

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5129966号  
(P5129966)

(45) 発行日 平成25年1月30日(2013.1.30)

(24) 登録日 平成24年11月9日(2012.11.9)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>H02P 29/00</b>	<b>(2006.01)</b>	H02P	5/00		K
<b>G05B 13/02</b>	<b>(2006.01)</b>	G05B	13/02		C
<b>D05B 69/18</b>	<b>(2006.01)</b>	D05B	69/18		Z
<b>D05B 39/00</b>	<b>(2006.01)</b>	H02P	5/00		X
		D05B	39/00		

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2007-14562(P2007-14562)  
 (22) 出願日 平成19年1月25日(2007.1.25)  
 (65) 公開番号 特開2008-182829(P2008-182829A)  
 (43) 公開日 平成20年8月7日(2008.8.7)  
 審査請求日 平成22年1月20日(2010.1.20)

(73) 特許権者 000003399  
 J U K I 株式会社  
 東京都多摩市鶴牧二丁目11番地1  
 (74) 代理人 100080458  
 弁理士 高矢 諭  
 (74) 代理人 100076129  
 弁理士 松山 圭佑  
 (74) 代理人 100089015  
 弁理士 牧野 剛博  
 (72) 発明者 中村 明彦  
 東京都調布市国領町8丁目2番地の1 J  
 U K I 株式会社内

審査官 武市 匡紘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X Y方向自動送り縫いミシンのX Y軸モータ制御方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

1 次の共振モードに対しては共振比制御を適用し、それより高次の振動モードに対しては位相進み補償を適用するに際して、

前記位相進み補償を、共振比制御内の外乱オブザーバで用いるモータ慣性のノミナル値と実際のモータ慣性の値の比率を変化させることを行なうことを特徴とするX Y方向自動送り縫いミシンのX Y軸モータ制御方法。

【請求項2】

前記位相進み補償の極と零点を、共振比制御の極よりも内側に配置することを特徴とする請求項1に記載のX Y方向自動送り縫いミシンのX Y軸モータ制御方法。

【請求項3】

軸ねじれ反力が無視できる剛性の高い負荷に対して、外乱オブザーバのみを用いて位相進み補償を行うに際して、

前記位相進み補償を、前記外乱オブザーバで用いるモータ慣性のノミナル値と実際のモータ慣性の値の比率を変化させることを行なうことを特徴とするX Y方向自動送り縫いミシンのX Y軸モータ制御方法。

【請求項4】

1 次の共振モードに対して適用される共振比制御手段と、

2 次以上の高次の振動モードに対して適用される位相進み補償手段と、を備え、

前記共振比制御手段が、外乱オブザーバと軸ねじれ反力推定オブザーバとから構成され

ることを特徴とするXY方向自動送り縫いミシンのXY軸モータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、XY方向自動送り縫いミシンのXY軸モータ制御方法及び装置に係り、特に、XY方向自動送り縫いミシンに用いられるXYモータ制御装置の振動抑制制御に関する。

【背景技術】

【0002】

図1に例示するような、模様縫いミシンやパターン縫いミシン等のXY方向自動送り縫いミシンにおいては、主軸モータの回転駆動に伴い上下動する針棒Nと同期させて、被縫製物を保持する布保持体HをX方向及びY方向に移動することにより、縫製を行う。

10

【0003】

XY位置決め装置の一例としては、図2に示す通り、Y方向への移動に左右一对の平行に配置されたY軸駆動部（以下YL軸、YR軸）を持ち、その上に設置されたX軸駆動部（X軸）でX方向への移動を行う構成をとる。

【0004】

X軸、Y軸の駆動には、図に例示した回転型モータM+タイミングベルトBの他、ボールねじ、ピニオンギアやリニアモータ等が使用される。

【0005】

20

一般的に、布保持体HやXY軸部X、YL、YR等のメカ機構部は、軽量化を図って、剛性が低く振動的になりがちである。

【0006】

モータMと、制御対象である布保持体Hとは、タイミングベルトBを介して接続されるため、モータと負荷が低剛性の弾性体で結合されている共振系と見なすことができる。共振系では、軸ねじれ等が原因となる振動が発生し問題となることが多い。振動が発生する場合、制御ゲインを抑えざるを得ず、速度制御系の応答を向上させることが出来なくなり、縫いピッチのばらつきや駆動速度の低下などの悪影響が生じる。

【0007】

実際の共振系は、多数の振動モードや固有周波数が存在するため、図3に例示する如く、多慣性共振系としてモデル化される。図3において、 $J_m$ はモータMの慣性、 $K_{f1}$ 、 $K_{f2} \dots$ はばね定数、 $J_{a1}$ 、 $J_{a2} \dots J_{an}$ は負荷Aの慣性である。

30

【0008】

この多慣性共振系は、図4に示すようなブロック図で表わされる。図4において、 $m$ はモータMの回転角度（モータ位置）、 $a$ は負荷Aの回転角度（負荷位置）、 $T$ はトルク、 $s$ はラプラス演算子、添字 $m$ はモータ、添字 $a$ は負荷、添字 $dis$ は外乱、添字 $rac$ は軸ねじれ反力を表わす。

【0009】

このような共振系の振動抑制と外乱抑圧制御に対して、状態フィードバック制御やH制御、遅い外乱オブザーバ制御、共振比制御（非特許文献1参照）等の手法が提案されている。

40

【0010】

【特許文献1】特許第3381880号公報

【非特許文献1】結城他「共振比制御による2慣性共振系の振動抑制制御」電学論D、113巻（平成5年）10号、1162頁-1169頁

【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、状態フィードバック制御やH制御は、制御対象の厳密なモデル化が必要、制御系が複雑、計算量が膨大であることなどから、高速、高性能のCPUが必要とな

50

り、コストアップにつながるため、マシンへの適用には問題がある。

【0012】

これに対して、遅い外乱オブザーバ制御と共振比制御は、比較的簡単な制御系から構成される為安価な実現が可能であり、調整もゲインの調整のみで済むなど現場での対応も容易であり、マシン製品などへの適用について非常に実用性が高い。

【0013】

しかしながら、非特許文献1に記載された非共振制御では、システムを2慣性共振系としてモデル化しているため、1次の共振に対しては抜群の効果があるものの、現実の多慣性系では高次の共振を招いてしまうことがある等、高次の振動に対しての効果は低いという問題点を有していた。

10

【0014】

一方、特許文献1には、サーボ系に別体の位相進みフィルタを設けることが記載されているが、構成が複雑であり、細かい計算が必要で計算時間が長くなり、安価な制御装置で実現できなくなる。設計も複雑で、応答が安定なパラメータをみつけにくいという問題点を有していた。

【0015】

本発明は、前記従来の問題点を解決するべくなされたもので、簡単な構成で、1次の共振モードだけでなく、それより高次の振動モードも含む、全ての共振極の安定化を図ることを課題とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0016】

本発明は、XY方向自動送り縫いマシンのXY軸モータ制御に際して、1次の共振モードに対しては共振比制御を適用し、それより高次の振動モードに対しては位相進み補償を適用するに際して、前記位相進み補償を、共振比制御内の外乱オブザーバで用いるモータ慣性のノミナル値と実際のモータ慣性の値の比率を変化させることを行なって、全ての共振極の安定化を図るようにして、前記課題を解決したものである。

【0017】

即ち、XY位置決め装置のモータ駆動系においては、モータと負荷を低剛性の弾性軸で結合した2慣性共振系と見なすことができる為、共振比制御を用いて2慣性共振負荷の振動抑制と外乱抑圧制御を行う。更に、それより高次の振動極に対しては位相進み補償を用いて安定化を図ることにより、すべての共振極の安定化を図る。

30

【0018】

又、前記位相進み補償を、共振比制御内の外乱オブザーバで用いるモータ慣性のノミナル値と実際のモータ慣性の値の比率を変化させることを行なうようにして、別体の位相進み補償手段を不要としたものである。

【0019】

又、前記位相進み補償の極と零点を、共振比制御の極よりも内側に配置するようにして、位相進み補償と共振比制御を両立させるようにしたものである。

【0020】

本発明は、又、軸ねじれ反力が無視できる剛性の高い負荷に対して、外乱オブザーバのみを用いて位相進み補償を行うに際して、前記位相進み補償を、前記外乱オブザーバで用いるモータ慣性のノミナル値と実際のモータ慣性の値の比率を変化させることを行なって、全ての共振極の安定化を図るようにしたものである。

40

【0021】

本発明は、又、1次の共振モードに対して適用される共振比制御手段と、2次以上の高次の振動モードに対して適用される位相進み補償手段と、を備え、前記共振比制御手段が、外乱オブザーバと軸ねじれ反力推定オブザーバとから構成されることを特徴とするXY方向自動送り縫いマシンのXY軸モータ制御装置を提供するものである。

【発明の効果】

【0023】

50

本発明においては、共振比制御に加えて、位相進み補償を行なうので、1次の共振モードに対しては2慣性共振系の振動抑制に有効な共振比制御を適用し、それより高次の振動モードに対しては位相進み補償を用いて共振極の安定化を図ることにより、全ての共振極の安定化を図ることができる。

【0024】

即ち、布をX-Yで移動させるマシンでは、通常は布のバタツキを押える為に、縫う部分だけ削除した、樹脂製や金属製の布押え型を使用している。この押えは、できるだけ針落ち点に近い布部分を押えることで、安定した縫いが可能となるが、従来は縫製物による針落ち点のズレを考慮し型を作成していた。従って、本発明により、X-Yの動作が、縫製物や縫い速度の変化にも安定した状態であれば、針落ち点の際を押えることが可能となり、より安定した縫いが可能となる。

10

【0025】

ここで、位相進み補償制御は、例えば共振比制御内の外乱オブザーバで用いるモータ慣性のノミナル値 $J_{mn}$ を、実際のモータ慣性の値 $J_m$ より大( $J_{mn} > J_m$ )に設定することで、別体の位相進み補償手段を付加することなく、位相進み補償制御を実現することができる。

【0026】

又、外乱オブザーバに基づいた制御とした場合には、振動抑制効果を持ちながらロバスト性の確保も可能となる。即ち、摩擦、外乱等に対する影響を抑えた制御が可能となり、主軸とXY軸の同期性、左右軸の同期性も向上する為、縫いの品質の向上を図ることができる。

20

【0027】

更に、状態フィードバック制御やH制御に比べて制御系が簡単で、演算量も少ないため、高価なCPU等を使用する必要がない。又、設計や調整も容易である。

【0028】

又、軸ねじれ反力が無視できる剛性の高い負荷に対しては、外乱オブザーバのみを用いて位相進み補償を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

以下図面を参照して、本発明の実施形態を詳細に説明する。

30

【0030】

本発明の第1実施形態に係る制御装置の全体のブロック図を図5に示す。図では、1軸分のみを示しているが、全軸について共通である。又、負荷を2慣性共振系として示しているが、多慣性共振系の場合も同様である。

【0031】

本制御装置では、図6に示すような外乱オブザーバ10と、図8に示すような軸ねじれ反力推定オブザーバ20を用いて共振比制御を行ない、多慣性共振系の振動抑制制御を行なう。

【0032】

モータ側に外乱オブザーバ10を適用することにより、モータに作用する各種外乱の影響を相殺、除去することができ、図7に示すロバストな加速度制御系を構築することができる。ロバスト性を確保することで、摩擦、外乱等に対する影響を抑えた制御が可能となり、YL軸とYR軸の同期性の向上も図ることができる。

40

【0033】

モータに作用する外乱トルク $T_{dis m}$ は次式のように表わすことができる。

【0034】

$$T_{dis m} = (J_m - J_{mn}) (d^2 m / dt^2) + (K_{tn} - K_t) I_a^{ref} + T_{fric} + D_m (d m / dt) + T_{reac} \dots (1)$$

【0035】

ここで、 $I_a^{ref}$ は電流参照値を表わし、式の右辺の第1項は慣性変動トルク、第2項は

50

トルクリップル、第3項はクーロン摩擦トルク、第4項は粘性摩擦トルク、第5項は軸ねじれ反力を表わす。

【0036】

負荷に作用する外乱トルク  $T_{dis}$  は、軸ねじれ反力  $T_{rea}$  に含まれることによりモータへ作用する。電流参照値  $I_a^{ref}$  とモータ速度が検出可能であるとき、(1)式で定義される外乱トルク  $T_{dis}$  は、図6に示される外乱オブザーバ10により、1次のローパスフィルタを通して、次式のように推定される。図6において、 $I_{cmp}$  は外乱トルクを補償してロバスト性を確保するための補償電流である。

【0037】

【数1】

$$T_{dis}^* = \frac{\frac{J_{mn}}{J_m} G_{dis}}{s + \frac{K_t}{K_{tn}} \frac{J_{mn}}{J_m} G_{dis}} T_{dis} \quad \dots (2)$$

10

【0038】

この推定外乱トルク  $T_{dis}^*$  をフィードバックすることにより、外乱に対してロバストな制御系を構築することが可能となる。

【0039】

この外乱オブザーバ10に基づくロバスト制御系は、図7に示すような加速度制御系となる。外乱オブザーバゲイン  $G_{dis}$  を大きく設定することにより外乱トルク  $T_{dis}$  の影響が除去されることが分かる。これにより、モータは軸ねじれ反力  $T_{rea}$  を除去し、負荷側の影響を受けないロバストな制御系となる。

20

【0040】

外乱オブザーバ10をモータ側に適用することにより、唯一の負荷側の情報である軸ねじれ反力  $T_{rea}$  を相殺、除去してしまうため、負荷側の振動を誘発することとなる。

【0041】

そこで、外乱オブザーバ10とほぼ同構造を持つ軸ねじれ反力推定オブザーバ20を用いて軸ねじれ反力  $T_{rea}$  の推定を行なう。

30

【0042】

(1)式の外乱トルク  $T_{dis}$  において、モータ慣性のノミナル値  $J_{mn}$  を、加速度試験により同定した値とすることで、モータ慣性の変動トルクの影響を除去することが可能である。又、クーロン摩擦トルク  $T_{fric}$ 、粘性摩擦トルク  $D_m (d^2 m / dt^2)$  を等速度試験により同定し、差し引くことにより、軸ねじれ反力  $T_{rea}$  は、次式のように推定される。

【0043】

$$T_{rea}^* = T_{dis}^* - T_{fric} - D_m (d^2 m / dt^2) \quad \dots (3)$$

【0044】

軸ねじれ反力推定オブザーバ20のブロック線図を図8に示す。 $G_{rea}$  は、軸ねじれ反力推定オブザーバ20に含まれる1次のローパスフィルタのカットオフ周波数である。

40

【0045】

モータ側に外乱オブザーバ10を適用することにより加速度制御系を構成した制御対象に、軸ねじれ反力  $T_{rea}$  をフィードバックした系を図9に示す。 $K_r$  は軸ねじれ反力  $T_{rea}$  のフィードバックゲインであり、任意に設定することができる。

【0046】

この系における加速度参照値  $(d^2 m / dt^2)^{ref}$  からモータ位置  $m$  までの伝達関数とモータ位置  $m$  から負荷位置  $a$  までの伝達関数はそれぞれ以下のようになる。

50

【 0 0 4 7 】

【 数 2 】

$$\theta_m = \frac{J_a \cdot s^2 + K_f}{J_a \cdot s^2 + K_f(1 + K_r J_a)} \frac{1}{s^2} \left( \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} \right)^{\text{ref}} \quad \dots (4)$$

$$\theta_a = \frac{K_f}{J_a \cdot s^2 + K_f} \theta_m \quad \dots (5)$$

【 0 0 4 8 】

10

又、モータ共振周波数  $\omega_m$ 、及び、負荷共振周波数  $\omega_a$  を、以下のように定義する。

【 0 0 4 9 】

【 数 3 】

$$\omega_m = \sqrt{\frac{K_f}{J_a}(1 + K_r J_a)} \quad \dots (6)$$

$$\omega_a = \sqrt{\frac{K_f}{J_a}} \quad \dots (7)$$

20

【 0 0 5 0 】

ここで、共振比  $K$  を、次式に定義する。

【 0 0 5 1 】

$$K = \omega_m / \omega_a \quad \dots (8)$$

$$= \sqrt{1 + K_r J_a} \quad \dots (9)$$

【 0 0 5 2 】

負荷共振周波数  $\omega_a$  は、モータ側には零点として作用する逆共振周波数となる。 $\omega_a$  は、任意パラメータを含まず制御対象により決定される。又、モータ側の状態フィードバックに対して不可制御である。

30

【 0 0 5 3 】

一方、 $\omega_m$  はモータ側の共振周波数であり、軸ねじれ反力フィードバックゲイン  $K_r$  により任意に設定できる。

【 0 0 5 4 】

(6)、(7)式を用いることによって、図9は図10のブロック線図へ等価変換される。同図より、モータ側フィードフォワードによる零点操作がなく、モータ側で極零相殺がない限り、負荷側共振極  $\omega_a$  はモータ側逆共振零点と相殺するのが分かる。

【 0 0 5 5 】

共振比制御は軸ねじれ反力  $T_{r e a c}$  をフィードバックするものであり、軸ねじれ反力フィードバックゲイン  $K_r$  により共振比  $K$  を任意に設定することができる。

40

【 0 0 5 6 】

共振比  $K$  を制御することは、仮想的モータ慣性を制御することに相当し、共振比  $K$  が大きいとき、即ちフィードバックゲイン  $K_r$  が大きい場合には、負荷慣性に対しモータ慣性が小さくなり、負荷側の影響を受け易くなる。又、逆も同様である。

【 0 0 5 7 】

共振比  $K$  を

$$K = 5 \quad \dots (10)$$

に設定することにより、如何なる2慣性共振系に対しても、振動抑制、即応性とも優れるゲイン設定が可能となる。

50

【 0 0 5 8 】

各ゲインは以下のとおりである。

【 0 0 5 9 】

$$K_r = 4 / J_a \quad \dots (11)$$

$$K_p = a^2 \quad \dots (12)$$

$$K_v = 4 a \quad \dots (13)$$

【 0 0 6 0 】

ここで、モータMに印加される外乱が、パラメータ変動による外乱トルク  $T_{dism}$  のみで構成されていたとすると、次式のように表わされる。

【 0 0 6 1 】

$$T_{dism} = (J_m - J_{mn}) (d^2 \theta_m / dt^2) + (K_{tn} - K_t) I_a^{ref} \dots (14)$$

【 0 0 6 2 】

モータの加速度参照値  $(d^2 \theta_m / dt^2)^{ref}$  から加速度応答値  $d^2 \theta_m / dt^2$  までの伝達関数を、パラメータ変動を考慮に入れて求めると、次式のようになる。

【 0 0 6 3 】

【数4】

$$\frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = \frac{K_{tn} s + G_{dis}^*}{\frac{J_m}{J_{mn}} s + G_{dis}^*} \left( \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} \right)^{ref} \dots (15)$$

【 0 0 6 4 】

ここで、トルク定数の変動は十分小さいとして、外乱オブザーバ10で用いるノミナル値  $J_{mn}$ 、 $K_{tn}$  を、以下のように設定する。

【 0 0 6 5 】

$$J_{mn} = J_m \quad \dots (16)$$

$$K_{tn} = K_t \quad \dots (17)$$

【 0 0 6 6 】

従来は、 $J_m = J_{mn}$ 、即ち、 $\alpha = 1$  となるように制御されている。

【 0 0 6 7 】

(16)、(17)式を(15)式に代入すると、以下の式が得られる。

【 0 0 6 8 】

【数5】

$$\frac{d^2 \theta_m}{dt^2} = \frac{s + G_{dis}}{\frac{1}{\alpha} s + G_{dis}} \left( \frac{d^2 \theta_m}{dt^2} \right)^{ref} \dots (18)$$

【 0 0 6 9 】

この(18)式をブロック線図で表わすと図11のようになる。

【 0 0 7 0 】

図11より、加速度参照値  $(d^2 \theta_m / dt^2)^{ref}$  に対しては、 $(s + G_{dis}) / \{ (1 / \alpha) s + G_{dis} \}$  の位相補償30を加え、外乱  $T_{dism}$  に対しては、ハイパスフィルタのカットオフ周波数を  $\alpha$  倍することと等価であると言える。

【 0 0 7 1 】

ここで、

< 1 の場合      位相遅れ補償、外乱オブザーバゲイン低下

> 1 の場合      位相進み補償、外乱オブザーバゲイン増加

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 2 】

即ち、外乱オブザーバ10で用いるモータ慣性のノミナル値 $J_m n$ と実際のモータ慣性の値 $J_m$ の比を変えることにより、加速度参照値の位相補償と外乱オブザーバのカットオフ周波数を変化させる効果がある。

## 【 0 0 7 3 】

続いて、多慣性共振系において、外乱オブザーバ10で用いるモータ慣性のノミナル値 $J_m n$ を変化させた場合の振動抑制効果を根軌跡を用いて示す。

## 【 0 0 7 4 】

図12に、多慣性共振系の極(×印)と零点(○印)を複素平面上に図示する。 $Re$ は実軸、 $Im$ は虚軸である。多慣性共振系の極と零点は虚軸 $Im$ 上に交互に並ぶことが分かる。

10

## 【 0 0 7 5 】

以下の説明では、簡単のため2慣性共振系を負荷として位相補償を行なった場合について、解析を行なう。2慣性共振系に位相補償を行なった際のブロック線図を図13に示す。ここで、 $cmd$ は位置指令値(任意に設定できる)、 $C_p$ は比例制御のゲインである。

## 【 0 0 7 6 】

図13の伝達関数は以下ようになる。

## 【 0 0 7 7 】

## 【数6】

20

$$\frac{\theta_m}{\theta_{cmd}} = \frac{n(s)}{d(s)} \quad \dots (19)$$

$$n(s) = C_p(s^3 + \alpha G_{dis} \cdot s^2 + \omega_a^2 s + \alpha G_{dis} \cdot \omega_a^2) \quad \dots (20)$$

$$d(s) = \frac{1}{\alpha} s^5 + \alpha G_{dis} \cdot s^4 + \left(\frac{1}{\alpha} \omega_m^2 + C_p\right) s^3 + (\alpha G_{dis} \cdot \omega_m^2 + C_p \alpha G_{dis}) s^2 + C_p \cdot \omega_a^2 s + C_p \alpha G_{dis} \cdot \omega_a^2 \quad \dots (21)$$

30

$$\frac{\theta_a}{\theta_m} = \frac{\omega_a^2}{s^2 + \omega_a^2} \quad \dots (22)$$

## 【 0 0 7 8 】

位相補償器30の値により、特性が変わる。即ち、位相補償器30は、 $0 < < 1$ の場合、位相遅れ補償となる。このときの極と零点を $P_{lag}$ 、 $Z_{lag}$ とすると、以下のように表わされる。

40

## 【 0 0 7 9 】

$$P_{lag} = [0, 0, j \omega_m, -j \omega_m, -G_{dis}] \quad \dots (23)$$

$$Z_{lag} = [j \omega_a, -j \omega_a, G_{dis}] \quad \dots (24)$$

## 【 0 0 8 0 】

これを図示すると図14のようになる。 $\times$ が極、 $\circ$ が零点である。

## 【 0 0 8 1 】

ここで、位相遅れ補償器30の極 $-G_{dis}$ と振動極 $s = j \omega_m$ のなす角を $p$ 、反共振の零点 $s = j \omega_a$ のなす角を $z$ とする。又、位相遅れ補償器30の零点 $-G_{dis}$ と振動極 $s = j \omega_m$ のなす角を $z$ 、反共振の零点 $s = j \omega_a$ のなす角を $z$ とする。

## 【 0 0 8 2 】

50

このとき、それぞれの極の出発角  $i^d$  ( $i = 1 \sim 5$ ) と零点の到着角  $i^a$  ( $i = 1 \sim 3$ ) は、以下のように計算される。

【0083】

$$\begin{aligned} 1^d &= - \\ 2^d &= - \\ 3^d &= z - p + (\quad / 2) \\ 4^d &= - \{ z - p + (\quad / 2) \} \\ 1^a &= - z + p - (\quad / 2) \\ 2^a &= - \{ - z + p - (\quad / 2) \} \end{aligned}$$

【0084】

図15に、3慣性共振系に位相遅れ補償を行なった際の根軌跡を示す。比例制御ゲイン  $C_p$  を変化させると、系が必ず不安定な方向に動くことが確認できる。

【0085】

一方、位相補償器30は、 $> 1$ の場合、位相進み補償となる。このときの極と零点を  $P_{lead}$ 、 $Z_{lead}$  とすると、以下のように表わされる。

【0086】

$$P_{lead} = [0, 0, j m, -j m, -Gdis] \quad \dots (25)$$

$$Z_{lead} = [j a, -j a, Gdis] \quad \dots (26)$$

【0087】

これを図示すると図16のようになる。

【0088】

ここで、位相進み補償器30の極  $-Gdis$  と振動極  $s = j m$  のなす角を  $p$ 、反共振の零点  $s = i a$  のなす角を  $z$  とする。又、位相進み補償器30の零点  $-Gdis$  と共振極  $s = i m$  のなす角を  $z$ 、反共振の零点  $s = i a$  のなす角を  $z$  とする。

【0089】

このとき、それぞれの極の出発角  $i^d$  ( $i = 1 \sim 5$ ) と零点の到着角  $i^a$  ( $i = 1 \sim 3$ ) は、以下のように計算される。

【0090】

$$\begin{aligned} 1^d &= - \\ 2^d &= - \\ 3^d &= z - p + (\quad / 2) \\ 4^d &= - \{ z - p + (\quad / 2) \} \\ 1^a &= - z + p - (\quad / 2) \\ 2^a &= - \{ - z + p - (\quad / 2) \} \end{aligned}$$

【0091】

図17に、3慣性共振系に、本発明による位相進み補償を行なった際の根軌跡を示す。比例制御ゲイン  $C_p$  を変化させると、系が必ず安定な方向に動くことが確認できる。

【0092】

これらは、高次の共振系についても、同様の結果が得られる。即ち、位相進み補償を行なうことで、多慣性共振系の振動抑制制御が可能となることが分かる。

【0093】

本実施形態では、これらの位相進み補償を、共振比制御内の外乱オブザーバ10で用いるモータ慣性のノミナル値  $J_{mn}$  と実際のモータ慣性の値  $J_m$  の比率  $\frac{J_m}{J_{mn}}$  を変化させることで、特に新たに位相進み補償器30を追加することなく実現している。

【0094】

この位相進み補償と共振比制御を両立させるために、位相進み補償の極と零点を、共振比制御の極よりも内側に配置する必要がある。即ち、制御系全体の極配置を図18のように設定することで、1次の振動モードについては、共振比制御により積極的に抑制を行ない、それより高次の振動モードについては、元々の影響が小さいために、位相進み補償により安定性を確保することが可能となる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 5 】

なお、第1実施形態では、モータと負荷とが柔軟な駆動軸により結合され、軸ねじれが問題となるような剛性の低い制御系を対象としていたが、負荷と軸の剛性が高く軸ねじれ補償が必要ないような場合には、図19に示す第2実施形態のように、軸ねじれ反力推定オブザーバを省略して、外乱オブザーバ10のみで位相進み補償制御を構成することが可能である。

## 【 0 0 9 6 】

この第2実施形態においても、位相進み補償の効果により、第1実施形態と同様に全ての共振極に対して安定化を図ることができる。

## 【 0 0 9 7 】

なお、前記実施形態においては、速度演算部にP（比例）制御を用いているが、速度演算の制御の種類はこれに限定されず、PI（比例積分）制御、PD（比例微分）制御、PID（比例積分微分）制御等を用いてもよい。また、軸ねじれ反力推定オブザーバを用いる代わりに、リニアエンコーダ等を使用して、負荷側の位置を測定する方法でも可能である。

## 【 0 0 9 8 】

又、前記説明は、回転型モータ+タイミングベルトを例として行ったが、ボールねじ、ピニオンギアやりニアモータ等についても適用が可能である。

## 【 0 0 9 9 】

又、前記説明は、Y方向への移動に、YL軸とYR軸の左右一对のY軸駆動部を例として行ったが、片軸のみの駆動でも適用可能である。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 1 0 0 】

【図1】本発明の適用対象の一例を示す構成図

【図2】同じくXY位置決め装置の構成を示す(A)全体の平面図及び(B)1軸の斜視図

【図3】同じくモデル図

【図4】同じくブロック図

【図5】本発明の第1実施形態の全体ブロック図

【図6】第1実施形態で用いられている外乱オブザーバの構成を示すブロック図

【図7】前記外乱オブザーバにより構成される加速度制御系のブロック図

【図8】第1実施形態で用いられている軸ねじれ反力推定オブザーバの構成を示すブロック図

【図9】同じく軸ねじれ反力フィードバックを示すブロック図

【図10】図9の等価ブロック線図

【図11】第1実施形態で用いられている外乱オブザーバのパラメータ変動による位相補償を示すブロック図

【図12】同じく多慣性共振系の極と零点を示す図

【図13】同じく2慣性共振系に位相補償を行なった際のブロック線図

【図14】 $0 < \zeta < 1$ の比較例における位相遅れ補償時の極と零点の配置を示す図

【図15】同じく3慣性共振系に位相遅れ補償を行なった際の根軌跡を示す図

【図16】 $\zeta > 1$ とした本発明における位相進み補償時の極と零点の配置を示す図

【図17】同じく3慣性共振系に本発明による位相進み補償を行なった際の根軌跡を示す図

【図18】第1実施形態における極配置を示す図

【図19】本発明の第2実施形態の全体ブロック図

## 【 符号の説明 】

## 【 0 1 0 1 】

M...モータ

A...負荷

10

20

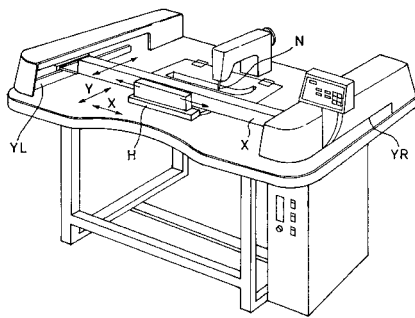
30

40

50

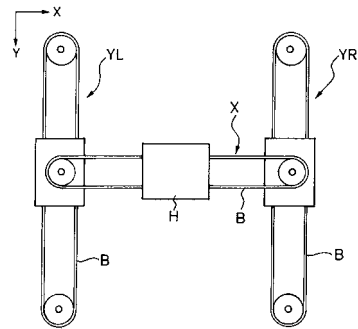
- 1 0 ... 外乱オブザーバ
- 2 0 ... 軸ねじれ反力フィードバック
- 3 0 ... 位相補償器

【図 1】

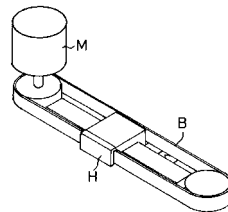


【図 2】

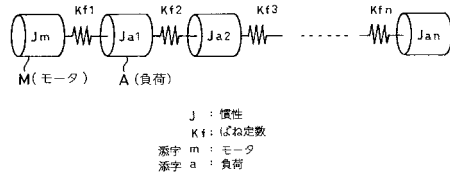
(A) XY位置決め装置(全体)



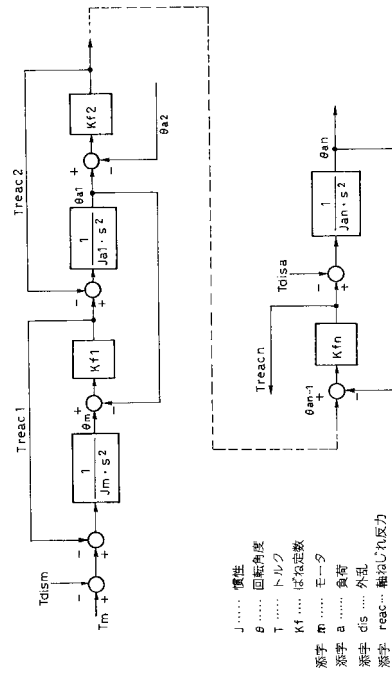
(B) XY位置決め装置(1軸)



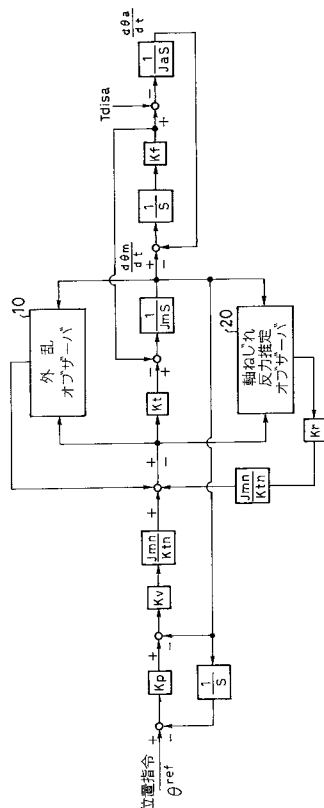
【図3】



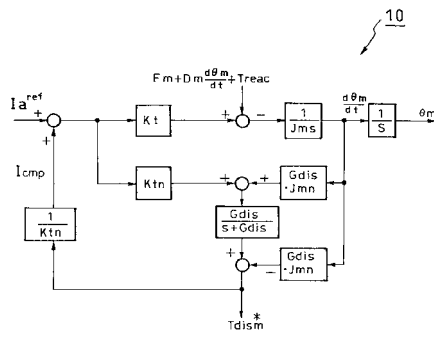
【図4】



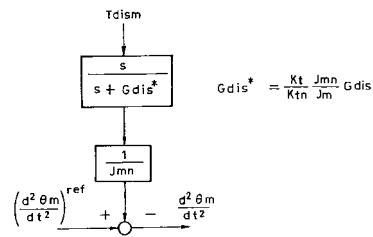
【図5】



【図6】

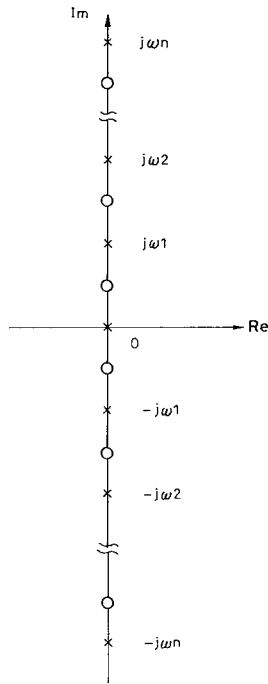


【図7】

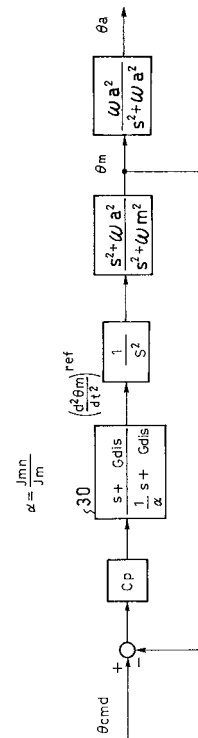




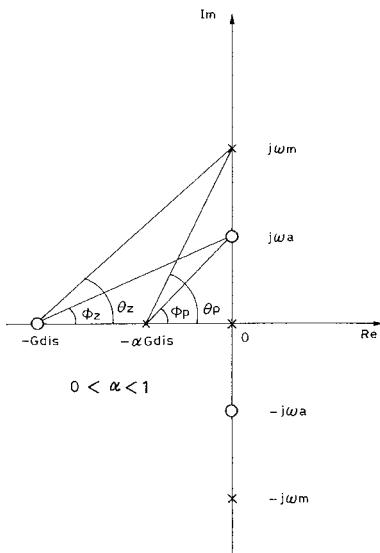
【 図 1 2 】



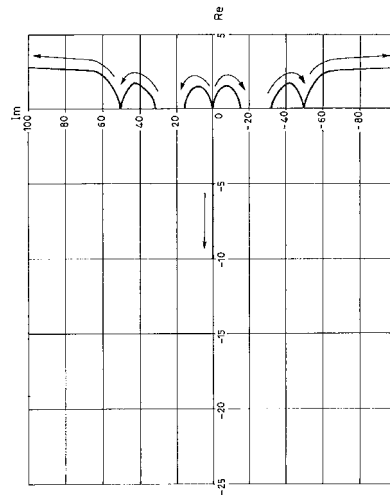
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】





---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平10-155292(JP,A)  
特開平09-320075(JP,A)  
特開平06-217579(JP,A)  
特開2007-043884(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

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