

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年1月16日(16.01.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/010020 A1

- (51) 国際特許分類:
H02P 23/12 (2006.01) **G05B 13/02** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/067501
- (22) 国際出願日: 2012年7月9日(09.07.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社安川電機(KABUSHIKI KAISHA YASKAWA DENKI) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 Fukuoka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): バローチュノールアーメル(BALOCH Noor Aamir) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 井手耕三(IDE Kozo) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP). 森本 進也(MORIMOTO Shinya) [JP/JP]; 〒8060004 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内 Fukuoka (JP).
- (74) 代理人: 中前 富士男, 外(NAKAMAE Fujio et al.); 〒8028691 福岡県北九州市小倉北区浅野2丁目

13番23号 幹線ビル401号 中前国際特許商標事務所 Fukuoka (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: MOTOR CONTROL DEVICE AND MOTOR SYSTEM

(54) 発明の名称: モータ制御装置及びモータシステム

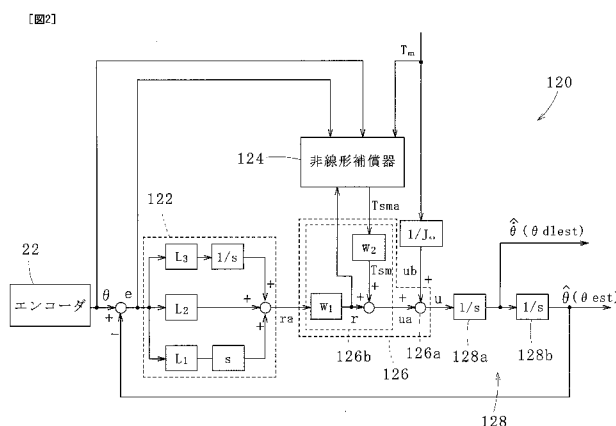


FIG. 2:
22 Encoder
124 Nonlinear compensator

(57) Abstract: Provided are a motor control device (100) and a motor system (10) that allow a robust control system to be constructed. This motor control device (100) is equipped with: a position/speed estimation unit (120) that outputs an estimated motor position and an estimated motor speed on the basis of an estimated position deviation, that is, a difference between a motor position and an estimated motor position of a motor (12); and a control unit (110) that outputs a torque command for controlling the motor (12) on the basis of the estimated motor position, the estimated motor speed, and a position command. The position/speed estimation unit (120) has a nonlinear compensator (124) that outputs a compensating torque on the basis of the estimated position deviation in order to compensate for an error in a model (128) of the motor (12).

(57) 要約: ロバストな制御系を構成できるモータ制御装置100及びモータシステム10を提供する。モータ制御装置100は、モータ12のモータ位置とモータ推定位置との差である位置推定偏差に基づいて、モータ推定位置及びモータ推定速度を出力する位置速度推定部120と、モータ推定位置、モータ推定速度及び位置指令に基づいてトルク指令を出力する制御部110と、を備え、位置速度推定部120は、位置推定偏差に基づいて補償トルクを出力し、モータ12のモデル128の誤差を補償する非線形補償器124を有する。

度及び位置指令に基づいて、モータ12を制御するトルク指令を出力する制御部110と、を備え、位置速度推定部120は、位置推定偏差に基づいて補償トルクを出力し、モータ12のモデル128の誤差を補償する非線形補償器124を有する。

明 細 書

発明の名称： モータ制御装置及びモータシステム

技術分野

[0001] 本発明は、モータ制御装置及びモータシステムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 には、制御トルク検出手段により検出された値の制御トルク及び推定された値の外乱トルクが作用する回転体のモデルに基づいて、与えられた回転速度及び回転位置の各初期値とから回転体の回転速度及び回転位置を推定する状態推定手段を備えることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平 1 0 - 2 6 2 3 8 7 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ここで回転体のモデル、すなわち制御対象にモデル化誤差、例えば制御対象の慣性モーメントパラメータの設定誤差、制御対象の負荷変動などが存在すると、状態推定手段が推定する回転体の回転速度及び回転位置の推定誤差が増加する場合がある。更にその結果、制御系の制御性能が劣化する場合がある。

本発明は、ロバストな制御系を構成できるモータ制御装置及びモータシステムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0005] 上記課題を解決するため、本発明の一の観点によれば、モータのモータ位置とモータ推定位置との差である位置推定偏差に基づいて、前記モータ推定位置及びモータ推定速度を出力する位置速度推定部と、前記モータ推定位置、前記モータ推定速度、及び位置指令に基づいて、前記モータを制御するトルク指令を出力する制御部と、を備え、前記位置速度推定部は、前記位置推

定偏差に基づいて補償トルクを出力し、前記モータ推定位置及び前記モータ推定速度を出力する前記モータのモータモデルの誤差を補償する非線形補償器を有するモータ制御装置が適用される。

- [0006] また、他の観点によれば、前記モータ制御装置と、
前記モータ制御装置が出力するトルク指令に応じて制御されるモータと、
前記モータのモータ位置を取得する位置取得部と、を備えるモータシステムが適用される。

発明の効果

- [0007] 本発明によれば、ロバストな制御系を構成できる。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]本発明の一実施例に係るモータシステムのブロック図である。
[図2]同モータシステムが有するモータ制御装置の位置速度推定部のブロック図である。
[図3]オブザーバ修正器のオブザーバゲインの設定方法を説明するためのオブザーバのブロック図である。
[図4]同モータシステムが有するモータ制御装置の非線形補償器のブロック図である。
[図5A] (A) は従来のモータ制御装置による位置推定誤差を示すグラフ、(B) は同モータシステムが有するモータ制御装置による位置推定誤差を示すグラフであって、負荷イナーシャをモータイナーシャの0.1倍とした場合のグラフである。
[図5B] (A) は従来のモータ制御装置による位置推定誤差を示すグラフ、(B) は同モータシステムが有するモータ制御装置による位置推定誤差を示すグラフであって、負荷イナーシャをモータイナーシャの3倍とした場合のグラフである。
[図5C] (A) は従来のモータ制御装置による位置推定誤差を示すグラフ、(B) は同モータシステムが有するモータ制御装置による位置推定誤差を示すグラフであって、負荷イナーシャをモータイナーシャの15倍とした場合の

グラフである。

発明を実施するための形態

[0009] 続いて、添付した図面を参照しつつ、本発明を具体化した実施例につき説明し、本発明の理解に供する。なお、各図において、説明に関連しない部分は図示を省略する場合がある。

[0010] 本発明の一実施例に係るモータシステム10は、図1に示すように、モータ12と、モータ制御装置100と、エンコーダ22とを有している。

モータ12は、例えば、回転型のモータである。

[0011] モータ制御装置100は、モータ12に接続され、ユーザによって設定された位置指令 θ_{ref} に基づいて、モータ12を制御するためのトルク指令 T_m を出力できる。

[0012] エンコーダ（位置取得部の一例）22は、モータ12の回転位置（モータ位置）を取得できる。エンコーダ22は、例えば、モータ12のシャフトに設けられている。

位置取得部は、エンコーダに限定されるものではなく、位置センサレス制御（エンコーダレス制御といわれる場合もある）に基づいてモータの推定位置を出力する位置推定装置とすることもできる。

[0013] 次に、モータ制御装置100について、詳細に説明する。

モータ制御装置100は、制御部110と、位置速度推定部120と、を有している。

[0014] 制御部110は、位置制御部112と、速度制御部114を有し、

[0015] [数1]

推定されたモータ12の位置であるモータ推定位置 $\hat{\theta}$ 、

推定されたモータ12の速度であるモータ推定速度 $\hat{\dot{\theta}}$ 、

[0016] 及び位置指令 θ_{ref} に基づいて、モータ12を制御するトルク指令 T_m を出力できる。

[0017]

[数2]

以下、モータ推定位置 $\hat{\theta}$ を θ_{est} 、
モータ推定速度 $\hat{\dot{\theta}}$ を θ_{d1est} という場合がある。

[0018] 位置制御部112は、位置指令 θ_{ref} 及び位置速度推定部120が出力したモータ推定位置 θ_{est} に基づいて、例えばP制御演算（比例制御演算）に従い、速度指令 ω_{ref} を出力できる。

速度制御部114は、位置制御部112が出力した速度指令 ω_{ref} 及び位置速度推定部120が出力したモータ推定速度 θ_{d1est} に基づいて、例えばPI制御演算（比例積分制御演算）に従い、トルク指令 T_m を生成できる。

[0019] 位置速度推定部120は、図2に示すように、エンコーダ22が出力したモータ位置 θ と位置速度推定部120が出力したモータ推定位置 θ_{est} との差である位置推定偏差 e に基づいて、モータ推定位置 θ_{est} 及びモータ推定速度 θ_{d1est} を出力できる。

位置速度推定部120は、オブザーバ修正器122と、非線形補償器124と、演算器126と、モータ12のモデルであるモータモデル128とを有している。

[0020] オブザーバ修正器122は、位置推定偏差 e に基づいて、オブザーバ修正値 r_a を出力できる。具体的には、オブザーバ修正器122は、位置推定偏差 e を低減してゼロにするようにオブザーバ修正値 r_a を出力できる。

オブザーバ修正器122は、次式で示すように、位置推定偏差 e に、オブザーバカットオフ周波数 f で決定されるオブザーバゲイン L_1 、 L_2 、 L_3 をそれぞれ乗じ、PID制御演算によりオブザーバ修正値 r_a を演算できる。なお、 s はラプラス演算子である。

[0021]
$$r_a = L_3 \cdot e / s + L_2 \cdot e + L_1 \cdot s \cdot e \quad \text{式(1)}$$

[0022] ここで、オブザーバゲイン $L_1 \sim L_3$ の設定方法の一例について説明する。

オブザーバゲイン $L_1 \sim L_3$ は、例えば図3に示すような、モータ位置 θ 及

びトルク指令 T_m に基づいてモータ位置を推定する、オブザーバ OB に基づいて設定できる。

オブザーバ OB の状態方程式は次式で表される。

[0023] [数3]

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{\theta} \\ \hat{\dot{\theta}} \\ \hat{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\theta} \\ \hat{\dot{\theta}} \\ \hat{d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} T_m + \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} (\theta - \hat{\theta}) \quad \text{式 (OB1)}$$

[0024] ここで、行列 A 、 L 、 C を次式のように定義する。

[0025] [数4]

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{式 (OB2)}$$

$$L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} \quad \text{式 (OB3)}$$

$$C = [1 \ 0 \ 0] \quad \text{式 (OB4)}$$

なお、 $\hat{d}$ は、図 3 に示すように、オブザーバゲイン L_3 が出力した値の積分値である。

[0026] 特性方程式は、次式で表される。

[0027] [数5]

$$\det[sI - (A - LC)] = 0 \quad \text{式 (OB5)}$$

[0028] 特性方程式の極を 3 重極 ω にすると、次式が得られる。

[0029] [数6]

$$\det[sI - (A - LC)] = (s + \omega)^3 \quad \text{式 (OB6)}$$

[0030] 式 (OB6) に、式 (OB2) ~ 式 (OB4) を入れて整理すると、式 (OB7) ~ 式 (OB11) を経て、式 (OB12) が得られる。

[0031]

[数7]

$$\det \left[\begin{bmatrix} s & 0 & 0 \\ 0 & s & 0 \\ 0 & 0 & s \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right] = (s + \omega)^3 \quad \text{式 (OB 7)}$$

$$\det \begin{bmatrix} L_1 + s & -1 & 0 \\ L_2 & s & -1 \\ L_3 & 0 & s \end{bmatrix} = (s + \omega)^3 \quad \text{式 (OB 8)}$$

$$(L_1 + s) \begin{vmatrix} s & -1 \\ 0 & s \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} L_2 & -1 \\ L_3 & s \end{vmatrix} = (s + \omega)^3 \quad \text{式 (OB 9)}$$

[0032] [数8]

$$(L_1 + s)s^2 + (L_2s + L_3) = (s + \omega)^3 \quad \text{式 (OB 1 0)}$$

$$L_1s^2 + s^3 + L_2s + L_3 = (s + \omega)^3 \quad \text{式 (OB 1 1)}$$

[0033] [数9]

$$s^3 + L_1s^2 + L_2s + L_3 = s^3 + 3s^2\omega + 3s\omega^2 + \omega^3 \quad \text{式 (OB 1 2)}$$

[0034] 式 (OB 1 2) において、ラプラス演算子sの係数を比較すると、オブザーバゲイン $L_1 \sim L_3$ は、以下のように設定できる。

$$[0035] \quad L_1 = 3\omega \quad \text{式 (OB 1 3)}$$

$$[0036] \quad L_2 = 3\omega^2 \quad \text{式 (OB 1 4)}$$

$$[0037] \quad L_3 = \omega^3 \quad \text{式 (OB 1 5)}$$

[0038] ただし、極 ω は次式で表される。

$$[0039] \quad \omega = 2\pi f \quad \text{式 (OB 1 6)}$$

[0040] なお、f は前述のオブザーバのカットオフ周波数である。

[0041] 非線形補償器 1 2 4 は、例えば、エンコーダ 2 2 が低分解能である場合の位置又は速度を補償して、制御系のロバスト性を向上できる。また、非線形補償器 1 2 4 は、例えば、低速度域にて速度検出誤差を補償するオブザーバにおける制御対象モデル誤差（変動誤差）を補償して、制御系のロバスト性

を向上できる。

非線形補償器 124 は、図 2 に示すように、位置推定偏差 e に基づいて、補償トルク T_{sma} を出力できる。

詳細には、非線形補償器 124 は、モータ位置 θ 、位置推定偏差 e 、トルク指令 T_m 、及びオブザーバ修正値 r_a に第 1 の重み定数 w_1 を乗じた乗算値 r が入力され、少なくとも乗算値 r の極性変化に応じて補償トルク T_{sma} を演算できる。

この非線形補償器 124 の設計方法及び補償トルク T_{sma} を出力するための演算内容については、後述する。

[0042] 演算器 126 は、オブザーバ修正値 r_a 、補償トルク T_{sma} 、及び後述する除算値 u_b に基づいて、モータ 12 のモータモデル 128 への入力値 u を演算値として出力できる。

演算器 126 は、加算分配部 126b 及び加算部 126a を有している。

[0043] 加算分配部 126b は、重み定数 w_1 、 w_2 を用いて決定した加算配分に基づいて、オブザーバ修正値 r_a と補償トルク T_{sma} とを加算し、加算値 u_a として出力できる。重み定数 w_1 、 w_2 は、例えば、オブザーバ修正値 r_a に対する第 1 の重み定数 w_1 及び補償トルク T_{sma} に対する第 2 の重み定数 w_2 である。

加算部 126a は、加算値 u_a とトルク指令 T_m をモータ 12 のイナーシャノミナル値 J_0 で除算した除算値 u_b とを加算し、演算値として、入力値 u を出力できる。

すなわち、入力値 u は、次式 (3a)、次式 (3b) 及び次式 (3c) により求められる。

[0044] $u = u_a + u_b$ 式 (3a)

ただし、

$u_a = w_1 \cdot r_a + w_2 \cdot T_{sma}$ 式 (3b)

$u_b = T_m / J_0$ 式 (3c)

[0045] ここで、第 1 の重み定数 w_1 は、第 2 の重み定数 w_2 よりも大きいことが好

ましい。具体的には、第1の重み定数 w_1 の値を、第2の重み定数 w_2 の値の2〜3倍程度の値とすることが好ましい。例えば $(W_1, W_2) = (0.6, 0.2)$ 、 $(W_1, W_2) = (0.5, 0.2)$ 、又は $(W_1, W_2) = (0.6, 0.3)$ とすることができる。なお、第1の重み定数 w_1 及び第2の重み定数 w_2 の値は、0以上かつ1以下の範囲の値である。

なお、以下、乗算値 $r (=w_1 \cdot r_a)$ は、補償トルク T_{sm} によって補償される前のモータモデル128への入力値を表すので、乗算値 r を補償前モータモデル入力という場合がある。

[0046] モータモデル128は、シリーズに接続された2つの積分器128a、128bを有している。

積分器128aは、入力値 u を積分して、モータ推定速度 θ_{d1est} を出力できる。

積分器128bは、モータ推定速度 θ_{d1est} を積分して、モータ推定位置 θ_{est} を出力できる。

即ち、モータモデル128は、演算器126が出力した入力値 u に基づいて、モータ推定位置 θ_{est} 及びモータ推定速度 θ_{d1est} を出力できる。

[0047] 次に、非線形補償器124の設計方法について説明する。

前述のモータモデル128は、摩擦が考慮されていないモデルである。従って、モータ12のイナーシャノミナル値 J_0 と実際のモータ12及び負荷システムがもつイナーシャとが大きく異なる場合や摩擦が大きい場合には、オブザーバ修正器122によるモータモデル128の入力値 u の修正が十分でなくなり、位置推定偏差 e が過渡状態でハンチングしたり、収束が遅くなったりする場合がある。

そこで、補償前モータモデル入力 r を漸近安定化するため、評価関数 V を次式のように定義する。

[0048]

[数10]

$$V = \frac{J_0 r^2}{2} \quad \text{式 (C 1)}$$

[0049] このとき、補償前モータモデル入力 r が漸近安定化する必要十分条件は次式のようにになる。

[0050] [数11]

$$\dot{V} = J_0 r \dot{r} < 0 \quad \text{式 (C 2)}$$

[0051] ここで、モータモデルの入力値 u をモデル出力からの逆モデルとして表すと、次式のようにになる。

[0052] [数12]

$$\begin{aligned} u &= \ddot{\theta} + F \\ &= \ddot{\theta} - \ddot{e} + F \end{aligned} \quad \text{式 (C 3)}$$

[0053] ここで、新たな変数 θ_r の2階微分を次式のように定義する。なお、 $\Delta \theta = e = \theta - \theta_{est}$ である。

[0054] [数13]

$$\ddot{\theta}_r = L_3 \Delta \theta + L_2 \Delta \dot{\theta} + L_1 \ddot{\theta} \quad \text{式 (C 4)}$$

[0055] 式 (C 4) より、次式が導かれる。

[0056] [数14]

$$J_o \dot{r} = -u w_1 J_o L_1 + w_1 J_o \ddot{\theta}_r + F w_1 J_o L_1 \quad \text{式 (C 5)}$$

[0057] ただし、 F はシステム外乱である。

ところで、前述の式 (3 a)、式 (3 b)、及び式 (3 c) に示した通り、モータモデルの入力値 u は、補償前モータモデル入力 r ($= w_1 \cdot r_a$) 及

び補償トルク T_{sma} に重み定数 w_2 を乗算した補償トルク T_{sm} ($=w_2 \cdot T_{sma}$) の加算値 u_a と、トルク指令 T_m をモータ 12 のイナーシャノミナル値 J_o で除算した除算値 u_b と、の加算値であり、次式で表される。

$$[0058] \quad u = w_1 \cdot r_a + w_2 \cdot T_{sma} + T_m / J_o \quad \text{式 (C5a)}$$

式 (C5a) にて示した入力値 u を式 (C5) に代入すると、次式が得られる。

[0059] [数15]

$$J_o \dot{r} = -rw_1 J_o L_1 + w_1 J_o L_1 \left(\frac{\ddot{\theta}_r}{L_1} - \frac{T_m}{J_o} + F - w_2 T_{sma} \right) \quad \text{式 (C6)}$$

[0060] 式 (C6) を式 (C2) に代入すると、次式が得られる

[0061] [数16]

$$\dot{V} = -r^2 w_1 J_o L_1 + rw_1 J_o L_1 \left(\frac{\ddot{\theta}_r}{L_1} - \frac{T_m}{J_o} + F - w_2 T_{sma} \right) \quad \text{式 (C7)}$$

[0062] 式 (C7) の右辺第 1 項は常に負となるので、次式を満たす条件は右辺第 2 項が負となればよい。

[0063] [数17]

$$\dot{V} < 0 \quad \text{式 (C8)}$$

[0064] 即ち、次式を得る。

[0065] [数18]

$$rw_1 J_o L_1 \left(\frac{\ddot{\theta}_r}{L_1} - \frac{T_m}{J_o} + F - w_2 T_{sma} \right) < 0 \quad \text{式 (C9)}$$

[0066] 従って、式 (C9) を満たすように補償トルク T_{sma} を設計すると、次式を得る。

[0067]

[数19]

$$T_{sma} = \text{signum}(r) \left(\left| \frac{\ddot{\theta}_r}{L_{1a}} - \frac{T_m}{J_{mm}} \right| + F_{\max} \right) \quad \text{式 (C 1 0 a)}$$

[0068] ここで、 $J_{mm} = \gamma \cdot J_o$ ($\gamma > 0$)、 γ ：調整パラメータ、 $F_{\max}$ ：想定される最大のシステム外乱値、 L_{1a} ：調整ゲインである。

式 (C 1 0 a) に示した非線形補償器 1 2 4 は、入力の絶対値を出力する関数 1 2 4 a を用いて、図 4 に示す制御ブロック図で表される。なお、図 4 において、調整ゲイン $L_{1a} \sim L_{3a}$ は、それぞれオブザーバゲイン $L_1 \sim L_3$ と同じ値に設定することが好ましい。ただし、調整ゲイン $L_{1a} \sim L_{3a}$ は、それぞれ同じ大きさに設定することもできる。

[0069] ただし、式 (C 1 0 a) は補償前モータモデル入力 r の極性で頻繁に極性が変化し、チャタリング現象を起こす場合がある。そのため、次式に示すようにチャタリング低減オペレータ δ を含む関数を付加することもできる。

[0070] [数20]

$$T_{sma} = \frac{r}{\delta + |r|} \left(\left| \frac{\ddot{\theta}_r}{L_{1a}} - \frac{T_m}{J_{mm}} \right| + F_{\max} \right) \quad \text{式 (C 1 0 b)}$$

[0071] このように、非線形補償器 1 2 4 が、式 (C 1 0 a) 又は式 (C 1 0 b) に基づいて、補償トルク T_{sma} を出力するように設計することで、次式 (C 1 1) に示すように、補償トルク T_{sma} に重み定数 w_2 を乗算した補償トルク T_{sm} を得ることができる。

[0072] $T_{sm} = w_2 \cdot T_{sma} \quad \text{式 (C 1 1)}$

以上説明したように、モータ制御装置 1 0 0 は、位置速度推定部 1 2 0 に非線形補償器 1 2 4 を有しているので、例えば、所望の制御性能を実現するために必要な分解能よりも低い分解能のエンコーダを使用した場合又は位置センサレス制御による位置速度制御を行った場合であっても、ロバストな制御系を構成できる。また、モータ制御装置 1 0 0 は、例えば、モータ又は負

荷イナーシャを含むパラメータ設定あるいは負荷イナーシャの変動誤差が生じてもロバストな制御系を構成できる。

すなわち、モータ制御装置 100 は、位置速度推定部 120 に非線形補償器 124 を有しているため、モータモデル 128 の誤差を補償でき、ロバストな制御系を構成できる。

[0073] 次に、シミュレーション例を示し、モータ制御装置 100 について更に説明する。

モータ 12 の負荷イナーシャをモータイナーシャの 0.1 倍、3 倍、15 倍とし、それぞれ、モータの位置及び速度を推定する従来のオブザーバを有するモータ制御装置及び本実施例に係るモータ制御装置 100 について、モータ位置及び位置推定誤差を求めた。

図 5 A～図 5 C の (A) は従来のモータ制御装置による位置推定誤差を示すグラフ、(B) は同モータシステムが有するモータ制御装置による位置推定誤差を示すグラフである。各図の上段のグラフにおいて、横軸は時間 (s)、縦軸はモータ位置 (rad) を示している。各図下段のグラフにおいて、横軸は時間 (s)、縦軸は位置推定誤差 (rad) を示している。

図 5 A～図 5 C から明らかなように、モータ制御装置 100 の位置速度推定部 120 によれば、負荷イナーシャが変動した場合であっても、従来よりも位置推定誤差が低減される。

[0074] 本発明は、前述の実施例に限定されるものではなく、本発明の要旨を変更しない範囲での変更は可能である。例えば、前述の実施例や変形例の一部又は全部を組み合わせる場合も本発明の技術的範囲に含まれる。

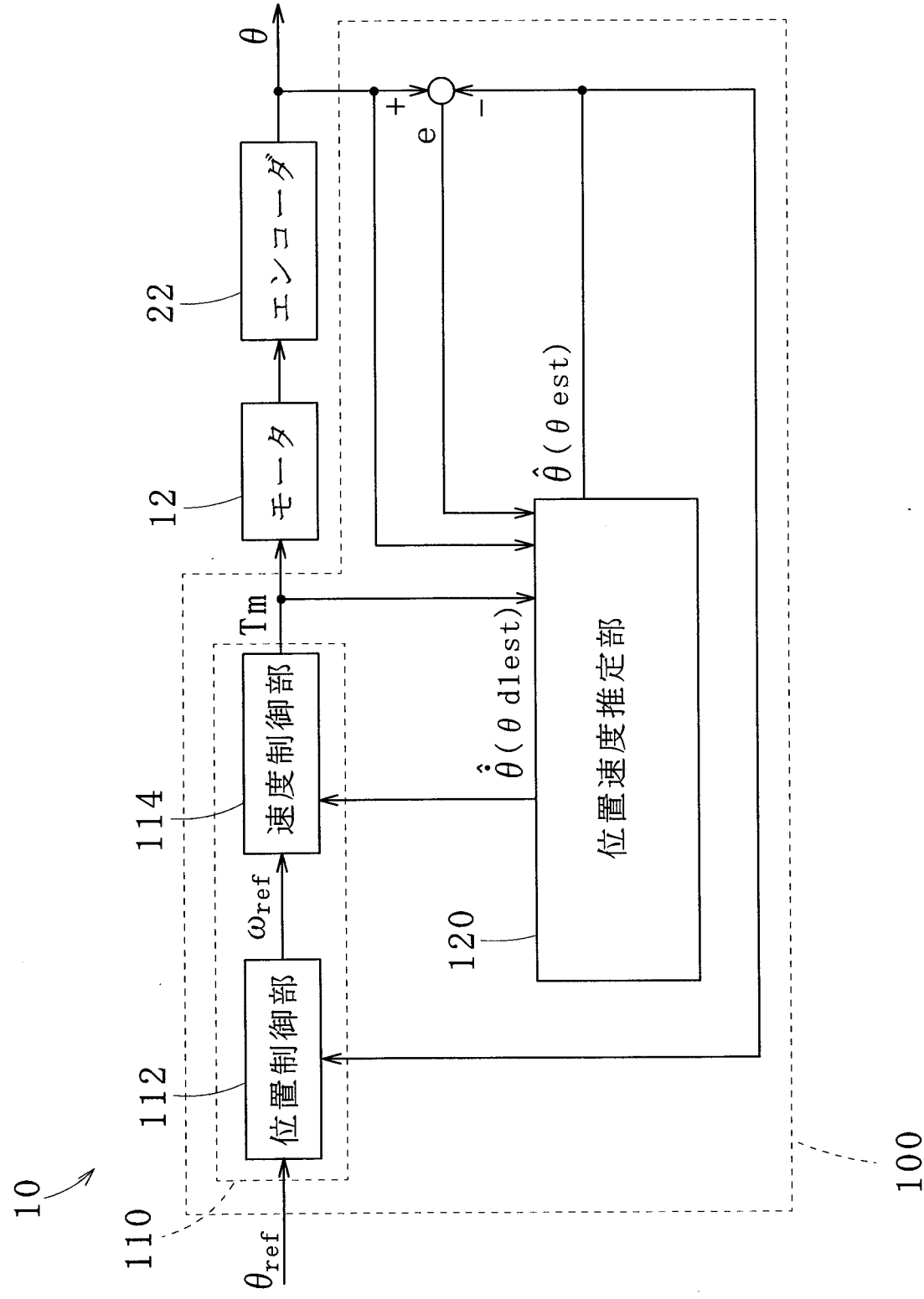
モータは、リニアモータとすることも可能である。モータがリニアモータである場合、回転型モータのトルク指令、回転速度、及び回転位置を、それぞれ推力指令、移動速度、及び移動位置に置き換えて考えることで、モータ制御装置を構成できる。

符号の説明

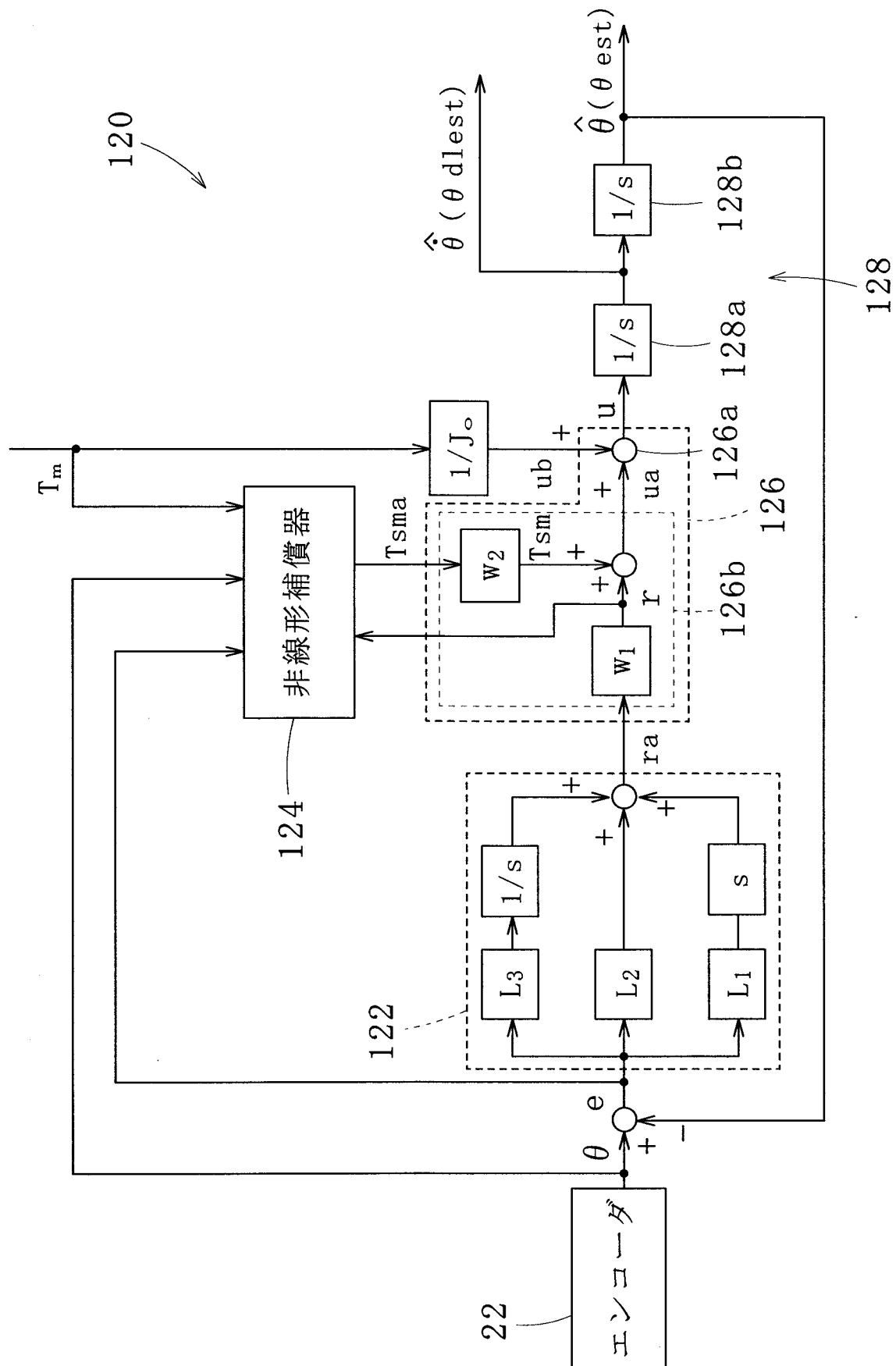
[0075] 10 : モータシステム、12 : モータ、22 : エンコーダ、100 : モータ制御装置、110 : 制御部、112 : 位置制御部、114 : 速度制御部、120 : 位置速度推定部、122 : オブザーバ修正器、124 : 非線形補償器、124a : 関数、126 : 演算器、126a : 加算部、126b : 加算配分部、128 : モータモデル、128a、128b : 積分器

- [請求項5] 請求項4記載のモータ制御装置において、
前記第1の重み定数の値は、前記第2の重み定数の値の2～3倍であるモータ制御装置。
- [請求項6] 請求項4又は5記載のモータ制御装置において、
前記オブザーバ修正器は、前記位置推定偏差に、オブザーバカットオフ周波数で決定されるオブザーバゲインを乗じ、PID制御演算により前記オブザーバ修正値を演算するモータ制御装置。
- [請求項7] 請求項4～6のいずれか1項に記載のモータ制御装置において、
前記非線形補償器は、前記モータ位置、前記位置推定偏差、前記トルク指令、及び前記オブザーバ修正値に前記第1の重み定数を乗じた乗算値が入力され、少なくとも前記乗算値の極性変化に応じて前記補償トルクを演算するモータ制御装置。
- [請求項8] 請求項1～7のいずれか1項に記載のモータ制御装置と、
前記モータ制御装置が出力するトルク指令に応じて制御されるモータと、
前記モータのモータ位置を取得する位置取得部と、を備えるモータシステム。

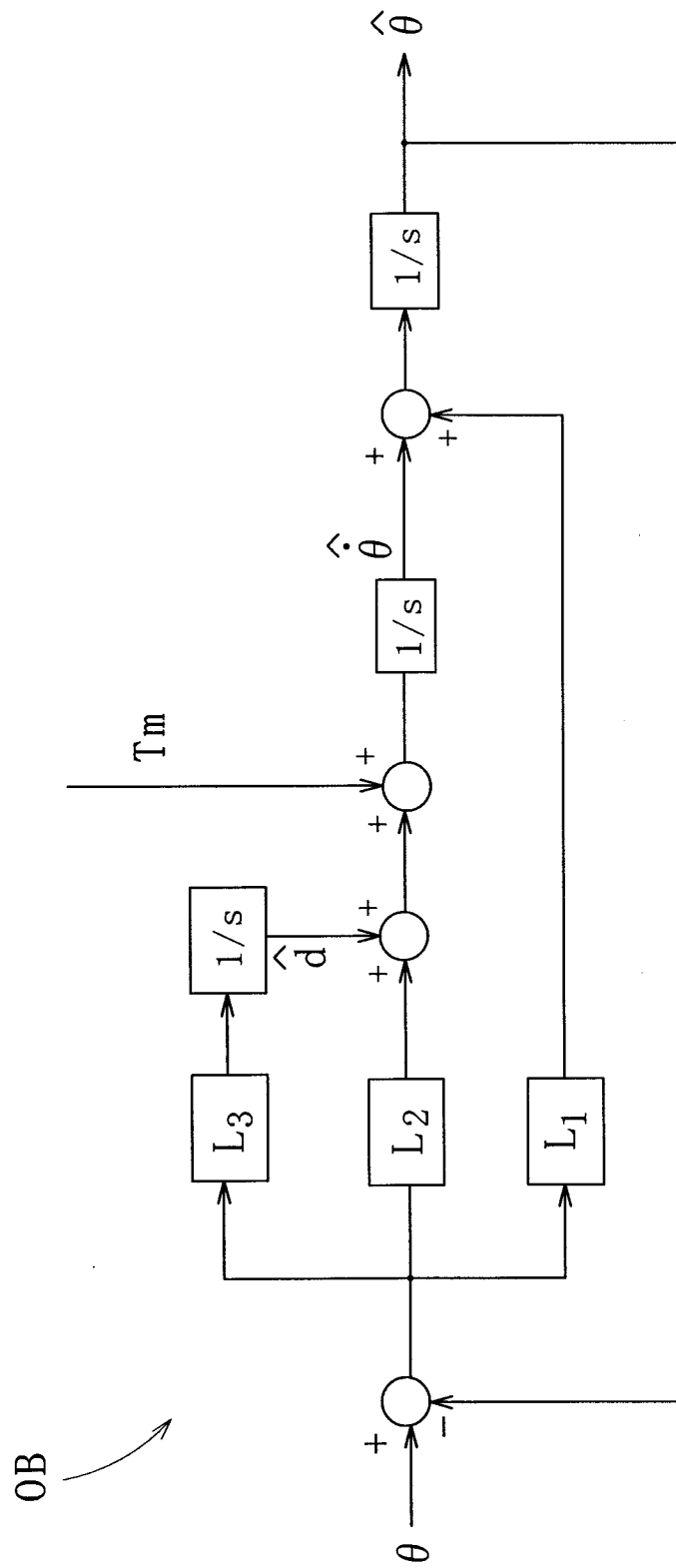
[図1]



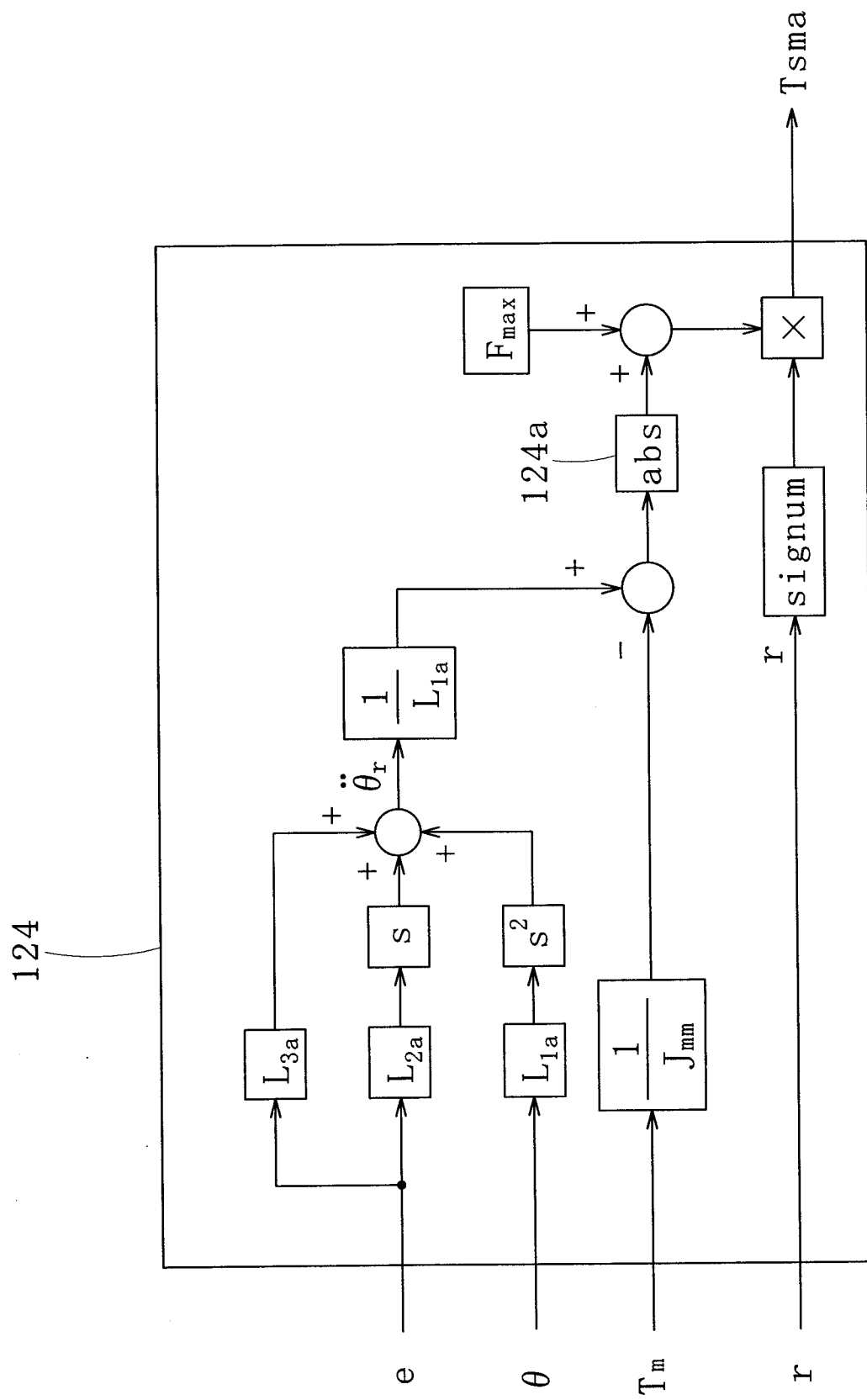
[図2]



[図3]

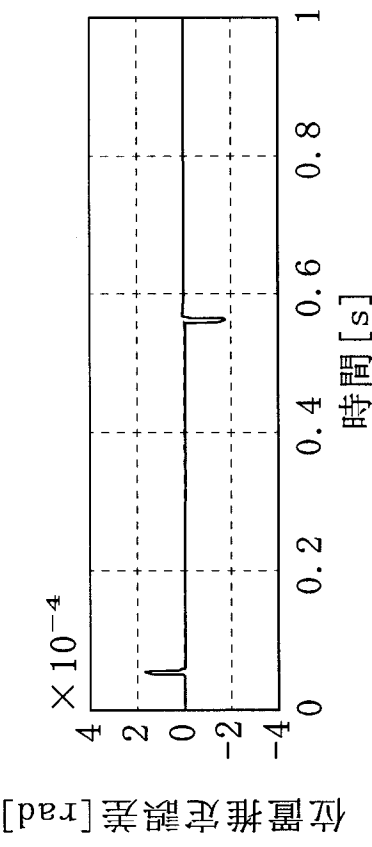
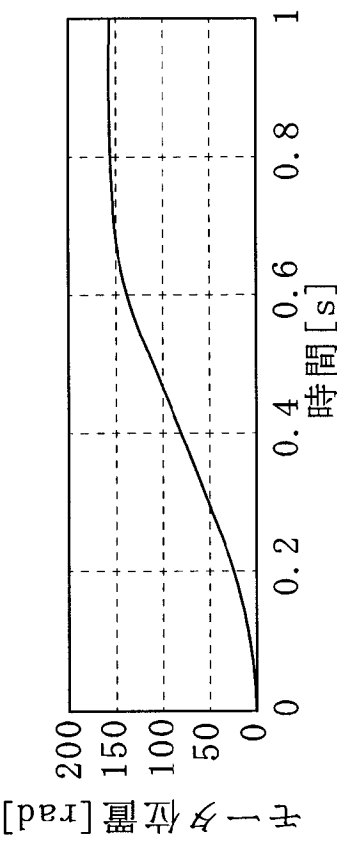


[図4]

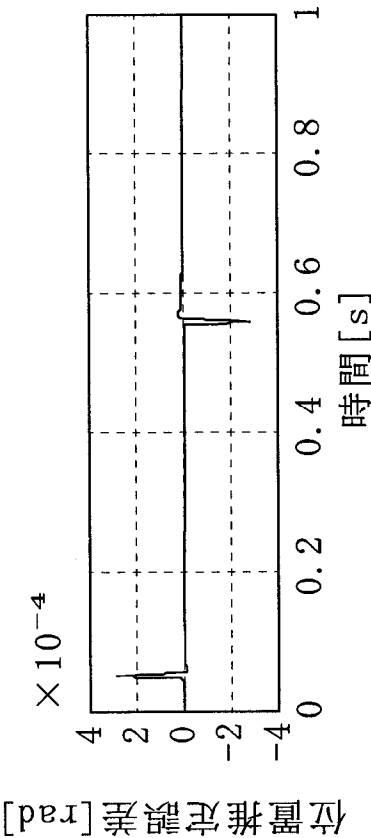
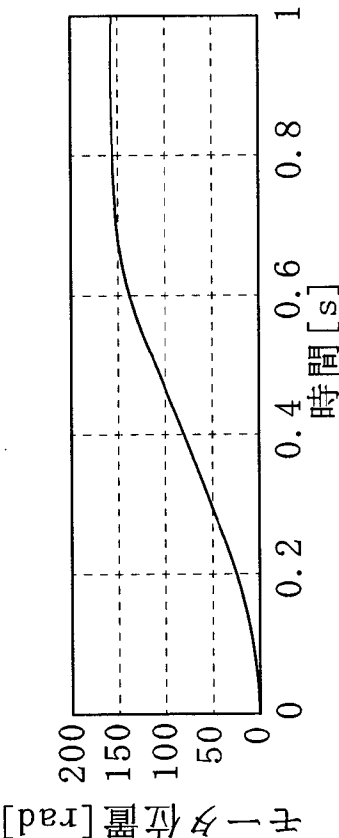


[図5A]

(B) 負荷 : 0.1倍
(オプザーバーバ0Bのカットオフ周波数 $f : 245\text{Hz}$)



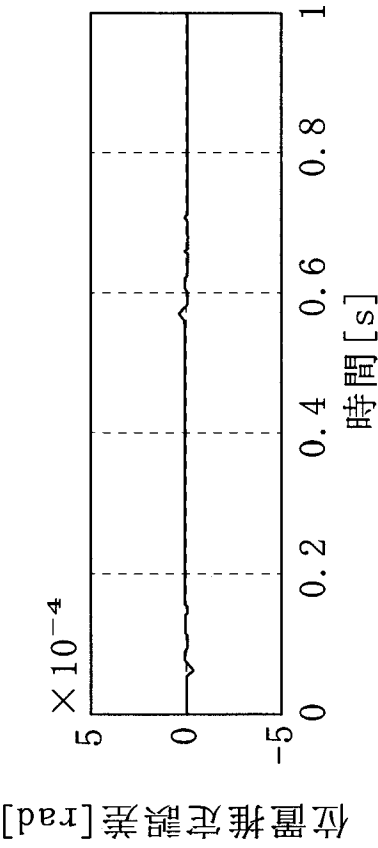
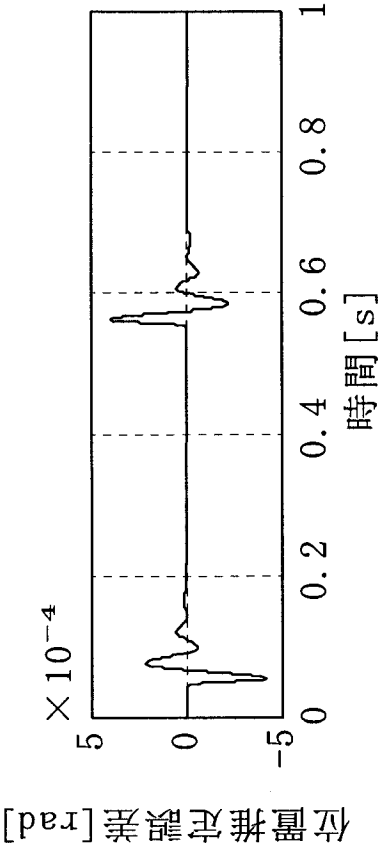
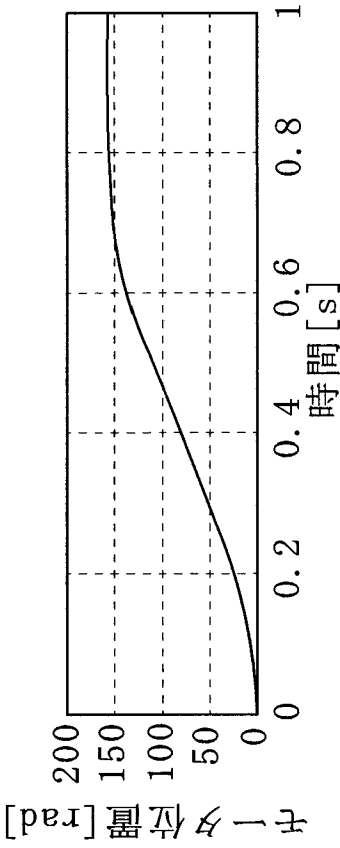
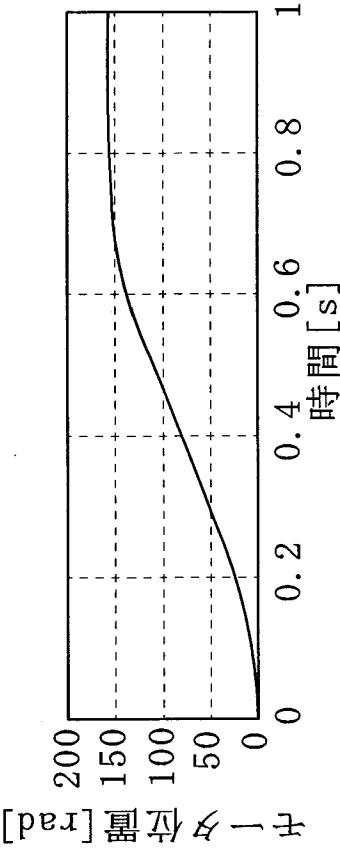
(A) 負荷 : 0.1倍
(オプザーバーバ0Bのカットオフ周波数 $f : 190\text{Hz}$)



[図5B]

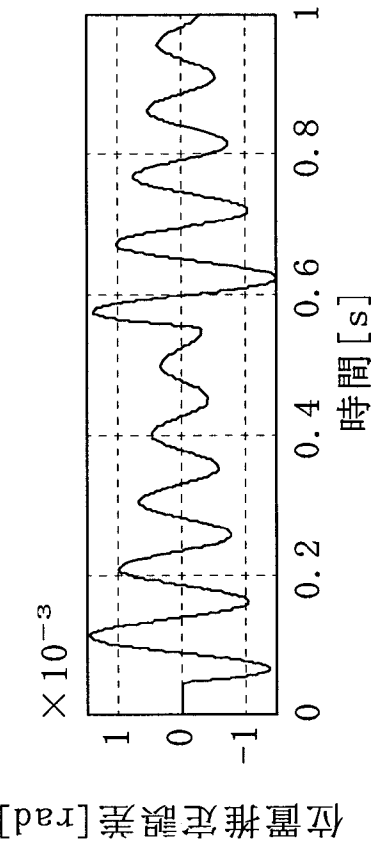
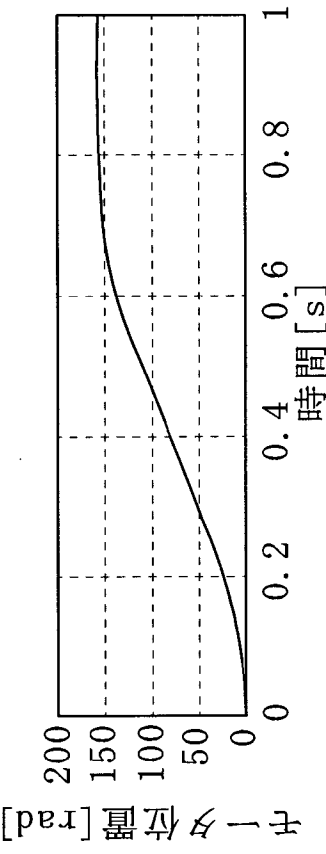
(A) 負荷 : 3倍
(オプザーバ0Bのカットオフ周波数 f : 190Hz)

(B) 負荷 : 3倍
(オプザーバ0Bのカットオフ周波数 f : 330Hz)

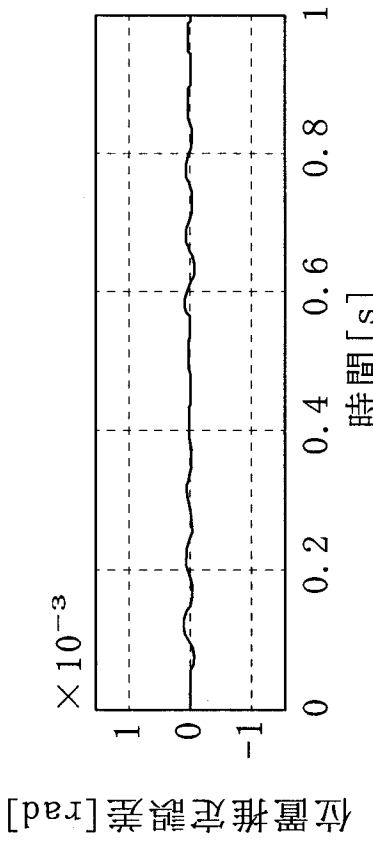
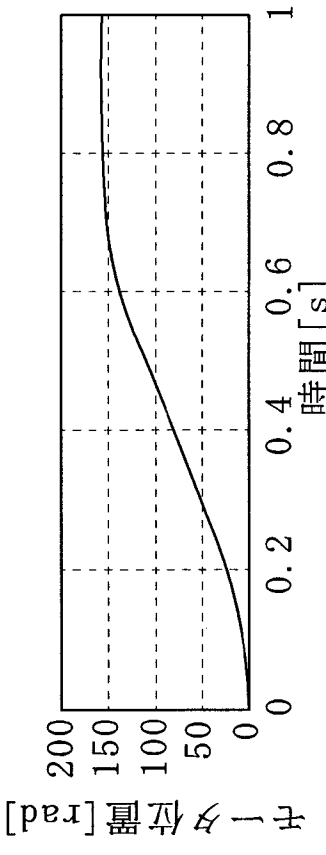


[図5C]

(A) 負荷15倍
(オプザーバOBのカットオフ周波数 f : 190Hz)



(B) 負荷15倍
(オプザーバOBのカットオフ周波数 f : 430Hz)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/067501

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P23/12 (2006.01) i, G05B13/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02P23/12, G05B13/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2006-199444 A (Mitsubishi Electric Corp.), 03 August 2006 (03.08.2006), paragraphs [0008] to [0010]; fig. 1 (Family: none)	1, 8 2-7
Y A	JP 2001-249720 A (Mitsubishi Electric Corp.), 14 September 2001 (14.09.2001), paragraph [0018] (Family: none)	1, 8 2-7
A	JP 7-261843 A (Mitsubishi Electric Corp.), 13 October 1995 (13.10.1995), paragraphs [0016] to [0046]; fig. 1 to 11 (Family: none)	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 September, 2012 (25.09.12)

Date of mailing of the international search report
09 October, 2012 (09.10.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/067501

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-195566 A (Yaskawa Electric Corp.), 27 July 2006 (27.07.2006), paragraphs [0038] to [0051]; fig. 1, 3 (Family: none)	1-8
A	JP 2009-28865 A (Panasonic Corp.), 12 February 2009 (12.02.2009), paragraphs [0060] to [0086]; fig. 1 (Family: none)	1-8
A	JP 2004-507827 A (Brooks Automation, Inc.), 11 March 2004 (11.03.2004), paragraphs [0010] to [0023]; fig. 1 & US 6567711 B1 & EP 1319201 A & WO 2002/019043 A1	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/067501

<Concerning the subject of search>

The description of claim 1 fails to specify what kind of torque a "compensating torque" is. Consequently, a "nonlinear compensator" cannot be specified either. Thus, claim 1 does not satisfy the requirement of clearness as provided for in PCT Article 6.

Since the description of claim 2 does not specify an observer configuration, what kind of observer corrector an "observer corrector" is cannot be specified. Consequently, an "observer correction value" cannot be specified either. Thus, claim 2 does not satisfy the requirement of clearness as provided for in PCT Article 6.

The description of claim 6 fails to specify the relationship between the observer gain and the PID gain. Consequently, an "observer correction value" cannot be specified. Thus, claim 6 does not satisfy the requirement of clearness as provided for in PCT Article 6.

The description of claim 7 does not specify how the "nonlinear compensator" computes the compensating torque from the polarity change of the multiplied value. Thus, claim 7 does not satisfy the requirement of clearness as provided for in PCT Article 6.

Therefore, the search relating to "compensating torque," "non-linear compensator," "observer corrector," and "observer correction value" has been made on the assumption that they are based on the configuration described in [Fig. 2].

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. H02P23/12(2006.01)i, G05B13/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02P23/12, G05B13/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2006-199444 A（三菱電機株式会社）2006.08.03, 段落【0008】－【0010】、【図1】（ファミリーなし）	1, 8 2－7
Y A	JP 2001-249720 A（三菱電機株式会社）2001.09.14, 段落【0018】（ファミリーなし）	1, 8 2－7
A	JP 7-261843 A（三菱電機株式会社）1995.10.13, 段落【0016】－【0046】、【図1】－【図11】（ファミリーなし）	1－8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

2 5 . 0 9 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

0 9 . 1 0 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

仁科 雅弘

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

3 V

4 7 5 7

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2006-195566 A (株式会社安川電機) 2006.07.27, 段落【0038】－【0051】, 【図1】, 【図3】 (ファミリーなし)	1－8
A	JP 2009-28865 A (パナソニック株式会社) 2009.02.12, 段落【0060】－【0086】, 【図1】 (ファミリーなし)	1－8
A	JP 2004-507827 A (ブルックス オートメーション インコーポレイテッド) 2004.03.11, 段落【0010】－【0023】, 【図1】 & US 6567711 B1 & EP 1319201 A & WO 2002/019043 A1	1－8

＜調査の対象について＞

請求項1の記載では、「補償トルク」がどのようなトルクなのか特定できず、その結果として、「非線形補償器」も特定できないから、請求項1はPCT第6条における明確性の要件を欠いている。

請求項2の記載では、オブザーバの構成が特定されていないために、「オブザーバ修正器」がどのようなオブザーバ修正器なのか特定できず、その結果として、「オブザーバ修正値」も特定できないから、請求項2はPCT第6条における明確性の要件を欠いている。

請求項6の記載では、オブザーバゲインと、PIDゲインとの関係が特定できず、その結果として、「オブザーバ修正値」が特定できず、請求項6はPCT第6条における明確性の要件を欠いている。

請求項7の記載では、「非線形補償器」が、乗算値の極性変化からどのようにして補償トルクが演算されるのか特定できず、請求項7はPCT第6条における明確性の要件を欠いている。

よって、「補償トルク」、「非線形補償器」、「オブザーバ修正器」、「オブザーバ修正値」、に係る調査は、これらが〔図2〕に記載されているような構成であるものとして行った。