

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5084196号  
(P5084196)

(45) 発行日 平成24年11月28日(2012.11.28)

(24) 登録日 平成24年9月14日(2012.9.14)

(51) Int.Cl.		F I		
<b>H02P 29/00</b>	<b>(2006.01)</b>	H02P	7/00	C
<b>G05D 3/12</b>	<b>(2006.01)</b>	G05D	3/12	W
<b>G05B 11/36</b>	<b>(2006.01)</b>	G05B	11/36	U
<b>G05B 13/02</b>	<b>(2006.01)</b>	G05B	11/36	503B
<b>G05D 19/02</b>	<b>(2006.01)</b>	G05B	13/02	B

請求項の数 4 (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2006-216899 (P2006-216899)  
 (22) 出願日 平成18年8月9日(2006.8.9)  
 (65) 公開番号 特開2008-43131 (P2008-43131A)  
 (43) 公開日 平成20年2月21日(2008.2.21)  
 審査請求日 平成20年12月12日(2008.12.12)

(73) 特許権者 000006013  
 三菱電機株式会社  
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号  
 (74) 代理人 100110423  
 弁理士 曾我 道治  
 (74) 代理人 100084010  
 弁理士 古川 秀利  
 (74) 代理人 100094695  
 弁理士 鈴木 憲七  
 (74) 代理人 100111648  
 弁理士 梶並 順  
 (72) 発明者 丸下 貴弘  
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三  
 菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電動機制御装置および電動機制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電動機の位置を検出する位置検出手段および入力される負荷機械または負荷機械を駆動する上記電動機の位置に対する位置参照信号と上記電動機の位置信号との偏差が小さくなるように上記電動機を制御するためのトルク指令信号を出力する位置制御手段を有する電動機制御装置において、

上記負荷機械の加速度を検出する加速度検出手段と、

上記電動機の位置信号に比例演算を施した信号と上記加速度検出手段から出力される加速度信号に比例積分演算を施した信号とを加算した補正変数に1つの調整ゲインを乗じることと同等な演算を行うことにより上記トルク指令信号を補正し、上記負荷機械または上記電動機の振動を抑制する補正信号を出力する振動抑制手段と、

を有することを特徴とする電動機制御装置。

【請求項2】

上記位置制御手段は、負荷機械または負荷機械を駆動する電動機の位置信号に対する位置参照信号と上記電動機の位置信号を入力とし、少なくとも上記電動機の位置信号に対し、所定の比例ゲインの比例演算、所定の積分ゲインの積分演算、所定の微分ゲインの微分演算を施すことと同等な演算を行うことにより得られる上記トルク指令信号を出力し、

上記振動抑制手段は、上記電動機の位置信号に対して上記位置制御手段の積分ゲインと同じゲインで比例演算を施した信号と、上記負荷機械の加速度信号に対して上記位置制御手段の比例ゲインと同じゲインで積分演算を施した信号と、上記負荷機械の加速度信号に

対して所定のゲインで比例演算を施した信号とを加算することと同等な演算を行うことにより上記補正変数を出力する補正変数演算手段と、上記補正変数に対して上記調整ゲインを乗じることと同等な演算を行うことにより得られる上記補正信号を出力する乗算手段と、を有することを特徴とする請求項 1 に記載の電動機制御装置。

【請求項 3】

上記所定のゲインは、上記微分ゲインから、上記トルク指令信号から上記電動機の位置信号までの伝達特性に表れる反共振周波数の逆数を二乗した値に上記積分ゲインを乗じた値を減算した値であることを特徴とする請求項 2 に記載の電動機制御装置。

【請求項 4】

電動機の位置を検出する位置検出ステップと、  
入力される負荷機械または負荷機械を駆動する上記電動機の位置に対する位置参照信号と上記電動機の位置信号との偏差が小さくなるように上記電動機を制御するためのトルク指令信号を生成する位置制御ステップと

を有する電動機制御方法において、

上記負荷機械の加速度を検出する加速度検出ステップと、

上記位置検出ステップで検出された上記電動機の位置信号に比例演算を施した信号と、  
上記加速度検出ステップで検出された加速度信号に比例積分演算を施した信号とを加算した補正変数を生成する補正変数生成ステップと、

上記補正変数生成ステップで生成された上記補正変数に 1 つの調整ゲインを乗じること  
と同等な演算を行うことにより、上記位置制御ステップで生成された上記トルク指令信号  
を補正し、上記負荷機械または上記電動機の振動を抑制する補正信号を生成する振動抑制  
ステップと

をさらに有することを特徴とする電動機制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、工作機械におけるテーブルや産業用ロボットのアームのような負荷機械を駆動する電動機を制御する電動機制御装置および電動機制御方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来の電動機制御装置は、電動機の世界速度信号または位置信号を基に生成されるトルク指令信号により、負荷機械を駆動する電動機のトルクがトルク指令信号に一致するように制御するが、制御対象の剛性が低い場合には、外乱抑制力の向上と制御対象の振動抑制を同時に実現することが困難であった。

そこで、電動機の世界速度信号または位置信号を基に生成されるトルク指令信号から負荷機械の加速度信号を比例倍した信号を減算することにより、負荷機械の加速度信号に含まれる負荷機械の振動をトルク指令信号に反映して負荷機械の振動を抑制する電動機制御装置が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

また、電動機の世界速度信号または位置信号を基に生成されるトルク指令信号から負荷機械の加速度信号を比例積分した信号を減算する電動機制御装置が提案されている（例えば、特許文献 2 参照）。

【0003】

【特許文献 1】特開平 06 - 91482 号公報

【特許文献 2】特開 2005 - 284599 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、速度比例ゲイン  $K_{v_p}$  がある値に固定されていれば、加速度フィードバックゲイン  $K_a$  を大きくすることで負荷機械の振動を抑制することが可能であるが、振動抑制に適切な加速度フィードバックゲイン  $K_a$  の大きさが速度比例ゲイン  $K_{v_p}$  によって異なる

10

20

30

40

50

ため、外乱抑制効果を向上させるために速度比例ゲイン $K_{v_p}$ を調整する度に加速度フィードバックゲイン $K_a$ を調整し直す必要があり、調整作業が煩雑となる問題がある。

【0005】

また、負荷機械の振動を抑制するためには加速度フィードバックゲイン $K_a$ を大きくする必要があるが、負荷機械の加速度信号を比例倍した信号を速度制御回路が出力するトルク指令信号に加算しているため、振動抑制を目的とした加速度フィードバックゲイン $K_a$ の効果と、外乱抑制を目的とした速度積分ゲイン $K_{v_i}$ と位置比例ゲイン $K_p$ の効果とが干渉を起こして振動的となり、十分な振動抑制効果と外乱抑制効果を同時に得ることができないという問題がある。

【0006】

この発明の目的は、簡便な調整により、外乱抑制力の向上と負荷機械の振動抑制とを同時に実現する電動機制御装置および電動機制御方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

この発明に係わる電動機制御装置は、電動機の位置を検出する位置検出手段および入力される負荷機械または負荷機械を駆動する上記電動機の位置に対する位置参照信号と上記電動機の位置信号との偏差が小さくなるように上記電動機を制御するためのトルク指令信号を出力する位置制御手段を有する電動機制御装置において、上記負荷機械の加速度を検出する加速度検出手段と、上記電動機の位置信号に比例演算を施した信号と上記加速度検出手段から出力される加速度信号に比例積分演算を施した信号とを加算した補正変数に1つの調整ゲインを乗じることと同等な演算を行うことにより上記トルク指令信号を補正し、上記負荷機械または上記電動機の振動を抑制する補正信号を出力する振動抑制手段と、を有する。

また、本発明に係わる電動機制御方法は、電動機の位置を検出する位置検出ステップと、入力される負荷機械または負荷機械を駆動する上記電動機の位置に対する位置参照信号と上記電動機の位置信号との偏差が小さくなるように上記電動機を制御するためのトルク指令信号を生成する位置制御ステップとを有する電動機制御方法において、上記負荷機械の加速度を検出する加速度検出ステップと、上記位置検出ステップで検出された上記電動機の位置信号に比例演算を施した信号と、上記加速度検出ステップで検出された加速度信号に比例積分演算を施した信号とを加算した補正変数を生成する補正変数生成ステップと、上記補正変数生成ステップで生成された上記補正変数に1つの調整ゲインを乗じることと同等な演算を行うことにより、上記位置制御ステップで生成された上記トルク指令信号を補正し、上記負荷機械または上記電動機の振動を抑制する補正信号を生成する振動抑制ステップとをさらに有する。

【発明の効果】

【0008】

この発明に係わる電動機制御装置および電動機制御方法の効果は、電動機および負荷機械の外乱抑制のためのゲイン調整とは独立に、1つの調整ゲインを徐々に大きくするだけの簡便な調整で負荷機械の振動抑制ができるので、外乱抑制力の向上と負荷機械の振動抑制とを同時に実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

実施の形態1.

図1は、この発明の実施の形態1に係わる電動機制御装置のブロック図である。図2は、図1で振動抑制回路を詳しく示したブロック図である。図3は、図2で補正変数演算回路を詳しく示したブロック図である。

この発明の実施の形態1に係わる電動機制御装置が制御する制御対象1は、負荷機械2、負荷機械2を駆動する電動機3および電動機3が負荷機械2を駆動するときのトルク $m$ をトルク指令信号 $r$ に一致するように制御するトルク制御回路4からなる。

10

20

30

40

50

そして、この発明の実施の形態 1 に係わる電動機制御装置は、電動機 3 の位置の現在値を検出し位置信号  $x_m$  として出力する位置検出手段としての位置検出回路 5、負荷機械 2 の加速度の現在値を検出し加速度信号  $a_1$  として出力する加速度検出手段としての加速度検出回路 6、位置制御手段としての位置制御回路 7、振動抑制手段としての振動抑制回路 8 および位置制御回路 7 からのトルク指令信号  $a$  から補正信号  $c$  を減算する減算手段 9 を備える。

この位置制御回路 7、振動抑制回路 8 および減算手段 9 は、CPU、ROM、RAM、インターフェース回路を有するコンピュータから構成され、ROM に制御手順がプログラムとして記憶されている。

【0010】

位置制御回路 7 は、入力される負荷機械 2 または負荷機械 2 を駆動する電動機 3 の位置を模擬する位置参照信号  $x_r$  と電動機 3 の位置信号  $x_m$  が入力され、電動機 3 が負荷機械 2 を駆動するトルク  $m$  の目標値であるトルク指令信号  $a$  を出力する。

この位置制御回路 7 では、式 (1) に示すように、位置参照信号  $x_r$  と電動機 3 の位置信号  $x_m$  との位置偏差信号 ( $x_r - x_m$ ) に対して比例演算・積分演算・微分演算 (PID 制御) を施して得られるトルク指令信号  $a$  を出力する。ここで、 $K_D$  は微分演算の微分ゲイン、 $K_P$  は比例演算の比例ゲイン、 $K_I$  は積分演算の積分ゲインである。

【0011】

【数 1】

$$\tau_a = \left( K_D s + K_P + \frac{K_I}{s} \right) (x_r - x_m) \quad \dots (1)$$

【0012】

振動抑制回路 8 は、電動機 3 の位置信号  $x_m$  と負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  が入力され、位置制御回路 7 が出力するトルク指令信号  $a$  を補正する補正信号  $c$  を出力する。

この振動抑制回路 8 は、図 2 に示すように、電動機 3 の位置信号  $x_m$  と負荷機械 2 の  $a_1$  が入力され、補正変数  $u_c$  を演算する補正変数演算手段としての補正変数演算手段 2 1、補正変数演算手段 2 1 が出力する補正変数  $u_c$  に調整ゲイン  $z$  を乗じてえら得られる補正信号  $c$  を出力する乗算手段 2 2 を有する。

【0013】

補正変数演算手段 2 1 は、図 3 が示すように、電動機 3 の位置信号  $x_m$  が入力され、その位置信号  $x_m$  に位置制御回路 7 の積分ゲイン  $K_I$  と同じゲイン  $K_I$  を乗じて得られる第 1 補正変数  $u_{c1}$  を出力する第 1 ゲイン手段 2 3 と、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  が入力され、その加速度信号  $a_1$  に所定のゲイン  $K_z$  を乗じて得られる第 2 補正変数  $u_{c2}$  を出力する第 2 ゲイン手段 2 4 と、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  が入力され、その加速度信号  $a_1$  を積分する積分手段 2 5 と、積分手段 2 5 で加速度信号  $a_1$  が積分された信号が入力され、位置制御回路 7 の比例ゲイン  $K_P$  と同じゲイン  $K_P$  を乗じて得られる第 3 補正変数  $u_{c3}$  を出力する第 3 ゲイン手段 2 6 と、第 1 補正変数  $u_{c1}$ 、第 2 補正変数  $u_{c2}$  および第 3 補正変数  $u_{c3}$  を加算して補正変数  $u_c$  を出力する加算手段 2 7 を有する。

【0014】

第 2 ゲイン手段 2 4 のゲイン  $K_z$  は、制御対象 1 の伝達関数  $G_m(s)$  の反共振周波数  $z$ 、位置制御回路 7 の微分ゲイン  $K_D$  および位置制御回路 7 の積分ゲイン  $K_I$  を用いて式 (2) により求められる値である。

そして、振動抑制回路 8 で行う制御は、電動機 3 の位置信号  $x_m$  と負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  が入力され、補正信号  $c$  が出力されるとすると、式 (3) で表される。この式 (3) に式 (2) で求められるゲイン  $K_z$  を代入すると、補正信号  $c$  は式 (4) で表される。

【0015】

10

20

30

40

【数 2】

$$K_Z = K_D - K_I \omega_Z^{-2} \quad \dots(2)$$

$$\tau_C = \alpha \left\{ K_I x_m + \left( \frac{K_P}{s} + K_Z \right) a_l \right\} \quad \dots(3)$$

10

$$\tau_C = \alpha \left[ K_I x_m + \left\{ \frac{K_P}{s} + (K_D - K_I \omega_Z^{-2}) \right\} a_l \right] \quad \dots(4)$$

【0016】

減算手段 9 は、位置制御回路 7 が出力するトルク指令信号  $a$  と振動抑制回路 8 が出力する補正信号  $c$  とが入力され、トルク指令信号  $a$  から補正信号  $c$  を減算して得られたトルク指令信号  $r$  を出力する。この減算手段 9 で行う制御は、式 (5) で表される。

【0017】

【数 3】

$$\tau_r = \tau_a - \tau_C \quad \dots(5)$$

20

【0018】

次に、この発明の実施の形態に係わる電動機制御装置の作用と効果について説明する。

制御対象 1 は、機械共振特性を有し、トルク指令信号  $r$  から電動機 3 の位置信号  $x_m$  までの伝達関数が機械共振特性を一つだけ有する二慣性系であるとする。このとき、電動機 3 のトルク  $\tau_m$  から電動機 3 の位置信号  $x_m$  までの伝達関数を  $G_m(s)$ 、電動機 3 のトルク  $\tau_m$  から負荷機械 2 の加速度信号  $a_l$  までの伝達関数を  $G_a(s)$  とすると、 $G_m(s)$  および  $G_a(s)$  はそれぞれ式 (6) と式 (7) で表される。

【0019】

【数 4】

$$G_m(s) = \frac{x_m}{\tau_m} = \frac{\omega_Z^{-2} s^2 + 1}{J s^2 (\omega_P^{-2} s^2 + 1)} \quad \dots(6)$$

$$G_a(s) = \frac{a_l}{\tau_m} = \frac{1}{J (\omega_P^{-2} s^2 + 1)} \quad \dots(7)$$

30

【0020】

式 (6) と式 (7) において、 $\omega_Z$  は反共振周波数、 $\omega_P$  は共振周波数、 $J$  は制御対象 1 の総慣性、 $J_m$  は電動機 3 の慣性、 $J_1$  は負荷機械 2 の慣性である。そして、総慣性  $J$  は、 $J_m$  と  $J_1$  の和で求められる。

40

そして、式 (6) より分かるように、伝達関数  $G_m(s)$  は反共振周波数  $\omega_Z$  に対応する式 (8) で求められる反共振零点  $z_0$  を有する。

【0021】

【数 5】

$$z_0 = \pm j \omega_Z \quad \dots(8)$$

50

## 【 0 0 2 2 】

まず、振動抑制回路 8 における調整ゲイン  $K_D$  を 0、すなわち位置制御回路 7 が出力するトルク指令信号  $\tau_a$  を振動抑制回路 8 が出力する補正信号  $\tau_c$  により補正しない従来の電動機制御装置を考える。このとき図 1 におけるトルク制御回路 4 に与えられるトルク指令信号  $\tau_r$  は位置制御回路 7 が出力するトルク指令信号  $\tau_a$  と等しくなる。

トルク制御回路 4 の伝達特性を理想的に 1、すなわち  $G_m = \tau_r$  とし、制御対象 1 の入力端（図 1 におけるトルク指令信号  $\tau_r$  の箇所）で制御ループを開いた開ループ伝達関数を  $L(s)$  とすると、 $L(s)$  は式 (9) で表される。

## 【 0 0 2 3 】

【数 6】

10

$$L(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \cdot \frac{\omega_z^{-2} s^2 + 1}{J s^2 (\omega_p^{-2} s^2 + 1)} \quad \dots (9)$$

## 【 0 0 2 4 】

式 (9) から分かるように、調整ゲイン  $K_D$  が 0 のとき、開ループ伝達関数  $L(s)$  が有する零点は、位置制御回路 7 の微分ゲイン  $K_D$ 、比例ゲイン  $K_P$ 、積分ゲイン  $K_I$  によって決まる零点と、式 (6) で表される制御対象 1 の伝達関数  $G_m(s)$  が有する反共振零点  $z_0$  とである。

## 【 0 0 2 5 】

20

次に、振動抑制回路 8 における調整ゲイン  $K_D$  を 0 を超える値、すなわちこの発明の実施の形態における開ループ伝達関数  $L(s)$  を考える。

式 (4) に式 (6) で表される電動機 3 の位置信号  $x_m$  および式 (7) で表される負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  を代入すると、補正信号  $\tau_c$  は電動機 3 のトルク  $\tau_m$  を用いて式 (10) で表される。

## 【 0 0 2 6 】

【数 7】

$$\tau_c = \alpha \left[ K_I \times \frac{\omega_z^{-2} s^2 + 1}{J s^2 (\omega_p^{-2} s^2 + 1)} + \frac{(K_D - K_I \omega_z^{-2}) s + K_P}{s} \times \frac{1}{J (\omega_p^{-2} s^2 + 1)} \right] \tau_m \quad \dots (10)$$

## 【 0 0 2 7 】

式 (10) を整理すると、電動機 3 のトルク  $\tau_m$  から振動抑制回路 8 が出力する補正信号  $\tau_c$  までの伝達関数は式 (11) で表される。

## 【 0 0 2 8 】

【数 8】

$$\frac{\tau_c}{\tau_m} = \frac{\alpha (K_D s^2 + K_P s + K_I)}{J s^2 (\omega_p^{-2} s^2 + 1)} \quad \dots (11)$$

40

## 【 0 0 2 9 】

図 1 においてトルク制御回路 4 の伝達特性を理想的に 1 とし、制御対象 1 の入力端で制御ループを開いた開ループ伝達関数を  $L(s)$  とすると、 $L(s)$  は式 (12) で表される。

## 【 0 0 3 0 】

【数 9】

$$L(s) = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \cdot \frac{\omega_z^{-2} s^2 + \alpha s + 1}{J s^2 (\omega_p^{-2} s^2 + 1)} \quad \dots(12)$$

【0031】

式(12)より分かるように、開ループ伝達関数  $L(s)$  は、位置制御回路 7 の微分ゲイン  $K_D$ 、比例ゲイン  $K_P$ 、積分ゲイン  $K_I$  によって決まる零点と、調整ゲイン によって変化する反共振零点  $z$  とを有する。式(12)における反共振零点  $z$  は式(13)で表される。

10

【0032】

【数 10】

$$z = -\zeta_z \omega_z \pm j \sqrt{1 - \zeta_z^2} \omega_z \quad \dots(13)$$

【0033】

式(13)において、 $\zeta_z$  は反共振零点  $z$  での減衰係数を意味し、式(14)で表される。

【0034】

【数 11】

$$\zeta_z = \frac{\alpha \omega_z}{2} \quad \dots(14)$$

20

【0035】

従って、調整ゲイン を変更することにより、開ループ伝達関数  $L(s)$  における零点は、式(8)で示す反共振零点  $z_0$  から式(13)で示す反共振零点  $z$  へと変化する。

一般的に、外乱抑制力を向上させるためには開ループ伝達関数のループゲインを大きくする必要があるが、開ループ伝達関数のループゲインを大きくすると、制御系全体の閉ループ極は開ループ伝達関数の零点に漸近し、閉ループ極の減衰係数は開ループ零点の減衰係数に漸近することが知られている。

30

閉ループ極の減衰係数は、閉ループ極応答の振動が減衰する割合を表す代表的な指標であり、閉ループ極の減衰係数が小さくなるほど閉ループ応答の振動は大きくなり、逆に閉ループ極の減衰係数が大きくなるほど閉ループ応答の振動は速やかに減衰することになる。

【0036】

式(9)で示したように、調整ゲイン を 0 としたときの開ループ伝達関数  $L(s)$  が有する零点は、位置制御回路 7 の微分ゲイン  $K_D$ 、比例ゲイン  $K_P$ 、積分ゲイン  $K_I$  によって決まる零点と、式(6)で示す制御対象 1 の伝達関数  $G_m(s)$  が有する反共振零点  $z_0$  である。

このうち、微分ゲイン  $K_D$ 、比例ゲイン  $K_P$ 、積分ゲイン  $K_I$  によって決まる零点は、微分ゲイン  $K_D$ 、比例ゲイン  $K_P$ 、積分ゲイン  $K_I$  を変更することで任意に変更することができる。

40

一方、反共振零点  $z_0$  は、制御対象 1 の伝達関数  $G_m(s)$  が有する零点であり、微分ゲイン  $K_D$ 、比例ゲイン  $K_P$ 、積分ゲイン  $K_I$  を変更しても変化させることはできない。

式(14)より、調整ゲイン を 0 としたとき、開ループ伝達関数が有する反共振零点  $z_0$  での減衰係数  $\zeta_z$  は 0 となる。よって、開ループ伝達関数のループゲインが大きくなるように位置制御回路 7 の微分ゲイン  $K_D$ 、比例ゲイン  $K_P$ 、積分ゲイン  $K_I$  を大きくすると、閉ループ極の減衰係数は非常に小さくなり、制御対象 1 の応答が振動的となる。

【0037】

一方、調整ゲイン を大きくすると、開ループ伝達関数  $L(s)$  が有する反共振零点は

50

調整ゲイン  $K$  が 0 のときの反共振零点  $z_0$  から  $z$  へと変化し、式 (14) より、反共振零点  $z$  の減衰係数  $\zeta$  を大きくできる。よって、減衰係数  $\zeta$  が適切な大きさとなるように調整ゲイン  $K$  を変更すれば、外乱抑制力を向上させるために開ループ伝達関数のループゲインが大きくなるように位置制御回路 7 の微分ゲイン  $K_D$ 、比例ゲイン  $K_P$ 、積分ゲイン  $K_I$  を大きくしても閉ループ極の減衰係数が非常に小さくなることはなく、制御対象 1 を振動させないように調整することができる。従って、制御対象 1 の振動抑制と外乱抑制力の向上を同時に実現することができる。

【0038】

このように振動抑制回路 8 から出力される補正信号  $u_c$  が、電動機 3 の位置信号  $x_m$  に対して位置制御回路 7 の積分ゲイン  $K_I$  を用いた比例演算を施して得られた第 1 補正信号  $u_{c1}$  と負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に対して所定のゲイン  $K_z$  を用いた比例演算および位置制御回路 7 の比例ゲイン  $K_P$  を用いた積分演算を施して得られた第 2 補正信号  $u_{c2}$  と第 3 補正信号  $u_{c3}$  との加算信号  $u_c$  に対して調整ゲイン  $K$  を用いて比例演算を施して得られるので、式 (14) で示す減衰係数  $\zeta$  は調整ゲイン  $K$  によってのみ変化し、位置制御回路 7 の微分ゲイン  $K_D$ 、比例ゲイン  $K_P$ 、積分ゲイン  $K_I$  を変化させても減衰係数  $\zeta$  には影響しない。すなわち、外乱抑制力の向上と振動抑制とのための調整を独立に行うことができる。

【0039】

なお、調整ゲイン  $K$  は、式 (14) で示す減衰係数  $\zeta$  が 0.5 程度の値になるまで徐々に大きくするように設定すれば十分である。

また、実施の形態 1 では、振動抑制回路 8 内部の補正変数演算手段 21 が出力する補正変数  $u_c$  に調整ゲイン  $K$  を乗じることで位置制御回路 7 が出力するトルク指令信号  $\tau_a$  を補正する補正信号  $u_c$  を出力する構成としたが、調整ゲイン  $K$  を補正変数演算手段 21 が出力する補正変数  $u_c$  に乗じる代わりに補正変数演算手段 21 に入力される電動機 3 の位置信号  $x_m$  および負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に乗じる構成としてもよい。

また、この実施の形態 1 では、振動抑制回路 8 において、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  からトルク指令信号  $\tau_r$  までの伝達特性に負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  から所定の周波数成分を除去するフィルタ特性を追加する構成としてもよい。

【0040】

例えば、フィルタ特性を所定の周波数以上の成分を除去するローパスフィルタを追加することにより、制御対象 1 の安定性に悪影響を及ぼす可能性がある、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に含まれる高周波ノイズを除去することができる。

また、フィルタ特性を所定の周波数以下の成分を除去するハイパスフィルタを追加することにより、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に含まれるオフセットに起因した定常誤差を除去することができる。

【0041】

また、振動抑制回路 8 において、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  からトルク指令信号  $\tau_r$  までの伝達特性に負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  から所定の周波数成分を除去するフィルタ特性を追加するとともに、電動機 3 の位置信号  $x_m$  からトルク指令信号  $\tau_r$  までの伝達特性に同等の特性を示すフィルタ特性を追加する構成としてもよい。これにより、負荷機械 2 からトルク指令信号  $\tau_r$  までの伝達特性に追加するフィルタ特性により第 1 補正信号  $u_{c1}$ 、第 2 補正信号  $u_{c2}$  および第 3 補正信号  $u_{c3}$  との位相のずれを解消することができる。

【0042】

実施の形態 2 .

図 4 は、この発明の実施の形態 2 に係わる電動機制御装置のブロック図である。

この発明の実施の形態 2 に係わる電動機制御装置は、実施の形態 1 に係わる電動機制御装置と位置制御回路 7 B が異なり、それ以外は同様であるので、同様な部分に同じ符号を付記して説明は省略する。

実施の形態 2 に係わる位置制御回路 7 B は、負荷機械 2 または負荷機械 2 を駆動する電

10

20

30

40

50



動機 3 の位置に対する位置参照信号  $x_r$  と電動機 3 の位置信号  $x_m$  が入力され、速度指令信号  $v_r$  を出力する位置比例手段 3 1 と、電動機 3 の位置信号  $x_m$  が入力され、電動機 3 の速度信号  $v_m$  を演算する速度演算手段 3 2 と、位置比例手段 3 1 が出力する速度指令信号  $v_r$  と速度演算手段 3 2 が出力する電動機 3 の速度信号  $v_m$  が入力され、トルク指令信号  $\tau_a$  を出力する速度比例積分手段 3 3 と、を有する。

【 0 0 4 3 】

位置比例手段 3 1 は、式 ( 1 5 ) に示すように、位置偏差信号 (  $x_r - x_m$  ) に位置比例ゲイン  $k_p$  を乗じて速度指令信号  $v_r$  を出力する。

速度演算手段 3 2 は、式 ( 1 6 ) に示すように、電動機 3 の位置信号  $x_m$  を微分することにより電動機 3 の速度信号  $v_m$  を出力する。

【 0 0 4 4 】

【 数 1 2 】

$$v_r = k_p (x_r - x_m) \quad \dots (15)$$

$$v_m = s x_m \quad \dots (16)$$

【 0 0 4 5 】

速度比例積分手段 3 3 は、速度指令信号  $v_r$  と電動機 3 の速度信号  $v_m$  が入力され、速度比例ゲイン  $k_v$  と速度積分ゲイン  $\omega_{vi}$  を用いて式 ( 1 7 ) で表される比例積分演算によりトルク指令信号  $\tau_a$  を出力する。

そして、式 ( 1 5 ) ~ 式 ( 1 7 ) より、電動機 3 の位置信号  $x_m$  からトルク指令信号  $\tau_a$  までの伝達関数は式 ( 1 8 ) で表される。

【 0 0 4 6 】

【 数 1 3 】

$$\tau_a = \frac{k_v (s + \omega_{vi})}{s} (v_r - v_m) \quad \dots (17)$$

$$\frac{\tau_a}{x_m} = \frac{k_v (s + k_p) (s + \omega_{vi})}{s} = \frac{k_v s^2 + k_v (k_p + \omega_{vi}) s + k_v k_p \omega_{vi}}{s} \quad \dots (18)$$

【 0 0 4 7 】

式 ( 1 8 ) を式 ( 1 ) と比較し、式 ( 1 9 )、式 ( 2 0 )、式 ( 2 1 ) に示す関係式を満足するよう位置比例ゲイン  $k_p$ 、速度比例ゲイン  $k_v$ 、速度積分ゲイン  $\omega_{vi}$  を設定することにより、実施の形態 2 に係わる位置制御回路 7 B は電動機 3 の位置信号  $x_m$  に対して比例積分微分演算を施しているのと同等の演算を行うことができる。

【 0 0 4 8 】

10

20

30

40

【数 1 4】

$$K_D = k_v \quad \dots(19)$$

$$K_P = k_v(k_p + \omega_{vi}) \quad \dots(20)$$

$$K_I = k_v k_p \omega_{vi} \quad \dots(21)$$

10

【0049】

このように実施の形態 2 に係わる位置制御回路 7 B の出力するトルク指令信号  $r_a$  を、実施の形態 1 に係わる振動抑制回路 8 が出力する補正信号  $u_c$  で補正することにより、実施の形態 1 と同様に調整ゲイン  $k_v$  を 0 より大きくすることによりトルク指令信号  $r_r$  の箇所で制御ループを開いたときの開ループ伝達関数における反共振減衰を大きくすることで、制御対象の振動を抑制することが可能となる。

【0050】

実施の形態 3 .

図 5 は、この発明の実施の形態 3 に係わる電動機制御装置のブロック図である。

20

この発明の実施の形態 3 に係わる電動機制御装置は、実施の形態 1 に係わる電動機制御装置と振動抑制回路 8 B が異なり、それ以外は同様であるので、同様な部分に同じ符号を付記して説明は省略する。

この実施の形態 3 に係わる振動抑制回路 8 B は、実施の形態 1 に係わる振動抑制回路 8 と補正変数演算手段 2 1 B が異なり、それ以外は同様であるので、同様な部分に同じ符号を付記して説明は省略する。

この実施の形態 3 に係わる補正変数演算手段 2 1 B は、電動機 3 の位置信号  $x_m$  と負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  が入力され、電動機 3 の位置信号  $x_m$  から負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に  $1 / \omega_z^2$  を乗じた信号を減算した信号に位置制御回路 7 の積分ゲイン  $K_I$  と同じゲイン  $K_I$  の比例演算を施して得られた信号  $u_{c1}$  と、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に位置制御回路 7 の微分ゲイン  $K_D$  と同じゲイン  $K_D$  の比例演算を施して得られた信号  $u_{c2}$  と、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に位置制御回路 7 の比例ゲイン  $K_P$  と同じゲイン  $K_P$  の積分演算を施して得られた信号  $u_{c3}$  を加算して補正変数  $u_c$  を出力する。

30

【0051】

このように実施の形態 3 に係わる補正変数演算回路 2 1 B は、電動機 3 の位置信号  $x_m$  に対して位置制御回路 7 の積分ゲイン  $K_I$  と同じゲインで比例演算を施した信号と、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に対して位置制御手段の比例ゲイン  $K_P$  と同じゲインで積分演算を施した信号と、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に対して所定のゲイン  $K_Z$  で比例演算を施した信号とを加算することにより補正変数  $u_c$  を出力することと同等な演算を行っていることになる。よって、振動抑制回路 8 B が出力する補正信号  $u_c$  は、式 (4) と同じくなり、実施の形態 1 と同様に調整ゲイン  $k_v$  を 0 より大きくすることによりトルク指令信号  $r_r$  の箇所で制御ループを開いたときの開ループ伝達関数における反共振減衰を大きくすることで、制御対象の振動を抑制することが可能となる。

40

【0052】

実施の形態 4 .

図 6 は、この発明の実施の形態 4 に係わる電動機制御装置のブロック図ある。

この発明の実施の形態 4 に係わる電動機制御装置は、実施の形態 1 に係わる電動機制御装置と位置制御回路 7 C および振動抑制回路 8 C が異なり、それ以外は同様であるので、同様な部分に同じ符号を付記して説明は省略する。

【0053】

50

実施の形態 4 に係わる位置制御回路 7 C は、負荷機械 2 または負荷機械 2 を駆動する電動機 3 の位置に対する位置参照信号  $x_r$ 、電動機 3 の位置信号  $x_m$  および振動抑制回路 8 C が出力する第 2 補正信号  $c_2$  が入力され、トルク指令信号  $a'$  を出力し、位置参照信号  $x_r$  と電動機 3 の位置信号  $x_m$  との偏差信号に対し、所定の比例ゲイン  $K_p$  の比例演算と所定の微分ゲイン  $K_D$  の微分演算を施す比例微分手段 4 1 と、位置偏差 ( $x_r - x_m$ ) に所定の積分ゲイン  $K_I$  を乗じた信号を出力するゲイン手段 4 2 と、ゲイン手段 4 2 が出力する信号から振動抑制回路 8 C が出力する第 2 補正信号  $c_2$  を減じた信号を積分する積分手段 4 3 と、を有する。すなわち、実施の形態 4 に係わる位置制御回路 7 C は式 (22) に示す演算を行う。

【 0 0 5 4 】

【 数 1 5 】

$$\begin{aligned}\tau_a' &= (K_D s + K_P)(x_r - x_m) + \frac{K_I(x_r - x_m) - \tau_{c2}}{s} \\ &= \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s}(x_r - x_m) - \frac{\tau_{c2}}{s} \quad \dots (22)\end{aligned}$$

【 0 0 5 5 】

実施の形態 4 に係わる振動抑制回路 8 C は、電動機 3 の位置信号  $x_m$  と負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  が入力され、位置制御回路 7 C が出力するトルク指令信号  $a'$  を補正する第 1 補正信号  $c_1$  と位置制御回路 7 C 内部のゲイン手段 4 2 が出力する信号を補正する第 2 補正信号  $c_2$  を出力する。

また、振動抑制回路 8 C は、電動機 3 の位置信号  $x_m$  に位置制御回路 7 C の積分ゲイン  $K_I$  と同じゲイン  $K_I$  を乗じた信号  $u_{c1}$  を出力するゲイン手段 4 4 と、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に所定のゲイン  $K_z$  を乗じた信号  $u_{c2}$  を出力するゲイン手段 4 5 と、負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に位置制御回路 7 C の位置比例ゲイン  $K_p$  と同じゲイン  $K_p$  を乗じた信号  $u_{c2}'$  を出力するゲイン手段 4 6 と、ゲイン手段 4 4 が出力する信号  $u_{c1}$  からゲイン手段 4 5 が出力する信号  $u_{c2}$  を加算した信号  $u_{c1}''$  に調整ゲイン  $\alpha$  を乗じるゲイン手段 4 7 と、ゲイン手段 4 6 が出力する信号  $u_{c2}'$  に調整ゲイン  $\alpha$  を乗じるゲイン手段 4 8 と、を有する。すなわち、振動抑制回路 8 C は、入力される電動機 3 の位置信号  $x_m$  と負荷機械 2 の加速度信号  $a_1$  に対し、式 (23) および式 (24) に示す演算を行う。そして、図 6 より、トルク制御回路 4 に入力されるトルク指令信号  $\tau_r$  は、式 (25) である。この式 (25) に式 (22) を代入すると、トルク指令信号  $\tau_r$  は式 (26) となる。

【 0 0 5 6 】

【 数 1 6 】

$$\tau_{c1} = \alpha(K_I x_m + K_z a_1) \quad \dots (23)$$

$$\tau_{c2} = \alpha K_p a_1 \quad \dots (24)$$

$$\tau_r = \tau_a' - \tau_{c1} \quad \dots (25)$$

$$\tau_r = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s}(x_r - x_m) - \tau_{c1} - \frac{\tau_{c2}}{s} \quad \dots (26)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

さらに、式(26)に式(23)、式(24)を代入して整理すると、トルク指令信号  $\tau_r$  は式(27)のように表される。式(27)の第1項は、式(1)と等しく、第2項は式(4)と等しくなる。

【 0 0 5 8 】

【 数 1 7 】

$$\begin{aligned} \tau_r &= \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} (x_r - x_m) - \alpha (K_I x_m + K_Z a_1) - \frac{\alpha K_P}{s} a_1 \\ &= \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} (x_r - x_m) - \alpha \left\{ K_I x_m + \left( \frac{K_P}{s} + K_Z \right) a_1 \right\} \end{aligned} \quad \dots(27)$$

10

【 0 0 5 9 】

このような実施の形態4において、振動抑制回路8Cに入力される電動機3の位置信号  $x_m$  からトルク指令信号  $\tau_r$  までの伝達特性と、負荷機械2の加速度信号  $a_1$  からトルク指令信号  $\tau_r$  までの伝達特性は、それぞれ式(4)、式(5)で表される伝達特性と同じになり、電動機3の位置信号  $x_m$  に対して位置制御手段の積分ゲイン  $K_I$  と同じゲインで比例演算を施した信号と、負荷機械2の加速度信号  $a_1$  に対して位置制御手段の比例ゲイン  $K_P$  と同じゲインで積分演算を施した信号と、負荷機械2の加速度信号  $a_1$  に対して所定のゲイン  $K_Z$  で比例演算を施した信号を加算することにより補正変数  $u_c$  を演算し、演算された補正変数  $u_c$  に対して調整ゲイン  $\alpha$  を乗じることにより得られる補正信号  $\tau_c$  を演算し、補正信号  $\tau_c$  により位置制御回路7が出力するトルク指令信号  $\tau_a$  を補正することと同等な演算を行っていることになる。よって、実施の形態1と同様に調整ゲイン  $\alpha$  を0より大きくすることによりトルク指令信号  $\tau_r$  の箇所で制御ループを開いたときの開ループ伝達関数における反共振減衰を大きくすることで、制御対象の振動を抑制することが可能となる。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 0 】

【 図 1 】 この発明の実施の形態1に係わる電動機制御装置のブロック図である。

【 図 2 】 図1で振動抑制回路部分を詳しく示したブロック図である。

【 図 3 】 図2で補正変数演算回路部分を詳しく示したブロック図である。

【 図 4 】 この発明の実施の形態2に係わる電動機制御装置のブロック図である。

【 図 5 】 この発明の実施の形態3に係わる電動機制御装置のブロック図である。

【 図 6 】 この発明の実施の形態4に係わる電動機制御装置のブロック図である。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 1 】

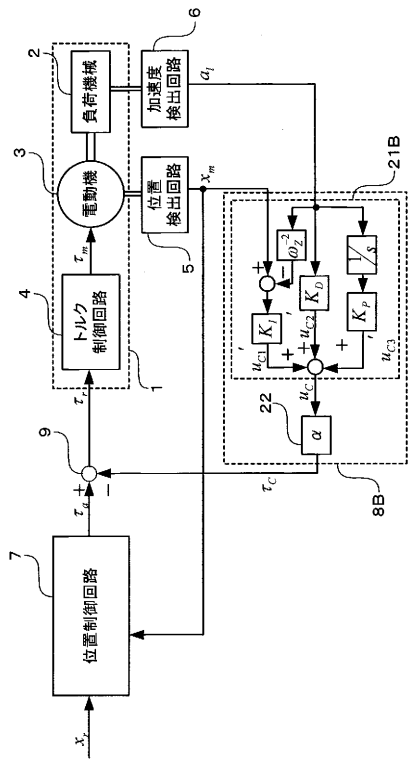
1 制御対象、2 負荷機械、3 電動機、4 トルク制御回路、5 位置検出回路、6 加速度検出回路、7、7B、7C 位置制御回路、8、8B、8C 振動抑制回路、9 減算手段、21、21B 補正変数演算手段、22 乗算手段、23、24、26、42、44、45、46、47、48 ゲイン手段、25、43 積分手段、27 加算手段、31 位置比例手段、32 速度演算手段、33 速度比例積分手段、41 比例微分手段。

30

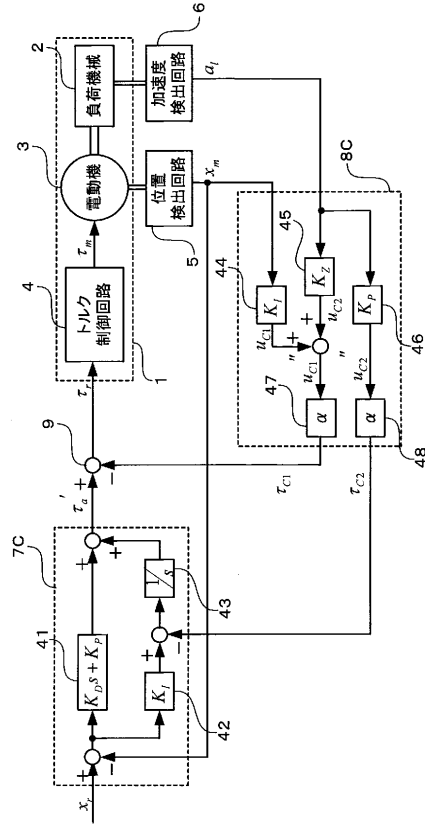
40



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 5 D 19/02 D  
H 0 2 P 5/00 G

(72)発明者 池田 英俊  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内  
(72)発明者 高橋 和孝  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 高橋 祐介

(56)参考文献 特開平06-091482(JP,A)  
特開2005-284599(JP,A)  
特開2004-213472(JP,A)  
特開2001-309687(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H 0 2 P 2 9 / 0 0  
G 0 5 B 1 1 / 3 6  
G 0 5 B 1 3 / 0 2  
G 0 5 D 3 / 1 2  
G 0 5 D 1 9 / 0 2