

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5191506号
(P5191506)

(45) 発行日 平成25年5月8日(2013.5.8)

(24) 登録日 平成25年2月8日(2013.2.8)

(51) Int.Cl. F I
H O 2 P 29/00 (2006.01) H O 2 P 5/00 X

請求項の数 5 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2010-70104 (P2010-70104)	(73) 特許権者	000005821
(22) 出願日	平成22年3月25日 (2010. 3. 25)		パナソニック株式会社
(62) 分割の表示	特願2004-47484 (P2004-47484) の分割		大阪府門真市大字門真1006番地
原出願日	平成16年2月24日 (2004. 2. 24)	(74) 代理人	100081422
(65) 公開番号	特開2010-142117 (P2010-142117A)		弁理士 田中 光雄
(43) 公開日	平成22年6月24日 (2010. 6. 24)	(74) 代理人	100100158
審査請求日	平成22年3月25日 (2010. 3. 25)		弁理士 鮫島 睦
		(74) 代理人	100125874
			弁理士 川端 純市
		(72) 発明者	田澤 徹
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
		(72) 発明者	飯島 友邦
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

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、この方法をコンピュータに実行させるプログラム、及びこのプログラムを記録した記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

速度指令とモータの検出速度が一致するよう第1のトルク指令を生成する速度制御手段と、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手段とを有するモータ制御装置の制御パラメータを算出する方法であって、

前記第1のトルク指令入力点もしくは前記第2のトルク指令入力点からモータ速度出力点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算出される速度閉ループまたは位置閉ループの周波数特性である閉ループ周波数特性から、前記閉ループ周波数特性のゲインが負の所定値となる最も低い周波数をカットオフ周波数とする一次遅れ要素の周波数特性と、前記負荷周波数特性の反共振周波数および反共振周波数における深さに応じた周波数特性である反共振周波数特性とを減じるステップと、

前記減じられた閉ループ周波数特性のゲイン最大値が所定値以下になる、前記速度制御手段の制御パラメータである速度応答周波数を1つ以上算出するステップと、

算出された1つ以上の速度応答周波数のうち最大となる速度応答周波数を求めるステップとを含む

ことを特徴とするモータ制御装置の制御パラメータ算出方法。

【請求項2】

負荷周波数特性のN個の反共振周波数を z_n ($n = 1, 2, \dots, N$) とし、粘性係数を

$d z_n$ ($n = 1, 2, \dots, N$) とするとき、前記反共振周波数特性は次式で表される伝達関数に基づく周波数特性である、ことを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置の制御パラメータ算出方法。

【数 1】

$$\prod_{n=1}^N \left\{ \left(\frac{1}{\omega z_n} \right)^2 s^2 + \frac{d z_n}{\omega z_n} s + 1 \right\}$$

【請求項 3】

最終的に算出した速度応答周波数を表示手段に表示するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置の制御パラメータ算出方法。 10

【請求項 4】

請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか 1 つに記載の方法をコンピュータに実行させるプログラム。

【請求項 5】

請求項 4 記載のプログラムを記録した記録媒体。

【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を算出する方法に関する。制御パラメータには、速度制御器の制御パラメータである速度応答周波数、ノッチフィルタの設定パターン、トルクフィルタカットオフ周波数が含まれる。 20

【背景技術】

【0002】

従来のモータ制御装置としては、機械系の推定反共振周波数および制御対象の周波数応答の推定値を用い速度比例フィードバック回路のゲインを調整するものがある。例えば特許文献 1 に記載されている。

【0003】

図 29 は従来の電動機制御装置の構成を示したブロック図である。電動機 501 は電動機トルク M によって回転駆動される。負荷機械 502 は電動機 501 によって駆動される。トルク伝達部 503 は電動機 501 と負荷機械 502 を連結する。回転検出器 504 は電動機回転位置 x_M および電動機回転速度 v_M を検出する。電動機 501 と、負荷機械 502 と、トルク伝達部 503 と、回転検出器 504 とにより機械系 505 が構成される。トルク制御回路 506 は電動機トルク M をトルク指令信号 r に一致させる。機械系 505 とトルク制御回路 506 とが制御対象 507 となる。 30

【0004】

電動機 501 の位置を制御するときはスイッチ 526 を a) に切り替える。位置指令信号発生回路 508 は位置指令信号 x_r を発生する。フィードフォワード回路 512 b は位置指令信号 x_r を入力し、位置指令信号 x_r に対する電動機 501 の動作の応答目標信号として応答目標位置信号 x_f と応答目標速度信号 v_f と電動機 501 の動作が応答目標信号に一致するようにフィードフォワード的に演算されるトルク信号をフィードフォワードトルク信号 f として出力する。 40

【0005】

図 30 にフィードフォワード回路 512 b の詳細を示す。モデル位置制御回路 520 b は位置指令 x_r とモデル位置信号 x_a の差信号を入力し、モデル位置ゲイン K_{rp} を乗じてモデル速度信号 v_{ra} を出力する。モデル速度制御回路 519 b はモデル速度指令信号 v_{ra} とモデル速度信号 v_a の差信号を入力し、モデル速度ゲイン K_{rv} を乗じてモデルトルク信号 a を出力する。剛体イナーシャモデル回路 517 b はモデルトルク信号 a を入力し、機械系 505 のイナーシャ推定値 J_e を用いてモデル速度信号 v_a を出力する。積分回路 518 はモデル速度信号 v_a を入力し、積分したモデル位置信号 x_a を出力す 50

る。そして、モデル位置信号 x_a 、モデル速度信号 v_a 、モデルトルク信号 a をそれぞれ、目標応答位置信号 x_f 、目標応答速度信号 v_f 、フィードフォワードトルク信号 f として出力する。

【0006】

図29において、位置制御回路513bでは応答目標位置信号 x_f と実際の電動機回転位置 x_M との差信号を補償位置信号 x_c として、また応答目標速度信号 v_f と実際の電動機回転速度 v_M との差信号を補償速度信号 v_c としてそれぞれフィードバック補償回路511bに入力する。フィードバック補償回路511b内で、位置補償回路510bは補償位置信号 x_c を入力し、位置ゲイン K_p 、位置積分ゲイン K_{pI} を用いてPI演算を行い位置補償速度信号 v_{cx} を出力し、速度補償回路509bは位置補償速度信号 v_{cx} と補償速度信号 v_c の和信号を入力し、速度ゲイン K_v を乗じて補償トルク信号 c を出力する。

10

【0007】

位置制御回路513bはフィードフォワードトルク信号 f と補償トルク信号 c の和信号をトルク指令信号 r としてトルク制御回路506に入力し、トルク制御回路506は電動機トルク M がトルク指令信号 r に一致するように制御することにより電動機501に動作を制御する。

【0008】

次に、位置制御回路513bの調整方法について説明する。調整する場合、スイッチ526をb)に切り替え、駆動試験用トルク指令信号発生回路527が、例えば疑似ランダム信号などのトルク指令信号 r を制御対象507に出力して駆動試験を行い、その時のトルク指令信号 r と電動機回転速度 v_M を自動調整回路528aに入力する。

20

【0009】

図31に自動調整回路528aの詳細を示す。高次モデル同定部529はトルク指令信号 r と電動機回転速度 v_M を入力し、内蔵している高次の伝達関数モデルのパラメータを例えば最小二乗法を用いて計算することにより、制御対象507のトルク指令信号 r から電動機回転速度 v_M までの伝達関数の詳細な同定を行い、同定結果の高次モデルを出力する。

【0010】

機械パラメータ推定部530aは、高次モデル同定部529が出力した高次モデルを入力し、最も小さい複素零点の絶対値を推定反共振周波数 z_e として選び、高次モデルの低周波領域のゲイン特性から総イナーシャを推定して推定イナーシャ J_e とし、上記の推定反共振周波数 z_e と推定イナーシャ J_e を出力する。

30

【0011】

二慣性系最適ゲイン計算部531は上記の推定反共振周波数 z_e と推定イナーシャ J_e を入力し、推定反共振周波数 z_e 、推定イナーシャ J_e 、0.5以上1以下の定数 n 、の3つの積を二慣性系最適ゲイン K_{opt} として計算し、出力する。

【0012】

周波数応答推定部532は、上記同定結果の高次モデルを入力し、その周波数応答を計算し出力する。

40

【0013】

限界ゲイン推定部533は周波数応答推定部532の出力した周波数応答を入力し、予め設定した0以上の設定位相余裕 m と、1以上の設定ゲイン余裕 G_m を用いて、周波数応答の位相が $-180 + m$ [deg] となる最も低い周波数より高周波領域における最大ゲイン G_{max} を求め、設定ゲイン余裕 G_m と最大ゲイン G_{max} の積の逆数を限界ゲイン K_{max} として計算し、出力する。

【0014】

制御パラメータ決定部534aは、上記二慣性系最適ゲイン K_{opt} と上記限界ゲイン K_{max} と上記の推定反共振周波数 z_e と推定イナーシャ J_e を入力し、 K_{opt} と K_{max} のうち小さい方を速度補償回路509bの速度ゲイン K_v として決定し、速度ゲイ

50

ン K_v を用いてフィードバック補償回路 5 1 1 b の位置ゲイン K_p および位置積分ゲイン K_{pI} を計算し決定する。また、フィードフォワード回路 5 1 2 b の制御パラメータも所定の計算式で算出し決定する。そして適当な調整手段を用い、位置制御回路 5 1 3 b の制御パラメータを自動調整回路 5 2 8 a で決定した調整パラメータに調整する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0015】

【特許文献1】特許第3274070号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0016】

しかしながら、従来のモータ制御装置では以下の課題がある。位置制御回路における速度補償回路の速度ゲインを、二慣性系最適ゲイン K_{opt} と限界ゲイン K_{max} のうち、小さい方としている。ここで、二慣性系最適ゲイン K_{opt} は、制御対象の推定された高次モデルの最も小さい反共振周波数である推定反共振周波数 ω_e 、推定された高次モデルの低周波領域のゲイン特性から推定された推定イナーシャ J_e 、0.5以上1以下の定数 n 、の3つの積から算出しているが、定数 n の導出については二慣性系についてのみ考察して設定しているため、制御対象が多慣性系で、最低反共振周波数におけるゲインの深さが浅く機械系の振動に対する影響が小さい場合などでは、算出される K_{opt} では十分な制御応答性を得られない。また、高次モデルから反共振周波数を算出する場合、伝達関数の極と零点をお互いに打ち消し合う極・零点消去が起こる場合もあり、その場合、最も小さい反共振周波数である推定反共振周波数の算出が困難な場合もある。

20

【0017】

また、機械共振を有し、共振抑制のノッチフィルタを適用することによって制御応答性を上げることが可能な制御対象の場合、そのような考慮がされていないため算出された K_{max} では十分な制御応答性を得られない。

【0018】

また、 K_{max} の算出において位相余裕 ϕ_m を用いて、周波数応答の位相が $-180 + [\text{deg}]$ となる最も低い周波数より高周波領域において最大ゲイン G_{max} を求めており、最大ゲイン G_{max} の探索範囲が広く探索時間が長くなる。

30

【0019】

本発明は上記課題を解決すべくなされたものであり、安定で応答が滑らかでかつ制御応答性の高いモータ制御を実現するために好適な制御パラメータを高速に算出可能とする制御パラメータの算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】

【0020】

本発明に係る制御パラメータ算出方法は、速度指令とモータの検出速度が一致するよう第1のトルク指令を生成する速度制御手段と、第1のトルク指令もしくは第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手段とを有するモータ制御装置の制御パラメータを算出する。

40

【0021】

本発明において、制御パラメータ算出方法は、第1のトルク指令入力点もしくは前記第2のトルク指令入力点からモータ速度出力点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、負荷周波数特性を用いて算出される速度閉ループまたは位置閉ループの周波数特性である閉ループ周波数特性から、閉ループ周波数特性のゲインが負の所定値となる最も低い周波数 ω_c をカットオフ周波数とする一次遅れ要素の周波数特性と、負荷周波数特性の反共振周波数および反共振周波数における深さに応じた周波数特性である反共振周波数特性とを減じるステップと、その減じられた閉ループ周波数特性のゲイン最大値が所定値以下になる、速度制御手段の制御パラメータである速度応答周波数を1つ以上算出するステップと、算出された1つ以上の速度応答周波数のうち最大となる速度応答周波数を

50

求めるステップとを含む。

【0022】

上記の制御パラメータ算出方法において、負荷周波数特性のN個の反共振周波数を z_n ($n = 1, 2, \dots, N$) とし、粘性係数を $d z_n$ ($n = 1, 2, \dots, N$) とするとき、反共振周波数特性は次式で表される伝達関数に基づく周波数特性であってもよい。

【0023】

【数1】

$$\prod_{n=1}^N \left\{ \left(\frac{1}{\omega z_n} \right)^2 s^2 + \frac{d z_n}{\omega z_n} s + 1 \right\}$$

10

【0025】

上記の制御パラメータ算出方法において、最終的に算出された速度応答周波数を表示手段に表示させてもよい。

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、トルク指令入力点からモータ速度出力点までの周波数特性である負荷周波数特性を用いて算出される速度閉ループまたは位置閉ループの周波数特性に基づいて、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。これによって、制御対象の振動を抑制し、かつ応答性の高い速度応答周波数の算出ができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】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装置を含むシステムの全体構成図

【図2】実施の形態1における制御パラメータ算出装置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、(a)ゲイン特性、(b)位相特性

【図5】算出結果の表示例を示す図

【図6】実施の形態1におけるモータ制御装置の構成を示す図

【図7】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装置を含むシステムの全体構成図

30

【図8】実施の形態2における制御パラメータ算出装置の動作を示すフローチャート

【図9】実施の形態2における設定パターンのテーブルを示す図

【図10】実施の形態2におけるモータ制御装置の構成を示す図

【図11】実施の形態3における制御パラメータ算出装置の動作を示すフローチャート

【図12】一次遅れ要素のゲイン特性を示す図

【図13】一次遅れ要素のインディシャル応答を示す図

【図14】二次要素のゲイン特性図

【図15】二次要素のインディシャル応答を示す図

【図16】位置閉ループのインディシャル応答を示す図

40

【図17】一次遅れ要素の影響の大きい時の位置閉ループのゲイン特性図

【図18】二次要素の影響の大きい時の位置閉ループのゲイン特性図

【図19】図11のフローチャートにおけるステップ25の処理の詳細を示すフローチャート

【図20】実施の形態3におけるゲイン特性図、(a)位置閉ループのゲイン特性図、(b)は(a)から一次遅れ特性を減じたゲイン特性図、(c)は(b)から反共振特性を減じたゲイン特性図

【図21】実施の形態4における制御パラメータ算出装置の動作を示すフローチャート

【図22】図21のフローチャートにおけるステップ37の処理の詳細を示すフローチャート

50

【図 2 3】実施の形態 5 におけるモータ制御装置の制御パラメータ算出装置を含むシステムの全体構成図

【図 2 4】トルクフィルタの周波数特性図、(a)ゲイン特性図、(b)位相特性図

【図 2 5】実施の形態 5 における制御パラメータ算出装置の動作を示すフローチャート

【図 2 6】図 2 3 の構成における速度フィードバックループ部のブロック図

【図 2 7】トルクフィルタへの入出力を示す図

【図 2 8】実施の形態 5 におけるモータ制御装置の構成を示す図

【図 2 9】従来技術におけるモータ制御装置の全体構成図

【図 3 0】従来技術におけるモータ制御装置のフィードフォワード回路のブロック図

【図 3 1】従来技術におけるモータ制御装置の自動調整回路のブロック図

10

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明に係るモータ制御装置及びモータ制御装置の制御パラメータ算出装置の実施形態を添付の図面を参照しながら説明する。

【0030】

(実施の形態 1)

図 1 は本発明に係る、モータ制御装置の制御パラメータ算出装置を含むシステムの全体構成図である。モータ制御装置の制御パラメータ算出装置 13 はコンピュータからなり、所定の制御プログラムを実行することにより以下に説明する機能を実現する(以下の実施形態においても同じ)。その制御プログラムは ROM、CD-ROM、DVD-ROM 等の情報記録媒体や通信回線を通じて提供され得る。制御パラメータ算出装置 13 はディスプレイ 14 に接続されている。

20

【0031】

制御パラメータ算出装置 13 はモータ駆動装置 5 に接続され、所定の情報を入力し、その情報に基づいて制御パラメータを算出する。

【0032】

モータ駆動装置はモータ 1 を駆動する。モータ 1 には、それにより駆動される負荷 2 が接続されている。さらに、モータ 1 には位置検出器 3 が接続されており、位置検出器 3 は、モータ 1 の回転子位置 m を検出し、出力する。モータ 1、負荷 2、位置検出器 3、モータ 1 と負荷 2 の連結部分およびモータ 1 と位置検出器 3 の連結部分により、機械系 4 が構成される。

30

【0033】

モータ駆動装置 5 は、速度検出器 6、位置制御器 7、速度制御器 8、スイッチ 9、トルク制御器 11 及び周波数特性測定用トルク指令作成器 12 を備える。速度算出器 6 は位置検出器 3 の出力である回転子位置 m を入力し、モータ 1 の速度 v_m を算出し出力する。

【0034】

ここで、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。

【0035】

モータ 1 を位置制御する時は、スイッチ 9 を a) の方に切り替えられる。位置指令 r が入力されると、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 は、例えば、位置比例ゲインを K_p として次式に示す比例演算を行う。

40

【0036】

【数 2】

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

【0037】

速度制御器 8 は、位置制御器 7 からの速度指令 v_r と、速度算出器 6 からのモータ速度 v_m との差分を入力し、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 r_1 を算出し、出力する。速度制御器 8 は、例えば、速度比例ゲインを K_v として (

50

数 3) に示す比例演算を行う。

【 0 0 3 8 】

【 数 3 】

$$r1 = Kv(vr - vm)$$

【 0 0 3 9 】

トルク制御器 1 1 は第 1 のトルク指令 $r1$ を入力し、第 1 のトルク指令 $r1$ 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。

【 0 0 4 0 】

ここで、位置制御器 7 及び速度制御器 8 における位置比例ゲイン Kp と速度比例ゲイン Kv の関係について説明する。

【 0 0 4 1 】

機械系 4 の総イナーシャを Ja とし、機械特性が剛体とほぼ等しいとする。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 v [rad / s] を用いて、速度比例ゲイン Kv 、位置比例ゲイン Kp を (数 4)、(数 5) 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 6) 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 4 2 】

【 数 4 】

$$Kv = Ja \cdot \omega v$$

【 0 0 4 3 】

【 数 5 】

$$Kp = \omega v / 4$$

【 0 0 4 4 】

【 数 6 】

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

【 0 0 4 5 】

すなわち、速度応答周波数 v を算出できれば、(数 4)、(数 5) 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 Kp と速度比例ゲイン Kv を算出できることが分かる。そこで、本実施形態では、モータ制御装置の制御パラメータとして速度応答周波数 v を算出する。

【 0 0 4 6 】

次に、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。

【 0 0 4 7 】

まず、スイッチ 9 を b) の方に切り替える。この状態で、周波数特性測定用トルク指令作成器 1 2 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 $r1$ を出力し、モータ 1 を駆動する。その時の第 1 のトルク指令 $r1$ とモータ速度 vm が、制御パラメータ算出装置 1 3 に入力される。制御パラメータ算出装置 1 3 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として速度応答周波数 v を算出する。以下、図 2 のフローチャートに示す処理について説明する。

【 0 0 4 8 】

まず、入力した第 1 のトルク指令 $r1$ とモータ速度 vm をサンプリングし、第 1 のトルク指令 $r1$ からモータ速度 vm までの周波数特性を算出して得る (ステップ S 1)。以下このようにして求めた周波数特性を「負荷周波数特性」と呼ぶ。負荷周波数特性は、例えば、サンプリングした第 1 のトルク指令 $r1$ およびモータ速度 vm をそれぞれフーリエ

10

20

30

40

50

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それぞれ減じて得る。

【 0 0 4 9 】

次に、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 (ステップ 2)。位相余裕 $[deg]$ は $0 [deg]$ 以上の所定の値に設定する。

【 0 0 5 0 】

そして、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 (ステップ 3)。

10

【 0 0 5 1 】

ここで、上記のステップ S 2、S 3 の処理を具体的に説明する。

【 0 0 5 2 】

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 $0 [dB]$ 以下ならば安定が保証される。図 3 に、図 1 で示す構成において速度フィードバックループ部に関する構成要素のみを示す。第 1 のトルク指令 r_1 の入力点からモータ速度 v_m の出力点までの伝達関数を $H_1 (s)$ とする。速度制御器 8 は (数 3) 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 7) で表される。

20

【 0 0 5 3 】

【数 7】

$$K_v \cdot H_1(s)$$

【 0 0 5 4 】

図 4 に、第 1 のトルク指令 r_1 の入力点からモータ速度 v_m の出力点までの伝達関数 $H_1 (s)$ の周波数特性を示す。図 4 (a) はゲイン特性、(b) は位相特性である。この時、速度フィードバックループ部の一巡伝達関数の周波数特性は、位相特性 (図 4 (b) 参照) は $H_1 (s)$ の位相特性と変わらず、ゲイン特性 (図 4 (a) 参照) は K_v によって全体が上下に変化する。

30

【 0 0 5 5 】

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 が、この周波数領域となる。そしてその区間における最大ゲイン $G_{max} [dB]$ を求める。このように、最大ゲイン G_{max} を求める区間を必要最低限の領域としているため、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場合よりも処理時間を短縮できる。

【 0 0 5 6 】

また、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 (数 7 参照)、正であるゲイン余裕 $[dB]$ を用いて、次式 (数 8) 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。

40

【 0 0 5 7 】

【数 8】

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

【 0 0 5 8 】

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 8) を満たす最大値を K_v として算出する。 K_v の算出式を (数 9) に示す。

50

【 0 0 5 9 】

【 数 9 】

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

【 0 0 6 0 】

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 ν [r a d / s] は、(数 4) を変形した (数 1 0) で算出できる。

【 0 0 6 1 】

【 数 1 0 】

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

10

【 0 0 6 2 】

なお、機械系 4 の総イナーシャ $J a$ はステップ S 1 で得られた負荷周波数特性の低域でのゲインから計算できる。あるいは、前もって測定しておいた値を用いてもよい。

【 0 0 6 3 】

以上のようにして算出された速度応答周波数 ν を、制御パラメータ算出装置 1 3 に接続されたディスプレイ 1 4 に表示する (ステップ S 4) 。図 5 に表示例を示す。ディスプレイ 1 4 には算出された速度応答周波数 ν だけでなく、周波数特性等もあわせて表示してもよい。

【 0 0 6 4 】

なお、本実施形態では、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。

20

【 0 0 6 5 】

また、本実施形態において、第 1 のトルク指令 $r 1$ に対して所定のフィルタ処理を行い第 2 のトルク指令を出力するフィルタをトルク制御器 1 1 の前段に挿入してもよい。このフィルタはローパスフィルタやノッチフィルタを含んでもよい。このとき、第 1 のトルク指令入力点からモータ速度出力点までの周波数特性の代わりに、第 2 のトルク指令入力点からモータ速度出力点までの周波数特性を算出し、その算出した周波数特性にフィルタ部の周波数特性を加算したものをを用いてもよい。このとき、ステップ S 1 において、第 2 のトルク指令入力点からモータ速度出力点までの周波数特性を算出してもよく、または、入力してもよい。

30

【 0 0 6 6 】

以上のようにして、モータ制御装置の制御パラメータ設定において、安定性が保証できる最大の速度応答周波数 ν を短時間で知ることができる。そして、求めた最大の速度応答周波数 ν と、(数 4) 、(数 5) とを用いて速度比例ゲイン $K v$ 、位置比例ゲイン $K p$ を決定することにより、安定性が保証され、かつ応答性よい設定を実現できる。

【 0 0 6 7 】

以上に説明した本実施形態の制御パラメータ算出装置のモータ制御装置への適用例を図 6 に示す。図 6 に示すモータ制御装置 5 1 は、図 1 に示すモータ駆動装置の構成要素に加え、さらに、制御パラメータ調整部 1 5 を備えている。制御パラメータ調整部 1 5 はコンピュータからなり、図 1 に示す制御パラメータ算出装置 1 3 と同様の機能を有しており、さらに、算出した速度応答周波数 ν に基づいて速度比例ゲイン $K v$ および位置比例ゲイン $K p$ を例えば (数 4) 、(数 5) を用いて調整する機能を有している。

40

【 0 0 6 8 】

(実施の形態 2)

本発明に係る制御パラメータ算出装置の第 2 の実施形態を示す。図 7 に、第 2 の実施形態における、モータ制御装置の制御パラメータ算出装置を含むシステムの全体構成を示す。本実施形態のモータ駆動装置 5 b は図 1 に示す構成に加えて、スイッチ 9 とトルク制御器 1 1 の間に第 1 のフィルタ部 1 0 をさらに備えている。第 1 のフィルタ部 1 0 は、第 1 のトルク指令 $r 1$ を入力し、所定のフィルタ処理を行った後、第 2 のトルク指令 $r 2$ を出力する。トルク制御器 1 1 は第 2 のトルク指令 $r 2$ にしたがってモータ 1 を駆動する

50

【 0 0 6 9 】

本実施形態の制御パラメータ算出装置 1 3 b は、負荷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複数算出し、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の速度応答周波数を算出する。これにより、モータ制御装置の制御パラメータ設定において、安定性が保証できる最大の速度応答周波数 v を短時間で知ることができるとともに、最適なノッチフィルタの設定パターンも認識できる。

【 0 0 7 0 】

本実施形態の制御パラメータ算出装置 1 3 b が実行する処理を図 8 に示すフローチャートを用いて説明する。

10

【 0 0 7 1 】

まず、入力した第 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 の入力点からモータ速度 v_m の出力点までの負荷周波数特性を算出して得る (ステップ S 1 1)。負荷周波数特性の算出方法は実施の形態 1 で示したとおりである。なお、上記サンプリングは第 1 のフィルタ部 1 0 にノッチフィルタが含まれていない状態で行う。

【 0 0 7 2 】

ステップ S 1 1 で得られた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 S 1 2)。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 (減衰周波数) を共振周波数に合わせ速度制御ループ (具体的にはフィルタ部 1 0) 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となる。ノッチフィルタの設定パターンの算出では、最大いくつのノッチフィルタを同時に付加 (配置) できるかを予め設定しておき、どのような付加パターンがあるかを求める。なお、付加パターンにはノッチフィルタを付加しない場合も含める。図 9 に、最大 2 個のノッチフィルタが付加可能であり、3 つの共振周波数 f_{p1} 、 f_{p2} 、 f_3 が算出された場合に算出される設定パターンを示す。この場合、図 9 に示すように、ノッチフィルタが付加されない場合 (1 とおり)、ノッチフィルタが 1 個付加される場合 (3 とおり)、

20

30

【 0 0 7 3 】

次に、全ての設定パターンに対し、各設定パターンのノッチフィルタを付加した場合について、最大の速度応答周波数 v を求める (ステップ S 1 3 ~ S 1 6)。

【 0 0 7 4 】

具体的には、最初に、未だ速度応答周波数 v が求められていない設定パターンがあるかどうかを判断する (ステップ S 1 3)。未だ速度応答周波数 v が求められていない設定パターンがない場合はステップ S 1 7 へ進む。

【 0 0 7 5 】

40

未だ速度応答周波数 v が求められていない設定パターンがある場合、その設定パターンの中から 1 つを選択し、選択し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て周波数特性 (以下「制御対象周波数特性」と呼ぶ。) を算出する (ステップ S 1 4)。例えば、選択された設定パターンが図 9 に示す No. 5 のパターンの場合、中心周波数を f_{p1} としたノッチフィルタの周波数特性と、中心周波数を f_{p2} としたノッチフィルタの周波数特性とを、ステップ S 1 1 で求めた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。

【 0 0 7 6 】

次に、0 [deg] 以上の所定値である位相余裕 [deg] を用いて、得られた制御対象周波数特性の位相が $-180 +$ [deg] 以下となる周波数領域における、制御対

50

象周波数特性のゲインの最大値（最大ゲイン） $G_{max} [dB]$ を算出する（ステップS15）。算出した最大ゲイン $G_{max} [dB]$ に基づいて速度応答周波数 ν を算出し、選択された設定パターンと関連づけて記憶しておく（ステップS16）。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、本実施形態では、基本的に実施の形態1のステップS2およびステップS3と同様の処理を行っている。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点と、算出された速度応答周波数 ν に選択された設定パターンを関連づける点である。全ての設定パターンについて速度応答周波数 ν を算出するまで、ステップS13からステップS16までの処理を繰り返す。

10

【0077】

全ての設定パターンについて速度応答周波数 ν が算出されると、その中で最大となる速度応答周波数 ν を求め、速度応答周波数 ν の最大値と、速度応答周波数 ν の最大値と関連づけられた設定パターンとをディスプレイ14に表示する（ステップS17）。

【0078】

以上のように、ステップS13からステップS16までの処理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 ν の中で最大値を求め、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14に表示する。表示例を図5に示す。ディスプレイ14には算出された速度応答周波数 ν 、設定パターンの減衰周波数だけでなく、周波数特性等とともに表示してもよい。

20

【0079】

これにより、モータ制御装置の制御パラメータ設定において、安定性が保証できる最大の速度応答周波数 ν を短時間で得られ、（数4）、（数5）を用いて安定性が保証され、かつ応答性よい設定を得ることができる。さらに同時に最適なノッチフィルタの設定も可能となる。

【0080】

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っても同様の効果が得られる。

【0081】

以上に説明した本実施形態の制御パラメータ算出装置のモータ制御装置への適用例を図10に示す。図10に示すモータ制御装置51bは、図7に示すモータ駆動装置5bの構成要素に加え、さらに制御パラメータ調整部15bを備えている。制御パラメータ調整部15bは、図7に示す制御パラメータ算出装置13bと同様の機能を有している。制御パラメータ調整部15bは、さらに、算出した速度応答周波数 ν 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 を例えば（数4）、（数5）を用いて調整し、速度応答周波数 ν 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10等の速度フィードバックループ内に付加する。

30

【0082】

（実施の形態3）

本発明に係る制御パラメータ算出装置の第3の実施形態を示す。本実施形態の制御パラメータ算出装置は、位置閉ループの周波数特性を用いて、応答が滑らかな速度応答周波数を算出する。また、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応答が滑らか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に表示する。これにより、モータ制御装置の制御パラメータ設定において、応答が滑らかな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。

40

【0083】

本実施形態における、モータ制御装置の制御パラメータ算出装置を含むシステムの全体構成図は図7と同じである。

【0084】

50

本実施形態の制御パラメータ算出装置の処理を図 11 に示すフローチャートを用いて説明する。なお、ステップ S 22 からステップ S 24 は、図 8 に示すステップ S 12 からステップ S 14 と同様の処理を行っている。

【0085】

最初に、ステップ S 21 において、実施の形態 2 で説明したステップ S 11 の処理に加え、さらに、算出された負荷周波数特性から反共振周波数と粘性係数を算出する。具体的には以下の処理を行う。まず入力した第 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 の入力点からモータ速度 v_m の出力点までの負荷周波数特性を算出して得る。なお、上記サンプリングは第 1 のフィルタ部 10 にノッチフィルタが含まれていない状態で行う。次に、算出した負荷周波数特性から第 1 のフィルタ部 10 に設定されたフィルタの周波数特性を減じて機械系 4 の周波数特性を求める。機械系 4 の周波数特性のゲイン変曲点から反共振周波数を算出し、算出した反共振周波数におけるゲインの深さから粘性係数を算出する。機械系 4 の伝達関数が (数 11) で表される時、反共振周波数の粘性係数は (数 11) の dz_i ($n = 1, 2 \dots$) である。

10

【0086】

【数 11】

$$\frac{1}{Ja(s+da)} \cdot \prod_i \frac{\left(\frac{1}{\omega z_i} s\right)^2 + \left(\frac{dz_i}{\omega z_i} s\right) + 1}{\left(\frac{1}{\omega p_i} s\right)^2 + \left(\frac{dp_i}{\omega p_i} s\right) + 1}$$

20

【0087】

(数 11) において、 Ja は機械系の総イナーシャ、 z_i は反共振周波数、 p_i は共振周波数、 da 、 dp_i はそれぞれ別の粘性係数である。

【0088】

次に、ステップ S 21 で得られた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反共振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 S 22)。

30

【0089】

次に、全ての設定パターンに対し、各設定パターンのノッチフィルタをフィルタ部 10 に付加した場合について、位置閉ループ周波数特性に基づいて速度応答周波数 v を求める (ステップ S 23 ~ S 25)。

【0090】

具体的には、最初に、未だ速度応答周波数 v が求められていない設定パターンがあるかどうかを判断する (ステップ S 23)。未だ速度応答周波数 v が求められていない設定パターンがない場合はステップ S 26 へ進む。

【0091】

未だ速度応答周波数 v が求められていない設定パターンがある場合、設定パターンの中から 1 つを選択し、選択した設定パターンに対して制御対象周波数特性を算出する (ステップ S 24)。

40

【0092】

次に、位置閉ループ周波数特性に基づいて速度応答周波数 v を算出し、設定パターンと関連づけて記憶する (ステップ S 25)。ステップ S 25 の詳細については後述する。

【0093】

設定パターンで未選択のものがなくなるまでステップ S 23 からステップ S 25 までの処理を繰り返す。全ての設定パターンについて速度応答周波数が求められると、各設定パターンに対して求められた速度応答周波数のうち最大値を求め、その速度応答周波数の最大値と、それに関連づけられている設定パターンの情報とをディスプレイ 14 に表示する

50

(ステップ S 2 6)。表示例を図 5 に示す。ディスプレイ 1 4 には算出された速度応答周波数の最大値、関連づけられている設定パターンの減衰周波数だけでなく、周波数特性等とともに表示してもよい。

【 0 0 9 4 】

以下、ステップ S 2 5 の処理の詳細について説明する。

【 0 0 9 5 】

まず、位置閉ループ周波数特性の算出について説明する。速度応答周波数が設定されれば、位置比例ゲイン K_p 、速度比例ゲイン K_v を、実施の形態 1 で説明した (数 4) および (数 5) 等で算出できる。この時、制御対象周波数特性の伝達関数を $H_2(s)$ とすると、速度開ループの伝達関数 $H_3(s)$ 、速度閉ループの伝達関数 $H_4(s)$ 、位置開ループの伝達関数 $H_5(s)$ 、位置閉ループの伝達関数 $H_6(s)$ は、それぞれ次式で算出できる。

【 0 0 9 6 】

【数 1 2】

$$H_3(s) = K_v \cdot H_2(s)$$

【 0 0 9 7 】

【数 1 3】

$$H_4(s) = \frac{H_3(s)}{1 + H_3(s)}$$

【 0 0 9 8 】

【数 1 4】

$$H_5(s) = \frac{K_p}{s} \cdot H_4(s)$$

【 0 0 9 9 】

【数 1 5】

$$H_6(s) = \frac{H_5(s)}{1 + H_5(s)}$$

【 0 1 0 0 】

ステップ S 2 4 が終わった時点で得られている制御対象周波数特性は伝達関数としては得られていないので、ゲインと位相から複素平面のベクトルに変換した後、(数 1 2) から (数 1 5) を用いて演算し、再びゲインと位相データへと変換することにより位置閉ループの周波数特性を算出する。

【 0 1 0 1 】

次に速度応答周波数 ν の算出について詳細を説明する。

【 0 1 0 2 】

まず、一次遅れ要素の伝達関数および二次要素の伝達関数の周波数特性とインディシャル応答について説明する。(数 1 6) で示す一次遅れ要素の伝達関数の、周波数特性のゲイン特性を図 1 2 に、インディシャル応答を図 1 3 に示す。

【 0 1 0 3 】

【数 1 6】

$$\frac{1}{(s/\omega_1) + 1}$$

【 0 1 0 4 】

(数 1 6) の特性根、すなわち分母式 = 0 の解は実根の -1 である。インディシャル応答は図 1 3 に示すようにオーバーシュートのない滑らかなものである。

10

20

30

40

50

【 0 1 0 5 】

次に、(数 1 7) で示す二次要素の伝達関数の、周波数特性のゲイン特性を図 1 4 に、インディシャル応答を図 1 4 に示す。

【 0 1 0 6 】

【数 1 7】

$$\frac{1}{(s/\omega 2)^2 + 2\zeta(s/\omega 2) + 1}$$

【 0 1 0 7 】

(数 1 7) において、 ζ は 0 から 1 の間の値とする。(数 1 7) の特性根は複素根である次式である。

【 0 1 0 8 】

【数 1 8】

$$-\zeta \cdot \omega 2 \pm j \cdot \omega 2 \sqrt{1 - \zeta^2}$$

【 0 1 0 9 】

ここで j は虚数単位である。インディシャル応答は図 1 5 に示すように振動的になりオーバーシュートを生じる。 ζ が 0 に近いほど図 1 4 におけるゲインの盛り上がり部分も大きくなり、図 1 5 におけるオーバーシュートの振幅も大きくなる。

【 0 1 1 0 】

さて、制御理論より位置制御系の過渡応答特性は、位置閉ループの特性根によって決まる。つまり、過渡応答特性に対して、特性根を複素平面上にプロットした時、最も虚軸に近い根の影響が大きい。それが実根であれば応答はオーバーシュートのない滑らかなものになり、複素根であれば応答は振動的でオーバーシュートを生じる。簡単な例として、位置閉ループの伝達関数 $HC(s)$ が(数 1 9) で示された一次の伝達関数と二次の伝達関数の積であるとする。

【 0 1 1 1 】

【数 1 9】

$$HC(s) = \frac{1}{(s/\omega 1) + 1} \cdot \frac{1}{(s/\omega 2)^2 + 2\zeta(s/\omega 2) + 1}$$

【 0 1 1 2 】

(数 1 9) において、 ζ は 0 から 1 の間の値である。ここで、 $\zeta < 1/2$ の場合と $\zeta > 1/2$ の場合のインディシャル応答をそれぞれ図 1 6 に示す。 $\zeta < 1/2$ の場合の応答を実線で、 $\zeta > 1/2$ の場合の応答を破線で示す。 $\zeta < 1/2$ の場合(実線)、特性根のうち実根の方が複素平面上で虚軸に近く応答に最も影響を与えるため、応答は滑らかであり、 $\zeta > 1/2$ の場合(破線)、特性根のうち複素根の方が複素平面上で虚軸に近く応答に最も影響を与えるため、応答は振動的でありオーバーシュートを生じる。また、一次遅れ要素と二次要素の積なので、伝達関数 $HC(s)$ の周波数特性のゲイン特性は各々の周波数特性のゲイン特性の和になる。従って、 $\zeta < 1/2$ の場合の周波数特性のゲイン特性は図 1 7 に示すように、 $\zeta > 1/2$ の場合の周波数特性のゲイン特性は図 1 8 に示すようになる。両図の大きな違いは最大ゲインが、図 1 7 では 0 dB を超えておらず、図 1 8 では 0 dB を超えていることである。よって振動的な応答になるか否かは、周波数特性のゲイン特性から判断することができる。

【 0 1 1 3 】

位置閉ループの伝達関数がより高次の場合、応答に対する影響は特性根による影響が重なり、より複雑になる。この場合、位置閉ループの周波数応答を、位置制御系の応答に対し最も影響を与える成分とその他の成分に分ける。そして、最も影響を与える成分が滑らかな応答をする一次遅れ要素であり、その他の成分が振動的にならなければ、両者の影響を合わせても振動的な応答にはならない。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 4 】

従って、位置閉ループの周波数特性のゲイン特性から、位置制御系の応答に対し最も影響を与える成分としてゲインが - 3 d B になる周波数をカットオフとする一次遅れ要素のゲイン特性を減じ、さらに分子に相当するゲイン特性を減じて得られるゲイン特性の最大ゲインを調べることにより、位置制御系の応答がオーバーシュートを生じるか否かを判断できる。

【 0 1 1 5 】

ステップ S 2 5 の処理の詳細を図 1 9 に示すフローチャートを用いて説明する。

【 0 1 1 6 】

まず、速度応答周波数 ω_v の初期値を設定する (ステップ S 2 5 1)。これは小さい値に設定する。

【 0 1 1 7 】

速度応答周波数 ω_v に基づいて、位置比例ゲイン K_p 、速度比例ゲイン K_v を算出する (ステップ S 2 5 2)。例えば前述の (数 4)、(数 5) を用いて算出する。続いて前述の方法で、位置閉ループの周波数特性を算出する (ステップ S 2 5 3)。

【 0 1 1 8 】

位置閉ループの周波数特性のゲイン特性においてゲインが - 3 d B になる最低周波数を算出し、その周波数をカットオフとする一次遅れ要素のゲイン特性を、位置閉ループ周波数特性のゲイン特性から減算する (ステップ S 2 5 4)。例えば、図 2 0 (a) に示す位置閉ループ周波数特性のゲイン特性が算出されている場合、- 3 d B となる最低周波数は ω_c である。この周波数をカットオフとする一次遅れ要素のゲイン特性を減算すると図 2 0 (b) に示すゲイン特性が得られる。

【 0 1 1 9 】

次に、ステップ S 2 5 4 で得られた周波数特性のゲイン特性から反共振周波数特性のゲイン特性を減ずる (ステップ S 2 5 5)。ここで反共振周波数特性は、機械系 4 の伝達関数の分子のみの周波数特性を指す。機械系 4 の伝達関数は (数 2 0) で表されたとする。

【 0 1 2 0 】

【数 2 0】

$$\frac{1}{Ja(s+da)} \cdot \prod_i \frac{\left(\frac{1}{\omega z_i} s\right)^2 + \left(\frac{dz_i}{\omega z_i} s\right) + 1}{\left(\frac{1}{\omega p_i} s\right)^2 + \left(\frac{dp_i}{\omega p_i} s\right) + 1} = \frac{\prod_i \left(\frac{1}{\omega z_i} s\right)^2 + \left(\frac{dz_i}{\omega z_i} s\right) + 1}{Ja(s+da) \cdot \prod_i \left(\frac{1}{\omega p_i} s\right)^2 + \left(\frac{dp_i}{\omega p_i} s\right) + 1} = \frac{N(s)}{D(s)}$$

【 0 1 2 1 】

(数 2 0) において、 $J a$ は機械系の総イナーシャ、 z_i は反共振周波数、 p_i は共振周波数、 $d a$ 、 $d z_i$ 、 $d p_i$ はそれぞれ粘性係数である。この伝達関数に対し速度制御器 8、位置制御器 7 が、それぞれ (数 4)、(数 5) で与えられるゲインを有する比例制御を行うとすると、位置閉ループの伝達関数は (数 2 1) で示すものとなる。

【 0 1 2 2 】

【数 2 1】

$$\frac{N(s)}{\frac{4}{\omega v^2} \{D(s) + \omega v \cdot N(s)\} s + N(s)}$$

【 0 1 2 3 】

(数 2 0) と (数 2 1) を比較すると分子は同じである。従って、機械系 4 の伝達関数における分子に相当する周波数特性を求めれば、位置閉ループの周波数特性の伝達関数における分子に相当する周波数特性を求めていることと等しくなる、(数 2 0) の分子の周波数特性は反共振周波数 z_i と粘性係数 $d z_i$ が分かれば求められる。これらは前述のス

10

20

30

40

50

ステップ S 2 1 ですでに求められている。

【 0 1 2 4 】

次に、ステップ S 2 5 5 で得られたゲイン特性の最大ゲインが所定値を超えたかどうかを調べる（ステップ S 2 5 6）。設定した速度応答周波数 x が低い場合は位置制御系の応答性が低いので滑らかな応答となり最大ゲインは 0 dB となる。一方、速度応答周波数 x が高すぎると振動的な応答になるので最大ゲインは正の値となる。所定値を 0 dB 近傍の正の値に設定し、最大ゲインが所定値を超えたら、1 つ前に設定した速度応答周波数 x が滑らかな応答が得られる最大の速度応答周波数 x であると判断し、ステップ S 2 5 8 へ進む。ステップ S 2 5 5 で得られた周波数特性の最大ゲインが所定値を超えていない場合はステップ S 2 5 7 へ進む。

10

【 0 1 2 5 】

ステップ S 2 5 7 では、速度応答周波数設定値 x を所定値だけ増加させてステップ S 2 5 2 へ戻る。増加幅が大きすぎると、次のサイクルのステップ S 2 5 6 で算出される最大ゲインが一気に所定値を超えてしまうので徐々に上げていくのが望ましい。

【 0 1 2 6 】

最後に、ステップ S 2 5 6 で滑らかな応答が得られる最大の速度応答周波数であると判断された速度応答周波数 x を、ステップ 2 4 で選択された設定パターンに関連づけて記憶する（ステップ S 2 5 8）。

【 0 1 2 7 】

以上のように、本実施形態の制御パラメータ算出装置により、モータ制御装置の制御パラメータ設定において、応答が滑らかである最大の速度応答周波数 v を短時間で知ることができ、さらに、（数 4）、（数 5）を用いて安定性が保証され、かつ応答性よい設定を実現できる。同時に最適なノッチフィルタも設定できる。

20

【 0 1 2 8 】

また、応答の判断に周波数特性のゲイン特性を用いることにより、特性根の算出を必要としない。従って、負荷周波数特性や機械周波数特性の伝達関数を算出する必要がないため計算量を減らすことができる。さらに、周波数特性のゲイン特性を用いることにより、伝達関数を用いた場合に生じる極 - 零点消去の影響を考慮する必要なく特性根の状態を判断できる。極 - 零点消去とは、伝達関数において分子 = 0 の解と特性方程式の根の間で近いものが存在し、お互いをうち消し合う状態のことを指す。この場合、消去される特性方程式の根は虚軸に近くても応答への影響は小さい。周波数特性のゲイン特性には極 - 零点消去がされた状態が現れるので特に考慮する必要はない。

30

【 0 1 2 9 】

また、本実施形態の制御パラメータ算出装置も、前述の実施形態と同様、モータ制御装置に適用することができる。モータ制御装置は例えば図 1 0 に示すような構成で実現できる。この場合、制御パラメータ調整部 1 5 b がステップ S 2 1 からステップ S 2 5 の処理を行い、算出された速度応答周波数 v 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 等の速度フィードバックループ内に付加するようにする。

40

【 0 1 3 0 】

（実施の形態 4）

本発明に係る制御パラメータ算出装置の第 4 の実施形態を示す。本実施形態においては、速度開ループの周波数特性と位置閉ループの周波数特性を用いて安定で応答が滑らかな速度応答周波数を算出する。また、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で応答が滑らか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、安定が保証されかつ応答が滑らかにな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。

50

【 0 1 3 1 】

本実施形態における、モータ制御装置の制御パラメータ算出装置を含むシステムの全体構成図は図 7 と同じである。

【 0 1 3 2 】

本実施形態の制御パラメータ算出装置の処理を図 2 1 に示すフローチャートを用いて説明する。なお、ステップ S 3 1 からステップ S 3 4 は、図 1 1 に示すステップ S 2 1 からステップ S 2 4 と同様の処理を行っている。

【 0 1 3 3 】

最初に、トルク指令とモータ速度をサンプリングし、負荷周波数特性を算出し、さらに、負荷周波数特性から反共振周波数と粘性係数を算出する（ステップ S 3 1）。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に基づきノッチフィルタの設定パターンを算出する（ステップ S 3 2）。

10

【 0 1 3 4 】

その後、各設定パターンについて、位置閉ループ特性に基づいて速度応答周波数を算出する（ステップ S 3 3 ~ S 3 7）。

【 0 1 3 5 】

具体的には、設定パターンを 1 つ選択し、制御対象周波数特性を算出する（ステップ S 3 4）。そして、0 [deg] 以上の所定値である位相余裕 [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（ステップ S 3 5）。次に、最大ゲイン G_{max} [dB] に基づいて第 1 の速度応答周波数 v_1 を算出する（ステップ S 3 6）。

20

【 0 1 3 6 】

位置閉ループ周波数特性に基づいて第 2 の速度応答周波数 v_2 を算出し、設定パターンと関連づけて記憶する（ステップ S 3 7）。ステップ S 3 7 の処理の詳細は後述する。

【 0 1 3 7 】

設定パターンで選択されていないものがなくなるまでステップ S 3 3 からステップ S 3 7 までの処理を繰り返す。全ての設定パターンについて第 2 の速度応答周波数 v_2 が算出されると、各設定パターン毎に得られた第 2 の速度応答周波数 v_2 のうち最大値を求め、その速度応答周波数の最大値とともに、それに関連づけられている設定パターンの情報をディスプレイ 1 4 に表示する。例えば、図 5 に示すように表示される。ディスプレイ 1 4 には算出された速度応答周波数 v_2 の最大値、関連づけられている設定パターンの減衰周波数だけでなく、周波数特性や、発振限界速度応答周波数として途中で算出される第 1 の速度応答周波数 v_1 をともに表示してもよい。

30

【 0 1 3 8 】

ステップ 3 7 の処理の詳細を図 2 2 に示すフローチャートを用いて説明する。

【 0 1 3 9 】

まず、速度応答周波数 x の初期値を設定する（ステップ S 3 7 1）。本処理で算出する第 2 の速度応答周波数 v_2 は、十分低い周波数 v_0 から安定性の保証された第 1 の速度応答周波数 v_1 までの範囲から算出すれば十分であるので、速度応答周波数 x の初期値は、前述の範囲の上下限値の平均値を与えるものとする。即ち次式で設定する。

40

【 0 1 4 0 】

【数 2 2】

$$\omega x = \frac{\omega v_0 + \omega v_1}{2}$$

【 0 1 4 1 】

そして、ステップ S 3 7 2 からステップ S 3 7 5 は、実施の形態 3 で説明した図 1 9 のステップ S 2 5 2 からステップ S 2 5 5 と同様である。これらの処理により、位置閉ループの周波数特性から、位置閉ループの周波数特性のゲイン特性においてゲインが -3 dB になる最低周波数をカットオフとする一次遅れ要素のゲイン特性と、反共振周波数特性の

50

ゲイン特性とを減じた周波数特性を得る。

【0142】

次に、ステップ375で得られたゲイン特性においてゲインが最大となる値（最大ゲイン）が所定の収束条件に合致したか否かを判断する。具体的には、収束条件として、最大ゲインが予め設定しておいた0dB近傍にある正の所定範囲内に含まれるか否かを判断する。最大ゲインが所定範囲内に含まれたときに、収束したと判断する。

【0143】

合致しなかった場合は、最大ゲインに応じて速度応答周波数 x を変更し（ステップS377）、収束条件に合致するまで、上記処理ステップ372～ステップ377を繰り返す。

10

【0144】

速度応答周波数 x の変更は、変更範囲の上下限値を設定しておき、その上限値と下限値の間で2分法に基づいて変更される。最大ゲインが予め設定しておいた0dB近傍の正の所定範囲よりも小さい場合、速度応答周波数の変更範囲の下限値を現在設定されている速度応答周波数にする。最大ゲインが予め設定しておいた0dB近傍の正の所定範囲よりも大きい場合、速度応答周波数の変更範囲の上限値を現在設定されている速度応答周波数にする。そして速度応答周波数 x を変更範囲の上限値と下限値の平均値とする。このように、2分法に基づいて速度応答周波数 v を変化させることにより、その探索範囲は狭くなっていくので、やがて収束する。

【0145】

収束条件に合致すると、収束したと判断された時点の速度応答周波数 x を第2の速度応答周波数 v_2 とし、第2の速度応答周波数 v_2 を、それに関連する設定パターンに関連づけて記憶する（ステップS378）。

20

【0146】

以上のように本実施形態によれば、モータ制御装置の制御パラメータ設定において、応答が滑らかである最大の速度応答周波数を短時間で知ることができ、さらに、（数4）、（数5）を用いて安定性が保証され、かつ応答性よい設定をできる。同時に最適なノッチフィルタも試行錯誤することなく設定できる。

【0147】

また、ステップS33からステップS37の処理において、探索範囲を2分法で収束させていくので計算量を減らすことができる。

30

【0148】

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。速度制御装置の場合、ステップS37では位置閉ループの代わりに速度閉ループの周波数特性を用いる。

【0149】

また、本実施形態の制御パラメータ算出装置も、前述の実施形態と同様、モータ制御装置に適用することができる。モータ制御装置は例えば図10に示すような構成で実現できる。この場合、制御パラメータ調整部15bがステップS31からステップS37の動作を行い、算出された速度応答周波数 v 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10などの速度フィードバックループ内に付加するようにする。

40

【0150】

（実施の形態5）

本発明に係る制御パラメータ算出装置の第5の実施形態を示す。本実施形態では、トルクフィルタカットオフ周波数と速度応答周波数の関係が所定条件を満たすようにする。これにより、モータ制御装置の制御パラメータ設定において、検出速度の最小分解能に起因する音や振動を抑制できるトルクフィルタカットオフ周波数を知ることができる。また、安定が保証されかつ応答が滑らかになる最大の速度応答周波数を短時間で知ることができ

50

、同時に好適なノッチフィルタの設定も得られる。

【0151】

図23に、第5の実施形態における、モータ制御装置の制御パラメータ算出装置を含むシステムの全体構成を示す。実施形態2で示したものと同一機能を有するものは同一番号を付している。図23に示すように、本実施形態では、モータ駆動装置52が第1のフィルタ部10の代わりに第2のフィルタ部20を備えている。

【0152】

第2のフィルタ部20は、少なくとも1つの1次のローパスフィルタを有し、第1のトルク指令 r_1 が入力され第2のトルク指令 r_2 を出力する。以下、この1次のローパスフィルタを「トルクフィルタ」と呼ぶ。トルクフィルタはトルク制御器11に入力される第2のトルク指令 r_2 のノイズ成分を抑圧することができ、微振動や音の発生を抑制する効果がある。カットオフ周波数を t_f とした時のトルクフィルタの周波数特性を図24に示す。

10

【0153】

本実施形態の制御パラメータ算出装置13cの処理について図25に示すフローチャートを用いて説明する。

【0154】

最初に、トルク指令とモータ速度に基づき負荷周波数特性、反共振周波数及び粘性係数を求める(ステップS41)。具体的には、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 の入力点からモータ速度 v_m の出力点までの周波数特性を算出して得る。なお、上記サンプリングは第2のフィルタ部20にノッチフィルタが含まれていない状態で行う。以下、このようにして求めた周波数特性を「第1の負荷周波数特性」と呼ぶ。第1の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。さらに、第1の負荷周波数特性から反共振周波数と粘性係数を算出する。これは例えば、第1の負荷周波数特性から、第1のトルク指令 r_1 とモータ速度 v_m をサンプリングした時に第2のフィルタ部20に設定されたフィルタの周波数特性を減じて機械系4の周波数特性を求め、得られた周波数特性のゲイン変曲点から反共振周波数を算出し、算出された反共振周波数におけるゲインの深さから粘性係数を算出する。

20

30

【0155】

次に、ステップS41で得られた第1の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(ステップS42)。共振周波数の算出においては、第1の負荷周波数特性のゲイン特性から変曲点を探索するなどの方法で得ることができる。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。

【0156】

トルクフィルタのカットオフ周波数 t_f を設定し、第2の負荷周波数特性を算出する(ステップS43)。トルクフィルタのカットオフ周波数 t_f の設定は、トルクフィルタカットオフ周波数のテーブルを事前に作成しておき、そのテーブルのエントリ順に選択していく。そして、第1の負荷周波数特性から、第1のトルク指令 r_1 とモータ速度 v_m をサンプリングした時に第2のフィルタ部20に設定されたフィルタの周波数特性を減じて機械系4の周波数特性を求め、求めた機械系4の周波数特性に、カットオフ周波数が t_f であるトルクフィルタの周波数特性を加算して第2の周波数特性を算出する。

40

【0157】

次に、安定で応答の滑らかとなる第3の速度応答周波数を算出し、設定パターンと関連づけて記憶する(ステップS44)。この処理では、例えば実施の形態4で説明した図21のステップ33からステップ37と同様の処理を行う。すなわち、各設定パターンに対

50

して算出された速度応答周波数のうち最大値を求め、その最大値を第3の最大速度応答周波数 ν_3 とし、それに関連する設定パターンとともに記憶する。

【0158】

次に、設定されているトルクフィルタのカットオフ周波数 t_f に基づいて、第3の最大速度応答周波数 ν_3 を修正する(ステップS45)。

【0159】

トルクフィルタは前述した通り、トルク制御器11に入力される第2のトルク指令 r_2 のノイズ成分を抑圧することができ、微振動や音の発生を抑制する効果がある。しかし、カットオフ周波数 t_f を下げてノイズ抑制効果を上げすぎると、図24(b)に示したトルクフィルタの位相特性により、第2の周波数特性における位相が -180 [deg] 以下になる周波数域が低域へ広がる。これにより、速度比例ゲインを十分上げられなくなる。従って、ノイズ抑制効果と位相特性の悪化とのバランスをとらないと速度応答周波数を十分高くできない。

10

【0160】

図26はトルクフィルタ(第2のフィルタ部20)を含む速度制御ブロック図である。モータをイナーシャJの剛体とする。トルク制御器11は十分応答性がありトルク指令通りのモータ電流を流せるものとする。速度制御器8は比例制御するものとし速度応答周波数を ν とする。速度比例ゲイン K_v は、 $J \times \nu$ で与えるとすると、演算遅れを無視すれば、図24で示した速度制御系の閉ループ伝達関数は(数23)で示される。

【0161】

【数23】

20

$$\frac{\omega\nu \cdot \omega t_f}{s^2 + \omega t_f \cdot s + \omega\nu \cdot \omega t_f}$$

【0162】

特性方程式は2次式である。従って図26に示す速度制御系の応答を滑らかなものとするには特性根が2つとも実解となればよい。そのための条件は二次方程式の判別式を解くことによって(数24)が得られる。

【0163】

【数24】

30

$$\frac{\omega t_f}{4} \geq \omega\nu$$

【0164】

(数24)より、速度応答周波数がトルクフィルタカットオフ周波数の $1/4$ 以下であれば応答が滑らかなものとなるのが分かる。つまり、トルクフィルタカットオフ周波数は速度応答周波数の4倍以上となるのが好ましい。

【0165】

一方、トルクフィルタによるノイズ抑制については以下のように考える。図24に示す速度制御系において、速度算出器6がサンプリング周期ごとに位置検出器3からの位置情報をサンプリングし、この周期時間での位置変化からモータ速度を算出する場合、位置検出器3の最小分解能とサンプリング周期が存在するため、算出されるモータ速度には最小の速度分解能が存在する。今、停止指令、即ち速度指令 $= 0$ が入力されている時、位置がわずかに変化し速度算出器6がモータ速度を算出したとする。この時、速度制御器8から出力される第1のトルク指令 r_1 は次式で表される。

40

【0166】

【数25】

$$r_1 = J \cdot \omega\nu \cdot \delta\omega$$

【0167】

これが大きなトルク指令変化であるとトルク制御器11で制御するモータ電流も大きな

50

変化となり微振動や音の発生原因になる。これをトルクフィルタによって変化を抑制することにより最小の速度分解能 分の変化に対する音の発生を抑えることができる。図 27 に示すように、振幅が 1 のインパルス信号が入力された場合にトルクフィルタによって最大振幅 $A(\omega f)$ がどの程度になるかを予め求めておく。このとき、(数 25) のインパルス入力に対するトルクフィルタ通過後のトルク指令 r_2 は次式で表される。

【 0 1 6 8 】

【数 2 6】

$$r_2 = A(\omega f) \cdot J \cdot \omega v \cdot \delta \omega$$

【 0 1 6 9 】

上式のトルク指令値 r_2 は、速度算出器 6 の最小分解能分の入力変化に対するトルクフィルタの出力変化を意味し、この値が所定値以下になっていれば、速度算出器 6 の出力の変動に対してモータ電流変化も小さくなり微振動や音の発生を抑制できる。すなわち、本実施形態では、速度算出器 6 の最小分解能分の変化に対するトルク指令値 r_2 の変化が所定値以下となるような速度応答周波数を求める。所定値は実験的に求められる。所定値を x とすると、トルク指令 r_2 の変化が所定値以下となるためには、速度応答周波数 v は次式を満たせばよい。

【 0 1 7 0 】

【数 2 7】

$$\omega v \leq \frac{x}{A(\omega f) \cdot J \cdot \delta \omega}$$

【 0 1 7 1 】

よって、ステップ S 45 では、第 3 の速度応答周波数 v_3 が (数 24) と (数 27) の両方を満たす場合は、第 3 の速度応答周波数 v_3 を修正しない。一方、第 3 の速度応答周波数 v_3 が (数 24) と (数 27) の少なくともいずれかを満たさない場合は、速度応答周波数 v のみを変数として (数 24) と (数 27) の両方を満たす速度応答周波数 v のうちの最大値を新たな第 3 の速度応答周波数 v_3 として修正する。そして、その速度応答周波数に対してトルクフィルタカットオフ周波数も関連づけておく。

【 0 1 7 2 】

その後、トルクフィルタカットオフ周波数のテーブル中で未選択のものがいないかチェックする (ステップ S 46)。未選択のものがある場合は、未選択のトルクフィルタカットオフ周波数の中から次のトルクフィルタカットオフ周波数を選択し (ステップ S 47)、上記処理を繰り返す (ステップ S 43 ~ ステップ S 47)。

【 0 1 7 3 】

テーブル中の全てのトルクフィルタカットオフ周波数について第 3 の速度応答周波数が求められると、それらのうち最大値となるものを算出し、その最大値を、それに関連する設定パターンおよびトルクフィルタカットオフ周波数とともにディスプレイ 14 に表示する (ステップ S 48、図 5 参照)。ディスプレイ 14 には算出された速度応答周波数の最大値、関連づけられている設定パターンの減衰周波数、トルクフィルタカットオフ周波数だけでなく、周波数特性や、発振限界速度応答周波数として途中で算出される第 1 の速度応答周波数 v_1 をともに表示してもよい。また、トルクフィルタのカットオフ周波数は逆数を計算し時定数として表示してもよい。

【 0 1 7 4 】

以上のように本実施形態の制御パラメータ算出装置 13c によれば、モータ制御装置の制御パラメータ設定において、応答が滑らかである最大の速度応答周波数を短時間で知ることができ、さらに、(数 4)、(数 5) を用いて安定性が保証され、かつ応答性よい設定を実現できる。同時にノッチフィルタも試行錯誤することなく設定できる。また、検出速度の最小分解能に起因する音や振動を抑制できるトルクフィルタカットオフ周波数をも設定できる。

10

20

30

40

50

【 0 1 7 5 】

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。速度制御装置の場合、ステップ 4 4 では位置閉ループの代わりに速度閉ループの周波数特性を用いる。

【 0 1 7 6 】

また、本実施形態の制御パラメータ算出装置 1 3 c も、前述の実施形態と同様、モータ制御装置に適用することができる。モータ制御装置は例えば図 2 8 に示すような構成で実現できる。この場合、モータ制御装置 5 3 は制御パラメータ調整部 1 5 c を備え、制御パラメータ調整部 1 5 c がステップ 4 1 からステップ 4 7 の動作を行い、算出された速度応答周波数 ν 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 を調整し、算出された速度応答周波数 ν の最大値に関連する設定パターンに応じたノッチフィルタを第 2 のフィルタ部 2 0 等の速度フィードバックループ内へ付加するとともに、トルクフィルタカットオフ周波数の調整をする。

10

【 0 1 7 7 】

なお、前述の実施形態では、負荷周波数特性を算出するために、第 1 のトルク指令とモータ速度をサンプリングし、フーリエ変換したが、フーリエ変換後のデータを入力して負荷周波数特性を算出するようにしてもよい。または事前に計算済みの負荷周波数特性を入力するようにしてもよい。

【 0 1 7 8 】

また、実施の形態 2 ないし 5 において、第 1 のフィルタ部 1 0 または第 2 のフィルタ部にノッチフィルタが含まれない状態で第 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、第 1 のフィルタ部 1 0 または第 2 のフィルタ部にノッチフィルタを含んだ状態で第 1 のトルク指令とモータ速度をサンプリングし、フーリエ変換し周波数特性を算出し、含まれているノッチフィルタの周波数特性を減じたものを負荷周波数特性として算出してもよい。

20

【 0 1 7 9 】

また、最終的に算出した速度応答周波数は、記憶手段に記憶したり、通信回線を通じて出力したりしてもよい。

【 0 1 8 0 】

また、ディスプレイ 1 4 と制御パラメータ算出装置 1 3 は無線通信回線を介してデータをやりとりしてもよい。

30

【 0 1 8 1 】

また、前述の実施形態において、フローチャートで示した各機能はプログラムにより実現されるとして説明したが、これらの機能をハードウェアで実現してもよい。

【産業上の利用可能性】

【 0 1 8 2 】

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、短時間で、安定かつ応答性の高い速度応答周波数の算出ができ、部品実装機や半導体製造装置などに組み込まれるモータの制御や制御パラメータの算出に有用である。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に適用可能である。

40

【符号の説明】

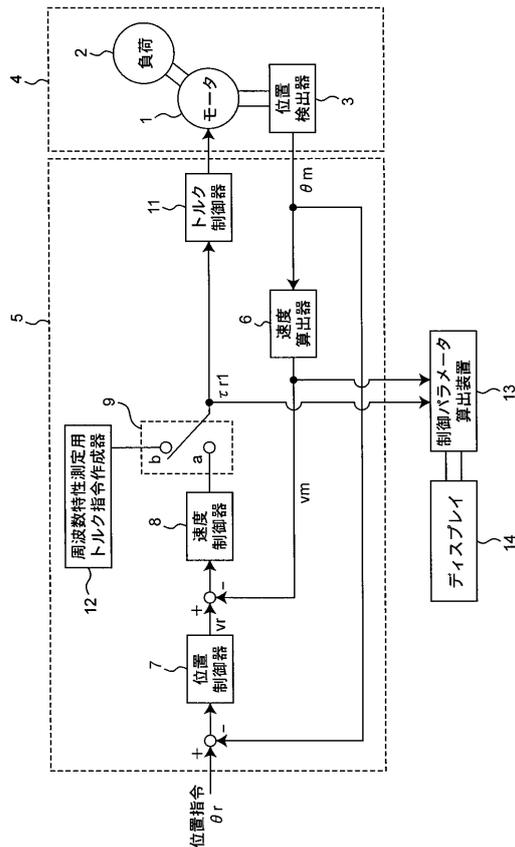
【 0 1 8 3 】

- 1 モータ
- 2 負荷
- 3 位置検出器
- 4 機械系
- 5、5 b、5 2 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

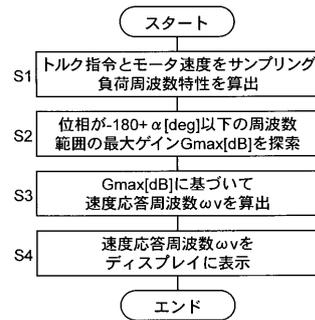
50

- 9 スイッチ
- 10 第1のフィルタ部
- 11 トルク制御器
- 12 周波数特性測定用トルク指令作成器
- 13、13b、13c 制御パラメータ算出装置(コンピュータ)
- 14 ディスプレイ
- 15、15b、15c 制御パラメータ調整部
- 20 第2のフィルタ部
- 51、51b、53 モータ制御装置

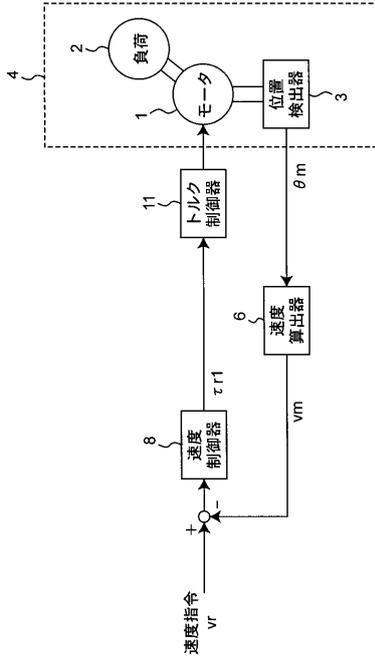
【図1】



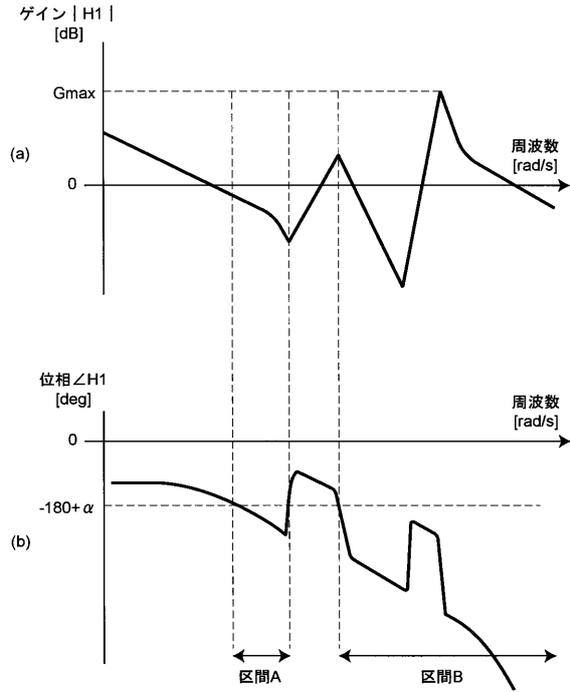
【図2】



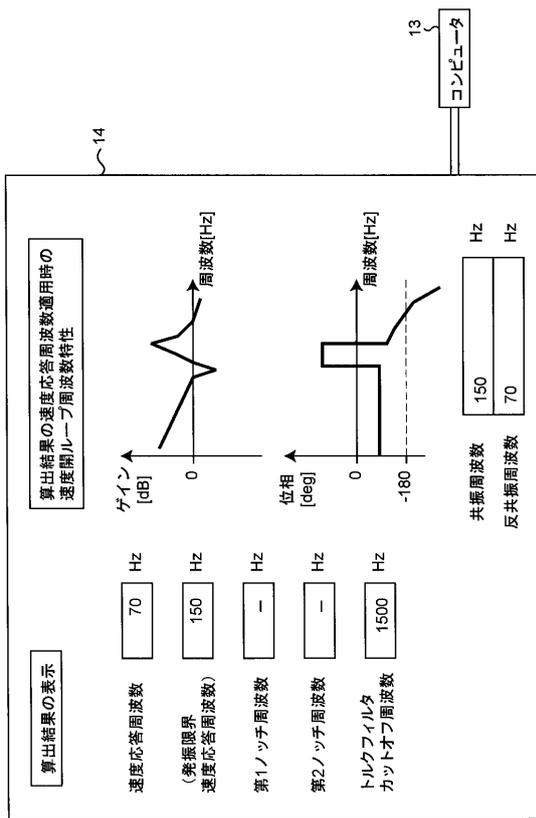
【図3】



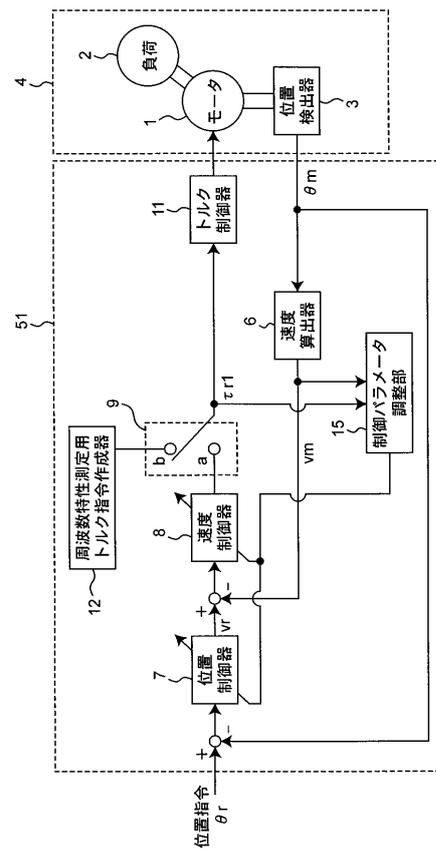
【図4】



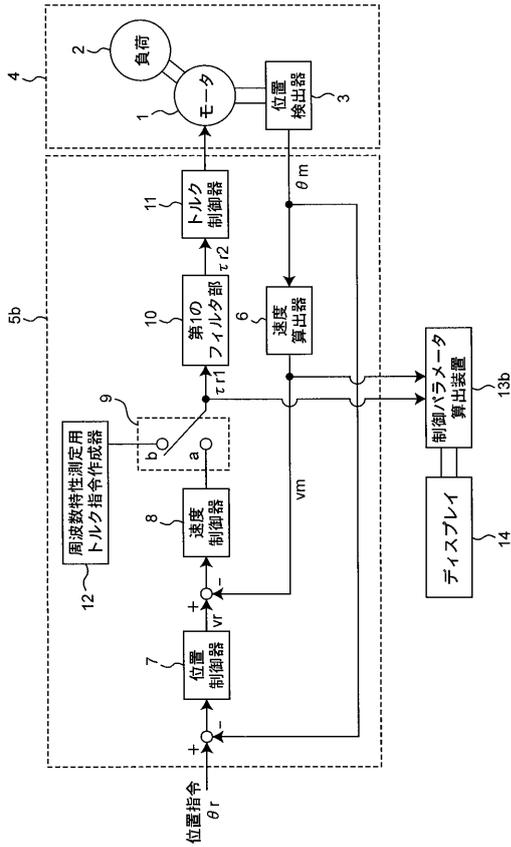
【図5】



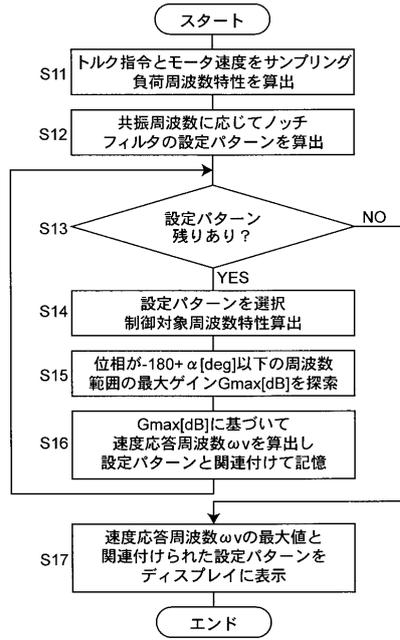
【図6】



【図7】



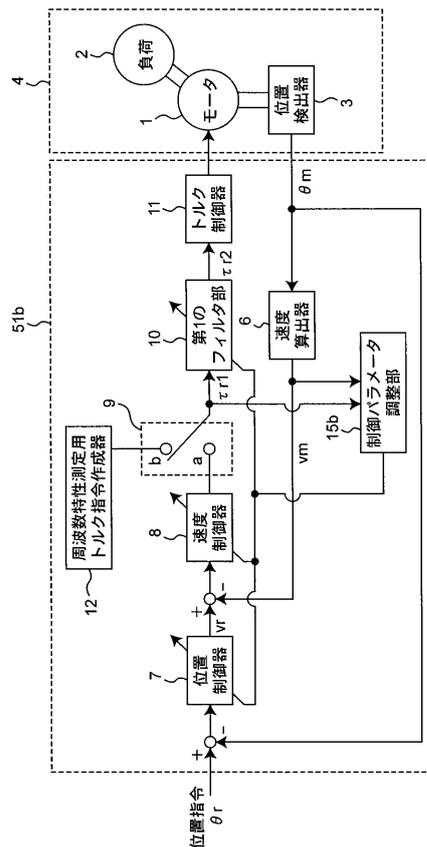
【図8】



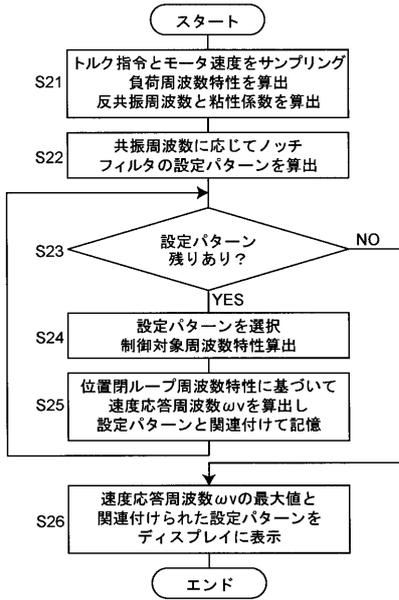
【図9】

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

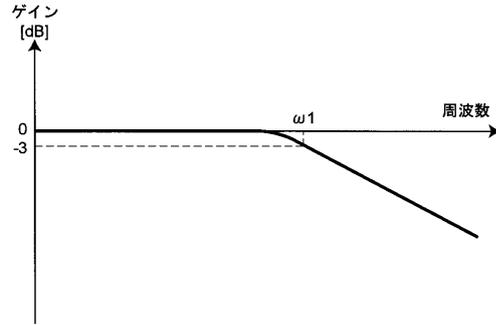
【図10】



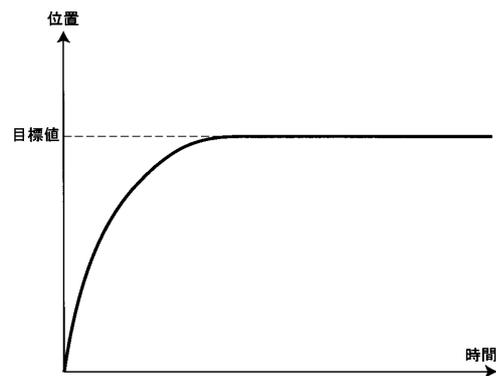
【図11】



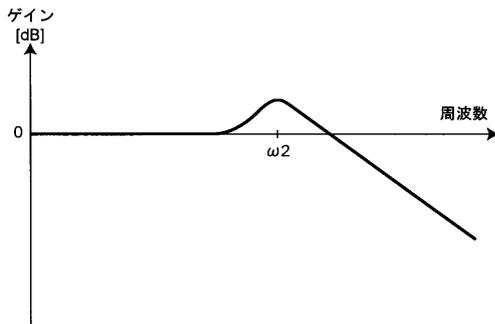
【図12】



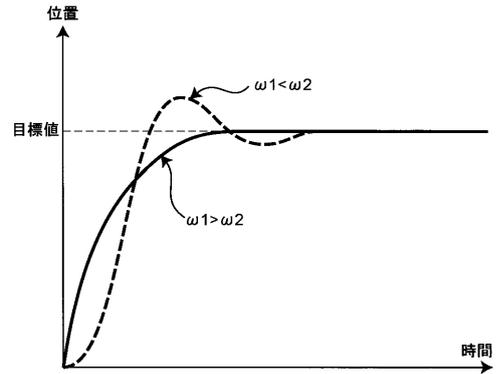
【図13】



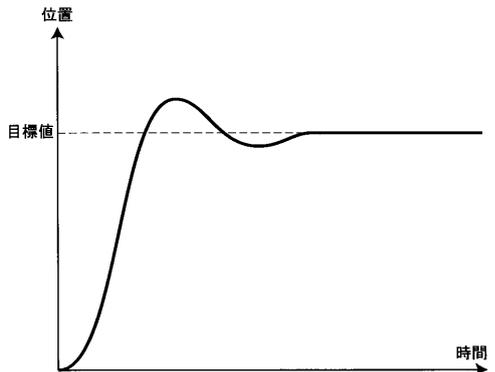
【図14】



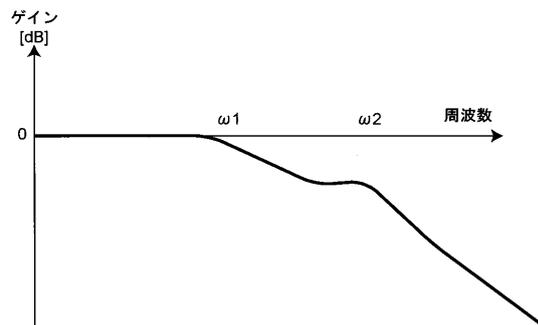
【図16】



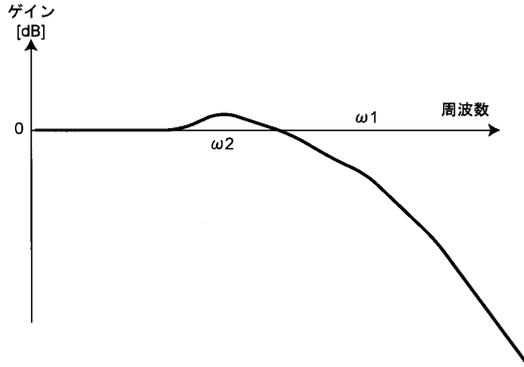
【図15】



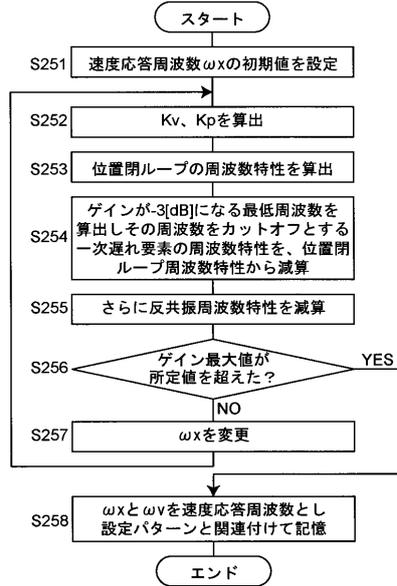
【図17】



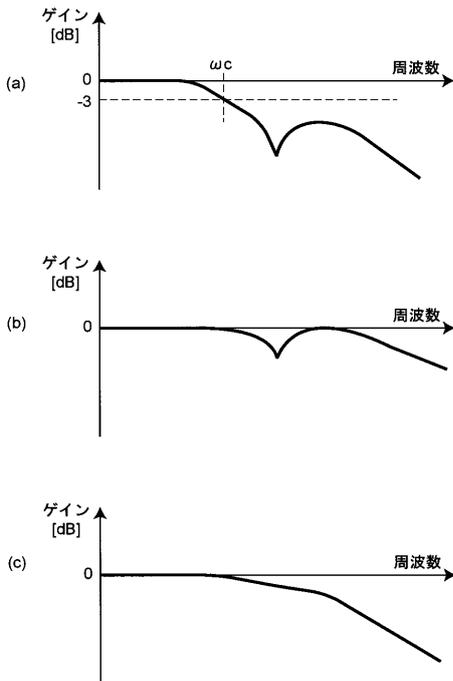
【図18】



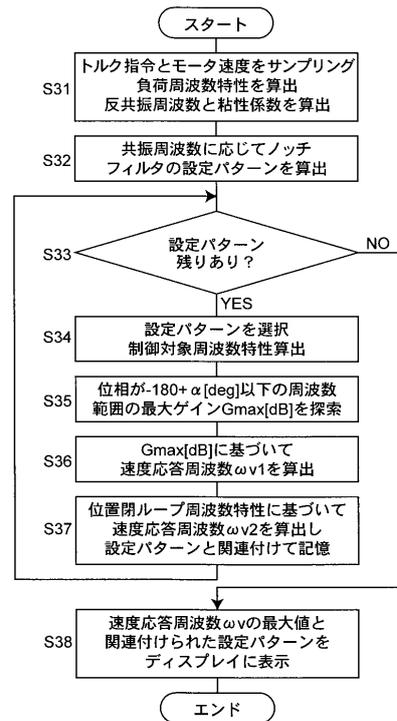
【図19】



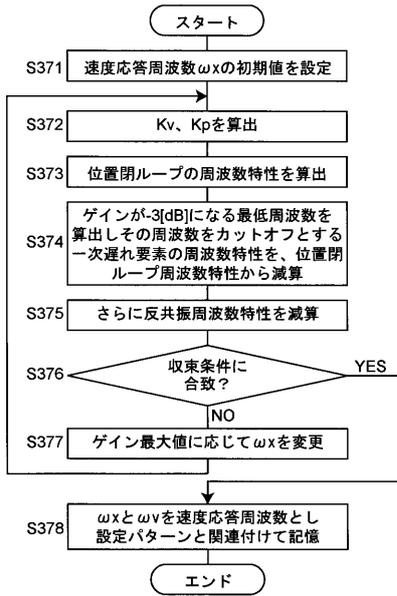
【図20】



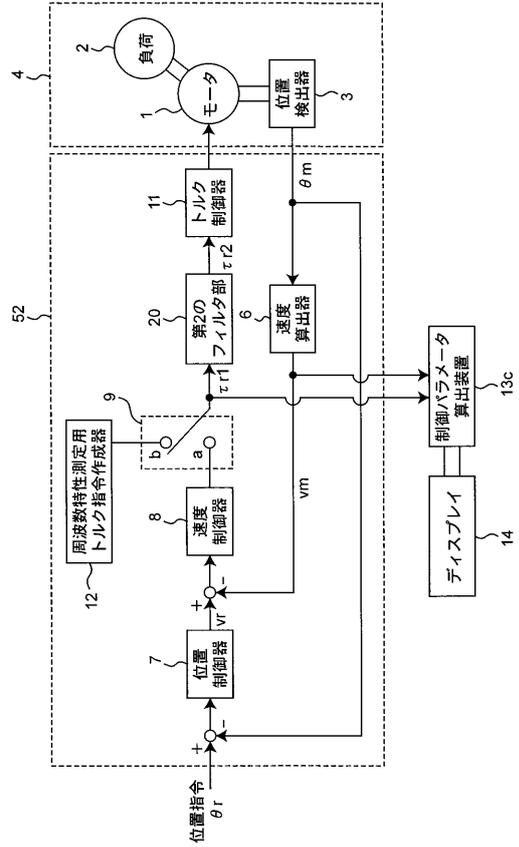
【図21】



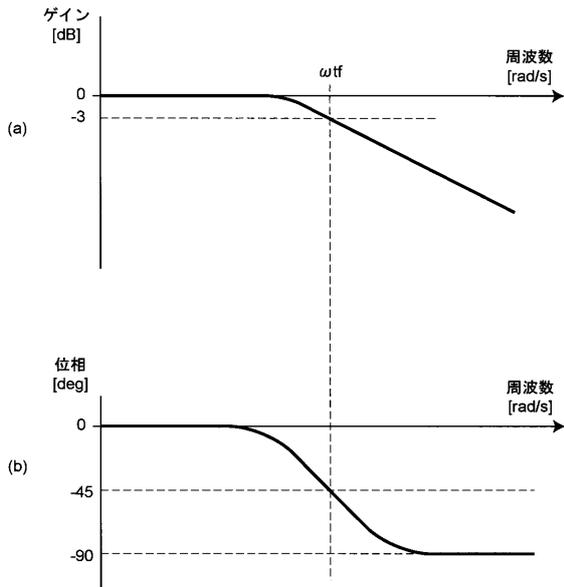
【図22】



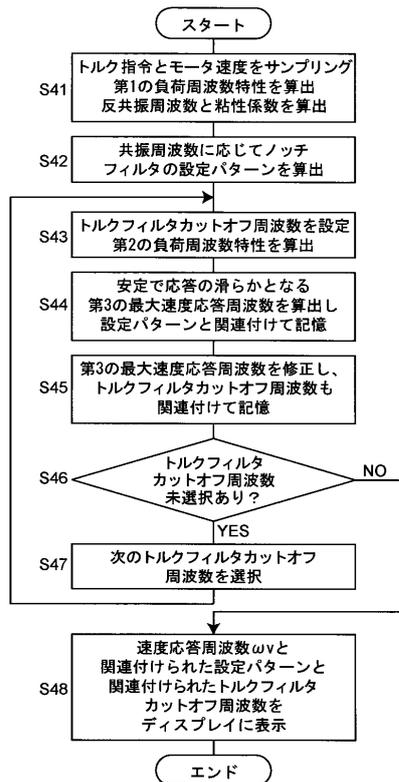
【図23】



【図24】



【図25】



フロントページの続き

- (72)発明者 大山 一郎
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
- (72)発明者 榎崎 和成
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 武市 匡紘

- (56)参考文献 特開2003-333874(JP,A)
特開平10-056790(JP,A)
特開2004-007955(JP,A)
特開2003-271246(JP,A)
特開平11-024706(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 |