

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4697139号
(P4697139)

(45) 発行日 平成23年6月8日(2011.6.8)

(24) 登録日 平成23年3月11日(2011.3.11)

(51) Int.Cl.		F I			
G05B 11/32	(2006.01)	G05B 11/32		F	
G05B 11/36	(2006.01)	G05B 11/36		505A	
G05D 3/12	(2006.01)	G05D 3/12		303A	

請求項の数 3 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2006-527826 (P2006-527826)	(73) 特許権者	000006622
(86) (22) 出願日	平成17年7月27日 (2005.7.27)		株式会社安川電機
(86) 国際出願番号	PCT/JP2005/013747		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(87) 国際公開番号	W02006/011519	(74) 代理人	100105647
(87) 国際公開日	平成18年2月2日 (2006.2.2)		弁理士 小栗 昌平
審査請求日	平成20年6月12日 (2008.6.12)	(74) 代理人	100105474
(31) 優先権主張番号	特願2004-218037 (P2004-218037)		弁理士 本多 弘徳
(32) 優先日	平成16年7月27日 (2004.7.27)	(74) 代理人	100108589
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 市川 利光
(31) 優先権主張番号	特願2004-343773 (P2004-343773)	(72) 発明者	大田 清太郎
(32) 優先日	平成16年11月29日 (2004.11.29)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		株式会社安川電機内
(31) 優先権主張番号	特願2005-106437 (P2005-106437)	(72) 発明者	中村 裕司
(32) 優先日	平成17年4月1日 (2005.4.1)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		株式会社安川電機内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 サーボ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータの速度制御を行う速度制御器と、
 目標指令のサンプリング周期間の増分である目標指令増分値と前記モータの位置出力のサンプリング周期間の増分値である位置出力増分値とを入力して、速度指令を前記速度制御器へ出力する位置制御器と、
 前記目標指令増分値を入力して、第1速度フィードフォワード信号を前記速度制御器へ出力する第1フィードフォワード制御器と、を備えたサーボ制御装置において、
 前記第1フィードフォワード制御器が、前記目標指令増分値の1階微分値に速度フィードフォワードゲインを乗じて算出した第2フィードフォワード信号を出力する第2フィード
 フォワード制御器と、前記目標指令増分値の2階微分値に制御ゲインを乗じて算出した第3速度フィードフォワード信号を出力する第3速度フィードフォワード制御器と、前記第2フィードフォワード信号と前記第3フィードフォワード信号とを加算する加算器と、を有し、前記目標指令増分値が減速時かつ設定された閾値以下であるときには前記第3速度フィードフォワード信号を、前記目標指令増分値の2階微分値に予め設定されたゲインを乗じた値もしくは零のいずれか一方とすることを特徴とするサーボ制御装置。

【請求項2】

前記制御ゲインは、加速度一定時における、前記目標指令増分値と前記位置出力増分値との偏差が零となるように設定されるものであることを特徴とする請求項1に記載のサーボ制御装置。

【請求項 3】

前記制御ゲインは、加速度一定時および躍度一定時における、前記目標指令増分値と前記位置出力増分値との偏差が零となるように設定されるものであることを特徴とする請求項 1 に記載のサーボ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は高い指令追従精度を必要とする工作機、半導体製造装置、実装機などを駆動するサーボ制御装置に関する。

【背景技術】

10

【0002】

目標指令とモータ出力とを一致させるサーボ制御装置として、従来から様々な構成が提案されている（特許文献 1 を参照）。

【0003】

図 3 は、特許文献 1 に開示されたサーボ制御装置の構成を表すブロック図である。図 3 において、1 はモータ、2 は速度制御器、5' は予測制御器、6 は差分器、50 はフィードフォワード（FF）信号作成指令フィルタである。

FF 信号作成指令フィルタ 50 に未来目標指令が入力されると、FF 信号作成指令フィルタ 50 は速度フィードフォワード信号 V_{FF} とトルクフィードフォワード信号 T_{FF} と位置指令増分値 r を生成し、予測制御器 5' には速度フィードフォワード信号 V_{FF} とトルクフィードフォワード信号 T_{FF} と位置指令増分値 r を出力し、速度制御器 2 には速度フィードフォワード信号 V_{FF} とトルクフィードフォワード信号 T_{FF} を出力する。予測制御器 2 は位置指令増分値 r 、速度フィードフォワード信号 V_{FF} 、トルクフィードフォワード信号 T_{FF} とモータ位置の増分値を入力し、速度指令を生成し速度制御器 2 に出力する。速度制御器 2 は速度指令、速度フィードフォワード信号 V_{FF} 、トルクフィードフォワード信号 T_{FF} を入力してモータに電力を供給する。モータ 1 は速度制御器から電力を供給されトルクを発生し、イナーシャや負荷に応じて加速度を発生、回転する。モータの出力は位置である。

20

【0004】

図 4 はフィードフォワード信号作成指令フィルタ 50 のブロック図である。図 4 において、21 はフィルタ、22 はフィードフォワード信号演算器、23 はメモリである。

30

フィルタ 21 は、未来目標指令をフィルタリングする目的で用いることが可能なフィルタであり、フィルタリングされた未来目標指令を出力する。メモリ 23 は、フィルタ 21 の出力を入力して、現在時刻 i から M (M は自然数) サンプル未来までの目標指令増分値 $r(i)$ 、 $r(i+1)$ 、 \dots 、 $r(i+M)$ を記憶して FF 信号演算器 22 と予測制御器 5' とに出力する。FF 信号演算器 22 は、メモリ 23 の出力を入力して、速度フィードフォワード信号 V_{FF} とトルクフィードフォワード信号 T_{FF} を生成し、予測制御器 5' と速度制御器 2 へ出力する。

【0005】

図 2 は、特許文献 1 に開示されたサーボ制御装置の構成を変形して書き直したブロック図であり、モータ 1 の出力を目標指令に一致させるように、第 2 フィードフォワード制御器 40 と、予測制御器 5 と、速度制御器 2 と、モータ 1 と、差分器 6 とを有している。図 3 と図 2 との差異は、FF 信号指令作成フィルタ 50 内のフィルタの有無にかかわらず、メモリ 23 に記憶されるべき目標指令増分値 r を直接、第 2 フィードフォワード制御器 40 と予測制御器 5 へ入力すること、FF 信号演算器 22 が演算し出力する信号を速度フィードフォワード信号 V_{FF} のみとし、FF 信号演算器 22 とメモリ 23 とを第 2 フィードフォワード制御器 40 と予測制御器 5 の両方に持たせたことである。これにより、第 2 フィードフォワード制御器 40 から出力される速度フィードフォワード信号 $V_{FF}(i)$ は速度制御器 2 へのみ出力される。

40

【0006】

50

図6は第2フィードフォワード制御器40の構成を示すブロック図である。図6を参照すると、第2フィードフォワード制御器40は、メモリ23とFF信号演算器22とを有している。メモリ23は、目標指令増分値を順次記憶して、現在時刻*i*から*M* (*M*は自然数) サンプリング未来までの指令増分値 $r(i)$ 、 $r(i+1)$ 、 \dots 、 $r(i+M)$ 記憶してFF信号演算器22に出力する。FF信号演算器22は、メモリ23から出力された指令増分値 $r(i)$ 、 $r(i+1)$ 、 \dots 、 $r(i+M)$ から速度フィードフォワード信号 $V_{FF}(i)$ を求めて出力する。速度フィードフォワード信号を求める演算式は特に限定されるものではなく、例えば、モータ1に加わる外乱が判っている場合は演算によってそれらを打ち消してもよく、また、

$$V_{FF}(i) = f_{fv} / T_s \cdot r(i+m_1) \quad 10$$

としてもよい。ここで f_{fv} はフィードフォワードゲイン、 T_s はサンプリング周期、 $r(i+m_1)$ は m_1 サンプリング未来の指令増分値、 m_1 は $0 \leq m_1$ の整数である。

【0007】

図5は予測制御器5の構成を示すブロック図である。予測制御器5は指令増分値 $r(i)$ と、モータ1の K ($K \geq 0$ の整数) サンプリング過去の位置出力のサンプリング周期間の増分値である位置出力増分値 $y(i-K)$ と、を入力し、速度指令から出力までの伝達関数モデルを用いて未来の偏差予測値を求め、その未来偏差予測値と速度指令 $u(i)$ に関する評価関数が最小となるように速度指令 $u(i)$ を決定し出力する。

【0008】

図5を参照すると、予測制御器5はFF信号演算器22と、メモリ23、101、102、103、104、105と、演算器106と、減算器108と、積算器109と、を有している。メモリ23、およびFF信号演算器22は図6記載のメモリ23、およびFF信号演算器22と同じであり、FF信号演算器22からは $V_{FF}(i)$ が出力される。メモリ103はメモリ23の出力である未来の指令増分値 $r(i+1)$ 、 $r(i+2)$ 、 \dots 、 $r(i+M)$ を入力し、過去の指令増分値 $r(i-1)$ 、 $r(i-2)$ 、 \dots 、 $r(i-K)$ を記憶する。メモリ102は予測制御用の定数 v_m ($m = -K+1, -K+2, \dots, M$)、 p_n ($n = 0, 1, \dots, N_a$)、 E 、 g_n ($n = 1, \dots, N_b + K - 1$)、 x_n ($n = 0, 1, \dots, N_d + K - 1$) を記憶する。なお、 N_a 、 N_b 、 N_d は自然数である。メモリ104は位置出力増分値 $y(i-K)$ を入力として過去の出力増分値 $y(i-K)$ 、 $y(i-K-1)$ 、 \dots 、 $y(i-K-N_a+1)$ を記憶する。メモリ105は速度指令 $u(i)$ を入力として過去の速度指令 $u(i-1)$ 、 $u(i-2)$ 、 \dots 、 $u(i-K-N_b+1)$ を記憶する。メモリ101はFF信号演算器22の出力を入力として、 $V_{FF}(i)$ 、 $V_{FF}(i-1)$ 、 \dots 、 $V_{FF}(i-K-N_d+1)$ を記憶する。減算器108はメモリ103に記憶された指令増分値 $r(i-K)$ とモータ1の位置出力増分値 $y(i-K)$ との偏差増分値を求め、積算器109は、減算器108の出力である偏差増分値を積算し、偏差 $e(i-K)$ を求める。演算器106は式(1)の演算により現在時刻の速度指令 $u(i)$ を算出して速度制御器2に出力する。

【0009】

【数1】

$$u(i) = \sum_{m=-K+1}^M y_m \Delta r(i+m) - \sum_{n=0}^{N_a-1} p_n \Delta y(i-K-n) + E \Delta(i-K) - \sum_{n=1}^{N_b+K-1} g_n u(i-n) - \sum_{n=0}^{N_d+K-1} x_n V_{FF}(i-n) \quad (1)$$

【0010】

次に、式(1)について説明する。

速度制御器2へ入力する速度フィードフォワード信号 $V_{FF}(i)$ 、および速度指令 $u(i)$ からモータ1の位置出力 $y(i)$ までの離散時間伝達関数モデルが、

【0011】

10

20

30

40

【数2】

$$y(z) = \frac{(b_1 z^{-1} + \dots + b_{Nb} z^{-Nb})u(z) + (d_1 z^{-1} + \dots + d_{Nd} z^{-Nd})V_{FF}(z)}{(1-z^{-1})(1-a_1 z^{-1} - \dots - a_{Na} z^{-Na})} \quad (2)$$

【0012】

で得られているとする。ただし、 $y(z)$ 、 $u(z)$ 、 $V_{FF}(z)$ 、はそれぞれ $y(i)$ 、 $u(i)$ 、 $V_{FF}(i)$ の z 変換である。

そこで、評価関数

【0013】

10

【数3】

$$J = \sum_{m=1}^M w_m \{e^*(i+m) + \alpha e(i-K)\}^2 + c\{u(i)\}^2 + c_d \{\Delta u(i)\}^2 \quad (3)$$

【0014】

が最小となるように速度指令 $u(i)$ を決定すると式(1)を得る。ここで、 $e^*(i+m)$ は m サンプリング未来時刻における偏差予測値、 w_m は偏差に掛ける係数、 c および c_d は速度指令 $u(i)$ およびその増分値 $\Delta u(i)$ に掛ける係数である。ここで、式(1)における各定数 v_m 、 E 、 p_n 、 g_n 、 x_n は

20

【0015】

【数4】

$$\beta_s = \sum_{j=1}^s B_{j0} \quad , \quad W = \sum_{s=1}^M w_s \beta_s^2 + c + c_d \quad , \quad q_s = w_s \beta_s / W$$

$$v_m = \sum_{s=m}^M q_s \quad , \quad m = -K+1, -K+2, \dots, M$$

$$E = (1 + \alpha)v_1$$

$$p_n = \sum_{m=-K+1}^M v_m A_{m(n+K)} \quad n = 0, 1, \dots, Na-1 \quad 30$$

$$g_1 = \sum_{m=-K+1}^M v_m B_{m1} - c_d / W \quad , \quad g_n = \sum_{m=-K+1}^M v_m B_{mn} \quad n = 2, \dots, Nb+K-1$$

$$x_n = \sum_{m=-K+1}^M v_m D_{mn} \quad n = 0, 1, \dots, Nd+K-1$$

【0016】

となる。ただし、 A_{mn} 、 B_{mn} 、 D_{mn} は式(2)における離散時間伝達関数モデルの係数 $a_1 \sim a_{Na}$ 、 $b_1 \sim b_{Nb}$ 、 $d_1 \sim d_{Nd}$ から算出される係数である。

40

このように、従来のサーボ制御装置は予測制御器5から出力される速度指令 $u(i)$ と第2フィードフォワード制御器40から出力される速度フィードフォワード信号 $V_{FF}(i)$ とを用いてモータを制御するようになっている。

また、目標指令とモータ出力とを一致させるサーボ制御装置として、図2内の予測制御器5の代わりに位置比例制御器を用いてもよい。この場合は、目標指令とモータの位置出力との偏差を比例倍して速度指令とする。

【特許文献1】特開2002-62906号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

50

従来のサーボ制御装置は予測制御器 5 により作成された速度指令 $u(i)$ と第 2 フィードフォワード制御器 40 により作成された速度フィードフォワード信号 $V_{FF}(i)$ を用いて、速度一定時の位置偏差を零とすることができるが、加速度一定時、又は、加速度及び躍度（加速度の時間微分）一定時の位置偏差を零とすることができないという問題点があった。

【0018】

また、位置比例制御、速度 PI 制御、または速度 I - P 制御であって、目標指令を微分した信号を速度フィードフォワード信号 $V_{FF}(i)$ として入力するようなサーボ制御装置であれば、速度一定時、および加速度一定時の偏差を零とすることができるが、モータに粘性摩擦を持つ制御対象の場合、加速度一定時、又は、加速度及び躍度一定時の位置偏差を零とすることができないという問題点があった。

10

【0019】

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、速度一定時の位置偏差を零とするとともに、加速度一定時、又は、加速度及び躍度一定時の位置偏差を零として高精度追従応答を実現することができるサーボ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】

【0020】

請求項 1 に記載の本発明は、モータの速度制御を行う速度制御器と、目標指令のサンプリング周期間の増分である目標指令増分値と前記モータの位置出力のサンプリング周期間の増分値である位置出力増分値とを入力して、速度指令を前記速度制御器へ出力する位置制御器と、前記目標指令増分値を入力して、第 1 速度フィードフォワード信号を前記速度制御器へ出力する第 1 フィードフォワード制御器と、を備えたサーボ制御装置において、前記第 1 フィードフォワード制御器が、前記目標指令増分値の 1 階微分値に速度フィードフォワードゲインを乗じて算出した第 2 フィードフォワード信号を出力する第 2 フィードフォワード制御器と、前記目標指令増分値の 2 階微分値に制御ゲインを乗じて算出した第 3 速度フィードフォワード信号を出力する第 3 速度フィードフォワード制御器と、前記第 2 フィードフォワード信号と前記第 3 フィードフォワード信号とを加算する加算器と、を有し、前記目標指令増分値が減速時かつ設定された閾値以下であるときには前記第 3 速度フィードフォワード信号を、前記目標指令増分値の 2 階微分値に予め設定されたゲインを乗じた値もしくは零のいずれか一方とするものである。

20

30

【0021】

請求項 2 に記載の本発明は、前記制御ゲインは、加速度一定時における、前記目標指令増分値と前記位置出力増分値との偏差が零となるように設定されるものである。

【0022】

請求項 3 に記載の本発明は、前記制御ゲインは、加速度一定時および躍度一定時における、前記目標指令増分値と前記位置出力増分値との偏差が零となるように設定されるものである。

40

【発明の効果】

【0058】

本発明によると速度一定時の位置偏差を零とするとともに、加速度一定時、又は、加速度及び躍度一定時の位置偏差を零として高精度追従応答を実現することができる。特に請求項 1 の発明によると指令払い出し後の位置偏差をさらに小さくすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0059】

【図 1】本発明の第 1 および第 2 実施例を示すサーボ制御装置のブロック図

【図 2】従来のサーボ制御装置のブロック図

【図 3】従来の予測制御装置を用いた特許文献 1 のサーボ制御装置のブロック図

50

- 【図 4】従来の予測制御装置を用いた F F 信号作成フィルタを示すブロック図
 【図 5】従来の予測制御装置を用いた予測制御器の一例を示すブロック図
 【図 6】従来の予測制御装置を用いた F F 信号作成フィルタの一例を示すブロック図
 【図 7】本発明の第 3 実施例を示すサーボ制御装置のブロック図
 【図 8】本発明の第 4 実施例を示すサーボ制御装置のブロック図
 【図 9】本発明の第 5 実施例を示すサーボ制御装置のブロック図

【符号の説明】

【 0 0 6 0 】

- | | | |
|-------|------------------|----|
| 1 | モータ | |
| 2 | 速度制御器 | 10 |
| 3 | 位置制御器 | |
| 4 | 第 1 フィードフォワード制御器 | |
| 5 | 予測制御器 | |
| 5' | 予測制御器 | |
| 6 | 差分器 | |
| 7 | 第 1 フィードフォワード制御器 | |
| 2 1 | フィルタ | |
| 2 2 | F F 信号演算器 | |
| 2 3 | メモリ | |
| 4 0 | 第 2 フィードフォワード制御器 | 20 |
| 4 1 | 第 3 フィードフォワード制御器 | |
| 4 2 | 加算器 | |
| 4 3 | フィードフォワード変更手段 | |
| 5 0 | F F 信号作成指令フィルタ | |
| 6 0 | 予測制御装置 | |
| 7 0 | 第 2 フィードフォワード制御器 | |
| 7 1 | 第 3 フィードフォワード制御器 | |
| 7 2 | 加算器 | |
| 7 3 | フィードフォワード変更手段 | |
| 1 0 0 | メモリ | 30 |
| 1 0 1 | メモリ | |
| 1 0 2 | メモリ | |
| 1 0 3 | メモリ | |
| 1 0 4 | メモリ | |
| 1 0 5 | メモリ | |
| 1 0 6 | 演算器 | |
| 1 0 8 | 減算器 | |
| 1 0 9 | 積算器 | |

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 6 1 】

以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。

【実施例 1】

【 0 0 6 2 】

図 1 は本発明の実施例 1 を説明するためのサーボ制御装置のブロック図である。図 1 において、1 はモータ、2 は速度制御器、3 は位置制御器である。また 4 は第 1 のフィードフォワード制御器、4 0 は第 2 フィードフォワード制御器、4 1 は第 3 フィードフォワード制御器、4 2 は加算器である。

第 1 フィードフォワード制御器 4 は第 2 フィードフォワード制御器 4 0 と第 3 フィードフォワード制御器 4 1 と加算器 4 2 とを備えており、図示していない上位指令器より与えられた目標指令のサンプリング周期間の増分である目標指令増分値 r を基に、第 2 フィ

ードフォワード制御器 40 の出力である第 2 速度フィードフォワード信号 V_{FF} と、
 $K_2 (1 - z^{-1}) / Ts^2$

なる伝達関数特性をもつ第 3 フィードフォワード制御器 41 の出力第 3 速度フィードフォワード信号とを加算器 42 により加算し、第 1 速度フィードフォワード信号 V_{F2} として速度制御器へ出力する。

即ち、速度フィードフォワード信号 V_{F2} は、

$$V_{F2} = [\{ K_2 (1 - z^{-1}) r \} / Ts^2] + V_{FF} \quad (4)$$

で与えられる。ここで、 r は目標指令増分値、 Ts はサンプリング周期、 K_2 は制御ゲイン、 V_{FF} は第 2 速度フィードフォワード信号であり、例えば、フィードフォワードゲイン ffv により、

$$V_{FF}(i) = ffv / Ts \cdot r \quad (5)$$

として与える。

本実施例のサーボ制御装置が特許文献 1 と異なる部分は、第 2 速度フィードフォワード信号 V_{FF} に目標指令を 2 回微分して制御ゲイン K_2 を乗じた信号を加算した信号を第 1 速度フィードフォワード信号 V_{F2} としていることである。

このとき、速度制御器 2 は I - P 制御器ないし、PI 制御器であるものとする。また、位置制御器 3 は、特許文献 1 に記載された予測制御器 5 であるような、既存のものでよい。いま、速度フィードフォワード信号 $V_{FF}(i)$ 、および速度指令 $u(i)$ からモータ 1 の出力 $y(i)$ までの離散時間伝達関数モデルが、

【 0 0 6 3 】

【 数 1 9 】

$$y(z) = K_{gv} \frac{(b_1' z^{-1} + \dots + b_{Nb}' z^{-Nb}) u(z) + (d_1' z^{-1} \cdot \dots + d_{Nd}' z^{-Nd}) V_{FF}(z)}{(1 - z^{-1})(1 - a_1 z^{-1} - \dots - a_{Na} z^{-Na})} \quad (6)$$

【 0 0 6 4 】

ただし、 K_{gv} は速度指令から速度フィードバックまでの定常ゲイン、で与えられ、 $Na = 1$ 、 $Nb = 2$ 、 $Nd = 2$ 、 $d_n' = b_n'$ ($n = 1, 2$)、 $K = 0$ の場合を考える。さらに、位置制御器 3 から出力される速度指令 $u(i)$ を

【 0 0 6 5 】

【 数 2 0 】

$$u(i) = \sum_{m=1}^M v_m \Delta r(i+m) - p_0 \Delta y(i) + E \alpha(i) - g_1 u(i-1) - \sum_{n=0}^1 x_n V_{FF}(i-n) \quad (7)$$

【 0 0 6 6 】

で与え、各定数 v_m 、 E 、 p_0 、 g_1 、 x_n ($n = 1, 2$) は

【 0 0 6 7 】

10

20

30

【数 2 1】

$$\beta s' = \sum_{j=1}^s B_{j0}' , \quad Wc' = \sum_{s=1}^M \beta_s'^2 , \quad q_s^* = \beta_s' / Wc'$$

$$v_m^* = \sum_{s=m}^M q_s^* , \quad v_m = \frac{v_m^*}{K_{gv}(1+C+C_D)} \quad m=1,2,3,\dots,M$$

$$E = \frac{(1+\alpha) v_1^*}{K_{gv}(1+C+C_D)} \quad 10$$

$$p_0^* = \sum_{m=1}^M v_m^* A_{m0}$$

$$p_0 = \frac{p_0^*}{K_{gv}(1+C+C_D)}$$

$$g_1^* = \sum_{m=1}^M v_m^* B_{m1}'$$

$$g_1 = \frac{g_1^* - C_D}{1+C+C_D} \quad 20$$

$$x_0 = \frac{1}{1+C+C_D} , \quad x_1 = \frac{g_1^*}{1+C+C_D}$$

(8)

【0068】

ただし、 A_{mn} 、 B_{mn}' は式(6)における離散時間伝達関数モデルの係数 $a_1 \sim a_N$ 、 $b_1' \sim b_{N_b}'$ から算出される係数である。

式(5)、(7)、(8)より、図1における位置制御器3の伝達関数は

【0069】

30

【数 2 2】

$$u = \frac{V_{sum} - \frac{ffv}{Ts} X(z) + \frac{E}{1-z^{-1}} \Delta r - \frac{E}{1-z^{-1}} + P_0}{1+G(z)} \Delta r - \frac{E}{1+G(z)} \Delta y \quad (9)$$

【0070】

ただし、 V_{sum} 、 $G(z)$ 、 $X(z)$ 、 P_0 はそれぞれ、 $C=0$ を条件として、

【0071】

【数 2 3】

$$v_{sum} = \sum_{m=1}^M v_m^*$$

$$V_{sum} = \frac{v_{sum}}{Kgv(1+C_D)}$$

$$G(z) = \frac{(g_1^* - C_D)z^{-1}}{1+C_D}$$

$$X(z) = \frac{1+g_1^* \cdot z^{-1}}{1+C_D}$$

$$P_0 = \frac{-1-g_1^* + Ts \cdot v_{sum}}{Kgv \cdot Ts(1+C_D)}$$

(10)

【0072】

となる。

なお、本実施例におけるサーボ制御装置の位置制御器 3 は、必ずしも予測制御系である必要はなく、式(9)および、式(10)を満足するような任意の位置制御器であって、速度制御器 2 が I - P 制御器であれば、第 1 フィードフォワード制御器 4 内の制御ゲイン K_2 を

【0073】

【数 2 4】

$$K_2 = Ti(1-ffv) + \frac{Ts}{1+g_1^*} (C_D(1-ffv) - g_1^*) + \frac{D \cdot Ti}{J \cdot Kv} \quad (11)$$

【0074】

ただし、D は粘性摩擦係数、J はモータイナーシャ、Ti は前記速度制御器における速度ループ積分時定数、Kv は前記速度制御器における速度ループゲイン、
で与えることで、加速度一定時の偏差を零とすることができ、
速度制御器 2 が P I 制御器であれば、制御ゲイン K_2 を

【0075】

【数 2 5】

$$K_2 = \frac{Ts}{1+g_1^*} (C_D(1-ffv) - g_1^*) + \frac{D \cdot Ti}{J \cdot Kv} \quad (12)$$

【0076】

で与えることで、加速度一定時の偏差を零とすることができる。

【実施例 2】

【0077】

図 1 に示すサーボ制御装置における位置制御器 3 は予測制御器に代えて他の構成の位置制御器であってもよく、位置制御器 3 が位置比例制御器であって、速度制御器 2 が、速度 I - P 制御器または速度 P I 制御器である場合には、

$$K_2 = D T_i / (J K_v)$$

$$ffv = 1$$

10

20

30

40

50

で与えることで、加速度一定時の偏差を零とすることができる。

【実施例 3】

【0078】

図7は図1に示したサーボ制御装置の第1フィードフォワード制御器4内にフィードフォワード変更手段43が追加されたものである。フィードフォワード変更手段43は目標指令増分値 r が減速時でかつ設定された閾値以下の時には第3フィードフォワード制御器41の出力を零とするか、または第3フィードフォワード制御器41の出力に設定されたゲインを乗じて出力することで、指令払い出し後の位置偏差をさらに小さくすることができる。

【実施例 4】

【0079】

図8は本発明の実施例4を説明するためのサーボ制御装置のブロック図である。図8において、サーボ制御装置は、第1フィードフォワード制御器7と、位置制御器3と、速度制御器2とを備えており、モータ1を制御する。

第1フィードフォワード制御器7は第2フィードフォワード制御器70と第3フィードフォワード制御器71と加算器72とを備えており、上位指令器(不図示)より与えられた目標指令のサンプリング周期間の増分である目標指令増分値を基に、第2フィードフォワード制御器70の出力である従来速度フィードフォワード信号 V_{FF} と、

【0080】

【数26】

$$\frac{K_2}{Ts^2}(1-z^{-1})$$

【0081】

なる伝達関数特性をもつ第3フィードフォワード制御器71の出力とを加算器72により加算し、速度フィードフォワード信号 V_{F2} として生成する。即ち、速度フィードフォワード信号 V_{F2} は、

【0082】

【数27】

$$V_{F2} = \frac{K_2}{Ts^2}(1-z^{-1})\Delta r + V_{FF} \quad (13)$$

【0083】

なる伝達関数で与えられる。ここで、 r は目標指令増分値、 Ts はサンプリング周期、 K_2 は制御ゲイン、 V_{FF} は通常用いられる速度フィードフォワード信号であり、フィードフォワードゲイン ffv により、

【0084】

【数28】

$$V_{FF} = \frac{ffv}{Ts} \Delta r \quad (14)$$

【0085】

として与える。

本実施例のサーボ制御装置が特許文献1と異なる部分は、通常速度フィードフォワード信号 V_{FF} に目標指令を2回微分して制御ゲイン K_2 を乗じた信号を加算した信号を速度フィードフォワード信号 V_{F2} としていることである。

このとき、速度制御器2はI-P制御器ないし、PI制御器であるものとする。

10

20

30

40

50

また、位置制御器 3 は、特許文献 1 に記載された予測制御器 5 であるような、既存のものでよい。いま、速度フィードフォワード信号 $V_{FF}(i)$ 、および速度指令 $u(i)$ からモータ 1 の出力 $y(i)$ までの離散時間伝達関数モデルが、

【 0 0 8 6 】

【 数 2 9 】

$$y(z) = K_{gv} \left\{ (b_1' z^{-1} + \dots + b_{Nb}' z^{-Nb}) u(z) + (d_1' z^{-1} + \dots + d_{Nd}' z^{-Nd}) V_{FF}(z) \right\} / \left\{ (1 - z^{-1})(1 - a_1 z^{-1} - \dots - a_{Na} z^{-Na}) \right\} \quad (15)$$

10

【 0 0 8 7 】

ただし、 K_{gv} は速度指令から速度フィードバックまでの定常ゲイン、 α で与えられ、 $Na = 1$ 、 $Nb = 2$ 、 $Nd = 2$ 、 $d_n' = b_n'$ ($n = 1, 2$)、 $K = 0$ の場合を考える。さらに、位置制御器 3 から出力される速度指令 $u(i)$ を

【 0 0 8 8 】

【 数 3 0 】

$$u(i) = \sum_{m=1}^M v_m \Delta r(i+m) - p_0 \Delta y(i) + E e(i) - g_1 u(i-1) - \sum_{n=0}^1 x_n V_{FF}(i-n) \quad (16)$$

20

【 0 0 8 9 】

で与え、各定数 v_m 、 E 、 p_0 、 g_1 、 x_n ($n = 1, 2$) は

【 0 0 9 0 】

【 数 3 1 】

$$\beta_s' = \sum_{j=1}^s B_{j0}' \quad , \quad W_c' = \sum_{s=1}^M \beta_s'^2 \quad , \quad q_s^* = \beta_s' / W_c'$$

$$v_m^* = \sum_{s=m}^M q_s^* \quad , \quad v_m = \frac{v_m^*}{K_{gv}(1+C+C_D)} \quad , \quad m = 1, 2, \dots, M$$

30

$$E = \frac{(1+\alpha)v_1^*}{K_{gv}(1+C+C_D)}$$

$$P_0^* = \sum_{m=1}^M v_m^* A_{m0}$$

$$P_0 = \frac{P_0^*}{K_{gv}(1+C+C_D)} \quad (17)$$

$$g_1^* = \sum_{m=1}^M v_m^* B_{m1}'$$

40

$$g_1 = \frac{g_1^* - C_D}{1+C+C_D}$$

$$x_0 = \frac{1}{1+C+C_D} \quad , \quad x_1 = \frac{g_1^*}{1+C+C_D}$$

【 0 0 9 1 】

ただし、 A_{mn} 、 B_{mn}' は式 (15) における離散時間伝達関数モデルの係数 $a_1 \sim a_{Na}$ 、 $b_1' \sim b_{Nb}'$ から算出される係数である。

式 (14)、(16)、(17) より、図 8 における位置制御器 3 の伝達関数は

50

【 0 0 9 2 】

【 数 3 2 】

$$u = \frac{V_{sum} - \frac{ffv}{Ts} X(z) + \frac{E}{1-z^{-1}}}{1+G(z)} \Delta r - \frac{\frac{E}{1-z^{-1}} + P_0}{1+G(z)} \Delta y \quad (18)$$

【 0 0 9 3 】

ただし、 V_{sum} 、 $G(z)$ 、 $X(z)$ 、 P_0 はそれぞれ、 $C=0$ を条件として、

10

【 0 0 9 4 】

【 数 3 3 】

$$v_{sum} = \sum_{m=1}^M v_m^*$$

$$V_{sum} = \frac{v_{sum}}{Kgv(1+C_D)}$$

$$G(z) = \frac{(g_1^* - C_D)z^{-1}}{1+C_D} \quad (19)$$

$$X(z) = \frac{1+g_1^* \cdot z^{-1}}{1+C_D}$$

$$P_0 = \frac{-1-g_1^* + Ts \cdot v_{sum}}{Kgv \cdot Ts(1+C_D)}$$

20

【 0 0 9 5 】

となる。

30

なお、本実施例におけるサーボ制御装置の位置制御器3は、必ずしも予測制御系である必要はなく、式(18)および、式(19)を満足するような任意の位置制御器であって、速度制御器2がI-P制御器であれば、第1フィードフォワード制御器7内の速度フィードフォワードゲイン ffv を

【 0 0 9 6 】

【 数 3 4 】

$$ffv = \frac{D \cdot T(1+g_1^*)^2(T_i - 2Ts) + J \{ (1+g_1^*)^2 K_v T_i^2 + K_v T_s^2 (C_D - g_1^*)^2 - T(1+g_1^*) (1+g_1^* - C_D \cdot K_v T_s + g_1^* \cdot K_v T_s) \}}{J \cdot K_v T_i^2 (1+g_1^*)^2 + C_D \cdot T_i T_s (1+g_1^*) + C_D \cdot T_s^2 (C_D - g_1^*)}$$

40

【 0 0 9 7 】

ただし、 D は粘性摩擦係数、 J はモータイナーシャ、 T_i は前記速度制御器における速度ループ積分時定数、 K_v は前記速度制御器における速度ループゲイン、として与え、制御ゲイン K_2 を

【 0 0 9 8 】

【数 3 5】

$$K_2 = Ti(1 - ffv) + \frac{Ts}{1 + g_1^*} (C_D(1 - ffv) - g_1^*) + \frac{D \cdot Ti}{J \cdot Kv}$$

【0099】

で与えることで、加速度一定となる目標指令

【0100】

【数 3 6】

$$r = \frac{A \cdot Ts^2 \cdot z^{-1} \cdot (1 + z^{-1})}{2 \cdot (1 - z^{-1})^3}$$

10

【0101】

(ただし、Aは加速度の定常ゲインとする)を入力した時、最終値の定理より、

【0102】

【数 3 7】

$$\lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1})e(z) \quad (20)$$

20

【0103】

式(20)の値が0となるので、加速度一定時の偏差は零である。ただし、e(z)は目標指令とモータ1の出力との偏差e(i)のz変換である。

また、同様に躍度一定となる目標指令

【0104】

【数 3 8】

$$r = \frac{Jr \cdot Ts^3 \cdot z^{-2} \cdot (1 + 4 \cdot z^{-1} + z^{-2})}{6 \cdot (1 - z^{-1})^4}$$

30

【0105】

(ただし、Jrは躍度の定常ゲインとする)を入力した時、式(20)の値が0となるので、躍度一定時の偏差は零である。

また、速度制御器2がPI制御器の場合は、速度フィードフォワードゲインffvを

【0106】

【数 3 9】

$$ffv = \frac{D \cdot Ti(1 + g_1^*)^2(Ti - 2Ts) - J\{(1 + g_1^*)^2 Ti - Kv \cdot Ts^2(C_D - g_1^*)^2\}}{J \cdot Kv \cdot Ts^2 \cdot C_D(C_D - g_1^*)}$$

40

【0107】

として与え、制御ゲインK₂を

【0108】

【数 4 0】

$$K_2 = \frac{Ts}{1 + g_1^*} (C_D(1 - ffv) - g_1^*) + \frac{D \cdot Ti}{J \cdot Kv}$$

【0109】

で与えることで、I-P制御器の場合と同様に、加速度及び躍度一定時の偏差は零となる

50

【実施例 5】

【0110】

図9は図8に示したサーボ制御装置の第1フィードフォワード制御器7内にフィードフォワード変更手段73が追加されたものである。フィードフォワード変更手段73は目標指令増分値 r が減速時でかつ設定された閾値以下の時には第3フィードフォワード制御器71の出力を零とするか、または第3フィードフォワード制御器71の出力に設定されたゲインを乗じて出力することで、指令払い出し後の位置偏差をさらに小さくすることができる。

【0111】

本発明を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

本出願は、2005年4月1日出願の日本特許出願No. 2005-106437, 2005-106438に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

【産業上の利用可能性】

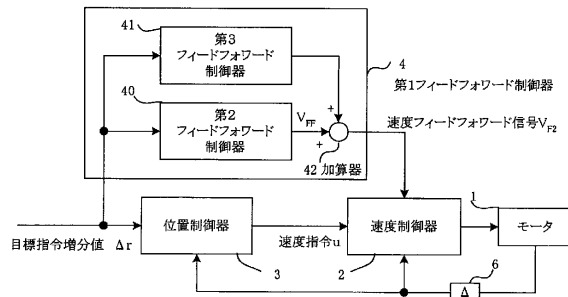
【0112】

速度フィードフォワード信号として、目標指令の微分値にフィードフォワードゲイン f_{fv} を乗じた信号と目標指令を2回微分して制御ゲイン K_2 を乗じた信号とを加算した信号を使用することで、加速度一定時、又は、加速度及び躍度一定時の位置偏差を零として、追従精度を改善することができるので、同期制御を行うような機械にも適用できる。

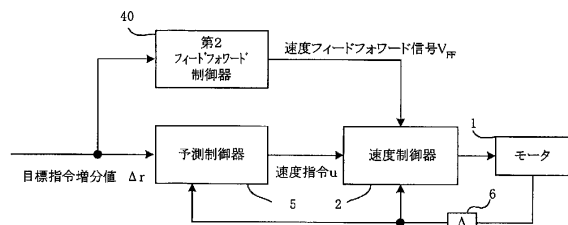
10

20

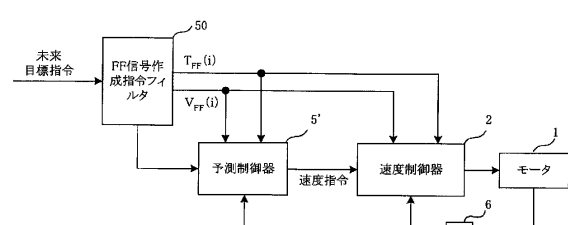
【図1】



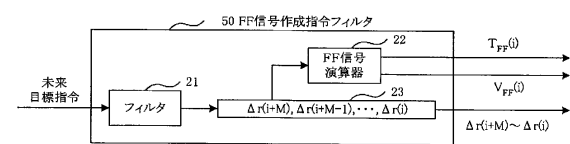
【図2】



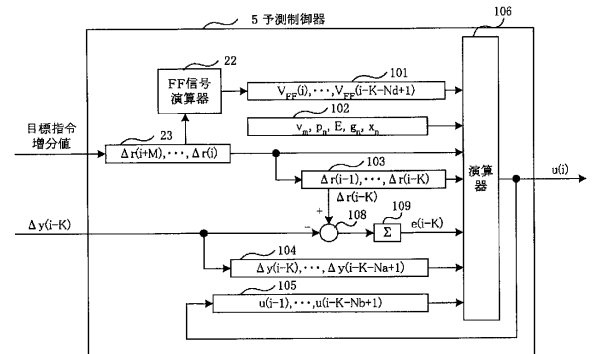
【図3】



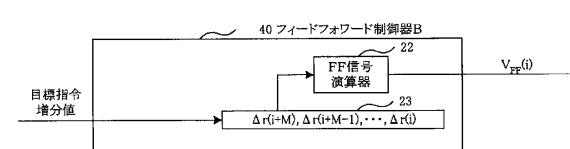
【図4】



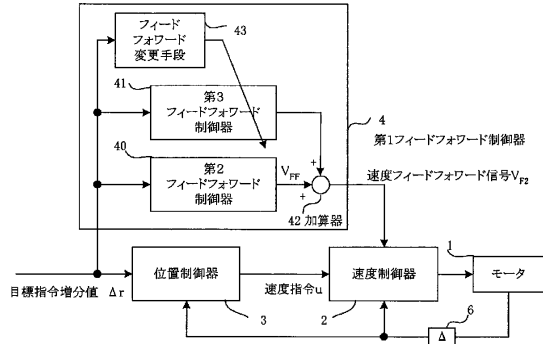
【図5】



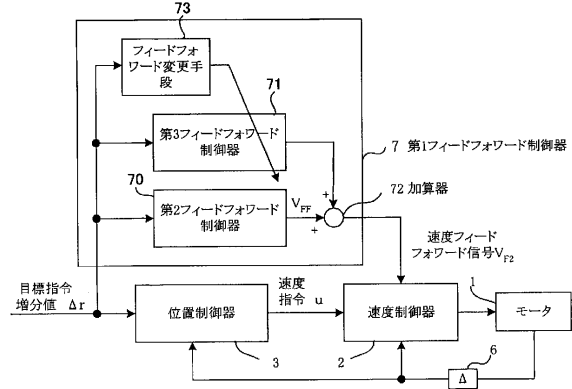
【図6】



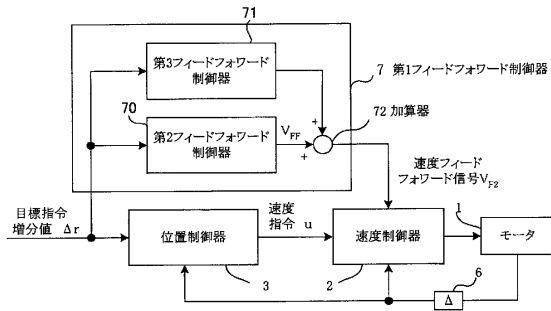
【図7】



【図9】



【図8】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願2005-106438(P2005-106438)

(32)優先日 平成17年4月1日(2005.4.1)

(33)優先権主張国 日本国(JP)

審査官 青山 純

(56)参考文献 特開平05-061506(JP,A)

特開2004-213472(JP,A)

特開平1-319810(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 11/32

G05B 11/36

G05D 3/12