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

特許第3625662号

(P3625662)

(45)発行日　平成17年3月2日(2005.3.2)　(24)登録日　平成16年12月10日(2004.12.10)

(51)Int.Cl.[7]	F I
B62D 6/00	B62D 6/00
B62D 5/04	B62D 5/04
// B62D 101:00	B62D 101:00
B62D 113:00	B62D 113:00
B62D 119:00	B62D 119:00

請求項の数 1　(全 22 頁)

(21)出願番号　特願平10-283004
(22)出願日　平成10年10月5日(1998.10.5)
(65)公開番号　特開2000-108916(P2000-108916A)
(43)公開日　平成12年4月18日(2000.4.18)
審査請求日　平成13年2月1日(2001.2.1)

前置審査

(73)特許権者　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目２番３号
(74)代理人　100080296
弁理士　宮園　純一
(72)発明者　岡上　卓弘
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

審査官　森林　宏和

最終頁に続く

(54)【発明の名称】電動パワーステアリング装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

ハンドルの操舵状態や車両の走行状態により演算された電流指令値とハンドルから車輪側への動力伝達系統にアシスト力を与えるモータにバッテリから供給されるモータ駆動電流値との偏差に応じた電流フィードバック制御を行う電動パワーステアリング装置において、電流フィードバック制御の演算式として、電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差と第１補正ゲインとの積を求める第１演算式と、電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差と第１補正ゲインより大きい第２補正ゲインとの積を求める第２演算式とを備え、前記電流指令値が急変したことを示す指標が第１所定値よりも大ならば第１演算式を選択し、前記指標が第２所定値よりも小ならば第２演算式を選択し、選択された演算式を用いて電流指令値と電流検出値の偏差を補正することにより前記電流フィードバック制御を実行するものであって、前記電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差をεとし、第１補正ゲインをＫ１とし、第２補正ゲインをＫ２とし、前記指標を判定するための所定値をＣとし、εの絶対値が所定値Ｃよりも小さい時は第１演算式としてＫ１とεとの積を用い、εの絶対値が所定値Ｃ以上の時は第２演算式としてＫ２とεとの積からＣと（Ｋ２－Ｋ１）とεの符号との積を減算したものを用いたことを特徴とする電動パワーステアリング装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

この発明は、モータを電流フィードバック制御する電動パワーステアリング装置に関するものである。

【０００２】

【従来の技術】

従来、電動パワーステアリング装置では、モータの駆動電流に対する出力トルクの制御性の良さに着目し、ハンドルの操舵状態や車両の走行状態に応じて演算した電流指令値とハンドルから車輪側への動力伝達系統にアシスト力を与えるモータにバッテリから供給されるモータ駆動電流値との偏差に応じた電流フィードバック制御を行っている。即ち、電流フィードバック制御の電流制御特性としては、操舵フィーリングを良好なものとするという観点からモータの駆動電流の制御性に迅速な応答性を確保すべく設計を行っていた。

【０００３】

【発明が解決しようとする課題】

前記従来の電流フィードバック制御では、電流フィードバック制御の応答性を確保して、運転者の操舵フィーリングを好適なものとするために、電流フィードバック制御のゲインを高めたり、あるいは電流フィードバック制御のＰＩＤコントローラの制御帯域を広げたり、さらには電流検出センサの応答周波数を高くする等の対策が必要とされていたが、このような対策には次のような欠点がある。

【０００４】

電流フィードバック制御のゲインを高めていった場合、ＰＩＤコントローラの制御帯域や電流検出回路の内部の応答遅れ等に起因するゲインの設定可能上限値が存在するという問題である。ゲインが設定可能な範囲を越えた場合には電流フィードバック制御の一巡伝達特性において、ゲイン余裕と位相余裕とが共に減少し、電流フィードバック制御の応答が不安定となるため、やがて、モータ駆動電流が発振してしまう。このような不具合を防止し、かつ制御の応答性を最適に設定するには、電流フィードバック制御の一巡伝達関数の位相余裕を４０～６０度、ゲイン余裕を１０～２０ｄＢ程度に設けることが望ましいとされている。ところが、このように定めたコントローラの制御特性、即ち電流フィードバック制御の一巡伝達関数における交差周波数が、機械系の共振周波数とほぼ等しくなった場合には、電流フィードバック制御自体の一巡伝達関数は安定であっても、機械的な共振がトリガとなった電流振動が生じ、ひいてはトルク振動乃至は騒音に結び付くという一種の引き込み現象による電流振動（発振）の問題がある。この問題は、モータによるアシスト力が比較的大きく要求される場合、即ち、車両が停車している状態でハンドルが切り込み操舵されたような場合、ハンドルが切り込み位置で停止して保舵されたことによりモータがトルクを出したまま停止している場合、もしくは、ハンドルがゆっくりと操舵されたことによりモータの回転速度が極低速である場合等において、顕著に現れる。従って、機械共振周波数と電流フィードバック制御の交差周波数との引き込みによる発振を防止するために、機械系の共振周波数に対し交差周波数を故意に低く取る（即ち、電流フィードバック制御のゲインを小さく設定する）ことにより、電流制御の追従性を犠牲にして、電流制御の安定性を確保し、結果として、モータの出力トルクの振動が発生しないような対策を行ってきた。

【０００５】

前記モータ駆動電流制御の安定化に代わる他の対策としては、機械系の共振周波数に比べて電流フィードバック制御の交差周波数を十分に高くすることにより、電流制御の追従性を損なうことなく、機械系の共振周波数での電流振動も抑圧し得る高速な応答性を有する電流フィードバック制御を設計することも考えられる。しかしながら、この対策を実現するためには、ＰＩＤフィードバックコントローラの応答帯域を広帯域化する必要があり、その実現のためには電流検出回路等ハードウエアの応答性の改善やＰＩＤ制御をソフトウエアで行っている場合には高速なＣＰＵが必要となる等、トルク制御の応答性等元々の制御要求仕様からみて不当に高性能なコントローラを要求されることとなり、システム構築上得策とはいえない。

【０００６】

本発明は、上記問題点を解決するためになされたもので、電流指令値が急激に変化した場合のようにモータ駆動電流を高速な応答性で制御しなければならない時は電流フィードバック制御のゲインを大きく設定する一方、電流指令値への追従性がさほど要求されない場合には電流フィードバック制御のゲインを小さく設定することによって、電流フィードバック制御の交差周波数を低く保ちつつ操舵フィーリングを良好なものとし、出力トルク振動や騒音の発生が防止できる電動パワーステアリング装置を安価に提供することを目的とする。

【０００７】

【課題を解決するための手段】

本発明の請求項１に係る電動パワーステアリング装置は、ハンドルの操舵状態や車両の走行状態により演算された電流指令値とハンドルから車輪側への動力伝達系統にアシスト力を与えるモータにバッテリから供給されるモータ駆動電流値との偏差に応じた電流フィードバック制御を行う電動パワーステアリング装置において、電流フィードバック制御の演算式として、電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差と第１補正ゲインとの積を求める第１演算式と、電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差と第１補正ゲインより大きい第２補正ゲインとの積を求める第２演算式とを備え、前記電流指令値が急変したことを示す指標が第１所定値よりも大ならば第１演算式を選択し、前記指標が第２所定値よりも小ならば第２演算式を選択し、選択された演算式を用いて電流指令値と電流検出値の偏差を補正することにより前記電流フィードバック制御を実行するものであって、前記電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差をεとし、第１補正ゲインをＫ１とし、第２補正ゲインをＫ２とし、前記指標を判定するための所定値をＣとし、εの絶対値が所定値Ｃよりも小さい時は第１演算式としてＫ１とεとの積を用い、εの絶対値が所定値Ｃ以上の時は第２演算式としてＫ２とεとの積からＣと（Ｋ２－Ｋ１）とεの符号との積を減算したものを用いたことを特徴とする。

【０００８】

本発明の請求項２に係る電動パワーステアリング装置は、請求項１に記載の第１所定値と第２所定値とが等しいことを特徴とする。

【００２７】

【発明の実施の形態】

実施の形態１．

図１は本発明の実施の形態１に係る電動パワーステアリング装置のコントロールユニットおよびそれに接続される入出力装置を示すブロック図である。図１において、１は操舵トルク検出手段、２は車速検出手段、３はモータ回転数検出手段、４は電流指令値決定手段、５はモータ、６は電流検出手段、７はフィードバックゲイン設定手段、８はＰＩコントローラ、９はパルス幅変調手段、１０はバッテリである。操舵トルク検出手段１は電動パワーステアリング装置の搭載された車両の運転者がハンドルを操舵した際の力を操舵トルクとして検出して変換した電気信号を電流指令値決定手段４に出力する。車速検出手段２は前記車両の車速を検出して変換した電気信号を電流指令値決定手段４に出力する。モータ回転数検出手段３はモータ５の回転数を検出して変換した電気信号を電流指令値決定手段４に出力する。電流指令値決定手段４は、操舵トルク検出手段１より入力された操舵トルク検出値と、車速検出手段２より入力された車速検出値と、モータ回転数検出手段３より入力されたモータ回転数検出値とのそれぞれに応じ、モータ５を適切に駆動するための制御目標としての電流指令値を決定する。

【００２８】

実施の形態１の場合、電流指令値決定手段４は、ベース電流決定手段４ａと微分制御手段４ｂと収斂制御手段４ｃと摩擦補償電流決定手段４ｄとより構成される。ベース電流決定手段４ａは、操舵トルク検出手段１より入力された操舵トルク検出値と、車速検出手段２より入力された車速検出値とに応じ、モータ５による適切なアシスト力を発生させるために必要なベース電流としてのモータ電流値を決定する。微分制御手段４ｂは、モータ５の慣性モーメントが操舵フィーリングに影響することを除去するために、車速検出手段２よ

り入力された車速検出値に応じた微分ゲインを決定し、操舵トルク検出手段１より入力された操舵トルク検出値をハイパスフィルタ４ｅに通し、このハイパスフィルタ４ｅからの出力と前記決定された微分ゲインとの積を求める。

【００２９】

収斂制御手段４ｃは、ハンドルが車輪のホイールアライメントにより直進する方向に戻る収斂性を良くするために、車速検出手段２より入力された車速検出値に応じた収斂ゲインを決定し、この収斂ゲインとモータ回転数検出手段３より入力されたモータ回転数検出値にマイナスを付けた値との積をモータ５の回転方向とは逆方向への収斂補償電流値として求める。

【００３０】

摩擦補償電流決定手段４ｄは、ハンドルが運転者により操舵された時にハンドルから車軸に動力を伝達するギアボックス等の機械系統に発生する摩擦によるハンドルの戻り性の悪化を補正するために、モータ回転数検出手段３より入力されたモータ回転数検出値により「－１」又は「１」なる補償ゲインを求め、車速検出手段２より入力された車速検出値に応じた摩擦補償電流値を求め、この摩擦補償電流値と前記補償ゲインとの積を求める。この補償ゲインは、モータ回転数検出値が左方向である時は「－１」と定められ、モータ回転数検出値が右方向である時は「１」と定められる。

【００３１】

電流指令値決定手段４は、ベース電流決定手段４ａで求めたモータ電流値と微分制御手段４ｂで求めた値とを加算し、この加算値より収斂制御手段４ｃで求めた収斂補償電流値を減算し、この減算値と摩擦補償電流決定手段４ｄで求めた値とを加算することにより電流指令値を決定してノードＮ４に出力する。

【００３２】

モータ５は、運転者による操舵力を補助するための動力をハンドルに与えるアクチュエータである。電流検出手段６は、モータ５に供給される駆動電流を検出して変換した電気信号をノードＮ４にフィードバックする。ノードＮ４は、電流指令値決定手段４より入力された電流指令値と電流検出手段６より入力されたモータ駆動電流検出値との偏差εを演算して電流フィードバックゲイン設定手段７に出力する。電流フィードバックゲイン設定手段７は、偏差εの絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１未満の時は第１補正ゲインＫ１により偏差εを増幅した補正偏差ε’としてＰＩコントローラ８に出力し、偏差εの絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１以上の時は第２補正ゲインＫ２により偏差εを増幅した補正偏差ε’としてＰＩコントローラ８に出力する。

【００３３】

ＰＩコントローラ８は、フィードバックゲイン設定手段７により入力された補正偏差ε’に比例して電流指令値を変化する比例制御（Ｐ制御）に、補正偏差ε’の積分値に比例して変化する量を加えて電流指令値として求め、この電流指令値をパルス幅変調手段９に出力するＰＩ制御を実行する。パルス幅変調手段９は、ＰＩコントローラ８より入力された電流指令値を所定の搬送周波数に応じたパルス幅の信号に変換してノードＮ５に出力する。ノードＮ５は、パルス幅変調手段９より入力された信号を、バッテリ１０より供給される電源によりＤ級電力増幅した制御電流として生成し、この生成された制御電流をモータ５に供給する。

【００３４】

図２は実施の形態１に係る電動パワーステアリング装置のコントロールユニット及びその周辺回路の構成を示したブロック図である。１１はマイクロコントローラであって、これはＣＰＵ１５とＲＯＭ１６とＲＡＭ１７とタイマ１８とを備え、ＣＰＵ１５がタイマ１８より所定周期毎にプログラム実行周期の開始信号を入力される毎に、ＣＰＵ１５がＲＯＭ１６に格納された制御手順や制御特性等のプログラムに従う演算処理の実行を開始し、ＣＰＵ１５がＲＡＭ１７を演算処理に必要な種々のデータの一時的な記憶要素として用いて図３に示すフローチャートの演算処理を実行する。つまり、ＣＰＵ１５とＲＯＭ１６とＲＡＭ１７とが図１における電流指令値決定手段４とノードＮ４と電流フィードバックゲイ

ン設定手段７とＰＩコントロール８とよりなる要素に相当する。
【００３５】
また、マイクロコントローラ１１は、パルス幅変調手段９とＡ／Ｄ変換器１９ａ，１９ｂと、Ｉ／Ｏポート２１ａ，２１ｂとを備える。Ａ／Ｄ変換器１９ａは操舵トルク検出手段１より入力される操舵トルク検出値に相当するアナログ信号をディジタル信号に変換してＣＰＵ１５に出力する。Ａ／Ｄ変換器１９ｂは電流検出手段６より入力されるモータ駆動電流検出値に相当するアナログ信号をディジタル信号に変換してＣＰＵ１５に出力する。パルス幅変調手段９はＣＰＵ１５での演算結果に基づくパルス幅変調（ＰＷＭ）信号をドライブ回路１２よりモータ５を駆動するための主回路１４に出力する。Ｉ／Ｏポート２１ａは、キースイッチ２０の動作信号と、車速検出検出手段２で検出された車速検出値に相当する信号と、モータ回転数検出手段３より入力されたモータ回転数検出値に相当する信号それぞれのレベルをＣＰＵ１５で使用可能なレベルに変換してＣＰＵ１５に出力する。Ｉ／Ｏポート２１ｂはＣＰＵ１５の出力信号をドライブ回路１２に出力する。
【００３６】
そして、運転者がキースイッチ２０をオン動作することで、マイクロコントローラ１１と電源回路２２とが起動し、マイクロコントローラ１１が所定の初期故障診断及び初期化処理を実施した後、リレー１３がマイクロコントローラ１１からドライブ回路１２を介して入力される信号により閉じ、モータ５が主回路１４を介して駆動可能となる。この状態において、マイクロコントローラ１１は、操舵トルク検出手段１より入力された操舵トルク検出値と、車速検出手段２より入力された車速検出値と、モータ回転数検出手段３より入力されたモータ回転数検出値とに応じて電流指令値を演算し、電流検出手段６で検出したモータ駆動電流検出値のフィードバックを受けることでモータ５に発生する出力トルクを制御している。
【００３７】
次に、前記ＣＰＵ１５による演算処理の詳細について説明する。ＣＰＵ１５はＲＯＭ１６に予めセットされたソフトウェアを遂次実行することによりモータ駆動電流を電流指令値に対し追従する電流フィードバック制御を行う。まず、ＣＰＵ１５は、タイマ１８により一定の周期に管理された制御周期毎に、操舵トルク検出手段１とモータ回転数検出手段２と車速検出手段３とからの各入力を参照し、今回の制御周期における電流指令値を演算する。また、ＣＰＵ１５は、電流検出手段６から入力されるモータ駆動電流検出値も制御周期毎に参照する。そして、ＣＰＵ１５は、前記電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差εの絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１よりも小さい時は偏差εと第１補正ゲインＫ１との積をとり、絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１よりも大きい時は偏差εと第２補正ゲインＫ２との積をとることにより、偏差εに応じて電流フィードバック制御のゲインを可変させる。その後、ＣＰＵ１５は、ＰＩ制御を実行し、主回路１４で用いるＰＷＭ制御の駆動デューティとするＰＩ制御演算出力を得る。このＰＩ制御演算出力はパルス幅変調手段９により主回路１４の動作に必要なＰＷＭ信号に変換されてドライブ回路１２に出力される。
【００３８】
また、ＣＰＵ１５は、電流指令値の駆動方向に応じたモータ電流駆動方向をＩ／Ｏポート２１ｂからドライブ回路１２に出力する。これにより、ドライブ回路１２が主回路１４のスイッチングトランジスタ１４ａ，１４ｂをパルス幅変調手段９より入力されたＰＷＭ信号に対応してオン・オフ動作し、また、ドライブ回路１２が主回路１４のスイッチングトランジスタ１４ｃ，１４ｄをＩ／Ｏポート２１ｂより入力されたモータ駆動方向信号に対応してオン・オフ動作する。つまり、主回路１４において、スイッチングトランジスタ１４ｃがオフ動作し、スイッチングトランジスタ１４ａ，１４ｄが共にオン動作することにより、リレー１３とスイッチングトランジスタ１４ａとモータ５とスイッチングトランジスタ１４ｄとからなる電流経路が形成され、モータ駆動電流がバッテリ１０からモータ５に矢印Ｘ１で示す方向に流れ、モータ５が或る１つの方向に回転駆動する。これとは逆に、主回路１４において、スイッチングトランジスタ１４ｄがオフ動作し、スイッチングトランジスタ１４ｂ，１４ｃが共にオン動作することにより、リレー１３とスイッチングト

ランジスタ１４ｂとモータ５とスイッチングトランジスタ１４ｃとからなる電流経路が形成され、モータ駆動電流がバッテリ１０からモータ５に矢印Ｘ２で示す方向に流れ、モータ５が前記とは逆のもう１つの方向に回転駆動する。

【００３９】

実施の形態１における電流フィードバック制御について図３のフローチャートに基づいて説明する。この電流フィードバック制御は図２のタイマ１８の機能によって制御周期毎に呼び出されて実行される。ステップＳ１では電流指令値を取り込み、ステップＳ２ではモータ駆動電流検出値を取り込み、ステップＳ３では前記電流指令値と前記モータ駆動電流検出値との偏差εを求める。ステップＳ４では、偏差εの絶対値｜ε｜を所定値Ｔｈ１と比較し、絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１未満の場合はステップＳ５へ分岐し、絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１以上の場合はステップＳ６へ分岐する。ステップＳ５またはステップＳ６では、ステップＳ３で求めた偏差εに第１補正ゲインＫ１または第２補正ゲインＫ２を乗じることで、補正偏差ε’を得る。ここで、例えばＫ１＜Ｋ２とすれば、絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１よりも大きい時には補正偏差ε’はより大きな値となる。ステップＳ７およびステップＳ８では各々の補正偏差ε’に対して比例項（Ｐ項）及び積分項（Ｉ項）の演算を実行する。ステップＳ９ではＰ項とＩ項の和を求め、前記主回路１４を駆動するためのパルス幅を求める。ステップＳ１０では電流指令値の方向に基づきモータ駆動方向信号をＩ／Ｏポート２１ｂ及びドライブ回路１２を介して主回路１４に指示する。ステップＳ１１ではステップＳ９で求めたパルス幅に対する演算値をパルス幅変調手段９に対して設定する。これにより、パルス幅変調手段９がＰＩ演算結果に従った所定のモータ駆動デューティパルスをドライブ回路１２を介して主回路１４に出力する。

【００４０】

このように実施の形態１では、電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差εが所定値Ｔｈ１未満の時はＰＩ制御に用いるゲインを第１補正ゲインＫ１に設定し、前記偏差εが所定値Ｔｈ１以上の時はＰＩ制御に用いるゲインを第２補正ゲインＫ２に設定している。従って、第１補正ゲインＫ１と第２補正ゲインＫ２とをＫ１＜Ｋ２なる関係に設定し、モータ駆動電流に対するＰＩ制御を構成した場合、電流指令値の経時変化が穏やかであれば、ＰＩ制御は積分項を含むため、自動制御論の所謂Ｉ型の制御系の特性に従い、偏差εをほぼゼロに保ちつつモータ５の駆動を行う。そして、電流指令値の経時変化が急激である場合には、モータ電流検出値が電流指令値の変化に迅速に追従できなくなるため、偏差εは所定値Ｔｈ１を越えて大きくなり、結果として、電流フィードバック制御のゲインが第２補正ゲインＫ２で補正され、モータ５に対する電流制御が継続されることとなる。

【００４１】

このような電流フィードバック制御の一巡伝達関数を図示すると、図４及び図５を得る。但し図４および図５ではＫ１＜Ｋ２であるとし、図４はＫ１に対応し、図５はＫ２に対応するものである。図４では交差周波数はｆ１となり、その時の位相余裕はθ１となる。図５では交差周波数はｆ２となり、その時の位相余裕はθ２となる。このように電流フィードバック制御のゲインを第１補正ゲインＫ１または第２補正ゲインＫ２の選択に応じて変えることにより、交差周波数をｆ１またはｆ２と変化させ、制御の帯域幅を２通りに選ぶことができる。

【００４２】

実施の形態１における２通りの第１補正ゲインＫ１と第２補正ゲインＫ２との設定に際しては、例えば、第１補正ゲインＫ１は定常応答性を満足する範囲で可能な限り交差周波数ｆ１を下げた設定とし、第２補正ゲインＫ２は過渡応答に対する追従性を高めるために一般に自動制御の経験則として知られる位相余裕４０～６０度、ゲイン余裕１０～２０ｄＢに設定するものとする。このように電流フィードバック制御のゲインに対する補正が実施された電動パワーステアリング装置によれば、据え切り保舵のようにモータ５の駆動電流が定常応答状態にある時は、電流フィードバック制御のゲインとして第１補正ゲインＫ１が選ばれることとなるので、ハンドルから車軸に動力を伝達する機械系統の共振も含めた応答が安定となるように、モータ５に対する電流フィードバック制御の応答を決定するこ

とができる。一方、急操舵のように過渡応答が必要な場合でも、第１補正ゲインＫ１より大きな第２補正ゲインＫ２によってモータ５の駆動電流が補正されるので、迅速な応答性も確保することができる。

【００４３】

実施の形態２．

実施の形態１では電流フィードバック制御のゲインを設定するための指標として、電流指令値とモータ電流検出値との偏差εを用いたが、この偏差εに代えて電流指令値の微分値を用いてもよい。図６は実施の形態２の電流フィードバック制御のフローチャートである。図６のフローチャートは図３のフローチャートに対してステップＳ１およびステップＳ４の処理内容のみを変更したものであるから、これらの変更内容とその作用について説明する。ステップＳ１において、前回の制御周期で用いた電流指令値Ｉ＿ＴＧＴを１サンプル遅延の電流指令値Ｚ－１Ｉ＿ＴＧＴとして保存した後、今回の制御周期における電流指令値Ｉ＿ＴＧＴを取り込む。また、ステップＳ４では前回の電流指令値Ｚ－１Ｉ＿ＴＧＴと今回の電流指令値Ｉ＿ＴＧＴとの偏差の絶対値｜Ｚ－１Ｉ＿ＴＧＴ－Ｉ＿ＴＧＴ｜を所定値Ｔｈ２と比較し、絶対値｜Ｚ－１Ｉ＿ＴＧＴ－Ｉ＿ＴＧＴ｜が所定値Ｔｈ２よりも小さい場合はステップＳ５へ分岐し、絶対値｜Ｚ－１Ｉ＿ＴＧＴ－Ｉ＿ＴＧＴ｜が所定値Ｔｈ２以上の場合はステップＳ６へ分岐する。

【００４４】

このような構成とすることにより、運転者の操舵力の変化が小さい場合には電流フィードバック制御のゲインは第１補正ゲインＫ１に補正され、運転者の操舵力の変化が大きい場合には電流フィードバック制御のゲインが第２補正ゲインＫ２に補正される。従って、第１補正ゲインＫ１と第２補正ゲインＫ２との値を適切に選ぶことによって実施の形態１と同様にモータ５の出力トルクに対する電流フィードバック制御の安定性と追従性とを両立した電動パワーステアリング装置を簡潔な構成にて容易に実現できる。なお、実施の形態２では、モータ５の出力トルクの微分値として、制御周期毎のトルクサンプリング値に対してソフトウェアにより後方差分によって微分するものとして示したが、それ以外に知られる、双一次変換を用いたソフトウェアによる微分処理、あるいは演算増幅器を用いたハードウェアよる微分処理等を応用してもよい。

【００４５】

実施の形態３．

ハンドルの切り込み時の応答性と保舵時の安定性とを両立するために、実施の形態３の回路ブロック構成図である図８に示すように、操舵速度検出手段２３によりハンドルに連結されたステアリングシャフト系統の操舵速度を検出して電気信号に変換した操舵速度検出値をマイクロコントローラ１１のＩ／Ｏポート２１ａを介してＣＰＵ１５に入力することにより、操舵速度検出値を電流フィードバック制御のゲイン切り替えの指標として用いてもよい。つまり、実施の形態１および２で説明したように、電流フィードバック制御の安定化が必要になるのはハンドルが運転者により保舵されて或る回転位置で静止した場合であり、電流フィードバック制御の追従性が必要になるのはハンドルが運転者により急操舵されて回転している最中である。よって、操舵速度検出手段２３による操舵速度検出値に応じて電流フィードバック制御のゲインを変化させてもよい。

【００４６】

図７は実施の形態３に係る電流フィードバック制御のフローチャートである。この図７のフローチャートは図３のフローチャートに対してステップＳ１２を追加し、ステップＳ４における電流フィードバック制御のゲイン切り替えの指標を変更したものであるから、これらの変更内容とその作用について説明する。ステップＳ１２では、操舵速度検出手段２３の操舵速度検出値ωｓｔｒを取り込む。ステップＳ４では、操舵速度検出値ωｓｔｒの絶対値｜ωｓｔｒ｜を所定値Ｔｈ３と比較し、絶対値｜ωｓｔｒ｜が所定値Ｔｈ３未満であればステップＳ５へ分岐し、絶対値｜ωｓｔｒ｜が所定値Ｔｈ３以上の時はステップＳ６へ分岐する。その結果、操舵速度に応じて適切な第１補正ゲインＫ１または第２補正ゲインＫ２が選択されるため、電流フィードバック制御の安定性と追従性とを両立した電動

パワーステアリング装置を簡潔な構成にて容易に実現できる。なお、操舵速度検出手段２３としては光学式エンコーダ、磁気式エンコーダ、レゾルバ等の回転センサを利用可能であり、これらは図１のＣＰＵ１５とＲＯＭ１６とＲＡＭ１７とタイマ１８とよりなるマイクロコンピュータとのインターフェースも容易である。

【００４７】

実施の形態４.

実施の形態３では操舵速度検出手段２３による操舵速度検出値に応じて電流フィードバック制御のゲインを決定する構成としたが、操舵速度検出手段２３に代えてモータ回転数検出手段３を用い、モータ回転速度検出値ωｍｔｒにより電流フィードバック制御のゲインを変化させてもよい。図９は実施の形態４の電流フィードバック制御のフローチャートである。図９のフローチャートは図７のフローチャートに対してステップＳ１２の取り込み信号をモータ回転速度検出値ωｍｔｒとし、ステップＳ４におけるフィードバックゲイン切り替えの指標をωｍｔｒで行うものとし、その他の動作は実施の形態３と同様である。モータ回転速度検出手段３は、モータ５がブラシレスモータにより形成された場合には必ず備えている。よって、モータ５がブラシレスモータにより形成された電動パワーステアリング装置であれば、新たに設ける必要のある操舵速度検出手段２３が不要であり、実施の形態３に比べ、実施の形態４はより容易かつ安価に実施することができる。

【００４８】

実施の形態５.

界磁が一定ならば、モータ５の逆起電力はモータ回転速度に比例するから、モータ５の逆起電力を推定して、電流フィードバック制御のゲインを変化させるようにしてもよい。また、モータ５の逆起電力を推定する場合は、その推定した逆起電力を電流指令値決定段４へ入力しているモータ回転数検出手段３によって得ていたモータ回転数検出値に代えて用いることができるので、回転速度センサ等を用いたモータ回転数検出手段が不要な簡素な構成とすることができる。

【００４９】

図１０は実施の形態５に係るコントロールユニット及びそれに接続される入出力装置を示したブロック図であり、図１１はコントロールユニット及びその周辺回路の構成を示したブロック図である。これらの図において、実施の形態１０は前記モータ回転数検出手段３に代えてモータ端子間電圧検出手段２４と逆起電力推定手段２５とを設け、逆起電力推定手段２５がモータ端子間電圧検出手段２４で検出して電気信号に変換したモータ端子間電圧検出値とモータ電流検出手段６で検出して電気信号に変換したモータ駆動電流検出値とを入力し、これらモータ端子間電圧検出値とモータ駆動電流検出値とによりモータ５の逆起電力を推定演算する構成である。逆起電力推定手段２５はマイクロコントローラ１１のＣＰＵ１５とＲＯＭ１６とＲＡＭ１７とにより構成される。

【００５０】

図１２は実施の形態５における電流フィードバック制御のフローチャートである。図１２のフローチャートは図３のフローチャートに対してステップＳ１４を追加し、ステップＳ４における電流フィードバック制御のゲイン切り替えの指標を変更したものであるから、これらの変更内容とその作用について説明する。マイクロコントローラ１１では、ステップＳ１４に示すように、モータ端子間電圧検出値とモータ駆動電流検出値とに基きモータ５の逆起電力Ｖωを推定するための演算処理を行う。

【００５１】

図１３は前記ステップＳ１４での逆起電力Ｖωを推定するためのサブルーチンを示すフローチャートである。ステップＳ１５ではモータ端子間電圧検出値Ｖｍｔｒを取り込み、ステップＳ１６ではモータ駆動電流検出値Ｉｍｔｒを取り込む。ステップＳ１７では、モータ５の電機子のインダクタンスやレジスタンス等によって決定されるモータ端子間のインビーダンスモデルと、電流検出手段６より入力されたモータ駆動電流検出値Ｉｍｔｒとから、モータ内部電圧降下をＶｄｒｏｐ＝Ｚｍｔｒ×Ｉｍｔｒなる式により演算する。ステップＳ１８では、逆起電力Ｖωをモータ端子間電圧検出値Ｖｍｔｒとモータ内部電圧降下

演算値Ｖｄｒｐとの差として求める。

【００５２】

よって、実施の形態５では、図１２のモータ電流フィードバック制御の制御周期毎に、ステップＳ１４で逆起電力Ｖωの推定が実行される。そして、ステップ４では、逆起電力Ｖωの絶対値｜Ｖω｜を所定値Ｔｈ５と比較し、絶対値｜Ｖω｜が所定値Ｔｈ５未満の時はステップＳ５へ分岐し、絶対値｜Ｖω｜が所定値Ｔｈ５以上の時はステップＳ６へ分岐する。これにより、操舵速度に応じて適切な電流フィードバック制御のゲインとして第１補正ゲインＫ１または第２補正ゲインＫ２が選択されるため、急操舵時の追従性と保舵時の安定性とを両立することができる。

【００５３】

実施の形態６.

操舵速度の変化が大きい時に制御の追従性を確保するために、操舵速度検出手段２３の検出値、モータ回転数検出手段３の検出値、あるいは逆起電力推定手段２５の出力値のそれぞれを微分し、その結果の絶対値を電流フィードバック制御のゲインを決定する指標として用いてもよい。図１４は実施の形態６における電流フィードバック制御のフローチャートである。図１４のフローチャートは図７のフローチャートに対してステップＳ１２およびステップＳ４の処理内容のみを変更したものであるから、これらの変更内容とその作用について説明する。ステップＳ１２では、前回の制御周期で取り込んだ操舵速度検出値ωｓｔｒを１サンプル遅延の操舵速度検出値Ｚ－１ωｓｔｒとして保存した後、今回の制御周期の操舵速度検出値ωｓｔｒを取り込む。ステップＳ４では前回の操舵速度検出値Ｚ－１ωｓｔｒと今回の操柁速度検出検出値ωＳｔｒとの偏差の絶対値｜Ｚ－１ωｓｔｒ－ωＳｔｒ｜を所定値Ｔｈ６と比較することにより、絶対値｜Ｚ－１ωｓｔｒ－ωＳｔｒ｜が所定値Ｔｈ６未満の場合はステップＳ５へ分岐し、絶対値｜Ｚ－１ωｓｔｒ－ωＳｔｒ｜が所定値Ｔｈ６以上の場合はステップＳ６へ分岐する。このように電流フィードバック制御のゲインを可変することにより、操舵速度の変化が小さい場合は第１補正ゲインＫ１が選択され、操舵速度の変化が大きい場合は第２補正ゲインＫ２が選択されるため、操舵状態に応じた追従性と安定性とを両立することができる。

【００５４】

実施の形態６では図１４のステップＳ１２に示すように操舵速度検出値を微分し、その結果に基づいて電流フィードバック制御のゲインを設定したが、それに代えて実施の形態４のモータ回転数検出手段３の検出値、あるいは実施の形態５の逆起電力推定手段２５の出力値を微分し、その結果をステップＳ４における出力ｓｔｒの微分値に代えて用いてもよい。また、微分演算の手段として、制御周期毎のサンプリング値に対してソフトウェアにより後方差分によって微分するものとして示したが、それ以外に知られる、双一次変換を用いたソフトウェアによる微分処理、あるいは演算増幅器を用いたハードウェアによる微分処理等を応用してもよい。

【００５５】

実施の形態７.

電流フィードバック制御の安定性が特に要求されるのは、据え切りや低車速域での保舵あるいはゆっくりした操舵のように、モータ５によるアシスト力が大きく要求される場合であるから、操舵トルク検出手段１の出力する操舵トルク検出値に応じて電流フィードバック制御のゲインを変化させるようにしてもよい。図１５は実施の形態７の電流フィードバック制御のフローチャートである。図１５のフローチャートは図７のフローチャートに対してステップＳ１２およびステップＳ４の処理内容のみを変更したものであるから、これらの変更内容とその作用について説明する。ステップＳ１２では、操舵トルク検出手段１からの操舵トルク検出値Ｔｒｑを取り込む。ステップＳ４では、操舵トルク検出値Ｔｒｑの絶対値｜Ｔｒｑ｜を所定値Ｔｈ７と比較し、絶対値｜Ｔｒｑ｜が所定値Ｔｈ７未満の場合はステップＳ５へ分岐し、絶対値｜Ｔｒｑ｜が所定値Ｔｈ７以上の場合はステップＳ６へ分岐する。このように電流フィードバック制御のゲインを可変することにより、走行中の操舵や操舵の切り始め等のように操舵力が小さい場合は第１補正ゲインＫ１が選択され

るため、追従性を確保することができる。一方、据え切り保舵のように操舵力が大きい場合は第１補正ゲインよりも大きな第２補正ゲインＫ２が選択されるため、迅速な応答性を確保することができる。従って、操舵状態に応じて追従性と安定性とを両立することができる。

【００５６】

実施の形態８．

実施の形態７では操舵トルク検出値に応じて電流フィードバック制御のゲインを変化させることで、モータ５によるアシスト力が大きく要求される場合における電流フィードバック制御の安定性を確保したが、据え切りあるいは保舵の判定のために、操舵トルク検出値に代えて電流指令値あるいはモータ駆動電流検出値を用いても同様な効果を得ることができる。実施の形態８を実現するためには、実施の形態７の図１５において、ステップＳ１２の取り込み指標を操舵トルク検出値Ｔｒｑに代えて電流指令値あるいはモータ駆動電流検出値とし、ステップＳ４の電流フィードバック制御のゲインを決定するための所定値Ｔｈ７を電流指令値あるいはモータ駆動電流検出値に対する適切な値とすればよい。

【００５７】

実施の形態９．

大きなアシスト力が要求される操舵は据え切り時あるいは低車速域でのみと考えられるので、車速の低い時は電流フィードバック制御のゲインを下げ、車速の高い時は電流フィードバック制御のゲインが上がるように、車速を電流フィードバック制御のゲイン切り替えの指標としてもよい。実施の形態９を実現するためには、実施の形態７の図１５において、ステップＳ１２の取り込み指標を操舵トルク検出値Ｔｒｑに代えて車速検出値とし、ステップＳ４の電流フィードバック制御のゲインを決定するための所定値Ｔｈ７を車速に対する適切な値とすればよい。

【００５８】

実施の形態１０．

実施の形態１から実施の形態９では電流フィードバック制御の制御周期毎に電流フィードバック制御のゲイン切り替えの指標を所定値と比較することにより、補正ゲインを決定して切り替えていたが、その切り替え時のハンチングを防止するため、補正ゲインの切り替え条件としての所定値にヒステリシス要素を付加してもよい。よって、実施の形態１０では、電流フィードバック制御のゲイン切り替えの指標が小から大に切り替わる時は指標が所定値１よりも大を境に第１補正ゲインＫ１から第２補正ゲインＫ２に移行し、指標が大から小に切り替わる時は指標が所定値２よりも小を境に第２補正ゲインＫ２から第１補正ゲインＫ１に移行するようにヒステリシスを付加した。

【００５９】

図１６は実施の形態１０の電流フィードバック制御のフローチャートであり、図１７は実施の形態１０の電流フィードバック制御のゲインの補正特性を示す。図１６のフローチャートは、図３のフローチャートにおけるステップＳ４の偏差により判定処理を行っていた電流フィードバック制御のゲインの設定を、ステップＳ２０～Ｓ２２からなる手順に変更する。ステップＳ２０では前回の補正ゲインを参照し、前回の補正ゲインが大きい時（前回の補正ゲイン＝Ｋ２の時）はステップＳ２１に分岐し、前回の補正ゲインが小さい時（前回の補正ゲイン＝Ｋ１の時）はステップＳ２２へ分岐する。ステップＳ２１とステップＳ２２では異なる複数の所定値Ｔｈ８と所定値Ｔｈ９とによって偏差の大きさを評価し、ステップＳ５またはステップＳ６に分岐するので、補正偏差ε’として図１７のような履歴特性を得ることができる。このように、電流フィードバック制御のゲインの設定にヒステリシスを持たせることで、ゲイン切り替えのハンチングを防止でき、安定性と追従性との両立をより一層得ることができる。なお、実施の形態１０の目的は電流フィードバック制御のゲインの切り替えを決定する所定値付近で補正ゲインがハンチングすることを防止することであるから、他の実施の形態における電流フィードバック制御のゲイン切り替え指標、すなわち操作トルク検出値、電流指令値、モータ駆動電流検出値等において同様に実施しても等価な効果を得ることができる。

【００６０】
実施の形態１１．
実施の形態１では電流フィードバック制御のゲインを切り替える際、電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差εを所定値Ｔｈ１で判定することにより、電流フィードバック制御のゲインの設定を第１補正ゲインＫ１または第２補正ゲインＫ２の２通りとしたが、これに代えて電流指令値決定手段４の出力する電流指令値と、電流検出手段６の出力するモータ駆動電流検出値との偏差εを電流フィードバック制御のゲイン設定の指標とし、第１補正ゲインをＫ１、第２補正ゲインをＫ２、電流フィードバック制御のゲイン設定の指標を判定するための所定値をＣとし、偏差εの絶対値｜ε｜が所定値Ｃよりも小さい時は第１補正演第式ε’＝ε×Ｋ１を用い、絶対値｜ε｜が所定値Ｃ以上の時は第２補正演算式ε’＝ε×Ｋ２－ｓｉｇｎε×Ｃ×（Ｋ２－Ｋ１）を用いてもよい。なお、ｓｉｇｎεはεの符号を表す。
【００６１】
図１８は実施の形態１１の電流フィードバック制御のフローチャートである。図１８のフローチャートは図３のフローチャートに対してステップＳ６の処理内容のみを変更したものであるから、その変更内容とその作用について説明する。ステップＳ４で電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差εの絶対値｜ε｜を所定値Ｃと比較し、絶対値｜ε｜が所定値Ｃ未満の場合はステップＳ５へ分岐し、絶対値｜ε｜が所定値Ｃ以上の場合はステップＳ６へ分岐する。このような構成とすることにより、運転者の操舵力の変化が小さい場合にはステップＳ５にて電流フィードバック制御のゲインが第１補正ゲインＫ１に補正される。一方、運転者の操舵力の変化が大きい場合にはステップＳ６にて第２補正演算式の演算が実行され、その結果、枠Ｄ’の内部に示すように、絶対値｜ε｜に応じて連続的に変化する補正偏差ε’を得ることができ、ギアボックスへの装着時の電流制御の応答の安定化によるトルク制御の安定性、制御音の低減、電流指令値に対する追従性等を図ることができる。
【００６２】
実施の形態１２．
電流フィードバック制御のゲイン設定の指標の判定結果に対しタイマを設けることにより、指標判定結果に基づき演算に用いる補正演算式の設定を遷移させた後所定時間は補正演算式の設定を保持するように構成し、タイマーのタイムアップ毎に補正ゲインを判定するようにすることで、ゲイン切り替えのハンチングを防止するようにしてもよい。図１９は実施の形態１２の電流フィードバック制御のフローチャートであり、図２０は実施の形態１２のタイムチャートである。図１９のフローチャートは図３のフローチャートに対してステップＳ４～Ｓ６の処理内容のみをステップＳ３０～３４に変更したものであるから、これらの変更内容とその作用について説明する。ステップＳ３０ではタイマＴ１がタイムアップしたかどうかを判定し、タイムアップ時はステップＳ３１へ分岐し、タイムアップ未満の時はステップＳ３３へ分岐する。ステップＳ３１ではタイマＴ１をゼロにクリアし、ステップＳ３２では電流フィードバック制御のゲイン設定の指標（実施の形態１２では電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差εの絶対値｜ε｜）を判定し、判定結果に従いステップＳ５またはステップＳ６に分岐することで、電流フィードバック制御のゲインの補正処理を実施する。一方、ステップＳ３３へ分岐した場合、タイマＴ１をインクリメントし、前回の制御周期における補正ゲインを保持するようにステップＳ５またはステップＳ６に分岐するので、タイマＴ１で設定された時間中は電流フィードバック制御のゲインを第１補正ゲインＫ１または第２補正ゲインＫ２に保持し、電流フィードバック制御のゲインがハンチングすることを防止できる。
【００６３】
実施の形態１３．
電流フィードバック制御のゲインをバッテリ電圧に応じて補正するようにしてもよい。ＰＩコントローラ８の出力に基づくＰＷＭ信号のデューティ比をＤｔｙとし、バッテリ電圧（電源電圧）をＶｂとすれば、パルス幅変調手段９の出力するＰＷＭ信号に従って主回路

１４がモータ端子間電圧Ｖｍｔｒを出力することにより、Ｖｍｔｒは、Ｖｍｔｒ＝Ｄｔｙ×Ｖｂで与えられる。一方、Ｄｔｙは、ＰＩコントローラ８によって例えばＤｔｙ＝ε’×（１＋１／（Ｔ１・ｓ））×ＫＰで与えられる。但しε’は補正偏差、（１＋１／（Ｔ１・Ｓ））×ＫＰはＰＩコントローラ８で演算される値である。従って、偏差εに基づく制御としてモータ端子間に加えられる実効端子間電圧Ｖｍｔｒを考えるには、バッテリ電圧Ｖｂの変動の影響を除去すればよいから、バッテリ電圧による補正項を加えた、下記の式を用いてＰＩコントローラ８の電流フィードバック制御のゲインを補正すればよい。

Ｄｔｙ＝ε’×（１＋１／（Ｔ１・Ｓ））×ＫＰ×Ｖｂ＿ｃｔｒ／ｖｂ

なお、式中のＶｂ＿Ｃｔｒは正規化されたバッテリ電圧値である。

【００６４】

図２１は実施の形態１３の電流フィードバック制御のフローチャートである。図２１のフローチャートは、図３のフローチャートのステップＳ３とステップＳ４との間において、ステップＳ５０で制御周期毎に前回のバッテリ電圧Ｖｂを保存し、ステップＳ５１で今回のバッテリ電圧Ｖｂを取り込むようにした。さらに、ステップＳ７のＰ項演算、およびステップＳ８のＩ項演算のそれぞれにおいて、バッテリ電圧Ｖｂの変動を補正するように変更した。即ち、ステップＳ７では比例ゲインＫＰをバッテリ電圧Ｖｂで補償し、これに係数Ｖｂ＿ｃｔｒ／Ｖｂを掛算する。一方、Ｉ項に対しては、現在の積分ゲインＫＩを係数Ｖｂ＿ｃｔｒ／ＶｂでＰ項と同様に補正するとともに、前回までの積分値を前回のバッテリ電圧Ｚ－１×Ｖｂと今回のバッテリ電圧Ｖｂとの比Ｚ－１×Ｖｂ／Ｖｂで補正する。このように、バッテリ電圧で電流フィードバック制御のゲインを補正することにより、制御の帯域幅および交差周波数ｆについて、第１補正ゲインＫ１または第２補正ゲインＫ２の選択をバッテリ電圧の影響を受けずに設定できるため、電流フィードバック制御の過渡応答と定常安定性との両面から最も効果的なポイントに制御の帯域幅および交差周波数ｆを設定することができるので、電流制御の応答性と安定性とのそれぞれを最も良好とし、かつ電源電圧の影響を受け難いようにできるという利点がある。

【００６５】

実施の形態１４．

実施の形態１２ではゲイン切り替えのハンチング防止のためにタイマー処理を用いたが、電流フィードバック制御の演算式を選択する指標の判定にタイマを設け、その判定結果が所定時間継続して所定値１よりも大ならば第１演算式を選択し、その判定結果が所定時間継続して所定値２よりも小ならば第２演算式を選択し、選択された演算式を用いて電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差を補正することにより、電流フィードバック制御を行ってもよい。図２２は実施の形態１４の電流フィードバック制御のフローチャートであり、図２３は実施の形態１４のタイムチャートである。図２２のフローチャートは図１９のフローチャートのステップＳ５０とステップＳ５１とを削除し、ステップＳ４をステップＳ４０～Ｓ４６に変えることにより、タイマー処理の内容のみを変更したものであるから、これらの変更内容とその作用について説明する。ステップＳ４０では偏差の絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１以上かどうかを判定し、絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１未満ならばステップＳ４１へ分岐し、絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１以上ならばステップＳ４４へ分岐する。ステップＳ４１では絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１以上の継続時間を判定するタイマーＴ２を初期化し、ステップＳ４２で絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ１未満の継続時間を判定するタイマＴ１がタイムアップしたかどうかをチェックし、タイムアップ時はステップＳ５の第１補正演算式を選択し、タイムアップ未満の時はタイマーＴ１をステップＳ４３でインクリメントし、ステップＳ６の第２補正演算式を保持する。また、ステップＳ４４ではタイマーＴ１を初期化し、ステップＳ４５では絶対値｜ε｜が所定値Ｔｈ２未満の継続時間を判定するタイマＴ２がタイムアップしたかどうかをチェックし、タイムアップ時はステップＳ６の第２補正演算式を選択し、タイムアップ未満の時はタイマーＴ２をステップＳ４６でインクリメントし、ステップＳ５の第１補正演算式を保持する。このように、絶対値｜ε｜がタイマーＴ１時間以上継続して所定値Ｔｈ１未満の時か若しくはタイマＴ２時間以上継続して所定値Ｔｈ１以上でなければ補正演算式は第１補正演算式または第２補正

演算式の何れかに保持されるので、補正演算の選択処理がハンチングすることを防止できる。

【００６６】

実施の形態１５．

これまでの実施の形態では、電流フィードバック制御の第１演算式と第２演第式との何れかを選択することにより、応答性と安定性とを両立させたが、このような所定値による演算式の切り替えではなく、演算式設定の指標Ｉに応じて決定される補正演算式をＡ（Ｉ）とし、Ａ（Ｉ）によって電流フィードバック制御のゲインが補正される手段をマイクロコントローラに備え、補正演算式Ａ（Ｉ）は

ｄＡ（Ｉ）／ｄＩ≧　０

を満足する補正演算式を備え、演算式設定の指標Ｉに従って電流フィードバック制御のゲインを漸進的に変化させるようにしてもよい。図２４は実施の形態１５の電流フィードバック制御のフローチャートである。図２４のフローチャートは図３のフローチャートのステップＳ４～Ｓ６をステップＳ６０の補正演算式Ａの演算処理に置き換え、ステップＳ７およびＳ８のＰＩ演算をステップＳ６０の演算結果を用いるステップＳ６１とステップＳ６２とに置き換えたものである。ステップＳ６０では偏差εの値に応じた補正フィードバック量Ａが出力される。そして、ステップＳ６１およびステップＳ６２では補正フィードバック量Ａを用いてＰＩ演算を実行する。従って、電流フィードバック制御のゲインが偏差εに応じて漸進的に増加し、偏差εの大きい時にはより迅速な追従性を確保することができる。一方、偏差の小さい時には安定性が良好となるように、電流フィードバック制御のゲインが最適に選ばれるという作用が容易に実現できる。

【００６７】

実施の形態１６．

実施の形態１５では、電流指令値とモータ電流検出値との偏差を電流フィードバック制御の演算式設定の指標とすることにより、偏差に応じて電流フィードバック制御のゲインを非線型化で漸進的に変化させたが、前記演算式設定の指標として前記偏差以外のものを用いてもよい。図２５は実施の形態１５の電流フィードバック制御のフローチャートである。図２５のフローチャートは図２４のフローチャートに対してステップＳ１２を追加し、このステップＳ１２において演算式設定の指標のためにモータ回転速度検出値ωｍｔｒを取り込み、ステップＳ６０の補正演算式Ａの演算処理をステップＳ７０に置き換え、ステップＳ６１とステップＳ６２のＰＩ演算をステップステップＳ７１とステップＳ７２とに置き換えたものである。ステップＳ７０ではモータ回転速度検出値ωｍｔｒの絶対値｜ωｍｔｒ｜に応じたフィードバック補正特性を参照して補正ゲインＡを求める。ステップＳ７１とステップＳ７２では今回のＰ項およびＩ項各々の値を偏差ε及び補正ゲインＡに基づき演算する。このような構成とすることにより、モータ回転速度検出値ωｍｔｒに応じて電流フィードバック制御のゲインを自動的にかつ最適な値に選択でき、操舵速度が大きい時の追従性を確保することができる。一方、操舵速度が小さい場合は安定性を確保することが容易に実現できる。

【００６８】

なお、実施の形態１６では演算式設定の指標としてモータ回転速度検出値ωｍｔｒを用いたが、それに代えて、操舵速度検出値、逆起電力、操舵トルク検出値、電流指令値、モータ駆動電流検出値及びその値の微分値を用いること、さらには、車速検出値を用いても同様に実施できることは前述した実施の形態２～９の内容からも容易に類推できるであろう。

【００６９】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項１の発明に係る電動パワーステアリング装置は、電流指令値が急変したことを示す指標が第１所定値よりも大ならば電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差と第１補正ゲインとの積を求める第１演算式を選択し、前記指標が第２所定値よりも小ならば電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差と第１補正ゲインより大きい

第２補正ゲインとの積を求める第２演算式を選択し、選択された演算式を用いて電流指令値と電流検出値の偏差を補正するものであって、電流指令値とモータ駆動電流検出値との偏差をεとし、第１補正ゲインをＫ１とし、第２補正ゲインをＫ２とし、前記指標を判定するための所定値をＣとし、εの絶対値が所定値Ｃよりも小さい時は第１演算式としてＫ１とεとの積を用い、εの絶対値が所定値Ｃ以上の時は第２演算式としてＫ２とεとの積からＣと（Ｋ２－Ｋ１）とεの符号との積を減算したものを用いたので、第１演算式と第２演算式と切り替わり前後の動作が連続するような制御状態においてハンチングが発生することを防止でき、かつ第１演算式と第２演算式とを適切に選ぶことで電流制御の追従性と定常応答の安定性を確保できる。

【００７０】

請求項２の発明に係る電動パワーステアリング装置は、電流フィードバックの演算式を選択する指標の大小を判定する第１所定値と第２所定値を等しいので、指標の判定を簡素かつ平易に提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の実施の形態１に係る電動パワーステアリング装置のコントロールユニットおよびそれに接続される入出力装置を示すブロック図である。

【図２】本発明の実施の形態１に係る電動パワーステアリング装置のコントロールユニット及びその周辺回路をの構成を示すブロック図である。

【図３】本発明の実施の形態１に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。

【図４】本発明の実施の形態１に係る電動パワーステアリング装置における第１補正ゲインＫ１を用いた場合の電流フィードバックループの一巡伝達関数を説明するための図である。

【図５】本発明の実施の形態１に係る電動パワーステアリング装置における第２補正ゲインＫ２を用いた場合の電流フィードバックループの一巡伝達関数を説明するための図である。

【図６】本発明の実施の形態２に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。

【図７】本発明の実施の形態３に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。

【図８】本発明の実施の形態３に係る電動パワーステアリング装置の回路構成を示すブロック図である。

【図９】本発明の実施の形態４に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。

【図１０】本発明の実施の形態５に係る電動パワーステアリング装置のコントロールユニットおよびそれに接続される入出力装置を示すブロック図である。

【図１１】本発明の実施の形態５に係る電動パワーステアリング装置のコントロールユニット及びその周辺回路をの構成を示すブロック図である。

【図１２】本発明の実施の形態５に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。

【図１３】本発明の実施の形態５に係る電動パワーステアリング装置の逆起電力を推定するためのフローチャートである。

【図１４】本発明の実施の形態６に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。

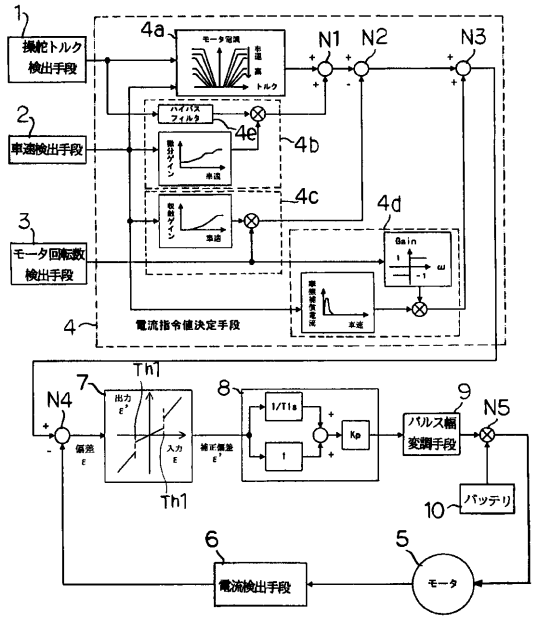
【図１５】本発明の実施の形態７に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。

【図１６】本発明の実施の形態１０に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。

【図１７】本発明の実施の形態１０に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のゲインの履歴補正特性を説明するための図である。

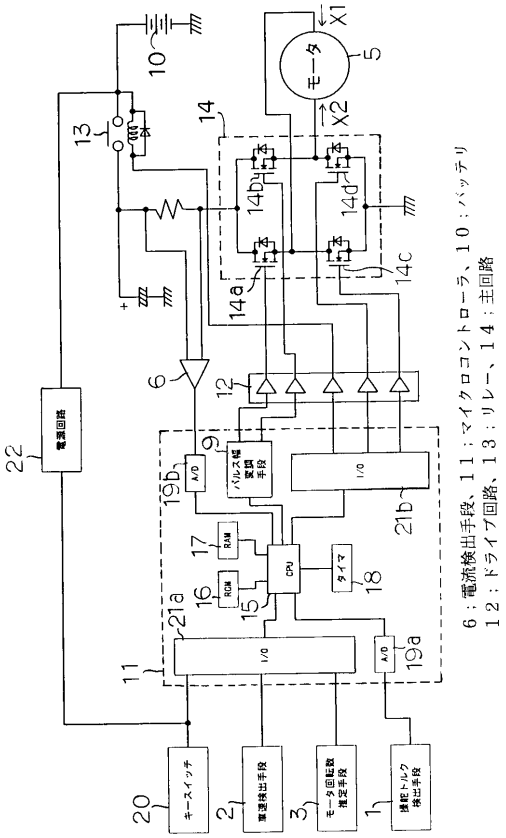
【図１８】本発明の実施の形態１１に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。
【図１９】本発明の実施の形態１２に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。
【図２０】本発明の実施の形態１２に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御の補正ゲインを判定し切り替えるタイムチャートである。
【図２１】本発明の実施の形態１３に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。
【図２２】本発明の実施の形態１４に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。
【図２３】本発明の実施の形態１４に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御の補正ゲインを判定し切り替えるタイムチヤートである。
【図２４】本発明の実施の形態１５に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。
【図２５】本発明の実施の形態１６に係る電動パワーステアリング装置の電流フィードバック制御のフローチャートである。
【符号の説明】
１　操舵トルク検出手段、２　車速検出手段、３　モータ回転数検出手段、
４　電流指令値決定手段、４ａ　ベース電流決定手段、４ｂ　微分制御手段、
４ｃ　収斂制御手段、４ｄ　摩擦補償電流決定手段、５　モータ、
６　電流検出手段、７　電流フィードバックゲイン設定手段、
８　ＰＩコントローラ、９　パルス幅変調手段、１０　バッテリ、
１１　マイクロコントローラ、１２　ドライブ回路、１３　リレー、
１４　主回路、１５　ＣＰＵ、１６　ＲＯＭ、１７　ＲＡＭ、１８　タイマ、
１９ａ，１９ｂ　Ａ／Ｄ変換器、
２１ａ，２１ｂ　Ｉ／Ｏポート、２２　電源回路、
２３　操舵速度検出手段、２４　モータ端子間電圧検出手段、
２５　逆起電力推定手段。

【図１】



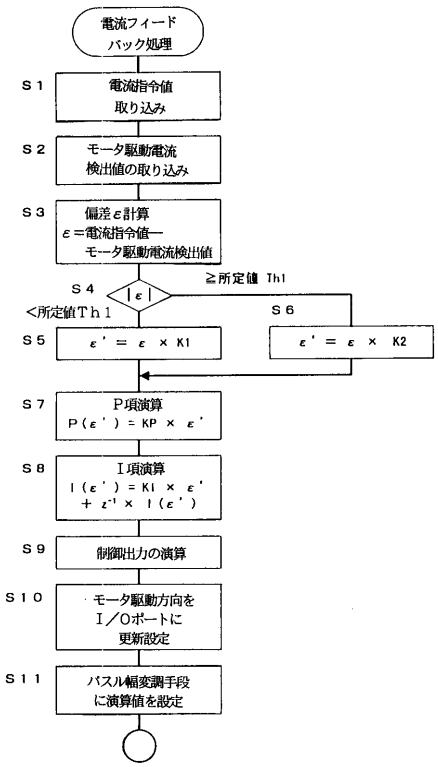
４ａ；ベース電流決定手段、４ｂ；微分制御手段、４ｃ；収斂制御手段
４ｄ；摩擦補償電流決定手段、７；電流フィードバックゲイン設定手段、
８；ＰＩコントローラ

【図２】

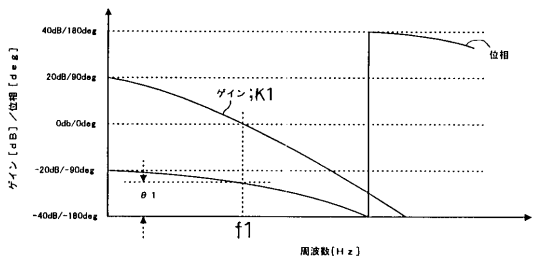


６；電流検出手段、１１；マイクロコントローラ、１０；バッテリ
１２；ドライブ回路、１３；リレー、１４；主回路

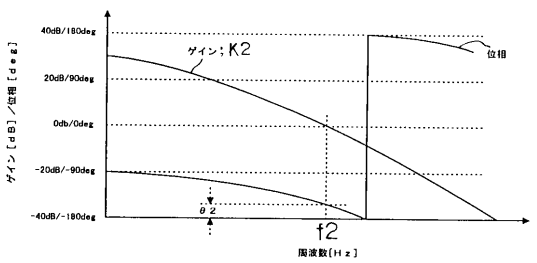
【図３】



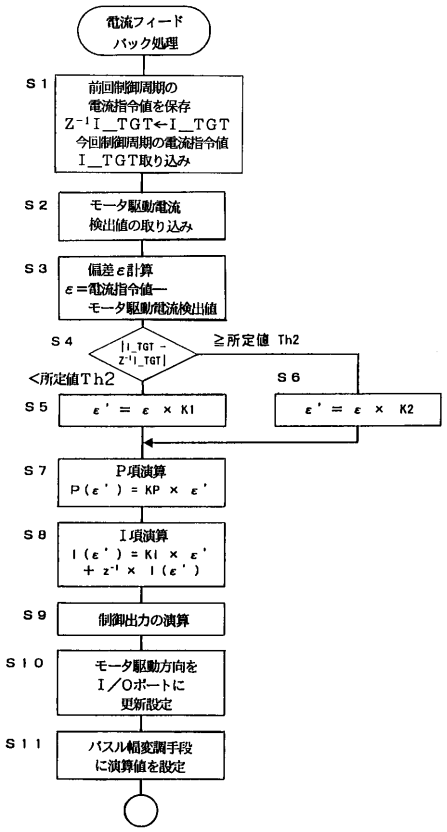
【図４】



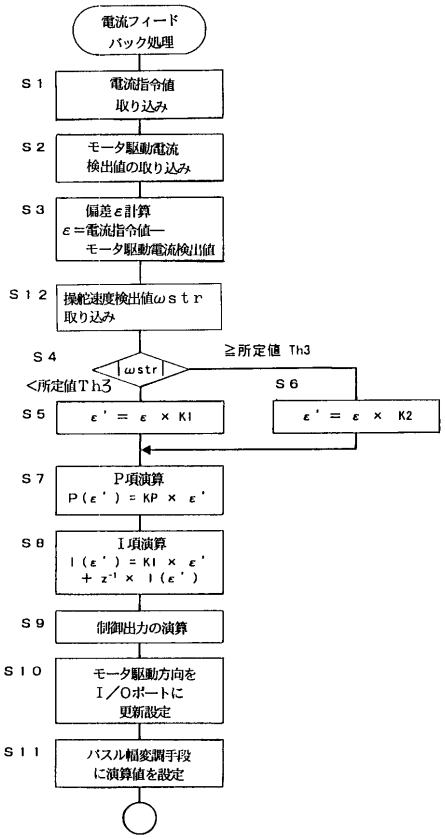
【図５】



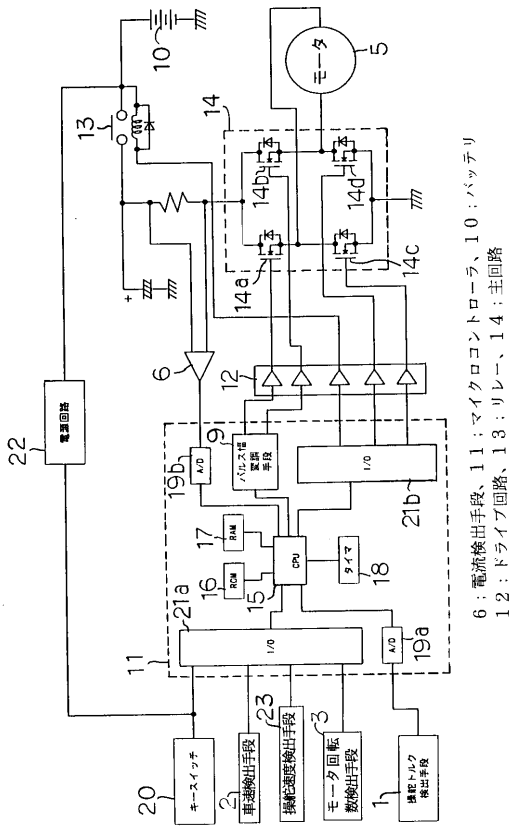
【図６】


電流フィードバック処理
S1
前回制御周期の電流指令値を保存
Z⁻¹I_TGT←I_TGT
今回制御周期の電流指令値
I_TGT取り込み
S2
モータ駆動電流検出値の取り込み
S3
偏差ε計算
ε＝電流指令値−モータ駆動電流検出値
S4
|I_TGT − Z⁻¹I_TGT|
≧所定値 Th2
<所定値Th2
S5
ε' ＝ ε × K1
S6
ε' ＝ ε × K2
S7
P項演算
P(ε') = KP × ε'
S8
I項演算
I(ε') = KI × ε' + z⁻¹ × I(ε')
S9
制御出力の演算
S10
モータ駆動方向をI／Oポートに更新設定
S11
パルス幅変調手段に演算値を設定

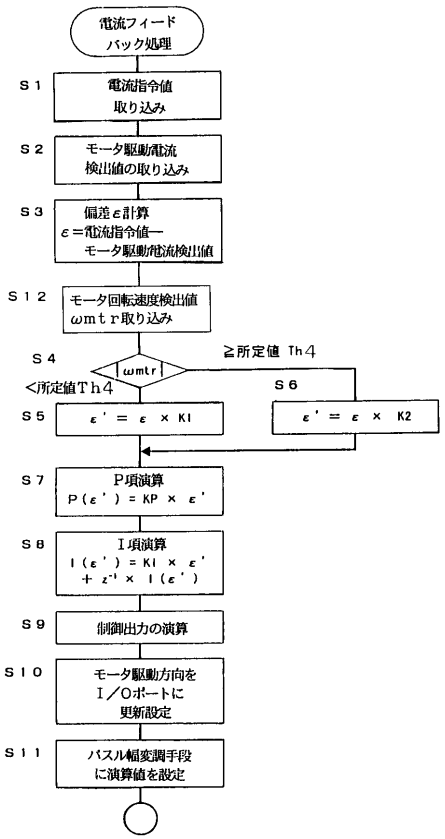
【図７】


電流フィードバック処理
S1
電流指令値取り込み
S2
モータ駆動電流検出値の取り込み
S3
偏差ε計算
ε＝電流指令値−モータ駆動電流検出値
S12
操舵速度検出値ωstr取り込み
S4
|ωstr|
≧所定値 Th3
<所定値Th3
S5
ε' ＝ ε × K1
S6
ε' ＝ ε × K2
S7
P項演算
P(ε') = KP × ε'
S8
I項演算
I(ε') = KI × ε' + z⁻¹ × I(ε')
S9
制御出力の演算
S10
モータ駆動方向をI／Oポートに更新設定
S11
パルス幅変調手段に演算値を設定

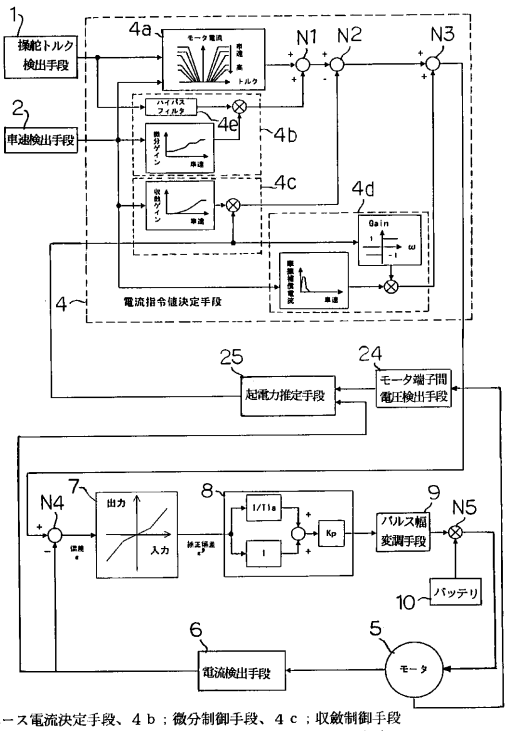
【図８】


モータ
5
10
13
14
14a
14b
14c
14d
6
12
22
電源回路
9
パルス幅変調手段
19b
A/D
I/O
21b
17
RAM
16
ROM
15
CPU
タイマ
18
21a
11
I/O
A/D
19a
23
操舵速度検出手段
3
モータ回転数検出手段
1
操舵トルク検出手段
20
キースイッチ
2
車速検出手段
6：電流検出手段、11：マイクロコントローラ、10：バッテリ
12：ドライブ回路、13：リレー、14：主回路

【図９】

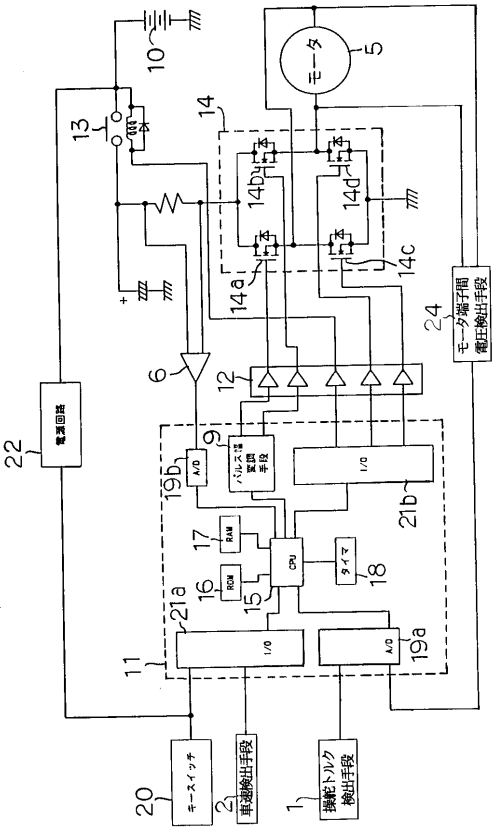

電流フィードバック処理
S1
電流指令値取り込み
S2
モータ駆動電流検出値の取り込み
S3
偏差ε計算
ε＝電流指令値−モータ駆動電流検出値
S12
モータ回転速度検出値ωmtr取り込み
S4
|ωmtr|
≧所定値 Th4
<所定値Th4
S5
ε' ＝ ε × K1
S6
ε' ＝ ε × K2
S7
P項演算
P(ε') = KP × ε'
S8
I項演算
I(ε') = KI × ε' + z⁻¹ × I(ε')
S9
制御出力の演算
S10
モータ駆動方向をI／Oポートに更新設定
S11
パルス幅変調手段に演算値を設定

【図１０】



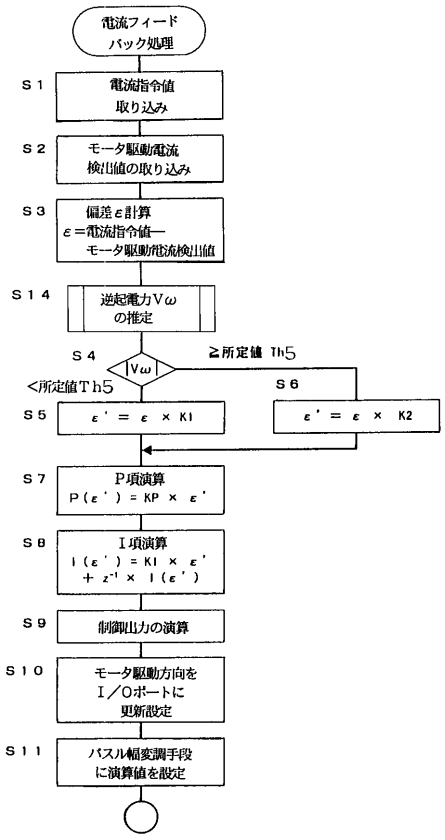
４ａ；ベース電流決定手段、４ｂ；微分制御手段、４ｃ；収斂制御手段
４ｄ；摩擦補償電流決定手段．７；電流フィードバックゲイン設定手段
８；ＰＩコントローラ

【図１１】

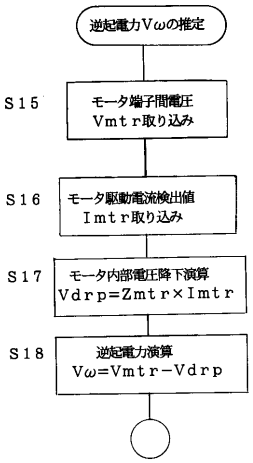


６；電流検出手段、１１；マイクロコントローラ、１０；バッテリ
１２；ドライブ回路、１３；リレー、１４；主回路

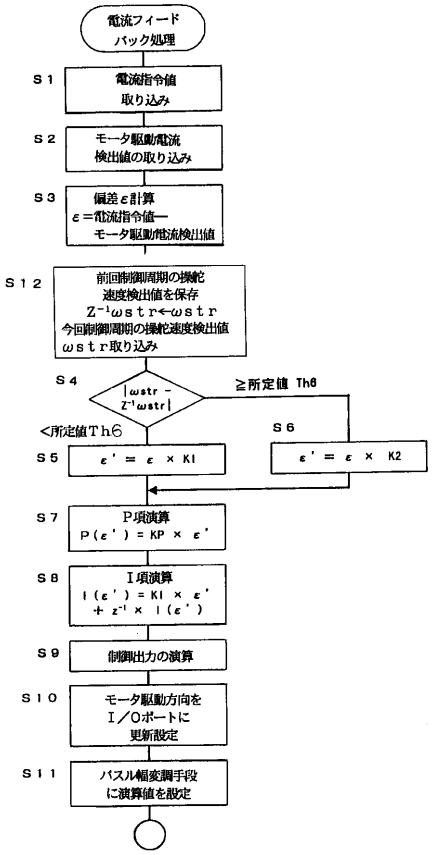
【図１２】



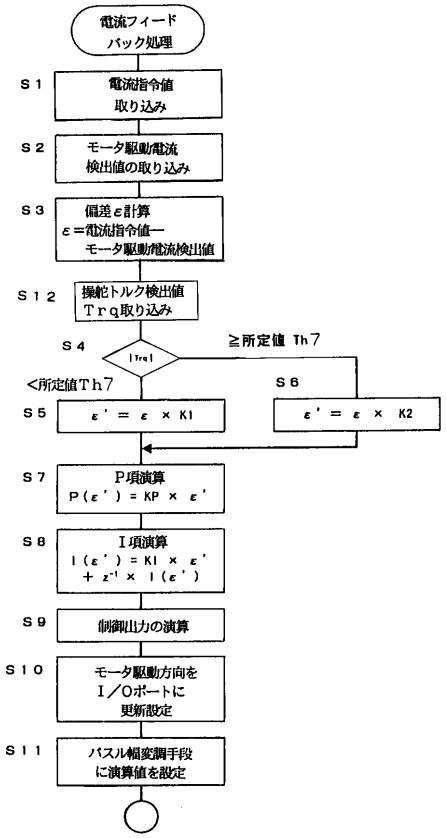
【図１３】



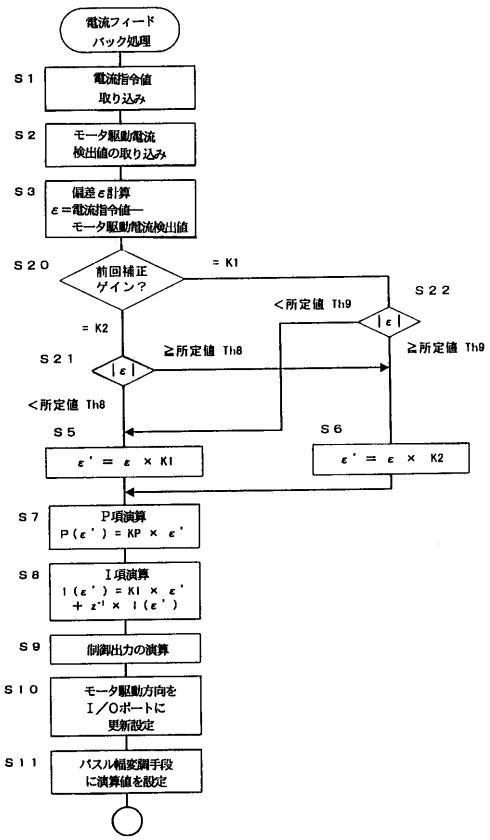
【図１４】



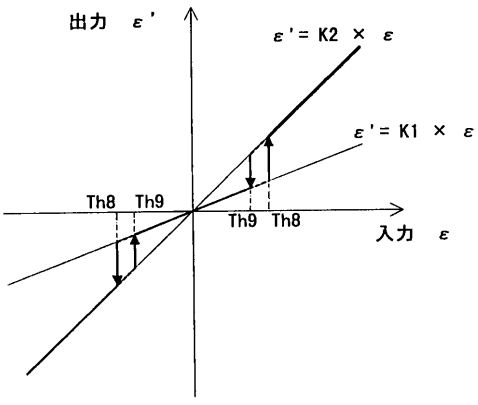
【図１５】



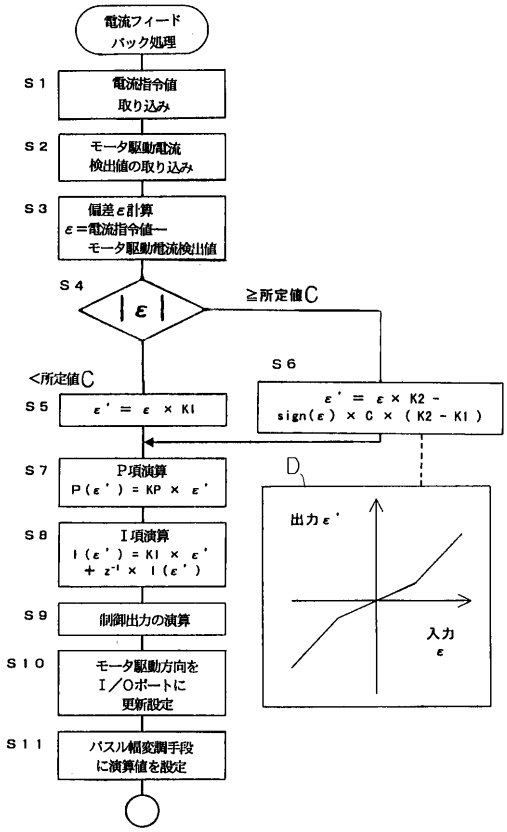
【図１６】



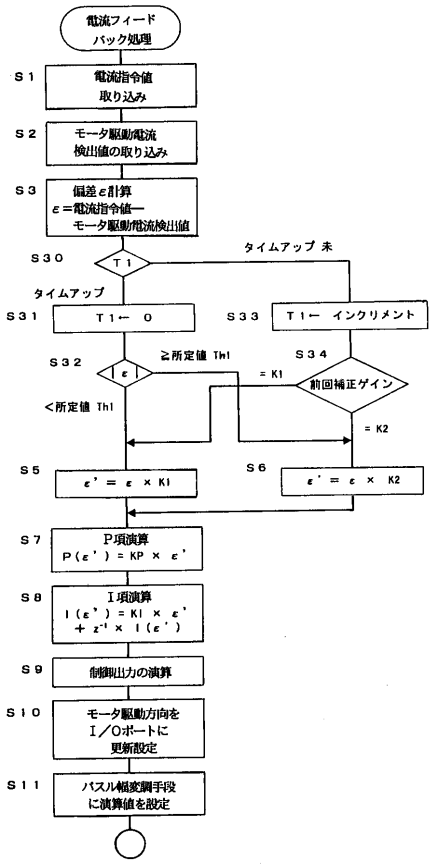
【図１７】



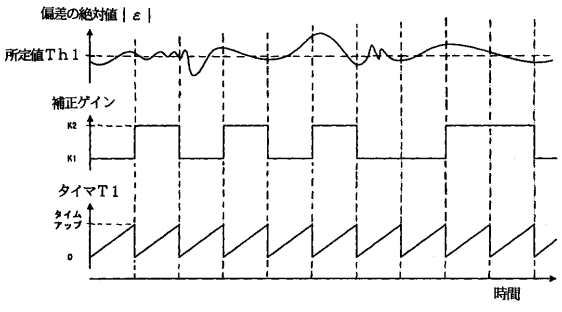
【図１８】



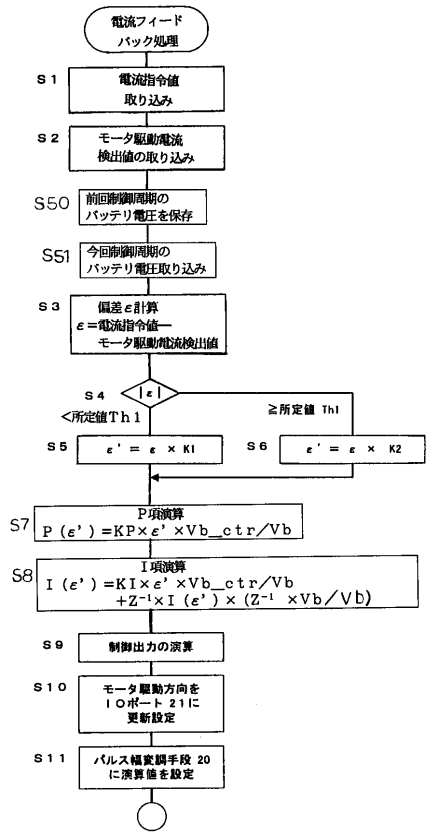
【図１９】



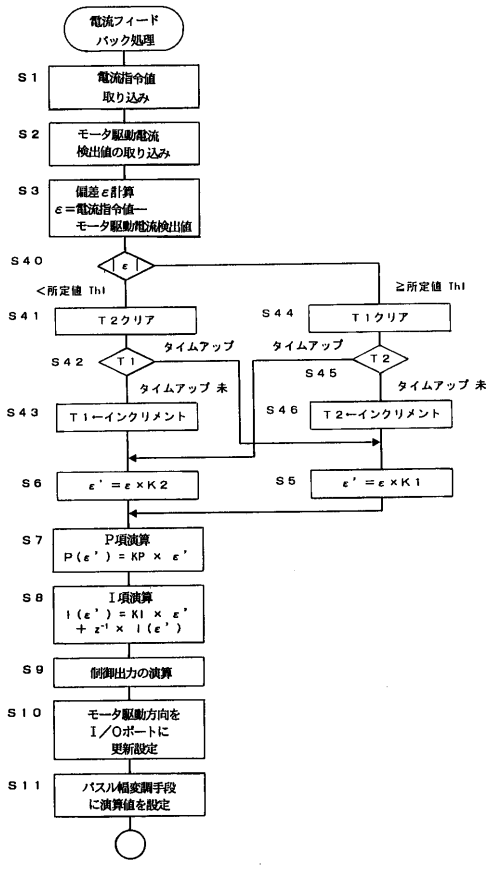
【図２０】



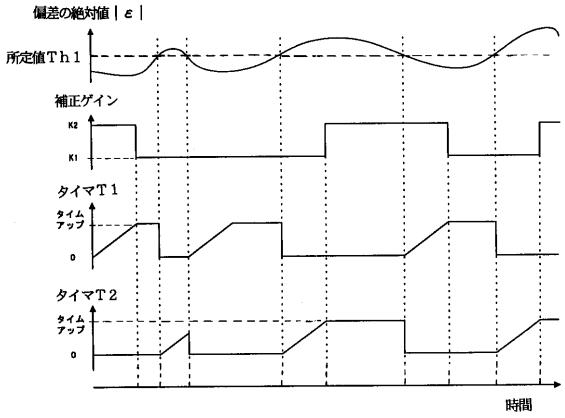
【図２１】



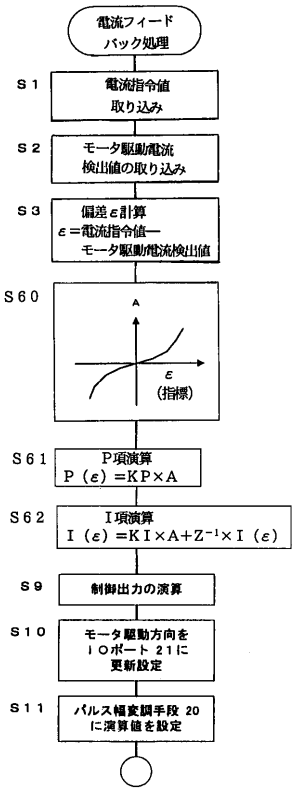
【図２２】



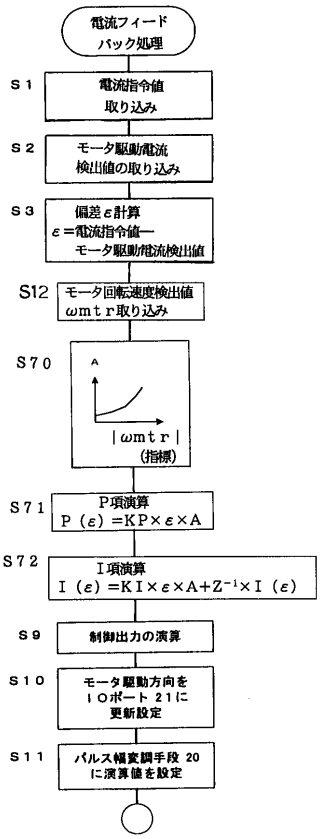
【図２３】



【図２４】



【図２５】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平１０－２０３３８３（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－２０３３８２（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－１５６１７１（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－１０７６９６（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－０７８９１９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
B62D 6/00 - 6/06
B62D 5/04