

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4936003号  
(P4936003)

(45) 発行日 平成24年5月23日 (2012.5.23)

(24) 登録日 平成24年3月2日 (2012.3.2)

(51) Int.Cl.

F I

H02P 29/00 (2006.01)

H02P 5/00

F

H02P 5/00

X

請求項の数 8 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2007-291185 (P2007-291185)  
 (22) 出願日 平成19年11月8日 (2007.11.8)  
 (65) 公開番号 特開2009-118690 (P2009-118690A)  
 (43) 公開日 平成21年5月28日 (2009.5.28)  
 審査請求日 平成22年1月19日 (2010.1.19)

(73) 特許権者 000006622  
 株式会社安川電機  
 福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号  
 (72) 発明者 萬羽 崇  
 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  
 (72) 発明者 中村 裕司  
 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 高橋 祐介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 オートチューニング機能を備えた多軸制御装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

制御対象を動かす力を発生させるためのアクチュエータと、前記アクチュエータに流れる電流を制御する電流制御装置と、前記制御対象の位置および姿勢を検出する位置センサと、前記位置センサにより検出された位置および姿勢の情報を用いて前記電流制御器への電流指令を決定するコントローラとを備え、前記コントローラは、重心位置と質量と重心まわり慣性モーメントとが不明な前記制御対象に対して仮に設定する重心位置である仮重心位置と、仮に設定する質量である仮質量と、仮に設定する前記仮重心位置まわりの慣性モーメントである仮慣性モーメントとをあらかじめ定数として保有しており、初めに前記仮重心位置と前記仮質量と前記仮慣性モーメントとを用いて制御し、前記制御対象に重心位置の同定動作を実行させて重心位置同定値を求め、前記仮慣性モーメントを前記重心位置同定値まわりの慣性モーメントに換算した仮慣性モーメント修正値を算出し、次に前記重心位置同定値と前記仮質量と前記仮慣性モーメント修正値とを用いて制御し、質量および前記重心位置同定値まわりの慣性モーメントの同定動作を実行して質量同定値および慣性モーメント同定値を求め、それ以降は前記重心位置同定値と前記質量同定値と前記慣性モーメント同定値とを用いて制御することを特徴とする多軸制御装置。

## 【請求項 2】

前記コントローラは、前記制御対象を上下方向に移動させ、加速時または減速時のピッチ偏差が最小となるように前後方向重心位置を修正することを特徴とする請求項1記載の多軸制御装置。

## 【請求項 3】

前記コントローラは、前記制御対象を上下方向に移動させ、加速時または減速時のロール偏差が最小となるように左右方向重心位置を修正することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の多軸制御装置。

## 【請求項 4】

前記コントローラは、前記制御対象を前後方向に移動させ、加速時または減速時のピッチ偏差が最小となるように上下方向重心位置を修正することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 つ に記載の多軸制御装置。

## 【請求項 5】

前記コントローラは、前記制御対象を前後方向に移動させ、加速時または減速時のヨー偏差が最小となるように左右方向重心位置を修正することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 つ に記載の多軸制御装置。

10

## 【請求項 6】

前記コントローラは、前記制御対象を左右方向に移動させ、加速時または減速時のロール偏差が最小となるように上下方向重心位置を修正することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 つ に記載の多軸制御装置。

## 【請求項 7】

前記コントローラは、前記制御対象を左右方向に移動させ、加速時または減速時のヨー偏差が最小となるように前後方向重心位置を修正することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 つ に記載の多軸制御装置。

20

## 【請求項 8】

前記コントローラは、二分探索により重心位置を修正することを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか 1 つ に記載の多軸制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、オートチューニング機能を備えた多軸制御装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

30

従来の磁気浮上制御装置は、制御対象のセンサ構成やアクチュエータ構成に応じて、専用のコントローラやモータを開発していた。

図 4 において、110 は制御対象となる多自由度ステージであり、ステージの位置および姿勢を駆動するためのアクチュエータと、位置および姿勢を検出するためのセンサを備えており、センサ信号を出力する。100 は多自由度ステージ制御装置であり、多自由度ステージ 110 のセンサ信号を元にアクチュエータに流す電流を変化させ、多自由度ステージ 110 の位置および姿勢を制御する。多自由度ステージ制御装置は、指令生成器 140、制御演算器 150、推力変換演算器 160、電流指令器 170、位置演算器 180、センサ信号変換器 190 よりなる。140 は指令生成器であり、多自由度ステージの位置および姿勢の指令を与える。位置指令は、X 軸、Y 軸、Z 軸方向の位置と、ロール、ピッチ、ヨーの姿勢とを合わせた 6 自由度で与える。それぞれ使用者が与える位置決めコマンドを元に制御周期ごとに補完して生成するか、あらかじめ決められた動作を制御周期ごとの位置指令として与える。190 はセンサ信号変換器であり、センサ信号を受け取り、絶対座標で表したセンサ位置を算出する。180 は位置演算器であり、センサ信号変換器 190 により算出されたセンサ位置情報を用いて、多自由度ステージ 110 の位置および姿勢を演算する。位置演算器 180 での演算の内容は、多自由度ステージ 110 のセンサ構成によって異なる。各種センサ構成に対応した多自由度ステージの位置姿勢算出方法が考案されている。（例えば、特許文献 1 参照）。150 は制御演算器であり、位置演算器 180 により算出された位置および姿勢を、指令生成器 140 が生成した指令に追従させるように操作量を決定する。操作量とは、具体的には重心位置の並進推力と重心まわりのモ

40

50

ーメントなどとする。指令生成器 140 の生成する指令を速度指令とし、制御演算器 150 は、位置および姿勢の微分に相当する量を算出して、位置および姿勢の微分相当量を指令に追従させるように操作量を決定する速度制御系としてもよい。制御演算器 150 の詳細については後述する。位置制御であっても速度制御であっても、推力指令を算出するためには、制御対象の質量とロール、ピッチ、ヨーそれぞれの慣性モーメントが必要である。160 は推力変換演算器であり、制御演算器 150 が算出した操作量を実現するために各アクチュエータが出すべき推力を算出する。推力変換演算器の詳細については後述する。170 は電流変換演算器であり、推力変換演算器 160 から受け取った推力指令通りの推力を発生するように多自由度ステージ 110 のアクチュエータの電流指令を生成する。

【0003】

次に、図 5 を用いて制御演算器 150 の詳細を説明する。図 5 は制御演算器 150 の一例である。図 5 に示す従来例の制御演算器 150 は、X 軸、Y 軸、Z 軸、 $x$  軸、 $y$  軸、

$z$  軸の 6 自由度を制御する。指令は 6 自由度の位置指令であり、位置および姿勢は同じ 6 自由度の位置フィードバックである。50 乃至 55 は 6 自由度それぞれの制御演算であり、6 自由度の位置指令と位置フィードバックより 6 自由度の推力指令を生成する。位置 X、Y、Z の指令およびフィードバックを多自由度ステージ 110 の重心で与えることにより、それぞれの制御演算は干渉することなく独立して演算することができる。6 自由度各軸の制御演算は同じ演算内容とすればよく、図 6 はその演算内容の一例を示す。60 は、図 5 の 50 乃至 55 に相当する 6 自由度各軸の制御演算を表す。61 はフィードフォワード制御部であり、位置指令よりフィードフォワード操作量を算出する。この演算は、例えば位置指令を二階微分したものをフィードフォワード操作量とすればよい。62 はフィードバック制御部であり、位置指令と位置フィードバックを用いてフィードバック操作量を算出する。演算の内容は、従来より知られている位置 PID 制御や、位置 PI 制御・速度 P 制御のカスケード制御、位置 P 制御・速度 PI 制御のカスケード制御などとすればよい。63 は加算器であり、フィードフォワード操作量とフィードバック操作量を足してフィルタ前操作量を生成する。64 はフィルタであり、高周波成分をカットする一次遅れフィルタや、制御対象の共振周波数などの特定の周波数のみをカットするノッチフィルタなどを組み合わせたものを用いればよい。65 は慣性であり、加速度指令に慣性をかけて推力指令を生成する。ここで、加速度指令にける慣性の値は、X 軸、Y 軸、Z 軸の制御演算 50 乃至 52 では制御対象の質量であり、 $x$  軸の制御演算 53 の場合は制御対象の X 軸周

$y$  軸の制御演算 54 の場合は制御対象の Y 軸周りに慣性モーメント、 $z$  軸の制御演算 55 の場合は制御対象の Z 軸周りに慣性モーメントである。従来技術ではこれらの値はあらかじめパラメータとして与えておく必要があり、CAD による設計値を用いるか、測定する必要がある。

【0004】

次に、図 7 のようなアクチュエータ構成の場合について、推力変換演算器 160 の詳細を説明する。推力変換演算器 160 では、各アクチュエータの推力指令を以下のように算出する。図 7 において、31 乃至 33 は推進モータ可動子、34 乃至 36 は浮上モータ可動子であり、X 軸方向の力を発生するアクチュエータを 1 つ、Y 軸方向の力を発生するアクチュエータを 2 つ、Z 軸方向の力を発生するアクチュエータを 3 つ備えたアクチュエータ構成となっている。制御する自由度とアクチュエータの数が一致しているため、この場合の推力変換演算式は以下のように求められる。重心位置を ( $x_G$ 、 $y_G$ 、 $z_G$ )、X 軸アクチュエータの位置を ( $x_{x1}$ 、 $y_{x1}$ 、 $z_{x1}$ )、2 つの Y 軸アクチュエータの位置をそれぞれ ( $x_{y1}$ 、 $y_{y1}$ 、 $z_{y1}$ )、( $x_{y2}$ 、 $y_{y2}$ 、 $z_{y2}$ )、3 つの Z 軸アクチュエータの位置をそれぞれ ( $x_{z1}$ 、 $y_{z1}$ 、 $z_{z1}$ )、( $x_{z2}$ 、 $y_{z2}$ 、 $z_{z2}$ )、( $x_{z3}$ 、 $y_{z3}$ 、 $z_{z3}$ ) とする。X 軸アクチュエータの推力を  $F_{x1}$ 、2 つの Y 軸アクチュエータの推力をそれぞれ  $F_{y1}$ 、 $F_{y2}$ 、3 つの Z 軸アクチュエータの推力をそれぞれ  $F_{z1}$ 、 $F_{z2}$ 、 $F_{z3}$  とする。重心位置の並進推力の X 軸成分、Y 軸成分、Z 軸成分をそれぞれ  $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  とし、重心まわりのモーメントの X 軸成分、Y 軸成分、Z 軸成分をそれぞれ  $T_x$ 、 $T_y$ 、 $T_z$  とする。このとき (1) 式が成り立つ。

【 0 0 0 5 】

【 数 1 】

$$\begin{bmatrix} F_z \\ T_x \\ T_y \\ F_x \\ F_y \\ T_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ y_{z1}-y_G & y_{z2}-y_G & y_{z3}-y_G & 0 & -(z_{y1}-z_G) & -(z_{y2}-z_G) \\ -(x_{z1}-x_G) & -(x_{z2}-x_G) & -(x_{z3}-x_G) & z_{x1}-z_G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -(y_{x1}-y_G) & x_{y1}-x_G & x_{y2}-x_G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{z1} \\ F_{z2} \\ F_{z3} \\ F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{y2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

【 0 0 0 6 】

( 1 ) 式は正方行列となっており逆行列を求めることができるため、それを G とおけば

10

( 2 ) 式が得られる。

【 0 0 0 7 】

【 数 2 】

$$\begin{bmatrix} F_{z1} \\ F_{z2} \\ F_{z3} \\ F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{y2} \end{bmatrix} = G \begin{bmatrix} F_z \\ T_x \\ T_y \\ F_x \\ F_y \\ T_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

20

【 0 0 0 8 】

推力変換演算器 1 6 0 で、( 2 ) 式の演算をすることにより多自由度ステージの操作量から各アクチュエータの推力指令を算出できる。この計算の際、重心位置が必要になるが、従来技術では、重心位置はあらかじめパラメータとして与えておく必要があり、C A D による設計値を用いるか、測定する必要がある。

冗長なアクチュエータを持つ図 8 のようなアクチュエータ構成の場合についても、推力指令を分配する方法が考案されている(例えば、特許文献 2 参照)。図 8 において、3 1 乃至 3 3 は推進モータ可動子、3 4 乃至 3 7 は浮上モータ可動子であり、X 軸方向の力を発生するアクチュエータを 1 つ、Y 軸方向の力を発生するアクチュエータを 2 つ、Z 軸方向の力を発生するアクチュエータを 4 つ備えたアクチュエータ構成となっている。制御する自由度が 6 であるのに対し、アクチュエータの数が 7 つあるため、この場合の推力変換演算式は何らかの拘束条件を与えて求める。例えば特許文献 2 では、無理な力が作用しないようにする拘束条件を与えている。この他に、疑似逆行列を用いる方法も知られている。

30

上述のような通常の従来技術では、重心位置、質量、慣性モーメントをあらかじめ求めておく必要があるが、動作時の偏差を最小とするように重心位置を探索する方法もある。(例えば、特許文献 3 参照)探索方法は、質量や重心位置などの機械パラメータを一定の値ずつ増加あるいは減少させ、偏差の符号が逆転した時点で、増加あるいは減少させる値の絶対値を小さくし、符号を逆転させて逆方向に探索するというものである。

40

【特許文献 1】特開 2 0 0 6 - 2 0 1 0 9 2 号公報(第 2 3 頁乃至第 2 4 頁、図 1 乃至図 8 )

【特許文献 2】特開 2 0 0 6 - 7 2 3 9 8 号公報(第 9 頁、図 2 )

【特許文献 3】特願 2 0 0 6 - 3 4 0 8 0 5 号(図 1 1 )

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

従来技術では、重心位置、質量、慣性モーメントをあらかじめ求めておく必要があるが、それらを測定して求めるためには、特殊な測定用部品を用意したり、制御対象に加工を施したりしなければならないため、そのような測定は困難である場合が多く、測定の精度

50

も高くないという問題があった。また、設計データからC A Dを用いて求めることもできるが、C A Dの図面には配線や配管までは含まれていない場合が多く、精度が高くないという問題があり、これを実際の制御対象と同じような形状でC A Dに入力するのも非常に手間がかかるという問題があった。また、特許文献3では、質量や重心位置などの機械パラメータを自動的に探索する方法が述べられているが、この探索方法では探索に時間がかかるという問題があった。また、重心位置だけでなく重量も探索により同定するため、同定に時間がかかるという問題があった。

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、制御対象の重心位置、質量、慣性モーメントをあらかじめ求めておかなくても、組み立て後の配線、配管を含んだそれらの正確な値を自動的に迅速に同定し、制御することができる磁気浮上制御装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記問題を解決するため、本発明は、次のように構成したのである。

請求項1に記載の発明は、制御対象を動かす力を発生させるためのアクチュエータと、前記アクチュエータに流れる電流を制御する電流制御装置と、前記制御対象の位置および姿勢を検出する位置センサと、前記位置センサにより検出された位置および姿勢の情報を用いて前記電流制御装置への電流指令を決定するコントローラとを備え、前記コントローラは、重心位置と質量と重心まわり慣性モーメントとが不明な前記制御対象に対して仮に設定する重心位置である仮重心位置と、仮に設定する質量である仮質量と、仮に設定する前記仮重心位置まわりの慣性モーメントである仮慣性モーメントとをあらかじめ定数として保有しており、初めに前記仮重心位置と前記仮質量と前記仮慣性モーメントとを用いて制御し、前記制御対象に重心位置の同定動作を実行させて重心位置同定値を求め、前記仮慣性モーメントを前記重心位置同定値まわりの慣性モーメントに換算した仮慣性モーメント修正値を算出し、次に前記重心位置同定値と前記仮質量と前記仮慣性モーメント修正値とを用いて制御し、質量および前記重心位置同定値まわりの慣性モーメントの同定動作を実行して質量同定値および慣性モーメント同定値を求め、それ以降は前記重心位置同定値と前記質量同定値と前記慣性モーメント同定値とを用いて制御するものである。

20

また、請求項2に記載の発明は、前記コントローラは、前記制御対象を上下方向に移動させ、加速時または減速時のピッチ偏差が最小となるように前後方向重心位置を修正するとするものである。

30

また、請求項3に記載の発明は、前記コントローラは、前記制御対象を上下方向に移動させ、加速時または減速時のロール偏差が最小となるように左右方向重心位置を修正するとするものである。

また、請求項4に記載の発明は、前記コントローラは、前記制御対象を前後方向に移動させ、加速時または減速時のピッチ偏差が最小となるように上下方向重心位置を修正するとするものである。

また、請求項5に記載の発明は、前記コントローラは、前記制御対象を前後方向に移動させ、加速時または減速時のヨー偏差が最小となるように左右方向重心位置を修正するとするものである。

40

また、請求項6に記載の発明は、前記コントローラは、前記制御対象を左右方向に移動させ、加速時または減速時のロール偏差が最小となるように上下方向重心位置を修正するとするものである。

また、請求項7に記載の発明は、前記コントローラは、前記制御対象を左右方向に移動させ、加速時または減速時のヨー偏差が最小となるように前後方向重心位置を修正するとするものである。

また、請求項8に記載の発明は、前記コントローラは、二分探索により重心位置を修正するとするものである。

【発明の効果】

50

## 【 0 0 1 1 】

本発明によると、制御対象の重心位置、質量、慣性モーメントの仮の値を保有しているので、これらの値をあらかじめ求めておかなくても、組み立て後の配線、配管を含んだ正確な値を自動的に同定し、制御することができる。

また、正確な重心位置を同定することができる。

また、迅速に重心位置を同定することができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【 0 0 1 2 】

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】

## 【 0 0 1 3 】

図 1 は、本発明の第 1 実施例を示す磁気浮上制御装置の全体構成図である。図において、10 は鉛直方向を磁気浮上支持され、推進方向に移動する制御対象であり、本実施例では、ユーザーが設計した多自由度ステージである。11 は推進モータ可動子であり、図示しない推進モータ固定子との間に推進方向の推力を発生する。図は、推進方向左右にモータを 1 つずつ配置した例である。12 は浮上モータ可動子であり、図は、制御対象 10 の四隅に配置した例である。13 は浮上モータ固定子であり、4 つの浮上モータ可動子とそれぞれ対になって浮上力を発生する。浮上アクチュエータとしては、ボイスコイルモータ、リラクタンس型のモータ、静電モータなど一般に知られている様々なアクチュエータが使用できる。14 はコントローラであり、図示しない位置センサによって検出された制御対象の位置および姿勢の情報をを用いてフィードバック制御し、制御対象が磁気浮上支持されるように電流指令を決定する。コントローラは、3 つ以上の浮上モータ可動子を配置することにより、浮上方向の位置や、ロール角、ピッチ角を制御できるため、常に一定のギャップで水平の状態を保っておくだけでなく、位置や姿勢それぞれの指令を与え、浮上位置やロール角、ピッチ角の姿勢を指令に追従させるように制御をしてもよい。15 は電流制御装置であり、コントローラ 14 から電流指令を受け取って各浮上モータ固定子ユニット 13 に流れる電流を制御する。図示していないが、浮上方向と推進方向の両方に直交する左右方向位置についても、永久磁石の反発力を利用して非接触支持するか、他のアクチュエータを用意して制御するか、浮上モータ固定子ユニット 13 を縦置きにした列を追加で配置して制御してもよい。あるいは、浮上方向のモータは、浮上力を発生させる際に左右方向の位置のずれを戻す作用もあるため、この作用を用いれば、左右方向位置を支持または制御するアクチュエータや永久磁石を配置しなくてもよい。

図 2 は、上述の多自由度ステージを正面から見た図である。23 は固定構造体であり、この上面に上述の浮上モータ固定子 13 が 4 つ固定されている。21 は推進モータ固定子であり、左右に 1 つずつ配置され、上述の推進モータ可動子 11 とそれぞれ対になって推進力を発生する。22 は反力処理構造体であり、推進モータ固定子 21 が 2 つ固定されている。反力処理構造体 22 は、固定構造体 23 と一体としてもよいが、分割して反力処理構造体を推進方向に可動とし、多自由度ステージ 10 を動作させたときにその反力で逆方向に動作するようにすれば、反力が床に伝わることによって発生する床振動を抑えることができる。

次に、図 3 を用いて重心位置、質量、慣性モーメントが未知の制御対象を制御するためのシーケンスを説明する。コントローラは、重心位置と質量と重心まわり慣性モーメントとが不明な前記制御対象に対して仮に設定する重心位置である仮重心位置と、仮に設定する質量である仮質量と、仮に設定する前記仮重心位置まわりの慣性モーメントである仮慣性モーメントとをあらかじめ定数として保有している。初めに step 1 で仮重心位置と仮質量と仮慣性モーメントとを用いて制御を開始する。仮重心位置は推力演算器 160 および位置演算器 180 で用いられ、仮質量および仮慣性モーメントは図 4 の制御演算器 150 で用いられる。これらの値は実際とはずれているが、ある程度までのずれはフィードバック制御により補償されるため、動作させることは可能である。ただし、このようなず

10

20

30

40

50

れがあると、それらは全て外乱となるため、過渡的な追従性能は悪化する。次に step 2 で制御対象に重心位置の同定動作を実行する。この同定動作は、例えば以下のようにする。まず前後方向の重心位置の同定では、前後方向の仮重心位置を変えながら制御対象を上下方向に複数回移動させ、加速時または減速時のピッチ偏差が最小となったときの前後方向仮重心位置を前後方向重心位置同定値とする。探索には例えば 2 分探索を用いればよい。あるいは、前後方向の仮重心位置を変えて制御対象を左右方向に複数回移動させ、加速時または減速時のヨー偏差が最小となるような前後方向重心位置を探索してもよい。あるいは、これらを両方行い、その中間を重心位置同定値としてもよい。同様に、左右方向の重心位置の同定では、左右方向の仮重心位置を変えながら制御対象を上下方向に複数回移動させ、加速時または減速時のロール偏差が最小となる左右方向仮重心位置を左右方向重心位置同定値とするか、あるいは、前後方向に移動させ、加速時または減速時のヨー偏差が最小となる左右方向仮重心位置を左右方向重心位置同定値とする。あるいは、これらを両方行い、その中間を重心位置同定値としてもよい。同様に、上下方向の重心位置の同定では、上下方向の仮重心位置を変えながら制御対象を前後方向に複数回移動させ、加速時または減速時のピッチ偏差が最小となる上下方向仮重心位置を上下方向重心位置同定値とするか、あるいは、左右方向に移動させ、加速時または減速時のロール偏差が最小となる上下方向仮重心位置を上下方向重心位置同定値とする。あるいは、これらを両方行い、その中間を重心位置同定値としてもよい。次に step 3 で、重心位置同定値から仮慣性モーメントを重心位置同定値まわりの慣性モーメントに換算した仮慣性モーメント修正値を算出する。この step は省略することもできる。次に step 4 で、重心位置同定値と仮質量と仮慣性モーメント修正値とを用いた制御に切り替える。次に step 5 で、質量の同定動作を実行して質量同定値を算出する。次に step 6 で、重心位置同定値まわりの慣性モーメントの同定動作を実行して慣性モーメント同定値を算出する。step 5 および step 6 での同定動作と同定値の算出方法は、従来よりある同定技術を用いることができる。例えば、特開 2006 - 217729 は、モータ制御装置において、モータ回転速度とトルク指令の情報を用いて適応則によりモータの負荷慣性モーメントを求める技術であるが、これを本発明に適用するならば、トルク指令を並進方向の推力、モータ回転速度を多自由度ステージの並進方向速度と置き換えればよい。ただし、これらの値を正しく同定するには、この時点でコントローラが正しい重心位置を持っている必要がある。なぜなら、図 4 の推力変換演算器 160 で用いる重心位置が実際とずれていれば、慣性モーメントの同定のために必要な重心まわりのモーメントを指令通りに発生させることができず、慣性モーメントの同定値もずれてしまうからである。推力変換演算器 160 の演算は、例えば (2) 式であるが、この式の中で重心位置を使用しており、この値が実際と異なる場合、この式で計算された各アクチュエータへの推力指令を発生させても、重心周りのモーメントを指令通りに発生させることができない。次に step 7 で、重心位置同定値と質量同定値と慣性モーメント同定値とを用いた制御に切り替える。このようなシーケンスにより、正しい値を自動的に算出してそれを用いて制御することにより、重心位置、質量、慣性モーメントが未知の制御対象であっても容易に精度よく制御することができる。

本発明が従来技術と異なる部分は、コントローラが、未知の制御対象に対して仮に設定する仮重心位置と仮質量と仮慣性モーメントとをあらかじめ定数として保有している部分と、まずそれらを用いて制御を開始し、その後正しい値を同定するという手順で処理するようにした部分と、動作時の偏差を最小とするように重心位置を二分探索により同定するようにした部分と、まず重心位置を同定し、その後、探索ではなく従来の慣性モーメント同定技術を用いて慣性モーメントを同定するという手順で処理するようにした部分である。

#### 【0014】

このように、コントローラが、未知の制御対象に対して仮に設定する仮重心位置と仮質量と仮慣性モーメントとをあらかじめ定数として保有しているので、これらの値をあらかじめ求めておかなくても、制御を開始することができる。また、まずそれらを用いて制御

を開始し、その後正しい値を同定するという手順で処理するようにしたので、組み立て後の配線、配管を含んだ正確な値を自動的に同定することができる。また、動作時の偏差を最小とするように二分探索により重心位置を同定するようにしたので正確な重心位置を迅速に同定することができる。また、まず重心位置を同定し、その後、探索ではなく従来の慣性モーメント同定技術を用いて慣性モーメントを同定するという手順で処理するようにしたので、正確な慣性モーメントを迅速に同定することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

【図 1】本発明の第 1 実施例を示す磁気浮上制御装置の全体構成図

【図 2】本発明の第 1 実施例を示す磁気浮上制御装置の側面図

10

【図 3】本発明の第 1 実施例の処理を表すフロー図

【図 4】従来の多自由度ステージ制御装置の演算内容を示すブロック図

【図 5】従来の制御演算器の演算内容を示すブロック図

【図 6】従来の各軸の制御演算の演算内容を示すブロック図

【図 7】従来の多自由度ステージのアクチュエータ構成図 1

【図 8】従来の多自由度ステージのアクチュエータ構成図 2

【符号の説明】

【 0 0 1 6 】

1 0 多自由度ステージ

1 1 推進モータ可動子

20

1 2 浮上モータ可動子

1 3 浮上モータ固定子ユニット

1 4 コントローラ

1 5 電流制御装置

2 1 推進モータ固定子

2 2 反力処理構造体

2 3 固定構造体

2 4 浮上モータ可動子

2 5 浮上モータ可動子

2 6 連結固定機構

30

2 7 固定構造体

1 0 0 多自由度ステージ制御装置

1 1 0 多自由度ステージ

1 4 0 指令生成器

1 5 0 制御演算器

1 6 0 推力変換演算器

1 7 0 電流変換演算器

1 8 0 位置演算器

1 9 0 センサ信号変換器

5 0 X 軸制御演算

40

5 1 Y 軸制御演算

5 2 Z 軸制御演算

5 3 x 軸制御演算

5 4 y 軸制御演算

5 5 z 軸制御演算

6 1 フィードフォワード制御部

6 2 フィードバック制御部

6 3 加算器

6 4 フィルタ

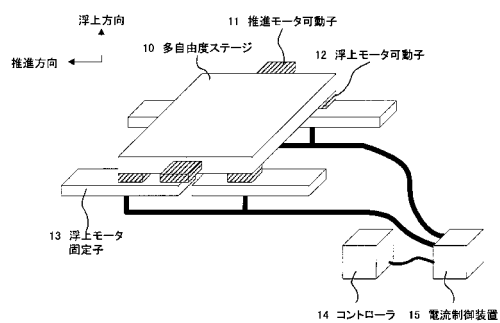
6 5 慣性

50

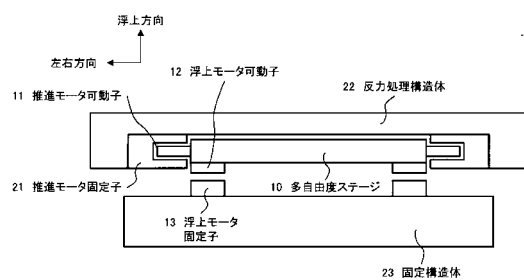


- 3 1 推進モータ可動子
- 3 2 推進モータ可動子
- 3 3 推進モータ可動子
- 3 4 浮上モータ可動子
- 3 5 浮上モータ可動子
- 3 6 浮上モータ可動子
- 3 7 浮上モータ可動子

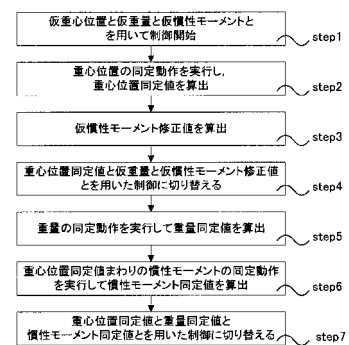
【図 1】



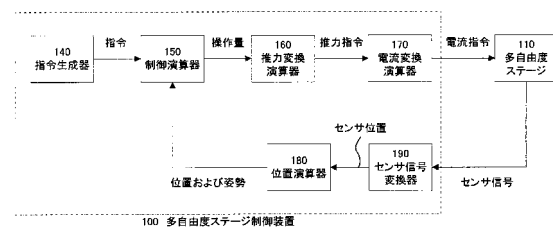
【図 2】



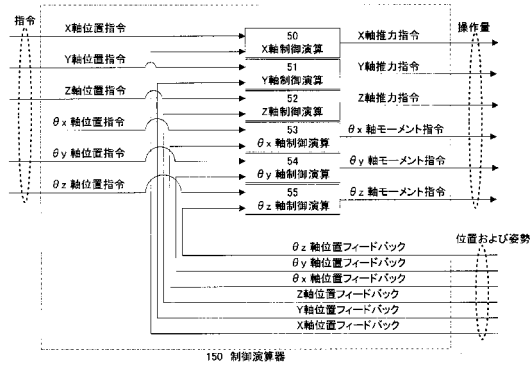
【図 3】



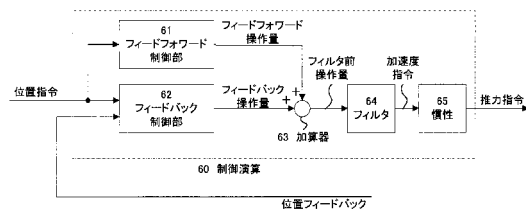
【図 4】



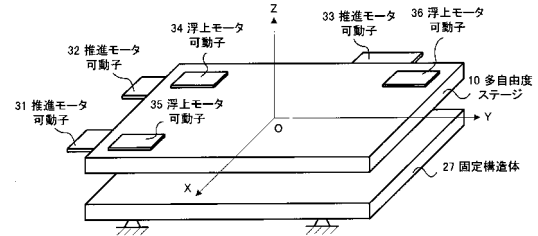
【図 5】



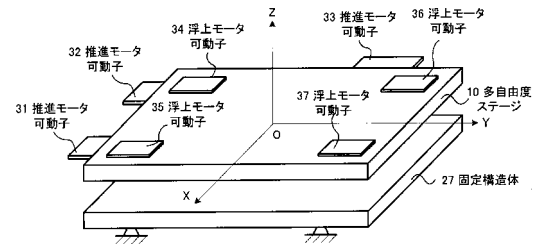
【図 6】



【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 3 2 7 6 5 3 ( J P , A )  
特開 2 0 0 3 - 1 6 2 3 3 0 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 2 6 0 7 0 8 ( J P , A )  
特開 2 0 0 4 - 0 1 5 9 0 4 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 2 4 2 9 3 7 ( J P , A )  
特表 2 0 0 6 - 5 1 3 6 8 5 ( J P , A )  
特開平 0 7 - 1 6 0 3 0 4 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 2 1 7 7 2 9 ( J P , A )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H 0 2 P 2 9 / 0 0