

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4660883号
(P4660883)

(45) 発行日 平成23年3月30日 (2011.3.30)

(24) 登録日 平成23年1月14日 (2011.1.14)

(51) Int. Cl.

F 1

B 6 2 D 6/00	(2006.01)	B 6 2 D 6/00
B 6 2 D 5/04	(2006.01)	B 6 2 D 5/04
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
B 6 2 D 137/00	(2006.01)	B 6 2 D 137:00

請求項の数 4 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-152517 (P2000-152517)
 (22) 出願日 平成12年5月24日 (2000.5.24)
 (65) 公開番号 特開2001-328553 (P2001-328553A)
 (43) 公開日 平成13年11月27日 (2001.11.27)
 審査請求日 平成19年5月11日 (2007.5.11)

(73) 特許権者 000004204
 日本精工株式会社
 東京都品川区大崎1丁目6番3号
 (74) 代理人 100078776
 弁理士 安形 雄三
 (74) 代理人 100087055
 弁理士 鈴木 淳也
 (74) 代理人 100084803
 弁理士 村山 勝
 (72) 発明者 陳 慧
 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 遠藤 修司
 群馬県前橋市鳥羽町78番地 日本精工株
 式会社内

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の制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ステアリングシャフトに発生する操舵トルクに基いて演算手段で演算された操舵補助指令値と、モータの電流値とから演算した電流制御値に基いてステアリング機構に操舵補助力を与える前記モータを制御するようになっている電動パワーステアリング装置の制御装置において、前記操舵トルクの信号を微分して前記操舵補助指令値に加算すると共に、前記微分のゲインが前記操舵トルク及び車速の増大に従って正の値から連続的に減小し、かつハンドルの切り増しの場合に、前記操舵トルク及び前記車速が所定値以上になった時に前記微分のゲインが正から負に変化する特性を有する補助演算手段を具備したことを特徴とする電動パワーステアリング装置の制御装置。

【請求項 2】

前記補助演算手段が前記演算手段と並列に接続されると共に、近似微分器、ゲイン調整器及び加算器で成っている請求項 1 に記載の電動パワーステアリング装置の制御装置。

【請求項 3】

前記ゲイン調整器のゲインが、前記操舵トルクが小さくなるに従って大きく、前記操舵トルクが大きくなるに従って小さくなるようになっている請求項 2 に記載の電動パワーステアリング装置の制御装置。

【請求項 4】

前記ゲイン調整器のゲインが、前記操舵トルクの所定領域において、前記車速が大きくなるに従って小さくなるようになっている請求項 2 に記載の電動パワーステアリング装置の

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、自動車や車両の操舵系にモータによる操舵補助力を付与するようにした電動パワーステアリング装置の制御装置に関し、特に安価な構成で連続的な操舵感を与えることにより、安全かつ快適な操舵性能を与えるようにした電動パワーステアリング装置の制御装置に関する。

【０００２】

【従来の技術】

自動車や車両のステアリング装置をモータの回転力で補助負荷付勢する電動パワーステアリング装置は、モータの駆動力を減速機を介してギア又はベルト等の伝達機構により、ステアリングシャフト或いはラック軸に補助負荷付勢するようになっている。かかる従来の電動パワーステアリング装置は、アシストトルク（操舵補助トルク）を正確に発生させるため、モータ電流のフィードバック制御を行っている。フィードバック制御は、電流制御値とモータ電流検出値との差が小さくなるようにモータ印加電圧を調整するものであり、モータ印加電圧の調整は、一般的にPWM（パルス幅変調）制御のデューティ比の調整で行っている。

【０００３】

ここで、電動パワーステアリング装置の一般的な構成を図９に示して説明すると、操向ハンドル１の軸２は減速ギア３、ユニバーサルジョイント４a及び４b、ピニオンラック機構５を経て操向車輪のタイロッド６に結合されている。軸２には、操向ハンドル１の操舵トルクを検出するトルクセンサ１０が設けられており、操向ハンドル１の操舵力を補助するモータ２０がクラッチ２１、減速ギア３を介して軸２に結合されている。パワーステアリング装置を制御するコントロールユニット３０には、バッテリー１４からイグニションキー１１を経て電力が供給され、コントロールユニット３０は、トルクセンサ１０で検出された操舵トルク T と車速センサ１２で検出された車速 V とに基いてアシスト指令の操舵補助指令値 I の演算を行い、演算された操舵補助指令値 I に基いてモータ２０に供給する電流を制御する。クラッチ２１はコントロールユニット３０でON/OFF制御され、通常の動作状態ではON（結合）されている。そして、コントロールユニット３０によりパワーステアリング装置が故障と判断された時、及びイグニションキー１１によりバッテリー１４の電源（電圧 V_b ）がOFFとなっている時に、クラッチ２１はOFF（切離）される。

【０００４】

コントロールユニット３０は主としてCPUで構成されるが、そのCPU内部においてプログラムで実行される一般的な機能を示すと図１０のようになる。例えば位相補償器３１は独立したハードウェアとしての位相補償器を示すものではなく、CPUで実行される位相補償機能を示している。

【０００５】

コントロールユニット３０の機能及び動作を説明すると、トルクセンサ１０で検出されて入力される操舵トルク T は、操舵系の安定性を高めるために位相補償器３１で位相補償され、位相補償された操舵トルク T_A が操舵補助指令値演算器３２に入力される。また、車速センサ１２で検出された車速 V も操舵補助指令値演算器３２に入力される。操舵補助指令値演算器３２は、入力された操舵トルク T_A 及び車速 V に基いてモータ２０に供給する電流の制御目標値である操舵補助指令値 I を決定する。操舵補助指令値 I は減算器３０Aに入力されると共に、応答速度を高めるためのフィードフォワード系の微分補償器３４に入力され、減算器３０Aの偏差（ $I - i$ ）は比例演算器３５に入力されると共に、フィードバック系の特性を改善するための積分演算器３６に入力される。微分補償器３４及び積分補償器３６の出力も加算器３０Bに加算入力され、加算器３０Bでの加算結果である電流制御値 E が、モータ駆動信号としてモータ駆動回路３７に入力される。モータ２０のモ

10

20

30

40

50

ータ電流値 i はモータ電流検出回路 38 で検出され、モータ電流値 i は減算器 30A に入力されてフィードバックされる。

【0006】

モータ駆動回路 37 の構成例を図 11 に示して説明すると、モータ駆動回路 37 は加算器 30B からの電流制御値 E に基いて電界効果トランジスタ (FET) FET1 ~ FET4 の各ゲートを駆動する FET ゲート駆動回路 371、FET1 ~ FET4 で成る Hブリッジ回路、FET1 及び FET2 のハイサイド側を駆動する昇圧電源 372 等で構成されている。FET1 及び FET2 は、電流制御値 E に基いて決定されるデューティ比 $D1$ の PWM (パルス幅変調) 信号によって ON/OFF され、実際にモータ 20 に流れる電流 I_r の大きさが制御される。FET3 及び FET4 は、デューティ比 $D1$ の小さい領域では所定 1 次関数式 (a , b を定数として $D2 = a \cdot D1 + b$) で定義されるデューティ比 $D2$ の PWM 信号で駆動され、デューティ比 $D2$ も 100% に達した以降、PWM 信号の符号により決定されるモータ 20 の回転方向に応じて ON/OFF される。

【0007】

一方、広く普及している油圧式パワーステアリング装置では、図 12 に示すようにシリンダ圧 P に比例して (横軸 T は操舵トルク)、シリンダ部の摩擦が増加する特性を有し、この摩擦特性のためにヒステリシスを持つことになり、例えばコーナリング時にセルフアライニングトルクによってハンドルが急に戻されるのを防ぎ、ドライバの操舵感の向上にも役立っている。図 13 はその様子を示しており、操舵トルク T が急激に T だけ変化した場合、ヒステリシスがない場合には $P1$ なるシリンダ圧が変化することになるが、ヒステリシスがある場合には $P2$ ($< P1$) の変化となる。従って、ヒステリシスがあれば操舵トルク T の変化に対して、シリンダ圧 P の変化を緩やかにすることができる。ここで、ヒステリシス幅は摩擦の大きさに応じて変化することが知られており、油圧シリンダのゴムパッキンでは、シリンダ圧の上昇に伴ってゴムが圧迫されることにより、クーロン摩擦が増えてヒステリシス幅が増える。そして、ドライバとしては中立点近くではセルフアライニングトルクを強く感じ、コーナリング時等にはセルフアライニングを余り感じないことが、操舵感の上で重要である。この意味から理想的には油圧式パワーステアリング装置のように、操舵角 θ が小さい領域では摩擦 (ヒステリシス) が小さく、操舵角 θ が大きい領域では摩擦 (ヒステリシス) が大きいことが望ましい。

【0008】

これに対して、電動パワーステアリング装置では、図 14 に示すようにアシストトルク T に関係なく一定の摩擦を有する。電動パワーステアリング装置の場合、主にモータが持つクーロン摩擦が支配的であるため、操舵力によらず一定の摩擦特性を持つことが特徴であり、このため図 14 に示すように一定幅のヒステリシス特性となる。但し、ヒステリシス幅は、油圧式パワーステアリング装置の高トルク時のヒステリシス幅よりも狭くなっている。従って、電動パワーステアリング装置では操舵トルク T の小さい領域での摩擦特性を重視して、摩擦を補償するようにしている。しかしながら、このような補償による場合、図 15 に示すように操舵トルク T の大きい領域では摩擦が小さくなり過ぎ、結果としてコーナリング時等の操舵トルク T が大きいときに、安定した操舵感を失うことになって

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

上述のような問題を解決した制御装置として、例えば特開平 9 - 156526 号公報に示されるものがある。これは、操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段を設け、前記操舵トルク検出手段から出力される検出信号に基づき、電氣的なパワーアシスト手段のアシスト量を制御する車両用操舵制御装置において、前記操舵トルク検出手段の検出信号にヒステリシスを与える調整手段を備えたことを特徴とするものである。

【0010】

調整手段を設けることにより、操舵トルク検出手段の検出信号にヒステリシスを与えることができる。よって、操舵トルクの検出信号に基づき、作動するパワーアシスト手段のヒ

10

20

30

40

50

ステリシス特性を操舵状態に応じて可変することができるため、トルクアシスト量を最適化することが可能となる。しかしながら、この従来装置では、操舵動作に断続感が残り、トルク制御系が不安定であると共に、新たにハードウェアの構成を具備するためにコストアップになるといった欠点がある。

【 0 0 1 1 】

また、本出願人による特開 2 0 0 0 - 9 5 1 3 1 で示されるように、ハンドル戻り時に負の微分ゲインを適応し、アシスト量の急激な減少を防ぎ、切り増し時に正の微分ゲインを適応して応答性を高め、結果として高トルク領域では大きなヒステリシス特性を、中立点近傍の低トルク領域では小さなヒステリシス特性を与えるようにしているものがある。しかしながら、この装置では、ハンドル戻りと切り増し操舵パターンにより、負と正の微分ゲインを切り換えることによって負と正の微分ゲインが離れ過ぎた場合、不自然な操舵感が発生する問題がある。

10

【 0 0 1 2 】

更に、走行速度及びステアリングホイールの操舵角度に拘らず快適な操舵感を得る装置として特開平 1 0 - 2 9 1 4 8 1 号に示されるものがあるが、制御系の安定性のみに着目しているため、アシストトルクの応答性の点で問題がある。

【 0 0 1 3 】

本発明は上述のような事情よりなされたものであり、本発明の目的は、電動パワーステアリング装置にソフトウェア上の安価な構成で、連続的なヒステリシス特性を調整可能な幅で与えることにより、連続的で安定かつ快適な操舵感を得るようにし、ハンドルの操舵性能を向上した電動パワーステアリング装置の制御装置を提供することにある。

20

【 0 0 1 4 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、ステアリングシャフトに発生する操舵トルクに基いて演算された操舵補助指令値と、モータの電流値とから演算した電流制御値に基いてステアリング機構に操舵補助力を与える前記モータを制御するようになっている電動パワーステアリング装置の制御装置に関するもので、本発明の上記目的は、前記操舵トルクの信号を微分して前記操舵補助指令値に加算すると共に、前記微分のゲインが前記操舵トルク及び車速の増大に従って正の値から連続的に減小し、かつハンドルの切り増しの場合に、前記操舵トルク及び前記車速が所定値以上になった時に前記微分のゲインが正から負に変化する特性を有する補助演算手段を設けることによって達成される。

30

【 0 0 1 5 】

また、前記補助演算手段を前記演算手段と並列に接続すると共に、近似微分器、ゲイン調整器及び加算器で構成することにより、或は前記ゲイン調整器のゲインを、前記操舵トルクが小さくなるに従って大きく、前記操舵トルクが大きくなるに従って小さくなるようにすることにより、或は前記ゲイン調整器のゲインを、前記操舵トルクの所定領域において、前記車速が大きくなるに従って小さくなるようにすることによって、本発明の上記目的はより効果的に達成される。

【 0 0 1 6 】

【発明の実施の形態】

40

本発明では、アシストトルクの応答性向上とトルク制御系の安定性向上を目的として、アシスト量（操舵補助指令値）に対して操舵トルク信号の微分に比例した値を、しかも操舵トルク及び車速の大きさに応じて微分ゲインを変化させて、制御系の応答性を高めるために加算している。このように微分ゲインを連続的に変化させることにより、操舵トルク、車速、操舵パターンなどの変化時の微分ゲインに大きな変化がないため、不自然な操舵感を防ぐことができ、快適な操舵性能を得ることができる。また、操舵トルクの小さな領域での微分ゲインを大きくすることにより、中立点近傍の応答性を高めて小さなヒステリシス特性が得られ、快適な操舵性能が得られると共に、操舵トルクの大きな領域での応答性及び安定性も保たれる。

【 0 0 1 7 】

50

更に、所定操舵トルクの領域において、車速が増加することによって微分ゲインを小さく、負の微分ゲインを含むようにしており、これによりハンドル戻り時のアシスト量の急激な減少を防ぐことができ、等価的に大きなヒステリシス特性が得られ、コーナリング時の操舵安定性を実現している。

【 0 0 1 8 】

以下、本発明の実施例を、図面を参照して説明する。

【 0 0 1 9 】

先ず本発明によるコントロールユニット 3 0 A の構成を、図 9 に対応させて図 1 に示す。本発明では、位相補償器 3 1 からの操舵トルク T A は操舵補助指令値 I を演算するための演算器 3 1 0 に入力され、演算器 3 1 0 は車速 V をパラメータとして操舵補助指令値 I を演算する。演算器 3 1 0 から出力された操舵補助指令値 I は加算器 3 1 3 に入力され、また、操舵トルク T A は近似微分器 3 1 2 で微分され、その微分出力信号は車速 V をパラメータとするゲイン調整器 3 1 5 に入力され、ゲイン調整された微分トルク S T A が加算器 3 1 3 に入力され、加算器 3 1 3 で加算された電流指令値 I r e f が加減算器 3 1 4 に入力されるようになっている。車速 V はパラメータとして、ゲイン調整器 3 1 5 に入力されている。近似微分器 3 1 2、ゲイン調整器 3 1 5 及び加算器 3 1 3 で補助演算手段を構成している。

【 0 0 2 0 】

更に、コントロールユニット 3 0 A 内のモータ角速度推定器 3 0 1 は、電流制御値 E (モータ端子間電圧に対応) 及びモータ電流値 i よりモータ角速度 を推定し、推定されたモータ角速度 をロストルク補償器 3 0 3 及び収れん性制御器 3 0 4 に入力する。ロストルク補償器 3 0 3 及び収れん性制御器 3 0 4 の出力はそれぞれ加減算器 3 1 4 に入力され、ロストルク補償器 3 0 3 はモータ 2 0 のロストルクの発生する方向、つまりモータ 2 0 の回転方向に対してロストルク相当のアシストを行ない、収れん性制御器 3 0 4 は、車両のヨーの収れん性を改善するためにハンドルが振れ回る動作に対してブレーキをかけるようになっている。また、モータ角速度 はモータ角加速度推定器 (微分器) 3 0 2 に入力されてモータ角加速度が推定され、モータ角加速度は慣性補償器 3 0 5 に入力され、その補償信号が加減算器 3 1 4 に入力されている。慣性補償器 3 0 5 はモータ 2 0 の慣性により発生する力相当分をアシストするものであり、慣性感又は制御の応答性の悪化を防止する。

【 0 0 2 1 】

ここにおいて、演算器 3 1 0 による操舵補助指令値 I の演算は、図 2 のブロック 3 1 0 A に示すような関数特性で演算出力され、 $I / T A = K$ とし、簡略化のために $K \cdot T A$ なる関係を仮定する。近似微分器 3 1 2 の伝達関数はゲインを “ 1 ” として図 2 のブロック 3 1 2 のようになっており、その後段に接続されたゲイン調整器 3 1 5 のゲイン K d d は車速 V 及び操舵トルク T に従って変化するようになっている。尚、T 1 は積分時定数であり、s はラプラス変数である。

図 2 のブロック図より、電流指令値 I r e f について下記数 1 が成り立つ。

【 0 0 2 2 】

【 数 1 】

$$\begin{aligned} I r e f &= K + K d d \cdot s / (T 1 \cdot s + 1) \\ &= (K \cdot T 1 \cdot s + K + K d d \cdot s) / (T 1 \cdot s + 1) \\ &= \{ (K \cdot T 1 + K d d) s + K \} / (T 1 \cdot s + 1) \\ &= \{ K / (T 1 \cdot s + 1) \} \{ (K \cdot T 1 + K d d) s / K + 1 \} \end{aligned}$$

ここで、下記数 2 が成り立つ。

【 0 0 2 3 】

【 数 2 】

$$(K \cdot T 1 + K d d) / K > T 1$$

従って、上記数 1 の周波数特性は図 3 のようになる。

【 0 0 2 4 】

図 3 で示されるように、アシスト特性ゲイン K が小のときとアシスト特性ゲイン K が大のときとを比較すると、アシスト特性ゲイン K が大のときの周波数 a 以上の帯域では、アシスト特性ゲイン K の大小に拘らずゲイン G の差は小さい。即ち、周波数 a 以上の帯域では、アシスト特性ゲイン K の大小に拘らずほぼ一定の応答性が得られる。演算器 310 の出力である操舵補助指令値 I は、図 4 に示すように操舵トルク T_A が小のときはアシスト特性ゲイン K が小で、操舵トルク T_A が大のときはアシスト特性ゲイン K が大となっている。この結果、操舵トルク T_A が小のときは、操舵トルク T_A が大のときに比べて応答性が低下する。従って、図 3 のような特性をもたせることにより、高周波帯域での応答性を保ち、モータの摩擦や慣性の影響を補償することができる。

【0025】

図 5 は本発明の動作例を示すフローチャートであり、車速 V を $V_2 > V_1$ として、先ず車速 V が V_1 より大きいかな否かを判定し（ステップ S1）、車速 V_1 以下の場合には微分ゲイン K_{dd} を $f_1(TA, V_1)$ とする（ステップ S3）。また、車速 V が V_1 より大きい場合には更に車速 V が V_2 より大きいかな否かを判定し（ステップ S2）、車速 V_2 以下の場合には微分ゲイン K_{dd} を $f_2(TA, V_2)$ とする（ステップ S4）。そして、車速 V が V_2 よりも大きい場合には、微分ゲイン K_{dd} を下記数 3 とする（ステップ S5）。

【0026】

【数 3】

$$K_{dd} = [f_2(TA, V_2) - f_1(TA, V_1)] \times g(TA) + f_1(TA, V_1)$$

ここにおいて、本発明では微分ゲイン K_{dd} を、車速 V をパラメータとして変化させると共に、操舵トルク T_A に対して図 6 に示すように変化させる。即ち、図 6 は車速 V が 0 のときの操舵トルク T_A と微分ゲイン K_{dd} との関係を示しており、操舵トルク T_A の小さい領域において微分ゲイン K_{dd} を大きく、操舵トルク T_A が増加するに従って微分ゲイン K_{dd} が小さくなるようにする。そして、図 7 に示すように、微分ゲイン K_{dd} を所定の操舵トルク T_A の領域において、車速 V が増加するに従って小さくなるようにする。

【0027】

上述のように、車速 V が増加するに従って微分ゲイン K_{dd} を小さくすることにより、等価的なアシスト特性のヒステリシスを調整することができる。微分ゲイン K_{dd} が 0 になったときに、アシスト特性のヒステリシスは機械系の摩擦により定まる。そして、微分ゲイン K_{dd} が負になったときに図 8 に示すように、アシスト特性のヒステリシスが機械系の摩擦によるヒステリシスより大きくなる。

【0028】

【発明の効果】

本発明では、アシストトルクの応答性向上とトルク制御系の安定性向上を目的として、アシスト量（操舵補助指令値）に対して操舵トルクの微分に比例した値を、操舵トルク及び車速の大きさに応じて微分ゲインを変化させ、応答性及び安定性を高めるために加算している。このように微分した値で車速をパラメータとする大きさの信号をアシスト量に加算しているため、中立近傍での応答性とコーナリング時のアシスト量の急激な減少を両立でき、かつ不自然な操舵感を防ぐことができ、快適な操舵フィーリングを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の構成例を示すブロック図である。

【図 2】本発明の要部を示す伝達関数ブロック図である。

【図 3】本発明の動作を説明するための図である。

【図 4】演算器の特性例を示す図である。

【図 5】本発明の動作例を示すフローチャートである。

【図 6】本発明で使用する車速ゼロ時の微分ゲイン対操舵トルクの特性例を示す図である。

【図 7】本発明で使用する車速増大時の微分ゲイン対操舵トルクの特性例を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 8】微分ゲイン負のときのヒステリシスを有するアシスト特性を示す図である。

【図 9】電動パワーステアリング装置の一例を示すブロック構成図である

【図 10】コントロールユニットの一般的な内部構成を示すブロック図である。

【図 1 1】モータ駆動回路の一例を示す結線図である。

【図 12】油圧式パワーステアリング装置の動作例を示す図である。

【図 13】ヒステリシス特性の効果を説明するための図である。

【図 1 4】電動パワーステアリング装置の動作例を示す図である。

【図 15】電動パワーステアリング装置の動作例を示す特性図である。

【符号の説明】

10 トルクセンサ

1 2 車 速 セ ン サ

20 モータ

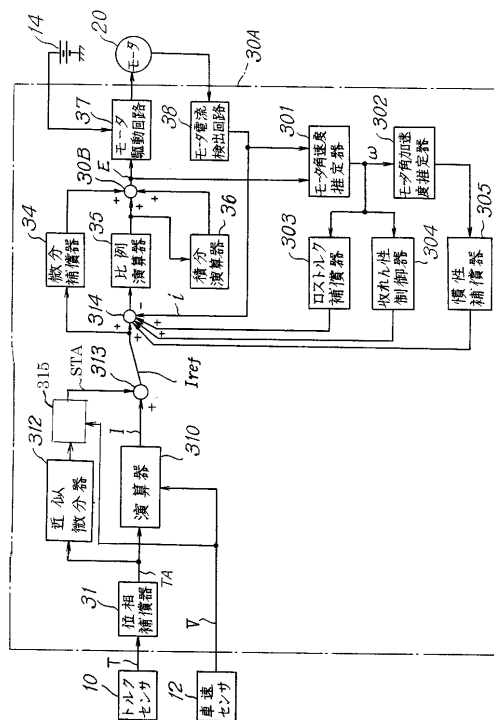
30,30A コントロールユニット

3 1 2 近似微分器

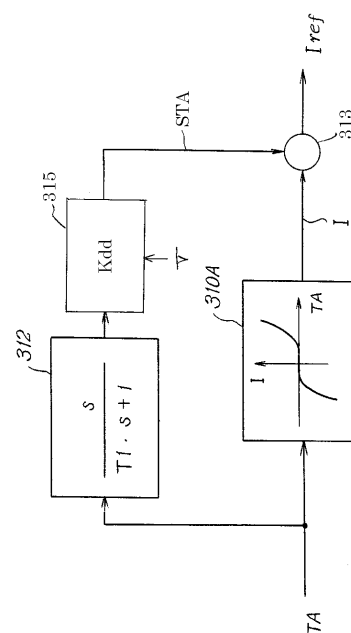
3 1 5 ゲイン調整器

10

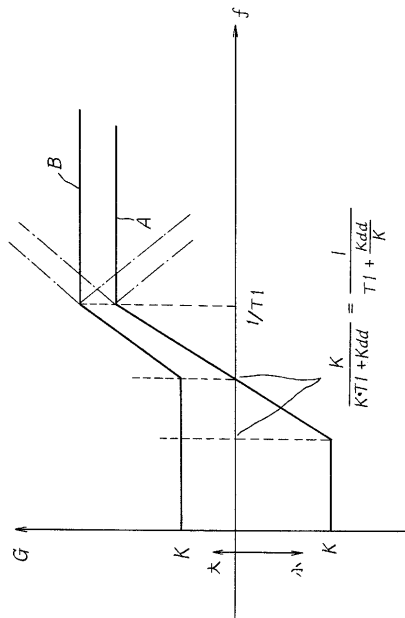
【圖 1】



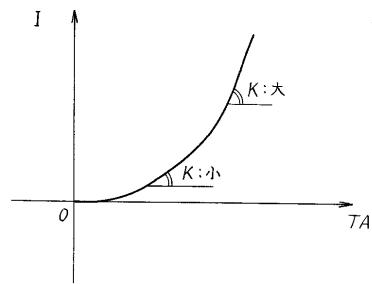
【圖 2】



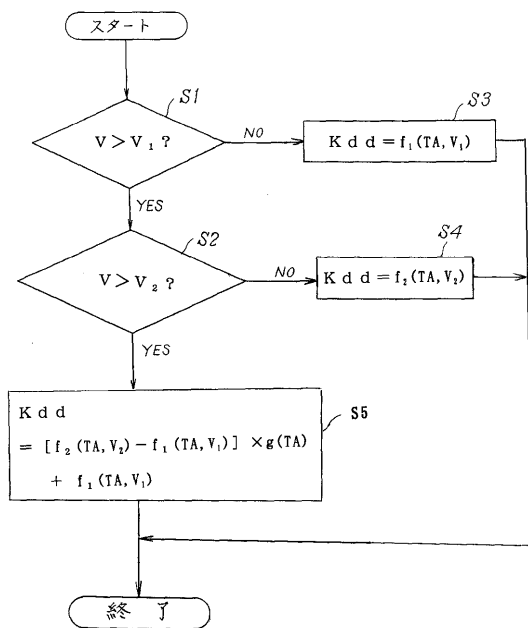
【図 3】



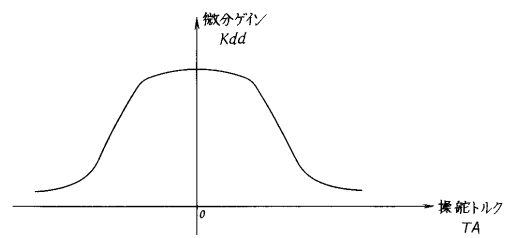
【図 4】



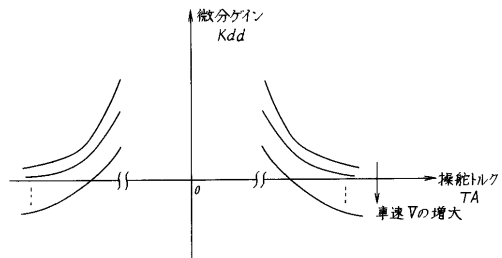
【図 5】



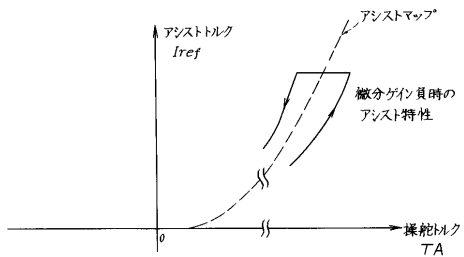
【図 6】



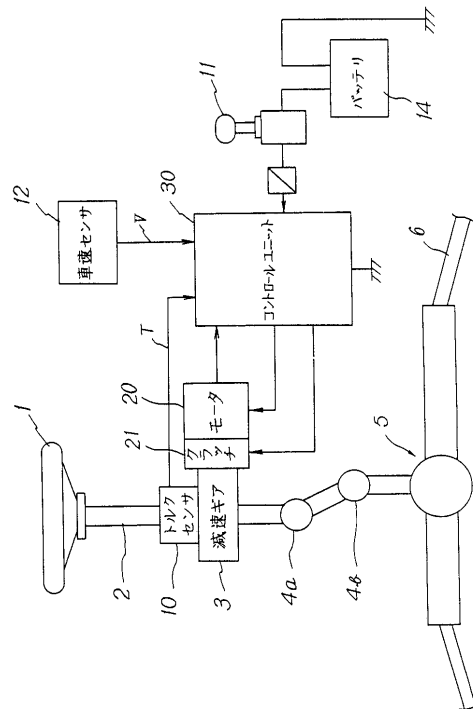
【図 7】



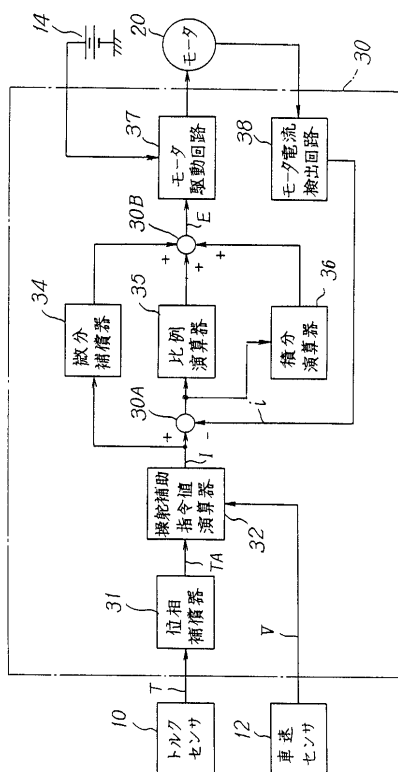
【図 8】



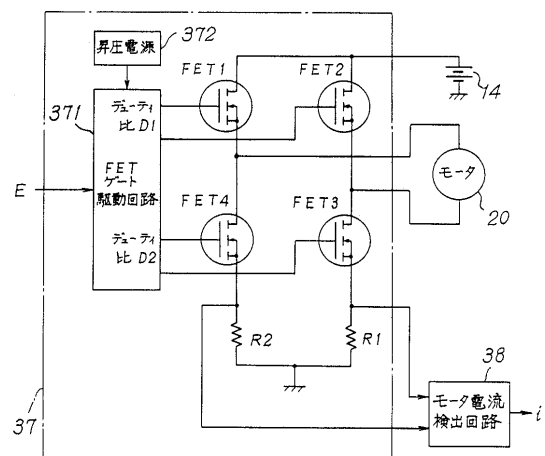
【図 9】



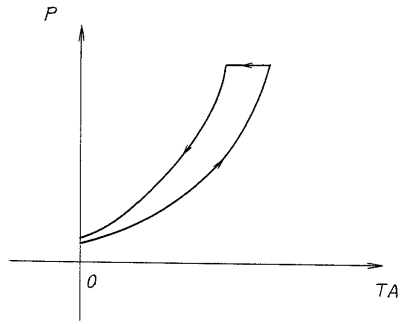
【図 10】



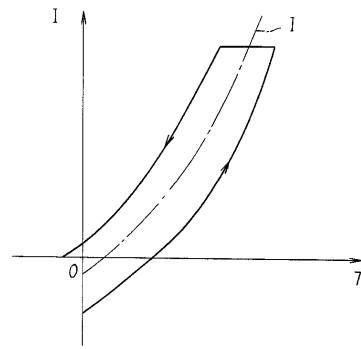
【図 11】



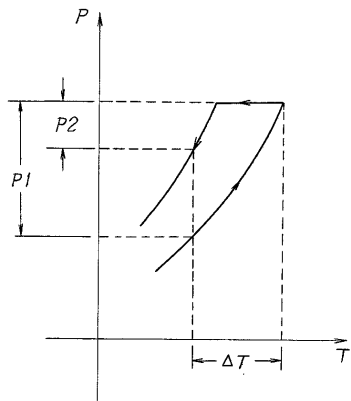
【図 1 2】



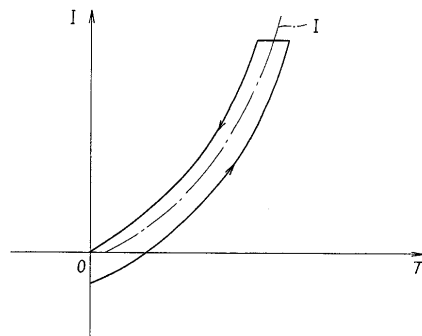
【図 1 4】



【図 1 3】



【図 1 5】



フロントページの続き

審査官 本庄 亮太郎

(56)参考文献 特開 2 0 0 0 - 0 9 5 1 3 1 (J P , A)
特開平 1 0 - 2 9 1 4 8 1 (J P , A)
特開平 1 0 - 3 1 0 0 7 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
B62D 6/00
B62D 5/04