

(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
2017年11月30日(30.11.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/203987 A1

(51) 国際特許分類:

G05B 23/02 (2006.01) G05B 19/19 (2006.01)
G05B 11/32 (2006.01) H02P 21/14 (2016.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/017827

(22) 国際出願日: 2017年5月11日(11.05.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:

特願 2016-104481 2016年5月25日(25.05.2016) JP

(71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.)
[JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目
1 6 番 5 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 加藤 義樹 (KATO Yoshiki); 〒1088215
東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業
株式会社内 Tokyo (JP). 栗屋 伊智郎 (AWAYA
Ichiro); 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6
番 5 号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 望
月 慶佑 (MOCHIZUKI Keisuke); 〒1088215 東

京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 三菱重工業株
式会社内 Tokyo (JP). 法山 敬一 (NORIYAMA
Keiichi); 〒5203080 滋賀県栗東市六地藏 1 3 0
番地 三菱重工工作機械株式会社内 Shiga (JP).
倉本 博久 (KURAMOTO Hirohisa); 〒5203080
滋賀県栗東市六地藏 1 3 0 番地 三菱重工
工作機械株式会社内 Shiga (JP).

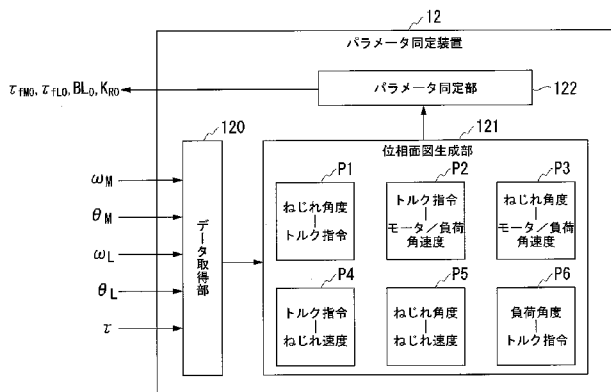
(74) 代理人: 森 隆 一 郎, 外 (MORI Ryuichirou et
al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一
丁目 9 番 2 号 Tokyo (JP).

(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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA,
RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,

(54) Title: PARAMETER IDENTIFICATION DEVICE, MOTOR CONTROL SYSTEM, PARAMETER IDENTIFICATION METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: パラメータ同定装置、モータ制御システム、パラメータ同定方法及びプログラム

[図6]



- 12... PARAMETER IDENTIFICATION DEVICE
- 120... DATA ACQUISITION UNIT
- 121... PHASE PLANE DIAGRAM GENERATOR
- 122... PARAMETER IDENTIFICATION UNIT
- P1... TWIST ANGLE - TORQUE COMMAND
- P2... TORQUE COMMAND - MOTOR/LOAD ANGULAR VELOCITY
- P3... TWIST ANGLE - MOTOR/LOAD ANGULAR VELOCITY
- P4... TORQUE COMMAND - TWIST VELOCITY
- P5... TWIST ANGLE - TWIST VELOCITY
- P6... LOAD ANGLE - TORQUE COMMAND

(57) Abstract: A parameter identification device (12) is provided with: a data acquisition unit (120) for acquiring a torque τ relating to a motor, actual-measurement data of the angle $\theta_{(M)}$ and angular velocity $\omega_{(M)}$ of the motor, and actual-measurement data of the angle $\theta_{(L)}$ and angular velocity $\omega_{(L)}$ of a load; a phase plane diagram generator (121) for generating a plurality of phase plane diagrams on the basis of each type of acquired actual measurement data; and a parameter identification unit for identifying, on the basis of the generated plurality of phase plane diagrams, model parameters ($\tau_{(FM0)}$, $\tau_{(FL0)}$, (BL_0) , (KR_0)) indicating the friction of the motor, the friction of the load, the rigidity of a connecting member, and the dead-zone width of the connecting member.

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, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: パラメータ同定装置(12)は、モータに対するトルク τ と、モータの角度 $\theta_{(M)}$ 及び角速度 $\omega_{(M)}$ の実測データと、負荷の角度 $\theta_{(L)}$ 及び角速度 $\omega_{(L)}$ の実測データと、を取得するデータ取得部(120)と、取得された各種実測データに基づいて複数の位相面図を生成する位相面図生成部(121)と、生成された複数の位相面図に基づいて、モータの摩擦、負荷の摩擦、連結部材の剛性、及び、連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータ($\tau_{(fM0)}$ 、 $\tau_{(fL0)}$ 、 (BL_0) 、 (KR_0))を同定するパラメータ同定部と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

パラメータ同定装置、モータ制御システム、パラメータ同定方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、パラメータ同定装置、モータ制御システム、パラメータ同定方法及びプログラムに関する。

本願は、2016年5月25日に日本に出願された特願2016-104481号について優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 負荷を駆動させるモータの制御系（モータ制御システム）の設計において制御性能を向上させるためにはフィードバック制御では限界があり、指令信号に対する応答特性が高いフィードフォワード制御を行う必要がある。また、フィードフォワード制御を実現するためには、制御システム側が、制御対象（即ち、モータ及び負荷を有する機械系）を模したモデルの逆モデルを持つ必要があるが、このフィードフォワード制御用のモデルと実際の制御対象の特性との間に誤差があると、制御性能の向上は図れない。

[0003] したがって、制御性能の高いフィードフォワード制御を実現するためには、制御対象を正確に模したモデルを得る必要がある。ここで、当該モデルをなすモデルパラメータである制御対象全体の慣性モーメント J 、粘性係数 D 及びクーロン摩擦係数 τ_f は、制御対象全体を一慣性系モデルとして模した場合に、所定のエラーシステムによって算出される誤差信号とその内部信号とに基づいて同定することが可能である。

[0004] また、特許文献1では、モデルパラメータの推定手段として、変位－変形量の位相面図（ロストモーション補正モデル）から、剛性と飽和時の摩擦の大きさを推定し、ロストモーション補正量を算出する方法が開示されている。

また、特許文献2では、取り付け時の測定、力測定器測定による力と変位の関係の測定結果から、各モデルパラメータを求め、ロストモーション補正のタイミングに使用する方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平8－152910号公報

特許文献2：特開2002－023852号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 実際の制御対象（モータ及び負荷を有する機械系）は、モータから負荷への動力の伝達系に、剛性が弱くガタ（不感帯）がある部分（連結部材）を有している場合がある。このような制御対象は、上記剛性が弱くガタを有している部分を境界として、モータ側と負荷側とに分けてなる2慣性系モデルを採用することでより正確なモデルを構築することができる。

[0007] ここで、正確な2慣性系モデルを構築するためには、モータ側と負荷側とに別個独立して存在する摩擦、及び、上記境界における剛性及びガタを精度良く同定する必要がある。

しかしながら、上述した例では、モータ側の摩擦、負荷側の摩擦の各々を独立して同定することはできず、また、伝達系における剛性、ガタの特性も考慮されていない。したがって、制御対象を正確に模したモデルを得ることができず、そのため、制御性能の高い制御システムを実現することが困難であった。

[0008] 本発明の目的は、上記課題に鑑みてなされたものであって、モータ及び負荷を有する機械系を精度よく模したモデルを得ることができるパラメータ同定装置、モータ制御システム、パラメータ同定方法及びプログラムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一態様によれば、パラメータ同定装置は、モータと負荷とが連結部材にて連結されてなる機械系を模した2慣性系モデルのモデルパラメータを同定するパラメータ同定装置であって、前記モータに対するトルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、を取得するデータ取得部と、取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、に基づいて複数の位相面図を生成する位相面図生成部と、生成された複数の前記位相面図に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定するパラメータ同定部と、を備える。

[0010] また、本発明の一態様によれば、前記位相面図生成部は、前記位相面図として、前記トルク指令値と前記連結部材のねじれ速度との関係を示すトルク－ねじれ速度位相面図を生成し、前記パラメータ同定部は、前記トルク－ねじれ位相面図における折れ点の位置に基づいて前記モータの摩擦を示すモデルパラメータを同定する。

[0011] また、本発明の一態様によれば、前記位相面図生成部は、前記位相面図として、前記連結部材のねじれ角度と前記連結部材のねじれ速度との関係を示すねじれ角度－ねじれ速度位相面図を生成し、前記パラメータ同定部は、前記ねじれ角度－ねじれ速度位相面図における折れ点の位置に基づいて前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定する。

[0012] また、本発明の一態様によれば、前記位相面図生成部は、前記位相面図として、前記トルク指令値と、前記モータの角速度及び前記負荷の角速度のうちの少なくとも何れか一つとの関係を示すトルク－機械角速度位相面図を生成し、前記パラメータ同定部は、前記トルク－機械角速度位相面図における折れ点の位置に基づいて前記負荷の摩擦を示すモデルパラメータを同定する。

[0013] また、本発明の一態様によれば、前記位相面図生成部は、前記位相面図と

して、前記負荷の角度と前記トルク指令値との関係を示す負荷角度－トルク位相面図を生成し、前記パラメータ同定部は、前記負荷角度－トルク位相面図における折れ点の位置に基づいて前記負荷の摩擦を示すモデルパラメータを同定する。

[0014] また、本発明の一態様によれば、前記位相面図生成部は、前記位相面図として、前記連結部材のねじれ角度と前記トルク指令値との関係を示すねじれ角度－トルク位相面図を生成し、前記パラメータ同定部は、前記ねじれ角度－トルク位相面図における折れ点の位置に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅のうちの少なくとも何れか一つを示すモデルパラメータを同定する。

[0015] また、本発明の一態様によれば、前記トルク指令値、前記モータの角度、及び、前記負荷の角度の実測データに基づいて、前記2慣性系モデルのうちモータ側のモデルの、前記モータに対する誤差の度合いを示すモータ側誤差信号を出力するモータ側エラーシステムと、前記モータの角度、及び、前記負荷の角度の実測データに基づいて、前記2慣性系モデルのうち負荷側のモデルの、前記負荷に対する誤差の度合いを示す負荷側誤差信号を出力する負荷側エラーシステムと、を更に備え、前記パラメータ同定部は、前記モータ側誤差信号を入力して、少なくとも前記モータの慣性モーメント及び粘性係数を示すモデルパラメータを同定し、かつ、前記負荷側誤差信号を入力して、少なくとも前記負荷の慣性モーメント及び粘性係数を示すモデルパラメータを同定する。

[0016] また、本発明の一態様によれば、前記パラメータ同定部は、前記機械系が行う反復動作の振幅及び周波数が相対的に小振幅かつ低周波数の場合に取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定し、前記機械系が行う反復動作の振幅及び周波数が相対的に大振幅かつ高周波数の場合に取得された前記トルク指令値と、

前記モータの角度の実測データと、前記負荷の角度の実測データと、に基づいて、前記モータの慣性モーメント及び粘性係数を示すモデルパラメータ、及び、前記負荷の慣性モーメント及び粘性係数を示すモデルパラメータを同定する。

[0017] また、本発明の一態様によれば、パラメータ同定装置は、モータと負荷とが連結部材にて連結されてなる機械系を模した2慣性系モデルのモデルパラメータを同定するパラメータ同定装置であって、前記モータに対するトルク指令値と、前記モータの角度の実測データと、前記負荷の角度の実測データと、を取得するデータ取得部と、取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度の実測データと、前記負荷の角度の実測データと、に基づいて、前記連結部材のねじれ角度と前記トルク指令値との関係を示すねじれ角度ートルク位相面図を生成する位相面図生成部と、生成された前記ねじれ角度ートルク位相面図に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定するパラメータ同定部と、を備える。

[0018] また、本発明の一態様によれば、モータ制御システムは、上述に記載のパラメータ同定装置と、前記負荷の目標とする角度に対する現在の角度の偏差に基づいて、前記トルク指令値を算出するフィードバック制御部と、前記パラメータ同定装置によって同定された前記モデルパラメータに基づいて、前記トルク指令値を算出するフィードフォワード制御部と、を備える。

[0019] また、本発明の一態様によれば、パラメータ同定方法は、モータと負荷とが連結部材にて連結されてなる機械系を模した2慣性系モデルのモデルパラメータを同定するパラメータ同定方法であって、前記モータに対するトルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、を取得するステップと、取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、に基づいて複数の位相面図を生成するステップと、生成された複数の前記位相面図に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の

摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定するステップと、を有する。

[0020] また、本発明の一態様によれば、プログラムは、モータと負荷とが連結部材にて連結されてなる機械系を模した2慣性系モデルのモデルパラメータを同定するパラメータ同定装置のコンピュータを、前記モータに対するトルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、を取得するデータ取得部、取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、に基づいて複数の位相面図を生成する位相面図生成部、生成された複数の前記位相面図に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定するパラメータ同定部、として機能させる。

発明の効果

[0021] 上述のパラメータ同定装置、モータ制御システム、パラメータ同定方法及びプログラムによれば、モータ及び負荷を有する機械系を精度よく模したモデルを得ることができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]第1の実施形態に係るモータ制御システムが制御対象とする機械系の概要を示す図である。

[図2]第1の実施形態に係る機械系のブロック線図を示す図である。

[図3]第1の実施形態に係る機械系のモータ側及び負荷側の摩擦特性を説明する図である。

[図4]第1の実施形態に係る機械系の連結部材における不感帯の特性を説明する図である。

[図5]第1の実施形態に係るモータ制御システムの機能構成を示す図である。

[図6]第1の実施形態に係るパラメータ同定装置の機能構成を示す図である。

[図7]第1の実施形態に係るパラメータ同定装置の処理フローを示す図である。

[図8]第1の実施形態に係るパラメータ同定装置の処理を説明する図である。

[図9]第1の実施形態に係る複数の位相面図を説明する第1の図である。

[図10]第1の実施形態に係る複数の位相面図を説明する第2の図である。

[図11]第1の実施形態に係る複数の位相面図を説明する第3の図である。

[図12]第1の実施形態に係る複数の位相面図を説明する第4の図である。

[図13]第1の実施形態に係る複数の位相面図を説明する第5の図である。

[図14]第1の実施形態に係る複数の位相面図を説明する第6の図である。

[図15]第2の実施形態に係るパラメータ同定装置の機能構成を示す図である。

[図16]第2の実施形態に係るモータ側エラースystem及び負荷側エラースystemの処理を説明する第1の図である。

[図17]第2の実施形態に係るモータ側エラースystem及び負荷側エラースystemの処理を説明する第2の図である。

[図18]第2の実施形態に係るモータ側エラースystem及び負荷側エラースystemの処理を説明する第3の図である。

[図19]第2の実施形態に係るパラメータ同定装置の処理フローを示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] <第1の実施形態>

以下、第1の実施形態に係るモータ制御システムについて、図1～図14を参照しながら詳細に説明する。

[0024] 図1は、第1の実施形態に係るモータ制御システムが制御対象とする機械系の概要を示す図である。

図1に示すように、第1の実施形態に係るモータ制御システム1は、モータ20と、負荷21と、モータ20及び負荷21を機械的に連結する軸22（連結部材）と、を有してなる機械系2の動作を制御するシステムである。ここで、本実施形態において、モータ20は、内部に回転角度、回転速度を検出可能な回転検出器（エンコーダ）を有し、精密な位置決めを実現可能な

サーボモータである。また、本実施形態において、軸 2 2 は、例えば、ボールねじ、ギア等の剛性要素、ガタ要素を有する部材である。

[0025] 図 1 に示すように、モータ制御システム 1 は、図示しない上位機器（ホストコントローラ）から負荷 2 1 の目標回転角度（以下、「目標角度 θ_t 」と記載。）を示す角度指令値を受け付ける。そして、モータ制御システム 1 は、受け付けた目標角度 θ_t に応じてモータ 2 0 に発生すべきトルク τ を算出し、当該トルク τ を示すトルク指令値を出力する。モータ 2 0 は、受け付けたトルク指令値に基づいてトルク τ で回転駆動し、そのトルク τ がモータ 2 0 側から負荷 2 1 側へと軸 2 2 を通じて伝達する。その結果、伝達されたトルク τ' に応じて負荷 2 1 が回転駆動する。このようにして、モータ制御システム 1 により、負荷 2 1 の回転角度 θ_L が所望の目標角度 θ_t に一致するような制御が実現される。

[0026] 本実施形態に係るモータ制御システム 1 は、いわゆるクローズドシステムであって、モータ 2 0 の回転速度（角速度）と、負荷 2 1 の回転角度と、を示す実測データを入力し、これらの実測データに基づいてフィードバック制御を行う。

なお、以下の説明において、モータ 2 0 の回転速度（角速度）を「モータ角速度 ω_M 」とも記載し、モータ 2 0 の回転角度を「モータ角度 θ_M 」とも記載する。また、負荷 2 1 の回転速度（角速度）を「負荷角速度 ω_L 」とも記載し、負荷 2 1 の回転角度を「負荷角度 θ_L 」とも記載する。

また、モータ制御システム 1 は、更に、機械系 2 を 2 慣性系と見なして模した 2 慣性系モデル（後述）を予め有しており、当該 2 慣性系モデルに基づくフィードフォワード制御を行う。

なお、機械系 2 における負荷 2 1 が、回転系ではなく直動系の負荷（テーブル負荷等）の場合、負荷 2 1 に対する制御対象パラメータは、厳密には“角度”、“角速度”ではなく、“位置”、“速度”となる。しかし、この場合、モータ制御システム 1 は、2 慣性系として、モータ 2 0 の“角度”、“角速度”と同じ次元で取り扱うために、負荷の“位置”、“速度”を、モータ

タ軸換算値としての“角度”、“角速度”に逐次変換して各種制御を行う。

[0027] 機械系 2 を 2 慣性系と見なした場合において、機械系 2 固有の特性を表すパラメータ群は、モータ 20 側の特性を示すパラメータ、負荷 21 側の特性を示すパラメータ、及び、モータ 20 と負荷 21 とを機械的に連結して動力を伝達する軸 22（連結部材）の特性を示すパラメータに大別される。具体的には、モータ 20 側の特性を示すパラメータとして、モータ側慣性モーメント J_M 、モータ側粘性係数 D_M 、モータ側摩擦係数 τ_{fM} がある。また、負荷 21 側の特性を示すパラメータとして、負荷側慣性モーメント J_L 、負荷側粘性係数 D_L 、負荷側摩擦係数 τ_{fL} がある。更に、軸 22 の特性を示すパラメータとして、ねじれ剛性係数 K_R 、ねじれ粘性係数 D_R 、不感帯幅 B_L がある。

[0028] （2 慣性系モデルの概要）

図 2 は、第 1 の実施形態に係る機械系のブロック線図を示す図である。

本実施形態に係る機械系 2（図 1 参照）をモータ 20、負荷 21 及び軸 22 からなる 2 慣性系と見なすことで、当該機械系 2 における入力と出力の関係を、図 2 に示すような伝達関数を用いたブロック線図で表すことができる。

[0029] 図 2 に示すように、モータ 20 は、モータ制御システム 1（図 1）から受け付けたトルク指令値に基づいて発生させたトルク τ を入力とし、モータ角速度 ω_M 及びモータ角度 θ_M を出力とする。モータ 20 に入力されたトルク τ は、モータ 20 に生じる摩擦であるモータ側摩擦係数 τ_{fM} 、及び、軸 22 を通じて負荷 21 に伝達するトルク τ' が差し引かれた後、伝達要素 $1 / (J_M s + D_M)$ を通じてモータ角速度 ω_M に変換され、更に伝達要素 $1 / s$ を通じてモータ角度 θ_M に変換される。

ここで、モータ側摩擦係数 τ_{fM} は、モータ 20 の速度反転時（モータ角速度 ω_M の符号反転時）に符号のみが反転するクーロン摩擦成分だけでなく、モータ 20 の速度反転後の変位（モータ角速度 ω_M のゼロからの積分値）に依存して非線形に変化する非線形摩擦成分を含んでいる。モータ側摩擦係数 τ_{fM} は、この非線形摩擦成分をモデル化して規定し、モータ角速度 ω_M を入力変数

とするモータ側摩擦関数 G_M を通じて得られる。モータ側摩擦関数 G_M の詳細については後述する。

[0030] 同様に、負荷 21 は、モータ 20 から軸 22 を通じて伝達されたトルク τ' ($= (K_R + D_R s) (\theta_M - \theta_L - B K L S)$) を入力とし、負荷角速度 ω_L 及び負荷角度 θ_L を出力とする。負荷 21 に入力されたトルク τ' は、負荷 21 に生じる摩擦である負荷側摩擦係数 τ_{fL} が差し引かれた後、伝達要素 $1 / (J_L s + D_L)$ を通じて負荷角速度 ω_L に変換され、更に伝達要素 $1 / s$ を通じて負荷角度 θ_L に変換される。

ここで、負荷側摩擦係数 τ_{fL} も同様に、負荷 21 の速度反転後の変位（負荷角速度 ω_L のゼロからの積分値）に依存して非線形に変化する非線形摩擦成分を含んでいる。負荷側摩擦係数 τ_{fL} は、この非線形摩擦成分をモデル化して規定し、負荷角速度 ω_L を入力変数とする負荷側摩擦関数 G_L を通じて得られる。負荷側摩擦関数 G_L の詳細については後述する。

[0031] なお、機械系 2 をなすモータ 20 及び負荷 21 には、それぞれ、図示しない回転検出器（エンコーダ）が設置されている。モータ制御システム 1 は、当該回転検出器を通じて、モータ角度 θ_M 、負荷角度 θ_L の経時的变化を示す実測データ、及び、これらの時間微分より導出可能なモータ角速度 ω_M 、負荷角速度 ω_L の経時的变化を示す実測データを取得する。

[0032] また、図 2 に示すように、軸 22 は、モータ角度 θ_M と負荷角度 θ_L との偏差（以下、「ねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) 」とも記載する。）を入力とし、ねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) に応じたトルク τ' を出力とする伝達系である。入力されたねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) は、不感帯（ガタ）における非線形性を表す不感帯特性関数 F_1 と、伝達要素 K_R 及び伝達要素 $D_R s$ と、を通じて、モータ 20 及び負荷 21 に印加されるトルク τ' に変換される。

ここで、不感帯特性関数 F_1 とは、軸 22 のねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) を入力変数とし、当該ねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) からガタ変位 $B K L S$ を差し引いたものを出力する非線形関数である。不感帯特性関数 F_1 の詳細については後述する。

また、ねじれ剛性係数 K_R とは、軸22のねじれ方向についての剛性の度合いを示すパラメータであって、軸22のばね定数に相当する。即ち、ねじれ剛性係数 K_R は、負荷21に印加されるトルク τ' のうち、軸22のねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ に比例する成分を与える。

また、ねじれ粘性係数 D_R とは、軸22のねばりの度合いを示すパラメータであって、負荷21に印加されるトルク τ' のうち、軸22におけるモータ角速度 ω_M と負荷角速度 ω_L との偏差（以下、「ねじれ速度 $(\omega_M - \omega_L)$ 」とも記載する。）に比例する成分を与える。

[0033] 図2に示す機械系2において、モータ側慣性モーメント J_M 、モータ側粘性係数 D_M 、モータ側摩擦係数 τ_{fM} 、負荷側慣性モーメント J_L 、負荷側粘性係数 D_L 、負荷側摩擦係数 τ_{fL} 、ねじれ剛性係数 K_R 、ねじれ粘性係数 D_R 及び不感帯幅 B_L は、機械系2の現実の特性を表すパラメータ群であり、いずれも個別には観測が困難な未知のパラメータである。

一方、機械系2についての入力であるトルク τ 、及び、出力であるモータ角速度 ω_M 、モータ角度 θ_M 、負荷角速度 ω_L 及び負荷角度 θ_L は、上述の回転検出器を通じて観測可能なパラメータである。

[0034] 図3は、第1の実施形態に係る機械系のモータ側及び負荷側の摩擦特性を説明する図である。

図3の(a)は、モータ側摩擦係数 τ_{fM} 及び負荷側摩擦係数 τ_{fL} の各々に生じる非線形摩擦特性を示すグラフである。

良く知られているクーロン摩擦は、物体の速度（モータ角速度 ω_M 、負荷角速度 ω_L ）の方向（正、負の符号）に依存してその方向（正、負の符号）のみが変化し、その量は、速度 (ω) 、変位 (θ) に対しては変動しないものとして知られている。しかしながら、軸22において、例えば、ボールねじ、ボールベアリング等の転がり要素が含まれる場合には、通常のクーロン摩擦とは特性が異なる“転がり摩擦”を考慮する必要がある。

ここで、転がり摩擦は、速度反転直後の転がり要素が転動しない“微動領域”においては、速度反転後の変位（モータ角速度 ω_M 、負荷角速度 ω_L のゼ

口からの積分値)によって見かけのばね定数が動的に変化する非線形ばね特性を有しており、図3の(a)に示すようなヒステリシスカーブを描く。これは、転がり要素と軌道面の接触部における弾性変形やすべりによるものと考えられている。

また、転がり要素が有効に転動する“粗動領域”においては、クーロン摩擦により摩擦の速度に対する静的特性を示す。即ち、図3の(a)に示すように、モータ20の摩擦(モータ側摩擦係数 τ_{fM})は、速度反転後の変位が所定以上となった時点で、モータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc} で飽和する。また、負荷21の摩擦(負荷側摩擦係数 τ_{fL})は、速度反転後の変位が所定以上となった時点で、負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc} で飽和する。

[0035] 本実施形態においては、モータ側摩擦特性関数 G_M 及び負荷側摩擦特性関数 G_L は、図3の(a)に示す非線形摩擦特性を折れ線近似してなるGMSモデルに基づいて規定される。ここで、GMSモデルとは、N個の特性の異なるブロック(転がり要素)とばねとが並列に接続されている状態を模したものである。図3の(b)に示すグラフ(折れ線)を構成する複数の直線の各々が、N個のブロックのうちのいくつまでが転がりきっている(有効に転動している)状態か、を表現している。

図3の(b)に示すように、モータ側摩擦特性関数 G_M は、変位 $0 \sim \theta_1$ 、 $\theta_1 \sim \theta_2$ 、 $\theta_2 \sim \theta_3$ 、 $\theta_3 \sim \theta_4$ の各々において採用すべき折れ線を規定する傾き K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、及び、オフセット(変位0における切片) τ_{fM1} ($= -\tau_{fMc}$)、 τ_{fM2} 、 τ_{fM3} 、 τ_{fM4} 、 τ_{fM5} ($= \tau_{fMc}$)によって規定される。

なお、図示を省略するが、負荷側摩擦特性関数 G_L も、図3の(b)に示すモータ側摩擦特性関数 G_M と同様に規定される。

[0036] 図4は、第1の実施形態に係る機械系の連結部材における不感帯の特性を説明する図である。

[0037] 図4の(a)に示す不感帯特性関数 F_1 は、モータ20と負荷21との間に設けられた軸22の“遊び”(不感帯)の幅を示す不感帯幅 B_L に基づく

伝達特性を表している。

不感帯特性関数 F_1 は、不感帯幅 B_L に依存する非線形特性であって、軸 22 のねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ を入力変数とする。図 4 の (a) に示すように、軸 22 のねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ の絶対値が不感帯幅 B_L 以下の場合 ($-B_L \leq \theta_M - \theta_L \leq +B_L$)、ガタ出力はゼロとなる。即ち、この場合、モータ 20 から負荷 21 へトルクが伝達されない。他方、軸 22 のねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ の絶対値が不感帯幅 B_L よりも大きい場合 ($\theta_M - \theta_L < -B_L$, $\theta_M - \theta_L > +B_L$)、ガタ出力は、ねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ から不感帯幅 B_L だけ小さい値 ($\theta_M - \theta_L + B_L$ ($\theta_M - \theta_L < -B_L$)、又は、 $\theta_M - \theta_L - B_L$ ($\theta_M - \theta_L > +B_L$)) となる。

[0038] また、図 4 の (b) に示すガタ変位関数 F_1' は、ガタ変位 B_{KLS} とねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ との関係をしている。

ガタ変位 B_{KLS} は、不感帯幅 B_L ($-B_L \sim +B_L$) の幅を有する不感帯における変位量を示すパラメータであって、ねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ に対し、図 4 の (b) に示すような特性を有している。即ち、図 4 の (a) に示すガタ出力は、ガタ変位 B_{KLS} を用いて “ $\theta_M - \theta_L - B_{KLS}$ ” と表すことができる。

図 4 の (b) に示すように、ガタ変位 B_{KLS} は、ねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ が不感帯の最小値 ($-B_L$) よりも小さい範囲では、ガタ変位 B_{KLS} は最小値 ($-B_L$) をとり、ねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ が不感帯の最大値 ($+B_L$) よりも大きい範囲では、ガタ変位 B_{KLS} は最大値 ($+B_L$) をとる。また、ねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ が不感帯の最小値 ($-B_L$) 以上かつ最大値 ($+B_L$) 以下の範囲においては、ガタ変位 B_{KLS} は、ねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ と同一の値を有する特性となる。

[0039] (機能構成)

図 5 は、第 1 の実施形態に係るモータ制御システムの機能構成を示す図である。

図 5 に示すように、第 1 の実施形態に係るモータ制御システム 1 は、フィ

ードバック制御部 10 と、フィードフォワード制御部 11 と、パラメータ同定装置 12 と、を備えている。

[0040] フィードバック制御部 10 は、回転検出器を通じて観測されるモータ角速度 ω_M と、角度指令値により指定される負荷 21 の目標角度 θ_t 及び観測される現在の負荷角度 θ_L の偏差 ($\theta_t - \theta_L$) と、に基づいて、モータ 20 の制御を行う。

具体的には、フィードバック制御部 10 は、目標角度 θ_t と負荷角度 θ_L との偏差 ($\theta_t - \theta_L$) をゼロとするためのトルクを算出し、その算出結果を示すトルク指令値を出力する。その際、フィードバック制御部 10 は、回転検出器を通じて観測されたモータ角速度 ω_M を参照して、適切かつ迅速なフィードバック制御がなされるようなトルクを算出する。

[0041] フィードフォワード制御部 11 は、機械系 2 を模した 2 慣性系モデル MOD を内部に有している。この 2 慣性系モデル MOD は、複数のモデルパラメータ群からなり、図 2 に示す機械系 2 の逆モデルとなるように構成されている。

具体的には、複数のモデルパラメータ群とは、モデルモータ側慣性モーメント J_{M0} 、モデルモータ側粘性係数 D_{M0} 、モデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0} 、モデル負荷側慣性モーメント J_{L0} 、モデル負荷側粘性係数 D_{L0} 、モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0} 、モデル不感帯幅 B_{L0} 、及び、モデルねじれ剛性係数 K_{R0} である。

[0042] 2 慣性系モデル MOD は、機械系 2 を模して構築された逆モデルであり、当該 2 慣性系モデル MOD をなす上記モデルパラメータ群 (J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 B_{L0} 、 K_{R0}) は、機械系 2 の実際の特性を表す未知のパラメータ群 (J_M 、 D_M 、 τ_{fM} 、 J_L 、 D_L 、 τ_{fL} 、 B_L 、 K_R) の各々に対応している。

[0043] ここで、モデルパラメータ群 (J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 B_{L0} 、 K_{R0}) と、機械系 2 の実際の特性を示すパラメータ群 (J_M 、 D_M 、 τ_{fM} 、 J_L 、 D_L 、 τ_{fL} 、 B_L 、 K_R) との間に誤差が全くないと仮定すると

、2慣性系モデルMODは、現実の機械系2の逆モデルに完全に一致するものとなる。そうすると、フィードフォワード制御部11が目標角度 θ_t 及び2慣性系モデルMODに基づいて算出したトルクを機械系2に出力して駆動した結果、機械系2を通じて実際に得られる負荷角度 θ_L は、完全に目標角度 θ_t に一致するはずである($\theta_L = \theta_t$)。このように、フィードフォワード制御部11は、予め機械系2を模して規定された2慣性系モデルMODに基づいて、機械系2固有の特性を織り込みながらトルクを算出することで、フィードバック制御よりも応答性が高いフィードフォワード制御において、より高精度な制御を実現することができる。

[0044] なお、図5に示すように、モータ制御システム1は、フィードバック制御部10により算出されたトルクと、フィードフォワード制御部11により算出されたトルクと、を加算して得られるトルク τ （トルク指令値）を機械系2（モータ20（図1、図2））に向けて出力する。

[0045] 以上のように、本実施形態に係るモータ制御システム1は、モータ20、負荷21及び軸22を具備する機械系2を模した2慣性系モデルMODをなす複数のモデルパラメータ群（ J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 B_{L0} 、 K_{R0} ）に基づいて、モータ20に発生させるべきトルク τ を算出する。

[0046] フィードフォワード制御部11において、モデルパラメータ群（ J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 B_{L0} 、 K_{R0} ）は、予め、機械系2の特性を表すパラメータとして想定される値で規定されている。しかしながら、実際には、モデルパラメータ群（ J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 B_{L0} 、 K_{R0} ）と、機械系2固有のパラメータ群（ J_M 、 D_M 、 τ_{fM} 、 J_L 、 D_L 、 τ_{fL} 、 B_L 、 K_R ）との間には、それぞれ誤差が存在している。このような誤差があると、精度の高いフィードフォワード制御を実現することができない。

そこで、本実施形態に係るモータ制御システム1は、上述の複数のモデルパラメータ群のうち、特に、モデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0} 、モデル負荷側摩

擦係数 τ_{fL0} 、モデル不感帯幅 BL_0 及びモデルねじれ剛性係数 K_{R0} を別個独立に、精度良く同定可能なパラメータ同定装置12を備えている。

[0047] 図5に示すように、パラメータ同定装置12は、機械系2におけるモータ角度 θ_M 、モータ角速度 ω_M 、負荷角度 θ_L 及び負荷角速度 ω_L の経時的変化を示す実測データを取得する。パラメータ同定装置12は、上記4個の実測データに基づいて、モデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0} 、モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0} 、モデル不感帯幅 BL_0 及びモデルねじれ剛性係数 K_{R0} を同定する。

以下、パラメータ同定装置12の機能について詳細に説明する。

[0048] 図6は、第1の実施形態に係るパラメータ同定装置の機能構成を示す図である。

図6に示すように、パラメータ同定装置12は、データ取得部120と、位相面図生成部121と、パラメータ同定部122と、を備えている。

[0049] データ取得部120は、モータ20に対するトルク指令値（トルク τ ）と、モータ20の角度（モータ角度 θ_M ）及び角速度（モータ角速度 ω_M ）の経時的変化を示す実測データと、負荷21の角度（負荷角度 θ_L ）及び角速度（負荷角速度 ω_L ）の経時的変化を示す実測データと、を取得する。

[0050] 位相面図生成部121は、データ取得部120によって取得されたトルク指令値（トルク τ ）と、モータ20の角度及び角速度の実測データと、負荷21の角度及び角速度の実測データと、に基づいて複数の位相面図を生成する。

ここで、図6に示すように、位相面図生成部121は、連結部材（軸22）のねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）とトルク指令値（トルク τ ）との関係を示す「ねじれ角度－トルク位相面図P1」を生成する。

また、位相面図生成部121は、トルク指令値（トルク τ ）とモータ20の角速度（モータ角速度 ω_M ）及び負荷21の角速度（負荷角速度 ω_L ）との関係を示す「トルク－機械角速度位相面図P2」を生成する。

また、位相面図生成部121は、軸22のねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）とモータ20の角速度（モータ角速度 ω_M ）及び負荷21の角速度（負荷角速度 ω_L ）

）との関係を示す「ねじれ角度－機械角速度位相面図 P 3」を生成する。

また、位相面図生成部 1 2 1 は、トルク指令値（トルク τ ）と軸 2 2 のねじれ速度（モータ角速度 ω_M と負荷角速度 ω_L との差。以下、“ $\omega_M - \omega_L$ ”と記載する。）との関係を示す「トルク－ねじれ速度位相面図 P 4」を生成する。

また、位相面図生成部 1 2 1 は、軸 2 2 のねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）と軸 2 2 のねじれ速度（ $\omega_M - \omega_L$ ）との関係を示す「ねじれ角度－ねじれ速度位相面図 P 5」を生成する。

また、位相面図生成部 1 2 1 は、負荷 2 1 の角度（負荷角度 θ_L ）とトルク指令値（トルク τ ）との関係を示す「負荷角度－トルク位相面図 P 6」を生成する。

[0051] パラメータ同定部 1 2 2 は、位相面図生成部 1 2 1 によって生成された複数の位相面図に基づいて、モータ 2 0 の摩擦（モータ側摩擦係数 τ_{fM} ）、負荷 2 1 の摩擦（負荷側摩擦係数 τ_{fL} ）、軸 2 2 の剛性（ねじれ剛性係数 K_R ）、及び、軸 2 2 の不感帯幅 B_L を示すモデルパラメータ（ τ_{fM0} 、 τ_{fL0} 、 K_{R0} 、 B_{L0} ）を同定する。

[0052] （パラメータ同定装置の処理フロー）

図 7 は、第 1 の実施形態に係るパラメータ同定装置の処理フローを示す図である。

また、図 8 は、第 1 の実施形態に係るパラメータ同定装置の処理を説明する図である。

また、図 9～図 1 4 は、第 1 の実施形態に係る複数の位相面図を説明する第 1 から第 6 の図である。

図 7 に示す処理フローは、例えば、機械系 2 の実運転の開始前等において、パラメータ同定装置 1 2（図 6）が機械系 2 についてのパラメータ同定を行う際に実行される。

[0053] まず、モータ制御システム 1 のオペレータは、上位機器を操作して所定の角度指令値を出力させることで、負荷 2 1 の角度（負荷角度 θ_L ）を小振幅か

つ低周波数で反復動作させる（ステップS 0 1）。

[0054] 次に、パラメータ同定装置 1 2 のデータ取得部 1 2 0 は、小振幅かつ低周波数で反復動作中の機械系 2 から、モータ角速度 ω_M 、モータ角度 θ_M 、負荷角速度 ω_L 及び負荷角度 θ_L の経時的変化を示す実測データを取得する（ステップS 0 2）。

[0055] 次に、パラメータ同定装置 1 2 の位相面図生成部 1 2 1 は、ステップS 0 2 で取得された実測データから複数の位相面図を生成する（ステップS 0 3）。

[0056] ここで、位相面図生成部 1 2 1 は、図 8 に示すように、負荷角度 θ_L の方向反転前後に取得されたねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）の実測データ、及び、トルク τ の実測データから同一時刻にサンプリングされた実測値どうしを紐付けて抽出する。ここで、「ねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）の実測データ」は、モータ角度 θ_M の実測データから負荷角度 θ_L の実測データを差し引くことで得られる。そして、位相面図生成部 1 2 1 は、抽出した実測値に基づいて、図 9 に示すような、ねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）を横軸にとり、トルク τ を縦軸にとる位相面図である「ねじれ角度－トルク位相面図 P 1」を生成する。

なお、位相面図生成部 1 2 1 は、負荷角度 θ_L の正方向から負方向への反転前後に取得される実測データと、負方向から正方向への反転前後に取得される実測データと、の各々について上記実測値の紐付けを行う。このようにして生成されたねじれ角度－トルク位相面図 P 1 には、主に、機械系 2 の非線形摩擦特性（図 3 の（a）参照）と不感帯特性関数 F 1 に起因するヒステリシス曲線が表れる。

[0057] 同様に、位相面図生成部 1 2 1 は、負荷角度 θ_L の方向反転前後におけるトルク τ の実測データ、及び、モータ角速度 ω_M 、負荷角速度 ω_L の実測データから同一時刻にサンプリングされた実測値どうしを紐付けて抽出する。そして、位相面図生成部 1 2 1 は、抽出した実測値に基づいて、図 1 0 に示すような、トルク τ を横軸にとり、モータ角速度 ω_M 及び負荷角速度 ω_L を縦軸にとる位相面図である「トルク－機械角速度位相面図 P 2」を生成する。

同様に、位相面図生成部 121 は、負荷角度 θ_L の方向反転前後におけるねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) の実測データ、及び、モータ角速度 ω_M 、負荷角速度 ω_L の実測データから同一時刻にサンプリングされた実測値どうしを紐付けて抽出する。そして、位相面図生成部 121 は、抽出した実測値に基づいて、図 11 に示すような、ねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) を横軸にとり、モータ角速度 ω_M 及び負荷角速度 ω_L を縦軸にとる位相面図である「ねじれ角度－機械角速度位相面図 P3」を生成する。

更に、位相面図生成部 121 は、負荷角度 θ_L の方向反転前後におけるトルク τ の実測データ、及び、ねじれ速度 ($\omega_M - \omega_L$) の実測データから同一時刻にサンプリングされた実測値どうしを紐付けて抽出する。ここで、「ねじれ速度 ($\omega_M - \omega_L$) の実測データ」は、モータ角速度 ω_M の実測データから負荷角速度 ω_L の実測データを差し引いて得られる。そして、位相面図生成部 121 は、抽出した実測値に基づいて、図 12 に示すような、トルク τ を横軸にとり、ねじれ速度 ($\omega_M - \omega_L$) を縦軸にとる位相面図である「トルク－ねじれ速度位相面図 P4」を生成する。

更に、位相面図生成部 121 は、負荷角度 θ_L の方向反転前後におけるねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) の実測データ、及び、ねじれ速度 ($\omega_M - \omega_L$) の実測データから同一時刻にサンプリングされた実測値どうしを紐付けて抽出する。そして、位相面図生成部 121 は、抽出した実測値に基づいて、図 13 に示すような、ねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) を横軸にとり、ねじれ速度 ($\omega_M - \omega_L$) を縦軸にとる位相面図である「ねじれ角度－ねじれ速度位相面図 P5」を生成する。

更に、位相面図生成部 121 は、負荷角度 θ_L の方向反転前後における負荷角度 θ_L の実測データ、及び、トルク τ の実測データから同一時刻にサンプリングされた実測値どうしを紐付けて抽出する。そして、位相面図生成部 121 は、抽出した実測値に基づいて、図 14 に示すような、負荷角度 θ_L を横軸にとり、トルク τ を縦軸にとる位相面図である「負荷角度－トルク位相面図 P6」を生成する。

[0058] 次に、パラメータ同定部 122 は、ステップ S03 で生成された各種位相面図に基づいて、2 慣性系モデル MOD をなす各種モデルパラメータのうち、モデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0} 、モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0} 、モデル不感帯幅 B_{L0} 及びモデルねじれ剛性係数 K_{R0} を同定する（ステップ S04）。具体的には、パラメータ同定部 122 は、各種位相面図における折れ点の位置等に基づいて上記モデルパラメータを同定する。

[0059] ここで、図 2 に示すブロック線図に基づいて、モータ 20 についての運動方程式である式（1）、及び、負荷 21 についての運動方程式である式（2）を得ることができる。

[0060] [数1]

$$(J_M s + D_M) s \theta_M = \tau - \tau_{fM}[\omega_M] - K_R \cdot (\theta_M - \theta_L - BKLS_{[\theta_M - \theta_L]}) \quad \dots (1)$$

[0061] [数2]

$$(J_L s + D_L) s \theta_L = -\tau_{fL}[\omega_L] + K_R \cdot (\theta_M - \theta_L - BKLS_{[\theta_M - \theta_L]}) \quad \dots (2)$$

[0062] 式（1）、（2）において、“ $\tau_{fM}[\omega_M]$ ” は、モータ側摩擦特性関数 G_M （図 3 の（b））に基づいてモータ角速度 ω_M の変数として規定されるモータ側摩擦係数 τ_{fM} を示している。また、“ $\tau_{fL}[\omega_L]$ ” は、負荷側摩擦特性関数 G_L に基づいて負荷角速度 ω_L の変数として規定される負荷側摩擦係数 τ_{fL} を示している。

また、“ $BKLS_{[\theta_M - \theta_L]}$ ” は、ガタ変位関数 $F1'$ （図 4 の（b））に基づいてねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ の変数として規定されるガタ変位 $BKLS$ を示している。

[0063] なお、現実の機械系 2 において、軸 22 のねじれ粘性係数 D_R の影響は小さいため、式（1）、式（2）においては、ねじれ粘性係数 D_R を無視している。

また、上記運動方程式（式（1）、式（2））において、機械系 2 の反復動作を小振幅かつ低周波数にすると、モータ 20 の慣性トルク $J_M s^2 \theta_M$ 、負

荷 2 1 の慣性トルク $J_L s^2 \theta_L$ 、モータ 2 0 の粘性トルク $D_M s \theta_M$ 、及び、負荷 2 1 の粘性トルク $D_L s \theta_L$ の影響も小さくなる。そこで、上記運動方程式におけるこれらの項を削除することで、以下に示す式 (3)、式 (4) が導出される。

[0064] [数3]

$$\tau = \tau_{fM}[\omega_M] + \tau_{fL}[\omega_L] \quad \dots (3)$$

[0065] [数4]

$$\theta_M - \theta_L = \frac{\tau_{fL}[\omega_L]}{K_R} + BKLS_{[\theta_M - \theta_L]} \quad \dots (4)$$

[0066] 式 (3) より、機械系 2 の反復動作が小振幅かつ低周波数の条件下において、トルク指令値に従ってモータ 2 0 が出力するトルク τ は、モータ側摩擦係数 τ_{fM} と負荷側摩擦係数 τ_{fL} との合計値となることが示される。

また、式 (4) より、機械系 2 の反復動作が小振幅かつ低周波数の条件下において、負荷側摩擦係数 τ_{fL} をねじれ剛性係数 K_R で除した値とガタ変位 $BKLS$ との和がねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ となることが示される。即ち、軸 2 2 におけるねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ からガタ変位 $BKLS$ を差し引いた角度 (変位) に、軸 2 2 のばね定数 (ねじれ剛性係数 K_R) を乗じた値が、負荷側摩擦係数 τ_{fL} に一致する。

[0067] 以下、式 (3)、(4) の関係を考慮しながら、図 9 に示すねじれ角度ートルク位相面図 P 1 における各折れ点 T 1 1 ~ T 1 4 について説明する。

[0068] ねじれ角度ートルク位相面図 P 1 における折れ点 T 1 1 ~ 折れ点 T 1 2 は、負方向に飽和していたトルク τ が正方向に向けて反転し、これに応じてモータ 2 0 が正方向への回転駆動を開始するまでの軌跡を示している。即ち、折れ点 T 1 1 において最小値 (負方向に飽和状態) となっていたトルク τ が正方向に向けて徐々に増加していく過程において、当該トルク τ がモータ 2 0 に生じる摩擦の飽和値 (モータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc}) を上回った時点でモータ 2 0 が正方向に回転駆動し始める。他方、折れ点 T 1 2 の時点では

、不感帯（ $-BL \sim +BL$ ）の存在により負荷 21 の摩擦の影響は生じない。したがって、折れ点 T 12 に至った時点におけるトルク τ は、式（3）より、モータ 20 に生じる摩擦の飽和値（モータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc} ）に一致する。

[0069] また、ねじれ角度－トルク位相面図 P 1 における折れ点 T 12 ～折れ点 T 13 は、軸 22 のねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）が不感帯の最小値（ $-BL$ ）から最大値（ $+BL$ ）に至るまでの軌跡を示している。即ち、折れ点 T 12 から折れ点 T 13 にかけては、ガタ変位 B K L S のみが増加し、負荷 21 には動力が伝達されない。したがって、モータ 20 のみが駆動するため、トルク τ がモータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc} 一定を維持しながら、ねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）が増加する。したがって、折れ点 T 13 に至った時点におけるねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）は、式（4）より、不感帯の最大値（ $+BL$ ）に一致する。

[0070] また、ねじれ角度－トルク位相面図 P 1 における折れ点 T 13 ～折れ点 T 14 は、ガタ変位 B K L S が正方向に飽和して、不感帯幅 BL を上回るねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）を通じて、負荷 21 に印加されるトルク τ' が徐々に増加し、これに応じて負荷 21 が正方向への回転駆動を開始するまでの軌跡を示している。即ち、折れ点 T 13 においてモータ 20 のみを回転駆動させていたトルク τ が正方向に向けて更に増加していく過程において、当該トルク τ が、モータ 20 に生じる摩擦の飽和値と負荷 21 に生じる摩擦の飽和値（負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc} ）との合計値と釣り合った時点で負荷 21 が正方向に回転駆動し始める。したがって、折れ点 T 14 に至った時点におけるトルク τ は、式（3）より、モータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc} と負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc} との合計値に一致する。

また、折れ点 T 14 に至った時点におけるねじれ角度（ $\theta_M - \theta_L$ ）は、式（4）より、“ $\tau_{fLc} / K_R + BL$ ” に一致する。

[0071] 以上の特性に基づき、パラメータ同定部 122 は、各折れ点 T 11 ～ T 14 の位置に基づいて各種モデルパラメータを同定する。

具体的には、パラメータ同定部 122 は、ねじれ角度－トルク位相面図 P

1における折れ点T 1 2（又は折れ点T 1 3）の縦軸の値を参照してモデルモータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc0} を同定する。また、パラメータ同定部1 2 2は、折れ点T 1 4における縦軸の値から、先に同定したモデルモータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc0} の値を差し引いてモデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} を同定する。更に、パラメータ同定部1 2 2は、折れ点T 1 3（又は折れ点T 1 2）の横軸の値を参照してモデル不感帯幅 BL_0 を同定する。更に、パラメータ同定部1 2 2は、折れ点T 1 4における横軸の値と、先に同定したモデル不感帯幅 BL_0 及びモデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} とに基づいて式（4）を解くことで、モデルねじれ剛性係数 K_{R0} を同定する。

[0072] 次に、式（3）、（4）の関係を考慮しながら、図10に示すトルクー機械角速度位相面図P 2における各折れ点T 2 1～T 2 4について説明する。

トルクー機械角速度位相面図P 2における折れ点T 2 1～折れ点T 2 2は、負方向に飽和していたトルク τ が正方向に向けて反転し、これに応じて、トルク τ が最小値（負の飽和状態）からほとんど変化しないまま、モータ2 0及び負荷2 1の角速度がゼロとなるまでの軌跡を示している。

また、折れ点T 2 2～折れ点T 2 3は、モータ2 0及び負荷2 1の角速度がゼロの状態から徐々に正方向にトルク τ が上昇して行く中で、不感帯（ $-BL \sim +BL$ ）の存在により、モータ角速度 ω_M のみが上昇する軌跡を示している。

また、折れ点T 2 3～折れ点T 2 4は、トルク τ が、モータ2 0のみの駆動に要するトルク（モータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc} ）を上回ることによって負荷2 1にトルク τ' が印加され、モータ角速度 ω_M と負荷角速度 ω_L とが等しく上昇する軌跡を示している。

[0073] ここで、折れ点T 2 2の横軸の値は、モータ角速度 ω_M 、負荷角速度 ω_L がゼロであることに基づき、式（3）より“ $-\tau_{fMc} - \tau_{fLc}$ ”と求めることができる。

また、折れ点T 2 3の横軸の値は、負荷2 1の角速度が上昇を開始する時点（モータ2 0のみが回転駆動している時点）におけるトルクである。した

がって、式（３）より、折れ点Ｔ２３の横軸の値は、モータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc} に一致する。

[0074] パラメータ同定部１２２は、トルク－機械角速度位相面図Ｐ２における折れ点Ｔ２２の横軸の値から、先に同定したモデルモータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc0} の値を差し引いてモデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} を同定する。

ここで、ねじれ角度－トルク位相面図Ｐ１の折れ点Ｔ１４では、トルク τ 、ねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ が完全には飽和せず、モータ側粘性係数 D_M 及び負荷側粘性係数 D_L に基づく誤差成分が生じることが分かっている。そうすると、ねじれ角度－トルク位相面図Ｐ１の折れ点Ｔ１４の位置に基づいてモデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} を同定しようとする、当該誤差成分に起因して精度が低下することが考えられる。

他方、トルク－機械角速度位相面図Ｐ２の折れ点Ｔ２２では、モータ角速度 ω_M 、負荷角速度 ω_L がゼロとなっている。したがって、折れ点Ｔ２２では、モータ角速度 ω_M 、負荷角速度 ω_L に比例する成分を与えるモータ側粘性係数 D_M 及び負荷側粘性係数 D_L の影響を受けていない。そのため、折れ点Ｔ２２の横軸の値から、より精度の高いモデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} を同定することができる。

[0075] また、パラメータ同定部１２２は、トルク－機械角速度位相面図Ｐ２における折れ点Ｔ２３の横軸の値を参照してモデルモータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc0} を同定する。

[0076] 次に、式（３）、（４）の関係を考慮しながら、図１１に示すねじれ角度－機械角速度位相面図Ｐ３における各折れ点Ｔ３１～Ｔ３４について説明する。

ねじれ角度－機械角速度位相面図Ｐ３における折れ点Ｔ３１～折れ点Ｔ３２は、負方向に飽和していたトルク τ が正方向に向けて反転し、これに応じて、ねじれ角度 $(\theta_M - \theta_L)$ が最小値（負の飽和状態）からほとんど変化しないまま、モータ２０及び負荷２１の角速度がゼロとなるまでの軌跡を示している。

また、折れ点 T 3 2 ~ 折れ点 T 3 3 は、不感帯 ($-B_L \sim +B_L$) の存在により負荷角速度 ω_L がゼロのままモータ角速度 ω_M のみが上昇することで、ねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) が徐々に増大していく軌跡を示している。

また、折れ点 T 3 3 ~ 折れ点 T 3 4 は、ねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) が不感帯の最大値 ($+B_L$) を上回ることによって負荷 2 1 にトルク τ' が印加され、モータ角速度 ω_M と負荷角速度 ω_L とが等しく上昇する軌跡を示している。

[0077] ここで、折れ点 T 3 2 の横軸の値は、負荷角速度 ω_L がゼロであること、及び、ガタ変位 B_{KLS} が " $-B_L$ " ($\theta_M - \theta_L < -B_L$) であることに基つき、式 (4) より " $-\tau_{fLc}/K_R - B_L$ " と求めることができる。

また、折れ点 T 3 3 の横軸の値は、負荷 2 1 の角速度が上昇を開始する時点 (負荷角速度 ω_L がゼロの時点) におけるねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) である。したがって、折れ点 T 3 3 の横軸の値は、式 (4) より、不感帯の最大値 ($+B_L$) に一致する。

[0078] パラメータ同定部 1 2 2 は、ねじれ角度-機械角速度位相面図 P 3 における折れ点 T 3 2 の横軸の値と、先に同定したモデル不感帯幅 B_L 、及びモデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} とに基づいて式 (4) を解くことで、モデルねじれ剛性係数 K_{R0} を同定する。

また、パラメータ同定部 1 2 2 は、ねじれ角度-機械角速度位相面図 P 3 における折れ点 T 3 3 の横軸の値を参照してモデル不感帯幅 B_L を同定する。

[0079] 次に、図 1 2 に示すトルク-ねじれ速度位相面図 P 4 から導出される各折れ点 T 4 1 ~ T 4 3 について説明する。

図 1 2 に示すトルク-ねじれ速度位相面図 P 4 は、トルク-機械角速度位相面図 P 2 (図 1 0) に示されるモータ角速度 ω_M と負荷角速度 ω_L との差を示す位相面図である。したがって、トルク-ねじれ速度位相面図 P 4 における折れ点 T 4 1 の位置は、トルク-機械角速度位相面図 P 2 における折れ点 T 2 1 の位置に対応する。また、トルク-ねじれ速度位相面図 P 4 における折れ点 T 4 2 の位置は、トルク-機械角速度位相面図 P 2 における折れ点 T

23の位置に対応する。更に、トルク－ねじれ速度位相面図P4における折れ点T43の位置は、トルク－機械角速度位相面図P2における折れ点T24の位置に対応する。

[0080] パラメータ同定部122は、トルク－ねじれ速度位相面図P4における折れ点T42の横軸の値を参照してモデルモータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc0} を同定する。

ここで、図12に示す通り、トルク－ねじれ速度位相面図P4における折れ点T42は、トルク－機械角速度位相面図P2（図10）における折れ点T23よりも明確に示されている。したがって、より精度よくモデルモータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc0} を同定することができる。

[0081] 次に、図13に示すねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5から導出される各折れ点T51～T53について説明する。

図13に示すねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5は、ねじれ角度－機械角速度位相面図P3（図11）に示されるモータ角速度 ω_M と負荷角速度 ω_L との差を示す位相面図である。したがって、ねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5における折れ点T51の位置は、ねじれ角度－機械角速度位相面図P3における折れ点T31の位置に対応する。また、ねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5における折れ点T52の位置は、ねじれ角度－機械角速度位相面図P3における折れ点T32の位置に対応する。また、ねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5における折れ点T53の位置は、ねじれ角度－機械角速度位相面図P3における折れ点T33の位置に対応する。更に、ねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5における折れ点T54の位置は、ねじれ角度－機械角速度位相面図P3における折れ点T34の位置に対応する。

[0082] パラメータ同定部122は、ねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5における折れ点T53の横軸の値を参照して、モデル不感帯幅 B_{L0} を同定する。

また、パラメータ同定部122は、ねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5における折れ点T52の横軸の値と、先に同定したモデル不感帯幅 B_{L0} 及びモデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} とに基づいて式（4）を解くことで、

モデルねじれ剛性係数 K_{R0} を同定する。

ここで、図13に示す通り、ねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5における折れ点T52及び折れ点T53は、ねじれ角度－機械角速度位相面図P3（図11）における折れ点T32、T33よりも明確に示されている。したがって、より精度よくモデル不感帯幅 BL_0 及びモデルねじれ剛性係数 K_{R0} を同定することができる。

[0083] 次に、図14に示す負荷角度－トルク位相面図P6から導出される折れ点T61及び折れ点T63について説明する。

折れ点T61及び折れ点T63の時点においては、モータ側摩擦係数 τ_{fM} 及び負荷側摩擦係数 τ_{fL} の両方が飽和状態である。したがって、式（3）より、折れ点T61の縦軸の値は、“ $-\tau_{fMc} - \tau_{fLc}$ ”、折れ点T63の縦軸の値は、“ $\tau_{fMc} + \tau_{fLc}$ ”と求めることができる。

[0084] パラメータ同定部122は、負荷角度－トルク位相面図P6における折れ点T63の縦軸の値から、先に同定したモデルモータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc0} の値を差し引いてモデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} を同定する。

ここで、図14に示す通り、負荷角度－トルク位相面図P6における折れ点T63は、ねじれ角度－トルク位相面図P1（図9）における折れ点T14よりも明確に示されている。したがって、より精度よくモデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} を同定することができる。

[0085] 本実施形態に係るパラメータ同定部122は、例えば、トルク－ねじれ速度位相面図P4の折れ点T42から同定されたモデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0} 、トルク－機械角速度位相面図P2の折れ点T22から同定されたモデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0} を採用する。また、パラメータ同定部122は、例えば、ねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5の折れ点T52及び折れ点T53の各々から同定されたモデル不感帯幅 BL_0 及びモデルねじれ剛性係数 K_{R0} を採用する。

これにより、いずれのモデルパラメータについても高い精度で同定することができる。

[0086] なお、パラメータ同定部122は、同定されたモデルモータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc0} をモータ側摩擦特性関数 G_M に代入する（図3の（b）参照）。そして、パラメータ同定部122は、モデルモータ側クーロン摩擦係数 τ_{fMc0} に対し予め定められた係数を乗じることで、モータ側摩擦特性関数 G_M を構成する各種定数（傾き K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、オフセット τ_{fM1} 、 τ_{fM2} 、 τ_{fM3} 、 τ_{fM4} 、 τ_{fM5} ）を同定する。これにより、パラメータ同定部122は、モデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0} を同定する。

同様に、パラメータ同定部122は、同定されたモデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} を付加側摩擦特性関数 G_L に代入する。そして、パラメータ同定部122は、モデル負荷側クーロン摩擦係数 τ_{fLc0} に対し予め定められた係数を乗じることで、負荷側摩擦特性関数 G_L を構成する各種定数（傾き、オフセット）を同定する。これにより、パラメータ同定部122は、モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0} を同定する。

[0087] なお、本実施形態に係るパラメータ同定部122は、生成された各種位相面図に対し、PSO（Particle Swarm Optimization）等を施し、各位正面図に示されたヒステリシス曲線との誤差面積が最小となるような折れ線近似演算を行うことで、各折れ点を検出する。

[0088] （作用、効果）

以上、第1の実施形態に係るパラメータ同定装置12は、上述のデータ取得部120と、位相面図生成部121と、パラメータ同定部122と、を備える態様とする。

このようにすることで、複数の位相面図に表された複数の折れ点等から、機械系2のモータ側摩擦係数 τ_{fM} 、負荷側摩擦係数 τ_{fL} 、不感帯幅 BL 及びねじれ剛性係数 K_R を別個独立に評価して、上記各種パラメータに対応するモデルパラメータを精度良く同定することができる。

したがって、モータ20及び負荷21を有する機械系2を精度よく模した2慣性系モデルMODを得ることができる。

[0089] また、第1の実施形態に係る位相面図生成部121は、位相面図として、

トルク τ と軸22のねじれ速度($\omega_M - \omega_L$)との関係を示すトルクーねじれ速度位相面図P4を生成する。そして、パラメータ同定部122は、トルクーねじれ速度位相面図P4における折れ点の位置に基づいてモータ20の摩擦を示すモデルパラメータ(モデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0})を同定する。

このようにすることで、モデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0} を一層精度よく同定することができる。

[0090] また、第1の実施形態に係る位相面図生成部121は、位相面図として、軸22のねじれ角度($\theta_M - \theta_L$)と軸22のねじれ速度($\omega_M - \omega_L$)との関係を示すねじれ角度ーねじれ速度位相面図P5を生成する。そして、パラメータ同定部122は、ねじれ角度ーねじれ速度位相面図P5における折れ点の位置に基づいて軸22の剛性、及び、不感帯幅を示すモデルパラメータ(モデルねじれ剛性係数 K_{R0} 、モデル不感帯幅 B_{L0})を同定する。

このようにすることで、モデルねじれ剛性係数 K_{R0} 、モデル不感帯幅 B_{L0} を一層精度よく同定することができる。

[0091] また、第1の実施形態に係る位相面図生成部121は、位相面図として、トルク τ とモータ20の角速度又は負荷21の角速度との関係を示すトルクー機械角速度位相面図P2を生成する。そして、パラメータ同定部122は、トルクー機械角速度位相面図P2における折れ点の位置に基づいて負荷21の摩擦を示すモデルパラメータ(モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0})を同定する。

このようにすることで、モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0} を一層精度よく同定することができる。

[0092] また、第1の実施形態に係る位相面図生成部121は、位相面図として、負荷21の角度(負荷角度 θ_L)とトルク τ との関係を示す負荷角度ートルク位相面図P6を生成する。そして、パラメータ同定部122は、負荷角度ートルク位相面図P6における折れ点の位置に基づいて負荷21の摩擦を示すモデルパラメータ(モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0})を同定する。

このようにすることで、モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0} を一層精度よく同定す

ることができる。

- [0093] また、第1の実施形態に係る位相面図生成部121は、位相面図として、軸22のねじれ角度($\theta_M - \theta_L$)とトルク τ との関係を示すねじれ角度－トルク位相面図P1を生成する。そして、パラメータ同定部122は、ねじれ角度－トルク位相面図P1における折れ点の位置に基づいて、モータ20の摩擦、負荷21の摩擦、軸22の剛性、及び、軸22の不感帯幅のうちの少なくとも何れか一つを示すモデルパラメータを同定する。

このようにすることで、一つの位相面図から、モデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0} 、モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0} 、モデルねじれ剛性係数 K_{R0} 及びモデル不感帯幅 B_{L0} を同定することができる。

- [0094] 以上、第1の実施形態に係るモータ制御システム1及びパラメータ同定装置12について詳細に説明したが、モータ制御システム1、パラメータ同定装置12の具体的な態様は、上述のものに限定されることはなく、要旨を逸脱しない範囲内において種々の設計変更等を加えることは可能である。

- [0095] 例えば、他の実施形態に係るパラメータ同定部122は、複数の位相面図(P1～P6)から同定可能なモデルパラメータのうち、同種のものについて複数の値が同定された場合、その平均値をモデルパラメータとしてもよい。例えば、パラメータ同定部122は、ねじれ角度－トルク位相面図P1から同定されたモデル不感帯幅 B_{L0} と、ねじれ角度－ねじれ速度位相面図P5から同定されたモデル不感帯幅 B_{L0} と、の平均値を2慣性系モデルMODに採用するモデル不感帯幅 B_{L0} としてもよい。

- [0096] また、他の実施形態に係る位相面図生成部121は、一つの位相面図(ねじれ角度－トルク位相面図P1)のみを生成する態様であってもよい。この場合、パラメータ同定部122は、生成されたねじれ角度－トルク位相面図P1からモデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0} 、モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0} 、モデルねじれ剛性係数 K_{R0} 及びモデル不感帯幅 B_{L0} の全てを同定する。

このようにすることで、各モデルパラメータの同定処理を簡素化することができる。

[0097] また、他の実施形態に係る位相面図生成部 121 は、機械系 2 の反復動作ごとに実測データの取得を複数回繰り返し、これを平均化したものに基づいて各位相面図を生成してもよい。

このようにすることで、実測データのばらつき誤差が低減されるため、モデルパラメータの同定精度を更に高めることができる。

[0098] また、第 1 の実施形態に係るパラメータ同定装置 12 は、モータ制御システム 1 におけるフィードフォワード機能に対してだけでなく、モータ制御システム 1 の異常診断や機械調整にも利用することができる。

[0099] また、第 1 の実施形態において、パラメータ同定装置 12 は、上位機器から入力されるトルク指令値を「トルク τ 」として、上述の各種処理を行うものとして説明したが、他の実施形態においてはこの態様に限定されない。

例えば、他の実施形態に係るパラメータ同定装置 12 は、“トルク指令値”ではなく、モータ 20 に流れる検出電流値から求まる“実測トルク”を「トルク τ 」として用いて、上述の各種処理を行う態様であってもよい。

[0100] また、重力等の定常外乱がある場合には、トルク τ やねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) に一定のオフセットがかかる。そこで、他の実施形態に係るパラメータ同定装置 12 は、更に、トルク τ 、ねじれ角度 ($\theta_M - \theta_L$) の平均を求めてオフセット分を除去する機能、折れ点を正負で平均をとる機能を有していてもよい。

[0101] <第 2 の実施形態>

次に、第 2 の実施形態に係るモータ制御システムについて、図 15～図 19 を参照しながら詳細に説明する。

[0102] (機能構成)

図 15 は、第 2 の実施形態に係るパラメータ同定装置の機能構成を示す図である。

図 15 に示すように、第 2 の実施形態に係るパラメータ同定装置 12 は、更に、モータ側エラーシステム 123 及び負荷側エラーシステム 124 を備えている。

モータ側エラーシステム 123 は、フィードバック制御部 10 及びフィードフォワード制御部 11 により算出されたトルク τ 、モータ角度 θ_M 、及び、負荷角度 θ_L に基づいて、2 慣性系モデル MOD のうちモータ側のモデルの、モータ 20 に対する誤差の度合いを示すモータ側誤差信号 e_M を出力する。

また、負荷側エラーシステム 124 は、モータ角度 θ_M 及び負荷角度 θ_L に基づいて、2 慣性系モデル MOD のうち負荷側のモデルの、負荷 21 に対する誤差の度合いを示す負荷側誤差信号 e_L を出力する。

また、本実施形態に係るパラメータ同定部 122 は、モータ側誤差信号 e_M を入力して、2 慣性系モデル MOD のうちモータ側のモデルをなすモデルパラメータ群 (J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 BL_0) を同定する。更に、パラメータ同定部 122 は、負荷側誤差信号 e_L を入力して、2 慣性系モデル MOD のうち負荷側のモデルをなすモデルパラメータ (J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 BL_0) を同定する。

[0103] 図 16 は、第 2 の実施形態に係るモータ側エラーシステム及び負荷側エラーシステムの処理を説明する第 1 の図である。

モータ側エラーシステム 123 は、トルク τ 、モータ角度 θ_M 及び負荷角度 θ_L を入力し、図 16 に示すブロック線図に従って、モータ側誤差信号 e_M を算出する。

ここで、モータ側のモデルをなすモデルパラメータ群 (J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 BL_0) の各々が、モータ 20 の実際の特性を示す未知のパラメータ群 (J_M 、 D_M 、 τ_{fM} 、 BL) の各々に対して誤差があった場合、当該モデルパラメータ群に基づいて算出されたトルク τ で回転移動したモータ 20 の位置 (モータ角度 θ_M) は、想定されていたモータ 20 の位置 (目標モータ角度) からずれているはずである。そこで、想定していた目標モータ角度に到達するためにモータ 20 に本来印加すべきであったトルクと、モータ 20 に実際に印加されたトルク τ と、の誤差の度合いをモータ側誤差信号 e_M で表すと、図 2 に示すブロック線図のうちモータ 20 に係る部分の入出力の関係から、式 (5) に示す等式が成立する。

[0104] [数5]

$$(J_{M0}s + D_{M0})s\theta_M = \tau - \tau_{fM0} \text{sign}(s\theta_M) - (K_R + D_R s)BKLS(\theta_M - \theta_L) + e_M \quad \dots (5)$$

[0105] 本実施形態に係るモータ側エラーシステム123は、式(5)に基づいてモータ側誤差信号 e_M を算出する。ここで、図16に示すブロック線図のうち、モータ側エラーシステム123に該当する部分は、式(5)の変形式に相当するブロック線図である。モータ側エラーシステム123は、図16に示すブロック線図、及び、予め与えられているモデルパラメータ(J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 BL_0)にしたがって、入力されたトルク τ 、モータ角度 θ_M 及び負荷角度 θ_L に基づいてモータ側誤差信号 e_M を算出する。

[0106] ここで、 $\text{sign}(s\theta_M)$ (図16に示す符号関数S1)は、 $s\theta_M$ が正($s\theta_M > 0$)のときに“+1”の値を取り、 $s\theta_M$ が負($s\theta_M < 0$)のときに“−1”の値を取る非線形関数である。

また、 $BKLS(\theta_M - \theta_L)$ (図16に示す不感帯特性関数F1)は、2慣性系モデルMODのうちモータ側から負荷側へと動力が伝達する系(軸22を模したモデル)の特性をモデル不感帯幅 BL_0 で表した非線形関数である。具体的には、モータ20と負荷21との間に設けられた軸22に“遊び”が存在する場合、モータ角度 θ_M と負荷角度 θ_L との偏差が当該“遊び”の範囲内にある限り、モータ20から発生したトルクは、負荷21には伝達しない。モデル不感帯幅 BL_0 は、この“遊び”の幅(不感帯幅 BL)をモデルとして規定した値であり、不感帯特性関数F1は、偏差($\theta_M - \theta_L$)の絶対値がモデル不感帯幅 BL_0 以下の場合にゼロを取り、偏差($\theta_M - \theta_L$)の絶対値がモデル不感帯幅 BL_0 を上回った場合に“ $\theta_M - \theta_L - BL_0$ ” ($\theta_M - \theta_L > 0$)又は“ $\theta_M - \theta_L + BL_0$ ” ($\theta_M - \theta_L < 0$)の値を取る非線形関数である。

[0107] 負荷側エラーシステム124は、モータ角度 θ_M 及び負荷角度 θ_L を入力し、図16に示すブロック線図に従って、負荷側誤差信号 e_L を算出する。

ここで、負荷側のモデルをなすモデルパラメータ群 (J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 B_{L0}) の各々が、負荷 21 の実際の特性を示すパラメータ群 (J_L 、 D_L 、 τ_{fL} 、 B_L) の各々に対して誤差があった場合、当該モデルパラメータ群に基づいて算出されたトルク τ で回転移動した負荷角度 (負荷角度 θ_L) は、想定されていた負荷角度 (目標角度 θ_t) からずれる。そこで、想定していた負荷角度 θ_t に到達するために、(軸 22 を通じて) 本来負荷 21 に印加されるべきであったトルクと、負荷 21 に実際に印加されたトルク τ' と、の誤差を負荷側誤差信号 e_L で表すと、図 2 に示すブロック線図のうち負荷 21 に係る部分の入出力の関係から、式 (6) に示す等式が成立する。

[0108] [数6]

$$(J_{L0}s + D_{L0})s\theta_L = -\tau_{fL0}\text{sign}(s\theta_L) + (K_R + D_Rs)BKLS(\theta_M - \theta_L) + e_L \quad \dots (6)$$

[0109] 本実施形態に係る負荷側エラーシステム 124 は、式 (6) に基づいてモータ側誤差信号 e_M を算出する。ここで、図 16 に示すブロック線図のうち、負荷側エラーシステム 124 に該当する部分は、式 (6) の変形式に相当するブロック線図である。負荷側エラーシステム 124 は、図 16 に示すブロック線図、及び、予め与えられているモデルパラメータ (J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 B_{L0}) にしたがって、入力されたモータ角度 θ_M 及び負荷角度 θ_L に基づいて負荷側誤差信号 e_L を算出する。

[0110] ここで、 $\text{sign}(s\theta_L)$ (図 16 に示す符号関数 S2) は、 $s\theta_L$ が正 ($s\theta_L > 0$) のときに “+1” の値を取り、 $s\theta_L$ が負 ($s\theta_L < 0$) のときに “-1” の値を取る非線形関数である。

[0111] 図 17 は、第 2 の実施形態に係るモータ側エラーシステム及び負荷側エラーシステムの処理を説明する第 2 の図である。

ここで、モデルパラメータ群 (J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 B_{L0}) の各々と、機械系 2 の実際の特性を示すパラメータ群 (J_M 、 D_M 、 τ_{fM} 、 J_L 、 D_L 、 τ_{fL} 、 B_L) の各々との間の誤差の度合いを、それぞれ、

モータ側慣性モーメント誤差成分 δJ_M 、モータ側粘性係数誤差成分 δD_M 、モータ側摩擦係数誤差成分 $\delta \tau_{fM}$ 、負荷側慣性モーメント誤差成分 δJ_L 、負荷側粘性係数誤差成分 δD_L 、負荷側摩擦係数誤差成分 $\delta \tau_{fL}$ 及び不感帯幅誤差成分 δBL で表し、式 (7) のように規定する。

[0112] [数7]

$$\left. \begin{aligned} \delta J_M &= J_{M0} - J_M \\ \delta D_M &= D_{M0} - D_M \\ \delta \tau_{fM} &= \tau_{fM0} - \tau_{fMc} \\ \delta J_L &= J_{L0} - J_L \\ \delta D_L &= D_{L0} - D_L \\ \delta \tau_{fL} &= \tau_{fL0} - \tau_{fLc} \\ \delta BL &= BL_0 - BL \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

[0113] そうすると、図 16 に示すブロック線図に基づいて算出されたモータ側誤差信号 e_M 及び負荷側誤差信号 e_L は、図 17 に示すブロック線図に基づいて、上記誤差成分パラメータ群 (δJ_M 、 δD_M 、 $\delta \tau_{fM}$ 、 δJ_L 、 δD_L 、 $\delta \tau_{fL}$ 、 δBL) で表すことができる。

[0114] 具体的には、モータ側誤差信号 e_M は、2 慣性系モデル MOD のうちモータ側のモデルをなす複数のモデルパラメータ群 (J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 BL_0) の各々に対応する誤差成分であるモータ側誤差パラメータ群 (δJ_M 、 δD_M 、 $\delta \tau_{fM}$ 、 δBL) に基づいて、式 (8) のように表すことができる。

[0115] [数8]

$$e_M = \delta \tau_{fM} \text{sign}(s\theta_M) + \delta J_M (s^2 \theta_M) + \delta D_M (s\theta_M) + (K_R + D_{RS}) \frac{\partial BKLS(\theta_M - \theta_L)}{\partial BL} \delta BL \dots (8)$$

[0116] 同様に、負荷側誤差信号 e_L は、2 慣性系モデル MOD のうち負荷側のモデルをなす複数のモデルパラメータ群 (J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 BL_0) の各々に対応する誤差成分である負荷側誤差パラメータ群 (δJ_L 、 δD_L 、 $\delta \tau_{fL}$ 、 δBL) に基づいて、式 (9) のように表すことができる。

[0117] [数9]

$$e_L = \delta\tau_{fL} \text{sign}(s\theta_L) + \delta J_L(s^2\theta_L) + \delta D_L(s\theta_L) - (K_R + D_R s) \frac{\partial BKLS(\theta_M - \theta_L)}{\partial BL} \delta BL \quad \dots (9)$$

[0118] ここで、不感帯幅誤差成分 δBL は、不感帯幅 BL を示すモデルパラメータ（モデル不感帯幅 BL_0 ）に対応する誤差成分、即ち、2 慣性系モデル MOD として規定されたモデル不感帯幅 BL_0 と機械系 2 における実際の不感帯幅 BL との誤差である。

また、 $\partial BKLS(\theta_M - \theta_L) / \partial BL$ （図 17 に示す不感帯特性変化関数 F2）は、不感帯幅誤差成分 δBL が、上述した不感帯特性関数 F1 の特性に与える変化の度合いを表す非線形関数である。不感帯特性変化関数 F2 の詳細については後述する。

[0119] 図 17 に示すブロック線図において、入力であるモータ角度 θ_M 、負荷角度 θ_L と、出力であるモータ側誤差信号 e_M 、負荷側誤差信号 e_L とは、図 16 を用いて説明した処理により、いずれも既知となっている。

本実施形態に係るモータ側エラースystem 123 は、モータ側誤差パラメータ群（ δJ_M 、 δD_M 、 $\delta \tau_{fM}$ 、 δBL ）の各々と、モータ側誤差信号 e_M と、を線形に関連付けるモータ側内部信号 q_{0M} 、 q_{1M} 、 q_{2M} 及び不感帯用内部信号 q_3 を出力する。

同様に、本実施形態に係る負荷側エラースystem 124 は、負荷側誤差パラメータ群（ δJ_L 、 δD_L 、 $\delta \tau_{fL}$ 、 δBL ）の各々と、負荷側誤差信号 e_L と、を線形に関連付ける負荷側内部信号 q_{0L} 、 q_{1L} 、 q_{2L} 及び不感帯用内部信号 q_3 を出力する。

なお、モータ側エラースystem 123 が出力する不感帯用内部信号 q_3 及び負荷側エラースystem 124 が出力する不感帯用内部信号 q_3 は同一であるが、説明の便宜上、モータ側エラースystem 123 が出力する不感帯用内部信号 q_3 をモータ側内部信号 q_3 と記載し、負荷側エラースystem 124 が出力する不感帯用内部信号 q_3 を負荷側内部信号 q_3 と記載する。

[0120] ここで、モータ側内部信号 q_{0M} 、 q_{1M} 、 q_{2M} 、 q_3 は、入力であるモータ角度 θ_M 、負荷角度 θ_L 、及び、図 17 に示すブロック線図に基づいて、それぞれ、式 (10) のように表される。

[0121] [数10]

$$\left. \begin{aligned} q_{0M} &= s^2 \theta_M \\ q_{1M} &= s \theta_M \\ q_{2M} &= \text{sign}(s \theta_M) \\ q_3 &= (K_R + D_R s) \frac{\partial BKLS(\theta_M - \theta_L)}{\partial BL} \end{aligned} \right\} \cdots (10)$$

[0122] このようにして算出されたモータ側内部信号 q_{0M} 、 q_{1M} 、 q_{2M} 、 q_3 の各々は、モータ側誤差パラメータ群 (δJ_M 、 δD_M 、 $\delta \tau_{fM}$ 、 δBL) の各々と、モータ側誤差信号 e_M と、を線形に関連付けるパラメータとなる。

[0123] また、負荷側内部信号 q_{0L} 、 q_{1L} 、 q_{2L} 、 q_3 は、入力であるモータ角度 θ_M 、負荷角度 θ_L 、及び、図 17 に示すブロック線図に基づいて、それぞれ、式 (11) のように表される。

[0124] [数11]

$$\left. \begin{aligned} q_{0L} &= s^2 \theta_L \\ q_{1L} &= s \theta_L \\ q_{2L} &= \text{sign}(s \theta_L) \\ q_3 &= (K_R + D_R s) \frac{\partial BKLS(\theta_M - \theta_L)}{\partial BL} \end{aligned} \right\} \cdots (11)$$

[0125] このようにして算出された負荷側内部信号 q_{0L} 、 q_{1L} 、 q_{2L} 、 q_3 の各々は、負荷側誤差パラメータ群 (δJ_L 、 δD_L 、 $\delta \tau_{fL}$ 、 δBL) の各々と、負荷側誤差信号 e_L と、を線形に関連付けるパラメータとなる。

[0126] 図 18 は、第 2 の実施形態に係るモータ側エラーシステム及び負荷側エラーシステムの処理を説明する第 3 の図である。

本実施形態に係るモータ側エラーシステム 123、負荷側エラーシステム 124 は、上述したように、不感帯用内部信号 q_3 を出力するにあたり、図 1

8の(b)に示すような、予め用意された不感帯特性変化関数 F_2 を用いる。上述したように、不感帯特性変化関数 F_2 は、不感帯幅誤差成分 δBL が、モータ20側から負荷21側へと動力が伝達する系の伝達特性(不感帯特性関数 F_1 の特性)に与える変化の度合いを規定する非線形関数である。

[0127] ここで、モータ20と負荷21との間に設けられた軸22の“遊び”の幅(不感帯幅 BL)が、モデル不感帯幅 BL_0 から所定の不感帯幅誤差成分 δBL ($\delta BL > 0$)だけ変化した場合を考える。この場合、不感帯特性関数 F_1 は、図18の(a)に示すように、入力($\theta_M - \theta_L$)に対し出力がゼロとなる領域が、正負方向に $+\delta BL$ 、 $-\delta BL$ だけ広がる。その結果、入力($\theta_M - \theta_L$)が $+BL_0$ より大きい領域($\theta_M - \theta_L > BL_0$)においては、出力(縦軸)が $-\delta BL$ だけ変化する。また、入力($\theta_M - \theta_L$)が $-BL_0$ より小さい領域($\theta_M - \theta_L < -BL_0$)においては、出力(縦軸)が $+\delta BL$ だけ変化する。

[0128] また、不感帯特性関数 F_1 において、不感帯幅 BL が BL_0 であった場合には、入力($\theta_M - \theta_L$)が BL_0 を上回った時点で出力が上昇するのに対し、不感帯幅 BL が($BL_0 + \delta BL$)に変化すると、入力($\theta_M - \theta_L$)が($BL_0 + \delta BL$)を上回るまでは、出力は“ゼロ”のままである。したがって、入力($\theta_M - \theta_L$)が BL_0 から($BL_0 + \delta BL$)までの範囲においては、入力($\theta_M - \theta_L$)と、出力のマイナス方向への変化の度合いと、が比例関係にある。同様に、入力($\theta_M - \theta_L$)が $-BL_0$ から($-BL_0 - \delta BL$)までの範囲においては、入力($\theta_M - \theta_L$)と、出力のプラス方向への変化の度合いと、が比例関係にある。

また、入力($\theta_M - \theta_L$)が BL_0 から $-BL_0$ までの領域は、不感帯幅 BL における BL_0 から($BL_0 + \delta BL$)への変化に関わらず、出力は“ゼロ”のままである。つまり、不感帯幅 BL が BL_0 から($BL_0 + \delta BL$)へ変化しても、出力は変化しない。

[0129] 以上より、不感帯幅誤差成分 δBL が、不感帯特性関数 F_1 の特性に与える変化の度合いを表す不感帯特性変化関数 F_2 は、図18の(b)に示すよ

うな非線形特性によって表すことができる。

即ち、入力 $(\theta_M - \theta_L)$ が $BL_0 + \delta BL'$ を上回る領域においては、不感帯特性関数 F_1 による出力がマイナス方向に変化するので、不感帯特性変化関数 F_2 は、“−1”を出力する。同様に、入力 $(\theta_M - \theta_L)$ が $-BL_0 - \delta BL'$ を下回る領域においては、不感帯特性関数 F_1 による出力がプラス方向に変化するので、不感帯特性変化関数 F_2 は、“+1”を出力する。

また、入力 $(\theta_M - \theta_L)$ が BL_0 から $(BL_0 + \delta BL')$ までの領域においては、入力 $(\theta_M - \theta_L)$ の増加に応じて、出力が“ゼロ”から“−1”まで徐々に減少するように変化する。同様に、入力 $(\theta_M - \theta_L)$ が $-BL_0$ から $(-BL_0 - \delta BL')$ までの領域においては、入力 $(\theta_M - \theta_L)$ の減少に応じて、出力が“ゼロ”から“+1”まで徐々に増加するように変化する。

そして、入力 $(\theta_M - \theta_L)$ が BL_0 から $-BL_0$ までの領域においては、不感帯特性関数 F_1 の出力は変化しないので、不感帯特性変化関数 F_2 は、“ゼロ”を出力する。

なお、定数 $\delta BL'$ は、想定される不感帯幅誤差成分 δBL を予め予測して定めた定数であり、例えば、モデル不感帯幅 BL_0 の20%程度 ($\delta BL' = 0.2 \times BL_0$) とされる。

[0130] 次に、本実施形態に係るパラメータ同定部122（図15参照）の機能について説明する。

パラメータ同定部122は、モータ側エラーシステム123によって算出されたモータ側誤差信号 e_M （図16参照）と、同じくモータ側エラーシステム123によって算出されたモータ側内部信号 q_{0M} 、 q_{1M} 、 q_{2M} 、 q_3 （図17参照）と、を入力する。

[0131] パラメータ同定部122は、モータ側内部信号 q_{0M} 、 q_{1M} 、 q_{2M} 、 q_3 の各々が、未知のモータ側誤差パラメータ群 (δJ_M 、 δD_M 、 $\delta \tau_{fM}$ 、 δBL) の各々と、モータ側誤差信号 e_M とを、式(12)のように、線形に関連付けていることを利用して、上記未知のモータ側誤差パラメータ群の各々を算出する。

[0132] [数12]

$$e_M = [q_{0M} \ q_{1M} \ q_{2M} \ q_3] \begin{bmatrix} \delta J_M \\ \delta D_M \\ \delta \tau_{fM} \\ \delta BL \end{bmatrix} \cdots (12)$$

[0133] ここで、パラメータ同定部122は、機械系2における周期的動作のうちの一周期Tに当たるモータ側誤差信号 e_M とモータ側内部信号 q_{0M} 、 q_{1M} 、 q_{2M} 、 q_3 とを取得する。そして、式(12)の両辺にモータ側内部信号 q_{0M} 、 q_{1M} 、 q_{2M} 、 q_3 を乗じ、更に、両辺を一周期T分だけ時間積分すると、式(13)のように変形される。

[0134] [数13]

$$\int \begin{pmatrix} q_{0M} \\ q_{1M} \\ q_{2M} \\ q_3 \end{pmatrix} e_M = \int \begin{pmatrix} q_{0M} \\ q_{1M} \\ q_{2M} \\ q_3 \end{pmatrix} [q_{0M} \ q_{1M} \ q_{2M} \ q_3] \begin{bmatrix} \delta J_M \\ \delta D_M \\ \delta \tau_{fM} \\ \delta BL \end{bmatrix} \cdots (13)$$

$$\ast \int (\) = \int_{(n-1)T}^{nT} (\) dt \quad (n \text{ は自然数})$$

[0135] 更に、式(13)は、式(14)に変形される。

[0136] [数14]

$$V_M = \Phi_M \cdot \delta P_M$$

$$V_M = \begin{bmatrix} \int (e_M \cdot q_{0M}) \\ \int (e_M \cdot q_{1M}) \\ \int (e_M \cdot q_{2M}) \\ \int (e_M \cdot q_3) \end{bmatrix}, \Phi_M = \begin{bmatrix} \int q_{0M}^2 & \int (q_{1M} \cdot q_{0M}) & \int (q_{2M} \cdot q_{0M}) & \int (q_3 \cdot q_{0M}) \\ \int (q_{0M} \cdot q_{1M}) & \int q_{1M}^2 & \int (q_{2M} \cdot q_{1M}) & \int (q_3 \cdot q_{1M}) \\ \int (q_{0M} \cdot q_{2M}) & \int (q_{1M} \cdot q_{2M}) & \int q_{2M}^2 & \int (q_3 \cdot q_{2M}) \\ \int (q_{0M} \cdot q_3) & \int (q_{1M} \cdot q_3) & \int (q_{2M} \cdot q_3) & \int q_3^2 \end{bmatrix}, \delta P_M = \begin{bmatrix} \delta J_M \\ \delta D_M \\ \delta \tau_{fM} \\ \delta BL \end{bmatrix} \cdots (14)$$

[0137] これにより、パラメータ同定部122は、式(15)に従って、未知のモータ側誤差パラメータ群(δJ_M 、 δD_M 、 $\delta \tau_{fM}$ 、 δBL)を算出することができる。

[0138]

[数15]

$$\delta P_M = \Phi_M^{-1} \cdot V_M \quad \dots (15)$$

[0139] パラメータ同定部122は、算出されたモータ側誤差パラメータ群（ δJ_M 、 δD_M 、 $\delta \tau_{fM}$ 、 δBL ）の各々を、モータ側のモデルをなすモデルパラメータ群（ J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 BL_0 ）の各々から減算することで、新たなモデルパラメータ群（ J_{M0} 、 D_{M0} 、 τ_{fM0} 、 BL_0 ）を同定する。

[0140] 更に、パラメータ同定部122は、負荷側エラーシステム124によって算出されたモータ側誤差信号 e_L （図16参照）と、同じく負荷側エラーシステム124によって算出された負荷側内部信号 q_{0L} 、 q_{1L} 、 q_{2L} 、 q_3 （図17参照）と、を入力する。

[0141] パラメータ同定部122は、負荷側内部信号 q_{0L} 、 q_{1L} 、 q_{2L} 、 q_3 の各々が、未知の負荷側誤差パラメータ群（ δJ_L 、 δD_L 、 $\delta \tau_{fL}$ 、 δBL ）の各々と、負荷側誤差信号 e_L とを、式（16）のように、線形に関連付けていることを利用して、上記未知の負荷側誤差パラメータ群の各々を算出する。

[0142] [数16]

$$e_L = [q_{0L} \ q_{1L} \ q_{2L} \ q_3] \begin{bmatrix} \delta J_L \\ \delta D_L \\ \delta \tau_{fL} \\ -\delta BL \end{bmatrix} \quad \dots (16)$$

[0143] ここで、パラメータ同定部122は、機械系2における周期的動作のうちの一周期Tに当たる負荷側誤差信号 e_L と負荷側内部信号 q_{0L} 、 q_{1L} 、 q_{2L} 、 q_3 とを取得する。そして、式（16）の両辺に負荷側内部信号 q_{0L} 、 q_{1L} 、 q_{2L} 、 q_3 を乗じ、更に、両辺を一周期T分だけ時間積分すると、式（17）のように変形される。

[0144]

[数17]

$$\int \left(\begin{bmatrix} q_{0L} \\ q_{1L} \\ q_{2L} \\ q_3 \end{bmatrix} e_L \right) = \int \left(\begin{bmatrix} q_{0L} \\ q_{1L} \\ q_{2L} \\ q_3 \end{bmatrix} [q_{0L} \ q_{1L} \ q_{2L} \ q_3] \begin{bmatrix} \delta J_L \\ \delta D_L \\ \delta \tau_{fL} \\ -\delta BL \end{bmatrix} \right) \quad \dots (17)$$

[0145] 更に、式(17)は、式(18)に変形される。

[0146] [数18]

$$V_L = \Phi_L \cdot \delta P_L$$

$$V_L = \begin{bmatrix} \int (e_L \cdot q_{0L}) \\ \int (e_L \cdot q_{1L}) \\ \int (e_L \cdot q_{2L}) \\ \int (e_L \cdot q_3) \end{bmatrix}, \Phi_L = \begin{bmatrix} \int q_{0L}^2 & \int (q_{1L} \cdot q_{0L}) & \int (q_{2L} \cdot q_{0L}) & \int (q_3 \cdot q_{0L}) \\ \int (q_{0L} \cdot q_{1L}) & \int q_{1L}^2 & \int (q_{2L} \cdot q_{1L}) & \int (q_3 \cdot q_{1L}) \\ \int (q_{0L} \cdot q_{2L}) & \int (q_{1L} \cdot q_{2L}) & \int q_{2L}^2 & \int (q_3 \cdot q_{2L}) \\ \int (q_{0L} \cdot q_3) & \int (q_{1L} \cdot q_3) & \int (q_{2L} \cdot q_3) & \int q_3^2 \end{bmatrix}, \delta P_L = \begin{bmatrix} \delta J_L \\ \delta D_L \\ \delta \tau_{fL} \\ -\delta BL \end{bmatrix} \quad \dots (18)$$

[0147] これにより、パラメータ同定部122は、式(19)に従って、未知の負荷側誤差パラメータ群(δJ_L 、 δD_L 、 $\delta \tau_{fL}$ 、 δBL)を算出することができる。

[0148] [数19]

$$\delta P_L = \Phi_L^{-1} \cdot V_L \quad \dots (19)$$

[0149] パラメータ同定部122は、算出された負荷側誤差パラメータ群(δJ_L 、 δD_L 、 $\delta \tau_{fL}$ 、 δBL)の各々を、予め規定されていた負荷側のモデルをなすモデルパラメータ群(J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 BL_0)の各々から減算することで、新たなモデルパラメータ群(J_{L0} 、 D_{L0} 、 τ_{fL0} 、 BL_0)を同定する。

[0150] なお、本実施形態に係るパラメータ同定部122は、機械系2における周期的動作のうちの一周期T分のモータ側誤差信号 e_M 、負荷側誤差信号 e_L と、同じ一周期T分の各種内部信号 q_{0M} 、 q_{1M} 、 q_{2M} 、 q_{0L} 、 q_{1L} 、 q_{2L} 、 q_3 とを取得して、誤差信号と誤差パラメータ群との関係式(式(12)、式(16))を一周期Tで時間積分している。

このようにすることで、一周期 T の時間積分により未知の外乱がキャンセルされ得るため、誤差パラメータ群 (δJ_M 、 δD_M 、 $\delta \tau_{fM}$ 、 δJ_L 、 δD_L 、 $\delta \tau_{fL}$ 、 δB_L) を精度良く算出することができる。

[0151] 図19は、第2の実施形態に係るパラメータ同定装置の処理フローを示す図である。図19に示す処理フローは、例えば、第1の実施形態(図7)と同様に、機械系2の実運転の開始前等において、パラメータ同定装置12(図15)が機械系2についてのパラメータ同定を行う際に実行される。

[0152] パラメータ同定装置12は、ステップS01～ステップS04を経て、小振幅、低周波数の反復動作中に取得された各種実測データ (ω_M 、 θ_M 、 ω_L 、 θ_L 、 τ) に基づき、モデルモータ側摩擦係数 τ_{fM0} 、モデル負荷側摩擦係数 τ_{fL0} 、モデル不感帯幅 B_{L0} 、モデルねじれ剛性係数 K_{R0} を同定する。図19に示すステップS01～ステップS04の各処理は、第1の実施形態(図7)と同様であるため説明を省略する。

[0153] 次に、モータ制御システム1のオペレータは、上位機器を操作して所定の角度指令値を出力させることで、負荷21の角度(負荷角度 θ_L)を大振幅かつ高周波数で反復動作させる(ステップS11)。

[0154] 次に、パラメータ同定装置12のデータ取得部120は、大振幅かつ高周波数で反復動作中の機械系2から、モータ角速度 ω_M 、モータ角度 θ_M 、負荷角速度 ω_L 及び負荷角度 θ_L の経時的变化を示す実測データを取得する(ステップS12)。

[0155] 次に、パラメータ同定装置12のモータ側エラーシステム123は、図16～図18で説明した処理を経てモータ側誤差信号 e_M 、及び、モータ側内部信号 q_{0M} 、 q_{1M} 、 q_{2M} 及び不感帯用内部信号 q_3 を出力する。また、パラメータ同定装置12の負荷側エラーシステム124は、図16～図18で説明した処理を経て負荷側誤差信号 e_L 、及び、負荷側内部信号 q_{0L} 、 q_{1L} 、 q_{2L} 及び不感帯用内部信号 q_3 を出力する(ステップS13)。

[0156] 次に、パラメータ同定部122は、モータ側エラーシステム123及び負荷側エラーシステム124から入力した各種誤差信号、内部信号に基づいて

、モータ側誤差パラメータ群 (δJ_M 、 δD_M 、 $\delta \tau_{fM}$ 、 δB_L)、及び、負荷側誤差パラメータ群 (δJ_L 、 δD_L 、 $\delta \tau_{fL}$ 、 δB_L) を算出する。そして、パラメータ同定部 122 は、これらの誤差パラメータ群に基づいて、ステップ S04 で同定されていなかった残りのモデルパラメータを同定する (ステップ S14)。

具体的には、パラメータ同定部 122 は、ステップ S14 において、モデルモータ側慣性モーメント J_{M0} 、モデルモータ側粘性係数 D_{M0} 、モデル負荷側慣性モーメント J_{L0} 、及び、モデル負荷側粘性係数 D_{L0} を同定する。

[0157] (作用、効果)

以上のように、第 2 の実施形態に係るパラメータ同定装置 12 は、機械系 2 が行う反復動作の振幅及び周波数が相対的に小振幅かつ低周波数の場合に同定を行う第 1 ステップと、機械系 2 が行う反復動作の振幅及び周波数が相対的に大振幅かつ高周波数の場合に同定を行う第 2 ステップと、に分けてモデルパラメータの同定を行う。

より詳細には、パラメータ同定部 122 は、第 1 ステップにおいて取得されたトルク τ と、モータ 20 の角度及び角速度の実測データと、負荷 21 の角度及び角速度の実測データと、に基づいて、モータの摩擦、負荷の摩擦、軸 22 の剛性、及び、軸 22 の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定する。

そして、パラメータ同定部 122 は、第 2 ステップにおいて取得されたトルク τ と、モータ 20 の角度の実測データと、負荷 21 の角度の実測データと、に基づいて、モータ 20 の慣性モーメント及び粘性係数を示すモデルパラメータ (モデルモータ側慣性モーメント J_{M0} 、モデルモータ側粘性係数 D_{M0})、及び、負荷 21 の慣性モーメント及び粘性係数を示すモデルパラメータ (モデル負荷側慣性モーメント J_{L0} 、及び、モデル負荷側粘性係数 D_{L0}) を同定する。

[0158] ここで、小振幅、低周波数の状態であれば、慣性モーメント及び粘性係数の影響が小さく、モータ 20、負荷 21 の摩擦、軸 22 の剛性及び不感帯幅

の特性を捉えやすい。他方、大振幅、高周波数の状態であれば、モータ 20、負荷 21 の摩擦、軸 22 の剛性及び不感帯幅の影響が小さくなり、慣性モーメント及び粘性係数の特性を捉えやすくなる。

そこで、上述のような２段階のステップを実施する態様とすることで、２慣性系モデル MOD を構成する全てのパラメータを高精度に同定することができる。

[0159] また、上述の各実施形態においては、モータ制御システム 1 におけるパラメータ同定装置 12 の機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することにより各手順を行うものとしている。ここで、上述したパラメータ同定装置 12 の各処理の過程は、プログラムの形式でコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記憶されており、このプログラムをコンピュータが読み出して実行することによって上記各種処理が行われる。ここで、コンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM、半導体メモリ等をいう。また、このコンピュータプログラムを通信回線によってコンピュータに配信し、この配信を受けたコンピュータが当該プログラムを実行するようにしても良い。

また、パラメータ同定装置 12 の機能が、ネットワークで接続される複数の装置に渡って具備される態様であってもよい。

[0160] 以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものとする。

産業上の利用可能性

[0161] 上述のパラメータ同定装置、モータ制御システム、パラメータ同定方法及

びプログラムによれば、モータ及び負荷を有する機械系を精度よく模したモデルを得ることができる。

符号の説明

- [0162] 1 モータ制御システム
- 1 0 フィードバック制御部
 - 1 1 フィードフォワード制御部
 - 1 2 パラメータ同定装置
 - 1 2 0 データ取得部
 - 1 2 1 位相面図生成部
 - 1 2 2 パラメータ同定部
 - 1 2 3 モータ側エラーシステム
 - 1 2 4 負荷側エラーシステム
- 2 機械系
- 2 0 モータ
 - 2 1 負荷
 - 2 2 軸
- θ_t 目標角度（目標回転角度）
- τ 、 τ' トルク
- θ_M モータ角度（モータの角度）
- ω_M モータ角速度（モータの角速度）
- J_M モータ側慣性モーメント
- D_M モータ側粘性係数
- τ_{fM} モータ側摩擦係数
- τ_{fMc} モータ側クーロン摩擦係数
- θ_L 負荷角度（負荷の角度）
- ω_L 負荷角速度（負荷の角速度）
- J_L 負荷側慣性モーメント
- D_L 負荷側粘性係数

- τ_{fL} 負荷側摩擦係数
- τ_{fLc} 負荷側クーロン摩擦係数
- K_R ねじれ剛性係数
- D_R ねじれ粘性係数
- BL 不感帯幅
- MOD 2 慣性系モデル
- J_{M0} モデルモータ側慣性モーメント
- D_{M0} モデルモータ側粘性係数
- τ_{fM0} モデルモータ側摩擦係数
- τ_{fMc0} モデルモータ側クーロン摩擦係数
- J_{L0} モデル負荷側慣性モーメント
- D_{L0} モデル負荷側粘性係数
- τ_{fL0} モデル負荷側摩擦係数
- τ_{fLc0} モデル負荷側クーロン摩擦係数
- BL_0 モデル不感帯幅
- K_{R0} モデルねじれ剛性係数
- e_M モータ側誤差信号
- e_L 負荷側誤差信号
- δJ_M モータ側慣性モーメント誤差成分
- δD_M モータ側粘性係数誤差成分
- $\delta \tau_{fM}$ モータ側摩擦係数誤差成分
- δJ_L 負荷側慣性モーメント誤差成分
- δD_L 負荷側粘性係数誤差成分
- $\delta \tau_{fL}$ 負荷側摩擦係数誤差成分
- δBL 不感帯幅誤差成分
- q_{0M} 、 q_{1M} 、 q_{2M} モータ側内部信号
- q_{0L} 、 q_{1L} 、 q_{2L} 負荷側内部信号
- q_3 不感帯用内部信号（モータ側内部信号、負荷側内部信号）

- S 1、S 2 符号関数
- F 1 不感帯特性関数
- F 1' ガタ変位関数
- F 2 不感帯特性変化関数
- G_M モータ側摩擦特性関数
- G_L 負荷側摩擦特性関数
- P 1 ねじれ角度－トルク位相面図
- P 2 トルク－機械角速度位相面図
- P 3 ねじれ角度－機械角速度位相面図
- P 4 トルク－ねじれ速度位相面図
- P 5 ねじれ角度－ねじれ速度位相面図
- P 6 負荷角度－トルク位相面図

請求の範囲

【請求項1】 モータと負荷とが連結部材にて連結されてなる機械系を模した2慣性系モデルのモデルパラメータを同定するパラメータ同定装置であって、

前記モータに対するトルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、を取得するデータ取得部と、

取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、に基づいて複数の位相面図を生成する位相面図生成部と、

生成された複数の前記位相面図に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定するパラメータ同定部と、

を備えるパラメータ同定装置。

【請求項2】 前記位相面図生成部は、前記位相面図として、前記トルク指令値と前記連結部材のねじれ速度との関係を示すトルク－ねじれ速度位相面図を生成し、

前記パラメータ同定部は、前記トルク－ねじれ位相面図における折れ点の位置に基づいて前記モータの摩擦を示すモデルパラメータを同定する

請求項1に記載のパラメータ同定装置。

【請求項3】 前記位相面図生成部は、前記位相面図として、前記連結部材のねじれ角度と前記連結部材のねじれ速度との関係を示すねじれ角度－ねじれ速度位相面図を生成し、

前記パラメータ同定部は、前記ねじれ角度－ねじれ速度位相面図における折れ点の位置に基づいて前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定する

請求項1又は請求項2に記載のパラメータ同定装置。

[請求項4] 前記位相面図生成部は、前記位相面図として、前記トルク指令値と、前記モータの角速度及び前記負荷の角速度のうちの少なくとも何れか一つとの関係を示すトルク－機械角速度位相面図を生成し、

前記パラメータ同定部は、前記トルク－機械角速度位相面図における折れ点の位置に基づいて前記負荷の摩擦を示すモデルパラメータを同定する

請求項 1 から請求項 3 の何れか一項に記載のパラメータ同定装置。

[請求項5] 前記位相面図生成部は、前記位相面図として、前記負荷の角度と前記トルク指令値との関係を示す負荷角度－トルク位相面図を生成し、

前記パラメータ同定部は、前記負荷角度－トルク位相面図における折れ点の位置に基づいて前記負荷の摩擦を示すモデルパラメータを同定する

請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載のパラメータ同定装置。

[請求項6] 前記位相面図生成部は、前記位相面図として、前記連結部材のねじれ角度と前記トルク指令値との関係を示すねじれ角度－トルク位相面図を生成し、

前記パラメータ同定部は、前記ねじれ角度－トルク位相面図における折れ点の位置に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅のうちの少なくとも何れか一つを示すモデルパラメータを同定する

請求項 1 から請求項 4 の何れか一項に記載のパラメータ同定装置。

[請求項7] 前記トルク指令値、前記モータの角度、及び、前記負荷の角度の実測データに基づいて、前記 2 慣性系モデルのうちモータ側のモデルの、前記モータに対する誤差の度合いを示すモータ側誤差信号を出力するモータ側エラーシステムと、

前記モータの角度、及び、前記負荷の角度の実測データに基づいて、前記 2 慣性系モデルのうち負荷側のモデルの、前記負荷に対する誤差の度合いを示す負荷側誤差信号を出力する負荷側エラーシステムと

、

を更に備え、

前記パラメータ同定部は、

前記モータ側誤差信号を入力して、少なくとも前記モータの慣性モーメント及び粘性係数を示すモデルパラメータを同定し、かつ、前記負荷側誤差信号を入力して、少なくとも前記負荷の慣性モーメント及び粘性係数を示すモデルパラメータを同定する

請求項 1 から請求項 6 の何れか一項に記載のパラメータ同定装置。

[請求項8]

前記パラメータ同定部は、

前記機械系が行う反復動作の振幅及び周波数が相対的に小振幅かつ低周波数の場合に取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定し、

前記機械系が行う反復動作の振幅及び周波数が相対的に大振幅かつ高周波数の場合に取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度の実測データと、前記負荷の角度の実測データと、に基づいて、前記モータの慣性モーメント及び粘性係数を示すモデルパラメータ、及び、前記負荷の慣性モーメント及び粘性係数を示すモデルパラメータを同定する 請求項 7 に記載のパラメータ同定装置。

[請求項9]

モータと負荷とが連結部材にて連結されてなる機械系を模した 2 慣性系モデルのモデルパラメータを同定するパラメータ同定装置であって、

前記モータに対するトルク指令値と、前記モータの角度の実測データと、前記負荷の角度の実測データと、を取得するデータ取得部と、

取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度の実測データと、前記負荷の角度の実測データと、に基づいて、前記連結部材のねじ

れ角度と前記トルク指令値との関係を示すねじれ角度－トルク位相面図を生成する位相面図生成部と、

生成された前記ねじれ角度－トルク位相面図に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定するパラメータ同定部と、

を備えるパラメータ同定装置。

[請求項10] 請求項1から請求項9の何れか一項に記載のパラメータ同定装置と、

前記負荷の目標とする角度に対する現在の角度の偏差に基づいて、前記トルク指令値を算出するフィードバック制御部と、

前記パラメータ同定装置によって同定された前記モデルパラメータに基づいて、前記トルク指令値を算出するフィードフォワード制御部と、

を備えるモータ制御システム。

[請求項11] モータと負荷とが連結部材にて連結されてなる機械系を模した2慣性系モデルのモデルパラメータを同定するパラメータ同定方法であって、

前記モータに対するトルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、を取得するステップと、

取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、に基づいて複数の位相面図を生成するステップと、生成された複数の前記位相面図に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定するステップと、

を有するパラメータ同定方法。

[請求項12] モータと負荷とが連結部材にて連結されてなる機械系を模した2慣性系モデルのモデルパラメータを同定するパラメータ同定装置のコンピュータを、

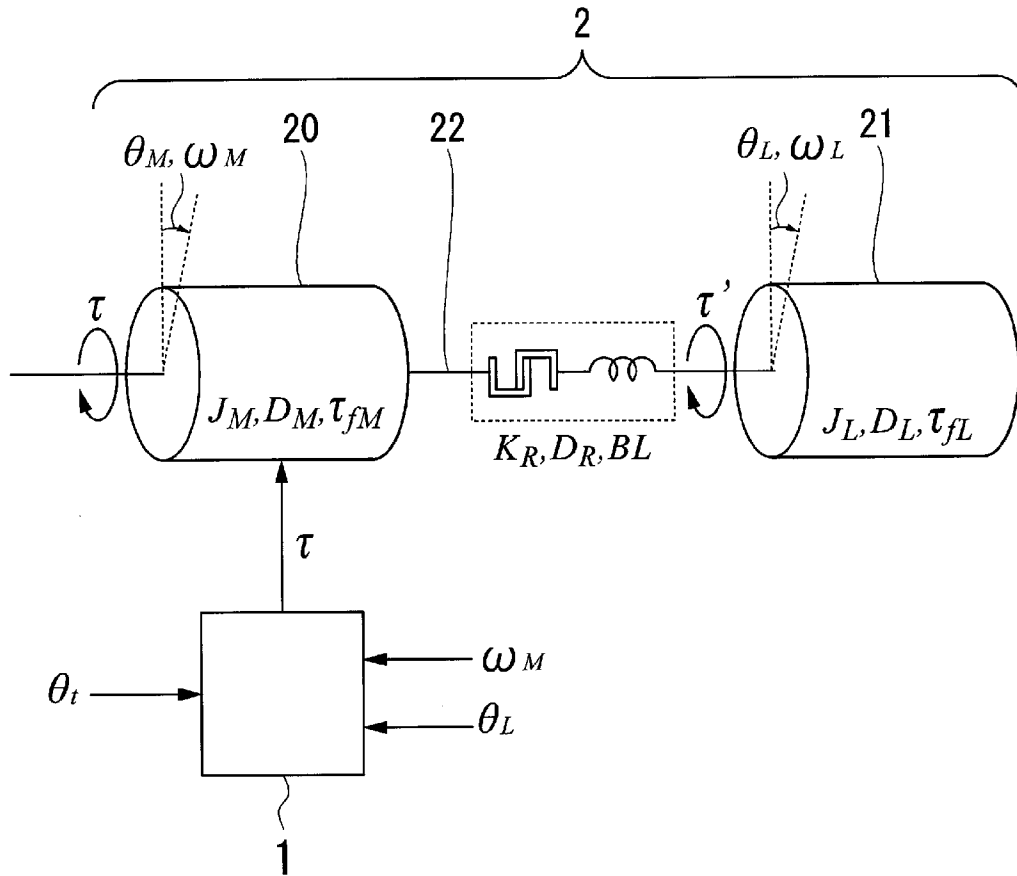
 前記モータに対するトルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、を取得するデータ取得部、

 取得された前記トルク指令値と、前記モータの角度及び角速度の実測データと、前記負荷の角度及び角速度の実測データと、に基づいて複数の位相面図を生成する位相面図生成部、

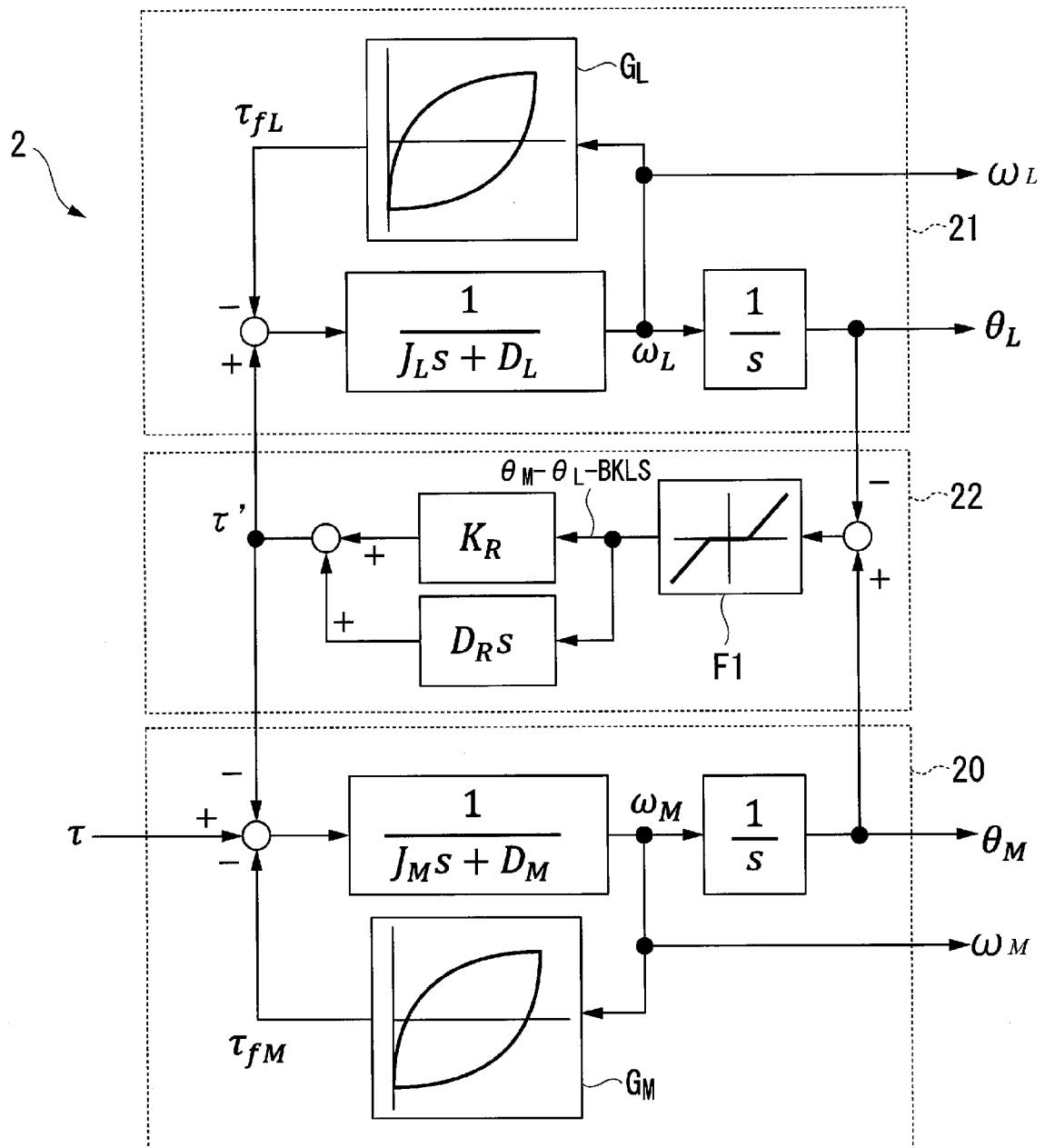
 生成された複数の前記位相面図に基づいて、前記モータの摩擦、前記負荷の摩擦、前記連結部材の剛性、及び、前記連結部材の不感帯幅を示すモデルパラメータを同定するパラメータ同定部、

 として機能させるプログラム。

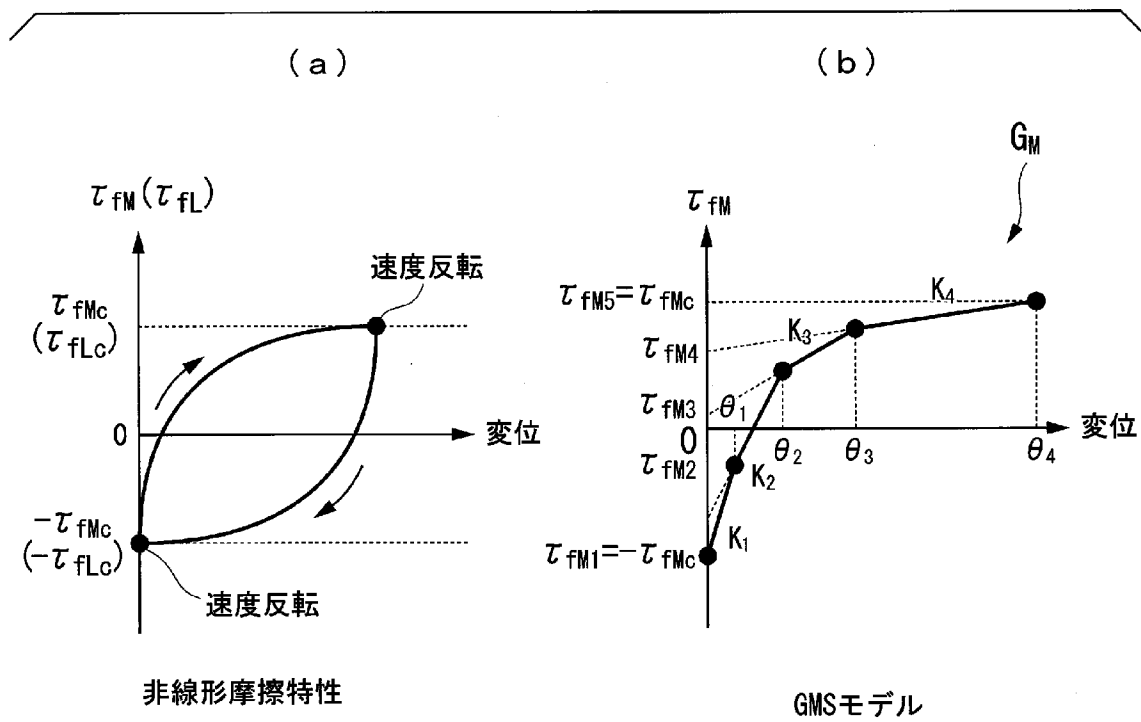
[図1]



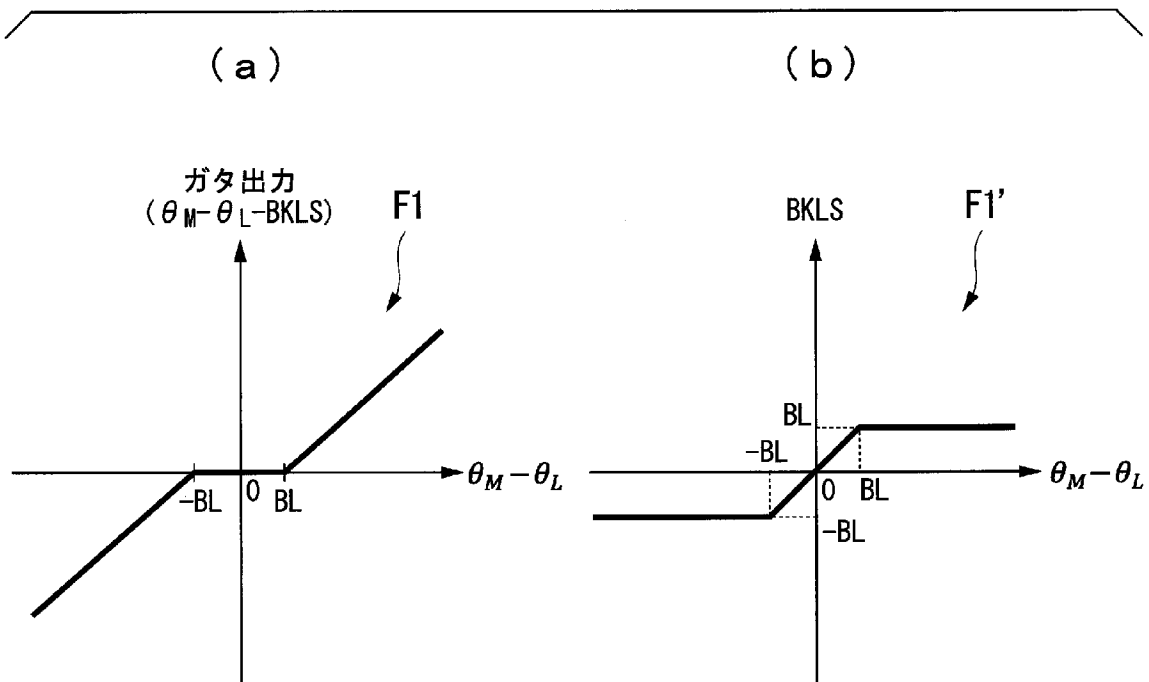
[図2]



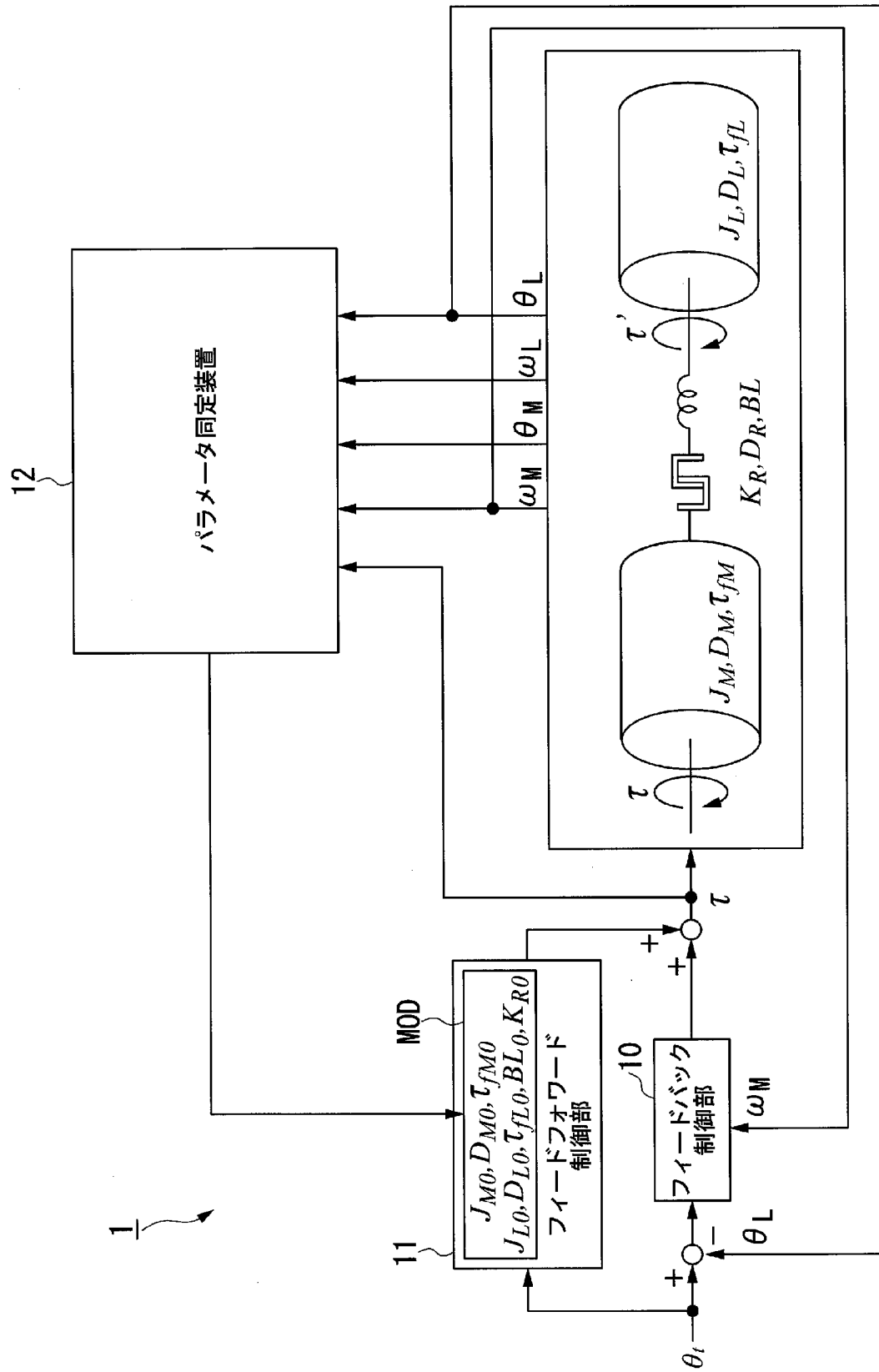
[図3]



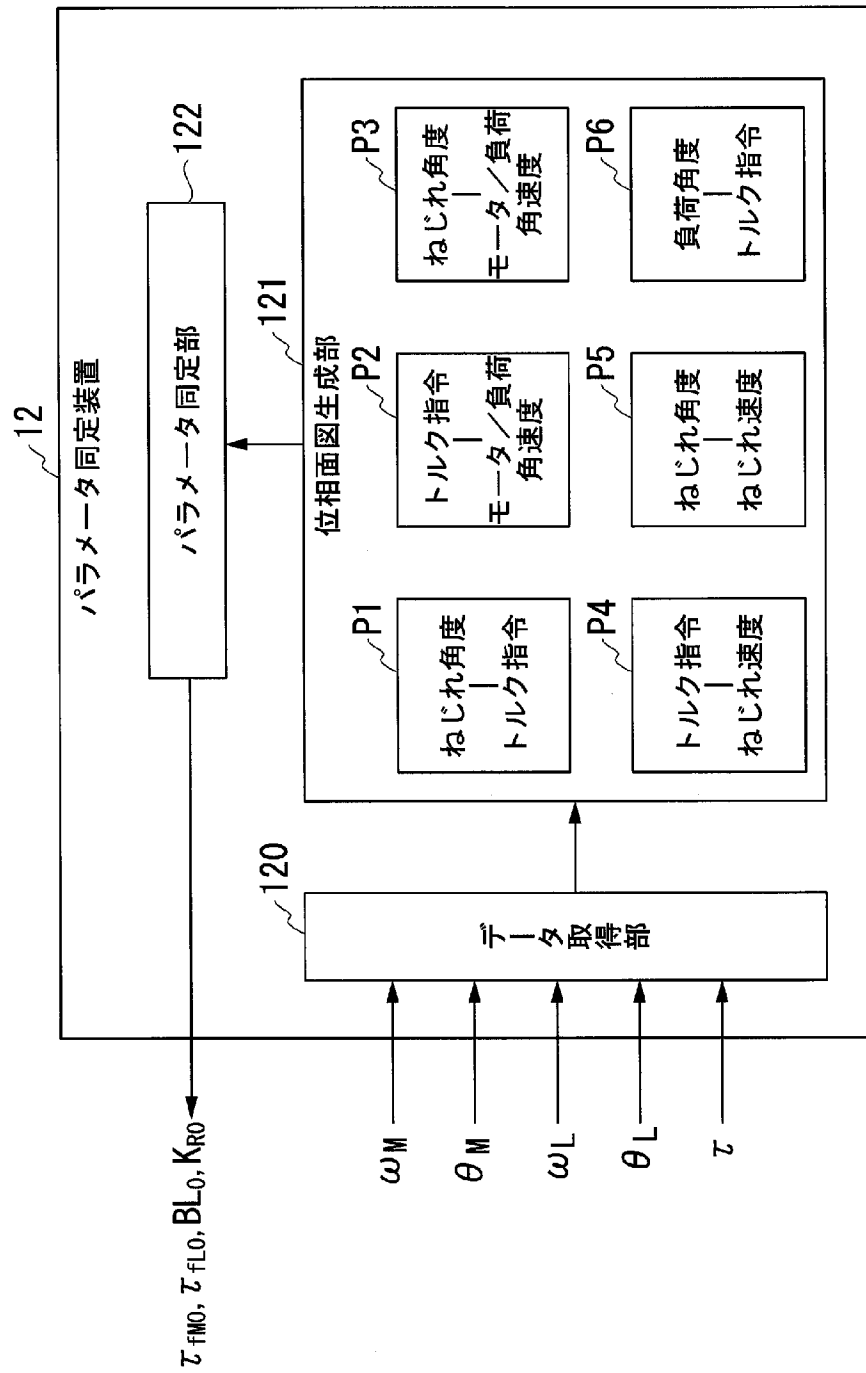
[図4]



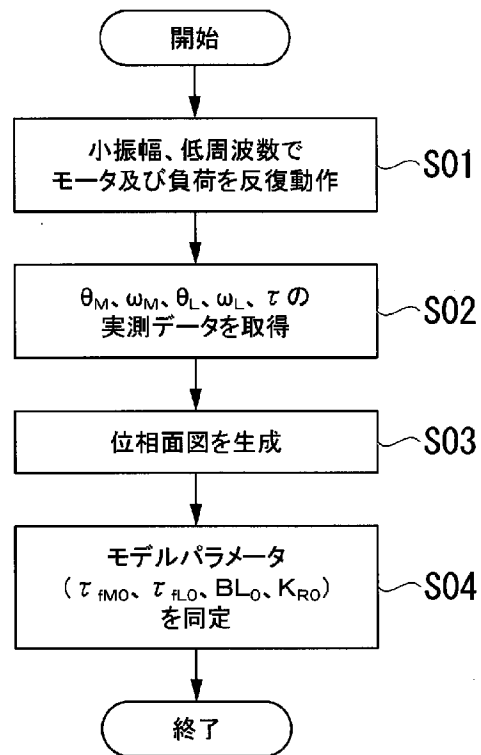
[図5]



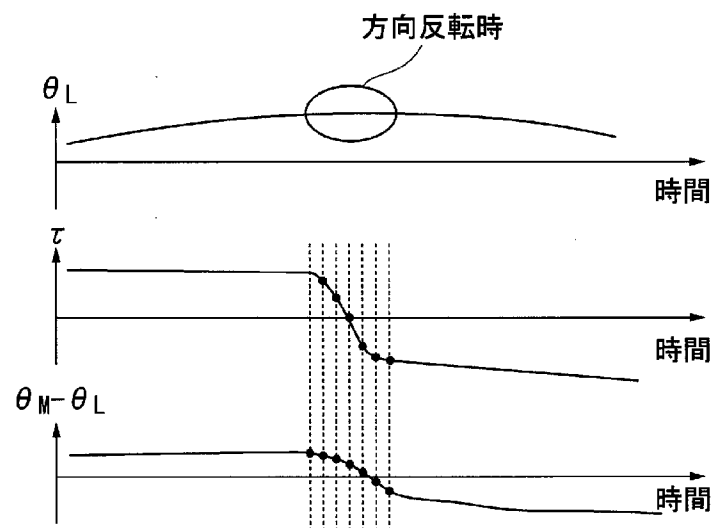
[図6]



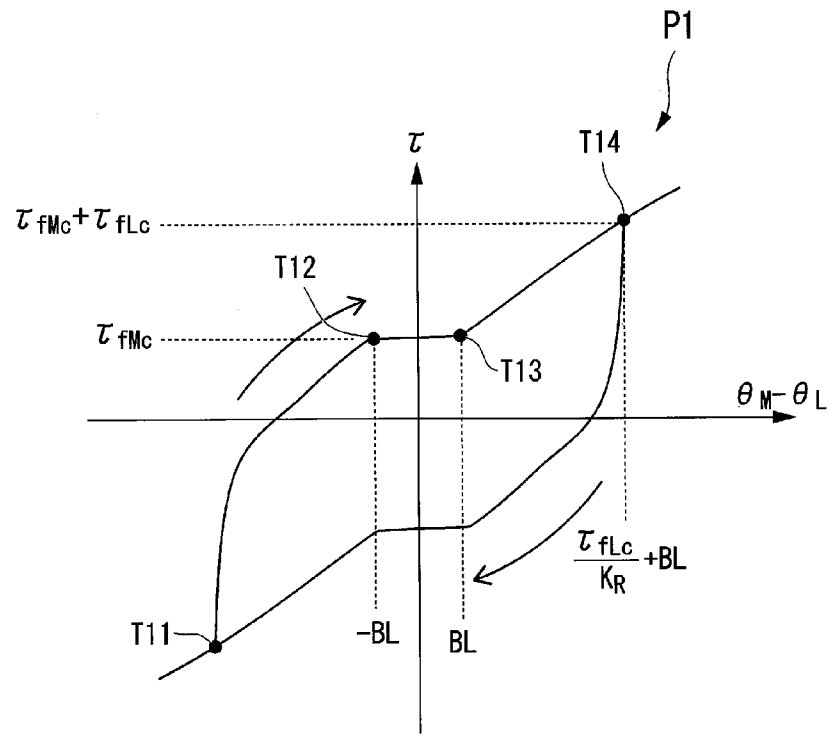
[図7]



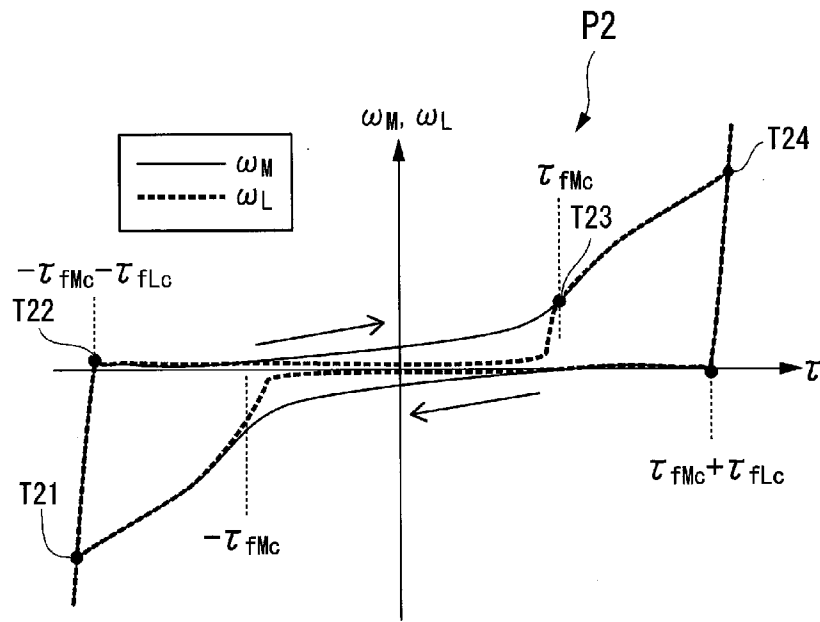
[図8]



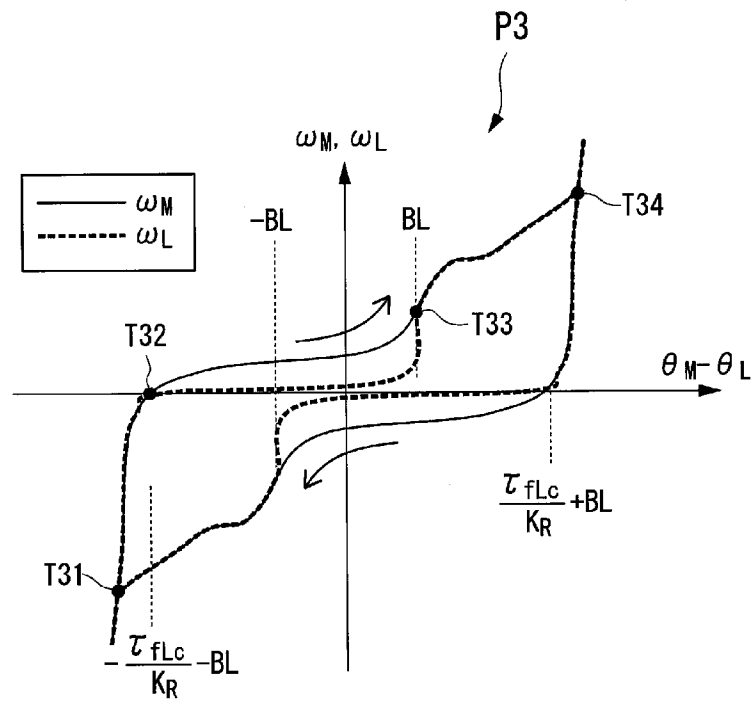
[図9]



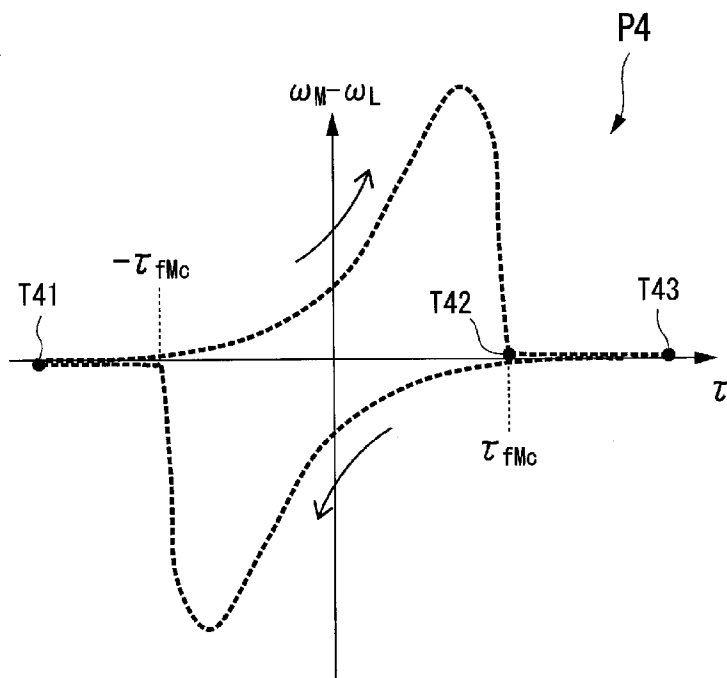
[図10]



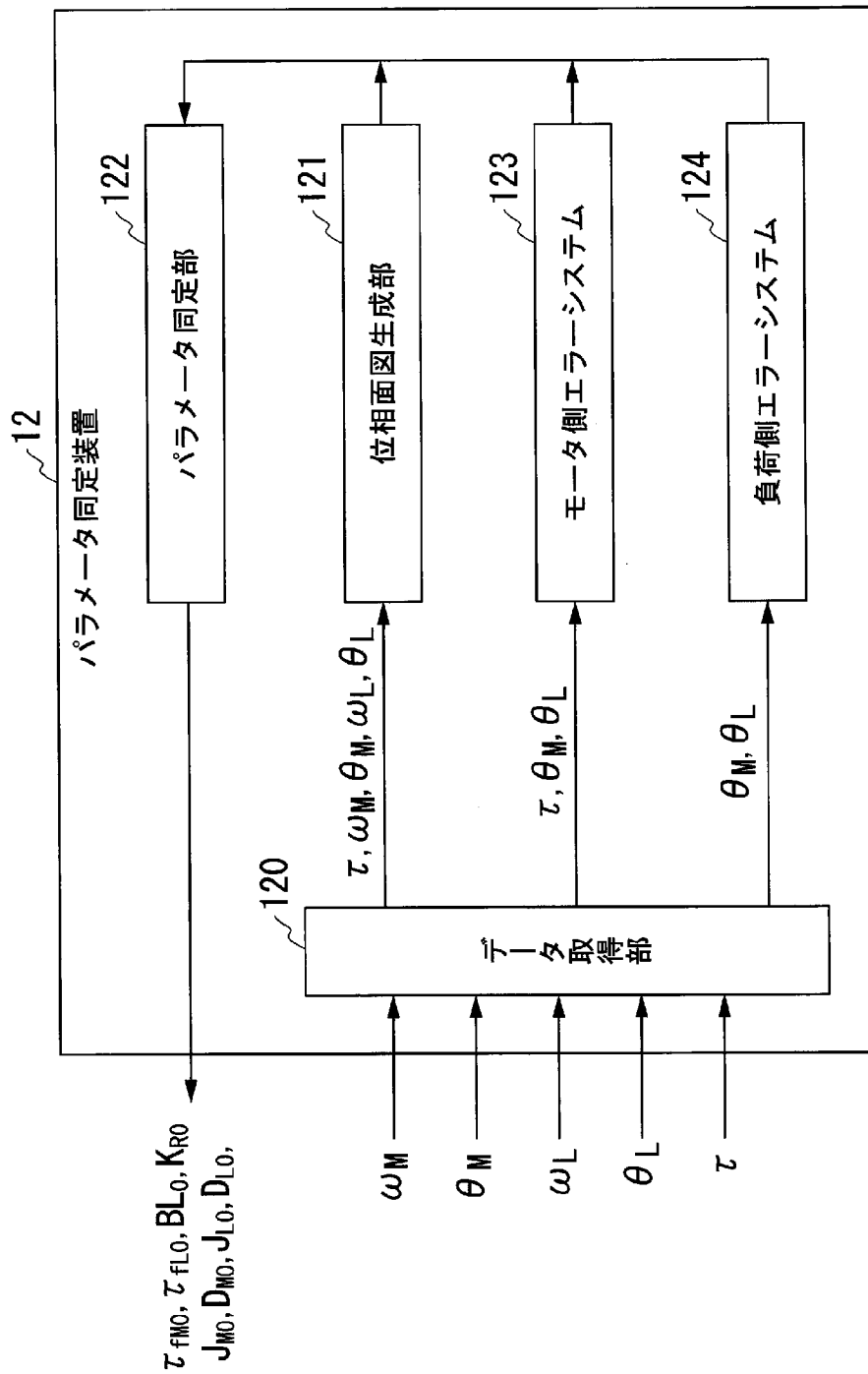
[図11]



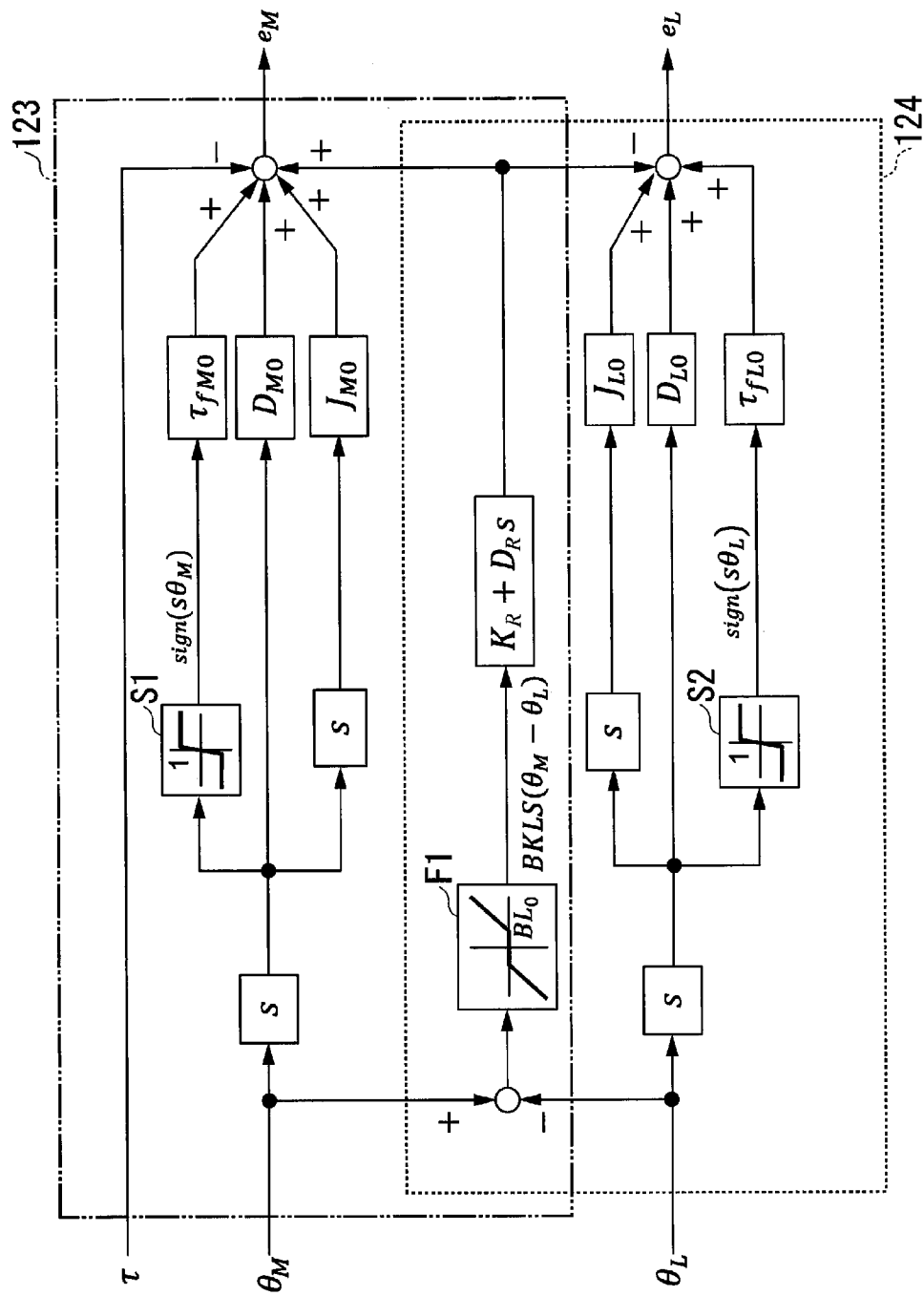
[図12]



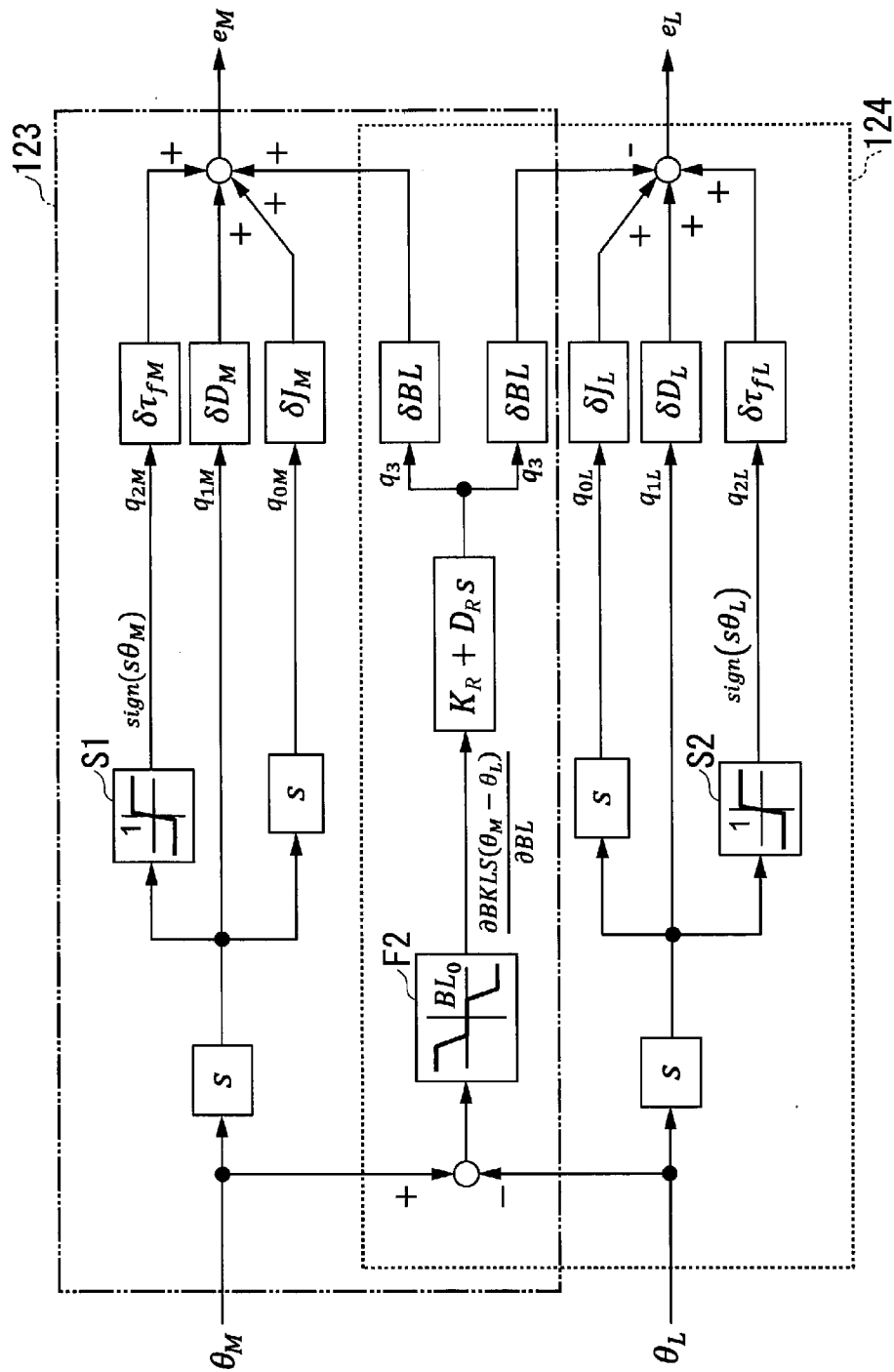
[図15]



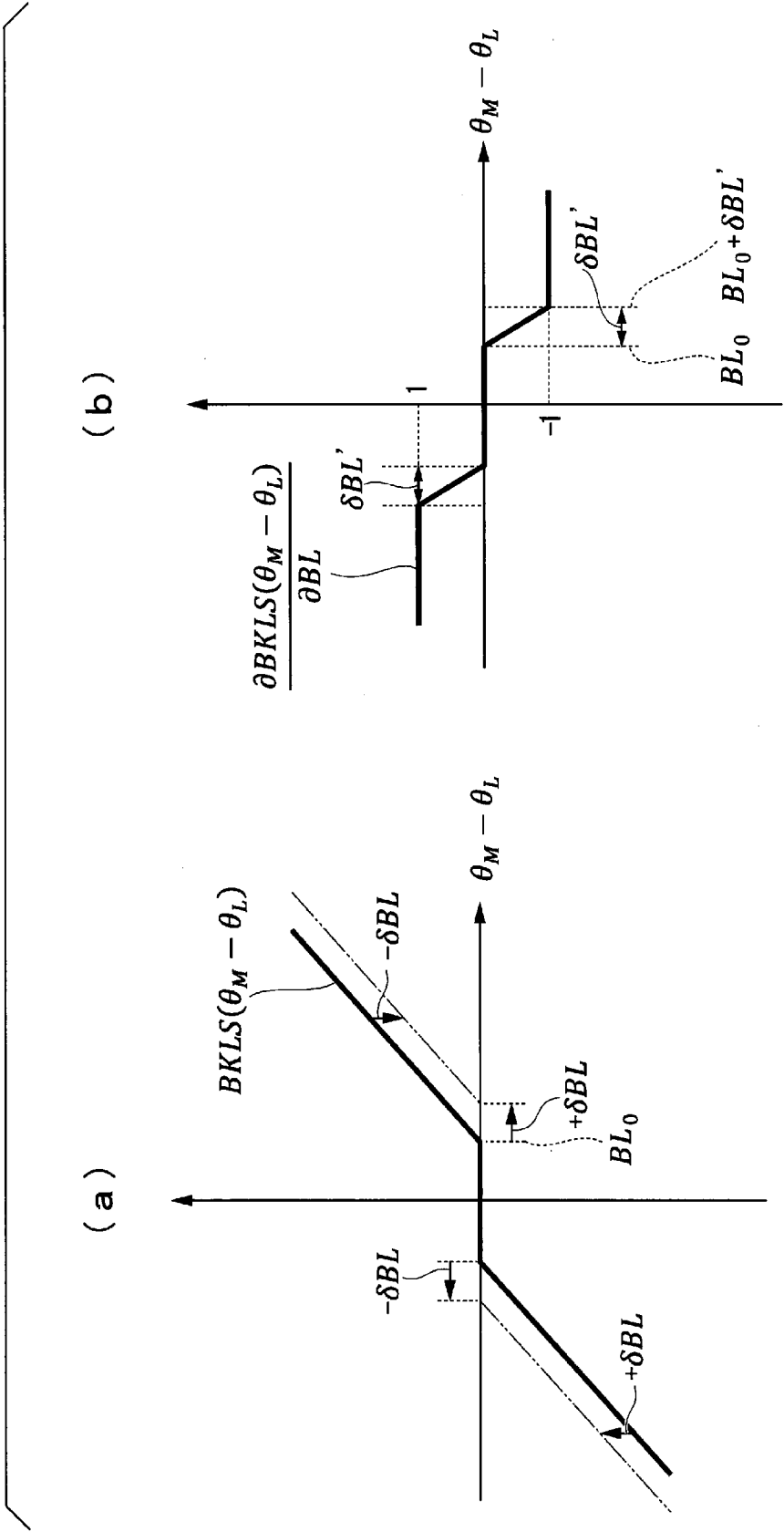
[図16]



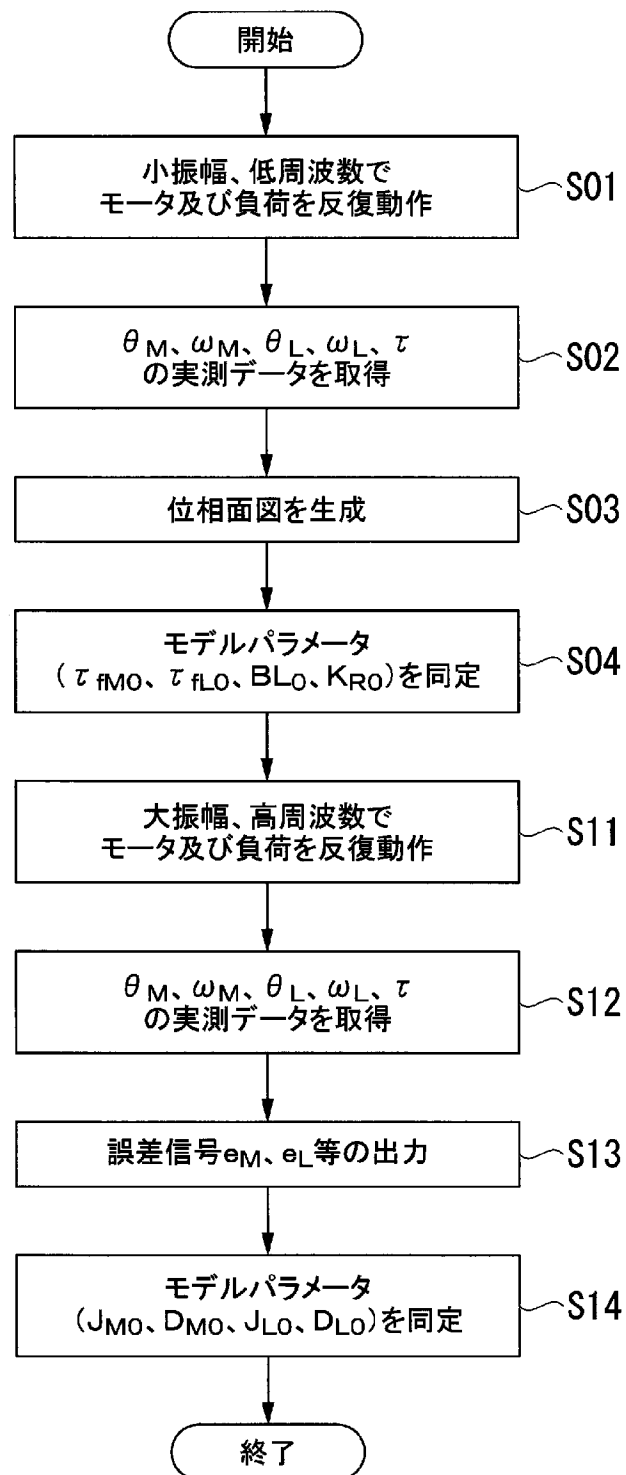
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/017827

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G05B23/02(2006.01)i, G05B11/32(2006.01)i, G05B19/19(2006.01)i, H02P21/14(2016.01)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)

G05B23/02, G05B11/32, G05B19/19, H02P21/14

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
A	JP 2003-506786 A (Fisher Controls International Inc.), 18 February 2003 (18.02.2003), paragraphs [0007] to [0008], [0019] to [0022], [0027], [0055] to [0057]; fig. 1, 7 & US 6466893 B1 column 2, lines 26 to 65; column 5, line 29 to column 6, line 59; column 7, line 64 to column 8, line 9; column 12, line 59 to column 13, line 60; fig. 1, 7	1-12
A	WO 2009/104676 A1 (Brother Industries, Ltd.), 27 August 2009 (27.08.2009), paragraphs [0090] to [0096] & CN 101952084 A	1-12

☒ 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
04 August 2017 (04.08.17)

Date of mailing of the international search report
15 August 2017 (15.08.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/017827

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 2013-128387 A (Fanuc Ltd.), 27 June 2013 (27.06.2013), paragraph [0006] & US 2013/0026963 A1 paragraph [0010] & DE 102012106771 A1 & CN 102904521 A	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G05B23/02(2006.01)i, G05B11/32(2006.01)i, G05B19/19(2006.01)i, H02P21/14(2016.01)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（IPC））

Int.Cl. G05B23/02, G05B11/32, G05B19/19, H02P21/14

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
A	JP 2003-506786 A（フィッシャー コントロールズ インターナショナル、インコーポレイテッド）2003.02.18, 段落[0007]-[0008], [0019]-[0022], [0027], [0055]-[0057], [図1], [図7] & US 6466893 B1, 第2欄第26行-第65行, 第5欄第29行-第6欄第59行, 第7欄第64行-第8欄第9行, 第12欄第59行-第13欄第60行, 第1図, 第7図	1-12
A	WO 2009/104676 A1（ブラザー工業株式会社）2009.08.27, 段落[0090]-[0096] & CN 101952084 A	1-12

☑ 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

「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

「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

「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）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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

「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

「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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04.08.2017

国際調査報告の発送日

15.08.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

藤島 孝太郎

3U

5367

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

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 2013-128387 A (ファナック株式会社) 2013.06.27, 段落[0006] & US 2013/0026963 A1, 段落[0010] & DE 102012106771 A1 & CN 102904521 A	1-12