

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4171192号  
(P4171192)

(45) 発行日 平成20年10月22日(2008.10.22)

(24) 登録日 平成20年8月15日(2008.8.15)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>HO2P 29/00</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2P	5/00		G
<b>GO5D 3/12</b>	<b>(2006.01)</b>	GO5D	3/12	3O5L	
<b>HO2P 21/00</b>	<b>(2006.01)</b>	HO2P	5/408		A
<b>HO2P 27/04</b>	<b>(2006.01)</b>				

請求項の数 2 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2001-233785 (P2001-233785)	(73) 特許権者	502129933 株式会社日立産機システム 東京都千代田区神田練塀町3番地
(22) 出願日	平成13年8月1日(2001.8.1)	(74) 代理人	100093492 弁理士 鈴木 市郎
(65) 公開番号	特開2003-47269 (P2003-47269A)	(72) 発明者	戸張 和明 千葉県習志野市東習志野七丁目1番1号 株式会社 日立製作所 産業機器グループ内
(43) 公開日	平成15年2月14日(2003.2.14)	(72) 発明者	高野 裕理 千葉県習志野市東習志野七丁目1番1号 株式会社 日立ドライブシステムズ内
審査請求日	平成18年1月24日(2006.1.24)	審査官	西村 泰英

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 サーボ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

機械に連結された電動機と、該電動機を駆動する電力変換器と、位置指令値に対する前記機械の位置検出値の偏差に応じて速度指令値を得る位置制御器と、前記速度指令値に対する前記電動機の前記速度検出値の偏差に応じてトルク電流指令値を得る速度制御器と、前記トルク電流指令値に従って前記電力変換器の出力電流を制御する電流制御器を備えたサーボ制御装置において、

前記電動機の位置検出値と前記機械の位置検出値の偏差の一階微分値に一階微分ゲインを表わす定数を乗じた結果と、該偏差の二階微分値に二階微分ゲインを表わす定数を乗じた結果との加算結果に応じてトルク電流補正值を演算する位置偏差微分手段を設け、

トルク電流補正值により前記トルク電流指令値が修正されるように構成したことを特徴とするサーボ制御装置。

【請求項2】

機械に連結された電動機と、該電動機を駆動する電力変換器と、位置指令値に対する前記電動機の位置検出値の偏差に応じて速度指令値を得る位置制御器と、前記速度指令値に対する前記電動機の前記速度検出値の偏差に応じてトルク電流指令値を得る速度制御器と、前記トルク電流指令値に従って前記電力変換器の出力電流を制御する電流制御器を備えたサーボ制御装置において、

前記電動機の位置検出値と前記機械の位置検出値の偏差の一階微分値に一階微分ゲインを表わす定数を乗じた結果と、該偏差の二階微分値に二階微分ゲインを表わす定数を乗じ

た結果との加算結果に応じてトルク電流補正值を演算する位置偏差微分手段を設け、

トルク電流補正值により前記トルク電流指令値が修正されるように構成したことを特徴とするサーボ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、位置制御用のサーボ制御装置に係り、特に、負荷の駆動に連結軸を用いる方式のシステムに好適なサーボ制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

サーボ制御装置における電動機の位置制御には、電動機の軸に直結させた位置検出器(以下、電動機位置検出器と記す)の検出値をフィードバック信号として制御演算を行うセミ・クローズド・ループ方式が一般的である。

【0003】

しかし、この方式は、安定した制御が容易に得られるという利点があるが、電動機と機械(負荷)を連結している駆動力伝達系(例えば減速機など)の精度や熱膨張による誤差などが、そのまま位置決め誤差として現れてしまうという問題があった。

【0004】

そこで、高い加工精度をもった精密工作機械など、特に位置決め精度が要求される場合には、例えば被加工物取付台など機械の最終的な位置制御対象となる部分にリニアスケールなどの位置検出器(以下、機械位置検出器と記す)を直接取付け、その検出値をフィードバック信号とするフル・クローズド・ループ方式が従来から用いられている。

【0005】

ここで、この種の技術に関連するものとしては、例えば以下の公報による開示を挙げることができる。

特開平09-182478号

特開平09-258830号

特開平10-148184号

特開平11-324911号

【発明が解決しようとする課題】

上記従来技術は、次の問題があった。

すなわち、駆動力伝達系には剛性があり、このため振動の発生が不可避であるが、ここで振動が発生した場合、機械の最終的な位置制御対象となる部分からの検出値にも振動が含まれ、この結果、従来技術では位置制御系が発振して不安定になってしまう。

【0006】

従って、従来技術では、位置制御ゲインを落として使用する必要があり、この結果、高速での位置決め運転の実現が困難であるという問題が生じてしまうのである。

本発明の目的は、機械位置検出器の適用による不安定状態の発生を抑え、高精度で高速の位置決め運転が得られるようにしたサーボ制御装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記目的は、機械に連結された電動機と、該電動機を駆動する電力変換器と、位置指令値に対する前記機械の位置検出値の偏差に応じて速度指令値を得る位置制御器と、前記速度指令値に対する前記電動機<sub>1</sub>の速度検出値の偏差に応じてトルク電流指令値を得る速度制御器と、前記トルク電流指令値に従って前記電力変換器の出力電流を制御する電流制御器を備えたサーボ制御装置において、前記電動機の位置検出値と前記機械の位置検出値の偏差の一階微分値に一階微分ゲインを表わす定数を乗じた結果と、該偏差の二階微分値に二階微分ゲインを表わす定数を乗じた結果との加算結果に応じてトルク電流補正值を演算する位置偏差微分手段を設け、トルク電流補正值により前記トルク電流指令値を修正するようにして達成される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 8 】

同じく上記目的は、機械に連結された電動機と、該電動機を駆動する電力変換器と、位置指令値に対する前記電動機の位置検出値の偏差に応じて速度指令値を得る位置制御器と、前記速度指令値に対する前記電動機の速度検出値の偏差に応じてトルク電流指令値を得る速度制御器と、前記トルク電流指令値に従って前記電力変換器の出力電流を制御する電流制御器を備えたサーボ制御装置において、前記電動機の位置検出値と前記機械の位置検出値の偏差の一階微分値に一階微分ゲインを表わす定数を乗じた結果と、該偏差の二階微分値に二階微分ゲインを表わす定数を乗じた結果との加算結果に応じてトルク電流補正値を演算する位置偏差微分手段を設け、トルク電流補正値により前記トルク電流指令値を修正するようにしても達成される。

10

## 【 0 0 1 0 】

従って、本発明の特徴は、電動機に直接取付けられた位置検出器の検出値と、機械に直接取付けられた位置検出器の検出値の偏差を用いて、トルク電流指令値を修正することにより、位置制御系を高安定化することにあるといえる。

## 【 0 0 1 1 】

## 【 発明の実施の形態 】

以下、本発明によるサーボ制御装置について、図示の実施の形態により詳細に説明する。図 1 は、本発明の一実施形態で、図において、1 は電動機で、負荷となる機械を駆動するサーボモータとして働く。

2 は電動機位置検出器で、電動機 1 の軸に取付けられ、モータ回転位置  $\theta_M$  を検出する働きをする。

20

3 はサーボ制御の対象となる機械で、これは、ボールネジなどの駆動力伝達系を介して電動機 1 に連結された、例えば工作機械である。

## 【 0 0 1 2 】

4 は機械位置検出器で、機械 3 の電動機 1 による最終的な位置制御対象となる部分に取付けられ、機械回転位置  $\theta_L$  を検出する働きをする。このとき最終的な位置制御対象となる部分とは、上記した工作機械の場合、例えば被加工物取付台(X-Yテーブル)となり、従って、この場合、位置検出器 4 はリニアエンコーダ形式となる。

## 【 0 0 1 3 】

5 は減算器で、外部から与えられる位置指令  $\theta^*$  と機械回転位置  $\theta_L$  を比較して、これらの偏差を出力する働きをする。

30

## 【 0 0 1 4 】

6 は位置制御器で、減算器 5 の出力である位置指令  $\theta^*$  と機械回転位置  $\theta_L$  の偏差を入力し、速度指令  $N^*$  を出力する働きをする。

7 は速度演算器で、電動機回転位置  $\theta_M$  から電動機 1 の回転速度  $N$  を演算する働きをする。

8 も減算器で、速度指令  $N^*$  と回転速度  $N$  を比較して、これらの偏差を出力する働きをする。

## 【 0 0 1 5 】

9 は速度制御器で、減算器 8 から速度指令  $N^*$  と回転速度  $N$  の偏差を入力し、トルク電流指令  $Iq^*$  を出力する働きをする。

40

10 は位置偏差微分器で、電動機回転位置  $\theta_M$  と機械回転位置  $\theta_L$  の偏差を微分演算し、トルク電流補正信号  $Iq^*$  を演算する働きをする。

## 【 0 0 1 6 】

11 も減算器で、トルク電流指令  $Iq^*$  とトルク電流補正信号  $Iq^*$  を比較して、新たなトルク電流指令  $Iq^{*'}$  を出力する働きをする。

12 は電流検出器で、電動機 1 の電流値、すなわちトルク電流値  $Iq$  を検出する働きをする。

13 も減算器で、新たなトルク電流指令  $Iq^{*'}$  とトルク電流値  $Iq$  の偏差を出力する働きをする。

50

## 【 0 0 1 7 】

そして、この減算器 1 3 の出力が電流制御器 1 4 に入力され、ここで、新たなトルク電流指令  $I_q^*$  とトルク電流値  $I_q$  の偏差に対応した電圧指令  $V^*$  が生成され、電力変換器 1 5 に供給されるようになり、この結果、電動機 1 が外部から与えられる位置指令  $\theta^*$  に応じて回転し、機械 3 の最終的な位置制御対象となる部分の位置決めが得られることになる。

## 【 0 0 1 8 】

次に、この実施形態の動作について説明すると、この実施形態は、図 1 の構成から明らかのように、機械位置検出器 4 から出力される機械回転位置  $\theta_L$  をフィードバック信号としたフル・クローズド・ループ方式のサーボ装置を構成しており、従って、電動機 1 と機械 3 の間の駆動力伝達系(トルク伝達機構)をバネ系と見做した場合、その系のブロック図は図 2 に示すようになる。

10

## 【 0 0 1 9 】

このブロック図において、 $T_M$  は電動機 1 が発生するトルク、 $J_M$  は電動機 1 のイナーシャ、 $C_F$  は粘性定数、 $K_F$  はバネ定数、 $J_L$  は機械 3 の被駆動部分のイナーシャであり、電動機回転位置  $\theta_M$  と機械回転位置  $\theta_L$  は既に説明した通りである。

## 【 0 0 2 0 】

そうすると、この系特有の共振周波数  $f_a$  [Hz] と反共振周波数  $f_z$  [Hz] は、次の(1)式と(2)式で表わせる。

## 【 0 0 2 1 】

20

## 【数 1】

$$f_a = \frac{1}{2\pi} \sqrt{K_F \frac{J_M + J_L}{J_M J_L}} \quad \text{----- (1)}$$

## 【数 2】

$$f_z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_F}{J_L}} \quad \text{----- (2)}$$

30

次に、機械回転位置  $\theta_L$  をフィードバック信号としたフル・クローズド・ループ方式を用いた場合の動作例を図 3 に示す。

ここで、この図 3 の動作例は、本発明の特徴である構成、すなわち図 1 の実施形態における位置偏差微分器 1 0 による効果を見るため、そこに設定すべき微分ゲイン  $K_d$  (後述)を、ことさら 0 に設定して位置決め動作運転を行った場合の特性で、この場合は共振周波数  $f_a = 4.5$  [Hz]、反共振周波数  $f_z = 3.5$  [Hz] であり、運転に際して、機械 3 の回転位置  $\theta_L$  が振動(振動周波数 3.5 [Hz])して不安定になっていることが判る。

## 【 0 0 2 2 】

40

そこで、この場合の振動現象を解析するため、位置指令  $\theta^*$  から機械回転位置  $\theta_L$  までの閉ループ伝達関数  $\theta_L / \theta^* (s)$  を求めると、次の(3)式の通りになる。なお、 $s$  はラプラス演算子である。

## 【 0 0 2 3 】

## 【数 3】

$$\frac{\theta_L(s)}{\theta^*(s)} = \frac{bl_5s^5 + bl_4s^4 + bl_3s^3 + bl_2s^2 + bl_1s + bl_0}{al_5s^5 + al_4s^4 + al_3s^3 + al_2s^2 + al_1s + al_0} \quad \text{--- (3)}$$

$$\begin{aligned} bl_5 &= 0 & al_5 &= \frac{1}{\omega_{apr}} \frac{N}{\omega_{asr}^2} \frac{J_M J_L}{K_F (J_M + J_L)} \\ bl_4 &= 0 & al_4 &= \frac{1}{\omega_{apr}} \left[ \frac{N}{\omega_{asr}^2} \frac{C_F}{K_F} + \frac{N}{\omega_{asr}} \frac{J_L}{K_F} \right] \\ bl_3 &= 0 & al_3 &= \frac{1}{\omega_{apr}} \left[ \frac{N}{\omega_{asr}^2} + \frac{N}{\omega_{asr}} \frac{C_F}{K_F} + \frac{J_L}{K_F} \right] \\ bl_2 &= \frac{N}{\omega_{asr}} \frac{C_F}{K_F} & al_2 &= \frac{1}{\omega_{apr}} \left[ \frac{N}{\omega_{asr}} + \frac{C_F}{K_F} \right] + \frac{N}{\omega_{asr}} \frac{C_F}{K_F} \\ bl_1 &= \frac{N}{\omega_{asr}} + \frac{C_F}{K_F} & al_1 &= \frac{1}{\omega_{apr}} + \frac{N}{\omega_{asr}} + \frac{C_F}{K_F} \\ bl_0 &= 1 & al_0 &= 1 \end{aligned}$$

10

ここに、

20

$\omega_{apr}$  : 位置制御応答角周波数[rad/s]、 $\omega_{asr}$  : 速度制御応答角周波数[rad/s]

N : 速度制御器の比例・積分折れ点比[倍]

次に、この(3)式で表される閉ループ伝達関数  $\theta_L / \theta^* \cdot (s)$  による閉ループ周波数特性(ゲイン・位相特性)を示すと、図4の通りになり、これを見ると、反共振周波数35 [Hz]付近において、位相特性が-180度となるところでゲイン特性が0 [dB] (= 1)以上になっていて、位相余裕が無い(適正值: 40 ~ 60度)ことから、反共振周波数35 [Hz]付近で不安定振動の発生が懸念され、このことは、図3の特性と良く対応していることが判る。

【0024】

30

しかしながら、図1の実施形態の場合、位置偏差微分器10の微分ゲインKdを所定値に設定することより上記した不安定振動が抑制できる。そこで、以下、この点について説明する。

【0025】

まず始めに位置偏差微分器10について説明すると、これは、図5に示すように構成されていて、ここに入力された電動機回転位置  $\theta_M$  と機械回転位置  $\theta_L$  は、まず減算器10aに供給され、これらの偏差( $\theta_M - \theta_L$ )が取られる。そして、この偏差が微分器10bに入力され、ここで微分演算され定数Kd(上記した微分ゲイン)が乗算されることにより、トルク電流補正信号  $I_q^*$  が出力されるようになっている。

【0026】

40

次に、この結果、図1の実施形態により得られる不安定振動の抑制について説明する。まず、位置偏差微分器10の微分ゲインKdを所定値に設定した上で、位置指令  $\theta^*$  から機械回転位置  $\theta_L$  までの閉ループ伝達関数  $\theta_L / \theta^* \cdot (s)$  を求めると、今度は次の(4)式の通りになる。

なお、この(4)式では、上記の(3)式と区別するため、分母と分子の各項にnを付加してある(例えば、 $al_5$   $aln_5$ 、 $bl_5$   $bln_5$ )。

【0027】

【数4】

$$\frac{\theta_L}{\theta^*}(s) = \frac{bl_5s^5 + bl_4s^4 + bl_3s^3 + bl_2s^2 + bl_1s + bl_0}{aln_5s^5 + aln_4s^4 + aln_3s^3 + aln_2s^2 + aln_1s + aln_0} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 bl_5 &= 0 & aln_5 &= \frac{1}{\omega_{apr}} \frac{N}{\omega_{asr}^2} \frac{J_M J_L}{K_F (J_M + J_L)} \\
 bl_4 &= 0 & aln_4 &= \frac{1}{\omega_{apr}} \left[ \frac{N}{\omega_{asr}^2} \left( \frac{C_F}{K_F} + \frac{J_L}{K_F (J_M + J_L)} K_d \right) + \frac{N}{\omega_{asr}} \frac{J_L}{K} \right] \\
 bl_3 &= 0 & aln_3 &= \frac{1}{\omega_{apr}} \left[ \frac{N}{\omega_{asr}^2} + \frac{N}{\omega_{asr}} \frac{C_F}{K_F} + \frac{J_L}{K_F} \right] \\
 bl_2 &= \frac{N}{\omega_{asr}} \frac{C_F}{K_F} & aln_2 &= \frac{1}{\omega_{apr}} \left[ \frac{N}{\omega_{asr}} + \frac{C_F}{K_F} \right] + \frac{N}{\omega_{asr}} \frac{C_F}{K_F} \\
 bl_1 &= \frac{N}{\omega_{asr}} + \frac{C_F}{K_F} & aln_1 &= \frac{1}{\omega_{apr}} + \frac{N}{\omega_{asr}} + \frac{C_F}{K_F} \\
 bl_0 &= 1 & aln_0 &= 1
 \end{aligned}$$

そこで、この(4)式を、上述の(3)式と比較してみると、位置偏差微分器 10 に所定値の微分ゲイン Kd を設定したことにより、(3)式の分母の中の al<sub>4</sub> の項だけが変化し、(4)式の分母の項 aln<sub>4</sub> では、式内に 4 角の枠で囲って示した部分 X が追加された形になっていることが判る。

【 0 0 2 8 】

ここで、この微分ゲイン Kd として所定値を設定することにより付加されるようになった部分 X = { J<sub>L</sub> K<sub>d</sub> / K<sub>F</sub> (J<sub>M</sub> + J<sub>L</sub>) } について見ると、これは、(4)式から明らかなように、粘性摩擦係数に関する値 C<sub>F</sub> / K<sub>F</sub> を等価的に大きくし、見かけ上、機械系の振動に対する減衰率を振動が減少する方向に変化させていることが判る。

【 0 0 2 9 】

そこで、この(4)式の伝達関数  $\theta_L / \theta^* (s)$  による閉ループ周波数特性(ゲイン・位相特性)を示すと、図 6 の通りになり、これを、微分ゲインが 0 (Kd = 0) に設定してあった図 4 の特性と比較すると、反共振周波数 35 【 Hz 】 付近のゲイン特性が 0 【 dB 】 ( = 1 ) 以下で、位相特性も改善されていることから、伝達関数  $\theta_L / \theta^* (s)$  が十分に安定になっていることが判る。

【 0 0 3 0 】

図 7 は、この状態で位置決め運転を行なったときの動作例で、図示のように、この場合は機械の回転位置特性  $\theta_L$  から振動が消えていて、安定した位置決め運転が得られていることが判り、従って、位置偏差微分器 10 を設けたことによる不安定振動の抑制効果が絶大であることが判る。

【 0 0 3 1 】

次に、位置偏差微分器の他の実施形態について、図 8 により説明する。

この図 8 に示した位置偏差微分器 10 A の場合も、そこに入力された電動機回転位置  $\theta_M$  と機械回転位置  $\theta_L$  は、まず減算器 10 a に供給され、これらの偏差 (  $\theta_M - \theta_L$  ) が取られる。そして、この偏差が微分器 10 c に入力され、ここで微分演算された後、定数 Kd<sub>1</sub> と定数 Kd<sub>2</sub> が乗算されることにより、トルク電流補正信号  $Iq^*$  が出力されるようになっているものである。

そして、この図 8 に示す位置偏差微分器 10 A を用いても、図 5 の位置偏差微分器 10 と同様な振動抑制を得ることができる。

【 0 0 3 2 】

ところで、図 1 で説明した実施形態は、機械位置検出器 4 から出力される機械回転位置  $\theta_L$  をフィードバック信号とした、いわゆるフル・クローズド・ループ方式のサーボ装置に

関するものであるが、本発明は、図 1 の実施形態と同様な構成のもとで、セミ・クローズド・ループ方式のサーボ装置として実施することもできる。

【 0 0 3 3 】

図 9 は、このセミ・クローズド・ループ方式による本発明の一実施形態で、この図 9 の実施形態が、図 1 の実施形態と異なっている点は、減算器 5 にフィードバックされている信号が電動機位置検出器 2 から出力される電動機回転位置  $M$  になっている点だけであり、その他の構成は、機械位置検出器 4 と位置偏差微分器 10 を備えている点も含めて、図 1 の実施形態と同じであり、安定した位置決め運転が得られる点も同じである。

【 0 0 3 4 】

【発明の効果】

本発明によれば、機械剛性の低い機械の駆動に適用した場合でも機械振動が発生する虞れがなく、従って、機械位置検出器の適用による利点を十分に活かすことができ、サーボモータによる高精度で高速の位置決め運転を容易に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明によるサーボ制御装置の一実施形態を示すブロック構成図である。

【図 2】本発明の一実施形態における駆動力伝達系のブロック線図である。

【図 3】本発明の一実施形態において微分ゲインを 0 にした場合の位置決め運転動作例を示す特性図である。

【図 4】本発明の一実施形態において微分ゲインを 0 にした場合の位置指令から機械位置までの閉ループ周波数特性図である。

【図 5】本発明の一実施形態における位置偏差微分器の一例を示すブロック構成図である。

【図 6】本発明の一実施形態において微分ゲインを所定値にした場合の位置指令から機械位置までの閉ループ周波数特性図である。

【図 7】本発明の一実施形態において微分ゲインを所定値にした場合の位置指令から機械位置までの閉ループ周波数特性図である。

【図 8】本発明の一実施形態における位置偏差微分器の他の一例を示すブロック構成図である。

【図 9】本発明の他の一実施形態を示すブロック構成図である。

【符号の説明】

- 1 電動機(サーボモータ)
- 2 電動機の位置検出器(電動機位置検出器)
- 3 機械
- 4 機械の位置検出器(機械位置検出器)
- 5、8、11、13 減算器
- 6 位置制御器
- 7 速度演算器
- 9 速度制御器
- 10 位置偏差微分器
- 12 電流検出器
- 14 電流制御器
- 15 電力変換器

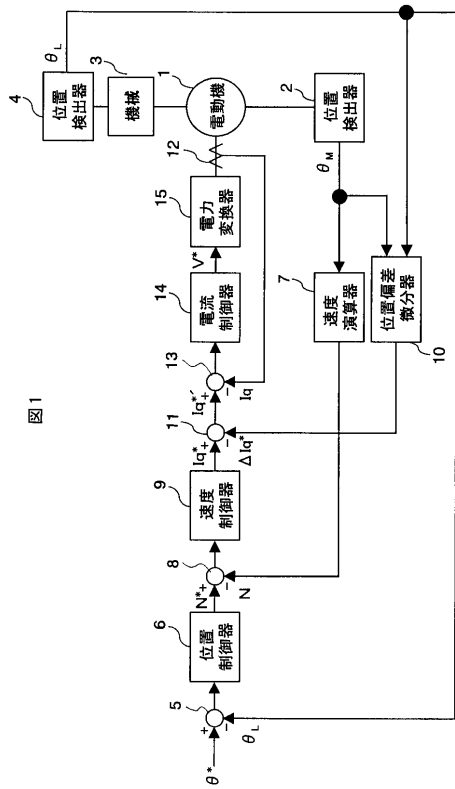
10

20

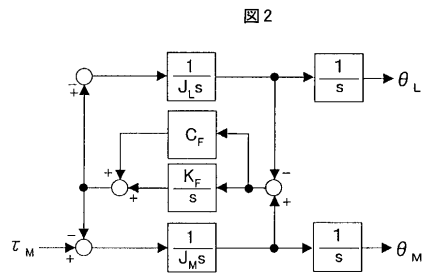
30

40

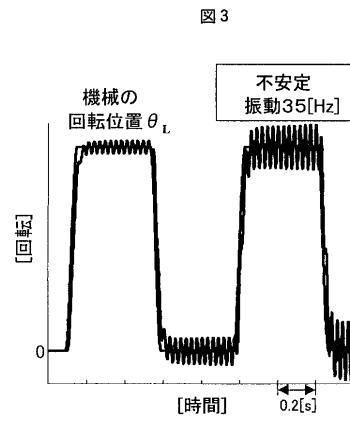
【図1】



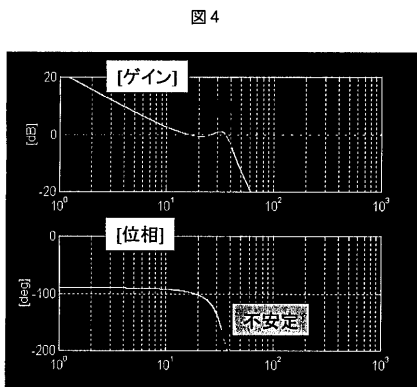
【図2】



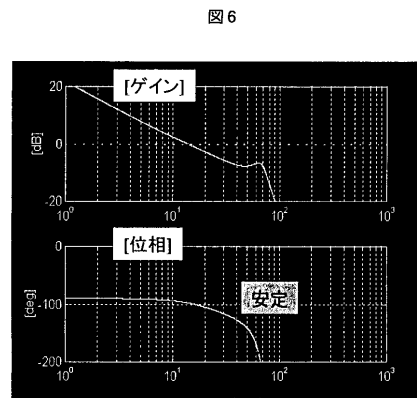
【図3】



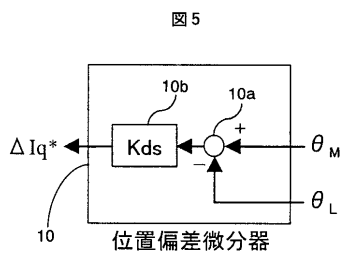
【図4】



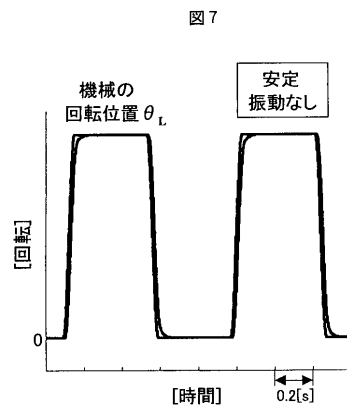
【図6】



【図5】

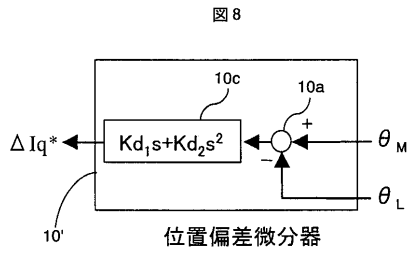


【図7】

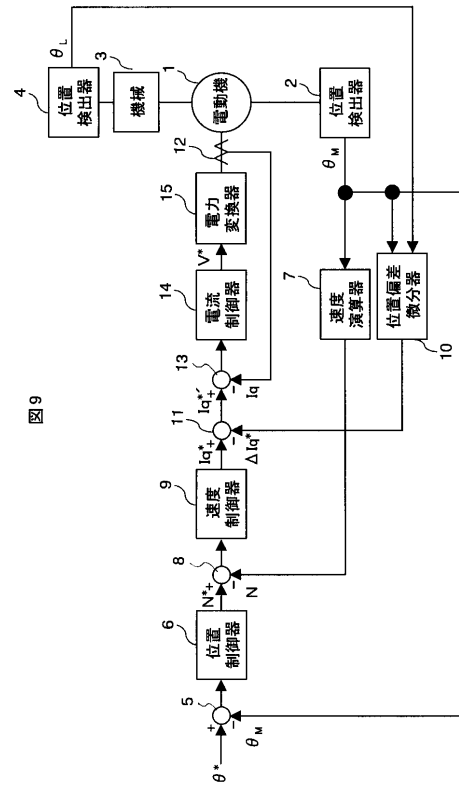




【 図 8 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第00/019288(WO, A1)

特開平08-179831(JP, A)

特開平09-258830(JP, A)

特開平09-182478(JP, A)

特開平10-148184(JP, A)

特開平11-324911(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 29/00

G05D 3/12

H02P 21/00

H02P 27/04