

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5113862号
(P5113862)

(45) 発行日 平成25年1月9日(2013.1.9)

(24) 登録日 平成24年10月19日(2012.10.19)

(51) Int.Cl.		F I			
HO2P	29/00	(2006.01)	HO2P	5/00	X
GO5B	13/02	(2006.01)	HO2P	5/00	F
GO5B	13/04	(2006.01)	HO2P	5/00	P
			GO5B	13/02	B
			GO5B	13/04	

請求項の数 5 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2010-31412 (P2010-31412)
 (22) 出願日 平成22年2月16日 (2010.2.16)
 (65) 公開番号 特開2011-172317 (P2011-172317A)
 (43) 公開日 平成23年9月1日 (2011.9.1)
 審査請求日 平成22年2月17日 (2010.2.17)

(73) 特許権者 000180025
 山洋電気株式会社
 東京都豊島区北大塚一丁目15番1号
 (74) 代理人 100091443
 弁理士 西浦 ▲嗣▼晴
 (72) 発明者 井出 勇治
 東京都豊島区北大塚一丁目15番1号 山
 洋電気株式会社内
 審査官 武市 匡紘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モータ制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

実際のモータの制御系を模擬したモデル制御系と、
 位置制御器、速度制御器及びトルク制御器を備えて、前記モデル制御系に追従するよう
 構成され、前記実際のモータをフィードバック制御するフィードバック制御系とを備えた
 モータ制御装置であって、

前記モデル制御系は、

位置指令 S 1 とモデルモータ側位置を示すモデルモータ側位置指令 S 2 との偏差を演算
 して、該偏差をモデル位置偏差指令 S 3 として出力する第 1 の偏差演算部と、

前記モデル位置偏差指令 S 3 を入力としてモデル速度指令 S 4 を出力するモデル位置制
 御器と、

前記モデル速度指令 S 4 とフィードバック速度指令 S 5 との偏差を演算して、該偏差を
 第 1 のモデル速度偏差指令 S 6 として出力する第 2 の偏差演算部と、

前記第 1 のモデル速度偏差指令 S 6 とモデルモータ側速度指令 S 7 との偏差を演算して
 、該偏差を第 2 のモデル速度偏差指令 S 8 として出力する第 3 の偏差演算部と、

前記第 2 のモデル速度偏差指令 S 8 を入力としてモデルトルク指令 S 9 を出力するモデ
 ル速度制御器と、

前記モデルトルク指令 S 9 とフィードバック加速度指令 S 10 との偏差を演算して、該
 偏差を第 1 のモデルトルク偏差指令 S 11 として出力する第 4 の偏差演算部と、

前記第 1 のモデルトルク偏差指令 S 11 とねじりトルクを表すねじりトルク指令 S 12

10

20

との偏差を演算して、該偏差を第2のモデルトルク偏差指令S13として出力する第5の偏差演算部と、

前記第2のモデルトルク偏差指令S13を入力として、モデルモータ側加速度指令S14、前記モデルモータ側速度指令S7及び前記モデルモータ側位置指令S2を生成する第1の慣性系の機械モデルと、

前記ねじりトルク指令を入力として、モデル負荷側加速度指令S15、モデル負荷側速度指令S16及びモデル負荷側位置指令S17を生成する第2の慣性系の機械モデルと、

前記モデルモータ側加速度指令S14と前記モデル負荷側加速度指令S15との偏差を演算して、該偏差をモデル側加速度偏差指令S18として出力する第6の偏差演算部と、

前記モデル側加速度偏差指令S18に第1のゲイン K_{AB} を乗算して前記フィードバック加速度指令S10を生成するモデル加速度指令発生部と、

前記モデルモータ側速度指令S7と前記モデル負荷側速度指令S16の偏差を演算して、該偏差をモデル側速度偏差指令S19として出力する第7の偏差演算部と、

前記モデル側速度偏差指令S19に第2のゲイン K_{VB} を乗算して前記フィードバック速度指令S5を生成するモデル速度指令発生部とを備え、

前記モデル負荷側位置指令S17と前記モデルモータ側位置指令S2との偏差を演算して、該偏差をモデル側位置偏差指令S20として出力する第8の偏差演算部と、

前記モデル側位置偏差指令S20に第3のゲイン K_B を乗算して前記ねじりトルク指令S12を生成するねじりトルク指令発生部とを備えており、

前記モデル位置制御器のゲインを K_P 、前記モデル速度制御器のゲインを K_V 、モータイナーシャを J_M 、負荷側イナーシャを J_L とし、さらに前記モデル制御系の状態方程式から得られる特性方程式の極を K としたときに、前記特性方程式が4重根を持つように演算して得た関係式、

$$K = -4K_P$$

$$K_V = -K_B(J_M + J_L) / [1.5K_B / K + K_P J_L]$$

$$K_{AB} = K_V K_B / (-4K^3 J_L) - J_M$$

$$K_{VB} = -4K(J_M + K_{AB}) / K_V - 1$$

に基づいて、前記モデル制御系のパラメータが定められていることを特徴とするモータ制御装置。

【請求項2】

K_P を前記フィードバック制御系の前記位置制御器のゲインと同じ値とし、前記モータ側イナーシャ J_M 、前記負荷側イナーシャ J_L 、ねじり剛性を示す前記ゲイン K_B を実際の機械系のそれぞれの値と同じにして、前記第1のゲイン K_{AB} 、前記第2のゲイン K_{VB} 、及び前記モデル速度制御器のゲイン K_V が定められている請求項1に記載のモータ制御装置。

【請求項3】

実際のモータの制御系を模擬したモデル位置制御器、モデル速度指令部、モデル速度制御器及びモデルトルク指令部を含んで構成されたモデル制御系と、

位置制御器、速度制御器及びトルク制御器を備えて、前記モデル制御系に追従するように構成され、前記実際のモータをフィードバック制御するフィードバック制御系とを備えたモータ制御装置であって、

前記モデル制御系は、モデルモータ側加速度指令S14及びモデルモータ側速度指令S7を生成する、前記モータについての第1の慣性系の機械モデルと、モデル負荷側加速度指令S15及びモデル負荷側速度指令S16を生成する、負荷についての第2の慣性系の機械モデルと、前記モータと前記負荷との間のねじりトルクについてのねじりトルクモデルと、前記モデル負荷側加速度指令S15と前記モデルモータ側加速度指令S14との偏差であるモデル側加速度偏差指令S18をゲイン K_{AB} 倍して得たフィードバック加速度指令S10を、モデルトルク偏差指令S11を生成する前記モデルトルク指令部にフィードバックする第1の状態フィードバック系と、前記モデル負荷側速度指令S16と前記モデルモータ側速度指令S7との偏差からなるモデル側速度偏差指令S19をゲイン K_{VB} 倍し

て得られるフィードバック速度指令 S_5 を、前記モデル速度指令部に状態フィードバックする第2の状態フィードバック系とを備えており、

前記モデル制御系の状態方程式から得られる特性方程式が4重根を持つように演算して得たパラメータの関係式に基づいて、前記モデル制御系のパラメータが定められていることを特徴とするモータ制御装置。

【請求項4】

前記モデル位置制御器のゲインを K_P 、前記モデル速度制御器のゲインを K_V 、モータ側イナーシャを J_M 、負荷側イナーシャを J_L とし、ねじり剛性に係わるゲインを K_B 、前記モデルモータの加速度情報に係わるゲインを K_{AB} とし、前記モデルモータの速度情報に係わるゲインを K_{VB} とし、前記モデル制御系の状態方程式から得られる特性方程式の極を K としたときに、前記特性方程式が4重根を持つように演算して得た関係式、

$$K = -4 K_P$$

$$K_V = -K_B (J_M + J_L) / [1.5 K_B / K + K_P J_L]$$

$$K_{AB} = K_V K_B / (-4 K^3 J_L) - J_M$$

$$K_{VB} = -4 K (J_M + K_{AB}) / K_V - 1$$

に基づいて、前記モデル制御系のパラメータが定められていることを特徴とする請求項3に記載のモータ制御装置。

【請求項5】

K_P を前記フィードバック制御系の前記位置制御器のゲインと同じ値とし、前記モータ側イナーシャ J_M 、前記負荷側イナーシャ J_L 、ねじり剛性を示す前記ゲイン K_B を実際の機械系のそれぞれの値と同じにして、前記ゲイン K_{AB} 、前記ゲイン K_{VB} 、及び前記モデル速度制御器のゲイン K_V が定められている請求項4に記載のモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボットなどの機械を駆動して、高速に位置決めを行う、モータ制御装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

モータ制御装置により機械を高速位置決めする方法の一つとして、モデル追従制御がある。モデル追従制御は、実際の制御系を模擬したモデル制御系を構築し、このモデル制御系に追従するようにフィードバック制御系を駆動する制御方式である。図3は、特開昭62-217304号公報(特許文献1)に示された従来モデル追従制御を利用したモータ制御装置の構成を示している。従来装置では、位置指令とモデル位置との偏差をとり、モデル位置制御器を通してモデル速度指令を出力する。モデル速度指令とモデル速度との偏差をとり、モデル速度制御器を通してモデルトルク指令を出力する。モデルトルク指令をモータ機械モデルを通してモデル速度を算出する。モデル速度を積分器を通してモデル位置を算出する。モデル位置とエンコーダで検出したモータ位置との差をとり、位置制御器を通して速度指令を出力する。速度指令とモデル速度を加算したものと速度検出値との偏差をとり、速度制御器を通してトルク指令を出力する。トルク指令とモデルトルク指令を加算し、トルク制御器を通してモータを駆動し、モータのトルクを制御する。

【0003】

ここで、モータ機械モデルは、モータ側イナーシャを J_M 、負荷側イナーシャを J_L とし、

$$\text{モータ機械モデル} = 1 / \{ (J_M + J_L) S \}$$

と表される。このように、モデル追従制御を構成することにより、指令応答特性と外乱応答特性を独立に制御できる。外乱応答は機械系の高周波共振などにより制約を受け、ある程度以上に高くすることができない。モデル応答は、その影響を受けないため、モデル応答を高めることができる。これにより、指令応答を高め、機械の高速位置決めが実現できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

以上のように、機械系が剛体である場合は、モータ機械モデルを剛体としたモデル追従制御を行うことにより、高速位置決めが実現できる。しかし、実際の機械系には剛性の低い部分が存在し、それにより振動を生ずる。ロボットなどの機械は図 4 のように、近似的にモータ側の慣性と負荷側の慣性が低いねじり剛性により結合された機械系と見ることができる。このような機械では、モータを駆動した時にモータ側慣性と負荷側慣性とその間の剛性に起因した振動を生ずる。

【 0 0 0 5 】

こういった 2 慣性系の振動を抑制する方法として、位置指令の入力部にプレフィルタを挿入する方法がある。図 5 は、プレフィルタにより 2 慣性系の振動を抑制するブロック図である。例えば、プレフィルタとしてノッチフィルタを挿入し、そのノッチ周波数を振動周波数に設定することにより、振動を抑制することができる。しかし、プレフィルタを用いた場合は、フィルタの遅れにより、位置決め整定時間を十分に短くできないという問題があった。

【 0 0 0 6 】

別の 2 慣性系の振動を抑制する方法として、モデル追従制御を用いた、モータ制御装置が特開平 8 - 1 6 8 2 8 0 号公報（特許文献 2）に示されている。特許文献 2 の図 1 には、モデル追従制御を行うモータ制御装置の構成が示されている。このモータ制御装置では、第 1 の制御系（モデル制御系）の中に、電動機模擬回路と負荷機械模擬回路とトルク伝達機構模擬回路を搭載している。またモータ制御装置は、電動機モデルからの模擬速度指令と負荷機械モデルからの模擬速度指令の偏差指令を入力として補償トルク信号を出力する補償トルク演算手段を備えている。この補償トルク演算手段からの補償トルク信号を第 1 の速度制御手段からの第 1 のトルク信号から差し引いた偏差指令によって電動機モデル又はトルク制御手段を制御している。そして、この補償トルク演算回路は比例積分制御器で構成されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 7 】

【 特許文献 1 】 特開昭 6 2 - 2 1 7 3 0 4 号公報

【 特許文献 2 】 特開平 8 - 1 6 8 2 8 0 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

特許文献 2 に示された従来のモータ制御装置では、モデル制御系の特性方程式を立てている。しかしながら、高速に位置決めを行い、かつ、振動を生じないようにするために、どのようにその式を解いて制御パラメータを設定するのかは、特許文献 2 には明確に示されていない。そのため特許文献 2 を利用して制御パラメータを設定することは現実に実施できていない。このため、実際には、特許文献 2 に示される構成を使用する場合には、カットアンドトライで各パラメータを調整していく必要があり、調整に時間がかかるという問題があった。また、特許文献 2 に示される構成を使用して、カットアンドトライで各パラメータを調整し、高速に位置決めを行い、かつ、振動を生じないようにすることができるか否かのシミュレーション試験を発明者が行った結果からは、モデル速度制御器（第 1 の速度制御回路）から出力されるモデルトルク指令が、図 6（B）のようにモータが出力できるトルク [図 6（B）の縦軸のスケールで ± 2 以下の値] より大きな値 [図 6（B）の縦軸のスケールで ± 7 以上の値] になることが判った。そのため従来のモータ制御装置で高速で位置決めを行うためには、モデル速度制御器（第 1 の速度制御回路）を過大なトルクに対応したものにすることが必要である。しかしながら過大なトルクへの対応は、演算精度の低下や演算時間の増加につながるため、できるだけ過大なトルクへの対応は抑制することが望まれる。なお図 6（A）は位置指令（微分値）であり、図 6（C）は位置偏差である。

10

20

30

40

50

【0009】

本発明の目的は、モデル制御系のパラメータを簡単に調整でき、しかも、モデル速度制御器から出力されるトルク指令が過大になることがなく、より高速で振動のない位置決めを実現できるモータ制御装置を提供することを目的とする。

【0010】

上記目的に加えた、本発明の他の目的は、モデル制御系のパラメータを一つのパラメータで簡単に調整できるモータ制御装置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】

【0011】

本発明のモータ制御装置は、実際のモータの制御系を模擬したモデル位置制御器、モデル速度指令部、モデル速度制御器及びモデルトルク指令部を含んで構成されたモデル制御系と、位置制御器、速度制御器及びトルク制御器を備えて、モデル制御系に追従するように構成され、実際のモータをフィードバック制御するフィードバック制御系とを備えている。

10

【0012】

モデル制御系は、モデルモータ側加速度指令 $S14$ 及びモデルモータ側速度指令 $S7$ を生成する、モータについての第1の慣性系の機械モデルと、モデル負荷側加速度指令 $S15$ 及びモデル負荷側速度指令 $S16$ を生成する、負荷についての第2の慣性系の機械モデルと、モータと負荷との間のねじりトルクについてのねじりトルクモデルと、モデル負荷側加速度指令 $S15$ とモデルモータ側加速度指令 $S14$ との偏差であるモデル側加速度偏差指令 $S18$ をゲイン K_{AB} 倍して得たフィードバック加速度指令 $S10$ を、モデルトルク偏差指令 $S11$ を生成するモデルトルク指令部にフィードバックする第1の状態フィードバック系と、モデル負荷側速度指令 $S16$ とモデルモータ側速度指令 $S7$ との偏差からなるモデル側速度偏差指令 $S19$ をゲイン K_{VB} 倍して得られるフィードバック速度指令 $S5$ を、モデル速度指令部に状態フィードバックする第2の状態フィードバック系とを備えている。そして本発明のモータ制御装置では、モデル制御系の状態方程式から得られる特性方程式が4重根を持つように演算して得たパラメータの関係式に基づいて、モデル制御系のパラメータが定められている。

20

【0013】

本発明では、2慣性系の機械モデルを用いて、現代制御理論を適用してモデル制御系の特性方程式の根が重根になるようにモデル制御系の各パラメータを定めている。そのため制御パラメータの設定において、モデル位置制御器のゲインにより特性方程式における極が決まり、フィードバック系の位置制御器のゲインを高く取れる場合は、従来と比較して、非常に高速で機械振動を生じない位置決めが実現できる。

30

【0014】

本発明のより具体的なモータ制御装置は、モデル制御系が、第1の偏差演算部と、モデル位置制御器と、第2の偏差演算部と、第3の偏差演算部と、モデル速度制御器と、第4の偏差演算部と、第5の偏差演算部と、第1の慣性系の機械モデルと、第2の慣性系の機械モデルと、第6の偏差演算部と、モデル負荷加速度指令生成部と、第7の偏差演算部と、モデル速度指令発生部と、第8の偏差演算部と、ねじりトルク指令発生部とを備えている。

40

【0015】

第1の偏差演算部は、位置指令 $S1$ とモデルモータ側位置指令 $S2$ との偏差を演算し、この偏差をモデル位置偏差指令 $S3$ として出力する。モデル位置制御器は、モデル位置偏差指令 $S3$ を入力としてモデル速度指令 $S4$ を出力する。

【0016】

第2の偏差演算部は、モデル速度指令 $S4$ とフィードバック速度指令 $S5$ との偏差を演算して、この偏差を第1のモデル速度偏差指令 $S6$ として出力する。第2の偏差演算部が、モデル速度指令部を構成する。

【0017】

50

第3の偏差演算部は、第1のモデル速度偏差指令S6とモデルモータ側速度指令S7との偏差を演算して、この偏差を第2のモデル速度偏差指令S8として出力する。モデル速度制御器は、第2のモデル速度偏差指令S8を入力としてモデルトルク指令S9を出力する。

【0018】

第4の偏差演算部は、モデルトルク指令S9と第1の状態フィードバック系F1から入力されるフィードバック加速度指令S10との偏差を演算して、この偏差を第1のモデルトルク偏差指令S11として出力する。第4の偏差演算部がモデルトルク指令部を構成する。

【0019】

第5の偏差演算部は、第1のモデルトルク偏差指令S11とねじりトルクを表すねじりトルク指令S12との偏差を演算して、この偏差を第2のモデルトルク偏差指令S13として出力する。

【0020】

第1の慣性系の機械モデルは、第2のモデルトルク偏差指令S13を入力として、モデルモータ側加速度指令S14、モデルモータ側速度指令S7及びモデルモータ側位置指令S2を生成する。

【0021】

第2の慣性系の機械モデルは、ねじりトルク指令を入力として、モデル負荷側加速度指令S15、モデル負荷側速度指令S16及びモデル負荷側位置指令S17を生成する。

第6の偏差演算部は、モデルモータ側加速度指令S14とモデル負荷側加速度指令S15との偏差を演算して、この偏差をモデル側加速度偏差指令S18として出力する。モデル加速度指令発生部は、モデル側加速度偏差指令S18に第1のゲイン K_{AB} を乗算してフィードバック加速度指令S10を生成する。第6の偏差演算部とモデル加速度指令発生部とにより、第1の状態フィードバック系が構成されている。

【0022】

第7の偏差演算部は、モデルモータ側速度指令S7とモデル負荷側速度指令S16の偏差を演算して、この偏差をモデル側速度偏差指令S19として出力する。モデル速度指令発生部は、モデル側速度偏差指令S19に第2のゲイン K_{VB} を乗算してフィードバック速度指令S5を生成する。第7の偏差演算部とモデル速度指令発生部とにより、第2の状態フィードバック系が構成される。

【0023】

第8の偏差演算部は、モデル負荷側位置指令S17とモデルモータ側位置指令S2との偏差を演算して、この偏差をモデル側位置偏差指令S20として出力する。ねじりトルク指令発生部は、モデル側位置偏差指令S20に第3のゲイン K_B を乗算してねじりトルク指令S12を生成する。

【0024】

本発明においては、モデル位置制御器のゲインを K_P 、モデル速度制御器のゲインを K_V 、モータ側イナーシャを J_M 、負荷側イナーシャを J_L とし、さらにモデル制御系の状態方程式から得られる特性方程式の極を K としたときに、特性方程式が4重根を持つように演算して得た関係式、

$$K = -4K_P$$

$$K_V = -K_B (J_M + J_L) / [1.5K_B / K + K_P J_L]$$

$$K_{AB} = K_V K_B / (-4K^3 J_L) - J_M$$

$$K_{VB} = -4K (J_M + K_{AB}) / K_V - 1$$

に基づいて、モデル制御系のパラメータが定められている。

【0025】

具体的な本発明のモータ制御装置では、第1及び第2の慣性系の機械モデルを用いる場合に、モデル負荷側加速度指令S15とモデルモータ側加速度指令S14との偏差であるモデル側加速度偏差指令S18をモデルトルク偏差指令S11を生成するモデルトルク指

10

20

30

40

50

令部を構成する第4の偏差演算部に状態フィードバックする。また、モデルモータ側速度指令S7とモデル負荷側速度指令S16との偏差からなるモデル側速度偏差指令S19を、モデル速度指令部を構成する第2の偏差演算部に状態フィードバックする。そして現代制御理論を適用してモデル制御系の特性方程式の根が4重根を持つように演算して得た関係式に基づいて、モデル制御系の各パラメータを定める。これにより、モデル制御系の位置制御器のゲイン K_p 一つのパラメータでモデル側のパラメータをすべて決めることができ、モデル制御系のパラメータの調整が簡単にできる。しかも、モデル速度制御器から出力されるトルク指令はモータが出力できるトルクに収まるようになる。さらにパラメータの設定において、上記関係式を用いると、モデル位置制御器のゲイン K_p により極が決まるため、フィードバック系の位置制御器のゲインを高く取れる場合は、従来と比較し、非常に高速で機械振動を生じない位置決めが実現できる。

10

【0026】

特に、 K_p をフィードバック制御系の位置制御器のゲインと同じ値とし、モータ側イナーシャ J_M 、負荷側イナーシャ J_L 、ねじり剛性を示すゲイン K_B を実際の機械系のそれぞれの値と同じにして、上記関係式に基づいて第1のゲイン K_{AB} 、第2のゲイン K_{VB} 、及びモデル速度制御器のゲイン K_V を定めると、最も効果的な制御効果を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明の実施の形態の一例の構成を示すブロック図である。

【図2】(A)乃至(C)は、図1の実施の形態で位置決めを行った場合の位置指令、モデル速度制御器からのモデルトルク指令及びモデル側位置偏差指令のシミュレーション結果である。

20

【図3】特許文献1に示された従来のモデル追従制御を利用したモータ制御装置の構成を示す図である。

【図4】近似的にモータ側の慣性と負荷側の慣性が低いねじり剛性により結合された機械系と見ることができることを説明するために用いる図である。

【図5】プレフィルタにより2慣性系の振動を抑制する従来の装置のブロック図である。

【図6】(A)乃至(C)は、特許文献2の装置において、位置決めを行った場合の位置指令、モデル速度制御器からのモデルトルク指令及びモデル側位置偏差指令のシミュレーション結果である。

30

【発明を実施するための形態】

【0028】

図面を参照して、本発明のモータ制御装置の実施の形態の一例を詳細に説明する。図1に示した本実施の形態では、モデル制御系1とフィードバック制御系2とを用いるモータ制御装置においては、第1及び第2の慣性系の機械モデルを用いて、モータ側モデル加速度指令S14と機械側モデル加速度指令S15の偏差、即ちモデル側加速度偏差指令S18及び、モデルモータ側速度信号S7とモデル負荷側速度指令S16の偏差、即ちモデル側速度偏差指令S19を、状態フィードバックする。そして現代制御理論を適用して、制御系が安定で振動を生じないようにモデル制御系のパラメータを決定する。

【0029】

40

具体的に、モータ制御装置は、モデル制御系1が、第1の偏差演算部3と、モデル位置制御器4と、モデル速度指令部を構成する第2の偏差演算部5と、第3の偏差演算部6と、モデル速度制御器7と、モデルトルク指令部を構成する第4の偏差演算部8と、第5の偏差演算部9と、モータ側モデル10、積分器11及び12からなる第1の慣性系の機械モデルと、負荷側モデル13、積分器14及び15からなる第2の慣性系の機械モデルと、第6の偏差演算部16と、モデル加速度指令発生部17と、第7の偏差演算部18と、モデル速度指令発生部19と、第8の偏差演算部20と、ねじりトルク指令発生部21とを備えている。フィードバック制御系2は、第9の偏差演算部22と、位置制御器23と、第10の偏差演算部24と、微分器25と、速度制御器26と、加算演算部27と、トルク制御器28とを備えている。図1において、符号Mはモータを示し、符号Lは負荷と

50

しての機械を示し、符号 P S はモータ M の回転子の回転位置を検出するエンコーダ等からなる回転位置センサを示している。

【 0 0 3 0 】

第 1 の偏差演算部 3 は、上位コントローラから出力される位置指令 S 1 と積分器 1 2 から出力されるモデルモータ側位置指令 S 2 との偏差を演算して、この偏差をモデル位置偏差指令 S 3 としてモデル位置制御器 4 に出力する。モデル位置制御器 4 は、モデル位置偏差指令 S 3 を入力としてモデル速度指令 S 4 を出力する。第 2 の偏差演算部 5 は、モデル速度指令 S 4 と第 2 の状態フィードバック系 F 2 からフィードバックされるフィードバック速度指令 S 5 との偏差を演算して、この偏差を第 1 のモデル速度偏差指令 S 6 として第 3 の偏差演算部 6 に出力する。本実施の形態では、第 2 の偏差演算部 5 が、モデル速度指令部を構成している。第 3 の偏差演算部 6 は、第 1 のモデル速度偏差指令 S 6 と積分器 1 1 から出力されるモデルモータ側速度指令 S 7 との偏差を演算して、この偏差をモデル速度制御器 7 に第 2 のモデル速度偏差指令 S 8 として出力する。モデル速度制御器 7 は、第 2 のモデル速度偏差指令 S 8 を入力としてモデルトルク指令 S 9 を出力する。

10

【 0 0 3 1 】

第 4 の偏差演算部 8 は、モデルトルク指令 S 9 とフィードバック加速度指令 S 1 0 との偏差を演算して、この偏差を第 1 のモデルトルク偏差指令 S 1 1 として出力する。本実施の形態では、第 4 の偏差演算部 8 がモデルトルク指令部を構成する。第 5 の偏差演算部 9 は、第 1 のモデルトルク偏差指令 S 1 1 と、ねじりトルク指令発生部 2 1 から出力されるねじりトルクを表すねじりトルク指令 S 1 2 との偏差を演算してこの偏差を第 2 のモデルトルク偏差指令 S 1 3 として出力する。第 2 のモデルトルク偏差指令 S 1 3 は、モータ側モデル 1 0 と加算演算部 2 7 に与えられる。

20

【 0 0 3 2 】

第 1 の慣性系の機械モデルは、モータ側モデル 1 0、積分器 1 1 及び 1 2 から構成されている。モータ側モデル 1 0 は、第 2 のモデルトルク偏差指令 S 1 3 を、モータ側イナーシャ J_M を考慮した $1 / J_M$ のゲインと乗算して、その結果をモデルモータ側加速度指令 S 1 4 として出力する。積分器 1 1 は、モデルモータ側加速度指令 S 1 4 を積分して、その結果をモデルモータ側速度指令 S 7 として積分器 1 2、第 3 の偏差演算部 6 及び第 1 0 の偏差演算部 2 4 に出力する。積分器 1 2 はモデルモータ側速度指令 S 7 を積分してモデルモータ側位置指令 S 2 を出力する。モデルモータ側速度指令 S 7 は、第 1 の偏差演算部 3 と第 9 の偏差演算部 2 2 とに与えられる。

30

【 0 0 3 3 】

第 2 の慣性系の機械モデルは、負荷側モデル 1 3、積分器 1 4 及び 1 5 から構成される。負荷側モデル 1 3 は、後述するねじりトルク指令 S 1 2 を入力として、負荷側イナーシャ J_L を考慮した $1 / J_L$ をねじりトルク指令 S 1 2 に乗算してモデル負荷側加速度指令 S 1 5 を生成する。積分器 1 4 はモデル負荷側加速度指令 S 1 5 を積分して、モデル負荷側速度指令 S 1 6 を出力し、積分器 1 5 はモデル負荷側速度指令 S 1 6 を積分してモデル負荷側位置指令 S 1 7 を生成する。

【 0 0 3 4 】

第 6 の偏差演算部 1 6 は、モデルモータ側加速度指令 S 1 4 とモデル負荷側加速度指令 S 1 5 との偏差を演算して、この偏差をモデル側加速度偏差指令 S 1 8 として出力する。モデル加速度指令発生部 1 7 は、モデル側加速度偏差指令 S 1 8 に第 1 のゲイン K_{AB} を乗算してフィードバック加速度指令 S 1 0 を生成する。本実施の形態では、第 6 の偏差演算部 1 6 とモデル加速度指令発生部 1 7 とにより、第 1 の状態フィードバック系 F 1 が構成されている。

40

【 0 0 3 5 】

第 7 の偏差演算部 1 8 は、モデルモータ側速度指令 S 7 とモデル負荷側速度指令 S 1 6 の偏差を演算して、この偏差をモデル側速度偏差指令 S 1 9 として出力する。モデル速度指令発生部 1 9 は、モデル側速度偏差指令 S 1 9 に第 2 のゲイン K_{VB} を乗算してフィードバック速度指令 S 5 を生成する。本実施の形態では、第 7 の偏差演算部 1 8 とモデル速度

50

指令発生部 19 とにより、第 2 の状態フィードバック系 F 2 が構成される。

【 0 0 3 6 】

第 8 の偏差演算部 20 は、モデル負荷側位置指令 S 17 とモデルモータ側位置指令 S 2 との偏差を演算して、この偏差をモデル側位置偏差指令 S 20 として出力する。ねじりトルク指令発生部 21 は、モデル側位置偏差指令 S 20 にねじり剛性を示す第 3 のゲイン K_B を乗算してねじりトルク指令 S 12 を生成する。

【 0 0 3 7 】

本実施の形態では、第 9 の偏差演算部 22 が、モデルモータ側位置指令 S 2 とエンコーダからなる位置センサ P S で検出したモータ位置との偏差を取り、この偏差 S 22 を位置制御器 23 に与える。位置制御器 23 は速度指令 S 22 を算出する。また第 10 の偏差演算部 24 は、モデルモータ側速度指令 S 7 と位置制御器 23 からの速度指令 S 22 を加算し、この加算した指令に位置検出器 P S で検出したモータ位置を微分器 25 で微分した速度 S 23 との偏差を取り、この偏差 S 24 を速度制御器 26 に与える。速度制御器 26 は、トルク指令 S 25 を算出する。加算演算部 27 は、速度制御器 26 からのトルク指令 S 25 とモータ側モデルトルク指令となる第 2 のモデルトルク偏差指令 S 13 を加算し、加算結果はトルク制御器 28 に与えられ、トルク制御器 28 からの出力 S 27 に基づいてモータ M が駆動される。

【 0 0 3 8 】

本実施の形態においては、モデル位置制御器のゲインを K_P 、モデル速度制御器のゲインを K_V 、モータ側イナーシャを J_M 、負荷側イナーシャを J_L としたときに、モデル制御系の状態方程式は次のようになる。

【 数 1 】

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \ddot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{K_P K_V + K_B(1 - K_{AB}/J_L)}{J_M + K_{AB}} & -\frac{K_V + K_{VB} K_V}{J_M + K_{AB}} & \frac{K_B(1 - K_{AB}/J_L)}{J_M + K_{AB}} & \frac{K_{VB} K_V}{J_M + K_{AB}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K_B}{J_L} & 0 & -\frac{K_B}{J_L} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \dot{x}_1 \\ x_2 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_P K_V}{J_M + K_{AB}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} P^* \quad y = [0 \quad 0 \quad 1 \quad 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ \dot{x}_1 \\ x_2 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix}$$

【 0 0 3 9 】

そしてモデル制御系の状態方程式から得られる特性方程式の極を K としたときに、特性方程式が 4 重根を持つように演算して得た関係式、

$$K = -4 K_P$$

$$K_V = -K_B (J_M + J_L) / [1.5 K_B / K + K_P J_L]$$

$$K_{AB} = K_V K_B / (-4 K^3 J_L) - J_M$$

$$K_{VB} = -4 K (J_M + K_{AB}) / K_V - 1$$

に基づいて、モデル制御系 1 のパラメータが定められている。

【 0 0 4 0 】

このようにパラメータを定めると、モデル制御系 1 のモデル位置制御器 4 のゲイン K_P 一つのパラメータでモデル制御系 1 側のパラメータをすべて決めることができ、モデル制御系のパラメータの調整が簡単にできる。しかも、モデル速度制御器 7 から出力されるモ

デルトルク指令はモータMが出力できるトルクに収まるようになる。さらにパラメータの設定において、上記関係式を用いると、モデル位置制御器4のゲイン K_p により極が決まるため、フィードバック系の位置制御器23のゲインを高く取れる場合は、従来と比較し、非常に高速で機械振動を生じない位置決めが実現できる。

【0041】

特に、モデル位置制御器4のゲイン K_p をフィードバック制御系2の位置制御器23のゲインと同じ値とし、モータ側イナーシャ J_M 、負荷側イナーシャ J_L 、ねじり剛性を示すゲイン K_B を実際の機械系Lのそれぞれの値と同じにして、上記関係式に基づいて第1のゲイン K_{AB} 、第2のゲイン K_{VB} 、及びモデル速度制御器のゲイン K_V を定めると、最も効果的な制御効果を得ることができる。

10

【0042】

具体的なパラメータの設定は、次のように行う。位置制御器23のゲイン、速度制御器24のゲインは、機械系の高調波共振を励振しない範囲で、できるだけ高い値に調整する。モデル制御系1のモデル位置制御器4のゲイン K_p は、フィードバック系と同じ値にする。モデル制御系のイナーシャ J_M 、負荷側イナーシャ J_L 、ねじり剛性を示すゲイン K_B のパラメータは、実際の機械系の値に合わせる。そして、これらのパラメータを元に、第1及び第2の状態フィードバックF1及びF2の第1のゲイン K_{AB} 及び第2のゲイン K_{VB} を算出する。このように、フィードバック系のパラメータは、実際の機械系に合わせて調整し、それに合わせてモデル制御系のパラメータを決定する。モデル制御系1側のパラメータはモデル位置制御器4のゲイン K_p を一つ調整するのみでモデル内のパラメータはすべて決まり、モデル制御系のパラメータ即ちゲイン K_p 、 K_V 、 K_{AB} 、 K_{VB} を個別に調整する必要はない。

20

【0043】

図2(A)乃至(C)は、このようにして算出したパラメータを用いて位置決めを行った場合の位置指令(微分値)、モデル速度制御器7からのモデルトルク指令S9及びモデル側位置偏差指令S20のシミュレーション結果である。図2(B)に示されるモデル速度制御器7からのモデルトルク指令S9と図6(B)の特許文献2の従来の装置のモデルトルク指令を対比すると判るように、負荷側の振動は抑制されており、高速な位置決めが実現できている。

【0044】

また本実施の形態では、モデルモータ側加速度指令S14とモデル負荷側加速度指令S15の差の加速度即ちモデル側加速度偏差指令S18をゲイン K_{AB} 倍したフィードバック加速度指令S10をモデルトルク指令算出部となる第4の偏差演算部8に状態フィードバックする。またモデルモータ側速度指令S7とモデル負荷側速度指令S16の差の速度即ちモデル側速度偏差指令S19をゲイン K_{VB} 倍したフィードバック速度指令S5をモデル速度指令算出部となる第2の偏差演算部5に状態フィードバックする。その結果、モデル速度制御器7から出力されるトルク指令は、モータが出力できるトルクの範囲内に入った。

30

【産業上の利用可能性】

【0045】

本発明では、第1及び第2の慣性系の機械モデルを用いる場合に、モデル負荷側加速度指令S15とモデルモータ側加速度指令S14との偏差であるモデル側加速度偏差指令S18をモデルトルク偏差指令S11を生成するモデルトルク指令部を構成する第4の偏差演算部に状態フィードバックする。また、モデルモータ側速度指令S7とモデル負荷側速度指令S16との偏差からなるモデル側速度偏差指令S19を、モデル速度指令部を構成する第2の偏差演算部に状態フィードバックする。そして現代制御理論を適用してモデル制御系の特性方程式の根が4重根を持つように演算して得た関係式に基づいて、モデル制御系の各パラメータを定める。これにより、モデル制御系の位置制御器のゲイン K_p 一つのパラメータでモデル側のパラメータをすべて決めることができ、モデル制御系のパラメータの調整が簡単にできる利点を得られる。しかも、モデル速度制御器から出力されるト

40

50

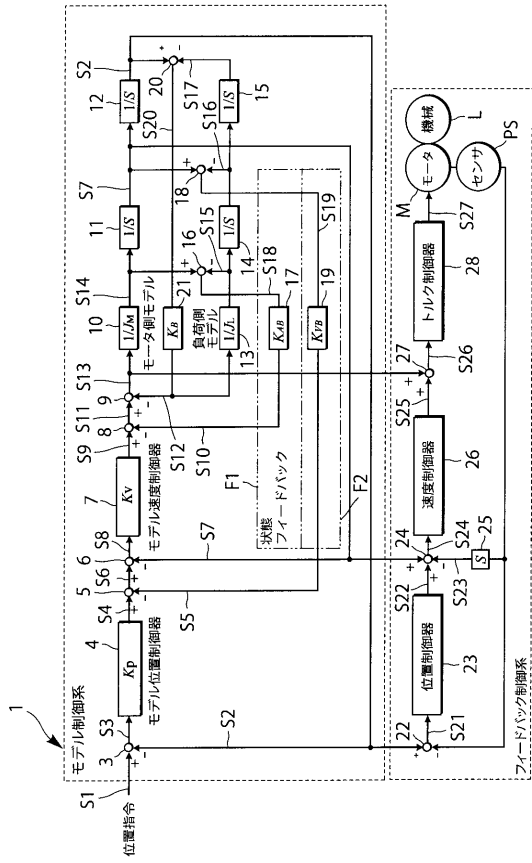
トルク指令はモータが出力できるトルクに収まるようになる。さらにパラメータの設定において、モデル位置制御器のゲイン K_p により極が決まるため、フィードバック系の位置制御器のゲインを高く取れる場合は、非常に高速で機械振動を生じない位置決めが実現できる利点が得られる。

【符号の説明】

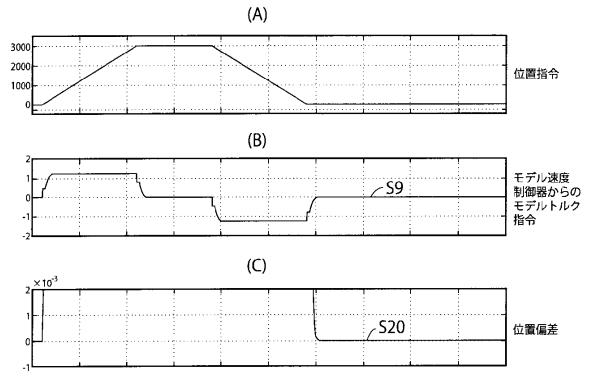
【 0 0 4 6 】

1	モデル制御系	
2	フィードバック制御系	
3	第1の偏差演算部	
4	モデル位置制御器	10
5	第2の偏差演算部	
6	第3の偏差演算部	
7	モデル速度制御器	
8	第4の偏差演算部	
9	第5の偏差演算部	
10	モータ側モデル	
11, 12	積分器	
13	負荷側モデル	
14, 15	積分器	
16	第6の偏差演算部	20
17	モデル加速度指令発生部	
18	第7の偏差演算部	
19	モデル速度指令発生部	
20	第8の偏差演算部	
21	ねじりトルク指令発生部	
22	第9の偏差演算部	
23	位置制御器	
24	第10の偏差演算部	
25	微分器	
26	速度制御器	30
27	加算演算部	
28	トルク制御器	
M	モータ	
PS	位置センサ	

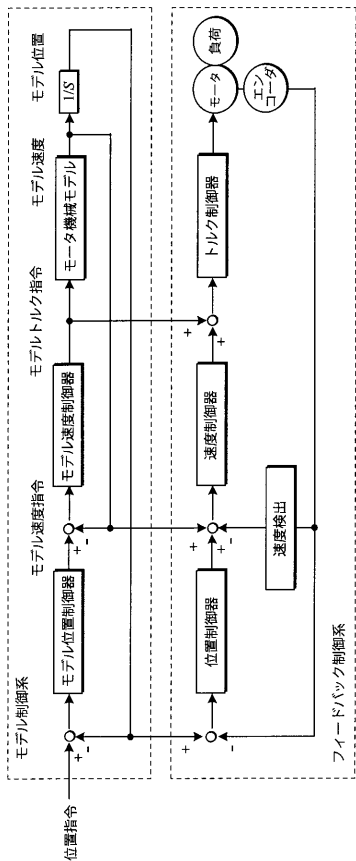
【図1】



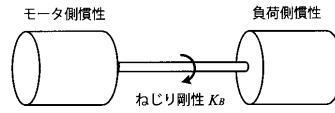
【図2】



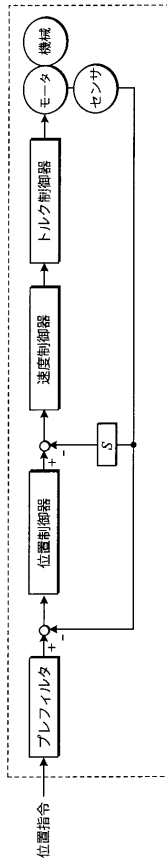
【図3】



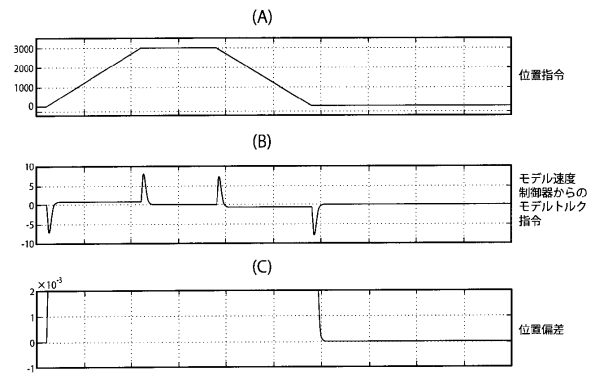
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-070790(JP,A)
特開平11-031015(JP,A)
特開平11-341852(JP,A)
特開2002-291271(JP,A)
特開平08-168280(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02P 4/00 - 29/00
G05B 1/00 - 21/02