

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7363635号
(P7363635)

(45)発行日 令和5年10月18日(2023.10.18)

(24)登録日 令和5年10月10日(2023.10.10)

(51)国際特許分類

F I

H 0 2 N 2/14 (2006.01)

H 0 2 N 2/14

B 2 5 J 13/00 (2006.01)

B 2 5 J 13/00

Z

請求項の数 11 (全21頁)

(21)出願番号	特願2020-57358(P2020-57358)	(73)特許権者	000002369
(22)出願日	令和2年3月27日(2020.3.27)		セイコーエプソン株式会社
(65)公開番号	特開2021-158804(P2021-158804 A)	(74)代理人	100179475
(43)公開日	令和3年10月7日(2021.10.7)		弁理士 仲井 智至
審査請求日	令和5年1月18日(2023.1.18)	(74)代理人	100216253
			弁理士 松岡 宏紀
		(74)代理人	100225901
			弁理士 今村 真之
		(72)発明者	斎藤 英俊
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイ
			コーエブソン株式会社内
		審査官	服部 俊樹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 圧電駆動装置の制御方法、圧電駆動装置、圧電モーターおよびロボット

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

駆動用圧電素子および検出用圧電素子を備え、駆動信号を印加して前記駆動用圧電素子を伸縮させることにより振動し、前記振動に基づいた検出信号が前記検出用圧電素子から出力される圧電アクチュエーターを有する圧電駆動装置の制御方法であって、

前記駆動信号の周波数を目標周波数よりも高い値から前記目標周波数まで掃引するダウンスweepステップと、

前記ダウンスweepステップによって前記周波数が前記目標周波数となった後、前記検出信号を複数回検出し、検出した複数の前記検出信号の電圧差が予め定めた所定電圧差内であるかを判断する判断ステップと、を実行し、

前記電圧差が前記所定電圧差内である場合は、前記検出信号の電圧が第1目標電圧となるように前記周波数を制御する周波数制御ステップを実行し、

前記電圧差が前記所定電圧差内ではない場合は、前記電圧差が前記所定電圧差内となるまで前記ダウンスweepステップと判断ステップとを繰り返す繰返ステップを実行することを特徴とする圧

電駆動装置の制御方法。

【請求項2】

駆動用圧電素子および検出用圧電素子を備え、駆動信号を印加して前記駆動用圧電素子を伸縮させることにより振動し、前記振動に基づいた検出信号が前記検出用圧電素子から出力される圧電アクチュエーターを有する圧電駆動装置の制御方法であって、

前記駆動信号の周波数を目標周波数よりも高い値から前記目標周波数まで掃引するダウンスイープステップと、

前記ダウンスイープステップによって前記周波数が前記目標周波数となった後、前記検出信号と前記駆動信号との位相差を複数回検出し、検出した複数の前記位相差の差が予め定めた所定位相差内であるかを判断する判断ステップと、を実行し、

前記差が前記所定位相差内である場合は、前記検出信号の電圧が第1目標電圧となるように前記周波数を制御する周波数制御ステップを実行し、

前記差が前記所定位相差内ではない場合は、前記差が前記所定位相差内となるまで前記ダウンスイープステップと判断ステップとを繰り返す繰返ステップを実行することを特徴とする圧電駆動装置の制御方法。

【請求項3】

前記所定電圧差は、複数の前記検出信号のうちの1つの前記検出信号を基準とし、前記基準とした前記検出信号の電圧の $\pm 20\%$ 以内の範囲である請求項1に記載の圧電駆動装置の制御方法。

【請求項4】

前記繰返ステップにおいて実施する前記ダウンスイープステップの前記目標周波数は、直前に実施した前記ダウンスイープステップの前記目標周波数よりも低い請求項1ないし3のいずれか1項に記載の圧電駆動装置の制御方法。

【請求項5】

前記繰返ステップにおいて実施する前記ダウンスイープステップでは、前記駆動信号の周波数を直前に実施した前記ダウンスイープステップの前記目標周波数から今回の前記目標周波数まで掃引する請求項4に記載の圧電駆動装置の制御方法。

【請求項6】

前記ダウンスイープステップにおいて前記駆動信号の周波数が予め設定されている下限値未満となったときは、前記駆動信号の周波数を前記下限値以上である固定周波数に固定し、前記圧電アクチュエーターの駆動を継続する周波数固定ステップを実行する請求項4または5に記載の圧電駆動装置の制御方法。

【請求項7】

前記判断ステップでの判断によって前記周波数制御ステップに移行する場合は、前記周波数制御ステップに先立って、前記検出用圧電素子から出力される前記検出信号の電圧が第2目標電圧となるように前記駆動信号の電圧を制御する電圧制御ステップを実行する請求項1ないし6のいずれか1項に記載の圧電駆動装置の制御方法。

【請求項8】

駆動用圧電素子および検出用圧電素子を備え、駆動信号を印加して前記駆動用圧電素子を伸縮させることにより振動し、前記振動に基づいた検出信号が前記検出用圧電素子から出力される圧電アクチュエーターと、

前記圧電アクチュエーターの駆動を制御する制御装置と、を有し、

前記制御装置は、

前記駆動信号の周波数を目標周波数よりも高い値から前記目標周波数まで掃引し、

前記掃引によって前記周波数が前記目標周波数となった後、前記検出信号を複数回検出し、検出した複数の前記検出信号の電圧差が予め定めた所定電圧差内であるかを判断し、

前記電圧差が前記所定電圧差内である場合は、前記検出信号の電圧が第1目標電圧となるように前記周波数を制御し、

前記電圧差が前記所定電圧差内ではない場合は、前記電圧差が前記所定電圧差内となるまで前記掃引と前記判断とを繰り返すことを特徴とする圧電駆動装置。

【請求項9】

駆動用圧電素子および検出用圧電素子を備え、駆動信号を印加して前記駆動用圧電素子を伸縮させることにより振動し、前記振動に基づいた検出信号が前記検出用圧電素子から出力される圧電アクチュエーターと、

10

20

30

40

50

前記圧電アクチュエーターの駆動を制御する制御装置と、を有し、
前記制御装置は、
前記駆動信号の周波数を目標周波数よりも高い値から前記目標周波数まで掃引し、
前記掃引によって前記周波数が前記目標周波数となった後、前記検出信号と前記駆動信号との位相差を複数回検出し、検出した複数の前記位相差の差が予め定めた所定位相差内であるかを判断し、
前記差が前記所定位相差内である場合は、前記検出信号の電圧が第1目標電圧となるように前記周波数を制御し、
前記差が前記所定位相差内ではない場合は、前記差が前記所定位相差内となるまで前記掃引と前記判断とを繰り返すことを特徴とする圧電駆動装置。

10

【請求項10】

請求項8または9に記載の圧電駆動装置と、
前記圧電アクチュエーターによって駆動される被駆動体と、を有することを特徴とする圧電モーター。

【請求項11】

第1部材と、
前記第1部材に対して回転する第2部材と、
前記第1部材に対して前記第2部材を回転させる請求項8または9に記載の圧電駆動装置と、を有することを特徴とするロボット。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電駆動装置の制御方法、圧電駆動装置、圧電モーターおよびロボットに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、特許文献1には、振動波モーターの制御方法として、予め設定された第1スイープレートでアクチュエーターに印加する駆動信号の周波数を下げるダウンスイープを行いつつ、振動波モーターの駆動速度が第1速度に到達したかの判断処理を行い、振動波モーターの駆動速度が第1速度に到達した場合に速度制御を開始する方法が記載されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2015-070623号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1のように、ダウンスイープをスタートさせる時点から振動波モーターの駆動速度が第1速度に到達したかの判断処理を行うと、スタート時点付近の駆動速度が第1速度に達していない可能性が高い時刻においてもその判断が行われる。そのため、ダウンスイープ時の判断回数が増加し、ダウンスイープを完了するまでに長い時間を要するという課題があった。

40

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の圧電駆動装置の制御方法は、駆動用圧電素子および検出用圧電素子を備え、駆動信号を印加して前記駆動用圧電素子を伸縮させることにより振動し、前記振動に基づいた検出信号が前記検出用圧電素子から出力される圧電アクチュエーターを有する圧電駆動装置の制御方法であって、

前記駆動信号の周波数を目標周波数よりも高い値から前記目標周波数まで掃引するダウンスイープステップと、

50

前記ダウンスイープステップによって前記周波数が前記目標周波数となった後、前記検出信号を複数回検出し、検出した複数の前記検出信号の電圧差が予め定めた所定電圧差内であるかを判断する判断ステップと、を実行し、

前記電圧差が前記所定電圧差内である場合は、前記検出信号の電圧が第1目標電圧となるように前記周波数を制御する周波数制御ステップを実行し、

前記電圧差が前記所定電圧差内ではない場合は、前記電圧差が前記所定電圧差内となるまで前記ダウンスイープステップを繰り返す繰返ステップを実行する。

【0006】

本発明の圧電駆動装置の制御方法は、駆動用圧電素子および検出用圧電素子を備え、駆動信号を印加して前記駆動用圧電素子を伸縮させることにより振動し、前記振動に基づいた検出信号が前記検出用圧電素子から出力される圧電アクチュエーターを有する圧電駆動装置の制御方法であって、

前記駆動信号の周波数を目標周波数よりも高い値から前記目標周波数まで掃引するダウンスイープステップと、

前記ダウンスイープステップによって前記周波数が前記目標周波数となった後、前記検出信号と前記駆動信号との位相差を複数回検出し、検出した複数の前記位相差の差が予め定めた所定位相差内であるかを判断する判断ステップと、を実行し、

前記差が前記所定位相差内である場合は、前記検出信号の電圧が第1目標電圧となるように前記周波数を制御する周波数制御ステップを実行し、

前記差が前記所定位相差内ではない場合は、前記差が前記所定位相差内となるまで前記ダウンスイープステップを繰り返す繰返ステップを実行する。

【0007】

本発明の圧電駆動装置は、駆動用圧電素子および検出用圧電素子を備え、駆動信号を印加して前記駆動用圧電素子を伸縮させることにより振動し、前記振動に基づいた検出信号が前記検出用圧電素子から出力される圧電アクチュエーターと、

前記圧電アクチュエーターの駆動を制御する制御装置と、を有し、

前記制御装置は、

前記駆動信号の周波数を目標周波数よりも高い値から前記目標周波数まで掃引し、

前記掃引によって前記周波数が前記目標周波数となった後、前記検出信号を複数回検出し、検出した複数の前記検出信号の電圧差が予め定めた所定電圧差内であるかを判断し、

前記電圧差が前記所定電圧差内である場合は、前記検出信号の電圧が第1目標電圧となるように前記周波数を制御し、

前記電圧差が前記所定電圧差内ではない場合は、前記電圧差が前記所定電圧差内となるまで前記掃引を繰り返す。

【0008】

本発明の圧電駆動装置は、駆動用圧電素子および検出用圧電素子を備え、駆動信号を印加して前記駆動用圧電素子を伸縮させることにより振動し、前記振動に基づいた検出信号が前記検出用圧電素子から出力される圧電アクチュエーターと、

前記圧電アクチュエーターの駆動を制御する制御装置と、を有し、

前記制御装置は、

前記駆動信号の周波数を目標周波数よりも高い値から前記目標周波数まで掃引し、

前記掃引によって前記周波数が前記目標周波数となった後、前記検出信号と前記駆動信号との位相差を複数回検出し、検出した複数の前記位相差の差が予め定めた所定位相差内であるかを判断し、

前記差が前記所定位相差内である場合は、前記検出信号の電圧が第1目標電圧となるように前記周波数を制御し、

前記差が前記所定位相差内ではない場合は、前記差が前記所定位相差内となるまで前記掃引を繰り返す。

【0009】

本発明の圧電モーターは、上述の圧電駆動装置と、

前記圧電アクチュエーターによって駆動される被駆動体と、を有する。

【００１０】

本発明のロボットは、第１部材と、

前記第１部材に対して回転する第２部材と、

前記第１部材に対して前記第２部材を回転させる上述の圧電駆動装置と、を有する。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１】本発明の第１実施形態に係る圧電モーターを示す平面図である。

【図２】圧電アクチュエーターを示す平面図である。

【図３】駆動信号および検出信号を示す図である。

【図４】圧電モーターの駆動状態を示す平面図である。

【図５】圧電モーターの駆動状態を示す平面図である。

【図６】駆動信号の周波数と検出信号との関係を示すグラフである。

【図７】制御装置の回路構成を示すブロック図である。

【図８】制御装置による制御方法を説明するためのフローチャートである。

【図９】ダウンスイープ方法を説明するグラフである。

【図１０】検出信号を示す図である。

【図１１】駆動信号の周波数と検出信号の電圧との関係を示すグラフである。

【図１２】本発明の第２実施形態に係る圧電駆動装置の制御方法を示すフローチャートである。

【図１３】第３実施形態に係るロボットを示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【００１２】

以下、本発明の圧電駆動装置の制御方法、圧電駆動装置、圧電モーターおよびロボットを添付図面に示す好適な実施形態に基づいて詳細に説明する。

【００１３】

<第１実施形態>

図１は、本発明の第１実施形態に係る圧電モーターを示す平面図である。図２は、圧電アクチュエーターを示す平面図である。図３は、駆動信号および検出信号を示す図である。図４および図５は、圧電モーターの駆動状態を示す平面図である。図６は、駆動信号の周波数と検出信号との関係を示すグラフである。図７は、制御装置の回路構成を示すブロック図である。図８は、制御装置による制御方法を説明するためのフローチャートである。図９は、ダウンスイープ方法を説明するグラフである。図１０は、検出信号を示す図である。図１１は、駆動信号の周波数と検出信号の電圧との関係を示すグラフである。

【００１４】

なお、以下では、説明の便宜上、図１、図２、図４、図５の各図において、互いに直交する３軸であるＸ軸、Ｙ軸およびＺ軸を図示する。また、以下では、Ｘ軸に沿う方向をＸ軸方向、Ｙ軸に沿う方向をＹ軸方向、Ｚ軸に沿う方向をＺ軸方向とも言う。また、各軸の矢印側を「プラス側」とも言い、反対側を「マイナス側」とも言う。また、Ｘ軸方向プラス側を「上」または「上側」とも言い、Ｘ軸方向マイナス側を「下」または「下側」とも言う。

【００１５】

図１に示す圧電モーター１は、円盤状をなしその中心軸Ｏまわりに回転可能な被駆動体としてのローター２と、ローター２を中心軸Ｏまわりに回転させる圧電駆動装置３と、を有する。また、圧電駆動装置３は、ローター２の外周面２１に当接する圧電アクチュエーター４と、圧電アクチュエーター４をローター２に向けて付勢する付勢部材５と、圧電アクチュエーター４の駆動を制御する制御装置７と、を有する。圧電モーター１では、通電により圧電アクチュエーター４が屈曲振動し、その振動がローター２に伝わることにより、ローター２が中心軸Ｏまわりに回転する。

【００１６】

ただし、圧電モーター１の構成としては、図１の構成に限定されない。例えば、ローター２の周方向に沿って複数の圧電アクチュエーター４を配置し、複数の圧電アクチュエーター４の駆動によってローター２を回転させてもよい。また、圧電アクチュエーター４は、ローター２の外周面２１ではなく、ローター２の主面２２に当接していてもよい。また、被駆動体は、ローター２のような回転体に限定されず、例えば、直線移動するスライダーであってもよい。

【００１７】

図２に示すように、圧電アクチュエーター４は、振動体４１と、振動体４１を支持する支持部４２と、振動体４１と支持部４２とを接続する一対の接続部４３１、４３２と、振動体４１の先端部に設けられ、ローター２に振動体４１の駆動力を伝達する凸部４４と、を有する。凸部４４は、振動体４１から突出して設けられ、図１に示すように、付勢部材５によって、その先端部がローター２に押し付けられた状態でローター２の外周面２１と当接している。

【００１８】

また、図２に示すように、振動体４１には、振動体４１を屈曲振動させる駆動用圧電素子４Ａ、４Ｂ、４Ｃ、４Ｄ、４Ｅと、振動体４１の屈曲振動に応じた検出信号Ｓｐｕを出力する検出用圧電素子４Ｆと、が設けられている。なお、振動体４１は、これら駆動用圧電素子４Ａ～４Ｅおよび検出用圧電素子４Ｆを一対のシリコン基板４１１、４１２で挟み込んだ構成となっている。ただし、振動体４１の構成は、特に限定されない。

【００１９】

駆動用圧電素子４Ｃは、振動体４１の中央部において、振動体４１の長手方向であるＹ軸方向に沿って配置されている。また、駆動用圧電素子４Ｃは、Ｙ軸方向プラス側に位置する第１分割片４Ｃ'と、Ｙ軸方向マイナス側に位置する第２分割片４Ｃ''と、に分割されている。そして、駆動用圧電素子４ＣのＺ軸方向プラス側には駆動用圧電素子４Ａ、４ＢがＹ軸方向に並んで配置され、Ｚ軸方向マイナス側には駆動用圧電素子４Ｄ、４ＥがＹ軸方向に並んで配置されている。これら駆動用圧電素子４Ａ～４Ｅは、それぞれ、通電によってＹ軸方向に伸縮する。また、駆動用圧電素子４Ａ、４Ｅが電氣的に接続され、駆動用圧電素子４Ｂ、４Ｄが電氣的に接続されている。後述するように、駆動用圧電素子４Ａ、４Ｅと、駆動用圧電素子４Ｃと、駆動用圧電素子４Ｂ、４Ｄと、にそれぞれ位相の異なる同周波数の駆動信号Ｓｄ１、Ｓｄ２、Ｓｄ３を印加し、これらの伸縮タイミングをずらすことにより、振動体４１をその面内においてＳ字状に屈曲振動させることができる。

【００２０】

検出用圧電素子４Ｆは、第１分割片４Ｃ'と第２分割片４Ｃ''との間に配置されている。検出用圧電素子４Ｆは、振動体４１の屈曲振動に含まれるＹ軸方向への伸縮振動に応じた外力を受け、受けた外力に応じた検出信号Ｓｐｕを出力する。そのため、検出用圧電素子４Ｆから出力される検出信号Ｓｐｕに基づいて、振動体４１の振動状態を検知することができる。ただし、振動体４１の屈曲振動に応じた検出信号Ｓｐｕを出力することができれば、検出用圧電素子４Ｆの配置や数は、特に限定されない。

【００２１】

例えば、図３に示す駆動信号Ｓｄ１を駆動用圧電素子４Ａ、４Ｅに印加し、駆動信号Ｓｄ２を駆動用圧電素子４Ｃに印加し、駆動信号Ｓｄ３を駆動用圧電素子４Ｂ、４Ｄに印加すると、図４に示すように、振動体４１がＹ軸方向に伸縮振動しつつＺ軸方向に逆Ｓ字状に屈曲振動し、これらの振動が合成されて、凸部４４の先端が矢印Ａ１で示すように反時計回りに楕円軌道を描く楕円運動する。これにより、ローター２が送り出され、ローター２が矢印Ｂ１で示すように時計回りに回転する。また、振動体４１の屈曲振動に含まれるＹ軸方向の伸縮振動に応じた検出信号Ｓｐｕが検出用圧電素子４Ｆから出力される。

【００２２】

駆動信号Ｓｄ１、Ｓｄ３の波形を切り換えると、図５に示すように、振動体４１がＹ軸方向に伸縮振動しつつＺ軸方向にＳ字状に屈曲振動し、これらの振動が合成されて、凸部４４が矢印Ａ２で示すように時計回りに楕円運動する。これにより、ローター２が送り出

10

20

30

40

50

され、ローター 2 が矢印 B 2 で示すように反時計回りに回転する。また、振動体 4 1 の屈曲振動に含まれる Y 軸方向の伸縮振動に応じた検出信号 S p u が検出用圧電素子 4 F から出力される。

【0023】

なお、圧電モーター 1 では、ローター 2 を少なくとも一方向に回転させることができれば、駆動用圧電素子 4 A ~ 4 E に印加する駆動信号のパターンは、特に限定されない。また、駆動用圧電素子 4 A ~ 4 E に印加する駆動信号 S d 1、S d 2、S d 3 の波形は、ローター 2 を回転させることができれば、特に限定されない。また、ローター 2 を回転させることができる振動を生じさせることができれば、駆動用圧電素子の配置や数は、特に限定されない。なお、以下では、説明の便宜上、駆動信号 S d 1、S d 2、S d 3 を総称して駆動信号 S d とも言う。

【0024】

ここで、駆動信号 S d の周波数 f としては、特に限定されないが、圧電アクチュエーター 4 の共振周波数 f 0 よりも高いことが好ましい。以下、この理由について簡単に説明する。図 6 は、周波数 f と検出信号 S p u の電圧との関係を示すグラフである。なお、検出信号 S p u の大きさは、ローター 2 の駆動速度と相関関係があるため、検出信号 S p u の電圧をローター 2 の駆動速度と言い換えることもできる。

【0025】

同図に示すように、周波数 f が圧電アクチュエーター 4 の共振周波数 f 0 と一致する際にローター 2 の駆動速度が最大となり、周波数 f が共振周波数 f 0 から遠ざかるに連れてローター 2 の駆動速度が低下する。また、共振周波数 f 0 をピークとして、共振周波数 f 0 よりも高周波数側では、比較的なだらかにローター 2 の駆動速度が減少し、反対に、共振周波数 f 0 よりも低周波数側では、高周波数側と比べて急激にローター 2 の駆動速度が減少する。そのため、周波数 f を共振周波数 f 0 よりも高く設定することにより、周波数 f が共振周波数 f 0 よりも低い場合と比較して、周波数 f の変化に対するローター 2 の駆動速度の変化の度合いが小さくなり、その分、ローター 2 の駆動速度を高精度に制御し易くなる。ただし、周波数 f は、共振周波数 f 0 より低くてもよい。

【0026】

付勢部材 5 は、凸部 4 4 をローター 2 の外周面 2 1 に向けて付勢する部材である。付勢部材 5 は、図 1 に示すように、支持部 4 2 に固定された基部 5 1 と、支持部 5 2 と、基部 5 1 と支持部 5 2 とを接続するばね部 5 3 と、を有する。また、支持部 5 2 には、X 軸方向に貫通する貫通孔が形成されており、この貫通孔を利用して、付勢部材 5 が筐体等にねじ止めされる。ばね部 5 3 を Y 軸方向に撓ませた状態で付勢部材 5 を前記筐体等に固定することにより、ばね部 5 3 の復元力を利用して凸部 4 4 をローター 2 の外周面 2 1 に向けて付勢することができる。

【0027】

なお、付勢部材 5 の構成は、凸部 4 4 をローター 2 の外周面 2 1 に向けて付勢することができるが、特に限定されない。例えば、付勢部材 5 として、コイルスプリング、板ばね等を用いてもよい。

【0028】

制御装置 7 は、圧電アクチュエーター 4 の駆動を制御する。制御装置 7 は、例えば、C P U 等のプロセッサ、メモリー、インターフェース等を有し、プロセッサがメモリーに格納されている所定のプログラムを実行することにより、圧電アクチュエーター 4 の駆動を制御する。

【0029】

図 7 に示すように、制御装置 7 は、駆動信号 S d を生成する駆動信号生成部 7 0 と、検出信号 S p u が所定の条件 Q 1 を満たすか否かを判断する判断部 7 2 と、を有する。また、駆動信号生成部 7 0 は、駆動用圧電素子 4 A、4 E に印加する駆動信号 S d 1 を生成する第 1 駆動信号生成部 7 0 1 と、駆動用圧電素子 4 C に印加する駆動信号 S d 2 を生成する第 2 駆動信号生成部 7 0 2 と、駆動用圧電素子 4 B、4 D に印加する駆動信号 S d 3 を

10

20

30

40

50

生成する第3駆動信号生成部703と、駆動信号Sdの周波数fを制御する周波数制御部704と、を有する。また、駆動信号生成部70には、検出用圧電素子4Fから検出信号Spuが入力され、図示しないホストコンピュータから検出信号Spuの第1目標電圧である電圧指令Amが入力される。

【0030】

以下、制御装置7による圧電アクチュエーター4の制御方法について説明する。制御装置7は、検出信号Spuをフィードバックし、検出信号Spuの電圧が第1目標電圧としての電圧指令Amとなるように、すなわち、電圧指令Amを維持するように駆動信号Sdの周波数fを制御する周波数制御モードを有する。また、制御装置7は、検出信号Spuの電圧が第2目標電圧としての目標電圧Vmとなるように駆動信号Sd2の電圧を制御する電圧制御モードを有する。また、制御装置7は、周波数fを予め設定された固定周波数fsに固定して圧電アクチュエーター4の駆動を継続する周波数固定モードを有する。

10

【0031】

図8に示すように、制御装置7は、圧電アクチュエーター4への通電を開始するダウンスイープステップS1と、検出信号Spuが条件Q1を満たすかを判断する判断ステップS2と、を実行する。そして、条件Q1を満たす場合、制御装置7は、電圧制御モードを実行する電圧制御ステップS3および周波数制御モードを実行する周波数制御ステップS4に移行する。一方、条件Q1を満たさない場合、制御装置7は、ダウンスイープステップS1を繰り返す繰返ステップS5に移行し、さらに条件次第では、周波数固定モードを実行する周波数固定ステップS6に移行する。

20

【0032】

ダウンスイープステップS1では、制御装置7は、停止している圧電アクチュエーター4への駆動信号Sdの印加を開始する。そして、駆動信号Sdの周波数fを予め設定された目標周波数fmよりも高い値から目標周波数fmまで掃引すなわち周波数fを目標周波数fmまで段階的または連続的に下げるダウンスイープを行う。また、この際、駆動信号Sdの電圧は、予め設定された値に固定される。

【0033】

具体的には、図9の実線Aで示すように、ダウンスイープステップS1の開始と共に目標周波数fmよりも高い周波数fの駆動信号Sdを圧電アクチュエーター4に印加し、予め定められた掃引レートに基づいて周波数fを目標周波数fmまで連続的に下げる。或いは、図9の実線Bで示すように、ダウンスイープステップS1の開始と共に目標周波数fmよりも高い周波数fの駆動信号Sdを圧電アクチュエーター4に印加し、予め定められた掃引レートに基づいて周波数fを目標周波数fmまで段階的に下げる。前述したように、凸部44が付勢部材5によってローター2に押し付けられているため、凸部44に楕円振動を生じさせることが難しいが、このようなダウンスイープを用いることにより、比較的簡単に、凸部44に楕円振動を生じさせることができる。

30

【0034】

掃引レートすなわち単位時間当たりの周波数fの低下量としては、特に限定されず、圧電アクチュエーター4の駆動特性、圧電モーター1に求められる特性等に基づいて適宜設定することができる。また、掃引レートは、掃引中に一定であってもよいし、途中で変化してもよい。掃引レートが掃引中に変化する場合は、その変化が規則的であってもよいし、不規則であってもよい。

40

【0035】

図6に示すように、目標周波数fmは、電圧指令Amに対応する周波数famよりも高い側に設定されている。つまり、 $f_{am} < f_m$ である。また、圧電モーター1では、比較的高い周波数帯に、検出信号Spuが不安定となる周波数帯Wが存在する場合がある。そこで、予め検出信号Spuが不安定となる周波数帯Wを特定しておき、この周波数帯Wよりも低い周波数帯に目標周波数fmを設定することが好ましい。これにより、判断ステップS2において電圧制御ステップS3に移行できる可能性が高くなる。図6中の破線Hで示すように、圧電アクチュエーター4の個体差、凸部44やローター2の摩耗具合、使用

50

環境等によっては、周波数 f と検出信号 S_{pu} との関係がシフトし、目標周波数 f_m がずれてしまう場合もあるが、 $f_{am} < f_m$ とすれば、ダウンスイープステップ S_1 では検出信号 S_{pu} の電圧が電圧指令 A_m に到達しない、つまり、ローター 2 の駆動速度が目標駆動速度に到達しない可能性が高い。なお、周波数 f_{am} は、シミュレーション、実験、実測、経験則から決定することができる。

【0036】

このようなダウンスイープステップ S_1 では、電圧制御モードおよび周波数制御モードでの制御を行わない。つまり、検出信号 S_{pu} をフィードバックすることなく、予め定められた掃引レートに従ってダウンスイープを行う。これにより、ダウンスイープを安定して行うことができる。

【0037】

制御装置 7 は、ダウンスイープステップ S_1 によって駆動信号 S_d の周波数 f が目標周波数 f_m となった後に判断ステップ S_2 を実行する。制御装置 7 は、判断ステップ S_2 において、検出信号 S_{pu} が条件 Q_1 を満たすかを判断する。条件 Q_1 は、検出信号 S_{pu} が経時的に安定して出力されているかを判断する指標となる。本実施形態では、検出信号 S_{pu} を複数回検出し、検出した複数の検出信号 S_{pu} の電圧差 ΔV が所定電圧差 ΔV_s 内であることを条件 Q_1 としている。

【0038】

所定電圧差 ΔV_s としては、特に限定されないが、複数の検出信号 S_{pu} のうちの 1 つの検出信号 S_{pu} を基準とし、基準とした検出信号 S_{pu} の電圧の $\pm 20\%$ 以内の範囲とすることが好ましい。これにより、適度な範囲を有する所定電圧差 ΔV_s となり、判断ステップ S_2 での判断をより適正に行うことができる。ただし、所定電圧差 ΔV_s としては、特に限定されない。例えば、シミュレーション、実験、経験則等から、検出信号 S_{pu} が安定していないときの検出信号 S_{pu} の振れ幅を求め、その振れ幅よりも小さい範囲を所定電圧差 ΔV_s として定めてもよい。

【0039】

ここで、条件 Q_1 の判断方法について具体的に説明する。ただし、条件 Q_1 の判断方法は、以下の例に限定されない。1 つの例として、図 10 に示すように、まず、制御装置 7 は、第 1 時刻での検出信号 S_{pu} と、第 1 時刻と異なる第 2 時刻での検出信号 S_{pu} と、第 1、第 2 時刻と異なる第 3 時刻での検出信号 S_{pu} と、を検出する。そして、制御装置 7 は、これら 3 つの検出信号 S_{pu} のうちの 1 つの検出信号 S_{pu} を基準 D とし、他の全ての検出信号 S_{pu} の電圧が基準 D とした検出信号 S_{pu} の電圧 $\pm 20\%$ 以内の範囲であれば条件 Q_1 を満足し、 $\pm 20\%$ 以内の範囲でなければ条件 Q_1 を満足しないと判断する。

【0040】

なお、検出信号 S_{pu} の検出回数は、特に限定されず、2 回であってもよいし、4 回以上であってもよい。また、検出信号 S_{pu} を検出する間隔は、均等であってもよいし、不均等であってもよい。また、基準とする検出信号 S_{pu} の決定方法としては、特に限定されず、検出した全ての検出信号 S_{pu} から任意に選択することができる。図 10 では、第 1 時刻での検出信号 S_{pu} を基準 D としている。

【0041】

また、別の例として、まず、制御装置 7 は、第 1 期間において複数の検出信号 S_{pu} を検出し、第 1 期間とは異なる第 2 期間において複数の検出信号 S_{pu} を検出し、第 1、第 2 期間とは異なる第 3 期間において複数の検出信号 S_{pu} を検出する。次に、制御装置 7 は、第 1 期間で検出した複数の検出信号 S_{pu} の平均値を算出し、第 2 期間で検出した複数の検出信号 S_{pu} の平均値を算出し、第 3 期間で検出した複数の検出信号 S_{pu} の平均値を算出する。そして、制御装置 7 は、これら 3 つの平均値のうちの 1 つを基準とし、他の平均値が基準とした平均値 $\pm 20\%$ 以内の範囲であれば条件 Q_1 を満足し、 $\pm 20\%$ 以内でなければ条件 Q_1 を満足しないと判断する。

【0042】

なお、検出信号 S_{pu} を検出する期間の数は、特に限定されず、2 つであってもよいし

10

20

30

40

50

、4つ以上であってもよい。また、各期間の長さは、互いに等しくてもよいし、異なってもよい。また、各期間で検出する検出信号 S_{pu} の数は、特に限定されず、2回であってもよいし、3回以上であってもよい。また、検出する検出信号 S_{pu} の数は、各期間で等しくてもよいし、異なってもよい。また、基準とする平均値の決定方法としては、特に限定されず、算出した全ての平均値から任意に選択することができる。

【0043】

上述した判断ステップ S_2 では、検出信号 S_{pu} が経時的に安定して出力されているかを判断しており、検出信号 S_{pu} の電圧については判断していない。したがって、条件 Q_1 を満たす場合は、次のステップとして、検出信号 S_{pu} の電圧が適正な大きさとなるように、駆動信号 S_{d2} の電圧を制御する。具体的には、条件 Q_1 を満たす場合、制御装置 7 は、電圧制御モードを実行する電圧制御ステップ S_3 に移行する。このステップでは、制御装置 7 は、検出信号 S_{pu} が目標電圧 V_m となるように、駆動信号 S_{d2} の電圧を制御する。目標電圧 V_m は、シミュレーション、実験、実測、経験則等に基づいて、目標周波数 f_m に対応する電圧として設定されている。ただし、目標電圧 V_m は、目標周波数 f_m に対応する電圧でなくてもよい。

【0044】

理想的には、駆動信号 S_d の周波数 f を目標周波数 f_m とすれば検出信号 S_{pu} の電圧は、目標周波数 f_m に対応する目標電圧 V_m となる。しかしながら、前述したように、装置の個体差、摩耗状態、使用環境等によっては、周波数 f と検出信号 S_{pu} との関係が変化し、目標周波数 f_m での検出信号 S_{pu} が目標電圧 V_m から乖離する場合も考えられる。したがって、駆動信号 S_{d2} の電圧を目標電圧 V_m とする電圧制御ステップ S_3 を行うことにより、より適正な駆動信号 S_{d2} を生成することができる。また、後の周波数制御ステップ S_4 での周波数制御だけでは検出信号 S_{pu} の電圧を電圧指令 A_m にすることができない可能性がある。そこで、周波数制御に先立って電圧制御を行い、検出信号 S_{pu} の電圧を目標電圧 V_m まで高めておくことにより、その後の周波数制御ステップ S_4 による制御をより確実に行うことができる。ただし、このような電圧制御ステップ S_3 は、省略してもよい。

【0045】

制御装置 7 は、検出信号 S_{pu} の電圧が目標電圧 V_m になったら、電圧制御ステップ S_3 を終了して、周波数制御モードを実行する周波数制御ステップ S_4 に移行する。このステップでは、制御装置 7 は、検出信号 S_{pu} の電圧が電圧指令 A_m となるように、駆動信号 S_d の周波数 f を制御する。これにより、ローター 2 の駆動速度が目標駆動速度となる。なお、前述したように、装置の摩耗状態、使用環境等によっては、周波数 f と検出信号 S_{pu} との関係がシフトする場合があります。検出信号 S_{pu} の電圧が電圧指令 A_m となるように周波数 f を変化させる必要があり、これが周波数制御ステップ S_4 である。

【0046】

以上、条件 Q_1 を満たす場合について説明した。一方、条件 Q_1 を満たさない場合、制御装置 7 は、条件 Q_1 を満たすまでダウンスイープステップ S_1 を繰り返す繰返ステップ S_5 を実行する。これにより、検出信号 S_{pu} が安定しない状態での電圧制御ステップ S_3 への移行が抑制される。特に、本実施形態では、条件 Q_1 を基準の検出信号 S_{pu} の電圧 $\pm 20\%$ 以内の範囲としている。そのため、検出信号 S_{pu} が安定しない状態での電圧制御ステップ S_3 への移行をより効果的に抑制することができる。

【0047】

繰返ステップ S_5 において実施するダウンスイープステップ S_1 で設定する目標周波数 f_m は、直前に実施したダウンスイープステップ S_1 で設定された目標周波数 f_m と同じとすることができる。つまり、 n を 1 以上の整数としたとき、判断ステップ S_2 によって $n+1$ 回目のダウンスイープステップ S_1 に戻された場合、当該ダウンスイープステップ S_1 の目標周波数 f_m をその直前である n 回目のダウンスイープステップ S_1 での目標周波数 f_m と同じ値とすることができる。これにより、ダウンスイープステップ S_1 を同じ条件で繰り返すことができ、一時的に生じた要因に起因した誤判断を抑制することができ

10

20

30

40

50

る。そのため、制御装置 7 は、圧電モーター 1 を精度よく制御することができる。

【0048】

また、繰返ステップ S 5 において実施するダウンスイープステップ S 1 で設定する目標周波数 f_m は、直前に実施したダウンスイープステップ S 1 の目標周波数 f_m よりも低い値とすることもできる。つまり、図 11 に示すように、判断ステップ S 2 によって $n+1$ 回目 ($n=1$) のダウンスイープステップ S 1 に戻された場合、当該ダウンスイープステップ S 1 の目標周波数 f_{m2} をその直前である n 回目 ($n=1$) のダウンスイープステップ S 1 の目標周波数 f_{m1} よりも低い値に設定することができる。圧電モーター 1 では、圧電アクチュエーター 4 の個体差、凸部 44 やローター 2 の摩耗具合、使用環境等によって、周波数帯 W が変動して低周波数側にシフトする場合がある。そこで、目標周波数 f_{m2} を直前の目標周波数 f_{m1} よりも下げて、改めてダウンスイープステップ S 1 を行うことにより、周波数帯 W を脱する可能性がある。そのため、ダウンスイープステップ S 1 の繰返しによる制御の遅延を効果的に抑制することができる。

10

【0049】

また、繰返ステップ S 5 において実施するダウンスイープステップ S 1 では、駆動信号 S d の周波数 f を、直前に実施したダウンスイープステップ S 1 の目標周波数 f_m から今回の目標周波数 f_m まで掃引する。つまり、図 11 に示すように、 $n+1$ 回目 ($n=1$) のダウンスイープステップ S 1 では、周波数 f を目標周波数 f_{m1} から目標周波数 f_{m2} まで掃引する。これにより、既に掃引が行われた周波数帯での掃引を省略することができ、ダウンスイープステップ S 1 にかかる時間を短縮することができる。ただし、これに限定されず、 $n+1$ 回目のダウンスイープステップ S 1 では、周波数 f を目標周波数 f_{m1} よりも高い周波数から目標周波数 f_{m2} まで掃引してもよい。

20

【0050】

また、ダウンスイープステップ S 1 が繰返し行われ、その都度、目標周波数 f_m が下がり続けるような状態において、周波数 f を目標周波数 f_m まで掃引している最中に周波数 f が予め設定されている下限値 f_{min} 未満となった場合、制御装置 7 は、掃引を停止する。つまり、図 11 に示すように、 $n+2$ 回目 ($n=1$) のダウンスイープステップ S 1 で、周波数 f を目標周波数 f_{m2} から目標周波数 f_{m3} まで掃引する際、周波数 f が下限値 f_{min} 未満となった場合、制御装置 7 は、掃引を停止する。そして、制御装置 7 は、判断ステップ S 2 に進むことなく周波数固定ステップ S 6 に移行する。このステップでは、周波数 f を下限値 f_{min} 以上である固定周波数 f_s に固定して圧電アクチュエーター 4 の駆動を継続する。これにより、周波数 f が下がり過ぎて圧電アクチュエーター 4 の駆動が不安定となるのを抑制することができる。なお、本実施形態では、下限値 f_{min} は、共振周波数 f_0 と等しい値に設定されている。これは、前述したように、周波数 f が共振周波数 f_0 未満となると、圧電アクチュエーター 4 の駆動制御が困難となり、圧電アクチュエーター 4 の駆動が著しく不安定となるためである。ただし、下限値 f_{min} は、特に限定されず、共振周波数 f_0 より高くてもよいし、低くてもよい。

30

【0051】

以上のように、制御装置 7 では、ダウンスイープステップ S 1 の際、従来とは異なり圧電モーター 1 が所定速度に到達したかの判断をしない。つまり、スタート時点付近のローター 2 の駆動速度が所定速度に達していない可能性が高い時刻においては、ローター 2 の駆動速度が所定速度に到達したかの判断を行わない。そのため、その判断処理に起因するダウンスイープの遅延を抑制することができる。したがって、ダウンスイープステップ S 1 にかかる時間をより短くすることができる。また、掃引する周波数帯には検出信号 S p u が不安定な周波数帯 W が含まれるため、不安定な検出信号 S p u に基づいた誤判断がされるおそれもなく、圧電アクチュエーター 4 の駆動をより精度よく制御することができる。

40

【0052】

以上、圧電モーター 1 について詳細に説明した。このような圧電モーター 1 が有する圧電駆動装置 3 は、駆動用圧電素子 4 A ~ 4 E および検出用圧電素子 4 F を備え、駆動信号

50

S dを印加して駆動用圧電素子4 A～4 Eを伸縮させることにより振動し、当該振動に基づいた検出信号S p uが検出用圧電素子4 Fから出力される圧電アクチュエーター4を有する。そして、このような圧電駆動装置3の制御方法は、駆動信号S dの周波数fを目標周波数f mよりも高い値から目標周波数f mまで掃引するダウンスイープステップS 1と、ダウンスイープステップS 1によって周波数fが目標周波数f mとなった後、検出信号S p uを複数回検出し、検出した複数の検出信号S p uの電圧差 ΔV が予め定めた所定電圧差 $\Delta V s$ 内であるかを判断する判断ステップS 2と、を実行する。また、圧電駆動装置3の制御方法は、電圧差 ΔV が所定電圧差 $\Delta V s$ 内である場合は、検出信号S p uの電圧が第1目標電圧である電圧指令A mとなるように周波数fを制御する周波数制御ステップS 4を実行し、電圧差 ΔV が所定電圧差 $\Delta V s$ 内ではない場合は、電圧差 ΔV が所定電圧差 $\Delta V s$ 内となるまでダウンスイープステップS 1を繰り返す繰返ステップS 5を実行する。

10

【0053】

このような制御方法では、ダウンスイープステップS 1の際、従来とは異なりローター2の駆動速度が所定速度に到達したかの判断をしない。つまり、スタート時点付近の駆動速度が所定速度に達していない可能性が高い時刻においては、ローター2が所定速度に到達したかの判断を行わない。そのため、その判断処理に起因するダウンスイープの遅延を抑制することができる。したがって、ダウンスイープステップS 1にかかる時間を短くすることができる。また、ダウンスイープに含まれる比較的高い周波数帯では検出信号S p uが安定しないことが多い。そのため、ダウンスイープステップS 1において、圧電モーター1が所定速度に到達したかの判断を行わないことにより、不安定な検出信号S p uに基づいた誤判断がされるおそれもなくなり、圧電アクチュエーター4の駆動をより精度よく制御することができる。

20

【0054】

また、前述したように、圧電駆動装置3の制御方法では、所定電圧差は、複数の検出信号S p uのうちの1つの検出信号S p uを基準とし、基準とした検出信号S p uの電圧の $\pm 20\%$ 以内の範囲である。これにより、条件Q 1がより適切なものとなる。そのため、検出信号S p uが安定しない状態で電圧制御ステップS 3および周波数制御ステップS 4に移行することをより効果的に抑制することができる。

【0055】

また、前述したように、圧電駆動装置3の制御方法では、繰返ステップS 5において実施するダウンスイープステップS 1の目標周波数f mは、直前に実施したダウンスイープステップS 1の目標周波数f mよりも低い。圧電駆動装置3では、圧電アクチュエーター4の個体差、凸部4 4やローター2の摩耗具合、使用環境等によって、検出信号S p uが不安定となる周波数帯が変動して低周波数側にシフトする場合がある。そこで、目標周波数f mを直前の目標周波数f mよりも下げた状態で改めてダウンスイープステップS 1を行うことにより、検出信号S p uが不安定となる周波数帯を脱することができる可能性がある。そのため、ダウンスイープステップS 1を繰り返すことによる制御の遅延を効果的に抑制することができる。

30

【0056】

また、前述したように、圧電駆動装置3の制御方法では、繰返ステップS 5において実施するダウンスイープステップS 1では、駆動信号S dの周波数fを直前に実施したダウンスイープステップS 1の目標周波数f mから今回の目標周波数f mまで掃引する。これにより、既に掃引が行われた周波数帯での掃引を省略することができ、ダウンスイープステップS 1にかかる時間を短縮することができる。

40

【0057】

また、前述したように、圧電駆動装置3の制御方法では、ダウンスイープステップS 1において周波数fが予め設定されている下限値f m i n未満となったときは、周波数fを下限値f m i n以上である固定周波数f sに固定し、圧電アクチュエーター4の駆動を継続する周波数固定ステップS 6を実行する。これにより、周波数fが下がり過ぎて圧電ア

50

クチュエーター４の駆動が不安定となるのを効果的に抑制することができる。

【００５８】

また、前述したように、圧電駆動装置３の制御方法では、判断ステップＳ２での判断によって周波数制御ステップＳ４に移行する場合は、周波数制御ステップＳ４に先立って、検出用圧電素子４Ｆから出力される検出信号Ｓｐｕの電圧が第２目標電圧としての目標電圧Ｖｍとなるように駆動信号Ｓｄ２の電圧を制御する電圧制御ステップＳ３を実行する。これにより、より確実に、検出信号Ｓｐｕが電圧指令Ａｍとなるように圧電アクチュエーター４の駆動を制御することができる。

【００５９】

また、前述したように、圧電駆動装置３は、駆動用圧電素子４Ａ～４Ｅおよび検出用圧電素子４Ｆを備え、駆動信号Ｓｄを印加して駆動用圧電素子４Ａ～４Ｅを伸縮させることにより振動し、当該振動に基づいた検出信号Ｓｐｕが検出用圧電素子４Ｆから出力される圧電アクチュエーター４と、圧電アクチュエーター４の駆動を制御する制御装置７と、を有する。そして、制御装置７は、駆動信号Ｓｄの周波数ｆを目標周波数ｆｍよりも高い値から目標周波数ｆｍまで掃引し、当該掃引によって周波数ｆが目標周波数ｆｍとなった後、検出信号Ｓｐｕを複数回検出し、検出した複数の検出信号Ｓｐｕの電圧差ΔＶが予め定めた所定電圧差ΔＶｓ内であるかを判断し、電圧差ΔＶが所定電圧差ΔＶｓ内である場合は、検出信号Ｓｐｕの電圧が第１目標電圧である電圧指令Ａｍとなるように周波数ｆを制御し、電圧差ΔＶが所定電圧差ΔＶｓ内ではない場合は、電圧差ΔＶが所定電圧差ΔＶｓ内となるまで掃引を繰り返す。

【００６０】

このような圧電駆動装置３では、ダウンスイープステップＳ１の際、従来とは異なりローター２の駆動速度が所定速度に到達したかの判断をしない。つまり、スタート時点付近の駆動速度が所定速度に達していない可能性が高い時刻においては、ローター２が所定速度に到達したかの判断を行わない。そのため、その判断処理に起因するダウンスイープの遅延を抑制することができる。したがって、ダウンスイープステップＳ１にかかる時間を短くすることができる。また、ダウンスイープに含まれる比較的高い周波数帯では検出信号Ｓｐｕが安定しないことが多い。そのため、ダウンスイープステップＳ１において、圧電モーター１が所定速度に到達したかの判断を行わないことにより、不安定な検出信号Ｓｐｕに基づいた誤判断がされるおそれもなく、圧電アクチュエーター４の駆動をより精度よく制御することができる。

【００６１】

また、前述したように、圧電モーター１は、圧電駆動装置３と、圧電アクチュエーター４によって駆動される被駆動体としてのローター２と、を有する。そのため、圧電モーター１は、圧電駆動装置３の効果を享受することができ、優れた信頼性を発揮することができる。

【００６２】

<第２実施形態>

図１２は、本発明の第２実施形態に係る圧電駆動装置の制御方法を示すフローチャートである。

【００６３】

本実施形態に係る圧電モーター１では、圧電駆動装置３の制御方法、特に、判断ステップＳ２での条件が異なること以外は、前述した第１実施形態の圧電モーター１と同様である。なお、以下の説明では、第２実施形態の圧電モーター１に関し、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図１２では、前述した第１実施形態と同様の構成について、同一符号を付している。

【００６４】

図１２に示すように、制御装置７は、圧電アクチュエーター４への通電を開始するダウンスイープステップＳ１と、検出信号Ｓｐｕが条件Ｑ２を満たすかを判断する判断ステップＳ２と、を実行する。そして、条件Ｑ２を満たす場合、制御装置７は、電圧制御モード

10

20

30

40

50

を実行する電圧制御ステップ S 3 および周波数制御モードを実行する周波数制御ステップ S 4 に移行する。一方、条件 Q 2 を満たさない場合、制御装置 7 は、ダウンスイップステップ S 1 を繰り返す繰返ステップ S 5 に移行し、さらに条件次第では、周波数固定モードを実行する周波数固定ステップ S 6 に移行する。つまり、制御装置 7 は、条件 Q 2 が異なること以外は、前述した第 1 実施形態と同様の方法で圧電アクチュエーター 4 の駆動を制御する。

【0065】

条件 Q 2 は、検出信号 S p u が経時的に安定して出力されているかを判断する指標となる。本実施形態では、検出信号 S p u と駆動信号 S d 2 との位相差を複数回検出し、検出した複数の位相差の差 $\Delta \theta$ が所定位相差 $\Delta \theta_s$ 内であることを条件 2 としている。

10

【0066】

所定位相差 $\Delta \theta_s$ としては、特に限定されないが、複数の差 $\Delta \theta$ のうちの 1 つの差 $\Delta \theta$ を基準とし、基準とした差 $\Delta \theta$ の $\pm 20\%$ 以内の範囲とすることが好ましい。これにより、適度な範囲を有する所定位相差 $\Delta \theta_s$ となり、判断ステップ S 2 での判断をより適正に行うことができる。ただし、所定位相差 $\Delta \theta_s$ としては、特に限定されない。例えば、シミュレーション、実験、経験則等から、検出信号 S p u が安定していないときの位相差の振れ幅を求め、その振れ幅よりも小さい範囲を所定位相差 $\Delta \theta_s$ として定めてもよい。

【0067】

以上、第 2 実施形態の圧電モーター 1 について詳細に説明した。このような圧電モーター 1 が有する圧電駆動装置 3 は、駆動用圧電素子 4 A ~ 4 E および検出用圧電素子 4 F を備え、駆動信号 S d を印加して駆動用圧電素子 4 A ~ 4 E を伸縮させることにより振動し、当該振動に基づいた検出信号 S p u が検出用圧電素子 4 F から出力される圧電アクチュエーター 4 を有する。そして、このような圧電駆動装置 3 の制御方法は、駆動信号 S d の周波数 f を目標周波数 f m よりも高い値から目標周波数 f m まで掃引するダウンスイップステップ S 1 と、ダウンスイップステップ S 1 によって周波数 f が目標周波数 f m となった後、検出信号 S p u と駆動信号 S d 2 との位相差を複数回検出し、検出した複数の位相差の差 $\Delta \theta$ が予め定めた所定位相差 $\Delta \theta_s$ 内であることを判断する判断ステップ S 2 と、を実行する。また、圧電駆動装置 3 の制御方法は、差 $\Delta \theta$ が所定位相差 $\Delta \theta_s$ 内である場合は、検出信号 S p u の電圧が第 1 目標電圧である電圧指令 A m となるように周波数 f を制御する周波数制御ステップ S 4 を実行し、差 $\Delta \theta$ が所定位相差 $\Delta \theta_s$ 内ではない場合は、差 $\Delta \theta$ が所定位相差 $\Delta \theta_s$ 内となるまでダウンスイップステップ S 1 を繰り返す繰返ステップ S 5 を実行する。

20

30

【0068】

このような制御方法では、ダウンスイップステップ S 1 の際、従来とは異なりローター 2 の駆動速度が所定速度に到達したかの判断をしない。つまり、スタート時点付近の駆動速度が所定速度に達していない可能性が高い時刻においては、ローター 2 が所定速度に到達したかの判断を行わない。そのため、その判断処理に起因するダウンスイップの遅延を抑制することができる。したがって、ダウンスイップステップ S 1 にかかる時間を短くすることができる。また、ダウンスイップに含まれる比較的高い周波数帯では位相差が安定しないことが多い。そのため、ダウンスイップステップ S 1 において、圧電モーター 1 が所定速度に到達したかの判断を行わないことにより、不安定な位相差に基づいた誤判断がされるおそれもなくなり、圧電アクチュエーター 4 の駆動をより精度よく制御することができる。

40

【0069】

また、前述したように、圧電駆動装置 3 は、駆動用圧電素子 4 A ~ 4 E および検出用圧電素子 4 F を備え、駆動信号 S d を印加して駆動用圧電素子 4 A ~ 4 E を伸縮させることにより振動し、当該振動に基づいた検出信号 S p u が検出用圧電素子 4 F から出力される圧電アクチュエーター 4 と、圧電アクチュエーター 4 の駆動を制御する制御装置 7 と、を有する。そして、制御装置 7 は、駆動信号 S d の周波数 f を目標周波数 f m よりも高い値から目標周波数 f m まで掃引し、当該掃引によって周波数 f が目標周波数 f m となった後

50

、検出信号 S_{pu} と駆動信号 S_{d2} との位相差を複数回検出し、検出した複数の位相差の差 $\Delta\theta$ が予め定めた所定位相差 $\Delta\theta_s$ 内であるかを判断する。また、制御装置 7 は、差 $\Delta\theta$ が所定位相差 $\Delta\theta_s$ 内である場合は、検出信号 S_{pu} の電圧が第 1 目標電圧である電圧指令 A_m となるように周波数 f を制御し、差 $\Delta\theta$ が所定位相差 $\Delta\theta_s$ 内ではない場合は、差 $\Delta\theta$ が所定位相差 $\Delta\theta_s$ 内となるまで掃引を繰り返す。

【0070】

このような圧電駆動装置 3 では、ダウンスイップステップ S_1 の際、従来とは異なりローター 2 の駆動速度が所定速度に到達したかの判断をしない。つまり、スタート時点付近の駆動速度が所定速度に達していない可能性が高い時刻においては、ローター 2 が所定速度に到達したかの判断を行わない。そのため、その判断処理に起因するダウンスイップの遅延を抑制することができる。したがって、ダウンスイップステップ S_1 にかかる時間を短くすることができる。また、ダウンスイップに含まれる比較的高い周波数帯では位相差が安定しないことが多い。そのため、ダウンスイップステップ S_1 において、圧電モーター 1 が所定速度に到達したかの判断を行わないことにより、不安定な位相差に基づいた誤判断がされるおそれもなくなり、圧電アクチュエーター 4 の駆動をより精度よく制御することができる。

【0071】

このような第 2 実施形態によっても、前述した第 1 実施形態と同様の効果を発揮することができる。

【0072】

<第 3 実施形態>

図 13 は、第 3 実施形態に係るロボットを示す斜視図である。

【0073】

図 13 に示すロボット 1000 は、精密機器やこれを構成する部品の給材、除材、搬送および組立等の作業を行うことができる。ロボット 1000 は、6 軸ロボットであり、床や天井に固定されるベース 1010 と、ベース 1010 に回動自在に連結されたアーム 1020 と、アーム 1020 に回動自在に連結されたアーム 1030 と、アーム 1030 に回動自在に連結されたアーム 1040 と、アーム 1040 に回動自在に連結されたアーム 1050 と、アーム 1050 に回動自在に連結されたアーム 1060 と、アーム 1060 に回動自在に連結されたアーム 1070 と、これらアーム 1020、1030、1040、1050、1060、1070 の駆動を制御するロボット制御装置 1080 と、を有する。

【0074】

なお、ベース 1010 およびアーム 1020、1030、1040、1050、1060、1070 のうちのいずれか 1 つを本実施形態の「第 1 部材」とすることができ、残りのいずれか 1 つを本実施形態の「第 2 部材」とすることができる。以下では、説明の便宜上、ベース 1010 を第 1 部材とし、アーム 1020 を第 2 部材として説明する。

【0075】

また、アーム 1070 にはハンド接続部が設けられており、ハンド接続部にはロボット 1000 に実行させる作業に応じたエンドエフェクター 1090 が装着される。また、各関節部のうちの全部または一部には圧電駆動装置 3 を備えた圧電モーター 1 が搭載されており、この圧電モーター 1 の駆動によって各アーム 1020、1030、1040、1050、1060、1070 が回動する。なお、圧電モーター 1 は、エンドエフェクター 1090 に搭載され、エンドエフェクター 1090 の駆動に用いられてもよい。

【0076】

ロボット制御装置 1080 は、コンピューターで構成され、例えば、CPU 等のプロセッサ、メモリー、インターフェース等を有する。そして、プロセッサが、メモリーに格納されている所定のプログラムを実行することにより、ロボット 1000 の各部の駆動を制御する。なお、前記プログラムは、インターフェースを介して外部のサーバーからダウンロードしてもよい。また、ロボット制御装置 1080 の構成の全部または一部は、ロ

10

20

30

40

50

ボット１０００の外部に設けられ、ＬＡＮ（ローカルエリアネットワーク）等の通信網を介して接続された構成となってもよい。

【００７７】

このようなロボット１０００は、前述したように、第１部材としてのベース１０１０と、ベース１０１０に対して回転する第２部材としてのアーム１０２０と、ベース１０１０に対してアーム１０２０を回転させる圧電駆動装置３と、を有する。そのため、圧電駆動装置３の効果を楽しむことができ、信頼性の高いロボット１０００となる。

【００７８】

以上、本発明の圧電駆動装置の制御方法、圧電駆動装置、圧電モーターおよびロボットを図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、各部の構成は、同様の機能を有する任意の構成のものに置換することができる。また、本発明に、他の任意の構成物が付加されていてもよい。また、各実施形態を適宜組み合わせてもよい。例えば、判断ステップＳ２では、条件Ｑ１および条件Ｑ２を共に判断し、条件Ｑ１、Ｑ２の少なくとも一方を満たしていれば、電圧制御ステップＳ３に移行し、条件Ｑ１、Ｑ２の両方を満たしていなければ、繰返ステップＳ５に移行するようにしてもよい。また、条件Ｑ１、Ｑ２の両方を満たしていれば、電圧制御ステップＳ３に移行し、条件Ｑ１、Ｑ２の少なくとも一方を満たしていなければ、繰返ステップＳ５に移行するようにしてもよい。

【符号の説明】

【００７９】

１…圧電モーター、２…ローター、３…圧電駆動装置、４…圧電アクチュエーター、４Ａ～４Ｅ…駆動用圧電素子、４Ｃ'…第１分割片、４Ｃ''…第２分割片、４Ｆ…検出用圧電素子、５…付勢部材、７…制御装置、２１…外周面、２２…主面、４１…振動体、４２…支持部、４４…凸部、５１…基部、５２…支持部、５３…ばね部、７０…駆動信号生成部、７２…判断部、４１１…シリコン基板、４１２…シリコン基板、４３１、４３２…接続部、７０１…第１駆動信号生成部、７０２…第２駆動信号生成部、７０３…第３駆動信号生成部、７０４…周波数制御部、１０００…ロボット、１０１０…ベース、１０２０、１０３０、１０４０、１０５０、１０６０、１０７０…アーム、１０８０…ロボット制御装置、１０９０…エンドエフェクター、Ａ…実線、Ａ１、Ａ２…矢印、Ａｍ…電圧指令、Ｂ…実線、Ｂ１、Ｂ２…矢印、Ｄ…基準、Ｈ…破線、Ｏ…中心軸、Ｓ１…ダウンスイープステップ、Ｓ２…判断ステップ、Ｓ３…電圧制御ステップ、Ｓ４…周波数制御ステップ、Ｓ５…繰返ステップ、Ｓ６…周波数固定ステップ、Ｓｄ、Ｓｄ１、Ｓｄ２、Ｓｄ３…駆動信号、Ｓｐｕ…検出信号、Ｖｍ…目標電圧、Ｗ…周波数帯、ｆ…周波数、ｆ０…共振周波数、ｆａｍ…周波数、ｆｍ、ｆｍ１、ｆｍ２、ｆｍ３…目標周波数、ｆｍｉｎ…下限値、ｆｓ…固定周波数

10

20

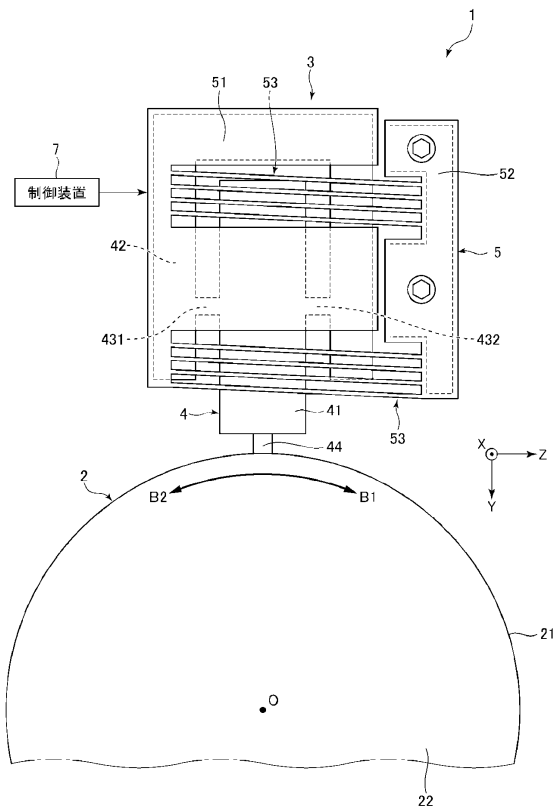
30

40

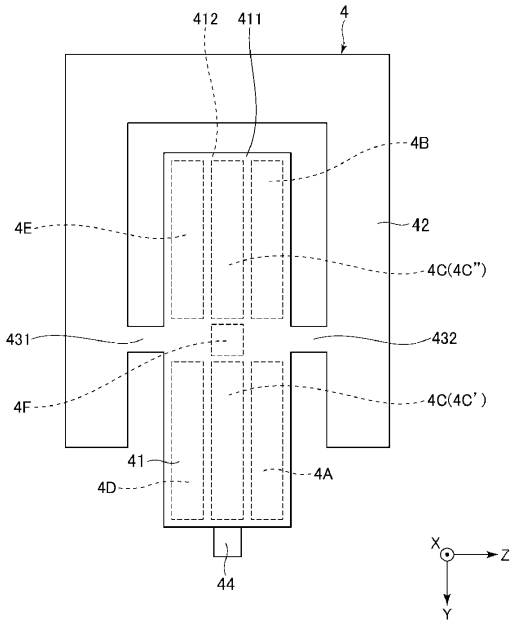
50

【図面】

【図 1】



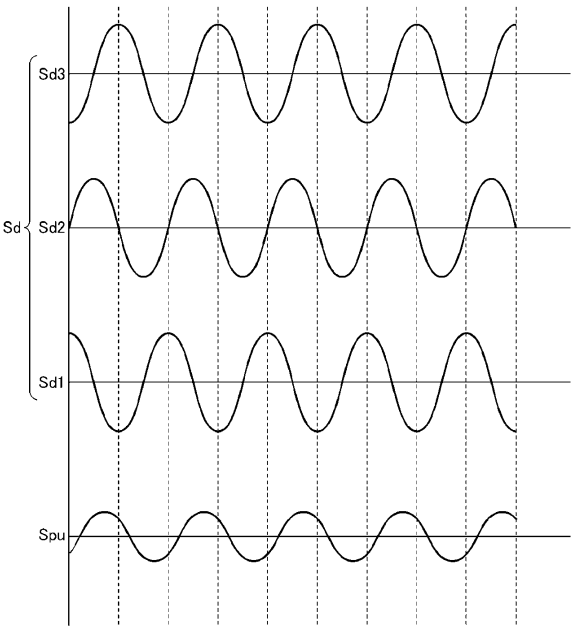
【図 2】



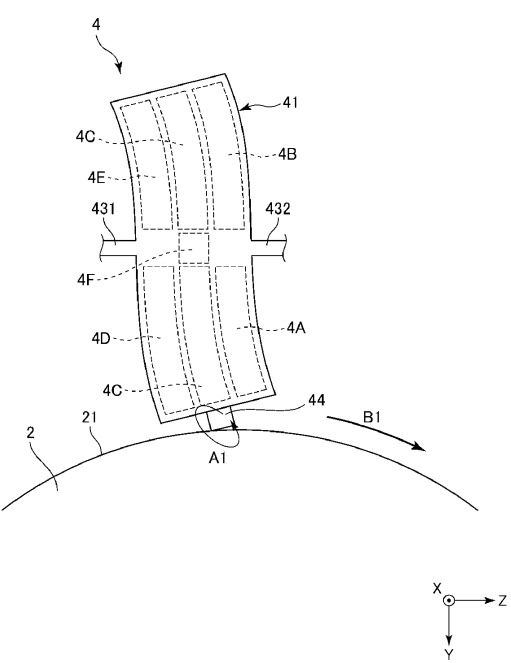
10

20

【図 3】



【図 4】

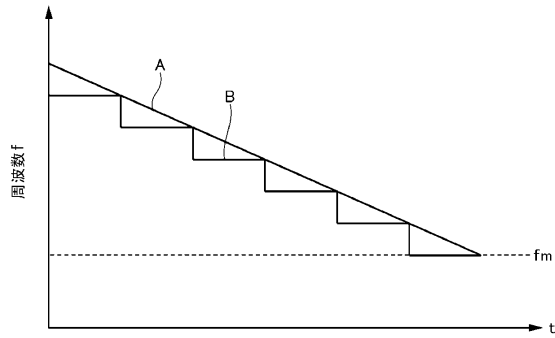


30

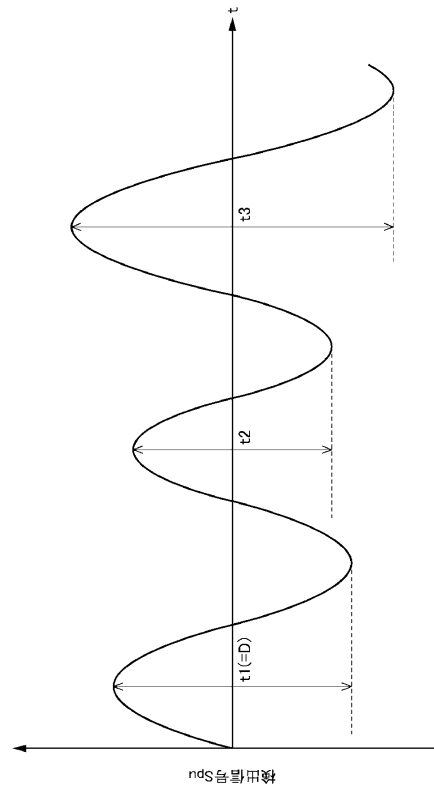
40

50

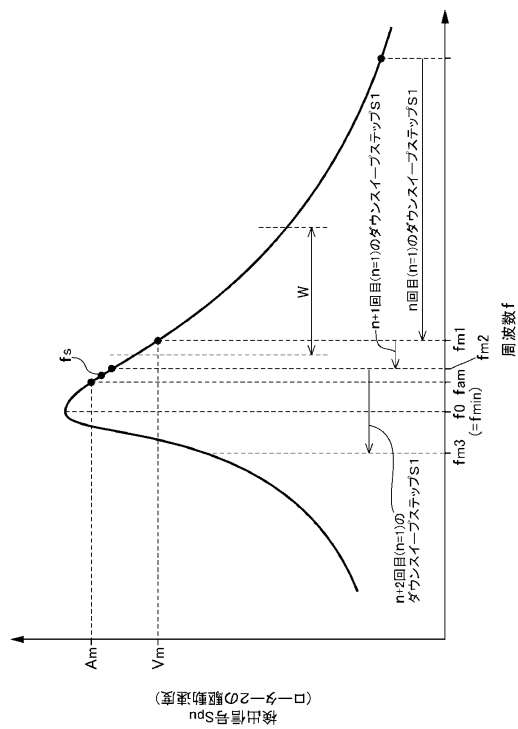
【図 9】



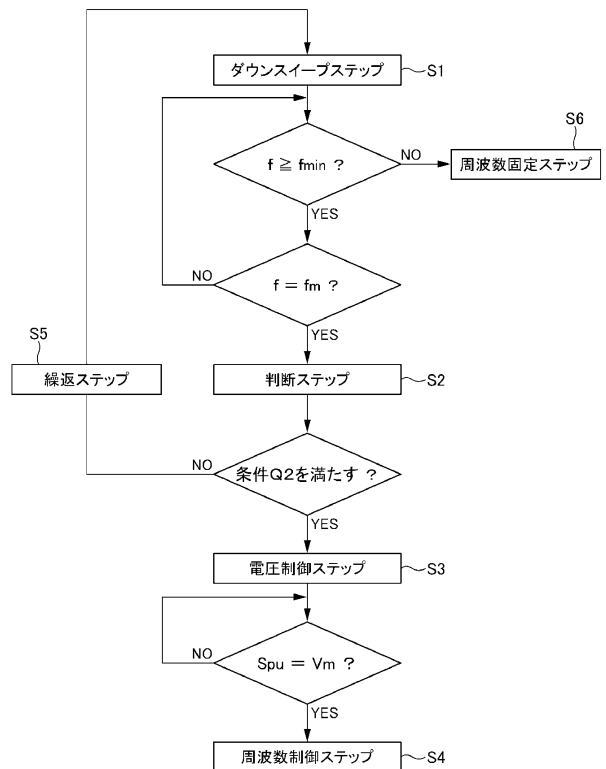
【図 10】



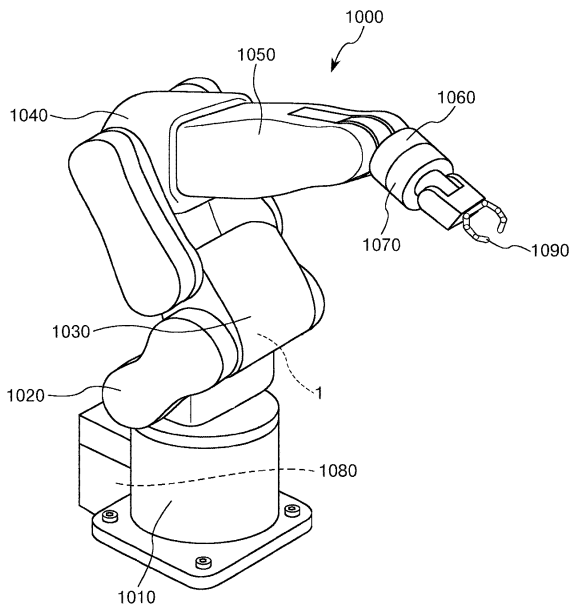
【図 1 1】



【図 12】



【図 13】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2019-114671 (JP, A)
特開 2016-013018 (JP, A)
特開 2012-235656 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H02N 2/14
B25J 13/00