

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4443208号
(P4443208)

(45) 発行日 平成22年3月31日(2010.3.31)

(24) 登録日 平成22年1月22日(2010.1.22)

(51) Int.Cl. F I
G 0 2 B 26/10 (2006.01) G O 2 B 26/10 1 O 4 Z
 B 2 3 K 26/08 (2006.01) B 2 3 K 26/08 B

請求項の数 4 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2003-415247 (P2003-415247)	(73) 特許権者	000233332
(22) 出願日	平成15年12月12日(2003.12.12)		日立ピアメカニクス株式会社
(65) 公開番号	特開2005-173377 (P2005-173377A)		神奈川県海老名市上今泉2 1 0 0
(43) 公開日	平成17年6月30日(2005.6.30)	(74) 代理人	100078134
審査請求日	平成18年3月8日(2006.3.8)		弁理士 武 顕次郎
		(72) 発明者	遠山 聡一
			茨城県土浦市神立町502番地 株式会社
			日立製作所 機械研究所内
		(72) 発明者	大概 治明
			茨城県土浦市神立町502番地 株式会社
			日立製作所 機械研究所内
		(72) 発明者	坂本 淳
			茨城県土浦市神立町502番地 株式会社
			日立製作所 機械研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スキャナ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

サーボ制御装置を備え、ガルバノミラーを支持する回転軸の回転角度を検出し、検出された検出値の指令値に対する追従誤差を積分することにより前記検出値を前記指令値に追従させるスキャナ装置において、

前記追従誤差の積分値に前記追従誤差に比例する補正値を加算し、

前記サーボ制御装置を構成する補償手段のゲインを、予めガルバノミラーの移動角度に応じて複数定めておき、前記回転軸を回転させるのに先立ち、前記指令値によって決まる前記移動角度に応じて前記各補償手段のゲインを変更することを特徴とするスキャナ装置

【請求項2】

前記回転軸のねじり共振ピークが存在する周波数領域においてフィードバック・ループの安定性を補償する安定化補償手段を設けることを特徴とする請求項1に記載のスキャナ装置。

【請求項3】

前記安定化補償手段は、安定化しようとする複数の前記ねじり共振ピークに対応する直列したノッチフィルタと、隣接する前記ねじり共振ピークの中間の周波数区間に遮断特性を有するノッチフィルタと、を直列に接続したものであることを特徴とする請求項2に記載のスキャナ装置。

【請求項4】

前記検出値に比例する補正値を演算する検出値比例補償手段を設け、

この検出値比例補償手段で得られた補正值を前記積分値から減算する場合には、前記ゲインを変更する際に

、前記検出値比例補償手段の出力から前記ゲインの変化量で前記検出値を係数倍した値を減算することを特徴とする請求項 1 に記載のスキヤナ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ガルバノミラーを支持する回転軸の回転角度を検出し、ガルバノミラーが所望の位置に位置決めされるように回転軸を制御するスキヤナ装置に関する。

【背景技術】

10

【0002】

スキヤナ装置は、ガルバノミラー（以下、「ミラー」という。）を支持する回転軸をモータで回転させ、ミラーの反射面を所望の角度に位置決めすることにより、例えばレーザ発振器から出力されるレーザ光を被加工物の所定の位置に照射する装置であり、プリント基板の製造におけるレーザ穴明け加工機（以下、「レーザ加工機」という。）に使用される。

【0003】

レーザ加工機の場合、ミラーの位置決め速度（応答性）と指令値に対する偏差が、加工スループットと加工位置精度に大きく影響する。通常、レーザ加工機の加工スループットは毎分30000穴以上（毎秒500穴以上）であり、平均的には1ms以下でミラー

20

を位置決めする。また、加工位置誤差はレーザ加工機全体で $\pm 15 \mu\text{m}$ 以下であり、このうちでスキヤナ装置への誤差配分は数 μm 程度である。

【0004】

このようなレーザ光の高速・高精度位置決めを実現するために、スキヤナ装置は、ミラーの角度をフィードバック制御するサーボ制御装置を備えている。

【0005】

ミラーを支持する回転軸には、回転軸の回転角度を検出するための角度センサが取り付けられており、ミラーの位置決め動作においては、指令値に対する追従誤差（偏差）が0になるように、サーボ制御装置が動作する。指令値はミラーの停止位置で一定値になるので、定常偏差を0にするには、低周波領域で積分特性を有するサーボ補償器を用いて、

30

いわゆる一型サーボ系を構成する。このサーボ制御系の実現形態としては、アナログ演算回路で連続時間制御されるアナログサーボもあるし、マイクロプロセッサのプログラムで離散時間制御されるデジタルサーボもある。さらに必要によっては、両者を併用することもある。

【0006】

レーザ加工機では加工しようとする穴の座標データに基づき、レーザ光の照射位置をミラーの角度に変換する。上位制御装置は、この座標変換を行うと共に、サーボ制御装置に指令値を送る。また、上位制御装置は、レーザパルスの照射をミラーの位置決めに同期させるため、指令値を送るタイミングとレーザ発振器を動作させるタイミングをコントロールする。

40

【0007】

従来、スキヤナ装置の動作周波数がスキヤナ装置の共振周波数帯域内に入る場合は、整定時間を調整することで共振の発生を抑えるスキヤナ装置の制御技術が開示されている（特許文献1）。

【0008】

また、サーボ制御装置をアナログ回路の補償器とデジタル計算機の補償器とで構成し、アナログ回路の補償器をスキヤナのねじり固有振動数でのノッチフィルタにすることで、制御帯域を拡大する技術が開示されている（特許文献2）。

【特許文献1】特開2000-28955号公報

【特許文献2】特開2002-196274号公報

50

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

サーボ制御装置は、上位制御装置から次々と送られる一連の指令値（以下、「角度指令パターン」という。）に対して、所定の位置決め時間でミラーを移動し、セトリングさせる必要がある。すなわち高速かつ高精度なレーザ加工を実現するためには、単にミラー角度の定常偏差を0にするだけでなく、セトリング動作の過渡応答（以下、セトリング応答）をできるだけ小さくし、偏差が所定の許容範囲内になったら、すぐにレーザパルスショットすることが重要である。

【0010】

ところで、サーボ制御系は、その動特性を決める複数の固有モードを持っており、動的システムの固有モードは固有振動数と振動の減衰比により、非振動的なモードは時定数により特徴付けられる。

【0011】

スキャナ装置のサーボ制御系の場合は、制御対象であるスキャナ装置の構造振動特性や、サーボ補償器の動特性によって系全体の固有モードが決まる。そして、固有振動数が低いモードあるいは時定数の長いモードは、サーボ制御系の周波数応答伝達関数の低周波特性に影響を与える。また、固有振動数が高いあるいは時定数の短いモードは、高周波特性に影響する。特に高周波領域には構造振動に起因する複数のモードがあり、共振点が互いに近接している場合がある。

【0012】

さらに、角度指令パターンは一様ではなく、ミラー角度のストロークや時間間隔はさまざまである。そして、角度指令パターンが異なれば励起される固有モードも異なるため、セトリング応答が変動する。したがって、スキャナ装置の応答性を向上させるためには、これらの影響を受けないように構成する必要がある。

【0013】

本発明の目的は、ミラーの位置決めを速やかに行うことができ、加工速度を向上させることができるスキャナ装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記の課題を解決するために、本発明は、サーボ制御装置を備え、ガルバノミラーを支持する回転軸の回転角度を検出し、検出された検出値の指令値に対する追従誤差を積分することにより前記検出値を前記指令値に追従させるスキャナ装置において、前記追従誤差の積分値に前記追従誤差に比例する補正値を加算し、前記サーボ制御装置を構成する補償手段のゲインを、予めガルバノミラーの移動角度に応じて複数定めおき、前記回転軸を回転させるのに先立ち、前記指令値によって決まる前記移動角度に応じて前記各補償手段のゲインを変更することを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

ミラーの位置決めを速やかに行うことができ、加工速度を向上させることができる。また、角度指令のバリエーションに対しても、ガルバノミラーのセトリング応答の変動を抑えて、つねに速やかな応答にすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明を図示の実施形態に基づいて説明する。

【0018】

図1は、本発明に係るスキャナ装置を備えるレーザ加工機のブロック線図である。

【0019】

レーザ加工機の制御装置5は、入力された加工プログラムに基づいて加工位置の座標データを上位制御装置4に出力する。上位制御装置4は、入力された座標データをミラー1

10

20

30

40

50

2を制御するための角度指令に変換してサーボ制御装置2に送信する。このとき、上位制御装置4は、レーザ発振器6のパルス出力と同期を取るように、角度指令の送信のタイミングを制御する。

【0020】

この実施形態におけるスキャナ装置5は、目標軌道発生器22と、サーボ制御装置2と、スキャナ1と、から構成されている。

【0021】

目標軌道発生器22は、上位制御装置4から出力されるステップ状の角度指令を滑らかに補間する目標軌道信号(以下、「指令値」という。)としてサーボ制御装置2に出力する。

10

【0022】

スキャナ1は、モータ11と、モータ11の回転軸13に固定されたミラー12とから構成されている。モータ11には、回転軸13の回転角度を検出するための角度センサ14が内蔵されている。角度センサ14で検出された検出データは角度検出回路21に入力され、検出値として角度検出回路21から出力される。モータ11は、サーボ制御装置2によって制御される。

【0023】

次に、サーボ制御装置2の構成を説明する。

【0024】

角度検出回路21から出力された検出値は、減算器23と、フィードバックループの安定性を保つために設けられた検出値を比例補償する検出値比例補償器27および検出値を微分補償する検出値微分補償器28と、に入力される。

20

【0025】

減算器23は、目標軌道発生器22から出力された指令値と検出値との差である追従誤差を演算し、その結果を、追従誤差を0にするように動作する積分補償器24と追従誤差比例補償器25に出力する。

【0026】

加算器26は、積分補償器24と追従誤差比例補償器25の出力を加算し、その結果を減算器30に出力する。

【0027】

加算器29は、検出値比例補償器27と検出値微分補償器28の出力および一定値発生手段33の出力を加算して減算器30に出力する。なお、一定値発生手段33の動作については後述する。

30

【0028】

減算器30は、検出値比例補償器27と検出値微分補償器28の出力がネガティブ・フィードバックとして作用するように、加算器26の出力から加算器29の出力を減算する。これにより、フィードバック・ループの一巡伝達関数で、ゲイン交差周波数付近の位相余裕を十分に確保して、安定化することができる。

【0029】

減算器30の出力は、高周波領域安定化補償器31を介してモータ駆動電流制御回路32に出力され、出力に応じたモータ駆動電流がモータ11に供給される。

40

【0030】

次に、サーボ制御装置2の各構成要素の機能について説明する。

【0031】

積分補償器24は追従誤差を積分するので、仮にステップ上のトルク外乱が回転軸13に作用する場合でも、追従誤差の定常値(定常偏差)を0にするように作用する。しかし、積分には時間を要するので、ミラー12の移動開始直後の加速動作においては、モータ11への制御入力の立ち上がりが遅くなり、サーボ制御の過渡特性としての応答性が上げにくい。

【0032】

50

そこで、本発明では追従誤差比例補償器 25 を用いて制御入力の立ち上がりを急峻にする。すなわち、指令値に対して、ミラー 12 の角度は遅れて応答するので、移動開始直後は比較的大きな追従誤差が発生する。追従誤差比例補償器 25 は、各時刻での追従誤差に比例した信号を出力するので、加速時の制御入力の立ち上がりを急峻にすることができるので、応答を早くすることができる。

【0033】

高周波領域安定化補償器 31 は、回転軸回りのねじり振動モードに起因する複数の共振周波数のそれぞれを中心周波数とする制御用ノッチフィルタと、隣接する共振周波数の中間の周波数を遮断する遮断用ノッチフィルタと、を直列に接続したものである。

【0034】

ここで、制御用ノッチフィルタは、共振ピークの影響を低減するため、共振周波数を中心周波数とし、伝達関数分子の減衰比が共振ピークの減衰比に等しくなるように設定されている。なお、共振ピークの周波数と減衰比は、FFTアナライザで計測することができる。

【0035】

また、遮断用ノッチフィルタは、二つの共振ピークが互いに近接している場合に制御系の安定性を大きく確保するために設けられている。すなわち、二つの共振ピークが互いに近接している場合、それらの中間の周波数において、裾野が重なり合っただけでゲインが高くなる。この周波数区間をナイキスト安定判別法を用いて調べると、複素平面の座標値(-1、0)のいわゆる安定判別点に接近しており、ゲイン余有が不足する。この傾向は制御系の帯域を広げるほど、顕著になる。したがって、直列な制御用ノッチフィルタだけでは、制御系の安定性を大きく確保することはできない。

【0036】

そこで、共振ピークを下げる制御用ノッチフィルタと直列に、さらにその中間の周波数を遮断する遮断用ノッチフィルタを接続する。遮断用ノッチフィルタはゲイン余有を増大するためであり、共振ピークを補償するフィルタに比べると、広くて緩やかな遮断特性になる。遮断用ノッチフィルタの中心周波数としては、ナイキスト軌跡の位相交差周波数が設定され、ゲイン余有が7dB以上、望ましくは10dB以上になるように、遮断特性のパラメータ(伝達関数分母と分子の減衰比)が設定される。

【0037】

すなわち、例えば、図2(a)に示すように、モータ駆動電流制御回路32の入力から角度センサ14の出力までの数kHz以上の高周波領域における伝達特性(ゲイン特性)が、回転軸回りのねじり振動モードに起因する複数の共振点を持つ曲線であるとする。レーザ加工機に適用するスキャナ装置の場合、このようなゲイン特性を持つ制御対象(レーザスキャナ1)では、最も高い共振ピーク(周波数A)と、その次に高いピーク(周波数B)の2つが制御系の安定性に影響を与える。

【0038】

そこで、このような場合は、周波数Aおよび周波数Bに対してそれぞれ制御用ノッチフィルタを設ける。また、周波数Aと周波数Bが近接しているため、周波数Aと周波数Bの間に中間の周波数を遮断する遮断用ノッチフィルタを接続する。

【0039】

そして、このような高周波領域安定化補償器31を設けた場合、高周波領域安定化補償器31の入力から角度センサ14の出力までの伝達特性(ゲイン特性)は、同図(b)に実線で示す曲線になる。なお、同図(b)における波線は同図(a)に実線で示す曲線を示している。同図(b)から明らかなように、高周波領域安定化補償器31を設けた場合の伝達特性は、二つの共振ピークゲインが下がり、かつ両者の中間の周波数でもゲインが下がる。

【0040】

したがって、このように構成された高周波領域安定化補償器31により、高周波領域の安定性を増し、サーボ制御の周波数帯域を拡大することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 1 】

次に、追従誤差比例補償器 2 5 と、高周波領域安定化補償器 3 1 を設けたことによる効果を説明する。

【 0 0 4 2 】

図 3 は本発明に係るスキャナ装置の特性を示す図であり、(a) はミラー角度の応答波形を示す図、(b) はモータ駆動電流波形を示す図である。また、図 4 は追従誤差比例補償器 2 5 および高周波領域安定化補償器 3 1 が設けられていない従来のスキャナ装置の特性を示す図であり、(a) はミラー角度の応答波形を示す図、(b) はモータ駆動電流波形を示す図である。なお、図 3、4 は同じストロークの角度指令に対する応答である。

【 0 0 4 3 】

図 4 (b) に示すように、追従誤差比例補償器 2 5 を設けない場合、モータ駆動電流が徐々に立ち上がる。これに対し、追従誤差比例補償器 2 5 を設けた場合、図 3 (b) に示すように、モータ駆動電流は急峻に立ち上がる。この結果、図 3 (a)、図 4 (a) に示されているように、追従誤差比例補償器 2 5 を設けることによりミラーを速やかに指令値に位置決めすることができる。したがって、加工時間を短縮することができる。

【 0 0 4 4 】

また、ミラー角度の応答波形で比較すると、図 3 (a) では高周波領域安定化補償器 3 1 の効果により、これを用いない図 4 (a) の波形よりも短い位置決め時間で、同じ偏差の許容範囲に安定にセトリングしている。

【 0 0 4 5 】

ここで、追従誤差比例補償器 2 5 の作用は、次のように説明することもできる。サーボ制御装置 2 のフィードバック・ループの一巡伝達関数は、スキャナ 1 に供給されるモータ駆動電流の部分でループを切断（オープンループ）して定義することができる。

【 0 0 4 6 】

この場合、追従誤差比例補償器 2 5 と比例補償器 2 7 の比例係数の総和が等しければ、一巡伝達関数の特性は同じであり、フィードバック・ループの安定性は等しいが、クローズド・ループとしての目標軌道に対する過渡応答特性は、追従誤差比例補償器 2 5 と比例補償器 2 7 の比例係数の配分に依存する。すなわち追従誤差比例補償器 2 5 は、フィードバック・ループの安定性を変えずに、目標値応答特性を調整できるという特徴がある。

【 0 0 4 7 】

以上説明したように、サーボ制御装置 2 に追従誤差比例補償器 2 5 と高周波領域安定化補償器 3 1 を設けることにより、ミラーの位置決めを速やかに行うことができ、加工速度を向上させることができる。

【 0 0 4 8 】

ところで、角度指令が変化すると、その指令の周波数スペクトルが異なるので、フィードバック・ループが持つ固有モードの励起の度合いが変わる。

【 0 0 4 9 】

そこで、本発明では、ミラーの位置決めをさらに速やかなものとするため、以下のように制御する。

【 0 0 5 0 】

すなわち、本発明では、所望の位置決め応答特性とフィードバック・ループとしての安定性を持つように、予め図示を省略する記憶装置に、積分補償器 2 4、追従誤差比例補償器 2 5、検出値比例補償器 2 7 および検出値微分補償器 2 8 のそれぞれについて角度ストロークに応じた最適のゲインを用意しておく。そして、角度ストロークに応じて各ゲインの値を変更することにより、固有モードの特性を切り替え、セトリング応答の変動を小さく抑える。

【 0 0 5 1 】

なお、ゲインを変更する場合、ゲインの変更による過渡応答の発生を抑える必要がある。そこで、ゲインの値が確定する時点、すなわち、ステップ状の角度指令が上位制御装置からサーボ制御装置に伝わった時点（ミラー移動開始の直前、すなわち静止状態の最後）

10

20

30

40

50

にゲインを変更する。

【 0 0 5 2 】

この場合、検出値比例補償器 2 7 は角度検出信号を係数倍した、いわば制御的なバネ復元力であるから、ゲインの大きさを変更すると、復元力が不連続に変化することになりミラー 1 2 がステップ応答で振られてしまう。これを相殺するには、1 回目（サーボ制御装置が起動された時）ゲイン変更と同時に検出値をゲインの変化量で係数倍した一定値を比例補償器 2 7 の出力から減算すればよい。

【 0 0 5 3 】

また、2 回目以降のゲイン変更では、一定値を積算して検出値比例補償器 2 7 の出力から減算する。一定値発生手段 3 3 は、ゲイン変更のたびに一定値を算出・積算し、符号反転して出力する。そして、この出力を加算器 2 9 において検出値比例補償器 2 7 の出力に加算する。これにより、ゲイン変更を繰り返しても、ミラー 1 2 がステップ応答で振られることはない。

【 0 0 5 4 】

また、検出値微分補償器 2 8 の出力は静止状態ではほぼ 0 であるから、そのゲインを変更してもミラー 1 2 は応答しない。また、追従誤差積分補償 2 4 は入力追従誤差であり、静止中の追従誤差は 0 であるから、入力側に可変ゲインを備えれば、ゲインを変更してもミラー 1 2 が応答することはない。また、追従誤差比例補償器 2 5 は静止中の入力がないので、ゲインを変更してもミラー 1 2 は応答しない。

【 0 0 5 5 】

なお、目標軌道発生器 2 2 が上位制御装置 4 に設けられている場合には、スキャナ装置に目標軌道発生器 2 2 を設ける必要がない。

【 0 0 5 6 】

また、図 1 において点線で囲んだ部分を 1 個の CPU で構成する場合には、この CPU の記憶部に積分補償器 2 4、追従誤差比例補償器 2 5、検出値比例補償器 2 7 および検出値微分補償器 2 8 の角度ストロークに応じた最適のゲインを記憶させるようにすればよい。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 5 7 】

【 図 1 】 本発明に係るスキャナ装置を備えるレーザ加工機のブロック線図である。

【 図 2 】 本発明に係るスキャナ装置の周波数応答特性を示す図である。

【 図 3 】 本発明に係るスキャナ装置の特性を示す図である。

【 図 4 】 従来スキャナ装置の特性を示す図である。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 8 】

- 2 サーボ制御装置
- 1 2 ミラー
- 1 3 回転軸
- 2 4 積分補償器
- 2 5 追従誤差比例補償器
- 2 7 検出値比例補償器
- 2 8 検出値微分補償器

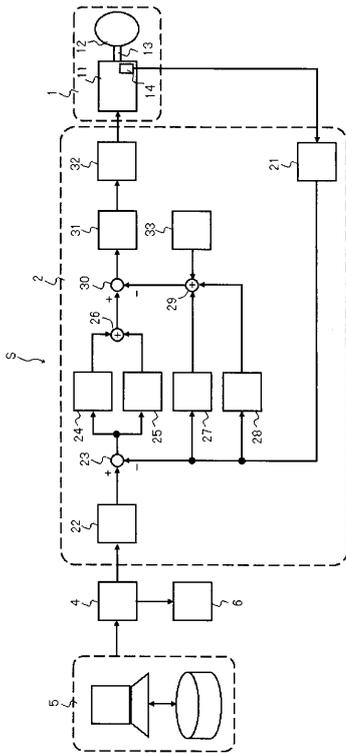
10

20

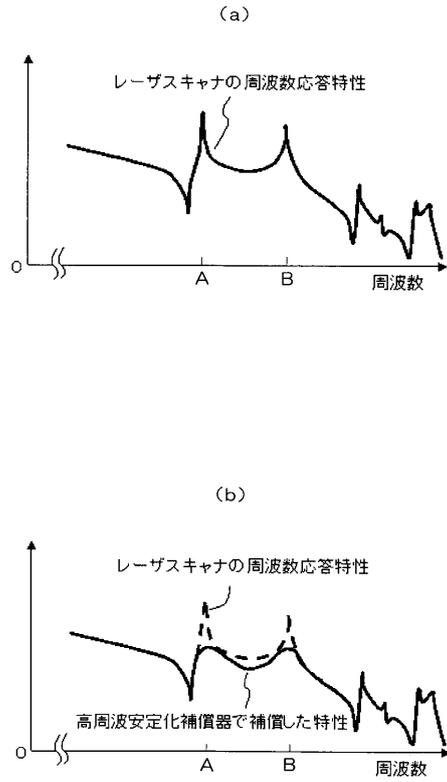
30

40

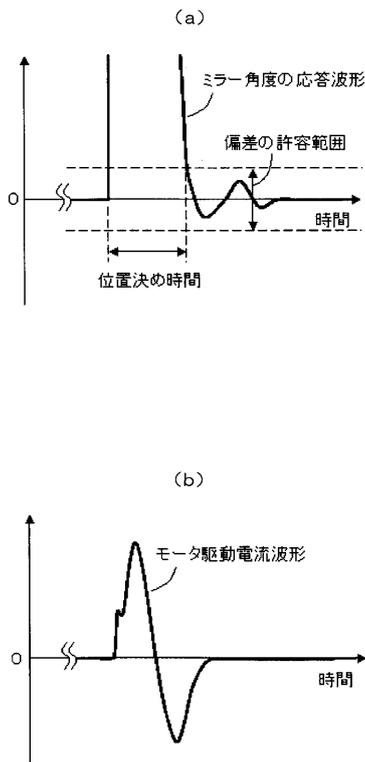
【図1】



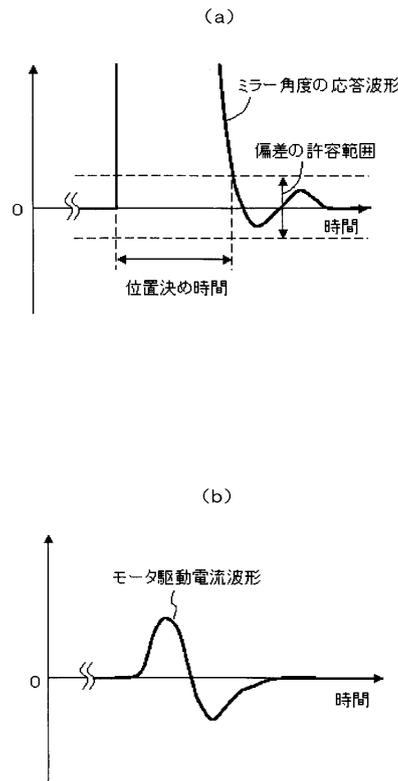
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 関 健太

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社 日立製作所 機械研究所内

(72)発明者 大久保 弥市

神奈川県海老名市上今泉2100番地 日立ビアメカニクス株式会社内

審査官 瀬川 勝久

(56)参考文献 特開2002-040357(JP,A)

特開2002-040358(JP,A)

特開2003-345402(JP,A)

特開2002-325471(JP,A)

特開2002-196274(JP,A)

特開平11-160434(JP,A)

特開2003-215492(JP,A)

特開平10-010449(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 26/10

H02P 5/00