

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6568148号
(P6568148)

(45) 発行日 令和1年8月28日(2019.8.28)

(24) 登録日 令和1年8月9日(2019.8.9)

(51) Int.Cl. F I
H02P 29/00 (2016.01) H02P 29/00
G05D 3/12 (2006.01) G05D 3/12 305Z

請求項の数 11 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2017-111903 (P2017-111903)	(73) 特許権者	390008235
(22) 出願日	平成29年6月6日(2017.6.6)		ファナック株式会社
(65) 公開番号	特開2018-207695 (P2018-207695A)		山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358
(43) 公開日	平成30年12月27日(2018.12.27)		〇番地
審査請求日	平成30年7月18日(2018.7.18)	(74) 代理人	100106002
早期審査対象出願			弁理士 正林 真之
		(74) 代理人	100165157
			弁理士 芝 哲央
		(74) 代理人	100160794
			弁理士 星野 寛明
		(72) 発明者	篠田 翔吾
			山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358
			〇番地 ファナック株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 サーボモータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

サーボモータと、
 前記サーボモータにより駆動される被駆動体と、
 前記サーボモータと前記被駆動体とを連結し、前記サーボモータの動力を前記被駆動体へ伝える連結機構と、
 前記サーボモータの位置を検出する第1位置検出部と、
 前記被駆動体の位置を検出する第2位置検出部と、
 前記サーボモータを制御するモータ制御部と、
 を備えるサーボモータ制御装置であって、
 前記モータ制御部は、
 前記サーボモータの駆動制御のための位置指令値と前記第1位置検出部で検出された前記サーボモータの位置との第1偏差の高周波数成分に基づくセミクローズドフィードバック制御と、前記位置指令値と前記第2位置検出部で検出された前記被駆動体の位置との第2偏差の低周波数成分に基づくフルクローズドフィードバック制御とを行うデュアル位置制御部と、
 前記連結機構の剛性の大きさ、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさを取得する取得部と、
 所定時間間隔又は不定時間間隔ごとに前記取得部で取得された複数の剛性の大きさ、又は、複数の共振周波数の大きさを保存する保存部と、

10

20

前記保存部に保存された複数の剛性の大きさ又は複数の共振周波数の大きさに基づいて、前記連結機構の剛性の変化量又は前記サーボモータ制御装置の共振周波数の変化量を算出し、前記連結機構の剛性の大きさ又は変化量、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさ又は変化量に応じて、前記デュアル位置制御部における前記セミクローズドフィードバック制御と前記フルクローズドフィードバック制御との割合を変更させる変更部と、
を有する、サーボモータ制御装置。

【請求項 2】

前記変更部は、前記連結機構の剛性の低下、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の低下に応じて、前記セミクローズドフィードバック制御の割合を増加させ、前記フルクローズドフィードバック制御の割合を減少させる、請求項 1 に記載のサーボモータ制御装置。

10

【請求項 3】

前記取得部は、

前記連結機構と前記被駆動体との連結部において前記被駆動体に作用する駆動力を推定する力推定部と、

前記第 1 位置検出部で検出された前記サーボモータの位置と、前記第 2 位置検出部で検出された前記被駆動体の位置と、前記力推定部で推定された駆動力とに基づいて、前記連結機構の剛性の大きさを推定する剛性推定部と、

を有する、

20

請求項 1 又は 2 に記載のサーボモータ制御装置。

【請求項 4】

前記取得部は、前記サーボモータ制御装置のフィードバック制御ループの伝達特性の周波数特性を取得し、取得した伝達特性の周波数特性から前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさを取得する、請求項 1 又は 2 に記載のサーボモータ制御装置。

【請求項 5】

前記デュアル位置制御部は、

前記位置指令値と前記第 1 位置検出部で検出された前記サーボモータの位置との第 1 偏差を求める第 1 減算部と、

前記位置指令値と前記第 2 位置検出部で検出された前記被駆動体の位置との第 2 偏差を求める第 2 減算部と、

30

前記第 1 減算部からの前記第 1 偏差を入力するハイパスフィルタと、

前記第 2 減算部からの前記第 2 偏差を入力するローパスフィルタと、

前記ハイパスフィルタから出力される前記第 1 偏差の高周波数成分と前記ローパスフィルタから出力される前記第 2 偏差の低周波数成分とを加算する加算部と、

を更に備え、

前記変更部は、前記連結機構の剛性の大きさ又は変化量、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさ又は変化量に応じて、前記ハイパスフィルタのカットオフ周波数及び前記ローパスフィルタのカットオフ周波数を変更させる、

請求項 1 ～ 4 の何れか 1 項に記載のサーボモータ制御装置。

40

【請求項 6】

前記変更部は、前記連結機構の剛性の低下、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の低下に応じて、前記ハイパスフィルタのカットオフ周波数及び前記ローパスフィルタのカットオフ周波数を低下させる、

請求項 5 に記載のサーボモータ制御装置。

【請求項 7】

前記変更部は、前記ハイパスフィルタのカットオフ周波数と前記ローパスフィルタのカットオフ周波数とを同一に設定させる、請求項 5 又は 6 に記載のサーボモータ制御装置。

【請求項 8】

前記デュアル位置制御部は、

50

前記位置指令値と前記第 1 位置検出部で検出された前記サーボモータの位置との第 1 偏差を求める第 1 減算部と、

前記位置指令値と前記第 2 位置検出部で検出された前記被駆動体の位置との第 2 偏差を求める第 2 減算部と、

前記第 2 減算部からの前記第 2 偏差から、前記第 1 減算部からの前記第 1 偏差を減算した第 3 偏差を求める第 3 減算部と、

前記第 3 減算部からの前記第 3 偏差を入力するローパスフィルタと、

前記第 1 減算部からの前記第 1 偏差と前記ローパスフィルタから出力される前記第 3 偏差の低周波数成分とを加算することにより、前記第 1 偏差の高周波数成分と前記第 2 偏差の低周波数成分とを加算する加算部と、

を更に備え、

前記変更部は、前記連結機構の剛性の大きさ又は変化量、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさ又は変化量に応じて、前記ローパスフィルタのカットオフ周波数を変更させる、

請求項 1～4 の何れか 1 項に記載のサーボモータ制御装置。

【請求項 9】

前記変更部は、前記連結機構の剛性の低下、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の低下に応じて、前記ローパスフィルタのカットオフ周波数を低下させる、

請求項 8 に記載のサーボモータ制御装置。

【請求項 10】

前記デュアル位置制御部は、

前記位置指令値と前記第 1 位置検出部で検出された前記サーボモータの位置との第 1 偏差を求める第 1 減算部と、

前記位置指令値と前記第 2 位置検出部で検出された前記被駆動体の位置との第 2 偏差を求める第 2 減算部と、

前記第 1 減算部からの前記第 1 偏差から、前記第 2 減算部からの前記第 2 偏差を減算した第 3 偏差を求める第 3 減算部と、

前記第 3 減算部からの前記第 3 偏差を入力するハイパスフィルタと、

前記ハイパスフィルタから出力される前記第 3 偏差の高周波数成分と前記第 2 減算部からの前記第 2 偏差とを加算することにより、前記第 1 偏差の高周波数成分と前記第 2 偏差の低周波数成分とを加算する加算部と、

を更に備え、

前記変更部は、前記連結機構の剛性の大きさ又は変化量、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさ又は変化量に応じて、前記ハイパスフィルタのカットオフ周波数を変更させる、

請求項 1～4 の何れか 1 項に記載のサーボモータ制御装置。

【請求項 11】

前記変更部は、前記連結機構の剛性の低下、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の低下に応じて、前記ハイパスフィルタのカットオフ周波数を低下させる、

請求項 10 に記載のサーボモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、サーボモータの位置に基づくセミクローズドフィードバック制御と、被駆動体の位置に基づくフルクローズドフィードバック制御とのデュアル位置フィードバック制御を行うサーボモータ制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば工作機械等において、サーボモータを用いて被加工物（ワーク）の位置を制御するサーボモータ制御装置が知られている。サーボモータ制御装置は、テーブル（被駆動体

10

20

30

40

50

）（移動体ともいう）上に被加工物を搭載し、テーブルを連結機構を介してサーボモータで移動させる。連結機構は、サーボモータに連結されるカップリングと、カップリングに固定されるボールねじと、ボールねじに螺合されるとともにテーブルに連結されるナットとを有する。これにより、サーボモータでボールねじを回転させると、ボールねじに螺着されたナットがボールねじの軸方向に移動され、ナットに連結されたテーブルが移動される。

【0003】

サーボモータ制御装置による制御方式としては、セミクローズドフィードバック制御と、フルクローズドフィードバック制御と、デュアル位置フィードバック制御とがある。セミクローズドフィードバック制御は、サーボモータの位置に基づいてフィードバック制御を行う。フルクローズドフィードバック制御は、被駆動体の位置に基づいてフィードバック制御を行う。デュアル位置フィードバック制御は、サーボモータの位置と被駆動体の位置との双方に基づいてフィードバック制御を行う（例えば、特許文献1～3を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特公平2-30522号公報

【特許文献2】特開2002-297241号公報

【特許文献3】特開2010-271854号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、工作機械の経年変化により、工作機械に振動が発生することがある。例えば、連結機構（特に、カップリング及びボールねじ）の剛性の経年劣化（低下）、又は、工作機械におけるその他何らかの部分の経年劣化の要因により、工作機械の固有の共振周波数が低下し、工作機械に低周波数の振動が発生することがある。工作機械に低周波数の振動が発生すると、工作機械の加工精度が低下する。

【0006】

本発明は、工作機械の経年変化（例えば、連結機構の剛性の経年劣化）に起因する工作機械の振動の発生を抑制するサーボ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】

（1） 本発明に係るサーボモータ制御装置（例えば、後述のサーボモータ制御装置1、1A、1B、1C）は、サーボモータ（例えば、後述のサーボモータ50）と、前記サーボモータにより駆動される被駆動体（例えば、後述のテーブル70）と、前記サーボモータと前記被駆動体とを連結し、前記サーボモータの動力を前記被駆動体へ伝える連結機構（例えば、連結機構60）と、前記サーボモータの位置を検出する第1位置検出部（例えば、後述のエンコーダ40）と、前記被駆動体の位置を検出する第2位置検出部（例えば、後述のスケール80）と、前記サーボモータを制御するモータ制御部（例えば、後述のモータ制御部10、10A、10B、10C）とを備えるサーボモータ制御装置であって、前記モータ制御部は、前記サーボモータの駆動制御のための位置指令値と前記第1位置検出部で検出された前記サーボモータの位置との第1偏差の高周波数成分に基づくセミクローズドフィードバック制御と、前記位置指令値と前記第2位置検出部で検出された前記被駆動体の位置との第2偏差の低周波数成分に基づくフルクローズドフィードバック制御とを行うデュアル位置制御部（例えば、後述のデュアル位置制御部30A、30B）と、前記連結機構の剛性の大きさ、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさを取得する取得部（例えば、後述の力推定部20、剛性推定部22、取得部20C）と、前記取得部で取得された前記連結機構の剛性の大きさ又は変化量、又は、前記取得部で取得された前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさ又は変化量に応じて、前記デュアル位置制御部における前記セミクローズドフィードバック制御と前記フルクローズドフ

ィードバック制御との割合を変更させる変更部（例えば、後述の制御割合変更部 3 5 A, 3 5 B）とを有する。

【0 0 0 8】

（２） （１）に記載のサーボモータ制御装置において、前記変更部は、前記連結機構の剛性の低下、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の低下に応じて、前記セミクローズドフィードバック制御の割合を増加させ、前記フルクローズドフィードバック制御の割合を減少させてもよい。

【0 0 0 9】

（３） （１）又は（２）に記載のサーボモータ制御装置において、前記取得部は、前記連結機構と前記被駆動体との連結部において前記被駆動体に作用する駆動力を推定する力推定部（例えば、後述の力推定部 2 0）と、前記第 1 位置検出部で検出された前記サーボモータの位置と、前記第 2 位置検出部で検出された前記被駆動体の位置と、前記力推定部で推定された駆動力とに基づいて、前記連結機構の剛性の大きさを推定する剛性推定部（例えば、後述の剛性推定部 2 2）とを有してもよい。

【0 0 1 0】

（４） （１）又は（２）に記載のサーボモータ制御装置において、前記取得部は、前記サーボモータ制御装置のフィードバック制御ループの伝達特性の周波数特性を取得し、取得した伝達特性の周波数特性から前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさを取得してもよい。

【0 0 1 1】

（５） （１）又は（２）に記載のサーボモータ制御装置において、前記モータ制御部は、所定時間間隔又は不定時間間隔ごとに前記取得部で取得された複数の剛性の大きさ、又は、複数の共振周波数の大きさを保存する保存部（例えば、後述の保存部 2 4）を更に備えてもよく、前記変更部は、前記保存部に保存された複数の剛性の大きさ又は複数の共振周波数の大きさに基づいて、前記連結機構の剛性の変化量又は前記サーボモータ制御装置の共振周波数の変化量を算出してもよい。

【0 0 1 2】

（６） （１）から（５）のいずれかに記載のサーボモータ制御装置において、前記デュアル位置制御部は、前記位置指令値と前記第 1 位置検出部で検出された前記サーボモータの位置との第 1 偏差を求める第 1 減算部（例えば、後述の減算器 3 1 A）と、前記位置指令値と前記第 2 位置検出部で検出された前記被駆動体の位置との第 2 偏差を求める第 2 減算部（例えば、後述の減算器 3 1 B）と、前記第 1 減算部からの前記第 1 偏差を入力するハイパスフィルタ（例えば、後述のハイパスフィルタ 3 2 A）と、前記第 2 減算部からの前記第 2 偏差を入力するローパスフィルタ（例えば、後述のローパスフィルタ 3 2 B）と、前記ハイパスフィルタから出力される前記第 1 偏差の高周波数成分と前記ローパスフィルタから出力される前記第 2 偏差の低周波数成分とを加算する加算部（例えば、後述の加算器 3 3）とを更に備えてもよく、前記変更部は、前記連結機構の剛性の大きさ又は変化量、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさ又は変化量に応じて、前記ハイパスフィルタのカットオフ周波数及び前記ローパスフィルタのカットオフ周波数を変更させてもよい。

【0 0 1 3】

（７） （６）に記載のサーボモータ制御装置において、前記変更部は、前記連結機構の剛性の低下、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の低下に応じて、前記ハイパスフィルタのカットオフ周波数及び前記ローパスフィルタのカットオフ周波数を低下させてもよい。

【0 0 1 4】

（８） （１）から（７）のいずれかに記載のサーボモータ制御装置において、前記変更部は、前記ハイパスフィルタのカットオフ周波数と前記ローパスフィルタのカットオフ周波数とを同一に設定させてもよい。

【0 0 1 5】

(9) (1) から (5) のいずれかに記載のサーボモータ制御装置において、前記デュアル位置制御部は、前記位置指令値と前記第 1 位置検出部で検出された前記サーボモータの位置との第 1 偏差を求める第 1 減算部（例えば、後述の減算器 3 1 A）と、前記位置指令値と前記第 2 位置検出部で検出された前記被駆動体の位置との第 2 偏差を求める第 2 減算部（例えば、後述の減算器 3 1 B）と、前記第 2 減算部からの前記第 2 偏差から、前記第 1 減算部からの前記第 1 偏差を減算した第 3 偏差を求める第 3 減算部（例えば、後述の減算器 3 1 C）と、前記第 3 減算部からの前記第 3 偏差を入力するローパスフィルタ（例えば、後述のローパスフィルタ 3 2 B）と、前記第 1 減算部からの前記第 1 偏差と前記ローパスフィルタから出力される前記第 3 偏差の低周波数成分とを加算することにより、前記第 1 偏差の高周波数成分と前記第 2 偏差の低周波数成分とを加算する加算部（例えば、後述の加算器 3 3）とを更に備えてもよく、前記変更部は、前記連結機構の剛性の大きさ又は変化量、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさ又は変化量に応じて、前記ローパスフィルタのカットオフ周波数を変更させてもよい。

10

【0016】

(10) (9) に記載のサーボモータ制御装置において、前記変更部は、前記連結機構の剛性の低下、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の低下に応じて、前記ローパスフィルタのカットオフ周波数を低下させてもよい。

【0017】

(11) (1) から (5) のいずれかに記載のサーボモータ制御装置において、前記デュアル位置制御部は、前記位置指令値と前記第 1 位置検出部で検出された前記サーボモータの位置との第 1 偏差を求める第 1 減算部（例えば、後述の減算器 3 1 A）と、前記位置指令値と前記第 2 位置検出部で検出された前記被駆動体の位置との第 2 偏差を求める第 2 減算部（例えば、後述の減算器 3 1 B）と、前記第 1 減算部からの前記第 1 偏差から、前記第 2 減算部からの前記第 2 偏差を減算した第 3 偏差を求める第 3 減算部（例えば、後述の減算器 3 1 C）と、前記第 3 減算部からの前記第 3 偏差を入力するハイパスフィルタ（例えば、後述のハイパスフィルタ 3 2 A）と、前記ハイパスフィルタから出力される前記第 3 偏差の高周波数成分と前記第 2 減算部からの前記第 2 偏差とを加算することにより、前記第 1 偏差の高周波数成分と前記第 2 偏差の低周波数成分とを加算する加算部（例えば、後述の加算器 3 3）とを更に備えてもよく、前記変更部は、前記連結機構の剛性の大きさ又は変化量、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさ又は変化量に応じて、前記ハイパスフィルタのカットオフ周波数を変更させてもよい。

20

30

【0018】

(12) (11) に記載のサーボモータ制御装置において、前記変更部は、前記連結機構の剛性の低下、又は、前記サーボモータ制御装置の共振周波数の低下に応じて、前記ハイパスフィルタのカットオフ周波数を低下させてもよい。

【発明の効果】**【0019】**

本発明によれば、工作機械の経年変化（例えば、連結機構の剛性の経年劣化）に起因する工作機械の振動の発生を抑制するサーボモータ制御装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

40

【0020】

【図 1】本発明の実施形態に係るサーボモータ制御装置の構成の一例を示す図である。

【図 2】第 1 実施形態に係るサーボモータ制御装置におけるモータ制御部の構成を示す図である。

【図 3】第 1 実施形態に係るサーボモータ制御装置によるデュアル位置フィードバック制御の割合変更動作を示すフローチャートである。

【図 4】第 2 実施形態に係るサーボモータ制御装置におけるモータ制御部の構成を示す図である。

【図 5】第 2 実施形態の変形例に係るサーボモータ制御装置におけるモータ制御部の構成を示す図である。

50

【図 6】第 3 実施形態に係るサーボモータ制御装置におけるモータ制御部の構成を示す図である。

【図 7】第 3 実施形態に係るサーボモータ制御装置によるデュアル位置フィードバック制御の割合変更動作を示すフローチャートである。

【図 8】サーボモータ制御装置のフィードバック制御ループの利得／位相の周波数特性の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、添付の図面を参照して本発明の実施形態の一例について説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附することとする。

10

【0022】

図 1 は、本発明の実施形態に係るサーボモータ制御装置の構成の一例を示す図である。図 1 に示すように、サーボモータ制御装置 1 は、モータ制御部 10 と、サーボモータ 50 と、エンコーダ（第 1 位置検出部）40 と、連結機構 60 と、テーブル（被駆動体）70 と、スケール（第 2 位置検出部）80 とを備える。

【0023】

サーボモータ制御装置 1 は、サーボモータ 50 で連結機構 60 を介してテーブル 70 を移動させ、テーブル 70 の上に搭載された被加工物（ワーク）を加工する。連結機構 60 は、サーボモータ 50 に連結されたカップリング 61 と、カップリング 61 に固定されるボールねじ 62 とを有し、ボールねじ 62 にナット 63 が螺合されている。サーボモータ 50 の回転駆動によって、ボールねじ 62 に螺着されたナット 63 がボールねじ 62 の軸方向に移動され、ナット 63 に連結されたテーブル 70 が移動される。

20

【0024】

サーボモータ 50 の回転角度位置は、サーボモータ 50 に設けられたエンコーダ 40 によって検出され、検出された回転位置（回転量）は第 1 位置フィードバック（以下、位置 F B 1 という。）として利用される。ここで、サーボモータ 50 の回転角度位置とテーブル 70 の位置とは対応関係にあるため、エンコーダ 40 で検出された回転位置、すなわち位置 F B 1 値は、テーブル 70 の位置を示す。なお、エンコーダ 40 は回転速度を検出可能であり、検出された速度は速度フィードバック（以下、速度 F B という。）として利用可能である。

30

【0025】

また、テーブル 70 の位置は、テーブル 70 に設けられたスケール 80 によって検出され、検出された位置は第 2 位置フィードバック（以下、位置 F B 2 という。）として利用される。

【0026】

モータ制御部 10 は、加工プログラムに従う位置指令値、位置 F B 1 値又は位置 F B 2 値、及び、速度 F B 値に基づいて、サーボモータ 50 を制御する。具体的には、モータ制御部 10 は、位置指令値と位置 F B 1 値との偏差（第 1 偏差）に基づくセミクローズドフィードバック制御と、位置指令値と位置 F B 2 値との偏差（第 2 偏差）に基づくフルクローズドフィードバック制御とを行うデュアル位置フィードバック制御を行う。モータ制御部 10 の詳細については後述する。

40

【0027】

以下、サーボモータ制御装置 1 として、3 つの実施形態のサーボモータ制御装置 1 A, 1 B, 1 C について詳細に説明する。第 1 ～第 3 実施形態のサーボモータ制御装置 1 A, 1 B, 1 C は、上述したサーボモータ制御装置 1 において、モータ制御部 10 としてモータ制御部 10 A, 10 B, 10 C をそれぞれ備える点で相違する。第 1 ～第 3 実施形態のサーボモータ制御装置 1 A, 1 B, 1 C のその他の構成は、上述したサーボモータ制御装置 1 と同一である。

【0028】

（第 1 実施形態のサーボモータ制御装置）

50

図 1 において、第 1 実施形態に係るサーボモータ制御装置 1 A は、上述したモータ制御部 1 0 としてモータ制御部 1 0 A を備える。

【0029】

図 2 は、第 1 実施形態に係るサーボモータ制御装置 1 A におけるモータ制御部 1 0 A の構成を示す図である。図 2 に示すように、モータ制御部 1 0 A は、位置指令生成部 1 2 と、デュアル位置制御部 3 0 A と、速度指令生成部 1 4 と、減算器 1 5 と、トルク指令生成部 1 6 と、力推定部（取得部）2 0 と、剛性推定部（取得部）2 2 と、保存部 2 4 と、表示部（通知部）2 6 と、制御割合変更部（変更部）3 5 A とを備える。

【0030】

位置指令生成部 1 2 は、図示しない上位制御装置や外部入力装置等から入力されるプログラムや命令に従って、サーボモータ 5 0 の位置指令値を作成する。

10

【0031】

デュアル位置制御部 3 0 A は、位置指令生成部 1 2 で作成された位置指令値とエンコーダ 4 0 からの位置 F B 1 値との第 1 偏差の高周波数成分に基づくセミクローズドフィードバック制御と、位置指令値とスケール 8 0 からの位置 F B 2 値との第 2 偏差の低周波数成分に基づくフルクローズドフィードバック制御とを行う。デュアル位置制御部 3 0 A は、減算器 3 1 A、3 1 B と、ハイパスフィルタ 3 2 A と、ローパスフィルタ 3 2 B と、加算器 3 3 とを備える。

【0032】

減算器（第 1 減算部）3 1 A は、位置指令生成部 1 2 で作成された位置指令値とエンコーダ 4 0 からの位置 F B 1 値との第 1 偏差を求める。ハイパスフィルタ 3 2 A は、減算器 3 1 A で求められた第 1 偏差における高周波数成分を通過させ、低周波数成分をカットする。ハイパスフィルタ 3 2 A のカットオフ周波数は、制御割合変更部 3 5 A からの制御信号 S 1 に応じて変更される。

20

【0033】

減算器（第 2 減算部）3 1 B は、位置指令生成部 1 2 で作成された位置指令値とスケール 8 0 からの位置 F B 2 値との第 2 偏差を求める。ローパスフィルタ 3 2 B は、減算器 3 1 B で求められた第 2 偏差における低周波数成分を通過させ、高周波数成分をカットする。ローパスフィルタ 3 2 B のカットオフ周波数は、制御割合変更部 3 5 A からの制御信号 S 2 に応じて変更される。

30

【0034】

加算器 3 3 は、ハイパスフィルタ 3 2 A を通過した第 1 偏差の高周波数成分と、ローパスフィルタ 3 2 B を通過した第 2 偏差の低周波数成分とを加算し、速度指令生成部 1 4 に送信する。

【0035】

ここで、ハイパスフィルタ 3 2 A 及びローパスフィルタ 3 2 B のカットオフ周波数 f [Hz] と時定数 τ [s] との間には以下の関係が成り立つ。

$$f = 1 / (2\pi \times \tau)$$

これより、カットオフ周波数を調整することは、時定数を調整することと同義である。

【0036】

40

第 1 偏差を E_1 、第 2 偏差を E_2 とすると、ハイパスフィルタ 3 2 A の出力 E_H 、ローパスフィルタ 3 2 B の出力 E_L は次式のように表される。

$$E_H = \tau s / (1 + \tau s) \times E_1$$

$$E_L = 1 / (1 + \tau s) \times E_2$$

s : 角周波数

これより、加算器 3 3 で加算された偏差は次式のように表される。

$$\text{偏差} = \tau s / (1 + \tau s) \times E_1 + 1 / (1 + \tau s) \times E_2 \quad \cdots (1)$$

【0037】

上式 (1) より、時定数が $\tau = \infty$ 、すなわちカットオフ周波数が $f = 0$ では、偏差 = E_1 となり、セミクローズドフィードバック制御が支配的となる。一方、時定数が $\tau = 0$ 、

50

すなわちカットオフ周波数が $f = \infty$ では、偏差 = E 2 となり、フルクロズドフィードバック制御が支配的となる。

また、時定数 τ の大きさ、すなわちカットオフ周波数 f の大きさを制御して、セミクロズドフィードバック制御とフルクロズドフィードバック制御との比率を変更することができる。

【0038】

速度指令生成部 14 は、デュアル位置制御部 30 A の加算器 33 で求められた偏差に基づいてサーボモータ 50 の速度指令値を作成する。減算器 15 は、速度指令生成部 14 で作成された速度指令値とエンコーダ 40 からの速度 F B 値との差を求める。トルク指令生成部 16 は、減算器 15 で求められた差分に基づいてサーボモータ 50 のトルク指令値を

10

【0039】

力推定部 20 は、トルク指令生成部 16 からのトルク指令値に基づいて、テーブル 70 (ナット 63) と連結機構 60 との連結部においてテーブル 70 に作用する駆動トルク (駆動力) を推定する。なお、力推定部 20 は、電流検出器を用いて検出したサーボモータ 50 の駆動電流、すなわち実電流 (実トルク) に基づいて駆動トルクを推定してもよい。

【0040】

剛性推定部 22 は、力推定部 20 で推定された駆動トルクと、エンコーダ 40 からの位置 F B 1 値 (エンコーダ 40 で検出されたサーボモータ 50 の位置、すなわちテーブル 70 の位置) と、スケール 80 からの位置 F B 2 値 (スケール 80 で検出されたテーブル 70 の位置) とに基づいて、連結機構 60 の剛性の大きさを推定する。具体的には、剛性推定部 22 は、推定された駆動トルク値、及び、位置 F B 1 値と位置 F B 2 値との差に基づいて、下式 (2) より、連結機構 60 の剛性の大きさを推定する。

20

剛性の大きさ = 駆動トルク値 / 位置 F B 1 値と位置 F B 2 値との差 $\cdots (2)$

連結機構 60 の剛性の大きさの推定方法の詳細については後述する。

【0041】

保存部 24 は、所定時間間隔又は不定時間間隔ごとに、剛性推定部 22 で推定された連結機構 60 の剛性の大きさを保存する。

また、保存部 24 は、連結機構 60 の剛性の大きさを入力とし、入力した剛性の大きさに応じた制御信号であって、ハイパスフィルタ 32 A のカットオフ周波数及びローパスフィルタ 32 B のカットオフ周波数を変更する制御信号 S 1, S 2 を出力とする関数を保存する。例えば、保存部 24 は、関数として、剛性の大きさと制御信号 S 1, S 2 とが関連付けられたテーブルを保存する。例えば、テーブルでは、剛性が低下するほど、カットオフ周波数を低くするような制御信号 S 1, S 2 が設定される。

30

保存部 24 は、例えば E E P R O M 等の書き換え可能なメモリである。

【0042】

制御割合変更部 35 A は、剛性推定部 22 で推定された連結機構 60 の剛性の大きさに応じて、デュアル位置制御部 30 A におけるセミクロズドフィードバック制御とフルクロズドフィードバック制御との割合を変更する。具体的には、制御割合変更部 35 A は、推定された連結機構 60 の剛性の低下に応じて、セミクロズドフィードバック制御の割合を増加させ、フルクロズドフィードバック制御の割合を減少させる。

40

【0043】

より具体的には、制御割合変更部 35 A は、保存部 24 に保存された関数 (例えば、テーブル) に基づいて、剛性推定部 22 で推定された連結機構 60 の剛性の大きさに対応した制御信号 S 1, S 2 を生成し、ハイパスフィルタ 32 A 及びローパスフィルタ 32 B にそれぞれ送信する。これにより、制御割合変更部 35 A は、ハイパスフィルタ 32 A 及びローパスフィルタ 32 B のカットオフ周波数を変更させる。具体的には、制御割合変更部 35 A は、推定された連結機構 60 の剛性の低下に応じて、ハイパスフィルタ 32 A 及びローパスフィルタ 32 B のカットオフ周波数を低下させる。

【0044】

50

制御信号 S 1, S 2 は、同一であってもよいし、異なってもよい。すなわち、ハイパスフィルタ 3 2 A のカットオフ周波数とローパスフィルタ 3 2 B のカットオフ周波数とは、同一であってもよいし、異なってもよい。これらのフィルタのカットオフ周波数が同一である場合、E 1 と E 2 の値が近い値となると加算器 3 3 で加算された偏差の周波数特性は全体域に渡ってフラットに近い特性にすることができる。なお、これらのフィルタのカットオフ周波数が同一でない場合には、これらのフィルタのカットオフ周波数間の周波数成分が減衰又は増幅されるため、これらのある特定の周波数成分を増幅あるいは減衰してもよい。

【0045】

表示部 2 6 は、剛性推定部 2 2 で推定された剛性の大きさを示す情報（例えば、数値、文字、画像等）を表示する。表示部 2 6 は、例えば液晶ディスプレイ等の表示装置である。

【0046】

モータ制御部 1 0 A（及び、後述するモータ制御部 1 0 B, 1 0 C）は、例えば、DSP（Digital Signal Processor）、FPGA（Field-Programmable Gate Array）等の演算プロセッサで構成される。モータ制御部 1 0 A（モータ制御部 1 0 B, 1 0 C）の各種機能（位置指令生成部 1 2、デュアル位置制御部 3 0 A（すなわち、減算器 3 1 A, 3 1 B、ハイパスフィルタ 3 2 A、ローパスフィルタ 3 2 B、加算器 3 3）、速度指令生成部 1 4、減算器 1 5、トルク指令生成部 1 6、力推定部 2 0、剛性推定部 2 2、制御割合変更部 3 5 A、後述するデュアル位置制御部 3 0 B（すなわち、減算器 3 1 C）、後述する制御割合変更部 3 5 B、及び、後述する取得部 2 0 C）は、記憶部（例えば、保存部 2 4）に格納された所定のソフトウェア（プログラム）を実行することで実現される。モータ制御部 1 0 A（モータ制御部 1 0 B, 1 0 C）の各種機能は、ハードウェアとソフトウェアとの協働で実現されてもよいし、ハードウェア（電子回路）のみで実現されてもよい。

【0047】

次に、図 3 を参照して、第 1 実施形態のサーボモータ制御装置 1 A によるデュアル位置フィードバック制御の割合変更動作について説明する。図 3 は、第 1 実施形態のサーボモータ制御装置 1 A によるデュアル位置フィードバック制御の割合変更動作を示すフローチャートである。

【0048】

まず、ステップ S 1 1 において、モータ制御部 1 0 A は、位置指令（移動指令）に応じたトルク指令をサーボモータ 5 0 に供給して、サーボモータ 5 0 を回転させる。このとき、力推定部 2 0 は、トルク指令生成部 1 6 からのトルク指令に基づいて、テーブル 7 0（ナット 6 3）と連結機構 6 0 との連結部においてテーブル 7 0 に作用する駆動トルクを推定する。また、サーボモータ 5 0 におけるエンコーダ 4 0 により、サーボモータ 5 0 の回転位置（テーブル 7 0 の位置に対応した回転位置）を検出し、位置 F B 1 値としてモータ制御部 1 0 A に送信する。また、テーブル 7 0 におけるスケール 8 0 により、テーブル 7 0 の位置を検出し、位置 F B 2 値としてモータ制御部 1 0 A に送信する。

【0049】

次に、ステップ S 1 2 において、剛性推定部 2 2 は、力推定部 2 0 で推定された駆動トルク値、及び、エンコーダ 4 0 からの位置 F B 1 値とスケール 8 0 からの位置 F B 2 値との差に基づいて、連結機構 6 0 の剛性の大きさを推定する。

【0050】

ここで、エンコーダ 4 0 で検出されたサーボモータ 5 0 の回転位置（すなわち、テーブル 7 0 の位置に対応する回転位置）（位置 F B 1 値）と、スケール 8 0 で検出されたテーブル 7 0 の位置（位置 F B 2 値）との差は、連結機構（ボールネジ、カップリングなど）の捻じれなどの弾性変形に起因して生じる。そして、剛性は、加える力（駆動トルク）に対する変形量（弾性変形量）の比で表される。これより、剛性推定部 2 2 は、下式（2）より、剛性の大きさを推定する。

剛性の大きさ＝駆動トルク値／弾性変形量

＝駆動トルク値／位置 F B 1 値と位置 F B 2 値との差・・・(2)

なお、本実施形態では、剛性推定部 22 で推定される剛性は、弾性変形とガタの影響を含む。

【0051】

連結機構 60 の剛性は、経年変化（低下、劣化）する。例えば、連結機構 60 におけるボールねじ 62 の剛性は、経時的に予圧が弱まることにより低下する。剛性が低下すると、サーボモータ制御装置（すなわち、工作機械）の共振周波数が低下し、工作機械に低周波数の振動が生じる可能性が高くなる。工作機械に低周波数の振動が発生すると、工作機械の加工精度が低下する。

10

【0052】

そこで、ステップ S 13 において、制御割合変更部 35 A は、保存部 24 に保存された関数（例えば、テーブル）に基づいて、剛性推定部 22 で推定された連結機構 60 の剛性の大きさに対応した制御信号 S 1, S 2 を生成し、デュアル位置制御部 30 A のハイパスフィルタ 32 A 及びローパスフィルタ 32 B にそれぞれ送信する。これにより、制御割合変更部 35 A は、ハイパスフィルタ 32 A 及びローパスフィルタ 32 B のカットオフ周波数を変更させる。具体的には、制御割合変更部 35 A は、推定された連結機構 60 の剛性の低下に応じて、ハイパスフィルタ 32 A 及びローパスフィルタ 32 B のカットオフ周波数を低下させる。

【0053】

20

これにより、ローパスフィルタ 32 B を通過する位置指令値と位置 F B 2 値との第 2 偏差の低周波数成分の割合が減少し、ハイパスフィルタ 32 A を通過する位置指令値と位置 F B 1 値との第 1 偏差の高周波数成分の割合が増加する。そのため、第 2 偏差の低周波数成分に基づくフルクローズドフィードバック制御の割合が減少し、第 1 偏差の高周波数成分に基づくセミクローズドフィードバック制御の割合が増加する。

【0054】

ここで、デュアル位置制御部 30 A では、高周波数の偏差が生成される過渡動作時には、ハイパスフィルタ 32 A を含むセミクローズドフィードバック制御が支配的となる。一方、低周波数の偏差が生成される位置決め時には、ローパスフィルタ 32 B を含むフルクローズドフィードバック制御が支配的となる。

30

【0055】

位置指令値と位置 F B 1 値との第 1 偏差に基づくセミクローズドフィードバック制御は、サーボモータ 50 のエンコーダ 40 からの位置 F B 1 を用いるため、換言すれば、フィードバックループに連結機構 60 が含まれないため、制御が安定するという特徴を有する。一方、位置指令値と位置 F B 2 値との第 2 偏差に基づくフルクローズドフィードバック制御は、テーブル（被駆動体）70 の近くに設けられたスケール 80 からの位置 F B 2 値を用いるため、位置決め精度が高いという特徴を有する。

【0056】

これより、デュアル位置制御部 30 A によれば、過渡動作時には、安定な動作を得ることができ、工作機械の振動を抑制することができる。一方、位置決め時には、高い位置決め精度を得ることができる。

40

【0057】

更に、制御割合変更部 35 A により、連結機構 60 の剛性の低下に応じて、ハイパスフィルタ 32 A のカットオフ周波数及びローパスフィルタ 32 B のカットオフ周波数を低下させるので、連結機構 60 を含むフルクローズドフィードバック制御の割合が減少し、連結機構 60 を含まず安定動作が可能なセミクローズドフィードバック制御の割合が増加する。これより、位置決め時の高い位置決め精度を損なうことなく、連結機構 60 の剛性の低下に起因する工作機械の振動の発生を抑制することができる。そのため、工作機械の振動の発生に起因する工作機械の加工精度の低下を抑制することができる。

【0058】

50

なお、ハイパスフィルタ 3 2 A 及びローパスフィルタ 3 2 B のカットオフ周波数が低いほど、過渡動作時のセミクローズドフィードバック制御から位置決め時のフルクローズドフィードバック制御への切り換えが緩やかになる（遅くなる）。

【0059】

このとき、表示部 2 6 は、連結機構 6 0 の剛性の大きさを示す情報を表示してもよい。

【0060】

モータ制御部 1 0 A は、所定時間経過後にステップ S 1 1 に戻り、上述した動作を繰り返す。なお、モータ制御部 1 0 A は、予め定めた一定時間（所定時間）経過後に限らず、不規則な時間経過後に（不定時間間隔で）上述した動作を繰り返してもよい。或いは、モータ制御部 1 0 A は、常時、又は設定された特定の動作時（例えば、起動時）に上述した動作を繰り返してもよい。

10

【0061】

なお、ステップ S 1 2 において、剛性推定部 2 2 は、推定した剛性の大きさを推定日時などの諸情報と関連付けて保存部 2 4 に保存してもよい。また、ステップ S 1 3 において、制御割合変更部 3 5 A は、保存部 2 4 に保存された最新の剛性の大きさに基づいて、制御の割合を変更してもよい。

【0062】

以上説明したように、本実施形態のサーボモータ制御装置 1 A では、力推定部（取得部）2 0 及び剛性推定部（取得部）2 2 が連結機構 6 0 の剛性の大きさを推定し、制御割合変更部 3 5 A が、推定された連結機構 6 0 の剛性の低下に応じて、デュアル位置制御部 3 0 A のハイパスフィルタ 3 2 A のカットオフ周波数及びローパスフィルタ 3 2 B のカットオフ周波数を低下させる。これより、位置指令値と位置 F B 2 値との第 2 偏差の低周波数成分に基づくフルクローズドフィードバック制御の割合が減少し、位置指令値と位置 F B 1 値との第 1 偏差の高周波数成分に基づくセミクローズドフィードバック制御の割合が増加する。すなわち、連結機構 6 0 を含むフルクローズドフィードバック制御の割合が減少し、連結機構 6 0 を含まず安定動作が可能なセミクローズドフィードバック制御の割合が増加する。これより、位置決め時の高い位置決め精度を損なうことなく、連結機構 6 0 の剛性の低下に起因する工作機械の振動の発生を抑制することができる。そのため、工作機械の振動の発生に起因する工作機械の加工精度の低下を抑制することができる。

20

【0063】

また、本実施形態のサーボモータ制御装置 1 A では、表示部 2 6 が、連結機構 6 0 の剛性の大きさに関する情報を表示するので、ユーザは連結機構 6 0 の剛性の経年変化（劣化）を確認することができる。また、ユーザは連結機構 6 0 の保守の必要性の有無を確認することができる。

30

【0064】

なお、本実施形態では、制御割合変更部 3 5 A は、連結機構 6 0 の剛性の大きさに応じてセミクローズドフィードバック制御とフルクローズドフィードバック制御との割合を変更したが、これに限定されない。例えば、制御割合変更部 3 5 A は、保存部 2 4 に保存された所定時間間隔又は不定時間間隔ごとに推定した複数の剛性の大きさに基づいて連結機構 6 0 の剛性の変化量（低下量）を求め、求めた連結機構 6 0 の剛性の変化量（低下量）に応じてセミクローズドフィードバック制御とフルクローズドフィードバック制御との割合を変更してもよい。

40

【0065】

また、表示部 2 6 は、求めた連結機構 6 0 の剛性の変化量（低下量）を示す情報を表示してもよい。

【0066】

（第 2 実施形態のサーボモータ制御装置）

第 1 実施形態では、ハイパスフィルタ 3 2 A とローパスフィルタ 3 2 B との 2 つのフィルタを用いたデュアル位置制御部 3 0 A を説明した。第 2 実施形態では、1 つのローパスフィルタと減算器とを用いたデュアル位置制御部について説明する。

50

【0067】

図1において、第2実施形態に係るサーボモータ制御装置1Bは、上述したモータ制御部10としてモータ制御部10Bを備える。

【0068】

図4は、第2実施形態に係るサーボモータ制御装置1Bにおけるモータ制御部10Bの構成を示す図である。図4に示すように、モータ制御部10Bは、図2に示すモータ制御部10Aにおいてデュアル位置制御部30A及び制御割合変更部35Aに代えてデュアル位置制御部30B及び制御割合変更部35Bを備える構成で第1実施形態と異なる。

【0069】

デュアル位置制御部30Bは、デュアル位置制御部30Aにおいてハイパスフィルタ32Aに代えて減算器31Cを備える点で第1実施形態と異なる。

10

【0070】

減算器(第3減算部)31Cは、減算器31Bで求められた第2偏差から、減算器31Aで求められた第1偏差を減算した第3偏差を求める。

【0071】

ローパスフィルタ32Bは、減算器31Cで求められた第3偏差における低周波数成分を通過させ、高周波数成分をカットする。換言すれば、ローパスフィルタ32Bは、第2偏差の低周波数成分と第1偏差の低周波数成分(負値)とを通過させる。ローパスフィルタ32Bのカットオフ周波数は、制御割合変更部35Bからの制御信号Sに応じて変更される。

20

【0072】

加算器33は、減算器31Aで求められた第1偏差と、ローパスフィルタ32Bを通過した第3偏差の低周波数成分とを加算し、速度指令生成部14に送信する。換言すれば、加算器33は、第1偏差と第1偏差の低周波数成分(負値)との加算による第1偏差の高周波数成分と、第2偏差の低周波数成分とを加算する。

【0073】

これより、デュアル位置制御部30Bも、デュアル位置制御部30Aと同様に、位置指令値とエンコーダ40からの位置FB1値との第1偏差の高周波数成分に基づくセミクロードフィードバック制御と、位置指令値とスケール80からの位置FB2値との第2偏差の低周波数成分に基づくフルクロードフィードバック制御とを行う。

30

【0074】

ここで、第1偏差をE1、第2偏差をE2とすると、第3偏差E3、ローパスフィルタ32Bの出力ELは次式のように表される。

$$E3 = E2 - E1$$

$$EL = 1 / (1 + \tau s) \times E3 = 1 / (1 + \tau s) \times (E2 - E1)$$

これより、加算器33で加算された偏差は次式のように表される。

$$\text{偏差} = E1 + 1 / (1 + \tau s) \times (E2 - E1)$$

$$= \tau s / (1 + \tau s) \times E1 + 1 / (1 + \tau s) \times E2 \quad \dots (3)$$

上式(3)は、上述の式(1)と同一である。これより、上式(3)からも、デュアル位置制御部30Bの機能及び動作は、上述したデュアル位置制御部30Aの機能及び動作と同一であることがわかる。

40

【0075】

制御割合変更部35Bは、制御割合変更部35Aと同様に、剛性推定部22で推定された連結機構60の剛性の大きさに応じて、デュアル位置制御部30Bにおけるセミクロードフィードバック制御とフルクロードフィードバック制御との割合を変更する。具体的には、制御割合変更部35Bは、推定された連結機構60の剛性の低下に応じて、セミクロードフィードバック制御の割合を増加させ、フルクロードフィードバック制御の割合を減少させる。

【0076】

より具体的には、制御割合変更部35Bは、保存部24に保存された関数(例えば、テ

50

ーブル)に基づいて、剛性推定部22で推定された連結機構60の剛性の大きさに対応した制御信号Sを生成し、ローパスフィルタ32Bに送信する。これにより、制御割合変更部35Bは、ローパスフィルタ32Bのカットオフ周波数を変更させる。具体的には、制御割合変更部35Bは、推定された連結機構60の剛性の低下に応じて、ローパスフィルタ32Bのカットオフ周波数を低下させる。

【0077】

本実施形態のサーボモータ制御装置1Bでも、第1実施形態のサーボモータ制御装置1Aと同様の利点を得ることができる。

【0078】

すなわち、本実施形態のデュアル位置制御部30Bでも、位置指令値とエンコーダ40からの位置FB1値との第1偏差の高周波数成分に基づくセミクローズドフィードバック制御と、位置指令値とスケール80からの位置FB2値との第2偏差の低周波数成分に基づくフルクローズドフィードバック制御とを行う。これより、高周波数の偏差が生成される過渡動作時には、セミクローズドフィードバック制御が支配的となり、低周波数の偏差が生成される位置決め時には、フルクローズドフィードバック制御が支配的となる。その結果、過渡動作時には、安定な動作を得ることができ、工作機械の振動を抑制することができる。一方、位置決め時には、高い位置決め精度を得ることができる。

【0079】

さらに、本実施形態のサーボモータ制御装置1Bでは、制御割合変更部35Bが、推定された連結機構60の剛性の低下に応じて、ローパスフィルタ32Bのカットオフ周波数を低下させる。これより、位置指令値と位置FB2値との第2偏差の低周波数成分に基づくフルクローズドフィードバック制御の割合が減少し、位置指令値と位置FB1値との第1偏差の高周波数成分に基づくセミクローズドフィードバック制御の割合が増加する。すなわち、連結機構60を含むフルクローズドフィードバック制御の割合が減少し、連結機構60を含まず安定動作が可能なセミクローズドフィードバック制御の割合が増加する。これより、位置決め時の高い位置決め精度を損なうことなく、連結機構60の剛性の低下に起因する工作機械の振動の発生を抑制することができる。そのため、工作機械の振動の発生に起因する工作機械の加工精度の低下を抑制することができる。

【0080】

なお、本実施形態でも、制御割合変更部35Bは、保存部24に保存された所定時間間隔又は不定時間間隔ごとに推定した複数の剛性の大きさに基づいて連結機構60の剛性の変化量(低下量)を求め、求めた連結機構60の剛性の変化量(低下量)に応じてセミクローズドフィードバック制御とフルクローズドフィードバック制御との割合を変更してもよい。

【0081】

(第2実施形態の変形例)

図5は、第2実施形態の変形例に係るサーボモータ制御装置1Bにおけるモータ制御部10Bの構成を示す図である。図5に示すように、デュアル位置制御部30Bは、減算器31C及びローパスフィルタ32Bに代えて減算器31C及びハイパスフィルタ32Aを備えてもよい。

【0082】

減算器(第3減算部)31Cは、減算器31Aで求められた第1偏差から、減算器31Bで求められた第2偏差を減算した第3偏差を求める。

【0083】

ハイパスフィルタ32Aは、減算器31Cで求められた第3偏差における高周波数成分を通過させ、低周波数成分をカットする。換言すれば、ハイパスフィルタ32Aは、第1偏差の高周波数成分と第2偏差の高周波数成分(負値)とを通過させる。ハイパスフィルタ32Aのカットオフ周波数は、制御割合変更部35Bからの制御信号Sに応じて変更される。

【0084】

加算器 33 は、ハイパスフィルタ 32 A を通過した第 3 偏差の高周波数成分と、減算器 31 B で求められた第 2 偏差とを加算し、速度指令生成部 14 に送信する。換言すれば、加算器 33 は、第 1 偏差の高周波数成分と、第 2 偏差と第 2 偏差の高周波数成分（負値）との加算による第 2 偏差の低周波数成分とを加算する。

【0085】

これより、変形例のデュアル位置制御部 30 B も、第 2 実施形態のデュアル位置制御部 30 B と同様に、位置指令値とエンコーダ 40 からの位置 F B 1 値との第 1 偏差の高周波数成分に基づくセミクローズドフィードバック制御と、位置指令値とスケール 80 からの位置 F B 2 値との第 2 偏差の低周波数成分に基づくフルクローズドフィードバック制御とを行う。

10

【0086】

ここで、第 1 偏差を E 1、第 2 偏差を E 2 とすると、第 3 偏差 E 3、ハイパスフィルタ 32 A の出力 E H は次式のように表される。

$$E3 = E1 - E2$$

$$EH = \tau s / (1 + \tau s) \times E3 = \tau s / (1 + \tau s) \times (E1 - E2)$$

これより、加算器 33 で加算された偏差は次式のように表される。

$$\text{偏差} = \tau s / (1 + \tau s) \times (E1 - E2) + E2$$

$$= \tau s / (1 + \tau s) \times E1 + 1 / (1 + \tau s) \times E2 \quad \cdots (4)$$

上式 (4) は、上述の式 (3) と同一である。これより、上式 (4) から、変形例のデュアル位置制御部 30 B の機能及び動作は、第 2 実施形態のデュアル位置制御部 30 B の機能及び動作と同一であることがわかる。

20

【0087】

制御割合変更部 35 B は、第 2 実施形態と同様に、剛性推定部 22 で推定された連結機構 60 の剛性の大きさに応じて、デュアル位置制御部 30 B におけるセミクローズドフィードバック制御とフルクローズドフィードバック制御との割合を変更する。具体的には、制御割合変更部 35 B は、推定された連結機構 60 の剛性の低下に応じて、セミクローズドフィードバック制御の割合を増加させ、フルクローズドフィードバック制御の割合を減少させる。

【0088】

より具体的には、制御割合変更部 35 B は、保存部 24 に保存された関数（例えば、テーブル）に基づいて、剛性推定部 22 で推定された連結機構 60 の剛性の大きさに対応した制御信号 S を生成し、ハイパスフィルタ 32 A に送信する。これにより、制御割合変更部 35 B は、ハイパスフィルタ 32 A のカットオフ周波数を変更させる。具体的には、制御割合変更部 35 B は、推定された連結機構 60 の剛性の低下に応じて、ハイパスフィルタ 32 A のカットオフ周波数を低下させる。

30

【0089】

この変形例のサーボモータ制御装置 1 B でも、第 2 実施形態のサーボモータ制御装置 1 B と同様の利点を得ることができる。

【0090】

（第 3 実施形態のサーボモータ制御装置）

40

第 1 実施形態では、連結機構 60 の剛性の大きさに応じてセミクローズドフィードバック制御とフルクローズドフィードバック制御との割合を変更した。第 3 実施形態では、サーボモータ制御装置の共振周波数の大きさに基づいてセミクローズドフィードバック制御とフルクローズドフィードバック制御との割合を変更する。

【0091】

図 1 において、第 3 実施形態に係るサーボモータ制御装置 1 C は、上述したモータ制御部 10 としてモータ制御部 10 C を備える。

【0092】

図 6 は、第 3 実施形態に係るサーボモータ制御装置 1 C におけるモータ制御部 10 C の構成を示す図である。図 6 に示すように、モータ制御部 10 C は、図 2 に示すモータ制御

50

部 10A において力推定部 20（取得部）及び剛性推定部（取得部）22 に代えて取得部 20C を備える構成で第 1 実施形態と異なる。

【0093】

取得部 20C は、サーボモータ制御装置 1C の伝達特性の周波数特性を取得する。例えば、取得部 20C は、減算器 31B からスケール 80 までのフルクローズドフィードバック制御ループの利得／位相の周波数特性を取得する。

具体的には、取得部 20C は、減算器 31B に加振信号（例えば、正弦波スイープ信号、M 系列信号などの複数の周波数成分を含む信号）を入力し、スケール 80 から減算器 31B にフィードバックされる位置 FB2 信号を測定することにより、フルクローズドフィードバック制御ループの利得／位相の周波数特性を取得する。このとき、全てのフィードバックループを開ループ状態とする。

10

【0094】

そして、取得部 20C は、取得した利得／位相の周波数特性から、サーボモータ制御装置 1C（すなわち、工作機械）の共振周波数の大きさを求める。

【0095】

保存部 24 は、所定時間間隔又は不定時間間隔ごとに、取得部 20C で取得されたサーボモータ制御装置 1C の共振周波数の大きさを保存する。

また、保存部 24 は、サーボモータ制御装置 1C の共振周波数の大きさを入力とし、入力した共振周波数の大きさに応じた制御信号であって、ハイパスフィルタ 32A のカットオフ周波数及びローパスフィルタ 32B のカットオフ周波数を変更する制御信号 S1, S2 を出力とする関数を保存する。例えば、保存部 24 は、関数として、共振周波数の大きさと制御信号 S1, S2 とが関連付けされたテーブルを保存する。例えば、テーブルでは、共振周波数が低下するほど、カットオフ周波数を低くするような制御信号 S1, S2 が設定される。

20

【0096】

制御割合変更部 35A は、取得部 20C で取得されたサーボモータ制御装置 1C の共振周波数の大きさに応じて、デュアル位置制御部 30A におけるセミクローズドフィードバック制御とフルクローズドフィードバック制御との割合を変更する。具体的には、制御割合変更部 35A は、取得されたサーボモータ制御装置 1C の共振周波数の低下に応じて、セミクローズドフィードバック制御の割合を増加させ、フルクローズドフィードバック制御の割合を減少させる。

30

【0097】

より具体的には、制御割合変更部 35A は、保存部 24 に保存された関数（例えば、テーブル）に基づいて、取得部 20C で取得されたサーボモータ制御装置 1C の共振周波数の大きさに対応した制御信号 S1, S2 を生成し、ハイパスフィルタ 32A 及びローパスフィルタ 32B にそれぞれ送信する。これにより、制御割合変更部 35A は、ハイパスフィルタ 32A 及びローパスフィルタ 32B のカットオフ周波数を変更させる。具体的には、制御割合変更部 35A は、推定されたサーボモータ制御装置 1C の共振周波数の低下に応じて、ハイパスフィルタ 32A 及びローパスフィルタ 32B のカットオフ周波数を低下させる。

40

【0098】

次に、図 7 を参照して、第 3 実施形態のサーボモータ制御装置 1C によるデュアル位置フィードバック制御の割合変更動作について説明する。図 7 は、第 3 実施形態のサーボモータ制御装置 1C によるデュアル位置フィードバック制御の割合変更動作を示すフローチャートである。

【0099】

まず、ステップ S21 において、取得部 20C は、サーボモータ制御装置 1C における減算器 31B からスケール 80 までのフルクローズドフィードバック制御ループの利得／位相の周波数特性を取得する。具体的には、取得部 20C は、減算器 31B に加振信号を入力し、スケール 80 から減算器 31B にフィードバックされる位置 FB2 信号を測定す

50

ることにより、フルクローズドフィードバック制御ループの利得／位相の周波数特性を取得する。

【0100】

次に、ステップS22において、取得部20Cは、取得した利得／位相の周波数特性から、サーボモータ制御装置1C（すなわち、工作機械）の共振周波数の大きさを求める。

【0101】

図8に、サーボモータ制御装置のフィードバック制御ループの利得（Magnitude）／位相（Phase）の周波数特性の一例を示す。図8に示すように、連結機構60の剛性が経年変化（低下、劣化）すると、サーボモータ制御装置1C（すなわち、工作機械）の共振周波数が f_1 （破線）から f_2 （実線）に低下する。また、工作機械における
10
その他何らかの部分の経年劣化の要因によりサーボモータ制御装置1Cの共振周波数が f_1 （破線）から f_2 （実線）に低下することがある。サーボモータ制御装置1Cの共振周波数が低下すると、工作機械に低周波数の振動が生じる可能性が高くなる。工作機械に低周波数の振動が発生すると、工作機械の加工精度が低下する。

【0102】

そこで、上述同様に、ステップS13において、制御割合変更部35Aは、保存部24に保存された関数（例えば、テーブル）に基づいて、取得部20Cで取得されたサーボモータ制御装置1Cの共振周波数の大きさに対応した制御信号S1、S2を生成し、デュアル位置制御部30Aのハイパスフィルタ32A及びローパスフィルタ32Bにそれぞれ送信する。これにより、制御割合変更部35Aは、ハイパスフィルタ32A及びローパスフ
20
ィルタ32Bのカットオフ周波数を変更させる。具体的には、制御割合変更部35Aは、取得されたサーボモータ制御装置1Cの共振周波数の低下に応じて、ハイパスフィルタ32A及びローパスフィルタ32Bのカットオフ周波数を低下させる。

【0103】

これにより、ローパスフィルタ32Bを通過する位置指令値と位置FB2値との第2偏差の低周波数成分の割合が減少し、ハイパスフィルタ32Aを通過する位置指令値と位置FB1値との第1偏差の高周波数成分の割合が増加する。そのため、第2偏差の低周波数成分に基づくフルクローズドフィードバック制御の割合が減少し、第1偏差の高周波数成分に基づくセミクローズドフィードバック制御の割合が増加する。

【0104】

このとき、表示部26は、サーボモータ制御装置1Cの共振周波数の大きさを示す情報を表示してもよい。

【0105】

モータ制御部10Cは、所定時間経過後にステップS21に戻り、上述した動作を繰り返す。なお、モータ制御部10Cは、予め定めた一定時間（所定時間）経過後に限らず、不規則な時間経過後に（不定時間間隔で）上述した動作を繰り返してもよい。或いは、モータ制御部10Cは、常時、又は設定された特定の動作時（例えば、起動時）に上述した動作を繰り返してもよい。

【0106】

なお、ステップS22において、取得部20Cは、取得した共振周波数の大きさを取得日時などの諸情報と関連付けて保存部24に保存してもよい。また、ステップS13において、制御割合変更部35Aは、保存部24に保存された最新の共振周波数の大きさに基づいて、制御の割合を変更してもよい。

【0107】

また、サーボモータ制御装置1C（すなわち、工作機械）の共振周波数は、連結機構60に対するテーブル70の位置、テーブル70上の積載物の重さなどに依存して変化する。

そこで、取得部20Cは、テーブル70上の積載物の重さなど使用状態と同一条件で、制御ループの利得／位相の周波数特性の測定を行ってもよい。また、制御割合変更部35Aは、連結機構60に対するテーブル70の位置などの諸情報を考慮して、ハイパスフィル
50

タ 3 2 A 及びローパスフィルタ 3 2 B のカットオフ周波数の変更量を調整してもよい。

【0108】

以上説明したように、本実施形態のサーボモータ制御装置 1 C では、取得部 2 0 C がサーボモータ制御装置 1 C の共振周波数の大きさを取得し、制御割合変更部 3 5 A が、取得されたサーボモータ制御装置 1 C の共振周波数の低下に応じて、デュアル位置制御部 3 0 A のハイパスフィルタ 3 2 A のカットオフ周波数及びローパスフィルタ 3 2 B のカットオフ周波数を低下させる。これより、位置指令値と位置 F B 2 値との第 2 偏差の低周波数成分に基づくフルクロズドフィードバック制御の割合が減少し、位置指令値と位置 F B 1 値との第 1 偏差の高周波数成分に基づくセミクロズドフィードバック制御の割合が増加する。すなわち、連結機構 6 0 を含むフルクロズドフィードバック制御の割合が減少し、連結機構 6 0 を含まず安定動作が可能なセミクロズドフィードバック制御の割合が増加する。これより、位置決め時の高い位置決め精度を損なうことなく、サーボモータ制御装置 1 C の共振周波数の低下に起因する工作機械の振動の発生を抑制することができる。そのため、工作機械の振動の発生に起因する工作機械の加工精度の低下を抑制することができる。

10

【0109】

また、本実施形態のサーボモータ制御装置 1 C では、表示部 2 6 が、サーボモータ制御装置 1 C (すなわち、工作機械) の共振周波数の大きさに関する情報を表示するので、ユーザは工作機械の経年変化 (例えば、連結機構 6 0 の剛性の経年劣化) を確認することができる。また、ユーザは工作機械 (例えば、連結機構 6 0) の保守の必要性の有無を確認

20

【0110】

なお、本実施形態では、制御割合変更部 3 5 A は、サーボモータ制御装置 1 C の共振周波数の大きさに応じてセミクロズドフィードバック制御とフルクロズドフィードバック制御との割合を変更したが、これに限定されない。例えば、制御割合変更部 3 5 A は、保存部 2 4 に保存された所定時間間隔又は不定時間間隔ごとに取得した複数の共振周波数の大きさに基づいてサーボモータ制御装置 1 C の共振周波数の変化量 (低下量) を求め、求めたサーボモータ制御装置 1 C の共振周波数の変化量 (低下量) に応じてセミクロズドフィードバック制御とフルクロズドフィードバック制御との割合を変更してもよい。

【0111】

また、表示部 2 6 は、求めたサーボモータ制御装置 1 C の共振周波数の変化量 (低下量) を示す情報を表示してもよい。

30

【0112】

また、本実施形態では、取得部 2 0 C は、減算器 3 1 A からエンコーダ 4 0 までのセミクロズドフィードバック制御ループの利得／位相の周波数特性を測定して、サーボモータ制御装置 1 C (すなわち、工作機械) の共振周波数の大きさを求めてもよい。また、取得部 2 0 C は、減算器 1 5 からエンコーダ 4 0 までの速度制御ループの利得／位相の周波数特性を測定して、サーボモータ制御装置 1 C (すなわち、工作機械) の共振周波数の大きさを求めてもよい。

【0113】

なお、本実施形態では、工作機械の経年劣化によりサーボモータ制御装置 1 C (すなわち、工作機械) の共振周波数が低下する場合について説明した。しかし、工作機械の経年変化等の何らかの要因によりサーボモータ制御装置 1 C (すなわち、工作機械) の共振周波数が増加することも考えられる。この場合には、制御割合変更部 3 5 A は、取得されたサーボモータ制御装置 1 C の共振周波数の増加に応じて、デュアル位置制御部 3 0 A のハイパスフィルタ 3 2 A のカットオフ周波数及びローパスフィルタ 3 2 B のカットオフ周波数を高くしてもよい。

40

【0114】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は前述した実施形態に限るものではない。また、本実施形態に記載された効果は、本発明から生じる最も好適な効果を列挙

50

したに過ぎず、本発明による効果は、本実施形態に記載されたものに限定されるものではない。

【0115】

例えば、上述した実施形態は、適宜変更されてもよいし、置換又は組み合わせられて実施されてもよい。例えば、第1実施形態及び第2実施形態の力推定部（取得部）20及び剛性推定部（取得部）22と第3実施形態の取得部20Cとは適宜置換されてもよいし、第1実施形態及び第3実施形態のデュアル位置制御部30A及び制御割合変更部35Aと第2実施形態のデュアル位置制御部30B及び制御割合変更部35Bとは適宜置換されてもよい。

【0116】

また、上述した実施形態では、ハイパスフィルタ32A及び／又はローパスフィルタ32Bを用いたデュアル位置制御部30A、30Bを例示した。しかし、デュアル位置制御部30A、30Bは、ハイパスフィルタ32A及び／又はローパスフィルタ32Bに代えてバンドパスフィルタ及び／又はノッチフィルタ（バンドストップフィルタ）等を用いてもよい。この場合、制御割合変更部35A、35Bは、連結機構60の剛性の大きさに応じて各フィルタの中心周波数を変更する。

【0117】

また、上述した実施形態では、所定時間間隔又は不定時間間隔ごとに取得した複数の剛性の大きさ又は複数の共振周波数の大きさを、自装置の保存部24に保存したが、ネットワークを介して接続された外部のサーバ装置の保存部に保存していてもよい。

【0118】

また、上述した実施形態では、通知部の一例として表示部を例示したが、通知部はこれに限定されない。例えば、通知部は、1又は複数のLED等の発光部であってもよい。1つのLEDの場合、点灯及び点滅等により異なる情報を通知してもよい。また、複数のLEDの場合、同色の点灯数、又は、異なる色により異なる情報を通知してもよい。また、例えば、通知部は、ブザー音又は音声等の発音部であってもよい。

【符号の説明】

【0119】

- 1, 1A, 1B, 1C サーボモータ制御装置
- 10, 10A, 10B, 10C モータ制御部
- 12 位置指令生成部
- 14 速度指令生成部
- 15 減算器
- 16 トルク指令生成部
- 20 力推定部（取得部）
- 22 剛性推定部（取得部）
- 20C 取得部
- 24 保存部
- 26 表示部（通知部）
- 30A, 30B デュアル位置制御部
- 31A 減算器（第1減算部）
- 31B 減算器（第2減算部）
- 31C 減算器（第3減算部）
- 32A ハイパスフィルタ
- 32B ローパスフィルタ
- 33 加算器（加算部）
- 35A, 35B 制御割合変更部（変更部）
- 40 エンコーダ（第1位置検出部）
- 50 サーボモータ
- 60 連結機構

10

20

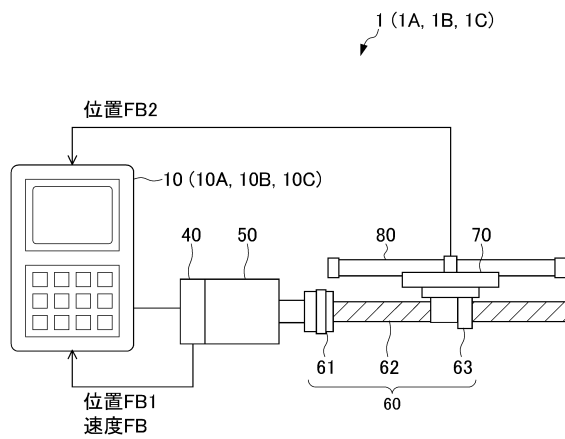
30

40

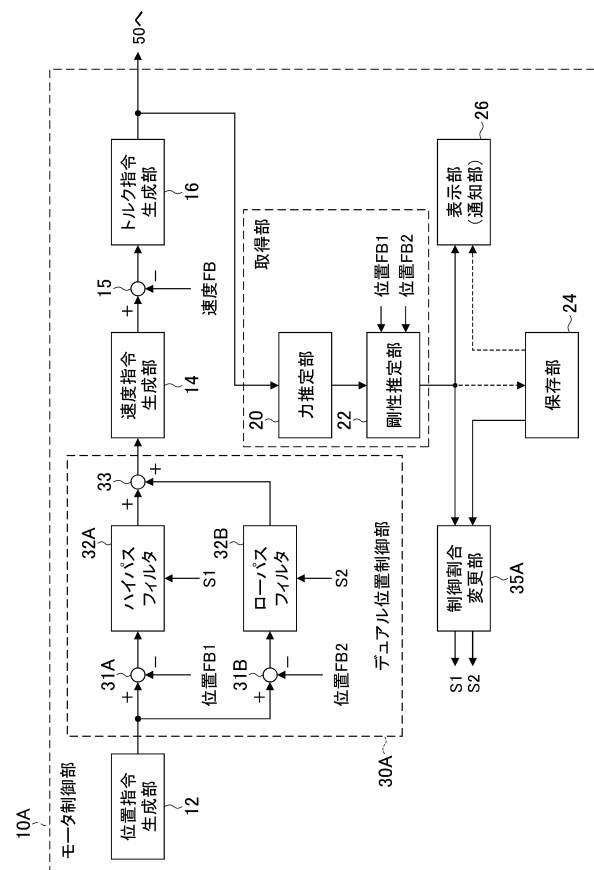
50

- 6 1 カップリング
- 6 2 ボールねじ
- 6 3 ナット
- 7 0 テーブル (被駆動体)
- 8 0 スケール (第 2 位置検出部)

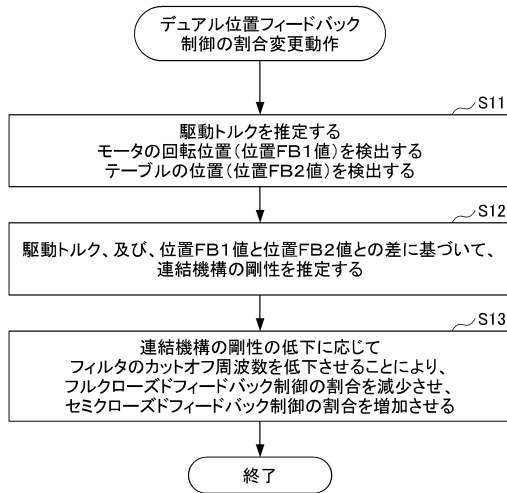
【図 1】



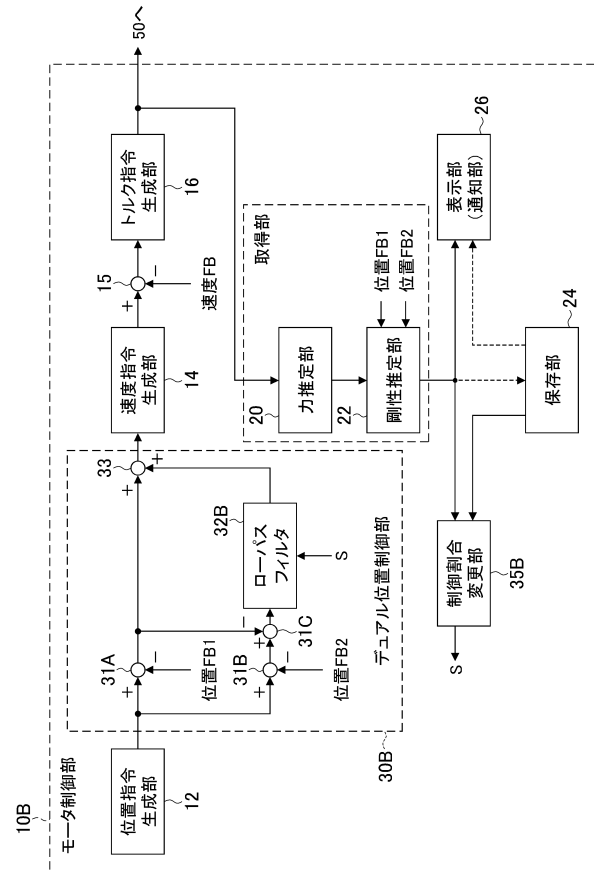
【図 2】



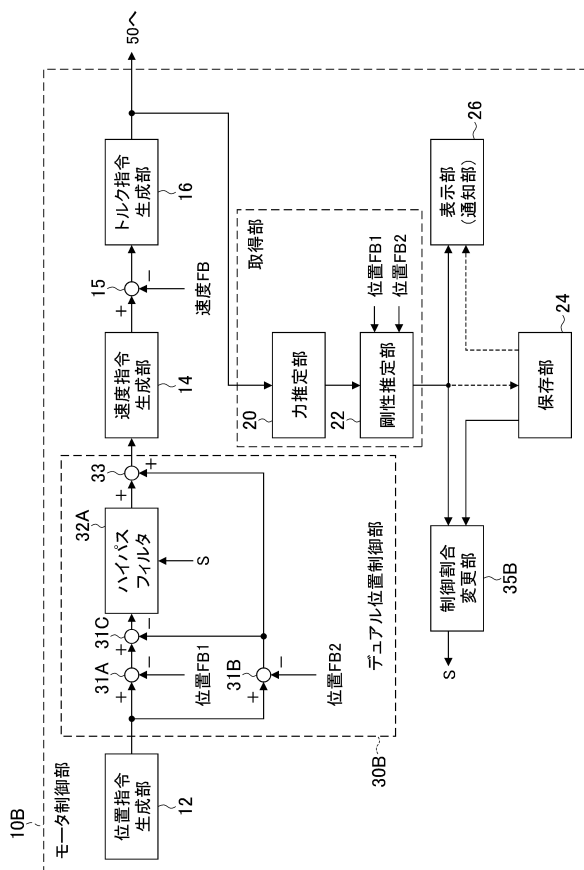
【図 3】



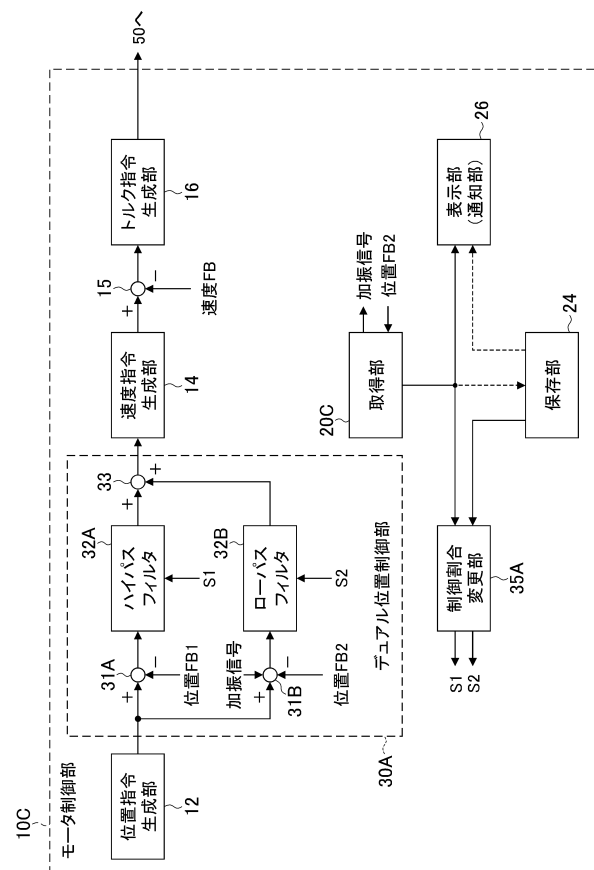
【図 4】



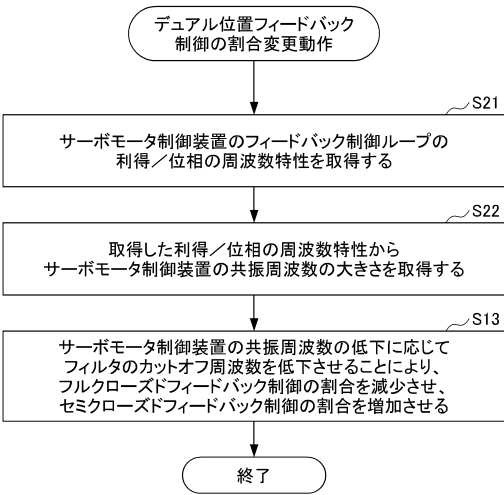
【図 5】



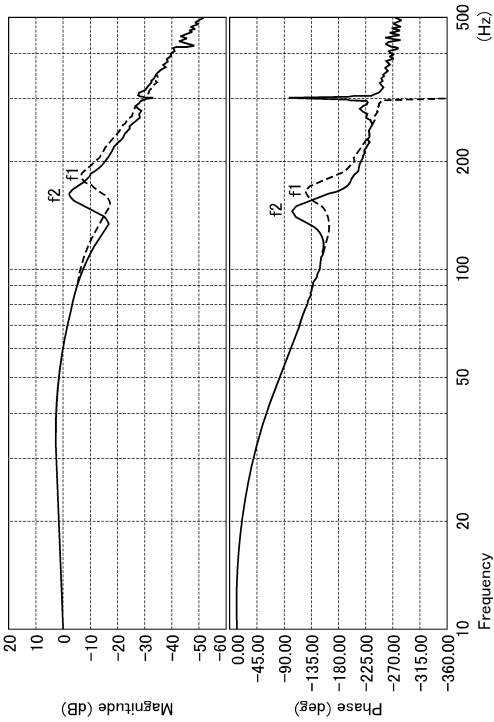
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 猪飼 聡史

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地 ファナック株式会社内

審査官 影山 直洋

(56)参考文献 特開2012-168926 (JP, A)

特開平11-345025 (JP, A)

特開2016-034224 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 29/00

G05D 3/12