

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3712876号

(P3712876)

(45) 発行日 平成17年11月2日(2005.11.2)

(24) 登録日 平成17年8月26日(2005.8.26)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

B 6 2 D 6/00  
 B 6 2 D 5/04  
 // B 6 2 D 101:00  
 B 6 2 D 119:00  
 B 6 2 D 137:00

B 6 2 D 6/00  
 B 6 2 D 5/04  
 B 6 2 D 101:00  
 B 6 2 D 119:00  
 B 6 2 D 137:00

請求項の数 3 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願平10-341956	(73) 特許権者	000006013
(22) 出願日	平成10年12月1日(1998.12.1)		三菱電機株式会社
(65) 公開番号	特開2000-168600(P2000-168600A)		東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(43) 公開日	平成12年6月20日(2000.6.20)	(74) 代理人	100080296
審査請求日	平成14年10月17日(2002.10.17)		弁理士 宮園 純一
前置審査		(72) 発明者	栗重 正彦
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三 菱電機株式会社内
		(72) 発明者	井上 知之
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三 菱電機株式会社内
		(72) 発明者	喜福 隆之
			東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三 菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動式パワーステアリング制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

運転者による操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、上記検出された操舵トルク信号に基づいて上記操舵トルクを補助する補助トルク電流を演算するトルク制御器と、上記操舵トルクを補助するトルクを発生するモータと、上記モータの回転速度を推定する回転速度推定手段と、上記推定されたモータ回転速度の推定値を用いて、上記補助トルク電流に加算されるダンピング電流を演算するダンピング制御器とを備えた電動式パワーステアリング制御装置であって、上記回転速度推定手段は、モータ回転角の検出値から操舵による成分を除去するモータ回転角用操舵成分除去手段と、モータに通電される電流の検出値もしくは指令値から操舵による成分を除去するモータ電流用操舵成分除去手段と、モータの慣性モーメントを慣性項，トルクセンサの剛性をバネ項とする振動方程式に対して構成され、上記モータ回転角用操舵成分除去手段及び上記モータ電流用操舵成分除去手段から出力される、操舵成分が除去されたモータ回転角とモータ電流とに基づいてモータ回転速度の推定値を演算する回転速度オブザーバとを備えたことを特徴とする電動式パワーステアリング制御装置。

10

【請求項2】

運転者による操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、上記検出された操舵トルク信号に基づいて上記操舵トルクを補助する補助トルク電流を演算するトルク制御器と、上記操舵トルクを補助するトルクを発生するモータと、上記モータの回転速度を推定する回転速度推定手段と、上記推定されたモータ回転速度の推定値を用いて、上記補助トルク電

20

流に加算されるダンピング電流を演算するダンピング制御器とを備えた電動式パワーステアリング制御装置であって、上記回転速度推定手段は、モータに通電される電流の検出値もしくは指令値から操舵による成分を除去するモータ電流用操舵成分除去手段と、操舵トルク検出手段の出力から操舵による成分を除去する操舵トルク用操舵成分除去手段と、モータの慣性モーメントを慣性項、トルクセンサの剛性をバネ項とする振動方程式に対して構成され、上記モータ電流用操舵成分除去手段及び上記操舵トルク用操舵成分除去手段から出力される、操舵成分が除去されたモータ電流と操舵トルクとに基づいてモータ回転速度の推定値を演算する回転速度オブザーバとを備えたことを特徴とする電動式パワーステアリング制御装置。

【請求項 3】

車速検出手段を有し、車速に応じて、上記各操舵成分除去手段のいずれかあるいは全部で除去する周波数帯域を可変とすることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の電動式パワーステアリング制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、モータにより操舵力を補助する電動式パワーステアリング制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

図 16 は、例えば、三菱電機技報 Vol.70 No.9 P43~P48 に記載された従来の電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。同図において、1 は運転者が操舵した場合の操舵トルクを検出するトルクセンサ、2 は上記トルクセンサ 1 の出力信号の周波数特性を改善する位相補償器、3 は位相補償されたトルクセンサ 1 の出力に基づいて上記操舵トルクを補助するための補助トルク電流を演算するトルク制御器、4 は例えば図示しないモータ角速度算出手段手段で算出されたモータ 8 の回転角速度  $\omega_m$  に基づいてダンピング電流を演算するダンピング制御器、5 はモータ 8 の摩擦トルクを補償する摩擦補償電流を演算する摩擦補償器 5 a とモータ 8 の慣性モーメントを補償する慣性補償電流を演算する慣性補償器 5 b より構成され、上記  $\omega_m$  に基づいて上記摩擦補償電流を演算するとともに、上記  $\omega_m$  を微分した回転角加速度 ( $d\omega_m/dt$ ) に基づいて上記慣性補償電流を演算する補償制御器、6 は上記トルク制御器 3 で演算された補助トルク電流、ダンピング制御器 4 で演算されたダンピング電流、補償制御器 5 で演算された摩擦補償電流及び慣性補償電流とを加算して目標電流を算出する加算器である。また、7 は上記加算器 6 で演算された目標電流と、電流検出器 9 から出力されるモータ 8 の駆動電流と比較し、上記駆動電流が上記目標電流に一致するように電流制御を行う電流制御器である。

【0003】

次に、従来の電動式パワーステアリング制御装置の動作について説明する。

自動車の運転者がハンドルを操舵すると、その時の操舵トルクはトルクセンサ 1 で測定され、位相補償器 2 で位相補償され周波数特性を改善された後、トルク制御器 3 に入力される。トルク制御器 3 では、周波数特性を改善されたトルクセンサ 1 の出力信号にほぼ比例する補助トルク電流を演算し、上記補助トルク電流に基づいてモータ 8 を駆動して運転者の操舵トルクをアシストし、運転者による操舵トルクを軽減する。

このとき、ハンドルの動きを安定化させるために、ダンピング制御器 4 でモータ回転角速度  $\omega_m$  に比例したダンピング電流を演算して上記補助トルク電流に加える。また、モータ 8 の摩擦の影響を補償するために、摩擦補償制御器 5 a でモータ回転角速度  $\omega_m$  の符号に応じて変化する摩擦補償電流を加え、更に、モータ 8 の慣性モーメントの影響を補償するため、慣性補償制御器 5 b でモータ回転角速度  $\omega_m$  を微分して得たモータ回転角加速度 ( $d\omega_m/dt$ ) に比例した慣性補償電流を加えている。これらの補償電流を上記補助トルク電流に加算して目標電流を演算し、電流制御器 7 により、上記目標電流に基づいてモータ 8 に通電する駆動電流を制御することにより、上記駆動電流に比例したアシストトルク

10

20

30

40

50

を発生させ、運転者による操舵トルクを軽減させるとともに、ハンドルの動きを安定化させることができる。なお、上記各制御器 3, 4, 5 は、ともに車速に応じて制御パラメータを変更している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、トルク制御器 3 で演算された補助トルク電流は、位相補償器 2 で周波数特性を改善されたトルクセンサ 1 の出力信号にほぼ比例した値となるが、この時、上記トルク制御器 3 で設定されたトルク比例ゲインが大きいほどアシストトルクが大きくなり運転者の操舵トルクを軽減できる。しかしながら、上記トルク比例ゲインを大きくすると、制御系の発振が生じ運転者が不快なトルク振動を感じてしまうので、上記トルク比例ゲインを単

10

【0005】

この発明は、上記問題点を解決するためになされたもので、運転者に不快なトルク振動を感じさせることなく操舵トルクを軽減することができる電動式パワーステアリング制御装置を提供することを目的とする。

20

【0012】

【課題を解決するための手段】

本願の請求項 1 に記載の発明は、運転者による操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、上記検出された操舵トルク信号に基づいて上記操舵トルクを補助する補助トルク電流を演算するトルク制御器と、上記操舵トルクを補助するトルクを発生するモータと、上記モータの回転速度を推定する回転速度推定手段と、上記推定されたモータ回転速度の推定値を用いて、上記補助トルク電流に加算されるダンピング電流を演算するダンピング制御器とを備えた電動式パワーステアリング制御装置であって、上記回転速度推定手段が、モータ回転角の検出値から操舵による成分を除去するモータ回転角用操舵成分除去手段と、モータに通電される電流の検出値もしくは指令値から操舵による成分を除去するモータ電流用操舵成分除去手段と、モータの慣性モーメントを慣性項、トルクセンサの剛性をバネ項とする振動方程式に対して構成され、上記モータ回転角用操舵成分除去手段及び上記モータ電流用操舵成分除去手段から出力される、操舵成分が除去されたモータ回転角とモータ電流とに基づいてモータ回転速度の推定値を演算する回転速度オブザーバとを備え、上記回転速度オブザーバで演算された操舵による速度成分を除去したモータの回転速度推定値に基づいてダンピング電流を演算するようにしたものである。

30

【0013】

請求項 2 に記載の発明は、運転者による操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、上記検出された操舵トルク信号に基づいて上記操舵トルクを補助する補助トルク電流を演算するトルク制御器と、上記操舵トルクを補助するトルクを発生するモータと、上記モータの回転速度を推定する回転速度推定手段と、上記推定されたモータ回転速度の推定値を用いて、上記補助トルク電流に加算されるダンピング電流を演算するダンピング制御器とを備えた電動式パワーステアリング制御装置であって、上記回転速度推定手段が、モータに通電される電流の検出値もしくは指令値から操舵による成分を除去するモータ電流用操舵成分除去手段と、操舵トルク検出手段の出力から操舵による成分を除去する操舵トルク用操舵成分除去手段と、モータの慣性モーメントを慣性項、トルクセンサの剛性をバネ項とする振動方程式に対して構成され、上記モータ電流用操舵成分除去手段及び上記操舵トルク用操舵成分除去手段から出力される、操舵成分が除去されたモータ電流と操舵トルクとに基づいてモータ回転速度の推定値を演算する回転速度オブザーバとを備え、上記回転

40

50

速度オブザーバで演算された操舵による速度成分を除去したモータの回転速度推定値に基づいてダンピング電流を演算するようにしたものである。

【0014】

また、請求項3に記載の発明は、請求項1または請求項2に記載の電動式ステアリング制御装置において、車速検出手段を設け、車速に応じて、上記各操舵成分除去手段のいずれかあるいは全部で除去する周波数帯域を可変としたものである。なお、この時、制御系の各パラメータも同様に車速に応じて可変とすることが望ましい。

【0015】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図面に基づき説明する。

10

実施の形態1.

図1は、本発明の実施の形態1に係わる電動式ステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。同図において、1は運転者が操舵した場合の操舵トルクを検出するトルクセンサ、2は上記トルクセンサ1の出力信号を位相補償してその周波数特性を改善する位相補償器、3は位相補償されたトルクセンサ1の出力に基づいて上記操舵トルクを補助する補助トルク電流を演算するトルク制御器、11は例えばタコゼネレータ等のモータ回転速度センサ10から出力されたモータ回転速度信号を周波数分離し、上記モータ回転速度信号から操舵周波数成分を除去する操舵成分除去手段である回転速度ハイパスフィルタ(以下、回転速度HPFという)、4は上記回転速度HPF11の出力に基づいて操舵の減衰特性を制御するためのダンピング電流を演算するダンピング制御器、6はトルク制御器3で演算された補助トルク電流、ダンピング制御器4で演算されたダンピング電流とを加算し目標電流を演算する加算器である。また、7は電流制御器であり、アシストトルクを発生すべく、電流検出器9で検出したモータ8に通電される駆動電流検出値が上記目標電流に一致するように、モータ8の端子に印加する駆動電圧指令値を設定して、例えばPWM信号として出力する。

20

本発明では、図1のブロック図中の一点鎖線で囲まれた位相補償器2や回転速度HPF11等から成る目標電流演算手段20をマイコンのソフトウェアのみで構成しても従来の技術の課題を解決することが可能である。以下では、上記目標電流演算手段20をマイコンのソフトウェアのみで構成した場合について説明する。なお、上記目標電流演算手段20は、各構成要素のそれぞれかあるいは各構成要素に共通した図示しないRAMやROM等のメモリを有し、所定の制御サンプリング時間毎にトルクセンサ1の検出値等のデータを取り込んでA/D変換し、RAM等のデータ書き込み用メモリに記憶する。

30

【0016】

ここで、上記操舵成分除去手段である回転速度HPF11について説明する。一般に運転者が操舵可能な周波数は3Hz程度以下である。また、例えばレーンチェンジ時の操舵周波数は、0.2Hz付近であり、通常はこのような低周波の操舵を行うケースが多い。これに対し、ステアリング発振を生じやすい周波数帯域は30Hz以上であり、操舵周波数との周波数分離が可能である。したがって、操舵成分除去手段を、推定或いは測定されたモータ回転速度を周波数分離し、モータ回転速度から操舵周波数成分を取り除く周波数分離器で構成することにより、モータの回転速度の操舵成分を除去することができる。

40

一般に低周波成分を除去したい場合には、周波数分離器としてハイパスフィルタが用いられる。モータ回転速度センサ10から出力されるモータ8の回転速度をハイパスフィルタに通すことにより、低周波成分である操舵による成分を除去することができる。このとき、ハイパスフィルタの折点周波数を低く設定すれば操舵による成分が残り易くなり、高く設定すれば、ハイパスフィルタを通して得られたモータ回転速度のステアリング発振成分の位相ずれが大きくなるので、通常行われる操舵周波数からステアリング発振を生ずる周波数の範囲内のいずれかの周波数にハイパスフィルタの折点周波数を設定しておけば、モータ回転速度のステアリング発振成分を残して操舵周波数成分を除去することが可能である。そこで、本実施の形態1では、回転速度HPF11として、一般の運転者が操舵可能な最大周波数を狙って、折点周波数が0.2~30Hzの範囲に設定したハイパスフィル

50

タを用い、モータの回転速度成分を適正に除去するようにしている。

【0017】

次に、上記構成の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図2のフローチャートに基づいて説明する。なお、本発明の従来技術と異なる点は、電流制御器7に出力される目標電流の演算方法、すなわち、図1の目標電流演算手段20によって目標電流を演算するまでのアルゴリズムであり、モータ8に通電する駆動電流の制御に関しては、PID式の電流F/B制御あるいは目標電流とモータ回転信号とに基づくオープンループ制御等の一般的に行われる制御を、デジタル制御あるいはアナログ制御のいずれかの方式に基づいて実施しても良い。したがって、以下では、目標電流演算手段20におけるモータ8の目標電流を演算するまでのアルゴリズムに限定して説明を行う。

10

まず、ステップS101で、トルクセンサ1からのトルクセンサ出力をマイコンに読み込みメモリに記憶し、ステップS102で、モータ回転速度センサ10からのモータ回転速度信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS103において、位相補償器2により、上記メモリに記憶されたトルクセンサ出力を読み込み位相補償演算を行い、位相補償器出力としてメモリに記憶する。ステップS104では、トルク制御器3により、上記メモリに記憶された位相補償器出力を読み込み、補助トルク電流をマップ演算しメモリに記憶する。

ステップS105では、回転速度HPF11において、上記メモリに記憶されたモータ回転速度信号を読み込みハイパスフィルタの演算を行い、回転速度HPF出力としてメモリに記憶し、ステップS106において、ダンピング制御器4により、上記メモリに記憶された回転速度HPF出力を読み込み、制御ゲインを乗じてダンピング電流を演算しメモリに記憶する。

20

ステップS107では、加算器6において、上記メモリに記憶された補助トルク電流とダンピング電流とを加算し、目標電流としてメモリに記憶する。

上記ステップS101からS107までの動作を、制御サンプリング毎に繰り返し、位相補償されたトルクセンサ出力と操舵周波数成分を除去されたモータ回転速度信号とからモータ8の目標電流を演算する。

なお、上記ステップS104で使用したトルクセンサ出力と補助トルク電流の関係を示すマップや、上記ステップS106で使用したダンピング電流を演算するための制御ゲインなどの目標電流の演算を行う際に必要なマップや比例係数等の定数は予めROMに設定しておくものとする。

30

【0018】

なお、上記実施の形態1では、補助トルク電流をマップ演算で求め、ダンピング電流をゲインを乗じる演算によって求める構成としたが、補助トルク電流及びダンピング電流とともに、マップ演算あるいはゲインを乗じる演算の何れかの演算方法によって求めてもよい。

また、上記例では、位相補償器2をデジタルで構成したが、アナログで構成してもよい。あるいは、位相補償器2をアナログとデジタルとを組み合わせた複数段の位相補償器としてもよい。この場合、上記ステップS101は、トルクセンサ1の出力ではなく、トルクセンサ1の出力を位相補償したアナログの位相補償器の出力を読み込んでメモリに記憶する動作を行うことになるので、位相補償器2をアナログのみで構成する場合には、上記ステップS103の演算が不要となる。

40

また、上記例では、例えばタコゼネレータ等のモータ回転速度センサ10によってモータ回転速度を検出する構成としたが、例えばロータリーエンコーダ等を用いてモータ回転角信号を検出し、このモータ回転角信号を差分処理してモータ回転速度を求めるようにしてもよい。

【0019】

更に、上記実施の形態1では、トルク制御器3の出力とダンピング制御器4の出力とから目標電流を求める構成としたが、従来例と同様、摩擦補償制御器5a及び慣性補償制御器5bとを備えた補償制御器5を付加し、摩擦補償制御器出力や慣性補償制御器出力を更に

50

加えて目標電流を求めるような構成としてもよいことはいうまでもない。

【 0 0 2 0 】

このように、本実施の形態 1 においては、モータ回転速度センサ 1 0 により検出したモータ回転速度信号を回転速度 H P F 1 1 を用いて操舵周波数成分を除去した後、ダンピング制御器 4 において、上記操舵周波数成分を除去された回転速度 H P F 出力に基づいてダンピング電流を演算するような構成としたので、トルク比例ゲインを大きくしても制御系の発振を防止することができる。したがって、ダンピング制御器 4 のダンピング制御ゲインを大きくしてダンピングを強く効かせることができるので、ハンドルの振動を運転者が感じることなく、操舵トルクを低減することができる。

【 0 0 2 1 】

実施の形態 2 .

図 3 は、本発明の実施の形態 2 に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。上記実施の形態 1 では、回転速度 H P F 1 1 を設け、モータ回転速度センサ 1 0 からのモータ回転速度信号から操舵周波数成分を除去した回転速度 H P F 出力に基づいてダンピング電流を演算するようにしたが、本実施の形態 2 は、図 3 に示すように、モータ回転速度センサ 1 0 を省略するとともに、モータの 8 端子間電圧を検出する端子間電圧検出器 1 2 と、上記端子間電圧検出器 1 2 で検出された端子間電圧検出値と、電流検出器 9 で検出された駆動電流検出値とに基づいてモータ 8 の回転速度を推定する回転速度推定器 1 3 とを設けてモータ回転速度を推定するとともに、上記回転速度推定器 1 3 から出力されるモータ回転速度推定信号を回転速度 H P F 1 1 に入力して上記モータ回転速度推定信号から操舵周波数成分を除去するように構成し、ダンピング制御器 4 において、上記操舵周波数成分を除去された回転速度 H P F 出力に基づいてダンピング電流を演算するようにしたものである。

【 0 0 2 2 】

次に、上記構成の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図 4 のフローチャートに基づいて説明する。なお、本実施の形態 2 についても上記実施の形態 1 と同様に、目標電流演算手段 2 0 により目標電流を演算するまでのアルゴリズムに限定して説明を行う。

まず、ステップ S 2 0 1 で、トルクセンサ 1 からのトルクセンサ出力を読み込みメモリに記憶し、ステップ S 2 0 2 で、電流検出器 9 からの駆動電流検出値を読み込み、ステップ S 2 0 3 で端子間電圧検出器 1 2 からの端子間電圧検出値を読み込んで、それぞれメモリに記憶する。ステップ S 2 0 4 では、位相補償器 2 により、メモリに記憶されたトルクセンサ出力を読み込み位相補償演算を行い、位相補償器出力としてメモリに記憶する。ステップ S 2 0 5 では、トルク制御器 3 により、メモリに記憶された位相補償器出力を読み込み、補助トルク電流をマップ演算しメモリに記憶する。

ステップ S 2 0 6 では、回転速度推定器 1 3 で、上記メモリに記憶された駆動電流検出値 ( $I_{sns}$ ) と端子間電圧検出値 ( $V_{t\_sns}$ ) とを読み込み、以下の ( 1 ) 式によりモータ回転速度推定信号 ( $e_{st\_bk}$ ) を演算しメモリに記憶する。

$$e_{st\_bk} = (V_{t\_sns} - V_{comp} - I_{sns} \times R_{ac}) / K_{ec} \quad (1)$$

上記式 ( 1 ) において、 $V_{comp}$  は、モータ 8 の端子間電圧  $V_t$  に対するコイルへの印加電圧  $V_a$  の電圧降下分  $V_{drop}$  に相当する補償値で、 $R_{ac}$  はコイル抵抗相当値、 $K_{ec}$  は逆起電圧定数相当値である。なお、上記モータ回転速度推定信号  $e_{st\_bk}$  の算出方法の詳細については、別途説明する。

次に、ステップ S 2 0 7 で、回転速度 H P F 1 1 により、メモリに記憶された上記モータ回転速度推定信号  $e_{st\_bk}$  を読み込んでハイパスフィルタの演算を行い、回転速度 H P F 出力としてメモリに記憶し、ステップ S 2 0 8 では、ダンピング制御器 4 により、メモリに記憶された回転速度 H P F 出力を読み込み、制御ゲインを乗じてダンピング電流を演算する。ステップ S 2 0 9 では、加算器 6 において、上記メモリに記憶された補助トルク電流とダンピング電流とを加算し、目標電流としてメモリに記憶する。

上記ステップ S 2 0 1 から S 2 0 9 までの動作を、制御サンプリング毎に繰り返し、位相

10

20

30

40

50

補償されたトルクセンサ出力と操舵周波数成分を除去されたモータ回転速度推定信号とからモータ8の目標電流を演算する。

【0023】

ここで、モータ回転速度推定信号  $\omega_{est\_bk}$  の算出方法の詳細について説明する。

モータの逆起電圧  $V_e$  は、以下の(2)式のように、既知の逆起電圧定数  $K_e$  とモータ回転速度  $\omega$  との積で表される。

$$V_e = K_e \cdot \omega \quad (2)$$

そこで、モータの逆起電圧  $V_e$  を推定することにより、上記(2)式から、 $\omega = V_e / K_e$  によりモータ回転速度  $\omega$  を推定したモータ回転速度推定信号  $\omega_{est\_bk}$  を求めることができる。

10

ところで、逆起電圧  $V_e$  は、以下の(3)式に示すように、コイルへの印加電圧  $V_a$  とコイルでの電圧降下  $V_c$  とから演算が可能である。

$$V_e = V_a - V_c \quad (3)$$

また、コイルでの電圧降下  $V_c$  は、既知のコイル抵抗値  $R_a$  とコイルインダクタンス値  $L_a$  とモータ電流  $I_a$  とから以下の(4)式により求められる。

$$V_c = R_a \cdot I_a + L_a \cdot (dI_a / dt) \quad (4)$$

上記(4)式中、右辺第2項は、インダクタンスの影響を表すものであるが、高周波数領域以外では影響が小さいこと、また、電流検出値を微分することにより得られる信号にはノイズが重畳し易いことから、上記コイルでの電圧降下  $V_c$  を、以下の(5)式のように、上記第2項を無視して表す場合も良く見られる。

20

$$V_c \approx R_a \cdot I_a \quad (5)$$

ところで、コイルへの印加電圧  $V_a$  は直接測定できないが、モータ端子間電圧  $V_t$  とコイルへの印加電圧  $V_a$  との間には、以下の(6)式の関係があるので、予め上記  $V_t$  から上記  $V_a$  までの電圧降下分  $V_{drop}$  の特性を把握しておくことにより、コイルへの印加電圧  $V_a$  の値を推定することができる。

$$V_a = V_t - V_{drop} \quad (6)$$

したがって、モータの逆起電圧  $V_e$  は、(3)、(5)、(6)式から、

$$\begin{aligned} V_e &= V_a - V_c \approx V_a - R_a \cdot I_a \\ &= V_t - V_{drop} - R_a \cdot I_a \end{aligned}$$

30

となるので、モータ回転速度推定信号  $\omega_{est\_bk}$  は、上記モータ端子間電圧  $V_t$  に相当する端子間電圧検出値  $V_{t\_sns}$ 、モータの端子間電圧  $V_t$  からコイルへの印加電圧  $V_a$  への電圧降下分  $V_{drop}$  に相当する補償値  $V_{comp}$ 、上記モータ電流  $I_a$  に相当する駆動電流検出値  $I_{sns}$ 、上記コイル抵抗値  $R_a$  に相当するコイル抵抗相当値  $R_{ac}$  及び上記逆起電圧定数  $K_e$  に相当する逆起電圧定数相当値  $K_{ec}$  とを用いて求めることができる。

以下にモータ回転速度推定信号  $\omega_{est\_bk}$  の演算式((1)式)を再掲する。

$$\omega_{est\_bk} = (V_{t\_sns} - V_{comp} - I_{sns} \times R_{ac}) / K_{ec} \quad (1)$$

上記(1)式は、上記(2)、(3)式及び(5)、(6)式で表される物理式をソフトウェア上に記述したものであり、 $R_{ac}$ 、 $K_{ec}$  の各パラメータは、予めROMに記憶しておく。また、上記電圧降下分  $V_{drop}$  は電流値に依存する性質があるので上記  $V_{comp}$  は、駆動電流検出値  $I_{sns}$  に対するマップとして予めROMに記憶させておく。また、上記  $V_{drop}$  が十分小さい場合は上記補償値  $V_{comp}$  を0として取り扱ってもよい。

40

【0024】

このように、本実施の形態2では、端子間電圧検出器12で検出された端子間電圧検出値  $V_{t\_sns}$  と、電流検出器9で検出された駆動電流検出値  $I_{sns}$  とに基づいてモータ8の回転速度を推定する回転速度推定器13を設けてモータ回転速度推定信号  $\omega_{est\_bk}$  を演算するとともに、このモータ回転速度推定信号  $\omega_{est\_bk}$  を回転速度HPF11に入力して操舵周波数成分を除去した回転速度HPF出力に基づいてダンピング電流を演算するようにしたので、高価なモータ回転速度センサ10が不要となり、電動式パワーステアリング装置の低コスト化を図ることができる。

50

## 【 0 0 2 5 】

実施の形態 3 .

図 5 は、本発明の実施の形態 3 に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。上記実施の形態 2 では、モータの端子間電圧検出値  $V_{t\_sns}$  と駆動電流検出値  $I_{sns}$  とからモータ回転速度を推定する回転速度推定器 13 によりモータ回転速度を推定してモータ回転速度推定信号  $est\_bk$  を求めるようにしたが、本実施の形態 3 は、図 5 に示すように、電流制御器 7 からの目標電流及び端子間電圧指令値に基づいて、モータ 8 の回転速度を推定する回転速度推定器 13 を設けてモータ回転速度推定信号  $est\_bk$  を演算するとともに、このモータ回転速度推定信号  $est\_bk$  を上記回転速度 H P F 1 1 に入力して操舵周波数成分を除去した回転速度 H P F 出力に基づいてダンピング電流を演算するようにしたものである。なお、上記目標電流及び端子間電圧指令値は、コントローラ（電流制御器 7）が設定する設定値である。また、上記電流制御器 7 からの目標電流はモータ 8 に通電する電流値を指すものとする。

10

## 【 0 0 2 6 】

次に、上記構成の電動式パワーステアリング制御装置の動作について、図 6 のフローチャートに基づき、目標電流を演算するまでのアルゴリズムに限定して説明する。

まず、ステップ S 3 0 1 で、トルクセンサ出力を読み込みメモリに記憶し、ステップ S 3 0 2 で、位相補償器 2 により、上記メモリに記憶されたトルクセンサ出力を読み込み位相補償演算を行い、位相補償器出力としてメモリに記憶する。ステップ S 3 0 3 では、トルク制御器 3 により、メモリに記憶された位相補償器出力を読み込み、補助トルク電流をマップ演算しメモリに記憶する。

20

ステップ S 3 0 4 は、回転速度推定器 13 により、加算器 6 で演算されメモリに記憶されている駆動電流検出値  $I_{ref}$  と、電流制御器 7 で演算しメモリに記憶されている駆動電圧指令値  $V_{t\_ind}$  とを読み込み、以下の ( 7 ) 式によりモータ回転速度推定信号  $est\_bk$  を演算しメモリに記憶する。

$$est\_bk = ( V_{t\_ind} - V_{comp} - V_{comp2} - I_{ref} \times R_{ac} ) / K_{ec} \quad ( 7 )$$

なお、上記  $V_{comp2}$  は、駆動電圧指令値からモータの端子間電圧までの電圧降下 ( $V_{t\_ind} - V_t$ ) に相当する補償値で、上記電圧降下は、電流値に依存する性質が有るので上記  $V_{comp2}$  は、駆動電流検出値  $I_{sns}$  に対するマップとして、予め ROM に記憶させておく。また、駆動電圧指令値から端子間電圧までの電圧降下が十分小さい場合は上記  $V_{comp2}$  を 0

30

## 【 0 0 2 7 】

次に、ステップ S 3 0 5 で、回転速度 H P F 1 1 により、メモリに記憶された上記モータ回転速度推定信号  $est\_bk$  を読み込んでハイパスフィルタの演算を行い、回転速度 H P F 出力としてメモリに記憶する。ステップ S 3 0 6 では、ダンピング制御器 4 により、メモリに記憶された回転速度 H P F 出力を読み込み、制御ゲインを乗じてダンピング電流を演算する。ステップ S 3 0 7 では、加算器 6 において、上記メモリに記憶された補助トルク電流とダンピング電流とを加算し、目標電流としてメモリに記憶する。

上記ステップ S 3 0 1 から S 3 0 7 までの動作を、制御サンプリング毎に繰り返し、位相補償されたトルクセンサ出力と操舵周波数成分を除去されたモータ回転速度信号とからモータ 8 の目標電流を演算する。

40

## 【 0 0 2 8 】

このように、本実施の形態 3 では、コントローラが設定する設定値である駆動電圧指令値  $V_{t\_ind}$  と目標電流  $I_{ref}$  とからモータ回転速度推定信号  $est\_bk$  を推定する回転速度推定器 13 を設けるとともに、回転速度 H P F 1 1 により操舵周波数成分を除去したモータ回転速度推定信号  $est\_bk$  である回転速度 H P F 出力に基づいてダンピング電流を演算するようにしたので、駆動電流や端子電圧等を検出する際のノイズの影響を受けることなく、ダンピング電流を精度良く求めることができる。

## 【 0 0 2 9 】

なお、上記実施の形態 3 では、モータに印加する電圧、通電する電流値はともにコントロ

50

ーラ（電流制御器 7）が設定する指令値や目標値を用いたが、何れか一方を測定した検出値としてもよい。

#### 【0030】

実施の形態 4 .

次に、本発明の実施の形態 4 について説明する。

本実施の形態 4 は、上記実施の形態 2 における回転速度推定器 13 でのモータ回転速度推定信号（ $\omega_{est\_bk}$ ）を演算する演算アルゴリズムのみを変更し、コイルのインダクタンス特性を考慮したモータ回転速度推定信号（ $\omega_{est\_bk}$ ）を演算し、ステアリング振動が高周波で発生する際にも、正確にモータ 8 の回転速度の振動周波数成分を推定できるようにしたものである。なお、本実施の形態 4 の電動式パワーステアリング制御装置の構成は、上記図 3 に示したブロック図と同一である。

10

#### 【0031】

次に、目標電流を演算するまでのアルゴリズムについてのみ、図 7 のフローチャートを用いて説明する。

まず、ステップ S 401 でトルクセンサ出力を読み込みメモリに記憶し、ステップ S 402 で駆動電流検出値を読み込み、ステップ S 403 で端子間電圧検出値を読み込み、それぞれメモリに記憶する。ステップ S 404 では、位相補償器 2 により、メモリに記憶されたトルクセンサ出力を読み込み位相補償演算を行い、位相補償器出力としてメモリに記憶する。ステップ S 405 では、トルク制御器 3 により、メモリに記憶された位相補償器出力を読み込み、補助トルク電流をマップ演算しメモリに記憶する。

20

#### 【0032】

ステップ S 406 及び S 407 は、回転速度推定器 13 における動作を表すもので、ステップ S 406 では、メモリに記憶された駆動電流検出値  $I_{sns}$  と端子間電圧検出値  $V_{t\_sns}$  とを読み込み、以下の (8) 式のように、現サンプリングの駆動電流検出値  $I_{sns}(k)$  と前サンプリング時の駆動電流検出値  $I_{sns}(k-1)$  との差分を求め、駆動電流検出値 ( $I_{sns}$ ) の微分値 ( $dI_{sns}$ ) を演算する。

$$dI_{sns}(k) = \{ I_{sns}(k) - I_{sns}(k-1) \} / T_{samp} \quad (8)$$

k : 制御サンプリング回数

$T_{samp}$  : 制御サンプリング時間

次に、ステップ S 407 で、コイル電流からコイルインピーダンスの逆特性に相当するコイル電圧を得るための逆特性演算手段を用いて、駆動電流検出値  $I_{sns}$  と上記 (8) 式により求められた  $dI_{sns}(k)$  とによりコイルでの電圧降下  $V_c$  を求めた後、以下の (9) 式によりモータ回転速度推定信号 ( $\omega_{est\_bk}$ ) を演算しメモリに記憶する。

30

$$\omega_{est\_bk} = (V_{t\_sns} - V_{comp} - I_{sns} \times R_{ac} - L_{ac} \times dI_{sns}) / K_{ec} \quad \dots (9)$$

ここで、 $L_{ac}$  はコイルインダクタンス相当値で、 $-L_{ac} \times dI_{sns} / K_{ec}$  はコイルのインダクタンス特性に関する項である。

#### 【0033】

次に、ステップ S 408 で、回転速度 H P F 11 により、メモリに記憶された上記モータ回転速度推定信号  $\omega_{est\_bk}$  を読み込んでハイパスフィルタの演算を行い、回転速度 H P F 出力としてメモリに記憶し、ステップ S 409 で、ダンピング制御器 4 により、メモリに記憶された回転速度 H P F 出力を読み込み、制御ゲインを乗じてダンピング電流を演算する。ステップ S 410 では、加算器 6 において、上記メモリに記憶された補助トルク電流とダンピング電流とを加算し、目標電流としてメモリに記憶する。

40

上記ステップ S 401 から S 410 までの動作を、制御サンプリング毎に繰り返し、位相補償されたトルクセンサ出力と操舵周波数成分を除去されたモータ回転速度推定信号とからモータ 8 の目標電流を演算する。

なお、モータ回転速度推定信号  $\omega_{est\_bk}$  を演算する (9) 式は、上記 (2) ~ (4) 式及び (6) 式の物理式をソフトウェア上に記述したものであり、上記コイルインダクタンス

50

相当値  $L_{ac}$  は、 $R_{ac}$ 、 $K_{ec}$  と同様に予め ROM に記憶しておく。

【0034】

このように、本実施の形態 4 は、モータ回転速度をモータ 8 の端子間電圧検出値と駆動電流検出値からコイルでの電圧降下相当値を求めてモータ回転速度を推定する際に、コイルのインダクタンス特性を考慮するように構成したので、ステアリング振動が高周波で発生する際にも、モータ 8 の回転速度の振動周波数成分を正確に推定することができる。

【0035】

なお、上記実施の形態 4 では、駆動電流検出値 ( $I_{sns}$ ) と端子間電圧検出値 ( $V_{t\_sns}$ ) を用いてモータ回転速度推定信号 ( $est\_bk$ ) を演算する構成としたが、実施の形態 3 と同様に、モータ 8 に印加する電圧値、モータ 8 に通電する電流値の一方もしくは両方を、  
10 駆動電圧指令値、目標電流としてモータ回転速度推定信号 ( $est\_bk$ ) を演算するようにしてもよい。

【0036】

実施の形態 5 .

次に、本発明の実施の形態 5 について説明する。

実施の形態 5 は、実施の形態 2 における回転速度推定器 13 でのモータ回転速度推定信号 ( $est\_bk$ ) を演算する演算アルゴリズムのみを変更し、モータ回転速度をモータ 8 の端子間電圧検出値と駆動電流検出値から推定する際に、コイルのインダクタンス特性を考慮するとともに、コイルでの電圧降下相当値を求める逆特性演算手段のゲイン及び位相を、  
20 コイルインピーダンスの逆特性と、操舵時にステアリング発振が発生する周波数でのみ一致するような周波数特性を有するようにし、ステアリング振動が発生する周波数でのみ正確にモータの回転速度を推定するようにしたものである。なお、本実施の形態 4 の電動式パワーステアリング制御装置の構成は、上記図 3 に示したブロック図と同一である。

【0037】

以下に、目標電流を演算するまでのアルゴリズムについてのみ、図 8 のフローチャートを用いて説明する。

まず、ステップ S501 で、トルクセンサ出力を読み込みメモリに記憶し、ステップ S502 で、駆動電流検出値を読み込み、ステップ S503 で端子間電圧検出値を読み込み、それぞれメモリに記憶する。ステップ S504 では、位相補償器 2 により、メモリに記憶されたトルクセンサ出力を読み込み位相補償演算を行い、位相補償器出力としてメモリに  
30 記憶する。ステップ S505 では、トルク制御器 3 により、メモリに記憶された位相補償器出力を読み込み、補助トルク電流をマップ演算しメモリに記憶する。

【0038】

ステップ S506、S507 は回転速度推定器 13 における動作を表すもので、ステップ S506 では、メモリに記憶された駆動電流検出値 ( $I_{sns}$ ) と端子間電圧検出値 ( $V_{t\_sns}$ ) を読み込み、以下の (10) 式のように、駆動電流検出値 ( $I_{sns}$ ) をフィルタ処理して、コイルでの電圧降下相当値  $V_{c\_est}$  の演算を行う。

$$x(k+1) = I_{sns}(k) - G_{comp1} \cdot \{I_{sns}(k) - x(k)\}$$

$$V_{c\_est}(k) = G_{comp3} \cdot [x(k) + G_{comp2} \cdot \{I_{sns}(k) - x(k)\}] \cdots (10)$$

)

40

ここで、 $G_{comp1}$ 、 $G_{comp2}$ 、 $G_{comp3}$  はフィルタのパラメータで、以下の (11) 式の伝達関数  $G(s)$  に相当するアナログフィルタをデジタル化変換したときのパラメータであり、予め ROM に記憶させておく。また、 $x(k)$  は、駆動電流検出値  $I_{sns}$  からコイルでの電圧降下相当値  $V_{c\_est}$  を求める際の中間の状態量であり、 $k=0$  の時は、予め ROM に記憶された初期値を読み込んで演算を行う。

$$G(s) = G_{comp3} \cdot \{ (T_{comp1} \cdot s + 1) / (T_{comp2} \cdot s + 1) \} \quad (11)$$

上記 (11) 式のフィルタは、図 9 のボード線図に示されるように、ステアリング振動を生じる周波数で、実際のコイルの逆特性とゲインと位相が一致するように、各パラメータ  
50

$T_{comp1}$ ,  $T_{comp2}$ ,  $G_{comp3}$ を設定する。

次に、ステップS507で、上記(10)式により求められた $V_{c\_est(k)}$ を用いて、以下の(12)式によりモータ回転速度推定信号 $est\_bk$ を演算しメモリに記憶する。

$$est\_bk = (V_{t\_sns} - V_{comp} - V_{c\_est}) / K_{ec} \quad (12)$$

【0039】

次に、ステップS508で、回転速度HPF11により、メモリに記憶された上記モータ回転速度推定信号 $est\_bk$ を読み込んでハイパスフィルタの演算を行い、回転速度HPF出力としてメモリに記憶する。ステップS509では、ダンピング制御器4により、メモリに記憶された回転速度HPF出力を読み込み、制御ゲインを乗じてダンピング電流を演算する。ステップS510では、加算器6において、上記メモリに記憶された補助トルク電流とダンピング電流とを加算し、目標電流としてメモリに記憶する。

上記ステップS501からS510までの動作を、制御サンプリング毎に繰り返し、位相補償されたトルクセンサ出力と操舵周波数成分を除去されたモータ回転速度推定信号とからモータ8の目標電流を演算する。

【0040】

このように、本実施の形態5では、モータ回転速度をモータ8の端子間電圧検出値と駆動電流検出値から推定する際に、コイルのインダクタンス特性を考慮するとともに、ステアリング振動が発生する周波数でのみ正確にモータの回転速度を推定する構成としたことにより、単にインダクタンス逆特性を演算してモータの回転速度を推定する場合よりも、高周波領域でのゲインを低下させることができるので、高周波数のノイズの影響を小さくすることができる。

また、モータに通電される電流の検出値もしくは指令値を、操舵時にステアリング発振が発生する周波数でのみコイルインピーダンスの逆特性とゲインと位相が一致するようにしたことにより、ステアリング発振が発生する周波数以外は、フィルタのゲイン、位相を自由に変えられるので、ダンピングを効かせたい周波数ではモータ回転速度を正確に推定することができる。

【0041】

実施の形態6.

図10は、本発明の実施の形態6に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。同図において、1は運転者が操舵した場合の操舵トルクを検出するトルクセンサ、2は上記トルクセンサ1の出力信号を位相補償してその周波数特性を改善する位相補償器、3は位相補償されたトルクセンサ1の出力に基づいて上記操舵トルクを補助するトルクを発生するモータ8に通電する補助トルク電流を演算するトルク制御器である。

また、15は電流検出器9で検出された駆動電流検出値から操舵周波数成分を除去する駆動電流HPF、16はモータ3の回転角を検出する回転角検出器14で検出された回転角検出値から操舵周波数成分を除去するモータ角度HPF、17はモータの慣性モーメントを慣性項、トルクセンサの剛性をバネ項とする振動方程式に対して構成され、上記駆動電流HPF15から出力とモータ角度HPF16からの出力とに基づいてモータ回転速度を推定しモータ回転速度推定信号である回転速度オブザーバ出力を出力する回転速度オブザーバ、4は上記回転速度オブザーバ出力に基づいてダンピング電流を演算するダンピング制御器、6は上記トルク制御器3で演算された補助トルク電流、ダンピング制御器4で演算されたダンピング電流を加算し目標電流を算出する加算器である。また、7は電流制御器であり、アシストトルクを発生すべく、電流検出器9で検出したモータ8に通電される駆動電流検出値が上記目標電流に一致するように、モータ8の端子に印加する駆動電圧指令値を設定して、例えばPWM信号として出力する。

【0042】

ここで、上記回転速度オブザーバ17について説明する。

ステアリングの機構は、運転者がハンドルを動かすことによって入力される操舵トルク、モータが発生するアシストトルク及びタイヤからの反力を中心とする反力トルクの釣り合

10

20

30

40

50

いで表される。一方、ステアリング振動は一般に30Hz以上の速い周波数で発生する。この速い周波数では、ハンドル角の変動や路面反力変動は無視できるほど小さくなるので、モータをバネ特性を有するトルクセンサに支えられた振動系とみなすことができる。したがって、これに相当する運動方程式、例えばモータの慣性モーメントを慣性項、トルクセンサの剛性をバネ項とする振動方程式に基づいて回転速度オブザーバを構成すれば、コイル電流からコイルでの電圧降下を求めるときに必要な微分器を用いることなく、操舵周波数を越える周波数帯域でのモータの回転速度を推定することができる。

なお、上記駆動電流HPF15及びモータ角度HPF16の折点周波数は、上述した回転速度HPF11と同様に、一般の運転者が操舵可能な最大周波数を狙って、0.2~30Hzの範囲に設定したハイパスフィルタとしたので、モータの回転速度の操舵周波数成分を適正に除去することができる。

#### 【0043】

次に、上記構成の電動式パワーステアリング制御装置の動作について図11のフローチャートに基づいて説明する。なお、本実施の形態6においても、上記各実施の形態1~5と同様に、目標電流演算手段20における目標電流を演算するまでのアルゴリズムを説明する。

まず、ステップS601で、トルクセンサ出力を読み込みメモリに記憶し、ステップS602で、駆動電流検出値を読み込み、ステップS603で、回転角検出値を読み込みそれぞれメモリに記憶する。ステップS604では、位相補償器2により、メモリに記憶されたトルクセンサ出力を読み込み位相補償演算を行い、位相補償器出力としてメモリに記憶する。ステップS605では、トルク制御器3により、メモリに記憶された位相補償器出力を読み込み、補助トルク電流をマップ演算しメモリに記憶する。

ステップS606は、駆動電流HPF15により、メモリに記憶された駆動電流検出値を読み込み、ハイパスフィルタに通し、上記駆動電流検出値から操舵周波数成分を除去して、駆動電流HPF出力( $I_{filt}$ )としてメモリに記憶する。ステップS607では、モータ角度HPF16により、メモリに記憶された回転角検出値を読み込み、ハンドル軸換算の回転角に変換した上でハイパスフィルタに通し、上記変換された回転角検出値から操舵周波数成分を除去して、モータ角度HPF出力( $\theta_{filt}$ )としてメモリに記憶する。

#### 【0044】

ステップS608では、回転速度オブザーバ17において、メモリに記憶された駆動電流HPF出力 $I_{filt}$ とモータ角度HPF出力 $\theta_{filt}$ とを読み込んだ後、以下の(13)式によりモータ回転速度推定信号( $\omega_{est\_obs}$ )を演算しメモリに記憶する。

$$\begin{aligned} u_1(k) &= G_{obs1} \times \theta_{filt}(k) + G_{obs2} \times I_{filt}(k) \\ x(k+1) &= G_{obs3} \cdot x(k) + G_{obs4} \cdot u_1(k) \\ \omega_{est\_obs}(k) &= G_{obs5} \cdot x(k) + G_{obs6} \cdot \theta_{filt}(k) \cdots \cdots (13) \end{aligned}$$

ここで、上記各パラメータ $G_{obs1}$ 、 $G_{obs2}$ 、 $G_{obs3}$ 、 $G_{obs4}$ 、 $G_{obs5}$ 、 $G_{obs6}$ は、以下の(14)式のモータの慣性モーメントを慣性項、トルクセンサのバネ定数をバネ項とする1自由度振動方程式に対する最小次元オブザーバをデジタル化した時のパラメータであり、予めROMに記憶させておく。また、上記 $x(k)$ は、駆動電流HPF出力 $I_{filt}$ とモータ角度HPF出力 $\theta_{filt}$ とからモータ回転速度推定信号 $\omega_{est\_obs}$ を求める際の中間の状態量であり、 $k=0$ の時は、予めROMに記憶された初期値を読み込んで演算を行う。

$$\begin{aligned} \frac{d^2 \theta_{vib}}{dt^2} &= -C/J \cdot (d\theta_{vib}/dt) + (K_{TSEN}/J) \cdot \theta_{vib} \\ &+ (K_T/J) \cdot I_{vib} \cdots \cdots (14) \end{aligned}$$

$\theta_{vib}$  : 操舵周波数成分をカットしたモータの回転角 (ハンドル軸換算)

$I_{vib}$  : 操舵周波数成分をカットしたモータの駆動電流

J : ハンドル軸からみたモータの慣性モーメント

C : ハンドル軸からみたトルクセンサの減衰定数

10

20

30

40

50

$K_{TSEN}$  : ハンドル軸からみたトルクセンサのバネ定数

$K_T$  : ハンドル軸からみたモータのトルク定数

【 0 0 4 5 】

次に、ステップ S 6 0 9 で、ダンピング制御器 4 により、メモリに記憶されたモータ回転速度推定信号  $e_{st\_obs}$  を読み込み、制御ゲインを乗じてダンピング電流を演算する。ステップ S 6 1 0 では、加算器 6 において、上記メモリに記憶された補助トルク電流とダンピング電流とを加算し、目標電流としてメモリに記憶する。

上記ステップ S 6 0 1 から S 6 1 0 までの動作を制御サンプリング毎に繰り返し、位相補償されたトルクセンサ出力と操舵周波数成分を除去されたモータ回転速度推定信号とからモータ 8 の目標電流を演算する。

10

【 0 0 4 6 】

このように、本実施の形態 6 では、モータ回転速度をモータの端子間電圧検出値とモータの回転角検出値とから推定する構成としたことにより、例えば、ブラシレスモータ等を搭載したモータの回転角を検出可能な電動式パワーステアリングシステムに関しては、モータの回転速度をモータの回転角とモータ電流の両方から推定できるので、ステアリング振動等、モータの回転角度が微小で精度良く回転角度が検出できない場合でも、モータの回転角度を微分してモータの回転速度を推定した場合に比べて、精度良くモータの回転速度を得ることができる。

【 0 0 4 7 】

なお、上記実施の形態 6 では、回転速度オブザーバ 1 7 において回転速度オブザーバ出力を演算する際、上記 ( 1 4 ) 式の 2 次モデルに対し、1 次となる最小次元オブザーバを構築したが、2 次となる同次元オブザーバを構築してもよい。

20

【 0 0 4 8 】

実施の形態 7 .

次に、本発明の実施の形態 7 について説明する。

図 1 2 は、本発明の実施の形態 7 に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。上記実施の形態 6 では、操舵周波数成分を除去した駆動電流 H P F 出力及びモータ角度 H P F 出力に基づいてモータの回転速度を推定する回転速度オブザーバ 1 7 を設けて操舵周波数成分を除去したモータ回転速度推定信号を出力するようにしたが、本実施の形態 7 は、図 1 2 に示すように、トルクセンサ 1 で検出されたトルクセンサ出力から操舵周波数成分を除去するトルク H P F 1 8 を設けるとともに、モータの慣性モーメントを慣性項、トルクセンサの剛性をバネ項とする振動方程式に対して構成され、上記トルク H P F 1 8 からのトルクセンサ H P F 出力と、電流検出器 9 で検出された駆動電流検出値を駆動電流 H P F 1 5 に通して操舵周波数成分を除去した駆動電流 H P F 出力とに基づいて回転速度推定信号である回転速度オブザーバ出力を推定する回転速度オブザーバ 1 7 とを設け、この回転速度オブザーバ出力に基づいてダンピング電流を演算するようにしたものである。

30

【 0 0 4 9 】

ここで、上記回転速度オブザーバ 1 7 について説明する。

ステアリング発振が発生する高周波帯域では、運転者によるハンドルの保持及びハンドル自身の慣性の影響により、ハンドルはほとんど動かない。したがって、バネ特性を有するトルクセンサのねじれ角をモータ回転角とみなすことができ、トルクセンサ出力をトルクセンサのバネ定数で除し、操舵周波数成分を除去した上で符号を反転させることにより、上記実施の形態 6 のモータの回転角と等価な信号を得ることができる。上記回転速度オブザーバ 1 7 は、モータの慣性モーメントを慣性項、トルクセンサの剛性をバネ項とする振動方程式を用い、上記モータの回転角と等価な信号と電流検出器 9 で検出された駆動電流検出値とに基づいて回転速度推定するものである。

40

【 0 0 5 0 】

次に、目標電流を演算するまでのアルゴリズムについてのみ、図 1 3 のフローチャートを用いて説明する。

50

まず、ステップ S 7 0 1 でトルクセンサ出力を読み込みメモリに記憶し、ステップ S 7 0 2 で駆動電流検出値を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップ S 7 0 3 で、位相補償器 2 により、メモリに記憶されたトルクセンサ出力を読み込み位相補償演算を行い、位相補償器出力としてメモリに記憶する。ステップ S 7 0 4 では、トルク制御器 3 により、メモリに記憶された位相補償器出力を読み込み、補助トルク電流をマップ演算しメモリに記憶する。ステップ S 7 0 5 では、駆動電流 H P F 1 5 により、メモリに記憶された駆動電流検出値を読み込み、ハイパスフィルタに通し、操舵周波数成分を除去した後、駆動電流 H P F 出力 (  $I_{filt}$  ) としてメモリに記憶する。ステップ S 7 0 6 では、トルク H P F 1 8 により、メモリに記憶されたトルクセンサ出力を読み込み、ハイパスフィルタに通し、操舵周波数成分を除去した後、トルクセンサ H P F 出力 (  $T_{filt}$  ) としてメモリに記憶する。

10

【 0 0 5 1 】

ステップ S 7 0 7 では、回転速度オブザーバ 1 7 において、メモリに記憶された駆動電流 H P F 出力 (  $I_{filt}$  ) とトルクセンサ H P F 出力 (  $T_{filt}$  ) とを読み込んだ後、以下の ( 1 5 ) 式により回転速度オブザーバ出力 (  $\omega_{est\_obs}$  ) を演算しメモリに記憶する。

$$u_1(k) = G_{obs1} \times (-T_{filt}(k) / K_{TSEN}) + G_{obs2} \times I_{filt}(k)$$

$$x(k+1) = G_{obs3} \cdot x(k) + G_{obs4} \cdot u_1(k)$$

$$\omega_{est\_obs}(k) = G_{obs5} \cdot x(k) + G_{obs6} \cdot \theta_{filt}(k) \quad \dots (14)$$

20

この時、上記各パラメータ  $G_{obs1}$  ,  $G_{obs2}$  ,  $G_{obs3}$  ,  $G_{obs4}$  ,  $G_{obs5}$  ,  $G_{obs6}$  及び  $x(k)$  は、( 1 3 ) 式と同一である。

【 0 0 5 2 】

次に、ステップ S 7 0 8 で、ダンピング制御器 4 により、メモリに記憶されたモータ回転速度推定信号  $\omega_{est\_obs}$  を読み込み、制御ゲインを乗じてダンピング電流を演算する。ステップ S 7 0 9 では、加算器 6 により、上記メモリに記憶された補助トルク電流とダンピング電流とを加算し、目標電流としてメモリに記憶する。

上記ステップ S 7 0 1 から S 7 0 9 までの動作を制御サンプリング毎に繰り返し、位相補償されたトルクセンサ出力と操舵周波数成分を除去されたモータ回転速度推定信号とからモータ 8 の目標電流を演算する。

30

【 0 0 5 3 】

このように、本実施の形態 7 では、モータの回転角度をトルクセンサ出力から推定する構成としたので、モータの回転角を検出するセンサが装備されていない電動式パワーステアリングシステムに対してもモータの回転速度を推定することができ、高価なモータの回転角センサが不要となる。

【 0 0 5 4 】

なお、本実施の形態 7 も、上記実施の形態 6 と同様に、同一次元オブザーバを構築してもよい。また、本実施の形態 7 では、操舵トルク信号として、トルクセンサ出力を用いたが、位相補償器 2 で周波数特性を改善された位相補償器出力を操舵トルク信号として用いてもよい。

40

【 0 0 5 5 】

実施の形態 8 .

図 1 4 は、本発明の実施の形態 7 に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。同図において、1 は運転者が操舵した場合の操舵トルクを検出するトルクセンサ、2 はトルクセンサの出力信号の周波数特性を改善する位相補償器、3 は位相補償されたトルクセンサ 1 の出力に基づいて補助トルク電流を演算するトルク制御器、4 はダンピング制御器であり、モータ回転速度センサ 1 0 で検出されたモータ回転速度推定信号を回転速度ハイパスフィルタ ( H P F ) 1 1 に入力して操舵周波数成分を除去した回転速度 H P F 出力に基づいてダンピング電流を演算する。6 は加算器であり、トルク制御器 3 で演算された補助トルク電流、ダンピング制御器 4 で演算されたダンピング電流を

50

加算し、目標電流を構成する。7は電流制御器であり、アシストトルクを発生すべくモータ8に通電される駆動電流を電流検出器9で検出した駆動電流検出値が、目標電流に一致するようにモータの端子に印加する駆動電圧指令値を設定して例えばPWM信号として出力する。本実施の形態8では、更に、車速検出手段19を設け、位相補償器2、トルク制御器3、回転速度HPF11、ダンピング制御器4の各パラメータが、上記車速検出手段19からの車速信号 $V_s$ に応じて変化するように構成したものである。

#### 【0056】

これは、一般に車速により、運転者により行われる操舵周波数範囲が異なり、また、タイヤ反力も変化するため、これに応じて、トルク制御器3の位相補償されたトルクセンサ1の出力と補助トルク電流の関係を変化させるためである。位相補償されたトルクセンサ1の出力と補助トルク電流の関係が変化すると、ステアリング発振を起こし易い周波数領域や発振し易さの程度も変化してくる。

本実施の形態8では、これらのパラメータを車速に対して可変にしたことにより、一般に車速により異なる運転者により行われる操舵周波数範囲やステアリング発振を起こし易い周波数領域に応じた最適な制御ができるようになる。

#### 【0057】

次に、実施の形態8の動作について、図15のフローチャートに基づいて、目標電流を演算するまでのアルゴリズムの説明を行う。

まずステップS801で、トルクセンサ出力を読み込みメモリに記憶し、ステップS802で、モータ回転速度推定信号を読み込みメモリに記憶し、ステップS803で車速信号を読み込みメモリに記憶する。次に、ステップS804で、位相補償器2の周波数特性を定めるパラメータを車速信号 $V_s$ に対するマップから読み込み、ステップS805で、メモリに記憶されたトルクセンサ出力を読み込み位相補償演算を行い、位相補償器出力としてメモリに記憶する。ステップS806では、トルク制御器3により、上記位相補償されたトルクセンサ1の出力と補助トルク電流の関係を、車速信号に対して2次元マップから読み込み、ステップS807で、メモリに記憶された位相補償器出力を読み込んで、補助トルク電流をマップ演算しメモリに記憶する。ステップS808では、回転速度HPF11で、回転速度HPF11によって除去する周波数帯域を定めるパラメータを車速信号 $V_s$ に対するマップから読み込んだ後、ステップS809で、メモリに記憶されたモータ回転速度推定信号を読み込んでハイパスフィルタの演算を行い、回転速度HPF出力としてメモリに記憶する。ステップS810では、ダンピング制御器4により、ダンピング制御器4における制御ゲインを車速信号に対するマップから読み込んだ後、ステップS811で、メモリに記憶された回転速度HPF出力を読み込み、制御ゲインを乗じてダンピング電流を演算する。ステップS812は、加算器6により、メモリに記憶された補助トルク電流とダンピング電流を加算し、目標電流としてメモリに記憶する。

上記ステップS801からS812までの動作を制御サンプリング毎に繰り返し、位相補償されたトルクセンサ出力と操舵周波数成分を除去されたモータ回転速度推定信号とから車速信号 $V_s$ に応じたモータ8の目標電流を演算する。

#### 【0058】

このように、本実施の形態8では、各操舵成分除去手段で除去する周波数帯域を車速信号 $V_s$ に応じて可変させるとともに、制御系の各パラメータも同様に車速信号 $V_s$ に応じて変化させるようにしたので、車速によって異なる運転者の操舵による操舵周波数範囲やステアリング発振を起こし易い周波数領域に応じた最適な制御を行うことができる。

#### 【0059】

なお、上記実施の形態8では、上記実施の形態1に対して、車速信号 $V_s$ に応じて制御パラメータを変化させる例について示したが、上記実施の形態2～7の電動式パワーステアリング制御装置に対しても車速信号 $V_s$ に応じて制御パラメータを変化させるようにしてもよい。

#### 【0066】

#### 【発明の効果】

10

20

30

40

50

以上説明したように、請求項 1 に記載の発明によれば、運転者による操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、上記検出された操舵トルク信号に基づいて上記操舵トルクを補助する補助トルク電流を演算するトルク制御器と、上記操舵トルクを補助するトルクを発生するモータと、上記モータの回転速度を推定する回転速度推定手段と、上記推定されたモータ回転速度の推定値を用いて、上記補助トルク電流に加算されるダンピング電流を演算するダンピング制御器とを備えた電動式パワーステアリング制御装置において、上記回転速度推定手段を、モータ回転角の検出値から操舵による成分を除去するモータ回転角用操舵成分除去手段と、モータに通電される電流の検出値もしくは指令値から操舵による成分を除去するモータ電流用操舵成分除去手段と、モータの慣性モーメントを慣性項、トルクセンサの剛性をバネ項とする振動方程式に対して構成され、上記モータ回転角用操舵成分除去手段及び上記モータ電流用操舵成分除去手段から出力される、操舵成分が除去されたモータ回転角とモータ電流とに基づいてモータ回転速度の推定値を演算する回転速度オブザーバとを備え、上記回転速度オブザーバで演算された操舵による速度成分を除去したモータの回転速度推定値に基づいてダンピング電流を演算するよう構成したので、コイル電流からコイルでの電圧降下を求めるときに必要な微分器を用いることなく、操舵周波数を越える周波数帯域でのモータの回転速度を精度良く求めることができるとともに、トルク比例ゲインを向上させたことに伴ってダンピング電流を大きくしても、運転者がハンドルの振動を感じることなく操舵トルクを低減することができる。

10

#### 【0067】

請求項 2 に記載の発明によれば、運転者による操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、上記検出された操舵トルク信号に基づいて上記操舵トルクを補助する補助トルク電流を演算するトルク制御器と、上記操舵トルクを補助するトルクを発生するモータと、上記モータの回転速度を推定する回転速度推定手段と、上記推定されたモータ回転速度の推定値を用いて、上記補助トルク電流に加算されるダンピング電流を演算するダンピング制御器とを備えた電動式パワーステアリング制御装置であって、上記回転速度推定手段を、モータに通電される電流の検出値もしくは指令値から操舵による成分を除去するモータ電流用操舵成分除去手段と、操舵トルク検出手段の出力から操舵による成分を除去する操舵トルク用操舵成分除去手段と、モータの慣性モーメントを慣性項、トルクセンサの剛性をバネ項とする振動方程式に対して構成され、上記モータ電流用操舵成分除去手段及び上記操舵トルク用操舵成分除去手段から出力される、操舵成分が除去されたモータ電流と操舵トルクとに基づいてモータ回転速度の推定値を演算する回転速度オブザーバとを備え、上記回転速度オブザーバで演算された操舵による速度成分を除去したモータの回転速度推定値に基づいてダンピング電流を演算するようにしたので、高価なモーター回転角センサを用いることなく、モータの回転速度を精度良く求めることができるとともに、トルク比例ゲインを向上させたことに伴ってダンピング電流を大きくしても、運転者がハンドルの振動を感じることなく操舵トルクを低減することができる。

20

30

#### 【0068】

請求項 3 に記載の発明によれば、車速検出手段を有し、車速に応じて、上記各操舵成分除去手段のいずれかあるいは全部で除去する周波数帯域を可変としたので、車速に応じて、操舵周波数範囲やステアリング発振を起こし易い周波数領域に対する最適な制御を行うことができる。

40

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施の形態 1 に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】 実施の形態 1 のアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図 3】 実施の形態 2 に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図 4】 実施の形態 2 のアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図 5】 実施の形態 3 に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

50

- 【図6】 実施の形態3のアルゴリズムを示すフローチャートである。
- 【図7】 実施の形態4のアルゴリズムを示すフローチャートである。
- 【図8】 実施の形態5のアルゴリズムを示すフローチャートである。
- 【図9】 実施の形態5に用いたコイルの逆特性に相当するフィルタの特性を示す図である。

【図10】 実施の形態6に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図11】 実施の形態6のアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図12】 実施の形態7に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図13】 実施の形態7のアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図14】 実施の形態8に係わる電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

【図15】 実施の形態8のアルゴリズムを示すフローチャートである。

【図16】 従来の電動式パワーステアリング制御装置の構成を示すブロック図である。

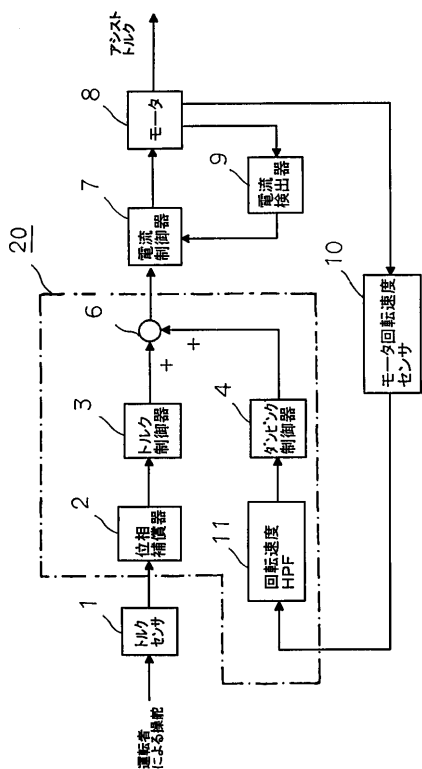
【符号の説明】

- 1 トルクセンサ、2 位相補償器、3 トルク制御器、4 ダンピング制御器、5 補償制御器、5 a 摩擦補償制御器、5 b 慣性補償制御器、
- 6 加算器、7 電流制御器、8 モータ、9 電流検出器、10 モータ回転速度センサ、11 回転速度HPF、12 端子間電圧検出器、13 回転速度推定器、14 回転角検出器、15 駆動電流HPF、16 モータ角度HPF、17 回転速度オブザーバ、18 トルクHPF、19 車速検出手段、20 目標電流演算手段。

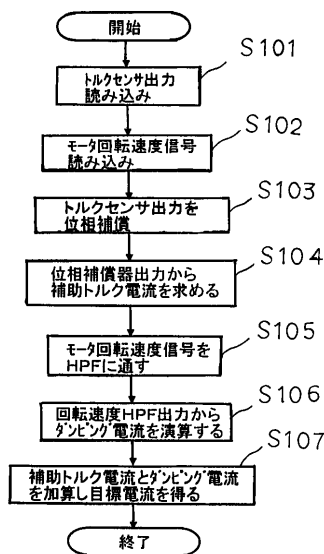
10

20

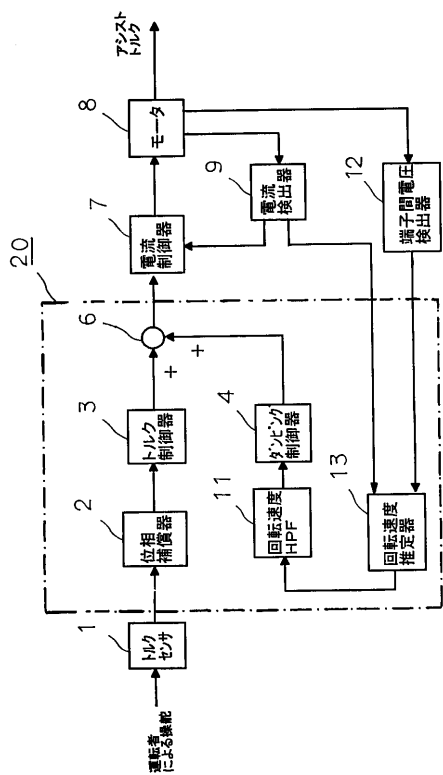
【図1】



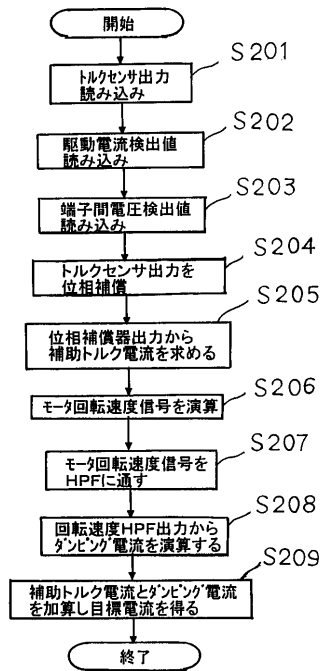
【図2】



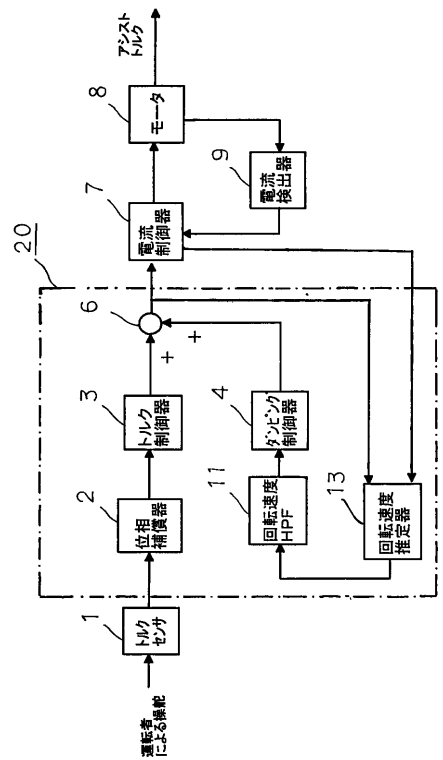
【 図 3 】



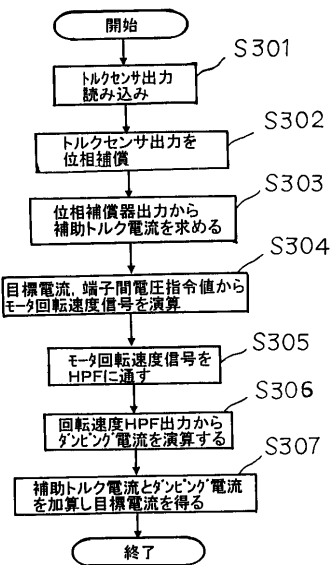
【 図 4 】



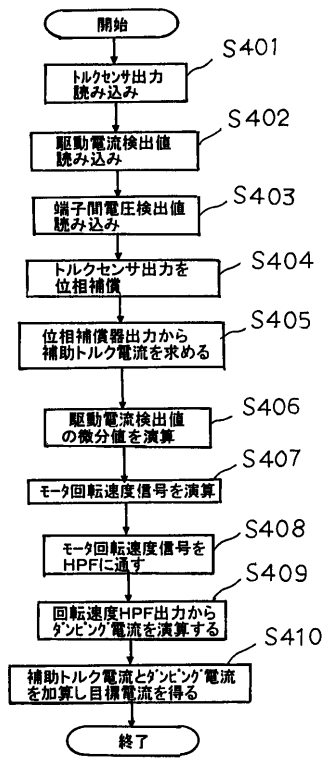
【 図 5 】



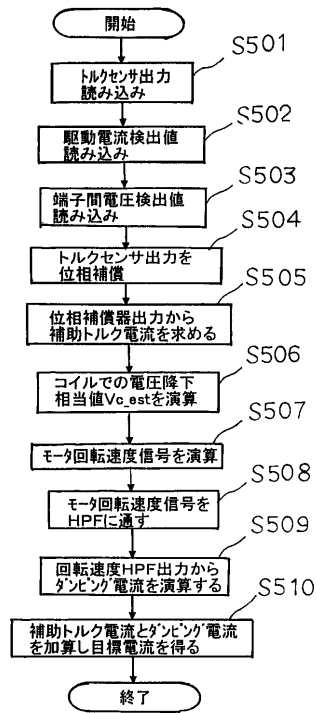
【 図 6 】



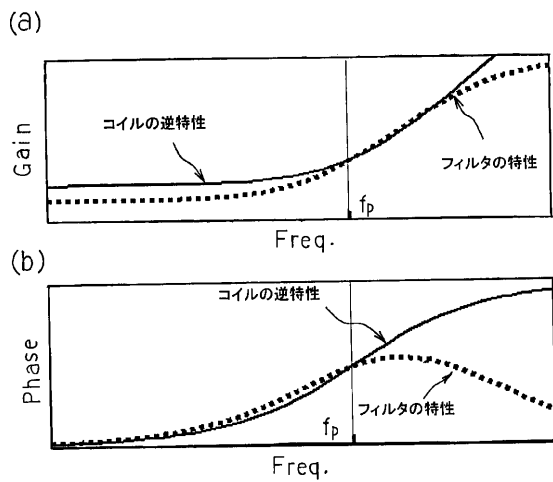
【 図 7 】



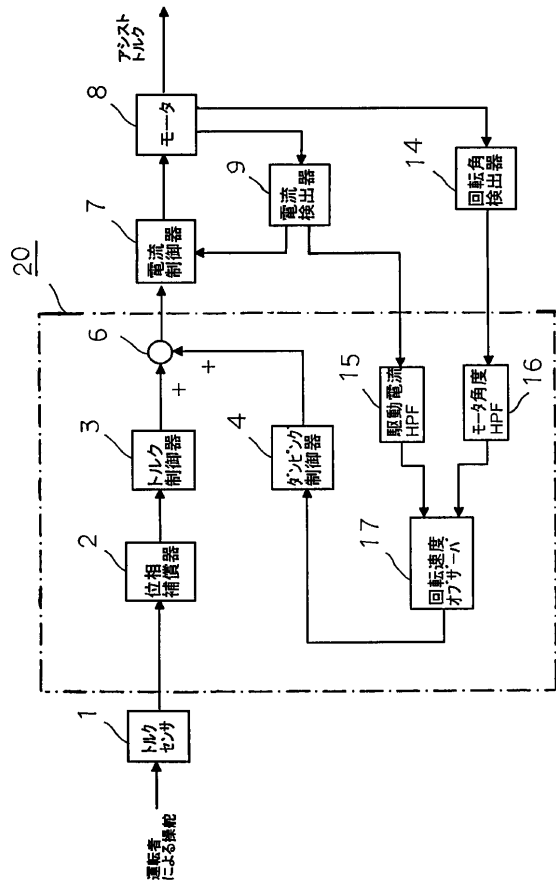
【 図 8 】



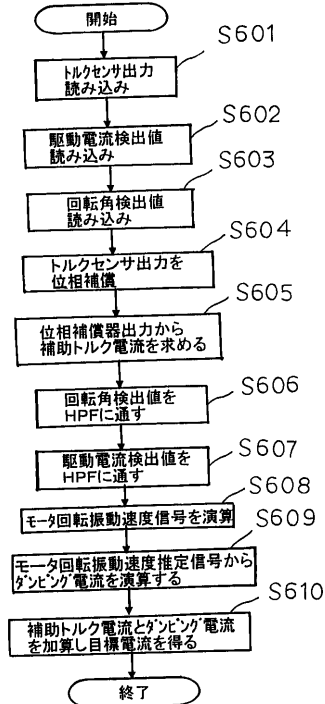
【 図 9 】



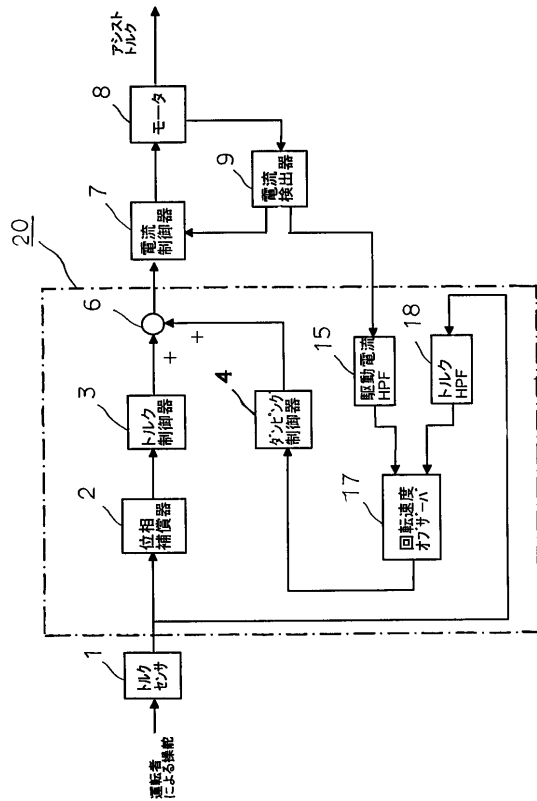
【 図 10 】



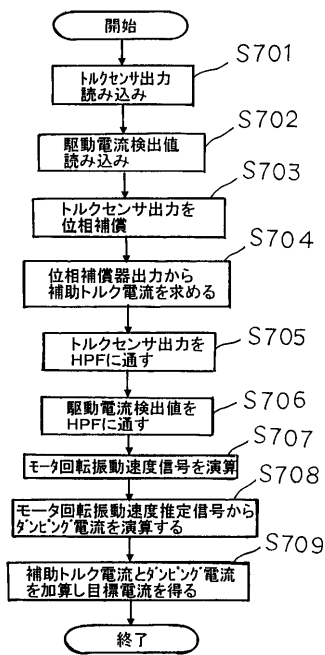
【 図 1 1 】



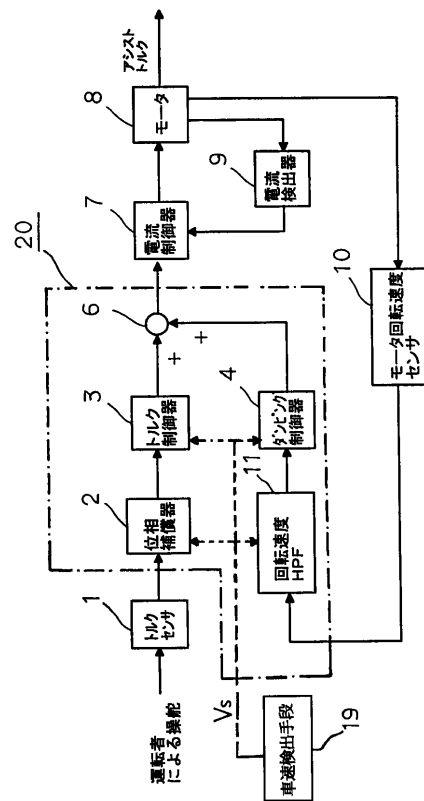
【 図 1 2 】



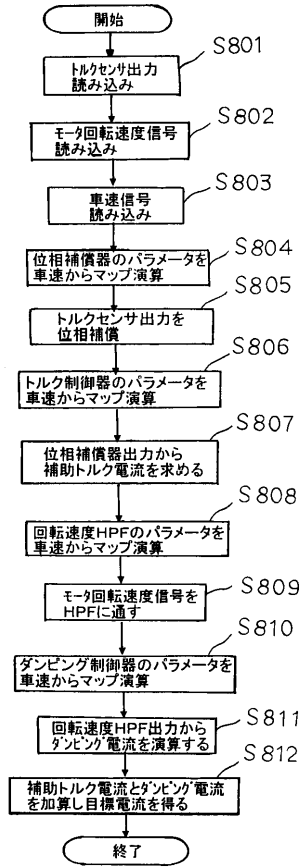
【 図 1 3 】



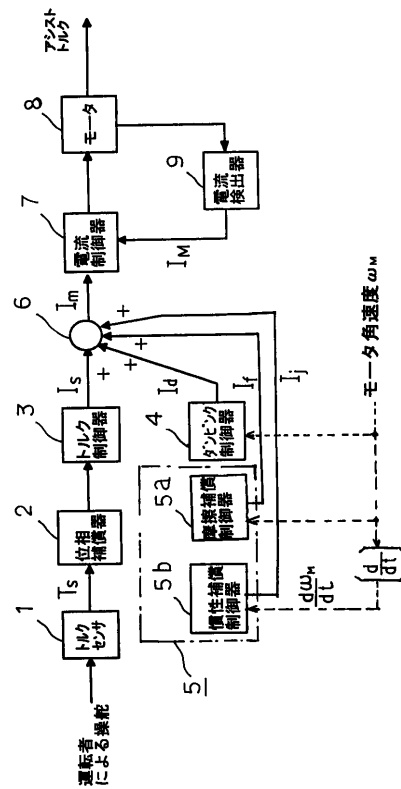
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 錢谷 享

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

審査官 関 裕治朗

(56)参考文献 特開平8 - 175404 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

B62D 6/00

B62D 5/04