

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4623292号
(P4623292)

(45) 発行日 平成23年2月2日 (2011.2.2)

(24) 登録日 平成22年11月12日 (2010.11.12)

(51) Int. Cl.

F I

H O 2 P

29/00

(2006.01)

G O 5 D

3/12

(2006.01)

G O 5 B

11/32

(2006.01)

H O 2 P

5/00

G

G O 5 D

3/12

3 O 5 Z

G O 5 B

11/32

F

請求項の数 8 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2005-218658 (P2005-218658)	(73) 特許権者	000006622
(22) 出願日	平成17年7月28日 (2005.7.28)		株式会社安川電機
(65) 公開番号	特開2007-37332 (P2007-37332A)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(43) 公開日	平成19年2月8日 (2007.2.8)	(72) 発明者	萩原 淳
審査請求日	平成20年2月25日 (2008.2.25)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
			株式会社 安川電機内
		(72) 発明者	大田 清太郎
			福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
			株式会社 安川電機内
		(72) 発明者	中村 裕司
			福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
			株式会社 安川電機内
		審査官	天坂 康種
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 デジタルサーボ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入力された速度指令に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記速度指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、

前記フィードフォワード制御手段が、前記速度指令の値と予め設定した閾値とを比較し、前記速度指令の値が前記予め設定した閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記速度指令の値が前記予め設定した閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするデジタルサーボ制御装置。

【請求項 2】

入力された速度指令に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記速度指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、

前記フィードフォワード制御手段が、前記速度指令の値と予め設定した第 1 の閾値および第 2 の閾値とを比較し、前記速度指令の値が前記第 2 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記速度指令の値が前記第 2 の閾値以下かつ前記第 1 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォ

ード信号の値を 0 より大きく 1 以下の定数倍とし、前記速度指令の値が前記第 1 の閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするデジタルサーボ制御装置。

【請求項 3】

入力された位置指令に基づいて速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記速度フィードフォワード信号の値と予め設定した閾値とを比較し、前記速度フィードフォワード信号の値が前記予め設定した閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記速度フィードフォワード信号の値が前記予め設定した閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするデジタルサーボ制御装置。

10

【請求項 4】

入力された位置指令に基づいて速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記速度フィードフォワード信号の値と予め設定した第 1 の閾値および第 2 の閾値とを比較し、前記速度フィードフォワード信号の値が前記第 2 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記速度フィードフォワード信号の値が前記第 2 の閾値以下かつ前記第 1 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 より大きく 1 以下の定数倍とし、前記速度フィードフォワード信号の値が前記第 1 の閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするデジタルサーボ制御装置。

20

【請求項 5】

入力された位置指令に基づいて指令速度および速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記指令速度の値と予め設定した閾値とを比較し、前記指令速度の値が前記予め設定した閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記指令速度の値が前記予め設定した閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするデジタルサーボ制御装置。

30

【請求項 6】

入力された位置指令に基づいて指令速度および速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記指令速度の値と予め設定した第 1 の閾値および第 2 の閾値とを比較し、前記指令速度の値が前記第 2 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記指令速度の値が前記第 2 の

40

50

閾値以下かつ前記第 1 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 より大きく 1 以下の定数倍とし、前記指令速度の値が前記第 1 の閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするデジタルサーボ制御装置。

【請求項 7】

入力された位置指令増分値に基づいて速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令増分値に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、

前記フィードフォワード制御手段が、前記位置指令増分値と予め設定した閾値とを比較し、前記位置指令増分値が前記予め設定した閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記位置指令増分値が前記予め設定した閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするデジタルサーボ制御装置。

【請求項 8】

入力された位置指令増分値に基づいて速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令増分値に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、

前記フィードフォワード制御手段が、前記位置指令増分値と予め設定した第 1 の閾値および第 2 の閾値とを比較し、前記位置指令増分値が前記第 2 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記位置指令増分値が前記第 2 の閾値以下かつ前記第 1 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 より大きく 1 以下の定数倍とし、前記位置指令増分値が前記第 1 の閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするデジタルサーボ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、デジタル制御時の位置決め性能を向上させるデジタルサーボ制御装置及びその制御方法のトルクフィードフォワード信号作成に関する。

【背景技術】

【0002】

従来のサーボ制御方法は、位置指令を微分して速度フィードフォワード信号とし、もう一度微分してトルクフィードフォワード信号を作成し、そのまま使用していた。（例えば、特許文献 1 参照）。

第 5 図は従来のサーボ制御装置のブロック線図である。

第 5 図中、伝達関数 30 の K P は位置ループにおけるポジションゲイン、伝達関数 32 の K1 は速度ループにおける積分ゲイン、伝達関数 34 の k2 は速度ループにおける比例ゲイン、36 は電流ループ回路、38 はサーボモータの電気部で、R は巻線の抵抗、L は巻線のインダクタンス、40 はサーボモータの機械部で、Kt はトルク定数、Jm はイナーシャ、42 はサーボモータの回転速度を積分し、位置を算出する伝達関数である。また、伝達関数 44 は位置のフィードフォワード項であり、1 は位置のフィードフォワード係数である。46 は速度のフィードフォワード項であり、2 は速度のフィードフォワード係数である。上記速度フィードフォワード係数 2 は通常、 J_m/K_t （ J_m : イナーシャ、 K_t : トルク定数）の値に近い値

10

20

30

40

50

がとられる。なお、位置のフィードフォワード項44のフィードフォワード係数 1 の値はモータの特性等に合わせ実験的に決められる（理想的には「1」がよい）。

【0003】

従来の制御では、位置指令 a を微分し、その微分値に位置のフィードフォワード係数 1 を乗じて位置のフィードフォワード制御量とし、通常的位置ループ制御、即ち、位置指令 a からモータの現在位置 P を減じて位置偏差 を求め、これに位置ループゲイン KP を乗じて通常速度指令を求める。そして、この通常速度指令に位置のフィードフォワード制御量を加算し、位置のフィードフォワード制御が行われた位置指令 V_c を求める。

一方、位置のフィードフォワード制御量を微分し、速度のフィードフォワード係数 2 を乗じ、速度のフィードフォワード制御量を求め、かつ、速度ループ制御（IP制御）、即ち、速度指令 V_c からサーボモータの実速度 V を減じて速度偏差を求め、該速度偏差を積分し積分ゲイン $k1$ を乗じた値からサーボモータの実速度 V に比例ゲイン $k2$ を掛けた値を減じて得られる従来の電流指令値に、上記速度フィードフォワード制御量を加算し電流指令 I_c を求める。

【0004】

位置指令 a の値が変化すれば位置偏差 も大きくなり、通常的位置ループ処理で出力される速度指令も大きく変化するが、位置ループ処理の遅れがある。しかし、位置のフィードフォワード制御によって、位置指令 a の変化量に応じて位置のフィードフォワード制御量も増大して速度指令に加算され、フィードフォワード制御された速度指令となるから、位置ループの遅れは補償される。また、速度ループも同様で、速度指令の変化に応じて、通常速度ループ処理による電流指令も変化するが、積分項があるため遅れが生じる。しかし、この場合も、速度のフィードフォワード制御によって速度のフィードフォワード制御量が加算され電流指令となるから、速度ループの遅れも補償され、全体としてサーボ系の応答は向上する。その結果、位置指令 a に対するサーボモータの追従性が良くなり、位置偏差のうねりは軽減されることとなる。

【0005】

従来の制御をデジタル制御で実現する際は以下の方法がとられていた。

位置，速度ループ処理の周期を Tp とし、各位置，速度ループ処理における位置指令を $a(n)$ ($n = 1, 2, 3, \dots$ で、 $n = 0$ では $a(n) = 0$) とすると、

位置指令 $a(n)$ の微分値 $b(n)$ は実際には差分として次の第(1)式の演算によって算出される。

【0006】

$$b(n) = \{a(n) - a(n-1)\} / Tp \quad \dots (1)$$

【0007】

位置のフィードフォワード信号は、上記 $b(n)$ の値に位置のフィードフォワード係数 1 を乗じてフィードフォワード制御量 $c(n)$ としていた。

【0008】

$$c(n) = 1 \cdot b(n) \quad \dots (2)$$

【0009】

速度のフィードフォワード信号 Dn は、式(3)に示すように、位置のフィードフォワード制御量 $c(n)$ から前周期の位置のフィードフォワード制御量 $c(n-1)$ を減じ、得られた値に ($2/Tp$) を乗じて求めていた。

【0010】

$$d(n) = 2 \cdot \{(c(n) - c(n-1))\} / Tp \quad \dots (3)$$

【0011】

このように、従来のフィードフォワード制御装置では、単純に位置指令を微分（今回値と前回値の差をサンプリング周期で除算）したものに 1 を乗じたものを速度フィードフォワード信号とし、もう一度微分したものに 2 を乗じたものを電流（あるいはトルク）フィードフォワード信号とするという手順がとられていた。

【特許文献1】特許第2762364号公報（第4 - 7頁、図1、図8）

10

20

30

40

50

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

従来のサーボ制御方法では、単純に位置指令を微分（今回値と前回値の差をサンプリング周期で除算）したものに 1 を乗じたものを速度フィードフォワード信号とし、もう一度微分したものに 2 を乗じたものを電流（あるいはトルク）フィードフォワード信号とするという手順をとっている。理想的には、速度指令終了後、次の 1 サンプリング間は、速度フィードフォワード信号が 0 であるため、電流フィードフォワード信号も 0 である必要があるのに、0 次ホールドのせいで、図 4（b）の斜線部分に示すように電流フィードフォワードが 1 サンプリング分多めに出力されてしまい、結果として過補償となり、オーバシュートや位置偏差の増大を招いてしまうという問題があった。

10

また、実際には制御演算の遅れが 1 サンプリング分あるため、図 4（c）の斜線部に示すように 2 サンプリング分余分に電流フィードフォワードが出てることになったり、さらに、制御演算の遅れ以外に差分近似の影響でさらに 0.5 サンプリング時間遅れが生じるため、図 4（d）の斜線部に示すように 2.5 サンプリング分余分に電流フィードフォワードが出てることになり、結果としてさらに過補償となり、オーバシュートや位置偏差の増大を招いてしまうという問題があった。

【0013】

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、位置指令を用いて速度フィードフォワード信号とトルクフィードフォワード信号を作成し、前記位置指令を微分して指令速度を計算し、前記指令速度の値が予め設定した閾値より大きいサンプリング時は、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記指令速度の値が予め設定した閾値以下のサンプリング時は、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とするため、トルクフィードフォワード信号を理想的に作成でき、位置決め時の偏差を非常に小さくすることができるデジタルサーボ制御装置及びその制御方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記問題を解決するため、本発明は、次のようにしたのである。

請求項 1 に記載の発明は、入力された速度指令に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記速度指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記速度指令の値と予め設定した閾値とを比較し、前記速度指令の値が前記予め設定した閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記速度指令の値が前記予め設定した閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするものである。

30

請求項 2 に記載の発明は、入力された速度指令に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記速度指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記速度指令の値と予め設定した第 1 の閾値および第 2 の閾値とを比較し、前記速度指令の値が前記第 2 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記速度指令の値が前記第 2 の閾値以下かつ前記第 1 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 より大きく 1 以下の定数倍とし、前記速度指令の値が前記第 1 の閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするものである。

40

請求項 3 に記載の発明は、入力された位置指令に基づいて速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記ト

50

トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記速度フィードフォワード信号の値と予め設定した閾値とを比較し、前記速度フィードフォワード信号の値が前記予め設定した閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記速度フィードフォワード信号の値が前記予め設定した閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするものである。

請求項 4 に記載の発明は、入力された位置指令に基づいて速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記速度フィードフォワード信号の値と予め設定した第 1 の閾値および第 2 の閾値とを比較し、前記速度フィードフォワード信号の値が前記第 2 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記速度フィードフォワード信号の値が前記第 2 の閾値以下かつ前記第 1 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 より大きく 1 以下の定数倍とし、前記速度フィードフォワード信号の値が前記第 1 の閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするものである。

請求項 5 に記載の発明は、入力された位置指令に基づいて指令速度および速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記指令速度の値と予め設定した閾値とを比較し、前記指令速度の値が前記予め設定した閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記指令速度の値が前記予め設定した閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするものである。

請求項 6 に記載の発明は、入力された位置指令に基づいて指令速度および速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記指令速度の値と予め設定した第 1 の閾値および第 2 の閾値とを比較し、前記指令速度の値が前記第 2 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記指令速度の値が前記第 2 の閾値以下かつ前記第 1 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 より大きく 1 以下の定数倍とし、前記指令速度の値が前記第 1 の閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするものである。

請求項 7 に記載の発明は、入力された位置指令増分値に基づいて速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令増分値に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記位置指令増分値と予め設定した閾値とを比較し、前記位置指令増分値が前記予め設定した閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記

10

20

30

40

50

位置指令増分値が前記予め設定した閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするものである。

請求項 8 に記載の発明は、入力された位置指令増分値に基づいて速度フィードフォワード信号を作成して出力すると共に、前記速度フィードフォワード信号に基づいてトルクフィードフォワード信号を作成して出力するフィードフォワード制御手段と、位置制御および速度制御するフィードバック制御手段とを備え、前記速度フィードフォワード信号および前記トルクフィードフォワード信号を用いて前記位置指令増分値に応じて制御対象を駆動するデジタルサーボ制御装置において、前記フィードフォワード制御手段が、前記位置指令増分値と予め設定した第 1 の閾値および第 2 の閾値とを比較し、前記位置指令増分値が前記第 2 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記位置指令増分値が前記第 2 の閾値以下かつ前記第 1 の閾値より大きいサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 より大きく 1 以下の定数倍とし、前記位置指令増分値が前記第 1 の閾値以下のサンプリングの場合、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とすることを特徴とするものである。

10

【発明の効果】

【0015】

請求項 1 乃至 8 に記載の発明によると、デジタル制御でフィードフォワードを適用する場合も、理想どおりにトルクフィードフォワード信号を出力できるため、トルクフィードフォワードの過補償を改善でき、位置決め時に良好な制御性能を実現できる。

20

請求項 3, 4 に記載の発明によると、速度フィードフォワード信号を閾値との判定で用いるため、位置指令の微分値を計算する必要がなく、短い演算時間で、トルクフィードフォワードの過補償を改善でき、位置決め時に良好な制御性能を実現できる。

請求項 1, 2 に記載の発明によると、速度指令を閾値との判定で用いるため、速度制御時もトルクフィードフォワードの過補償を改善でき、位置決め時に良好な制御性能を実現できる。

請求項 2, 4, 6, 8 に記載の発明によると、閾値を 2 つ用い、その間に入る時のトルクフィードフォワード信号を 0 より大きく 1 以下の定数倍の値にすることで、トルク指令出力時から検出信号をラッチするまでの遅れ時間がサンプリング周期の整数倍でない場合などもトルクフィードフォワードの過補償を改善でき、位置決め時に良好な制御性能を実現できる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、本発明の方法の具体的実施例について、図に基づいて説明する。

【実施例 1】

【0017】

図 1 は、本発明の方法を実施するデジタルサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。図において 1 は制御対象であり、2 は制御対象の位置および速度を検出する検出器を表す。100 は本発明のデジタルサーボ制御装置を表す。位置指令 ref と、制御対象に取り付けた検出器 2 で検出した位置検出値 x を減算手段 11 へ入力して位置偏差を求める。制御演算をデジタルで演算することで電流 I をモータに出力する。

40

3 は位置制御手段、4 は速度制御手段、5 は電流制御手段を表し、それぞれの手段は比例あるいは比例積分制御を行う。6 は速度フィードフォワード作成手段を表し、位置指令を微分し速度フィードフォワード信号 vff を作成する。7 はトルクフィードフォワード作成手段を表し、速度フィードフォワード信号 vff をさらに微分し制御対象のイナーシャを乗じてトルクフィードフォワード信号 tff を作成する。9 は指令速度作成手段、10 はトルクフィードフォワード変更手段、11 ~ 13 は演算手段、14 は位置指令である。

【0018】

次に図 1 のブロック図の入出力関係を説明する。位置指令 14、位置偏差を求める演算手段 11、位置制御手段 3、速度偏差を求める演算手段 12、速度制御手段 4、電流制御

50

手段 5、位置と速度を検出する検出器 2 とで速度ループを位置ループの内部に備えた従来の位置制御ループを構成する。位置指令 1 4 は演算手段 1 1、速度フィードフォワード作成手段 6、指令速度作成手段 9 へ入力される。演算手段 1 1 は位置偏差を求め位置制御手段 3 へ位置偏差を入力する。位置制御手段 3 は位置偏差を基に速度指令を演算手段 1 2 へ出力する。

速度フィードフォワード作成手段 6 から出力される速度フィードフォワード信号は、演算手段 1 2 とトルクフィードフォワード作成手段 7 へ入力される。演算手段 1 2 は速度偏差に速度フィードフォワード信号を加算した信号を速度制御手段 4 へ入力する。指令速度作成手段 9 は指令速度をトルクフィードフォワード変更手段 1 0 へ入力する。トルクフィードフォワード変更手段 1 0 は、指令速度とトルクフィードフォワード作成手段から出力されるトルクフィードフォワード信号に基づきトルクフィードフォワード信号を変更し、演算器 1 3 へ出力する。演算器 1 3 は速度制御手段 4 から出力されるトルク指令にトルクフィードフォワード信号を加算した信号を電流制御手段 5 へ出力する。電流制御手段 5 から出力される電圧・電流は制御対象 1 へ印加される。

【 0 0 1 9 】

指令速度作成手段 9 では、位置指令を差分近似で微分し指令速度を算出する。そして、1 0 のトルクフィードフォワード変更手段では前記指令速度の値が予め設定した閾値より大きいサンプリング時は前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記指令速度の値が予め設定した閾値以下のサンプリング時はトルクフィードフォワード信号の値を 0 とする処理を行い補正後のトルクフィードフォワード信号 tff を演算手段 1 3 へ出力する。

【 0 0 2 0 】

次に、各手段ごとの、デジタル演算の方法について述べる。

以下、サンプリング時間は T_s 、今回のサンプリングを k 番目、 n 回前のサンプリングを $k - n$ と定義し、変数 s の $k - n$ 番目のサンプリング時の値を $s(k - n)$ と表記することにする。

【 0 0 2 1 】

まず、位置制御手段 3 では、式 (4) に表すように位置指令 $r_{ref}(k)$ と位置検出値 $x(k)$ の差に位置ループゲイン K_p を乗じる計算を行い速度指令 $v_{ref}(k)$ を出力する。なお、以下の説明では「速度指令」と「指令速度」を次のように区別している。速度指令は速度制御手段への入力であり記号は v_{ref} である。一方、指令速度は位置制御時に、位置指令を微分したもので記号は d_{ref} としている。速度制御時は基本的に位置指令はないので、指令速度 d_{ref} も存在しない。速度指令の入力 v_{ref} が速度指令である。位置制御時は、位置指令を微分したものが指令速度 d_{ref} で、「位置制御手段の出力」=「速度指令の入力」が速度指令 v_{ref} となる。

【 0 0 2 2 】

$$v_{ref}(k) = K_p \cdot \{ r_{ref}(k) - x(k) \} \quad \dots (4)$$

【 0 0 2 3 】

次に、速度制御手段では、式 (5) に表すように、速度指令 $v_{ref}(k)$ と速度検出値 $v(k)$ の差に速度フィードフォワード作成手段の出力である速度フィードフォワード信号 $v_{ff}(k)$ を加算した値に速度ループ比例ゲイン K_v を乗じ $s_{ref}(k)$ を算出する。

【 0 0 2 4 】

$$s_{ref}(k) = K_v \cdot \{ v_{ref}(k) - v(k) + v_{ff}(k) \} \quad \dots (5)$$

【 0 0 2 5 】

ここで、 $v(k)$ は位置検出値 $x(k)$ の差分近似による微分で求めても良い。

次に、式 (6) のように、 $s_{ref}(k)$ に積分制御ゲイン K_i およびサンプリング時間 T_s を乗じ、前回値に加算することにより積分演算を行い $s_i(k)$ を算出する。

【 0 0 2 6 】

$$s_i(k) = s_i(k - 1) + T_s \cdot K_i \cdot s_{ref}(k) \quad \dots (6)$$

【 0 0 2 7 】

次に、式 (7) のように、 $s r e f (k)$ と $s i (k)$ を加算することでトルク指令 $t r e f (k)$ を算出する。

【 0 0 2 8 】

$$t r e f (k) = s r e f (k) + s i (k) \quad \cdots (7)$$

【 0 0 2 9 】

次に、電流制御手段 5 では、トルク指令 $t r (k)$ とトルクフィードフォワード信号 $t f f (k)$ を加算したものを入力し、単位変換および制御演算を行い電流値 $I (k)$ を計算する。ここで電流制御手段内部の処理は実際には交流を直流に変換するなど複雑な処理が行われるが、電流制御手段内部の処理方法は本発明に全く関係がなく、どのような処理をしても良いためここでは説明を省略する。

10

【 0 0 3 0 】

速度フィードフォワード作成手段 6 では、式 (8) に示すように、位置指令 $r e f (k)$ を差分近似で微分し、速度フィードフォワード信号 $v f f (k)$ を算出する。

【 0 0 3 1 】

$$v f f (k) = \{ r e f (k) - r e f (k - 1) \} / T s \quad \cdots (8)$$

【 0 0 3 2 】

トルクフィードフォワード作成手段 7 では、式 (9) に示すように。速度フィードフォワード信号 $v f f (k)$ を差分近似で微分し、イナーシャ $J n$ を乗じてトルクフィードフォワード信号 $t f f (k)$ を算出する。

20

【 0 0 3 3 】

$$t f f (k) = J n \cdot \{ v f f (k) - v f f (k - 1) \} / T s \quad \cdots (9)$$

【 0 0 3 4 】

9 の指令速度作成手段 9 では、式 (1 0) により、位置指令の微分値である指令速度 $d r e f (k)$ を計算する。

【 0 0 3 5 】

$$d r e f (k) = \{ r e f (k) - r e f (k - 1) \} / T s \quad \cdots (1 0)$$

【 0 0 3 6 】

1 0 のトルクフィードフォワード変更手段 1 0 では、式 (1 1) に示す場合わけの処理を行う。

30

【 0 0 3 7 】

$$\begin{aligned} d r e f (k) \text{ が 閾値より大きい時} & : t f f (k) = t f f (k) \\ d r e f (k) \text{ が 閾値以下の時} & : t f f (k) = 0 \quad \cdots (1 1) \end{aligned}$$

【 0 0 3 8 】

以上が本発明の実施例 1 の説明である。

このように、位置指令を微分して指令速度を計算し、前記位置指令を用いてトルクフィードフォワード信号を作成し、前記指令速度が設定した閾値より大きいサンプリング時には、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記指令速度が閾値以下のサンプリング時には、前記トルクフィードフォワード信号の値を 0 とするため、閾値を調整することで図 4 (c) の斜線部を無くしたトルクフィードフォワード信号が作成できるため、結果として過補償とならないため、位置決め時の偏差を非常に小さくすることができるのである。

40

次に閾値の設定方法を説明する。閾値は基本的には 0 を設定すればよい。この場合、指令がなくなった時点でトルクフィードフォワード信号が 0 となる。

しかしながら、通常、トルク指令を出力してから検出値を取得するまでには、数サンプリング遅れが発生する。

したがって、指令が決まっている場合には、トルク指令を出力してから検出値を取得するまでのサンプリング遅れ分から、そのサンプリング遅れ分の時間で $d r e f (k)$ がいくつの値になるかを計算し、閾値を逆算すれば良い。

また、指令が複数存在する場合は、指令ごとに、トルク指令を出力してから検出値を取

50

得するまでのサンプリング遅れ分から、 $d r e f(k)$ がいくつの値になるかを計算し、閾値を逆算すれば良い。

また、さらに位置決め時の偏差を小さくするためには、実際に制御対象を動作させ、位置決め応答を見ながら閾値を調整すればよい。

【0039】

ここで、位置制御を行う場合でも、100のデジタルサーボ制御装置への入力、予め位置指令の増分値の場合があるが、この場合は、9の指令速度作成手段で指令速度を求める処理は省略して良く、予め入力される位置指令の増分値を10のトルクフィードフォワード変更手段内部の処理で使用すればよい。

【実施例2】

【0040】

図2は、本発明の第2の方法を実施するデジタルサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。本実施例が実施例1である図1と異なる点は、9の指令速度作成手段がなく、6の速度フィードフォワード作成手段で計算された速度フィードフォワード信号 $v f f$ を指令の増分値の代わりに10のトルクフィードフォワード変更手段内部の処理で使用する点である。

具体的には、10のトルクフィードフォワード変更手段で式(12)の場合わけを行う。

【0041】

$$\begin{aligned} v f f(k) \text{ が閾値より大きい時} &: t f f(k) = t f f(k) \\ v f f(k) \text{ が閾値以下の時} &: t f f(k) = 0 \quad \dots (12) \end{aligned}$$

【0042】

以上が、本発明の実施例2の説明である。この構成の場合も実施例1と同様の効果が得られる。

【実施例3】

【0043】

図3は、本発明の第3の方法を実施するデジタルサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。本実施例が実施例1である図1と異なる点は、実施例1では100のデジタルサーボ制御装置で位置指令に対して位置制御を行っていたのに対し、本実施例では速度指令に対して速度制御を行うところである。この場合も実施例2と同様に、指令作成手段9がなく、速度指令 $v r e f$ 自体を10のトルクフィードフォワード変更手段内部の処理で使用する。

具体的には、10のトルクフィードフォワード変更手段で式(13)の場合わけを行う。

【0044】

$$\begin{aligned} v r e f(k) \text{ が閾値より大きい時} &: t f f(k) = t f f(k) \\ v r e f(k) \text{ が閾値以下の時} &: t f f(k) = 0 \quad \dots (13) \end{aligned}$$

【0045】

以上が、本発明の実施例3の説明である。この構成の場合も実施例1と同様の効果が得られる。

【実施例4】

【0046】

次に、2種類の閾値を使用する場合の実施例を説明する。実施例4が、実施例1から実施例3と異なる部分は、10のトルクフィードフォワード変更手段で行う場合わけの方法のみである。

本実施例では、実施例1に示す式(11)の場合わけが、を1以下の定数とした時次の式(14)のように変わる。

【0047】

$$\begin{aligned} d r e f(k) > \text{第2の閾値} &: t f f(k) = t f f(k) \\ \text{第2の閾値} < d r e f(k) < \text{第1の閾値} &: t f f(k) = t f f(k) \cdot \end{aligned}$$

10

20

30

40

50

$d r e f(k)$ 第1の閾値 : $t f f(k) = 0 \dots (14)$
 【0048】

そして第1の閾値と第2の閾値をうまく調整することで、演算遅れがちょうど演算時間の整数倍でないような時（差分近似により、1サンプリング時間の半分の時間遅れがあるような場合は $= 0.5$ ）にも、図4（d）の斜線部を無くした理想的なトルクフィードフォワード信号が作成できるため、結果として過補償とならないため、位置決め時の偏差を非常に小さくすることができるのである。

次に第1と第2の閾値の設定方法を説明する。第1と第2の閾値は、指令が決まっている場合には、トルク指令を出力してから検出値を取得するまでのサンプリング遅れ分から、そのサンプリング遅れの時間で $d r e f(k)$ がいくつの値になるかを予め計算で求め
 ておき、逆算すれば良い。

10

また、指令が複数存在する場合は、指令ごとに、トルク指令を出力してから検出値を取得するまでのサンプリング遅れ分から、 $d r e f(k)$ がいくつの値になるかを計算し、閾値を逆算すれば良い。

さらに位置決め時の偏差を小さくするためには、実際に制御対象を動作させ、位置決め応答を見ながら調整すればよい。

【0049】

ちなみに閾値と比較する信号が速度フィードフォワード信号 $v f f(k)$ の場合も、速度指令 $v r e f(k)$ の場合も、式（14）の $d r e f(k)$ のところを入れ替えるだけで同様の効果が実現できる。

20

【産業上の利用可能性】

【0050】

デジタル制御でフィードフォワードを使用する際の課題を解決するために位置指令を用いて速度フィードフォワード信号とトルクフィードフォワード信号を作成し、前記位置指令を微分して指令速度を計算し、前記指令速度の値が予め設定した閾値より大きいサンプリング時は、前記トルクフィードフォワード信号をそのまま用い、前記指令速度の値が予め設定した閾値以下のサンプリング時は、前記トルクフィードフォワード信号の値を0とする処理を行うだけで良いため、電動機の制御だけでなく、プラントの制御や油圧アクチュエータの制御などという用途にも適用できる。

【図面の簡単な説明】

30

【0051】

【図1】本発明の方法を適用するデジタルサーボ制御装置の構成図

【図2】本発明の第2の実施例を説明するデジタルサーボ制御装置の構成図

【図3】本発明の第3の実施例を説明するデジタルサーボ制御装置の構成図

【図4】従来のデジタル制御の問題点を説明する図

【図5】従来の方法を適用したサーボ制御装置の構成図

【符号の説明】

【0052】

- 1 制御対象
- 2 検出器
- 3 位置制御手段
- 4 速度制御手段
- 5 電流制御手段
- 6 速度フィードフォワード作成手段
- 7 トルクフィードフォワード作成手段
- 9 指令速度作成手段
- 10 トルクフィードフォワード変更手段
- 11 演算手段
- 12 演算手段
- 13 演算手段

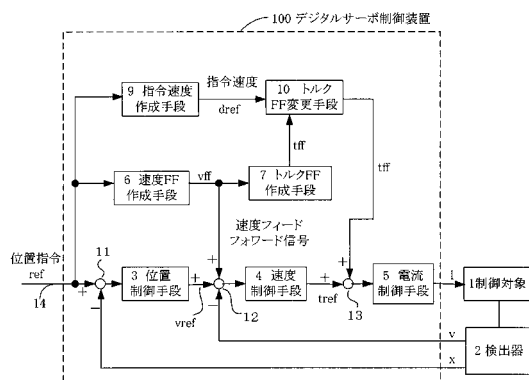
40

50

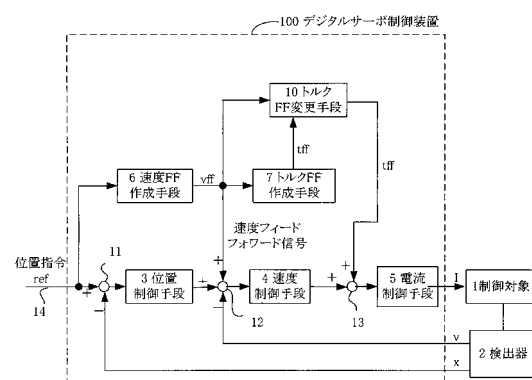
- 1 4 位置指令
- 1 5 速度指令
- 3 0 位置ループ
- 3 2 速度ループ積分要素
- 3 4 速度フィードバックゲイン
- 3 6 電流ループ
- 3 8 サーボモータ電気部
- 4 0 サーボモータ機械部
- 4 2 積分
- 4 4 位置のフィードフォワード項
- 4 6 速度のフィードフォワード項
- 1 0 0 デジタルサーボ制御装置

10

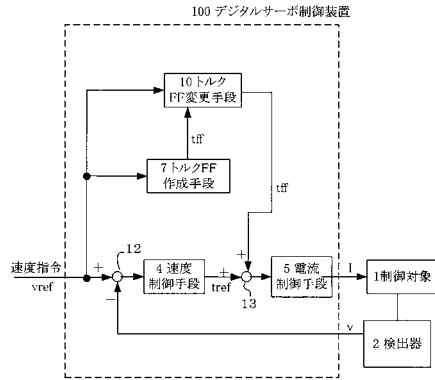
【図 1】



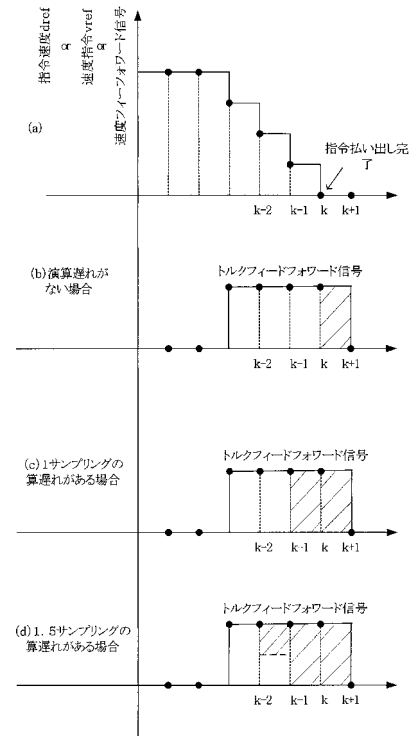
【図 2】



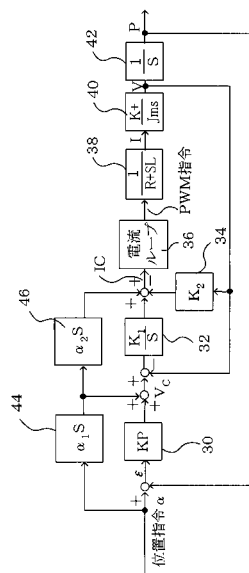
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-084839(JP,A)
特開2005-079688(JP,A)
特開2002-151967(JP,A)
特開2003-131704(JP,A)
特開平02-085902(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 4/00 - 29/00
G05B 1/00 - 21/02
G05D 3/00 - 3/20