

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5833658号
(P5833658)

(45) 発行日 平成27年12月16日(2015.12.16)

(24) 登録日 平成27年11月6日(2015.11.6)

(51) Int.Cl.

H02N 2/00 (2006.01)

F 1

H02N 2/00

C

請求項の数 15 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2013-530567 (P2013-530567)
 (86) (22) 出願日 平成23年9月28日 (2011.9.28)
 (65) 公表番号 特表2013-539346 (P2013-539346A)
 (43) 公表日 平成25年10月17日 (2013.10.17)
 (86) 國際出願番号 PCT/DE2011/050037
 (87) 國際公開番号 WO2012/048691
 (87) 國際公開日 平成24年4月19日 (2012.4.19)
 審査請求日 平成26年6月27日 (2014.6.27)
 (31) 優先権主張番号 102010047280.8
 (32) 優先日 平成22年10月1日 (2010.10.1)
 (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)

(73) 特許権者 505257752
 フィジック インストゥルメント (ピーアイ) ゲーエムベーハー アンド ツエオーネ. カーゲー
 ドイツ連邦共和国、76228 カルルスルーエ、アウフ テア レマーストラッセ 1
 (74) 代理人 100068755
 弁理士 恩田 博宣
 (74) 代理人 100105957
 弁理士 恩田 誠
 (74) 代理人 100142907
 弁理士 本田 淳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】超音波モータのためのアクチュエータを電気的に励起する方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

機械共振周波数 F_m を有する超音波モータの圧電アクチュエータを電気的に励起する方法であって、該圧電アクチュエータは、励起電極と汎用電極とを備える少なくとも1つの音響定在波発生器を有しており、前記励起電極と前記汎用電極との間に、電気キャパシタンス C_0 が生成され、

矩形励起電圧 U_g を、前記少なくとも1つの音響定在波発生器の前記励起電極と前記汎用電極とに印加する工程であって、前記矩形励起電圧 U_g の周波数は、前記圧電アクチュエータの機械共振周波数 F_m とは異なる、前記印加する工程と、

電圧 u_g をフィードバック要素によって提供する工程であって、提供された前記電圧 u_g は、前記音響定在波発生器を通じて流れる電流 I_g に比例し、電流 I_g は、圧電電流 I_p と前記電気キャパシタンス C_0 の充電及び放電電流 I_c との和による総合電流である、前記提供する工程と、

電圧 u_p を電圧 u_c からインパルスフィルタによって分離する工程であって、電圧 u_p は、圧電電流 I_p に比例し、電圧 u_c は、前記電気キャパシタンス C_0 の充電及び放電電流 I_c に比例する、前記分離する工程と、

前記圧電電流 I_p と前記矩形励起電圧 U_g との位相差がほぼゼロになるように、前記矩形励起電圧 U_g の周波数を変更する工程と、を備える方法。

【請求項 2】

前記音響定在波発生器を通じて流れる前記圧電電流 I_p は安定化される、請求項 1 に記

載の方法。

【請求項 3】

超音波モータの圧電アクチュエータを電気的に励起する装置であって、

該圧電アクチュエータは、機械共振周波数 F_m を有し、かつ、少なくとも 1 つの音響定在波発生器を有しており、前記少なくとも 1 つの音響定在波発生器は、電気キャパシタンス C_0 を形成するための励起電極と汎用電極とを備え、

前記装置は、少なくとも 1 つのパワーアンプと、フィードバック要素と、フィルタと、制御電圧形成装置と、を備えており、

前記少なくとも 1 つのパワーアンプは、直接的に又は非直接的に前記少なくとも 1 つの音響定在波発生器に接続されており、前記圧電アクチュエータの供給電圧に対する電圧セレクタスイッチとして実装されており、前記少なくとも 1 つのパワーアンプは、矩形励起電圧 U_g を、前記少なくとも 1 つの音響定在波発生器に提供し、

前記音響定在波発生器を通る電流と同じ電流が前記フィードバック要素を通るように、および、前記フィードバック要素によって、電圧 u_g が提供されるように、該フィードバック要素は、該音響定在波発生器に直列に接続されており、提供された前記電圧 u_g は、前記音響定在波発生器を通じて流れる電流 I_g に比例し、電流 I_g は、圧電電流 I_p と前記電気キャパシタンス C_0 の充電及び放電電流 I_c との和による総合電流であり、

前記フィルタは、前記フィードバック要素によって生成される電圧のインパルスフィルタとして実装されており、前記インパルスフィルタは、電圧 u_p の電圧 u_c からの分離を可能にするように設計されており、電圧 u_p は、圧電電流 I_p に比例し、電圧 u_c は、前記電気キャパシタンス C_0 の充電及び放電電流 I_c に比例し、

前記制御電圧形成装置の入力部は、前記インパルスフィルタの出力部に接続されており、前記制御電圧形成装置の出力部は、前記少なくとも 1 つのパワーアンプの入力部に接続されており、前記制御電圧形成装置は、前記圧電電流 I_p と前記矩形励起電圧 U_g との間の位相差がほぼゼロになるように前記矩形励起電圧 U_g の周波数を変更するよう設計されている、装置。

【請求項 4】

前記電圧セレクタスイッチは、ハーフブリッジパワーアンプと、ブリッジパワーアンプと、デュアルクロックパワーアンプとのうちのいずれか 1 つとして実装される、請求項 3 に記載の装置。

【請求項 5】

前記フィードバック要素は、低い値の実効抵抗として実装されるか、又は電流に対する測定変圧器として実装される、請求項 4 に記載の装置。

【請求項 6】

前記インパルスフィルタは、フィードバック要素によって生成される電圧に対するバンドパスフィルタとして実装されており、前記圧電アクチュエータの機械共振周波数 F_m に同調される、請求項 3 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 7】

前記インパルスフィルタは、フィードバック要素によって生成される電圧に対するローパスフィルタ又は積分器として実装される、請求項 3 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 8】

前記インパルスフィルタは、前記フィードバック要素によって生成される電圧に対する回路遮断器を備えており、該インパルスフィルタの制御入力は、エッジ検出器を通じて前記電圧セレクタスイッチに接続される、請求項 3 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 9】

前記インパルスフィルタは、電圧比較器として実装される、請求項 3 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 10】

前記装置は自動式の発生器として実装される、請求項 9 に記載の装置。

【請求項 11】

10

20

30

40

50

前記制御電圧形成装置は、矩形波に対する、位相検出器及び制御式の発生器を備える、請求項3～9のいずれか1項に記載の装置。

【請求項12】

前記制御電圧形成装置は、対称なパルス幅変調式の変調器である、請求項8～11のいずれか1項に記載の装置。

【請求項13】

前記装置は、前記パワーアンプに与える電圧に対するレギュレータを有する、請求項8～12のいずれか1項に記載の装置。

【請求項14】

前記装置は、前記音響定在波発生器を通じて流れる圧電電流に対する安定化システムを有する、請求項3～13のいずれか1項に記載の装置。 10

【請求項15】

前記装置の電気コンポーネントの一部又は全部は、デジタルシグナルプロセッサ又はフィールドプログラム可能ゲートアレイのタイプのプログラム可能なデジタルプロセッサによって実現される、請求項3～14のいずれか1項に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波モータのためのアクチュエータを電気的に励起する方法及び装置に関する。 20

【背景技術】

【0002】

特許文献1、特許文献2及び特許文献3は、例えば、超音波モータのためのアクチュエータを電気的に励起する方法及び装置について開示する。これらの事例に説明される方法において、励起された超音波アクチュエータの電圧の周波数は、励起する電圧と超音波アクチュエータの圧電素子に配置された補助電極によって生成される電圧との間に一定の位相差を保持することによって調整される。

【0003】

この方法及び対応する励起装置の不利な点は、アクチュエータの電気励起電圧と補助電極の電圧の位相差が、アクチュエータの機械負荷に依存することである。従って、超音波アクチュエータの高い機械負荷の影響下では、電気励起電圧の周波数は、これらのモータにおいて、超音波アクチュエータの機械共振周波数と同一ではない。このことの影響によって、超音波モータの機能が不安定となる。さらに、安全な動作のために、補助電極は広い表面積を有さねばならない。このことによって、補助電極は複数の励起電極に対する表面積を減少させるので、励起電圧の増大が暗示される。補助電極は、微細なワイヤの形状の追加出力もまた有さねばならない。可動要素が高速に移動するとき、モータの動作の安全性を低下させる。 30

【0004】

さらに、特許文献4の例によれば、超音波モータを励起させるための方法及び装置は、知られており、超音波アクチュエータの電気励起電圧の周波数は、アクチュエータを励起する電圧と同アクチュエータを通じて流れる電流との間に保たれた一定の位相差によって調整される。この方法と対応する装置において、超音波アクチュエータを刺激する正弦電圧は、超音波アクチュエータの圧電素子に印加される。印加された正弦電圧は、圧電素子を通じて流れる正弦電流を引き起こす。 40

【0005】

この方法の不利な点は、電気励起電圧と圧電素子を通じて流れる電流との間の位相差が、超音波アクチュエータの機械負荷に応じて異なるという事実にもある。圧電素子を通じて流れる正弦電流は、2つの成分、すなわち、圧電素子の電気キャパシタンスを通じて流れるキャパシタンスの電流と、圧電素子の回転ドメインの角度によって決定される圧電電流とを有するからである。機械共振周波数において、圧電電流は、いわゆる、有効電流又 50

は実行電流を表す。アクチュエータの機械負荷が小さいとき、アクチュエータの有効抵抗は、そのリアクティブ抵抗より相当に小さい。従って、励起電圧と機械共振周波数における圧電素子を通じて流れる電流との間の位相シフトは、小さく、ゼロに近づいている。アクチュエータに与えられる機械負荷が増加するとき、有効抵抗が増加される一方、リアクティブ抵抗は一定のままである。機械負荷の増加は、従って、超音波アクチュエータの励起電圧と圧電素子を通じて流れる電流との間の位相角度の増加を引き起こす。

【0006】

超音波アクチュエータと超音波モータによって駆動される要素との間に十分な接触摩擦を伴う超音波モータにおいて、機械負荷が増加するとき、位相シフトの角度が2, 3度から10倍又はそれ以上に増加できる。この場合における位相シフトの発振は、駆動される機械負荷によってのみではなく、摩擦面における振動及び駆動される要素における機械的不均衡によってもまた、引き起こされる。

10

【0007】

モータにおいて、超音波アクチュエータの正弦励起電圧の周波数は、この電圧の位相と圧電素子の正弦電流の位相との間に保たれた一定の位相差によって調整され、超音波モータの機能の不安定化を導く。

【0008】

この不安定化の結果として、励起電圧は増加し、必要とされる電流及び電力が増加する。さらに、駆動される要素の加速において、発振が発生する。モータによって生成できる最大の力が減少される。大きな負荷がかけられたとき、モータは停止するようになり、アクチュエータは加熱し得る。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】米国特許5,214,339号明細書

【特許文献2】米国特許5,461,273号明細書

【特許文献3】米国特許5,479,063号明細書

【特許文献4】米国特許5,872,418号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0010】

本発明の目的は、従って、超音波モータのアクチュエータを励起する方法と、対応する励起装置とを提供することであって、アクチュエータが高い機械負荷にあるとき、モータの安定度を増加できるように、必要とされる励起電圧を減少できるように、必要とされる電流及び電力を減少できるように、及び温度範囲を拡張するようにできる手段のうちのいずれかの手段によって、提供される。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上述される目的は、請求項1の特徴を有する超音波モータに対するアクチュエータを電気的に励起する方法と請求項3の特徴を有する超音波モータに対するアクチュエータを電気的に励起する装置とによって達成される。有利な態様は、従属する請求項から取得され得る。

40

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】超音波モータのアクチュエータについての発明に応じた励起装置を示す図（例10～12：アクチュエータの三層構造のための電極に対する圧電ベクトルの異なる方向；例13：多層設計におけるアクチュエータ）。

【図2】本発明に応じた励起装置を示す図（例17～19：アクチュエータの単相及び多相駆動）。

【図3】本発明に応じた励起装置の一実施形態を示す図。

50

- 【図4】本発明に応じた励起装置の一実施形態を示す図。
- 【図5】本発明に応じた励起装置の一実施形態を示す図。
- 【図6】インパルスフィルタの異なる実施形態を示す図。
- 【図7】インパルスフィルタの異なる実施形態を示す図。
- 【図8】定在波発生器に対する等価回路を示す図。
- 【図9】本発明に応じた励起装置に対する超音波波動発生器の電流(例40)及び位相差(例41)の周波数相関関係を示す図。
- 【図10】例42～45：個々の電圧及び電流の時間相関関係を示す図。
- 【図11】超音波波動発生器の周波数相関関係を示す図。
- 【図12】励起電圧の周波数が変化したときの電流と電圧との間の位相シフトを示す図。 10
- 【図13】本発明に応じた励起装置の更なる実施形態を示す図。
- 【図14】本発明に応じた励起装置の更なる実施形態を示す図。
- 【図15】本発明に応じた励起装置の更なる実施形態を示す図。
- 【図16】本発明に応じた励起装置の更なる実施形態を示す図。
- 【図17】本発明に応じた励起装置の更なる実施形態を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0013】

図面の簡単な説明

図面は概略により示したものであり、正確な縮尺によるものではない。

本発明の根本的な着想は、アクチュエータを通じて流れる圧電電流を、アクチュエータの容量性充電電流から分離することと、超音波アクチュエータの励起電圧の周波数を調整するために分離された圧電電流の位相シフトを用いることである。 20

【0014】

以下において、「超音波モータに対するアクチュエータ」、「超音波アクチュエータ」又は単に「アクチュエータ」は、同義に用いられる。

本発明によって、機械共振周波数 F_m を伴う超音波モータに対するアクチュエータを電気的に励起するための方法が得られ、該方法では、超音波モータは、励起電極及び汎用電極を備える少なくとも1つの音響定在波発生器を有し、電気キャパシタンス C_0 は、励起電極と汎用電極との間に生成される。本発明に応じた方法において、矩形励起電圧 U_g は、少なくとも1つの音響定在波発生器の励起電極及び汎用電極に印加され、矩形励起電圧 U_g の周波数は、アクチュエータの機械共振周波数 F_m とは異なる。次いで、フィードバック要素の手段によって、電圧 u_g が供給され、電圧 u_g は、定在波発生器を通じて流れる電流 I_g に比例し、電流 I_g は、圧電電流 I_p と電気キャパシタンス C_0 の充電及び放電電流 I_c との和によって生成される総合電流である。続いて、電圧 u_p を電圧 u_c からインパルスフィルタの手段によって分離する工程が行われ、電圧 u_p は、圧電電流 I_p に比例し、電圧 u_c は電気キャパシタンス C_0 の充電及び放電電流 I_c に比例する。最後に、圧電電流 I_p と矩形励起電圧 U_g との間の位相差がほぼゼロになるように、矩形励起電圧の周波数が変化する。 30

【0015】

超音波モータの圧電アクチュエータを電気的に励起するための本発明に応じた装置において、アクチュエータは少なくとも1つの音響定在波発生器を有しており、少なくとも1つのパワーアンプ、フィードバック要素、フィルタ、及び制御電圧形成装置を備える。少なくとも1つのパワーアンプは、アクチュエータの供給電圧のための電圧セレクタスイッチとして設計されており、電圧セレクタスイッチは、少なくとも1つの音響定在波発生器に直接的に又は非直接的に接続される。さらに、フィードバック要素は、音響定在波発生器に直列に接続されており、定在波発生器を通じて流れる電流と等しい電流がこれを通りて流れしており、フィルタは、フィードバック要素によって生成された電圧に対するインパルスフィルタとして設計される。さらに、フィルタの出力は、制御電圧形成装置の入力に接続されており、制御電圧形成装置は、少なくとも1つのパワーアンプの入力に接続される。 40

50

【0016】

本発明に応じた方法及び／又は装置は、励起電圧の周波数を、超音波アクチュエータに対する最適値に保たれるようにする。この周波数は、アクチュエータの機械共振周波数に等しい値に一定に保たれており、超音波モータのアクチュエータに適用される負荷の周波数とは独立しており、超音波モータの動作安定度を増加させる。超音波モータは、すなわち、常に最適な動作範囲において動作する。これは、励起電圧のレベルを低減し、必要とされる電流及び電力は低減され、モータは、より少ない程度に加熱する。

【0017】

本発明に応じた方法の1つの有利な設計によれば、定在波発生器を通じて流れる圧電電流 I_p は、さらに、安定化される。アクチュエータにおいて生成された波の振動速度、すなわち、駆動される要素の動きの速度もまた、さらに安定化されることを可能にする。

10

【0018】

本発明に応じた装置の1つの有利な設計によれば、電圧セレクタスイッチは、ハーフブリッジパワーアンプ、ブリッジパワーアンプ、又はデュアルクロックパワーアンプとして設計される。これは、電圧セレクタスイッチの内部抵抗を著しく低減させることを可能にし、よって、可能な限りキャパシタの充電及び放電電流 I_c のパルス期間を短くする。

【0019】

フィードバック要素が低い実効抵抗値を有しているか、又は電流に対する測定変圧器を備えることは、有利であり得る。これは、電流 I_g の電圧 U_g への変換における位相誤差を著しく低減することを可能にする。

20

【0020】

インパルスフィルタがバンドパスフィルタとして実装され、フィードバック要素によって生成された電圧に対して、アクチュエータの機械共振周波数 F_m に同調されることもまた、有利であり得る。バンドパスフィルタ33とされるインパルスフィルタ23の実装は、機械共振周波数 F_m における位相誤差が除去されることを可能にする。

【0021】

インパルスフィルタがフィードバック要素によって生成されるローパスフィルタ又は積分器として実装される場合、便利であることがわかる。その結果、インパルスフィルタが極めて単純に設計される。

【0022】

さらに、インパルスフィルタがフィードバック要素によって生成される電圧に対する回路遮断器を備え、回路遮断器の制御入力がエッジ検出器を通じて電圧セレクタスイッチに接続される場合もまた、有利であることがわかる。

30

【0023】

インパルスフィルタが電圧比較器として実装される場合もまた、有利であり得る。

さらに、超音波モータの圧電アクチュエータを電気的に励起するための装置が自動式の発生器として実装される場合、有利であり得る。

【0024】

制御電圧形成装置が矩形電圧に対する位相検出器と制御式の発生器を備える場合、有利であり得る。

40

制御電圧形成装置が対称なパルス幅変調（PWM）変調器を有する場合もまた、有利であり得る。対称なPWM変調器の使用によって、電流 I_p 、すなわち、駆動される要素の動きの速度を調整することができる。

【0025】

さらに、超音波モータの圧電アクチュエータを電気的に励起するための装置がパワーアンプに与える電圧に対するレギュレータを有する場合、有利であり得る。これは、電流 I_p 、すなわち、駆動される要素の動きの速度が調整されることを可能にする。

【0026】

超音波モータの圧電アクチュエータを電気的に励起するための装置が、定在波発生器を通じて流れる圧電電流に対する安定化システムを有する場合、便利であることがわかる。

50

さらに、超音波モータの圧電アクチュエータを電気的に励起するための装置の電気コンポーネントが、部分的に又は完全に、DSP（デジタルシグナルプロセッサ）又はFPGA（フィールドプログラム可能ゲートアレイ）のタイプのプログラム可能なデジタルプロセッサによって実装される場合、便利であり得る。これは、電気励起装置の設計を単純にすことができ、すなわち、その設計のコストを低減させるとともに、干渉に対する耐性を増加させる。

【0027】

図1は、超音波モータ1の超音波アクチュエータ2に対する発明に応じた励起装置を示す。この超音波波動モータ1において、超音波アクチュエータ2は、摩擦接合又は摩擦接觸3によって、駆動され直線運動又は回転運動を行う要素4に接続される。

10

【0028】

アクチュエータ2は、板形状において実装される音響共振器5から成るが、ディスク形状、円柱形状、又は超音波アクチュエータ2の構成によって特定される他の形状により実装されることもできる。共振器5は、圧電セラミックの材料から成るが、金属、酸化物セラミック、金属セラミック、単結晶の材料、又は高い機械Q値を有する他の材料からも成ることもできる。共振器5は、音響超音波に対する閉じた、又は開放された導波管を形成することができる。

【0029】

共振器5は、音響定在波のための発生器6を有する。発生器6は、共振器5の一部である。これに対して、発生器6は、共振器5に接続される圧電素子（図示なし）によって形成されることもできる。図1に示されるように、発生器6は、3層構造を有しており、1つの層は、励起電極7を示しており、1つの層は、汎用電極8であり、圧電セラミック9は、励起電極7と汎用電極8の層との間に配置される。図1の例10にも示されるように、圧電セラミック層の二極化ベクトルは、電極7, 8に垂直に並べられる。しかしながら、圧電セラミック層の二極化ベクトルは、電極7, 8に対して傾いて（図1の例11）又は、電極7, 8に平行で（図1の例12）あることが考えられる。さらに、二極化ベクトルは、発生器6の異なる領域において異なる配置を有することが考えられる。この場合1つの領域において、二極化ベクトルは、垂直な配置を有しており、他の区分においてもまた垂直な配置を有しているが、逆方向、すなわち、逆平行方向であることもまた考えられる。

20

【0030】

発生器6は、多層構造を有することができ、図1の例13に示されるように、電極7, 8及び圧電層9が、互い違いに配置される。この場合、個々の層において、前述された二極化ベクトルの異なる方向が考えられる。

【0031】

さらに、定在波発生器は、ストリップ形状などの電極（図示なし）を有することができる。

電圧を印加するように、電極7及び8は、出力14, 15を有する。出力14, 15は、より線の導体として実装されるが、弾性要素又は電気的に導電性ゴム要素として実装されることもできる。

30

【0032】

電気キャパシタンスC₀は、発生器6の電極7及び8の間に存在する。

発生器6は、共振器5において音響超音波の定在波を発生するように用いられ、共振器5は、超音波モータによってモータの動作のために用いられる。この波は、縦波、たわみ波、剪断波、ねじれ波、体積波、平面波、表面波、対称、非対称又は異なるタイプの音響波であり得る。用いられる波のタイプ及び形状は、共振器5の幾何学形状、電極7及び8の形状、圧電セラミックの二極化ベクトルの電極7及び8に対する方向、及び励起電圧U_gの周波数によって決定される。

【0033】

アクチュエータ2において生成される波において、機械共振周波数F_mと等しい周波数

40

50

の共振器 5 の複数の点は、ピーク振動速度 V_p を有する。機械共振周波数 F_m は、超音波アクチュエータ 2 の動作周波数を表し、従って、超音波モータ 1 の動作周波数もまた表す。この周波数において、超音波モータ 1 は、最適な機械特性の値を有する。

【 0 0 3 4 】

電気励起装置 20 は、パワーアンプ 21、フィードバック要素 22、フィードバック要素 22 によって供給される電圧 U_g に対するインパルスフィルタ 23、及び制御電圧形成装置 24 を有する。パワーアンプ 21 は、電圧セレクタスイッチ 25 として実装される。この場合、電圧セレクタスイッチは、ハーフブリッジ若しくはブリッジパワーアンプ 26 又はデュアルクロックパワーアンプ 27 の形状を形成することができる。パワーアンプ 21 は、DC 電圧 E を与えられ、矩形の AC 電圧 U_g (図 10 の例 42 参照) を提供する。音響波 6 の発生器の電極 7, 8 の出力 14, 15 は、パワーアンプ 21 に、フィードバック要素 22 によって接続される。インパルスフィルタ 23 は、電圧 U_g が印加される入力 31 と、電圧 U_p が印加される出力 32 とを有する。インパルスフィルタ 23 は、バンドパスフィルタ 33 として設計される。しかしながら、ローパスフィルタ 34 又は積分器 35 (図 6 参照) としても設計され得る。さらに、インパルスフィルタ 23 は、比較器又はインパルス装置 (図 7 参照) であり得る。これらのフィルタは、フィードバック要素 22 によって提供される電圧 U_g に対する回路遮断器 37 を含んでおり、制御入力 38 は、電圧セレクタ 21 に、エッジ検出器 39 を通じて接続される。さらに、インパルスフィルタ 23 は、パッシブ又はアクティブな電気コンポーネントから成ることができ、又は、自由にプログラム可能なマイクロコントローラとともに実装されることができる。

10

20

【 0 0 3 5 】

フィードバック要素 22 は、発生器 6 を通じて流れる電流 I_g をこの電流に比例して変化する電圧 U_g に変換するために用いられる。フィードバック要素 22 は、低い値の抵抗 29 として実装されるが、電流 - 電圧測定変圧器 30 (図 14 参照) として、又は異なる設計により実現されることもできる。

【 0 0 3 6 】

図 2 の例 17 ~ 19 に応じて、共振器 5 は、電極 7 及び 8 とともに、音響波のための 1 つ又はそれ以上の補助発生器 16 を有することができる。補助発生器 16 は、矩形の電圧 U_g 又は矩形の形状ではなく異なる電圧を用いて駆動されることができる。アクチュエータ 2 における補助発生器 16 は、(メインの) 発生器 6 と同一のタイプの音響超音波を生成することができるが、(メインの) 発生器 6 とは異なるタイプの音響超音波もまた生成することができる。さらに、補助発生器 16 は、同一の機械共振周波数 F_m 又は異なる周波数、例えば、 F_z を有することができる。さらに、補助発生器 16 は、発生器 6 のキャパシタンス C_0 とは異なるキャパシタンス、例えば、 C_z を有することができる。

30

【 0 0 3 7 】

図 2 の例 17 に応じたアクチュエータ 2 は単相であり、図 2 の例 18 においては、二相である。対応する三相の設計は、図 2 の例 19 において示される。もちろん、三相よりも多くを用いて装置を制御することも考えられる。

【 0 0 3 8 】

発生器 6 及び 16 が併せて励起される場合、2, 3 又はそれ以上の定在波はアクチュエータ 2 において互いに独立して伝搬する。アクチュエータ 2 において伝搬している定在波は、純粹な伝送波又は伝送波と定在波の組み合わせであることができる。

40

【 0 0 3 9 】

図 4 及び図 5 に応じて、定在波発生器 6 の電極 7, 8 の出力 14, 15 は、整合変圧器 28 を通じてパワーアンプ 21 に接続される。

図 8 は、機械共振周波数 F_m の領域における超音波モータ 1 に対する定在波発生器 6 の電気機械パラメータを図示するように、等価回路を示す。この回路における記号は、次の意味を有する。 C_0 = 電気キャパシタンスであって、電極 7 と電極 8 との間に生成される； L_m = 電気インダクタンスであって、アクチュエータ 2 の質量に比例する； C_m = 電気キャパシタンスであって、アクチュエータ 2 の弾性コンプライアンスに比例する； R_m =

50

電気抵抗であって、アクチュエータ2における機械損失に比例する； R_1 = 電気抵抗であって、アクチュエータ2の負荷の機械抵抗に比例する。

【0040】

回路はその回路に印加される電圧 U_g を有しており、電圧 U_g は、回路を通じて流れる電流 I_g を引き起こす。この電流は、出力14, 15及び定在波発生器6の電極7, 8を通じて流れる。

【0041】

電流 I_g は、次の2つの成分から生成される総合電流である。 I_c = 発生器6の電気キャパシタンス C_0 の充電及び放電電流と、 I_p = 圧電電流であって、発生器6の圧電セラミック層9の領域の回転角度によって形成され、発生器6の振動速度 V_p （又は振動振幅）を反映する。

【0042】

本発明の着想に反して、電圧 U_g が正弦電圧である場合、電流 I_g , I_c 及び I_p （ V_p ）もまた正弦波を有する。この場合、電流 I_g の振幅と電流 I_p （ V_p ）の振幅とは、図9の例40に示される関係を有する。図9の表示41は、周波数における電圧 U_g と電流 I_g との位相シフトの依存性を示す。

【0043】

図9の例40と例41とにおいて、特定の複数の周波数が認められる。これらの周波数のうち、 F_g は電流 I_g の共振周波数である。この周波数において、電流 I_g は、その最大値 I_{g_m} を有しており、位相シフト角度 ϕ_g は、 ϕ_{g_m} と等しい。 F_m は、電流 I_p （ V_p ）の機械共振周波数である。この周波数において、電流 I_p （ V_p ）は、その最大値 I_{p_m} を有しており、位相シフト角度 ϕ_g は、 ϕ_{p_m} と等しい。 F_0 は、電流 I_g に対する位相シフトがゼロに等しい周波数である。 F_a は、電流 I_g の反共振周波数である。周波数 F_0 と F_a において、位相シフト角度 ϕ_g は、ゼロに等しい。

【0044】

特許文献4に応じた超音波モータのアクチュエータを励起するための方法の原理は、本発明に応じた方法に反して、正確には、前述したように、正弦電気電圧 U_g がアクチュエータに印加され、この電圧の周波数調整は、この電圧とアクチュエータを通じて流れる電流 I_g との間の位相シフト ϕ_{p_m} の安定化によって影響される。

【0045】

周波数 F_m において、インダクタンス L_m は、容量 C_m によって補償されるため、位相シフト角度 ϕ_{p_m} は、容量 C_0 及び抵抗の和 $R_m + R_1$ によって決定される。抵抗 R_m は、抵抗 R_1 よりも大幅に小さい。この理由のため、負荷の抵抗 R_I における変化は、周波数 F_m における角度 ϕ_{p_m} の変化を引き起こす。

【0046】

その結果、特許文献4に応じた手法において、超音波モータのアクチュエータにかかる負荷（ R_1 ）の変化は、励起電圧 U_g の周波数の不安定化をもたらす。この周波数は、従って、機械共振周波数 F_m とは異なる。より大きな負荷がアクチュエータにかかる場合、不安定化は、超音波モータの動作に不利益な著しい振幅の状態を起こす。

【0047】

一方、本発明に応じた手法において、電気矩形電圧 U_g は、アクチュエータ2の発生器6に印加され、その波形の形状は、図10の例42に示される。この電圧パルスの立ち上がり及び立ち下がりエッジのそれぞれは、キャパシタンス C_0 の速やかな充電と放電を引き起こす。キャパシタンス C_0 の充電及び放電は、非常に短い時間 T_c において実行され、これは励起電圧 U_g の周期 T_g の数倍小さい。この時間は、アンプ26の伝導性トランジスタの低抵抗とキャパシタンス C_0 の大きさとによって決定される。従って、電流 I_c は、図10の例43から見られるように、短いパルスの列を表す。電流パルス I_c は、矩形電圧 U_g のパルスのエッジと一致する。

【0048】

電流 I_c と同様に、圧電電流 I_p もまた発生器6を通じて流れしており、振動速度 V_p に

10

20

30

40

50

比例する。発生器 6 は、共振器 5 の一部であるため、電流 I_p は、正弦波（図 10 の例 4 4 参照）を有する。

【0049】

総合的な電流 I_g は、電流 I_c 及び電流 I_p から成り、発生器 6 の電極 7, 8 を通じて流れる（図 10 の例 4 5 参照）。

機械共振周波数 F_m において、インダクタンス L_m は、キャパシタンス C_m によって補償されるため、この周波数において、電流 I_p （矩形励起電圧 U_g に対する有効電流、又は実効電流、すなわち、電流の位相シフト）は、ゼロである。

【0050】

上述の通り、発生器 6 が本発明に応じて周波数 F_m の矩形電圧 U_g によって励起されるとき、負荷抵抗 R_1 の変化は、電流 I_g の位相変化をもたらさず、すなわち、位相差はゼロに等しいままである。

【0051】

励起電圧 U_g の周波数が F_m から F_c に減少される場合、電圧 U_g の電流 I_{p_c} は、角度 ϕ_{p_c} だけ先に進む。すなわち、圧電電流は、容量性の特性を帯びる。励起電圧の周波数が F_m から F_i に増加される場合、電圧 U_g の電流 I_{p_i} は、角度 ϕ_{p_i} だけ後退し始める。すなわち、圧電電流は誘導性の特性を帯びる（図 11, 図 12 も参照）。図 11 の例 4 7 から明らかなように、全範囲に渡る周波数 F における圧電電流 I_p (V_p) の位相シフトの相関関係は、滑らかな一価関数である。

【0052】

その構造の観点からすれば、本発明の電気励起装置 20 は、励起電圧 U_g の周波数を調整するシステムを形成し、つまり、矩形励起電圧 U_g と圧電電流 I_p との間の位相シフト角度の安定化を用いる。

【0053】

周波数調整に対して、個々の異なる原理が考えられる。例えば、励起装置 20 は、ポジティブフィードバックを備える自動式の発生器であることができ、周波数 F_m において、フィードバックループの位相シフト角度はゼロに等しく、利得係数は 1 よりも大きい。この場合、制御電圧形成装置 24 はリミットアンプ 48 として実装される（図 13 参照）。

【0054】

励起装置 20 は、ネガティブフィードバックを備えた周波数調整のための位同期ループ（PLL）システムであることもできる。この場合、制御電圧形成装置 24 は、参照入力 50 及び測定入力 51 を備える位相検出器 49 と、制御式の発生器 52 とから成る（図 14 参照）。

【0055】

周波数調整のために適用される原理に関わらず、電気励起装置 20 は制御入力 54 を伴う対称な PWM 变調器 53 を備えており、励起電圧 U_g は、幅変調された矩形電圧を表す。

【0056】

図 15 に示される電気励起装置 20 は、電源電圧 E に対するレギュレータ 55 を含み、レギュレータ 55 は、パワーアンプ 21 に対する電源を表し、制御入力 56 を備える。このレギュレータ 55 は、例えば、DC - DC 変換器として、実装されてもよく、PWM 变調器として動作する。

【0057】

図 16 に示される電気励起装置 20 の変形は、定在波発生器 6 を通じて流れる圧電電流 I_p に対する安定化システム 57 を示す。つまり、安定化システム 57 は、インパルスフィルタ 23 の出力 32 に接続された測定入力 58 を有する。

【0058】

図 17 に示される電気励起装置 20 において、電気コンポーネントインパルスフィルタ 23、制御電圧形成装置 24、バンドパスフィルタ 33、ローパスフィルタ 34、積分器 35、インパルス装置 36、位相検出器 49、制御式の発生器 52、及び安定化システム

10

20

30

40

50

57の機能は、部分的に又は完全に、D S P又はF P G Aのタイプの適切にプログラムされたデジタルプロセッサによって、実装される。デジタルプロセッサ59は、インターフェースポート60を有することができる。

【0059】

駆動される超音波モータ1の要素4を位置エンコーダ61とともに備えることができ、位置エンコーダ61の出力62は、デジタルプロセッサ59に接続される。

機能の説明

超音波モータ1のアクチュエータ2を電気的に励起するための本発明に応じた方法は、電気矩形励起電圧 U_g がアクチュエータ2の音響超音波定在波のためのメイン発生器6の励起電極7及び汎用電極8に印加され、その周波数Fは、初期において、アクチュエータ2の機械共振周波数 F_m から僅かに異なる、という事実に基づく。次いで、フィードバック要素22は、アクチュエータ2の発生器6を通じて流れる電流 I_g に比例する電圧 u_g を分岐(タップオフ)させる。この後、インパルスフィルタ23によって、圧電電流 I_p に比例する電圧 u_p は、キャパシタンス C_0 の充電及び放電電流 I_c に比例する電圧 u_c から分離される。次に、圧電電流 I_p と矩形励起電圧 U_g との位相差 ϕ_p がゼロの値に近づくように、又はゼロと等しくなるように、矩形励起電圧 U_g の周波数Fが変更される。アクチュエータ2の音響定在波のための発生器6を通じて流れる圧電電流 I_p は、従って、安定化される。

【0060】

本発明による超音波モータ1のアクチュエータ2の電気励起装置20は、次のように機能する。供給電圧Eが印加されるとき、パワーアンプ21(25, 26, 27)は、電気矩形励起電圧 U_g を供給し、その周波数Fは、アクチュエータ2の機械共振周波数 F_m から僅かに異なる。この電圧は、発生器6の電極7, 8の出力14, 15に印加される。この電圧の結果として、電流 I_g は、発生器6とフィードバック要素22(29, 30)とを通って流れ始める。フィードバック要素22(29, 30)において、電流 I_g に比例する電圧 u_g が存在する。インパルスフィルタ23(33, 34, 35, 36)の結果、電圧 u_p は、電圧 u_g から分離され、 u_p は圧電電流 I_p に比例して動作し、 u_c は、キャパシタンス C_0 の充電及び放電電流 I_c に比例する。

【0061】

電圧 u_p は、正弦電圧を表しており、機械共振周波数 F_m における位相は、矩形励起電圧 U_g の位相に整合する(又は180度シフトされる)。矩形励起電圧 U_g に対する電圧 u_p の周波数-位相特性は、滑らかな一価関数によって表される。

【0062】

電気励起装置が自動式の発生器20として実装される場合、供給電圧Eがオンに切り替えられると、パルス電流が発生器6を通じて流れ、その結果、電気励起装置20は、機械共振周波数 F_m における発振を引き起こす。機械共振周波数 F_m においてフィードバック要素22に対する位相シフト角度がゼロであり、この角度がアクチュエータの負荷に依存しないため、アクチュエータ2の負荷が何であるかに関わらず、電気励起装置20は機械共振周波数 F_m において振動する。

【0063】

電気励起装置20がネガティブフィードバックを有する周波数調整のためのPLLシステムである場合、このシステムは電気矩形電圧 u_g と電圧(すなわち、圧電電流 I_p であって、 u_p がゼロに等しくなる電圧)との間の位相シフト角度 ϕ_p を安定化する。電気励起装置20は、次いで、電圧 U_g を提供し、その周波数は、常にアクチュエータ2のいかなる負荷における機械共振周波数 F_m に等しい。

【0064】

安定化システム57を用いる圧電電流 I_p の更なる安定化は、振動速度 V_p が安定化されることを可能にし、従って、駆動される要素4の動きの速度もまた安定化されることを可能とする。

【0065】

10

20

30

40

50

ハーフブリッジ若しくはブリッジアンプ 2 6 又はデュアルクロックパワーアンプ 2 7 の使用によって、セレクタ 2 5 の内部抵抗を最も低減することができ、すなわち、容量性電流 I_c のパルス期間 t_c を最も低減することができる。

【 0 0 6 6 】

フィードバック要素 2 2 とされる、低い値の抵抗 2 9 又は測定変圧器 3 0 の使用によって、電流 I_g の電圧 u_g への変換における位相誤差を最も低減することができる。

バンドパスフィルタ 3 3 としてのインパルスフィルタ 2 3 の実装は、機械共振周波数 F_m における位相誤差が除去されることを可能にし、一方、ローパスフィルタ 3 4 又は積分器 3 5 とされるインパルスフィルタ 2 3 の設計は、これらのフィルタが極めて単純に設計されることを可能にする。

10

【 0 0 6 7 】

インパルス装置 3 6 とされるインパルスフィルタ 2 3 の設計によって、励起装置 2 0 の動作周波数範囲全体における位相誤差を除去できるようになる。

電気励起装置 2 0 における電気供給電圧のための対称な PWM 变調器 5 3 又はレギュレータを用いることによって、電流 I_p (V_p)、すなわち、駆動される要素 4 の動きの速度を調整することができる。

【 0 0 6 8 】

デジタルプロセッサ 5 9 としての電気コンポーネントの実装は、コストを低減させ、干渉の耐性を増加するように、電気励起装置 2 0 及びその構造を単純化することができる。

本発明に応じた方法及び本発明に応じた装置は、励起電圧の周波数を、超音波アクチュエータに対する最適値に保持されるようにする。この周波数は、アクチュエータの機械共振周波数に等しい値において一定に保たれており、超音波モータのアクチュエータに適用される負荷とは独立している。これは、超音波モータの動作安定度を増加する。超音波モータは常に最適な動作範囲において動作しているため、超音波モータの動作に必要とされる励起電圧及び電流の大きさ又は電力は低減される。モータは、より少ない程度にしか加熱されず、よって、動作温度範囲を延長する。

20

【図1】

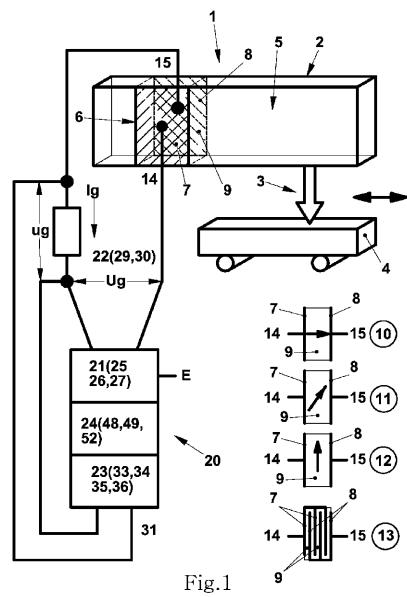


Fig.1

【図2】

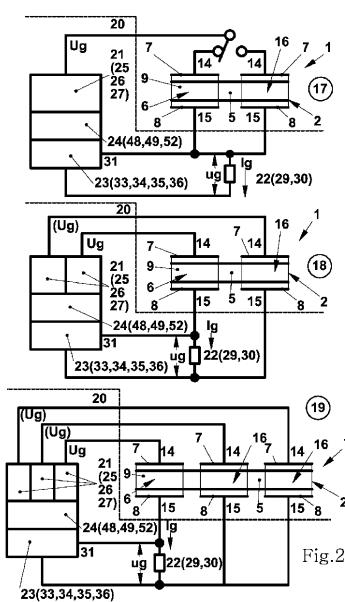


Fig.2

【図3】

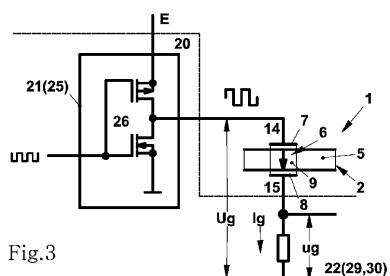


Fig.3

【図4】

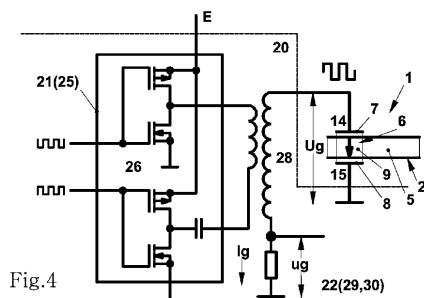


Fig.4

【図5】

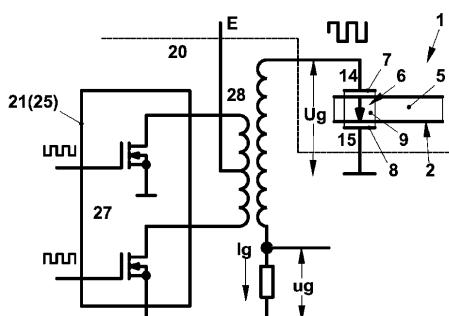


Fig.5

【図6】

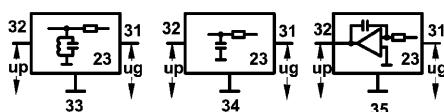


Fig.6

【図7】

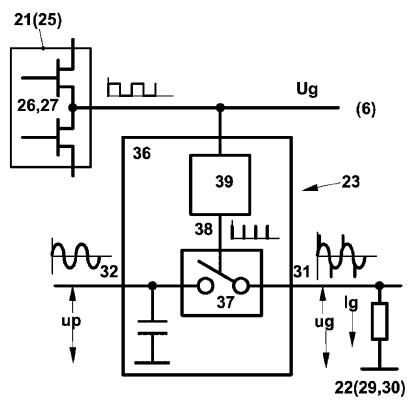


Fig.7

【図9】

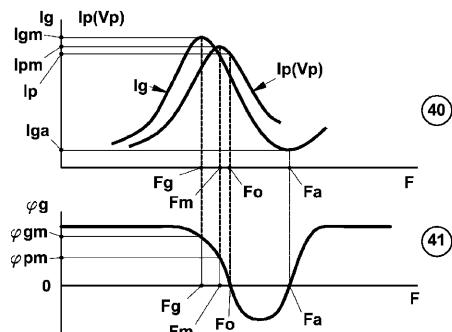


Fig.9

【図8】

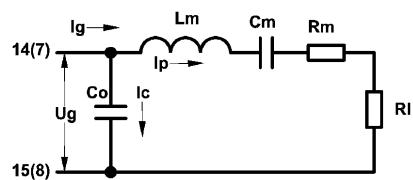


Fig.8

【図10】

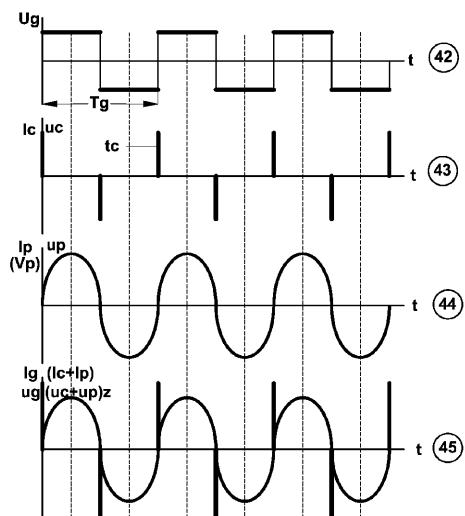


Fig.10

【図11】

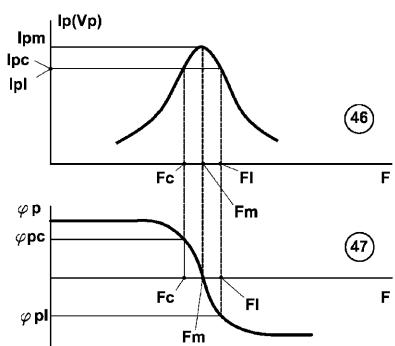


Fig.11

【図12】

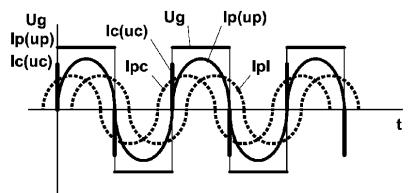
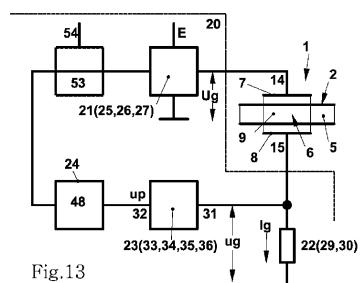
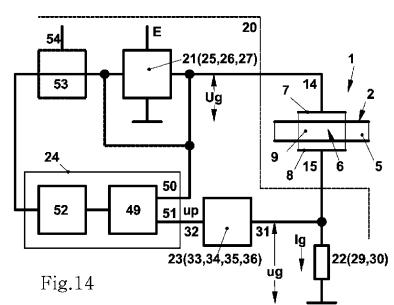


Fig.12

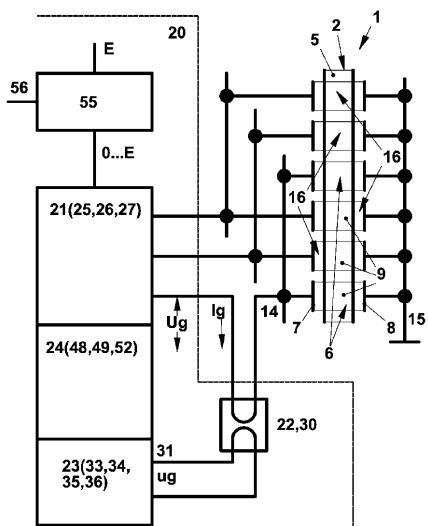
【図13】



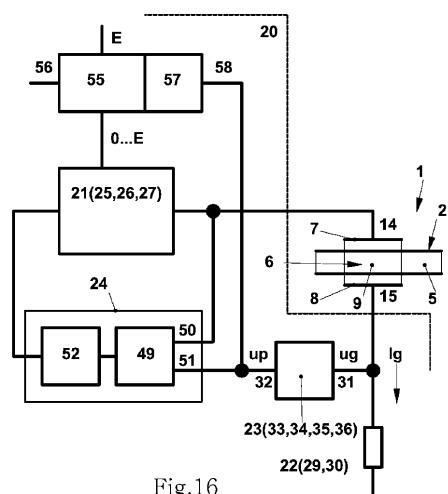
【図14】



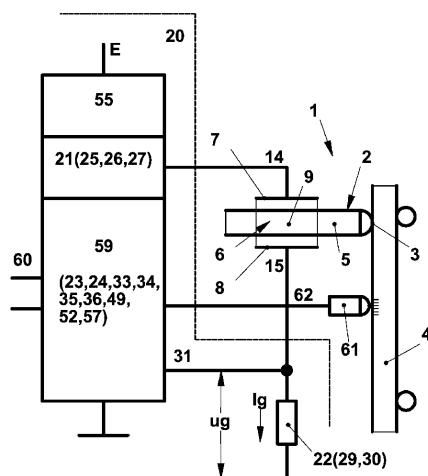
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 ビシュネウスキー、ウラディミール
ドイツ連邦共和国 77337 バルドプロン マンハイマー シュトラーセ 59

(72)発明者 ビシュネウスキー、アレクセイ
ドイツ連邦共和国 76744 ベルト リヒャルト - バーグナー - シュトラーセ 2

審査官 小林 紀和

(56)参考文献 国際公開第2009/109606 (WO, A1)
特開2011-087455 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02N 2/00