

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-185014

(P2007-185014A)

(43) 公開日 平成19年7月19日(2007.7.19)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H02P 29/00 (2006.01)</b>	H02P 5/00 F	5H303
<b>G05D 3/12 (2006.01)</b>	H02P 5/00 H	5H501
	H02P 5/00 K	
	G05D 3/12 304	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2006-352 (P2006-352)  
 (22) 出願日 平成18年1月5日(2006.1.5)

(71) 出願人 000005821  
 松下電器産業株式会社  
 大阪府門真市大字門真1006番地  
 (74) 代理人 100097445  
 弁理士 岩橋 文雄  
 (74) 代理人 100109667  
 弁理士 内藤 浩樹  
 (74) 代理人 100109151  
 弁理士 永野 大介  
 (72) 発明者 田澤 徹  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下  
 電器産業株式会社内  
 (72) 発明者 檜崎 和成  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下  
 電器産業株式会社内

最終頁に続く

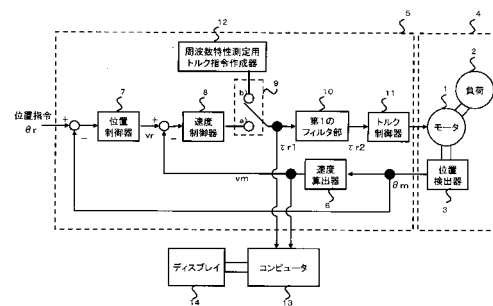
(54) 【発明の名称】 モータ制御装置の制御パラメータ算出方法、算出プログラムおよびモータ制御装置

(57) 【要約】

【課題】 負荷状態の変化を考慮した、安定かつ制御応答性の高いモータ制御装置の制御パラメータを算出する。

【解決手段】 負荷状態の異なる2つ以上の負荷周波数特性を用い、前記負荷周波数特性の位相が  $-180 + [deg]$  ( $[deg]$  は0以上の値) 以下になる周波数領域での最大ゲインに基づいて、速度制御器の制御パラメータである速度応答周波数を算出する。負荷状態によって変化する共振周波数を1つの共振周波数と考えノッチフィルタの最適設定も同時に算出する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

負荷が接続されたモータの検出速度と速度指令が一致するよう第 1 のトルク指令を生成する速度制御器と、前記第 1 のトルク指令、もしくは前記第 1 のトルク指令を 1 つ以上のフィルタを通した結果である第 2 のトルク指令に応じて前記モータを駆動するトルク制御器を有するモータ制御装置の制御パラメータ算出方法であって、前記負荷の状態が異なる少なくとも 2 つ以上の状態における前記トルク制御器の入力端からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を得、得られた全ての負荷周波数特性に対し速度制御系が安定となる前記速度制御器の制御パラメータおよび前記フィルタの制御パラメータを算出するモータ制御装置の制御パラメータ算出方法。

10

## 【請求項 2】

負荷が接続されたモータの検出速度と速度指令が一致するよう第 1 のトルク指令を生成する速度制御器と、前記第 1 のトルク指令、もしくは前記第 1 のトルク指令を 1 つ以上のフィルタを通した結果である第 2 のトルク指令に応じて前記モータを駆動するトルク制御器を有するモータ制御装置の制御パラメータ算出方法であって、前記負荷の状態が異なる少なくとも 2 つ以上の状態における前記トルク制御器の入力端からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を得、前記負荷周波数特性を用いて共振周波数を算出し、得られた前記共振周波数のうち、負荷状態の変化により変化した共振周波数群を 1 つの共振周波数とみなし、この共振周波数を中心周波数とするノッチフィルタの設定パターンを算出し、得られた全ての負荷周波数特性に対し速度制御系が安定となる前記速度制御器の制御

20

## 【請求項 3】

負荷が接続されたモータの検出速度と速度指令が一致するよう第 1 のトルク指令を生成する速度制御器と、前記第 1 のトルク指令、もしくは前記第 1 のトルク指令を 1 つ以上のフィルタを通した結果である第 2 のトルク指令に応じて前記モータを駆動するトルク制御器を有するモータ制御装置の制御パラメータ算出プログラムであって、コンピュータに、前記負荷の状態が異なる少なくとも 2 つ以上の状態における前記トルク制御器の入力端からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を得るステップと、得られた全ての負荷周波数特性に対し速度制御系が安定となる前記速度制御器の制御パラメータおよび前記

30

## 【請求項 4】

負荷が接続されたモータの検出速度と速度指令が一致するよう第 1 のトルク指令を生成する速度制御器と、前記第 1 のトルク指令、もしくは前記第 1 のトルク指令を 1 つ以上のフィルタを通した結果である第 2 のトルク指令に応じて前記モータを駆動するトルク制御器を有するモータ制御装置の制御パラメータ算出プログラムであって、コンピュータに、前記負荷の状態が異なる少なくとも 2 つ以上の状態における前記トルク制御器の入力端からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を得るステップと、前記負荷周波数特性を用いて共振周波数を算出するステップと、得られた前記共振周波数のうち、負荷状態

40

## 【請求項 5】

請求項 3 から請求項 4 いずれかに記載のプログラムを記録した媒体。

## 【請求項 6】

負荷が接続されたモータの検出速度と速度指令が一致するよう第 1 のトルク指令を生成する速度制御器と、前記第 1 のトルク指令、もしくは前記第 1 のトルク指令を 1 つ以上のフ

50

フィルタを通した結果である第2のトルク指令に応じて前記モータを駆動するトルク制御器を有するモータ制御装置であって、前記負荷の状態が異なる少なくとも2つ以上の状態における前記トルク制御器の入力端からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を得る機能と、得られた全ての負荷周波数特性に対し速度制御系が安定となる前記速度制御器の制御パラメータおよび前記フィルタの制御パラメータを算出し、算出された制御パラメータに基づいて調整する機能と、を有するモータ制御装置。

【請求項7】

負荷が接続されたモータの検出速度と速度指令が一致するよう第1のトルク指令を生成する速度制御器と、前記第1のトルク指令、もしくは前記第1のトルク指令を1つ以上のフィルタを通した結果である第2のトルク指令に応じて前記モータを駆動するトルク制御器を有するモータ制御装置であって、前記負荷の状態が異なる少なくとも2つ以上の状態における前記トルク制御器の入力端からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を得る機能と、前記負荷周波数特性を用いて共振周波数を算出する機能と、得られた前記共振周波数のうち、負荷状態の変化により変化した共振周波数群を1つの共振周波数とみなし、この共振周波数を中心周波数とするノッチフィルタの設定パターンを算出する機能と、得られた全ての負荷周波数特性に対し速度制御系が安定となる前記速度制御器の制御パラメータおよび前記ノッチフィルタの制御パターンを算出し、算出された制御パラメータにおよび前記ノッチフィルタの設定パターンに基づいて調整する機能と、を有するモータ制御装置。

10

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、モータ制御装置の制御パラメータ算出プログラムおよびモータ制御装置に関するもので、特に速度制御器の制御パラメータ、フィルタの制御パラメータの算出に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来モータ制御装置の制御パラメータ算出方法としては、トルク指令からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を用いて、速度制御手段の制御パラメータを算出するものがある。例えば特許文献1に記載されている。

30

【0003】

図10は従来技術を説明するための図である。図10において、モータ駆動装置505は、モータ501を駆動する。モータ501には、それにより駆動される負荷502が接続されている。さらに、モータ501には位置検出器503が接続されており、位置検出器503はモータ501の回転位置  $m$  を検出し出力する。モータ501、負荷502、位置検出器503、モータ501と負荷502の連結部分およびモータ501と位置検出器503の連結部分により機械系504が構成される。

【0004】

モータ駆動装置505は、速度算出器506、位置制御器507、速度制御器508、スイッチ部509、フィルタ部510、トルク制御器511、周波数特性測定用トルク指令作成器512、および制御パラメータ調整部515を備える。モータ501を駆動する時は、スイッチ部509がa)に切り替えられる。速度算出器506は位置検出器503の出力である回転位置  $m$  が入力され、モータ501の速度  $v_m$  を算出し出力する。位置制御器507は位置検出器503の出力である回転位置  $m$  が外部から入力される位置指令  $r$  と一致するよう制御演算し速度指令  $v_r$  を出力する。速度制御器508は速度演算器506の出力である速度  $v_m$  が速度指令  $v_r$  と一致するよう制御演算し第1のトルク指令  $r_1$  を出力する。フィルタ部510は第1のトルク指令  $r_1$  が入力されフィルタ処理をして第2のトルク指令  $r_2$  を出力する。トルク制御器511は第2のトルク指令  $r_2$  が入力され、第2のトルク指令  $r_2$  を電流指令に変換し、電流指令とモータ50

40

50

1 に流れる電流とが一致するよう電流制御を行うことによりモータ 501 を駆動する。

【0005】

制御パラメータの算出は以下の通り行う。まず、スイッチ部 509 が b) に切り替えられる。そして周波数特性測定用トルク指令作成器 512 は、例えば M 系列信号など複数の周波数成分を含む第 1 のトルク指令を出力しモータ 501 を駆動する。この時の第 1 のトルク指令  $r_1$  とモータ速度  $v_m$  が制御パラメータ調整部 515 に入力される。制御パラメータ調整部 515 では図 11 に示すフローチャートに示す処理を行う。以下フローチャートについて説明する。

【0006】

入力された第 1 のトルク指令  $r_1$  とモータ速度  $v_m$  をサンプリングし、第 1 のトルク指令  $r_1$  からモータ速度  $v_m$  までの周波数特性を算出して得る (ステップ S511)。以下、求めた周波数特性を「負荷周波数特性」と呼ぶ。

【0007】

負荷周波数特性のゲイン特性から共振周波数を算出し、算出した共振周波数を減衰周波数とするノッチフィルタの設定パターンを算出する (ステップ S512)。設定パターンとはノッチフィルタをどの共振周波数に対し適用するかの組み合わせを指す。

【0008】

そして、制御系が安定となる最大の速度応答周波数  $v$  を全ての設定パターンについて算出する (ステップ S513 ~ S516)。

【0009】

全ての設定パターンについて速度応答周波数  $v$  が算出されると、その中で最大となる速度応答周波数  $v$  を求め、関連づけられたノッチフィルタの設定パターンに基づいて制御パラメータを調整する (ステップ S517)。

【0010】

この処理により制御安定性が保証できる最大速度応答周波数  $v$  が短時間で得られ、同時に最適なノッチフィルタ設定パターンも得られる。なお、ノッチフィルタはフィルタ部 510 に設定される。

【特許文献 1】特開 2005 - 245051 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、従来のモータ制御装置では下記課題がある。負荷周波数特性は負荷 502 の状態によって変化する場合がある。例えば、ボールスクリュウによってテーブルが移動する負荷の場合、テーブルの位置によって共振周波数が変化する。また、ロボットアームのように姿勢の変化する負荷の場合、姿勢のよってイナーシャが変化するとともにそれによって共振周波数も変化する。従来技術では 1 つの負荷周波数特性に基づいて制御パラメータを調整するため、共振周波数の変化やイナーシャの変化に関しては考慮されない。よって、ある負荷状態では安定した制御が出来ても異なる状態では安定性が失われ振動する等が起こりうる。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題を解決するために本発明は、負荷が接続されたモータの検出速度と速度指令が一致するよう第 1 のトルク指令を生成する速度制御器と、前記第 1 のトルク指令、もしくは前記第 1 のトルク指令を 1 つ以上のフィルタを通した結果である第 2 のトルク指令に応じて前記モータを駆動するトルク制御器を有するモータ制御装置に対し、前記負荷の状態が異なる少なくとも 2 つ以上の状態における前記トルク制御器の入力端からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を得、得られた全ての負荷周波数特性に対し速度制御系が安定となる前記速度制御器の制御パラメータおよび前記フィルタの制御パラメータを算出する機能を有する。

【0013】

10

20

30

40

50

また、本発明は、負荷が接続されたモータの検出速度と速度指令が一致するよう第1のトルク指令を生成する速度制御器と、前記第1のトルク指令、もしくは前記第1のトルク指令を1つ以上のフィルタを通した結果である第2のトルク指令に応じて前記モータを駆動するトルク制御器を有するモータ制御装置に対し、

前記負荷の状態が異なる少なくとも2つ以上の状態における前記トルク制御器の入力端からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を得、前記負荷周波数特性を用いて共振周波数を算出し、得られた前記共振周波数のうち、負荷状態の変化により変化した共振周波数群を1つの共振周波数とみなし、この共振周波数を中心周波数とするノッチフィルタの設定パターンを算出し、得られた全ての負荷周波数特性に対し速度制御系が安定となる前記速度制御器の制御パラメータおよび前記ノッチフィルタの設定パターンを算出する機能を有する。

10

【発明の効果】

【0014】

以上、説明したように本発明のモータ制御装置の制御パラメータ算出方法、算出プログラムおよびモータ制御装置は、

負荷の状態が異なる少なくとも2つ以上の状態における前記トルク制御器の入力端からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を得、

得られた全ての負荷周波数特性に対し速度制御系が安定となる前記速度制御器の制御パラメータおよび前記フィルタの制御パラメータを算出する機能を有する。これにより負荷状態が変化し周波数特性が変化しても算出された制御パラメータを用いることにより常に安定した制御を行うことができる。

20

【0015】

また、本発明のモータ制御装置の制御パラメータ算出方法、算出プログラムおよびモータ制御装置は、

前記負荷の状態が異なる少なくとも2つ以上の状態における前記トルク制御器の入力端からモータ速度までの周波数特性である負荷周波数特性を得、

前記負荷周波数特性を用いて共振周波数を算出し、

得られた前記共振周波数のうち、負荷状態の変化により変化した共振周波数群を1つの共振周波数とみなし、この共振周波数を中心周波数とするノッチフィルタの設定パターンを算出し、得られた全ての負荷周波数特性に対し速度制御系が安定となる前記速度制御器の制御パラメータおよび前記ノッチフィルタの設定パターンを算出する機能を有する。

30

【0016】

これにより負荷状態が変化し周波数特性が変化しても算出された制御パラメータおよびノッチフィルタの設定パターンを用いることにより常に安定した制御を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。

【実施例1】

【0018】

図1は、本発明の実施の形態1における、モータ制御装置の制御パラメータ算出プログラムを実行させるコンピュータを含む全体構成図である。1はモータで、モータ1によって駆動される負荷2が接続されている。3は位置検出器で、モータ1のモータ位置  $m$  を出力する。4はモータ1、負荷2、位置検出器3、モータ1と負荷2との連結部分およびモータ1と位置検出器3との連結部分からなる機械系である。5はモータ1を駆動するモータ駆動装置である。6は速度算出器で、位置検出器3の出力であるモータ位置  $m$  が入力され、モータ1のモータ速度  $v_m$  を算出し出力する。

40

【0019】

以下、モータ駆動装置5がモータ1を位置制御する時の動作を説明する。モータ1を位置制御する時は、スイッチ部9をa)の方に切り替える。位置指令  $r$  が入力されると、

50

モータ位置  $m$  との差分が位置制御器 7 に入力される。位置制御器 7 は位置指令  $r$  とモータ位置  $m$  とが一致するよう速度指令  $v_r$  を算出し出力する。位置制御器 7 の動作としては、例えば、位置比例ゲインを  $K_p$  として (数 1) に示す比例演算を行う。

【 0 0 2 0 】

【 数 1 】

$$v_r = K_p(\theta_r - \theta_m)$$

10

【 0 0 2 1 】

速度制御器 8 は、速度指令  $v_r$  とモータ速度  $v_m$  との差分が入力され、速度指令  $v_r$  とモータ速度  $v_m$  とが一致するよう第 1 のトルク指令  $\tau_1$  を算出し出力する。速度制御器 8 の動作としては、例えば、速度比例ゲインを  $K_v$  として (数 2) に示す比例演算を行う。

【 0 0 2 2 】

【 数 2 】

$$\tau_1 = K_v(v_r - v_m)$$

20

【 0 0 2 3 】

第 1 のフィルタ部 10 は、第 1 のトルク指令  $\tau_1$  が入力され、設定されたフィルタによる処理後、第 2 のトルク指令  $\tau_2$  を出力する。トルク制御器 11 は、入力された第 2 のトルク指令  $\tau_2$  を電流指令に変換し、電流指令とモータ 1 に流れる電流とが一致するよう電流制御を行うことによりモータ 1 を駆動する。

30

【 0 0 2 4 】

次に、このように構成されたモータ制御装置において、位置比例ゲイン  $K_p$  と速度比例ゲイン  $K_v$  の関係について説明する。機械系 4 の総イナーシャを  $J_a$  とし、機械特性が剛体とほぼ等しいとする。また、第 1 のフィルタ部 10 は第 1 のトルク指令  $\tau_1$  をそのまま第 2 のトルク指令  $\tau_2$  として出力するとする。この時、速度制御器 8 の制御パラメータである速度応答周波数  $\omega_v$  [rad/s] を用いて、速度比例ゲイン  $K_v$ 、位置比例ゲイン  $K_p$  を (数 3)、(数 4) で与えると、位置フィードバックループの閉ループ伝達関数は (数 5) のように重根を持ち、オーバーシュートのない良好な応答となる。

【 0 0 2 5 】

【 数 3 】

40

$$K_v = J_a \cdot \omega_v$$

【 0 0 2 6 】

【数 4】

$$K_p = \omega v / 4$$

【0027】

10

【数 5】

$$\frac{(\omega v / 2)^2}{(s + \omega v / 2)^2}$$

20

【0028】

逆に考えると、速度応答周波数  $v$  を算出できれば、(数 3)、(数 4) を用いることによりオーバーシュートのない良好な応答位置比例ゲイン  $K_p$  と速度比例ゲイン  $K_v$  を算出できる。

【0029】

次に、このように構成されたモータ制御装置の制御パラメータである速度応答周波数  $v$  の算出について説明する。スイッチ部 9 を b) の方に切り替えた状態で、周波数特性測定用トルク指令作成器 12 から、例えば M 系列信号など複数の周波数成分を含む第 1 のトルク指令  $r_1$  が出力され、モータ 1 を駆動する。この時の第 1 のトルク指令  $r_1$  とモータ速度  $v_m$  がコンピュータ 13 に入力される。コンピュータ 13 では、図 2 に示すフローチャートのプログラムが実行され、モータ制御装置の制御パラメータである速度応答周波数  $v$  を算出する。以下、プログラムの動作について説明する。

30

【0030】

ステップ S1 では、入力された第 1 のトルク指令  $r_1$  とモータ速度  $v_m$  をサンプリングし、第 1 のトルク指令  $r_1$  からモータ速度  $v_m$  までの周波数特性を算出して得る。これを負荷周波数特性と呼ぶことにする。負荷周波数特性の算出は、例えば、サンプリングした第 1 のトルク指令  $r_1$  およびモータ速度  $v_m$  をそれぞれフーリエ変換し、モータ速度  $v_m$  のフーリエ変換結果から算出されるゲイン特性および位相特性から、第 1 のトルク指令  $r_1$  のフーリエ変換結果から算出されるゲイン特性および位相特性を減ずることによって得られる。この負荷周波数特性算出は負荷の状態が異なる 2 つ以上の状態に対して行う。

40

【0031】

次にステップ S2 とステップ S3 を得られた各負荷周波数特性に対し行う。

【0032】

ステップ S2 では、0 以上である位相余裕  $[deg]$  を用いて、得られた負荷周波数特性の位相が  $-180 + [deg]$  以下の周波数領域における最大ゲイン  $G_{max} [dB]$  を算出する。

【0033】

ステップ S3 では、最大ゲイン  $G_{max} [dB]$  に基づいて速度応答周波数  $v$  を算出する。

【0034】

50

ナイキストの安定定理より、フィードバック系の一巡伝達関数の周波数特性において、位相が  $-180$  [deg] 以下となる周波数領域でゲインが  $0$  [dB] 以下ならば安定は保証される。図 1 で示される全体構成図のうち、速度フィードバックループ部のブロック図を図 3 に示す。第 1 のトルク指令  $r_1$  からモータ速度  $v_m$  までの伝達関数を  $H_1(s)$  とする。また速度制御器 8 は (数 2) で示す比例演算を行うとすると速度制御器 8 の伝達関数は  $K_v$  となる。従って図 3 に示す速度フィードバックループ部の一巡伝達関数は (数 6) で表される。

【0035】

【数6】

10

$$K_v \cdot H_1(s)$$

【0036】

ここで第 1 のトルク指令  $r_1$  からモータ速度  $v_m$  までの伝達関数を  $H_1(s)$  の周波数特性を図 4 に示すものとする。この時、速度フィードバックループ部分の一巡伝達関数の周波数特性に関し、位相特性は  $H_1(s)$  の位相特性と変わらず、ゲイン特性は  $K_v$  によって全体が上下に変化する。そこでまず、ステップ  $S_1$  で得られた周波数特性  $H_1(s)$  において、位相余裕 [deg] を用いて、位相が  $-180 +$  [deg] 以下となる周波数領域を求める。図 4 においては区間 A と区間 B となる。そしてその区間における最大ゲイン  $G_{max}$  [dB] を求める。最大ゲイン  $G_{max}$  を求める区間を必要最低限としているため、位相が  $-180 +$  [deg] となる最も低い周波数より高い領域を用いるより処理時間を短くできる。前述したように、一巡伝達関数のゲイン特性は  $K_v$  によって上下するが、正であるゲイン余裕 [dB] を用いて、次 (数 7) を満たすように  $K_v$  を求めれば、速度フィードバックループの一巡伝達関数の周波数特性において、位相が  $-180 +$  [deg] 以下となる周波数領域でゲインが  $-$  [dB] 以下となり安定性は保証される。

20

30

【0037】

【数7】

$$-\beta \geq G_{max} + 20 \log_{10}(K_v)$$

【0038】

$K_v$  が大きいほど速度フィードバックの応答性も高いので、(数 7) を満たす最大値を  $K_v$  として算出する。算出式は (数 8) となる。

40

【0039】

【数 8】

$$Kv = 10 \frac{G \max + \beta}{20}$$

【0040】

10

また、機械系 4 の総イナーシャを  $J_a$  とすると、速度制御器 7 の制御パラメータである速度応答周波数  $\nu$  [rad/s] は、(数 4) を変形した (数 9) で算出できる。

【0041】

【数 9】

$$\omega\nu = Kv / Ja$$

20

【0042】

機械系 4 の総イナーシャ  $J_a$  はステップ S 1 で負荷周波数特性の低域でのゲインから計算できる。

【0043】

ステップ S 2 とステップ S 3 で算出された速度応答周波数  $\nu$  と総イナーシャ  $J_a$  を算出に用いた負荷応答周波数特性に関連づけておく。

【0044】

ステップ S 4 では、ステップ S 1 で得られた複数の負荷周波数特性に対して速度応答周波数  $\nu$  と総イナーシャ  $J_a$  が算出されたかをチェックする。もしまだ算出されていない負荷周波数特性があればその負荷周波数特性に対しステップ S 2、ステップ S 3 を行う。もし、すべての負荷周波数特性に対し速度応答周波数が算出されたらステップ S 5 に進む。

30

【0045】

ステップ S 5 では、まず各負荷周波数特性に関連づけられた速度応答周波数  $\nu$  と総イナーシャ  $J_a$  との積を計算しそれぞれ  $Kv_n$  ( $n = 1, \dots$ ) とする。そして  $Kv_n$  の中で最小値を探索しその最小値を  $Kv_{min}$  とする。これがすべての負荷周波数特性に対し安定となるゲインと言える。また各負荷周波数特性に関連づけられた総イナーシャ  $J_a$  の中で最大値を探索しその最大値を  $J_{max}$  とする。そしてゲイン  $Kv_{min}$  を総イナーシャ  $J_{max}$  で除することにより速度応答周波数  $\nu_{final}$  を得る。これが機械系の

40

【0046】

ステップ S 6 では、算出された速度応答周波数  $\nu_{final}$  を、コンピュータ 13 に接続されたディスプレイ部 14 に表示する。表示例を図 5 に示す。ディスプレイ部 14 には算出された速度応答周波数  $\nu$  だけでなく、周波数特性等をもとに表示してもよい。

【0047】

これにより、ユーザはモータ制御装置の制御パラメータ設定において、負荷状態が変化しても安定性が保証できる最大の速度応答周波数を短時間で知ることができる。また、(数 3)、(数 4) を用いてパラメータを計算することにより、安定性が保証され、かつ応答性よいパラメータ設定ができる。

50

## 【0048】

なお、本実施の形態のステップS1では、第1のトルク指令とモータ速度をサンプリングし、フーリエ変換し、負荷周波数特性を算出するとしたが、フーリエ変換後のデータが入力され負荷周波数特性を算出する、あるいは前もって計算された負荷周波数特性が入力されるとしても同様の効果が得られる。

## 【0049】

また、本実施の形態では、第1のトルク指令からモータ速度までの周波数特性を算出するとしたが、第2のトルク指令からモータ速度までの周波数特性を算出し、フィルタ部の周波数特性を加算しても同様のものを得ることができるので、第2のトルク指令からモータ速度までの周波数特性を算出あるいは入力するとしてもよい。

10

## 【0050】

また、本実施の形態では、位置制御装置に対して速度応答周波数の算出を行ったが、速度制御装置に対して行うとしても同様の効果が得られる。

## 【0051】

また、本実施の形態の第1のフィルタ部10がローパスフィルタやノッチフィルタを有するものとしても同様の効果が得られる。

## 【0052】

また、本実施の形態ではディスプレイ部14がコンピュータ13に接続されているとしたが、両者が無線でデータをやりとりする形態であっても同様の効果が得られる。

## 【0053】

また、本実施の形態では、ステップS1からステップS6の動作をするプログラムとして説明したが、ステップS1からステップS5の動作機能を持つモータ制御装置としてもよい。構成例を図6を用いて説明に示す。図1と異なるのは、モータ駆動装置5の代わりにモータ制御装置51が示されている。モータ制御装置51には制御パラメータ調整15を内蔵している。制御パラメータ調整15の動作としてはステップS1からステップS5の動作をしたのち、算出された速度応答周波数  $v_{final}$  に基づいて速度比例ゲイン  $K_v$  および位置比例ゲイン  $K_p$  を調整する。例えば、(数3)、(数4)を用いて調整する。

20

## 【実施例2】

## 【0054】

次に、本発明の実施の形態2について説明する。実施の形態2のモータ制御装置の制御パラメータ算出プログラムにおいては、周波数特性から得られる共振周波数に基づいてノッチフィルタの設定パターンを算出し、各設定パターンにおいて算出される安定な速度応答周波数のうち、最大値を算出し関連づけられた設定パターンとともにディスプレイ部に表示する。これにより、ユーザはモータ制御装置の制御パラメータ設定において、負荷状態の変化があっても安定性が保証できる最大の速度応答周波数を短時間で知ることができ、同時にノッチフィルタの設定も知ることができる。

30

## 【0055】

本発明の実施の形態2における、モータ制御装置の制御パラメータ算出プログラムを実行させるコンピュータを含む全体構成図は図1と同じであり説明を省略する。実施の形態1と違いは、コンピュータ13で実行されるプログラムの動作が異なる。

40

## 【0056】

動作を図7に示すフローチャートを用いて説明する。

## 【0057】

ステップS11では、入力された第1のトルク指令  $r_1$  とモータ速度  $v_m$  をサンプリングし、第1のトルク指令  $r_1$  からモータ速度  $v_m$  までの周波数特性を算出して得る。これを負荷周波数特性と呼ぶことにする。負荷周波数特性の算出は、例えば、サンプリングした第1のトルク指令  $r_1$  およびモータ速度  $v_m$  をそれぞれフーリエ変換し、モータ速度  $v_m$  のフーリエ変換結果から算出されるゲイン特性および位相特性から、第1のトルク指令  $r_1$  のフーリエ変換結果から算出されるゲイン特性および位相特性を減ずること

50

によって得られる。この負荷周波数特性算出は負荷の状態が異なる2つ以上の状態に対して行う。

【0058】

ステップS12では、ステップS11で得られた負荷周波数特性から共振周波数を算出し、共振周波数に応じたノッチフィルタの設定パターンを算出する。共振周波数の算出は、負荷周波数特性のゲイン特性の変曲点を探索する方法などで得ることができる。ノッチフィルタはその中心周波数を共振周波数に合わせ速度制御ループ内に配置することにより、共振周波数におけるゲインピークを抑圧することができるので、制御の応答性を上げることが可能な場合もある。ところで、各負荷周波数特性から算出される共振周波数は必ずしも一致しない。これは各負荷周波数特性が負荷状態の異なる状態から算出されているからであり、共振周波数が変化する場合があるからである。従って各負荷周波数特性から算出された共振周波数をすべて並べ、負荷状態の変化により変化した結果である共振周波数群を1つの共振周波数とみなす。図8を用いて説明する。ステップS11で図8に示す(A)と(B)の2つの負荷周波数特性が得られたとする。この時各負荷周波数特性で算出された共振周波数がそれぞれa1とa2とする。この算出され周波数が負荷状態の変化により変化した共振周波数と判断された場合は周波数a1とa2の区間内の周波数a3をこの機械系の1つの共振周波数と考える。例えばa1とa2の平均値をa3とする。3個以上の場合も同様にまとめる共振周波数群の最小周波数と最大周波数の区間内の値をまとめた後の共振周波数とする。例えば、最小周波数と最大周波数の平均値とする。負荷状態の変化により変化した共振周波数がどうかの判断は、例えば所定周波数幅以内のあるものを負荷状態の変化により変化した共振周波数として判断する。このようにして負荷状態の変化により変化した共振周波数をまとめていき、その結果をこの機械系における共振周波数とする。

【0059】

設定パターンの算出は、最大いくつのノッチフィルタを同時に付加できるかを予め設定しておき、ノッチフィルタを付加しない場合も含めどのような付加のパターンがあるかを求める。例えば、最大2個のノッチフィルタを付加可能とし、負荷状態の変化により変化した共振周波数をまとめた後の共振周波数が3つあり、共振周波数を $f_{p1}$ 、 $f_{p2}$ 、 $f_{p3}$ とする。この場合、図9に示す設定パターンを算出する。このように各負荷周波数特性で算出された共振周波数の近いものを1つにまとめることにより、共振周波数変化を考慮したノッチフィルタの付加ができる。

【0060】

ステップS13では、選択されていない設定パターンがあるかどうかを判断する。ある場合はステップS14へ、ない場合はステップS17へ進む。

【0061】

ステップ14では、選択されていない設定パターンの中から1つを選択する。

【0062】

以下、ステップS15からステップS18を各負荷周波数特性に対し行う。

【0063】

ステップS15では、選択された設定パターンのノッチフィルタの周波数特性を負荷周波数特性に加算し、制御対象周波数特性を算出する。例えば、選択された設定パターンが図9のNo.5の場合、中心周波数を $f_1$ としたノッチフィルタの周波数特性と中心周波数を $f_2$ としたノッチフィルタの周波数特性を負荷周波数特性に加算して制御対象周波数特性を算出する。

【0064】

ステップS16では、0以上である位相余裕  $[deg]$  を用いて、得られた制御対象周波数特性の位相が  $-180 + [deg]$  以下の周波数領域における最大ゲイン  $G_{max} [dB]$  を算出する。

【0065】

ステップS17では、最大ゲイン  $G_{max} [dB]$  に基づいて速度応答周波数  $v$  を算

10

20

30

40

50

出し、選択された設定パターンと関連づけて記憶しておく。実施の形態1で説明したとおり、ナイキストの安定定理より、フィードバック系の一巡伝達関数の周波数特性において、位相が $-180$  [deg]以下となる周波数領域でゲインが $0$  [dB]以下ならば安定は保証される。よって、実施の形態1のステップS2およびステップS3と同様の動作を行う。実施の形態1と異なるのは、負荷周波数特性の代わりに制御対象周波数特性を用いることと、算出された速度応答周波数  $v$  と総イナーシャ  $J_a$  に加えて選択された設定パターンを関連づけておことである。

#### 【0066】

ステップS18では、各負荷周波数特性に対して速度応答周波数  $v$  と総イナーシャ  $J_a$  が算出されたかをチェックする。もしまだ算出されていない負荷周波数特性があればその負荷周波数特性に対しステップS15からステップS18を行う。もし、すべての負荷周波数特性に対し速度応答周波数  $v$  と総イナーシャ  $J_a$  が算出されたらステップS19に進む。

10

#### 【0067】

ステップS19では、まず各負荷周波数特性に関連づけられた速度応答周波数  $v$  と総イナーシャ  $J_a$  との積を計算し、それぞれ  $Kvn$  ( $n = 1, \dots$ ) とする。そして  $Kvn$  の中で最小値を探索しその最小値を  $Kvmin$  とする。これがすべての負荷周波数特性に対し安定となる速度ゲインと言える。また各負荷周波数特性に関連づけられた総イナーシャ  $J_a$  の中で最大値を探索しその最大値を  $Jamax$  とする。そしてゲイン  $Kvmin$  を総イナーシャ  $Jamax$  で除することにより速度応答周波数  $v_{final}$  を得る。これが機械系のイナーシャが変化しても安定となる速度応答周波数と言える。

20

#### 【0068】

ステップS19が終わった後、ステップS13に戻る。設定パターンがすべて選択されるまでステップS13からステップS19までの動作を繰り返す。

#### 【0069】

ステップS20では、ステップS13からステップS19までの動作を繰り返すことにより算出された各設定パターンに対する速度応答周波数  $v_{final}$  の中で最大値を求める。

#### 【0070】

ステップ21では、ステップ20で得られた速度応答周波数  $v_{final}$  の中で最大の値と、この最大値に関連づけられている設定パターンの情報とともにディスプレイ部14に表示する。表示例を図5に示す。ディスプレイ部14には算出された速度応答周波数  $v$ 、設定パターンのノッチ周波数だけでなく、周波数特性等をもよに表示してもよい。

30

#### 【0071】

これにより、ユーザはモータ制御装置の制御パラメータ設定において、負荷の状態が変わっても制御安定性が保証できる最大の速度応答周波数を短時間で知ることができる。また、(数3)、(数4)を用いてパラメータを計算すれば、安定性が保証され、かつ応答性よいのパラメータ設定をできる。さらに、共振周波数の変化を考慮した上のノッチフィルタも試行錯誤することなく設定できる。

40

#### 【0072】

なお、本実施の形態のステップS11では、第1のトルク指令とモータ速度をサンプリングし、フーリエ変換し、負荷周波数特性を算出するとしたが、フーリエ変換後のデータが入力され負荷周波数特性を算出する、あるいは前もって計算された負荷周波数特性が入力されるとしても同様の効果が得られる。

#### 【0073】

また、本実施の形態では、第1のトルク指令からモータ速度までの周波数特性を算出するとしたが、第2のトルク指令からモータ速度までの周波数特性を算出し、フィルタ部の周波数特性を加算しても同様のものを得ることができるので、第2のトルク指令からモータ速度までの周波数特性を算出あるいは入力するとしてもよい。

50

## 【 0 0 7 4 】

また、本実施の形態では、位置制御装置に対して速度応答周波数の算出を行ったが、速度制御装置に対して行うとしても同様の効果が得られる。

## 【 0 0 7 5 】

また、本実施の形態ではディスプレイ部 1 4 がコンピュータ 1 3 に接続されているとしたが、両者が無線でデータをやりとりする形態であっても同様の効果が得られる。

## 【 0 0 7 6 】

また、本実施の形態では、ステップ S 1 1 からステップ S 2 1 の動作をするプログラムとして説明したが、図 6 に示すような構成のモータ制御装置で、制御パラメータ調整部 1 5 がステップ S 1 1 からステップ S 2 0 の動作を行い、算出された速度応答周波数の最大値に基づいて速度比例ゲイン  $K_v$  および位置比例ゲイン  $K_p$  を計算および調整し、算出された速度応答周波数  $v$  の最大値に関連づけられた設定パターンに応じたノッチフィルタを第 1 のフィルタ部 1 0 など速度フィードバックループ内に付加するモータ制御装置としてもよい。

## 【 産業上の利用可能性 】

## 【 0 0 7 7 】

本発明のモータ制御装置の制御パラメータ算出プログラムおよびモータ制御装置は、部品実装機や半導体製造装置などモータを使用する機器のモータ制御装置の制御パラメータを算出するプログラム等として有用である。また、制御パラメータを算出し調整する機能を有するモータ制御装置等としても適用が可能である。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 7 8 】

【 図 1 】 本発明の実施例 1 におけるモータ制御装置の制御パラメータ算出プログラムを実行させるコンピュータを含む全体構成図

【 図 2 】 本発明の実施例 1 における制御パラメータ算出プログラムの動作を示すフローチャート

【 図 3 】 図 1 の速度フィードバックループ部のブロック図

【 図 4 】 負荷周波数特性図

【 図 5 】 算出結果を表示したディスプレイを示す図

【 図 6 】 本発明の実施例 1 におけるモータ制御装置を示す図

【 図 7 】 本発明の実施例 2 における制御パラメータ算出プログラムの動作を示すフローチャート

【 図 8 】 2 つの負荷周波数特性図と共振周波数をまとめることを説明する為の図

【 図 9 】 本発明の実施例 2 における設定パターン図

【 図 1 0 】 従来技術における電動機の制御装置の全体構成図

【 図 1 1 】 従来技術における電動機の制御装置の制御パラメータ算出プログラムの動作を示すフローチャート

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 7 9 】

- 1 モータ
- 2 負荷
- 3 位置検出器
- 4 機械系
- 5 モータ駆動装置
- 6 速度算出器
- 7 位置制御器
- 8 速度制御器
- 9 スイッチ部
- 1 0 第 1 のフィルタ部
- 1 1 トルク制御器

10

20

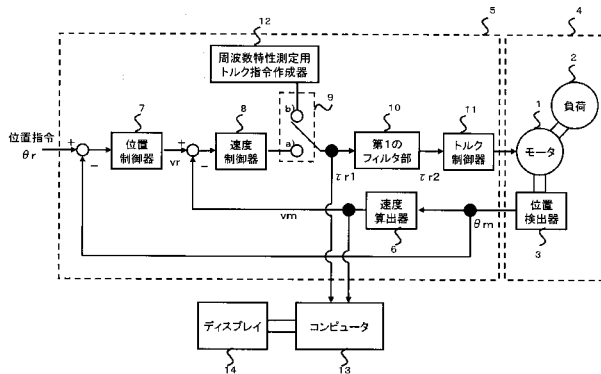
30

40

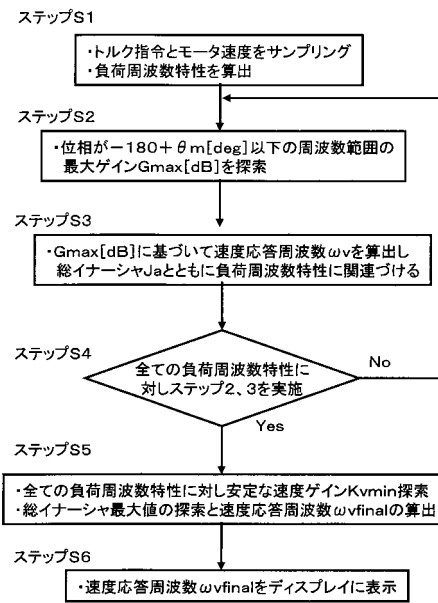
50

- 1 2 周波数特性測定用トルク指令作成器
- 1 3 コンピュータ
- 1 4 ディスプレイ
- 1 5 制御パラメータ調整部

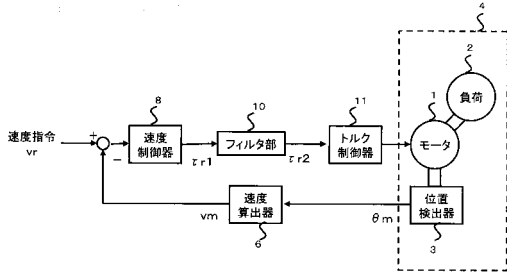
【 図 1 】



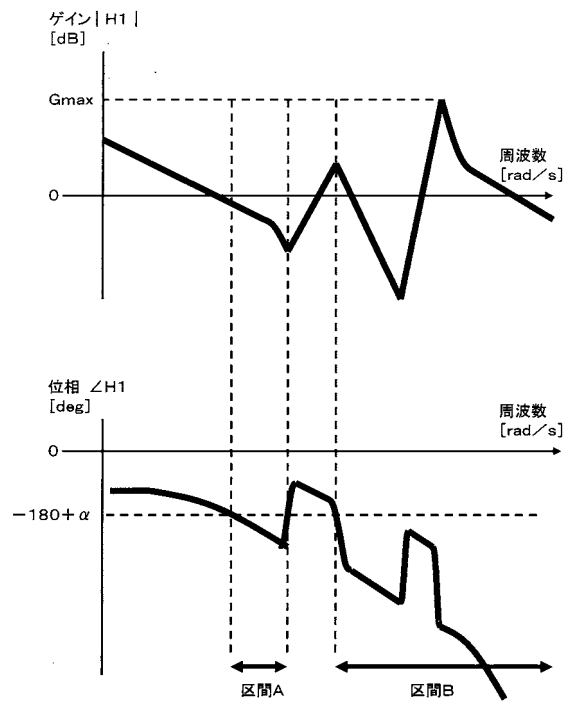
【 図 2 】



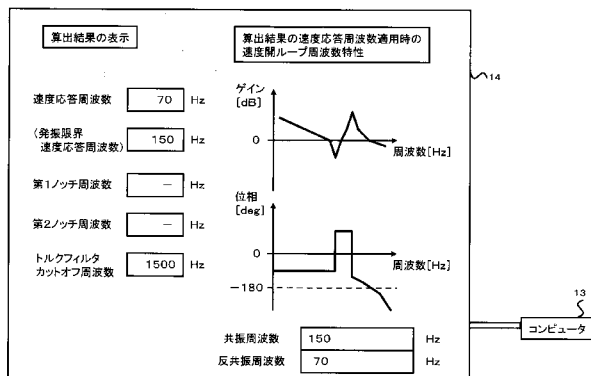
【 図 3 】



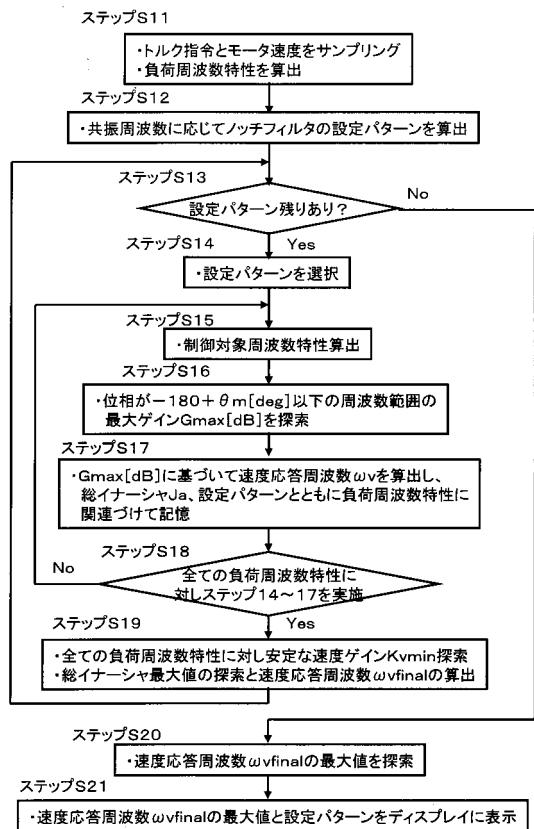
【 図 4 】



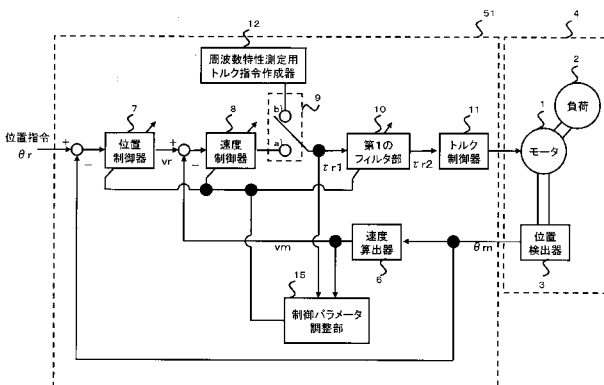
【 図 5 】



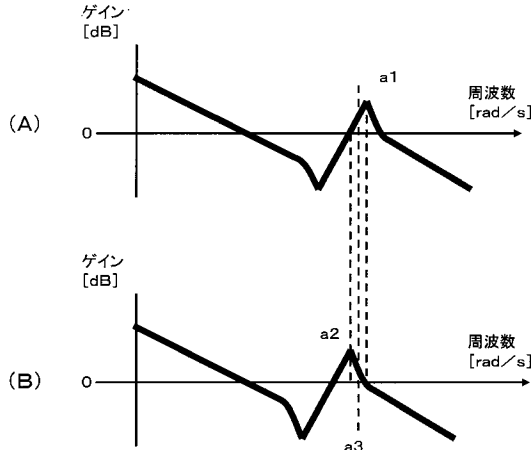
【 図 7 】



【 図 6 】



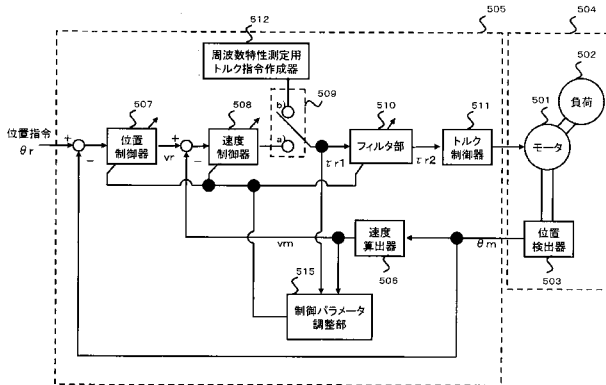
【 図 8 】



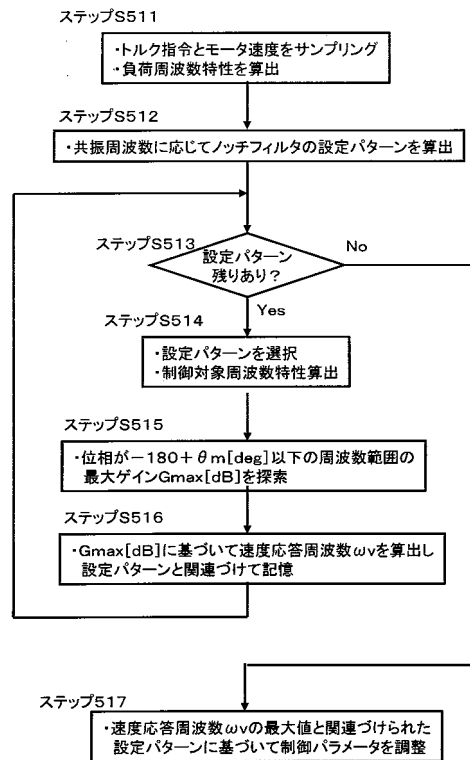
【 図 9 】

設定パターン No.	設定内容
1	ノッチなし
2	fp1のみノッチ
3	fp2のみノッチ
4	fp3のみノッチ
5	fp1、fp2の両方にノッチ
6	fp1、fp3の両方にノッチ
7	fp2、fp3の両方にノッチ

【 図 10 】



【 図 11 】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 5H303 AA06 AA10 BB01 BB06 CC03 DD01 HH05 JJ02 KK02 KK18  
KK25 KK33  
5H501 BB20 CC06 DD01 EE03 GG02 GG03 JJ03 JJ25 LL01 LL34