

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-18268

(P2010-18268A)

(43) 公開日 平成22年1月28日(2010.1.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 6 2 D 6/00 (2006.01)	B 6 2 D 6/00	3 D 2 3 2
B 6 2 D 5/04 (2006.01)	B 6 2 D 5/04	3 D 2 3 3
B 6 2 D 101/00 (2006.01)	B 6 2 D 101:00	
B 6 2 D 119/00 (2006.01)	B 6 2 D 119:00	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号	特願2009-136183 (P2009-136183)	(71) 出願人	000004204
(22) 出願日	平成21年6月5日 (2009.6.5)		日本精工株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2008-152192 (P2008-152192)		東京都品川区大崎1丁目6番3号
(32) 優先日	平成20年6月10日 (2008.6.10)	(74) 代理人	100081341
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 小林 茂
		(72) 発明者	小嶋 篤
			群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内
		(72) 発明者	韋 勇
			群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株式会社内
		Fターム(参考)	3D232 CC33 CC37 DA15 DA23 DA24
			DA63 DA64 DC03 DC08 DC12
			DC17 DD01 DD03 DD06 DD17
			EA01 EB11 EC23 GG01
			3D233 CA03 CA13 CA16 CA21 CA31

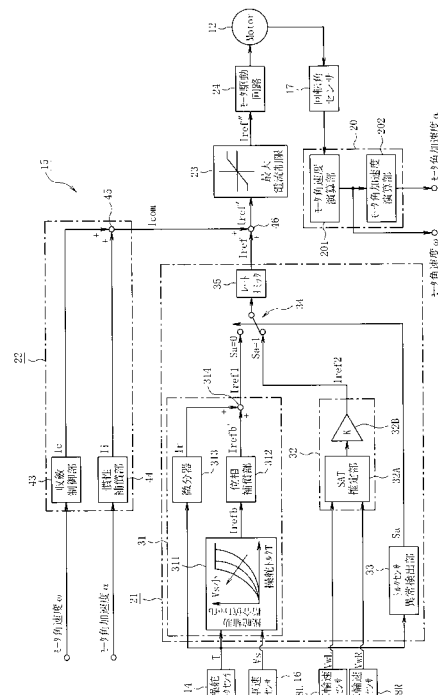
(54) 【発明の名称】 電動パワーステアリング装置

(57) 【要約】

【課題】路面からの反力を考慮して操舵トルクを精度良く推定することができる電動パワーステアリング装置を提供する。

【解決手段】操舵トルク検出手段14で検出した操舵トルクに基づいて第1のトルク指令値を演算する第1のトルク指令値演算手段31と、操舵トルク検出手段14の異常を検出するトルク検出部異常検出手段33と、ステアリング機構に路面側から伝達されるセルフアライニングトルクを車輪回転速度に基づいて推定するセルフアライニングトルク推定手段321を有し、該セルフアライニングトルク推定手段321で推定したセルフアライニングトルクに基づいてトルク指令値を演算する第2のトルク指令値演算手段32と、前記トルク検出部異常検出手段33で前記操舵トルク検出手段の異常を検出したときに、前記第1のトルク指令値演算手段に代えて前記第2のトルク指令値演算手段を選択する異常時切換手段34とを備えている。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ステアリング機構に入力される操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、少なくとも前記操舵トルク検出手段で検出した操舵トルクに基づいて第 1 のトルク指令値を演算する第 1 のトルク指令値演算手段と、前記ステアリング機構に与える操舵補助トルクを発生する電動モータと、前記トルク指令値に基づいて前記電動モータを駆動制御するモータ制御手段とを備えた電動パワーステアリング装置であって、

前記トルク検出手段の異常を検出するトルク検出部異常検出手段と、

車両の車輪回転速度を検出する車輪回転速度検出手段と、

該車輪回転速度検出手段で検出した車輪回転速度に基づいて第 2 のトルク指令値を演算する第 2 のトルク指令値演算手段と、

前記トルク検出部異常検出手段で前記トルク検出手段の異常を検出したときに、前記第 1 のトルク指令値演算手段に代えて、前記第 2 のトルク指令値演算手段を選択して前記モータ制御手段に第 2 のトルク指令値を出力する異常時切換手段と

を備えたことを特徴とする電動パワーステアリング装置。

【請求項 2】

前記第 2 のトルク指令値演算手段は、前記車輪回転速度に基づいて前記ステアリング機構に路面側から伝達されるセルフライニングトルクを推定するセルフライニングトルク推定手段を有し、該セルフライニングトルク推定手段で推定したセルフライニングトルクに基づいて前記第 2 のトルク指令値を演算する構成とされていることを特徴とする請求項 1 に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 3】

前記第 2 のトルク指令値演算手段は、前記車輪回転速度に基づいて前記ステアリング機構に路面側から伝達されるセルフライニングトルクを推定するセルフライニングトルク推定手段と、該セルフライニングトルク推定手段で推定したセルフライニングトルクにゲインを乗算して前記第 2 のトルク指令値を演算するゲイン調整手段とを備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 4】

前記第 2 のトルク指令値演算手段は、前記車輪回転速度に基づいて前記ステアリング機構に路面側から伝達されるセルフライニングトルクを推定するセルフライニングトルク推定手段と、該セルフライニングトルク推定手段で推定したセルフライニングトルクにゲインを乗算して前記第 2 のトルク指令値を演算するゲイン調整手段と、該ゲイン調整手段で演算した第 2 のトルク指令値を前記車輪回転速度検出手段で検出した車輪回転速度に基づいて算出した車速及び車速検出手段で検出した車速の一方とモータ角速度演算手段で算出したモータ角速度との少なくとも一方に基づいて制限するトルク制限手段とを備えていることを特徴とする請求項 1 に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 5】

前記ゲイン調整手段は、モータ回転情報検出手段で検出したモータ回転情報と前記セルフライニングトルク推定手段で推定したセルフライニングトルクとに基づいて操舵状態を判定し、操舵状態の判定結果に基づいて操舵状態感応ゲインを調整する操舵状態ゲイン調整手段を有することを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 6】

前記ゲイン調整手段は、前記車輪回転速度検出手段で検出した車輪回転速度に基づいて算出した車速及び車速検出手段で検出した車速の一方に基づいて車速感応ゲインを調整する車速ゲイン調整手段を有することを特徴とする請求項 3 乃至 5 の何れか 1 項に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 7】

前記ゲイン調整手段は、モータ回転情報検出手段で検出したモータ回転情報と前記車輪回転速度検出手段で検出した車輪回転速度とに基づいて演算したセルフライニングトル

10

20

30

40

50

ク演算値と前記セルフアライニングトルク推定手段で推定したセルフアライニングトルク推定値との偏差に基づいてセルフアライニングトルクゲインを調整するセルフアライニングトルクゲイン調整手段を有することを特徴とする請求項 3 乃至 6 の何れか 1 項に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 8】

前記ゲイン調整手段は、前記車輪速度検出手段で検出した車輪回転速度に基づいて駆動輪スリップ状態を推定し、推定した駆動輪スリップ状態に基づいて駆動輪スリップ感応ゲインを調整する駆動輪スリップゲイン調整手段を有することを特徴とする請求項 3 乃至 7 の何れか 1 項に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 9】

前記ゲイン調整手段は、前記セルフアライニングトルク推定手段で推定したセルフアライニングトルクに 1 より小さいゲインを乗じて前記第 2 のトルク指令値を演算するように構成されていることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 10】

前記セルフアライニングトルク推定手段は、前記車輪回転速度に基づいて車両横滑り角を推定する車両横滑り角推定手段を有し、該車両横滑り角推定手段で推定した車両横滑り角に基づいてセルフアライニングトルクを推定するように構成されていることを特徴とする請求項 2 乃至 9 の何れか 1 項に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 11】

前記車両横滑り角推定手段は、前記車輪回転速度に基づいて車両横滑り角を推定し、推定した横滑り角をモータ回転情報検出手段で検出したモータ回転情報に基づいて補正するように構成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 12】

前記セルフアライニングトルク推定手段は、前記車輪回転速度とモータ回転情報検出手段で検出したモータ回転情報とに基づいてセルフアライニングトルクを推定するように構成されていることを特徴とする請求項 2 乃至 9 の何れか 1 項に記載の電動パワーステアリング装置。

【請求項 13】

前記異常時切換手段は、前記第 1 のトルク指令値演算手段に代えて前記第 2 のトルク指令値演算手段を選択する場合に、前記第 1 のトルク指令値から前記第 2 のトルク指令値に徐々に変化させることを特徴とする請求項 1 乃至 12 の何れか 1 項に記載の電動パワーステアリング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、少なくとも操舵トルクに基づいてトルク指令値を演算するトルク指令値演算手段と、ステアリング機構に与える操舵補助力を発生する電動モータと、前記トルク指令値に基づいて電動モータを制御するモータ制御手段とを備えた電動パワーステアリング装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ステアリング装置として運転者がステアリングホイールを操舵する操舵トルクに応じて電動モータを駆動することによりステアリング機構に操舵補助力を与える電動パワーステアリング装置が普及している。

この種の電動パワーステアリング装置では、搭載対象車両が大型化することにより、電動パワーステアリング装置の高出力化が進み、モータトルクが増大すると共に大電流化が加速している。

【0003】

このように、電動パワーステアリング装置の高出力化が進むと、電動パワーステアリン

10

20

30

40

50

グ装置を停止させた状態での手動操舵時に必要な操舵トルクが大きくなって、操舵が困難となる状況となっている。

従来、操舵トルクセンサ等の異常が発生した場合、電動パワーステアリング装置を停止させて安全を確保するようにしていたが、手動操舵に必要な操舵トルクが大きくなりすぎて操舵が困難となっているので、操舵トルクセンサ等の異常が発生した場合でも電動モータを駆動制御して操舵補助力の発生を継続することが望まれている。

【0004】

このため、従来、操舵トルクセンサが故障した場合に、操舵トルク推定手段で車速信号と操舵角信号とに基づいて操舵トルクを推定し、推定した操舵トルクに基づいて電動機の駆動制御をするようにした電動パワーステアリング装置が知られている（例えば、特許文献1参照）。

10

【特許文献1】特許第3390333号公報（第1頁、図2）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記特許文献1に記載の従来例にあっては、車速信号と操舵角信号とに基づいて操舵トルクを推定し、推定した操舵トルクに基づいて電動モータの駆動制御をするので、推定した操舵トルクで運転者の手放しなどの操舵状態を正しく認識することができず、ステアリングホイールが勝手に切込んでしまうなど運転者の意に反する操舵状態になって、ただでさえ操舵トルクセンサの故障により電動パワーステアリング装置の異常を表す警報ランプが点灯して運転者に不安感を与えている状態なので、運転者により大きな違和感を与えるという未解決の課題がある。

20

【0006】

しかも、操舵トルクの推定に、路面からの反力を考慮していないため、路面摩擦係数が低い路面等のトルク推定モデルで考慮されていない状態に陥ると、正しくトルクを推定することができなくなるという未解決の課題がある。

そこで、本発明は、上記従来例の未解決の課題に着目してなされたものであり、路面から実際に発生した反力を考慮して操舵補助力の発生を継続することができる電動パワーステアリング装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

30

【0007】

上記目的を達成するために、請求項1に係る電動パワーステアリング装置は、ステアリング機構に入力される操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、少なくとも前記操舵トルク検出手段で検出した操舵トルクに基づいて操舵補助トルク指令値を演算する第1のトルク指令値演算手段と、前記ステアリング機構に与える操舵補助トルクを発生する電動モータと、前記トルク指令値に基づいて前記電動モータを駆動制御するモータ制御手段とを備えた電動パワーステアリング装置であって、

前記トルク検出手段の異常を検出するトルク検出部異常検出手段と、車両の車輪回転速度を検出する車輪回転速度検出手段と、該車輪回転速度検出手段で検出した車輪回転速度に基づいてトルク指令値を演算する第2のトルク指令値演算手段と、前記トルク検出部異常検出手段で前記トルク検出手段の異常を検出したときに、前記第1のトルク指令値演算手段に代えて、前記第2のトルク指令値演算手段を選択して前記モータ制御手段にトルク指令値を出力する異常時切換手段とを備えたことを特徴としている。

40

【0008】

この請求項1に係る発明では、第2のトルク指令値演算手段で、車輪回転速度検出手段で検出した車輪回転速度に基づいてトルク指令値を演算し、操舵トルク検出手段の異常を検出したときに、異常時切換手段で第1のトルク指令値演算手段に代えて第2のトルク指令値演算手段を選択することにより、車輪回転速度に基づいて路面反力を考慮した正確なトルク検出値を求めることができる。また、アンチロックブレーキシステム等で使用されている車輪回転速度検出手段を利用することができ、部品点数を減少させることができる

50

。

【0009】

また、請求項2に係る電動パワーステアリング装置は、請求項1に係る発明において、前記第2のトルク指令値演算手段は、前記車輪回転速度に基づいて前記ステアリング機構に路面から伝達されるセルフアライニングトルクを推定するセルフアライニングトルク推定手段を有し、該セルフアライニングトルク推定手段で推定したセルフアライニングトルクに基づいて前記第2のトルク指令値を演算する構成とされていることを特徴としている。

。

【0010】

この請求項2に係る発明では、車輪回転速度に基づいてセルフアライニングトルクを推定するので、ステアリング機構の路面から伝達されるセルフアライニングトルクを正確に検出することができる。

10

さらに、請求項3に係る電動パワーステアリング装置は、請求項1に係る発明において、前記第2のトルク指令値演算手段は、前記車輪回転速度に基づいて前記ステアリング機構に路面側から伝達されるセルフアライニングトルクを推定するセルフアライニングトルク推定手段と、該セルフアライニングトルク推定手段で推定したセルフアライニングトルクにゲインを乗算して前記第2のトルク指令値を演算するゲイン調整手段とを備えていることを特徴としている。

【0011】

この第3に係る発明では、セルフアライニングトルク推定値にゲインを乗算して第2のトルク指令値を演算するので、車両の操舵状態や走行状態に応じてゲインを設定することにより、第2のトルク指令値を適正化することができる。

20

さらにまた、請求項4に係る電動パワーステアリング装置は、請求項1に係る発明において、前記第2のトルク指令値演算手段は、前記車輪回転速度に基づいて前記ステアリング機構に路面側から伝達されるセルフアライニングトルクを推定するセルフアライニングトルク推定手段と、該セルフアライニングトルク推定手段で推定したセルフアライニングトルクにゲインを乗算して前記第2のトルク指令値を演算するゲイン調整手段と、該ゲイン調整手段で演算した第2のトルク指令値を前記車輪回転速度検出手段で検出した車輪回転速度に基づいて算出した車速及び車速検出手段で検出した車速の一方とモータ角速度演算手段で算出したモータ角速度との少なくともと一方に基づいて制限するトルク制限手段とを備えていることを特徴としている。

30

【0012】

この請求項4に係る発明では、ゲイン調整後の第2のトルク指令値を車速及びモータ角速度の少なくとも一方に基づいて制限することにより、高車速領域や高モータ角速度領域での制御出力異常を抑制することができる。

なおさらに、請求項5に係る電動パワーステアリング装置は、請求項3又は4に係る発明において、前記ゲイン調整手段は、モータ回転情報検出手段で検出したモータ回転情報と前記セルフアライニングトルク推定手段で推定したセルフアライニングトルクとに基づいて操舵状態を判定し、操舵状態の判定結果に基づいて操舵状態感応ゲインを調整する操舵状態ゲイン調整手段を有することを特徴としている。

40

【0013】

この請求項5に係る発明では、操舵状態に応じた最適な操舵状態感応ゲインを調整することができる、操舵状態に応じて最適な第2のトルク指令値を算出することができる。

また、請求項6に係る電動パワーステアリング装置は、請求項3乃至5の何れか1つに係る発明において、前記ゲイン調整手段は、前記車輪回転速度検出手段で検出した車輪回転速度に基づいて算出した車速及び車速検出手段で検出した車速の一方に基づいて車速感応ゲインを調整する車速ゲイン調整手段を有することを特徴としている。

【0014】

この請求項6に係る発明では、車速に応じて車速感応ゲインを調整することができるので、車両の操舵フィーリングを向上させることができる。

50

さらに、請求項 7 に係る電動パワーステアリング装置は、請求項 3 乃至 6 の何れか 1 つに係る発明において、前記ゲイン調整手段は、モータ回転情報検出手段で検出したモータ回転情報と前記車輪回転速度検出手段で検出した車輪回転速度とに基づいて演算したセルフアライニングトルク演算値と前記セルフアライニングトルク推定手段で推定したセルフアライニングトルク推定値との偏差に基づいてセルフアライニングトルクゲインを調整するセルフアライニングトルクゲイン調整手段を有することを特徴としている。

【0015】

この請求項 7 に係る発明では、セルフアライニングトルク設定手段で、モータ回転情報と車輪回転速度とに基づいて算出したセルフアライニングトルク演算値とセルフアライニングトルク推定値との偏差に基づいてセルフアライニングトルクゲインを設定するので、車輪速度に基づいて算出されるセルフアライニングトルク推定値に誤差を生じた場合に、その誤差を抑制することができる。

【0016】

さらにまた、請求項 8 に係る電動パワーステアリング装置は、請求項 3 乃至 7 の何れか 1 つに係る発明において、前記ゲイン調整手段は、前記車輪速度検出手段で検出した車輪回転速度に基づいて駆動輪スリップ状態を推定し、推定した駆動輪スリップ状態に基づいて駆動輪スリップ感応ゲインを調整する駆動輪スリップゲイン調整手段を有することを特徴としている。

【0017】

この請求項 8 に係る発明では、駆動輪スリップがセルフアライニングトルク推定値に影響を与える場合に、この駆動輪スリップの影響を抑制することができる。

なおさらに、請求項 9 に係る電動パワーステアリング装置は、請求項 3 又は 4 に係る発明において、前記ゲイン調整手段は、前記セルフアライニングトルク推定手段で推定したセルフアライニングトルクに 1 より小さいゲインを乗じて前記第 2 のトルク指令値を演算するように構成されていることを特徴としている。

【0018】

この請求項 9 に係る発明では、セルフアライニングトルクに 1 より小さいゲインを乗じてトルク指令値を算出するので、路面からの反力に応じた最適なトルク指令値を演算することができる。

また、請求項 10 に係る電動パワーステアリング装置は、請求項 2 乃至 9 の何れか 1 つに係る発明において、前記セルフアライニングトルク推定手段は、前記車輪回転速度に基づいて車両横滑り角を推定する車両横滑り角推定手段を有し、該車両横滑り角推定手段で推定した車両横滑り角に基づいてセルフアライニングトルクを推定するように構成されていることを特徴としている。

【0019】

この請求項 10 に係る発明では、車輪回転速度に基づいて車両の車両横滑り角を推定し、推定した車両横滑り角に基づいてセルフアライニングトルクを推定するので、車両の走行状態を加味してより正確なセルフアライニングトルクを推定することができる。

【0020】

さらに、請求項 11 に係る電動パワーステアリング装置は、請求項 10 に係る発明において、前記電動モータのモータ回転情報を検出するモータ回転情報検出手段を有し、前記車両横滑り角推定手段は、前記車輪回転速度に基づいて車両横滑り角を推定し、推定した横滑り角を前記モータ回転情報に基づいて補正するように構成されていることを特徴としている。

【0021】

この請求項 11 に係る発明では、車両の車輪回転速度に基づいて車両の横滑り角を推定し、推定した横滑り角をモータ回転情報に基づいて補正するので、車両の操舵状況に基づいてより正確な横滑り角を推定することができる。

さらにまた、請求項 12 に係る電動パワーステアリング装置は、請求項 2 乃至 9 の何れか 1 つに係る発明において、前記電動モータのモータ回転情報を検出するモータ回転情報

10

20

30

40

50

検出手段を有し、前記セルフアライニングトルク推定手段は、前記車輪回転速度と前記モータ回転情報とに基づいてセルフアライニングトルクを推定するように構成されていることを特徴としている。

【0022】

この請求項12に係る発明では、車両の左右の車輪回転速度とモータ回転情報とに基づいてセルフアライニングトルクを推定するので、車両の操舵状況に応じたより正確なセルフアライニングトルクを推定することができる。

なおさらに、請求項13に係る電動パワーステアリング装置は、請求項1乃至12の何か1つに係る発明において、前記異常時切換手段は、前記第1のトルク指令値演算手段に代えて前記第2のトルク指令値演算手段を選択する場合に、前記第1のトルク指令値から前記第2のトルク指令値に徐々に変化させることを特徴としている。

10

【0023】

この請求項13に係る発明では、第1のトルク指令値から第2のトルク指令値への切換え時にトルク指令値を徐々に変化させるので、電動モータで発生させる操舵補助力の急変を防止して、安定した操舵補助状態を継続することができる。

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、第2のトルク指令値演算手段で、車輪回転速度に基づいてトルク指令値を演算するので、操舵トルク検出手段の異常を検出したときに、路面状況を考慮した正確なトルク検出値を求めることができ、操舵トルク検出手段の故障後も操舵補助制御を運転者に違和感を与えることなく継続することができるという効果が得られる。

20

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の第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】本発明に係るコントローラの実例を示すブロック図である。

【図3】コントローラを構成するセルフアライニングトルク推定部の具体的構成を示すブロック図である。

【図4】セルフアライニングトルク初期推定値算出マップを示す特性線図である。

【図5】マイクロコンピュータで実行するトルクセンサ異常検出処理手順の一例を示すフローチャートである。

30

【図6】マイクロコンピュータで実行する操舵補助制御処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図7】本発明の第2の実施形態を示すコントローラの実例を示すブロック図である。

【図8】操舵状態感応ゲイン設定部の具体的構成を示すブロック図である。

【図9】操舵状態感応ゲイン設定部に適用する操舵状態感応ゲイン算出マップを示す特性線図である。

【図10】車速感応ゲイン設定部に適用する車速感応ゲイン算出マップを示す特性線図である。

【図11】セルフアライニングトルクゲイン設定部の具体的構成を示すブロック図である。

40

【図12】図11のセルフアライニングトルク演算部の具体的構成を示すブロック図である。

【図13】図11のゲイン算出部に適用するセルフアライニングトルクゲイン算出マップを示す特性線図である。

【図14】駆動輪スリップゲイン設定部の具体的構成を示すブロック図である。

【図15】駆動輪スリップゲイン設定部に適用する駆動輪スリップゲイン算出マップを示す特性線図である。

【図16】トルク制限値設定部に適用する車速制限値算出マップ及びモータ角速度制限値算出マップを示す特性線図である。

50

【図 17】左側車輪のタイヤ径が大きい場合の車輪車両挙動を示す説明図である。

【図 18】本発明の第 2 の実施形態のマイクロコンピュータで実行する操舵補助制御処理手順の一例を示すフローチャートである。

【図 19】本発明の第 3 の実施形態を示すセルフアライニングトルク推定部の具体的構成を示すブロック図である。

【図 20】実際のセルフアライニングトルクに対するセルフアライニングトルク初期推定値のヒステリシス特性を示す特性線図である。

【図 21】本発明の第 4 の実施形態を示すコントローラのブロック図である。

【図 22】第 4 の実施形態におけるセルフアライニングトルク推定部の具体例を示すブロック図である。

10

【図 23】車両横滑り角算出マップを示す特性線図である。

【図 24】セルフアライニングトルク初期推定値算出マップを示す特性線図である。

【図 25】第 3 の実施形態を第 2 の実施形態に適用した場合の全体構成図である。

【図 26】第 4 の実施形態を第 2 の実施形態に適用した場合の全体構成図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

図 1 は、本発明に一実施形態を示す概略構成図であって、図中、SM はステアリング機構である。このステアリング機構 SM は、ステアリングホイール 1 に運転者から作用される操舵力が伝達される入力軸 2 a とこの入力軸 2 a に図示しないトーションバーを介して連結された出力軸 2 b とを有するステアリングシャフト 2 を備えている。このステアリングシャフト 2 は、ステアリングコラム 3 に回転自在に内装され、入力軸 2 a の一端がステアリングホイール 1 に連結され、他端は図示しないトーションバーに連結されている。

20

【0027】

そして、出力軸 2 b に伝達された操舵力は、2 つのヨーク 4 a, 4 b とこれらを連結する十字連結部 4 c とで構成されるユニバーサルジョイント 4 を介して中間シャフト 5 に伝達され、さらに、2 つのヨーク 6 a, 6 b とこれらを連結する十字連結部 6 c とで構成されるユニバーサルジョイント 6 を介してピニオンシャフト 7 に伝達される。このピニオンシャフト 7 に伝達された操舵力はステアリングギヤ機構 8 で車両幅方向の直進運動に変換されて左右のタイロッド 9 に伝達され、これらタイロッド 9 によって転舵輪 WL, WR を転舵させる。

30

【0028】

ステアリングシャフト 2 の出力軸 2 b には、操舵補助力を出力軸 2 b に伝達する操舵補助機構 10 が連結されている。この操舵補助機構 10 は、出力軸 2 b に連結した減速機構 11 と、この減速機構 11 に連結された操舵補助力を発生する電動機としての例えばブラシレスモータで構成される電動モータ 12 とを備えている。

【0029】

また、減速機構 11 のステアリングホイール 1 側に接続されたハウジング 13 内に操舵トルク検出手段としての操舵トルクセンサ 14 が配設されている。この操舵トルクセンサ 14 は、ステアリングホイール 1 に付与されて入力軸 2 a に伝達された操舵トルクを検出するもので、例えば、操舵トルクを入力軸 2 a 及び出力軸 2 b 間に介挿した図示しないトーションバーの捩れ角変位に変換し、この捩れ角変位を非接触の磁気センサで検出するように構成されている。

40

【0030】

そして、操舵トルクセンサ 14 から出力される操舵トルク検出値 T は、図 2 に示すように、コントローラ 15 に入力される。このコントローラ 15 には、操舵トルクセンサ 14 からのトルク検出値 T の他に車速センサ 16 で検出した車速 Vs、電動モータ 12 に流れるモータ電流 Iu ~ Iw 及びレゾルバ、エンコーダ等で構成される回転角センサ 17 で検出した電動モータ 12 の回転角 θ 及び車輪回転速度センサ 18 L, 18 R で検出した車両の左右の車輪回転速度 VwL 及び VwR も入力される。

50

【0031】

コントローラ15では操舵トルクセンサ14が正常である状態では、入力されるトルク検出値T及び車速検出値Vsに応じた操舵補助力を電動モータ12で発生させる電流指令値としての第1の操舵補助トルク指令値Iref1を算出し、算出した操舵補助トルク指令値Iref1に対して回転角θに基づいて算出するモータ角速度 ω 及びモータ角加速度 α に基づいて各種補償処理を行ってから電動モータ12を駆動制御する。また、操舵トルクセンサ14が異常であるときには、左右の従動輪の車輪回転速度VwL及びVwRに基づいて第2の操舵補助トルク指令値Iref2を算出し、この第2の操舵補助トルク指令値Iref2に基づいて電動モータ12を駆動制御する。

【0032】

すなわち、コントローラ15は、図2に示すように、回転角センサ17で検出したモータ回転角θに基づいてモータ角速度 ω 及びモータ角加速度 α を演算する回転情報演算部20と、操舵補助トルク指令値を演算する操舵補助トルク指令値演算部21と、この操舵補助トルク指令値演算部21で演算したトルク指令値Irefを補償するトルク指令値補償部22と、この指令値補償部22で補償された補償後操舵補助トルク指令値Iref'の最大電流を制限する電流制限部23と、この電流制限部23で電流制限された補償後操舵補助トルク指令値Iref''に基づいてモータ電流を生成して電動モータ12を駆動制御するモータ駆動回路24とで構成されている。

【0033】

回転情報演算部20は、回転角センサ17で検出されるモータ回転角θを微分してモータ角速度 ω を算出するモータ角速度演算部201と、このモータ角速度演算部201で算出されたモータ角速度 ω を微分してモータ角加速度 α を算出するモータ角加速度演算部202とを備えている。

【0034】

操舵補助トルク指令値演算部21は、操舵トルクセンサ14から入力される操舵トルクTと車速センサ16から入力される車速Vsとに基づいて第1の操舵補助トルク指令値Iref1を演算する第1の操舵補助トルク指令値演算部31と、左右の車輪回転速度を検出する車輪回転速度センサ18から入力される車輪回転速度VwL及びVwRに基づいて第2の操舵補助トルク指令値Iref2を演算する第2の操舵補助トルク指令値演算部32と、操舵トルクセンサ14の異常を検出するトルクセンサ異常検出部33と、該トルクセンサ異常検出部33から出力される異常検出信号に基づいて前記第1の操舵補助トルク指令値演算部31及び第2の操舵補助トルク指令値演算部32の何れかを選択する異常時切換手段としての指令値選択部34と、指令値選択部34で選択した指令値の急激な変化を抑制するレートリミット35とを備えている。

【0035】

第1の操舵補助トルク指令値演算部31は、操舵トルクT及び車速Vsをもとに図2中に示す操舵補助トルク指令値算出マップを参照して電流指令値となる操舵補助トルク指令値Irefbを算出するトルク指令値算出部311と、このトルク指令値算出部311から出力される操舵補助トルク指令値Irefbの位相補償を行って位相補償値Irefb'を算出する位相補償部312と、操舵トルクセンサ14から入力される操舵トルクTに基づいてステアリング中立付近の制御の応答性を高め、滑らかでスムーズな操舵を実現するように、操舵トルクTを微分演算処理してアシスト特性不感帯での安定性確保、静摩擦の補償を行うセンタ応答性改善指令値Irを算出するセンタ応答性改善部313と、位相補償部312の位相補償出力とセンタ応答性改善部313のセンタ応答性改善指令値Irとを加算して第1の操舵補助トルク指令値Iref1を算出する加算器314とを備えている。

【0036】

ここで、トルク指令値算出部311で参照する操舵補助トルク指令値算出マップは、図2中に示すように、横軸に操舵トルクTをとり、縦軸に操舵補助トルク指令値Irefbをとると共に、車速Vsをパラメータとした放物線状の曲線で表される特性線図で構成さ

10

20

30

40

50

れている。

【0037】

第2のトルク指令値演算部32は、ステアリング機構に路面から伝達されるセルフアライニングトルクを推定するセルフアライニングトルク推定手段としてのセルフアライニングトルク推定部32Aと、このセルフアライニングトルク推定部321で推定したセルフアライニングトルクSATに“1”未満のゲインで増幅して第2の操舵補助トルク指令値Iref2を算出するゲイン調整手段としての増幅部32Bとで構成されている。

【0038】

セルフアライニングトルク推定部32Aは、図3に示すように、車輪回転速度センサ18L及び18Rから入力される車輪回転速度VwL及びVwRに基づいてセルフアライニングトルク初期推定値SATiを推定するセルフアライニングトルク(SAT)初期推定部321と、このセルフアライニングトルク推定部321で推定したセルフアライニングトルク初期推定値SATiのノイズを除去するローパスフィルタ322と、車輪回転速度センサ18L及び18Rから入力される車輪回転速度VwL及びVwRを加算する加算器323と、車輪回転速度VwL及びVwRの加算値の1/2を算出して車速相当値Vs'を算出する平均値算出部324と、この平均値算出部324で算出した車速相当値Vs'に基づいてローパスフィルタ322から出力されるノイズ除去されたセルフアライニングトルク初期推定値SAT'の位相補正を行ってセルフアライニングトルク推定値SATを算出する位相補正部325とを備えている。

【0039】

ここで、セルフアライニングトルク初期推定部321では、車輪回転速度センサ18L及び18Rで検出された車輪回転速度VwL及びVwRに基づいて下記(1)式の演算を行って、車速に応じた左右の車輪回転速度差ΔVwを算出する。

$$\Delta Vw = (VwL - VwR) / \{ (VwL + VwR) / 2 \} \quad \dots\dots\dots (1)$$

【0040】

次いで、左右の車輪回転速度差ΔVwをもとに、図4に示すセルフアライニングトルク算出マップを参照してセルフアライニングトルクSATiを算出する。

このセルフアライニングトルク算出マップは、図4に示すように、左右車輪回転速度差ΔVwが零である状態即ち直進走行状態では、セルフアライニングトルクSATが“0”であり、これより左右の車輪回転速度差ΔVwが正值即ち右旋回状態となると、セルフアライニングトルクSATが増加し、その後左右の車輪回転速度差ΔVwが所定値ΔVw1以上となると、左右車輪回転速度差ΔVの増加に応じてセルフアライニングトルクSATの増加率が徐々に低下する特性線に設定され、同様に、セルフアライニングトルクSATが“0”より左右車輪回転速度差ΔVwが所定値-ΔV1となるまでは減少し、左右車輪回転速度差-ΔVw1を越えるとセルフアライニングトルクSATの減少率が徐々に減少する特性曲線に設定されている。

【0041】

また、トルクセンサ異常検出部33は、操舵トルクセンサ14で検出した操舵トルクTが入力され、この操舵トルクTが車両の走行時に所定時間以上変化しない状態が継続した場合、操舵トルクTが予め設定した天絡による異常設定値を超えた状態が所定時間以上継続した場合、操舵トルクTが予め設定した地絡による異常閾値未満の状態を所定時間以上継続した場合等の操舵トルクセンサ異常検出条件を満足した場合に、異常検出信号Saを例えば論理値“1”に設定し、上記操舵トルクセンサ異常検出条件を満足していないときに異常検出信号Saを論理値“0”に設定する。

【0042】

さらに、指令値選択部34は、トルクセンサ異常検出部33から出力される異常検出信号Saが論理値“0”であるときに、前述した第1のトルク指令値演算部31で演算した第1の操舵補助トルク指令値Iref1を選択し、異常検出信号Saが論理値“1”であるときに、前述した第2のトルク指令値演算部32で演算した第2の操舵補助トルク指令値Iref2を選択し、選択した第1のトルク指令値Iref1又は第2のトルク指令値

I r e f 2をトルク指令値 I r e fとしてレートリミッタ35でトルク指令値 I r e fの急激な変化を抑制してから後述する加算器46に出力する。

【0043】

指令値補償部22は、回転情報演算部20のモータ角速度演算部201で演算されたモータ角速度 ω に基づいてヨーレートの収斂性を補償する収斂性補償部43と、回転情報演算部20のモータ角加速度演算部202で演算されたモータ角加速度 α に基づいて電動モータ12の慣性により発生するトルク相当分を補償して慣性感又は制御応答性の悪化を防止する慣性補償部44とを少なくとも有する。

【0044】

ここで、収斂性補償部43は、モータ角速度演算部201で算出されたモータ角速度 ω が入力され、車両のヨーの収斂性を改善するためにステアリングホイール1が振れ回る動作に対して、ブレーキをかけるように、モータ角速度 ω に収斂性制御ゲイン K_c を乗じて収斂性補償値 I_c を算出する。

そして、慣性補償部44で算出された慣性補償値 I_i と収斂性補償部43で算出された収斂性補償値 I_c とが加算器45で加算されて指令補償値 I_{com} が算出され、この指令補償値 I_{com} が加算器46で前述した操舵補助トルク指令値演算部21から出力される操舵補助トルク指令値 I r e fに加算されて補償後操舵補助トルク指令値 I r e f' が算出され、この補償後操舵補助トルク指令値 I r e f' が電流制限部23に出力される。

【0045】

次に、上記実施形態の動作を説明する。

今、操舵トルクセンサ14が正常状態であるものとする、トルク指令値演算部21に設けられたトルクセンサ異常検出部33において操舵トルクセンサ14で検出した操舵トルク T がトルクセンサ異常検出条件を満足しないことにより、論理値“0”の異常検出信号 S_a が指令値選択部34に出力される。このため、指令値選択部34で第1の操舵補助トルク指令値演算部31が選択されて、この第1の操舵補助トルク指令値演算部31から出力される第1の操舵補助トルク指令値 I r e f 1が操舵補助トルク指令値 I r e fとして加算器46に出力される。

【0046】

このとき、車両がステアリングホイール1を直進状態の中立位置として停車しているものとする。この状態でステアリングホイール1が操舵されていない場合には、操舵トルクセンサ14で検出される操舵トルク T が“0”であり、車速 V_s も“0”であるので、第1の操舵補助トルク指令値演算部31のトルク指令値算出部311で操舵トルク T 及び車速 V_s をもとに操舵補助トルク指令値算出マップを参照したときに操舵補助トルク指令値 I r e f bが“0”となり、第1の操舵補助トルク指令値 I r e f 1も“0”となる。

【0047】

このとき、電動モータ12も停止しているため、指令値補償部22の角速度演算部41で演算されるモータ角速度 ω 及び角加速度演算部42で演算されるモータ角加速度 α が共に“0”であるので、収斂性補償部43で算出される収斂性補償値 I_c 及び慣性補償部44で算出される慣性補償値 I_i も“0”となるため、指令補償値 I_{com} も“0”となり、加算器46から出力される補償後操舵補助トルク指令値 I r e f' も“0”となる。

【0048】

このため、電流制限部23から出力される補償後操舵補助トルク指令値 I r e f' も“0”となり、モータ駆動回路24から出力されるモータ駆動電流も“0”を継続して電動モータ12が停止状態を継続する。

この車両の停車状態で、ステアリングホイール1を操舵して所謂据え切りを行うと、これに応じて操舵トルクセンサ14で検出される操舵トルク T が比較的大きな値となることにより、第1の操舵補助トルク指令値演算部31で算出される操舵補助トルク指令値 I r e f 1が操舵トルク T に応じて急増する。

【0049】

この状態でも電動モータ12が停止しているので、モータ角速度 ω 及びモータ角加速度

10

20

30

40

50

α も “ 0 ” を継続し、指令値補償部 22 の収斂性補償部 43 で算出される収斂性補償値 I_c 及び慣性補償部 44 で算出される慣性補償値 I_i も “ 0 ” を維持し、指令補償値 I_{com} も “ 0 ” となる。

このため、加算器 46 から操舵補助トルク指令値 I_{ref} がそのまま電流制限部 23 に供給され、この電流制限部 23 から最大値が制限された補償後操舵補助トルク指令値 I_{ref}' がモータ駆動回路 24 に出力される。

【0050】

したがって、モータ駆動回路 24 から補償後操舵補助トルク指令値 I_{ref}' に応じたモータ駆動電流が電動モータ 12 に出力されて、この電動モータ 12 が回転駆動され、操舵トルク T に応じた操舵補助力を発生する。

この電動モータ 12 で発生された操舵補助力は、減速機構 11 を介してステアリングホイール 1 からの操舵力が伝達されたステアリングシャフト 2 に伝達されることにより、操舵力及び操舵補助力がステアリングギヤ機構 8 で車幅方向の直線運動に変換されてタイロッド 9 を介して左右の転舵輪 W_L 、 W_R が転舵されて、軽い操舵トルクで転舵輪 W_L 、 W_R を転舵することができる。

【0051】

そして、電動モータ 12 が駆動制御されることにより、回転情報演算部 20 のモータ角速度演算部 201 で演算されるモータ角速度 ω 及びモータ角加速度演算部 202 で演算されるモータ角加速度 α が増加する。これにより、指令値補償部 22 で収斂性補償値 I_c 及び慣性補償値 I_i が算出され、これらが加算されて指令補償値 I_{com} が算出され、これが加算器 46 に供給されることにより、操舵補助トルク指令値 I_{ref} に指令補償値 I_{com} が加算されて補償後操舵補助トルク指令値 I_{ref}' が算出される。このように、指令値補償部 22 で指令値補償処理が行われると共に、第 1 の操舵補助トルク指令値演算部 31 のセンタ応答性改善部 313 で、操舵トルク T を微分演算処理してアシスト特性不感帯での安定性確保、静摩擦の補償を行い、位相補償部 312 で第 1 の操舵補助トルク指令値 I_{ref1} に対して位相補償を行う。

【0052】

また、車両を発進させた場合には、車速センサ 16 で検出する車速 V_s の増加に応じて、第 1 の操舵補助トルク指令値演算部 31 におけるトルク指令値算出部 311 で算出される操舵補助トルク指令値 I_{refb} が減少することにより、車両の走行状態に応じた最適な操舵補助トルク指令値 I_{ref1} が設定されて、車両の走行状態に応じた最適な操舵補助制御が行われる。

【0053】

ところが、車両の走行中に、操舵トルクセンサ 14 が異常状態となって、トルクセンサ異常検出部 33 で、操舵トルク T が操舵トルクセンサ異常検出条件を満足する状態となると、このトルクセンサ異常検出部 33 から論理値 “ 1 ” の異常検出信号 S_a が指令値選択部 34 に出力されることにより、この指令値選択部 34 で上述した第 1 の操舵補助トルク指令値演算部 31 に代えて第 2 の操舵補助トルク指令値演算部 32 が選択される。

【0054】

このとき、第 2 の操舵補助トルク指令値演算部 32 では、左右の車輪 W_L 及び W_R の車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} を車輪回転速度センサ 18L 及び 18R で検出し、検出した車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} がセルフアライニングトルク推定部 32A に供給される。このため、セルフアライニングトルク推定部 32A の平均値算出部 324 で車速相当値 V_s' が算出されるとともに、セルフアライニングトルク初期推定部 321 で、左右の車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} に基づいて前記 (1) 式の演算を行なって車輪回転速度差 ΔV_w を算出し、算出した車輪回転速度差 ΔV_w をもとに図 4 のセルフアライニングトルク算出マップを参照してセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i を推定する。

【0055】

そして、推定したセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i に対してローパスフィルタ 322 でローパスフィルタ処理されることにより、ノイズが除去されたセルフアライ

10

20

30

40

50

ニングトルク初期推定値 SAT_i' が得られ、このセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i' に位相補正部 325 で車速相当値 Vs' によって位相補正を行なうことにより、セルフアライニングトルク推定値を演算し、さらにゲイン K を乗算して第 2 の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ を算出する。

【0056】

この車両の走行中で、直進走行状態にあるときには、前記 (1) 式で算出される車輪回転速度差 ΔVw が “0” であることからセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i も “0” となって、電動モータ 12 は停止状態を維持する。

しかしながら、直進走行状態からステアリングホイール 1 を操舵して旋回走行状態に移行すると、その旋回走行状態の旋回半径に応じて左右の車輪回転速度 VwL 及び VwR に差を生じる。このため、車輪回転速度差 ΔVw は、車速 Vs が低い状態では、分子となる左右の車輪回転速度 VwL 及び VwR の差が極めて小さいことから比較的小さな値となって、セルフアライニングトルク初期推定部 321 で図 4 のセルフアライニングトルク初期推定値算出マップを参照して算出されるセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i が比較的小さい値となる。このセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i がローパスフィルタ 322 でローパス処理され、位相補正部 325 で車速相当値 Vs' による位相補正が行なわれることにより、車両走行時にステアリングギヤ機構 8 のラック軸に路面から入力されるセルフアライニングトルク SAT を正確に推定することができる。

【0057】

そして、この推定されたセルフアライニングトルク推定値 SAT を増幅部 32B で増幅することにより、セルフアライニングトルク SAT を考慮した第 2 の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ を算出し、これが指令値選択部 34 を介し、レートリミッタ 35 を介して加算器 46 に供給されるので、この加算器 46 で指令補償値 $Icom$ を加算した補償後操舵補助トルク指令値 $Iref'$ を電流制限部 23 に供給し、この最大電流が制限された補償後補助トルク指令値 $Iref''$ をモータ駆動回路 24 に供給することにより、このモータ駆動回路 24 でセルフアライニングトルク SAT を考慮した操舵補助力を発生させ、操舵補助制御を継続することができる。

【0058】

また、車両の車速 Vs が速い場合には、左右の車輪回転速度 VwL 及び VwR の差が大きな値となることから、前記 (1) 式で算出される車輪回転速度差 ΔVw が大きな値となり、これに応じて、セルフアライニングトルク初期推定部 321 で図 4 のセルフアライニングトルク初期推定値算出マップを参照して算出されるセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i が比較的大きな値となる。このセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i がローパスフィルタ 322 でローパス処理され、位相補正部 325 で車速相当値 Vs' による位相補正が行なわれることにより、車両走行時にステアリングギヤ機構 8 のラック軸に路面から入力されるセルフアライニングトルク SAT を正確に推定することができる。

【0059】

そして、この推定されたセルフアライニングトルク推定値 SAT を増幅部 32B で増幅することにより、セルフアライニングトルク SAT を考慮した第 2 の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ を算出し、これが指令値選択部 34 を介し、レートリミッタ 35 を介して加算器 46 に供給される。したがって、モータ駆動回路 24 で、セルフアライニングトルク SAT を考慮した操舵補助力を発生させ、操舵補助制御を継続することができる。

【0060】

このように上記実施形態によると、操舵トルクセンサ 14 が異常状態となったときに、セルフアライニングトルク推定部 32A で路面からの反力を推定して、反力に応じて必要な第 2 の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ を算出し、この第 2 の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ に基づいて電動モータ 12 を駆動制御するので、電動モータ 12 で路面からの反力に応じた操舵補助力を発生することができ、操舵トルクセンサ 14 が異常となった後も操舵に必要な操舵補助制御を継続することができる。したがって、路面からの反力を考慮

しているので、路面摩擦係数が低い降雨路、凍結路、積雪路等を走行する場合でも、操舵角 ϕ の変化に応じて最適な操舵補助力を発生させることができる。

【0061】

また、他のアンチロックブレーキシステムに使用される車輪回転速度センサ18L及び18Rを使用してセルフアライニングトルク初期推定値SATiを算出するので、部品点数の増加を抑制して、コストを低減することができる。

さらにまた、上記第1の実施形態においては、コントローラ15をハードウェアで構成する場合について説明したが、これに限定されるものではなく、マイクロコンピュータを適用して、回転情報演算部20、操舵補助トルク指令値演算部21、指令値補償部22、電流制限部23、モータ駆動回路の機能をソフトウェアで処理することもできる。この場合の処理としては、マイクロコンピュータで図5に示す操舵トルクセンサ異常検出処理及び図6に示す操舵補助制御処理を実行するようにすればよい。

【0062】

ここで、操舵トルクセンサ異常検出処理は、図5に示すように、所定時間（例えば1msec）毎にタイマ割込処理として実行され、先ず、ステップS1で、操舵トルクセンサ14で検出した操舵トルクTを読み、次いでステップS2に移行して、読込んだ操舵トルクTが前述したトルクセンサ異常検出部33に設定されたトルクセンサ異常検出条件を満足するか否かを判定し、トルクセンサ異常検出条件を満足しない場合には、操舵トルクセンサ14が正常であると判断してステップS3に移行し、トルクセンサ異常フラグFaを操舵トルクセンサ14が正常であることを表す“0”にリセットしてからタイマ割込処理を終了し、トルクセンサ異常検出条件を満足した場合には、操舵トルクセンサ14が異常であると判断してステップS4に移行し、トルクセンサ異常フラグFaを操舵トルクセンサ14が異常であることを表す“1”にセットしてからタイマ割込処理を終了する。

【0063】

また、操舵補助制御処理は、図6に示すように、所定時間（例えば1msec）毎にタイマ割込処理として実行され、先ず、ステップS11で、操舵トルクセンサ14、車速センサ16、回転角センサ17、車輪回転速度センサ18L、18R等の各種センサの検出値を読み、次いでステップS12に移行して、図5のトルクセンサ異常検出処理で設定されたセンサ異常フラグFaが“1”にセットされているか否かを判定し、センサ異常フラグFaが“0”にリセットされているときにはステップS13に移行する。このステップS13では、操舵トルクTをもとに前述した操舵補助トルク指令値算出マップを参照して操舵補助トルク指令値Irefbを算出してからステップS14に移行する。

【0064】

このステップS14では、算出した操舵補助トルク指令値Irefbに対して位相補償処理を行って位相補償後操舵補助トルク指令値Irefb'を算出し、次いでステップS15に移行して、操舵トルクTを微分してセンタ応答性改善指令値Irを算出し、次いでステップS16に移行して、位相補償後操舵補助トルク指令値Irefb'にセンタ応答性改善指令値Irを加算して第1の操舵補助トルク指令値Iref1(=Irefb'+Ir)を算出し、これを操舵補助トルク指令値IrefとしてRAM等の記憶装置のトルク指令値記憶領域に更新記憶してから後述するステップS19に移行する。

【0065】

一方、前記ステップS12の判定結果が、センサ異常フラグFaが“1”にセットされているときには、操舵トルクセンサ14が異常であると判断してステップS17に移行し、車輪回転速度VwL及びVwRに基づいて前記(1)式の車輪回転速度差 ΔVw を算出する。そして、算出した車輪回転速度差 ΔVw に基づいて図4に示すセルフアライニングトルク算出マップを参照して、セルフアライニングトルク初期推定値SATiを算出し、このセルフアライニングトルク初期推定値SATiをローパスフィルタ処理及び位相補正処理してセルフアライニングトルク推定値SATを算出する。次いで、ステップS18に移行して、算出したセルフアライニングトルク推定値SATに“1”未満のゲインKを乗算して第2の操舵補助トルク指令値Iref2を算出し、これを操舵補助トルク指令値Ir

e fとして前述したRAM等の記憶装置のトルク指令値記憶領域に更新記憶してからステップS19に移行する。

【0066】

また、ステップS19では、モータ回転角 θ を微分してモータ角速度 ω を算出し、次いでステップS20に移行して、モータ角速度 ω を微分してモータ角加速度 α を算出し、次いでステップS21に移行して、収斂性補償部43と同様にモータ角速度 ω に車速 V_s に応じて設定された補償係数 K_c を乗算して収斂性補償値 I_c を算出してからステップS22に移行する。

【0067】

このステップS22では、慣性補償部44と同様に、モータ角加速度 α に基づいて慣性補償値 I_i を算出し、次いでステップS23に移行して、RAM等の記憶装置のトルク指令値記憶領域に記憶された操舵補助トルク指令値 I_{ref} にステップS21及びS22で算出した収斂性補償値 I_c 及び慣性補償値 I_i を加算して補償後操舵補助トルク指令値 I_{ref}' を算出してからステップS24に移行する。

【0068】

このステップS24では、算出した補償後操舵補助トルク指令値 I_{ref}' に対して最大値制限処理を行なって制限後トルク補助指令値 I_{ref}'' を算出し、次いでステップS25に移行して、算出した制限後トルク補助指令値 I_{ref}'' をモータ駆動回路24に出力して、電動モータ12を駆動する。

【0069】

この図5の処理がトルク検出部異常検出手段に対応し、図6の処理において、ステップS12の処理が異常時切換手段に対応し、ステップS13～S16の処理が第1のトルク指令値演算手段に対応し、ステップS17及びS18の処理が第2のトルク指令値演算手段に対応し、ステップS19～S25の処理がモータ制御手段に対応している。

【0070】

このように、マイクロコンピュータで、図5のトルクセンサ異常検出処理及び図6の操舵補助制御処理を実行することにより、前述した実施形態と同様に操舵トルクセンサ14が正常であるときには図6の操舵補助制御処理におけるステップS13～S16の処理を実行して、第1の操舵補助トルク指令値 I_{ref1} を算出する。また、操舵トルクセンサ14が異常であるときには図6の操舵補助制御処理におけるステップS17及びS18の処理を実行して第2の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} を算出することにより、ステアリングギヤ機構8のラック軸に入力される路面からの反力となるセルフアライニングトルクSATを推定し、推定したセルフアライニングトルクSATに“1”未満のゲイン K を乗算して第2の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} を算出する。

【0071】

このため、操舵トルクセンサ14が正常である場合には第1の操舵補助トルク指令値 I_{ref1} に基づいて電動モータ12が駆動制御されて、正確な操舵補助制御を行い、操舵トルクセンサ14に異常が発生した場合には、車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} に基づいてセルフアライニングトルクSATを推定し、推定したセルフアライニングトルクSATに“1”未満のゲイン K を乗算して第2の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} を算出する。このため、操舵トルクセンサ14が正常な状態から異常な状態となった場合にも、第2の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} に基づいて路面反力を考慮した最適な操舵補助制御を継続することができる。

【0072】

次に、本発明の第2の実施形態を図7～図13について説明する。

この第2の実施形態では、第2の操舵補助トルク指令値演算部32のゲイン調整手段となる増幅器32Bに代えて複数の調整部を有するゲイン調整部を適用するようにしたものである。なお、この第2の実施形態では、回転センサ17を含んで回転情報演算部20が構成され、車輪回転速度センサ18が前輪の左右輪の車輪速度 V_{wFL} 、 V_{wFR} 及び後輪の左右輪の車輪速度 V_{wRL} 、 V_{wRR} を検出し、左側の車輪速度 V_{wFL} 及び V_{w

R Lの平均値を左側車輪速度 V_{wL} とし、右側の車輪速度 V_{wFR} 及び V_{wRR} の平均値を右側車輪速度 V_{wR} としている。

【0073】

この第2の実施形態では、図7に示すように、第2の操舵補助トルク指令値演算部32が、上述した図3の構成を有するセルフアライニングトルク推定部32Aと、このセルフアライニングトルク推定部32Aで推定したセルフアライニングトルクSATにゲインを乗算して第2の操舵補助トルク指令値Iref2を算出するゲイン調整手段としてのゲイン調整部32Cと、ゲイン調整部32Cでゲイン調整されたセルフアライニングトルクを制限するトルク制限手段としてのトルク制限部32Dとで構成されている。

【0074】

ゲイン調整部32Cは、操舵状態ゲイン調整部36、車速ゲイン調整部37、セルフアライニングトルクゲイン調整部38、及び駆動輪スリップゲイン調整部39を有する。

操舵状態ゲイン調整部36は、セルフアライニングトルク推定部32Aから出力されるセルフアライニングトルク推定値SAT及びモータ角速度演算部201で算出されたモータ角速度 ω が入力されて、これらに基づいて切増し状態、切戻し状態及び保舵状態の何れの操舵状態かを検出し、検出した操舵状態に応じた操舵状態ゲインK0を設定する操舵状態ゲイン設定部36Aと、この操舵状態ゲイン設定部36Aで設定された操舵状態ゲインK0をセルフアライニングトルク推定部32Aから出力されるセルフアライニングトルク推定値SATに乘算してゲイン倍出力Iref3を出力するゲイン乗算部36Bとで構成されている。

【0075】

ここで、操舵状態ゲイン設定部36Aの具体的構成は、図8に示すように、セルフアライニングトルク推定値SATとモータ角速度 ω とが入力されて、切増し状態、切戻し状態及び保舵状態を判定する操舵状態判定部361と、この操舵状態判定部361の判定結果とモータ角速度 ω とに基づいて操舵状態ゲインK0を算出する操舵状態ゲイン算出部362とを有する。

【0076】

操舵状態判定部361は、セルフアライニングトルク推定値SATの符号とモータ角速度 ω の符号が一致するときに切増し状態であると判定し、セルフアライニングトルク推定値SATの符号とモータ角速度 ω の符号が不一致であるときに切戻し状態であると判定し、モータ角速度 ω の絶対値 $|\omega|$ が設定値 ω_t 以下であるときには保舵状態であると判定する。

【0077】

操舵状態ゲイン算出部362は、入力される操舵状態及びモータ角速度 ω に基づいて図9に示す操舵状態ゲイン算出マップを参照して操舵状態ゲインK0を算出する。操舵状態ゲイン算出マップは、図9に示すように、操舵状態が保舵状態であるときには、モータ角速度 ω の値にかかわらず所定ゲインK0hを維持するように特性線Lhが設定され、操舵状態が切増し状態であるときには、モータ角速度 ω が零から所定値 ω_1 迄の間で所定ゲインK0hより大きな値の所定ゲインK0iを維持し、モータ角速度 ω が所定値 ω_1 を超えるとモータ角速度 ω の増加に伴ってゲインが比較的大きな勾配で増加するように特性線Liが設定され、操舵状態が切戻し状態であるときには、モータ角速度 ω が零から所定値 ω_1 迄の間で所定ゲインK0hより小さな値の所定ゲインK0dを維持し、モータ角速度 ω が所定値 ω_1 を超えるとモータ角速度 ω の増加に伴ってゲインが比較的小さな勾配で減少するように特性線Ldが設定されている。

【0078】

また、車速ゲイン調整部37は、車速感応ゲインK1を算出する車速ゲイン算出部37Aと、この車速ゲイン設定値部37Aで設定された車速感応ゲインK1を操舵状態ゲイン調整部36から出力されるゲイン倍出力Iref3に車速感応ゲインK1を乗算してゲイン倍出力Iref4を出力するゲイン乗算部37Bとで構成されている。

車速ゲイン算出部37Aは、入力される車速Vsに基づいて図10に示す車速感応ゲイ

10

20

30

40

50

ン算出マップを参照して車速感応ゲイン K_1 を算出する。ここで、車速感応ゲイン算出マップは、図10に示すように、車速 V_s が零から所定値 V_{s1} 迄の間では所定値 K_v を維持し、車速 V_s が所定値 V_{s1} を超えると、車速 V_s の増加に応じて比較的大きな勾配でゲインが減少し、車速 V_s が所定値 V_{s1} より大きい所定値 V_{s2} を超えると、車速 V_s の増加に応じて比較的小さな勾配でゲインが減少するように特性線 L_v が設定されている。

【0079】

セルフアライニングトルクゲイン調整部38は、セルフアライニングトルク演算値 SAT_o を算出して補正ゲイン K_2 を設定するセルフアライニングトルクゲイン設定部38Aと、このセルフアライニングトルクゲイン設定部38Aで設定されたセルフアライニングトルクゲイン K_2 をゲイン倍出力 I_{ref4} に乗算するゲイン乗算部38Bとで構成されている。

10

【0080】

セルフアライニングトルクゲイン設定部38Aは、図11に示すように、4輪車輪速センサ18から入力される4輪の車輪回転速度 $V_{wFL} \sim V_{wRR}$ とモータ角度 θ とに基づいて車両モデルを用いてセルフアライニングトルク演算値 SAT_o を算出するセルフアライニングトルク演算部381と、前述したセルフアライニングトルク推定部32で推定したセルフアライニングトルク推定値 SAT からセルフアライニングトルク演算部381で算出したセルフアライニングトルク演算値 SAT_o を減算する減算器382と、この減算器382の減算出力を絶対値化してセルフアライニングトルク偏差 $\Delta SAT (= |SAT - SAT_o|)$ を算出する絶対値演算部383と、この絶対値演算部383で算出したセルフアライニングトルク偏差 ΔSAT に基づいて図12に示すセルフアライニングトルクゲイン算出マップを参照してセルフアライニングトルクゲイン K_2 を算出するゲイン算出部384とを備えている。

20

【0081】

ここで、セルフアライニングトルク演算部381は、4輪の車輪回転速度 $V_{wFL} \sim V_{wRR}$ の平均値を車速 V として算出すると共に、モータ角度 θ を推定操舵角 θ として、車両諸元定数を下記(2)式で表される車両モデルとなる車両横方向の運動方程式(状態方程式)に代入し、下記(3)式で表されるセルフアライニングトルク演算値算出式(出力式)を用いることで、セルフアライニングトルク演算値 SAT_o を算出する。

30

【0082】

【数 1】

$$\begin{bmatrix} \beta' \\ \gamma' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} \delta_f \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$a_{11} = -\frac{2(K_f + K_r)}{mV}$$

$$a_{12} = -1 - \frac{2(l_f K_f - l_r K_r)}{mV^2}$$

$$a_{21} = -\frac{2(l_f K_f - l_r K_r)}{I}$$

$$a_{22} = -\frac{2(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)}{IV}$$

$$b_{11} = \frac{2K_f}{mV}$$

$$b_{21} = \frac{2l_f K_f}{I}$$

10

20

【0083】

車両諸元定数

m：車両質量

I：車両慣性モーメント

l_f：車両重心点と前軸間の距離l_r：車両重心点と後軸間の距離K_f：前輪タイヤのコーナリングパワーK_r：後輪タイヤのコーナリングパワー

V：車速

N：オーバーオール舵角比

θ：推定操舵角

δ_f：実舵角（δ_f = θ / N）

β：車両重心点の横滑り角

γ：ヨーレート

ε：トレール

30

【0084】

【数 2】

$$SAT_o = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{11} \end{bmatrix} \delta_f \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

40

$$c_{11} = -2 \varepsilon K_f$$

$$c_{12} = -\frac{2 \varepsilon K_f l_f}{V}$$

$$d_{11} = 2 \varepsilon K_f$$

50

【0085】

上記演算を行うために、セルフアライニングトルク演算部381の具体的構成は、図12に示すように構成されている。

すなわち、推定操舵角としてのモータ角度 θ が $1/N$ を乗算する乗算器381aに入力されて実舵角 δf を算出する。この乗算器381aから出力される実舵角 δf が、前述した(2)式の係数 b_{11} を乗算する乗算器381bに供給され、この乗算器381bの出力が加算器381cに供給される。この加算器381cの加算出力は積分器381dに入力されて積分されることにより、車両重心点の横滑り角 β を算出し、算出された車両重心点の横滑り角 β が前記(3)式の係数 C_{11} を乗算する乗算器381eに供給されるとともに、前記(2)式の係数 a_{11} を乗算する乗算器381f及び前記(2)式の係数 a_{21} を乗算する乗算器381gに供給される。そして、乗算器381f及び後述する乗算器381nの乗算出力が加算器381cに供給されて、乗算器381bの乗算出力に加算されることにより、横滑り角速度 β' が算出される。この横滑り角速度 β' が積分器381dで積分されて横滑り角度 β が算出される。

10

【0086】

一方、乗算器381aから出力される実舵角 δf が、前記(2)式の係数 b_{21} を乗算する乗算器381hに供給され、この乗算器381hから出力される乗算出力が加算器381iに供給され、この加算器381iの加算出力が積分器381jに供給されて積分されることにより、ヨーレート γ が算出される。そして、算出されたヨーレート γ が前記(3)式の係数 c_{12} を乗算する乗算器381kに供給されるとともに、前記(2)式の係数 a_{22} を乗算する乗算器381m及び前記(2)式の係数 a_{12} を乗算する乗算器381nに供給される。

20

【0087】

そして、乗算器381mの乗算出力及び前述した乗算器381gの乗算出力が加算器381iに供給されて、乗算器381hの乗算出力に加算されてヨー角加速度 γ' が算出され、このヨー角加速度 γ' が積分器381jで積分されてヨーレート γ が算出される。

さらに、乗算器381aから出力される実舵角 δf が、前記(3)式の係数 d_{11} を乗算する乗算器381oに供給され、この乗算器381oから出力される乗算出力と、前述した乗算器381e及び381kから出力される乗算出力とが加算器381pで加算されてセルフアライニングトルク演算値SAToが算出される。

30

【0088】

また、ゲイン算出部384では、絶対値演算部383から出力されるセルフアライニングトルク偏差の絶対値 $|\Delta SAT|$ をもとに図13に示すセルフアライニングトルクゲイン算出マップを参照してセルフアライニングトルクゲインK2を算出する。

ここで、セルフアライニングトルクゲイン算出マップは、図13に示すように、セルフアライニングトルク偏差の絶対値 $|\Delta SAT|$ が0から設定値 $\Delta SAT1$ 迄の間ではセルフアライニングトルク偏差の絶対値 $|\Delta SAT|$ の増加に応じて比較的緩やかな勾配でセルフアライニングトルクゲインK2が減少し、セルフアライニングトルク偏差の絶対値 $|\Delta SAT|$ が設定値 $\Delta SAT1$ を超えて設定値 $\Delta SAT2$ に達するまでの間は比較的急な勾配でセルフアライニングトルクゲインK2が減少し、設定値SAT2を超えると、セルフアライニングトルク偏差の絶対値 $|\Delta SAT|$ の増加に応じて比較的緩やかな勾配でセルフアライニングトルクゲインK2が減少するように特性線Lsが設定されている。

40

【0089】

駆動輪スリップゲイン調整部39は、車輪速センサ18で検出された車輪速度VwL及びVwRに基づいて駆動輪スリップゲインK3を設定する駆動輪スリップゲイン設定部39Aと、この駆動輪スリップゲイン設定部39Aで設定された駆動輪スリップゲインK3をゲイン倍出力Iref5に乗算するゲイン乗算部39Bとで構成されている。

駆動輪スリップゲイン設定部39Aは、図14に示すように、車輪速センサ18で検出された前輪の左右車輪速度VwFL及びVwFRと後輪の左右車輪速度VwRL及びVwRRが入力され、前輪の左右車輪速度VwFL及びVwFRを加算する加算部391と、

50

この加算部 391 の加算出力に 2 分の 1 を乗算して前輪平均値 V_{wF} を算出する乗算器 392 と、後輪の左右車輪速度 V_{wRL} 及び V_{wRR} を加算する加算部 393 と、この加算部 393 の加算出力に 2 分の 1 を乗算して後輪平均値 V_{wR} を算出する乗算器 394 と、乗算器 392 から出力される前輪平均値 V_{wF} から乗算部 394 から出力される後輪平均値 V_{wR} を減算して駆動輪車輪速偏差 ΔV_w を算出する減算部 395 と、この減算部 395 から出力される駆動輪車輪速偏差 ΔV_w を絶対値化する絶対値回路 396 と、この絶対値回路 396 から出力される駆動輪車輪速偏差の絶対値 $|\Delta V_w|$ に基づいて駆動輪スリップ感応ゲイン K_4 を算出するゲイン算出部 397 とを備えている。

【0090】

ここで、ゲイン算出部 397 は、入力される駆動輪車輪速偏差 ΔV_w の絶対値 $|\Delta V_w|$ に基づいて図 13 に示す駆動輪スリップ感応ゲイン算出マップを参照して駆動輪スリップ感応ゲイン K_3 を算出する。この駆動輪スリップ感応ゲイン算出マップは、図 15 に示すように、駆動輪車輪速偏差 ΔV_w の絶対値 $|\Delta V_w|$ が 0 から増加するに応じて駆動輪スリップゲイン K_3 が徐々に減少するように二次曲線となる特性線 L_w が設定されている。

10

【0091】

また、トルク制限部 32D は、トルク制限値設定部 40 と、このトルク制限値設定部 40 で設定されたトルク制限値 T_{lim} でゲイン倍出力 I_{ref6} を制限して第 2 の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} を出力するリミッタ部 41 とを備えている。

トルク制限値設定部 40 は、車速 V_s 及びモータ角速度 ω が入力され、車速 V_s に基づいて図 16 (a) に示す車速制限値算出マップを参照して車速制限値 L_{imv} を算出すると共に、モータ角速度 ω に基づいて図 16 (b) に示すモータ角速度制限値算出マップを参照してモータ角速度制限値 L_{imm} を算出し、車速制限値 L_{imv} 及びモータ角速度制限値 L_{imm} を比較して何れか小さい値を制限値 L_{im} としてリミッタ部 41 に出力する。

20

【0092】

ここで、車速制限値算出マップは、図 16 (a) に示すように、車速 V_s が零から所定値 V_{s3} に達するまでの間は最大制限値 L_{imax} を維持し、車速 V_s が所定値 V_{s3} を超えると車速 V_s の増加に応じて緩やかな円弧を描きながら車速制限値 L_{imv} が減少する特性線 L_{v1} が設定されている。

30

また、モータ角速度制限値算出マップは、図 16 (b) に示すように、モータ角速度 ω が零から運転者の操舵又は路面反力によって発生する設定角速度 ω_2 に達する迄の間は最大制限値 L_{imax} を維持し、モータ角速度 ω が設定角速度 ω_2 を超えると、モータ角速度 ω の増加に伴って比較的大きな勾配でモータ角速度制限値 L_{imm} が減少する特性線 L_{ω} が設定されている。

【0093】

次に、上記第 2 の実施形態の動作を説明する。

操舵トルクセンサ 14 が正常である場合には、前述した第 1 の実施形態と同様に、トルクセンサ異常検出部 33 で論理値 “0” の異常検出信号 S_a が指令値選択部 34 に出力される。このため、指令値選択部 34 で第 1 の操舵補助トルク指令値演算部 31 が選択されて、この第 1 の操舵補助トルク指令値演算部 31 から出力される第 1 の操舵補助トルク指令値 I_{ref1} が操舵補助トルク指令値 I_{ref} として加算器 46 に出力される。このため、操舵トルクセンサ 14 で検出した操舵トルク T に応じた操舵補助制御が行われて、電動モータ 12 から操舵トルク T に応じた操舵補助力が発生され、これが減速機構 11 を介してステアリングホイール 1 からの操舵力が伝達されたステアリングシャフト 2 に伝達されることにより、操舵力及び操舵補助力がステアリングギヤ機構 8 で車幅方向の直線運動に変換されてタイロッド 9 を介して左右の転舵輪 WL , WR が転舵されて、軽い操舵トルクで転舵輪 WL , WR を転舵することができる。

40

【0094】

一方、車両の走行中に、操舵トルクセンサ 14 が異常状態となって、トルクセンサ異常

50

検出部 33 で、操舵トルク T が操舵トルクセンサ異常検出条件を満足する状態となると、このトルクセンサ異常検出部 33 から論理値 “1” の異常検出信号 S_a が指令値選択部 34 に出力されることにより、この指令値選択部 34 で上述した第 1 の操舵補助トルク指令値演算部 31 に代えて第 2 の操舵補助トルク指令値演算部 32 が選択される。

【0095】

この第 2 の操舵補助トルク指令値演算部 32 では、セルフアライニングトルク推定部 32 で、前述した第 1 の実施形態と同様に、車輪速センサ 18 から出力される左右の車輪速度 V_{wL} 及び V_{wR} に基づいてセルフアライニングトルク推定値 SAT が算出される。そして、算出されたセルフアライニングトルク推定値 SAT に対して、ゲイン調整部 32C で各種ゲイン調整が行われる。

10

【0096】

すなわち、操舵状態ゲイン調整部 36 では、ステアリングホイール 1 の操舵状態が切増し状態、切戻し状態及び保舵状態の何れであるかを判定する。この場合の判定は、セルフアライニングトルク推定値 SAT の符号とモータ角速度 ω の符号とが一致するか否かで切増し状態であるか切戻し状態であるかを判定し、モータ角速度 ω の絶対値 $|\omega|$ が設定角速度 ω_t 以下であるときに保舵状態であると判定する。

【0097】

そして、判定された操舵状態に応じて図 9 の特性線 L_i 、 L_d 及び L_h の何れかが選択され、選択された特性線に基づいてモータ角速度 ω から操舵状態感応ゲイン K_0 が設定される。このため、ステアリングホイール 1 の操舵状態が保舵状態であるときには操舵状態感応ゲイン K_0 が所定値 K_{0h} を維持することにより、保舵状態に応じた中立値の操舵状態ゲイン K_0 を設定することができる。このため、操舵状態ゲイン K_0 がセルフアライニングトルク推定部 32A から出力されるセルフアライニングトルク推定値 SAT に操舵状態ゲイン K_0 を乗算して保舵状態に最適なゲイン倍出力 I_{ref3} を得ることができる。

20

【0098】

一方、上記操舵状態での車速 V_s に基づいて車速感応ゲイン設定部 37A で図 10 に示す車速感応ゲイン設定マップを参照して車速感応ゲイン K_1 が設定され、設定された車速感応ゲイン K_1 がゲイン乗算部 37B でゲイン倍出力 I_{ref3} に乗算されてゲイン倍出力 I_{ref4} ($= I_{ref3} * K_1$) が算出され、このゲイン倍出力 I_{ref4} が出力される。

30

【0099】

すなわち、車速 V_s が設定車速 V_{s1} より小さい場合には、比較的大きな車速感応ゲイン K_1 が設定されることにより、据え切り時等の大きな操舵補助力を発生する第 2 の操舵補助力を発生させる第 2 の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} を算出することができる。

また、車速 V_s が設定車速 V_{s1} を超えている場合には、車速 V_s の増加に応じて車速感応ゲイン K_1 が比較的大きな減少率で減少することになり、車速 V_s が設定車速 V_{s2} を超える場合には、車速 V_s の増加に応じて比較的小さな減少率で減少することになり、車速 V_s に応じてセルフアライニングトルク推定値 SAT が最適化されて第 2 の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} が算出され、操舵フィーリングを向上させることができる。

【0100】

また、セルフアライニングトルクゲイン設定部 38A では、セルフアライニングトルク演算部 381 で、モータ角度 θ 及び 4 輪の車輪速 $V_{wFL} \sim V_{wRR}$ に基づいて車両モデルを利用してセルフアライニングトルク演算値 SAT_o を算出する。そして、減算器 382 で、算出したセルフアライニングトルク演算値 SAT_o とセルフアライニングトルク推定部 32A で推定したセルフアライニングトルク推定値 SAT との偏差 ΔSAT を算出し、算出した偏差 ΔSAT を絶対値演算部 383 で絶対値化して絶対値 $|\Delta SAT|$ を算出する。そして、ゲイン算出部 384 で、算出した絶対値 $|\Delta SAT|$ に基づいて図 13 に示すセルフアライニングトルクゲイン算出マップを参照してセルフアライニングトルクゲイン K_2 を算出する。

40

【0101】

50

そして、算出したセルフアライニングトルクゲイン K_2 がゲイン乗算部 38B でゲイン乗算部 37B から出力されるゲイン倍出力 I_{ref4} に乗算されてゲイン倍出力 I_{ref5} ($= I_{ref4} \times K_2$) を算出し、このゲイン倍出力 I_{ref5} が出力される。

このため、何れかのタイヤがパンクして応急タイヤを装着したり、タイヤの空気圧のバラツキが生じたり、左右輪の摩耗度合いが異なることにより、左右輪でタイヤ外径が異なる場合や、左右の一方側が雪路、凍結路、轍、水溜まり等の低摩擦係数路面となり、他方側が乾燥路面等の高摩擦係数路面となる所謂スプリット μ 路を走行する場合では車両の左右で車輪速度差を生じることになる。

【0102】

このように、車両の左右で車輪速度差を生じた場合、例えば図 17 に示すように、車両の左輪側のタイヤ外径が右輪側のタイヤ外径より大きい場合には、車両に矢印 A で示すように時計方向のヨー運動を生じることから、車両を直進走行させるには、ステアリングホイール 1 を矢印 B で示すように、左操舵して保舵トルクを与える必要がある。

しかしながら、車両左側の車輪速度 V_{wL} が右側の車輪速度 V_{wR} に比較して速いので、セルフアライニングトルク推定部 32A では、右旋回状態と誤判断することになり、右旋回走行を補助するようなセルフアライニングトルク推定値 SAT が算出される。このため、このセルフアライニングトルク推定値 SAT を第 2 の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} とした場合には、電動モータ 12 で、右操舵を補助する逆方向の操舵補助力が発生される制御異常状態となってしまう。

【0103】

このとき、セルフアライニングトルクゲイン設定部 38A では、モータ角度 θ 及び 4 輪の車輪速度 $V_{wFL} \sim V_{wRR}$ に基づいて車両モデルを利用してセルフアライニングトルク演算値 SAT_0 を算出する。このセルフアライニングトルク演算値 SAT_0 はモータ角 θ が “0” であるので、図 12 に示すセルフアライニングトルク演算部 381 の乗算器 381a で算出される実舵角 δ_f も “0” となる。このように実舵角 Δf が “0” となるため、セルフアライニングトルク演算部 381 で算出されるセルフアライニングトルク演算値 SAT_0 も “0” となり、減算器 382 から出力されるセルフアライニングトルク推定値 SAT との間の偏差 ΔSAT が増加し、絶対値演算部 383 で演算される絶対値 $|\Delta SAT|$ が増加することになる。このため、図 13 を参照して算出されるセルフアライニングトルクゲイン K_2 が偏差 ΔSAT の絶対値 $|\Delta SAT|$ の増加に応じて減少する。

【0104】

したがって、ゲイン乗算部 38B で、ゲイン乗算部 37B から出力されるゲイン倍出力 I_{ref4} にセルフアライニングトルクゲイン K_2 が乗算されるので、ゲイン乗算部 38B から出力されるゲイン倍出力 I_{ref5} が減少することになり、結果的に第 2 の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} が減少し、電動モータ 12 で発生する逆方向の操舵補助力が抑制される。

【0105】

一方、例えば左輪側が、低摩擦係数路面で、右輪側が高摩擦係数路面であるスプリット μ 路を走行する場合には、上記タイヤ外径が異なる場合と同様に、左輪側の駆動輪の車輪速度が増加することにより、左輪の車輪速度 V_{wL} が右輪の車輪速度 V_{wR} に比較して速くなる。しかしながら、このスプリット μ 路の走行状態では、右輪側の駆動輪のグリップ力が左輪側の駆動輪のグリップ力に比べて大きくなるので、車両に反時計方向のヨー運動が発生する。このため、車両を直進走行させるには、運転者がステアリングホイール 1 を右操舵して保舵トルクを発生させることになる。

【0106】

このとき、セルフアライニングトルク推定部 32A で推定されるセルフアライニングトルク推定値 SAT は、左輪の車輪速度 V_{wL} が右輪の車輪速度 V_{wR} よりも速いので、右旋回状態と判断されて、運転者の保舵トルクを補助する方向となる。

このため、セルフアライニングトルク推定値 SAT を抑制する必要はないことになり、左輪側の駆動輪が低摩擦係数路面を走行するので、車輪速度が急増することになり、左

10

20

30

40

50

右の車輪速度差 ΔV_w が急増して、この分セルフアライニングトルク推定値 SAT も実際のセルフアライニングトルクより大きな値となる。したがって、そのままでは第2の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} が大きな値となって、電動モータ12で発生する操舵補助力が過多となるセルフステア状態となる。

【0107】

この場合には、セルフアライニングトルクゲイン算出部38Aで算出されるセルフアライニングトルク推定値 SAT とセルフアライニングトルク演算値 SAT_o との偏差 ΔSAT の絶対値 $|\Delta SAT|$ が大きな値となる。この結果、ゲイン算出部384で、図13を参照して算出されるセルフアライニングトルクゲイン K_2 がより小さい値となって、このセルフアライニングトルクゲイン K_2 がゲイン乗算部38Bでゲイン倍出力 I_{ref4} に乗算されてゲイン倍出力 I_{ref5} ($= I_{ref4} * K_2$) が算出される。これによって、第2の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} が減少されて、保舵トルクに見合う値に調整される。この結果、電動モータ12で発生する操舵補助力がセルフステアを抑制して適正値に制御される。したがって、運転者に違和感を与えることなく、適正な操舵補助制御を行うことができる。

【0108】

また、発進時に、駆動輪スリップを生じると、駆動輪の車輪速度が増加することにより、左右の車輪速度 V_{wL} 、 V_{wR} も増加する。このため、前述した(1)式で算出される左右の車輪回転速度差 ΔV_w が実際の車輪回転速度差より大きくなって、図4に示すセルフアライニングトルク算出マップを参照して算出されるセルフアライニングトルク推定値 SAT が実際のセルフアライニングトルクより大きな値に設定されることがある。この場合には、第2の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} も増加することから、電動モータ12で運転者の意図しない操舵補助力を発生するセルフステア状態となる。

【0109】

このため、駆動輪スリップゲイン設定部39Aで、駆動輪スリップ率を算出し、算出した駆動輪スリップ率に基づいて図15に示す駆動輪スリップゲイン算出マップを参照することにより、駆動輪スリップ率が増加するにつれて減少する駆動輪スリップゲイン K_3 を算出し、算出した駆動輪スリップゲイン K_3 をゲイン乗算器39Bでゲイン倍出力 I_{ref5} に乗算することによりゲイン倍出力 I_{ref6} ($= I_{ref5} * K_3$) を算出することにより、駆動輪スリップによるセルフステア状態を抑制する。

【0110】

さらに、車速 V_s 及びモータ角速度 ω がトルク制限部32Dのトルク制限値設定部40に入力されることにより、車速 V_s に基づいて図16(a)の車速制限値算出マップを参照して車速 V_s が高い領域でセルフステアによる制御出力や制御異常出力の出力を制限する車速制限値 L_{imv} を算出すると共に、モータ角速度 ω に基づいて図16(b)のモータ角速度制限値算出マップを参照してモータ角速度 ω が運転者の操舵又は路面反力によって発生する速度以上となったときに、セルフステアによる制御出力や制御異常出力の出力を制限するモータ角速度制限値 L_{imm} を算出する。

【0111】

したがって、車速 V_s が高い領域では車速制限値 L_{imv} が小さい値となることにより、第2の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} が車速制限値 L_{imv} に制限され、電動モータ12で発生する操舵補助力も小さい値に制限される。同様に、モータ角速度 ω が運転者の操舵や路面反力によって発生する速度 ω_2 以上となるとモータ角速度制限値 L_{imm} がモータ角速度 ω の増加に応じて徐々に小さい値となることにより、第2の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} がモータ角速度制限値 L_{imm} に制限され、電動モータ12で発生する操舵補助力が制限される。この結果、高車速領域やモータ角速度 ω が速い領域では制御異常出力状態である可能性が高いので第2の操舵補助トルク指令値 I_{ref2} を制限することにより、制御出力異常を抑制することができる。

【0112】

なお、上記第2の実施形態においては、コントローラ15をハードウェアで構成する場

合について説明したが、これに限定されるものではなく、マイクロコンピュータを適用して、回転情報演算部20、操舵補助トルク指令値演算部21、指令値補償部22、電流制限部23、モータ駆動回路の機能をソフトウェアで処理することもできる。この場合の処理としては、マイクロコンピュータで図5に示す操舵トルクセンサ異常検出処理及び図18に示す操舵補助制御処理を実行するようにすればよい。

【0113】

ここで、操舵補助制御処理は、図18に示すように、所定時間（例えば1ms）毎にタイマ割込処理として実行され、先ず、ステップS31で、操舵トルクセンサ14、車速センサ16、回転角センサ17、車輪回転速度センサ18L、18R等の各種センサの検出値を読み込み、次いでステップS32に移行して、モータ回転角 θ を微分してモータ角速度 ω を算出し、次いでステップS33に移行して、モータ角速度 ω を微分してモータ角速度 α を算出してからステップS34に移行する。

10

【0114】

このステップS34では、図5のトルクセンサ異常検出処理で設定されたセンサ異常フラグFaが“1”にセットされているか否かを判定し、センサ異常フラグFaが“0”にリセットされているときにはステップS35～S38に移行する。

これらステップS35～ステップS38では、前述した第1の実施形態における図6のステップS13～ステップS16と同様の処理を行って第1の操舵補助トルク指令値Iref1を算出し、算出した第1の操舵補助トルク指令値Iref1を操舵補助トルク指令値Irefとして所定の指令値記憶領域に更新記憶してからステップS50に移行する。

20

【0115】

また、上記ステップS34の判定結果が、センサ異常フラグFaが“1”にセットされているときには、操舵トルクセンサ14が異常であると判断してステップS39に移行し、前述した第1の実施形態におけるステップS17と同様の処理を行ってセルフアライニングトルク推定値SATを算出する。

次いで、ステップS40に移行して、算出したセルフアライニングトルク推定値SATとモータ角速度 ω とに基づいて切増し状態、切戻し状態及び保舵状態の何れの操舵状態であるかを判定し、判定された操舵状態に応じて図9の操舵状態感応ゲイン算出マップを参照して操舵状態感応ゲインK0を算出する。

【0116】

30

次いで、ステップS41に移行して、算出した操舵状態感応ゲインK0を前記ステップS39で算出したセルフアライニングトルク推定値SATに乗算してゲイン倍出力Iref3（=SAT×K0）を算出する。

次いで、ステップS42に移行して、車速Vsに基づいて図10に示す車速感応ゲイン算出マップを参照して車速感応ゲインK1を算出し、次いでステップS43に移行して、算出した車速感応ゲインK1をゲイン倍出力Iref3に乗算してゲイン倍出力Iref4（=Iref3×K1）を算出する。

【0117】

次いで、ステップS44に移行して、4輪の車輪速度VwFL～VwRRとモータ角度 θ とに基づいて車両モデルを利用して前述した（2）及び（3）式の演算を行ってセルフアライニングトルク演算値SAToを算出し、算出したセルフアライニングトルク演算値SAToと前記ステップS39で算出したセルフアライニングトルク推定値SATとの偏差 ΔSAT を算出し、算出した偏差 ΔSAT の絶対値 $|\Delta SAT|$ に基づいて図13に示すセルフアライニングトルクゲイン算出マップを参照してセルフアライニングトルクゲインK2を算出する。

40

【0118】

次いで、ステップS45に移行して、算出したセルフアライニングトルクゲインK2をゲイン倍出力Iref4に乗算してゲイン倍出力Iref5（=Iref4×K2）を算出する。

次いで、ステップS46に移行して、4輪車輪速度VwFL～VwRRに基づいて前述

50

した駆動輪スリップ率 ΔVw を算出し、その絶対値 $|\Delta Vw|$ に基づいて図15の駆動輪スリップゲイン算出マップを参照して駆動輪スリップゲイン $K3$ を算出する。

【0119】

次いで、ステップS47に移行して、算出した駆動輪スリップゲイン $K3$ をゲイン倍出力 $Iref5$ に乘算してゲイン倍出力 $Iref6 (= Iref5 * K3)$ を算出する。

次いで、ステップS48に移行して、車速 Vs に基づいて図16(a)に示す車速制限値算出マップを参照して車速制限値 $Limv$ を算出すると共に、モータ角速度 ω に基づいて図16(b)に示すモータ角速度制限値算出マップを参照してモータ角速度制限値 $Limm$ を算出し、算出した車速制限値 $Limv$ 及びモータ角速度制限値 $Limm$ のうち何れか小さい値を制限値 Lim として設定する。

10

【0120】

次いで、ステップS49に移行して、設定された制限値 Lim でゲイン倍出力 $Iref6$ を制限して第2の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ を算出し、算出した第2の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ を操舵補助トルク指令値 $Iref$ として所定の指令値記憶領域に更新記憶してからステップS50に移行する。

このステップS50では、モータ角速度 ω に収斂性ゲイン Kc を乗算して収斂性補償値 $Ic (= Kc * \omega)$ を算出し、次いでステップS51に移行して、モータ角加速度 α に基づいて慣性補償値 Ti を算出する。

【0121】

次いで、ステップS52に移行して、指令値記憶領域に記憶されている操舵補助トルク指令値 $Iref$ に収斂性補償値 Ic 及び慣性補償値 Ti を加算して補償後操舵補助トルク指令値 $Iref'$ を算出する。

20

次いで、ステップS53に移行して、算出した補償後操舵補助トルク指令値 $Iref'$ を最大電流制限処理して、制限後操舵補助トルク指令値 $Iref''$ を算出し、次いでステップS54に移行して、算出した制限後操舵補助トルク指令値 $Iref''$ をモータ愚答回路24に出力して、電動モータ12を駆動してからタイマ割込処理を終了して所定のメインプログラムに復帰する。

【0122】

この図6の処理において、ステップS34の処理が異常時切換手段に対応し、ステップS35～S38の処理が第1のトルク指令値演算手段に対応し、ステップS39～S49の処理が第2のトルク指令値演算手段に対応し、このうちステップS40～S49の処理がゲイン調整手段に対応し、S50～S54の処理がモータ制御手段に対応している。

30

このように、マイクロコンピュータで、図5のトルクセンサ異常検出処理及び図18の操舵補助制御処理を実行することにより、前述した第2の実施形態と同様に操舵トルクセンサ14が正常であるときには図18の操舵補助制御処理におけるステップS35～S38の処理を実行して、第1の操舵補助トルク指令値 $Iref1$ を算出する。また、操舵トルクセンサ14が異常であるときには図18の操舵補助制御処理におけるステップS39～S49の処理を実行して第2の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ を算出することにより、ステアリングギヤ機構8のラック軸に入力される路面からの反力となるセルフアライニングトルクSATを推定し、推定したセルフアライニングトルクSATに種々のゲイン調整を行って第2の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ を算出する。

40

【0123】

このため、操舵トルクセンサ14が正常である場合には第1の操舵補助トルク指令値 $Iref1$ に基づいて電動モータ12が駆動制御されて、正確な操舵補助制御を行い、操舵トルクセンサ14に異常が発生した場合には、車輪回転速度 VwL 及び VwR に基づいてセルフアライニングトルクSATを推定し、推定したセルフアライニングトルクSATにゲイン調整を行って第2の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ を算出する。このため、操舵トルクセンサ14が正常な状態から異常な状態となった場合にも、第2の操舵補助トルク指令値 $Iref2$ に基づいて路面反力を考慮し、さらに車両の操舵状態や走行状態に応じたゲイン調整を行ってより最適な操舵補助制御を継続することができる。

50

【0124】

また、上記第2の実施形態においては、車速ゲイン調整、操舵状態ゲイン調整、セルフアライニングトルクゲイン調整及び駆動輪スリップゲイン調整を行う場合について説明したが、これに限定されるものではなく、必要に応じて上記各調整の何れか1つを選択するか又は複数を選択して組み合わせるようにしてもよい。

また、上記実施形態では、車速感応ゲイン調整部37で車速 V_s に基づいて車速感応ゲイン K_1 を算出する場合について説明したが、これに限定されるものではなく、4輪の車輪速 $V_{wFL} \sim V_{wRR}$ の平均値又は従動輪の車輪速の平均値を車速として適用するようにしても良い。

【0125】

10

次に、本発明の第3の実施形態を図19及び図20について説明する。

この第3の実施形態では、前述した第1及び第2の実施形態におけるセルフアライニングトルク初期推定部321で推定したセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i に対してモータ角速度 ω に基づく角速度補正值で補正するようにしたものである。

すなわち、第3の実施形態では、回転情報演算部20で演算されたモータ角速度 ω を角速度ゲイン K_{hy} が設定された増幅器326に供給してヒステリシス補正值 A_{hy} を算出し、算出したヒステリシス補正值 A_{hy} をセルフアライニングトルク初期推定部321及びローパスフィルタ322間に介装した加算器327に供給して、セルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i のヒステリシス特性を補正する。

【0126】

20

前述した第1及び第2の実施形態では、実際に車両に生じるセルフアライニングトルク SAT とセルフアライニングトルク初期推定部321で推定したセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i との関係は、図20で破線図示のように、比較的大きなヒステリシス特性を有することになる。このため、上記第2の実施形態では、モータ角速度 ω に基づいてヒステリシス補正值 A_{hy} を算出し、このヒステリシス補正值 A_{hy} をセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i に加算するので、ヒステリシス特性がモータ角速度すなわち舵角速度に応じて補正されることにより、図20で実線図示のようにヒステリシス特性の幅を狭くしてより正確なセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i を算出することができる。

【0127】

30

次に、本発明の第4の実施形態を図21～図24に基づいて説明する。

この第4の実施形態では、セルフアライニングトルク推定値を車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} から直接的に算出する場合に代えて、車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} に基づいて車両横滑り角 β を推定し、推定した車両横滑り角 β に基づいてセルフアライニングトルク初期推定値 SAT_i を算出するようにしたものである。

【0128】

すなわち、第4の実施形態では、図21に示すように、セルフアライニングトルク推定部32Aに車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} の他にモータ回転角 θ 及びモータ角速度 ω が供給されている。そして、セルフアライニングトルク推定部32Aが図22に示す構成を有する。

40

このセルフアライニングトルク推定部32Aは、左右の車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} に基づいて車両横滑り角 β を推定する横滑り角推定部328と、モータ回転角 θ が入力されて角度変化量 $\Delta\theta$ を算出する角度変化量演算部329と、この角度変化量演算部329で演算された角度変化量 $\Delta\theta$ が入力される滑り角補正ゲイン K_{slp} が設定された増幅器330と、この増幅器330で算出した滑り角補正值 A_{slp} を横滑り角推定部328で推定した横滑り角 β に加算してタイヤ握り量による補正を行なう加算器331と、前述した第2の実施形態と同様の増幅器326及び加算器327とを備えている。

【0129】

ここで、横滑り角推定部328は、第1の実施形態で前述した(1)式の演算を行なって車輪回転速度差 ΔV_w を算出し、算出した車輪回転速度差 ΔV_w をもとに図23に示す

50

車両横滑り角算出マップを参照して車両横滑り角 β を推定する。車両横滑り角算出マップは、図23に示すように、横軸に車輪回転速度差 ΔV_w をとり、縦軸に車両横滑り角 β をとった実車の測定値から求められる特性線図で表され、車輪回転速度差 ΔV_w がゼロ近傍であるときには、比較的緩やかな勾配となり、これより車輪回転速度差 ΔV_w が大きくなると比較的急峻な勾配となる特性曲線Lが設定されている。

【0130】

一方、セルフアライニングトルク初期推定部321では車両横滑り角 β をもとに図24に示すセルフアライニングトルク初期推定値算出マップを参照してセルフアライニングトルク初期推定値SATiを推定する。このセルフアライニングトルク初期推定値算出マップは、図24に示すように、横軸に車両横滑り角 β をとり、縦軸にセルフアライニングトルク初期推定値SATiをとった実車の測定値から求められる特性線図で表され、車速相当値 $V_{s'}$ をパラメータとして車速相当値 $V_{s'}$ が大きくなるとなるに応じて傾斜角が大きくなる線形区間Lsとこの線形区間Lsの両端から延長する飽和区間Laとでなる特性線が設定されている。

【0131】

この第3の実施形態によると、第2の操舵補助トルク指令値演算部32を構成するセルフアライニングトルク推定部32Aで、従動輪の左右の車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} の車輪回転速度差 ΔV_w をもとに、図23に示す車両横滑り角算出マップを参照して、車両横滑り角 β を算出し、算出した車両横滑り角 β を、モータ回転角 θ の角度変化量 $\Delta\theta$ に基づく滑り角補正值Aslpで補正することにより、タイヤの握り量による誤差分を補正して車両横滑り角 β の推定精度を高めることができる。

【0132】

そして、セルフアライニングトルク初期推定部321で、推定した横滑り角 β をもとに図24に示すセルフアライニングトルク初期推定値算出マップを参照してセルフアライニングトルク初期推定値SATiを推定し、このとき車速相当値 $V_{s'}$ に応じた傾きの特性線を選択することにより、車速相当値 $V_{s'}$ に応じた最適なセルフアライニングトルク初期推定値SATiを推定することができる。

【0133】

そして、推定したセルフアライニングトルク初期推定値SATiを前述した第3の実施形態と同様にモータ角速度 ω に基づくヒステリシス補正值Ahy sで補正することにより、ヒステリシス特性を補正してより正確なセルフアライニングトルク初期推定値SATiを推定することができ、このセルフアライニングトルク初期推定値SATiに“1”以下のゲインKを乗じて第2の操舵補助トルク指令値Iref2を算出するので、高精度の補助操舵トルク指令値Iref2を算出することができる。

【0134】

なお、上記第4の実施形態においては、セルフアライニングトルク初期推定部321に車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} に基づいて算出した車速相当値 $V_{s'}$ を供給する場合について説明したが、これに限定されるものではなく、車速センサ16で検出した車速Vsをセルフアライニングトルク初期推定部321に供給するようにしてもよい。

同様に、上記第1～第4の実施形態においては、セルフアライニングトルク推定部32Aを構成する位相補正部325に車輪回転速度 V_{wL} 及び V_{wR} に基づいて算出した車速相当値 $V_{s'}$ を供給する場合について説明したが、これに限定されるものではなく、車速センサ16で検出した車速Vsを供給するようにしてもよい。

【0135】

また、上記第3の実施形態及び第4の実施形態を前述した第2の実施形態に適用した場合の全体構成図は、図25及び図26に示すようになり、セルフアライニングトルク推定部32Aの入力を変更すれば良いものである。

【符号の説明】

【0136】

SM…ステアリング機構、1…ステアリングホイール、2…ステアリングシャフト、2

10

20

30

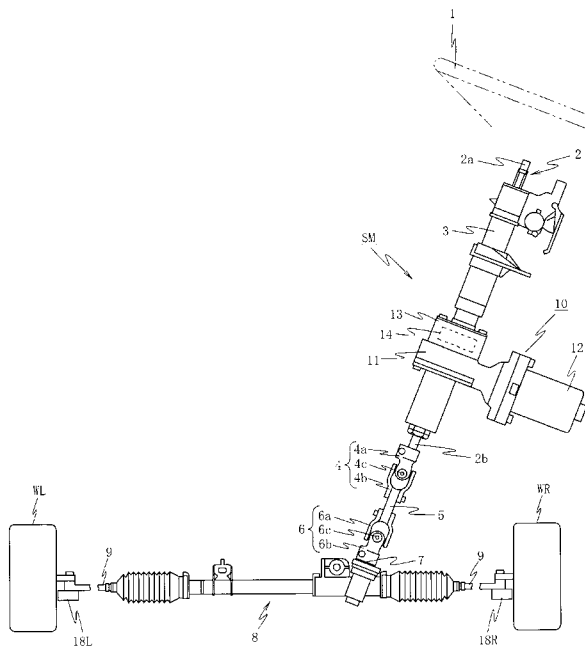
40

50

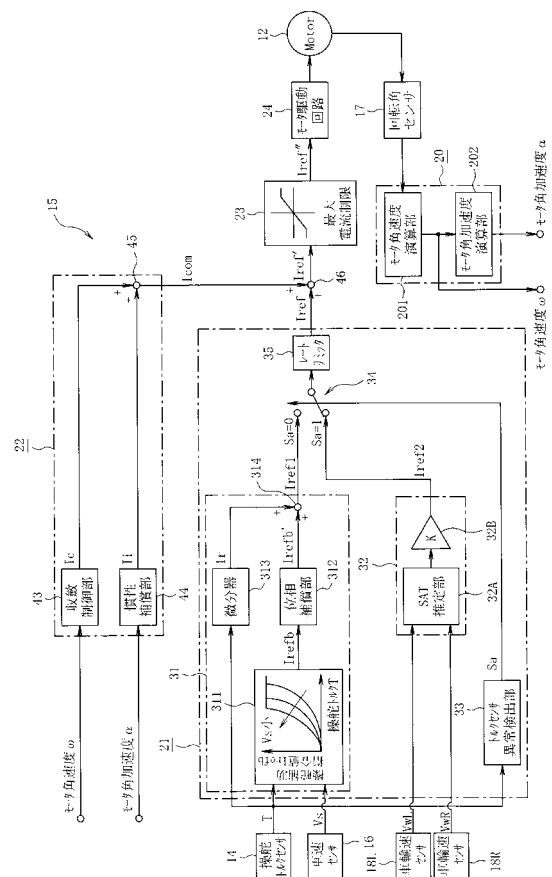
a…入力軸、2 b…出力軸、3…ステアリングコラム、4, 6…ユニバーサルジョイント、5…中間シャフト、8…ステアリングギヤ機構、9…タイロッド、WL, WR…転舵輪、10…操舵補助機構、11…減速機構、12…電動モータ、14…操舵トルクセンサ、15…コントローラ、16…車速センサ、16…回転角センサ、18L, 18R…車輪回転速度センサ、20…回転情報演算部、201…モータ角速度演算部、212…モータ角加速度演算部、21…操舵補助トルク指令値演算部、22…指令値補償部、23…電流制限部、24…モータ駆動回路、31…第1の操舵補助トルク指令値演算部、311…トルク指令値算出部、312…位相補償部、313…センタ応答性改善部、314…加算器、32…第2の操舵補助トルク指令値演算部、32A…セルフアライニングトルク推定部、32B…増幅部、32C…ゲイン調整部、32D…トルク制限部、321…セルフアライニングトルク初期推定部、322…ローパスフィルタ、324…平均値演算部、325…位相補正部、326…増幅器、327…加算器、328…横滑り角推定部、329…角度変化量演算部、330…増幅器、33…トルクセンサ異常検出部、34…指令値選択部、36…操舵状態ゲイン調整部、37…車速感応ゲイン調整部、38…セルフアライニングトルクゲイン調整部、38A…セルフアライニングトルクゲイン設定部、38B…ゲイン乗算部、381…セルフアライニングトルク演算部、382…減算器、383…絶対値演算部、384…ゲイン算出部、39…駆動輪スリップゲイン調整部、40…トルク制限値設定部、41…リミッタ部、43…収斂性補償部、44…慣性補償部、45, 46…加算器

10

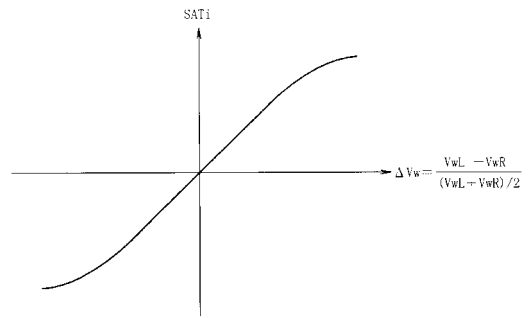
【図1】



【図2】



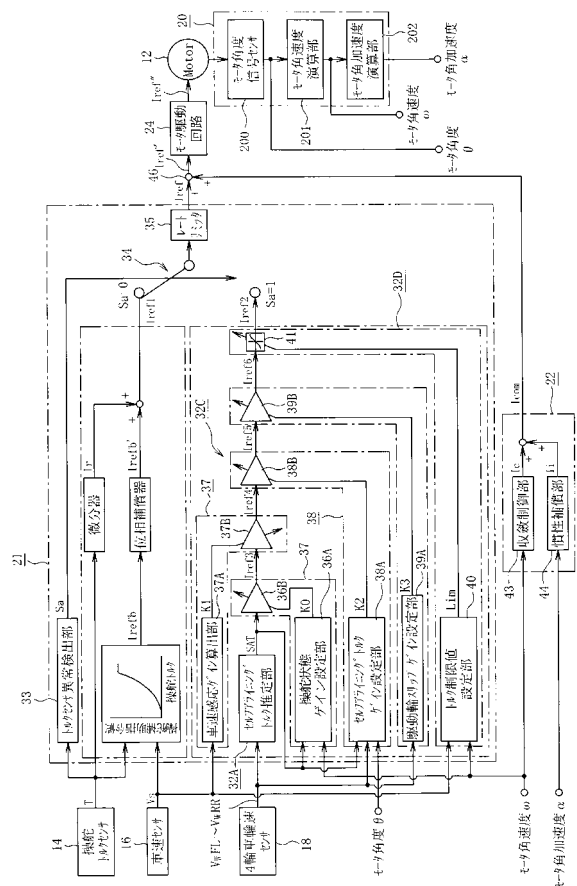
【図 4】



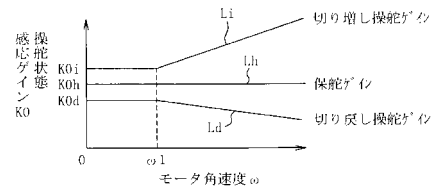
```

graph TD
    START([START]) --> S1[操舵47読み込み S1]
    S1 --> S2{舵角の異常を検出条件満足か S2}
    S2 -- Yes --> S5[Fa=1 S5]
    S2 -- No --> S3[Fa=0 S3]
    S5 --> END([END])
    S3 --> END
  
```

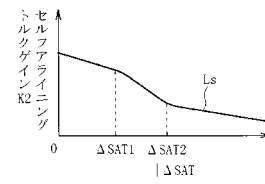
【图 7】



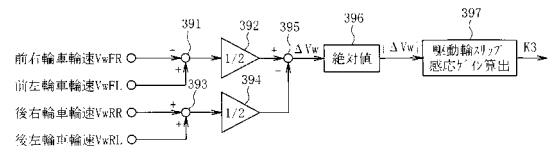
【图 9】



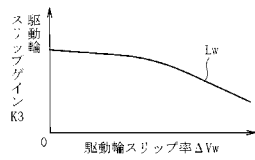
【图 1 3】



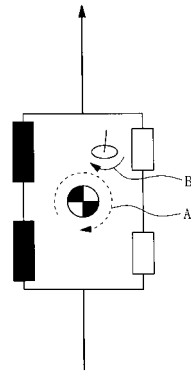
【図 14】



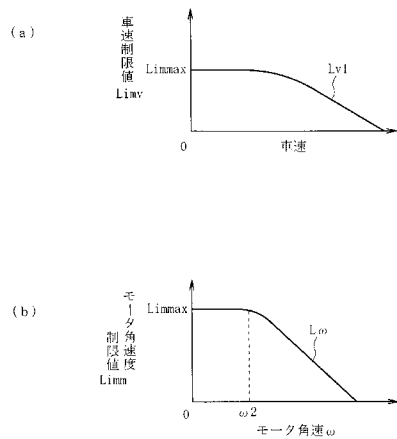
【図 15】



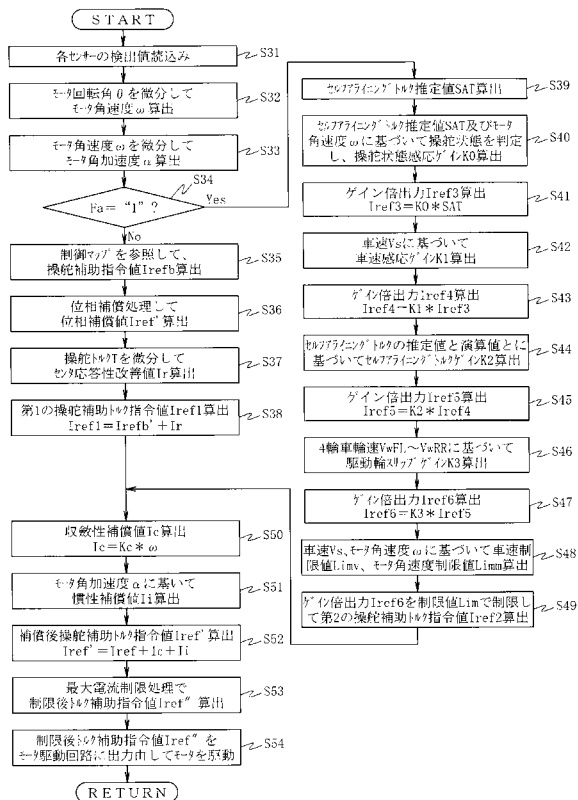
【図 17】



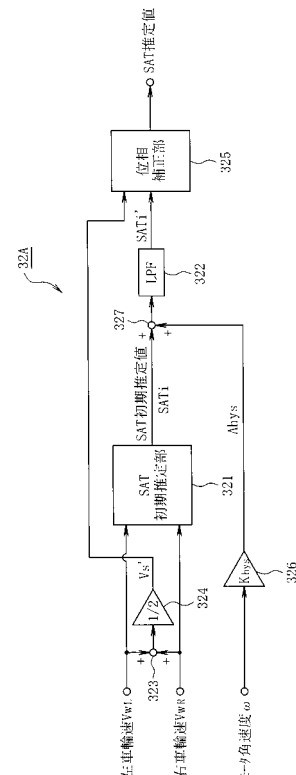
【図 16】



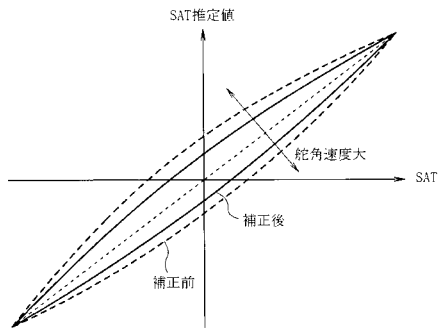
【図 18】



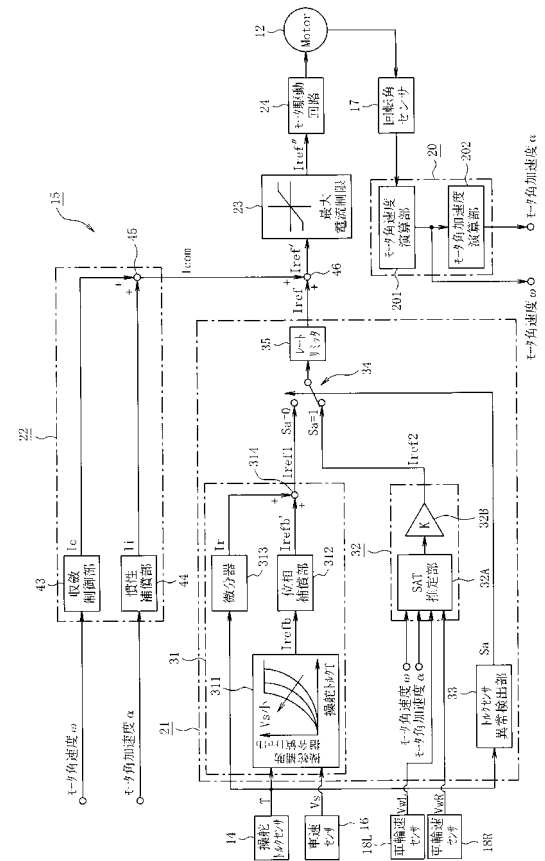
【図 19】



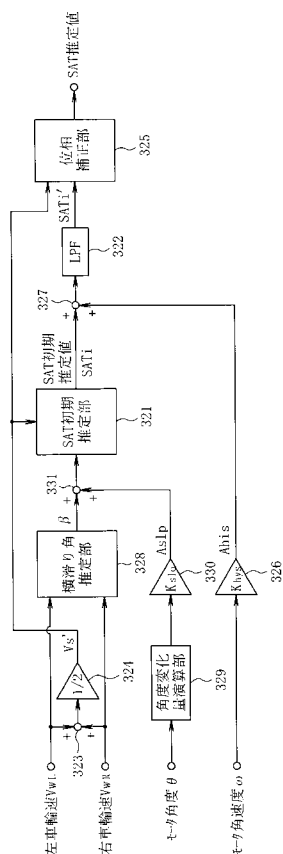
【図 20】



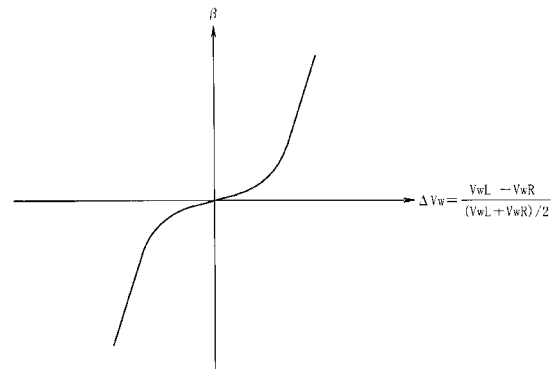
【図 2 1】



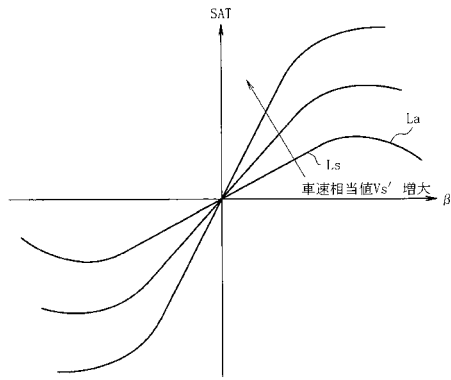
【図 2 2】



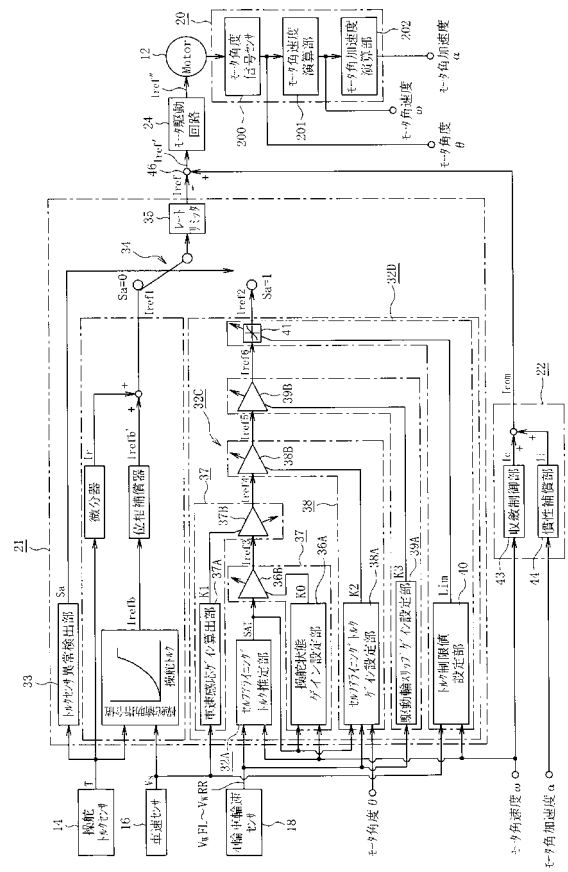
【图 2 3】



【図 24】



【図 25】



【図 26】

