

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-185085

(P2005-185085A)

(43) 公開日 平成17年7月7日(2005.7.7)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H02N 2/00

F I  
H02N 2/00

テーマコード(参考)  
5H680

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2004-224501 (P2004-224501)  
 (22) 出願日 平成16年7月30日(2004.7.30)  
 (31) 優先権主張番号 特願2003-397938 (P2003-397938)  
 (32) 優先日 平成15年11月27日(2003.11.27)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000000376  
 オリンパス株式会社  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号  
 (74) 代理人 100076233  
 弁理士 伊藤 進  
 (72) 発明者 西尾 真博  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 オリンパス株式会社内  
 (72) 発明者 島西 靖明  
 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 オリンパス株式会社内  
 Fターム(参考) 5H680 AA06 AA10 BB02 BB13 CC02  
 DD01 DD12 DD23 DD28 DD37  
 DD39 DD55 DD65 DD72 DD82  
 DD95 DD97 FF26 FF33 FF36

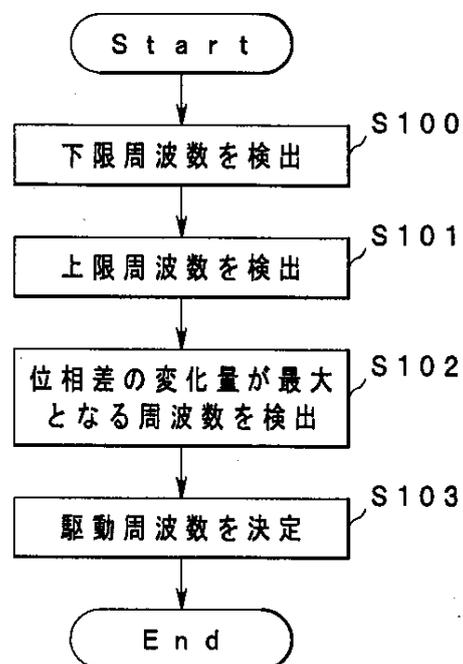
(54) 【発明の名称】 超音波アクチュエータ駆動装置及び超音波アクチュエータ駆動方法

(57) 【要約】

【課題】位相検出を正確に行うように構成したことにより、確実に共振周波数近傍での駆動を行うことができ、駆動効率の良い超音波アクチュエータ駆動装置及び超音波駆動方法を提供すること。

【解決手段】本発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、圧電層2dと内部電極層2cとを交互に積層した超音波アクチュエータ2に交番信号3aを印加することにより駆動を行う超音波アクチュエータ駆動方法であって、前記交番信号3aの電圧と電流の振幅比が所定の値以上である周波数範囲内における、前記交番信号3aの電圧と電流の位相差が所定の状態となる周波数を検出し、駆動周波数をこの検出した周波数に設定する。この方法を実現する超音波アクチュエータ駆動回路1の周波数制御回路11は、前記周波数範囲の下限周波数及び上限周波数を順次検出し、次いで、前記位相差の変化量が最大となる周波数を検出し、これを前記駆動周波数として設定するように制御する。

【選択図】 図15



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

圧電板と内部電極とを交互に積層してなる超音波振動子に交番信号を印加することにより駆動を行う超音波アクチュエータ駆動方法であって、

前記交番信号の電圧と電流の振幅比が所定の値以上である周波数範囲内における、前記交番信号の電圧と電流の位相差が所定の状態となる周波数を検出し、駆動周波数をこの検出した周波数に設定することを特徴とする超音波アクチュエータ駆動方法。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、

前記交番信号の電圧と電流の振幅比が所定の値以上を取る最小の周波数を下限周波数として検出し、前記交番信号の電圧と電流の振幅比が所定の値以上を取る最大の周波数を上限周波数として検出する第 1 のステップと、

前記第 1 のステップで検出された上限周波数と下限周波数で定義される周波数領域内で、前記交番信号の電圧と電流の位相差が所定の状態となる周波数を検出する第 2 のステップと、

駆動周波数を前記第 2 のステップにより検出した周波数に設定する第 3 のステップと、を有したことを特徴とする超音波アクチュエータ駆動方法。

10

## 【請求項 3】

請求項 2 に記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、

前記交番信号の周波数を下方から上方へ掃引しながら前記下限周波数の検出を行い、前記交番信号の周波数を上方から下方へ掃引しながら前記上限周波数の検出を行うことを特徴とする超音波アクチュエータ駆動方法。

20

## 【請求項 4】

請求項 2 に記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、

前記交番信号の周波数を離散的に変化させながら前記下限周波数の検出を行い、前記交番信号の周波数を離散的に変化させながら前記上限周波数の検出を行うことを特徴とする超音波アクチュエータ駆動方法。

## 【請求項 5】

請求項 1 に記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、

前記交番信号の電圧と電流の振幅比が所定の値以上であるか否かの判断と、前記交番信号の電圧と電流の位相差が所定の状態であるか否かの判断とを同時に行い、前記振幅比が所定の値以上で、かつ前記位相差が所定の状態となる周波数を検出し、駆動周波数をこの検出した周波数に設定することを特徴とする超音波アクチュエータ駆動方法。

30

## 【請求項 6】

前記所定の状態は、周波数に対する前記位相差の変化量が最大となる状態であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 つに記載の超音波アクチュエータ駆動方法。

## 【請求項 7】

前記所定の状態は、周波数に対する前記位相差の変化量が所定の値を超えた状態であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 つに記載の超音波アクチュエータ駆動方法。

40

## 【請求項 8】

前記超音波振動子は、

圧電板を同一方向に積層して構成される圧電積層体と、

前記圧電積層体の側面に設けられ、所定の押圧力をもって被駆動部と接触する摩擦部材と、

前記圧電積層体内部に設けられ、第 1 の電極群及び第 2 の電極群を有する内部電極と、

前記内部電極に導通した第 1 の外部電極群及び第 2 の外部電極群を有し、

前記第 1 の外部電極群及び/もしくは前記第 2 の外部電極群に駆動部により交番信号を印加して第 1 の振動モード及び第 2 の振動モードを同時に発生することにより、前記超音

50

波振動子に超音波楕円振動を発生することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 つに記載の超音波アクチュエータ駆動方法。

【請求項 9】

前記超音波振動子は、

前記摩擦部材を介して所定の押圧力を前記圧電積層体に与える第 1 及び第 2 のガイド部材に挟持されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 つに記載の超音波アクチュエータ駆動方法。

【請求項 10】

前記圧電積層体を所定の外形寸法とすることにより、前記所定の押圧力の下で、第 1 の振動モード及び第 2 の振動モードの共振周波数が一致するように構成されていることを特徴とする請求項 8 又は請求項 9 に記載の超音波アクチュエータ駆動方法。

10

【請求項 11】

圧電板と内部電極とを交互に積層した超音波振動子に交番信号を印加することにより駆動を行う超音波アクチュエータ駆動装置であって、

前記交番信号を生成する駆動回路と、

前記交番信号の電圧と電流の振幅比を検出する振幅検出回路と、

前記交番信号の電圧と電流の位相差を検出する位相差検出回路と、

前記振幅比と前記位相差から前記交番信号の周波数を設定する制御回路とを有し、

前記制御回路は、前記振幅比が所定の値以上である周波数範囲内において、前記位相差が所定の状態となる周波数を検出し、駆動周波数を前記周波数に設定することを特徴とする超音波アクチュエータ駆動装置。

20

【請求項 12】

前記超音波振動子は、

圧電板を同一方向に積層して構成される圧電積層体と、

前記圧電積層体の側面に設けられ、所定の押圧力をもって被駆動部と接触する摩擦部材と、

前記圧電積層体内部に設けられ、第 1 の電極群及び第 2 の電極群を有する内部電極と、

前記内部電極に導通した第 1 の外部電極群及び第 2 の外部電極群を有し、

前記第 1 の外部電極群及び/もしくは前記第 2 の外部電極群に駆動部により交番信号を印加して第 1 の振動モード及び第 2 の振動モードを同時に発生することにより、前記超音波振動子に超音波楕円振動を発生することを特徴とする請求項 11 に記載の超音波アクチュエータ駆動装置。

30

【請求項 13】

前記超音波振動子は、

前記摩擦部材を介して所定の押圧力を前記圧電積層体に与える第 1 及び第 2 のガイド部材に挟持されていることを特徴とする請求項 11 又は請求項 12 に記載の超音波アクチュエータ駆動装置。

【請求項 14】

前記圧電積層体を所定の外形寸法とすることにより、前記所定の押圧力の下で、第 1 の振動モード及び第 2 の振動モードの共振周波数が一致するように構成されていることを特徴とする請求項 12 又は請求項 13 に記載の超音波アクチュエータ駆動装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波アクチュエータ駆動装置及び超音波アクチュエータ駆動方法に関し、特に超音波アクチュエータの例えば積層型の超音波振動子に周波電圧の駆動信号を印加することにより、駆動力を発生する超音波アクチュエータ駆動装置及び超音波アクチュエータ駆動方法に関する。

【背景技術】

【0002】

50

近年、電磁型モータに代わる新しいモータとして超音波アクチュエータが注目されている。

この種の超音波アクチュエータは、通常、アクチュエータ駆動装置によって駆動制御が行われている。このアクチュエータ駆動装置は、前記超音波アクチュエータの超音波振動子に周波電圧の駆動信号を印加して、この超音波振動子に超音波楕円振動を発生させることにより、この超音波振動子、あるいはこの超音波振動子に接触している被駆動体を介して駆動力が得られるように制御している。

#### 【0003】

このような超音波アクチュエータ駆動装置による駆動方法の従来技術としては、例えば特開昭63-56178号公報に開示された超音波モータ駆動方法がある。この従来 of 超音波モータ駆動方法を実施するための超音波アクチュエータ駆動回路の構成例が図21に示されている。

10

#### 【0004】

図21示すように、従来 of 超音波アクチュエータ駆動装置は、超音波アクチュエータ駆動回路100と、この超音波アクチュエータ駆動回路100によって駆動が制御される超音波アクチュエータ101とを有している。

#### 【0005】

前記超音波アクチュエータ駆動回路100は、発振回路102、電力増幅回路103、電流検出回路104、位相差検出回路105、位相差条件判定回路106、周波数制御回路107とを有し、前記超音波アクチュエータ101は電流検出回路104を介して電力増幅回路103に接続されている。

20

#### 【0006】

前記発振回路1は、後述する周波数制御回路107より出力される周波数制御信号107aにより決定される周波数の交番信号102aを生成し、電力増幅回路103に供給する。

前記電力増幅回路103は、交番信号102aを増幅し、得た駆動電圧信号103aを電流検出回路104及び位相差検出回路105に供給する。

前記電流検出回路104は、駆動電圧信号103aを超音波アクチュエータ101に印加したときに流れる電流を検出し、検出結果である駆動電流検出信号104aを位相差検出回路105に供給する。

30

前記位相差検出回路105は、駆動電圧信号103aと駆動電流検出信号104aとの位相差を検出し、検出結果である位相差検出信号105aを位相差条件判定回路106に供給する。

前記位相差条件判定回路106は、供給された位相差検出信号105aが所定の値になったときに位相差条件信号106aを周波数制御回路107に供給する。

前記周波数制御回路107は、この超音波アクチュエータ駆動回路100全体を制御する制御手段であり、交番信号102aが高い周波数から低い周波数へ掃引されるように周波数制御信号107aを発振回路102に供給してこの発振回路102による発振動作を制御する。

40

#### 【0007】

上記構成の超音波アクチュエータ駆動回路100において、前記周波数制御回路107は、位相差条件判定回路106より出力される位相差条件信号106aが出力されるまでは交番信号102aの周波数を掃引するように周波数制御信号107aを変化させ、位相差検出信号105aが所定の値となったときに掃引を停止するように制御する。すなわち、この周波数制御回路107は、駆動電流と駆動電圧の位相差が所定の値となる周波数の駆動電圧信号103を得るように制御することができるので、超音波アクチュエータ駆動回路100は、超音波アクチュエータ100の共振周波数と一定関係にある周波数での駆動を行うことが可能となる。

【特許文献1】特開昭63-56178号公報

【発明の開示】

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0008】

一般的な超音波アクチュエータでは、共振周波数より離れた周波数における駆動電流は、共振周波数付近における駆動電流に比較して小さい。したがって、上述した従来の超音波アクチュエータ駆動回路では、周波数制御回路107による周波数掃引範囲内に前記駆動電流が小さい周波数範囲が含まれる場合、駆動電流検出信号がノイズに埋もれるため、周波数掃引中に実際の位相差とは異なる位相差が検出されることもある。その結果、アクチュエータの共振周波数に関係のない周波数で周波数掃引が終了してしまい、アクチュエータの共振周波数とは無関係の周波数で駆動することになり、駆動効率が悪くなってしまふといった問題点があった。

10

## 【0009】

そこで、本発明は上記問題点に鑑みてなされたもので、位相検出を正確に行うように構成したことにより、確実に共振周波数近傍での駆動を行うことができ、駆動効率の良い超音波アクチュエータ駆動装置及び超音波アクチュエータ駆動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】

## 【0010】

請求項1の発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、圧電板と内部電極とを交互に積層してなる超音波振動子に交番信号を印加することにより駆動を行う超音波アクチュエータ駆動方法であって、前記交番信号の電圧と電流の振幅比が所定の値以上である周波数範囲内における、前記交番信号の電圧と電流の位相差が所定の状態となる周波数を検出し、駆動周波数をこの検出した周波数に設定することを特徴とするものである。

20

## 【0011】

請求項2の発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、請求項1に記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、前記交番信号の電圧と電流の振幅比が所定の値以上を取る最小の周波数を下限周波数として検出し、前記交番信号の電圧と電流の振幅比が所定の値以上を取る最大の周波数を上限周波数として検出する第1のステップと、前記第1のステップで検出された上限周波数と下限周波数で定義される周波数領域内で、前記交番信号の電圧と電流の位相差が所定の状態となる周波数を検出する第2のステップと、駆動周波数を前記第2のステップにより検出した周波数に設定する第3のステップと、を有したことを特徴とするものである。

30

## 【0012】

請求項3の発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、請求項2に記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、前記交番信号の周波数を下方から上方へ掃引しながら前記下限周波数の検出を行い、前記交番信号の周波数を上方から下方へ掃引しながら前記上限周波数の検出を行うことを特徴とするものである。

## 【0013】

請求項4の発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、請求項2に記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、前記交番信号の周波数を離散的に変化させながら前記下限周波数の検出を行い、前記交番信号の周波数を離散的に変化させながら前記上限周波数の検出を行うことを特徴とするものである。

40

## 【0014】

請求項5の発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、請求項1に記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、前記交番信号の電圧と電流の振幅比が所定の値以上であるか否かの判断と、前記交番信号の電圧と電流の位相差が所定の状態であるか否かの判断とを同時に行い、前記振幅比が所定の値以上で、かつ前記位相差が所定の状態となる周波数を検出し、駆動周波数をこの検出した周波数に設定することを特徴とするものである。

## 【0015】

請求項6の発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、請求項1乃至請求項5のいずれか1つに記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、前記所定の状態は、周波数に対す

50

る前記位相差の変化量が最大となる状態であることを特徴とするものである。

【0016】

請求項7の発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、請求項1乃至請求項5のいずれか1つに記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、前記所定の状態は、周波数に対する前記位相差の変化量が所定の値を超えた状態であることを特徴とするものである。

【0017】

請求項8の発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、請求項1乃至請求項7のいずれか1つに記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、前記超音波振動子は、圧電板を同一方向に積層して構成される圧電積層体と、前記圧電積層体の側面に設けられ、所定の押圧力をもって被駆動部と接触する摩擦部材と、前記圧電積層体内部に設けられ、第1の電極群及び第2の電極群を有する内部電極と、前記内部電極に導通した第1の外部電極群及び第2の外部電極群を有し、前記第1の外部電極群及び/もしくは前記第2の外部電極群に駆動部により交番信号を印加して第1の振動モード及び第2の振動モードを同時に発生することにより、前記超音波振動子に超音波楕円振動を発生することを特徴とするものである。

10

【0018】

請求項9の発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、請求項1乃至請求項7のいずれか1つに記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、前記超音波振動子は、前記摩擦部材を介して所定の押圧力を前記圧電積層体に与える第1及び第2のガイド部材に狭持されていることを特徴とするものである。

20

【0019】

請求項10の発明の超音波アクチュエータ駆動方法は、請求項8又は請求項9に記載の超音波アクチュエータ駆動方法において、前記圧電積層体を所定の外形寸法とすることにより、前記所定の押圧力の下で、第1の振動モード及び第2の振動モードの共振周波数が一致するように構成されていることを特徴とするものである。

【0020】

請求項11の発明の超音波アクチュエータ駆動装置は、圧電板と内部電極とを交互に積層した超音波振動子に交番信号を印加することにより駆動を行う超音波アクチュエータ駆動装置であって、前記交番信号を生成する駆動回路と、前記交番信号の電圧と電流の振幅比を検出する振幅検出回路と、前記交番信号の電圧と電流の位相差を検出する位相差検出回路と、前記振幅比と前記位相差から前記交番信号の周波数を設定する制御回路とを有し、前記制御回路は、前記振幅比が所定の値以上である周波数範囲内において、前記位相差が所定の状態となる周波数を検出し、駆動周波数を前記周波数に設定することを特徴とするものである。

30

【0021】

請求項12の発明の超音波アクチュエータ駆動装置は、請求項11に記載の超音波アクチュエータ駆動装置において、前記超音波振動子は、圧電板を同一方向に積層して構成される圧電積層体と、前記圧電積層体の側面に設けられ、所定の押圧力をもって被駆動部と接触する摩擦部材と、前記圧電積層体内部に設けられ、第1の電極群及び第2の電極群を有する内部電極と、前記内部電極に導通した第1の外部電極群及び第2の外部電極群を有し、前記第1の外部電極群及び/もしくは前記第2の外部電極群に駆動部により交番信号を印加して第1の振動モード及び第2の振動モードを同時に発生することにより、前記超音波振動子に超音波楕円振動を発生することを特徴とするものである。

40

【0022】

請求項13の発明の超音波アクチュエータ駆動装置は、請求項11又は請求項12に記載の超音波アクチュエータ駆動装置において、前記超音波振動子は、前記摩擦部材を介して所定の押圧力を前記圧電積層体に与える第1及び第2のガイド部材に狭持されていることを特徴とするものである。

【0023】

請求項14の発明の超音波アクチュエータ駆動装置は、請求項12又は請求項13に記

50

載の超音波アクチュエータ駆動装置において、前記圧電積層体を所定の外形寸法とすることにより、前記所定の押圧力の下で、第1の振動モード及び第2の振動モードの共振周波数が一致するように構成されていることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0024】

本発明の超音波アクチュエータ駆動装置及び超音波アクチュエータ駆動方法は、温度変化などの外部要因の変化に伴って超音波アクチュエータの共振状態が変化した場合でも、この超音波アクチュエータの共振周波数近傍を検出し、この検出した共振周波数近傍での駆動信号を用いることにより、駆動効率の良い状態にて超音波アクチュエータを駆動することができるといった利点がある。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

以下、図面を参照して本発明の実施例を説明する。

【実施例1】

【0026】

図1乃至図11は本発明の超音波アクチュエータ駆動方法の第1実施例を示し、図1は超音波アクチュエータ駆動方法を実現する超音波アクチュエータ駆動装置の全体構成を示すブロック図、図2(a)及び図2(b)は本実施例に係る超音波アクチュエータ駆動装置に用いられる超音波アクチュエータの構成例を示すもので、図2(a)は正面図、図2(b)は側面図、図3は超音波アクチュエータの第1変形例を示す正面図、図4乃至図6は超音波アクチュエータの圧電積層体の構成例を示し、図4はY軸方向に積層してなる圧電積層体の分解斜視図、図5はZ軸方向に積層してなる圧電積層体の分解斜視図、図6はX軸方向に積層してなる圧電積層体の分解斜視図、図7は超音波アクチュエータの第2変形例を示す正面図、図8は本実施例の超音波アクチュエータ駆動方法により駆動される超音波アクチュエータの特性を示す特性図であり、図8(a)は速度と周波数との特性を示すグラフ、図8(b)は電圧-電流位相差と周波数との特性を示すグラフ、図8(c)は駆動電流振幅と周波数との特性を示すグラフ、図8(d)は位相差検出信号と周波数との特性を示すグラフである。また、図9及び図11は本実施例の超音波アクチュエータ駆動方法を説明するためのもので、図9は周波数制御回路による駆動周波数を決定する周波数範囲の検出方法を説明するグラフであり、図9(a)は周波数範囲の下限周波数の検出方法を説明する駆動電流振幅と周波数との特性を示すグラフ、図9(b)は周波数範囲の上限周波数の検出方法を説明する駆動電流振幅と周波数との特性を示すグラフ、図9(c)は下限周波数及び上限周波数に基づく周波数範囲を説明する位相差検出信号と周波数との特性を示すグラフである。さらに、図10は図1の周波数領域検出回路からの検出結果に基づき共振周波数近傍を検出する検出方法を説明するグラフであり、図10(a)は検出初期時の電圧-電流位相差と周波数との特性を示すグラフ、図10(b)は検出過程時の電圧-電流位相差と周波数との特性を示すグラフである。図11は図1の周波数制御回路による共振周波数検出処理ルーチンの制御例を示すフローチャートである。

20

30

【0027】

図1に示すように、本実施例の超音波アクチュエータ駆動装置は、超音波アクチュエータ駆動回路1と、この超音波アクチュエータ駆動回路1によって駆動が制御される超音波アクチュエータ2とを有している。

40

前記超音波アクチュエータ駆動回路1は、前記超音波アクチュエータ2を駆動する回路であり、発振回路3、電力増幅回路4、電流検出回路5、位相差検出回路6、電流振幅検出回路7、比較回路8、周波数領域検出回路9、モード制御回路10、及び周波数制御回路11を有し、前記超音波アクチュエータ2は、前記電流検出回路5を介して前記電力増幅回路4に接続されている。

【0028】

ここで、前記超音波アクチュエータ2の構成について説明する。

本実施例の超音波アクチュエータ駆動装置は、例えば図2(a)に示す超音波アクチュ

50

エータ 2 を備えている。この超音波アクチュエータ 2 は、図 2 ( a )、図 2 ( b ) に示すように、角柱形状の圧電積層体で構成された超音波振動子 2 A と、この超音波振動子 2 A の圧電積層体の後述する摩擦部材 1 3 を介して接触するように配設された被駆動部 2 B と、前記超音波振動子 2 A の圧電積層体の左右両側側面それぞれ 2 箇所には設けられた外部電極 1 2 と、前記超音波振動子 2 A の圧電積層体の例えば底面の 2 箇所に接着された摩擦部材 1 3 と、を有している。また、超音波振動子 2 A には、所定の押圧手段 ( 図示せず ) によって所定の押圧力が加えられている。

**【 0 0 2 9 】**

このような超音波振動子 2 A を用いた場合、超音波振動子 2 A に加える押圧力の大きさが変化すると、超音波振動子 2 A の変位量 - 周波数特性は変化する。すなわち、図 2 2 ( a ) 及び図 2 2 ( b ) に示すように、押圧力が 0 k g f、1 k g f、2 k g f と大きくなるにしたがって、変位量 - 周波数特性は、全体的に変位量が小さくなりかつ高周波数側にシフトしていく。また、変位量 - 周波数特性は、縦 1 次振動モードと屈曲 2 次振動モードとで、上述した高周波数側へのシフトの度合いが異なっている。本実施例では、角柱形状の圧電積層体の縦横寸法比を所定の値に設定することにより、ある所定の押圧力の下で、縦 1 次振動モードと屈曲 2 次振動モードの共振周波数が一致するように構成している。

10

**【 0 0 3 0 】**

前記超音波振動子 2 A の圧電積層体は、図 4 に示すように内部電極処理が施された薄い矩形状の圧電板 2 c を Y 軸方向 ( 超音波振動子 2 A の振動方向に対し直交する超音波振動子 2 A の奥行き方向 ) に積層して一体に構成されている。

20

**【 0 0 3 1 】**

図中右側の外部電極 1 2 は、前記超音波振動子 2 A の圧電積層体の図中右側側面部から取り出されている内部電極露出部 ( 図示せず ) に取付けることにより、2 つの電気端子 ( A + , A - の両端子 ) を A ( A 相 ) として構成している。また、図中左側の外部電極 1 2 は、前記圧電積層体の図中左側側面部から取り出されている内部電極露出部 ( 図示せず ) に取付けることにより、2 つの電気端子 ( B + , B - の両端子 ) を B ( B 相 ) として構成している。この場合、A - , B - 端子については、それぞれ A 相、B 相のグラウンドとして構成しているので、リード線等で電氣的に同電位となるように構成しても良い。

**【 0 0 3 2 】**

これらの外部電極 1 2 には、図示はしないがそれぞれリード線が半田等で接続されており、これらリード線は、前記電流検出回路 5 に接続されるようになっている。

30

前記摩擦部材 1 3 は、被駆動部 2 B に接触する前記圧電積層体の底面に発生する屈曲振動の腹の位置にそれぞれ設けられている。

なお、本構成例では、前記超音波振動子 2 A は、長手方向の寸法が例えば 5 ~ 2 0 m m となるよう構成することが望ましい。また、この超音波振動子 2 A 及び前記被駆動部 2 B を含めて超音波アクチュエータ 2 を構成する際に加える押圧力は、例えば 0 . 1 ~ 3 k g f であることが望ましい。

**【 0 0 3 3 】**

上記構成例によれば、効率の良い状態で駆動するのに好適な超音波アクチュエータ 2 を得ることができ、また、上記構成の超音波振動子 2 A を利用することにより、部品点数を少なくすることが可能であり、個体のばらつきも抑えることが可能である。また、超音波振動子 2 A の Q 値が一定値となるように設計することで、ある所定の押圧力の下で縦 1 次振動モードと屈曲 2 次振動モードの共振周波数が一致するので、上述した共振周波数検出処理ルーチンをより効果的に実行することが可能になる。

40

**【 0 0 3 4 】**

なお、本構成例では、超音波振動子 2 A の外部電極 1 2 が圧電積層体の外部表面として該圧電積層体の長手方向の両側面に配置したが、これに限定するものではなく、図 3 の第 1 変形例に示すように、外部電極 1 2 を側面側から引き出して前記圧電積層体の表面に形成しても良く、また、前記圧電積層体の裏面の対応する位置に配置しても良い。

**【 0 0 3 5 】**

50

また、本実施例においては、前記超音波振動子 2 A の圧電積層体の積層方向は、Y 軸方向に積層されているものとして説明したが、これに限定するものではなく、図 5 に示すように、超音波振動子 2 A の圧電積層体の略上半分の積層体である第 1 の圧電積層体 2 a と、略下半分の積層体である第 2 の圧電積層体 2 b とが、絶縁圧電シート 2 d を介して、Z 軸方向（前記超音波振動子 2 A の駆動方向に対し垂直な垂直方向）に積層された構成としても良い。さらに、図 6 に示すように、前記圧電積層体の略左半分の積層体である第 1 の圧電積層体 2 a と、略右半分の積層体である第 2 の圧電積層体 2 b とが絶縁圧電シート 2 d を介して X 軸方向（前記超音波振動子 2 A の駆動方向と同じ水平方向）に積層された構成にすることも可能である。

#### 【0036】

さらに、また、前記第 1 実施例及び前記第 1 変形例の超音波アクチュエータ 2 は、圧電積層体を図示しない絶縁層を介して一体に構成したことについて説明したが、これに限定するものではなく、図 7 の第 2 変形例に示すように角柱形状の基本弾性体 1 8 の長手方向に対し並列に固定された少なくとも 2 つの積層型圧電素子 1 7 A と、前記基本弾性体 1 8 に対しこれら 2 つの前記積層型圧電素子 1 7 A を押圧挾持する保持用弾性体 1 7 B と、被駆動部である接触部 1 9 に接触する前記基本弾性体 1 8 の面に発生する屈曲振動の腹の位置に設けた摩擦部材 1 3 と、を有する超音波振動子を用いて前記超音波アクチュエータ 2 C として構成しても良い。

図 8 に上述した超音波アクチュエータ 2 の特性が示されている。すなわち、この超音波アクチュエータ 2 は、図 8 ( a ) に示す速度と周波数特性において、周波数  $f$  を共振周波数（図 8 ( a ) 中の点線で示す部分）より低い周波数領域で駆動を行うと急激に速度が低下し、逆に、周波数  $f$  を共振周波数より高い周波数領域で駆動を行うと徐々に速度が低下して、ある地点で急激に速度が低下する特性を有している。

また、この超音波アクチュエータ 2 は、その速度 - 周波数特性が周波数の挿引方向によってほとんど変化せず、ヒステリシス現象がほとんど発生しない。すなわち、この超音波アクチュエータ 2 は、図 2 3 に示すように、周波数を共振周波数より高い方から低い方へ挿引して得られる速度 - 周波数特性と共振周波数より低いほうから高い方へ挿引して得られるそれぞれの速度 - 周波数特性にほとんど差が見られない。

また、その速度 - 周波数特性と併せて、この超音波アクチュエータ 2 は、図 8 ( b ) に示すような電圧 - 電流位相差と周波数特性では、共振周波数付近で位相差が急激に変化する特性、及び、周波数の挿引方向に拠らない特性を有している。また、超音波アクチュエータ 2 は、図 8 ( c ) に示す駆動電流 - 周波数特性において、共振周波数付近では位相差を検出するの十分な電流が流れるが、共振周波数より離れると電流振幅が減少し、図 8 ( d ) に示すように、位相差を正確に検出することが困難になる。

#### 【0037】

そこで、本実施例の超音波アクチュエータ駆動装置は、このような特性の有する超音波アクチュエータ 2 の超音波振動子 2 A に対し、前記超音波アクチュエータ駆動回路 1 によって正確に位相検出を行い、確実に共振周波数近傍の交番信号を印加すれば、駆動効率の良い状態でこの超音波アクチュエータ 2 を駆動させることができる。

#### 【0038】

次に、本実施例の超音波アクチュエータ駆動回路 1 の構成について図 1 を参照しながら説明する。

図 1 に示すように、超音波アクチュエータ駆動回路 1 において、前記駆動回路としての発振回路 3 は、周波数制御回路 1 1 より出力される周波数制御信号 1 1 a により決定される周波数の交番信号 3 a を生成する回路で、生成した交番信号 3 a を電力増幅回路 4 に供給する。

#### 【0039】

電力増幅回路 4 は、前記交番信号 3 a を電力増幅し駆動電圧信号 4 a を出力する回路で、増幅した駆動電圧信号 4 a を電流検出回路を介して前記超音波アクチュエータ 2 に供給する。これにより、前記超音波アクチュエータ 2 は、供給された駆動電圧信号 4 a に基づ

10

20

30

40

50

き駆動されるようになっている。

【0040】

電流検出回路5は、前記駆動電圧信号4aを前記超音波アクチュエータ2に印加した際に流れる電流を検出し駆動電流検出信号5aとして出力する回路で、検出した駆動電流検出信号5aを位相差検出回路6及び電流振幅検出回路7に供給する。

【0041】

位相差検出回路6は、前記駆動電圧信号4aと前記駆動電流検出信号5aとの位相差を検出し位相差検出信号6aを出力する回路で、検出した位相差検出信号6aを前記周波数制御回路11に供給する。

【0042】

電流振幅検出回路7は、前記駆動電流検出信号5aの振幅を検出する回路で、検出した振幅結果信号7aを比較回路8の一方の入力端に供給する。この比較回路8の他方の入力端には、入力端子8Aに接続される図示しない駆動電流閾値信号発生手段から比較処理を行うための基準となる駆動電流閾値信号8a1が供給されるようになっている。

比較回路8は、前記電流振幅検出回路7の振幅結果信号7aが所定の値である駆動電流閾値信号8a1を超えたときに電流振幅条件信号8aを出力する回路で、この電流振幅条件信号8aを周波数領域検出回路9に供給する。

【0043】

周波数領域検出回路9は、後述するモード制御回路10からの上方掃引制御信号10aが入力される状態では、電流振幅条件信号8aが入力され始める時点の周波数制御信号を下限周波数信号9bとして出力し、前記モード制御回路10からの下方掃引制御信号10bが入力される状態では、電流振幅条件信号8aが入力され始める時点の周波数制御信号を上限周波数信号9aとして出力する回路である。この周波数領域検出回路9は、前記上限周波数信号9a及び前記下限周波数信号9bをモード制御回路10及び周波数制御回路11に供給する。

【0044】

モード制御回路10と周波数制御回路11は、本実施例の超音波アクチュエータ駆動回路1全体を制御する制御手段(制御回路)である。

モード制御回路10は、前記超音波アクチュエータ2の駆動開始前に上方掃引制御信号10aを出力し、周波数領域検出回路9より前記下限周波数信号9bが出力された後は前記上方掃引制御信号10aの出力を停止するとともに下限掃引制御信号10bを出力する。そして、モード制御回路10は、周波数領域検出回路9より前記上限周波数信号9aが出力された後は下限掃引制御信号10bの出力を停止するとともに周波数追尾制御信号10cを出力する。このモード制御回路10は、前記上方掃引制御信号10a、前記下方掃引制御信号10b及び周波数追尾制御信号10cを前記周波数制御回路11に供給する。

【0045】

周波数制御回路11は、上方掃引制御信号10aが入力される状態では、交番信号3aの周波数が下方から上方へ変化するように周波数制御信号11aを変化させる。また、周波数制御回路11は、下方掃引制御信号10bが入力される状態では、交番信号3aの周波数が上方から下方へ変化するように周波数制御信号11aを変化させる。また、周波数制御回路11は、周波数追尾制御信号10cが入力される状態では、前記上限周波数信号9aと前記下限周波数信号9bとで定義される周波数領域内で、周波数に対する前記位相差検出信号6aの変化量が最大となる周波数を検出し、前記周波数の検出が終了した後は、駆動周波数を検出した前記周波数に設定するように制御する。

【0046】

なお、前記電流振幅検出回路7は、駆動電流検出信号5aの振幅を検出する構成としたが、駆動電圧信号4aの振幅と駆動電流検出信号5aの振幅の比を検出する構成や、超音波アクチュエータ2のアドミッタンスを導出する構成を採用することも可能である。

また、前記位相差検出回路6は、前記駆動電圧信号4aと前記駆動電流検出信号5aの位相差を出力する構成としたが、前記交番信号3aと前記駆動電流検出信号5aの位相差

10

20

30

40

50

を出力する構成を採用することも可能である。

【0047】

次に、本実施例の超音波アクチュエータ駆動回路1の作用について図9及び図15を参照しながら説明する。なお、図15は本発明の超音波アクチュエータ駆動方法を実行した際の周波数制御回路全体の動作の流れを示すフローチャートである。

上記構成の超音波アクチュエータ駆動回路1において、前記周波数制御回路11は、図9(a)に示すように、駆動初期には、駆動電圧信号の周波数を下方から上方へ掃引し、駆動電流の振幅(振幅結果信号7a)が駆動電流閾値信号8a1で定義される値を超える周波数領域の下限値を検出するように制御する(ステップS100)。

【0048】

次に、周波数制御回路11は、図9(b)に示すように駆動電圧信号4aの周波数を上方から下方へ掃引し、駆動電流の振幅(振幅結果信号7a)が駆動電流閾値信号8a1で定義される値を超える周波数領域の上限値を検出するように制御する(ステップS101)。

【0049】

ここで、前記駆動電流閾値信号8a1は、駆動電圧信号4aと駆動電流検出信号5aの位相差が正確に求めることができる最小の電流振幅値に相当する値に設定すると良い。

【0050】

最後に、周波数制御回路11は、図9(c)に示すように、検出された周波数領域L3の上限値と下限値の間で、周波数に対する位相差検出信号6aの変化量が最大となる周波数を検出し(ステップS102)、検出が終了した後に駆動周波数を検出した周波数に設定するように制御する(ステップS103)。

【0051】

次に、周波数に対する位相差検出信号6aの変化量が最大となる周波数の検出方法(図15中のステップS102による検出処理方法)について図10及び図11を参照しながら説明する。

【0052】

いま、本実施例の超音波アクチュエータ駆動装置の駆動方法を実行すると、前記周波数制御回路11は、図11に示す共振周波数検出処理ルーチンを起動し、ステップS1以下、ステップS7までの処理を実行する。

【0053】

ステップS1では、周波数制御回路11は、図10(a)に示す電圧-電流の位相差の特性から検出された共振周波数を含む周波数領域(上限値を $f_{max}$ 、下限値を $f_{min}$ とする領域)の上限値 $f_{max}$ を周波数 $f_2$ に代入し、下限値 $f_{min}$ を周波数 $f_1$ に代入する。

【0054】

そして、周波数制御回路11は、続くステップS2の処理で、周波数 $f_1$ と周波数 $f_2$ の中間値( $(f_1 + f_2) / 2$ )を算出し、周波数 $f_c$ に代入する。

【0055】

次に、周波数制御回路11は、ステップS3の処理で、前記周波数 $f_1$ 、周波数 $f_2$ 及び周波数 $f_c$ のそれぞれの周波数に対応する電圧-電流の位相差(以下、位相差と称す)を検出し、周波数 $f_1$ で検出した位相差を $ph(f_1)$ 、周波数 $f_2$ で検出した位相差を $ph(f_2)$ とし、周波数 $f_c$ で検出した位相差を $ph(f_c)$ へそれぞれ代入する。

【0056】

その後、周波数制御回路11は、ステップS4の判断処理にて、 $|ph(f_c) - ph(f_1)|$ と、 $|ph(f_2) - ph(f_c)|$ とを比較する。ここで、 $|ph(f_2) - ph(f_c)|$ が小さい場合には、続くステップS5の処理にて周波数 $f_2$ を周波数 $f_c$ の値に置き換えて、続くステップS7の処理に移行する。 $|ph(f_c) - ph(f_1)|$ が小さい場合には、ステップS6の処理にて周波数 $f_1$ を周波数 $f_c$ の値に置き換えて、ステップS7の処理に移行する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 7 】

なお、図 1 0 ( b ) では、 $| p h ( f 2 ) - p h ( f c ) |$  が小さい場合になるので、周波数制御回路 1 1 が実行する前記ステップ S 5 の処理によって、周波数  $f 2$  は周波数  $f c$  の値に置き換えられることになる。

## 【 0 0 5 8 】

その後、周波数制御回路 1 1 は、ステップ S 7 の判断処理にて、前記周波数  $f 1$  と前記周波数  $f 2$  とが略等しいか否かを判定する。この場合、周波数制御回路 1 1 は、 $f 1$   $f 2$  の関係を満足するものでなく、つまり、等しくないと判定した場合、前記ステップ S 2 の処理に戻し、このステップ S 2 の処理を再度継続して行う。

## 【 0 0 5 9 】

一方、周波数制御回路 1 1 は、前記ステップ S 7 の判断処理にて、 $f 1$   $f 2$  の関係を満足するもので略等しいと判定した場合には、 $f 1$   $f 2$  になる関係を満足することを認識するとともに、このときの周波数値を超音波振動子 2 A が駆動するのに好適の共振周波数近傍値として設定し、この共振周波数検出処理ルーチンを終了させる。

## 【 0 0 6 0 】

したがって、周波数制御回路 1 1 は、前記ステップ S 2 ~ 前記ステップ S 6 の処理を、 $f 1$   $f 2$  になる関係を満足するまで繰り返し実行することにより、前記共振周波数近傍を高精度に検出することが可能となる。

## 【 0 0 6 1 】

したがって、本実施例によれば、以上の動作により、駆動電流が小さいために駆動電圧と駆動電流の位相差が正確に求めることが出来ない領域を回避して確実に共振周波数近傍の周波数に駆動周波数が設定されるので、駆動効率の良い超音波アクチュエータ 2 の駆動を行うことが可能となる。

なお、本実施形態では、上方掃引の後に下方掃引を行うように制御したが、下方掃引を最初に行い、その後に上方掃引を行うよう制御しても、上記実施例と同様の効果を得ることができる。

また、本実施形態では、アクチュエータ駆動回路 1 を全て回路で構成した場合について説明したが、これに限定されることはなく、マイコンなどを用いてソフトウェアで構成することも可能である。その場合、周波数制御回路 1 1 , 周波数領域検出回路 9 , モード制御回路 1 0 等をソフト的に置き換えた構成を採用すれば良い。

## 【 実施例 2 】

## 【 0 0 6 2 】

図 1 2 乃至図 1 5 は本発明の超音波アクチュエータ駆動方法の第 2 実施例を示し、図 1 2 は超音波アクチュエータ駆動方法を実現する超音波アクチュエータ駆動装置の全体構成を示すブロック図、図 1 2 乃至図 1 5 は本実施例の超音波アクチュエータ駆動方法を説明するためのもので、図 1 3 は周波数制御回路による下限周波数の検出方法を説明するグラフであり、図 1 3 ( a ) は共振回路の設定可能な周波数範囲を説明する駆動電流振幅と周波数との特性を示すグラフ、図 1 3 ( b ) は周波数範囲の下限周波数の検出方法を説明する駆動電流振幅と周波数との特性を示すグラフである。また、図 1 4 は図 1 2 の周波数制御回路による下限周波数検出処理ルーチンの制御例を示すフローチャートであり、図 1 5 は本発明の超音波アクチュエータ駆動方法を実行した際の周波数制御回路全体の動作の流れを示すフローチャートである。なお、図 1 5 は前記第 1 実施例及び第 2 実施例共通である。また、図 1 2 は前記第 1 実施例と同様に構成要素については同一の符号を付して説明を省略し、異なる部分のみを説明する。

## 【 0 0 6 3 】

本実施例の超音波アクチュエータ駆動装置は、超音波アクチュエータ駆動回路 1 A と、超音波アクチュエータ 2 を有している。この超音波アクチュエータ 2 は前記第 1 実施例と同様である。また、前記超音波アクチュエータ駆動回路 1 A は、前記第 1 実施例における周波数領域検出回路 9 を削除している。

## 【 0 0 6 4 】

10

20

30

40

50

図 1 2 に示すように、超音波アクチュエータ駆動回路 1 A において、前記発振回路 3 は、周波数制御回路 1 1 A より出力される周波数制御信号 1 1 a により決定される周波数の交番信号 3 a を生成する回路で、生成した交番信号 3 a を電力増幅回路 4 に供給する。

【 0 0 6 5 】

電力増幅回路 4 は、前記交番信号 3 a を電力増幅し駆動電圧信号 4 a を出力する回路で、増幅した駆動電圧信号 4 a を電流検出回路を介して前記超音波アクチュエータ 2 に供給する。これにより、前記超音波アクチュエータ 2 は、供給された駆動電圧信号 4 a に基づき駆動されるようになっている。

【 0 0 6 6 】

電流検出回路 5 は、前記駆動電圧信号 4 a を前記超音波アクチュエータ 2 に印加した際に流れる電流を検出し駆動電流検出信号 5 a として出力する回路で、検出した駆動電流検出信号 5 a を位相差検出回路 6 及び電流振幅検出回路 7 に供給する。

【 0 0 6 7 】

位相差検出回路 6 は、前記駆動電圧信号 4 a と前記駆動電流検出信号 5 a との位相差を検出し位相差検出信号 6 a を出力する回路で、検出した位相差検出信号 6 a を前記周波数制御回路 1 1 A に供給する。

【 0 0 6 8 】

電流振幅検出回路 7 は、前記駆動電流検出信号 5 a の振幅を検出する回路で、検出した振幅結果信号 7 a を比較回路 8 の一方の入力端に供給する。この比較回路 8 の他方の入力端には、入力端子 8 A に接続される図示しない駆動電流閾値信号発生手段から比較処理を行うための基準となる駆動電流閾値信号 8 a 1 が供給されるようになっている。

比較回路 8 は、前記電流振幅検出回路 7 の振幅結果信号 7 a が所定の値である駆動電流閾値信号 8 a 1 を超えたときに電流振幅条件信号 8 a を出力する回路で、この電流振幅条件信号 8 a を周波数制御回路 1 1 A に供給する。

【 0 0 6 9 】

モード制御回路 1 0 A と周波数制御回路 1 1 A は、本実施例の超音波アクチュエータ駆動回路 1 A 全体を制御する制御手段である。

モード制御回路 1 0 A は、前記超音波アクチュエータ 2 の駆動開始前に下限周波数検出制御信号 1 0 e を出力し、周波数制御回路 1 1 A より動作完了信号 1 1 b が入力された後は前記下限周波数検出制御信号 1 0 e の出力を停止するとともに上限周波数検出制御信号 1 0 d を出力する。そして、モード制御回路 1 0 A は、周波数制御回路 1 1 A より前記動作完了信号 1 1 b が入力された後は前記上限周波数検出制御信号 1 0 d の出力を停止するとともに周波数追尾制御信号 1 0 f を出力する。このモード制御回路 1 0 A は、前記下限周波数検出制御信号 1 0 e、前記上限周波数検出制御信号 1 0 d 及び周波数追尾制御信号 1 0 f を前記周波数制御回路 1 1 A に供給する。

【 0 0 7 0 】

周波数制御回路 1 1 A は、下限周波数検出制御信号 1 0 e が入力される状態では、周波数を離散的に変化させながら電流振幅条件信号 8 a が出力される下限周波数を検出する。また、周波数制御回路 1 1 A は、上限周波数検出制御信号 1 0 d が入力される状態では、周波数を離散的に変化させながら電流振幅条件信号 8 a が出力される上限周波数を検出する。また、周波数制御回路 1 1 A は、周波数追尾制御信号 1 0 f が入力される状態では、前記上限周波数と前記下限周波数とで定義される周波数領域内で、周波数に対する前記位相差検出信号 6 a の変化量が最大となる周波数を検出し、前記周波数の検出が終了した後は、駆動周波数を検出した前記周波数に設定するように制御する。

その他の構成については、前記第 1 実施例と同様である。

【 0 0 7 1 】

次に、本実施例の超音波アクチュエータ駆動回路 1 A の作用について図 1 5 を参照しながら説明する。

上記構成の超音波アクチュエータ駆動回路 1 A において、前記周波数制御回路 1 1 A は、駆動初期には、駆動電流の振幅（振幅結果信号 7 a）が駆動電流閾値信号 8 a 1 で定義

10

20

30

40

50

される値を超える周波数領域の下限周波数（下限値）を検出するように制御する（ステップS100）。

【0072】

次に、周波数制御回路11Aは、駆動電流の振幅（振幅結果信号7a）が駆動電流閾値信号8a1で定義される値を超える周波数領域の上限周波数（上限値）を検出するように制御する（ステップS101）。

ここで、前記駆動電流閾値信号8a1は、駆動電圧信号4aと駆動電流検出信号5aの位相差が正確に求めることができる最小の電流振幅値に相当する値に設定すると良い。

【0073】

そして、周波数制御回路11Aは、検出された周波数領域L3（図9（c）参照）の上限値と下限値の間で、周波数に対する位相差検出信号6aの変化量が最大となる周波数を検出する（ステップS102）。 10

【0074】

最後に、周波数制御回路11Aは、駆動周波数を、前記ステップS102の処理で検出した周波数に設定するように制御する。

【0075】

次に、前記ステップS100による下限周波数の検出処理方法について図13及び図14を参照しながら説明する。

【0076】

いま、本実施例の超音波アクチュエータ駆動装置の駆動方法を実行し、図15中のステップS100の処理を実行すると、前記周波数制御回路11Aは、図14に示す下限値検出処理ルーチンを起動し、ステップS10以下、ステップS17までの処理を実行する。 20

【0077】

ステップS10では、周波数制御回路11Aは、発振回路3の設定可能な周波数領域（上限値を $f_{max}$ 、下限値を $f_{min}$ とする領域：図13（a）参照）の下限値 $f_{min}$ を周波数 $f_a$ に代入する。

【0078】

そして、周波数制御回路11Aは、続くステップS11の処理で、上限値 $f_{max}$ と下限値 $f_{min}$ の中間値 $(f_{max} + f_{min}) / 2$ を周波数 $f_b$ に代入し（図13（b）参照）、ステップS12に移行する。 30

その後、周波数制御回路11Aは、ステップS12の処理で、周波数 $f_a$ と周波数 $f_b$ の中間値 $(f_a + f_b) / 2$ を周波数 $f_{cc}$ に代入し、ステップS13に移行する。

次に、周波数制御回路11Aは、ステップS13の判断処理にて、周波数 $f_{cc}$ で駆動した時に、電流振幅条件信号8aが出力されているか否かを判断する。この場合、前記周波数制御回路11Aは、図13（b）に示すように、前記電流振幅条件信号8aが出力されていないと判断した場合には、続くステップS15の処理にて、周波数 $f_a$ を周波数 $f_{cc}$ に置き換えて、ステップS16の判断処理に移行する。一方、周波数制御回路11Aは、前記電流振幅条件信号8aが出力されていると判断した場合には、続くステップS14の処理にて、周波数 $f_b$ を周波数 $f_{cc}$ に置き換えて、ステップS16の判断処理に移行する。 40

【0079】

ステップS16の判断処理では、周波数制御回路11Aは、前記周波数 $f_a$ と前記周波数 $f_{cc}$ とが略等しいか否か、もしくは前記周波数 $f_b$ が前記周波数 $f_{cc}$ とが略等しいか否かを判定する。この場合、周波数制御回路11Aは、 $f_a = f_{cc}$ もしくは $f_b = f_{cc}$ の関係を満足するものでなく、つまり、等しくないと判定した場合、前記ステップS12の処理に戻し、このステップS12の処理を再度継続して行う。

【0080】

一方、周波数制御回路11Aは、前記ステップS16の判断処理にて、 $f_a = f_{cc}$ もしくは $f_b = f_{cc}$ の関係を満足するもので略等しいと判定した場合には、 $f_a = f_{cc}$ もしくは $f_b = f_{cc}$ になる関係を満足することを認識するとともに、このときの周波数 50

値  $f_{cc}$  を下限周波数（下限値）として設定し、この下限値検出処理ルーチンを終了させる。

#### 【0081】

したがって、周波数制御回路 11A は、前記ステップ S12 ~ 前記ステップ S16 の処理を、 $f_a = f_{cc}$  もしくは  $f_b = f_{cc}$  になる関係を満足するまで繰り返し実行することにより、駆動電流の振幅（振幅結果信号 7a）が駆動電流閾値信号 8a1 で定義される値を超える周波数領域の下限周波数（下限値）を高精度に検出することが可能となる。

#### 【0082】

なお、本実施例では、上述した周波数制御回路 11A による制御例は、下限値の周波数検出処理について説明したが、これに限定されるものではなく、図 15 中のステップ S101 に示す上限値の周波数検出処理についても同様に行うように制御しても良い。また、本実施例の周波数制御回路 11A は、周波数に対する位相差検出信号 6a の変化量が最大となる周波数の検出方法については、前記第 1 実施例と同様に制御する。

#### 【0083】

したがって、本実施例によれば、前記第 1 実施例と同様に、駆動電流が小さいために駆動電圧と駆動電流の位相差が正確に求めることができない領域を回避して確実に共振周波数近傍の周波数に駆動周波数が設定されるので、駆動効率の良い超音波アクチュエータ 2 の駆動を行うことが可能となる。

なお、本実施形態では、下限周波数検出処理（図 15 のステップ S100 の処理）の後に上限周波数検出処理（図 15 のステップ S101 の処理）を行うように制御したが、前記上限周波数検出処理を最初に行い、その後前記下限周波数検出処理を行うよう制御しても、上記実施例と同様の効果を得ることができる。

また、本実施形態では、アクチュエータ駆動回路 1A を全て回路で構成した場合について説明したが、これに限定されることはなく、マイコンなどを用いてソフトウェアで構成することも可能である。その場合、周波数制御回路 11A、モード制御回路 10A 等をソフト的に置き換えた構成を採用すれば良い。

#### 【実施例 3】

#### 【0084】

図 16 乃至図 19 は本発明の超音波アクチュエータ駆動方法の第 3 実施例を示し、図 16 は超音波アクチュエータ駆動方法を実現する超音波アクチュエータ駆動装置の全体構成を示すブロック図、図 17 (a) 及び図 17 (b) は本実施例に係る超音波アクチュエータ駆動装置に用いられる超音波アクチュエータの構成例を示すもので、図 17 (a) は正面図、図 17 (b) は側面図、図 18 は本実施例の超音波アクチュエータの第 1 変形例を示す側面図、図 19 は本実施例の超音波アクチュエータの第 2 変形例を示す正面図、図 20 は本実施例の超音波アクチュエータ駆動方法を説明するためのグラフであり、図 20 (a) は駆動電流振幅と周波数との特性を示すグラフ、図 20 (b) は周波数設定信号と周波数との特性を示すグラフ、図 20 (c) は設定が禁止される周波数範囲を説明する位相差検出信号と周波数との特性を示すグラフである。なお、図 16 乃至図 19 は前記第 1 実施例と同様に構成要素については同一の符号を付して説明を省略し、異なる部分のみを説明する。

#### 【0085】

本実施例の超音波アクチュエータ駆動装置は、超音波アクチュエータ駆動回路 1B と、超音波アクチュエータ 2D を有している。なお、本実施例の超音波アクチュエータ駆動装置は、前記超音波アクチュエータ 2D の構成が前記第 1 実施例とは異なり、また、前記超音波アクチュエータ駆動回路 1B については、前記第 1 実施例の構成要素である周波数領域検出回路 9 及びモード制御回路 10 を削除し、新たに位相差条件判定回路 14 を設けて構成したことが前記第 1 実施例とは異なっている。

#### 【0086】

図 16 に示すように、アクチュエータ駆動回路 1B は、前記超音波アクチュエータ 2D を駆動する回路であり、発振回路 3、電力増幅回路 4、電流検出回路 5、位相差検出回路

10

20

30

40

50

6、電流振幅検出回路7、比較回路8A、周波数制御回路11B、位相差条件判定回路14を有し、前記超音波アクチュエータ2Dは電流検出回路5を介して前記電力増幅回路4に接続されている。

【0087】

ここで、本実施例に用いられる前記超音波アクチュエータ2Dの構成について説明する。

本実施例の超音波アクチュエータ駆動装置は、例えば図17(a)に示す超音波アクチュエータ2Dを備えている。この超音波アクチュエータ2Dは、図17(a)、図17(b)に示すように、超音波振動子2Aを構成する圧電積層体の上面及び底面に少なくとも2箇所ずつに摩擦部材13を設けるとともに、この圧電積層体に所定の押圧力を与えながら挟持する第1のガイド15及び第2のガイド16を有している。また、超音波振動子2Aには、前記ガイド11、12などを含む所定の押圧手段(図示せず)によって所定の押圧力が加えられている。

【0088】

このような超音波振動子2Aを用いた場合においても同様に、超音波振動子2Aに加える押圧力の大きさが変化すると、超音波振動子2Aの変位量-周波数特性は変化する。すなわち、図22(a)及び図22(b)に示すように、押圧力が0kgf、1kgf、2kgfと大きくなるにしたがって、変位量-周波数特性は、全体的に変位量が小さくなりかつ高周波数側にシフトしていく。また、変位量-周波数特性は、縦1次振動モードと屈曲2次振動モードとで、上述した高周波数側へのシフトの度合いが異なっている。本実施例では、角柱形状の圧電積層体の縦横寸法比を所定の値に設定することにより、ある所定の押圧力の下で、縦1次振動モードと屈曲2次振動モードの共振周波数が一致するように構成している。

【0089】

なお、前記摩擦部材13は、超音波アクチュエータ2Dが最も高レベルの出力特性を得ることができる任意の位置、すなわち、超音波振動子2Aの最も高レベルの超音波楕円振動が行われる位置に設けるのが望ましい。一般には、楕円振動を行うことが駆動の源となるため、少なくとも1個以上の摩擦部材13では図17中に示す矢印のように楕円振動が起こっており、全ての摩擦部材13の部位で生ずる振動による駆動力の総和が0にならないように前記摩擦部材13を配置すれば良い。

【0090】

なお、本構成例では、前記超音波振動子2Aは、長手方向の寸法が例えば5~20mmとなるよう構成することが望ましい。また、この超音波振動子2A及び前記第1、第2のガイド15、16を含めて超音波アクチュエータ2Dを構成する際に加える押圧力は、例えば30gf~100gfであることが望ましい。

また、本構成例の超音波アクチュエータ2Dの特性及び前記超音波振動子2Aの圧電積層体の積層方向は、前記第1実施例と略同様である。

【0091】

本実施例の超音波アクチュエータ2Dは、前記超音波アクチュエータ駆動装置によって交番信号の駆動信号が印加されると、超音波振動子2Aの摩擦部材13近傍で楕円振動が生じることにより、この超音波振動子2Aが前記第1及び第2のガイド15、16にガイドされながら左右に駆動する。

その他の作用については、前記第1実施例(図2参照)と同様である。

【0092】

上記構成例によれば、効率の良い状態で駆動するのに好適な超音波アクチュエータ2Dを得ることができ、また、上記構成の超音波振動子2Aを利用することにより、部品点数を少なくすることが可能であり、個体のばらつきも抑えることが可能である。また、超音波振動子2AのQ値が一定値となるように設計することで、ある所定の押圧力の下で縦1次振動モードと屈曲2次振動モードの共振周波数が一致するので、上述した共振周波数検出処理ルーチンをより効果的に実行することが可能になる。

10

20

30

40

50

## 【0093】

なお、本実施例では、超音波振動子2Aの外部電極12が圧電積層体の外部表面として該圧電積層体の長手方向の両側面に配置したが、これに限定するものではなく、図19の第2変形例に示すように、外部電極12を側面側から引き出して前記圧電積層体の表面に形成しても良く、また、前記圧電積層体の裏面に対応する位置に配置しても良い。

## 【0094】

さらに、前記第1及び第2のガイド15, 16は、図17(a)に示すように、角柱状に形成されたものについて説明したが、これに限定するものではなく、例えば図18の第1変形例に示すように、円柱状のものを用いても良いし、半円中状のものを用いても良い。前記摩擦部材13Aは、それに伴い、前記第1及び第2のガイド15A, 16Aの形状に合わせてU字状、あるいはV字状に形成されたものを用いることが必要である。

10

## 【0095】

次に、本実施例の超音波アクチュエータ駆動回路1Bの構成について説明する。

## 【0096】

図16に示すように、超音波アクチュエータ駆動回路1Bにおいて、前記発振回路3は、周波数制御回路11Bより出力される周波数制御信号11aにより決定される周波数の交番信号3aを生成する回路で、生成した交番信号3aを電力増幅回路4に供給する。

## 【0097】

電力増幅回路4は、前記交番信号3aを電力増幅し駆動電圧信号4aを出力する回路で、増幅した駆動電圧信号4aを電流検出回路を介して前記超音波アクチュエータ2に供給する。これにより、前記超音波アクチュエータ2Dは、供給された駆動電圧信号4aに基づき駆動されるようになっている。

20

## 【0098】

電流検出回路5は、前記駆動電圧信号4aを前記超音波アクチュエータ2Dに印加した際に流れる電流を検出し駆動電流検出信号5aとして出力する回路で、検出した駆動電流検出信号5aを位相差検出回路6及び電流振幅検出回路7に供給する。

## 【0099】

位相差検出回路6は、前記駆動電圧信号4aと前記駆動電流検出信号5aとの位相差を検出し位相差検出信号6aを出力する回路で、検出した位相差検出信号6aを位相差条件判定回路14に供給する。

30

## 【0100】

位相差条件判定回路14は、周波数に対する前記位相差検出信号6aの変化量が所定の値を超えたときに位相差条件信号14aを出力する回路で、例えば図示はしないが微分回路や比較回路等を有しており、これらの回路により生成された前記位相差条件信号14aを前記周波数制御回路11Bに供給する。

## 【0101】

電流振幅検出回路7は、前記駆動電流検出信号5aの振幅を検出する回路で、検出した振幅結果信号7aを比較回路8Aの一方の入力端に供給する。この比較回路8Aの他方の入力端には、入力端子8Aに接続される図示しない駆動電流閾値信号発生手段から比較処理を行うための基準となる駆動電流閾値信号8a1が供給されるようになっている。

40

比較回路8Aは、前記電流振幅検出回路7の振幅結果信号7aが所定の値である駆動電流閾値信号8a1を下回ったときに周波数設定禁止信号8bを出力する回路で、この周波数設定禁止信号8bを前記周波数制御回路11Bに供給する。

## 【0102】

周波数制御回路11Bは、本実施例の超音波アクチュエータ駆動回路1B全体を制御する制御手段である。この周波数制御回路11Bは、周波数を掃引し、比較回路8Aより周波数設定禁止信号8bが出力されておらず、且つ位相差条件判定回路14より位相差条件信号14aが出力される周波数を、駆動周波数に設定する回路である。

## 【0103】

次に、本実施例の超音波アクチュエータ駆動回路1Bの作用について図20を参照しな

50

がら説明する。

【0104】

上記構成の超音波アクチュエータ駆動回路1Bにおいて、前記周波数制御回路11Aは、例えば図20(a)に示す周波数を上方から下方へ一定の速度で掃引する。すると、このときの位相差検出信号6aは、前記周波数制御回路11Aによる周波数掃引に合わせて変化することになる。また、周波数掃引の速度は一定であるので、前記位相差条件判定回路14に含まれる図示しない微分回路により、前記位相差検出信号6aを微分することで、周波数に対する位相差検出信号6aの変化量を導くことができる。

よって、前記位相差条件判定回路14は、前記微分回路(図示せず)の出力を比較回路(図示しない)で比較することにより、周波数に対する位相差検出信号6aの変化量が所定の値を超えたか否かを検出することが出来る(図20(c)参照)。この検出結果、すなわち、前記比較回路(図示せず)の出力を位相差条件信号14aとして前記周波数制御回路11Bに供給すると、この周波数制御回路11Bは、図20(b)に示す周波数設定禁止信号8bがローレベルである有効期間において、前記位相差条件信号14aを認識して掃引を停止させ、共振周波数近傍の周波数を検出する。そして、周波数制御回路11Bは、前記第1実施例と同様にこの周波数を駆動周波数に設定する。

10

【0105】

なお、本実施例では、前記周波数制御回路11Bは、図20(c)に示すように、駆動電流値が小さいため、位相を検出できない周波数領域では、前記比較回路8Aにより出力された前記周波数設定禁止信号8bを認識しているので、共振周波数と無関係の周波数に駆動周波数を設定しないように制御することができる。

20

【0106】

したがって、本実施例によれば、以上の動作により、駆動電流が小さいために駆動電圧と駆動電流の位相差が正確に求めることが出来ない領域を回避して確実に共振周波数近傍の周波数に駆動周波数が設定されるので、駆動効率の良い超音波アクチュエータ2の駆動を行うことが可能となる。

なお、本実施形態では、前記位相差条件判定回路14を微分回路と比較回路で構成した場合について説明したが、これに検定されるものではなく、離散的に周波数を走査し、その周波数に対する位相差検出信号を記憶し、周波数に対する前記位相差検出信号の変化量とその比較をソフトウェアで行う構成としても良い。

30

【0107】

本発明に係る前記第1乃至第3実施例において、超音波アクチュエータは、各実施例で説明した構成のいずれかの超音波アクチュエータを適用しても良く、また必要に応じて適宜組み合わせ構成しても良い。

【0108】

本発明は、上述した第1乃至第3実施例に限定されるものではなく、発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変形実施可能である。

【産業上の利用可能性】

【0109】

本発明の超音波アクチュエータ駆動装置及び超音波アクチュエータ駆動方法は、位相検出を正確に行うように構成したことにより、確実に共振周波数近傍での駆動を行うことができ、駆動効率の良い状態にて超音波アクチュエータを駆動することができるので、駆動効率の安定化が望まれる各種電子機器の駆動源として適用できる。

40

【図面の簡単な説明】

【0110】

【図1】本発明の超音波アクチュエータ駆動方法の第1実施例を示し、超音波アクチュエータ駆動方法を実現する超音波アクチュエータ駆動装置の全体構成を示すブロック図。

【図2】本実施例に係る超音波アクチュエータ駆動装置に用いられる超音波アクチュエータの構成例を示す構成図。

【図3】第1実施例の超音波アクチュエータの第1変形例を示す正面図。

50

【図 4】超音波アクチュエータの圧電積層体の構成例を示し、Y 軸方向に積層してなる圧電積層体の分解斜視図。

【図 5】Z 軸方向に積層してなる圧電積層体の分解斜視図。

【図 6】X 軸方向に積層してなる圧電積層体の分解斜視図。

【図 7】第 1 実施例の超音波アクチュエータの第 2 変形例を示す正面図。

【図 8】本実施例の超音波アクチュエータ駆動方法により駆動される超音波アクチュエータの特性を示す特性図。

【図 9】本実施例の超音波アクチュエータ駆動方法を説明するためのもので、駆動周波数を決定する周波数範囲の検出方法を説明するグラフ。

【図 10】図 1 の周波数領域検出回路からの検出結果に基づき共振周波数近傍を検出する検出方法を説明するグラフ。 10

【図 11】図 1 の周波数制御回路による共振周波数検出処理ルーチンの制御例を示すフローチャート。

【図 12】本発明の超音波アクチュエータ駆動方法の第 2 実施例を示し、超音波アクチュエータ駆動方法を実現する超音波アクチュエータ駆動装置の全体構成を示すブロック図。

【図 13】本実施例の超音波アクチュエータ駆動方法を説明するためのもので、下限周波数の検出方法を説明するグラフ。

【図 14】図 12 の周波数制御回路による下限周波数検出処理ルーチンの制御例を示すフローチャート。

【図 15】本発明の超音波アクチュエータ駆動方法を実行した際の周波数制御回路全体の動作の流れを示すフローチャート。 20

【図 16】本発明の超音波アクチュエータ駆動方法の第 3 実施例を示し、超音波アクチュエータ駆動方法を実現する超音波アクチュエータ駆動装置の全体構成を示すブロック図。

【図 17】本実施例に係る超音波アクチュエータ駆動装置に用いられる超音波アクチュエータの構成例を示す構成図。

【図 18】第 2 実施例の超音波アクチュエータの第 1 変形例を示す側面図。

【図 19】第 2 実施例の超音波アクチュエータの第 2 変形例を示す正面図。

【図 20】本実施例の超音波アクチュエータ駆動方法を説明するためのグラフ。

【図 21】従来 of 超音波アクチュエータ駆動回路の構成例を示すブロック図。

【図 22】本発明に係る超音波振動子の変位量 - 周波数特性を説明する説明図で、図 22 (a) は縦 1 次振動モード、図 22 (b) は屈曲 2 次振動モードにそれぞれ対応している。 30

【図 23】本発明に係る超音波振動子の速度 - 周波数特性を説明する説明図。

【符号の説明】

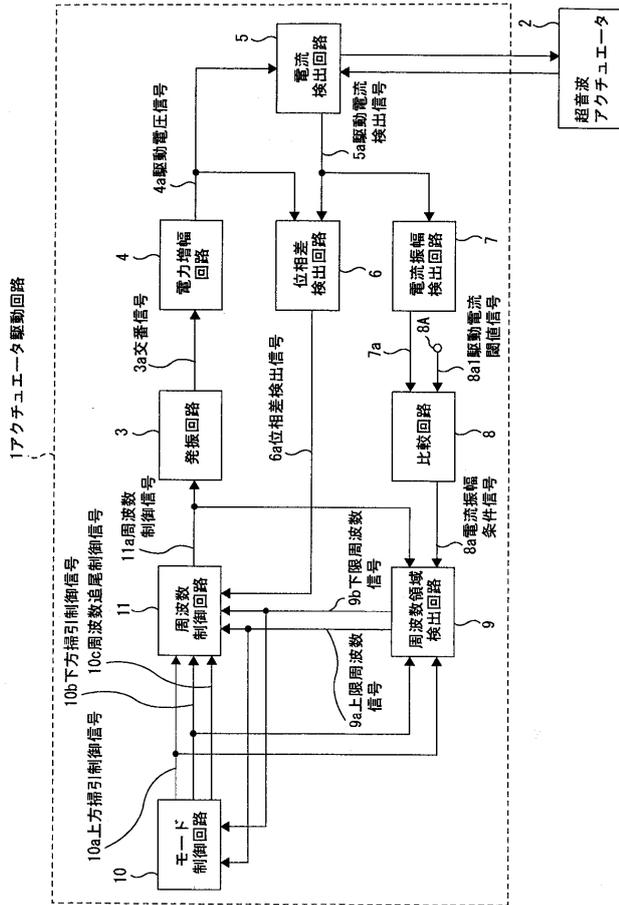
【0111】

- 1、1 A、1 B ... アクチュエータ駆動回路、
- 2 ... 超音波アクチュエータ、
- 2 A ... 超音波振動子、
- 2 B ... 被駆動部、
- 2 C、2 D ... 超音波アクチュエータ、
- 2 a、2 b ... 圧電積層体、
- 2 c ... 圧電板、
- 2 d ... 絶縁圧電シート、
- 3 ... 発振回路、
- 3 a ... 交番信号、
- 4 ... 電力増幅回路、
- 4 a ... 駆動電圧信号、
- 5 ... 電流検出回路、
- 5 a ... 駆動電流検出信号、
- 6 ... 位相差検出回路、

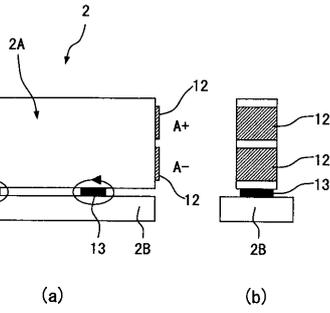
- 6 a ... 位相差検出信号、
- 7 ... 電流振幅検出回路、
- 7 a ... 振幅結果信号、
- 8、8 B ... 比較回路、
- 8 A ... 入力端子、
- 8 a ... 電流振幅条件信号、
- 8 b ... 周波数設定禁止信号、
- 8 a 1 ... 駆動電流閾値信号 8 a 1、
- 9 ... 周波数領域検出回路、
- 9 a ... 上限周波数信号、
- 9 b ... 下限周波数信号、
- 10、10 A ... モード制御回路、
- 10 a ... 上方掃引制御信号、
- 10 b ... 下限掃引制御信号、
- 10 b ... 下方掃引制御信号、
- 10 c ... 周波数追尾制御信号、
- 10 d ... 上限周波数検出制御信号、
- 10 e ... 下限周波数検出制御信号、
- 10 f ... 周波数追尾制御信号、
- 11、11 A、11 B ... 周波数制御回路、
- 11 a ... 周波数制御信号、
- 11 b ... 動作完了信号、
- 12 ... 外部電極、
- 13、13 A ... 摩擦部材、
- 14 ... 位相差条件判定回路、
- 14 a ... 位相差条件信号、
- 15 ... 第1のガイド、
- 16 ... 第2のガイド、
- 17 A ... 積層型圧電素子、
- 17 B ... 保持用弾性体、
- 18 ... 基本弾性体、
- 19 ... 接触部。

代理人 弁理士 伊藤 進

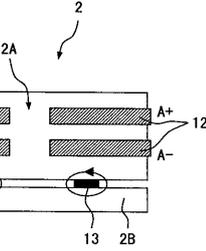
【図1】



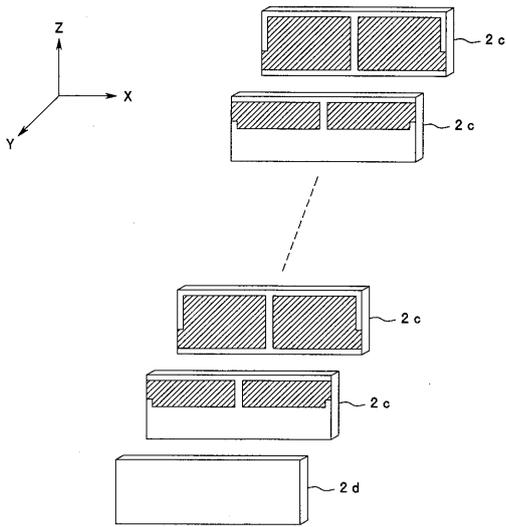
【図2】



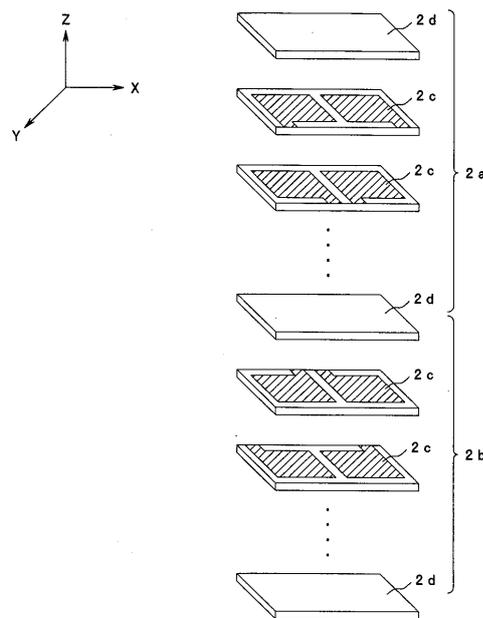
【図3】



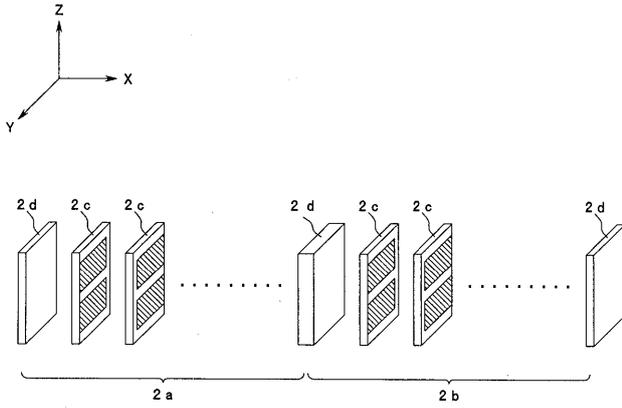
【図4】



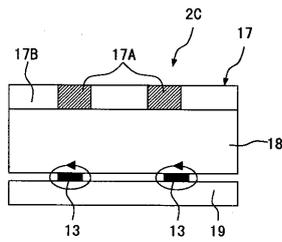
【図5】



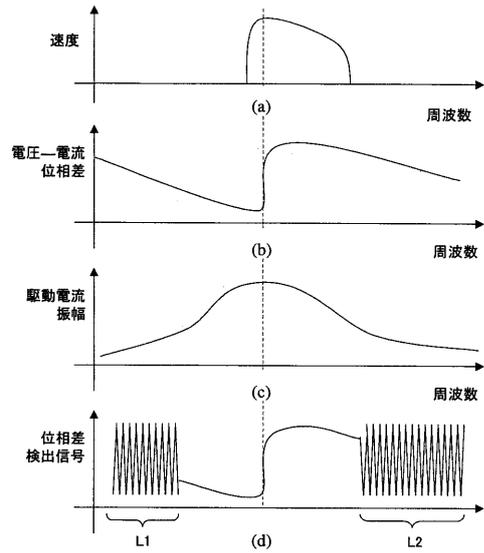
【 図 6 】



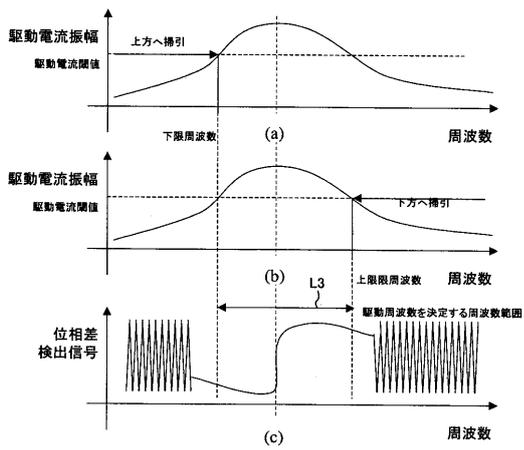
【 図 7 】



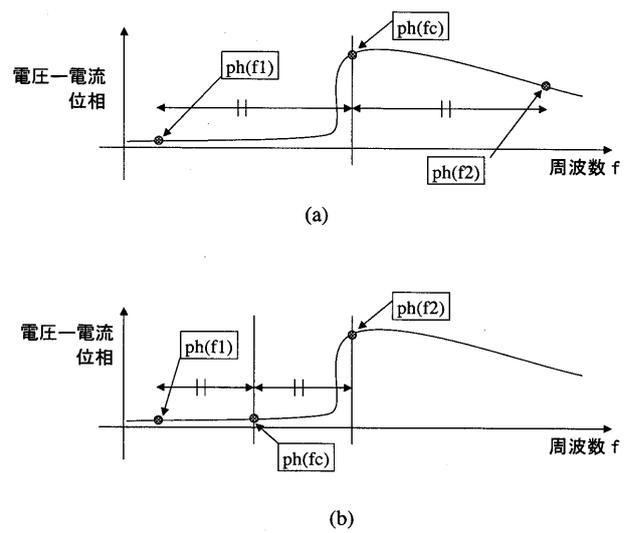
【 図 8 】



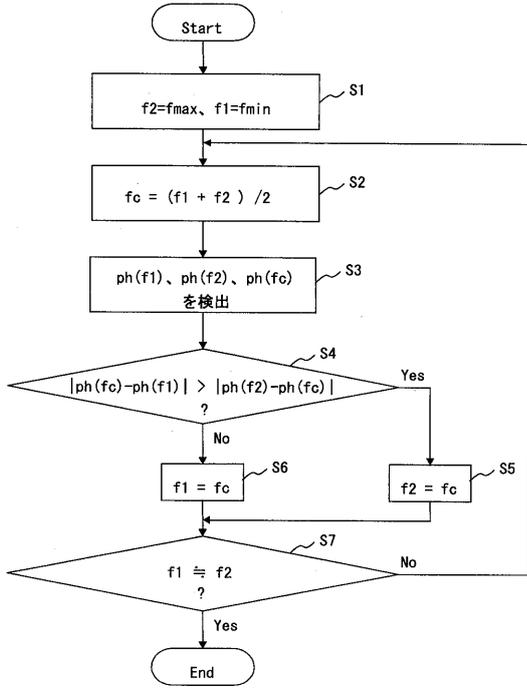
【 図 9 】



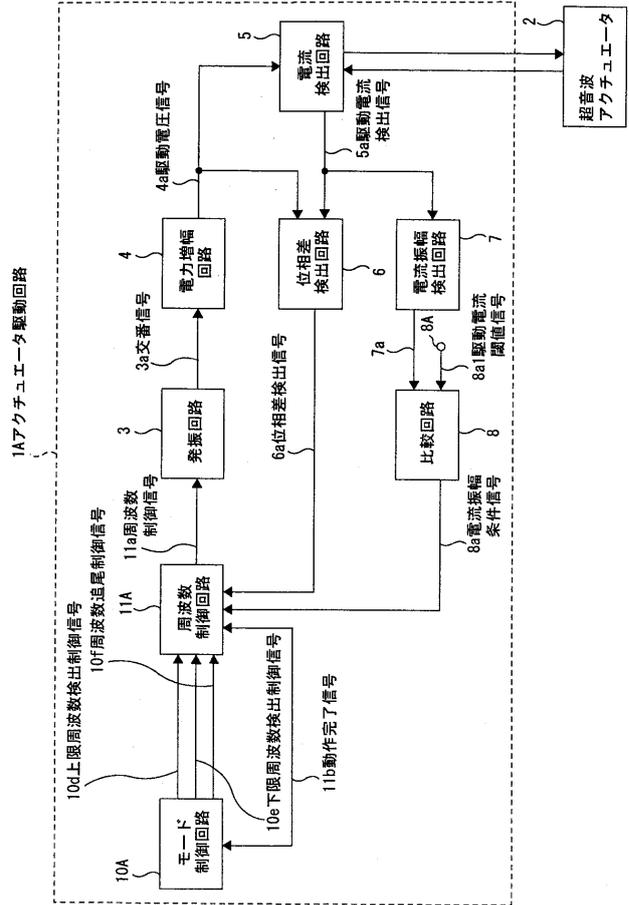
【 図 10 】



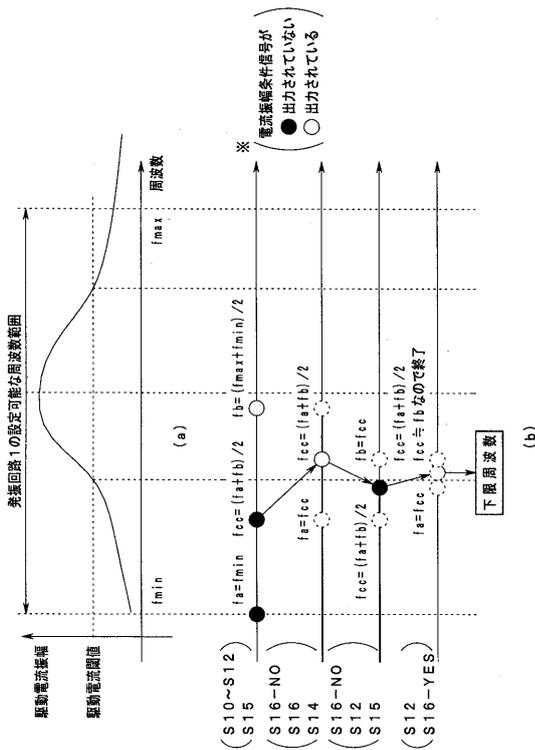
【図 1 1】



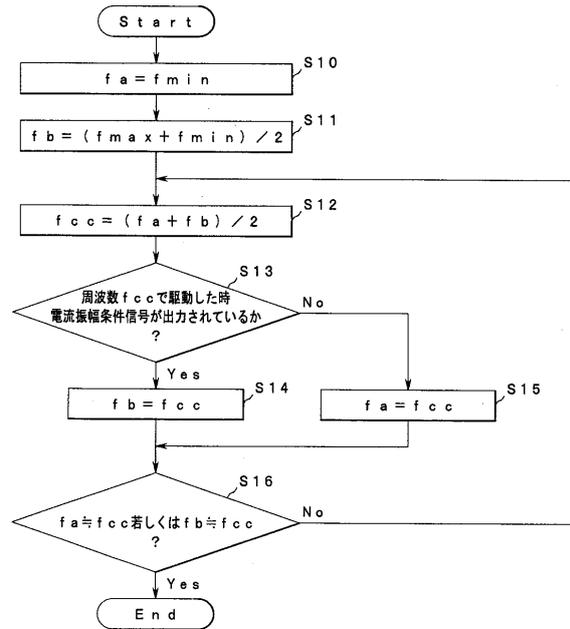
【図 1 2】



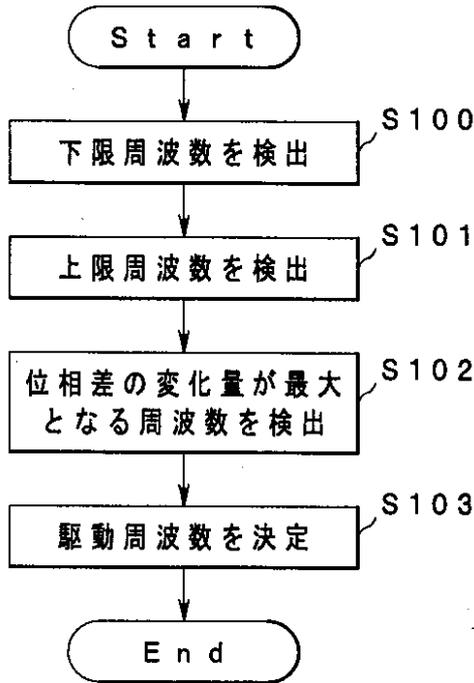
【図 1 3】



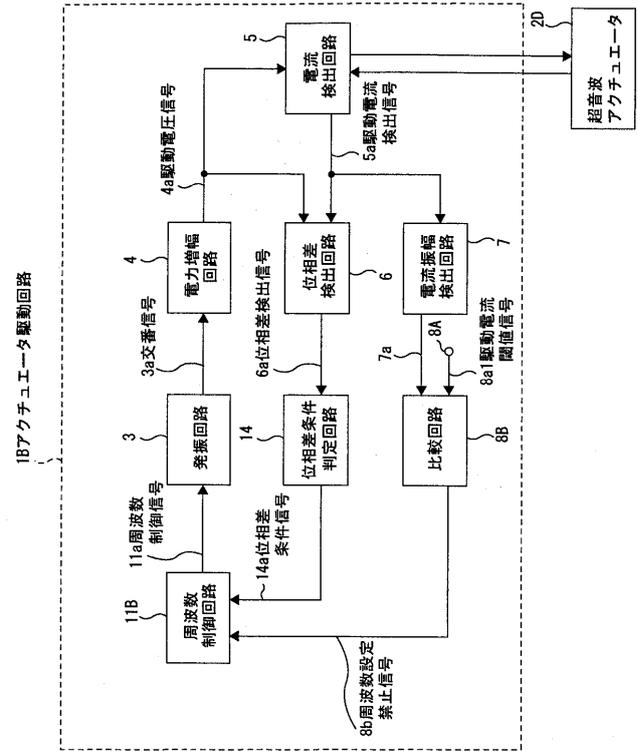
【図 1 4】



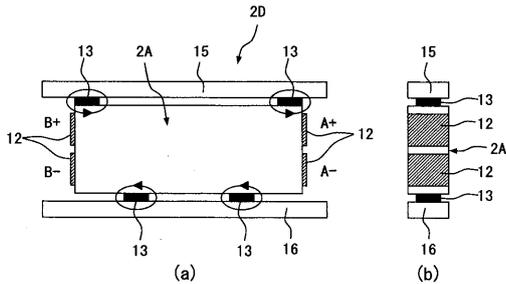
【図15】



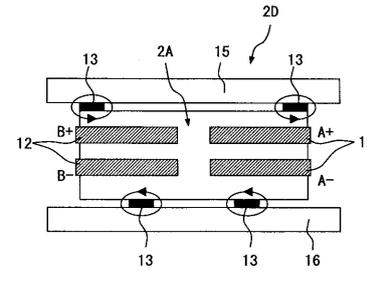
【図16】



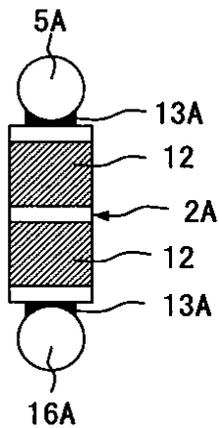
【図17】



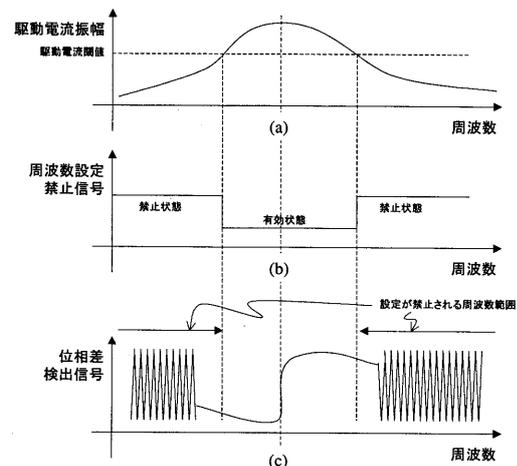
【図19】



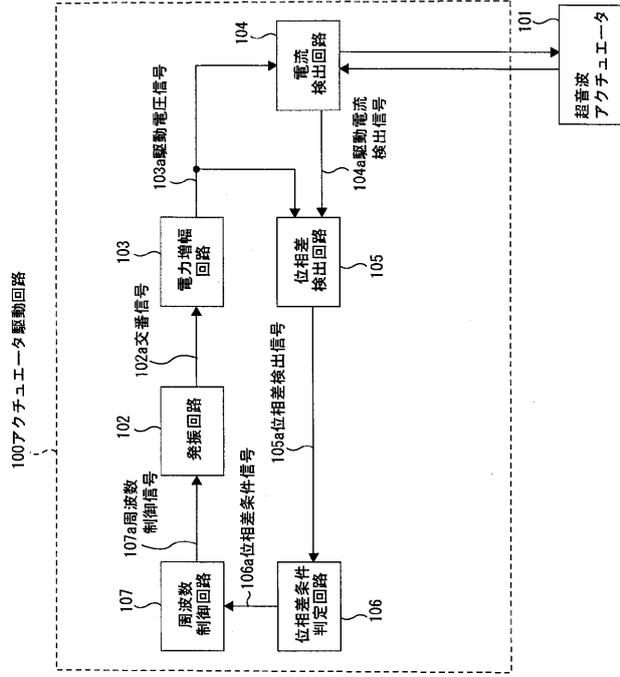
【図18】



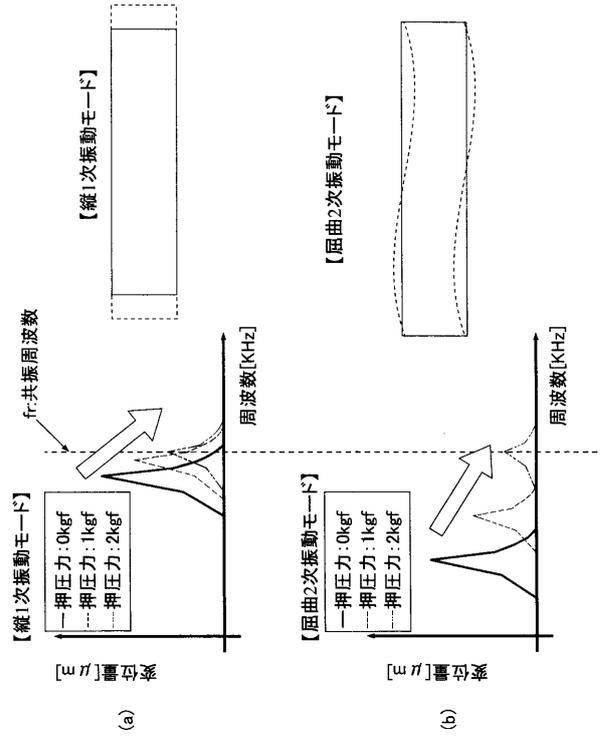
【図20】



【図 2 1】



【図 2 2】



【図 2 3】

