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

特許第5447291号
(P5447291)

(45)発行日　平成26年3月19日(2014.3.19)　(24)登録日　平成26年1月10日(2014.1.10)

(51)Int.Cl.　　F I
G01D 5/20 (2006.01)　G01D 5/20 110Q
G01B 7/30 (2006.01)　G01B 7/30 M
B62D 5/04 (2006.01)　B62D 5/04

請求項の数 2　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願2010-183971 (P2010-183971)
(22)出願日　平成22年8月19日 (2010.8.19)
(65)公開番号　特開2012-42346 (P2012-42346A)
(43)公開日　平成24年3月1日 (2012.3.1)
審査請求日　平成25年7月23日 (2013.7.23)

(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　100068755
弁理士　恩田　博宣
(74)代理人　100105957
弁理士　恩田　誠
(72)発明者　裏　則岳
大阪府大阪市中央区南船場３丁目５番８号
株式会社ジェイテクト内

審査官　眞岩　久恵

最終頁に続く

(54)【発明の名称】回転角検出装置及び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】
回転角に応じて振幅が変化するとともに前記回転角に応じた振幅変化の位相が均等にずれるように設定された三相以上のセンサ信号を出力するレゾルバと、前記各センサ信号の振幅値に基づいて前記各センサ信号における任意の二信号の組み合わせ数に対応した複数の回転角検出値を演算し、該各回転角検出値に基づいて前記回転角を検出する検出手段と、前記各センサ信号の異常を判定する判定手段とを備えた回転角検出装置であって、
前記判定手段は、前記各センサ信号が正常である場合における該各センサ信号の振幅最大値を保持するとともに、検出される前記各センサ信号の振幅値に対する前記振幅最大値の比が前記各回転角検出値に基づく正弦となる振幅演算式が成立するか否かを判定し、成立した振幅演算式に対応するセンサ信号は正常であると判定すること、を特徴とする回転角検出装置。
【請求項２】
請求項１に記載の回転角検出装置を備えた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、回転角検出装置及び電動パワーステアリング装置に関するものである。
【背景技術】
【０００２】

従来、回転角に応じて振幅が変化する複数のセンサ信号を出力するレゾルバを用いた回転角検出装置がある（例えば、特許文献１参照）。即ち、レゾルバには、測定精度及び耐環境性が高いという特徴がある。このため、電動パワーステアリング装置（ＥＰＳ）のように高い検出精度と信頼性が要求される用途では、こうしたレゾルバを用いた回転角検出装置が広く採用されている（例えば、モータ回転角センサやトルクセンサ等）。そして、例えば、特許文献２に示されるように、そのセンサ信号の出力数を三相以上に拡張することによって、その異常検出性能を含めた更なる信頼性の向上を図ることができる。

【０００３】

即ち、理論上、各センサ信号の振幅値（ピーク・トゥ・ピーク値）の総和は「０」となる。また、各振幅値の二乗和は、一定値となる（例えば、単位円の半径を「１」とすれば、センサ信号数が二相の場合は「１」、三相の場合は「１．５」）。これを利用して、従来、各センサ信号の異常判定は、これら各振幅値の総和（の絶対値）及びその二乗和を監視することにより行われる。更に、特許文献２に記載の回転角検出装置は、三相以上の各センサ信号の振幅値に基づいて、その任意の二信号の組み合わせ数に対応した複数の回転角検出値を演算する。そして、これら各回転角検出値の差分比較、及びその総和を監視することにより、その検出精度の向上が図られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】特開２００５－３５１８４８号公報

【特許文献２】特開２０１０－４８７６０号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

しかしながら、上記従来技術は、その回転角検出過程において何れかのセンサ信号に異常が生じた事実を判定するものであり、その異常が生じたセンサ信号及び残存する正常なセンサ信号を特定するまでには至らない。このため、異常発生後、その残存する正常なセンサ信号を用いて回転角検出を継続する等といった、センサ信号の多重化により得られる利益を十分に享受できていないのが実情であり、この点において、なお改善の余地を残すものとなっていた。

【０００６】

本発明は、上記問題点を解決するためになされたものであって、その目的は、レゾルバが出力するセンサ信号の何れかに異常が生じた後においても、正常なセンサ信号を特定して、その回転角検出を継続することのできる回転角検出装置及び電動パワーステアリング装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

上記問題点を解決するために、請求項１に記載の発明は、回転角に応じて振幅が変化するとともに前記回転角に応じた振幅変化の位相が均等にずれるように設定された三相以上のセンサ信号を出力するレゾルバと、前記各センサ信号の振幅値に基づいて前記各センサ信号における任意の二信号の組み合わせ数に対応した複数の回転角検出値を演算し、該各回転角検出値に基づいて前記回転角を検出する検出手段と、前記各センサ信号の異常を判定する判定手段とを備えた回転角検出装置であって、前記判定手段は、前記各センサ信号が正常である場合における該各センサ信号の振幅最大値を保持するとともに、検出される前記各センサ信号の振幅値に対する前記振幅最大値の比が前記各回転角検出値に基づく正弦となる振幅演算式が成立するか否かを判定し、成立した振幅演算式に対応するセンサ信号は正常であると判定すること、を要旨とする。

【０００８】

即ち、最大振幅値を固定値とすれば、各センサ信号の振幅演算式は、その各振幅値にそれぞれ対応する個々のセンサ信号に依存する値と、各回転角検出値の演算に用いたそれぞ

れ二つのセンサ信号に依存する値との等式に変形することができる。つまり、検出される振幅値を示すセンサ信号、又は各回転角検出値の演算に用いた二つのセンサ信号の少なくとも何れかに異常がある場合には、そのセンサ信号に対応する振幅演算式は成立しない。従って、上記構成によれば、精度よく、正常なセンサ信号を特定することができる。そして、これにより、その残存する正常なセンサ信号に基づいて、回転角検出を継続することができるようになる。

【０００９】

請求項２に記載の発明は、請求項１に記載の回転角検出装置を備えた電動パワーステアリング装置。

上記構成によれば、レゾルバが出力するセンサ信号の何れかに異常が生じた後においても、正常なセンサ信号を特定して、安定的に、そのパワーアシスト制御を継続することができる。

【発明の効果】

【００１０】

本発明によれば、レゾルバが出力するセンサ信号の何れかに異常が生じた後においても、正常なセンサ信号を特定して、その回転角検出を継続することのできる回転角検出装置及び電動パワーステアリング装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１】電動パワーステアリング装置（ＥＰＳ）の概略構成図。

【図２】レゾルバの概略構成図。

【図３】ＥＰＳの制御ブロック図。

【図４】単位円を用いて回転角及び各センサ信号の振幅値並びに当該各センサ信号の振幅最大値の関係を示す説明図。

【図５】振幅演算式成立判定に基づく正常なセンサ信号の特定処理の態様を示す説明図。

【図６】回転角検出及び各センサ信号についての異常判定の処理手順を示すフローチャート。

【図７】トルクセンサの概略構成及び別例の回転角検出の態様を示す説明図。

【図８】別例のレゾルバの概略構成図。

【図９】別例の振幅演算式成立判定に基づく正常なセンサ信号の特定処理の態様を示す説明図。

【発明を実施するための形態】

【００１２】

以下、本発明を具体化した一実施形態を図面に従って説明する。

図１に示すように、本実施形態の電動パワーステアリング装置（ＥＰＳ）１において、ステアリング２が固定されたステアリングシャフト３は、ラックアンドピニオン機構４を介してラック軸５と連結されており、ステアリング操作に伴うステアリングシャフト３の回転は、ラックアンドピニオン機構４によりラック軸５の往復直線運動に変換される。尚、本実施形態のステアリングシャフト３は、コラムシャフト３ａ、インターミディエイトシャフト３ｂ、及びピニオンシャフト３ｃを連結してなる。そして、このステアリングシャフト３の回転に伴うラック軸５の往復直線運動が、同ラック軸５の両端に連結されたタイロッド６を介して図示しないナックルに伝達されることにより、転舵輪７の舵角、即ち車両の進行方向が変更される。

【００１３】

また、ＥＰＳ１は、操舵系にステアリング操作を補助するためのアシスト力を付与する操舵力補助装置としてのＥＰＳアクチュエータ１０と、該ＥＰＳアクチュエータ１０の作動を制御する制御手段としてのＥＣＵ１１とを備えている。

【００１４】

本実施形態のＥＰＳアクチュエータ１０は、駆動源であるモータ１２が減速機構１３を介してコラムシャフト３ａと駆動連結された所謂コラム型のＥＰＳアクチュエータとして

構成されている。尚、本実施形態のモータ１２には、三相（Ｕ，Ｖ，Ｗ）の駆動電力に基づき回転するブラシレスモータが採用されている。そして、ＥＰＳアクチュエータ１０は、同モータ１２の回転を減速してコラムシャフト３ａに伝達することにより、そのモータトルクをアシスト力として操舵系に付与する構成となっている。

【００１５】

一方、ＥＣＵ１１には、トルクセンサ１４及び車速センサ１５が接続されている。そして、そのトルクセンサ１４により検出される操舵トルクτ及び車速センサ１５により検出される車速Ｖに基づいて、操舵系に付与するアシスト力の目標値（目標アシスト力）を決定する。

【００１６】

また、本実施形態のモータ１２には、その回転角（電気角）θを検出するためのモータ回転角センサとして、正弦波状の励磁信号Ｓ_eに基づき回転角θに応じて振幅が変化する複数相のセンサ信号を出力するレゾルバ１６が設けられている。

【００１７】

具体的には、図２に示すように、本実施形態のレゾルバ１６は、励磁信号Ｓ_eに基づく励磁電流が通電される励磁コイル２０と、周方向に均等間隔で配置された三相のセンサコイル２１，２２，２３とを有している。即ち、励磁信号Ｓ_eに基づく励磁コイル２０への通電により、各センサコイル２１，２２，２３には、それぞれ、その励磁コイル２０との位置関係、つまり回転角θに応じた電圧が誘起する。そして、本実施形態のレゾルバ１６は、この各センサコイル２１，２２，２３に生ずる誘起電圧に基づいて、その回転角θに応じた振幅変化の位相が均等にずれた三相のセンサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃを出力する構成となっている。

【００１８】

本実施形態のＥＣＵ１１は、このレゾルバ１６が出力する三相のセンサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃに基づいて、モータ１２の回転角θを検出する。そして、その回転角θを用いた電流制御の実行により、同モータ１２に対して三相の駆動電力を供給する。

【００１９】

即ち、本実施形態のＥＣＵ１１は、その駆動電力の供給を通じてモータ１２の作動、即ちＥＰＳアクチュエータ１０の作動を制御する。そして、上記目標アシスト力に相当するモータトルクが発生するようにモータ電流を制御することにより、最適なアシスト力を操舵系に付与することが可能な構成となっている（パワーアシスト制御）。

【００２０】

次に、本実施形態のＥＰＳの電気的構成について説明する。

図３に示すように、本実施形態のＥＣＵ１１は、モータ制御信号を出力することによりモータ制御手段を構成するマイコン３１と、そのモータ制御信号に基づいてモータ１２に三相の駆動電力を供給する駆動回路３２とを備えている。

【００２１】

詳述すると、本実施形態のマイコン３１は、上記励磁信号Ｓ_eを出力する励磁信号出力手段としての励磁信号出力部３３、及びレゾルバ１６から入力される三相のセンサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃに基づいてモータ１２の回転角θを検出する検出手段としての回転角検出部３４を備えている。また、マイコン３１は、上記操舵トルクτ及び車速Ｖに基づいて、目標アシスト力に対応する電流指令値を演算する電流指令値演算部３５を備えている。具体的には、本実施形態の電流指令値演算部３５は、その入力される操舵トルクτ（の絶対値）が大きいほど、また車速Ｖが小さいほど、より大きなアシスト力を発生させるべき電流指令値を演算する。更に、マイコン３１は、駆動回路３２とモータ１２との間の電力供給経路の途中に設けられた電流センサ３６の出力信号に基づいて、モータ１２の実電流値Ｉを検出する電流検出部３７を備えている。そして、本実施形態のマイコン３１は、その演算される電流指令値に検出される実電流値Ｉを追従させるべく、電流フィードバック制御を実行することにより、その駆動回路３２に出力するモータ制御信号を生成する。

【００２２】

さらに詳述すると、本実施形態のマイコン３１において、電流検出部３７は、実電流値Ｉとしてモータ１２の各相電流値を検出する。そして、マイコン３１は、その各相電流値を二相回転座標系（ｄ／ｑ座標系）のｄ軸電流値及びｑ軸電流値に変換する（ｄ／ｑ変換）。また、電流指令値演算部３５は、その電流指令値Ｉ*としてｑ軸電流指令値を演算する（ｄ軸電流指令値はゼロ）。そして、本実施形態のマイコン３１は、そのｄ／ｑ座標系における電流フィードバック制御の実行により得られる各軸電圧指令値を、再び三相の交流座標系に写像（ｄ／ｑ逆変換）することにより、そのモータ制御信号の基礎となる各相の電圧指令値を演算する構成となっている。

【００２３】

（回転角検出）

次に、本実施形態における回転角検出の態様について説明する。

図３に示すように、本実施形態のマイコン３１（回転角検出部３４）は、上記レゾルバ１６が出力する各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃについて、その励磁信号Ｓ_ｅの一周期（一励磁周期）あたり複数回のサンプリングを実行する。そして、その各サンプリングタイミングにおいて検出した複数のサンプリング値を用いて最小二乗フィッテイングを実行することにより、各励磁周期における各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅値（ａ，ｂ，ｃ、ピーク・トゥ・ピーク値）を演算する。

【００２４】

また、本実施形態の回転角検出部３４は、これら各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅値（ａ，ｂ，ｃ）に基づいて、これら各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃにおける任意の二信号の組み合わせ数に対応した複数（３つ）の回転角検出値（θ１，θ２，θ３）を演算する。そして、これら各回転角検出値（θ１，θ２，θ３）に基づいて、そのモータ１２の回転角θを検出する。

【００２５】

即ち、上記のように、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃは、その振幅変化の位相が均等にずれるように設定されている。従って、図４に示すように、単位円Ｃの概念を導入し、その半径を「（√Ａ）」とすることで、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅演算式は、それぞれ、次のように表すことができる。

【００２６】

ａ＝√Ａ×ｓｉｎ（θ）　　・・・（１）

ｂ＝√Ａ×ｓｉｎ（θ＋１２０°）　　・・・（２）

ｃ＝√Ａ×ｓｉｎ（θ＋２４０°）　　・・・（３）

更に、これら各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅値ａ，ｂ，ｃ間の比（ａ／ｂ，ｂ／ｃ，ｃ／ａ）は、以下の（４）～（６）式に表すことができる。

【００２７】

ａ／ｂ＝ｓｉｎθ／ｓｉｎ（θ＋１２０°）　　・・・（４）

ｂ／ｃ＝ｓｉｎ（θ＋１２０°）／ｓｉｎ（θ＋２４０°）　　・・・（５）

ｃ／ａ＝ｓｉｎ（θ＋２４０°）／ｓｉｎθ　　・・・（６）

そして、これら（１）～（３）式を変形することで、次の（７）～（９）式を得る。

【００２８】

ｔａｎθ＝ａ√３／（２ｂ＋ａ）　　・・・（７）

ｔａｎθ＝（ｂ＋ｃ）√３／（ｃ－ｂ）　　・・・（８）

ｔａｎθ＝－ａ√３／（２ｃ＋ａ）　　・・・（９）

即ち、次の各式に示す正接逆関数（アークタンジェント）を用いることにより、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅値ａ，ｂ，ｃに基づいて、当該各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃにおける任意の二信号の組み合わせ数に対応した３つの回転角検出値θ１，θ２，θ３が得られる。

【００２９】

θ１＝ａｒｃｔａｎ（ａ√３／（２ｂ＋ａ））　　・・・（１０）

θ２＝ａｒｃｔａｎ（（ｂ＋ｃ）√３／（ｃ－ｂ））　　・・・（１１）

θ３＝arctan（－ａ√３／（２ｃ＋ａ））　　・・・（１２）

そして、本実施形態の回転角検出部３４は、次式に示すように、これら各回転角検出値θ１，θ２，θ３の平均をとることにより、そのモータ１２の回転角θを検出する。

【００３０】

θ＝（θ１＋θ２＋θ３）／３　　・・・（１３）

（センサ信号の異常判定）

次に、本実施形態における各センサ信号の異常判定の態様について説明する。

【００３１】

本実施形態のマイコン３１において、上記回転角検出部３４は、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの異常を判定する判定手段としての機能を備えている。

具体的には、回転角検出部３４は、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅値ａ，ｂ，ｃの総和（の絶対値、|ａ＋ｂ＋ｃ|）、及び二乗和（α＝（ａ＾２）＋（ｂ＾２）＋（ｃ＾２）、但し「＾２」は二乗の意味）を監視する。また、回転角検出部３４は、上記のように演算された各回転角検出値θ１，θ２，θ３間の差分値（|θ１－θ２|，|θ２－θ３|，|θ３－θ１|）を監視する。そして、これらの監視する各値が適正範囲を超えた場合には、その回転角検出過程において、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの何れかに異常が生じたものと判定する。

【００３２】

また、本実施形態の回転角検出部３４は、上記異常判定により各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの何れかに異常があると判定した場合には、残存する正常なセンサ信号があるか否かを判定する。そして、当該残存する正常なセンサ信号がある場合には、そのセンサ信号を特定して、その回転角検出を継続する構成となっている。

【００３３】

詳述すると、本実施形態の回転角検出部３４は、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃが正常である場合における当該各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅最大値（√Ａ）を保持する。

ここで、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅最大値は、図４に示す単位円Ｃの半径（√Ａ）に等しい。そして、本実施形態では、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅変化の位相が均等にずれて設定されていることから、当該各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃが正常であるならば、その各振幅値ａ，ｂ，ｃの二乗和αは一定の値となる（α＝（ａ＾２）＋（ｂ＾２）＋（ｃ＾２）＝１．５Ａ）。

【００３４】

本実施形態の回転角検出部３４は、この関係を利用し、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃが正常である場合に、その検出される各振幅値ａ，ｂ，ｃの二乗和αに基づいて、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅最大値（√Ａ）を演算する（√Ａ＝√（α／１．５））。そして、その値を、図示しない記憶領域に保持する。

【００３５】

また、回転角検出部３４は、その保持する振幅最大値（√Ａ）、及び検出される各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅値ａ，ｂ，ｃ、並びに該各振幅値ａ，ｂ，ｃの組合せにより演算される各回転角検出値θ１，θ２，θ３に基づいて、上記（１）～（３）式に示される各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅演算式が成立するか否かを判定する。そして、その成立した振幅演算式に対応するセンサ信号は、正常であると判定する。

【００３６】

即ち、各回転角検出値θ１，θ２，θ３を「θｎ」とすれば、上記（１）～（３）式に示される各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅演算式は、図４に示す単位円Ｃに対応する次式のように変形できる。

【００３７】

sin（θｎ）＝ａ／√Ａ　　・・・（１４）

sin（θｎ＋１２０°）＝ｂ／√Ａ　　・・・（１５）

sin（θｎ＋２４０°）＝ｃ／√Ａ　　・・・（１６）

つまり、その最大振幅値（√Ａ）を固定値とすれば、これら（１４）～（１６）式にお

いて、右辺は、その各振幅値ａ，ｂ，ｃにそれぞれ対応する個々のセンサ信号に依存する値となり、左辺は、その回転角検出値θｎ（ｎ＝１，２，３）の演算に用いた二つのセンサ信号に依存する値となる。従って、右辺の各振幅値ａ，ｂ，ｃを有するセンサ信号、又は左辺の回転角検出値（θｎ）の演算に用いた二つのセンサ信号の少なくとも何れかに異常がある場合には、その両辺が異なる値を示すことになる。

【００３８】

この点に着目し、本実施形態では、上記（１）～（３）式に、その保持する振幅最大値（√Ａ）、及び検出される各振幅値ａ，ｂ，ｃ、並びに各回転角検出値θ１，θ２，θ３を代入した場合に、その振幅演算式が成立する組合せが存在するならば、当該成立した振幅演算式に対応するセンサ信号は正常であると判定する。

【００３９】

即ち、図５に示すように、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃが全て正常である場合には（同図中、上表に示す例）、上記（１）～（３）式に示される各振幅演算式に、各振幅値ａ，ｂ，ｃ及び各回転角検出値θ１，θ２，θ３（並びに振幅最大値（√Ａ））を代入することにより得られる「９通りの組合せ（３×３）」に対応する各式の全てが成立する。

【００４０】

一方、例えば、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃのうちの第３信号（センサ信号Ｓｃ）に異常がある場合（同図中、下表に示す例）、当該センサ信号Ｓｃの振幅値ｃを求める各振幅演算式（同図表中、上記（３）式に対応する第３列の「３通り」の組合せ）は、全て不成立となる。また、同センサ信号Ｓｃを含む二信号の組合せにより演算された回転角検出値θ２，θ３に対応する各振幅演算式（同図表中、第２段及び第３段の「６通り（第３列の２通りは重複）」の組合せ）もまた、全て不成立となる。そして、異常信号であるセンサ信号Ｓｃを含まない組合せ、即ちセンサ信号Ｓａ，Ｓｂに基づき演算された回転角検出値θ１を用いて当該各センサ信号Ｓａ，Ｓｂの振幅値ａ，ｂを求める次の二式（同図表中、第１段の第１列及び第２列に対応する「二通り」）のみが成立する。

【００４１】

ａ＝√Ａ×sin（θ１）　　・・・（１７）

ｂ＝√Ａ×sin（θ１＋１２０°）　　・・・（１８）

このような場合、本実施形態の回転角検出部３４は、その成立した上記（１７）（１８）式に対応する二つのセンサ信号Ｓａ，Ｓｂは正常であると判定する。そして、これらの二信号に基づき演算された回転角検出値θ１を回転角θとすることにより、その回転角検出を継続する構成になっている。

【００４２】

次に、本実施形態における回転角検出及び各センサ信号の異常判定の処理手順について説明する。

図６のフローチャートに示すように、本実施形態のマイコン３１において、回転角検出部３４は、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅値ａ，ｂ，ｃを演算すると（ステップ１０１）、先ず、これら各振幅値ａ，ｂ，ｃの二乗和αを演算する（α＝（ａ＾２）＋（ｂ＾２）＋（ｃ＾２）、ステップ１０２）。次に、回転角検出部３４は、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃに基づいて、当該各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃにおける任意の二信号の組み合わせ数に対応した３つの回転角検出値θ１，θ２，θ３を演算する（ステップ１０３）。そして、回転角検出部３４は、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅値ａ，ｂ，ｃの総和（の絶対値、|ａ＋ｂ＋ｃ|）及び二乗和α、並びに各回転角検出値θ１，θ２，θ３間の差分値（|θ１－θ２|，|θ２－θ３|，|θ３－θ１|）に基づいて、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの異常判定を実行する（ステップ１０４）。

【００４３】

次に、回転角検出部３４は、上記ステップ１０４における異常判定の結果が、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの何れかに異常があることを示すものであるか否かを判定する（ステップ１０５）。そして、その異常判定の結果が「異常なし」を示すものである場合（ステップ１０５：ＮＯ）には、各回転角検出値θ１，θ２，θ３の平均をモータ１２の回転角

θとして検出する（θ＝（θ１＋θ２＋θ３）／３、ステップ１０６）。

【００４４】

更に、本実施形態の回転角検出部３４は、上記ステップ１０６における回転角検出の実行後、上記ステップ１０２において演算された各振幅値ａ，ｂ，ｃの二乗和αに基づいて、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅最大値（√Ａ）を演算する。そして、その値を図示しない記憶領域に保持（更新）する（ステップ１０７）。

【００４５】

一方、上記ステップ１０４における異常判定の結果が「異常あり」を示すものである場合（ステップ１０５：ＹＥＳ）、本実施形態の回転角検出部３４は、その保持する各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅最大値（√Ａ）を読み出す（ステップ１０８）。次に、回転角検出部３４は、上記（１）～（３）式に示される各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅演算式に、その振幅最大値（√Ａ）、及び検出される各振幅値ａ，ｂ，ｃ、並びに各回転角検出値θ１，θ２，θ３を代入することにより得られる各式について成立判定を実行する（振幅演算式成立判定、ステップ１０９）。そして、その「９通りの組合せ（３×３）」に対応する各式のうち（図５参照）、成立する振幅演算式があるか否かを判定し（ステップ１１０）、成立する振幅演算式がある場合（ステップ１１０：ＹＥＳ）には、当該成立する振幅演算式に対応するセンサ信号は正常であると判定する（正常信号特定、ステップ１１１）。

【００４６】

ここで、本実施形態の回転角検出部３４は、レゾルバ１６が出力する三相のセンサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃのうちの任意の二信号の組合せ（３通り）に基づいて、各回転角検出値θ１，θ２，θ３を演算する。従って、これらセンサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃのうちの二つに異常が発生した場合には、正常な信号同士の組合せは存在しなくなる。

【００４７】

即ち、本実施形態の回転角検出部３４は、上記ステップ１１１において、残存する二信号を特定する。そして、同ステップ１１１において残存する二信号が特定された場合、その残存する二つのセンサ信号（の振幅値）に基づき演算される回転角検出値、即ち残存する唯一の回転角検出値を、そのモータ１２の回転角θとして検出する（ステップ１１２）。

【００４８】

そして、上記ステップ１０５における異常判定の結果が「成立なし」を示すものである場合（ステップ１１０：ＮＯ）、その回転角検出を停止する（ステップ１１３）。

本実施形態のマイコン３１（回転角検出部３４）は、このように上記ステップ１０１～ステップ１１３の処理を実行することにより、モータ１２の回転角θを検出する。そして、その回転角検出が可能な場合（通常回転角検出：ステップ１０６、又は二信号使用回転角検出：ステップ１１２）には、その回転角θを用いてパワーアシスト制御を実行し、検出不能な場合（回転角検出停止：ステップ１１３）には、そのパワーアシスト制御を停止する構成となっている。

【００４９】

以上、本実施形態によれば、以下のような作用・効果を得ることができる。

（１）回転角検出部３４は、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅値ａ，ｂ，ｃに基づいて、これら各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃにおける任意の二信号の組み合わせ数に対応した複数（３つ）の回転角検出値（θ１，θ２，θ３）を演算する。また、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃが正常である場合における当該各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅最大値（√Ａ）を保持する。そして、その保持する振幅最大値（√Ａ）、及び検出される各振幅値ａ，ｂ，ｃ、並びに各回転角検出値θ１，θ２，θ３を代入した場合に、その振幅演算式が成立する組合せが存在するならば、当該成立した振幅演算式に対応するセンサ信号は正常であると判定する。

【００５０】

即ち、最大振幅値（√Ａ）を固定値とすれば、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅演算

式は、その各振幅値ａ，ｂ，ｃにそれぞれ対応する個々のセンサ信号に依存する値（右辺）と、各回転角検出値θ１，θ２，θ３の演算に用いたそれぞれ二つのセンサ信号に依存する値（左辺）との等式に変形することができる（上記（１４）～（１６）式参照）。つまり、検出される振幅値（ａ，ｂ，ｃ）を示すセンサ信号、又は各回転角検出値（θｎ）の演算に用いた二つのセンサ信号の少なくとも何れかに異常がある場合には、そのセンサ信号に対応する振幅演算式は成立しない。従って、上記構成によれば、精度よく、正常なセンサ信号を特定することができる。そして、これにより、その残存する正常なセンサ信号に基づいて、回転角検出を継続することができるようになる。

【００５１】

（２）回転角検出部３４は、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃが正常である場合における各振幅値ａ，ｂ，ｃの二乗和αに基づいて、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅最大値（√Ａ）を演算する。即ち、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅変化の位相が均等にずれて設定されている場合、当該各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃが正常であるならば、その各振幅値ａ，ｂ，ｃの二乗和αは一定の値となる（α＝（ａ＾２）＋（ｂ＾２）＋（ｃ＾２）＝１．５Ａ）。従って、上記構成よれば、回転角検出の実行中においても、随時、その各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅最大値（√Ａ）を演算することができる（√Ａ＝√（α／１．５））。その結果、より高精度に各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの異常検出を行うことができるようになる。

【００５２】

（３）回転角検出部３４は、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの何れかに異常があると判定した場合に、残存する正常なセンサ信号があるか否かの判定、及びその特定を実行する。これにより、その演算負荷を抑えることができる。

【００５３】

なお、上記実施形態は以下のように変更してもよい。

・上記実施形態では、本発明を、ＥＰＳ１において回転角検出装置を構成するＥＣＵ１１に具体化した。しかし、これに限らず、ＥＰＳ以外の用途に用いられる回転角検出装置に具体化してもよい。

【００５４】

・また、ＥＰＳ用の回転角センサに具体化する場合においても、そのＥＰＳの形式については、所謂コラム型に限らず、所謂ピニオン型やラックアシスト型であってもよい。

・上記実施形態では、本発明を、回転角検出装置としてのＥＣＵ１１が、モータ１２に設けられたレゾルバ１６が出力する各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃに基づき同モータ１２の回転角θを検出する構成に具体化した。しかし、これに限らず、図７に示すように、ステアリングシャフト３の途中に設けられたトーションバー４０を挟んで一対のレゾルバ４１Ａ，４１Ｂを配置してなる所謂ツインレゾルバ型のトルクセンサ４２を備える構成に具体化してもよい。

【００５５】

即ち、その各レゾルバ４１Ａ，４１Ｂが出力するセンサ信号群Ｓ_sa，Ｓ_sbに基づいて、トーションバー４０を挟んでステアリング２側の第１回転角θs、及びラック軸５側の第２回転角θpを検出する。そして、これら第１回転角θs及び第２回転角θpの差分、即ちトーションバー４０の捻れ角に基づいて操舵トルクτを検出する構成に具体化してもよい。

【００５６】

より具体的には、例えば、トルクセンサ４２を構成する各レゾルバ４１Ａ，４１Ｂは、それぞれ、本実施形態のレゾルバ１６と同様、回転角に応じた振幅変化の位相が均等にずれた複数相のセンサ信号（Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃ）をセンサ信号群Ｓ_sa，Ｓ_sbとして出力する。また、トルク検出装置を構成するＥＣＵ（図示略）は、レゾルバ４１Ａの出力するセンサ信号群Ｓ_saに基づいて上記第１回転角θsを検出する第１の回転角検出手段と、レゾルバ４１Ｂの出力するセンサ信号群Ｓ_sbに基づいて上記第２回転角θpを検出する第２の回転角検出手段とを有する。尚、これら各回転角検出手段については、上記実施形態におけ

るマイコン３１に実装された検出手段及び判定手段と同様のものでよい。そして、これら独立した二つの回転角検出手段が検出する第１回転角θs及び第２回転角θpに基づいて、ステアリングシャフト３を伝達する操舵トルクτを検出する構成とすればよい。

【００５７】

・上記実施形態では、レゾルバ１６は、励磁信号Ｓ_eに基づく励磁電流が通電される励磁コイル２０と、周方向に均等間隔で配置された三相のセンサコイル２１，２２，２３とを有する（図２参照）。そして、その回転角θに応じた振幅変化の位相が均等にずれた三相のセンサ信号Ｓa，Ｓb，Ｓcを出力することとした。しかし、これに限らず、その回転角θに応じた振幅変化の位相が均等にずれるように設定されているものであれば、各センサ信号の相数については、三相以上あれば何相あってもよい。

【００５８】

具体的には、例えば、図８に示すレゾルバ４６のように、励磁コイル５０と、周方向に均等間隔で配置された四相のセンサコイル５１，５２，５３，５４とを備えることで、四相のセンサ信号Ｓa，Ｓb，Ｓc，Ｓdを出力する構成について適用してもよい。

【００５９】

即ち、このレゾルバ４６が出力する各センサ信号Ｓa，Ｓb，Ｓc，Ｓdの振幅演算式は、それぞれ、次のように表すことができる。

ａ＝√Ａ×sin（θ）　　・・・（１９）

ｂ＝√Ａ×sin（θ＋９０°）　　・・・（２０）

ｃ＝√Ａ×sin（θ＋１８０°）　　・・・（２１）

ｄ＝√Ａ×sin（θ＋２７０°）　　・・・（２２）

また、これら各センサ信号Ｓa，Ｓb，Ｓc，Ｓdにおける任意の二信号の組み合わせ数は「６通り」であることから、その組み合わせ数に対応する６つ回転角検出値θ１～θ６が演算される。従って、図９に示すように、上記（１９）～（２０）式に示される各振幅演算式に、各振幅値ａ，ｂ，ｃ，ｄ及び各回転角検出値θ１，θ２，θ３，θ４（並びに振幅最大値（√Ａ））を代入することにより、その「２４通りの組合せ（４×６）」に対応する各振幅演算式が得られる。そして、この場合もまた、上記実施形態と同様、その振幅演算式が成立する組合せが存在するならば、当該成立した振幅演算式に対応するセンサ信号は正常であると判定することができる。

【００６０】

即ち、各センサ信号Ｓa，Ｓb，Ｓc，Ｓdが全て正常である場合には、その「２４通りの組合せ」に対応する各式の全てが成立する。一方、図９に示す例のように、各センサ信号Ｓa，Ｓb，Ｓc，Ｓdのうちの第３信号（センサ信号Ｓc）に異常がある場合、当該センサ信号Ｓcの振幅値ｃを求める各振幅演算式（同図表中、上記（２１）式に対応する第３列の「６通り」の組合せ）は、全て不成立となる。また、同センサ信号Ｓcを含む二信号の組合せにより演算された回転角検出値θ２，θ４，θ６に対応する各振幅演算式（同図表中、第２，第４，第６段の「１２通り（第３列の３通りは重複）」の組合せ）もまた、全て不成立となる。そして、異常信号であるセンサ信号Ｓcを含まない組合せ、即ちセンサ信号Ｓa，Ｓb，Ｓdに基づき演算された回転角検出値θ１，θ３，θ５を用いて当該各センサ信号Ｓa，Ｓb，Ｓdの振幅値ａ，ｂ，ｄを求める各振幅演算式、即ち第１，第３，第５段の第１，第２，第４列に対応する９通りが成立する。従って、その成立した上記９通りの振幅演算式に対応する二つのセンサ信号Ｓa，Ｓb，Ｓdは正常であると判定することができる。

【００６１】

尚、このような４相出力のレゾルバ４６に適用した場合に、その４相のセンサ信号のうちの二相に異常が発生した状況においてもまた、同様の方法で、その残存する二相の正常なセンサ信号を特定することができる。そして、５相以上のセンサ信号を出力するレゾルバに具体化した場合もまた、同様の方法で、その正常なセンサ信号を特定することができる。

【００６２】

・上記実施形態では、回転角検出の実行中において、正常な各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃが正常である場合における各振幅値ａ，ｂ，ｃの二乗和αに基づき各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅最大値（√Ａ）を演算し、その値を随時更新することとした。しかし、これに限らず、更新することなく、その保持する値を使用する構成としてもよい。そして、この場合、必ずしも各振幅値ａ，ｂ，ｃの二乗和αに基づいて演算する構成でなくともよい。

【００６３】

・上記実施形態では、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの何れかに異常があると判定した場合に、残存する正常なセンサ信号があるか否かの判定、及びその特定を実行することとした。しかし、これに限らず、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの振幅値ａ，ｂ，ｃの総和や二乗和に基づく異常判定を行うことなく、正常なセンサ信号の特定、つまり、上記振幅演算式成立判定をもって、各センサ信号Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃの異常判定に代える構成としてもよい。即ち、常時、正常なセンサ信号を特定し、その特定された正常なセンサ信号に基づいて回転角検出を行う構成としてもよい。

【００６４】

次に、以上の実施形態から把握することのできる技術的思想を記載する。

（イ）請求項１に記載の回転角検出装置を備えたトルク検出装置。これにより、センサ信号の何れかに異常が生じた後においても、正常なセンサ信号を特定して、そのトルク検出を継続することができるようになる。

【００６５】

（ロ）前記判定手段は、前記各センサ信号が正常である場合における該各センサ信号の振幅値の二乗和に基づいて、前記振幅最大値を演算すること、を特徴とする回転角検出装置。

【００６６】

即ち、各センサ信号の振幅変化の位相が均等にずれて設定されている場合、当該各センサ信号が正常であるならば、その各振幅値の二乗和は一定の値となる。従って、上記構成よれば、回転角検出の実行中においても、随時、その各センサ信号の振幅最大値を演算することができる。その結果、より高精度に各センサ信号の異常検出を行うことができるようになる。

【００６７】

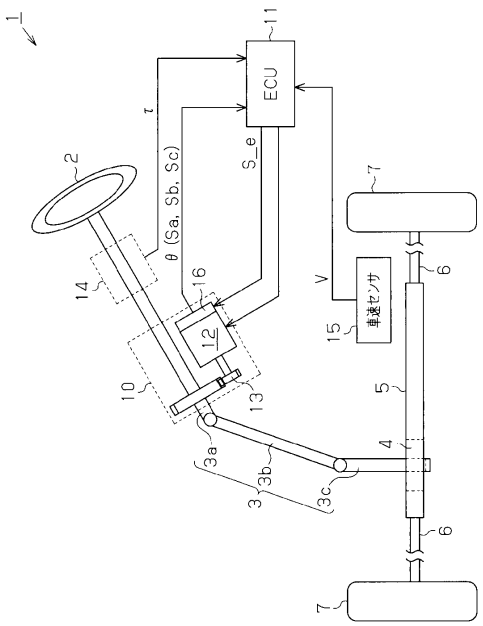
（ハ）前記判定手段は、前記各センサ信号の何れかに異常があると判定した場合に、その正常なセンサ信号の特定を行うこと、を特徴とする回転角検出装置。これにより、その演算負荷の増大を抑えることができる。

【符号の説明】

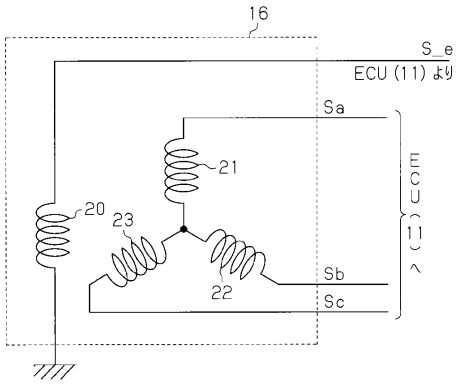
【００６８】

１…電動パワーステアリング装置（ＥＰＳ）、１０…ＥＰＳアクチュエータ、１１…ＥＣＵ、１２…モータ、１６…レゾルバ、２０…励磁コイル、２１，２２，２３…センサコイル、３１…マイコン、３４…回転角検出部、４０…トーションバー、４１Ａ，４１Ｂ…レゾルバ、４２…トルクセンサ、４６…レゾルバ、５０…励磁コイル、５１，５２，５３，５４…センサコイル、θ…回転角、Ｓａ，Ｓｂ，Ｓｃ（，Ｓｄ）…センサ信号、ａ，ｂ，ｃ（，ｄ）…振幅値、α…二乗和、√Ａ…振幅最大値、Ｃ…単位円、θｎ，θ１，θ２，θ３（，θ４，θ５，θ６）…回転角検出値、Ｓ_sa，Ｓ_sb…センサ信号群、θｓ…第１回転角、θｐ…第２回転角。

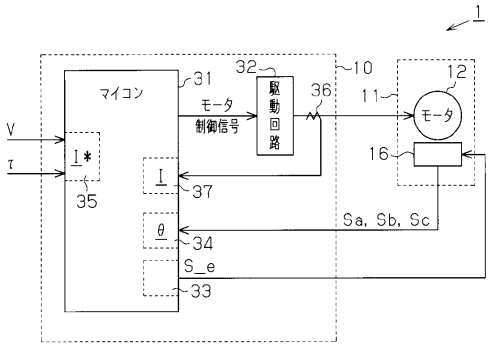
【図１】



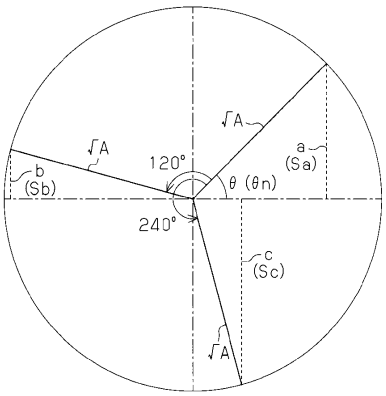
【図２】



【図３】



【図４】



【図５】

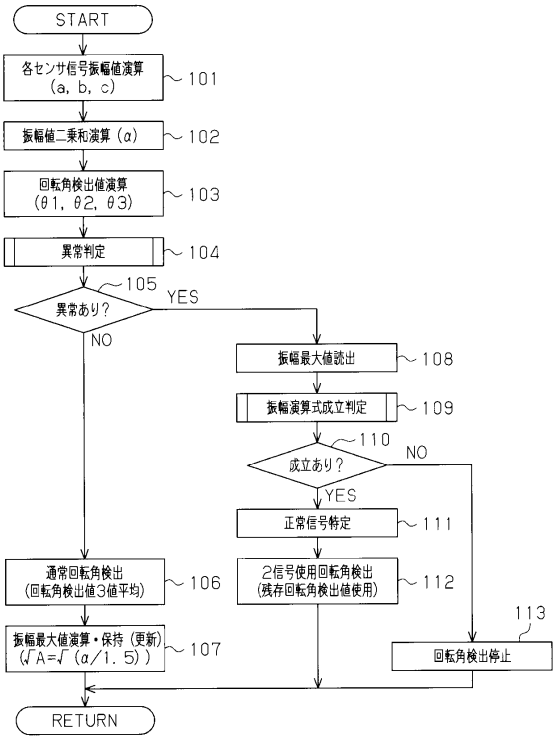
正常時

組合せ	回転角検出値 (θn)	振幅演算式	第1信号 (Sa)	第2信号 (Sb)	第3信号 (Sc)
			a=√A×sin (θn)	b=√A×sin (θn+120°)	c=√A×sin (θn+240°)
		振幅演算式成立判定結果 (各値代入時)			
Sa, Sb	θ1		成立	成立	成立
Sb, Sc	θ2		成立	成立	成立
Sc, Sa	θ3		成立	成立	成立

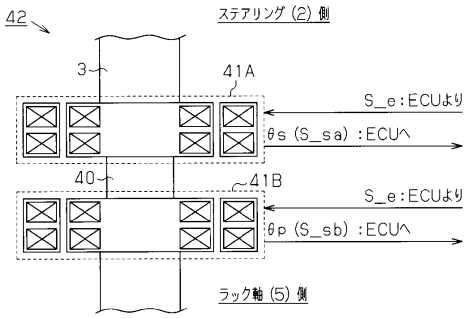
第3信号 (Sc) 異常時

組合せ	回転角検出値 (θn)	振幅演算式	第1信号 (Sa)	第2信号 (Sb)	第3信号 (Sc)
			a=√A×sin (θn)	b=√A×sin (θn+120°)	c=√A×sin (θn+240°)
		振幅演算式成立判定結果 (各値代入時)			
Sa, Sb	θ1		成立	成立	不成立
Sb, Sc	θ2		不成立	不成立	不成立
Sc, Sa	θ3		不成立	不成立	不成立

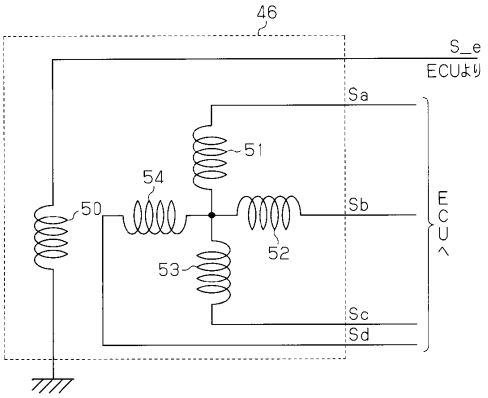
【図６】



【図７】



【図８】



【図９】

第3信号 (Sc) 異常時

組合せ	振幅演算式 (θn)	第1信号 (Sa) a=√Axsin (θn)	第2信号 (Sb) b=√Axsin (θn+90°)	第3信号 (Sc) c=√Axsin (θn+180°)	第4信号 (Sd) d=√Axsin (θn+270°)	振幅演算式成立判定結果 (各値代入時)
Sa, Sb	θ1	成立	成立	不成立	成立	
Sa, Sc	θ2	不成立	不成立	不成立	不成立	
Sa, Sd	θ3	成立	成立	不成立	成立	
Sb, Sc	θ4	不成立	不成立	不成立	不成立	
Sb, Sd	θ5	成立	成立	不成立	成立	
Sc, Sd	θ6	不成立	不成立	不成立	不成立	

フロントページの続き

(56)参考文献 特開２００８－１９６９３７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－４８７６０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｄ　５／００－５／２５２
Ｇ０１Ｄ　５／３９－５／６２
Ｂ６２Ｄ　５／０４
Ｇ０１Ｂ　７／３０