

- 1 -

明 細 書

制御定数同定装置

〔技術分野〕

本発明は、工作機械等を駆動するモータの制御装置に関し、特に、イナーシャや粘性摩擦係数という制御定数を同定する制御装置に関する。

〔背景技術〕

制御定数を同定する装置として、例えば、

- (1) トルク指令を変えて回転速度を変化させ、トルク指令の積分量と回転速度の変化幅を計算し、 $(\text{イナーシャ}) = (\text{トルク指令の積分量}) / (\text{回転速度変化幅})$ なる演算からイナーシャを求める同定装置（特開昭61-88780号公報参照）。
- (2) ランプ部をもつ速度指令を入力して速度ループをP制御で行い、負荷イナーシャがない状態での定常速度偏差と負荷イナーシャがある状態での定常速度偏差の比から負荷イナーシャを求める同定装置（特開平6-70566号公報参照）。
- (3) 実際とシミュレーションにおける電流検出値もしくは電流指令値を時間積分して電流面積を求め、この電流面積計算結果から最初に仮定したイナーシャ仮定値を修正していくことによりイナーシャを求める同定装置（特開平4-325886号公報参照）。

などがある。

ところが前記従来例(1)、(2)、(3)ともに、粘性摩擦やクーロン摩擦がある場合イナーシャ同定値の誤差やばらつきが大きいという問題がある。また、特に(1)では回転速度が一定レートで変化する指令に限定され、(2)では積分制御を行っていないので外乱の影響を受けやすく、(3)では最初に仮定したイナーシャ仮定値が実際のイナーシャに近づくようにファジイ推論等を使って繰り返し修正を行いながらイナーシャを求めていくので演算が複雑で多量になるという問題もある。

〔発明の開示〕

本発明は、これらの問題を解決できる制御定数同定装置を提供することを目的とする。

- 2 -

上記問題点を解決するために、本発明は、
速度指令 V_{ref} を発生する指令発生部と、
前記速度指令 V_{ref} と実際のモータ速度 V_{fb} によりトルク指令 T_{ref} を決定しモータ速度を制御する速度制御部と、

モデルにより前記速度制御部をシミュレートして推定トルク指令 T_{ref}' を出力する推定部と、

前記速度制御部の出力であるトルク指令 T_{ref} を所定の区間 $[a, b]$ で時間積分した値 ST_{ref} と前記推定部の出力であるトルク指令 T_{ref}' を所定の区間 $[a, b]$ で時間積分した値 ST_{ref}' との比によりイナーシャ J を同定する同定部とを備え、

前記実際のモータ速度 V_{fb} と前記推定部で求めたモータ速度 V_{fb}' が時刻 b において零でない値で一致するものとなるように、前記所定の区間 $[a, b]$ 及び速度指令 V_{ref} を設定することを特徴とするものである。

本発明によれば、粘性摩擦、一定外乱及びクーロン摩擦がある場合でも、イナーシャ同定値の誤差とばらつきが小さく、しかも非常に簡単に少量の演算でイナーシャが求められる制御定数同定装置が提供できる。

〔図面の簡単な説明〕

図1は本発明の基本的な考え方を説明する原理図である。図2は本発明の原理を補足するためのブロック図である。図3は本発明の原理を補足するためのブロック図である。図4は本発明の実施例としての構成図である。図5は速度指令の例である。図6は図4における速度制御部と推定部と同定部の詳細を示す構成図である。図7はACサーボモータを用いた動作例である。

〔発明を実施するための最良の形態〕

以下、最初に本発明の原理を述べ、次にモータを用いた実施例について具体的に説明する。図1は、本発明の基本的な考え方を説明する原理図である。1は速度制御部であり、2は推定部である。速度制御部1ではPI制御を組んでおり、制御対象はイナーシャ J のみとし、同様に推定部2でもPI制御を組み、制御対象はイナーシャ J のみとする。同図において、速度制御部1の速度 V_{fb} と推定部の速度 V_{fb}' が一致し、 V_{fb} と V_{fb}' がいずれも零でない場合、速度制御部のトルク指令

- 3 -

積分値 ST_{ref} とイナーシャ J 及び推定部のトルク指令積分値 ST_{ref}' とイナーシャ J' には、 $J/J' = ST_{ref}/ST_{ref}'$ …(1) の関係が成り立ち、イナーシャ J は、 $J = (ST_{ref}/ST_{ref}') * J'$ …(2) から直ちに求まる。以上が本発明の基本的原理である。

ただし、粘性摩擦 D が存在する系においては、粘性摩擦 D を無視することができず、この関係を成立させるには所定の区間 $[a, b]$ における速度 V_{fb} の積分値が零である、という条件を付加しなければならない。以下にその理由を述べる。図2は、制御対象がイナーシャ J と粘性摩擦 D で表された場合のブロック図であり、図3は図2を書き直したブロック図である。図3から明らかなように、速度 V_{fb} の前記区間 $[a, b]$ における積分値が零であれば、粘性摩擦 D の影響をなくすることができる。よって、この条件を付加すれば(1) 式が成り立ち(2) 式から直ちにイナーシャ J が求まる。なお、ここでは速度 V_{fb} の積分値が零としたが、位置を管理していれば、前記区間 $[a, b]$ における時刻 a での位置と時刻 b での位置が一致していれば良いことになる。また、モータ速度 V_{fb} の時間積分値が零となるような複数の区間で求めたイナーシャの平均値をイナーシャ J としてもよい。次に、一定外乱 Id がかかった場合は、ある速度指令 V_{ref1} により求めたイナーシャ $J1$ と、速度指令 V_{ref1} の正負を反転させた V_{ref2} により求めたイナーシャ $J2$ との平均値をイナーシャ J とすれば一定外乱 Id の影響をなくすることができる。クーロン摩擦がある場合は、前記区間 $[a, b]$ 内でのモータの正転時間と逆転時間が等しくなるように前記区間 $[a, b]$ 及び速度指令 V_{ref} を設定すればクーロン摩擦の影響もなくすることができる。また、一定外乱 Id は速度指令 V_{ref1} により求めたトルク指令積分値 ST_{ref1} と、速度指令 V_{ref1} の正負を反転させた V_{ref2} により求めたトルク指令積分値 ST_{ref2} との平均値を積分時間 $b-a$ で割ることにより求められる。粘性摩擦 D は速度指令 V_{ref} が一定加速時あるいは一定減速時におけるトルク指令 T_{ref} の傾き(時間変化)から求めることができる。

次に、モータを用いた実施例について具体的に説明する。図4は本発明の実施例としての構成図である。図中41は指令発生部であり、速度指令 V_{ref} を速度制御部42と推定部43に出力する。また、44は同定部であり、速度制御部42のトルク指令 T_{ref} と推定部43のトルク指令 T_{ref}' を入力しイナーシャ J 、一定

- 4 -

外乱 T_d 及び粘性摩擦 D を求める。次に、各部については実験を行った構成に基づいて図5、図6を用いて述べ、ACサーボモータを用いた動作例を図7に示す。指令発生部41は速度指令 V_{ref} を発生する。速度指令 V_{ref} は、例えば図5(A)～(F)に示すような指令が考えられるが、ここでは同図中5(A)に示すように最高速度と最低速度の絶対値が同じで加減速が同じである台形形状の速度指令 V_{ref} とした。速度制御部42と推定部43と同定部44の構成を図6に示す。速度制御部42は速度指令 V_{ref} に速度 V_{fb} が一致するように速度ループを組んでおり、ここではPI(比例積分)制御とし、トルク指令 T_{ref} をモータを駆動する電流制御器と同定部44に出力する。なお、モータにはモータイナーシャ J_M の4.16倍の負荷 $J_L(=4.16 \cdot J_M)$ が取り付けられており、モータからは速度 V_{fb} が出力されているとする。推定部43は速度制御部42と同じくPI制御で構成して、制御対象を $1/J'S$ でモデル化し、トルク指令 T_{ref}' を制御対象 $1/J'S$ と同定部44に出力する。同定部44では速度制御部42から出力されたトルク指令 T_{ref} と同定部43から出力されたトルク指令 T_{ref}' を受け取り、それぞれを時刻 a から時刻 b まで時間積分した値 ST_{ref} と ST_{ref}' と推定部のイナーシャ J' とからイナーシャ J を、 $J=(ST_{ref}/ST_{ref}') \cdot J'$ により求める。

図7はACサーボモータを用いた場合の動作例であり、 V_{ref} は速度指令、①は速度制御部42内のモータの速度 V_{fb} 、①'は推定部43内の速度 V_{fb}' 、②は速度制御部内のトルク指令 T_{ref} 、及び②'は推定部43内のトルク指令 T_{ref}' である。②と②'をそれぞれ時刻 a_1 から時刻 b_1 まで時間積分した値 ST_{ref1} と ST_{ref1}' と推定部のイナーシャ J' とからイナーシャ J_1 を求めると、 $J_1=(ST_{ref1}/ST_{ref1}') \cdot J'=5.49 \cdot J_M$ となり、同様に時刻 a_2 から時刻 b_2 まで時間積分した値 ST_{ref2} と ST_{ref2}' と推定部のイナーシャ J' とからイナーシャ J_2 を求めると、 $J_2=(ST_{ref2}/ST_{ref2}') \cdot J'=4.81 \cdot J_M$ となるので、イナーシャ J は、 $J=(J_1+J_2)/2=5.15 \cdot J_M$ と同定できる。この同定値は(モータイナーシャ J_M)+(負荷イナーシャ $J_L=4.16 \cdot J_M$) $=5.16 \cdot J_M$ とほぼ一致している。但し、推定部のイナーシャ J' は $J'=J_M$ としてシミュレートした。なお、本実験では推定部の演算もリアルタイムで行ったが、速度指令 V_{ref} を固定していれば、推定部のトルク指令積分値 ST_{ref}' は予め計算できるので、速度

制御部42内のトルク指令積分値 ST_{ref} のみリアルタイムで演算すればよい。

なお、実際には速度が零になる場合、静止摩擦の影響のため前記(1)式の関係は成立しない。従って、前記速度 V_{fb} が $X1 \leq V_{fb} \leq X2$ である場合(但し $X1 \leq 0, X2 \geq 0$)は前記速度制御部のトルク指令 T_{ref} 及び前記推定部のトルク指令 T_{ref}' の時間積分を行わないようにすれば $I/I' = ST_{ref}/ST_{ref}'$ が成立し、 $I = (ST_{ref}/ST_{ref}') \cdot I'$ 式からイナーシャ J が直ちに求まる。また、図2のように粘性摩擦 D がある場合は、図2を書き直した図3から明らかなように、速度 V_{fb} の前記区間 $[a, b]$ における積分値が零であれば、粘性摩擦 D の影響をなくすることができるので、前記速度 V_{fb} が $X1 \leq V_{fb} \leq X2$ である場合(但し $X1 \leq 0, X2 \geq 0$)は、前記速度制御部のトルク指令 T_{ref} 及び前記推定部のトルク指令 T_{ref}' の時間積分を行わないようにし、かつ、前記速度 V_{fb} が $X1 \leq V_{fb} \leq X2$ である場合の時間 $t1$ ($t1 \geq 0$)の間を除いた前記速度 V_{fb} の時間積分値が零となるように前記区間 $[a, b]$ および速度指令 $V_{r_{ref}}$ を設定すれば粘性摩擦 D の影響も除去できる。以上により、速度が零または零に近い場合に生じる静止摩擦等の影響を受けずにイナーシャが同定可能な制御定数同定装置が提供できる。

また、実際とモデルの動作の違いが大きい場合は、速度制御部の速度 V_{fb} と推定部の速度 V_{fb}' が一致しにくいことがある。その場合は、図6に示すように、速度ループゲイン K_v' を調整する調整部45を設けてもよい。

前記調整部においては、前記推定部のトルク指令 T_{ref}' が $T_{ref}' > 0$ で、速度 $V_{fb} > \text{速度}V_{fb}'$ の場合は、前記推定部の速度ループゲイン K_v' を上げ、

前記推定部のトルク指令 T_{ref}' が $T_{ref}' < 0$ で、速度 $V_{fb} > \text{速度}V_{fb}'$ の場合は、前記推定部の速度ループゲイン K_v' を下げ、

前記推定部のトルク指令 T_{ref}' が $T_{ref}' < 0$ で、速度 $V_{fb} < \text{速度}V_{fb}'$ の場合は、前記推定部の速度ループゲイン K_v' を上げるような調整を行う。

〔産業上の利用可能性〕

本発明は、産業用機械、特に負荷の変動が少ない工作機械や仕分け機械等を駆動するモータの制御装置に利用できる。

請求の範囲

1. 速度指令 V_{ref} を発生する指令発生部と、
前記速度指令 V_{ref} と実際のモータ速度 V_{fb} によりトルク指令 T_{ref} を決定しモータ速度を制御する速度制御部と、
モデルにより前記速度制御部をシミュレートして推定トルク指令 T_{ref}' を出力する推定部と、
前記速度制御部の出力であるトルク指令 T_{ref} を所定の区間 $[a, b]$ で時間積分した値 ST_{ref} と前記推定部の出力であるトルク指令 T_{ref}' を所定の区間 $[a, b]$ で時間積分した値 ST_{ref}' との比によりイナーシャ J を同定する同定部とを備え、
前記実際のモータ速度 V_{fb} と前記推定部で求めたモータ速度 V_{fb}' が時刻 b において零でない値で一致するものとなるように、前記所定の区間 $[a, b]$ 及び速度指令 V_{ref} を設定することを特徴とする制御定数同定装置。
2. 前記指令発生部から発生する速度指令 V_{ref} を予め固定することを特徴とする請求項1記載の制御定数同定装置。
3. 前記速度制御部において、積分演算を含む制御を行うことを特徴とする請求項1または2記載の制御定数同定装置。
4. 前記実際のモータ速度 V_{fb} の前記所定の区間 $[a, b]$ での時間積分値が零となるように前記区間 $[a, b]$ および速度指令 V_{ref} を設定することを特徴とする請求項1乃至3記載の制御定数同定装置。
5. 前記実際のモータ速度 V_{fb} の時間積分値が零となるような複数の区間で求めたイナーシャの平均値をイナーシャ J とすることを特徴とする請求項1乃至4記載の制御定数同定装置。
6. 前記区間 $[a, b]$ 内でのモータの正転時間と逆転時間が等しくなるように前記区間 $[a, b]$ 及び速度指令 V_{ref} を設定することを特徴とする請求項1乃至3記載の制御定数同定装置。
7. ある速度指令 V_{ref1} により求めたイナーシャ $J1$ と、速度指令 V_{ref1} の正負を反転させた V_{ref2} により求めたイナーシャ $J2$ との平均値をイナーシャ J とすることを特徴とする請求項1乃至6の制御定数同定装置。



- 7 -

8. ある速度指令 V_{ref1} により求めたトルク指令積分値 ST_{ref1} と、速度指令 V_{ref1} の正負を反転させた V_{ref2} により求めたトルク指令積分値 ST_{ref2} とにより一定外乱 T_d を求めることを特徴とする請求項7記載の制御定数同定装置。

9. 速度指令 V_{ref} が一定加速時あるいは一定減速時におけるトルク指令 T_{ref} の傾き(時間変化)から粘性摩擦係数 D を求めることを特徴とする請求項1乃至3記載の制御定数同定装置。

10. 前記区間 $[a, b]$ 内で、前記速度 V_{fb} が $X1 \leq V_{fb} \leq X2$ である場合(但し $X1 \leq 0, X2 \geq 0$)は、前記速度制御部のトルク指令 T_{ref} 及び前記推定部のトルク指令 T_{ref}' の時間積分を行わないようにしたことを特徴とする請求項1記載の制御定数同定装置。

11. 前記速度 V_{fb} が $X1 \leq V_{fb} \leq X2$ である場合の時間 $t1$ ($t1 \geq 0$)の間を除いた前記速度 V_{fb} の時間積分値が零となるように、前記区間 $[a, b]$ および速度指令 V_{ref} を設定することを特徴とする請求項10記載の制御定数同定装置。

12. 前記速度制御部のモータ速度 V_{fb} と前記推定部の速度 V_{fb}' 及びトルク指令 T_{ref}' の情報から、前記推定部の速度ループゲイン K_v' の調整を行う調整部を備えることを特徴とする請求項1記載の制御定数同定装置。

13. 前記調整部において、前記推定部のトルク指令 T_{ref}' が $T_{ref}' > 0$ で、速度 $V_{fb} > \text{速度}V_{fb}'$ の場合は、前記推定部の速度ループゲイン K_v' を上げ、

前記推定部のトルク指令 T_{ref}' が $T_{ref}' < 0$ で、速度 $V_{fb} > \text{速度}V_{fb}'$ の場合は、前記推定部の速度ループゲイン K_v' を下げ、

前記推定部のトルク指令 T_{ref}' が $T_{ref}' < 0$ で、速度 $V_{fb} < \text{速度}V_{fb}'$ の場合は、前記推定部の速度ループゲイン K_v' を上げること特徴とする請求項12記載の制御定数同定装置。

