

(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2012-88198

(P2012-88198A)

(43) 公開日 平成24年5月10日(2012.5.10)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G 0 1 L 3/10 (2006.01)	G 0 1 L 3/10 3 1 7	3 D 2 3 3
B 6 2 D 5/04 (2006.01)	B 6 2 D 5/04	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2010-235699 (P2010-235699)
 (22) 出願日 平成22年10月20日 (2010.10.20)

(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 入江 亮
 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) 3D233 CA02 CA13 CA16 CA21 CA28

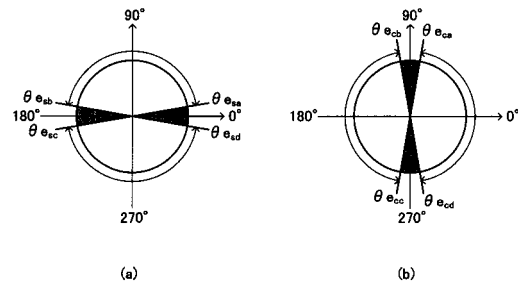
(54) 【発明の名称】 トルク検出装置

(57) 【要約】

【課題】 2相のうち一方の検出コイルが断線している場合に、回転角が一義的に求められる範囲を広くする。

【解決手段】 異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに0°あるいは180°を通過する可能性が無い状況であれば、cos相の振幅のみから電気角 e_n が一義的に決まる。また、異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに90°あるいは270°を通過する可能性が無い状況であれば、sin相の振幅のみから電気角 e_n が一義的に決まる。このことを利用して、トルク演算部は、一演算周期前に算出された異常側レゾルバの電気角に基づいて、正常相の検出コイルの振幅から回転角を一義的に算出することができる状況であるか否かを判断する。

【選択図】 図9



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

操舵ハンドルに連結されたステアリングシャフトの入力側の回転角である第 1 回転角に応じた 2 相の検出信号を出力する一対の検出コイルを有する第 1 レゾルバと、前記ステアリングシャフトの出力側の回転角である第 2 回転角に応じた 2 相の検出信号を出力する一対の検出コイルを有する第 2 レゾルバとを備えたレゾルバユニットと、

前記第 1 レゾルバの出力する 2 相の検出信号に基づいて前記第 1 回転角を演算し、前記第 2 レゾルバの出力する 2 相の検出信号に基づいて前記第 2 回転角を演算する回転角演算手段と、

前記演算された第 1 回転角と第 2 回転角との差に基づいて前記ステアリングシャフトに働く操舵トルクを演算するトルク演算手段と

を備えたトルク検出装置において、

前記第 1 レゾルバあるいは第 2 レゾルバの何れかで、前記一対の検出コイルの一方に異常が発生していることを検出する異常検出手段と、

前記検出コイルの一方に異常が検出されているとき、前記回転角演算手段が前記第 1 回転角および第 2 回転角を演算する演算周期あたりに前記第 1 回転角あるいは前記第 2 回転角が変化する回転角変化量が所定変化量以内であるという回転角変化条件に基づいて、前記異常が検出されている検出コイルを有する異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であるか否かを判断する異常側回転角算出可否判断手段と、

前記異常側回転角算出可否判断手段により、前記異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であると判定されている場合には、前記異常側レゾルバにおける異常が検出されていない検出コイルの検出信号に基づいて、前記回転角変化条件を満たす前記異常側レゾルバの回転角を演算する異常側回転角演算手段と

を備えたことを特徴とするトルク検出装置。

【請求項 2】

前記異常側回転角算出可否判断手段は、前記異常が検出されている検出コイルが \sin 相検出コイルである場合には、前記異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに 0° あるいは 180° を通過する可能性がない状況であるときに、前記異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であると判定し、前記異常が検出されている検出コイルが \cos 相検出コイルである場合には、前記異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに 90° あるいは 270° を通過する可能性がない状況であるときに、前記異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であると判定することを特徴とする請求項 1 記載のトルク検出装置。

【請求項 3】

前記所定変化量は、前記操舵ハンドルが回される操舵速度に基づいて設定されることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のトルク検出装置。

【請求項 4】

前記所定変化量は、前記操舵ハンドルが回される操舵速度の想定される最大値に基づいて設定されることを特徴とする請求項 3 記載のトルク検出装置。

【請求項 5】

前記操舵ハンドルが回される操舵速度を検出する操舵速度検出手段と、

前記操舵速度検出手段により検出された操舵速度が小さくなるほど小さくなる前記所定変化量を設定する変化量設定手段と

を備えた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トルク検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、2つのレゾルバを備え、各レゾルバで検出した回転角に基づいて操舵トルクを検出するトルク検出装置に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

従来から、運転者の操舵操作に対して操舵アシストトルクを付与する電動パワーステアリング装置が知られている。電動パワーステアリング装置は、ステアリングシャフトに働いた操舵トルクをトルク検出装置で検出し、操舵トルクが大きくなるにしたがって増加する目標アシストトルクを算出し、算出した目標アシストトルクが得られるように、電動モータの通電量をフィードバック制御する。従って、電動パワーステアリング装置においては、特に、トルク検出装置の信頼性が要求される。

【0003】

トルク検出装置は、ステアリングシャフトに設けたトーションバーの捩れ角度を検出することにより、この捩れ角度に比例した操舵トルクを算出する。例えば、特許文献1にて提案されたトルク検出装置は、2つのレゾルバを用いてトーションバーの捩れ角度を検出する構成を採用している。このトルク検出装置においては、トーションバーの一端側に第1レゾルバを、他端側に第2レゾルバを設け、第1レゾルバにて検出される第1回転角 θ_1 と第2レゾルバにて検出される第2回転角 θ_2 との差から、操舵トルクを検出する。

10

【0004】

各レゾルバは、励磁用交流信号が供給されてロータコイルに通電する励磁コイルと、トーションバーの周囲に設けられる一对の検出コイル（ \sin 相検出コイル、 \cos 相検出コイル）とを備えている。一对の検出コイルは、互いに電気角で90度（ $\pi/2$ ）ずらして組み付けられる。 \sin 相検出コイルは、ロータの回転角の \sin 値に応じた振幅となる交流信号を出力し、 \cos 相検出コイルは、ロータの回転角の \cos 値に応じた振幅となる交流信号を出力する。従って、レゾルバで検出されるロータの回転角は、 \sin 相検出コイルの出力信号の振幅を \cos 相検出コイルの出力信号の振幅で除算した値のアークトанジェント値に基づいて演算することができる。

20

【0005】

この特許文献1にて提案されたトルク検出装置は、一方のレゾルバにおける検出コイルの一つが断線した場合でも、正常なレゾルバで検出された回転角が所定角度範囲に入っている場合には、断線したコイルと対をなす他方の検出コイルの出力信号を使って回転角を推定する。これは、第1レゾルバにて検出される第1回転角 θ_1 と第2レゾルバにて検出される第2回転角 θ_2 との機械的な角度差が常に一定値以下になるという条件に基づいて、正常なレゾルバで検出された回転角が所定角度範囲に入っている状況においては、断線したコイルと対をなす他方の検出コイルの出力信号から回転角を一義的に求めることができることを利用したものである。従って、正常なレゾルバで検出された回転角が所定角度範囲に入っている状況においては、第1回転角 θ_1 と第2回転角 θ_2 との差から操舵トルクを検出することができる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2003-315182号公報

【発明の概要】

40

【0007】

しかしながら、第1回転角 θ_1 と第2回転角 θ_2 との機械的な角度差が一定値以下になるという条件に基づいて、他方の検出コイル（断線したコイルと対をなす正常な検出コイル）の出力信号から回転角を求める構成においては、一義的に回転角が求められる状況となる正常側レゾルバの回転角の範囲を広くとれない。例えば、通常の操舵操作でトーションバーが捩られる角度の最大値は6[deg]（機械角）程度である。この場合においては、一義的に回転角が求められる状況となる正常側レゾルバの回転角の範囲は全体の半分程度しかなく、トルク検出の継続が難しい。

【0008】

本発明は、上記問題に対処するためになされたもので、2相のうち一方の検出コイルが

50

断線している場合に、回転角が一義的に求められる範囲を広くすることを目的とする。

【0009】

上記目的を達成するために、本発明の特徴は、操舵ハンドルに連結されたステアリングシャフトの入力側の回転角である第1回転角に応じた2相の検出信号を出力する一对の検出コイルを有する第1レゾルバ(110)と、前記ステアリングシャフトの出力側の回転角である第2回転角に応じた2相の検出信号を出力する一对の検出コイルを有する第2レゾルバ(120)とを備えたレゾルバユニット(100)と、前記第1レゾルバの出力する2相の検出信号に基づいて前記第1回転角を演算し、前記第2レゾルバの出力する2相の検出信号に基づいて前記第2回転角を演算する回転角演算手段(S15)と、前記演算された第1回転角と第2回転角との差に基づいて前記ステアリングシャフトに働く操舵トルクを演算するトルク演算手段(S16)とを備えたトルク検出装置において、

前記第1レゾルバあるいは第2レゾルバの何れかで、前記一对の検出コイルの一方に異常が発生していることを検出する異常検出手段(S13)と、前記検出コイルの一方に異常が検出されているとき、前記回転角演算手段が前記第1回転角および第2回転角を演算する演算周期あたりに前記第1回転角あるいは前記第2回転角が変化する回転角変化量が所定変化量以内であるという回転角変化条件に基づいて、前記異常が検出されている検出コイルを有する異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であるか否かを判断する異常側回転角算出可否判断手段(S34, S38, S44, S48)と、前記異常側回転角算出可否判断手段により、前記異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であると判定されている場合には、前記異常側レゾルバにおける異常が検出されていない検出コイルの検出信号に基づいて、前記回転角変化条件を満たす前記異常側レゾルバの回転角を演算する異常側回転角演算手段(S33, S37, S43, S47)とを備えたことにある。

【0010】

本発明においては、ステアリングシャフトの入力側に第1レゾルバが設けられ、出力側に第2レゾルバが設けられる。第1レゾルバは、励磁用交流信号が入力され、一对の検出コイル(sin相検出コイル、cos相検出コイル)から、ステアリングシャフト入力側の回転角である第1回転角に応じた2相の検出信号を出力する。第2レゾルバも同様に、励磁用交流信号が入力され、一对の検出コイル(sin相検出コイル、cos相検出コイル)から、ステアリングシャフト出力側の回転角である第2回転角に応じた2相の検出信号を出力する。2相の検出信号は、入力された励磁用交流信号によって発生する交流電圧信号であって、回転角のsin値に依存して振幅が変化するsin相検出信号と、回転角のcos値に依存して振幅が変化するcos相検出信号とからなる。従って、各レゾルバにおいては、一方の検出コイルからsin相検出信号を出力し、他方の検出コイルからcos相検出信号を出力する。

【0011】

回転角演算手段は、第1レゾルバの出力する2相の検出信号に基づいて第1回転角を演算し、第2レゾルバの出力する2相の検出信号に基づいて第2回転角を演算する。例えば、各レゾルバにおけるsin相検出信号とcos相検出信号との振幅をそれぞれ検出し、sin相検出信号の振幅をcos相検出信号の振幅で除算した値のアークタングェント値に基づいて回転角を演算することができる。トルク演算手段は、こうして演算された第1回転角と第2回転角との差に基づいてステアリングシャフトに働く操舵トルクを演算する。つまり、ステアリングシャフトの捩れ角度を検出することにより、その捩れ角度に比例した操舵トルクを演算する。この場合、ステアリングシャフトには、捩れ角度を検出しやすいように、トーションバーを介装することが好ましい。

【0012】

レゾルバの検出コイルの信号出力ライン等が断線した場合には、検出コイルから正常な検出信号が出力されなくなる。このとき、一对の検出コイルのうち一方のみに異常が発生している状況においては、他方の検出コイルの出力する検出信号の振幅からは、2通りの解(演算結果)が得られて、一義的に回転角を決めることができない。こうした問題に対

10

20

30

40

50

して、従来装置においては、第1回転角と第2回転角との角度差の限界が設定(想定)されていることから、異常が発生していないレゾルバの回転角が所定範囲となる場合にのみ、他方の検出コイルの出力する検出信号の振幅から一義的に回転角を決めることができることに着目して回転角を演算しているが、一義的に回転角を決められる所定範囲が狭い。

【0013】

そこで、本発明においては、異常検出手段が、第1レゾルバあるいは第2レゾルバの何れかで、一对の検出コイルの一方に異常が発生しているか否かを判断する。そして、一对の検出コイルの一方に異常が発生していることが検出されると、回転角演算手段が第1回転角および第2回転角を演算する演算周期あたりに第1回転角あるいは第2回転角が変化する回転角変化量が所定変化量以内であるという回転角変化条件に基づいて、異常が検出されている検出コイルを有する異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であるか否かを判断する。

10

【0014】

各演算手段は、それぞれ決められた演算周期にて繰り返し演算処理を実行する。従って、回転角演算手段の演算周期にステアリングシャフトの回転角速度を乗算すれば一演算周期のあいだに変化した回転角の変化量、つまり、回転角変化量が求められる。一方、操舵ハンドルを回転操作する速度には限界があるため、回転角変化量は、所定変化量以内となる。このため、一演算周期前に算出された異常側レゾルバの電気角に基づいて、異常が検出されている検出コイルを有する異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であるか否かを判断することができる。この場合、異常側回転角算出可否判断手段は、一演算周期前に算出された異常側レゾルバの電気角を表す情報(電気角を導き出せる情報)を記憶する記憶手段(33)を備えているとよい。

20

【0015】

そして、異常側回転角演算手段は、異常側回転角算出可否判断手段により、異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であると判定されている場合には、異常側レゾルバにおける異常が検出されていない検出コイルの検出信号に基づいて、回転角変化条件を満たす異常側レゾルバの回転角を演算する。従って、回転角変化条件を設定することで、異常側レゾルバにおける異常が検出されていない検出コイルの検出信号から回転角を一義的に決めることができる。つまり、異常側レゾルバにおける異常が検出されていない検出コイルの検出信号の振幅から演算される2通りの回転角から、そのうちの1つを一義的に決めることができる。

30

【0016】

この結果、本発明によれば、2相のうち一方の検出コイルが断線している場合であっても、回転角が一義的に求められる範囲が広がるため、操舵トルクを検出できる期間が長くなる。従って、本発明のトルク検出装置を電動パワーステアリング装置のトルク検出用に用いた場合には、適正な操舵アシストを継続できる期間を長くすることができる。

【0017】

本発明の他の特徴は、前記異常側回転角算出可否判断手段は、前記異常が検出されている検出コイルがsin相検出コイルである場合には、前記異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに0°あるいは180°を通過する可能性がない状況であるときに、前記異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であると判定し、前記異常が検出されている検出コイルがcos相検出コイルである場合には、前記異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに90°あるいは270°を通過する可能性がない状況であるときに、前記異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であると判定することにある。

40

【0018】

異常が検出されている検出コイルがsin相検出コイルである場合には、異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに0°あるいは180°を通過できる状況にあると、cos相検出コイルから出力される検出信号の振幅からは一義的に回転角を決めることができない。これは、異常側レゾルバの電気角が、0°あるいは180°を挟んでどちら側に

50

あるのか分からないためである。同様に、異常が検出されている検出コイルが \cos 相検出コイルである場合には、異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに 90° あるいは 270° を通過できる状況にあると、 \sin 相検出コイルから出力される検出信号の振幅からは一義的に回転角を決めることができない。これは、異常側レゾルバの電気角が、 90° あるいは 270° を挟んでどちら側にあるのか分からないためである。

【0019】

そこで、本発明においては、異常側回転角算出可否判断手段が、異常が検出されている検出コイルが \sin 相検出コイルである場合には、異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに 0° あるいは 180° を通過する可能性がない状況であるときに、異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であると判定し、異常が検出されている検出コイルが \cos 相検出コイルである場合には、異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに 90° あるいは 270° を通過する可能性がない状況であるときに、異常側レゾルバの回転角を一義的に算出することができる状況であると判定する。この場合、異常側回転角算出可否判断手段は、例えば、一演算周期前に算出された異常側レゾルバの電気角と、回転角変化条件に基づいて、上記状況であるか否かを判定すればよい。これによれば、2相のうち一方の検出コイルが断線している場合であっても、簡単な条件付けにて、回転角が一義的に求められる範囲を広くすることができる。

10

【0020】

本発明の他の特徴は、前記所定変化量は、前記操舵ハンドルが回される操舵速度に基づいて設定されることにある。

20

【0021】

本発明によれば、操舵ハンドルが回される操舵速度（回転角速度）に基づいて所定変化量が設定されるため、適正な回転角変化条件を設定することができる。

【0022】

本発明の特徴は、前記所定変化量は、前記操舵ハンドルが回される操舵速度の想定される最大値に基づいて設定されることにある。

【0023】

本発明によれば、操舵ハンドルが回される操舵速度の想定される最大値に基づいて所定変化量が設定されるため、確実な回転角変化条件を設定することができる。

【0024】

本発明の他の特徴は、前記操舵ハンドルが回される操舵速度を検出する操舵速度検出手段（S51, S61）と、前記操舵速度検出手段により検出された操舵速度が小さくなるほど小さくなる前記所定変化量を設定する変化量設定手段（S52, S53, S62, S63）とを備えたことにある。

30

【0025】

本発明によれば、操舵速度が小さくなるほど所定変化量を小さく設定するため、回転角が一義的に求められる範囲を更に広くすることができる。

【0026】

尚、上記説明においては、発明の理解を助けるために、実施形態に対応する発明の構成に対して、実施形態で用いた符号を括弧書きで添えているが、発明の各構成要件を前記符号によって規定される実施形態に限定させるものではない。

40

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】実施形態としてのトルク検出装置を備えた電動パワーステアリング装置の概略構成図である。

【図2】トルクセンサユニットの回路構成図である。

【図3】第1条件に基づいて、回転角が一義的に決まる範囲を表す図であって、(a)は \cos 相のみの検出信号から回転角が一義的に決まる範囲を表し、(b)は \sin 相のみの検出信号から回転角が一義的に決まる範囲を表す。

【図4】第2条件に基づいて、回転角が一義的に決まる範囲を表す図であって、(a)は

50

c o s相のみの検出信号から回転角が一義的に決まる範囲を表し、(b)はs i n相のみの検出信号から回転角が一義的に決まる範囲を表す。

【図5】操舵トルク検出ルーチンを表すフローチャートである。

【図6】第1回転角計算ルーチン(サブルーチン)を表すフローチャートである。

【図7】第2回転角計算ルーチン(サブルーチン)を表すフローチャートである。

【図8】第1条件に基づいて、回転角が一義的に決まる範囲を表す図であって、(a)はc o s相のみの検出信号から回転角が一義的に決まる範囲を表し、(b)はs i n相のみの検出信号から回転角が一義的に決まる範囲を表す。

【図9】第2条件に基づいて、回転角が一義的に決まる範囲を表す図であって、(a)はc o s相のみの検出信号から回転角が一義的に決まる範囲を表し、(b)はs i n相のみの検出信号から回転角が一義的に決まる範囲を表す。

【図10】第2条件に基づいて、c o s相のみの検出信号から回転角が一義的に決まる範囲であって、操舵速度によってその範囲が変化することを表す説明図である。

【図11】操舵速度と最大変化量との設定関係を表すグラフである。

【図12】操舵速度と最大変化量との設定関係を表すグラフである。

【図13】操舵速度と最大変化量との設定関係を表すグラフである。

【図14】s i n相の振幅とc o s相の振幅と電気角との関係を表す図である。

【図15】変形例としての追加処理を表すフローチャートである。

【図16】変形例としての追加処理を表すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0028】

以下、本発明の一実施形態について図面を用いて説明する。図1は、実施形態としてのトルク検出装置を備えた車両の電動パワーステアリング装置の概略構成図である。

【0029】

電動パワーステアリング装置は、操舵ハンドル11の操舵により転舵輪である左右前輪FW1, FWを転舵する転舵機構10と、転舵機構10に設けられ操舵アシストトルクを発生するパワーアシスト部20と、パワーアシスト部20の電動モータ21を駆動制御するアシスト制御装置50(以下、アシストECU50と呼ぶ)と、レゾルバユニット100とを備えている。

【0030】

転舵機構10は、ステアリングシャフト12を回転可能に備えている。ステアリングシャフト12の上端には、操舵ハンドル11が一体回転可能に接続され、ステアリングシャフト12の下端には、ピニオンギヤ13が一体回転可能に接続されている。ピニオンギヤ13は、ラックバー14に形成されたラック歯と噛み合ってラックアンドピニオン機構を構成する。ラックバー14の両端には、図示しないタイロッドおよびナックルアームを介して左右前輪FW1, FW2が転舵可能に接続されている。左右前輪FW1, FW2は、ステアリングシャフト12の軸線回りの回転に伴うラックバー14の軸線方向の変位に応じて左右に転舵される。

【0031】

ラックバー14には、パワーアシスト部20が組み付けられている。パワーアシスト部20は、操舵アシスト用の電動モータ21(例えば、3相DCブラシレスモータ)とボールねじ機構22とからなる。電動モータ21の回転軸は、ボールねじ機構22を介してラックバー14に動力伝達可能に接続されていて、その回転により左右前輪FW1, FW2の転舵をアシストする。ボールねじ機構22は、減速器および回転-直線変換器として機能するもので、電動モータ21の回転を減速するとともに直線運動に変換してラックバー14に伝達する。尚、電動モータ21をラックバー14に組み付けるのに代えて、電動モータ21をステアリングシャフト12に組み付けて、電動モータ21の回転を減速器を介してステアリングシャフト12に伝達して同シャフト12を軸線周りに駆動するように構成してもよい。

【0032】

10

20

30

40

50

電動モータ 21 には、その回転軸の回転角を検出するための回転角センサ 61 が設けられている。この回転角センサ 61 は、電動モータ 21 内に組み込まれ、電動モータ 21 の回転子の回転角度位置に応じた検出信号を出力するもので、例えば、レゾルバにより構成される。この回転角センサ 61 の検出信号は、電動モータ 21 の回転角および回転角速度の計算に利用される。一方、この電動モータ 21 の回転角は、操舵角の検出に利用される。また、電動モータ 21 の回転角を時間で微分して得られる回転角速度は、操舵速度に対応するため操舵速度の検出に利用される。

【0033】

ステアリングシャフト 12 は、その軸方向の中間位置にトーションバー 12a が設けられる。ステアリングシャフト 12 において、トーションバー 12a の上端と操舵ハンドル 11 とを連結する部分を入力シャフト 12 in と呼び、トーションバー 12a の下端とピニオンギヤ 13 とを連結する部分を出力シャフト 12 out と呼ぶ。

【0034】

ステアリングシャフト 12 には、レゾルバユニット 100 が設けられる。レゾルバユニット 100 は、トーションバー 12a と、入力シャフト 12 in に組み付けられた第 1 レゾルバ 110 と、出力シャフト 12 out に組み付けられた第 2 レゾルバ 120 とから構成される。第 1 レゾルバ 110 は、入力シャフト 12 in の回転角（トーションバー 12a の一方端位置における回転角であって本発明の第 1 回転角に相当する）に応じた信号を出力し、第 2 レゾルバ 120 は、出力シャフト 12 out の回転角（トーションバー 12a の他方端位置における回転角であって本発明の第 2 回転角に相当する）に応じた信号を出力する。操舵ハンドル 11 が回動操作されると、ステアリングシャフト 12 にトルクが働いてトーションバー 12a が捩れる。トーションバー 12a の捩れ角度は、ステアリングシャフト 12 に働く操舵トルクに比例する。従って、第 1 レゾルバ 110 で検出される第 1 回転角 θ_1 と、第 2 レゾルバ 120 で検出される第 2 回転角 θ_2 との差を求めることでステアリングシャフト 12 に働く操舵トルクを検出することができる。第 1 レゾルバ 110、第 2 レゾルバ 120 は、アシスト ECU 50 に接続されている。

【0035】

アシスト ECU 50 は、マイクロコンピュータおよび信号処理回路等を備えた演算部 30 と、スイッチング回路で構成されるモータ駆動回路 40（例えば、3 相インバータ回路）とを備えている。演算部 30 は、アシスト演算部 31 と、トルク演算部 32 と、記憶部 33 とから構成される。トルク演算部 32 は、レゾルバユニット 100 および回転角センサ 61 と接続されて、ステアリングシャフト 12 に働く操舵トルクを演算により検出する。また、トルク演算部 32 は、運転者に異常を報知するための警告ランプ 65 を接続しており、後述する断線検出時に警告ランプ 65 を点灯する。レゾルバユニット 100 とトルク演算部 32 と記憶部 33 と回転角センサ 61 とからなる構成が本発明のトルク検出装置に相当する。アシスト演算部 31 は、トルク演算部 32 により検出された操舵トルクに基づいて電動モータ 21 の制御量を演算し、それに対応した制御信号をモータ駆動回路 40 に出力する。記憶部 33 は、各種の制御プログラムや制御用データ等を記憶したメモリから構成される。

【0036】

モータ駆動回路 40 は、アシスト演算部 31 からの PWM 制御信号を入力して、内部のスイッチング素子のデューティ比を制御することにより電動モータ 21 への通電量を調整する。モータ駆動回路 40 には、電動モータ 21 に流れる電流を検出する電流センサ 41 が設けられる。

【0037】

アシスト演算部 31 は、電流センサ 41、車速センサ 60、回転角センサ 61 を接続している。車速センサ 60 は、車速 v_x を表す車速検出信号を出力する。また、アシスト演算部 31 は、トルク演算部 32 により算出した操舵トルクの計算結果を入力する。

【0038】

次に、アシスト演算部 31 の実施する操舵アシスト制御について簡単に説明する。アシ

10

20

30

40

50

スト演算部 31 は、車速センサ 60 により検出される車速 v_x と、トルク演算部 32 により算出された操舵トルク T_r とを取得し、取得した車速 v_x と操舵トルク T_r に基づいて、目標アシストトルクを算出する。目標アシストトルクは、図示しないアシストマップ等を参照して、操舵トルク T_r が大きくなるにしたがって増加し、かつ、車速 v_x が増加するにしたがって減少するように設定される。アシスト演算部 31、この目標アシストトルクを発生させるために必要な目標電流を計算し、電流センサ 41 により検出された実電流と目標電流との偏差に基づいて P I 制御（比例積分制御）式等を使って目標指令電圧を計算し、目標指令電圧に応じた P W M 制御信号をモータ駆動回路 40 に出力する。アシスト演算部 31 は、回転角センサ 61 により検出される電動モータ 21 の回転角（電気角）を取得して、回転角に応じた 3 相（U 相、V 相、W 相）の P W M 制御信号を生成することにより、電動モータ 21 に 3 相駆動電圧を印加する。こうして、電動モータ 21 には、電流フィードバック制御により運転者の操舵方向と同じ方向に回転する向きの目標電流が流れる。これにより、運転者の操舵操作が、電動モータ 21 で発生するトルクにより適切にアシストされる。

10

【0039】

次に、レゾルバユニット 100 について説明する。図 2 は、レゾルバユニット 100 の概略回路構成を表す。第 1 レゾルバ 110 は、入力シャフト 12 in をロータとして備える。入力シャフト 12 in の外周側のステータには、ロータの周方向に沿って巻かれた第 1 励磁コイル 111 が固定して設けられている。ロータとなる入力シャフト 12 in には、第 1 ロータコイル 114 が固定して設けられている。第 1 ロータコイル 114 は、ロータの回転に伴って回転する。第 1 ロータコイル 114 は、ロータ内に設けた変圧器（図示略）を介して第 1 励磁コイル 111 と非接触にて電氣的に接続され、第 1 励磁コイル 111 に印加される交流電圧によって通電される。尚、図示しないが、第 1 ロータコイル 114 は、回転角の分解能を高めるために、ロータの機械的な回転角に対して電気角が N 倍となるように等角度間隔で複数配置されている。

20

【0040】

第 1 レゾルバ 110 は、入力シャフト 12 in の外周側のステータに第 1 \sin 相検出コイル 112 および第 1 \cos 相検出コイル 113 とを備えている。第 1 \sin 相検出コイル 112 と第 1 \cos 相検出コイル 113 とは、互いに電気角が $\pi/2$ ずれる位置に配置される。

30

【0041】

第 1 \sin 相検出コイル 112 および第 1 \cos 相検出コイル 113 は、第 1 ロータコイル 114 の回転平面上に配置され、第 1 ロータコイル 114 で発生する磁束により交流電圧信号を出力する。第 1 \sin 相検出コイル 112 および第 1 \cos 相検出コイル 113 で発生する交流電圧信号の振幅値は、第 1 ロータコイル 114 に対する第 1 \sin 相検出コイル 112 および第 1 \cos 相検出コイル 113 の回転位置に応じて変化する。つまり、第 1 \sin 相検出コイル 112 は、入力シャフト 12 in の回転角の \sin 値に応じた振幅となる交流電圧信号を出力し、第 1 \cos 相検出コイル 113 は、入力シャフト 12 in の回転角の \cos 値に応じた振幅となる交流電圧信号を出力する。

40

【0042】

第 1 励磁コイル 111 の一端は、第 1 励磁ライン 210 を介してアシスト E C U 50 の第 1 励磁信号出力ポート 50 pe1 に接続されている。また、第 1 \sin 相検出コイル 112 の一端は、第 1 \sin 相検出ライン 212 を介してアシスト E C U 50 の第 1 \sin 相信号入力ポート 50 ps1 に接続されている。また、第 1 \cos 相検出コイル 113 の一端は、第 1 \cos 相検出ライン 213 を介してアシスト E C U 50 の第 1 \cos 相信号入力ポート 50 pc1 に接続されている。図中において、符号 100 pe1 は、レゾルバユニット 100 の第 1 励磁信号入力ポートであり、符号 100 ps1 は第 1 \sin 相信号出力ポートであり、符号 100 pc1 は第 1 \cos 相信号出力ポートである。従って、ワイヤハーネスとなる部分は、第 1 励磁信号出力ポート 50 pe1 と第 1 励磁信号入力ポート 100 pe1 との間の第 1 励磁ライン 210、第 1 \sin 相信号出力ポート 100 ps1 と第 1 \sin 相信

50

号入力ポート 50 ps1 との間の第 1 sin 相検出ライン 212、第 1 cos 相信号出力ポート 100 pc1 と第 1 cos 相信号入力ポート 50 pc1 との間の第 1 cos 相検出ライン 213 である。

【0043】

また、第 1 励磁コイル 111 の他端、第 1 sin 相検出コイル 112 の他端、第 1 cos 相検出コイル 113 の他端は、共通グラウンドライン 240 を介してアシスト ECU 50 のグラウンドポート 50 pg に接続される。図中において、符号 100 pg はレゾルバユニット 100 のグラウンドポートである。従って、グラウンドポート 50 pg とグラウンドポート 100 pg との間の共通グラウンドライン 240 がワイヤハーネス部分となる。

【0044】

第 2 レゾルバ 120 は、出力シャフト 12 out をロータとして備える。出力シャフト 12 out の外周側のステータには、ロータの周方向に沿って巻かれた第 2 励磁コイル 121 が固定して設けられている。ロータとなる出力シャフト 12 out には、第 2 ロータコイル 124 が固定して設けられている。第 2 ロータコイル 124 は、ロータの回転に伴って回転する。第 2 ロータコイル 124 は、ロータ内に設けた変圧器（図示略）を介して第 2 励磁コイル 121 と非接触にて電氣的に接続され、第 2 励磁コイル 121 に印加される交流電圧によって通電される。尚、図示しないが、第 2 ロータコイル 124 は、回転角の分解能を高めるために、ロータの機械的回転角に対して電気角が N 倍となるように等角度間隔で複数配置されている。

【0045】

第 2 レゾルバ 120 は、出力シャフト 12 out の外周側のステータに第 2 sin 相検出コイル 122 および第 2 cos 相検出コイル 123 とを備えている。第 2 sin 相検出コイル 122 と第 2 cos 相検出コイル 123 とは、互いに電気角が $\pi/2$ ずれる位置に配置される。

【0046】

第 2 sin 相検出コイル 122 および第 2 cos 相検出コイル 123 は、第 2 ロータコイル 124 の回転平面上に配置され、第 2 ロータコイル 124 で発生する磁束により交流電圧信号を出力する。第 2 sin 相検出コイル 122 および第 2 cos 相検出コイル 123 で発生する交流電圧信号の振幅値は、第 2 ロータコイル 124 に対する第 2 sin 相検出コイル 122 および第 2 cos 相検出コイル 123 の回転位置に応じて変化する。つまり、第 2 sin 相検出コイル 122 は、出力シャフト 12 out の回転角の sin 値に応じた振幅となる交流電圧信号を出力し、第 2 cos 相検出コイル 123 は、出力シャフト 12 out の回転角の cos 値に応じた振幅となる交流電圧信号を出力する。

【0047】

第 2 励磁コイル 121 の一端は、第 2 励磁ライン 220 を介してアシスト ECU 50 の第 2 励磁信号出力ポート 50 pe2 に接続されている。また、第 2 sin 相検出コイル 122 の一端は、第 2 sin 相検出ライン 222 を介してアシスト ECU 50 の第 2 sin 相信号入力ポート 50 ps2 に接続されている。また、第 2 cos 相検出コイル 123 の一端は、第 2 cos 相検出ライン 223 を介してアシスト ECU 50 の第 2 cos 相信号入力ポート 50 pc2 に接続されている。図中において、符号 100 pe2 はレゾルバユニット 100 の第 2 励磁信号入力ポートであり、符号 100 ps2 は第 2 sin 相信号出力ポートであり、符号 100 pc2 は第 2 cos 相信号出力ポートである。従って、ワイヤハーネスとなる部分は、第 2 励磁信号出力ポート 50 pe2 と第 2 励磁信号入力ポート 100 pe2 との間の第 2 励磁ライン 220、第 2 sin 相信号出力ポート 100 ps2 と第 2 sin 相信号入力ポート 50 ps2 との間の第 2 sin 相検出ライン 222、第 2 cos 相信号出力ポート 100 pc2 と第 2 cos 相信号入力ポート 50 pc2 との間の第 2 cos 相検出ライン 223 である。

【0048】

また、第 2 励磁コイル 121 の他端、第 2 sin 相検出コイル 122 の他端、第 2 cos 相検出コイル 123 の他端は、共通グラウンドライン 240 を介してアシスト ECU 50

10

20

30

40

50

のグランドポート 50pg に接続される。

【0049】

アシスト ECU 50 は、コイル駆動回路 52 を備えている。このコイル駆動回路 52 は、第 1 励磁コイル駆動回路 521 と第 2 励磁コイル駆動回路 522 とから構成されている。第 1 励磁コイル駆動回路 521 は、一定の周期、振幅の励磁用交流電圧を第 1 励磁信号出力ポート 50pe1 から出力する。以下、第 1 励磁信号出力ポート 50pe1 から出力される励磁用交流電圧を第 1 励磁信号と呼び、第 1 励磁信号の電圧値を第 1 励磁電圧 V_1 と呼ぶ。第 1 励磁電圧 V_1 は、振幅を E_1 とすると、次式にて表される。

$$V_1 = E_1 \cdot \sin(\omega t) \quad \dots (1)$$

【0050】

また、第 2 励磁コイル駆動回路 522 は、第 1 励磁コイル駆動回路 521 から出力される励磁用交流電圧と同じ周波数、かつ、互いに同位相となるように設定された励磁用交流電圧を第 2 励磁信号出力ポート 50pe2 から出力する。以下、第 2 励磁信号出力ポート 50pe2 から出力される励磁用交流電圧を第 2 励磁信号と呼び、第 2 励磁信号の電圧値を第 2 励磁電圧 V_2 と呼ぶ。第 2 励磁電圧 V_2 は、振幅を E_2 とすると、次式にて表される。

$$V_2 = E_2 \cdot \sin(\omega t) \quad \dots (2)$$

【0051】

尚、第 1 励磁電圧 V_1 および第 2 励磁電圧 V_2 の振幅 E_1 、 E_2 は、第 1 レゾルバ 110、第 2 レゾルバ 120 の特性に合わせて設定される。また、第 1 励磁コイル駆動回路 521 と第 2 励磁コイル駆動回路 522 とを共通にして、一つの励磁コイル駆動回路（例えば、第 1 励磁コイル駆動回路 521）から励磁信号をレゾルバユニット 100 に供給するようにしてもよい。この場合には、第 1 励磁ライン 210 と第 2 励磁ライン 220 とを 1 本にすることができる。

【0052】

第 1 励磁信号により第 1 レゾルバ 110 の第 1 励磁コイル 111 が励磁されると、第 1 \sin 相検出コイル 112 および第 1 \cos 相検出コイル 113 で交流電圧が発生する。また、第 2 励磁信号により第 2 レゾルバ 120 の第 2 励磁コイル 121 が励磁されると、第 2 \sin 相検出コイル 122 および第 2 \cos 相検出コイル 123 で交流電圧が発生する。

【0053】

第 1 \sin 相検出コイル 112 から出力される交流電圧信号を第 1 \sin 相検出信号と呼び、その電圧値を第 1 \sin 相検出電圧 $Es1$ と呼ぶ。また、第 1 \cos 相検出コイル 113 から出力される交流電圧信号を第 1 \cos 相検出信号と呼び、その電圧値を第 1 \cos 相検出電圧 $Ec1$ と呼ぶ。第 1 \sin 相検出電圧 $Es1$ 、および、第 1 \cos 相検出電圧 $Ec1$ は次式にて表される。

$$Es1 = K_1 \cdot E_1 \cdot \sin(N \cdot \theta_1) \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad \dots (3)$$

$$Ec1 = K_1 \cdot E_1 \cdot \cos(N \cdot \theta_1) \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad \dots (4)$$

【0054】

また、第 2 \sin 相検出コイル 122 から出力される交流電圧信号を第 2 \sin 相検出信号と呼び、その電圧値を第 2 \sin 相検出電圧 $Es2$ と呼ぶ。また、第 2 \cos 相検出コイル 123 から出力される交流電圧信号を第 2 \cos 相検出信号と呼び、その電圧値を第 2 \cos 相検出電圧 $Ec2$ と呼ぶ。第 2 \sin 相検出電圧 $Es2$ 、および、第 2 \cos 相検出電圧 $Ec2$ は次式にて表される。

$$Es2 = K_2 \cdot E_2 \cdot \sin(N \cdot \theta_2) \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad \dots (5)$$

$$Ec2 = K_2 \cdot E_2 \cdot \cos(N \cdot \theta_2) \cdot \sin(\omega t + \phi) \quad \dots (6)$$

【0055】

ここで、 θ_1 は入力シャフト 12in に直結した第 1 レゾルバ 110 のロータの角度、 θ_2 は出力シャフト 12out に直結した第 2 レゾルバ 120 のロータの角度、 K_1 は第 1 レゾルバ 110 の変圧比、 K_2 は第 2 レゾルバ 120 の変圧比、 N は第 1 レゾルバ 110 および第 2 レゾルバ 120 の軸倍角、 ϕ は励磁信号に対する位相遅れ量（入出力位相差）、

10

20

30

40

50

は励磁周波数、 t は時間を表す。

【0056】

アシストECU50は、第1sin相検出信号、第1cos相検出信号、第2sin相検出信号、第2cos相検出信号を、それぞれ第1sin相検出ライン212、第1cos相検出ライン213、第2sin相検出ライン222、第2cos相検出ライン223を介して入力する。アシストECU50は、第1sin相検出信号、第1cos相検出信号、第2sin相検出信号、第2cos相検出信号をアンプ51s1、51c1、51s2、51c2に入力してグラウンド電位に対する各検出信号の電圧を増幅し、増幅した電圧信号を図示しないA/D変換器によりデジタル値に変換し、このデジタル値をマイコンに入力してトルク計算処理を行う。

10

【0057】

アシストECU50におけるトルク演算部32は、第1sin相検出信号、第1cos相検出信号、第2sin相検出信号、第2cos相検出信号を増幅しデジタル信号に変換してマイコンに入力する回路と、コイル駆動回路52と、マイコンによりトルク計算処理を行う機能部とから構成される。

【0058】

次に、操舵トルクを計算する方法について説明する。まず、第1レゾルバ110、第2レゾルバ120のロータの角度 θ_1 、 θ_2 を検出する方法から説明する。どちらも、同様の方法で計算するため、ここでは、第1レゾルバ110の第1回転角 θ_1 の検出方法を例にとり説明する。

20

【0059】

第1sin相検出信号の振幅は、(3)式から、 $K_1 \cdot E_1 \cdot \sin(N \cdot \theta_1)$ で表される。また、第1cos相検出信号の振幅は、(4)式から、 $K_1 \cdot E_1 \cdot \cos(N \cdot \theta_1)$ で表される。ここで、第1sin相検出信号の振幅を A_{s1} とする($A_{s1} = K_1 \cdot E_1 \cdot \sin(N \cdot \theta_1)$)。また、第1cos相検出信号の振幅を A_{c1} とする($A_{c1} = K_1 \cdot E_1 \cdot \cos(N \cdot \theta_1)$)。アシストECU50のトルク演算部32は、第1sin相検出信号、第1cos相検出信号の電圧値を、第1励磁信号の周期に比べて短い周期でサンプリングする。例えば、第1励磁信号の1周期に対して、等時間間隔で4回、それぞれの検出信号の電圧値をサンプリングする。サンプリングした電圧値は、離散値であるため、最小二乗法を用いて、次式(7)、(8)により振幅 A_{s1} 、 A_{c1} を計算することができる。

30

【数1】

$$A_{s1} = \frac{\sum(\sin(\omega t_i + \alpha) \cdot f_i)}{\sum \sin^2(\omega t_i + \alpha)} \quad \dots(7)$$

$$A_{c1} = \frac{\sum(\cos(\omega t_i + \alpha) \cdot f_i)}{\sum \cos^2(\omega t_i + \alpha)} \quad \dots(8)$$

ここで、 f_i 、 t_i は、それぞれサンプリングされた値と時間(サンプリング周期)の離散値である。

40

【0060】

従って、この2つの式の計算値から次式(9)を計算することができる。

【数2】

$$\tan(N \cdot \theta_1) = \frac{A_{s1}}{A_{c1}} \quad \dots(9)$$

こうして、第1回転角 θ_1 は、次式(10)により計算することができる。

【数3】

$$\theta_1 = \frac{1}{N} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{A_{s1}}{A_{c1}} \right) \quad \dots(10)$$

【0061】

同様に、第2レゾルバ120の第2回転角 θ_2 は、次式(11)により計算することができる。

【数4】

$$\theta_2 = \frac{1}{N} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{A_{s2}}{A_{c2}} \right) \quad \dots(11)$$

10

ここで、 A_{s2} は第2sin相検出信号の振幅($A_{s2} = K_2 \cdot E_2 \cdot \sin(N \cdot \theta_2)$)であり、 A_{c2} は第2cos相検出信号の振幅($A_{c2} = K_2 \cdot E_2 \cdot \cos(N \cdot \theta_2)$)である。

【0062】

こうして第1回転角 θ_1 と第2回転角 θ_2 が求められると、次式(12)により操舵トルクTrを計算することができる。

$$Tr = Kb \cdot (\theta_1 - \theta_2) \quad \dots(12)$$

20

ここで、Kbは、トーシヨンパー12aの捩り特性に応じて決まる比例定数(バネ定数)であり、予め記憶部33に記憶されている。

【0063】

次に、各レゾルバ110, 120において、sin相あるいはcos相のコイルの何れかに異常が発生したときの回転角 θ_1 (θ_2)の検出方法について説明する。まず、第1レゾルバ110のsin相に異常が生じた場合(第1sin相検出信号が正常に検出できない場合)を例にとり説明する。尚、コイルの異常とは、コイル112, 113, 122, 123そのものの異常だけでなく、第1sin相検出ライン212, 第1cos相検出ライン213, 第2sin相検出ライン222, 第2cos相検出ライン223の断線等、正常にsin相検出信号あるいはcos相検出信号がアシストECU50に入力されない状態をいう。

30

【0064】

上述したように第1回転角 θ_1 は、第1sin相検出信号の振幅 A_{s1} と第1cos相検出信号の振幅 A_{c1} から上記式(10)により計算により求められる。このため、振幅 A_{s1} が検出できない場合には、上記式(10)を用いて計算できない。この場合には、異常が検出されていない相のコイル(ここでは、第1cos相検出コイル113)の出力する検出信号の振幅から回転角 θ_1 を計算する。

【0065】

上述したように、第1sin相検出信号の振幅 A_{s1} は、 $A_{s1} = K_1 \cdot E_1 \cdot \sin(N \cdot \theta_1)$ で表され、第1cos相検出信号の振幅 A_{c1} は、 $A_{c1} = K_1 \cdot E_1 \cdot \cos(N \cdot \theta_1)$ で表される。従って、次式(13), (14)の関係式が得られる。

40

【数5】

$$K_1 \cdot E_1 = \sqrt{A_{s1}^2 + A_{c1}^2} \quad \dots(13)$$

$$A_{c1} = K_1 \cdot E_1 \cdot \cos(N \cdot \theta_1) \quad \dots(14)$$

【0066】

ここで、 $K_1 \cdot E_1$ の値は、レゾルバユニット100の正常時において予め測定して記憶しておくことができる。 $K_1 \cdot E_1$ と振幅 A_{s1} , A_{c1} の関係は、図14(a)に示すも

50

のとなる。従って、この2つの式から次式(15)が得られ、次式(16)に示す第1回転角 θ_1 の計算式が得られる。

【数6】

$$\cos(N \cdot \theta_1) = \frac{A_{c1}}{K_1 \cdot E_1} \quad \dots(15)$$

$$\theta_1 = \frac{1}{N} \cdot \cos^{-1} \left(\frac{A_{c1}}{K_1 \cdot E_1} \right) \quad \dots(16)$$

10

【0067】

同様にして、第1レゾルバ110のcos相に異常が生じた場合には、第1sin相検出信号の振幅 A_{s1} から次式(17)に示す回転角 θ_1 の計算式が得られる。

【数7】

$$\theta_1 = \frac{1}{N} \cdot \sin^{-1} \left(\frac{A_{s1}}{K_1 \cdot E_1} \right) \quad \dots(17)$$

【0068】

また、第2レゾルバ120における片側相のコイル異常時においても同様に考える事ができる。sin相に異常が生じた場合には、第2cos相検出信号の振幅 A_{c2} から次式(18)に示す回転角 θ_2 の計算式が得られ、cos相に異常が生じた場合には、第2sin相検出信号の振幅 A_{s2} から次式(19)に示す回転角 θ_2 の計算式が得られる。

20

【数8】

$$\theta_2 = \frac{1}{N} \cdot \cos^{-1} \left(\frac{A_{c2}}{K_2 \cdot E_2} \right) \quad \dots(18)$$

$$\theta_2 = \frac{1}{N} \cdot \sin^{-1} \left(\frac{A_{s2}}{K_2 \cdot E_2} \right) \quad \dots(19)$$

30

尚、 $K_2 \cdot E_2$ と振幅 A_{s2} , A_{c2} の関係は、図14(b)に示すものとなる。

【0069】

こうした計算式(16) , (17) , (18) , (19)は、片側相の検出信号の振幅から回転角を求めるものであるため、2通りの解が出てしまい、一義的に回転角を導き出すことができない。そこで本実施形態においては、以下に示す第1条件と第2条件に基づいて、2通りの解からその1つを特定することができる状況が発生することに着目して、そうした状況となったときに片側相の検出信号の振幅から回転角を一義的に求める。

【0070】

まず、第1条件、および、第1条件に基づいて決まる片側相の検出信号の振幅から回転角を一義的に算出することのできる状況(以下、第1条件下算出可能状況と呼ぶ)について説明する。

40

【0071】

ステアリングシャフト12に設けられているトーションバー12aは、操舵操作により捩られるが、その捩られる角度には限界があり、通常の操舵操作では、例えば、6[deg](機械角)未満となっている。つまり、第1レゾルバ110のロータの角度である第1回転角 θ_1 と、第2レゾルバ120のロータの角度である第2回転角 θ_2 との差が常に6[deg]未満となる。これをレゾルバの電気角で表すと、レゾルバの軸倍角 N を8($N=8$)とした場合には、次式(20)のように、第1レゾルバ110の電気角 e_1 ($=N \cdot \theta_1$) と第2レゾルバ120の電気角 e_2 ($=N \cdot \theta_2$) との差は48[deg]未

50

満となる。

$$| e_1 - e_2 | < 48^\circ \quad \dots (20)$$

このように第1回転角 e_1 と第2回転角 e_2 とが常に所定角度差未満になるという条件が第1条件である。尚、式中においては、[deg]を[°]で表すことにする。

【0072】

cos相の振幅Ac1のみから電気角 e_1 が一義的に決まるのは、次式(21)、(22)に示すように、電気角 e_1 が $0^\circ \sim 180^\circ$ までの範囲であること、あるいは、 $180^\circ \sim 360^\circ$ までの範囲であることが予めわかっている場合である。

$$0^\circ < e_1 < 180^\circ \quad \dots (21)$$

$$180^\circ < e_1 < 360^\circ \quad \dots (22)$$

10

【0073】

従って、第1条件(式(20))から、正常側の第2レゾルバ120の電気角 e_2 が次式(23)、(24)の範囲であれば、cos相の振幅Ac1のみから電気角 e_1 が一義的に決まる。

$$0^\circ + 48^\circ < e_2 < 180^\circ - 48^\circ \quad \dots (23)$$

$$180^\circ + 48^\circ < e_2 < 360^\circ - 48^\circ \quad \dots (24)$$

【0074】

これを整理すると、次式(25)、(26)が得られる。

$$48^\circ < e_2 < 132^\circ \quad \dots (25)$$

$$228^\circ < e_2 < 312^\circ \quad \dots (26)$$

20

従って、第1レゾルバ110のsin相に異常が生じた場合に、正常側の第2レゾルバ120の電気角 e_2 が式(25)、(26)で表される範囲に入っているという状況が第1条件下算出可能状況となる。

【0075】

同様にして、第1レゾルバ110のcos相に異常が生じて、sin相の振幅As1のみしかわからない場合であっても、以下の状況となる場合には、振幅As1のみから第1回転角 e_1 を演算することができる。

【0076】

sin相の振幅As1のみから電気角 e_1 が一義的に決まるのは、次式(27)、(28)に示すように、電気角 e_1 が $-90^\circ \sim 90^\circ$ までの範囲であること、あるいは、 $90^\circ \sim 270^\circ$ までの範囲であることが予めわかっている場合である。

$$-90^\circ < e_1 < 90^\circ \quad \dots (27)$$

$$90^\circ < e_1 < 270^\circ \quad \dots (28)$$

30

【0077】

従って、第1条件(式(20))から、正常側の第2レゾルバ120の電気角 e_2 が次式(29)、(30)の範囲であれば、sin相の振幅As1のみから電気角 e_1 が一義的に決まる。

$$90^\circ + 48^\circ < e_2 < 90^\circ - 48^\circ \quad \dots (29)$$

$$90^\circ + 48^\circ < e_2 < 270^\circ - 48^\circ \quad \dots (30)$$

【0078】

これを整理すると、次式(31)、(32)が得られる。

$$42^\circ < e_2 < 42^\circ \quad \dots (31)$$

$$138^\circ < e_2 < 222^\circ \quad \dots (32)$$

40

尚、電気角を $0^\circ \sim 360^\circ$ のあいだの値で示すと、次式(33)、(34)、(35)にて表すことができる。

$$0^\circ < e_2 < 42^\circ \quad \dots (33)$$

$$138^\circ < e_2 < 222^\circ \quad \dots (34)$$

$$318^\circ < e_2 < 360^\circ \quad \dots (35)$$

従って、第1レゾルバ110のcos相に異常が生じた場合に、正常側の第2レゾルバ120の電気角 e_2 が式(33)~(35)で表される範囲に入っているという状況も

50

第1条件下算出可能状況となる。

【0079】

以下、式(25)、(26)で表される範囲、および、式(33)~(35)で表される範囲を第1条件下算出可能範囲と呼ぶ。

【0080】

同様に、第2レゾルバ120のsin相あるいはcos相のコイルの何れかに異常が発生した場合についても、正常側の第1レゾルバ110の電気角 e_1 に基づいて、電気角 e_1 が予め設定した角度範囲(式(25)、(26)、(33)~(35)において e_2 を e_1 に置き換えた範囲)に入る場合には、第1条件下算出可能状況となるため、振幅As2あるいは振幅Ac2のみから第2回転角 θ_2 を演算することができる。

10

【0081】

図3(a)は、sin相に異常が発生したときの第1条件下算出可能範囲(正常側レゾルバの電気角)を表し、図3(b)は、cos相に異常が発生したときの第1条件下算出可能範囲(正常側レゾルバの電気角)を表す。図中において、矢印で示した範囲が第1条件下算出可能範囲であり、塗りつぶした範囲が回転角の一義的に決まらない範囲である。この図から分かるように、第1条件から設定される第1条件下算出可能範囲は、全体の半分程度であり、余り広くない。

【0082】

そこで、本実施形態においては、さらに第2条件に基づいて、片側相の検出信号の振幅から回転角を一義的に算出することのできる状況(以下、第2条件下算出可能状況と呼ぶ)を設定する。以下、第2条件、および、第2条件下算出可能状況について説明する。

20

【0083】

アシストECU50のトルク演算部32は、後述する操舵トルク検出ルーチン(図3)を一定の短い周期で繰り返して実行する。そして、この操舵トルク検出ルーチンにおいては、その演算周期で第1回転角 θ_1 と第2回転角 θ_2 とがそれぞれ繰り返し計算される。一方、操舵ハンドル11を回転操作する速度には限界があるため、第1回転角 θ_1 、第2回転角 θ_2 が一演算周期のあいだに変化する回転角の変化量、つまり、回転角変化量は所定変化量以内となる。以下、この所定変化量である、回転角変化量の想定される最大値を最大変化量と呼ぶ。また、第1回転角 θ_1 と第2回転角 θ_2 とを区別しない場合には、それらの回転角を回転角と呼び、その回転角を電気角に換算した角度を電気角 e と呼ぶ。また、第1レゾルバ110と第2レゾルバ120とを区別しない場合には、それらを単にレゾルバと呼ぶ。

30

【0084】

最大変化量を電気角で表した値を e_{max} とすると、最大変化量 e_{max} は、次式(36)にて表すことができる。

$$e_{max} = N \cdot (360 / 2) \cdot \max \cdot T_c \cdot \dots \quad (36)$$

ここで、Nはレゾルバの軸倍角、 \max は操舵ハンドル11の回転角速度(以下、操舵速度と呼ぶ)の想定される最大値、 T_c はトルク演算部32が第1回転角 θ_1 と第2回転角 θ_2 とを計算する演算周期である。例えば、 $N = 8$ 、 $T_c = 200 [\mu s]$ 、 $\max = 100 [rad/s]$ とすると、最大変化量 e_{max} は、約 $9.2 [deg]$ となる。

40

【0085】

このように、一演算周期の間に電気角 e が変化する回転角変化量 Δe が最大変化量 e_{max} 未満になるという条件が第2条件である。この第2条件を用いると、異常側レゾルバの一演算周期前に計算した電気角 $e_{(n-1)}$ が以下に示す範囲に入っている状況においては、次の演算周期における電気角 e_n (今回、計算しようとする電気角 e_n)を片側相の振幅から一義的に決めることができる。

【0086】

ここで、sin相に異常が生じた場合の例について説明する。最大変化量 e_{max} を $9.2 [deg]$ とした場合、次式(37)に示すように、異常側レゾルバの一演算周期前に計算した電気角 $e_{(n-1)}$ と、今回計算される電気角 e_n との差は $9.2 [deg]$ 未

50

満となる。

$$|e_n - e_{(n-1)}| < 9.2^\circ \quad \dots (37)$$

【0087】

cos相の振幅のみから電気角 e_n が一義的に決まるのは、電気角 e_n が $0^\circ \sim 180^\circ$ までの範囲であること、あるいは、 $180^\circ \sim 360^\circ$ までの範囲であることが予めわかっている場合である。従って、第2条件(式(37))から、異常側レゾルバの一演算周期前に計算された電気角 $e_{(n-1)}$ が、次式(38)、(39)に示す範囲であれば、cos相の振幅のみから電気角 e_n が一義的に決まる。

$$0^\circ + 9.2^\circ < e_{(n-1)} < 180^\circ - 9.2^\circ \quad \dots (38)$$

$$180^\circ + 9.2^\circ < e_{(n-1)} < 360^\circ - 9.2^\circ \quad \dots (39)$$

10

【0088】

異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに 0° あるいは 180° を通過できる状況にあると、cos相の振幅からは一義的に回転角を決めることができない。これは、cos相の振幅だけでは、異常側レゾルバの電気角が、 0° あるいは 180° を挟んでどちら側にあるのか分からないためである。一方、異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに 0° あるいは 180° を通過する可能性が無い状況であれば、cos相の振幅のみから電気角 e_n が一義的に決まる。こうしたことから、上記の式(38)、(39)が導かれる。

【0089】

式(38)、(39)を整理すると、次式(40)、(41)が得られる。この式(40)、(41)が成立する場合に、cos相の振幅のみから電気角 e_n が一義的に求められる。

20

$$9.2^\circ < e_{(n-1)} < 170.8^\circ \quad \dots (40)$$

$$189.2^\circ < e_{(n-1)} < 350.8^\circ \quad \dots (41)$$

従って、レゾルバのsin相に異常が生じた場合に、異常側レゾルバの一演算周期前に計算された電気角 $e_{(n-1)}$ が式(40)、(41)で表される範囲に入っているという状況が第2条件下算出可能状況となる。

【0090】

同様にして、レゾルバのcos相に異常が生じて、sin相の振幅のみしかわからない場合であっても、以下の状況となる場合には、sin相の振幅のみから異常側レゾルバの回転角を演算することができる。

30

【0091】

sin相の振幅のみから電気角 e_n が一義的に決まるのは、電気角 e_n が $-90^\circ \sim 90^\circ$ までの範囲であること、あるいは、 $90^\circ \sim 270^\circ$ までの範囲であることが予めわかっている場合である。従って、第2条件(式(37))から、異常側レゾルバの一演算周期前に計算された電気角 $e_{(n-1)}$ が、次式(42)、(43)に示す範囲であれば、sin相の振幅のみから電気角 e_n が一義的に決まる。

$$-90^\circ + 9.2^\circ < e_{(n-1)} < 90^\circ - 9.2^\circ \quad \dots (42)$$

$$90^\circ + 9.2^\circ < e_{(n-1)} < 270^\circ - 9.2^\circ \quad \dots (43)$$

【0092】

異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに 90° あるいは 270° を通過できる状況にあると、sin相の振幅からは一義的に回転角を決めることができない。これは、sin相の振幅だけでは、異常側レゾルバの電気角が、 90° あるいは 270° を挟んでどちら側にあるのか分からないためである。一方、異常側レゾルバの電気角が一演算周期のあいだに 90° あるいは 270° を通過する可能性が無い状況であれば、sin相の振幅のみから電気角 e_n が一義的に決まる。こうしたことから、上記の式(42)、(43)が導かれる。

40

【0093】

式(42)、(43)を整理すると、次式(44)、(45)が得られる。この式(44)、(45)が成立する場合に、sin相の振幅のみから電気角 e_n が一義的に求めら

50

れる。

$$-80.8^\circ < e_{(n-1)} < 80.8^\circ \quad \dots (44)$$

$$99.2^\circ < e_{(n-1)} < 260.8^\circ \quad \dots (45)$$

尚、電気角を $0^\circ \sim 360^\circ$ のあいだの値で示すと、次式 (46), (47), (48) にて表すことができる。

$$0^\circ < e_{(n-1)} < 80.8^\circ \quad \dots (46)$$

$$99.2^\circ < e_{(n-1)} < 260.8^\circ \quad \dots (47)$$

$$279.2^\circ < e_{(n-1)} < 360^\circ \quad \dots (48)$$

従って、レゾルバの \cos 相に異常が生じた場合に、異常側レゾルバの一演算周期前に計算された電気角 $e_{(n-1)}$ が式 (46) ~ (48) で表される範囲に入っているという状況も第2条件下算出可能状況となる。

10

【0094】

以下、式 (40), (41) で表される範囲、および、式 (46) ~ (48) で表される範囲を第2条件下算出可能範囲と呼ぶ。

【0095】

図4(a)は、 \sin 相に異常が発生したときの第2条件下算出可能範囲 ($e_{(n-1)}$ の範囲) を表し、図4(b)は、 \cos 相に異常が発生したときの第2条件下算出可能範囲 ($e_{(n-1)}$ の範囲) を表す。図中において、矢印で示した範囲が第2条件下算出可能範囲であり、塗りつぶした範囲が回転角の一義的に決まらない範囲である。この図から分かるように、第2条件から設定される第2条件下算出可能範囲は、非常に広い。

20

【0096】

次に、トルク演算部32の実行する操舵トルク検出処理について説明する。図5は、操舵トルク検出ルーチンを表すフローチャートである。操舵トルク検出ルーチンは、記憶部33に制御プログラムとして記憶されている。操舵トルク検出ルーチンは、イグニッションキーがオン状態となっている期間において、所定の短い周期で繰り返し実行される。尚、トルク演算部32は、操舵トルク検出ルーチンの起動とともに、コイル駆動回路52を作動させて、第1励磁信号出力ポート50pe1および第2励磁信号出力ポート50pe2から第1励磁信号および第2励磁信号の出力を開始する。

【0097】

トルク演算部32は、ステップS11において、第1 \sin 相検出信号、第1 \cos 相検出信号、第2 \sin 相検出信号、第2 \cos 相検出信号の電圧値である第1 \sin 相検出電圧 E_{s1} 、第1 \cos 相検出電圧 E_{c1} 、第2 \sin 相検出電圧 E_{s2} 、第2 \cos 相検出電圧 E_{c2} を読み込む。トルク演算部32は、操舵トルク検出ルーチンとは別のサンプリングルーチンで、励磁信号の1周期あたりに例えば4回のサンプリング周期で検出電圧 E_{s1} 、 E_{c1} 、 E_{s2} 、 E_{c2} の瞬時値をサンプリングしている。このステップS11では、そのサンプリングルーチンでサンプリングした検出電圧 E_{s1} 、 E_{c1} 、 E_{s2} 、 E_{c2} の読み込みを行う。続いて、ステップS12において、読み込んだ検出電圧 E_{s1} 、 E_{c1} 、 E_{s2} 、 E_{c2} に基づいて、最小二乗法を用いて、第1 \sin 相検出信号、第1 \cos 相検出信号、第2 \sin 相検出信号、第2 \cos 相検出信号の振幅 A_{s1} 、 A_{c1} 、 A_{s2} 、 A_{c2} を計算する。

30

【0098】

続いて、トルク演算部32は、ステップS13において、検出電圧 E_{s1} 、 E_{c1} 、 E_{s2} 、 E_{c2} に基づいて、コイル異常のチェックを行う。コイル異常は、レゾルバ内のコイル異常だけでなく、第1 \sin 相検出ライン212、第1 \cos 相検出ライン213、第2 \sin 相検出ライン222、第2 \cos 相検出ライン223の断線等により生じる。主に、ワイヤハーネス部の断線、コネクタ外れが原因となる。こうしたコイル異常が発生した場合には、検出電圧 E_{s1} 、 E_{c1} 、 E_{s2} 、 E_{c2} が正常な範囲から外れる。例えば、検出電圧 E_{s1} 、 E_{c1} 、 E_{s2} 、 E_{c2} のオフセットが生じたり、交流電圧信号が検出されなくなったりする。ステップS13は、こうした検出電圧 E_{s1} 、 E_{c1} 、 E_{s2} 、 E_{c2} が正常範囲から外れているか否かに基づいて、コイル異常の有無、および、コイル異常が発生しているレゾルバ、および、その異常相を特定する。

40

50

【 0 0 9 9 】

続いて、トルク演算部 3 2 は、ステップ S 1 4 において、コイル異常チェック結果に基づいて、コイル異常が発生しているか否かを判断し、コイル異常が発生していない場合には (S 1 4 : N o)、ステップ S 1 5 において、第 1 レゾルバ 1 1 0 の第 1 回転角 θ_1 と第 2 レゾルバ 1 2 0 の第 2 回転角 θ_2 を上記式 (1 0)、(1 1) を用いて計算する。

【 0 1 0 0 】

続いて、トルク演算部 3 2 は、ステップ S 1 6 において、上記式 (1 2) を用いて、操舵トルク T_r を計算し、次に、ステップ S 1 7 において、計算した操舵トルク T_r をアシスト演算部 3 1 に出力する。アシスト演算部 3 1 は、この操舵トルク T_r を使って目標アシストトルクを計算し、この目標アシストトルクに対応した目標電流が電動モータ 2 1 に流れるようにモータ駆動回路 4 0 に P W M 制御信号を出力する。これにより、電動モータ 2 1 から適正な操舵アシストトルクが発生する。

10

【 0 1 0 1 】

トルク演算部 3 2 は、ステップ S 1 7 の処理を行うと、操舵トルク検出ルーチンを一旦終了する。そして、所定の短い周期にて操舵トルク検出ルーチンを繰り返す。こうした処理が繰り返されて、ステップ S 1 3 において、コイル異常が検出されると、ステップ S 1 4 の判断は「 Y e s 」となる。この場合、トルク演算部 3 2 は、その処理をステップ S 1 8 に進めて、車両の警告ランプ 6 5 を点灯させる。これにより、ドライバーに対して異常が生じていることを認識させることができる。尚、ドライバーに異常報知する手段は、警告ランプ 6 5 に限らず、異常メッセージをスピーカや表示画面等を使って報知するようにしてもよい。

20

【 0 1 0 2 】

続いて、トルク演算部 3 2 は、ステップ S 1 9 において、コイル異常が 1 つ (1 相) であるか否かを判断する。コイル異常が複数である場合には、操舵トルク T_r を検出することができないため、ステップ S 2 0 において、アシスト演算部 3 1 に対して、トルク検出不能信号を出力する。これにより、アシスト演算部 3 1 は、操舵アシスト制御を停止する。

【 0 1 0 3 】

一方、コイル異常が 1 つである場合 (S 1 9 : Y e s) には、ステップ S 2 1 において、コイル異常が発生しているのは第 1 レゾルバ 1 1 0 であるか否かを判断する。第 1 レゾルバ 1 1 0 である場合には、ステップ S 2 2 において、第 2 レゾルバ 1 2 0 の第 2 回転角 θ_2 を上記式 (1 1) を用いて計算する。

30

【 0 1 0 4 】

続いて、トルク演算部 3 2 は、ステップ S 3 0 において、第 1 レゾルバ 1 1 0 の第 1 回転角 θ_1 を演算する。この処理については、図 6 のフローチャートを使って後述する。ステップ S 3 0 において、第 1 レゾルバ 1 1 0 の第 1 回転角 θ_1 が算出されると、この第 1 回転角 θ_1 とステップ S 2 2 で算出した第 2 回転角 θ_2 とに基づいて操舵トルク T_r を計算し (S 1 6)、その操舵トルク T_r をアシスト演算部 3 1 に出力する (S 1 7)。

【 0 1 0 5 】

また、ステップ S 2 1 において、コイル異常が発生しているのは第 1 レゾルバ 1 1 0 ではない、つまり、第 2 レゾルバ 1 2 0 でコイル異常が発生していると判断した場合には、ステップ S 2 3 において、第 1 レゾルバ 1 1 0 の第 1 回転角 θ_1 を上記式 (1 0) を用いて計算する。

40

【 0 1 0 6 】

続いて、トルク演算部 3 2 は、ステップ S 4 0 において、第 2 レゾルバ 1 1 0 の第 2 回転角 θ_2 を演算する。この処理については、図 7 のフローチャートを使って後述する。ステップ S 4 0 において、第 2 レゾルバ 1 2 0 の第 2 回転角 θ_2 が算出されると、この第 2 回転角 θ_2 とステップ S 2 3 で算出した第 1 回転角 θ_1 とに基づいて操舵トルク T_r を計算し (S 1 6)、その操舵トルク T_r をアシスト演算部 3 1 に出力する (S 1 7)。

【 0 1 0 7 】

50

尚、トルク演算部 3 2 は、ステップ S 1 5 , S 3 0 , S 4 0 で第 1 回転角 θ_1 および第 2 回転角 θ_2 を計算するたびに、その回転角 θ_1, θ_2 に対応した電気角 e_1, e_2 を、一演算周期前の電気角 $e_{1(n-1)}, e_{2(n-1)}$ として記憶部 3 3 に記憶更新する。この記憶部 3 3 に記憶された電気角 $e_{1(n-1)}, e_{2(n-1)}$ は、後述する第 2 条件下算出可能状況の判定に利用される。

【0108】

次に、ステップ S 3 0 の第 1 レゾルバ 1 1 0 の第 1 回転角 θ_1 の計算処理について説明する。図 6 は、上記操舵トルク検出ルーチンにおいてステップ S 3 0 として組み込まれた第 1 回転角計算ルーチン(サブルーチン)を表すフローチャートである。

【0109】

第 1 回転角計算ルーチンが起動すると、トルク演算部 3 2 は、まず、ステップ S 3 1 において、第 1 レゾルバ 1 1 0 のコイル異常は \sin 相で発生しているのか否かを判断する。コイル異常が \sin 相で発生している場合には、ステップ S 3 2 において、先のステップ S 2 2 で算出した第 2 レゾルバ 1 2 0 の第 2 回転角 θ_2 に対応する電気角 e_2 が第 1 条件下算出可能範囲に入っているか否かを判断する。つまり、第 1 条件下算出可能状況にあるか否かを判断する。この第 1 条件下算出可能範囲は、図 8 (a) に矢印で示す範囲である。

【0110】

このステップ S 3 2 においては、電気角 e_2 が次式 (4 9) , (5 0) にて表される範囲に入っているか否かについて判断される。

$$e_{s1} < e_2 < e_{s2} \quad \dots (49)$$

$$e_{s3} < e_2 < e_{s4} \quad \dots (50)$$

この第 1 条件下算出可能範囲は、上述したように、第 1 回転角 θ_1 と第 2 回転角 θ_2 とが所定角度差未満になるという第 1 条件から設定されるもので、例えば、上述した例を使えば、 $e_{s1} = 48^\circ, e_{s2} = 132^\circ, e_{s3} = 228^\circ, e_{s4} = 312^\circ$ である。この所定角度差は、電気角で示すと $(e_{s1} - 0^\circ) [deg]$ で表される角度である。

【0111】

トルク演算部 3 2 は、電気角 e_2 が第 1 条件下算出可能範囲に入っていると判定した場合 (S 3 2 : Yes) には、ステップ S 3 3 において、上記式 (1 6) を用いて第 1 回転角 θ_1 を計算する。この場合、第 1 回転角 θ_1 は、2 通りの解が存在するが、上記の第 1 条件を満たす解を選択する。つまり、第 2 回転角 θ_2 との差が所定角度差未満 (上記の例では $6 [deg]$) となる第 1 回転角 θ_1 を選択する。

【0112】

トルク演算部 3 2 は、こうして第 1 レゾルバ 1 2 0 の第 1 回転角 θ_1 を算出すると、その処理をメインルーチンである操舵トルク検出ルーチンのステップ S 1 6 に進める。

【0113】

トルク演算部 3 2 は、ステップ S 3 2 において、「No」と判定した場合、つまり、電気角 e_2 が第 1 条件下算出可能範囲に入っていないと判定した場合には、その処理をステップ S 3 4 に進める。このステップ S 3 4 においては、一演算周期前に算出した第 1 回転角 $\theta_1(n-1)$ に対応する電気角 $e_{1(n-1)}$ が第 2 条件下算出可能範囲に入っているか否かを判断する。つまり、第 2 条件下算出可能状況にあるか否かを判断する。この第 2 条件下算出可能範囲は、図 9 (a) に矢印で示す範囲である。

【0114】

このステップ S 3 4 においては、電気角 $e_{1(n-1)}$ が次式 (5 1) , (5 2) にて表される範囲に入っているか否かについて判断される。

$$e_{sa} < e_{1(n-1)} < e_{sb} \quad \dots (51)$$

$$e_{sc} < e_{1(n-1)} < e_{sd} \quad \dots (52)$$

この第 2 条件下算出可能範囲は、上述したように、一演算周期の間に電気角 e が変化できる回転角変化量 e が最大変化量 e_{max} 未満になるという第 2 条件から設定さ

10

20

30

40

50

れるもので、例えば、上述した例を使えば、 $e_{s_a} = 9.2^\circ$ 、 $e_{s_b} = 170.8^\circ$ 、 $e_{s_c} = 189.2^\circ$ 、 $e_{s_d} = 350.8^\circ$ である。この最大変化量 e_{max} は、電気角で示すと $(e_{s_a} - 0^\circ)$ [deg]で表される角度である。尚、一演算周期前において第1回転角 θ_1 が算出できていなかった場合には、上記の判断をすることができないので、ステップS34の判断は「No」となる。

【0115】

トルク演算部32は、電気角 $e_{1(n-1)}$ が第2条件下算出可能範囲に入っていると判定した場合(S34: Yes)には、ステップS33において、上記式(16)を用いて第1回転角 θ_1 を計算する。この場合、第1回転角 θ_1 においても、2通りの解が存在するが、上記の第2条件を満たす解を選択する。つまり、一演算周期前に算出した第1回転角 $\theta_{1(n-1)}$ に対応する電気角 $e_{1(n-1)}$ との差が最大変化量 e_{max} 未満となる第1回転角 θ_1 を選択する。

10

【0116】

トルク演算部32は、こうして第1レゾルバ120の第1回転角 θ_1 を算出すると、その処理をメインルーチンである操舵トルク検出ルーチンのステップS16に進める。

【0117】

一方、ステップS34において、「No」と判定した場合、つまり、第2条件下算出可能状況ではないと判定した場合には、トルク演算部32は、その処理をステップS35に進める。このステップS35においては、一演算周期前の操舵トルク検出ルーチンで計算した操舵トルク $T_r(n-1)$ を、今回の操舵トルク T_r に設定し、その操舵トルク T_r をアシスト演算部31に出力する(S17)。

20

【0118】

また、ステップS31において、「No」、つまり、第1レゾルバ110のコイル異常がcos相で発生していると判定した場合には、ステップS36において、先のステップS22で算出した第2レゾルバ120の第2回転角 θ_2 に対応する電気角 e_2 が第1条件下算出可能範囲に入っているか否かを判断する。つまり、第1条件下算出可能状況にあるか否かを判断する。この第1条件下算出可能範囲は、図8(b)に矢印で示す範囲である。

【0119】

このステップS36においては、電気角 e_2 が次式(53)、(54)、(55)にて表される範囲に入っているか否かについて判断される。

30

$$0^\circ < e_2 < e_{c1} \quad \dots (53)$$

$$e_{c2} < e_2 < e_{c3} \quad \dots (54)$$

$$e_{c4} < e_2 < 360^\circ \quad \dots (55)$$

この第1条件下算出可能範囲は、上述したように、第1回転角 θ_1 と第2回転角 θ_2 とが所定角度差未満になるという第1条件から設定されるもので、例えば、上述した例を使えば、 $e_{c1} = 42^\circ$ 、 $e_{c2} = 138^\circ$ 、 $e_{s4} = 222^\circ$ 、 $e_{c4} = 318^\circ$ である。この所定角度差は、電気角で示すと、例えば、 $(90^\circ - e_{c1})$ [deg]で表される角度である。

【0120】

40

トルク演算部32は、電気角 e_2 が第1条件下算出可能範囲に入っていると判定した場合(S36: Yes)には、ステップS37において、上記式(17)を用いて第1回転角 θ_1 を計算する。この場合、第1回転角 θ_1 は、2通りの解が存在するが、上記の第1条件を満たす解を選択する。つまり、第2回転角 θ_2 との差が所定角度差未満(上記の例では6[deg])となる第1回転角 θ_1 を選択する。

【0121】

トルク演算部32は、こうして第1レゾルバ110の第1回転角 θ_1 を算出すると、その処理をメインルーチンである操舵トルク検出ルーチンのステップS16に進める。

【0122】

トルク演算部32は、ステップS36において、「No」と判定した場合、つまり、電

50

気角 e_2 が第 1 条件下算出可能範囲に入っていないと判定した場合には、その処理をステップ S 3 8 に進める。このステップ S 3 8 においては、一演算周期前に算出した第 1 回転角 $\theta_1(n-1)$ に対応する電気角 $e_1(n-1)$ が第 2 条件下算出可能範囲に入っているか否かを判断する。つまり、第 2 条件下算出可能状況にあるか否かを判断する。この第 2 条件下算出可能範囲は、図 9 (b) に矢印で示す範囲である。

【 0 1 2 3 】

このステップ S 3 8 においては、電気角 $e_1(n-1)$ が次式 (5 6) , (5 7) , (5 8) にて表される範囲に入っているか否かについて判断される。

$$0^\circ < e_1(n-1) < e_{c a} \quad \dots (56)$$

$$e_{c b} < e_1(n-1) < e_{c c} \quad \dots (57)$$

$$e_{c d} < e_1(n-1) < 360^\circ \quad \dots (58)$$

この第 2 条件下算出可能範囲は、上述したように、一演算周期の間に電気角 e が変化できる回転角変化量 e が最大変化量 e_{max} 未満になるという第 2 条件から設定されるもので、例えば、上述した例を使えば、 $e_{c a} = 80.8^\circ$, $e_{c b} = 99.2^\circ$, $e_{c c} = 260.8^\circ$, $e_{c d} = 279.2^\circ$ である。この最大変化量 e_{max} は、電気角で示すと、例えば、 $(90^\circ - e_{c a}) [deg]$ で表される角度である。尚、一演算周期前において第 1 回転角 θ_1 が算出できていなかった場合には、上記の判断をすることができないので、ステップ S 3 8 の判断は「No」となる。

【 0 1 2 4 】

トルク演算部 3 2 は、電気角 $e_1(n-1)$ が第 2 条件下算出可能範囲に入っていると判定した場合 (S 3 8 : Yes) には、ステップ S 3 7 において、上記式 (1 7) を用いて第 1 回転角 θ_1 を計算する。この場合、第 1 回転角 θ_1 は、2 通りの解が存在するが、上記の第 2 条件を満たす解を選択する。つまり、一演算周期前に算出した第 1 回転角 $\theta_1(n-1)$ に対応する電気角 $e_1(n-1)$ との差が最大変化量 e_{max} 未満となる第 1 回転角 θ_1 を選択する。

【 0 1 2 5 】

トルク演算部 3 2 は、こうして第 1 レゾルバ 1 2 0 の第 1 回転角 θ_1 を算出すると、その処理をメインルーチンである操舵トルク検出ルーチンのステップ S 1 6 に進める。

【 0 1 2 6 】

一方、ステップ S 3 8 において、「No」と判定した場合、つまり、第 2 条件下算出可能状況ではないと判定した場合には、トルク演算部 3 2 は、その処理を上述のステップ S 3 5 に進める。

【 0 1 2 7 】

次に、ステップ S 4 0 の第 2 レゾルバ 1 2 0 の第 2 回転角 θ_2 の計算処理について説明する。図 7 は、上記操舵トルク検出ルーチンにおいてステップ S 4 0 として組み込まれた第 2 回転角計算ルーチン (サブルーチン) を表すフローチャートである。尚、第 2 回転角計算ルーチンは、上述した第 1 回転角計算ルーチンと同様に考えればよい。

【 0 1 2 8 】

第 2 回転角計算ルーチンが起動すると、トルク演算部 3 2 は、まず、ステップ S 4 1 において、第 2 レゾルバ 1 1 0 のコイル異常は \sin 相で発生しているのか否かを判断する。コイル異常が \sin 相で発生している場合には、ステップ S 4 2 において、先のステップ S 2 3 で算出した第 1 レゾルバ 1 1 0 の第 1 回転角 θ_1 に対応する電気角 e_1 が第 1 条件下算出可能範囲に入っているか否かを判断する。つまり、第 1 条件下算出可能状況にあるか否かを判断する。この第 1 条件下算出可能範囲は、図 8 (a) に矢印で示す範囲である。

【 0 1 2 9 】

このステップ S 4 2 においては、電気角 e_1 が次式 (5 9) , (6 0) にて表される範囲に入っているか否かについて判断される。

$$e_{s 1} < e_1 < e_{s 2} \quad \dots (59)$$

$$e_{s 3} < e_1 < e_{s 4} \quad \dots (60)$$

【0130】

トルク演算部32は、電気角 e_1 が第1条件下算出可能範囲に入っていると判定した場合 (S42: Yes) には、ステップS43において、上記式(18)を用いて第2回転角 θ_2 を計算する。この場合、第1回転角 θ_1 との差が所定角度差未満となる第2回転角 θ_2 を選択する。

【0131】

トルク演算部32は、電気角 e_1 が第1条件下算出可能範囲に入っていないと判定した場合には (S42: No)、ステップS44において、一演算周期前に算出した第2回転角 $\theta_2(n-1)$ に対応する電気角 $e_2(n-1)$ が第2条件下算出可能範囲に入っているか否かを判断する。つまり、第2条件下算出可能状況にあるか否かを判断する。この第2条件下算出可能範囲は、図9(a)に矢印で示す範囲である。

10

【0132】

このステップS44においては、電気角 $e_2(n-1)$ が次式(61)、(62)にて表される範囲に入っているか否かについて判断される。

$$e_{sa} < e_2(n-1) < e_{sb} \quad \dots (61)$$

$$e_{sc} < e_2(n-1) < e_{sd} \quad \dots (62)$$

【0133】

トルク演算部32は、電気角 $e_2(n-1)$ が第2条件下算出可能範囲に入っていると判定した場合 (S44: Yes) には、ステップS43において、上記式(18)を用いて第2回転角 θ_2 を計算する。この場合、一演算周期前に算出した第2回転角 $\theta_2(n-1)$ に対応する電気角 $e_2(n-1)$ との差が最大変化量 e_{max} 未満となる第2回転角 θ_2 を選択する。

20

【0134】

トルク演算部32は、こうして第2レゾルバ120の第2回転角 θ_2 を算出すると、その処理をメインルーチンである操舵トルク検出ルーチンのステップS16に進める。

【0135】

一方、ステップS44において、「No」と判定した場合は、つまり、第2条件下算出可能状況ではないと判定した場合には、ステップS45において、一演算周期前の操舵トルク検出ルーチンで計算した操舵トルク $T_r(n-1)$ を、今回の操舵トルク T_r に設定し、その操舵トルク T_r をアシスト演算部31に出力する (S17)。

30

【0136】

また、ステップS41において、「No」、つまり、第2レゾルバ120のコイル異常がcos相で発生していると判定した場合には、ステップS46において、先のステップS23で算出した第1レゾルバ110の第1回転角 θ_1 に対応する電気角 e_1 が第1条件下算出可能範囲に入っているか否かを判断する。つまり、第1条件下算出可能状況にあるか否かを判断する。この第1条件下算出可能範囲は、図8(b)に矢印で示す範囲である。

【0137】

このステップS46においては、電気角 e_1 が次式(63)、(64)、(65)にて表される範囲に入っているか否かについて判断される。

40

$$0^\circ < e_1 < e_{c1} \quad \dots (63)$$

$$e_{c2} < e_1 < e_{c3} \quad \dots (64)$$

$$e_{c4} < e_1 < 360^\circ \quad \dots (65)$$

【0138】

トルク演算部32は、電気角 e_1 が第1条件下算出可能範囲に入っていると判定した場合 (S46: Yes) には、ステップS47において、上記式(19)を用いて第2回転角 θ_2 を計算する。この場合、第1回転角 θ_1 との差が所定角度差未満となる第2回転角 θ_2 を選択する。

【0139】

トルク演算部32は、こうして第2レゾルバ120の第2回転角 θ_2 を算出すると、そ

50

の処理をメインルーチンである操舵トルク検出ルーチンのステップS 1 6に進める。

【0 1 4 0】

トルク演算部3 2は、ステップS 4 6において、「No」と判定した場合、つまり、電気角 e_1 が第1条件下算出可能範囲に入っていないと判定した場合には、ステップS 4 8において、一演算周期前に算出した第2回転角 $\theta_2(n-1)$ に対応する電気角 $e_2(n-1)$ が第2条件下算出可能範囲に入っているか否かを判断する。つまり、第2条件下算出可能状況にあるか否かを判断する。この第2条件下算出可能範囲は、図9(b)に矢印で示す範囲である。

【0 1 4 1】

このステップS 4 8においては、電気角 $e_2(n-1)$ が次式(66), (67), (68)にて表される範囲に入っているか否かについて判断される。

$$0^\circ < e_2(n-1) < e_{ca} \quad \dots (66)$$

$$e_{cb} < e_2(n-1) < e_{cc} \quad \dots (67)$$

$$e_{cd} < e_2(n-1) < 360^\circ \quad \dots (68)$$

【0 1 4 2】

トルク演算部3 2は、電気角 $e_2(n-1)$ が第2条件下算出可能範囲に入っていると判定した場合(S 4 8: Yes)には、ステップS 4 7において、上記式(19)を用いて第2回転角 θ_2 を計算する。この場合、第2回転角 θ_2 は、2通りの解が存在するが、一演算周期前に算出した第2回転角 $\theta_2(n-1)$ に対応する電気角 $e_2(n-1)$ との差が最大変化量 e_{max} 未満となる第2回転角 θ_2 を選択する。

【0 1 4 3】

トルク演算部3 2は、こうして第2レゾルバ1 2 0の第2回転角 θ_2 を算出すると、その処理をメインルーチンである操舵トルク検出ルーチンのステップS 1 6に進める。

【0 1 4 4】

一方、ステップS 4 8において、「No」と判定した場合、つまり、第2条件下算出可能状況ではないと判定した場合には、トルク演算部3 2は、その処理を上述のステップS 4 5に進める。

【0 1 4 5】

以上説明した本実施形態のトルク検出装置においては、第1条件(捩れ角度上限)から導き出した第1条件下算出可能状況だけでなく、第2条件(回転角変化量上限)から導き出した第2条件下算出可能状況となる場合にも、正常側相の検出信号の振幅に基づいて回転角を算出する。従って、片側相にコイル異常が発生した場合でも、正常側相の検出信号の振幅から一義的に回転角を算出できる範囲が非常に広くなり、操舵トルクを検出できる期間が長くなる。従って、電動パワーステアリング装置で適正な操舵アシストを継続できる期間を長くすることができる。

【0 1 4 6】

また、2つの算出可能状況とはならず、異常側レゾルバの回転角を一義的に決めることができない場合には、直前回(一演算周期前)の操舵トルク検出ルーチンで計算した操舵トルク $T_r(n-1)$ を用いて操舵アシストを継続するため、途中で操舵アシストが中断してしまうことが無く操作性が良好となる。

【0 1 4 7】

また、コイル異常が発生した場合には、警告ランプ6 5が点灯するため、操舵アシストを継続させながらも、ドライバーに異常を認識させることができる。これにより、早期に修理が行われるため、2重故障により操舵アシストが停止されるという状況に陥る確率を極めて小さくすることができる。

【0 1 4 8】

次に、変形例について説明する。上述した実施形態においては、操舵ハンドル1 1の操舵速度 ω の想定される最大値 ω_{max} に基づいて第2条件下算出可能範囲を設定したが、操舵速度 ω の大きさ $|\omega|$ が小さければ、式(36)における最大変化量 e_{max} が小さくなるため、図10に示すように、第2条件下算出可能範囲をさらに拡大することができ

10

20

30

40

50

る。

【0149】

例えば、操舵速度 ω の想定される最大値 ω_{max} が $10 [\text{rad/s}]$ となる場合には、式 (36) を用いて最大変化量 e_{max} を計算すると、最大変化量 e_{max} は、約 $0.92 [\text{deg}]$ となる。従って、第2条件下算出可能範囲が非常に広がる。尚、図10は、 \sin 相にコイル異常が発生したときの第2条件下算出可能範囲を表すもので、 \cos 相のコイル異常が発生したときの第2条件下算出可能範囲は、この図を原点を中心に 90° 回転させたものとなる。

【0150】

そこで、変形例においては、実際の操舵速度 ω を検出し、検出した操舵速度 ω の大きさに応じた最大変化量 e_{max} を設定する。以下、検出した操舵速度 ω の大きさを実操舵速度 $|\omega|$ と呼ぶ。

【0151】

この場合、実操舵速度 $|\omega|$ は、電動モータ21に設けた回転角センサ61で検出された回転角の時間微分値から求めるようにすることができるが、他にも、ステアリングシャフト12に操舵角センサ(図示略)を設けて、その操舵角センサで検出された操舵角の時間微分値から求めるようにしても良いし、レゾルバユニット100における正常側レゾルバの検出する回転角の時間微分値から求めるようにしても良い。

【0152】

実操舵速度 $|\omega|$ に応じて最大変化量 e_{max} を設定するにあたっては、図11に示すように、実操舵速度 $|\omega|$ を式(36)の ω_{max} に代入して理論値となる最大変化量 e_{max} を設定するとよい。また、図12に示すように、理論値に対して余裕幅を上乗せした値に設定するようにしてもよい。この場合には、検出誤差等による第2条件下算出可能状況の判断誤りが生じないようになる。また、図13に示すように、実操舵速度 $|\omega|$ が所定値以下となる範囲においては、最大変化量 e_{max} を一定値とした余裕幅を持たせて設定するようにしてもよい。この場合には、操舵速度検出分解能の関係で、操舵速度の測定精度が低くなる範囲での測定値を、第2条件下算出可能範囲の設定に反映させないようにすることができる。このため、第2条件下算出可能状況の判断誤りを更に減らすことができる。

【0153】

このように実操舵速度 $|\omega|$ に応じて最大変化量 e_{max} を可変させる場合には、第1回転角計算ルーチンおよび第2回転角計算ルーチンにおいて、図15、図16に示す処理を追加するとよい。つまり、図15に示すように、ステップS32とステップS34との間、および、ステップS42とステップS44との間に、ステップS51, S52, S53の処理を追加し、図16に示すように、ステップS36とステップS38との間、および、ステップS46とステップS48との間に、ステップS61, S62, S63の処理を追加する。

【0154】

コイル異常が \sin 相で発生している場合には、図15に示すように、トルク演算部32は、ステップS51において、回転角センサ61で検出されるモータ回転角の時間微分値から操舵速度 ω を検出する。続いて、ステップS52において、実操舵速度 $|\omega|$ に基づいて、図11(あるいは図12, 図13でも良い)に示した実操舵速度 $|\omega|$ と最大変化量 e_{max} との関係から、最大変化量 e_{max} を設定する。実操舵速度 $|\omega|$ と最大変化量 e_{max} との関係を表す情報は、計算式あるいはマップを使って予め記憶部33に記憶されている。トルク演算部32は、記憶部33に記憶されている情報を参照して、最大変化量 e_{max} を設定する。続いて、トルク演算部32は、ステップS53において、最大変化量 e_{max} に基づいて、第2条件下算出可能範囲の境界となる $e_{s a}$, $e_{s b}$, $e_{s c}$, $e_{s d}$ を設定する(図9(a)参照)。この場合、 $(e_{s a} - 0^\circ) [\text{deg}]$ で表される角度が最大変化量 e_{max} となるように設定すればよい。

【0155】

10

20

30

40

50

また、コイル異常が \cos 相で発生している場合には、図 16 に示すように、トルク演算部 32 は、ステップ S61 において、操舵速度 v を検出し、ステップ S62 において、実操舵速度 $|v|$ に基づいて、最大変化量 e_{max} を設定する。続いて、トルク演算部 32 は、ステップ S63 において、最大変化量 e_{max} に基づいて、第 2 条件下算出可能範囲の境界となる e_{ca} , e_{cb} , e_{cc} , e_{cd} を設定する (図 9 (b) 参照)。この場合、 $(90^\circ - e_{ca}) [deg]$ で表される角度が最大変化量 e_{max} となるように設定すればよい。

【0156】

この変形例によれば、実操舵速度 $|v|$ が小さくなるほど小さくなる最大変化量 e_{max} を設定するため、異常側レゾルバの回転角を一義的に決めることができる第 2 条件下算出可能範囲がさらに広がる。

10

【0157】

以上、本実施形態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ことなく、本発明の範囲内において種々の変形例を採用することができる。例えば、本実施形態においては、第 1 条件と第 2 条件との両方を用いて回転角が一義的に決まる範囲を設定しているが、第 2 条件のみから回転角が一義的に決まる範囲を設定するようにしてもよい。

【符号の説明】

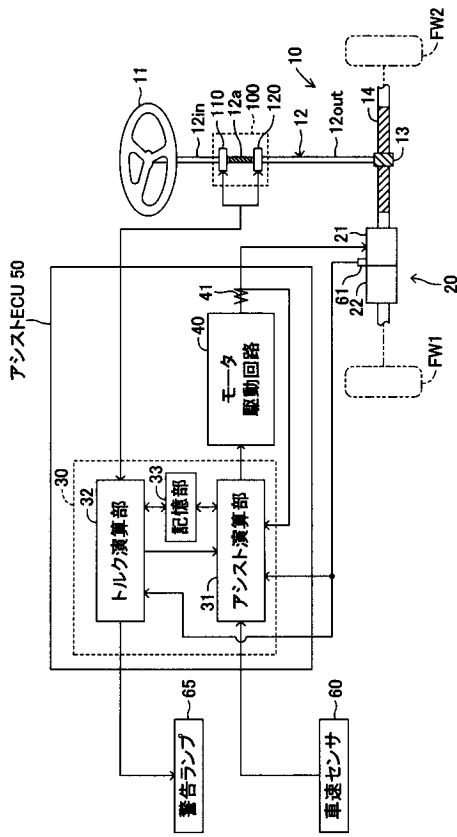
【0158】

11 ... 操舵ハンドル、12 ... ステアリングシャフト、12 in... 入力シャフト、12 out ... 出力シャフト、12 a ... トーションバー、20 ... パワーアシスト部、21 ... 電動モータ、31 ... アシスト演算部、32 ... トルク演算部、33 ... 記憶部、40 ... モータ駆動回路、50 ... アシスト ECU、51s1, 51c1, 51s2, 51c2... アンプ、52 ... コイル駆動回路、61 ... 回転角センサ、100 ... レゾルバユニット、110 ... 第 1 レゾルバ、111 ... 第 1 励磁コイル、112 ... 第 1 \sin 相検出コイル、113 ... 第 1 \cos 相検出コイル、114 ... 第 1 ロータコイル、120 ... 第 2 レゾルバ、121 ... 第 2 励磁コイル、122 ... 第 2 \sin 相検出コイル、123 ... 第 2 \cos 相検出コイル、124 ... 第 2 ロータコイル、212 ... 第 1 \sin 相検出ライン、213 ... 第 1 \cos 相検出ライン、222 ... 第 2 \sin 相検出ライン、223 ... 第 2 \cos 相検出ライン、As1, Ac1, As2, Ac2... 振幅、Es1, Ec1, Es2, Ec2... 検出電圧、Tr ... 操舵トルク、 θ_1 ... 第 1 回転角、 θ_2 ... 第 2 回転角、 v ... 操舵速度。

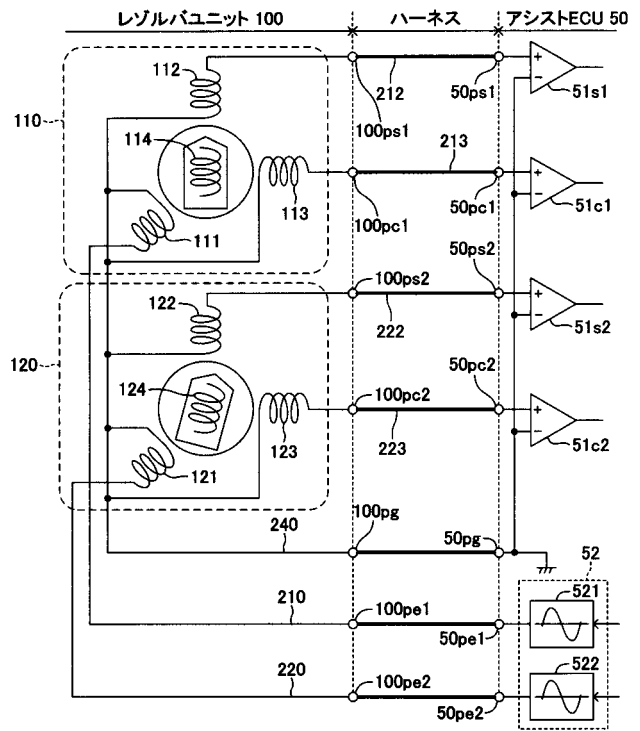
20

30

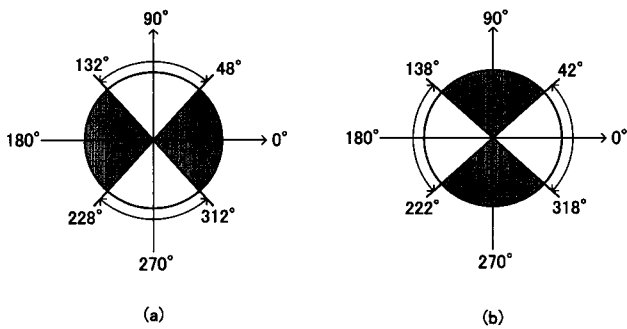
【 図 1 】



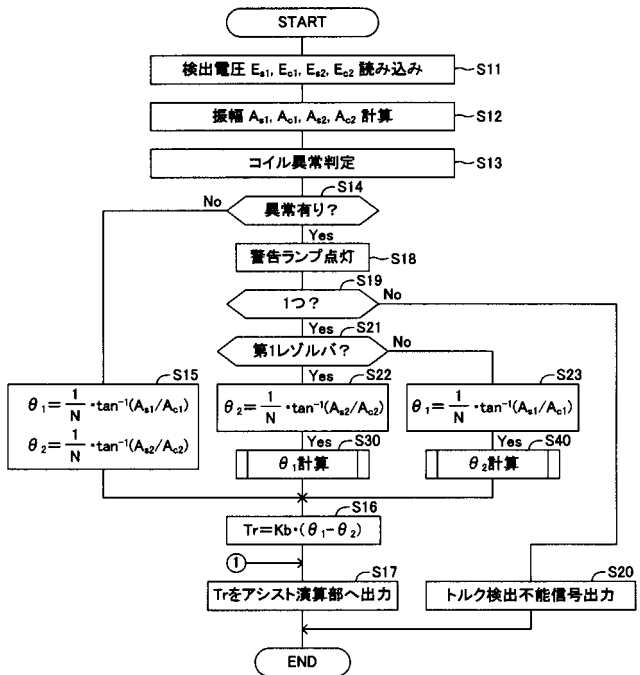
【 図 2 】



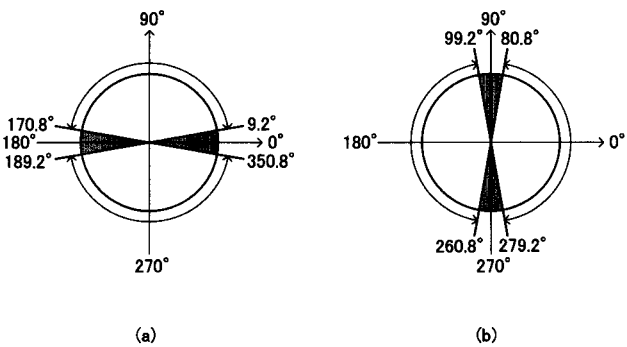
【 図 3 】



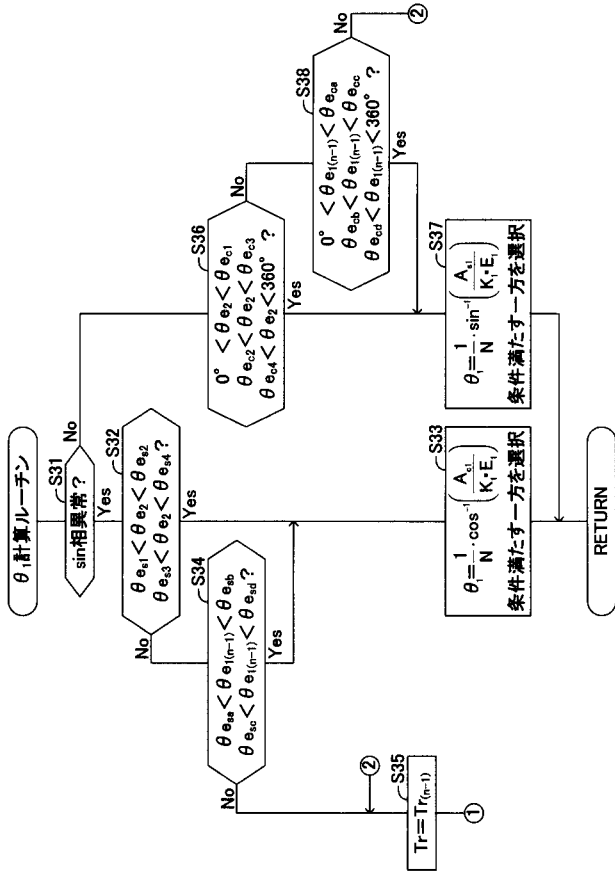
【 図 5 】



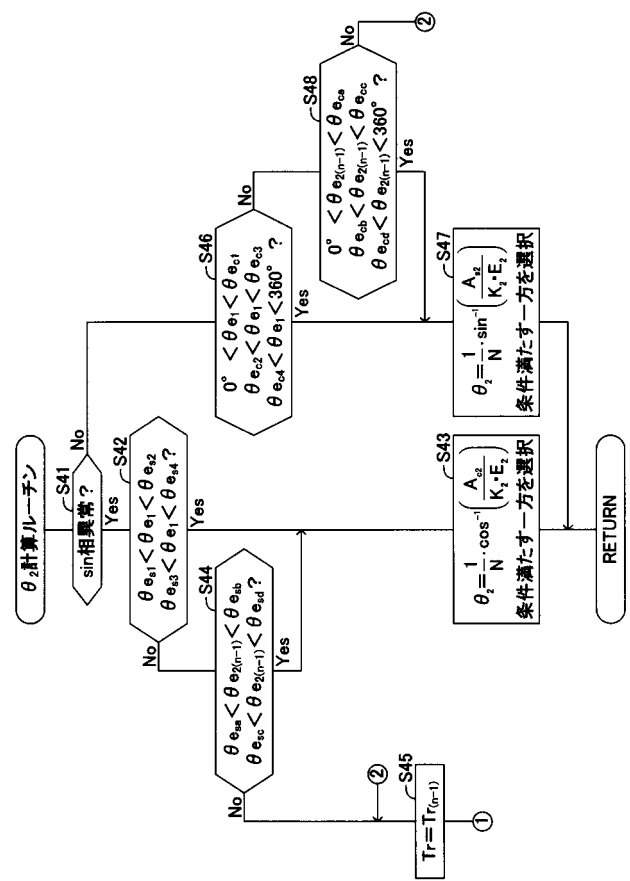
【 図 4 】



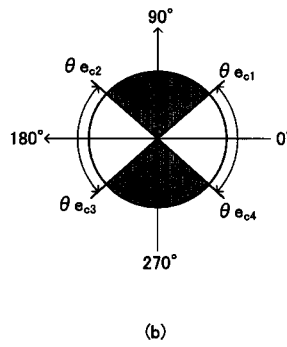
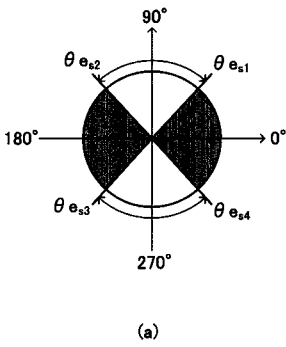
【図6】



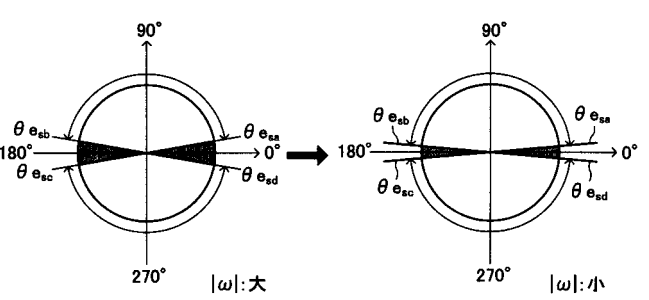
【図7】



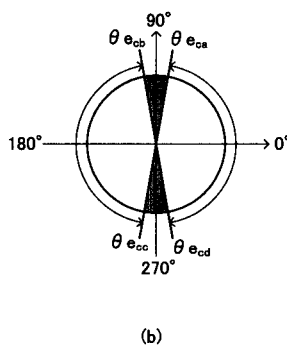
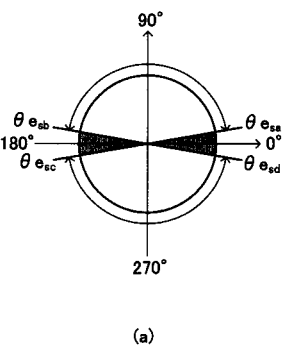
【図8】



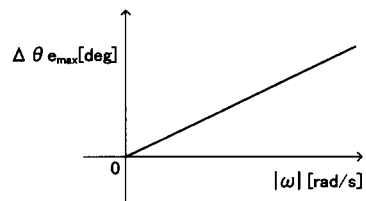
【図10】



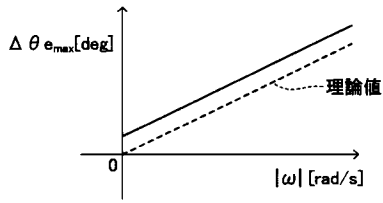
【図9】



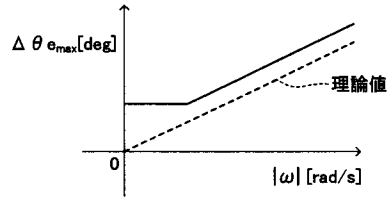
【図11】



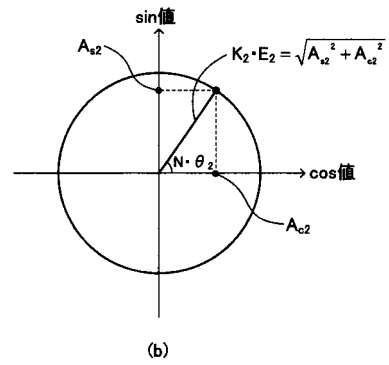
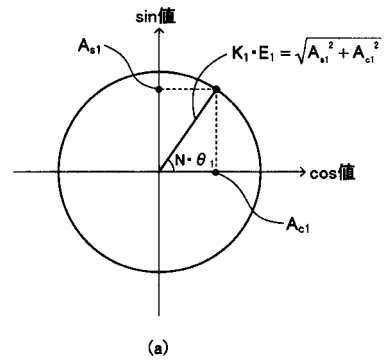
【 図 1 2 】



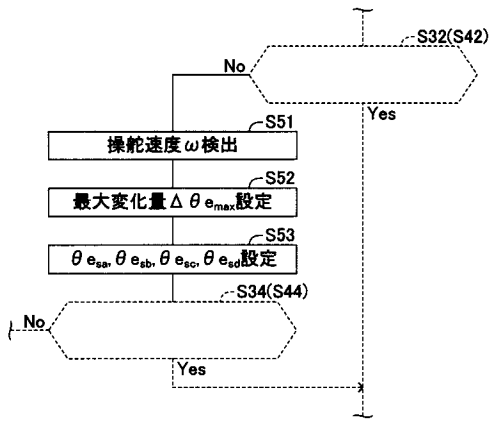
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

