

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
 【部門区分】第7部門第4区分  
 【発行日】平成18年11月24日(2006.11.24)

【公開番号】特開2005-204473(P2005-204473A)  
 【公開日】平成17年7月28日(2005.7.28)  
 【年通号数】公開・登録公報2005-029  
 【出願番号】特願2004-10535(P2004-10535)  
 【国際特許分類】

**H 0 2 P 29/00 (2006.01)**

**G 0 5 B 11/36 (2006.01)**

【F I】

H 0 2 P 5/00 F

G 0 5 B 11/36 5 0 1 C

【手続補正書】

【提出日】平成18年9月20日(2006.9.20)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

位置指令及びモータ回転位置検出信号を入力し前記モータ回転位置検出信号が前記位置指令に一致するように位置制御を行い速度指令を出力する位置制御部と、前記速度指令及びモータ回転速度検出信号を入力し前記モータ回転速度検出信号が前記速度指令に一致するように速度制御を行いトルク指令を出力する速度制御部と、前記トルク指令を入力しモータの発生トルクが前記トルク指令に一致するようにトルク制御を行いモータ駆動電流を出力するトルク制御部と、モータの回転位置を検出し前記モータ回転位置検出信号を出力する位置検出器と、前記モータ回転位置検出信号に基づいてモータ回転速度を算出し前記モータ回転速度検出信号を出力する速度算出手段と、前記位置制御部および前記速度制御部の制御ゲインを変更する制御ゲイン変更手段とを備えたサーボ制御装置の限界ゲイン抽出方法において、

模擬外乱トルクを前記トルク指令に加える加振手段と、少なくとも前記トルク指令または前記モータ回転速度に基づいて制御系の振動を検出する振動検出手段と、振動成分の周波数を算出する周波数解析手段とを備える構成とし、前記制御ゲインを上げては前記模擬外乱トルクを前記トルク指令に加える処理を予め設定されたレベルを超える振動を検出する迄くり返し、前記レベルを超えた振動を検出した後に該振動に基づいて振動周波数を求め、該振動周波数に対応した位相差の振動抑制トルクを前記トルク指令に加算することを特徴とするサーボ制御装置の限界ゲイン抽出方法。

【請求項2】

前記振動周波数に対応した位相差は略90度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の限界ゲイン抽出方法。

【請求項3】

前記振動検出手段は制御系モデルを持つことを特徴とする請求項1に記載のサーボ制御装置の限界ゲイン抽出方法。

【請求項4】

位置指令及びモータ回転位置検出信号を入力し前記モータ回転位置検出信号が前記位置指令に一致するように位置制御を行い速度指令を出力する位置制御部と、前記速度指令及

びモータ回転速度検出信号を入力し前記モータ回転速度検出信号が前記速度指令に一致するように速度制御を行いトルク指令を出力する速度制御部と、前記トルク指令を入力しモータの発生トルクが前記トルク指令に一致するようにトルク制御を行いモータ駆動電流を出力するトルク制御部と、モータの回転位置を検出し前記モータ回転位置検出信号を出力する位置検出器と、前記モータ回転位置検出信号に基づいてモータ回転速度を算出し前記モータ回転速度検出信号を出力する速度算出手段と、前記位置制御部および前記速度制御部の制御ゲインを変更することのできる制御ゲイン変更手段とを備えたサーボ制御装置において、

模擬外乱トルクを前記トルク指令に加える加振手段と、少なくとも前記トルク指令または前記モータ回転速度に基づいて制御系の振動を検出する振動検出手段と、振動成分の周波数を算出する周波数解析手段と、前記制御ゲインを上げては前記模擬外乱トルクを前記トルク指令に加える処理を予め設定されたレベルを超える振動を検出する迄くり返し前記レベルを超えた振動を検出した後に該振動に基づいて振動周波数を求め該振動周波数に対応した位相差の振動抑制トルクを前記トルク指令に加算する手段とを備えることを特徴とするサーボ制御装置。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】サーボ制御装置およびその限界ゲイン抽出方法

【技術分野】

【0001】

本発明はサーボモータを駆動するサーボ制御装置におけるサーボ制御ゲインを自動設定する方法に関し、特に、限界ゲインを抽出するために機械等を加振手段によって加振した際に発

生する振動を検出して限界ゲインを検出するサーボ制御装置およびその限界ゲイン抽出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来のサーボ制御装置の限界ゲイン抽出方法としては、ゲインを上げて発振させて、そのゲインを最大値とする方法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

図5は従来技術によるゲイン調整処理を説明するフローチャートである。

ステップ500でゲイン調整処理を行うか否かを判定する。フラッグF = 1でなければゲイン調整処理は行わずに終り、F = 1であればステップ501に進む。

ステップ501では、制御系を発振させて得られたメモリに記憶されている実速度データをFFT分析し、周波数成分の振幅を求める。次に、ステップ502で検出された振幅のうち最大の振幅の周波数fをfmaxとしてもとめる。次に、fmaxと設定されている基準周波数faとの差の絶対値が、ゲイン調整のために設定されている閾値より小さいか否かを判断し、小さければ終り、小さくなければステップ504へ進む。

ステップ504では、現在セットされているカットオフ周波数fnにfaからfmaxを差し引いた値に設定パラメータを乗じた値を加算したものを新しいfnとする。

ステップ505では、fnと設定されている制御系で決まる速度ループ帯域の上限値flimをひかくし、fnが小さければステップ508へ進み、小さくなければステップ506へ進む。

ステップ508では、速度ループのゲインK1及びK2を計算する。次に、ステップ509で指標i及びフラッグFを「0」にセットして終わる。

ステップ506では、パラメータPが「0」か否かを判断し、「0」であればステップ507へ進み、「0」でなければステップ510へ進む。

ステップ507では、Pの値を「1」にして速度制御ループをPI制御にセットし、また、 $f_n$ を初期値 $f_{n0}$ にセットしてステップ508へ進む。

ステップ510では、 $f_n$ を $f_{lim}$ にセットして次へ進む。ステップ511では、速度ループのゲイン $K_1$ 及び $K_2$ を決定して速度ループゲインの調整を終わる。

こうして、決定された値によって速度制御が行われると、振動を生じず、かつ、ゲインの大きい望ましい速度制御が行われることとなる。

【特許文献1】特開平2 261083号公報(第8-9頁、図7)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら従来の方法では、限界ゲインを抽出して制御ゲインを設定した後の運転で、振動を検出すると制御ゲインを下げるか、トルクを小さくして振動を抑えていたが、これでは殆ど制御できなくなり、又外乱で機械が動く等の問題があった。

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、限界ゲインを抽出するために加振したトルクによる振動のみをスムーズにかつ速やかに抑制し、その後は制御ゲインを下げることなく運転を継続できる、サーボ制御装置およびその限界ゲイン抽出方法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】

【0004】

上記問題を解決するため、本発明は、次のように構成した。

請求項1に記載の発明は、位置指令及びモータ回転位置検出信号を入力し前記モータ回転位置検出信号が前記位置指令に一致するように位置制御を行い速度指令を出力する位置制御部と、前記速度指令及びモータ回転速度検出信号を入力し前記モータ回転速度検出信号が前記速度指令に一致するように速度制御を行いトルク指令を出力する速度制御部と、前記トルク指令を入力しモータの発生トルクが前記トルク指令に一致するようにトルク制御を行いモータ駆動電流を出力するトルク制御部と、モータの回転位置を検出し前記モータ回転位置検出信号を出力する位置検出器と、前記モータ回転位置検出信号に基づいてモータ回転速度を算出し前記モータ回転速度検出信号を出力する速度算出手段と、前記位置制御部および前記速度制御部の制御ゲインを変更する制御ゲイン変更手段とを備えたサーボ制御装置において、模擬外乱トルクを前記トルク指令に加える加振手段と、少なくとも前記トルク指令または前記モータ回転速度に基づいて制御系の振動を検出する振動検出手段と、振動成分の周波数を算出する周波数解析手段とを備える構成とし、前記制御ゲインを上げては前記模擬外乱トルクを前記トルク指令に加える処理を予め設定されたレベルを超える振動を検出する迄くり返し、前記レベルを超えた振動を検出した後に該振動に基づいて振動周波数を求め、該振動周波数に対応した位相差の振動抑制トルクを前記トルク指令に加算することを特徴とするものである。

【0005】

また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載のサーボ制御装置の限界ゲイン抽出方法において、前記振動周波数に対応した位相差は略90度であることを特徴とするものである。

【0006】

また、請求項3に記載の発明は、請求項1に記載のサーボ制御装置の限界ゲイン抽出方法において、前記振動検出手段は制御系モデルを持つことを特徴とするものである。

【0007】

また、請求項4に記載の発明は、位置指令及びモータ回転位置検出信号を入力し前記モータ回転位置検出信号が前記位置指令に一致するように位置制御を行い速度指令を出力する位置制御部と、前記速度指令及びモータ回転速度検出信号を入力し前記モータ回転速度検出信号が前記速度指令に一致するように速度制御を行いトルク指令を出力する速度制御部と、前記トルク指令を入力しモータの発生トルクが前記トルク指令に一致するようにトルク制御を行いモータ駆動電流を出力するトルク制御部と、モータの回転位置を検出し前

記モータ回転位置検出信号を出力する位置検出器と、前記モータ回転位置検出信号に基づいてモータ回転速度を算出し前記モータ回転速度検出信号を出力する速度算出手段と、前記位置制御部および前記速度制御部の制御ゲインを変更する制御ゲイン変更手段とを備えたサーボ制御装置において、模擬外乱トルクを前記トルク指令に加える加振手段と、少なくとも前記トルク指令または前記モータ回転速度に基づいて制御系の振動を検出する振動検出手段と、振動成分の周波数を算出する周波数解析手段と、前記制御ゲインを上げては前記模擬外乱トルクを前記トルク指令に加える処理を予め設定されたレベルを超える振動を検出する迄くり返し前記レベルを超えた振動を検出した後に該振動に基づいて振動周波数を求め該振動周波数に対応した位相差の振動抑制トルクを前記トルク指令に加算する手段とを備えることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、振動周波数を周波数解析手段で解析し、その振動周波数に見合ったタイミングで振動抑制トルクをトルク指令に加えて振動を抑制するので、限界ゲインを抽出するために加振したトルクによる振動のみをスムーズにかつ速やかに抑制し、その後は制御ゲインを下げることなく運転を継続できる、サーボ制御装置およびその限界ゲイン抽出方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

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】

【0010】

実際のサーボ制御装置には様々な機能や手段が内蔵されているが、図には本発明に関する機能や手段のみを記載し説明することとする。また、以下同一名称には極力同一符号を付け重複説明を省略する。

本発明の基本的な考え方を説明するために、制御系が発振する状況を考察する。

機械の摩擦等の負荷がない状態で、機械共振等で制御系に振動が発生すると、制御ループゲインの働きで振動が急速に増大して発振状態に移行してしまい振動を止めることが困難となる。摩擦等の機械の負荷は、エネルギーを消費することで、振動を押さえる働きがある。機械負荷があるもののゲインが高くて、振動しやすい不安定な状態では、負荷を変動させることで、振動を誘発することもできるし、また誘発した振動を止めることもできる。しかし、制御ゲインを高くすると振動も大きくなる。

本発明は、このような場合に、トルク指令に振動抑制トルクを加えることで早く振動を抑制するものである。

【0011】

図1は本発明を適用するサーボ制御装置のブロック図である。図1において、1は位置制御部、2は速度制御部、3はトルク制御部、4は位置検出器、5は速度算出手段、6はモータ、7は機械、8はトルク伝達機構である。

また、11は加振手段、12は振動検出手段、13は加算器、14は制御ゲイン変更手段、15は周波数解析手段である。

【0012】

最初に、図1を用いて本発明のサーボ制御装置の構成を説明する。

位置制御部1は位置指令とモータ回転位置検出信号とを入力し速度指令を速度制御部2へ出力する。速度制御部2は前記速度指令とモータ回転速度検出信号とを入力しトルク指令を加算器13および振動検出手段12へ出力する。加算器13は前記トルク指令と模擬外乱トルク信号とを入力し合成トルク指令をトルク制御部3へ出力する。トルク制御部3は前記合成トルク指令を入力しモータ駆動電流をモータ6へ出力する。モータ6にはトルク伝達機構8および位置検出器4が装着されている。トルク伝達機構8はモータ6の発生トルクを負荷7へ伝達する。位置検出器4は前記モータ回転位置検出信号を位置制御部1および速度算出手段5へ出力する。速度算出手段5は前記モータ回転位置検出信号を入力し

前記モータ回転速度検出信号を速度制御部 2 および振動検出手段 1 2 へ出力する。振動検出手段 1 2 は前記トルク指令または前記モータ回転速度検出信号並びに振動抑制トルク発生タイミング信号を入力し加振手段制御信号を加振手段 1 1 へ、制御ゲイン変更信号を制御ゲイン変更手段 1 4 へ、振動成分信号を周波数解析手段 1 5 へ出力する。加振手段 1 1 は前記加振手段制御信号を入力し前記模擬外乱トルク信号を加算器 1 3 へ出力する。制御ゲイン変更手段 1 4 は前記制御ゲイン変更信号を入力し位置制御部 1 及び速度制御部 2 の制御ゲインを変更する。周波数解析手段 1 5 は前記振動成分信号を入力し前記振動抑制トルク発生タイミング信号を振動検出手段 1 2 へ出力する。

#### 【0013】

次に、図 1 を用いて本発明のサーボ制御装置の動作を説明する。

位置制御部 1 は前記モータ回転位置検出信号が前記位置指令に一致するように制御演算を行い前記速度指令を算出する。速度制御部 2 は前記モータ回転速度検出信号が前記速度指令に一致するように制御演算を行い前記トルク指令を算出する。加算器 1 3 は前記トルク指令と前記模擬外乱トルクとを加算して前記合成トルク指令を算出する。トルク制御部 3 は前記合成トルク指令に基づいてトルク制御演算を行いモータ 6 へモータ駆動電流を流す。モータ 6 に駆動電流が流れるとトルクを発生する。位置検出器 4 はモータ 6 の回転位置を検出する。速度演算手段 5 は前記モータ回転位置検出信号に基づいて前記モータ回転速度検出信号を算出する。加振手段 1 1 は予め設定されたレベルのステップ状の模擬外乱トルクおよび振動抑制トルクを合成した模擬外乱トルク信号を前記加振手段制御信号に従って発生する。振動検出手段 1 2 は前記トルク指令または前記モータ回転速度検出信号中に含まれる振動成分を抽出し、出力する。また、その振動成分が、予め設定されたレベルを超えたか否かにより、前記制御ゲイン変更信号により制御ゲイン変更手段 1 4 を介して位置制御部及び速度制御部の制御ゲインを変更することもでき、前記加振手段制御信号により加振手段 1 1 をオン/オフすることもできる。周波数解析手段 1 5 は前記振動成分の周波数を解析し前記振動抑制トルク発生タイミング信号を生成する。

#### 【0014】

加振手段 1 1、振動検出手段 1 2、および周波数解析手段 1 5 が本発明を実施するための重要な手段である。

加振手段 1 1 において、前記振動抑制トルクは経験的に求められている値を使用してもよいし、予め試行錯誤して求めていてもよい。振動検出手段 1 2 は、トルク指令またはモータの速度信号中に含まれる振動成分が予め設定されたレベルを超えた場合に振動と見なす。また、図 3 または図 4 に示している方法により推定誤差速度  $e$  を算出し、その推定誤差速度  $e$  中に含まれる振動成分が予め設定されたレベルを超えた場合に振動と見なしでも良い。この振動検出レベル閾値は、制御系が発振していない範囲であれば任意に設定しても構わないが、たとえば、通常運転したときの振動成分のレベルの振動振幅の最大値の 2 倍程度にすることが好ましい。

#### 【0015】

図 3 は、本発明の振動検出手段 1 2 において推定誤差速度  $e$  の算出方法の第 1 の例のブロック図である。図 3 において、3 1 はモータ及び負荷のモデルである。

モータ及び負荷のモデル 3 1 はトルク指令を入力し、そのトルク指令をモータ及び負荷のイナーシャで割り算し、その演算結果を時間積分して推定速度  $o$  を算出する。その推定速度  $o$  からモータ回転速度  $o$  を差し引いたものが推定誤差速度  $e$  である。即ち、

$$e = o - o$$

である。

#### 【0016】

図 4 は、本発明の振動検出手段 1 2 において推定誤差速度  $e$  の算出方法の第 2 の例のブロック図である。図 4 において、4 0 は制御系モデルであり、4 1 は制御系モデルの負荷イナーシャ分、4 2 は制御系モデルの速度制御のゲイン、4 3 は制御系モデルの速度制御の積分、4 4 は積分、4 5 はサンプラーである。

制御系モデル 4 0 は、制御系モデルの負荷イナーシャ分 4 1、制御系モデルの速度制御

のゲイン 4 2、制御系モデルの速度制御の積分 4 3、積分 4 4、サンプラ 4 5 で構成される。

制御系モデル 4 0 は、トルク指令およびモータ回転速度  $\omega$  を入力し、図 4 のブロック図に従って演算し、推定誤差速度  $\omega_e$  を算出する。その推定速度  $\omega$  からモータ回転速度  $\omega_m$  を差し引いたものが推定誤差速度  $e$  である。即ち、

$$e = \omega - \omega_m$$

である。

#### 【0017】

図 2 は、本発明を適用した振動抑制方法を示すフローチャートである。図 2 において、ステップ S 2 1 では模擬外乱トルク加振後かどうかを確認する。模擬外乱トルク加振後であればステップ S 2 2 へ進み、模擬外乱トルク加振後でなければステップ S 2 1 へ戻る。

つぎに、ステップ S 2 2 では振動検出手段 1 2 で振動が観測できるか否かを確認する。振動が観測されればステップ S 2 3 へ進み、振動が観測されなければステップ S 2 2 へ戻る。

ステップ S 2 3 では振動周波数を周波数解析手段 1 5 で解析し、その振動周波数に見合った時間分経過したか否かを判断し、その振動周波数に見合った時間分経過していればステップ S 2 4 へ進み、その振動周波数に見合った時間分経過していなければステップ S 2 3 へ戻る。

ステップ S 2 4 では前記振動周波数の 90 度位相差の振動抑制トルクをトルク指令に加えてステップ S 2 5 へ進む。この時、振動を抑えるのを早める為に同時に制御ゲインを下げて良い。

ステップ S 2 5 では振動検出手段 1 2 により振動が収まったか否かを確認し、収まったらその時の制御ゲインを記憶して終了し、収まっていなかったらステップ S 2 3 へ戻る。

#### 【0018】

図 5 は、本発明の振動抑制トルクを加えるタイミングを説明するタイミング図である。図 5 において、5 1 は制御ゲインを上げていく動作を示す概念図、5 2 は模擬外乱トルクを加えるタイミング、5 3 はトルク指令又はモータ回転速度、5 4 は振動抑制トルク、5 5 は振動検出レベル閾値、5 6 は観測された周波数である。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0019】

本発明は、半導体製造装置の位置決め駆動用サーボ制御装置、工作機械や産業用ロボットを駆動するサーボ制御装置に利用できる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0020】

【図 1】本発明を適用するサーボ制御装置のブロック図。

【図 2】本発明を適用した振動抑制方法を示すフローチャート。

【図 3】本発明の推定誤差速度の算出方法の第 1 の例のブロック図。

【図 4】本発明の推定誤差速度の算出方法の第 2 の例のブロック図。

【図 5】本発明の振動抑制トルクを加えるタイミングを説明するタイミング図。

【図 6】従来技術によるゲイン調整処理を説明するフローチャート。

#### 【符号の説明】

#### 【0021】

- 1 位置制御部
- 2 速度制御部
- 3 トルク制御部
- 4 位置検出器
- 5 速度算出手段
- 6 モータ
- 7 機械
- 8 トルク伝達機構

- 1 1 加振手段
- 1 2 振動検出手段
- 1 3 加算器
- 1 4 制御ゲイン変更手段
- 1 5 周波数解析手段
- 3 1 モータ及び負荷のモデル
- 4 0 制御系モデル
- 4 1 制御系モデルの負荷イナーシャ分
- 4 2 制御系モデルの速度制御のゲイン
- 4 3 制御系モデルの速度制御の積分
- 4 4 積分
- 4 5 サンプラー
- 5 1 制御ゲインを上げていく動作を示す概念図
- 5 2 模擬外乱トルクを加えるタイミング
- 5 3 トルク指令又はモータ回転速度
- 5 4 振動抑制トルク
- 5 5 振動検出レベル閾値
- 5 6 観測された周波数