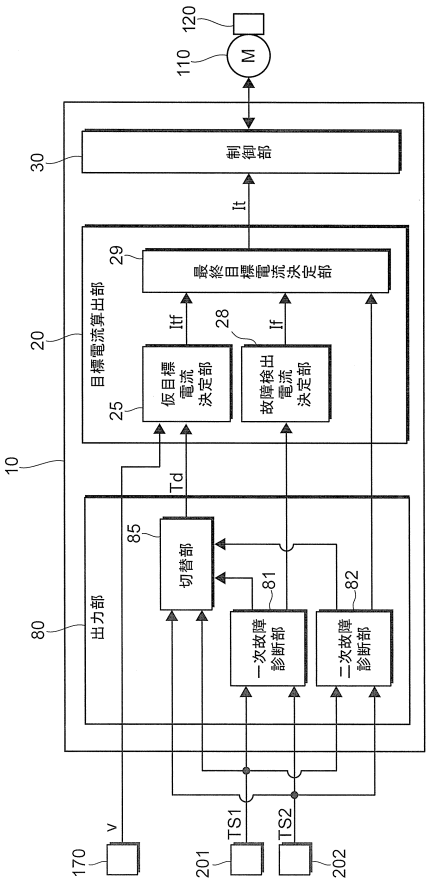
【００６２】

１０…制御装置、２０…目標電流算出部、２８…故障検出電流決定部、８０…出力部、８１…一次故障診断部、８２…二次故障診断部、２００…トルク検出装置、２０１…第１トルクセンサ、２０２…第２トルクセンサ

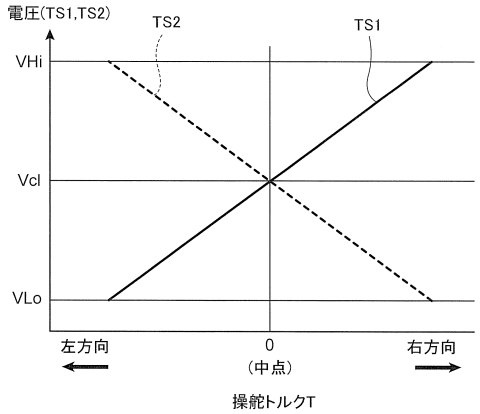
【図１】



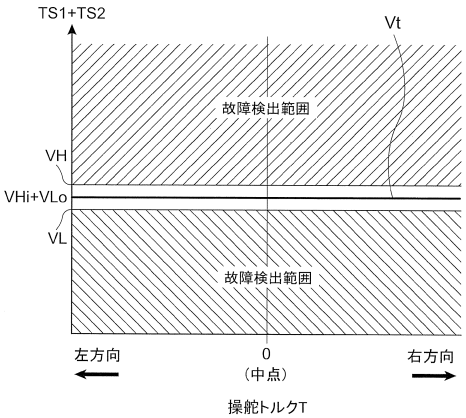
【図２】



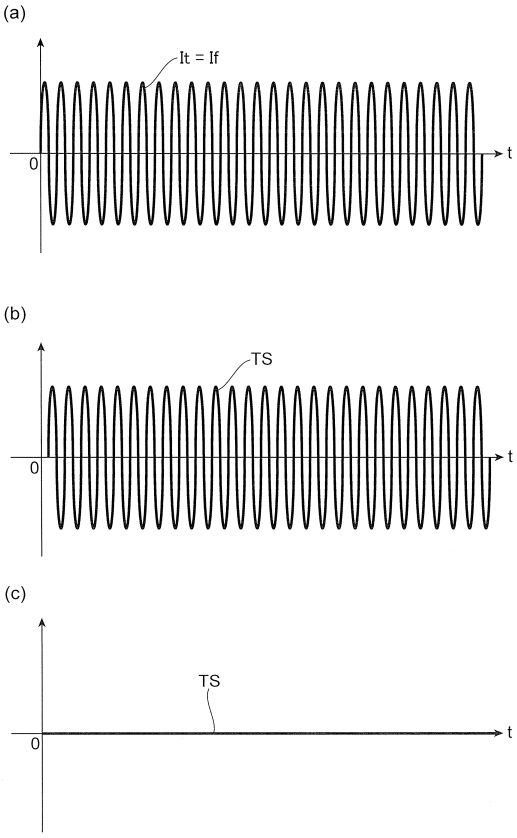
【図３】


電圧(TS1,TS2)
TS2
TS1
VHi
Vcl
VLo
左方向
0
（中点）
右方向
操舵トルクT

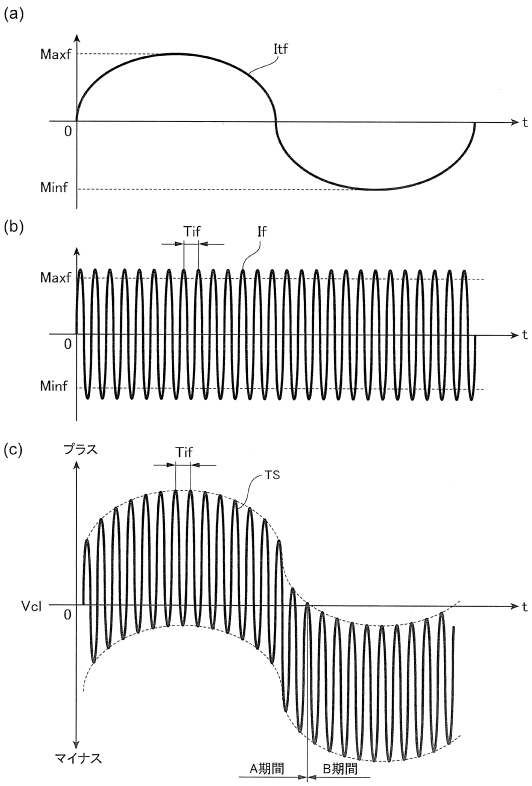
【図４】


TS1+TS2
Vt
故障検出範囲
VH
VHi+VLo
VL
故障検出範囲
左方向
0
（中点）
右方向
操舵トルクT

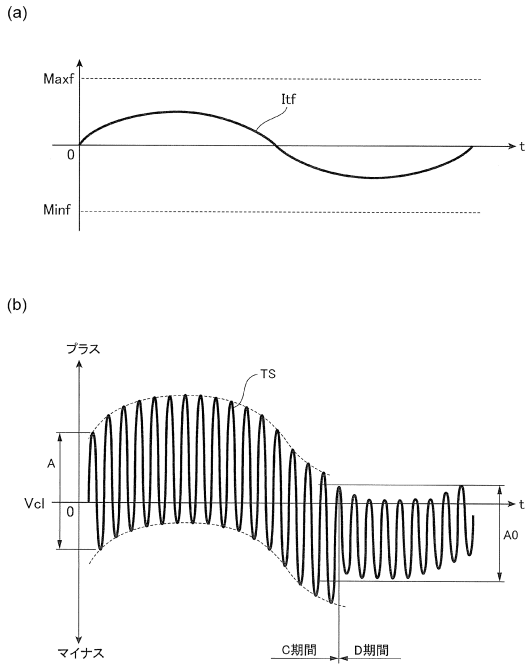
【図５】


(a)
It = If
0
t
(b)
TS
0
t
(c)
TS
0
t

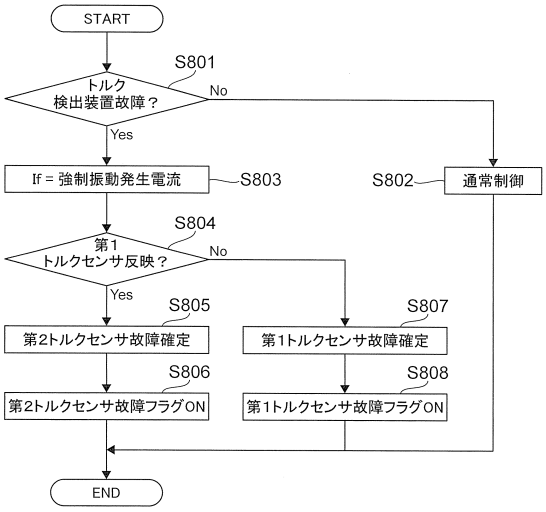
【図６】


(a)
Maxf
Itf
0
t
Minf
(b)
Tif
If
Maxf
0
t
Minf
(c)
プラス
Tif
TS
Vcl
0
t
マイナス
A期間
B期間

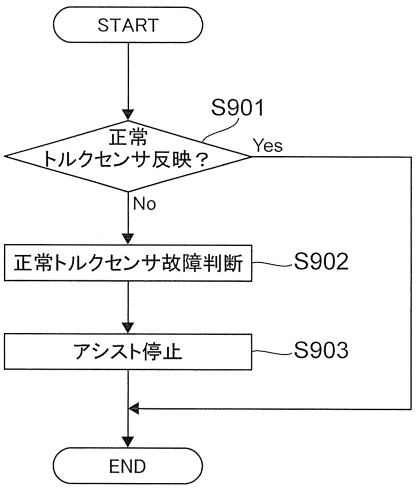
【図７】


(a)
Maxf
Itf
0
t
Minf
(b)
プラス
TS
A
Vcl
0
t
A0
マイナス
C期間
D期間

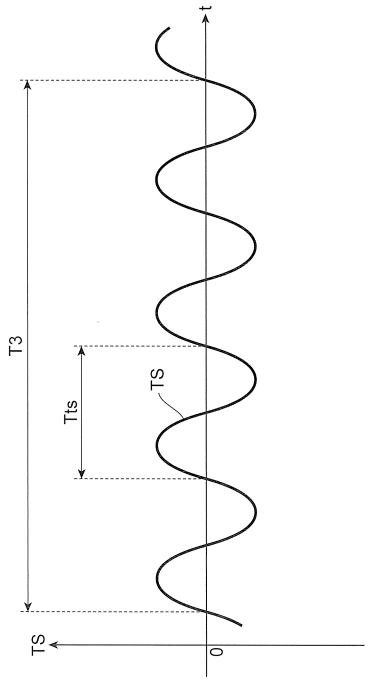
【図８】


START
S801
トルク
検出装置故障？
No
Yes
If = 強制振動発生電流
S803
S802
通常制御
S804
第1
トルクセンサ反映？
No
Yes
S805
S807
第2トルクセンサ故障確定
第1トルクセンサ故障確定
S806
S808
第2トルクセンサ故障フラグON
第1トルクセンサ故障フラグON
END

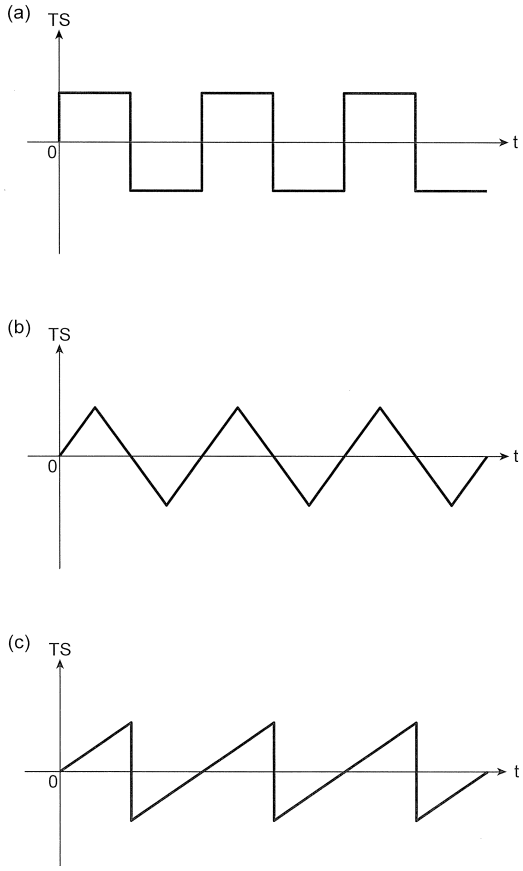
【図９】


START
S901
正常
トルクセンサ反映？
Yes
No
正常トルクセンサ故障判断
S902
アシスト停止
S903
END

【図１０】


t
T3
Tts
TS
TS
0

【図１１】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２０１２－０４６０９４（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１５／０７１９７４（WO，Ａ１）
特開２０１０－１３８６６６（ＪＰ，Ａ）
特許第６２２８３４１（ＪＰ，Ｂ１）
国際公開第２０１６／１０２９６２（WO，Ａ１）
特開２０１２－２１８６４６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G01L 3/00- 3/22
G01L 25/00
B62D 5/04