

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4294344号  
(P4294344)

(45) 発行日 平成21年7月8日(2009.7.8)

(24) 登録日 平成21年4月17日(2009.4.17)

(51) Int. Cl.	F 1	
<b>G05B 13/02 (2006.01)</b>	G05B 13/02	B
<b>G05B 11/32 (2006.01)</b>	G05B 13/02	S
<b>G05B 11/36 (2006.01)</b>	G05B 11/32	F
<b>G05D 3/12 (2006.01)</b>	G05B 11/36	505A
<b>H02P 29/00 (2006.01)</b>	G05D 3/12	S

請求項の数 25 (全 40 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2003-65700 (P2003-65700)	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成15年3月11日(2003.3.11)		パナソニック株式会社
(65) 公開番号	特開2004-5469 (P2004-5469A)		大阪府門真市大字門真1006番地
(43) 公開日	平成16年1月8日(2004.1.8)	(74) 復代理人	100100158
審査請求日	平成17年12月27日(2005.12.27)		弁理士 鮫島 睦
(31) 優先権主張番号	特願2002-96445 (P2002-96445)	(74) 復代理人	100157749
(32) 優先日	平成14年3月29日(2002.3.29)		弁理士 瀧 廣往
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100101454
			弁理士 山田 卓二
		(74) 代理人	100081422
			弁理士 田中 光雄
		(74) 代理人	100091524
			弁理士 和田 充夫
		(74) 代理人	100062926
			弁理士 東島 隆治

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動機の制御方法及び制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する指令を入力する指令入力ステップと、

前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタに前記指令を作用させて追従指令値を出力する前置フィルタステップと、

前記追従指令値に前記電動機又は前記制御対象の状態量が追従するよう制御する指令追従制御ステップと、

を有することを特徴とする電動機の制御方法。

【請求項2】

電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する指令を入力する指令入力ステップと、

前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタの伝達関数を、定数項とフィードフォワード補償項との和に等価変換し、前記指令を前記定数項に作用させて追従指令値を出力し、且つ前記指令をフィードフォワード補償項に作用させてフィードフォワード補償項補償量を出力するフィードフォワード型前置フィルタス

テップと、

前記フィードフォワード補償項補償量と前記追従指令値に基づき、前記追従指令値に前記電動機又は前記制御対象の状態量が追従するよう制御する指令追従制御ステップと、  
を有することを特徴とする電動機の制御方法。

【請求項 3】

電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する位置指令から導出された速度指令を入力する速度指令入力ステップと、

前記速度指令と前記電動機又は前記制御対象の位置とに基づき、前記位置指令を推定した推定位置指令を出力する指令推定ステップと、

前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタの伝達関数を、定数項とフィードフォワード補償項との和に等価変換し、前記速度指令を前記定数項に作用させた値に、前記推定位置指令を前記フィードフォワード補償項に作用させて生成したフィードフォワード補償項補償量を加算して、追従速度指令値を出力する内部構成型前置フィルタステップと、

前記追従速度指令値に前記電動機又は前記制御対象の速度が追従するよう制御する指令追従制御ステップと、

を有することを特徴とする電動機の制御方法。

【請求項 4】

前記前置フィルタステップ、前記フィードフォワード型前置フィルタステップ又は前記内部構成型前置フィルタステップが、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性の、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を可変とすることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれかの請求項に記載の電動機の制御方法。

【請求項 5】

前記前置フィルタステップ、前記フィードフォワード型前置フィルタステップ又は前記内部構成型前置フィルタステップが、前記高域周波数の利得を抑える特性を動作状態により変化させることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれかの請求項に記載の電動機の制御方法。

【請求項 6】

前記前置フィルタステップ、前記フィードフォワード型前置フィルタステップ又は前記内部構成型前置フィルタステップが、前記高域周波数の利得を抑える特性を、少なくとも前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決めるパラメータに基づき自動的に決定することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれかの請求項に記載の電動機の制御方法。

【請求項 7】

前記前置フィルタステップ、前記フィードフォワード型前置フィルタステップ又は前記内部構成型前置フィルタステップが、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を自動設定する振動周波数自動設定ステップを有することを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれかの請求項に記載の電動機の制御方法。

【請求項 8】

前記振動周波数自動設定ステップが、前記制御対象の振動を検出する振動検出ステップと、検出した前記振動から振動周波数を抽出して、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定する周波数決定ステップと、を有することを特徴とする請求項 7 に記載の電動機の制御方法。

【請求項 9】

前記振動周波数自動設定ステップが、前記電動機の振動周波数に基づき、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定することを特徴とする請求項 7 に記載の電動機の制御方法。

10

20

30

40

50

## 【請求項 10】

前記振動周波数自動設定ステップにおいて、前記電動機の応答に基づき前記電動機と前記制御対象の数式モデルを推定し、前記数式モデルに基づき、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定することを特徴とする請求項 7 に記載の電動機の制御方法。

## 【請求項 11】

前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数が、前記電動機が出力したトルクから前記電動機の位置又は速度までの系が有する反共振周波数であることを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれかの請求項に記載の電動機の制御方法。

## 【請求項 12】

前記電動機又は前記制御対象の状態量が、前記電動機又は前記制御対象の位置又は速度であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の電動機の制御方法。

## 【請求項 13】

電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する指令を入力する指令入力部と、  
前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタを有し、前記フィルタに前記指令を作用させて追従指令値を出力する前置フィルタ部と、  
 前記追従指令値に前記電動機又は前記制御対象の状態量が追従するよう制御する指令追従制御部と、  
 を有することを特徴とする電動機の制御装置。

## 【請求項 14】

電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する指令を入力する指令入力部と、  
前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタの伝達関数を、定数項とフィードフォワード補償項との和に等価変換し、前記指令を前記定数項に作用させて追従指令値を出力し、且つ前記指令をフィードフォワード補償項に作用させてフィードフォワード補償項補償量を出力するフィードフォワード型前置フィルタ部と、  
 前記フィードフォワード補償項補償量と前記追従指令値に基づき、前記追従指令値に前記電動機又は前記制御対象の状態量が追従するよう制御する指令追従制御部と、  
 を有することを特徴とする電動機の制御装置。

## 【請求項 15】

電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する位置指令から導出された速度指令を入力する速度指令入力部と、  
前記速度指令と前記電動機又は前記制御対象の位置とに基づき、前記位置指令を推定した推定位置指令を出力する指令推定部と、  
前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタの伝達関数を、定数項とフィードフォワード補償項との和に等価変換し、前記速度指令を前記定数項に作用させた値に、前記推定位置指令を前記フィードフォワード補償項に作用させて生成したフィードフォワード補償項補償量を加算して、追従速度指令値を出力する内部構成型前置フィルタ部と、  
前記追従速度指令値に前記電動機又は前記制御対象の速度が追従するよう制御する指令追従制御部と、  
 を有することを特徴とする電動機の制御装置。

## 【請求項 16】

前記前置フィルタ部、前記フィードフォワード型前置フィルタ部又は前記内部構成型前

10

20

30

40

50

置フィルタ部が、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性の、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を可変とすることを特徴とする請求項 1 3 から請求項 1 5 のいずれかの請求項に記載の電動機の制御装置。

【請求項 1 7】

前記前置フィルタ部、前記フィードフォワード型前置フィルタ部又は前記内部構成型前置フィルタ部が、前記高域周波数の利得を抑える特性を動作状態により変化させることを特徴とする請求項 1 3 から請求項 1 6 のいずれかの請求項に記載の電動機の制御装置。

【請求項 1 8】

前記前置フィルタ部、前記フィードフォワード型前置フィルタ部又は前記内部構成型前置フィルタ部が、前記高域周波数の利得を抑える特性を、少なくとも前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決めるパラメータに基づき自動的に決定することを特徴とする請求項 1 3 から請求項 1 7 のいずれかの請求項に記載の電動機の制御装置。

10

【請求項 1 9】

前記前置フィルタ部、前記フィードフォワード型前置フィルタ部又は前記内部構成型前置フィルタ部が、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を自動設定する振動周波数自動設定部を有することを特徴とする請求項 1 3 から請求項 1 8 のいずれかの請求項に記載の電動機の制御装置。

【請求項 2 0】

前記振動周波数自動設定部が、前記制御対象の振動を検出する振動検出部と、検出した前記振動から振動周波数を抽出して前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定する周波数決定部と、を有することを特徴とする請求項 1 9 に記載の電動機の制御装置。

20

【請求項 2 1】

前記振動周波数自動設定部が、前記電動機の振動周波数に基づき前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定することを特徴とする請求項 1 9 に記載の電動機の制御装置。

【請求項 2 2】

前記振動周波数自動設定部が、前記電動機の応答に基づき前記電動機と前記制御対象の数式モデルを推定し、前記数式モデルに基づき前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定することを特徴とする請求項 1 9 に記載の電動機の制御装置。

30

【請求項 2 3】

前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数が、前記電動機が出力したトルクから前記電動機の位置又は速度までの系が有する反共振周波数であることを特徴とする請求項 1 3 から請求項 2 2 のいずれかの請求項に記載の電動機の制御装置。

【請求項 2 4】

前記電動機又は前記制御対象の状態量が、前記電動機又は前記制御対象の位置又は速度であることを特徴とする請求項 1 3 又は請求項 1 4 に記載の電動機の制御装置。

【請求項 2 5】

請求項 1 3 から請求項 2 4 のいずれかの請求項に記載の制御装置を有する装置。

【発明の詳細な説明】

40

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電動機の制御対象自体、又は電動機と制御対象とを連結する連結軸の機械剛性が低いことに起因して発生する、電動機又は制御対象の振動を抑制する電動機の制御方法及び制御装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来技術】

従来から電動機を用いた位置決め制御において、マイクロコンピュータを用いたデジタルサーボ制御が行われている。平成 5 年電気学会全国大会 No. 1 7 5 9 「減速機ねじれ振動の制振制御」に、振動抑制を目的とする従来例の電動機の制御装置が開示されている

50

。従来例の電動機の制御装置を説明する。図26は、従来例の電動機の制御装置の構成図である。図26において、101は位置指令作成部、102は電動機、103は制御対象(負荷)、104は位置検出部、105はサーボコントローラである。サーボコントローラ105は、位置指令入力部106、前置フィルタ部107、指令追従制御部108を有する。指令追従制御部108は、位置偏差演算部(減算器)109、位置制御部110、速度演算部111、速度偏差演算部(減算器)112、速度制御部113、電流制御部114を有する。 $s$ はラプラス演算子である。

#### 【0003】

位置指令作成部101が位置指令を作成し、サーボコントローラ105の位置指令入力部106に入力する。位置指令入力部106は前置フィルタ部107を介して位置指令  $M^*$  を指令追従制御部108に送る。従来例の制御装置は、電動機に連結された制御対象(負荷)103の位置(以後、「制御対象位置  $L$ 」と呼ぶ。)が位置指令  $*$  に一致するように電動機102を制御するための装置である。図26において、制御対象位置  $L$  は検出できない。位置検出部104が電動機102の位置(以後、「電動機位置  $M$ 」と呼ぶ。)を検出する。サーボコントローラ105は、電動機位置  $M$  が位置指令  $*$  に一致するように電動機102を制御する。これにより、従来例の制御装置は、制御対象位置  $L$  が位置指令  $*$  に一致するように電動機102を制御する。電動機位置  $M$  及び制御対象位置  $L$  は素早く位置指令  $*$  に追従するよう制御される。

#### 【0004】

制御対象(負荷)103自体及び電動機102と制御対象103とを連結する連結軸の剛性が高い制御系においては、従来例の制御装置は、高い精度で制御対象位置  $L$  が位置指令  $*$  に一致するように、電動機102を制御することができる。

制御対象103自体又は電動機102と制御対象103とを連結する連結軸の剛性が低い制御系(連結軸のねじれ等を無視できないほど高精度の制御を行う制御系を含む。)においては、制御対象位置  $L$  と電動機位置  $M$  との間に位相差が生じ、連結軸のねじれ振動が発生し易い。電動機位置  $M$  が位置指令  $*$  に一致するように電動機102を制御する制御装置において、連結軸のねじれによる振動が発生すると、制御対象位置  $L$  が位置指令  $*$  へ収束する速度が遅くなる。

#### 【0005】

従来例において、前置フィルタ部107は、位置指令  $*$  のパターンを入力し、制御対象位置  $L$  の振動を励起しないパターン  $M^*$  (電動機位置指令)に変化させる。指令追従制御部108は、電動機位置  $M$  が電動機位置指令  $M^*$  に一致するように電動機102を制御する。前置フィルタ部107は、制御対象位置  $L$  の振動を抑制し、電動機位置  $M$  及び制御対象位置  $L$  が位置指令  $*$  へ収束する速度を速くする。

#### 【0006】

図26に示した従来例の制御装置における基本的な演算の流れを説明する。位置指令入力部106は、位置指令作成部101で作成された位置指令を入力する。位置指令入力部106は、入力した位置指令を単位変換して、サーボコントローラ105内での演算に用いる単位系と整合した位置指令  $*$  を生成し、出力する。

前置フィルタ部107は、位置指令  $*$  を2階微分し所定の係数  $1/(a^2)$  を乗算した振動抑制補償値を算出する。前置フィルタ部107は、位置指令  $*$  と算出した振動抑制補償値とを足し合わせて、電動機位置指令  $M^*$  を生成し、出力する。電動機が出力したトルクから電動機102までの系が有する反共振周波数を  $f_r$  とすると、好ましくは  $a = 2 \cdot f$  ( $f$  は  $f_r$ 、もしくは  $f_r$  近傍の周波数)とする。前置フィルタ部107によって振動が抑制される原理は後述する。

#### 【0007】

指令追従制御部108の内部演算の流れを詳細に説明する。位置偏差演算部(減算器)109は、電動機位置指令  $M^*$  と電動機位置  $M$  とを入力し、電動機位置偏差  $M (= M^* - M)$  を算出する。位置制御部110は、位置比例ゲイン  $K_{pp}$  を用いて、速度

10

20

30

40

50

指令  $M^*$  ( $= K_p p \cdot M$ ) を出力する。

速度演算部 111 は、電動機位置  $M$  を微分し、電動機速度  $\dot{M}$  ( $= M \cdot s$ ) を算出する。速度偏差演算部 (減算器) 112 は、速度指令  $M^*$  と電動機速度  $\dot{M}$  とを入力し、速度偏差  $M$  ( $= M^* - \dot{M}$ ) を算出する。

速度制御部 113 は、速度偏差  $M$  に基づいて比例積分演算を行い、トルク指令  $T^*$  を出力する。電流制御部 114 は、電動機 102 が出力するトルク  $T_M$  が  $T^*$  となるように、電動機 102 に流れる電流値  $I$  を制御する。

#### 【0008】

前置フィルタ部 107 によって振動が抑制される原理を説明する。電動機 102 が制御対象 103 を動かす系を、共振系のモデルとして一般的に用いられる、2 慣性系 (電動機 102 及び制御対象 103) モデル (図 27) で表す。実際にはトルク  $T_M$  が制御対象位置  $L$  を動かす系は複雑な数式モデルで表されることもある。

10

#### 【0009】

図 28 は、図 27 に示す電動機 102 が低剛性の連結軸を通じて制御対象 103 を動かす系を、数式モデルで表したブロック図である。図 28 において、トルク指令  $T^*$  に応じて、電動機 102 は十分速い応答で実際のトルク  $T_M$  を発生する。トルク指令  $T^*$  を入力してから実際のトルク  $T_M$  を発生するまでの伝達関数を  $T_M / T^* = 1$  と仮定する。 $J_M$  は電動機 102 のイナーシャ、 $J_L$  は制御対象 103 のイナーシャ、 $K_s$  は連結軸のバネ定数である。連結軸のイナーシャは、 $J_M$ 、 $J_L$  に比べて十分小さいとして無視している。

20

#### 【0010】

図 28 の数式モデルに基づきトルク指令  $T^*$  から電動機位置  $M$  までの伝達関数  $M / T^*$  を求めると、式 (1) となる。

$$(J_L s^2 + K_s) / [ \{ J_M \cdot J_L s^2 + K_s (J_M + J_L) \} s^2 ] \quad (1)$$

#### 【0011】

図 28 の数式モデルに基づき電動機位置  $M$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数  $L / M$  を求めると式 (2) となる。

$$K_s / (J_L s^2 + K_s) \quad (2)$$

#### 【0012】

図 29 は、図 28 のブロック図から求めた式 (1) 及び式 (2) を用いて、図 26 の構成図と等価なラプラス演算子  $s$  で表したブロック図である。図 29 において、図 26 と同じ符号のブロックは図 26 と同じ機能を有する。

30

図 29 において、前置フィルタ部 107 が無い場合は位置指令  $M^* = M^*$  である。図 29 において電動機位置指令  $M^*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数と、位置指令  $M^*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数を比較することにより、前置フィルタ部 107 が無い場合と有る場合の応答の違いを説明する。

#### 【0013】

前置フィルタ部 107 が無い場合の、即ち図 29 における電動機位置指令  $M^*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性を述べる。図 29 のトルク指令  $T^*$  から電動機位置  $M$  までの伝達関数の周波数特性は式 (1) より図 30 (a) となる。図 30 (a) において、横軸が周波数であり、縦軸がゲインと位相である。横軸は対数表示となっている。他の周波数特性図も、横軸が周波数であり、縦軸がゲインと位相である。横軸は対数表示となっている。

40

制御対象の剛性が低い故、図 30 (a) は共振点及び反共振点を有する。図 30 (a) において、共振の発生している周波数を共振周波数、反共振の発生している周波数を反共振周波数と呼ぶ。電動機位置指令  $M^*$  から電動機位置  $M$  までのフィードバックループを含む系の伝達関数の周波数特性は、図 30 (b) となる。

電動機位置  $M$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性は、式 (2) より図 30 (c) となる。電動機位置指令  $M^*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性 (前置フィルタ部 107 が無い場合の制御装置の応答周波数特性) は、図 30 (b) と図 30 (c) とを合わせて、図 30 (d) となる。図 30 (d) は反共振周波数  $f_r$  にゲ

50

インピークを持つ。

【0014】

図31(a)は、電動機102の位置を一定量変移させることを指示する電動機位置指令  $M^*$  のパターンである。縦軸が電動機位置指令  $M^*$  (電動機102の位置の変移量)、横軸が時間である。これは一般的に用いられているS字指令である。図31(b)は、図31(a)の電動機位置指令  $M^*$  の微分波形であり、台形パターンとなる。このときの電動機位置偏差  $M$  の応答と、制御対象位置  $L$  と電動機位置指令  $M^*$  との差である制御対象位置偏差  $L$  の応答とを図32に示す。図32の位置指令出力期間は、図31(a)の電動機位置指令  $M^*$  が変動している期間、すなわち図31(b)の電動機位置指令  $M^*$  の微分値が0でない期間を指す。

10

図32に示すように、位置指令出力完了後に制御対象位置偏差  $L$  が電動機位置偏差  $M$  に比べ大きく振動する。制御対象位置  $L$  の振動周波数を測定すると、その振動周波数は、図30(d)に示す電動機位置指令  $M^*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性におけるゲインピークが生じる周波数(反共振周波数)近傍の周波数となる。電動機102と制御対象103とを連結する軸の剛性が低いことに起因し、制御対象位置  $L$  は位置指令出力完了後に大きな振動を生じる。

【0015】

次に前置フィルタ部107が有る場合の、即ち図29における位置指令  $M^*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性を述べる。電動機位置指令  $M^*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性は、図30(d)である。前置フィルタ部107の周波数特性は、 $a = 2 \cdot f_r$  ( $f_r$  は図30(a)における反共振周波数)とすると、図33(a)となる。前置フィルタ部107は、周波数  $a$  で利得(ゲイン)が極小となり、 $a$  より高域では周波数が高くなるにつれてゲインが大きくなる周波数特性を有する。位置指令  $M^*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性は、図30(d)と図33(a)を合わせた図33(b)となる。

20

【0016】

図33(b)を、前置フィルタ部107がない場合の位置指令から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性である図30(d)と比較すると、図33(b)は反共振周波数におけるゲインピークが無い。即ち、前置フィルタ部107は、制御装置の応答特性の反共振周波数におけるゲインピークを低減する。

30

位置指令  $M^*$  の指令パターンを図31(a)とした場合の制御対象位置偏差  $L$  と電動機位置偏差  $M$  の応答を図34に示す。前置フィルタ部107がない場合の応答である図32と比較すると、位置指令出力完了後の制御対象位置  $L$  の振動が低減される。図32と図34の応答は図29の前置フィルタ部107以外の構成は同じである。

【0017】

以上のように従来例の制御装置において、図26の前置フィルタ部107は、位置指令  $M^*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性に生じるゲインピークを低減する。これにより、ゲインピークに起因して位置指令出力完了後に発生した制御対象位置  $L$  の振動が低減される。

図32の応答特性を有する系のパラメータ設定を一部変更した場合の応答特性を図35に示す。図35に示す系においては、図32に示す系と比較して、位置制御部110の位置比例ゲイン  $K_{pp}$  と速度制御部113の速度比例ゲイン  $K_{vp}$  とを下げ、制御対象位置  $L$  の位置指令出力完了後の振動を低減させた。図35では、位置指令出力完了後の振動振幅は図34と同程度であるが、図34よりも応答が遅くなっている。

40

従来例の制御装置において、前置フィルタ部107は、制御装置の高速応答性を保ったまま、位置指令出力完了後の制御対象位置  $L$  の振動を低減できるという効果を奏する。

【0018】

【特許文献1】

特開平10-149210号公報

【特許文献2】

50

特開平6 - 028006号公報

【非特許文献1】

平成5年電気学会全国大会No.1759「減速機ねじれ振動の制振制御」

【0019】

【発明が解決しようとする課題】

従来例において、図29の位置指令入力部106が出力する位置指令  $M^*$  が図31(a)のパターンを有するとすると、前置フィルタ部107(その伝達関数は、位置指令の2階微分の補正項( $s^2/a^2$ )を有する。)を通した後の電動機位置指令  $M^*$  の指令パターンは図36となる。図31(b)及び図36において、時点A、B、C、Dは図31(a)の指令パターンの加速度(位置指令の2階微分)変動時点である。時点A、B、C、Dでは電動機位置指令  $M^*$  の2階微分が急激に変動する。図29に示す系が図31(a)の指令パターンの位置指令  $M^*$  を入力した場合のトルク指令  $T^*$  の波形を図37に示す。

10

【0020】

時点A、B、C、Dにおいて、電動機位置指令  $M^*$  の2階微分が急激に変動すること起因して、図37の破線の円で示す非常に大きなトルク指令  $T^*$  が発生する。時点A、B、C、Dでの電動機位置指令  $M^*$  の2階微分の変動が大きいほど、つまり  $a$  が小さい程、又は位置指令  $M^*$  の加速度が大きい程、時点A、B、C、Dで大きなトルク指令  $T^*$  とが発生する。一般的にハード上の制約等により、トルク指令  $T^*$  には上限が設けられる。トルク  $T^*$  は、上限値より大きくなならないようにリミットをかけられる。時点A、B、C、Dでの電動機位置指令  $M^*$  の2階微分の変動が過大な値となった場合、トルク指令  $T^*$  はリミットをかけられる。トルク指令  $T^*$  がリミットをかけられると、制御装置は高速応答を保ったまま振動を抑制するための適切なトルク波形を出力できなくなり、制御対象位置  $L$  の振動収束に時間がかかるという問題があった。

20

【0021】

本発明は、制御対象(負荷)自体又は電動機と制御対象との連結部等の機械剛性が低い制御装置において、指令パターン及び制御対象の特性によらず電動機及び制御対象の振動を高速応答を保ったまま常に抑制する電動機の制御方法、及び制御装置を提供することを目的とする。具体的には、本発明は、指令パターン及び制御対象の特性によらず、トルク指令が過大値となってリミットをかけられることを防止する電動機の制御方法及び制御装置を提供することを目的とする。

30

本発明は、制御系の状態量に応じて(個々の制御装置(制御対象を含む。)の特性のばらつき、経時変化、及び/又はその状態量に至る履歴の差異に応じて)自動的に、電動機及び制御対象の振動を常に最適に抑制する電動機の制御方法、及び制御装置を提供することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明は下記の構成を有する。

本発明の1つの観点による電動機の制御方法は、電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する指令を入力する指令入力ステップと、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタに前記指令を作用させて追従指令値を出力する前置フィルタステップと、前記追従指令値に前記電動機又は前記制御対象の状態量が追従するよう制御する指令追従制御ステップと、を有する。

40

【0023】

本発明の他の観点による電動機の制御装置は、電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する指令を入力する指令入力部と、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の

50

利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタを有し、前記フィルタに前記指令を作用させて追従指令値を出力する前置フィルタ部と、前記追従指令値に前記電動機又は前記制御対象の状態量が追従するよう制御する指令追従制御部と、を有する。

【0024】

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、制御対象自体、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機及び制御対象の振動を抑制するという効果を奏する。本発明によれば、指令パターン又は制御対象の特性によらず常に電動機及び制御対象の振動を抑制することが出来る。本発明は、指令パターン及び制御対象の特性によらず、トルク指令が過大値となってリミットをかけられることを防止する電動機の制御方法及び制御装置を実現する。

10

【0025】

本発明の別の観点による電動機の制御方法は、電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する指令を入力する指令入力ステップと、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタの伝達関数を、定数項とフィードフォワード補償項との和に等価変換し、前記指令を前記定数項に作用させて追従指令値を出力し、且つ前記指令をフィードフォワード補償項に作用させてフィードフォワード補償項補償量を出力するフィードフォワード型前置フィルタステップと、前記フィードフォワード補償項補償量と前記追従指令値に基づき、前記追従指令値に前記電動機又は前記制御対象の状態量が追従するよう制御する指令追従制御ステップと、を有する。

20

【0026】

本発明の別の観点による電動機の制御装置は、電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する指令を入力する指令入力部と、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタの伝達関数を、定数項とフィードフォワード補償項との和に等価変換し、前記指令を前記定数項に作用させて追従指令値を出力し、且つ前記指令をフィードフォワード補償項に作用させてフィードフォワード補償項補償量を出力するフィードフォワード型前置フィルタ部と、前記フィードフォワード補償項補償量と前記追従指令値に基づき、前記追従指令値に前記電動機又は前記制御対象の状態量が追従するよう制御する指令追従制御部と、を有する。

30

【0027】

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、制御対象自体、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機及び制御対象の振動を抑制するという効果を奏する。本発明によれば、指令パターン又は制御対象の特性によらず常に電動機及び制御対象の振動を抑制することが出来る。本発明は、指令パターン及び制御対象の特性によらず、トルク指令が過大値となってリミットをかけられることを防止する電動機の制御方法及び制御装置を実現する。

【0028】

指令追従制御ステップ（指令追従制御部）において、定数項に基づく指令値を電動機の追従目標値として制御を行う。フィードフォワード補償項補償量に基づいて制御対象（負荷）の振動を抑制する。例えば実施の形態1の構成（図1）においては、フィルタ部が入力した位置指令 \* を演算処理し、演算結果である電動機位置指令 M \* を目標値として制御を行う故、位置指令 \* の演算処理における1LSB未満の成分について桁落ちが発生する。この演算誤差に起因して電動機位置の収束値誤差が発生する。上記の観点の発明によれば、位置指令 \* をそのまま目標値として制御を行う（目標値を演算処理しない）故、演算誤差による電動機位置の収束値誤差が発生しない。電動機位置の収束値誤差を補償する必要がない。本発明によれば、収束値誤差が発生する場合と比較して、高い精度で電動機を制御することができる。本発明によれば、誤差補償をした場合と比較して、ソフト

40

50

ウエア処理における誤差補償の演算時間を短縮でき、且つ製品開発時に誤差補償のソフトウェアを開発する労力及び時間を削減できる。

【0029】

本発明の別の観点による電動機の制御方法は、電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する位置指令から導出された速度指令を入力する速度指令入力ステップと、前記速度指令と前記電動機又は前記制御対象の位置とに基づき、前記位置指令を推定した推定位置指令を出力する指令推定ステップと、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタの伝達関数を、定数項とフィードフォワード補償項との和に等価変換し、前記速度指令を前記定数項に作用させた値に、前記推定位置指令を前記フィードフォワード補償項に作用させて生成した前記フィードフォワード補償項補償量を加算して、追従速度指令値を出力する内部構成型前置フィルタステップと、前記追従速度指令値に前記電動機又は前記制御対象の速度が追従するよう制御する指令追従制御ステップと、を有する。

10

【0030】

本発明の別の観点による電動機の制御装置は、電動機、又は前記電動機に連結された制御対象に対する位置指令から導出された速度指令を入力する速度指令入力部と、前記速度指令と前記電動機又は前記制御対象の位置とに基づき、前記位置指令を推定した推定位置指令を出力する指令推定部と、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性と、前記電動機へのトルク指令がトルクリミット以下となるように前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数よりも高域の高域周波数の利得を抑える特性と、を併せ持つフィルタの伝達関数を、定数項とフィードフォワード補償項との和に等価変換し、前記速度指令を前記定数項に作用させた値に、前記推定位置指令を前記フィードフォワード補償項に作用させて生成したフィードフォワード補償項補償量を加算して、追従速度指令値を出力する内部構成型前置フィルタ部と、前記追従速度指令値に前記電動機又は前記制御対象の速度が追従するよう制御する指令追従制御部と、を有する。

20

【0031】

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、制御対象自体、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機及び制御対象の振動を抑制するという効果を奏する。本発明によれば、指令パターン又は制御対象の特性によらず常に電動機及び制御対象の振動を抑制することが出来る。本発明は、指令パターン及び制御対象の特性によらず、トルク指令が過大値となつてリミットをかけられることを防止する電動機の制御方法及び制御装置を実現する。

30

【0032】

指令追従制御ステップ（指令追従制御部）において、電動機の追従目標値として指令値を用いる。フィードフォワード補償項補償量に基づいて、制御対象（負荷）の振動を抑制する。これにより、演算での桁落ちに起因する電動機位置の収束値誤差が発生しない。電動機位置の収束値誤差を補償する必要がない。本発明の制御方法及び制御装置は、演算誤差補償をしない場合と比較して、電動機の位置決め精度が高い。本発明は、演算誤差補償をした場合と比較して、ソフトウェア処理における演算誤差補償をするための演算時間を短縮でき、且つ製品開発時に演算誤差補償のソフトウェアを開発する労力及び時間を削減できる。又は制御用LSIにおいて演算誤差補償回路が不要である。

40

【0033】

例えば既存の制御用プログラムで基本ソフトウェアが構成されている制御方法、又は既存の制御用LSIで基本回路が構成されている制御装置においては、制御対象（負荷）の振動を抑制するためのプログラム又は回路を付加する際に、種々の制約条件がある（構成上の自由度が限定される）。例えば、指令入力ステップ（指令入力部）が入力した指令の値を外部に取り出せない（入力した指令の値が分からない）場合も多い。本発明は、基本の制御系を変更しない。本発明においては、入力した指令の値を推定し、推定指令に基づい

50

てフィードフォワード補償量を算出し、フィードフォワード補償量を付加して電動機の出力を補正する。本発明は、例えば既存の制御用LSIで基本回路が構成されている制御装置において、制御対象自体もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機及び制御対象の振動を効果的に抑制する電動機の制御方法及び制御装置を実現する。

【0034】

本発明の別の観点による上記の電動機の制御方法においては、前記前置フィルタステップ、前記フィードフォワード型前置フィルタステップ又は前記内部構成型前置フィルタステップが、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性の、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を可変とする。

10

本発明の別の観点による上記の電動機の制御装置においては、前記前置フィルタ部、前記フィードフォワード型前置フィルタ部又は前記内部構成型前置フィルタ部が、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を下げる特性の、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数の利得を可変とする。

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、所定の周波数の利得を可変とすることにより、振動抑制効果を更に向上させる。所定の周波数の利得を自動的に変化させても良い。

【0035】

本発明の別の観点による上記の電動機の制御方法においては、前記前置フィルタステップ、前記フィードフォワード型前置フィルタステップ又は前記内部構成型前置フィルタステップが、前記高域周波数の利得を抑える特性を動作状態により変化させる。

20

本発明の別の観点による上記の電動機の制御装置においては、前記前置フィルタ部、前記フィードフォワード型前置フィルタ部又は前記内部構成型前置フィルタ部が、前記高域周波数の利得を抑える特性を動作状態により変化させる。

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、電動機又は制御対象の動作状態に応じて高域の利得を抑える特性を自動的に調整する。これにより、高域の利得を抑えることによる制御装置の応答の遅れを小さくする。

【0036】

本発明の別の観点による上記の電動機の制御方法においては、前記前置フィルタステップ、前記フィードフォワード型前置フィルタステップ又は前記内部構成型前置フィルタステップが、前記高域周波数の利得を抑える特性を、少なくとも前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決めるパラメータに基づき自動的に決定する。

30

本発明の別の観点による上記の電動機の制御装置においては、前記前置フィルタ部、前記フィードフォワード型前置フィルタ部又は前記内部構成型前置フィルタ部が、前記高域周波数の利得を抑える特性を、少なくとも前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決めるパラメータに基づき自動的に決定する。

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数と共に高域周波数の利得を抑える特性を自動的に決定する。これにより、制御装置の操作性が向上する。

【0037】

本発明の別の観点による上記の電動機の制御方法においては、前記前置フィルタステップ、前記フィードフォワード型前置フィルタステップ又は前記内部構成型前置フィルタステップが、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を自動設定する振動周波数自動設定ステップを有する。

40

本発明の別の観点による上記の電動機の制御装置においては、前記前置フィルタ部、前記フィードフォワード型前置フィルタ部又は前記内部構成型前置フィルタ部が、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を自動設定する振動周波数自動設定部を有する。

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、電動機又は制御対象の振動を励起する周波数を制御装置毎に自動的に設定する。本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、経時変化又は環境条件により制御系の特性が変化した場合にも、適応的に最適の制御を実行し、

50

電動機及び制御対象の振動を抑制する。これにより、制御装置の操作性が向上する。

【0038】

本発明の別の観点による上記の電動機の制御方法においては、前記振動周波数自動設定ステップが、前記制御対象の振動を検出する振動検出ステップと、検出した前記振動から振動周波数を抽出して前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定する周波数決定ステップと、を有する。

本発明の別の観点による上記の電動機の制御装置においては、前記振動周波数自動設定部が、前記制御対象の振動を検出する振動検出部と、検出した前記振動から振動周波数を抽出して前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定する周波数決定部と、を有する。

10

【0039】

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、制御対象の振動を検出することにより、制御対象の振動周波数を正確に検出する。本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、例えば制御対象の特性変動により振動周波数が変わっても制御対象の振動を常に最適に低減することができる。

制御対象の振動を検出する方法は任意である。例えば感圧センサで構成された振動検出センサを制御対象の表面に貼り付ける。これにより、制御対象の振動周波数を正確に検出出来る。制御装置の操作性が向上する。

【0040】

本発明の別の観点による上記の電動機の制御方法においては、前記振動周波数自動設定ステップが、前記電動機の振動周波数に基づき前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定する。

20

本発明の別の観点による上記の電動機の制御装置においては、前記振動周波数自動設定部が、前記電動機の振動周波数に基づき前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定する。

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、電動機の振動を検出することにより、電動機の振動周波数を正確に検出する。本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、例えば電動機の特性変動により振動周波数が変わっても電動機の振動を常に最適に低減することができる。

【0041】

30

本発明の別の観点による上記の電動機の制御方法においては、前記振動周波数自動設定ステップにおいて、前記電動機の応答に基づき前記電動機と前記制御対象の数式モデルを推定し、前記数式モデルに基づき前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定する。

本発明の別の観点による上記の電動機の制御装置においては、前記振動周波数自動設定部が、前記電動機の応答に基づき前記電動機と前記制御対象の数式モデルを推定し、前記数式モデルに基づき前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数を決定する。

【0042】

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、電動機と制御対象の数式モデルを推定して、制御対象の振動周波数を正確に検出する。本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、例えば制御対象の特性変動により振動周波数が変わっても制御対象の振動を常に最適に低減することができる。制御装置の操作性が向上する。本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、制御対象の振動検出部を用いない故、安価である。

40

【0043】

本発明の別の観点による上記の電動機の制御方法においては、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数が、前記電動機が出力したトルクから前記電動機の位置又は速度までの系が有する反共振周波数である。

本発明の別の観点による上記の電動機の制御装置においては、前記電動機又は前記制御対象の振動を励起する周波数が、前記電動機が出力したトルクから前記電動機の位置又は速度までの系が有する反共振周波数である。

50

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、電動機が出力したトルクが制御対象に伝達されるまでの系の振動を抑制し、高い応答性を有する制御方法及び制御装置を実現する。反共振周波数の近傍の周波数とは、反共振周波数と同一又は近似した周波数である。

【0044】

本発明の別の観点による電動機の制御方法において、前記電動機又は前記制御対象の状態量が、前記電動機又は前記制御対象の位置又は速度である。

【0045】

本発明の別の観点による電動機の制御装置において、前記電動機又は前記制御対象の状態量が、前記電動機又は前記制御対象の位置又は速度であることを特徴とする。

【0046】

本発明の電動機の制御方法及び制御装置は、制御対象自体、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機及び制御対象の振動を抑制するという効果を奏する。本発明によれば、指令パターン又は制御対象の特性によらず常に電動機及び制御対象の振動を抑制することが出来る。本発明は、指令パターン及び制御対象の特性によらず、トルク指令が過大値となってリミットをかけられることを防止する電動機の制御方法及び制御装置を実現する。

【0047】

本発明の別の観点による装置は、上記の制御装置を有する。本発明の装置は、高い応答性を実現する。

【0048】

【発明の実施の形態】

以下本発明の実施をするための最良の形態を具体的に示した実施の形態について、図面とともに記載する。

【0049】

《実施の形態1》

図1～9を用いて、本発明の実施の形態1の電動機の制御方法及び制御装置を説明する。図1は本発明の実施の形態1の電動機の制御装置の構成を示す図である。実施の形態1の電動機の制御装置は、カートリッジから取り出した電子部品（例えばIC）を自動的にプリント基板上に実装する実装機のヘッド（カートリッジから取り出した電子部品を、プリント基板上の所定の位置に載置するまで、保持する機構部）の位置を制御する制御装置である。本発明の電動機の制御装置及び制御方法の適用対象はこれに限られるものではなく、任意の装置に適用できる。実施の形態1の電動機の制御装置において、電動機2と制御対象3との連結部等の機械剛性が低い。制御対象（負荷）3自体の剛性が低くても良い。

【0050】

図1において、1は位置指令作成部、2は電動機、3は制御対象（負荷）、4は位置検出部、5は振動検出部、6はサーボコントローラである。サーボコントローラ6は、位置指令入力部7、前置フィルタ部8、指令追従制御部12を有する。前置フィルタ部8は、フィルタ部9、パラメータ自動設定部10を有する。指令追従制御部12は、位置偏差演算部（減算器）13、位置制御部14、速度演算部15、速度偏差演算部（減算器）16、速度制御部17、電流制御部18を有する。

【0051】

位置指令作成部1が位置指令を作成し、サーボコントローラ6の位置指令入力部7に入力する。位置指令入力部7は前置フィルタ部8を介して位置指令 \* を指令追従制御部12に送る。実施の形態1の制御装置は、電動機に連結された制御対象（負荷）3の位置（以後、「制御対象位置 L」と呼ぶ。）が位置指令 \* に一致するように電動機2を制御するための装置である。図1において、制御対象位置 L は検出できない。位置検出部4が電動機2の位置（以後、「電動機位置 M」と呼ぶ。）を検出する。サーボコントローラ6は位置指令に電動機位置 M が追従するように制御する。制御対象3は電動機2に連結されているため、制御対象位置 L も位置指令に追従することになる。

【0052】

10

20

30

40

50

位置指令入力部 7 は位置指令を入力して、内部演算に適した単位に変換して位置指令 \* として出力する。サーボコントローラ 6 は、電動機位置 M が位置指令 \* に一致するように電動機 2 を制御する。これにより、実施の形態 1 の制御装置は、制御対象位置 L が位置指令 \* に一致するように電動機 2 を制御する。電動機位置 M 及び制御対象位置 L が位置指令 \* に素早く追従するよう制御される。制御対象 3、もしくは電動機 2 と制御対象 3 とを連結する連結軸の剛性が低い実施の形態 1 の制御装置においては、制御対象位置 L が振動しやすい。制御対象位置 L の振動を抑制するために、前置フィルタ部 8 は、位置指令 \* のパターンを入力し、制御対象位置 L の振動を励起しないパターン M \* (電動機位置指令) に変化させる。指令追従制御部 1 2 は、位置検出部 4 が検出した電動機位置 M が電動機位置指令 M \* に追従するように電動機 2 を制御する。制御装置は入力された位置指令に素早く追従する。

10

#### 【 0 0 5 3 】

図 1 の実施の形態 1 において、従来の電動機の制御装置 (図 2 6) と異なる点は、振動検出部 5 が追加されていること、及び前置フィルタ部 8 の内部構造が図 2 6 の前置フィルタ部 1 0 7 と異なることである。

振動検出部 5 は、制御対象 3 の振動を直接検出し、前置フィルタ部 8 のパラメータ自動設定部 1 0 に伝送する。振動検出部 5 の構成は任意である。実施の形態 1 の振動検出部 5 は、制御対象 3 の表面に取り付けられた感圧センサである。

前置フィルタ部 8 はパラメータ自動設定部 1 0 を有し、そのフィルタ部 9 の伝達関数が前置フィルタ部 1 0 7 と異なる。パラメータ自動設定部 1 0 は、振動検出部 5 の出力信号を入力し、その中に含まれる制御対象 3 の振動周波数を抽出する。パラメータ自動設定部 1 0 は、抽出した振動周波数に基づいて、フィルタ部 9 の特性 (伝達関数) を決定する。

20

#### 【 0 0 5 4 】

この構成の違いにより得られる効果を以下に述べる。従来の電動機の制御方法は、制御対象 1 0 3、もしくは電動機 1 0 2 と制御対象 1 0 3 とを連結する連結軸の剛性が低い制御系において、電動機位置 M 及び制御対象位置 L の振動を抑制する効果を奏する。しかし、位置指令作成部 1 0 1 が作成する指令パターン又は制御対象 1 0 3 の特性によっては、トルク指令 T \* が過大となりトルクリミットをかける必要があった。その場合、制御装置は、最適な制御を行うことができず、位置指令に対する応答が遅くなり、制御対象位置 L の振動収束に時間がかかるという問題があった。

30

#### 【 0 0 5 5 】

図 1 の前置フィルタ部 8 のフィルタ部 9 は、位置指令 \* を入力し、制御対象 3 において振動を励起しにくい指令パターンに自動的に変換し、電動機位置指令 M \* として出力する。位置指令作成部 1 が作成する指令パターン及び制御対象 3 の特性によらず、電動機位置指令 M \* は上限値を超えること (リミットをかけられること) はない。実施の形態 1 の制御装置は、電動機 2 及び制御対象 3 の振動を常に最適に抑制する制御方法を実行する。

#### 【 0 0 5 6 】

次に図 1 の制御ブロックの詳細な動作を説明する。位置指令作成部 1 は、例えば P L C (Programable Logic Controller) で構成される。位置指令作成部 1 は、位置指令パターンを作成し、パターンに従い位置指令を出力する。

40

位置検出部 4 は電動機 2 の位置を検出し、電動機位置 M として出力する。

サーボコントローラ 6 はデジタル制御を行う。サーボコントローラ 6 は、位置指令作成部 1 からの位置指令と、位置検出部 4 からの電動機位置 M とを一定周期ごとに入力し、演算処理して、電動機 2 を流れる電流 I を制御する。

#### 【 0 0 5 7 】

サーボコントローラ 6 が実行する 1 周期の演算処理のフローチャートを図 2 に示す。サーボコントローラ 6 は、図 2 に示す演算処理を一定の演算周期 (例えば 1 6 6  $\mu$  s) 毎に繰り返す。図 2 の開始から終了までの処理を図 1 ~ 5 を用いて説明する。各状態量の添字 (n) は今回の演算周期での値、(n - 1) は前回の演算周期での値を表す。

50

位置指令入力部 7 は、位置指令作成部 1 からの位置指令を読み込み、サーボコントローラ 6 の内部演算に適した単位系に変換し、位置指令  $* (n)$  を出力する (ステップ S 1 の指令取込処理)。

指令追従制御部 1 2 は、位置検出部 4 が検出した電動機 2 の位置を  $M (n)$  として取り込む (ステップ S 2 の状態量取込処理)。

#### 【 0 0 5 8 】

前置フィルタ部 8 のパラメータ自動設定部 1 0 は、振動検出部 5 が検出した制御対象 3 の振動から、その振動周波数  $f_r$  を算出する (ステップ S 3 の前置フィルタパラメータ自動設定処理)。  $a = 2 \cdot f_r$  とする。パラメータ自動設定部 1 0 が、制御対象 3 の振動周波数を算出する方法は任意である。例えばパラメータ自動設定部 1 0 は、振動検出部 5 が出力する振動信号のゼロクロス時間間隔を測定しその測定値から振動周波数を算出する。例えばパラメータ自動設定部 1 0 は、振動検出部 5 が出力する振動信号を F F T (fast Fourier Transform) により周波数スペクトラムに変換して振動周波数  $f_r$  を検出する。パラメータ自動設定部 1 0 は、算出した振動周波数  $f_r$  に基づき、  $a = 2 \cdot f_r$  とし、  $a$  に基づき  $f$  を決定する。

10

#### 【 0 0 5 9 】

図 3 は、実施の形態 1 の制御装置における  $a$  と  $f$  との関係を示すグラフである。パラメータ自動設定部 1 0 は、図 3 に示すグラフの  $a$  と  $f$  とをプロットした値を格納するテーブル、又は図 3 のグラフを表す関数を用いて、  $a$  に基づいて  $f$  を決定する。  $a$  と位置指令  $*$  の加速度 (2 階微分) とを引数とした 2 次元テーブルを用いても良い。減衰係数  $\gamma$  は可変としても良いがここでは 1 に固定する。減衰係数  $\gamma$  は 0 でない値である。

20

$f$  の役割と、  $a$  と位置指令  $*$  の加速度を引数とする理由と、  $f$  の適切な設定値と、  $f$  の詳細な説明は後で行う。このようにして、パラメータ自動設定部 1 0 は、フィルタ部 9 のパラメータを決定する。

#### 【 0 0 6 0 】

フィルタ部 9 は、  $a$  と  $f$  を用いて位置指令  $* (n)$  から電動機位置指令  $M * (n)$  を算出する (ステップ S 4 の前置フィルタ処理)。フィルタ部 9 は、図 5 に示す伝達関数を有する。図 4 ( a ) は、フィルタ部 9 の入出力間の伝達関数の周波数特性を示す図である。フィルタ部 9 の周波数特性はステップ S 3 で決定したパラメータに従う。フィルタ部 9 は周波数  $a$  及びその近傍の周波数の利得を下げる特性をもつ。特に  $a$  より高域の利得は、図 3 3 ( a ) の従来例の前置フィルタ部 1 0 7 の周波数特性に比較して低い。位置指令  $*$  から制御対象位置  $L$  までの周波数特性は図 3 0 ( d ) と図 4 ( a ) とを合わせたものとなり、図 4 ( b ) となる。図 4 ( b ) は、従来例の図 3 3 ( b ) と比較して  $a$  より高域の利得が抑えられている。

30

図 5 は、フィルタ部 9 の内部構成をラプラス演算子  $s$  を用いた表現で示す図である。実際には図 5 の構成を双一次変換などの手法でデジタルフィルタに変換し、フィルタ部 9 はデジタルフィルタとして図 4 ( a ) の特性を実現している。ステップ S 4 の効果の詳細な説明は後で行う。

#### 【 0 0 6 1 】

位置偏差演算部 (減算器) 1 3 と位置制御部 1 4 は、位置制御処理を行う (ステップ S 5 の位置制御処理)。まず、位置偏差演算部 1 3 は、  $M (n) = M * (n) - M (n)$  の演算を行い、電動機位置偏差  $M (n)$  を算出する。位置制御部 1 4 は、位置比例ゲイン  $K_{pp}$  を用いて、  $M * (n) = K_{pp} \cdot M (n)$  の演算を行い、速度指令  $M * (n)$  を算出する。

40

#### 【 0 0 6 2 】

速度演算部 1 5、速度偏差演算部 (減算器) 1 6、速度制御部 1 7 は、速度制御処理を行う (ステップ S 6 の速度制御処理)。まず速度演算部 1 5 が、電動機位置  $M$  に基づき、電動機 2 の速度  $M (n)$  を算出する。速度演算部 1 5 が速度  $M (n)$  を算出する方法は任意である。速度演算部 1 5 は、例えば電動機位置  $M$  の後進差分、双一次変換を用いた電動機位置  $M$  の微分、又は速度オブザーバなどの手法により、速度  $M (n)$  を算出

50

する。次に、速度偏差演算部 16 は、 $M(n) = M^*(n) - M(n)$  の演算を行い、速度偏差  $M(n)$  を算出する。次に、速度制御部 17 は、速度比例ゲイン  $Kvp$  と速度積分時定数  $Tvi$  を用いて式 (3) 及び式 (4) の比例積分演算を行い、トルク指令  $T^*(n)$  を算出する。 $Xvi(n)$  は積分演算用変数である。

【0063】

$$Xvi(n) = Xvi(n-1) + M(n) \cdot Kvp / Tvi \quad (3)$$

$$T^*(n) = Kvp \cdot M(n) + Xvi(n) \quad (4)$$

【0064】

電流制御部 18 は、トルク指令  $T^*(n)$  に対応する電流が電動機 2 に流れるよう制御する (ステップ S7 の電流制御処理)。以上で図 2 に示す処理を終える。

10

【0065】

図 2 のフローチャートにおける、ステップ S4 の前置フィルタ処理の効果と、ステップ S3 で導出する  $f$  の役割と、 $a$  と位置指令  $*$  の加速度 (2 階微分) とを引数として  $f$  を導出する理由と、 $a$  の適切な設定値と、 $f$  を従来例と比較しながら説明する。

まず、ステップ S4 の前置フィルタ処理の効果の説明する。図 5 に示すフィルタ部 9 は、従来例の前置フィルタ部 107 (図 26) と同一の伝達関数を有するブロック 1 と、2 次フィルタであるブロック 2 とを直列に接続した構成を有する。ブロック 1 は、位置指令  $*$  から制御対象位置  $L$  の振動を励起する周波数成分を除去する。ブロック 1 により、制御対象位置  $L$  の振動を低減する効果が得られる。その詳細な原理は従来例と同じである故、説明を省略する。

20

【0066】

ブロック 2 が、位置指令  $*$  の加速度 (2 階微分) 変動時点でトルク指令  $T^*$  が過大な値となることを防止する。図 6 は、前置フィルタ部 8 (図 1) が入力した位置指令  $*$  と、出力した電動機位置指令  $M^*$  の波形を示す図 (横軸は時間、縦軸は位置指令  $*$  及び電動機位置指令  $M^*$  の値) である。破線が位置指令  $*$ 、実線が電動機位置指令  $M^*$  である。位置指令  $*$  の波形は図 31 (a) に示す波形と同一である。位置指令  $*$  の 1 階微分は、図 31 (b) に示す波形を有する。この時、速度制御部 17 (図 1) が出力するトルク指令  $T^*$  の波形を図 7 に示す (横軸が時間、縦軸がトルク)。同一波形の位置指令  $*$  を入力した時、位置指令  $*$  の加速度変動を生じる時点 A、B、C、D において、図 6 に示す電動機位置指令  $M^*$  (実施の形態 1) は、従来例における電動機位置指令  $M^*$  (図 36) に比べ急激に変動しない。これは、図 5 のブロック 2 の 2 次フィルタが、図 4 (a) の周波数特性の特に  $a$  より高域の利得を、従来例で示した図 33 (a) よりも低くしていることに起因する。

30

【0067】

従来例 (図 37) においては、速度制御部 113 (図 26) が出力するトルク指令  $T^*$  は、位置指令  $*$  の加速度変動時点 A、B、C、D で、過大な値となり、リミットをかけられた。図 7 に示すように、本実施の形態においては、速度制御部 17 (図 1) が出力するトルク指令  $T^*$  は、位置指令  $*$  の加速度変動時点 A、B、C、D で、過大な値とはならず、リミットをかけられることはない。本実施の形態の制御方法及び制御装置は、指令パターン及び制御対象の特性によらず電動機及び制御対象の振動を常に最適に抑制して制御する。

40

【0068】

次にステップ S3 で導出する  $f$  の役割と、 $a$  と位置指令  $*$  の加速度 (2 階微分) とを引数として  $f$  を導出する理由を述べる。フィルタ部 9 (図 1) が図 6 に破線で示す位置指令  $*$  を入力した場合、図 5 のブロック 1 は、図 36 に実線で示す波形と同一の波形の信号を出力する。ブロック 2 (図 5) は、図 36 に実線で示す波形の信号を入力し、図 6 に実線で示す電動機位置指令  $M^*$  を出力する。図 36 に実線で示すように、ブロック 1 の出力信号は位置指令  $*$  の加速度変動時点 A、B、C、D で急激に変化する。 $a$  が小さい程、また、位置指令  $*$  の加速度が大きい程、時点 A、B、C、D でのブロック 1 の出力信号の変化は大きくなる。図 5 のブロック図から分かるように、 $f$  はブロック 2

50

の2次フィルタのカットオフ周波数を規定する。

【0069】

図6において位置指令 \* の加速度が変動する時点A、B、C、Dでの、ブロック1 (図5) の出力信号の変化が大きい程、パラメータ自動設定部10は、 $f$  を小さくして2次フィルタのカットオフ周波数を下げ、位置指令 \* の加速度が変動する時点A、B、C、Dでの電動機位置指令  $M^*$  の変化を小さくする。 $f$  を十分に小さくしなければ、位置指令 \* の加速度が変動する時点で図37のようにトルク指令  $T^*$  が急激に増大し、リミットをかけられる。制御装置は、正常な制御ができなくなる。これが、パラメータ自動設定部10は、ステップS3において  $f$  を  $a$  と位置指令 \* の加速度を引数として自動設定する理由である。パラメータ自動設定部10は、 $a$  が小さい程、位置指令 \* の加速度が大きい程、 $f$  を小さな値とする。このようにしてパラメータ自動設定部10が  $f$  を自動的に設定することにより、本実施の形態の制御方法及び制御装置は、指令パターン及び制御対象の特性によらず電動機及び制御対象の振動を常に最適に抑制して制御する。

10

【0070】

図6において、破線の位置指令 \* は時点Dで変化を終えるが、前置フィルタ部8が出力する電動機位置指令  $M^*$  の変化終了時点は時点Dよりも遅れる。これは前置フィルタ部8のブロック2 (図5) の2次フィルタの影響である。電動機位置指令  $M^*$  の変化の遅延は、制御装置の応答の遅延を生じるので好ましくない (従来例において、トルク指令  $T^*$  が過大な値となり、リミットをかけられた場合に生じる応答の遅れと比較すれば、本実施の形態の制御装置は、はるかに応答が速い。)

20

トルク指令  $T^*$  がリミットをかけられやすい時点A、B、C、Dの直後以外の期間はブロック2の2次フィルタのカットオフ周波数を高くしてもトルクリミットはかからない。このことを利用して、パラメータ自動設定部10は、 $f$  を時間により変化させる。パラメータ自動設定部10は、特に時点Dの直後より後の期間は  $f$  を大きくする。これにより電動機位置指令  $M^*$  の変化終了時点は早くなる。パラメータ自動設定部10がフィルタ部9のパラメータ切り換えを実施することにより、本実施の形態の制御方法及び制御装置は、高い応答性を実現する。

【0071】

次に減衰係数  $n$  の適切な設定値を説明する。 $n$  を1より小さくしていくと、図5のブロック2の周波数特性が周波数  $f$  付近でゲイン  $0$  dB以上のゲインピークを持ち始める。この場合、このゲインピークの周波数の振動が制御対象位置  $L$  に現れる可能性がある故、 $n$  を1以下に設定することは望ましくない。 $n$  は大きくするほど電動機位置指令  $M^*$  の変化終了時点は長くなり (図6参照)、制御装置の応答が遅くなる。変化終了時点とは電動機位置指令  $M^*$  が変動を開始した後、変動を終了する時点である。したがって、 $n$  を大きくしすぎること望ましくない。従って  $n$  は1程度に設定するのが望ましい。

30

【0072】

図8は、図31 (a) 及び (b) に示す位置指令を入力した時の、実施の形態1の制御装置 (図1) の応答を示す波形図である。破線は電動機位置偏差  $M$ 、実線は制御対象位置偏差  $L$  である。前置フィルタ部8がない場合の電動機位置偏差  $M$ 、制御対象位置偏差  $L$  の応答波形である図32と比較すると、実施の形態1の制御装置においては、位置指令出力期間終了後の振動が抑制されている。

40

図5のブロック1の伝達関数を減衰項  $n / a \cdot s$  を含む式 (5) に変更しても良い。減衰係数  $n$  を調整することにより、周波数  $a$  の利得を調整できる。減衰係数  $n$  を適切に決定することにより、電動機位置偏差  $M$  及び制御対象位置偏差  $L$  の振動が更に抑制される。

【0073】

$$(1/a^2) \cdot s^2 + (2n/a) \cdot s + 1 \quad (5)$$

【0074】

前置フィルタ部8がない従来例の制御装置において、図32に示す例よりも位置比例ゲイ

50

ン  $K_{pp}$  と速度比例ゲイン  $K_{vp}$  を低く設定して制御対象位置偏差  $L$  の振動を低減した場合の電動機位置偏差  $M$ 、制御対象位置偏差  $L$  の応答を図 35 に示す。図 8 の応答は図 35 の応答よりも速い。本発明により、従来例と同様、高速応答を保ったまま、振動を低減できる。図 8 の応答の時のトルク指令  $T^*$  の波形は図 7 である。位置指令  $*$  の加速度が変動する時点 A、B、C、D でトルク指令  $T^*$  が急激に増大しておらず、リミット制限されることがない。本実施の形態の制御方法及び制御装置は、位置指令  $*$  の加速度が変動する時にも適切な応答をする。

#### 【0075】

振動周波数 11 Hz、整定幅  $\pm 125 \mu\text{m}$  の条件で、実験での整定時間（位置指令の出力（変動）完了時点から、装置先端位置（制御対象 3 の先端）が目標値を中心とした整定幅に収束する時点までに要する時間）を比較する。前置フィルタなしの制御装置においては整定時間は 725 ms であった。前置フィルタ部 107 を有する従来例の制御装置（図 29）においてはトルクが飽和して振動が長時間収束しなかったため有意な整定時間を測定できなかった。本発明の制御装置（図 1）においては整定時間は 45 ms であった。本発明により、前置フィルタがない場合と比較して、整定時間を約 1/16 にできた。

10

#### 【0076】

図 38 は、本発明の制御装置を搭載した実装機の構成を示す図である。図 38 において、図 1 と同一部には同一番号を付している。図 38 において、実装機はサーボモータ 2a、2b、2c を有する。各サーボモータは、図 1 の電動機 2 に該当する。各サーボモータは、それぞれサーボアンプ 6a、6b、6c によって制御される。

20

#### 【0077】

本発明の制御方法及び制御装置によれば、制御対象、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機及び制御対象の振動を抑制することができる。本発明の制御方法及び制御装置は、指令パターン又は制御対象の特性によらず常に自動的に電動機及び制御対象の振動を抑制する。トルク指令  $T^*$  が過大な値になることが自動的に防止される。図 1 の前置フィルタ部 8 のパラメータ設定をすべて自動化することにより制御装置の応答が速くなり、制御装置を搭載する装置の操作性が向上する。制御対象の特性変動により振動周波数  $a$  が変わっても  $a$  の設定値を自動的に変更する構成を有することにより、指令パターン又は制御対象の特性によらず常に振動を低減することができる。

30

#### 【0078】

図 1 において指令追従制御部 12 の構成は、電動機位置指令  $M^*$  に電動機位置  $M$  が追従するよう制御を行う構成であれば、他の構成であっても本実施の形態と同様の効果を得ることができる。

図 1 の前置フィルタ部 8 は位置指令作成部 1 の内部に構成してもよい。

#### 【0079】

本実施の形態は位置制御系について説明を行った。これに限定されず、図 9 に示すような速度制御系においても本発明を適用できる。図 9 において、図 1 と同じ符号のブロックは図 1 と同じ役割をする。速度指令作成部 20 は、速度指令パターンを作成し、パターンに従い速度指令を出力する。速度検出部 21 は電動機 2 の速度を検出し、 $M$  として出力する。サーボコントローラ 22 はデジタル制御を行う。サーボコントローラ 22 は、速度指令作成部 20 からの速度指令と、速度検出部 21 からの電動機速度  $M$  とを一定周期ごとに取り込み、演算処理して電動機 2 の電流  $I$  を制御する。速度指令入力部 23 は速度指令作成部 20 からの速度指令を入力し、サーボコントローラ 22 の内部演算に適した単位系に変換し速度指令  $*$  として出力する。前置フィルタ部 8（図 5 の伝達関数を有する。）は、速度指令  $*$  を入力し、電動機速度指令  $M^*$  を出力する。前置フィルタ部 8 は、振動検出部 5 が検出した制御対象 3 の振動周波数を抽出し、振動周波数に基づいてフィルタの伝達関数のパラメータを定める。指令追従制御部 24 は、電動機速度指令  $M^*$  に電動機速度  $M$  が追従するよう制御を行う。速度検出部 21 のかわりに位置検出部を配置してもよい。この場合はサーボコントローラ 22 の内部で位置検出部が検出した電動機 2 の

40

50

位置情報を微分して電動機速度  $M$  を算出する。図 9 の前置フィルタ部 8 を速度指令作成部 20 の内部に配置してもよい。

【 0080 】

図 9 の速度制御装置において、制御対象、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機及び制御対象の振動を抑制することができる。速度制御装置は、指令パターン又は制御対象の特性によらず常に自動的に適切に電動機を制御する。速度制御装置は、トルク指令が過大になることを自動的に防止する。図 9 の前置フィルタ部 8 のパラメータ設定を自動化することにより、制御装置の操作性を改善できる。

【 0081 】

図 1 のフィルタ部 9 は、図 5 の構成でなくても良い。図 4 ( a ) のように所定の周波数  $a$  ( 好ましくは、制御対象 3 の反共振周波数  $f_r \times 2$  近傍 ) 及びその近傍の周波数の利得を下げる特性と、高域の利得を抑える特性とを有する構成であればよい。

図 1 の制御対象位置  $L$  が複数の振動周波数で振動している場合は、フィルタ部 9 は、複数の振動周波数及びそれらの近傍の周波数の利得を下げ、且つ高域の利得を抑える特性とする。

【 0082 】

図 2 のフローチャートにおいて、ステップ S 2 の状態量取込処理は開始からステップ S 5 の前までのいずれかのタイミングで行えばよい。

電動機は特定の種類に限定されない。電動機は、直流電動機、永久磁石同期電動機、又は誘導電動機であっても良い。電動機は回転型の電動機に限定されず、リニアモータであっても良い。

位置指令 \* の指令パターンは位置指令作成部 1 でなく、サーボコントローラ 6 内部の位置指令入力部 7 で作成しても良い。この場合、位置指令入力部 7 は作成した指令パターンに基づき、一定周期ごとに位置指令 \* を出力する。

【 0083 】

《実施の形態 2 》

図 10 ~ 15 を用いて、本発明の実施の形態 2 の電動機の制御方法及び制御装置を説明する。図 10 は本発明に係る実施の形態 2 の電動機の制御方法における制御ブロックの構成を示す図である。図 10 において、実施の形態 1 の図 1 と異なる点は、前置フィルタ部 8 の構成である。実施の形態 2 の前置フィルタ部 8 は、フィルタ部 9 の代わりに、等価フィルタ部 11 と補償値印加部 30 とを有する。図 10 において、図 1 と同じ符号のブロックは、実施の形態 1 と同じ役割をする。

【 0084 】

図 10 の制御装置の詳細な動作を説明する。位置指令作成部 1、位置検出部 4 は実施の形態 1 と同じため説明を省略する。サーボコントローラ 6 は、デジタル制御を行う。サーボコントローラ 6 は、位置指令作成部 1 からの位置指令と、位置検出部 4 からの電動機位置  $M$  とを一定周期ごとに入力し、演算処理して、電動機 2 の電流  $I$  を制御する。

サーボコントローラ 6 が実行する 1 周期の演算処理のフローチャートを図 11 に示す。サーボコントローラ 6 は、図 11 に示す演算処理を一定の演算周期 ( 例えば  $166 \mu s$  ) 毎に繰り返す。図 11 の処理を図 10 ~ 12 を用いて説明する。図 11 において、図 2 と同じ符号のステップは実施の形態 1 と同じ処理を行う。図 11 のステップ S 1 から S 3 までは図 2 のステップ S 1 から S 3 と同じ処理を行うため説明を省略する。

【 0085 】

等価フィルタ部 11 は、位置指令 \* を入力し、補償値  $X_c$  を出力する ( ステップ S 10 の前置フィルタ処理 ) 。図 12 に等価フィルタ部 11 の伝達関数をラプラス演算子  $s$  を用いて示す。実際には図 12 の伝達関数を双一次変換などの手法で変換したデジタルフィルタに変換して、等価フィルタ部 11 はデジタルフィルタとして演算を行なう。デジタルフィルタはステップ S 1 で出力した位置指令 \* を入力し、補償値  $X_c$  を出力する。等価フィルタ部 11 の構成を図 12 とする理由は後で述べる。

10

20

30

40

50

## 【0086】

位置偏差演算部（差分器）13は、 $M(n) = M^*(n) - M(n)$ を計算して電動機位置偏差  $M(n)$ を出力する（ステップS11の位置制御処理1）。補償値印加部（加算器）30は、ステップS11の出力値  $M(n)$ にステップS10の出力値  $X_c(n)$ を加算した値を出力する（ステップS12の補償値印加処理）。位置制御部14は、ステップS12の出力値（ $M(n) + X_c(n)$ ）に位置比例ゲイン  $K_{pp}$ を乗じた値である電動機速度指令  $M^*(n)$ を出力する（ステップS13の位置制御処理2）。

## 【0087】

速度偏差演算部（差分器）16は、ステップS13の出力値（位置制御部14の出力値）からステップS2で取り込んだ電動機位置  $M(n)$ を減じた値  $M(n) = M^*(n) - M(n)$ を出力する（ステップS14の速度制御処理1）。速度制御部17は、ステップS14の出力値  $M(n)$ を用いて式（3）及び式（4）の比例積分演算を行い、トルク指令  $T^*(n)$ を出力する（ステップS15の速度制御処理2）。電流制御部18は、ステップS15の出力値  $T^*(n)$ に対応する電流  $I$ が電動機2に流れるよう制御する（ステップS16の電流制御処理）。以上が図11のフローチャートに示すサーボコントローラ6の内部演算1周期分の演算処理である。

10

## 【0088】

等価フィルタ部11の構成を図12とする理由を述べる。図1の実施の形態1のフィルタ部9の伝達関数は式（6）（図5）である。

20

$$\{(1/a^2) \cdot s^2 + 1\} / \{(1/f^2) \cdot s^2 + 2/f \cdot s + 1\} \quad (6)$$

## 【0089】

式（6）を変換すると式（7）となる。

$$1 + [\{(1/a^2 - 1/f^2) \cdot s^2 - (2/f) \cdot s\} / \{(1/f^2) \cdot s^2 + (2/f) \cdot s + 1\}] \quad (7)$$

## 【0090】

これに基づき、図5を等価変換すると図13となる。図13のブロック3は図12と等しい。したがって、図1の実施の形態1の構成と、図10の本実施の形態の構成は等価である。実施の形態2は実施の形態1と等価であり、同一の効果を奏する。

30

## 【0091】

実施の形態2では、実施の形態1と比較して、 $M$ の収束値が位置指令  $M^*$ の収束値からずれない。実施の形態2では、前置フィルタ部8の補償値  $X_c$ は位置偏差演算部13の後段の補償値印加部30で、電動機位置偏差  $M$ に加算される。位置偏差演算部13は、 $M = M^* - M$ の演算を行う。指令追従制御部12は、電動機位置偏差  $M$ が0となるよう制御する。制御装置は位置指令  $M^*$ をそのまま目標値として電動機位置  $M$ を制御する故、位置指令  $M^*$ の収束値（停止位置）と電動機位置  $M$ の収束値が一致する。よって本実施の形態は、位置指令  $M^*$ の収束値から  $M$ の収束値がずれない。

## 【0092】

図1の実施の形態1では、位置偏差演算部（減算器）13は、 $M = M^* - M$ の演算を行う。指令追従制御部12は、電動機位置偏差  $M$ が0となるよう制御する。電動機位置指令  $M^*$ の収束値（停止位置）は図1のフィルタ部9の演算で発生する桁落ち等に起因して、位置指令  $M^*$ の収束値と異なる場合がある。

40

位置指令  $M^*$ と電動機位置  $M$ の収束値が異なる故、位置指令  $M^*$ の収束値から  $M$ の収束値がずれる。実施の形態1では位置指令  $M^*$ と電動機位置指令  $M^*$ の収束値を常に一致させるには、ずれ補償の処理が必要であった。実施の形態2では、ずれ補償の処理は必要ない。

## 【0093】

以上より、実施の形態2では実施の形態1と同等の効果が得られる。実施の形態2の制御方法及び制御装置は、制御対象、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機2及び制御対象3の振動を抑制する。実施の形態2の

50

制御方法及び制御装置は、指令パターン又は制御対象 3 の特性によらず常に自動的に電動機及び制御対象の振動を抑制する。トルク指令  $T^*$  が過大な値となることが、自動的に防止される。図 10 の等価フィルタ部 11 のパラメータ設定をすべて自動的に行なうことにより、制御装置の操作性が向上する。実施の形態 2 の制御方法及び制御装置は、制御対象の特性変動により振動周波数が変わっても、適応的にフィルタのパラメータの値を変えて、常に振動を低減する。

本実施の形態においては、図 1 のフィルタ 9 を等価変化しフィードフォワード構成とすることにより、演算の桁落ちによるずれがなくなる。ずれ補償を行う必要がない分、ソフトウェアによる演算時間を短縮でき、ソフト作成にかかる労力を軽減できる。又はずれ補償の回路をなくすことができ、LSI の開発労力を軽減し、LSI のチップ面積を小さくすることが出来る。

#### 【0094】

図 10 の補償値印加部 30 は、位置偏差演算部 13 の後段に構成されていれば、メインの信号経路上のどこで印加しても良い。例えば、図 10 を図 14 又は図 15 に等価的に変換しても良い。図 14 及び図 15 の制御装置は、図 10 と同じ効果を奏する。図 14 の制御装置のフローチャート（制御方法）は、図 11 のステップ S10 において等価フィルタ部 11 及び位置制御部 14 の処理を行なって補償値  $X_c$  を算出し、図 11 のステップ S12（補償値印加処理）をステップ S13 とステップ S14 の間で実行する。図 15 の制御装置のフローチャート（制御方法）は、図 11 のステップ S10 において等価フィルタ部 11、位置制御部 14 及び速度制御部 17 の処理を行なって補償値  $X_c$  を算出し、図 11 のステップ S12（補償値印加処理）をステップ S15 とステップ S16 の間で実行する。

#### 【0095】

本実施の形態では図 5 の構成を式 (7) により図 13 に等価変換した。本発明においては図 5 の伝達関数に限られず、図 4 (a) のような所定の周波数及びその近傍の周波数の利得を下げる特性と、高域の利得を抑える特性と、を有する任意の伝達関数を用いることが出来る。式 (7) と同様に、そのような伝達関数を  $1 + G_e(s)$  の形に等価変換し、 $G_e(s)$  をフィードフォワード構成とすることができる。これにより、本実施の形態と同様の効果を得ることができる。

図 11 のステップ S3 の前置フィルタパラメータ自動設定処理は、ステップ S10 の前置フィルタ処理の前までに処理を終えれば、任意の時点で実行しても良い。ステップ S10 の前置フィルタ処理は、ステップ S12 の補償値印加処理の前までに処理を終えれば、任意の時点で実行しても良い。

#### 【0096】

図 10 において指令追従制御部 12 の構成は、位置指令  $*$  に電動機位置  $M$  が追従するよう制御を行う構成であれば、他の構成であっても本実施の形態と同様の効果を得ることができる。

図 10 の前置フィルタ部 8 は位置指令作成部 1 の内部に配置してもよい。

本実施の形態は位置制御系について説明を行ったが、実施の形態 1 で説明したのと同様に、速度制御系にも本発明を適用可能である。この場合前置フィルタ部は、速度指令パターンを作成して速度指令を出力する速度指令作成部の内部に配置してもよい。

図 10 の制御対象位置  $L$  が複数の振動周波数で振動している場合は、等価フィルタ部 11 の伝達関数を  $G_e(s)$  とすると、伝達関数  $1 + G_e(s)$  は、複数の振動周波数及びそれらの近傍の周波数の利得を下げ、且つ高域の利得を抑える特性とする。

#### 【0097】

図 11 のフローチャートにおいて、ステップ S2 の処理は開始からステップ S11 の前までのいずれかのタイミングで行えばよい。

電動機はある特定の種類に限定されない。電動機は、直流電動機、永久磁石同期電動機、又は誘導電動機であっても良い。電動機は回転型の電動機に限定されず、リニアモータであっても良い。

位置指令  $*$  の指令パターンは位置指令作成部 1 でなく、サーボコントローラ 6 内部の位

10

20

30

40

50

置指令入力部 7 で作成しても良い。この場合、位置指令入力部 7 は作成した指令パターンに基づき、一定周期ごとに位置指令 \* を出力する。

【 0 0 9 8 】

《実施の形態 3》

図 1 6 ~ 2 1 を用いて、本発明の実施の形態 3 の電動機の制御方法及び制御装置を説明する。図 1 6 は本発明に係る実施の形態 3 の電動機の制御装置の構成を示すブロック図である。図 1 6 において、実施の形態 1 の図 1 と異なる点は、前置フィルタ部 8 の構成である。実施の形態 3 の前置フィルタ部 8 は、フィルタ部 9 の代わりに、指令推定部 4 0 と等価内部フィルタ部 4 1 と補償値印加部（加算器）4 2 とを有する。更に、位置指令入力部 7、位置偏差演算部 1 3、位置制御部 1 4 がサーボコントローラ 4 3 の外部に構成されている。サーボコントローラ 4 3 の外部に配置されたこれらのブロックは、例えば既存の L S I 又は処理内容が公開されていない既存のソフトウェアで構成されている。これらのブロックにおける処理は変更することができず、且つこれらのブロックの出力信号は、特定の信号しか読み取ること（本発明の制御方法及び制御装置が利用すること）ができない。これらの点が図 1 と異なる。図 1 6 において、図 1 と同じ符号のブロックは、実施の形態 1 と同じ役割をする。

10

【 0 0 9 9 】

図 1 6 の制御装置の詳細な動作を説明する。位置指令作成部 1、位置検出部 4 は実施の形態 1 と同じため説明を省略する。位置指令入力部 7、位置偏差演算部 1 3、位置制御部 1 4 は実施の形態 1 と同じ役割を持つため、その説明は省略するが、実施の形態 1 と異なりサーボコントローラ 4 3 の外に構成されている。これらのブロックの動作を変更することができない。サーボコントローラ 4 3 は、位置制御部 1 4 が出力する速度指令 \* のみを入力する。サーボコントローラ 4 3 は、速度指令 \* 以外の情報（例えば位置指令 \*）を上位から入力することができない。

20

サーボコントローラ 4 3 はデジタル制御を行う。サーボコントローラ 4 3 は、位置制御部 1 4 からの速度指令 \* と、位置検出部 4 からの電動機位置 M とを一定周期ごとに取り込み、演算処理して電動機 2 の電流 I を制御する。サーボコントローラ 4 3 が実行する 1 周期の演算処理のフローチャートを図 1 7 に示す。サーボコントローラ 4 3 は、図 1 7 に示す演算処理を一定の演算周期（例えば 1 6 6 μ s）毎に繰り返す。図 1 7 の処理を図 1 6 ~ 1 8 を用いて説明する。図 2 と同じ符号のステップにおいては実施の形態 1 での処理と同じ処理を行う。

30

【 0 1 0 0 】

サーボコントローラ 4 3 は、位置制御部 1 4 が出力する速度指令 \* を取り込み、\* ( n ) とする（ステップ S 2 0 の指令取込処理）。ステップ S 2 とステップ S 3 は実施の形態 1 と同じため説明を省略する。指令推定部 4 0、等価内部フィルタ部 4 1、補償値印加部 4 2 は、演算を行って、速度指令 \* に補償値 X c を印加する（ステップ S 2 1 の前置フィルタ処理）。

指令推定部 4 0 は、速度指令 \* と電動機位置 M から下記式（ 8 ）を用いて推定位置指令 e \* を推定演算する。

$$e(n) = * (n) / K_{pp} + M(n) \quad (8)$$

40

【 0 1 0 1 】

図 1 8 に等価内部フィルタ部 4 1 の内部ブロックの伝達関数を示す。図 1 3 のブロック 3 と同じ構成、つまり図 1 の前置フィルタ 9 を式（ 7 ）を用いて等価変換した時の第 2 項の構成に、位置制御部の比例ゲイン K p p を乗じた構成である。実際には図 1 8 の伝達関数を双一次変換などの手法で変換したデジタルフィルタに変換して、等価内部フィルタ部 4 1 はデジタルフィルタとして演算を行なう。デジタルフィルタは、式（ 8 ）で算出した推定位置指令 e \* を入力し、補償値 X c を出力する。入力が位置指令 \* であるか又は推定位置指令 e \* であるかの違いを除けば、図 1 8 は実施の形態 2（図 1 4）と同じ原理で動作する。図 1 8 の構成により、実施の形態 2 と同様の振動抑制効果が得られる。補償値印加部（加算器）4 2 は、速度指令 \* と等価内部フィルタ部 4 1 が出力する補

50

償値  $X_c$  とを加算し、  $M^*$  として出力する。等価内部フィルタ部 4 1 の構成を図 1 8 とする理由は後で述べる。

ステップ S 6、ステップ S 7 は実施の形態 1 と同じため説明を省略する。以上が図 1 7 のフローチャートに示すサーボコントローラ 4 3 の 1 周期の演算処理である。

#### 【 0 1 0 2 】

等価内部フィルタ部 4 1 の構成を図 1 8 とする理由を述べる。図 1 の実施の形態 1 の構成を、図 1 9 にラプラス演算子を用いたブロック図で示す。図 1 9 の F はフィルタ部 9 の伝達関数を表す式 ( 6 ) である。  $G(s)$  は図 2 9 の電動機 1 0 2 の伝達関数であり、トルク指令  $T^*$  から電動機位置  $M$  までの伝達関数である。  $s$  はラプラス演算子である。図 1 9 を等価変換したブロック図を図 2 0 に示す。図 2 0 において、  $F_{11}$ 、  $F_{21}$ 、  $F_{31}$ 、  $F_{32}$ 、  $F_{33}$  はそれぞれ式 ( 9 ) ~ ( 1 3 ) である。

10

#### 【 0 1 0 3 】

$$F_{11}(s) = K_{pp} \cdot \{ (1/f^2 - 1/a^2) \cdot s^2 + (2/f) \cdot s \} / \{ (1/a^2) \cdot s^2 + 1 \} \quad (9)$$

$$F_{21}(s) = K_{pp} \cdot \{ (1/f^2 - 1/a^2) \cdot s^2 + (2/f) \cdot s \} / \{ (1/f^2) \cdot s^2 + (2/f) \cdot s + 1 \} \quad (10)$$

$$F_{31}(s) = 1 / K_{pp} \quad (11)$$

$$F_{32}(s) = 1 \quad (12)$$

$$F_{33}(s) = K_{pp} \cdot \{ (1/a^2 - 1/f^2) \cdot s^2 - (2/f) \cdot s \} / \{ (1/f^2) \cdot s^2 + (2/f) \cdot s + 1 \} \quad (13)$$

20

#### 【 0 1 0 4 】

図 2 0 ( a ) においてはブロック  $F_{11}$  が周波数特性にゲインピークを持つ故に、実装した際に制御系が不安定になりやすい (例えばブロック  $F_{11}$  の出力信号がリミットをかけられて、制御装置の制御が不安定になる。)。図 2 0 ( b ) においてはブロック  $F(s)$  が位置制御ループに直列に入る。  $F(s)$  が高域のフィードバック情報を除去してしまう故、制御装置の応答性が低下する。

図 2 0 ( c ) は本実施の形態の構成である。図 2 0 ( c ) の構成においては、図 2 0 ( a ) のようにゲインピークを持つブロックがないため、実装の際の制御系の安定性を確保できる。且つ、フィードバック情報と独立に振動抑制の補償量  $X_c$  を算出する故、図 2 0 ( b ) のように位置制御ループの応答性が低下しない。実施の形態 3 のように指令作成部及び制御ブロックの構成変更の自由度が限定されている場合でも (例えば既存の L S I の内部ブロックをそのまま使用し、そのブロックについては仕様を変更できない場合でも)、図 1 の前置フィルタ 8 を等価変換した図 2 0 ( c ) の構成により、制御系の安定性及び応答性を損なうことなく振動抑制効果を得ることができる。

30

#### 【 0 1 0 5 】

以上より、本実施の形態は、制御対象 (負荷)、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機 2 及び制御対象 3 の振動を抑制することができる。実施の形態 2 の制御方法及び制御装置は、指令パターン又は制御対象 3 の特性によらず常に自動的に電動機及び制御対象の振動を抑制する。トルク指令  $T^*$  が過大な値になることが自動的に防止される。図 1 6 の前置フィルタ部 8 のパラメータ設定をすべて自動的にこなすことにより、制御装置の操作性が向上する。実施の形態 3 の制御方法及び制御装置は、制御対象の特性変動により振動周波数が変わっても、適応的にフィルタのパラメータの値を変えて、常に振動を低減する。

40

本実施の形態は、図 1 のフィルタ 9 を等価変化し内部構成型とすることにより、演算の桁落ちによるずれがなくなる。ずれ補償を行う必要がない分、ソフトウェアによる演算時間を短縮でき、ソフト作成にかかる労力を軽減できる。又はずれ補償の回路をなくすことができ、L S I の開発労力を軽減し、L S I のチップ面積を小さくすることが出来る。

本発明によれば、指令作成部又は制御ブロックの構成変更の自由度が限定されている場合でも、制御系の安定性及び応答性を損なうことなく振動抑制効果を得ることができる。

#### 【 0 1 0 6 】

50

図20(c)は図21(a)のように電動機速度  $M$  から推定指令  $e^*$  を算出してもよい。フィードバックループ自体の安定性、応答性と独立に補償量  $X_c$  を算出する形式であれば、図20(c)を任意に等価変換をしてもよい。例えば図20(c)を図21(b)、(c)のように等価変換してもよい。この場合、 $F_{34}$ 、 $F_{35}$ 、 $F_{36}$  はそれぞれ式(14)~(16)となる。

【0107】

$$F_{34}(s) = 1 / K_{pp} \cdot s \quad (14)$$

$$F_{35}(s) = 1 \quad (15)$$

$$F_{36}(s) = K_{pp} \cdot \{ (1/a^2 - 1/f^2) \cdot s - 2/f \} / \{ (1/f^2) \cdot s^2 + (2/f) \cdot s + 1 \} \quad (16)$$

10

【0108】

図20(c)及び図21の構成が変わらなければ、 $F_{31}$ 、 $F_{32}$ 、 $F_{33}$ 及び $F_{34}$ 、 $F_{35}$ 、 $F_{36}$ の式を他の式に等価変換してもよい。例えば、 $F_{34}$ 、 $F_{35}$ 、 $F_{36}$ を式(17)~(19)に等価変換してもよい。

【0109】

$$F_{34}(s) = s \quad (17)$$

$$F_{35}(s) = K_{pp} \quad (18)$$

$$F_{36}(s) = \{ (1/a^2 - 1/f^2) \cdot s - 2/f \} / \{ (1/f^2) \cdot s^2 + (2/f) \cdot s + 1 \} \quad (19)$$

【0110】

20

図20、図21に等価変換する前の図1のフィルタ部9の構成は、式(6)の構成に限られない。図4(a)のような所定の周波数  $a$  及びその近傍の周波数の利得を下げる特性と、高域の利得を抑える特性とを有する任意の構成をとることができる。

図16の制御対象位置  $L$  が複数の振動周波数で振動している場合は、フィルタ部9は、複数の振動周波数及びそれらの近傍の周波数の利得を下げ、且つ高域の利得を抑える特性とする。

電動機はある特定の種類に限定されない。電動機は、直流電動機、永久磁石同期電動機、又は誘導電動機であってもよい。電動機は回転型の電動機に限定されず、リニアモータであってもよい。

【0111】

30

《実施の形態4》

図22、23を用いて、本発明の実施の形態4の電動機の制御方法及び制御装置を説明する。図22は本発明に係る実施の形態4の電動機の制御装置の構成を示すブロック図である。

本実施の形態が図1の実施の形態1と異なる点を述べる。図22の本実施の形態の制御装置においては、パラメータ自動設定部10が制御対象(負荷)3の振動周波数  $a$  を算出する方法が実施の形態1(図1)と異なる。本実施の形態の制御装置は振動検出部5(図1)を有していない。パラメータ自動設定部10は、電動機位置  $M$  に基づき  $a$  を求める。この点で実施例4は実施の形態1と異なる。本実施の形態の制御装置は、図1の振動検出部5が不要である故、実施の形態1より安価である。

40

【0112】

本実施の形態においては、制御対象位置  $L$  の振動と同じ周波数の振動成分が電動機位置  $M$  で検出できることが必要である。例えば制御対象3の慣性が電動機2の慣性に比較して非常に小さく、制御対象位置  $L$  の振動と同じ周波数の振動成分が電動機位置  $M$  に現れにくく、電動機位置  $M$  から制御対象位置  $L$  の振動を検出できない場合には、実施の形態4の構成を適用できない。電動機位置  $M$  から制御対象位置  $L$  の振動周波数  $a$  を算出できないからである。この点において、実施の形態4は、実施の形態1と異なり適用範囲に制約がある。

実施の形態4において、制御対象位置  $L$  の振動と同じ周波数の振動成分が電動機位置  $M$  で検出できるものとする。

50

## 【 0 1 1 3 】

図 2 2 の制御装置の詳細な動作を説明する。位置指令作成部 1、位置検出部 4 は実施の形態 1 と同じため説明を省略する。サーボコントローラ 6 はデジタル制御を行う。サーボコントローラ 6 は、位置指令作成部 1 からの位置指令と、位置検出部 4 からの電動機位置  $M$  とを一定周期ごとに入力し、演算処理して電動機 2 の電流  $I$  を制御する。サーボコントローラ 6 が実行する 1 周期の演算処理のフローチャートを図 2 3 に示す。サーボコントローラ 6 は、図 2 3 に示す演算処理を一定の演算周期（例えば  $166 \mu s$ ）毎に繰り返す。図 2 3 の処理を図 2 2 を用いて説明する。図 2 3 においてステップ S 2 2 以外の処理は実施の形態 1 と同じため、説明を省略する。

## 【 0 1 1 4 】

ステップ S 2 2 の前置フィルタパラメータ自動設定処理では、パラメータ自動設定部 1 0 は、位置検出部 4 が検出した電動機位置  $M$  に基づき、制御対象位置  $L$  の振動周波数  $a$  を算出する。パラメータ自動設定部 1 0 は、例えば位置指令  $*$  の変化終了後の電動機位置偏差  $M$  のゼロクロス時間間隔を測定して電動機位置  $M$  の振動周波数を算出する。電動機位置偏差  $M$  に代えて、電動機速度偏差  $M$ 、又はトルク指令  $T^*$  などの指令追従制御部 1 2 内部の状態量を用いて  $a$  を算出しても良い。電動機位置  $M$  の振動周波数と制御対象位置  $L$  の振動周波数は理論的に同一であるため、算出した電動機位置  $M$  の振動周波数を制御対象位置  $L$  の振動周波数  $f_r$  とする。 $a = 2 \cdot f_r$  とする。

## 【 0 1 1 5 】

パラメータ自動設定部 1 0 は、算出した  $a$  に基づき  $f$  を決定する。 $f$  は、高域の利得を下げる特性を持つフィルタ部 9（図 2 2）のカットオフ周波数を決める。 $f$  の決定においては、例えば図 3 に示す  $a$  と  $f$  との関係を決めるグラフに基づくテーブル又は計算式を用いる。 $a$  と位置指令  $*$  の加速度を引数とした 2 次元テーブルを用いて  $f$  を決定しても良い。減衰係数は 1 に固定する。 $a$  の役割と、 $f$  の役割と、 $a$  と位置指令  $*$  の加速度を引数として  $f$  を決定する理由と、 $f$  の適切な設定値の詳細な説明は実施の形態 1 で行ったためここでは省略する。

## 【 0 1 1 6 】

以上より、本実施の形態は、制御対象（負荷）自体、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機 2 及び制御対象 3 の振動を抑制することができる。実施の形態 4 の制御方法及び制御装置は、指令パターン又は制御対象 3 の特性によらず常に自動的に電動機及び制御対象の振動を抑制する。トルク指令  $T^*$  が過大な値になることが自動的に防止される。前置フィルタ部 8 のパラメータ設定をすべて自動的にこなすことにより、制御装置の操作性が向上する。実施の形態 4 の制御方法及び制御装置は、制御対象の特性変動により振動周波数が変わっても、適応的にフィルタのパラメータの値を変えて、常に振動を低減する。

本実施の形態の制御方法及び制御装置は、実施の形態 1 の図 1 の振動検出部 5 が不要であるため、実施の形態 1 より安価である。

## 【 0 1 1 7 】

図 2 2 において、指令追従制御部 1 2 の構成は、電動機位置指令  $M^*$  に電動機位置  $M$  が追従するよう制御を行う構成であれば、他の構成であっても良い。そのような構成によっても、本実施の形態と同様の効果を得ることができる。

本実施の形態は位置制御系について説明を行ったが、実施の形態 1 で説明したのと同様に、速度制御系においても本発明を適用可能である。この場合前置フィルタ部 8 は、速度指令パターンを作成して速度指令を出力する速度指令作成部の内部に配置してもよい。

図 2 2 のフィルタ部 9 の構成は、図 4（a）のような所定の周波数  $a$  及びその近傍の周波数の利得を下げる特性と、高域の利得を抑える特性とを有していれば、任意である。

## 【 0 1 1 8 】

図 2 2 の前置フィルタ部 8 は位置指令作成部 1 の内部に配置してもよい。

図 2 2 の制御対象位置  $L$  が複数の振動周波数で振動している場合は、フィルタ部 9 は、複数の振動周波数及びそれらの近傍の周波数の利得を下げ、且つ高域の利得を抑える特性

10

20

30

40

50

とする。

図 2 3 のフローチャートにおいて、ステップ S 2 の処理はステップ S 1 の前に行っても良い。

電動機は特定の種類に限定されない。電動機は、直流電動機、永久磁石同期電動機、又は誘導電動機であっても良い。電動機は回転型の電動機に限定されず、リニアモータであっても良い。

位置指令 \* の指令パターンは位置指令作成部 1 でなく、サーボコントローラ 6 内部の位置指令入力部 7 で作成しても良い。この場合位置指令入力部 7 は作成した指令パターンに基づき、一定周期ごとに位置指令 \* を出力する。

【 0 1 1 9 】

《実施の形態 5 》

図 2 4、2 5 を用いて、本発明の実施の形態 5 の電動機の制御方法及び制御装置を説明する。図 2 4 は本発明に係る実施の形態 5 の電動機の制御装置の構成を示すブロック図である。

本実施の形態が図 1 の実施の形態 1 と異なる点を述べる。図 2 4 の本実施の形態の制御装置では、パラメータ自動設定部 1 0 が制御対象 ( 負荷 ) 3 の振動周波数 a を算出する方法が実施の形態 1 ( 図 1 ) と異なる。本実施の形態の制御装置は振動検出部 5 ( 図 1 ) を有していない。本実施の形態では、パラメータ自動設定部 1 0 は、サーボコントローラ 6 の内部で演算に用いられる状態量から、電動機 2 及び制御対象 3 の数式モデルを用いて制御対象位置 L の振動周波数 a を求める。

【 0 1 2 0 】

図 2 4 の制御装置の詳細な動作を説明する。位置指令作成部 1、位置検出部 4 は実施の形態 1 と同じため説明を省略する。サーボコントローラ 6 はデジタル制御を行う。サーボコントローラ 6 は、位置指令作成部 1 からの位置指令と、位置検出部 4 からの電動機位置 M とを一定周期ごとに入力し、演算処理して電動機 2 の電流 I を制御する。サーボコントローラ 6 が実行する 1 周期の演算処理のフローチャートを図 2 5 に示す。サーボコントローラ 6 は、図 2 5 に示す演算処理を一定の演算周期 ( 例えば 1 6 6 μ s ) 毎に繰り返す。図 2 5 の処理を図 2 4 を用いて説明する。ステップ S 2 5、S 2 6、S 2 7 以外の処理は実施の形態 1 と同じため、説明を省略する。

ステップ S 2 5 で、パラメータ自動設定部 1 0 は、電動機 2 が加速中かどうかを判断する。加速中であればステップ S 2 6 の慣性推定処理に進み、加速中でなければステップ S 2 7 の前置フィルタパラメータ自動設定処理に進む。ステップ S 2 6 の慣性推定処理では、パラメータ自動設定部 1 0 は、サーボコントローラ 6 内の状態量である電動機位置 M とトルク指令 T \* とから、制御対象 3 の慣性 J L を推定する。パラメータ自動設定部 1 0 は、式 ( 2 0 ) ~ ( 2 4 ) の演算を行う。

【 0 1 2 1 】

$$M c ( n ) = M ( n ) - M ( n - 1 ) \quad ( 2 0 )$$

$$a M ( n ) = K u \cdot ( M c ( n ) - M c ( n - 1 ) ) \quad ( 2 1 )$$

$$a M f ( n ) = a M f ( n - 1 ) + K f \cdot ( a M ( n ) - a M f ( n - 1 ) ) \quad ( 2 2 )$$

$$J ( n ) = a M f ( n ) / T * ( n - 1 ) \quad ( 2 3 )$$

$$J L ( n ) = J ( n ) - J M \quad ( 2 4 )$$

【 0 1 2 2 】

M c は速度演算値、a M は加速度演算値、a M f はフィルタ後加速度演算値、K f はフィルタ定数、K u は単位系変換係数、J は電動機 2 と制御対象 3 とを合わせた慣性、定数 J M は電動機 2 の慣性である。ステップ S 2 7 の前置フィルタパラメータ自動設定処理で、パラメータ自動設定部 1 0 は制御対象 3 の振動周波数 f r を算出する。 a = 2 π · f r とする。算出には式 ( 2 5 ) を用いる。

【 0 1 2 3 】

$$a ( n ) = ( K s / J L ( n ) ) ^ { 1 / 2 } \quad ( 2 5 )$$

【 0 1 2 4 】

10

20

30

40

50

定数  $K_s$  はバネ定数である。  $a$  の算出に式 (25) を用いる理由については後で述べる。算出した  $a$  に基づき周波数  $f$  を決定する。  $f$  の決定は、例えば図 3 に示す  $a$  と  $f$  との関係を決めたグラフに基づくテーブル又は計算式を用いる。  $a$  と位置指令  $*$  の加速度を引数とした 2 次元テーブルを用いて  $f$  を決定しても良い。減衰係数は 1 に固定する。  $a$  の役割と、  $f$  の役割と、  $a$  と位置指令  $*$  の加速度を引数として  $f$  を決定する理由と、 の適切な設定値の詳細な説明は実施の形態 1 で行ったためここでは説明を省略する。

【 0 1 2 5 】

制御対象 3 の振動周波数  $a$  の算出に式 (25) を用いる理由を述べる。従来例で説明したのと同様に、電動機 2 と制御対象 3 を図 27 のモデルで数式モデル化した場合、そのブロック図は図 28 になる。  $J_M$  は電動機 2 の慣性、  $J_L$  は制御対象 3 の慣性、  $K_s$  は電動機 2 と制御対象 3 の連結軸のバネ定数である。連結軸の慣性は  $J_M$  と  $J_L$  に比べて非常に小さいとして無視している。トルク指令  $T^*$  から電動機位置  $M$  までの周波数特性は図 30 (a) となる。従来例の説明で述べたように、制御対象 3 の振動周波数  $a$  ( $= 2 \cdot f_r$ ) は図 30 (a) の反共振周波数付近となる。振動周波数  $a$  は、図 28 のブロック図より下記式 (26) で導出される。

【 0 1 2 6 】

$$a = (K_s / J_L)^{1/2} \quad (26)$$

【 0 1 2 7 】

式 (25) の  $a$  の算出は式 (26) に基づいている。

以上より、本実施の形態は、制御対象 (負荷) 自体、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機 2 及び制御対象 3 の振動を抑制することができる。実施の形態 5 の制御方法及び制御装置は、指令パターン又は制御対象 3 の特性によらず常に自動的に電動機及び制御対象の振動を抑制する。トルク指令  $T^*$  が過大な値になることが自動的に防止される。前置フィルタ部 8 のパラメータ設定をすべて自動的に行なうことにより、制御装置の操作性が向上する。実施の形態 5 の制御方法及び制御装置は、制御対象の特性変動により振動周波数が変わっても、適応的にフィルタのパラメータの値を変えて、常に振動を低減する。

本実施の形態の制御方法及び制御装置は、実施の形態 1 の図 1 の振動検出部 5 が不要であるため、実施の形態 1 より安価である。

【 0 1 2 8 】

図 25 のステップ S25、S26、S27 で制御対象 3 の振動周波数  $a$  を算出する。  $a$  の推定法は式 (20) ~ 式 (25) に限られない。電動機 2 及び制御対象 3 の簡略化した数式モデルに基づき、サーボコントローラ 6 内部の状態量を用いて  $a$  を求める方法であれば、任意の方法をとることができる。

図 24 において指令追従制御部 12 の構成は、電動機位置指令  $M^*$  に電動機位置  $M$  が追従するように制御を行う構成であれば、他の構成であって良い。そのような構成によっても、本実施の形態と同様の効果が得られる。

【 0 1 2 9 】

本実施の形態においては位置制御系について説明を行ったが、実施の形態 1 で説明したのと同様に、速度制御系にも本発明を適用可能である。この場合、前置フィルタ部は、速度指令パターンを作成して速度指令を出力する速度指令作成部の内部に配置してもよい。

図 24 のフィルタ部 9 の構成は、図 4 (a) のような所定の周波数  $a$  及びその近傍の周波数の利得を下げる特性と、高域の利得を抑える特性とを有する構成であれば任意である。

図 24 の前置フィルタ部 8 は位置指令作成部 1 の内部に配置してもよい。

図 24 の制御対象位置  $L$  が複数の振動周波数で振動している場合は、フィルタ部 9 は、複数の振動周波数及びそれらの近傍の周波数の利得を下げ、且つ高域の利得を抑える特性とする。

【 0 1 3 0 】

図 25 のフローチャートにおいて、ステップ S 2 の処理はステップ S 1 の前に行っても良い。

電動機は特定の種類に限定されない。電動機は、直流電動機、永久磁石同期電動機、又は誘導電動機であっても良い。電動機は回転型の電動機に限定されず、リニアモータであっても良い。

位置指令 \* の指令パターンは、位置指令作成部 1 でなく、サーボコントローラ 6 内部の位置指令入力部 7 で作成しても良い。この場合位置指令入力部 7 は作成した指令パターンに基づき、一定周期ごとに位置指令 \* を出力する。

【 0 1 3 1 】

【 発明の効果 】

本発明によれば、前置フィルタが所定の周波数  $a$  及びその近傍の周波数の利得を下げる特性と、高域の利得を抑える特性とを併せ持つことにより、制御対象（負荷）自体、もしくは電動機と制御対象とを連結する連結軸の剛性が低いことに起因して発生する電動機及び制御対象の振動を抑制する効果を得ることができる。

本発明によれば、指令パターン又は制御対象の特性によらず常に電動機及び制御対象の振動を抑制できる。トルク指令  $T^*$  が過大な値になることを自動的に防止する電動機の制御方法及び制御装置を実現できるという有利な効果が得られる。

【 0 1 3 2 】

本発明によれば、所定の周波数  $a$  及びその近傍の周波数の利得を下げる特性と、高域の利得を抑える特性とを併せ持つフィルタの伝達関数を等価変換し、フィードフォワード型前置フィルタとすることにより、演算での桁落ち等に起因する電動機位置の収束値誤差が発生せず、演算誤差の補正が不要で高い位置決め精度を実現する電動機の制御方法及び制御装置を実現できるという有利な効果が得られる。

【 0 1 3 3 】

本発明によれば、フィードバックループ内の状態量に基づき指令を推定した推定指令を生成し、所定の周波数  $a$  及びその近傍の周波数の利得を下げる特性と、高域の利得を抑える特性とを併せ持つフィルタの伝達関数を、定数項とフィードフォワード補償項との和に等価変換し、推定指令をフィードフォワード補償項に作用させて内部補償量を決定し、その内部補償量をフィードバックループ内部に入力する内部構成型前置フィルタを構成することにより、指令作成部及び制御ブロックの構成変更の自由度が限定されている場合でも、制御系の安定性や応答性を損なうことなく振動を抑制する電動機の制御方法及び制御装置を実現できるという有利な効果が得られる。

【 0 1 3 4 】

本発明によれば、所定の周波数  $a$  の利得を可変とすることにより、振動抑制効果を更に向上する電動機の制御方法及び制御装置を実現できるという有利な効果が得られる。

本発明によれば、前置フィルタもしくはフィードフォワード型前置フィルタもしくは内部構成型前置フィルタの、高域の利得を抑える特性をトルク指令  $T^*$  が過大値になりやすい期間となりにくい期間に応じて変化させることにより、高域の利得を抑える特性による応答性の遅れを低減する電動機の制御方法及び制御装置を実現できるという有利な効果が得られる。

【 0 1 3 5 】

本発明によれば、前置フィルタ部、フィードフォワード型前置フィルタ又は内部構成型前置フィルタが、高域の利得を抑える特性を少なくとも所定の周波数  $a$  に基づき自動的に決定することにより、自動的に応答性の良い電動機の制御方法及び制御装置を実現できるという有利な効果が得られる。

本発明によれば、前置フィルタ部、フィードフォワード型前置フィルタ又は内部構成型前置フィルタが、所定の周波数  $a$  を自動設定することにより、制御対象の特性変動により振動周波数が変わっても安定して常に振動を低減する電動機の制御方法及び制御装置を実現できるという有利な効果が得られる。

【 0 1 3 6 】

10

20

30

40

50

本発明は、制御対象の振動を検出し、その振動周波数に基づき所定の周波数  $a$  を決定する。これにより、最適の応答を自動的に行い、高い応答性を有する電動機の制御方法及び制御装置を実現できるという有利な効果が得られる。

本発明によれば、振動周波数自動設定の際に、電動機の振動周波数に基づき所定の周波数  $a$  を決定することにより、制御対象の振動検出部を用いることなく、安価な電動機の制御方法及び制御装置を実現できるという有利な効果が得られる。

【0137】

本発明によれば、振動周波数自動設定の際に、電動機と制御対象の数式モデルを推定し、数式モデルに基づき所定の周波数  $a$  を決定することにより、制御対象の振動検出部を用いることなく、安価な電動機の制御方法及び制御装置を実現できるという有利な効果が得られる。

10

本発明によれば、前置フィルタが前記電動機が出力したトルクから電動機位置までの系が有する反共振周波数の近傍の周波数  $a$  及びその近傍の周波数の利得を下げる特性と、高域の利得を抑える特性とを併せ持つことにより、制御対象の振動を抑制し、高い応答性を有する制御方法及び制御装置を実現する。

【0138】

本発明に係る電動機の制御方法及び制御装置は、電動機を搭載する装置を制御対象とした場合、例えばワイヤボンダ、ダイボンダ、実装機、印刷機、多軸ロボット、又は工作機などの、機械剛性が低いことに起因し振動が発生しやすい任意の装置に適用することができる。これにより上記の効果を得ることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る実施の形態1の電動機の制御方法の構成を示す制御ブロック図

【図2】本発明に係る実施の形態1におけるフローチャート

【図3】本発明に係る実施の形態1における引数と設定値の関係を示したグラフ

【図4】(a)は本発明に係る実施の形態1におけるフィルタ部9の周波数特性図、(b)は位置指令  $*$  から制御対象位置  $L$  までの周波数特性図

【図5】本発明に係る実施の形態1におけるフィルタ部9の構成図

【図6】本発明に係る実施の形態1における位置指令  $*$  と電動機位置指令  $M*$  の波形図

【図7】本発明に係る実施の形態1におけるトルク指令  $T*$  の波形図

30

【図8】本発明に係る実施の形態1における電動機位置偏差  $M$  と制御対象位置偏差  $L$  の波形図

【図9】本発明に係る実施の形態1の前置フィルタ部8を速度制御系に適用した場合のブロック図

【図10】本発明に係る実施の形態2の電動機の制御方法の構成を示す制御ブロック図

【図11】本発明に係る実施の形態2におけるフローチャート

【図12】本発明に係る実施の形態2における等価フィルタ部11の構成図

【図13】本発明に係る実施の形態1におけるフィルタ部9を等価変換した構成図

【図14】本発明に係る実施の形態2における図10と等価な構成図

【図15】本発明に係る実施の形態2における図10と等価な構成図

40

【図16】本発明に係る実施の形態3の電動機の制御方法の構成を示す制御ブロック図

【図17】本発明に係る実施の形態3におけるフローチャート

【図18】本発明に係る実施の形態3における等価内部フィルタ部41の構成図

【図19】本発明に係る実施の形態1における図1の構成をラプラス演算子を用いて表したブロック図

【図20】本発明に係る実施の形態3における図19と等価な構成図

【図21】本発明に係る実施の形態3における図20(c)と等価な構成図

【図22】本発明に係る実施の形態4の電動機の制御方法の構成を示す制御ブロック図

【図23】本発明に係る実施の形態4におけるフローチャート

【図24】本発明に係る実施の形態5の電動機の制御方法の構成を示す制御ブロック図

50

【図 25】本発明に係る実施の形態 5 におけるフローチャート

【図 26】従来の電動機の制御方法の制御ブロック図

【図 27】低剛性装置のモデル図

【図 28】低剛性装置を数式モデル化したブロック図

【図 29】従来の電動機の制御方法の制御ブロック図

【図 30】従来の電動機の制御方法に係る、(a) はトルク指令  $T^*$  から電動機位置  $M$  までの伝達関数の周波数特性図、(b) は電動機位置指令  $M^*$  から電動機位置  $M$  までの伝達関数の周波数特性図、(c) は電動機位置  $M$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性図、(d) は電動機位置指令  $M^*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性図

10

【図 31】従来の電動機の制御方法における、(a) は位置指令  $*$  の指令パターン図、(b) は位置指令  $*$  の微分波形図

【図 32】従来の電動機の制御方法における、前置フィルタ部 107 がいない場合の電動機位置偏差  $M$  と制御対象位置偏差  $L$  の波形図

【図 33】従来の電動機の制御方法における、(a) は前置フィルタ部 107 の周波数特性図、(b) は位置指令  $*$  から制御対象位置  $L$  までの伝達関数の周波数特性図

【図 34】従来の電動機の制御方法における、電動機位置偏差  $M$  と制御対象位置偏差  $L$  の波形図

【図 35】従来の電動機の制御方法における、前置フィルタ部 107 がいない場合で位置比例ゲイン  $K_p$ 、速度比例ゲイン  $K_v$  が低い場合の電動機位置偏差  $M$  と制御対象位置偏差  $L$  の波形図

20

【図 36】従来の電動機の制御方法における、位置指令  $*$  と電動機位置指令  $M^*$  の波形図

【図 37】従来の電動機の制御方法における、 $T^*$  の波形図

【図 38】本発明を搭載した実装機を示す図

【符号の説明】

1 位置指令作成部

2 電動機

3 制御対象

4 位置検出部

5 振動検出部

6、22、43 サーボコントローラ

7 位置指令入力部

8 前置フィルタ部

9 フィルタ部

10 パラメータ自動設定部

11 等価フィルタ部

12 指令追従制御部

13 位置偏差演算部

14 位置制御部

15 速度演算部

16 速度偏差演算部

17 速度制御部

18 電流制御部

20 速度指令作成部

21 速度検出部

23 速度指令入力部

24 指令追従制御部

30、42 補償値印加部

40 指令推定部

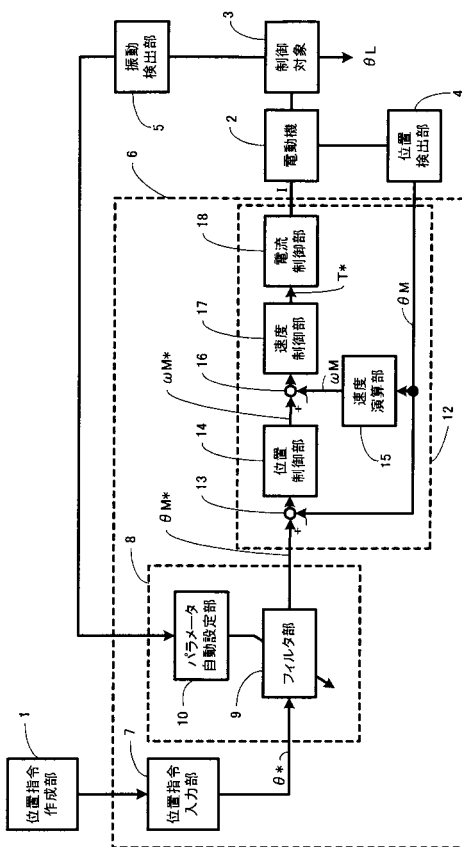
30

40

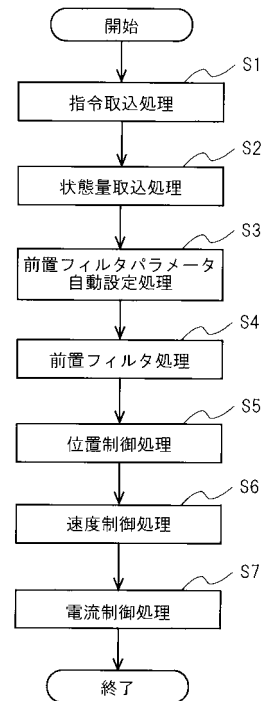
50

4 1 等価内部フィルタ部

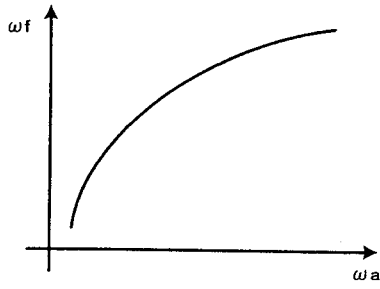
【図 1】



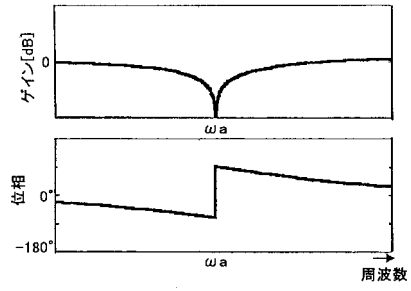
【図 2】



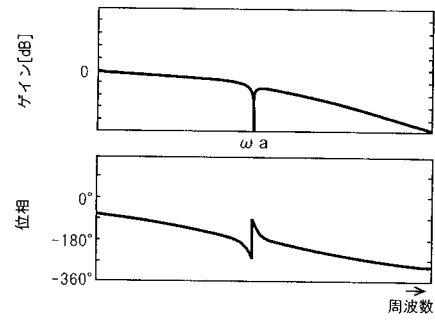
【図3】



【図4】

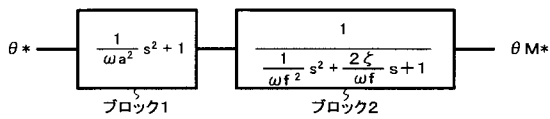


(a)

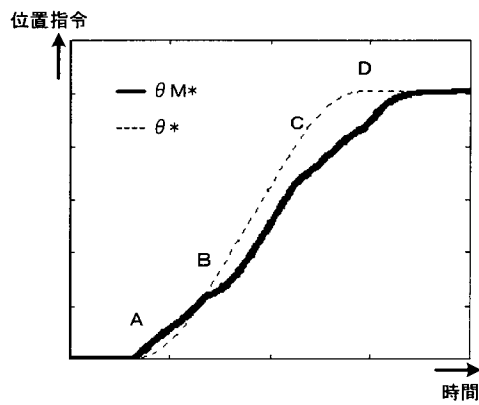


(b)

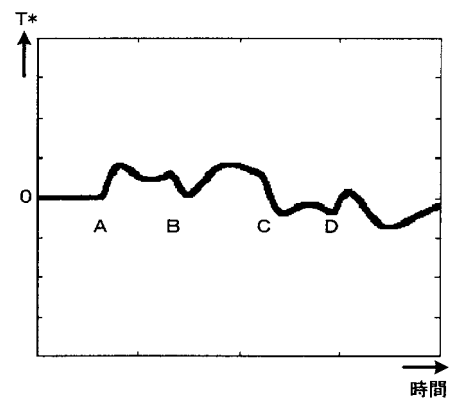
【図5】



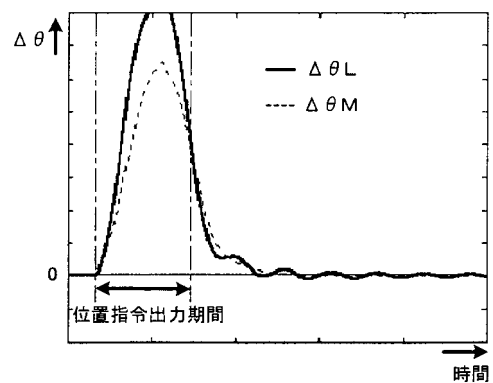
【図6】



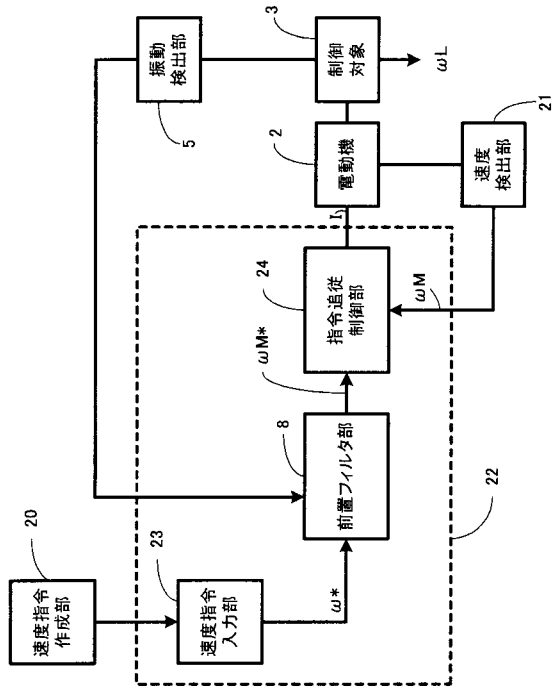
【図7】



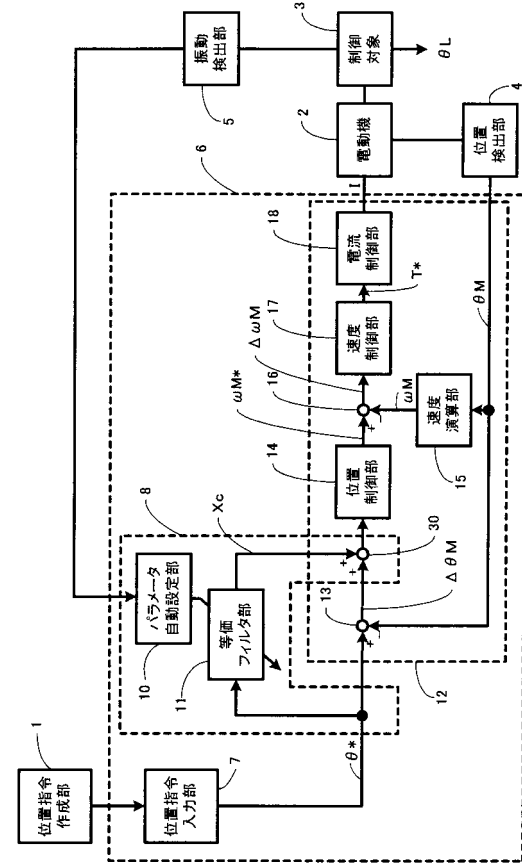
【図8】



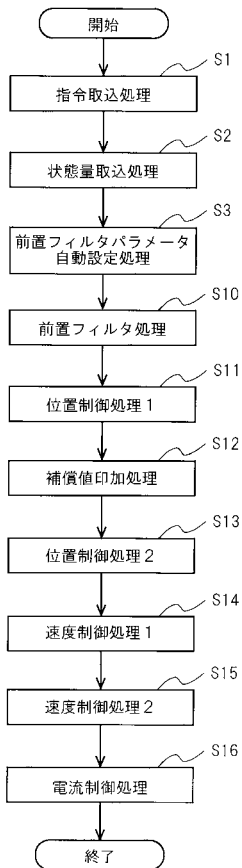
【図9】



【図10】



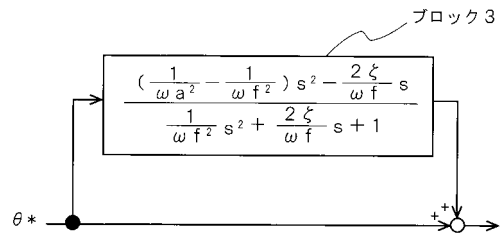
【図11】



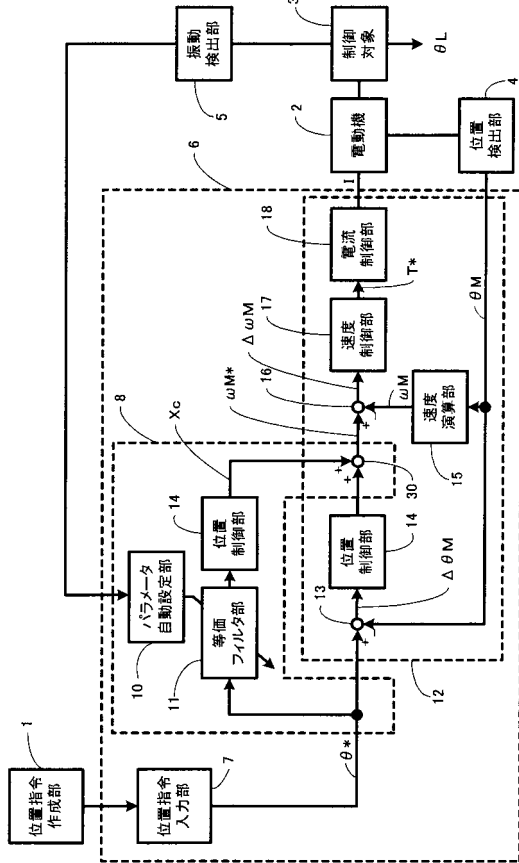
【図12】

$$\theta^* \rightarrow \frac{(\frac{1}{\omega a^2} - \frac{1}{\omega f^2})s^2 - \frac{2\zeta}{\omega f}s}{\frac{1}{\omega f^2}s^2 + \frac{2\zeta}{\omega f}s + 1} \rightarrow X_c$$

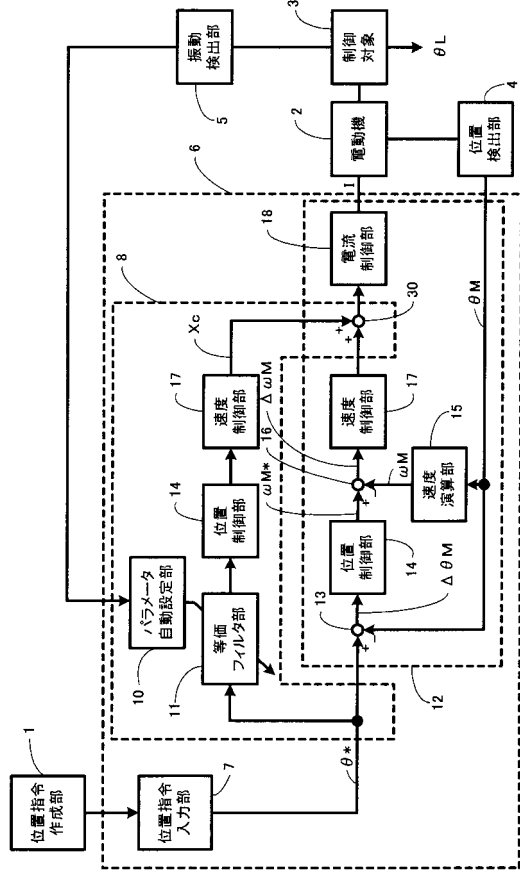
【図13】



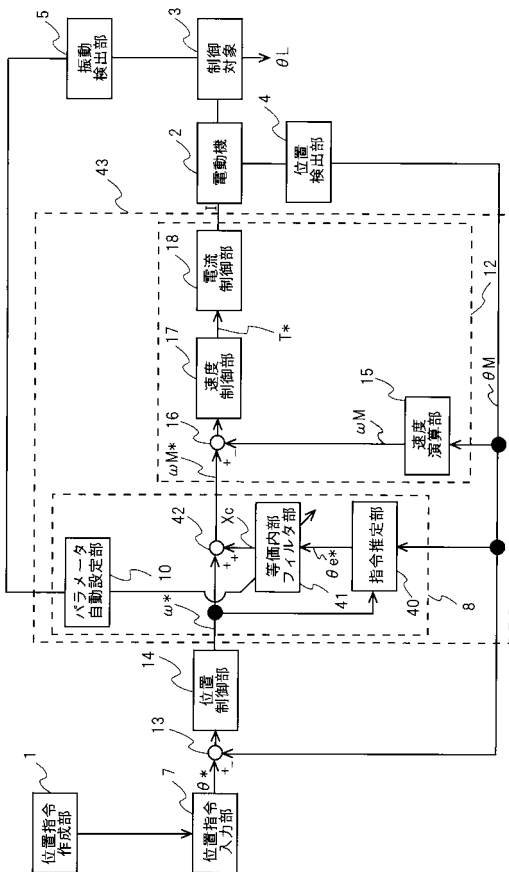
【図14】



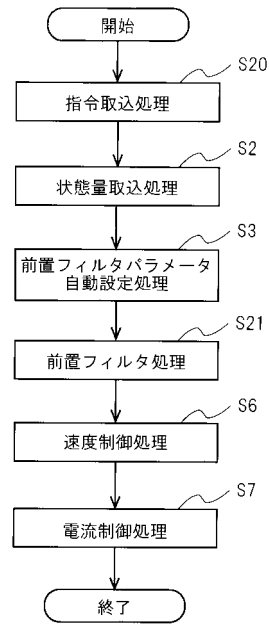
【図15】



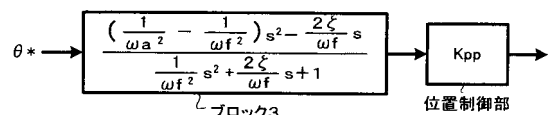
【図16】



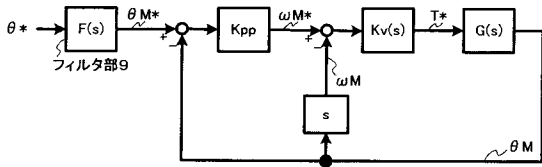
【図17】



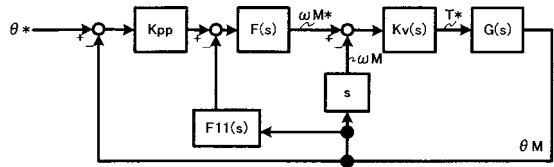
【図18】



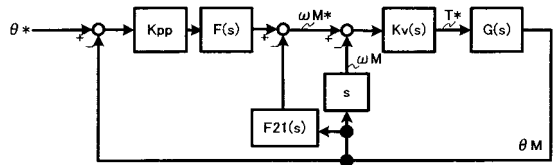
【図19】



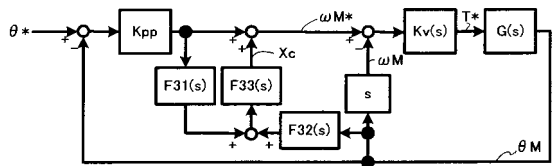
【図20】



(a)

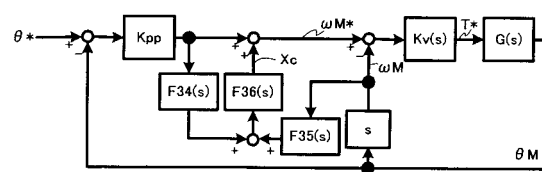


(b)

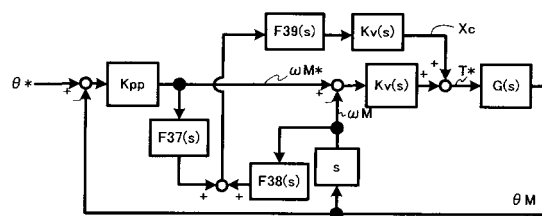


(c)

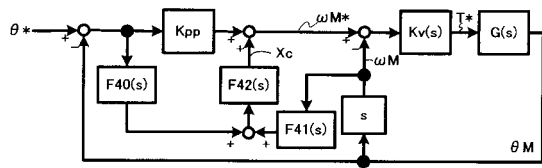
【図21】



(a)

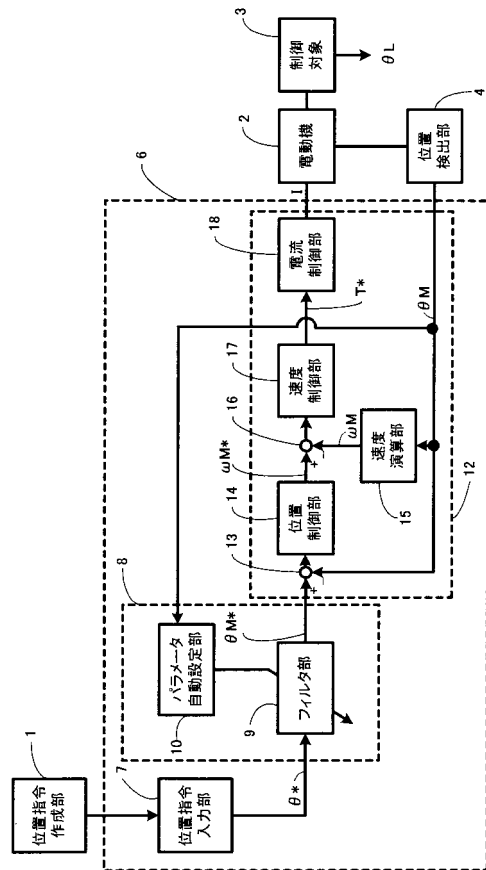


(b)

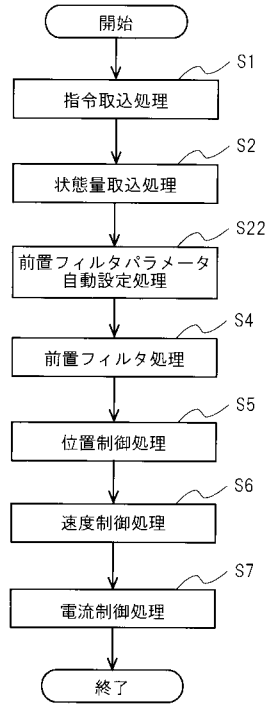


(c)

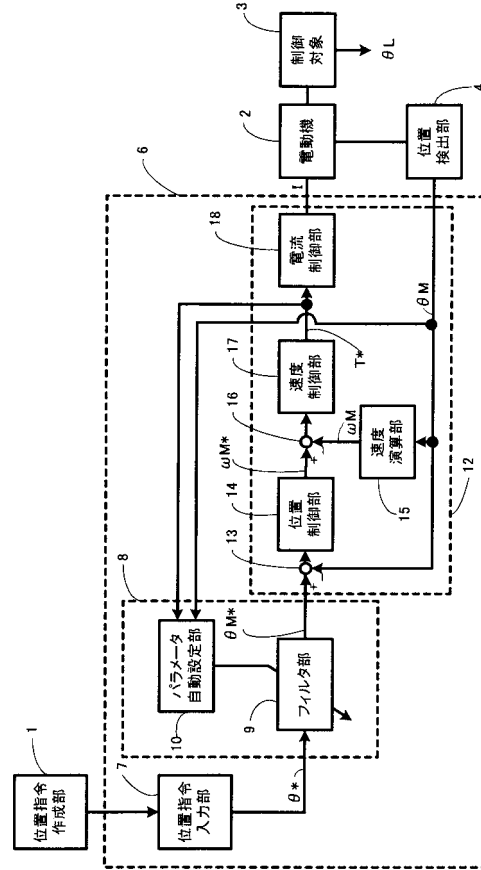
【図22】



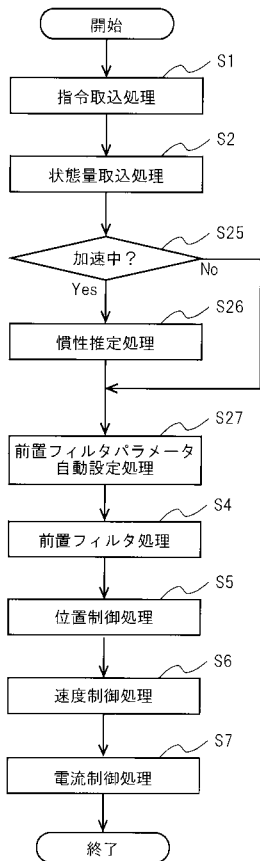
【図 2 3】



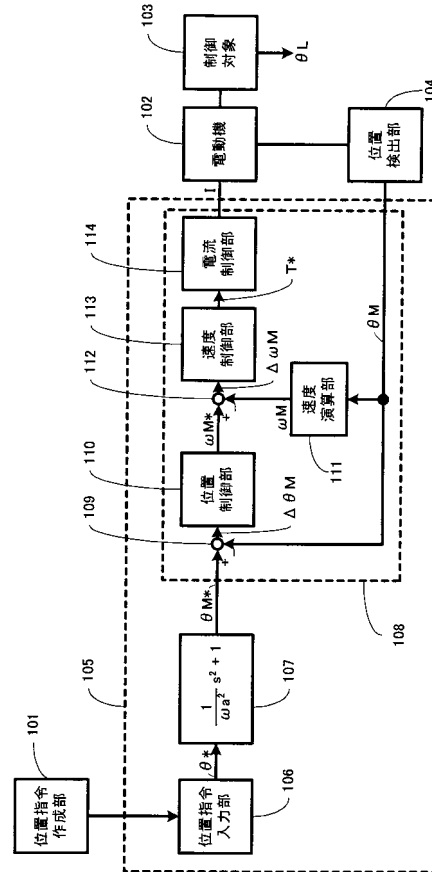
【図 2 4】



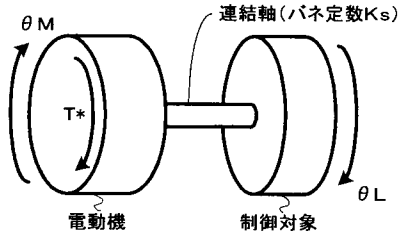
【図 2 5】



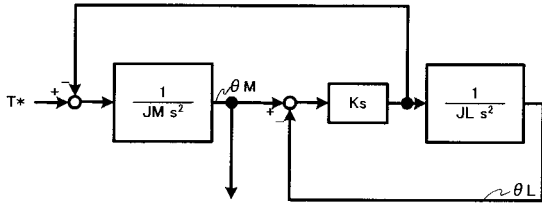
【図 2 6】



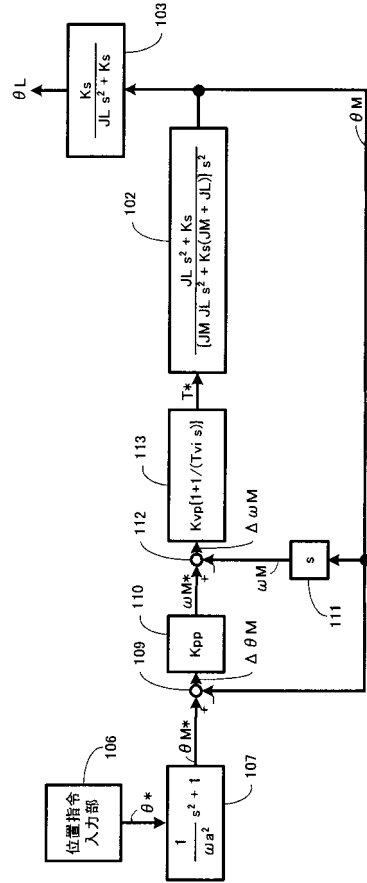
【図 27】



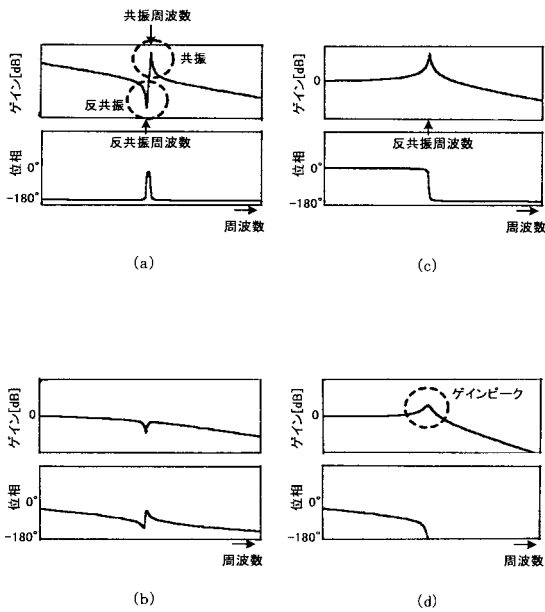
【図 28】



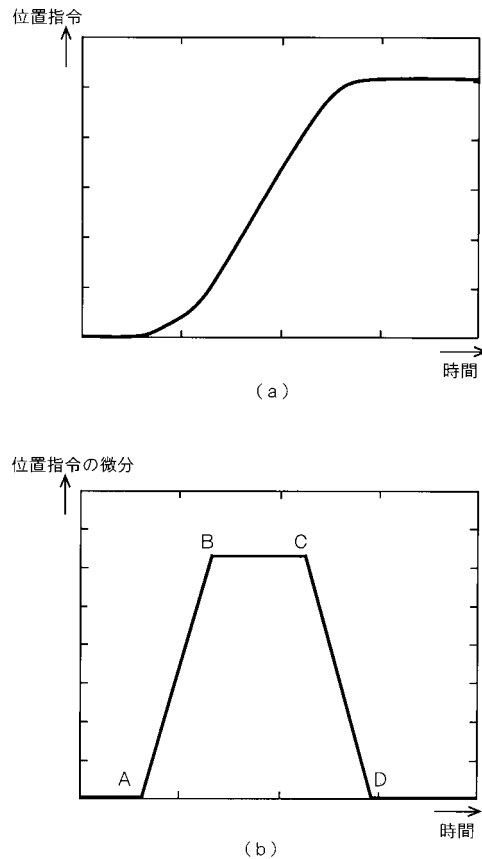
【図 29】



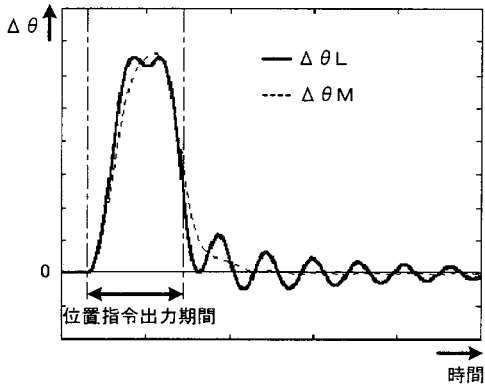
【図 30】



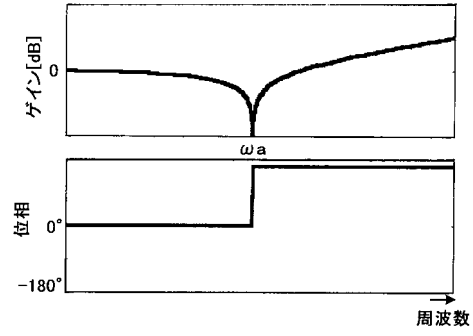
【図 31】



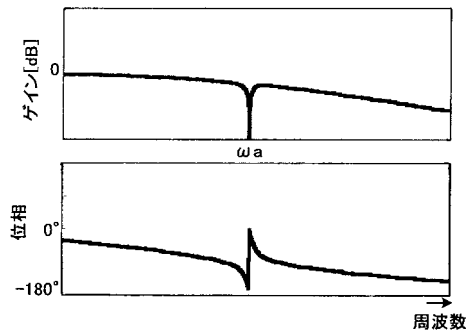
【図 3 2】



【図 3 3】

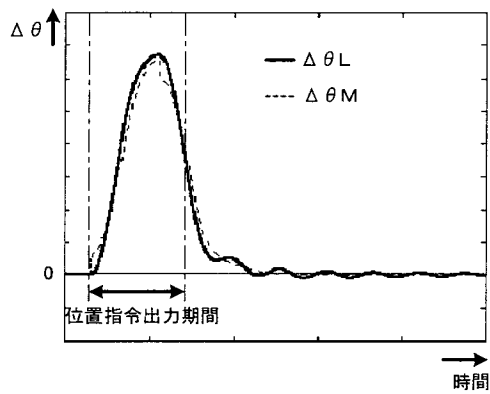


(a)

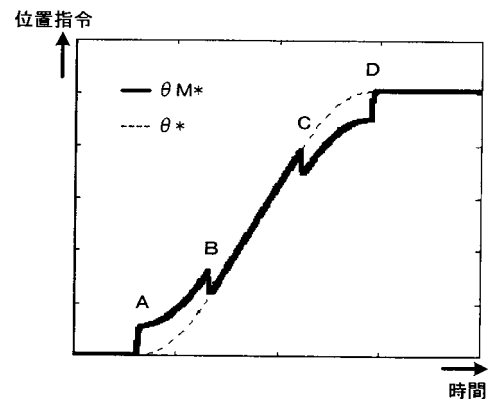


(b)

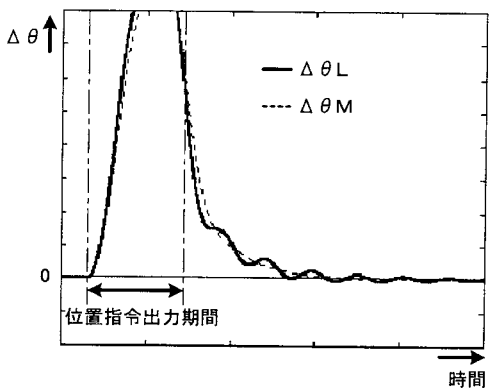
【図 3 4】



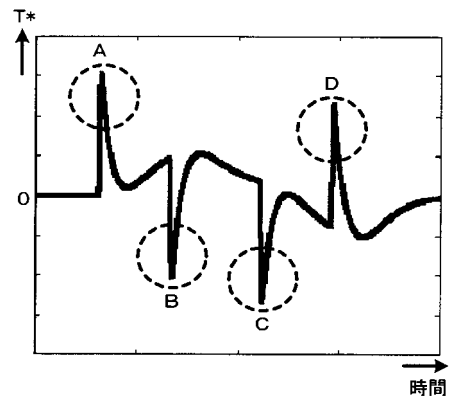
【図 3 6】



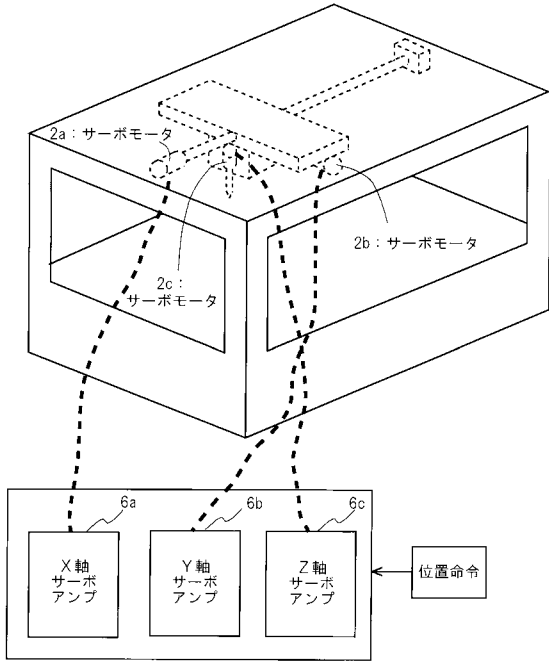
【図 3 5】



【図 3 7】



【図38】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
 G 0 5 D 3/12 3 0 5 L  
 G 0 5 D 3/12 3 0 5 V  
 H 0 2 P 5/00 F  
 H 0 2 P 5/00 K

(72)発明者 大山 一朗  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内  
 (72)発明者 飯島 友邦  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内  
 (72)発明者 田澤 徹  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内  
 (72)発明者 檜崎 和成  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内  
 (72)発明者 鈴木 健一  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内  
 (72)発明者 西園 勝  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

審査官 柿崎 拓

(56)参考文献 特開2001-325006(JP,A)  
 特開平11-309646(JP,A)  
 特開2000-339032(JP,A)  
 特開平10-4692(JP,A)  
 特開平9-319402(JP,A)  
 特開平5-100709(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 11/00-13/04

G05D 3/12