

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第5176729号  
(P5176729)

(45) 発行日 平成25年4月3日 (2013.4.3)

(24) 登録日 平成25年1月18日 (2013.1.18)

(51) Int. Cl.

F I

HO2P 29/00 (2006.01)

GO5B 13/02 (2006.01)

GO5D 3/12 (2006.01)

HO2P 5/00 X

GO5B 13/02 D

GO5D 3/12 3O5V

請求項の数 6 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2008-180235 (P2008-180235)	(73) 特許権者	000006622
(22) 出願日	平成20年7月10日 (2008.7.10)		株式会社安川電機
(65) 公開番号	特開2010-22132 (P2010-22132A)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(43) 公開日	平成22年1月28日 (2010.1.28)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成23年4月4日 (2011.4.4)		弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	安藤 玄
			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
		審査官	田村 耕作
		(56) 参考文献	国際公開第2007/018045 (W O, A1) 特開2008-072846 (JP, A )
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータ位置とトルク指令とに基づいて負荷の連結したモータである制御対象の慣性モーメントを同定する慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置であって、  
前記モータ位置と前記トルク指令の周波数成分のうち慣性モーメント同定に使用する成分であるモータ位置基本周波数成分とトルク指令基本周波数成分、および前記モータ位置の振幅であるモータ位置振幅を算出し、  
前記モータ位置基本周波数成分、前記トルク指令基本周波数成分、前記モータ位置振幅に基づいて慣性モーメント同定値を算出する慣性モーメント同定器を備え、  
前記慣性モーメント同定器は、  
前記モータ位置基本周波数成分に基づいてモータ加速度の符号である正規化モータ加速度矩形波を算出する正規化モータ加速度矩形波演算器と、  
前記トルク指令基本周波数成分と前記正規化モータ加速度矩形波を入力しその入力信号の乗算値であるトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値を算出するトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値演算器と、  
前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値を入力しその入力信号を前記モータ位置の1基本周期における平均値であるトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値を算出するトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値演算器と、  
前記モータ位置振幅と前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値に基づいて前記慣性モーメント同定値を算出する慣性モーメント演算器と、を備えることを特徴とす

るモータ制御装置。

【請求項 2】

トルク指令基本周波数成分演算器は、FFT（高速フーリエ変換）を用いて前記トルク指令基本周波数成分を算出し、

モータ位置基本周波数成分演算器は、FFTを用いて前記モータ位置基本周波数成分を算出することを特徴とする請求項 1 記載のモータ制御装置。

【請求項 3】

トルク指令基本周波数成分演算器は、前記制御対象が剛体的に動作する低い周波数である基本周波数を透過周波数とするバンドパスフィルタを用いて前記トルク指令基本周波数成分を算出し、

モータ位置基本周波数成分演算器は、前記バンドパスフィルタを用いて前記モータ位置基本周波数成分を算出することを特徴とする請求項 1 記載のモータ制御装置。

【請求項 4】

前記正規化モータ加速度矩形波演算器は、前記正規化モータ加速度矩形波を前記モータ位置の符号を反転させて算出した矩形波とすることを特徴とする請求項 1 記載のモータ制御装置。

【請求項 5】

前記慣性モーメント演算器は、前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値を前記制御対象が剛体的に動作する低い周波数である基本周波数の 2 乗と前記モータ位置振幅の積で乗算し、 $\sqrt{\quad}$  / 2 を乗算して前記慣性モーメント同定値を算出することを特徴とする請求項 1 - 4 のいずれか 1 項に記載のモータ制御装置。

【請求項 6】

前記モータ位置振幅が、モータ 1 / 5000 回転程度の微小動作となるように前記指令の振幅を設定し、算出した前記慣性モーメント同定値に基づいて前記制御対象の動作制御を行うことを特徴とする請求項 1 - 5 のいずれか 1 項に記載のモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、微小動作のみで負荷の連結したモータの慣性モーメントを同定する慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

モータ制御装置には、負荷の連結したモータである制御対象を高精度または高応答に駆動する場合、如何にして明確でない制御対象の慣性モーメント値を高精度かつ微小動作並びに短時間で同定し、その同定値に基づいて制御対象を駆動するか、が必要とされている。

従来技術の慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置は、トルク指令とモータ位置を設定時間において評価した値に基づいて慣性モーメント同定している（例えば、特許文献 1 参照）。また、トルク指令とモータ位置の 2 つの周波数成分の振幅に基づいて慣性モーメント同定しているものもある（例えば、特許文献 2 参照）。また、トルク指令のフーリエ係数とモータ位置の振幅に基づいて慣性モーメント同定しているものもある（例えば、特許文献 3 参照）。

【0003】

図 3 は、第 1 従来技術の慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置である。図において、301 は第 1 基本周波数成分検出器、302 は位置評価器、303 は周波数検出器、304 は第 1 演算器、305 は積分器、306 は第 2 基本周波数成分検出器、307 は積分トルク指令評価器であり、308 は第 2 演算器である。

第 1 基本周波数成分検出器 301 は、位置指令と位置を入力し、前記位置の周波数成分の中で前記位置指令の基本周波数における周波数成分を位置基本周波数成分として検出し出力する。位置評価器 302 は、前記位置基本周波数成分の設定した時間における値を位

10

20

30

40

50

置評価値として検出し出力する。周波数検出器 303 は、前記位置基本周波数成分の周波数を位置周波数として検出し出力する。第 1 演算器 304 は、前記位置評価値と前記位置周波数を入力し修正位置評価値を出力する。積分器 305 は、トルク指令を入力し前記トルク指令を零階時間積分した積分トルク指令を出力する。第 2 基本周波数成分検出器 306 は、前記位置指令と前記積分トルク指令を入力し、前記積分トルク指令の周波数成分の中で前記位置指令の基本周波数における周波数成分を積分トルク指令基本周波数成分として検出し出力する。積分トルク指令評価器 307 は、前記積分トルク指令基本周波数成分を入力し、その入力信号を設定した時間において評価した値を積分トルク指令評価値として出力する。第 2 演算器 308 は、前記修正位置評価値と前記積分トルク指令評価値を入力し、慣性モーメント同定値を出力する。

10

#### 【0004】

図 4 は、第 2 従来技術の慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置である。図において、401 はトルク指令振幅演算器、402 は位置振幅演算器、403 は第 1 慣性モーメント粘性摩擦演算器である。

トルク指令振幅演算器 401 は、トルク指令を入力し、その入力信号の基本周波数成分振幅であるトルク指令振幅を出力する。位置振幅演算器 402 は、位置を入力し、その入力信号の基本周波数成分振幅である位置振幅を出力する。第 1 慣性モーメント粘性摩擦演算器 403 は、前記トルク指令振幅と前記位置振幅を入力し、負荷の連結したモータである制御対象の慣性モーメントと粘性摩擦である慣性モーメント粘性摩擦同定値を算出し、出力する。

20

#### 【0005】

図 5 は、第 3 従来技術の慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置である。図において、501 は速度指令発生器、502 は速度制御器、503 はトルク制御器、504 はモータ、505 は位置検出器、506 は微分器、507 は慣性モーメント同定器、508 はトルク指令フーリエ変換器、509 はモータ位置振幅演算器、510 は慣性モーメント演算器である。

速度指令発生器 501 は、速度指令を出力する。速度制御器 502 は、前記速度指令とモータ速度を入力しトルク指令を出力する。トルク制御器 503 は、前記トルク指令を入力しモータ駆動信号を出力する。モータ 504 は、前記モータ駆動信号により駆動されその位置であるモータ位置は位置検出器 505 が検出し出力する。微分器 506 は、前記モータ位置を入力し前記モータ速度を出力する。慣性モーメント同定器 507 は、前記トルク指令と前記モータ位置を入力し負荷が連結したモータ 504 の負荷慣性モーメントである慣性モーメント同定値を算出し出力する。

30

慣性モーメント同定器 507 内部において、トルク指令フーリエ変換器 508 は、前記トルク指令を入力しその入力信号のフーリエ係数であるトルク指令フーリエ係数を出力する。モータ位置振幅演算器 509 は、前記モータ位置を入力しその入力信号振幅であるモータ位置振幅を出力する。慣性モーメント演算器 510 は、前記トルク指令フーリエ係数と前記モータ位置振幅を入力し前記慣性モーメント同定値を算出し出力する。

【特許文献 1】特開 2006 - 280080 号公報（第 10 - 13 頁、第 1 図）

【特許文献 2】特開 2007 - 020297 号公報（第 7 - 8 頁、第 1 図）

【特許文献 3】特開 2007 - 189856 号公報（第 3 - 6 頁、第 1 図）

40

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

第 1、第 2、第 3 従来技術の慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置は、クーロン摩擦を考慮していないので、制御対象のクーロン摩擦が大きい場合に慣性モーメント同定精度が劣化するため、改善の必要があった。また、その同定結果に基づいて制御対象の動作制御を実施すると動作精度が劣化するため、改善の必要があった。

本発明はこのような改善点に鑑みてなされたものであり、クーロン摩擦の影響を除去し、クーロン摩擦の大きな制御対象の慣性モーメントを高精度に同定することができ、その

50

同定結果に基づいて制御対象を高精度に動作制御できる慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置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】

【0007】

上記課題を解決するために、本発明は、次のように構成したのである。

本発明の一の観点によるモータ制御装置は、モータ位置とトルク指令とに基づいて負荷の連結したモータである制御対象の慣性モーメントを同定する慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置であって、前記モータ位置と前記トルク指令の周波数成分のうち慣性モーメント同定に使用する成分であるモータ位置基本周波数成分とトルク指令基本周波数成分、および前記モータ位置の振幅であるモータ位置振幅を算出し、前記モータ位置基本周波数成分、前記トルク指令基本周波数成分、前記モータ位置振幅に基づいて慣性モーメント同定値を算出する慣性モーメント同定器を備え、前記慣性モーメント同定器は、前記モータ位置基本周波数成分に基づいてモータ加速度の符号である正規化モータ加速度矩形波を算出する正規化モータ加速度矩形波演算器と、前記トルク指令基本周波数成分と前記正規化モータ加速度矩形波を入力しその入力信号の乗算値であるトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値を算出するトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値演算器と、前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値を入力しその入力信号を前記モータ位置の1基本周期における平均値であるトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値を算出するトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値演算器と、前記モータ位置振幅と前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値に基づいて前記慣性モーメント同定値を算出する慣性モーメント演算器と、を備えるモータ制御装置が適用される。

【発明の効果】

【0008】

請求項1または6に記載の発明によると、クーロン摩擦の大きく可動範囲が1/5000回転程度である制御対象の慣性モーメントを高精度に同定できる。

また、請求項2乃至3に記載の発明によると、トルク指令とモータ位置がリップルを多く含む場合にも、トルク指令が一定トルク外乱を含む場合にも、過渡応答が存在する場合にも、それらの影響を抑制し、クーロン摩擦の大きく可動範囲が1/5000回転程度である制御対象の慣性モーメントを高精度に同定できる。

また、請求項4乃至5に記載の発明によると、モータ加速度がリップルを多く含む場合にもその影響を抑制し、クーロン摩擦の大きく可動範囲が1/5000回転程度である制御対象の慣性モーメントを高精度に同定できる。

また、請求項6に記載の発明によると、トルク指令とモータ位置がリップルを多く含む場合にも、トルク指令が一定トルク外乱を含む場合にも、過渡応答が存在する場合にも、クーロン摩擦の大きく可動範囲が1/5000回転程度である制御対象を高精度に動作制御できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。

【実施例1】

【0010】

図1は、本発明の第1実施例を示す慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置である。図において、101は指令発生器、102はフィードバック制御器、103は電流制御器、104は制御対象、105はモータ位置検出器、106は慣性モーメント同定器、107はトルク指令基本周波数成分演算器、108はモータ位置基本周波数成分演算器、109は正規化モータ加速度矩形波演算器、110はトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値演算器、111はトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値演算器、112はモータ位置振幅演算器、113は慣性モーメント演算器である。

【0011】

指令発生器101は、制御対象104の目標動作を示す指令を出力する。フィードバック

10

20

30

40

50

ク制御器 102 は、前記指令とモータ位置を入力し制御対象 104 を前記目標動作どおりに動作させるようなトルク指令を出力する。電流制御器 103 は、前記トルク指令を入力しモータ電流により制御対象 104 を前記目標動作どおりに動作させる。制御対象 104 は、負荷の連結したモータであり、その前記モータ位置はモータ位置検出器 105 が検出し出力する。慣性モーメント同定器 106 は、前記トルク指令と前記モータ位置を入力し制御対象 104 の総慣性モーメントである慣性モーメント同定値を算出し出力する。

#### 【0012】

慣性モーメント同定器 106 において、トルク指令基本周波数成分演算器 107 は、前記トルク指令を入力しその入力信号の周波数成分のうち慣性モーメント同定に使用する周波数成分であるトルク指令基本周波数成分を出力する。モータ位置基本周波数成分演算器 108 は、前記モータ位置を入力しその入力信号の周波数成分のうち慣性モーメント同定に使用する周波数成分であるモータ位置基本周波数成分を出力する。正規化モータ加速度矩形波演算器 109 は、前記モータ位置基本周波数成分を入力しその入力信号の 2 階微分値のシグナム関数値である正規化モータ加速度矩形波を出力する。トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値演算器 110 は、前記トルク指令基本周波数成分と前記正規化モータ加速度矩形波を入力しその入力信号の乗算値であるトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値を出力する。トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値演算器 111 は、前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値を入力しその入力信号の 1 周期平均値であるトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値を出力する。モータ位置振幅演算器 112 は、前記モータ位置基本周波数成分を入力しその入力信号振幅であるモータ位置振幅を出力する。慣性モーメント演算器 113 は、前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値と前記モータ位置振幅を入力し前記慣性モーメント同定値を算出し出力する。

ここで、トルク指令基本周波数成分演算器 107 およびモータ位置基本周波数成分演算器 108 における、慣性モーメント同定に使用する周波数成分は、制御対象 104 が剛体的に動作する低い周波数である基本周波数における周波数成分である。

#### 【0013】

本発明が従来技術と異なる部分は、モータ位置基本周波数成分を入力し正規化モータ加速度矩形波を出力する正規化モータ加速度矩形波演算器 109 と、トルク指令基本周波数成分と前記正規化モータ加速度矩形波を入力しトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値を出力するトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値演算器 110 と、前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値を入力しトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値を出力するトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値演算器 111 と、前記モータ位置基本周波数成分を入力しモータ位置振幅を出力するモータ位置振幅演算器 112 と、前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値と前記モータ位置振幅を入力し慣性モーメント同定値を出力する慣性モーメント演算器 113、を備える部分である。

#### 【0014】

以下、慣性モーメント同定器 106 が、制御対象 104 の総慣性モーメントである慣性モーメント同定値を算出する仕組みの詳細を示す。

#### 【0015】

図 1 の制御対象 104 において、モータに連結した負荷が剛体であると近似すると、電流制御器 103、制御対象 104、モータ位置検出器 105 の運動方程式は式 (1) で表される。

#### 【0016】

##### 【数 1】

$$J\ddot{\theta} + D\dot{\theta} + T_c \operatorname{sgn}(\dot{\theta}) = T_{ref} - w \quad (1)$$

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 7 】

ただし、 $J$ は制御対象 1 0 4 の総慣性モーメント、 $D$ は粘性摩擦、 $T_c$ はクーロン摩擦、 $T_{ref}$ はトルク指令、 $w$ は一定トルク外乱、 $\theta$ はモータ位置である。図 1 の指令が、慣性モーメント同定に利用する周波数である基本周波数  $\omega$  を含むとすると、基本周波数  $\omega$  におけるモータ位置の周波数成分であるモータ位置基本周波数成分は式 ( 2 ) で表される。

## 【 0 0 1 8 】

## 【数 2】

$$\theta = A \cos \omega t \quad (2)$$

10

## 【 0 0 1 9 】

ただし、 $A$ はモータ位置振幅である。

## 【 0 0 2 0 】

式 ( 1 ) を式 ( 2 ) の 2 階微分値であるモータ加速度のシグナム関数で乗算すると式 ( 3 ) を得る。なお、シグナム関数は、符号関数とも呼ばれ、「実数に対しその符号に応じて 1、- 1、0 のいずれかを返す関数およびそれを拡張した複素関数」である周知事項である。

## 【 0 0 2 1 】

## 【数 3】

$$J \ddot{\theta} + D \dot{\theta} \operatorname{sgn}(\ddot{\theta}) + T_c \operatorname{sgn}(\dot{\theta}) \operatorname{sgn}(\ddot{\theta}) = T_{ref} \operatorname{sgn}(\ddot{\theta}) - w \operatorname{sgn}(\ddot{\theta}) \quad (3)$$

20

## 【 0 0 2 2 】

ただし、モータ速度と前記モータ加速度のシグナム関数は  $\pi/4$  [rad] 位相が異なり、前記モータ速度のシグナム関数と前記モータ加速度のシグナム関数の乗算値は  $\pi/2$  の周期関数であることを念頭において、式 ( 3 ) の基本周期  $T_p = 2\pi/\omega$  間における平均値をとり、総慣性モーメント  $J$  について解くと式 ( 4 ) を得る。

## 【 0 0 2 3 】

## 【数 4】

$$J = \frac{\pi T_{ref} \operatorname{sgn}(\ddot{\theta})}{2 \omega^2 A} \quad (4)$$

30

ただし、式 ( 4 ) におけるバーは基本周期  $T_p$  間の平均値を示す。

## 【 0 0 2 4 】

式 ( 4 ) は一定トルク外乱  $w$  を含まないので、制御対象 1 0 4 の姿勢により重力が一定トルク外乱として制御対象 1 0 4 を構成するモータを動作させる向きに働く場合にも、慣性モーメント同定できる。また、式 ( 4 ) は、モータ加速度のシグナム関数を用いており、前記シグナム関数は前記モータ加速度の符号のみに基づいて - 1、0、1 の値をとるので、モータ加速度がリップルを含む場合にも前記モータ加速度の符号に影響しない前記リップルにより精度が劣化することなく慣性モーメント同定できる。また、式 ( 4 ) はモータ位置基本周波数成分とトルク指令基本周波数成分を用いており、モータ位置およびトルク指令の含む他の周波数成分（たとえば、過渡応答、リップル、スーパーハーモニクス、サブハーモニクスなど）は除去されるので同定精度に影響せず、前記モータ位置およびトルク指令が含むリップル、過渡応答、制御対象 1 0 4 の非線形ダイナミクスの影響を抑制し、高精度に慣性モーメント同定できる。また、式 ( 4 ) は、モータ位置基本周波数成分の振幅であるモータ位置振幅を用いており、制御対象 1 0 4 の可動範囲が限定され、かつモータ位置検出器 1 0 5 の分解能が低く前記モータ位置の波形が粗い場合にも、FFTにより抽

40

50

出した前記モータ位置基本周波数成分はその他の周波数成分が除去された滑らかな信号となり、さらにその振幅は前述の粗い波形の前記モータ位置の振幅よりも大きくなることから、実際のモータ位置の振幅を復元でき、高精度に慣性モーメント同定が可能である。また、式(4)は粘性摩擦Dとクーロン摩擦T<sub>c</sub>を含まないので、粘性摩擦Dとクーロン摩擦T<sub>c</sub>が存在する場合にも高精度に慣性モーメント同定できる。また、式(4)は基本周期T<sub>p</sub>間の平均値を用いるので、トルク指令に含まれるリップルが除去され、その影響を抑制し高精度に慣性モーメント同定できる。モータ加速度がリップルを多く含む場合には、前記モータ加速度の符号は、より前記リップルの少ない前記モータ位置の符号を反転したものとすることで、式(4)を用いて高精度に慣性モーメント同定ができる。従来技術による同定精度が劣化する極めて小さな動作振幅(たとえば1/5000回転以下)においても、上記理由より本発明によると高精度に慣性モーメント同定が実施できる。

10

#### 【0025】

ここで、本発明における慣性モーメント同定器106内の各構成が、各入力に対しどのような演算に基づいて各出力を得るのかを整理する。

正規化モータ加速度矩形波演算器109は、モータ位置基本周波数成分を2階微分して得られたモータ加速度基本周波数成分にシグナム関数を適用した結果を正規化モータ加速度矩形波として出力する。

トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値演算器110は、トルク指令基本周波数成分と前記正規化モータ加速度矩形波の乗算値をトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値として出力する。

20

トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値演算器111は、前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値を、前記モータ位置基本周波数成分と前記トルク指令基本周波数成分の周波数である基本周波数の1周期間において平均し、式(4)の分子であるトルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値を算出する。

モータ位置振幅演算器112は、前記モータ位置基本周波数成分のピーク値よりその振幅であるモータ位置振幅を算出する。

慣性モーメント演算器113は、前記トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値を前記モータ位置振幅と前記基本周波数の2乗の乗算値で除算し、/2を乗算して、式(4)により慣性モーメント同定値を算出する。

#### 【0026】

30

本発明は、フィードバック制御器102が、位置P速度P制御、位置P速度PI制御、位置P速度I-P制御、速度P制御、速度PI制御、速度I-P制御、位置PID制御など任意の制御則である場合に適用可能であり、フィードフォワード制御と併用する場合にも適用可能である。

#### 【0027】

式(4)の導出では、制御対象104を構成するモータに連結した負荷は剛体で近似できることを仮定したが、前記モータに連結した負荷が柔軟である場合には、基本周波数を前記負荷の反共振周波数より十分に低く設定することにより、モータ側の慣性モーメントと負荷側の慣性モーメントとの和である総慣性モーメントが得られ、さらに基本周波数を共振周波数より十分に高く設定することにより、前記モータ側の慣性モーメントが得られる。また、前記総慣性モーメントより前記モータ側の慣性モーメントを減算することにより前記負荷側の慣性モーメントを同定することができる。

40

#### 【0028】

本発明は制御対象の姿勢(例えば、垂直、水平)に関わらず、一定トルク外乱、トルク指令とモータ位置に含まれるリップル、粘性摩擦、クーロン摩擦、モータ位置検出器の低分解能などの影響下においても、可動範囲の限定された負荷の連結したモータである制御対象の慣性モーメントを高精度に短時間に算出できる。

#### 【0029】

以下、本発明のシミュレーション結果を示す。シミュレーションに用いた数値は以下のとおりである。

50

$J^* = 0.58 \times 10^{-4} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$ 、 $D = 0.75 \times 10^{-3} [\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}]$ 、 $T_c = 7.8 \times 10^{-4} [\text{N} \cdot \text{m}]$ 、 $K_p = 40 [\text{s}^{-1}]$ 、 $K_v = 40 \times 2 \times [\text{s}^{-1}]$ 、 $J_0 = 0.116 \times 10^{-4} [\text{kg} \cdot \text{m}^2]$ 、 $T_i = 0.0016 [\text{s}]$ 、 $T = 125 \times 10^{-6} [\text{s}]$ 、 $T_{rat} = 0.637 [\text{N} \cdot \text{m}]$ 、 $b = 17 [\text{bit}]$ 、 $\omega = 50 \times 2 \times [\text{rad/s}]$ 、 $r_0 = 0.005 [\text{rad}]$

ただし、 $J$ は制御対象104の慣性モーメント真値、 $D$ は粘性摩擦、 $T_c$ はクーロン摩擦、 $K_p$ は位置比例制御ゲイン、 $K_v$ は正規化速度比例制御ゲイン、 $J_0$ は公称慣性モーメント、 $T_i$ は速度制御積分時定数、 $T$ は制御周期、 $T_{rat}$ は定格トルク、 $b$ はモータ位置検出器105の分解能、 $\omega$ は基本周波数、 $r_0$ は指令振幅である。ここで、速度比例制御ゲインは正規化速度比例制御ゲイン $K_v$ と公称慣性モーメント $J_0$ を用いて $K_{vj} = K_v \times J_0$ と表される。本シミュレーションではフィードバック制御器102は位置比例速度比例積分制御とし、指令は指令振幅 $r_0$ 、基本周波数 $\omega$ の正弦波とした。

10

【0030】

図2は、本発明の第1実施例を示すシミュレーションにおける一定トルク外乱を変化させた場合の慣性モーメント同定誤差である。図において、実線で示す慣性モーメント同定誤差 $e_J$ (%)は、慣性モーメント真値 $J^*$ と慣性モーメント同定値 $J$ を用いて式(5)により算出した。

【0031】

【数5】

$$e_J = \frac{J - J^*}{J^*} \times 100 \quad (5)$$

20

【0032】

一定トルク外乱 $w$ を定格トルク $T_{rat}$ の0[%]から50[%]まで変化させた場合、慣性モーメント同定誤差は常に一定で0.6[%]程度であった。本シミュレーションにおいて、モータ位置振幅は $8.0 \times 10^{-4} [\text{rad}]$ (17[bit]モータ位置検出器において16[pulse]程度)であり、トルク指令 $T_{ref}$ の振幅は $0.0048 [\text{N} \cdot \text{m}]$ (定格トルク $T_{rat}$ の0.75[%]程度)であったので、本発明によると微小動作のみでより大きな負荷の連結したモータの慣性モーメント同定ができることが分かる。一方、従来技術によると、その同定式はシグナム関数を用いないため、モータ位置振幅が本シミュレーションと同じ場合には、慣性モーメント同定誤差が-20[%]程度であった。

30

【0033】

このように、本発明は、モータ加速度またはモータ位置のシグナム関数に基づいているので、制御対象の姿勢に関わらず、一定トルク外乱、トルク指令とモータ位置に含まれるリップル、粘性摩擦、クーロン摩擦、モータ位置検出器の低分解能などの影響下においても、極めて小さな動作振幅(たとえば1/5000回転以下)においても、負荷の連結したモータである制御対象の慣性モーメントを高精度に短時間に算出できる。

【産業上の利用可能性】

40

【0034】

トルク指令とモータ加速度のシグナム関数による評価値の積の平均値に基づいて、クーロン摩擦の大きい制御対象の慣性モーメントを高精度に同定することができるので、半導体製造装置、工作機械など一般産業用機械の動作制御における制御ゲイン調整という用途にも適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】本発明の第1実施例を示す慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置

【図2】本発明の第1実施例を示すシミュレーションにおける一定トルク外乱を変化させた場合の慣性モーメント同定誤差

50



【図 3】第 1 従来技術の慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置

【図 4】第 2 従来技術の慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置

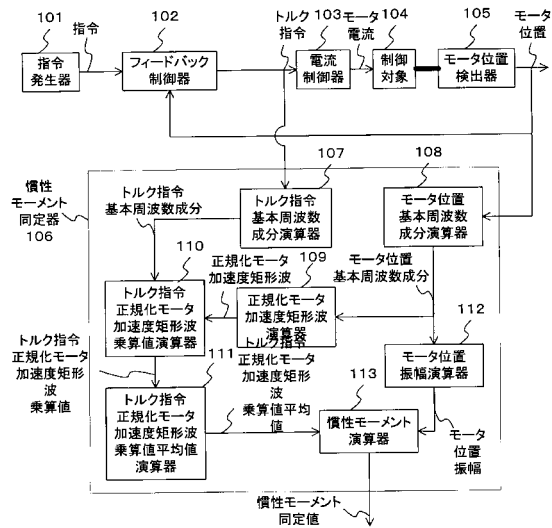
【図 5】第 3 従来技術の慣性モーメント同定器を備えたモータ制御装置

【符号の説明】

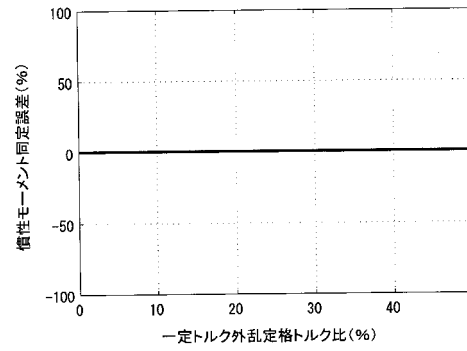
【 0 0 3 6 】

1 0 1	指令発生器	
1 0 2	フィードバック制御器	
1 0 3	電流制御器	
1 0 4	制御対象	
1 0 5	モータ位置検出器	10
1 0 6	慣性モーメント同定器	
1 0 7	トルク指令基本周波数成分演算器	
1 0 8	モータ位置基本周波数成分演算器	
1 0 9	正規化モータ加速度矩形波演算器	
1 1 0	トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値演算器	
1 1 1	トルク指令正規化モータ加速度矩形波乗算値平均値演算器	
1 1 2	モータ位置振幅演算器	
1 1 3	慣性モーメント演算器	
3 0 1	第 1 基本周波数成分検出器	
3 0 2	位置評価器	20
3 0 3	周波数検出器	
3 0 4	第 1 演算器	
3 0 5	積分器	
3 0 6	第 2 基本周波数成分検出器	
3 0 7	積分トルク指令評価器	
3 0 8	第 2 演算器	
4 0 1	トルク指令振幅演算器	
4 0 2	位置振幅演算器	
4 0 3	第 1 慣性モーメント粘性摩擦演算器	
5 0 1	速度指令発生器	30
5 0 2	速度制御器	
5 0 3	トルク制御器	
5 0 4	モータ	
5 0 5	位置検出器	
5 0 6	微分器	
5 0 7	慣性モーメント同定器	
5 0 8	トルク指令フーリエ変換器	
5 0 9	モータ位置振幅演算器	
5 1 0	慣性モーメント演算器	

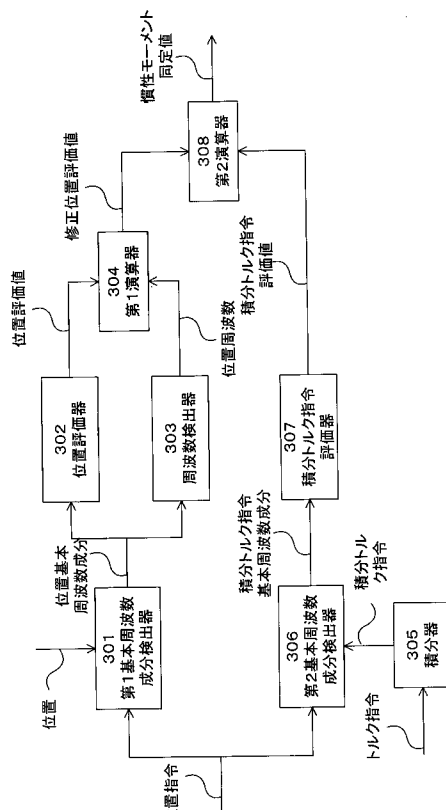
【 図 1 】



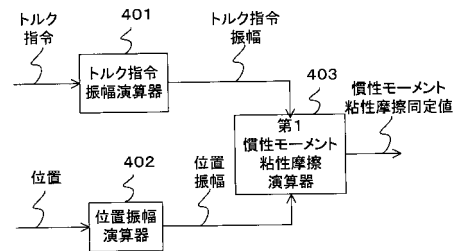
【 図 2 】



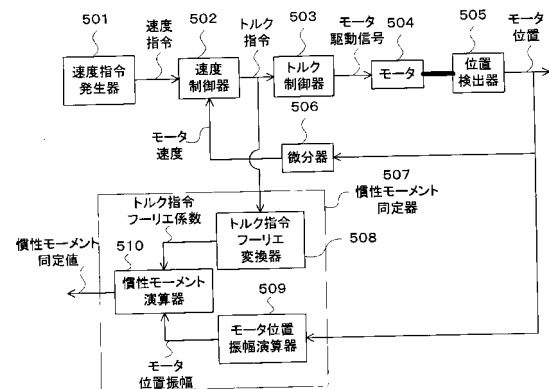
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 2 P      2 9 / 0 0

G 0 5 B      1 3 / 0 2

G 0 5 D      3 / 1 2