

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 7 月 2 日(02.07.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/098800 A1

- (51) 国際特許分類:
H02N 2/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/083841
- (22) 国際出願日: 2014 年 12 月 22 日(22.12.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-269678 2013 年 12 月 26 日(26.12.2013) JP
特願 2014-256709 2014 年 12 月 18 日(18.12.2014) JP
- (71) 出願人: キヤノン株式会社(CANON KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1468501 東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 住岡 潤(SUMIOKA Jun); 〒1468501 東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 キヤノン株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 阿部 琢磨, 外(ABE Takuma et al.); 〒1468501 東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 キヤノン株式会社内 Tokyo (JP).

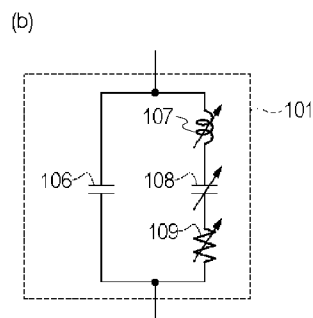
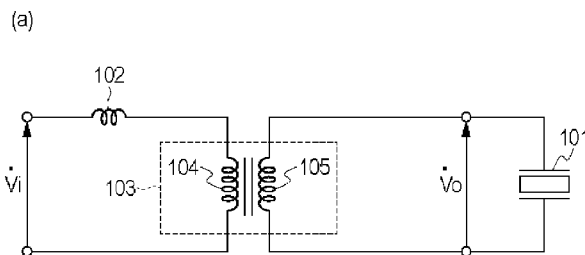
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: DRIVE CIRCUIT FOR VIBRATING BODY, VIBRATION-TYPE ACTUATOR, IMAGING DEVICE, IMAGE GENERATION DEVICE, AND DUST REMOVAL DEVICE

(54) 発明の名称: 振動体の駆動回路、振動型アクチュエータ、撮像装置、画像生成装置、及び塵埃除去装置



たす振動体の駆動回路。

(57) Abstract: A drive circuit for a vibrating body, said drive circuit being equipped with a transformer (103) and an inductor (102) connected to the primary side of the transformer (103), and configured such that an alternating voltage is applied to a primary winding coil (104) of the transformer (103). An electrical-mechanical energy conversion element (101) of a vibration-type actuator is connected in parallel to a secondary winding coil (105) of the transformer (103), and the inductor (102) is connected in series to the primary winding coil (104) of the transformer (103). When the inductance of the inductor (102) is L_{e1} , the inductance of the primary winding coil (104) of the transformer (103) is L_1 , and $K_a = L_1/L_{e1}$, the relationship $K_a \leq 10$ is satisfied.

(57) 要約: トランス (103) と、前記トランス (103) の 1 次側に接続されたインダクタ (102) と、を備えた振動体の駆動回路であって、前記トランス (103) の 1 次巻線コイル (104) に交番電圧が印加されるように構成され、前記トランス (103) の 2 次巻線コイル (105) に振動型アクチュエータの電気-機械エネルギー変換素子 (101) が並列に接続され、前記インダクタ (102) は、前記トランス (103) の前記 1 次巻線コイル (104) に直列に接続され、前記インダクタ (102) のインダクタンスを L_{e1} 、前記トランス (103) の 1 次巻線コイル (104) のインダクタンスを L_1 、 $K_a = L_1/L_{e1}$ とした場合に、 $K_a \leq 10$ を満

明 細 書

発明の名称：

振動体の駆動回路、振動型アクチュエータ、撮像装置、画像生成装置、及び塵埃除去装置

技術分野

[0001] 本発明は、振動体の駆動回路、振動型アクチュエータ、撮像装置、画像生成装置、及び塵埃除去装置に関するものである。

背景技術

[0002] 振動型アクチュエータは、弾性体に結合された電気－機械エネルギー変換素子に交番電圧を印加して該素子に高周波振動を発生させ、その振動エネルギーを連続的な機械運動として取り出すように構成された、非電磁駆動式のアクチュエータである。

[0003] 振動型アクチュエータは、例えばカメラのオートフォーカス駆動などに用いられている。オートフォーカス駆動には高精度な位置決め制御が必要であり、位置センサを用いた位置フィードバック制御が行われる。フィードバック制御を行う制御回路では、位置指令値と位置センサから検出された位置信号との偏差に基づいて制御パラメータが演算される。

[0004] 制御パラメータとして駆動周波数、圧電素子等の電気－機械エネルギー変換素子に印加する２相の駆動電圧信号の位相差、駆動パルス幅などを調整する事によって、振動型アクチュエータの速度をコントロールする事ができる。例えば、駆動周波数を圧電素子の共振周波数に近づけるほど振動振幅が大きくなり、駆動対象物であるレンズを高速に駆動する事ができる。パルス発生器にて前記制御パラメータに基づいた矩形波状の駆動周波数信号が生成された後、駆動回路にて所定の交番電圧に昇圧される。制御パラメータがコントロールされながら逐次、交番電圧が圧電素子に印加される事によって、振動型アクチュエータの位置決め制御を行う事ができる。

[0005] 前記駆動回路について詳しく説明する。駆動回路は、パルス発生器から入

力された矩形波信号をコイルやトランスを用いて数倍から数十倍に昇圧し、正弦波の交番電圧を出力する機能を有する。前記パルス発生器の信号は、スイッチング回路によって周波数とパルスデューティがオン・オフ制御され、駆動周波数に応じて調整される。

[0006] 前記コイルを用いた駆動回路は、コイルのインダクタンスと圧電素子の静電容量とによって特定周波数信号を電氣的に増幅するLC共振を利用したLC昇圧回路である。その昇圧率は一般的に1.5～3倍程度である。トランスを用いた昇圧回路は、さらに大きな昇圧率を必要とする場合に用いられ、トランスの1次巻線コイルと2次巻線コイルの巻数比によって昇圧率を自由に調整可能なものである。その昇圧率は一般的には3倍～30倍程度で使用され、振動体の必要とする駆動電圧が100～500Vpp程度と大きい場合が主である。また、トランス昇圧回路では、トランスの1次側又は2次側に圧電素子に直列にコイル素子を設ける事によって、より効果的に高調波成分が除去された正弦波を作る事ができる。

[0007] 以下、トランスを用いた振動型アクチュエータの駆動回路における従来技術を説明する。

[0008] 特許文献1は、1石式スイッチング回路を用いて圧電振動体を共振周波数近傍において駆動する圧電振動体駆動回路であって、トランスが用いられている。トランスの2次側に、適当な値のコイルを圧電振動体に直列に挿入することで圧電振動体の電圧、電流を概略正弦波とし、さらにその電流波形の位相に着目して駆動周波数制御を行うものである。

[0009] 特許文献2は、振動波モータの駆動用電極にインダクタンス素子を接続するとともに、該モータの等価回路に静電容量素子を並列に接続してモータ特性として好適化を計る振動波モータを提供するものである。その一例として、トランスを用いた駆動回路が示されている。

[0010] 特許文献3には、次のような駆動回路が開示されている。すなわち、特許文献3に記載の超音波モータの駆動回路は、基準周波数の発振回路である超音波モータ駆動用の高周波を発生する発振器と、発振器の高周波を受けて駆

動回路を構成する各スイッチングトランジスタを駆動するためのバッファ一群を有する。また、バッファを介して高周波の導通をオン・オフするフル・ブリッジ方式のスイッチングトランジスタと、駆動用高周波電力の低電圧を昇圧するためのトランスと、トランスの出力波形を整形するためのコイルを有する。

[0011] 特許文献4には、超音波モータの回転駆動源である圧電振動体に印加する高周波電力のデューティ比の可変制御手段を設け、負荷変動による速度変化を補償することで電圧制御用のチョッパ回路（DC-DC変換回路）を不要とする駆動回路が開示されている。すなわち、圧電体に高周波電力を供給するインバータ回路として、電源分離型のハーフ・ブリッジを組み合わせた回路が示されている。また、インバータ回路の出力パルスは、昇圧用のトランスを介して圧電体に印加されている。この圧電体に印加する高周波電力は、降圧トランスを介して帰還させ、インバータ回路の出力周波数を可変制御し、負荷の外乱に対する変動補正をする周波数制御手段が設けられている。さらに、この周波数制御手段の出力と圧電体の振動状態検出手段の検出電圧とに基づいて、方形波パルスの幅を可変するパルス幅制御手段の出力をインバータ回路に入力するものが開示されている。回転速度が下がったときは方形波のパルス幅を大きくし、回転速度が上がったときは方形波のパルス幅を小さくすることが記載されている。

[0012] 特許文献5には、パルス列からなる基準信号を出力する発振器と、この発振器から出力される基準信号の周波数が超音波モータの最適駆動周波数になるように制御する周波数追尾回路を有する駆動回路が開示されている。この駆動回路は、更に超音波モータの回転部の回転速度を検出するフォトセンサと、このフォトセンサによって検出された回転速度が目標の回転速度となるように基準信号のパルス幅を変調するパルス幅変調手段を有する。また、このパルス幅変調手段のパルス幅の変調に応じた振幅の駆動信号を圧電体の電極に供給する電力増幅器を有する。この開示の駆動回路は、基準信号のパルス幅を変調することにより、電力増幅器すなわち昇圧トランスから出力され

る超音波モータ駆動電圧の振幅が変化し、回転数の制御を正確にすることができる。よって、この開示の駆動回路は、フォトセンサの出力と周波数追尾回路のフィードバック信号を用いて、パルス幅の制御と、発振周波数の制御とを行い、超音波モータの回転速度を、細やかに精度高く行うことができる。

[0013] 以上のように、制御の工夫まで含めたトランスを用いた振動型アクチュエータの駆動回路が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0014] 特許文献1：特登録2618685

特許文献2：特登録3165701

特許文献3：特開平1-107680号公報

特許文献4：特開平4-222477号公報

特許文献5：特開平5-111267号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0015] 振動体の駆動回路として、昇圧部分である、トランス及びコイルから構成される駆動回路に要求される性能に着目した場合、回路効率の向上が求められている。

課題を解決するための手段

[0016] 回路効率の改善は、電気共振周波数の調整により向上させることができる。電気共振周波数をより小さいインダクタンスのトランスとコイルで低域側に調整し、高調波歪みの少ないSIN駆動波形を生成することにより、不要な電流を抑えて回路効率を向上する事ができる。

[0017] 本発明の一様態は、トランスと、前記トランスの1次側に接続されたインダクタと、を備えた振動型アクチュエータの駆動回路であって、前記トランスの1次巻線コイルに交番電圧が印加されるように構成され、前記トランス

の２次巻線コイルに振動型アクチュエータの電気－機械エネルギー変換素子が並列に接続され、前記インダクタは、前記トランスの前記１次巻線コイルに直列に接続され、前記インダクタのインダクタンスを L_e1 、前記トランスの１次巻線コイルのインダクタンスを L_1 、 $K_a = L_1 / L_e1$ とした場合に、 $K_a \leq 10$ を満たすことを特徴とする振動型アクチュエータの駆動回路に関する。

[0018] また、本発明の一様態は、トランスと、前記トランスの２次側に接続されたインダクタと、を備えた振動型アクチュエータの駆動回路であって、前記トランスの１次巻線コイルに交番電圧が印加されるように構成され、前記トランスの２次巻線コイルに電気－機械エネルギー変換素子が並列に接続され、前記トランスの２次側にインダクタが前記電気－機械エネルギー変換素子に直列に接続され、前記インダクタのインダクタンスを L_e2 、前記トランスの２次巻線コイルのインダクタンスを L_2 、 $K_b = L_2 / L_e2$ とした場合に、 $K_b \leq 10$ を満たすことを特徴とする振動型アクチュエータの駆動回路に関する。

[0019] 更に、本発明の一様態は、トランスと、前記トランスの２次側に接続されたインダクタと、を備え、前記トランスの１次巻線コイルに交番電圧が印加されるように構成され、前記トランスの２次巻線コイルに N 個の電気－機械エネルギー変換素子が並列に接続され、前記トランスの２次側にインダクタが前記電気－機械エネルギー変換素子に直列に接続され、前記トランスの巻数比を R 、前記トランスの１次巻線コイルのインダクタンスを L_1 、前記トランスの前記２次巻線コイルのインダクタンスを L_{n2} とした場合に、 $L_{n2} = L_1 \cdot R^2 / N$ を満たす振動体の駆動回路に関する。

発明の効果

[0020] 本発明の一様態によれば、消費電力の少ない振動体の駆動回路、及びそれを有する振動型アクチュエータ、撮像装置、画像形成装置、または塵埃除去装置を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明の実施形態における振動体の駆動回路を示す図である。

[図2]本発明の実施形態における振動型アクチュエータの駆動原理を説明する図である。

[図3]本発明の実施形態における振動体の駆動回路を用いた位置フィードバック制御システムを説明する図である。

[図4]本発明の実施形態における駆動回路の電力と出力電圧の計算結果を示す図である。

[図5]本発明の実施形態における、 K_a に基づくコイルとトランス1次巻線コイルの各インダクタンスの関係と、100kHzでの交番電圧と消費電力の計算結果を示す図である。

[図6]本発明の実施形態における駆動回路の電力と出力電圧の計算結果を示す図である。

[図7]本発明を適用した駆動回路における、回路全体の消費電力の実験結果を示す図である。

[図8]本発明の実施形態における、複数の振動体とその駆動回路を有する振動型アクチュエータの例を示すものである。

[図9]本実施の形態の複数振動体とその駆動回路を有する振動型アクチュエータを示す図である。

[図10]本実施の形態の駆動回路における、回路全体の消費電力の実験結果を示す図である。

[図11]カメラレンズのオートフォーカス駆動などに用いられる、棒状の振動型アクチュエータの分解斜視図である。

[図12]実施の形態2における、 K_b に基づく3次高調波の基本波成分に対する電圧振幅の比を示す計算結果である。

[図13]実施の形態2における駆動回路の電力と出力電圧の計算結果を示す図である。

[図14]進行波型の振動型アクチュエータの構成を示す模式図である。

[図15]実施の形態1における L_e と L_1 の合計インダクタンス値とトランス

1 次巻線コイルに流れる電流値の関係を示すものである。

[図16]実施の形態2の振動体とその駆動回路を有する振動型アクチュエータの構成を示すものである。

[図17]実施の形態2における、 $K_b = 0.2 \sim 3.0$ の範囲で変えた場合の電気共振周波数 f_e と電圧比を計算した結果である。

[図18]本発明の実施の形態1における、 K_a に基づく電気共振周波数 f_e の計算結果を示すものである。

[図19]本発明の実施の形態1における、 K_a に基づく電圧比の計算結果を示すものである。

[図20]本発明の実施の形態4における、振動体の駆動回路を備える装置の一例であるデジタルカメラ、ロボットの概略構造を示すものである。

[図21]本発明の実施形態における駆動回路の電力と出力電圧の計算結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下に図面を参照し、本発明の実施の形態の例について説明する。ただし、本発明は、この発明の範囲を逸脱しない限りにおいて、これに限定されるものではない。

[0023] 本願において、振動体は、圧電素子等の電気－機械エネルギー変換素子と電気－機械エネルギー変換素子に接合する弾性体を有し、振動子は、前記振動体と移動体を有する。また、振動型アクチュエータは、前記振動子と前記振動体の駆動回路を有する。

[0024] 本発明の一様態によれば、消費電力の少ない振動型アクチュエータを実現することができる。また、高調波歪みの少ないSIN駆動波形を生成することができ、回路起因の振動体への不要振動を抑制でき、良好な制御性能を得ることができる。更にまた、製作容易な回路素子の定数を設計することができ、回路の実装面積の縮小を図ることができる。本発明の一様態により、これらの効果を、異なる共振周波数や圧電素子の静電容量、複数振動子の共通化駆動時においても幅広く得る事ができる。

[0025] (実施の形態 1)

本発明の振動体の駆動回路及び振動型アクチュエータについて、図面を参照しながら説明する。本発明の駆動回路は、次のような振動体に適用される。即ち、本発明の駆動回路が駆動する振動体は、圧電素子等の電気－機械エネルギー変換素子と電気－機械エネルギー変換素子に接合する弾性体を有する。また、振動子は、前記振動体と、前記弾性体に加圧接触して振動体に対して相対的に移動する移動体と、を備える。電気－機械エネルギー変換素子には、位相の異なる複数の交番電圧が各々印加され、弾性体に振動を発生させる。弾性体は、生じた振動により弾性体の駆動部（移動体との接触部）に橢円運動を生じ、この橢円運動によって移動体は弾性体に対して相対的に移動する。例えば、本実施形態の駆動回路は、電気－機械エネルギー変換素子と、電気－機械エネルギー変換素子が接合された板状の弾性体を有する振動体の駆動回路に用いることができる。弾性体は、移動体と摩擦接触する突起状の駆動部を有し、電気－機械エネルギー変換素子に交番電圧を印加することで、駆動部に橢円運動が生成される。

[0026] 本実施形態は、電気－機械エネルギー変換素子である圧電素子を 2 相に分けて駆動する 2 相駆動における回路を例にとって説明する。2 相駆動の場合、各相に加えられる交番電圧の位相が $\pm 90^\circ$ ずれる以外は第 1 と第 2 相間で差がないので、1 相部分のみについて以後説明する。尚、本発明は 2 相駆動に限定されるものではなく、4 相以上の進行波型のアクチュエータなど、幅広く適用できる。また、交番信号を発生する発振器、スイッチング回路についても、発明の本質に関わるものではなく、特に限定されない。従って、下記に示すように、入力側の交番電圧が、電圧 V_i である部分から、振動体に印加される出力側の交番電圧が、電圧 V_o である部分までの駆動回路についてのみ、以後説明する。

[0027] 図 1 (a) は本発明の実施形態における振動体の駆動回路及び振動型アクチュエータを示す図である。駆動回路の構成は、振動体 101 にトランス 103 の 2 次巻線コイル 105 が並列に接続され、トランス 1 次巻線コイル 1

04に直列にインダクタ102が接続されている。ここで、インダクタ102としては、コイル等のインダクタンス素子を用いることができる。インダクタ102は、一般的には高調波の除去と電気共振の調整を目的として用いられるが、本発明ではトランスの回路定数との関連性も考慮して、電気共振周波数の調整と十分な駆動電圧の確保、回路効率の改善、または磁気ノイズの低減を図ることもできる。尚、インダクタ102は、トランス1次巻線コイル104の上側に図1(a)では接続されているが、回路的に等価であるので、下側に接続しても良い。ここで、トランス2次巻線コイル105の1次巻線コイル104に対する巻線比は16とした。また、図16に示すようにインダクタ1601をトランス2次巻線コイル105に直列に接続することが一般的であるが、本実施の形態では図1(a)のようにトランスの1次側に設けるように工夫している。これは、1次側に設けたコイルは2次側のコイルに対して、トランスの相互誘導の作用によりインダクタンスを巻数比の2乗分の1に低減してもインピーダンスが等価なので、同様の電気特性が得られる為である。本発明のようにインダクタ102をトランスの1次側に設けることで、インダクタンスが小さいものを使用でき、回路実装面積の縮小を図ることができる。

[0028] また、本発明で用いるトランスとしては、回路効率の向上と磁気ノイズの低減、高調波除去を両立する事を目的として、トランスの結合係数 T_k が0.95～0.98程度の一般的に磁気結合が高いものを用いるのが望ましい。結合係数が低いものは、トランスからの漏洩磁束が大きく、トランス自体の効率が下がる為である。よって、過剰電圧防止に用いられるリーケージトランスは磁気ノイズの増加と消費電力の増大を招くので、本発明の駆動回路には適さない。

[0029] ここで、振動体101の等価回路について図1(b)を用いて説明する。図1(b)は、1相部分の振動体101を等価回路で表わしたものである。振動体101の等価回路は、機械的振動部分のRLC直列回路と、RLC直列回路に並列に接続された振動体101の固有静電容量 C_d のコンデンサ1

06と、により構成される。ここで、機械的振動部分のRLC直列回路は、自己インダクタンス L_m の等価コイル107、静電容量 C_m の等価コンデンサ108、及び抵抗値 R_m の等価抵抗109を用いて表すことができる。本実施の形態で使用する振動型アクチュエータの各定数は、 L_m は50mH、 C_m は65pF、 R_m は3k Ω 、 C_d は0.54nFとする。

[0030] 本発明において、振動体101のメカ共振周波数を f_m と定義すると、

[0031] [数1]

$$f_m = 1 / (2\pi \sqrt{L_m C_m}) \quad (\text{式} 1 - 1)$$

となる。本実施形態では、 f_m は88kHzとした。

[0032] 図2は、本実施形態におけるリニア型振動波駆動装置の駆動原理を説明する図である。

[0033] 図2(a)において、弾性体203に接着された圧電素子204に交番電圧を印加することにより、図2(c)、(d)に示すような2つの振動モードを発生させ、突起部202に加圧接触する移動体201を矢印方向に移動させる。

[0034] 図2(b)は圧電素子204の電極パターンを示す図であり、例えば振動体205の圧電素子204には、長手方向で2等分された電極領域が形成されている。

[0035] また、各電極領域に対応する圧電層の分極方向は、同一方向(+)となっている。

[0036] 圧電素子204の2つの電極領域のうち図2(b)の右側に位置する電極領域には交番電圧(V_1)が印加され、左側に位置する電極領域には交番電圧(V_2)が印加される。

[0037] V_1 および V_2 をAモードの共振周波数付近の周波数で、かつ同位相の交番電圧とすると、圧電素子204の全体(2つの電極領域)がある瞬間には伸び、また別の瞬間には縮むことになる。

[0038] この結果、振動体205には図2(c)に示すAモードの振動が発生することになる。

- [0039] また、 V_1 および V_2 を B モードの共振周波数付近の周波数で、かつ位相が 180° ずれた交番電圧とすると、ある瞬間には、圧電素子 204 の右側の電極領域が縮むとともに、左側の電極領域が伸びる。
- [0040] また、別の瞬間には逆の関係となる。この結果、振動体 205 には図 2 (d) に示す B モードの振動が発生することになる。
- [0041] このように、2 つの振動モードを合成することにより、移動体 201 が図 2 (a) の矢印方向に駆動される。
- [0042] また、2 等分された電極へ入力する交番電圧の位相差を変えることにより、A モードと B モードの発生比を変更することができる。
- [0043] この振動体では、発生比を変えることにより移動体の速度を変更させることが可能となる。
- [0044] 図 3 は、本発明の実施形態における振動型アクチュエータの駆動回路を用いた位置フィードバック制御システムを説明する図である。
- [0045] 不図示のコントローラより位置指令が与えられ、制御回路 301 に入力される。制御回路 301 では、位置検出回路 309 で得られた検出位置と位置指令との差分により偏差が演算される。制御回路 301 は偏差情報に基づき、制御回路 301 内の P I D 補償器による演算が行われ、駆動パラメータとなる制御信号が出力される。ここで、P I D 補償器とは、比例 (P) ・積分 (I) ・微分 (D) の各機能を有する補償器の出力を加算したものであり、制御対象の位相遅れやゲインを補償して、安定且つ高精度な制御系を構築するために一般的に用いられる。
- [0046] 振動体の制御パラメータである周波数、位相差、パルス幅情報を有する制御信号が制御回路から出力され、パルス発生器 302 に入力される。パルス発生器 302 は、入力された制御信号に応じて駆動周波数が変化するパルス信号を発生させるものであり、デジタル分周回路や V C O (電圧制御発振器) などが用いられる。また、PWM (パルス幅変調) 制御により、制御信号に応じてパルス幅が変化するパルス信号を発生させても良い。パルス発生器 302 から出力されたパルス信号は、スイッチング回路 304 に入力され、

位相が 90° 異なる2相の交番電圧が出力される。スイッチング回路304は、DC電源303から供給された直流電圧を入力パルス信号のタイミングでスイッチングし、矩形波の交番電圧を生成する。前記交番電圧は図1(a)で示した構成の駆動回路305に入力され、所望の駆動電圧に昇圧される。

[0047] 駆動回路305から出力されたSIN波の交番電圧はフレキ306を介して圧電素子204に印加され、振動体205と移動体201とが相対移動する。移動体201に取り付けられた位置スケール307の相対位置を位置センサ308によって検出し、位置検出回路309で位置情報を検出する。位置情報は制御回路301に入力され、位置指令に近づくように振動体205はフィードバック制御される。

[0048] 図4は、本発明の実施形態における駆動回路の電力と出力電圧の計算結果を示す図である。本計算は、図1(a)で示した駆動回路の構成と回路定数を用いている。図4(a)は回路全体で消費する電力を示し、図4(b)は出力側の交番電圧 V_o （圧電素子の印加電圧）を示している。消費電力は、コイルの直流抵抗 0.9Ω とトランスの2次巻線コイルの抵抗 80Ω 、そして圧電素子の等価回路定数を考慮して計算した。ここで、入力側の交番電圧 V_i は $6V_{pp}$ として、トランスによって約16倍の昇圧率が得られるように設定した。横軸は周波数を示し、振動体のメカ共振周波数 f_m が $88kHz$ であるので、駆動周波数範囲は $90\sim 100kHz$ とした。本実施の形態で使用する振動体は、 $100kHz$ 以下より起動する事ができ、起動時は低速で駆動を開始する。そして、駆動周波数をメカ共振周波数に向けて低側にスイープしていく事で速度を上げる事ができる。メカ共振周波数を超えると振動体の崖落ち現象で振動が急激に停止し、再度周波数を上げてても駆動できなくなるので、安定して駆動する為に $90kHz$ より大きな周波数を用いる。この駆動周波数範囲において、電力と駆動電圧の変化に注目する。ここで、電圧入力側に設けられたコイル、トランス、及び圧電素子の固有静電容量 C_d によって生成される回路の、電気共振ピークの周波数を f_e とする。振

動体の駆動周波数として、 f_m より大きく、後述の回路全体の電気共振周波数 f_e （図4では135～240kHz）より低い周波数範囲を使用する事で、駆動電圧の変化がなだらかな領域で駆動でき、急激な速度変化を抑えることができる。従って、振動体を精度良く駆動でき、性能の高い振動型アクチュエータを実現できる。

[0049] ここで、電圧入力側に設けられたコイル102のインダクタンスを L_{e1} 、トランス1次巻線コイル104のインダクタンスを L_1 とし、そのインダクタンス比を下記 K_a として定義する。

$$K_a = L_1 / L_{e1} \quad (\text{式1-2})$$

[0050] 前記 K_a は、振動体のメカ共振周波数や固有静電容量の違いに対応可能なように一般化する為に定義したパラメータである。つまり、 K_a を本発明で述べる適切な範囲に設定すれば、振動型アクチュエータを駆動する上で最適な回路を構成する事が可能となる。

[0051] 図15は、実施の形態1におけるインダクタンス L_{e1} とインダクタンス L_1 の合計インダクタンス値とトランス1次巻線コイルに流れる電流値の関係を示すものである。横軸はトランス1次側の電流値、縦軸は合計インダクタンス値である。1次側の入力電圧を V_{in} 、電圧オン時間を T_{on} 、駆動周波数を f_d 、電流値を I とすると、合計インダクタンス値は下記式にて算出される。

[0052] [数2]

$$L_{e1} + L_1 = \frac{V_{in} \times T_{on}}{I} \quad (\text{式1-3})$$

[0053] ここで、 V_{in} を3V、 T_{on} を5.6 μs とし、周波数は90kHz、駆動パルス幅50%で計算した。合計インダクタンス値と電流は逆数の関係にあるため、電流を小さくするには合計インダクタンス値を大きくする必要がある。一方、電流値には、トランスが磁気飽和を起こさないための上限値がある。上記を考慮すると、本実施の形態で使用するトランスに流れる電流の最大値は、0.5Aである。従って、図15より、合計インダクタンス値

は、 $33\mu\text{H}$ 以上が必要と求められる。一方、必要以上にインダクタンスを大きくすると、巻線コイルの配線抵抗が増えて消費電力が増えてしまう。よって、合計インダクタンス値を、 $33\mu\text{H}$ に対して余裕をみて、 $40\mu\text{H}$ に設定した。尚、 V_{in} 、 T_{on} 、 I は使用する電源やトランスによって条件が変わるので、上式に基づいて合計インダクタンス値を調整すれば良い。

[0054] 図4に、 K_a を0.1～1.0の範囲で変化させた計算結果をプロットしたものを示す。横軸は周波数であり、(a)は回路消費電力、(b)は出力側の交番電圧 V_o を示す。尚、コイル102とトランス1次巻線コイル104の合計インダクタンス、 $L_{e1}+L_1$ は、前記の理由から $40\mu\text{H}$ に設定し、 K_a の値を振っている。例えば、 $K_a=1$ の場合、 $L_{e1}=20\mu\text{H}$ 、 $L_1=20\mu\text{H}$ と設定される。まず、図4(a)の回路消費電力をみると、2つのピークが存在する。低周波数側は 88kHz 付近であり、これはメカ共振周波数付近で圧電素子に電流が大きく流れる事を意味している。高周波数側は $135\sim 240\text{kHz}$ の範囲でピーク周波数が変化しており、 K_a の値によって、電氣的共振周波数が変化することが分かる。これは K_a に基づいて回路の電氣的共振特性を調整可能な事を意味しており、電気共振周波数を低域側にシフトして3次高調波を低減する事ができる。ここで、駆動周波数を 100kHz とした場合、図4(a)及び図4(b)より、 K_a の値によって回路の消費電力と駆動電圧が変化する様子がわかる。すなわち、 K_a を最適化する事によって回路の消費電力を低減しつつ、十分な交番電圧を出力する回路を構成できる。 K_a の最適化に際して、電気共振周波数 f_e と交番電圧の特性をまとめたものを次に説明する。

[0055] 図18は、本発明の実施形態における、 K_a に基づく電気共振周波数 f_e の計算結果を示すものである。 K_a の変更によって f_e を低域側に調整することができるので、後述の理由から3次高調波を低減でき、回路効率の向上が図れる。ここで、トランス1次巻線コイル104のインダクタンス L_1 の値を $1\mu\text{H}$ 、 $10\mu\text{H}$ 、 $30\mu\text{H}$ 、 $100\mu\text{H}$ の各条件で比較した。 $1\mu\text{H}$ はトランスの巻線コイルとしては実現可能な最小値と考えて良い。

[0056] 図18(a)は、巻数比16倍で C_d が0.47nFの条件において、 K_a を0.2~30まで振った場合の結果である。図からわかるように、 $K_a \leq 10$ の時、電気共振周波数 f_e の値が小さくなっていることから、 $K_a \leq 10$ にすることで効果的に f_e を低域側にシフトする事ができる。すなわち、3次高調波の基本波に対する比を小さくできる。この傾向は、 L_1 の値を変えても同様である事がわかった。図18(b)は、巻数比10倍で C_d が0.47nFの条件における結果、図18(c)は、巻数比10倍で C_d が3.5nFの条件における結果である。これらの結果より、トランスの巻数比や圧電素子の固有静電容量が変わっても、 $K_a \leq 10$ であればより小さいインダクタンスで f_e を低域側に調整できる事がわかった。

[0057] 本実施の形態では、 f_e を低域側に調整することで3次高調波の基本波に対する比を小さくできる K_a の値を適正範囲とし、

$$K_a \leq 10 \quad (\text{式1-4})$$

である事を導きだした。 K_a の値が適正であれば、振動型アクチュエータの回路消費電力を低減する事ができる。

[0058] 例えば、振動体の構造や大きさ、振動モードが異なる振動子では、共振周波数や圧電素子の静電容量が異なるため、振動子毎に回路定数を変更する必要がある。さらには、同じ振動体であっても、駆動対象の振動体が複数個である場合は、駆動回路の共通化を図ると静電容量が個数に応じて増えるので、回路の電気共振特性が振動体が単数の場合と異なってしまう。また、複数の振動体に対応する駆動回路を設計する場合、駆動回路の各素子のインダクタンス値など設計パラメータは多く、必要な駆動電圧を単に出力するだけであれば、無数の組合せが存在する。これらの回路定数の組合せは主に設計者の判断に委ねられているが、その結果は振動子の駆動時の消費電力や制御性に大きく影響する事となる。

[0059] 本発明の駆動回路は、振動体の構造や大きさ、振動モードや数に拘らず、回路効率がよく、回路の消費電力が低減された駆動回路である。

[0060] また、従来は、上記課題を解決する、トランス昇圧を用いた駆動回路の各

定数の体系化された決定手法は無かった。一方、本発明の駆動回路は、例えばトランス昇圧回路であり、コイルとトランス定数の関係、及び複数振動体の個数とトランスのインダクタンス値に着目して、 $K_a \leq 10$ を満たすように駆動回路を設計することで、回路効率のよい駆動回路を設計することができる。

[0061] 上述の通り、トランスの１次側のコイルを流れる電流が、最大許容入力電流値 I_{max} を超えると、トランスが磁気飽和状態となり、昇圧を適切に行うことができない。ここで、１次側の入力電圧 V_{in} 及び電圧オン時間 T_{on} は、入力側に接続される電源や、振動体を所望の条件で駆動するために交番電圧に求められる周波数や振幅により、それぞれ取りうる値が決まり、設計の自由度は大きくない。（式１－３）に示す通り、入力電流値 I は、１次側の入力電圧 V_{in} 、電圧オン時間 T_{on} 、及びインダクタンス L_{e1} とインダクタンス L_1 の合計インダクタンス値によって決まる。よって、インダクタンス L_{e1} とインダクタンス L_1 の合計インダクタンス値を下記（式１－５）を満たすように設定することで、入力電流が最大許容入力電流値 I_{max} を超えるのを防ぎ、入力電圧を安定して昇圧することが可能になる。

[0062] [数3]

$$L_{e1} + L_1 \geq \frac{V_{in} \times T_{on}}{I_{max}} \quad (\text{式 1 - 5})$$

[0063] 更に、上述の通り、インダクタンス L_{e1} とインダクタンス L_1 の比を（式１－４）を満たす値とすることで、効果的に f_e を低域側にシフトする事、すなわち、３次高調波の基本波に対する比を小さくすることができる。よって、（式１－４）に基づいて適切な範囲に設定された K_a 、及び（式１－５）に基づいて算出された合計インダクタンス値を用いることによって、トランスが磁気飽和を起こさず、巻線コイルの抵抗がより小さい回路定数を選択することができ、更に、回路効率が向上した振動体の駆動回路を実現することができる。

[0064] 図１９は、本発明の実施形態における、 K_a に基づく電圧比の計算結果を

示すものである。図19における電圧比は、 $V_o/V_{in}/R$ で規格化したものであり、入出力の電圧比を巻数比 R で除したものである。巻数比 R で除した電圧比を評価することで、入力電圧と巻数比の値に依らずに、本発明の効果を説明できる。尚、トランス1次巻線コイル104のインダクタンス L_1 の値は、図18と同様に、 $1\mu\text{H}$ 、 $10\mu\text{H}$ 、 $30\mu\text{H}$ 、 $100\mu\text{H}$ の条件で確認したが、条件による違いが生じなかったので、 $30\mu\text{H}$ の場合の計算結果のみをプロットした。理想的な電圧比は1であるが、 f_e を低域側へ調整する効果とのトレードオフにより、ある程度の低下は避けられない。したがって、 f_e の低域側への調整を考慮すると、電圧比が、0.5以上となる構成が好ましいと考えられる。

[0065] 図19(a)は、巻数比16倍で C_d が 0.47nF の条件において、 K_a を0.2~30まで振った場合の結果である。図のように、 $K_a \geq 1$ であれば電圧比は0.5以上となる事がわかった。図19(b)は、巻数比10倍で C_d が 0.47nF の条件における結果、図19(c)は、巻数比10倍で C_d が 3.5nF の条件における結果である。これらの結果より、トランスの巻数比や圧電素子の固有静電容量が変わっても、電圧比と K_a の関係は同様の傾向を示しており、 $K_a \geq 1$ であればトランス巻数比の半分以上の電圧（電圧比0.5以上）が得られる事がわかった。

[0066] 本実施の形態では、(式1-4)の範囲に加えて、巻数比の半分以上の駆動電圧が得られる K_a の値は、

$$1 \leq K_a \quad (\text{式1-6})$$

である事を導きだした。よって、 K_a の値が $1 \leq K_a \leq 10$ であれば、振動型アクチュエータの回路消費電力を低減した上で、良好な駆動電圧を得る事ができる。さらには、より小さいインダクタンスのトランスの設計が可能となるので、製作容易な回路素子を設計する事ができる。トランスやコイルの外形サイズは、その巻数比やインダクタンス値によって決まるので、回路実装面積を小さくするにはこれらの値を下げる事が必要である。また、高調波の電流を低減できるので、トランスからの磁気ノイズも低減する事ができる。

。

[0067] 前述の K_a の計算では、広範囲の条件下で一般化した適正範囲の結果を説明したが、次の図では、巻数比や固有静電容量、駆動周波数といった条件を固定した場合の具体例を説明する。図5は、本発明の実施形態における、 K_a に基づくコイルとトランス1次巻線コイルの各インダクタンスの関係と、100kHzでの交番電圧と消費電力の計算結果を示す図である。図5(a)は、 K_a に基づくコイル102とトランス1次巻線コイル104の各インダクタンス(L_{e1} 、 L_1)の関係を示す。 L_{e1} と L_1 の合計値は40 μ Hであり、 K_a を0~10まで変えている。計算結果に基づき試作した回路を評価した結果、更に、 $K_a = 1.5 \sim 3.0$ の範囲で後述のように回路消費電力が最も低減された。したがって、コイル102とトランス1次巻線コイル104のインダクタンス(L_{e1} 、 L_1)の関係は、 $1.5 \leq K_a \leq 3.0$ とすることが、より好ましい。

[0068] 図5(b)に、 K_a に基づく3次高調波の基本波に対する電圧の比の結果を示す。3次高調波を分子、基本波を分母とする。3次高調波の電圧は、駆動周波数を100kHzとしたので3倍の300kHzでの電圧値である。トランスの1次側に入力される交番電圧 V_i は上述の通り矩形波であり、矩形波に含まれる高調波成分は3次高調波が最も大きく、続いて5次、7次と生じる。つまり、3次高調波の比が大きいと、波形歪みの大きいSIN波となり、不要な電流が流れるので効率低下や磁気ノイズの発生を招く。 K_a が大きくなるに従い回路の電気共振周波数 f_e が高域側にシフトするので、3次高調波の比が大きくなる。図5(b)より、 K_a の値が、 $K_a \leq 5$ を満たす時、 $L_{e1} + L_1$ の値が、20 μ H、40 μ H、及び60 μ Hの全ての場合において、基本波の電圧の方が、3次高調波の電圧よりも大きな値となる。従って、高調波の影響を低減する観点からは、 K_a は $K_a \leq 5$ を満たすことが、好ましい。

[0069] 更に、3次高調波の電圧の、基本波の電圧に対する比が0.5以下であると高い回路効率を得ることができるため、一次巻線コイルのインダクタンス

L₁を、図5（b）のグラフを作成して、決定してもよい。つまり、駆動周波数を基本波とした電圧振幅をV₁、3次高調波の電圧振幅をV₃とすると、一次巻線コイル104とコイル102は、前記交番電圧の3次高調波の比V₃/V₁が0.5以下となるインダクタンス値であることが好ましい。

[0070] 図5（c）に、K_aに基づく回路消費電力の結果を示す。ここで、回路消費電力とは、圧電素子を含む駆動回路全体の電力である。図より、L_{e1}とL₁の合計値が20μHの場合はK_aが大きくなるにつれて消費電力が増加する。これは、3次高調波が大きくなると電流が増え、巻線コイルの配線抵抗での消費電力が増加する為である。次に、L_{e1}とL₁の合計値が60μHの場合は、K_a=3において、図5（d）より駆動電圧は160V_{pp}が得られ、図5（c）より消費電力は500mWである。対して、合計値40μHの場合、駆動電圧は125V_{pp}が得られ、消費電力は400mWと小さい。つまり、合計値60μHの場合は駆動電圧が大きい分、消費電力も増加する傾向にある。前述のトランスの磁気飽和の点では、L_{e1}とL₁の合計値は、60μHとしても良い。また、合計値を40μHとすることで、更に消費電力を小さくすることができる。インダクタンスを小さくすればより小型のトランスを使用する事ができ、回路の実装面積の縮小を図ることができる。

[0071] 十分な昇圧効果と高調波の低減を実現するためには、電気共振周波数f_eと振動体のメカ共振周波数f_mが、下記の（式1-7）を満たすことが好ましい。

$$1.30 \cdot f_m < f_e < 2.50 \cdot f_m \quad (\text{式1-7})$$

[0072] これによって、基本波に対する第3次高調波の電圧比を1.0以下とする事ができる。3次高調波等の高調波成分の影響を低減するためには、上記の他に、圧電素子の静電容量C_d、トランスの巻き数比を調整してもよい。しかし、C_dを調整する場合、入力電流の増加を招くので消費電力が増加してしまう。巻き数比を調整する場合、駆動回路の入力電圧を変更しなければならず、使用する電源の制約が生じて難しい。よって、電気共振周波数f_eと

振動体のメカ共振周波数 f_m を上記の（式 1 - 7）を満たす値とすることによって十分な昇圧効果が得られ、高調波を低減できる。つまり、振動体の駆動回路を設計する際、 L_{e1} と L_1 の合計値とその比である K_a を、（式 1 - 7）が成立するように決めていくことで、十分な昇圧効果と高調波の低減を実現できる。

[0073] 具体例を以下に示す。図 5（d）に、 K_a に基づく交番電圧 V_o の結果を示す。 L_{e1} と L_1 の合計値は $20\mu\text{H}$ 、 $40\mu\text{H}$ 、 $60\mu\text{H}$ のケースを併せてプロットしている。いずれのケースにおいても、 $K_a = 0 \sim 1$ の領域にかけて急激に交番電圧 V_o が増大し、 $L_{e1} + L_1$ が $20\mu\text{H}$ 、 $40\mu\text{H}$ の場合は、 $K_a = 1 \sim 5$ の領域にかけて電圧が緩やかに上昇し、 $K_a = 5 \sim 10$ の領域で電圧変化がほぼ無くなる。また、 $L_{e1} + L_1$ が $60\mu\text{H}$ の場合は、 $K_a = 1 \sim 5$ の領域にかけて電圧が高い値の範囲で緩やかに上昇及びわずかに下降し、 $K_a = 5 \sim 10$ の領域で電圧変化がほぼ無くなる。これは、 $K_a \geq 1$ で十分な昇圧効果が得られ、 $K_a \geq 5$ では昇圧効果が飽和する事を意味している。したがって、昇圧効果が効果的に得られるのは、 K_a が、 $K_a \leq 5$ を満たしている場合である。よって、昇圧効果を効果的に得るという観点からは、 K_a の値を $K_a \leq 5$ を満たすようにすることが、好ましい。本実施形態の振動型アクチュエータでは、交番電圧が 90V_{pp} 以上、好ましくは 120V_{pp} を確保することにより、十分な制御性能を得る事ができる。

[0074] 次に、電気共振周波数 f_e の範囲について説明する。前述した図 4 において、 $1 \leq K_a \leq 10$ の範囲で f_e は $135 \sim 180\text{kHz}$ （ f_m の $1.53 \sim 2.05$ 倍）であった。これは、 L_{e1} と L_1 の合計値が $40\mu\text{H}$ の場合である。

[0075] 図 6 は、 L_{e1} と L_1 の合計値 $60\mu\text{H}$ における回路消費電力と交番電圧 V_o の計算結果を示す図である。図 6（a）は回路消費電力を示し、図 6（b）は出力側の交番電圧 V_o を示す。図 5（b）より、 L_{e1} と L_1 の合計値が $20\mu\text{H}$ 、 $40\mu\text{H}$ 、及び $60\mu\text{H}$ の 3 つの場合では、 $60\mu\text{H}$ の時が

、基本波に対する第3次高調波の電圧比が最も小さい。よって、3次高調波を低減する事を最優先する場合は、このように、 L_{e1} と L_1 の合計値 $60\mu\text{H}$ のケースを用いても良い。 $K_a = 1 \sim 10$ の領域をプロットすると、電気共振周波数 f_e は $115 \sim 150\text{kHz}$ (f_m の $1.30 \sim 1.70$ 倍)となる。

[0076] 図21は、 L_{e1} と L_1 の合計値 $20\mu\text{H}$ における回路消費電力と交番電圧 V_o の計算結果を示す図である。図21(a)は回路消費電力を示し、図21(b)は出力側の交番電圧 V_o を示す。図5(b)より、 L_{e1} と L_1 の合計値が $20\mu\text{H}$ の場合、基本波に対する第3次高調波の電圧比が 1.0 以下である $K_a = 1 \sim 5$ の領域をプロットすると、電気共振周波数 f_e は $188 \sim 220\text{kHz}$ (f_m の $2.14 \sim 2.50$ 倍)となる。

[0077] 電気共振周波数 f_e は、 L_{e1} と静電容量 C_d による直列電気共振、及び L_1 と静電容量 C_d による並列電気共振を両方用いたものであり、インダクタンスが小さいほど応答周期が短くなり、共振周波数は大きくな。したがって、他の条件が一定の場合、電気共振周波数 f_e は、 L_{e1} と L_1 の合計値が小さくなるほど、大きな値となる。

[0078] よって、駆動に用いる基本波以外の高調波の影響を低減し、振動体に実用に適した振動モードを励起するためには、前記の L_{e1} と L_1 の合計値が $20\mu\text{H}$ から $60\mu\text{H}$ までの範囲に含まれる場合、 f_e の適正範囲は、上述の(式1-7)で表すことができる。

[0079] よって、本駆動回路において、少なくとも、前記インダクタ、前記トランス、及び前記電気-機械エネルギー変換素子の静電容量とによる電気共振のピーク周波数を f_e 、前記電気-機械エネルギー変換素子を有する振動体の共振周波数を f_m 、前記インダクタのインダクタンスを L_{e1} 、前記トランスの1次巻線コイルのインダクタンスを L_1 、及び、 $K_a = L_1 / L_{e1}$ とした場合に、駆動回路を、これらの値が $1.30 \cdot f_m < f_e < 2.50 \cdot f_m$ 、及び $K_a \leq 10$ を満たすように設計することで、高調波の影響が低減され、回路の消費電力が低減される。よって、駆動回路内、または振動型ア

クチュエータ内を流れる不要な電流を抑制し、回路効率が向上した駆動回路、及び効率のよい振動型アクチュエータを実現することができる。

[0080] 図7は、本実施の形態の駆動回路における、回路全体の消費電力の実験結果を示す図である。横軸は振動子駆動時の速度、縦軸は消費電力を示す。本発明における消費電力の低減効果を示す為、比較例をプロットしている。以下、インダクタ102であるコイルのインダクタンスを L_e 1、トランス1次巻線コイルのインダクタンスを L 1、トランス1次巻線コイル104のインダクタンスを L 2とする。比較例は、 L 1 = 30 μ H、 L 2 = 12 mHで巻数比20倍のトランスと、 L_e 1 = 1 μ Hのコイルとから成る回路であり、 K_a = 30である。本発明の適用例1は、 L 1 = 30 μ H、 L 2 = 12 mHで巻数比20倍のトランスと、 L_e 1 = 5.6 μ Hのコイルとから成る回路であり、 K_a = 5.3である。本発明の適用例2は、 L 1 = 6.25 μ H、 L 2 = 2.5 mHで巻数比20倍のトランスと、 L_e 1 = 5.6 μ Hのコイルとから成る回路であり、 K_a = 1.1である。本発明の適用例3は、 L 1 = 30 μ H、 L 2 = 7.68 mHで巻数比16倍のトランスと、 L_e 1 = 10 μ Hのコイルとから成る回路であり、 K_a = 3である。いずれのケースも、回路が出力する駆動電圧が120 V_{pp}程度になるよう、電源電圧を2.75 V ~ 3.5の範囲で調整している。比較例は、十分に電圧は確保されているが、 K_a が大きいため高調波成分が大きく、効率低下を招いている。これに対して、本発明の適用例は、消費電力の値が概ね1.0 W以下となっており、いずれも比較例に対して高調波を抑制し、消費電力が低減されている。本発明の適用例3は適用例1より高調波の比率が小さいので、消費電力を更に抑制できている。また、本発明の適用例3は適用例2より駆動電圧の低下を抑制できるため、必要な駆動力を得るために電源から投入する電力を抑制できるため消費電力が少なくなっている。よって、本発明適用例3が最も効率の良い結果となっている。

[0081] 本発明の振動体の駆動回路は、撮像装置におけるレンズ駆動や撮像素子の移動に用いることができる。また、その他の振動型アクチュエータにも適用

できる。図11は、カメラレンズのズーム駆動やオートフォーカス駆動に用いることができる、棒状の振動子の分解斜視図である。振動子は、振動体1101と、移動体1102を有する。振動体1101は、摩擦材料から成る摩擦部を含む第1の弾性体1103、電気-機械エネルギー変換素子である圧電素子1104、圧電素子1104への給電用のフレキシブルプリント基板1105、第2の弾性体1106を有する。これら部材は、シャフト1107の突き当てフランジ部1107aとシャフト1107下部のネジ部1107bに嵌る下ナット1108で挟まれ、加圧締結されている。第1の弾性体1103は、例えばアルミナを主成分とする焼結セラミックであり、上下両面を両刀研削した後に上面の摩擦面側が仕上げポリッシュされている。移動体1102は、接触ばね1109及びロータ1110とを含む。接触ばね1109は、ロータ1110に例えば接着固定されている。これにより、移動体1102は、フランジ1111の軸受部によって回転自在に支持された出力ギア1112と加圧ばね1113によって振動体1101の摩擦面1114に加圧接触されている。移動体1102の接触ばね1109はステンレスの絞り加工で小さなクランク断面を持つ円筒形状に形成されており、下端面が移動体の摩擦面として振動体の第1の弾性体の摩擦面1114と当接している。フレキシブルプリント基板1105を介して、不図示の電源から圧電素子1104に交番信号を印加する。それにより第1の弾性体1103の摩擦面には直交する2方向の1次の曲げ振動が励起され、時間位相 $\pi/2$ で重ね合わせることによって、摩擦面1114に回転楕円運動を生じさせる。これにより、摩擦面に加圧接触する接触ばね1109を振動体1101に対して相対移動させる。

[0082] 上記の棒状の振動子に本発明の駆動回路である図1(a)を適用した。振動体1101のメカ共振周波数 f_m は42kHz、固有静電容量 C_d は9nFである。ここで、電源電圧は5V、トランスの巻数比は8倍に設定し、駆動周波数範囲42.5~44kHzにおいて、必要とする駆動電圧70~110V_{pp}が得られるよう設計した。以下、コイルのインダクタンスを L_e

1、トランス1次巻線コイルのインダクタンスを L_1 、トランス1次巻線コイルのインダクタンスを L_2 とする。本発明を適用して、 $L_1 = 27 \mu\text{H}$ 、 $L_2 = 1.73 \text{mH}$ のトランスと、 $L_{e1} = 15 \mu\text{H}$ のコイルとから成る駆動回路を試作した。この場合、 $K_a = 1.8$ である。比較用に、 $K_a = 0.36$ で、電源電圧は6V、トランスの巻数比は10倍、 $L_1 = 8 \mu\text{H}$ 、 $L_2 = 800 \mu\text{H}$ のトランスと、 $L_{e1} = 22 \mu\text{H}$ のコイルとから成る回路を検討した。図は省略するが、本発明を適用した回路は駆動電圧が1.3倍で、且つ消費電力は半分に低減することができた。このように、本実施形態の駆動回路は、圧電素子の共振周波数 f_m や固有静電容量 C_d が異なる振動型アクチュエータにおいても適用可能である。

[0083] 本発明の振動体の駆動回路は、例えば、画像生成装置における転写ドラムの回転駆動などに用いられる、円環型の振動体にも適用することが可能である。図14は、進行波型の振動子の構成を示す模式図である。まず、本実施形態における振動子の概要を説明する。

[0084] 図14(a)は、進行波型の振動子の断面を示す模式図である。共用のハウジング1401上に、振動子は1つの出力軸1402を介して接続されている。振動体1403の圧電素子1404に設けられた駆動電極に不図示の駆動回路から出力された2相の交番電圧を印加することによって、移動体1406は同一方向に回転駆動する。図14(b)は振動子の一部を示す斜視図である。振動子は、電気-機械エネルギー変換素子である圧電素子1404と弾性体1405を有する振動体1403と、移動体1406と、を備える。各部材は図中 θ 方向に円環形状を為している。圧電素子1404に2相の交番電圧が印加されると、振動体1403に進行波が発生し、振動体1403に接触する移動体1406は摩擦駆動によって振動体と相対的に回転する。

[0085] 上記の進行波型の振動子に本発明の駆動回路である図1(a)を適用した。振動体1403のメカ共振周波数 f_m は44kHz、固有静電容量 C_d は3.5nFである。ここで、電源電圧24V、トランスの巻数比は10倍に

設定し、駆動周波数範囲45～50kHzにおいて、500Vppの駆動電圧が得られるように設計した。以下、コイルのインダクタンスを L_e1 、トランス1次巻線コイルのインダクタンスを L_1 、トランス1次巻線コイルのインダクタンスを L_2 とする。本発明を適用した場合、 $L_1 = 15 \mu\text{H}$ 、 $L_2 = 1.50 \text{mH}$ のトランスと、 $L_e1 = 10 \mu\text{H}$ のコイルとから成る回路であり、 $K_a = 1.5$ と設定した。結果、所望の駆動電圧を確保した上で、回路効率が良く、良好な駆動特性を得る事ができる。電気共振周波数をより小さいインダクタンスのトランスとコイルを用いて低域側に調整し、高調波歪みの少ないSIN駆動波形を生成することにより、不要な電流を抑える事ができる為である。このように、進行波型の振動型アクチュエータにも適用できる。

[0086] 本発明の振動体の駆動回路の適用例は、上記に限定されず、例えば、振動体が塵埃除去装置である場合、つまり、塵埃除去装置の駆動回路にも用いることができる。

[0087] (実施の形態2)

次に、トランスの2次側にコイルを設けた場合の回路構成の例を説明する。図16は、実施の形態2の駆動回路の構成を示すものである。トランスの2次側にインダクタ1601としてコイルが設けられており、そのインダクタンスを L_e2 、トランス2次巻線コイルのインダクタンスを L_2 として、そのインダクタンス比を K_b として定義する。

$$K_b = L_2 / L_e2 \quad (\text{式} 2-1)$$

[0088] 本実施の形態において、トランス1次側の入力電圧 V_i 、使用するトランスの巻数比と電流の上限値、振動体のメカ共振周波数などの各種定数、必要な駆動電圧は実施の形態1と同じ値である。まず、トランスの1次側に流れる電流値の上限から、トランス1次巻線コイルのインダクタンス L_1 は40 μH に設定される。よって、トランスの巻線比を R とすると、トランス2次巻線コイルのインダクタンス値 L_2 は下式より10.24mHとなる。

$$L_2 = L_1 \times R^2 \quad (\text{式} 2-2)$$

[0089] 図17は、本発明の実施形態における、 K_b に基づく電気共振周波数 f_e と電圧比の計算結果を示すものである。 K_a と同様に、 K_b に応じて f_e を低周波数領域側に調整することができるので、3次高調波を低減でき回路効率の向上が図れる。ここで、トランス2次巻線コイル105のインダクタンス L_2 の値を0.256mH、2.56mH、7.68mH、25.6mHの各条件で比較した。巻数比は16倍としたので、0.256mHの場合はトランスの1次巻線コイルは実現可能な最小値1 μ Hに相当する。

[0090] 図17(a)は、巻数比16倍で C_d が0.47nFの条件において、 K_b を0.2~30まで振った場合の f_e の計算結果である。図のように、 $K_b \leq 10$ にすることで効果的に f_e を低域側にシフトする事ができる。すなわち、3次高調波の基本波に対する比を小さくできる。この傾向は、 L_2 の値を変えても同様である事がわかった。 K_a と同様に、トランスの巻数比や圧電素子の固有静電容量が変わっても、 $K_b \leq 10$ であれば f_e を低域側に調整する事ができる。

[0091] 本実施の形態では、 f_e を低域側に調整することで3次高調波の基本波に対する比を小さくできる K_b の値を適正範囲とすると、 K_b は下記(式(2-3))を満たすことが好ましい。

$$K_b \leq 10 \quad (\text{式 } 2-3)$$

[0092] K_b の値を上記(式(2-3))を満たす値とすることで、振動型アクチュエータの回路消費電力を、効果的に低減する事ができる。

[0093] 図17(b)は、 K_b に基づく電圧比の計算結果を示すものである。電圧比は $V_o/V_{in}/R$ で規格化しており、入出力の電圧比を巻数比 R で除したものである。図のように、すべての K_b の範囲で電圧比は0.5以上となる事がわかった。すなわち、トランスの2次側に設けるインダクタのインダクタンス L_{e2} によって、出力電圧はほとんど影響を受けない。対して、 K_a の場合は影響を受けていた。この理由は、トランスの1次巻線コイル104に供給される電圧の違いに依るものである。 K_a の場合、入力電圧はコイル102と1次巻線コイル104に分圧されるので、 L_{e1} が大きいと1次

巻線コイル 104 に供給される電圧が小さくなる一方、 K_b の場合は、入力電圧は全て 1 次巻線コイル 104 に供給されるので、分圧されずに昇圧される為である。図 12 に、 K_b に基づく 3 次高調波の基本波に対する電圧振幅の比を示す。ここでは、 L_2 が 5.12 mH、7.68 mH、10.24 mH の場合について説明する。3 次高調波を分子、基本波を分母とする。3 次高調波の電圧は、駆動周波数が 100 kHz なので 3 倍の 300 kHz での値である。トランスの 1 次側に入力される交番電圧 V_i は上述の通り矩形波であり、矩形波に含まれる高調波成分は 3 次高調波が最も大きい。 K_b が大きくなるに従い、コイル 1601 のインダクタンス L_{e2} は小さくなり、3 次高調波の比が大きくなる。3 次高調波の比が 0.5 以下となる条件は、 L_2 が 5.12 mH の場合は、 K_b の値が、 $K_b \leq 5$ を満たす時であり、 L_2 が 10.24 mH の場合は、 K_b の値が、 $K_b \leq 10$ を満たす時である。

[0094] 図 13 は、実施の形態 2 における回路消費電力と交番電圧 V_o の計算結果を示す図である。トランスの定数は、 L_1 は 40 μ H、 L_2 は 10.24 mH で、 $1 \leq K_b \leq 5$ の範囲の計算結果を示す。また、トランスの 2 次側に配されるコイル 1601 のインダクタンス L_{e2} は、 $K_b = 5$ の場合は 2.05 mH、 $K_b = 1$ の場合は 10.24 mH である。横軸は周波数で、図 13 (a) は回路全体で消費する電力を示し、図 13 (b) は出力側の交番電圧 V_o を示す。図 13 (b) より、 K_b が大きくなるに従い、回路の電気共振周波数 f_e が高域側にシフトしていく様子がわかる。なお、 $K_b \leq 10$ の範囲において、前述の図 12 より、 $K_b = 1 \sim 2$ の領域で最も 3 次高調波を低減でき、大きな駆動電圧が得られる傾向にある。一方、電気共振周波数 f_e が駆動周波数の上限 100 kHz に近いので、 K_b の値を $K_b = 1 \sim 2$ の範囲内の値とする場合、過剰な電圧が振動体に印加されないように抵抗をトランス 1 次側或いは 2 次側に設けてピーク電圧を落とすように設計すればよい。また、 $K_b = 3 \sim 5$ の領域では、電気共振周波数 f_e が 115 ~ 135 kHz (f_m の 1.30 ~ 1.53 倍) である。この場合、前述の図 12 の結

果より、3次高調波の基本波に対する比は0.07～0.15と小さく、3次高調波の影響が小さく、消費電力が小さい。また、前述の図17の結果より、必要な駆動電圧は得られている。従って、本実施の形態の振動型アクチュエータであれば、 $K_b = 3 \sim 5$ の領域で使用するのがより好ましい。

[0095] (実施の形態3)

図8は、本発明の実施形態における、複数の振動体から構成された振動型アクチュエータの例を示すものである。本実施形態では、トランスの2次側に3個の振動体が並列に接続された駆動回路を用いて駆動する。図8(a)は本実施形態の3個の振動体を用いた振動型アクチュエータの構成を示す図である。801は振動型アクチュエータのベースとなるベース板、803、804、805は移動体802を回転駆動させる振動体である。振動体は実施の形態1と同様の振動体であり、3個の振動体に駆動回路の出力端子が並列に接続され、2相の駆動信号がそれぞれ、フレキシブルケーブル809を介して供給される。そして、共通の駆動回路810で3個の振動体が駆動される。駆動電圧が印加されると、各振動体に駆動力を発生する振動波が生じ、移動体802は、振動体803、804、及び805の駆動力の合力によって、回転軸807を中心に回転駆動される。本実施形態の如く3個の振動体を用いることにより、合成された回転駆動力が移動体802に働くので、トルクを最大で3倍に上げる事が可能となる。806は位置センサであり、移動体802の回転位置を検出する。

[0096] 図8(b)は同装置の側面図である。振動体803、804、805は2点突起を持つ振動部材と圧電素子(不図示)を接着などで一体化し、取り付け部材を介してベース板801に取り付けられている。また、位置センサ806の上面には円板状のスケール部808が設けられている。スケール部808が回転方向に移動することで移動量に応じた位置信号が位置センサ806から出力される。

[0097] 図9は本実施の形態の複数の振動体を含む振動型アクチュエータにおける、振動体1相分の駆動回路を示す図である。駆動回路の構成は、トランス1

次巻線コイル 906 に直列にインダクタ 904 が接続され、トランス 905 の 2 次巻線コイル 907 には振動体 901、902、903 が並列に接続されている。ここで、インダクタ 904 としては、コイル等のインダクタンス素子を用いることができる。尚、インダクタ 904 は、トランス 1 次巻線コイル 906 の上側に図 9 (a) では接続されているが、回路的には等価なので下側に接続しても良い。ここで、トランス 2 次巻線コイル 907 の 1 次巻線コイル 906 に対する巻線比は 20 とした。

[0098] ここで、振動体 901 の等価回路について図 9 (b) を用いて説明する。図 9 (b) は、1 相部分の振動体 901 を等価回路で表わしたものである。振動体 901 の等価回路は、機械的振動部分の RLC 直列回路と、RLC 直列回路に並列に接続された振動体 901 の固有静電容量 C_d のコンデンサ 908 と、により構成される。ここで、機械的振動部分の RLC 直列回路は、自己インダクタンス L_m の等価コイル 909、静電容量 C_m の等価コンデンサ 910、及び抵抗値 R_m の等価抵抗 911 を用いて表すことができる。 L_m は 50 mH、 C_m は 65 pF、 R_m は 3 k Ω 、 C_d は 0.54 nF とした。また、振動体 902、903 も同様の等価回路で表わされる。従って、3 個の振動体の固有静電容量は 3 倍の 1.62 nF となる。

[0099] 本実施形態に示すような、トランスの 2 次巻線に複数の振動体が並列に接続されており、トランスを共通化して複数の振動体を駆動する場合は、トランスのインダクタンスを次のように設定すると電氣的にマッチングを取ることができる。ここで、N 個の振動体を共通の駆動回路で駆動する場合のトランスの巻線比を R、トランス 1 次巻線コイルを L_{n1} 、2 次巻線コイルのインダクタンス L_{n2} 、1 次側のコイルを L_{en1} とする。これに対して、実施の形態 1 の駆動回路である図 1 (a) におけるトランスの 1 次巻線コイルのインダクタンスを L_1 とすると、

$$L_{n2} = L_1 \cdot R^2 / N$$

$$L_{n1} = L_1 / N$$

$$L_{en1} = L_{n1} / K_a \quad (\text{式 3-1})$$

と設定すれば良い。この理由は、複数の振動体を並列接続する場合、振動体の固有静電容量がN倍なのでインピーダンスが $1/N$ になり、電流がN倍流れる。これとトランス2次巻線コイルのインピーダンスを等価にするには、インダクタンスを $1/N$ にすれば良く、同様に電流をN倍流せるようになる。例えば、図3で説明した1個の振動体を駆動する場合のトランスの2次巻線コイル105のインダクタンス $L_2 (=L_1 \cdot R^2)$ は、7.68mHであった。これに基づいてマッチングを取ると、 $N=3$ であるので、 L_{n2} は2.56mHと計算される。本実施の形態では L_{n2} は2.50mHとした。従って、巻数比 R_n が20倍の場合、トランス1次巻線コイルのインダクタンス L_{n1} は6.25 μ Hとなり、 $K_a=3$ に設定すればコイル L_{en1} は2.08 μ Hと各回路定数を決定できる。上記方法にてトランス巻線コイルのインダクタンスを決定することにより、インダクタンスを必要十分な大きさに設定することができる。すなわち、必要以上にインダクタンスを大きくする必要がなく、結果としてトランスの巻線抵抗を低減することができる。

[0100] また、トランスの2次側にコイルを設けた駆動回路においても、複数の振動体を並列接続して駆動する場合は、以下のように定数を決めることができる。N個の振動体を共通の駆動回路で駆動する場合のトランスの巻線比をR、トランス1次巻線コイルを L_{n1} 、2次巻線コイルのインダクタンス L_{n2} 、2次側のコイルを L_{en2} とする。これに対して、実施の形態2の駆動回路である図16におけるトランスの2次巻線コイルのインダクタンスを L_2 とすると、

$$L_{n2} = L_2 / N$$

$$L_{n1} = L_2 / N / R^2$$

$$L_{en2} = L_{n2} / K_b \quad (\text{式3-2})$$

と設定すれば良い。

[0101] 図10は、本実施形態の駆動回路における、回路全体の消費電力の実験結果を示す図である。横軸は超音波モータ駆動時の速度、縦軸は消費電力を示す。消費電力の本発明による低減効果を示す為、比較例をプロットしている

。以下、インダクタ 904 であるコイルのインダクタンスを L_{en1} 、トランス 1 次巻線コイル 906 のインダクタンスを L_{n1} 、トランス 2 次巻線コイル 907 のインダクタンスを L_{n2} とする。比較例は、 $L_{n1} = 30 \mu H$ 、 $L_{n2} = 7.68 mH$ で巻数比 16 倍のトランスと、 $L_{en1} = 1 \mu H$ のコイルとから成る回路であり、 $K_a = 30$ である。本発明の適用例は、 $L_{n1} = 6.25 \mu H$ 、 $L_{n2} = 2.5 mH$ で巻数比 20 倍のトランスと、 $L_{en1} = 2.08 \mu H$ のコイルとから成る回路であり、 $K_a = 3.0$ である。いずれのケースも、回路が出力する駆動電圧が $120 V_{pp}$ 程度になるよう、電源電圧を $3.0 V \sim 3.5$ の範囲で調整している。比較例は、トランスの巻線コイルのインダクタンスが大きいため抵抗値が大きく、回路効率が悪い。つまり、マッチングが取れていない。ここで、 K_a を小さくすると、電気共振周波数 f_e がメカ共振 f_m に近い値となってしまう、過剰な電圧が印加されてしまう。また、トランスの巻線コイルの抵抗値が大きい場合、分圧比の関係から振動体に印加される駆動電圧は低下してしまう。従って、電源電圧を $3.5 V$ まで上げる必要があり、これも効率低下の要因となる。本発明適用例は、 K_a を最適な値に設定して十分な駆動電圧と高調波の抑制を実現した上で、トランスのインダクタンスを複数の振動体に対してマッチングを図ることで巻線抵抗を下げることで、回路効率の良い駆動回路を実現できる。

[0102] (実施の形態 4)

本実施形態では、上述した各実施形態に係る振動体の駆動回路を備える装置の一例としての撮像装置について説明する。図 20 (a) は、撮像装置の一例であるデジタルカメラ 400 の概略構造を示す斜視図であり、一部を透過した状態で図示している。

[0103] デジタルカメラ 400 の前面には、レンズ鏡筒 410 が取り付けられており、レンズ鏡筒 410 の内部には、フォーカスレンズ 407 を含む複数のレンズ（不図示）と、手ぶれ補正光学系 403 が配置されている。手ぶれ補正光学系 403 は、2 軸のコアレスモータ 404、405 の回転が伝達される

ことによって、上下方向（Ｙ方向）と左右方向（Ｘ方向）に振動可能となっている。

[0104] デジタルカメラ４００の本体側には、デジタルカメラ４００の全体的な動作を制御するマイコン（ＭＰＵ）４０９と、撮像素子４０８が配置されている。撮像素子４０８は、ＣＭＯＳセンサ或いはＣＣＤセンサ等の光電変換デバイスであり、レンズ鏡筒４１０を通過した光が結像した光学像をアナログ電気信号に変換する。よって、撮像素子４０８はフォーカスレンズ４０７の光軸上に配置されている。撮像素子４０８から出力されるアナログ電気信号は、不図示のＡ／Ｄ変換器によってデジタル信号に変換された後、不図示の画像処理回路による所定の画像処理を経て、画像データ（映像データ）として不図示の半導体メモリ等の記憶媒体に記憶される。

[0105] また、デジタルカメラ４００の本体側には、内部装置として、上下方向（ピッチング）の手ぶれ量（振動）を検出するジャイロセンサ４０１と、左右方向（ヨーイング）の手ぶれ量（振動）を検出するジャイロセンサ４０２が配置されている。ジャイロセンサ４０１，４０２によって検出された振動の逆方向にコアレスモータ４０４，４０５が駆動され、手ぶれ補正光学系４０３の光軸を振動させる。その結果、手ぶれによる光軸の振動が打ち消され、手ぶれが補正された良好な写真を撮影することができる。

[0106] 振動体は、不図示のギア列を介してレンズ鏡筒４１０に配置されたフォーカスレンズ４０７を光軸方向に駆動する駆動ユニット３００として用いられる。但し、これに限定されず、振動体は、ズームレンズ（不図示）の駆動等、任意のレンズの駆動や、コアレスモータ４０４，４０５の代わりに、手ぶれ補正時の撮像素子の駆動に用いることができる。

[0107] また、上述した各実施形態に係る振動体の駆動回路は、産業用ロボットに適用してもよい。

[0108] 図２０（ｂ）は、振動型駆動装置を搭載したロボット１００の概略構造を示す斜視図であり、ここでは、産業用ロボットの一種である水平多関節ロボットを例示している。振動体は、ロボット１００において、アーム関節部１

１１やハンド部１１２に内蔵される。アーム関節部１１１は、２本のアーム１２０が交差する角度を変えることができるように、２本のアームを接続する。ハンド部１１２は、アーム１２０と、アーム１２０の一端に取り付けられる把持部１２１と、アーム１２０と把持部１２１とを接続するハンド関節部１２２とを有する。振動体は、アーム１２０同士の間角を変化させるアーム関節部１１１や、把持部１２１を、所定角度、回転させるハンド関節部１２２に用いられる。

[0109] その他、上述した各実施形態に係る振動体の駆動回路は、画像形成装置や、上述の塵埃除去装置に設けることもできる。前記振動体の駆動回路は、前記画像形成装置では、例えば、回転ドラムの駆動に用いることができる。また、前記振動体の駆動回路は、塵埃除去装置において、基板上に前記振動体が設けられ、前記振動体を駆動回路で駆動することにより基板を振動させ、前記基板の塵埃を除去することができる。この塵埃除去装置は、例えば撮像装置のレンズの光軸上に設けることができる。

[0110] 上述の各実施形態に係る振動体の駆動装置を適用することで、撮像装置、ロボット、塵埃除去装置、または画像形成装置において、低消費電力化を実現することができる。

[0111] 本発明は上記実施の形態に制限されるものではなく、本発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。

[0112] 本願は、２０１３年１２月２６日提出の日本国特許出願特願２０１３－２６９６７８及び２０１４年１２月１８日提出の日本国特許出願特願２０１４－２５６７０９を基礎として優先権を主張するものであり、その記載内容の全てをここに援用する。

符号の説明

- [0113] １０１ 振動体
１０２ インダクタ
１０３ トランス
１０４ トランス１次巻線コイル

- 1 0 5 トランス 2 次巻線コイル
- 1 0 6 振動体の固有静電容量 C_d のコンデンサ
- 1 0 7 振動体の自己インダクタンス L_m の等価コイル
- 1 0 8 振動体の静電容量 C_m の等価コンデンサ
- 1 0 9 振動体の抵抗値 R_m の等価抵抗
- 2 0 1 移動体
- 2 0 5 振動型アクチュエータ

請求の範囲

[請求項1]

トランスと、
 前記トランスの1次側に接続されたインダクタと、
 を備え、
 前記トランスの1次巻線コイルに交番電圧が印加されるように構成され、
 前記トランスの2次巻線コイルに電気-機械エネルギー変換素子が並列に接続され、
 前記インダクタは、前記トランスの前記1次巻線コイルに直列に接続され、
 前記インダクタのインダクタンスを L_e 1、
 前記トランスの1次巻線コイルのインダクタンスを L_1 、
 $K_a = L_1 / L_e$ 1とした場合に、
 $K_a \leq 10$
 を満たす、振動体の駆動回路。

[請求項2]

前記駆動回路の入力電圧を V_{in} 、電圧オン時間を T_{on} 、最大許容入力電流を I とした場合に、前記インダクタのインダクタンス L_e 1と前記トランスの1次巻線コイルのインダクタンス L_1 の合計値は、

[数1]

$$L_e 1 + L_1 \geq \frac{V_{in} \times T_{on}}{I}$$

を満たす、請求項1に記載の振動体の駆動回路。

[請求項3]

少なくとも、前記インダクタ、前記トランス、及び前記電気-機械エネルギー変換素子の静電容量を含む電気共振のピーク周波数を f_e 、
 前記電気-機械エネルギー変換素子を有する振動体の共振周波数を f_m とした場合に、

$$1. \ 30 \cdot f_m < f_e < 2. \ 50 \cdot f_m$$

を満たす、請求項 1 または 2 に記載の振動体の駆動回路。

[請求項4] 前記インダクタ及び前記 1 次巻線コイルは、

$$1 \leq K_a$$

を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の振動体の駆動回路。

[請求項5] 前記インダクタ及び前記 1 次巻線コイルは、

$$K_a \leq 5$$

を満たす請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の振動体の駆動回路。

[請求項6] 前記インダクタ及び前記 1 次巻線コイルは、

$$1. \ 5 \leq K_a \leq 3$$

を満たす請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の振動体の駆動回路。

[請求項7] 前記インダクタンス L_1 と前記インダクタンス L_{e1} の合計値は、

前記駆動回路が出力する交番電圧の、駆動周波数を基本波とした電圧振幅を V_1 、3 次高調波の電圧振幅を V_3 として、

前記インダクタ及び前記 1 次巻線コイルは、前記交番電圧の 3 次高調波の比 V_3 / V_1 が 0. 5 以下となるインダクタンス値を有する請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の振動体の駆動回路。

[請求項8] トランスと、

前記トランスの 2 次側に接続されたインダクタと、

を備え、

前記トランスの 1 次巻線コイルに交番電圧が印加されるように構成され、

前記トランスの 2 次巻線コイルに電気－機械エネルギー変換素子が並列に接続され、

前記トランスの 2 次側にインダクタが前記電気－機械エネルギー変換素子に直列に接続され、

前記インダクタのインダクタンスを L_{e2} 、

前記トランスの２次巻線コイルのインダクタンスを L_2 、

$K_b = L_2 / L_e$ とした場合に、

$K_b \leq 10$

を満たす、振動体の駆動回路。

[請求項9]

前記インダクタンス L_2 と前記インダクタンス L_e の合計値は、

前記駆動回路が出力する交番電圧の、駆動周波数を基本波とした電圧振幅を V_1 、３次高調波の電圧振幅を V_3 として、

前記２次巻線コイルと前記インダクタは、前記交番電圧の３次高調波の比 V_3 / V_1 が０．５以下となるインダクタンス値を有する請求項８に記載の振動体の駆動回路。

[請求項10]

N 個の前記電気－機械エネルギー変換素子が前記駆動回路に並列接続して駆動され、

前記トランスの２次巻線コイルのインダクタンスを L_n とすると、

$L_n = L_2 / N$

を満たす請求項８または９に記載の振動体の駆動回路。

[請求項11]

トランスと、

前記トランスの２次側に接続されたインダクタと、

を備え、

前記トランスの１次巻線コイルに交番電圧が印加されるように構成され、

前記トランスの２次巻線コイルに N 個の電気－機械エネルギー変換素子が並列に接続され、

前記トランスの２次側にインダクタが前記電気－機械エネルギー変換素子に直列に接続され、

前記トランスの巻数比を R 、

前記トランスの１次巻線コイルのインダクタンスを L_1 、

前記トランスの前記２次巻線コイルのインダクタンスを L_n とした場合に、

$$L_{n2} = L_1 \cdot R^2 / N$$

を満たす振動体の駆動回路。

[請求項12] 前記電気－機械エネルギー変換素子をそれぞれ有する複数の振動体と、

前記請求項1乃至11のいずれか1項に記載の振動体の駆動回路を有する振動型アクチュエータ。

[請求項13] レンズと、

前記レンズの光軸上に設けられた撮像素子と、

前記レンズを駆動するように構成された前記請求項1乃至11のいずれか1項に記載の振動体の駆動回路を有する撮像装置。

[請求項14] レンズと、

前記レンズの光軸上に設けられた撮像素子と、

前記撮像素子を駆動するように構成された前記請求項1乃至11のいずれか1項に記載の振動体の駆動回路を有する撮像装置。

[請求項15] 転写ドラムと、

前記転写ドラムの回転駆動に用いられる請求項1乃至11のいずれか1項に記載の振動体の駆動回路を有する画像生成装置。

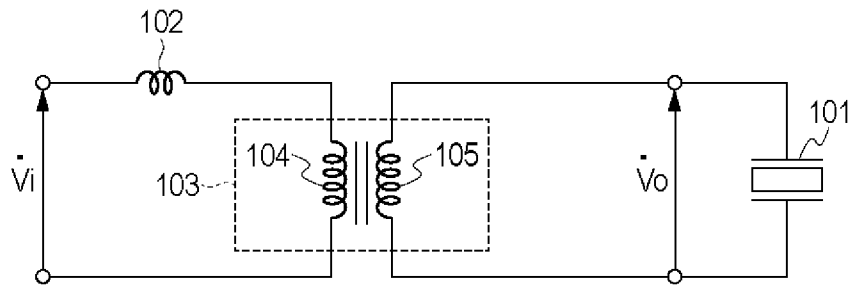
[請求項16] 基板と、

前記基板に設けられた前記振動体と、

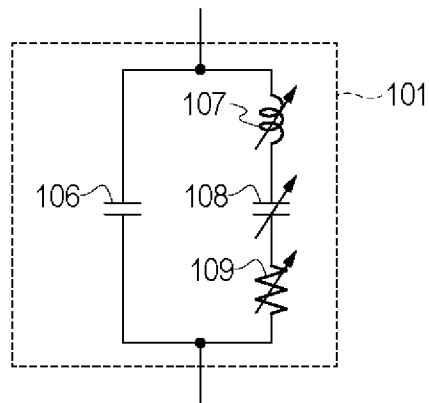
請求項1乃至11のいずれか1項に記載の振動体の駆動回路と、を有する塵埃除去装置。

[図1]

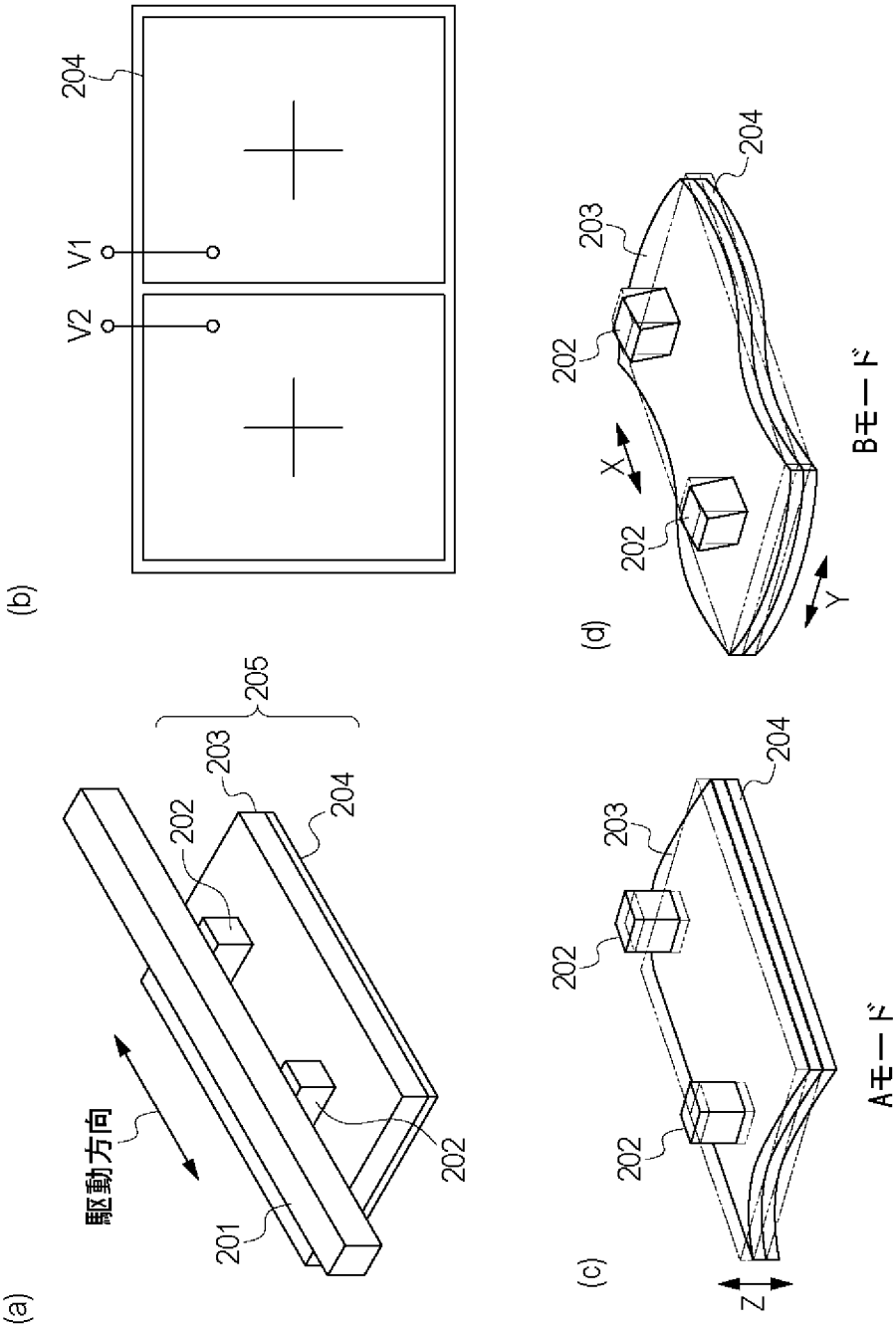
(a)



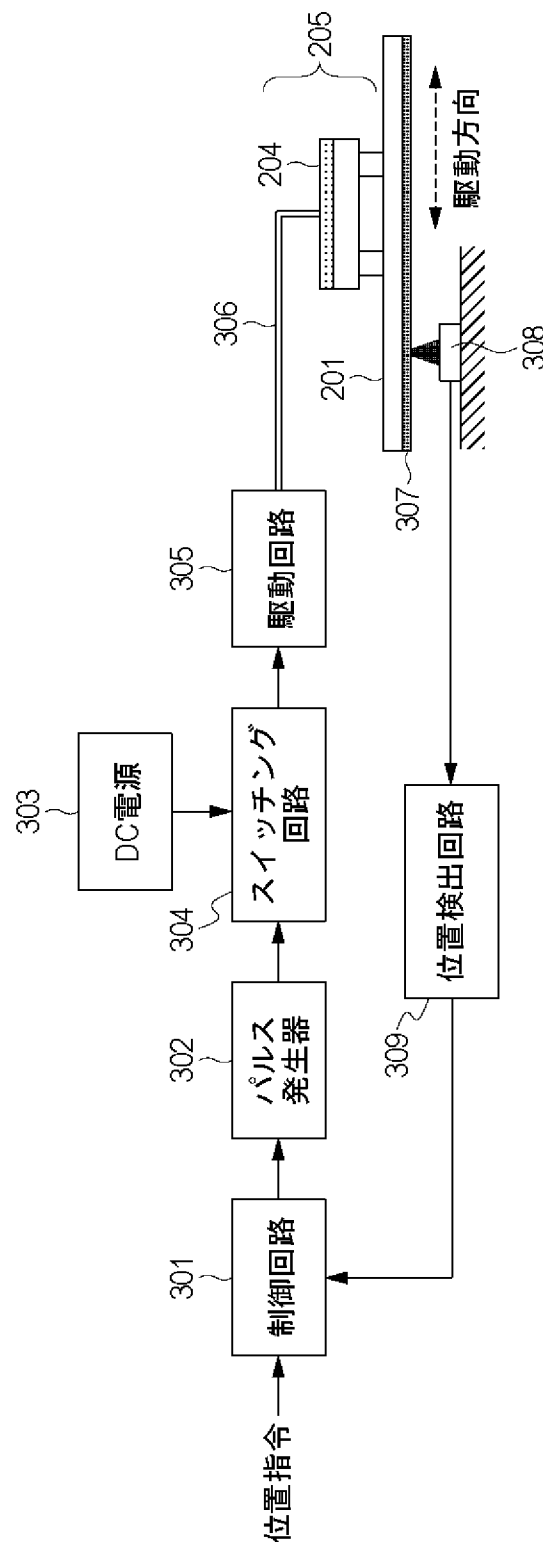
(b)



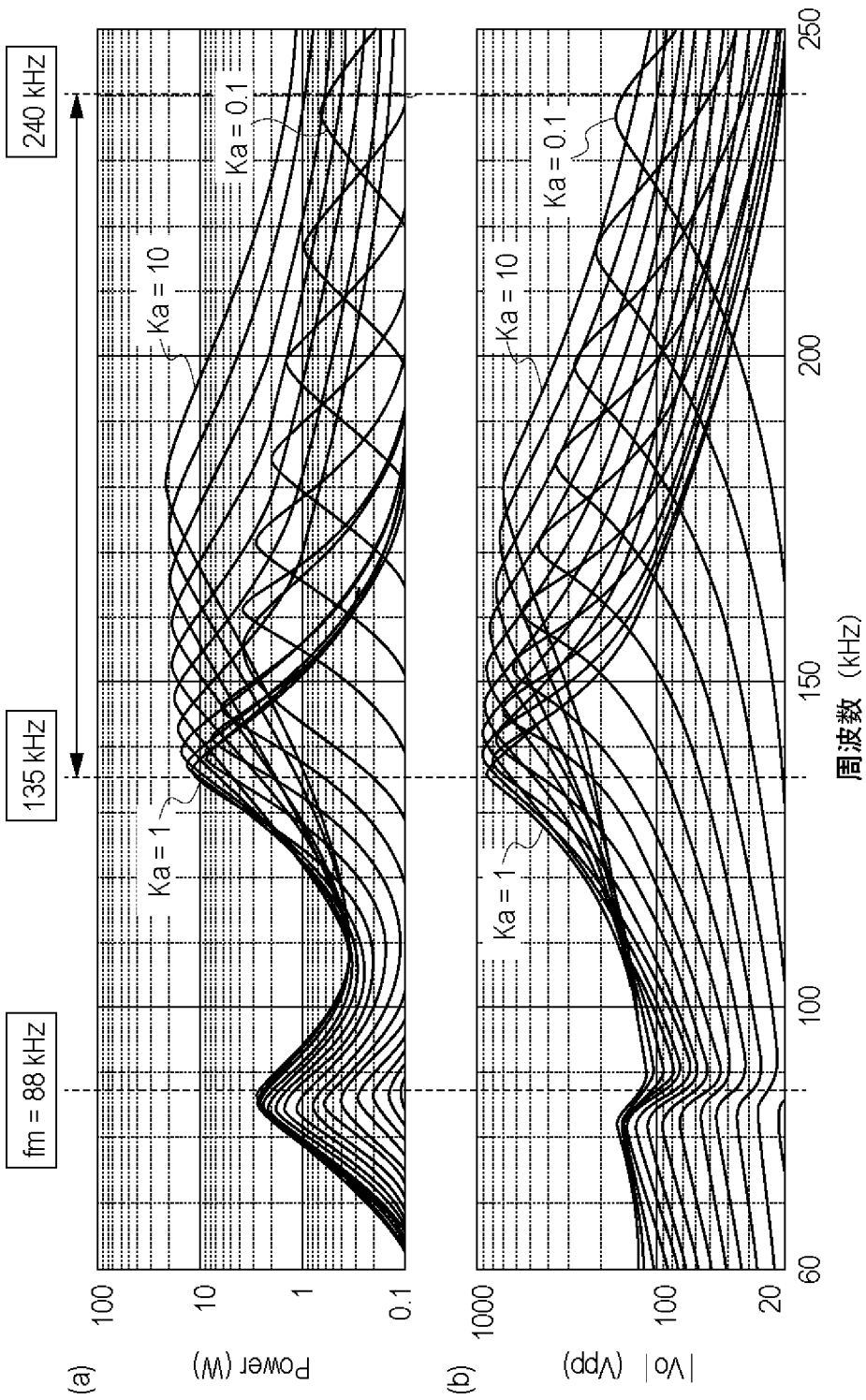
[図2]



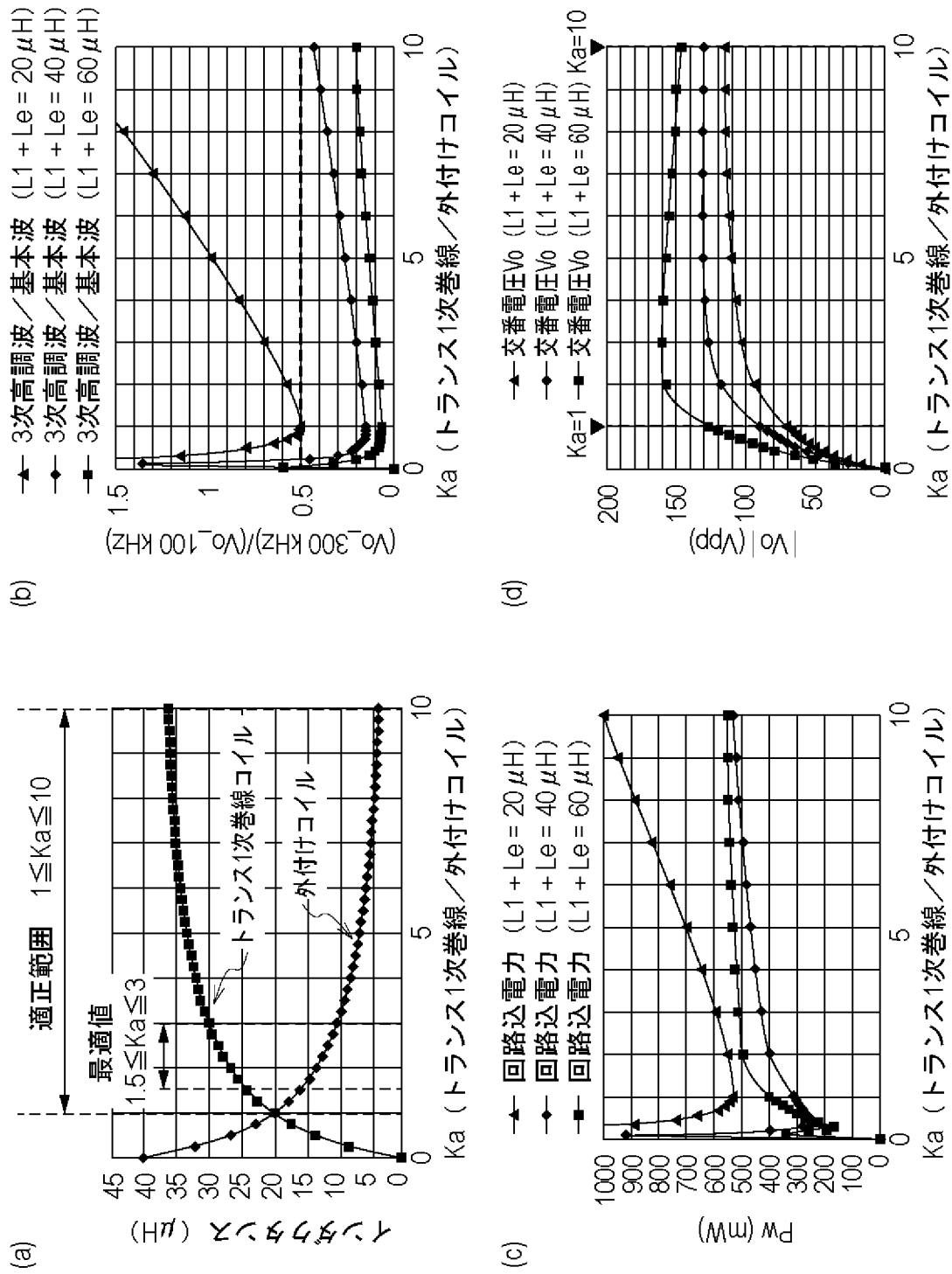
[図3]



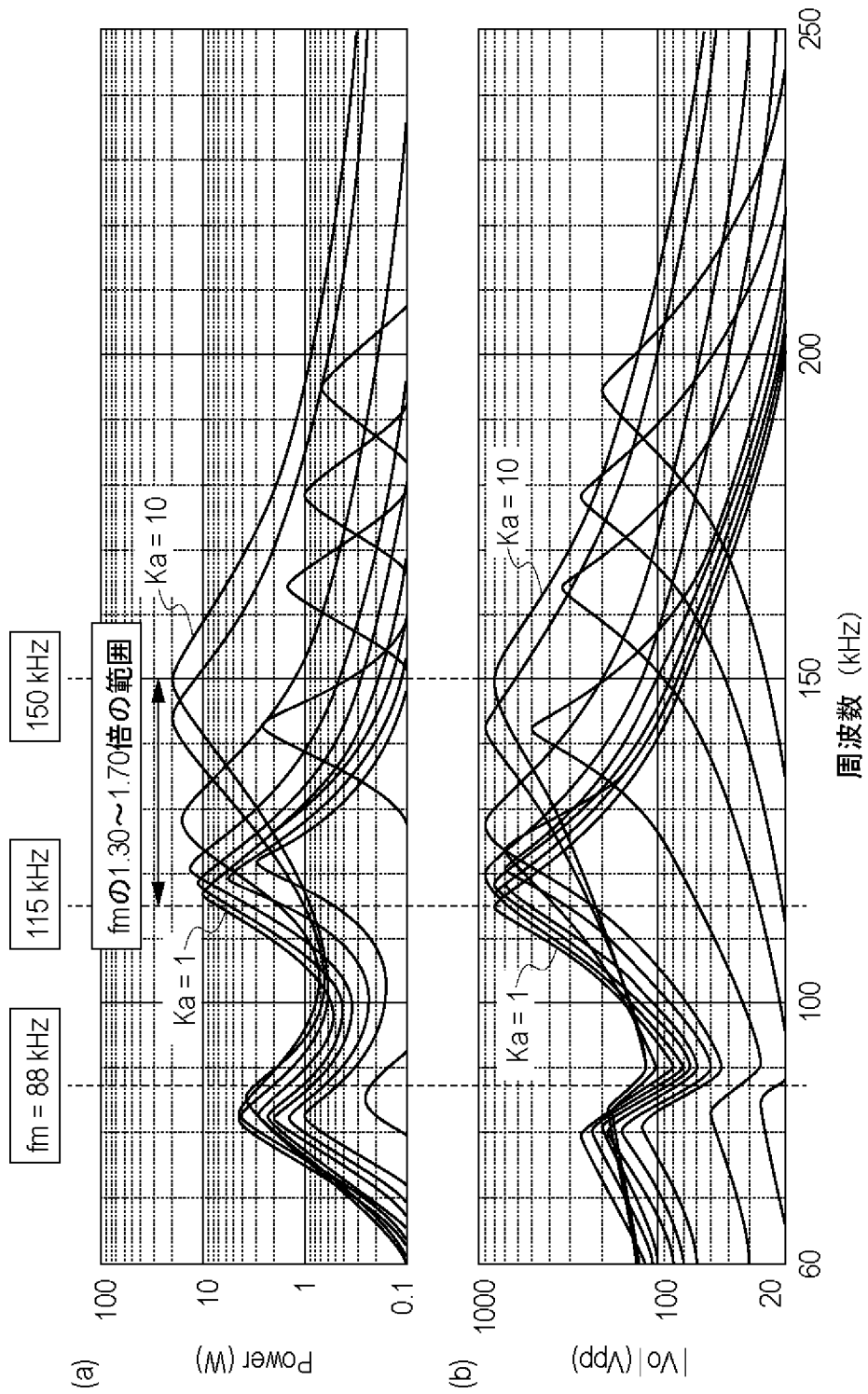
[図4]



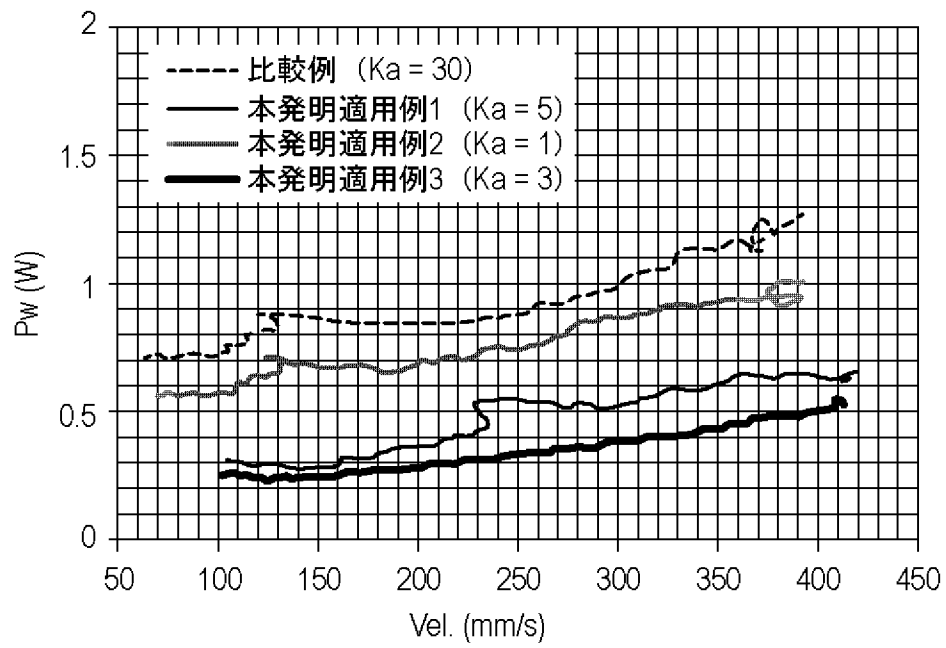
[図5]



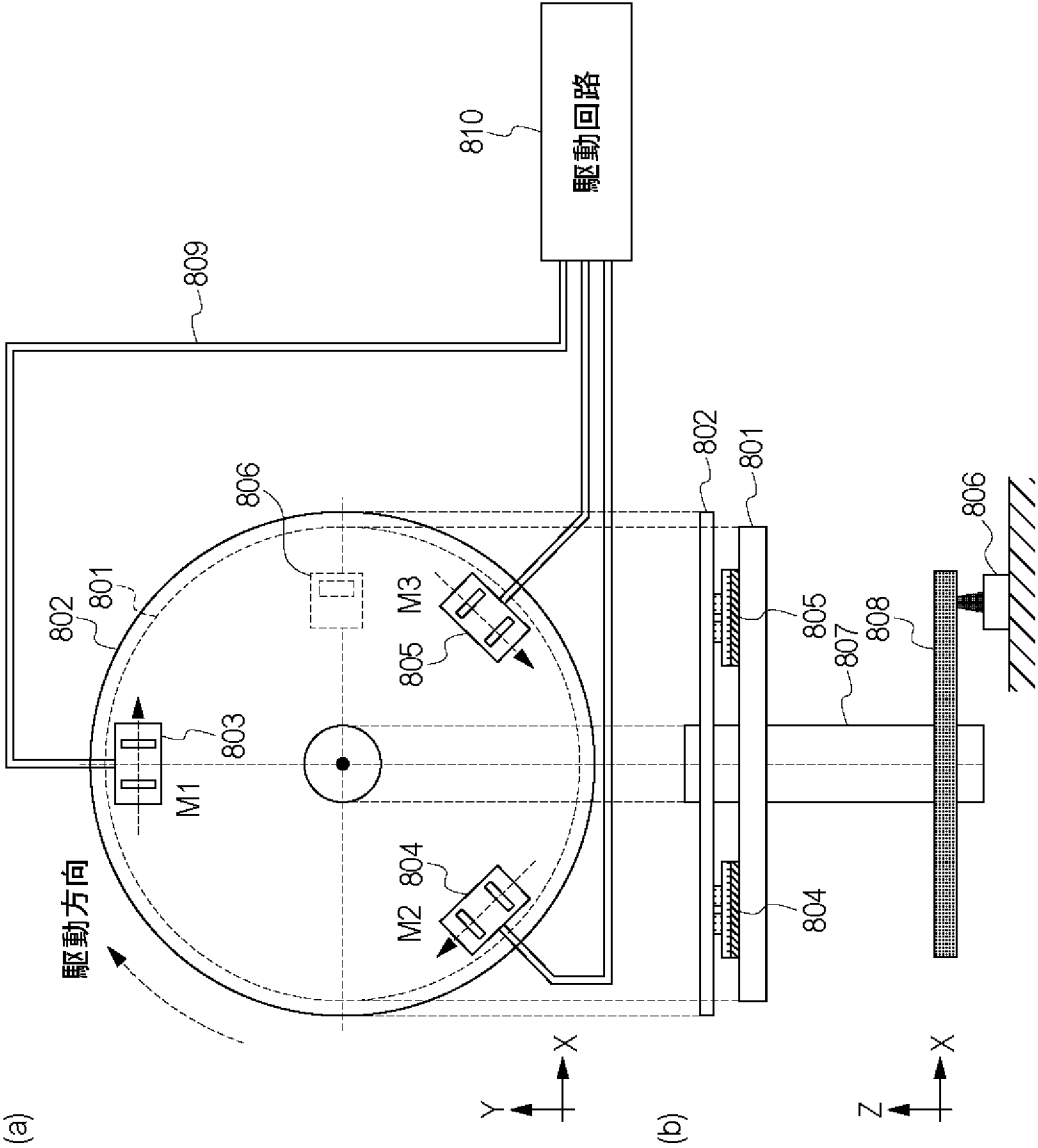
[図6]



[図7]

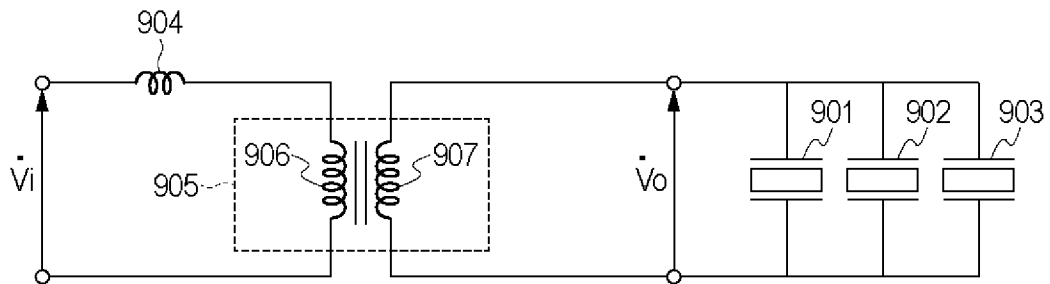


[図8]

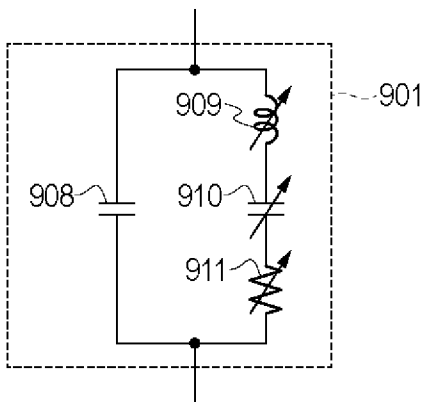


[図9]

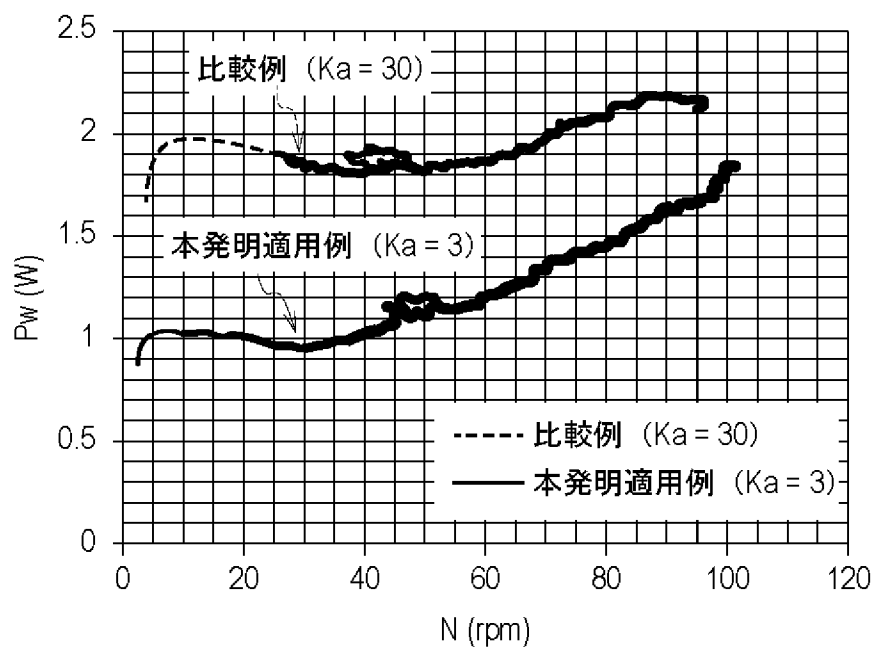
(a)



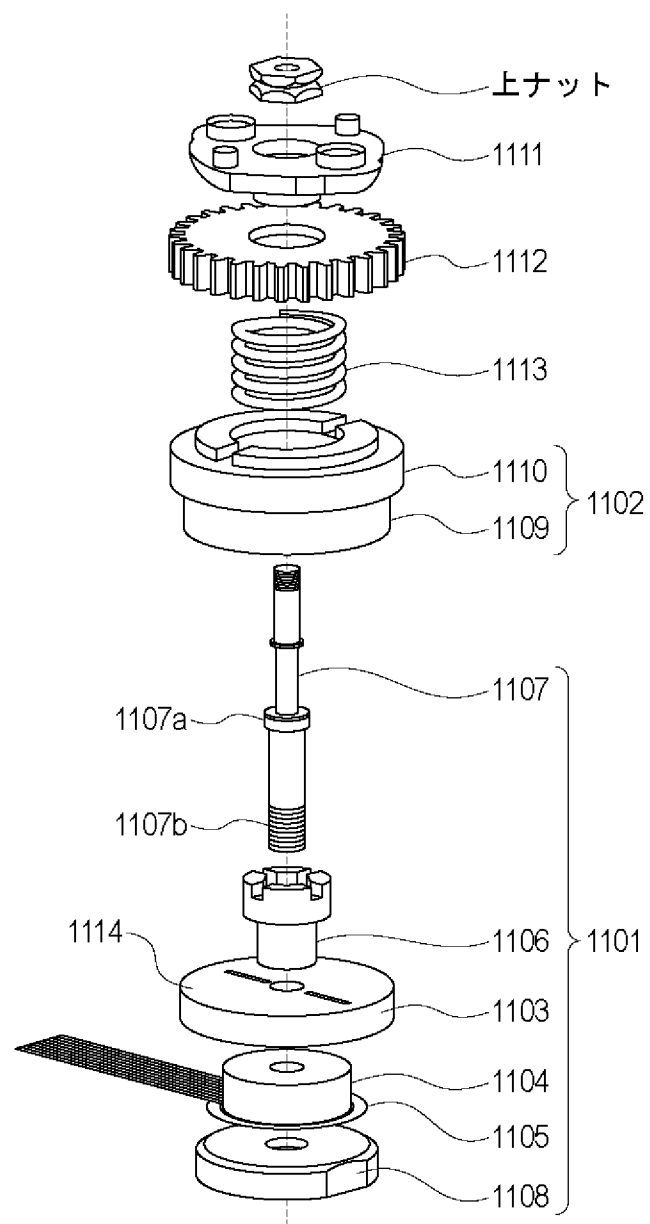
(b)



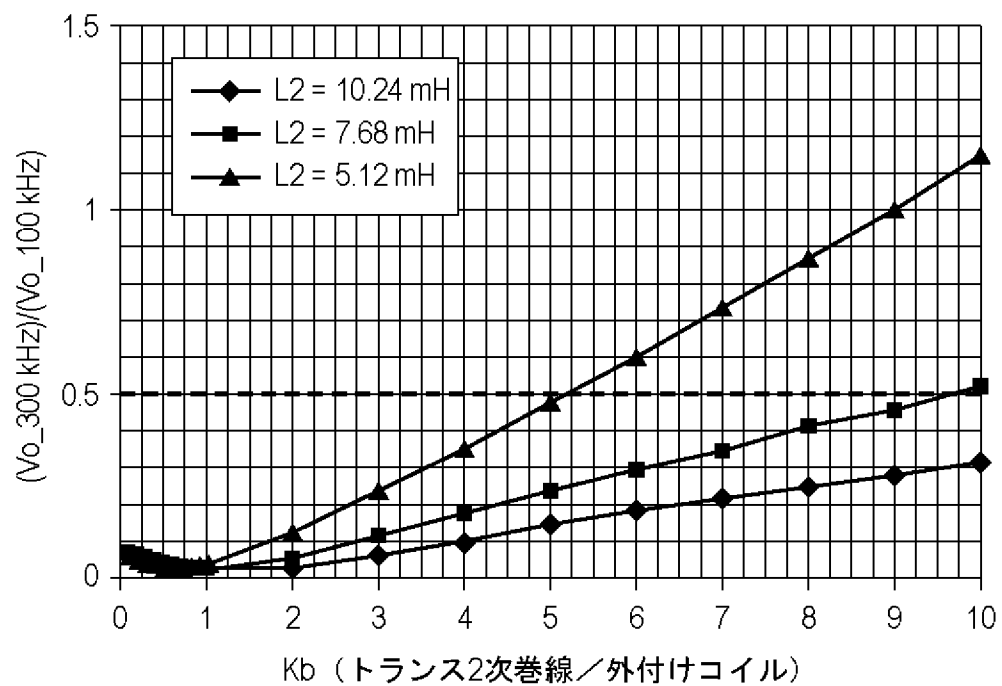
[図10]



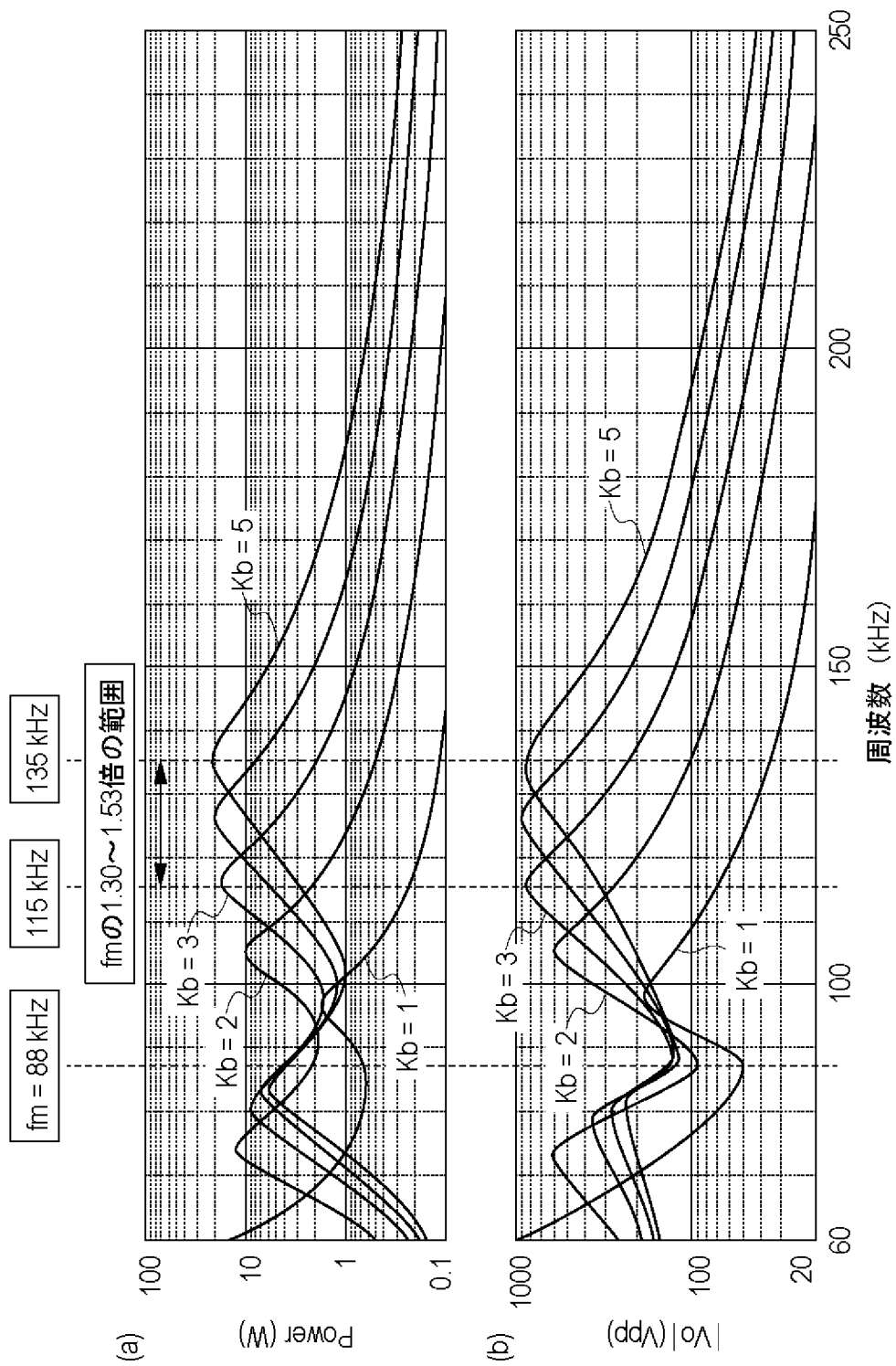
[図11]



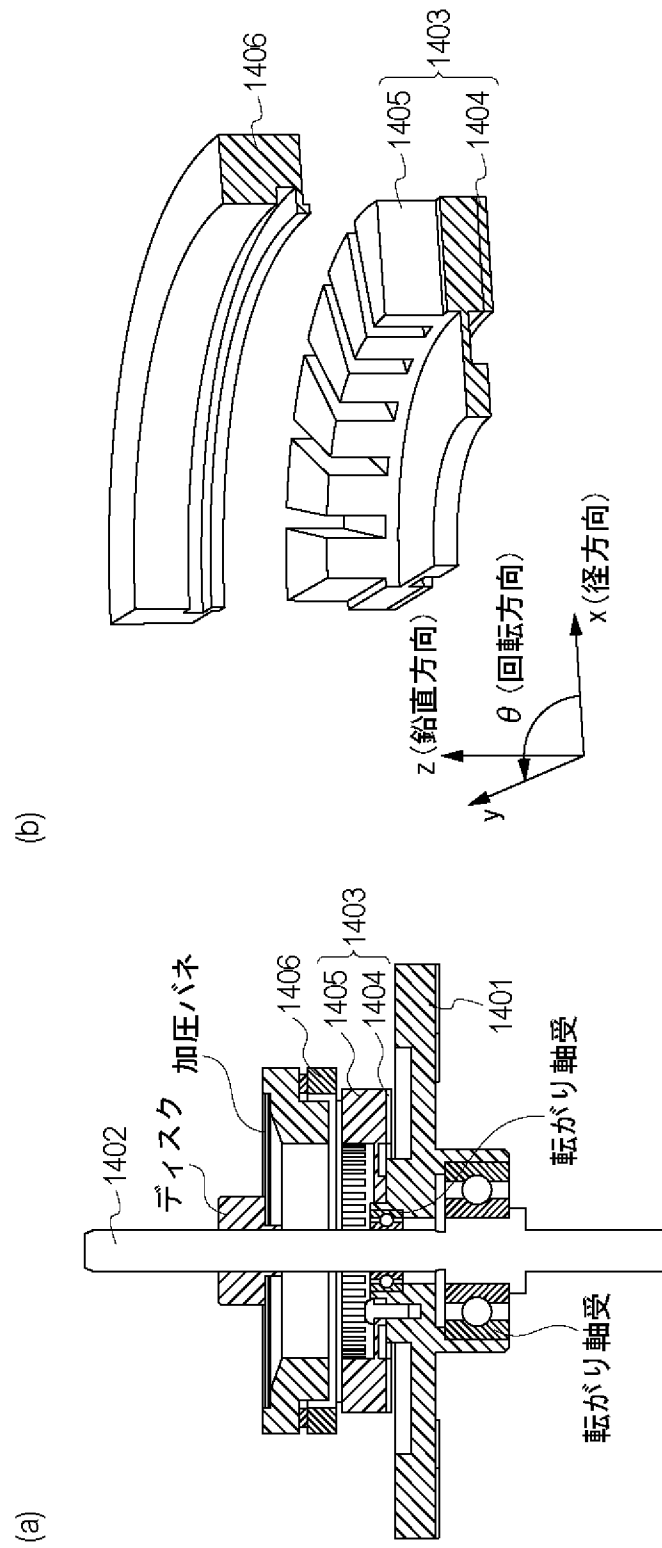
[図12]



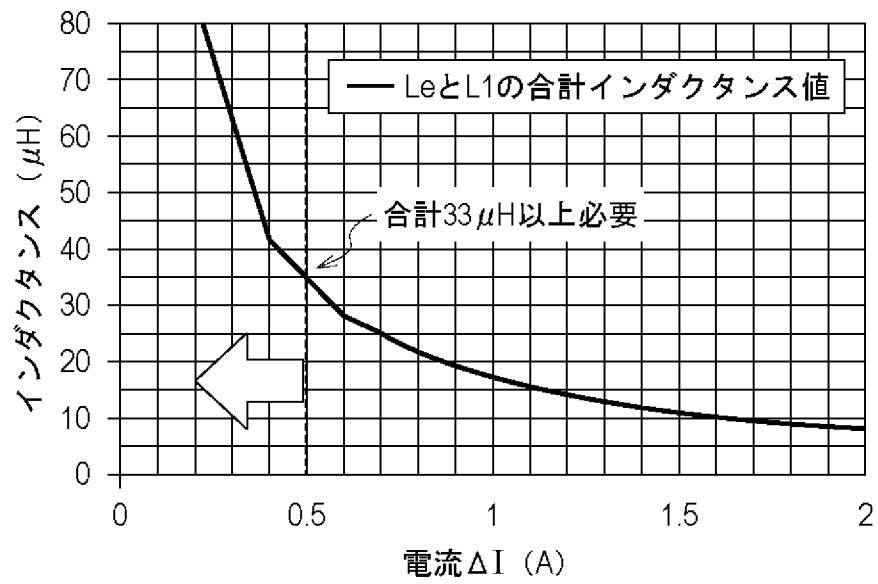
[図13]



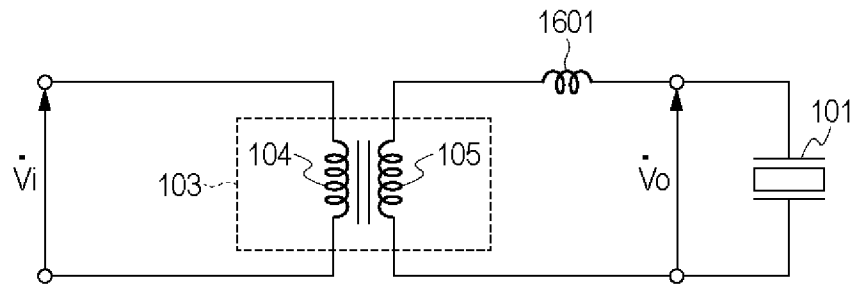
[図14]



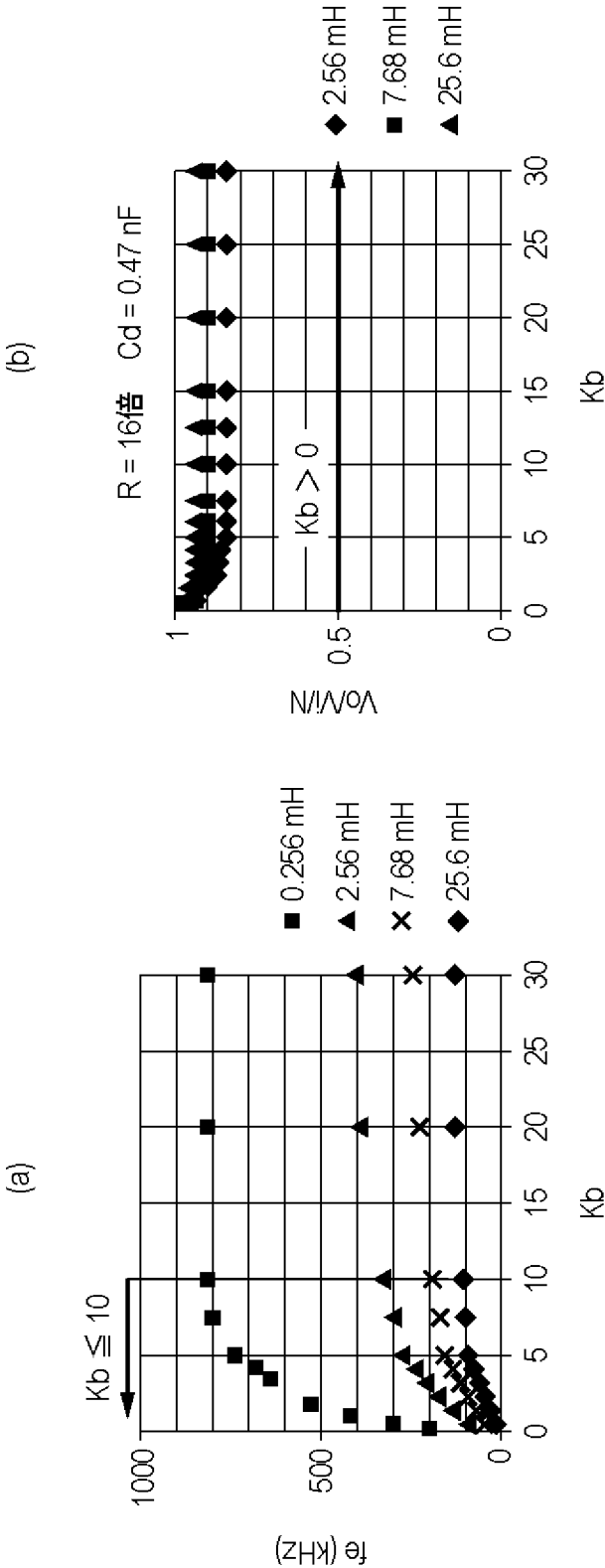
[図15]



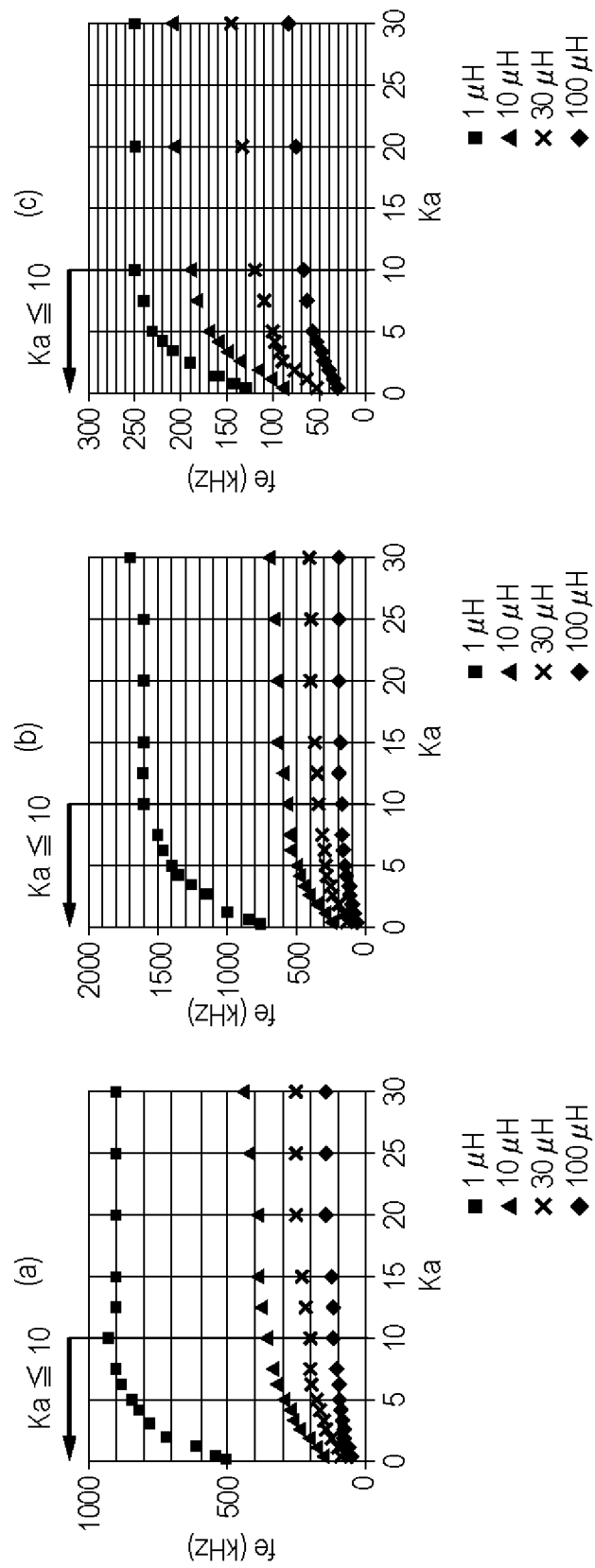
[図16]



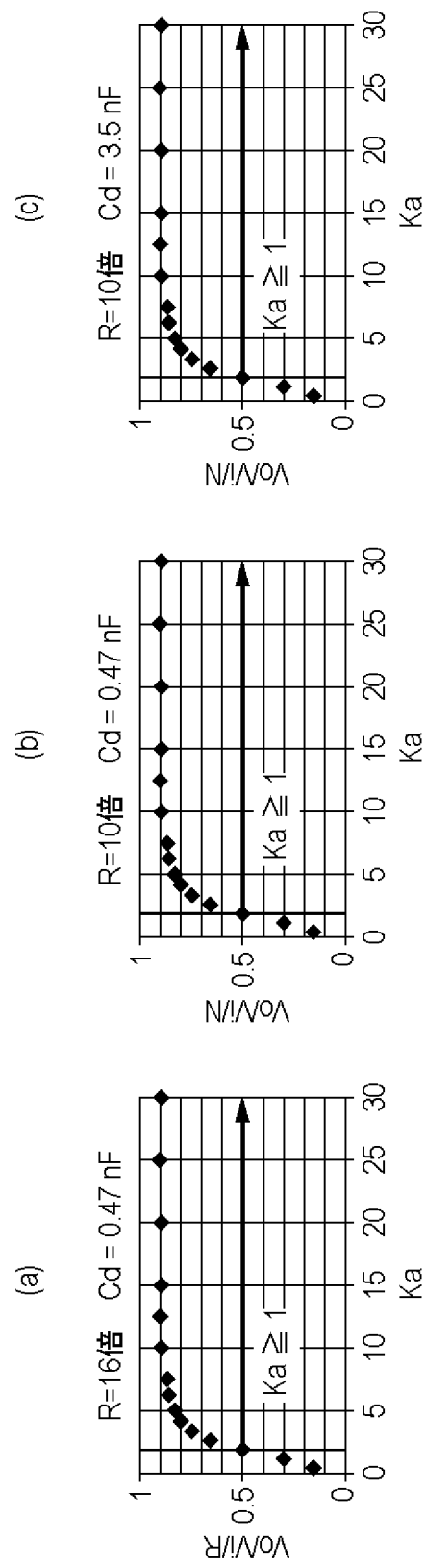
[図17]



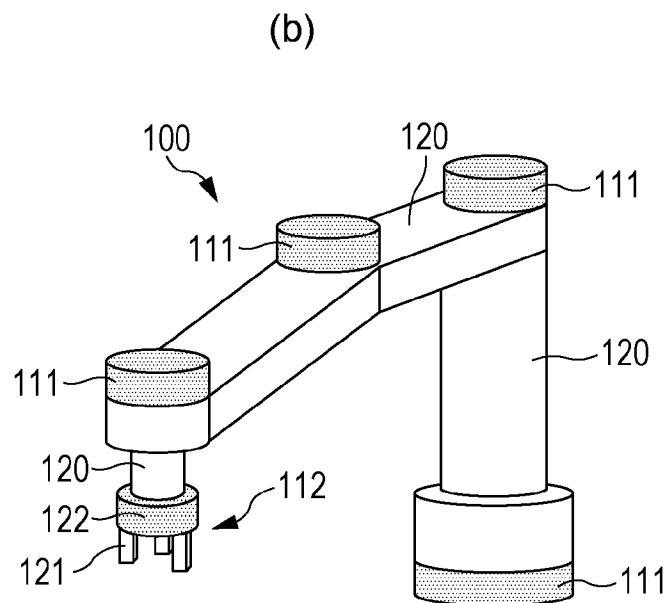
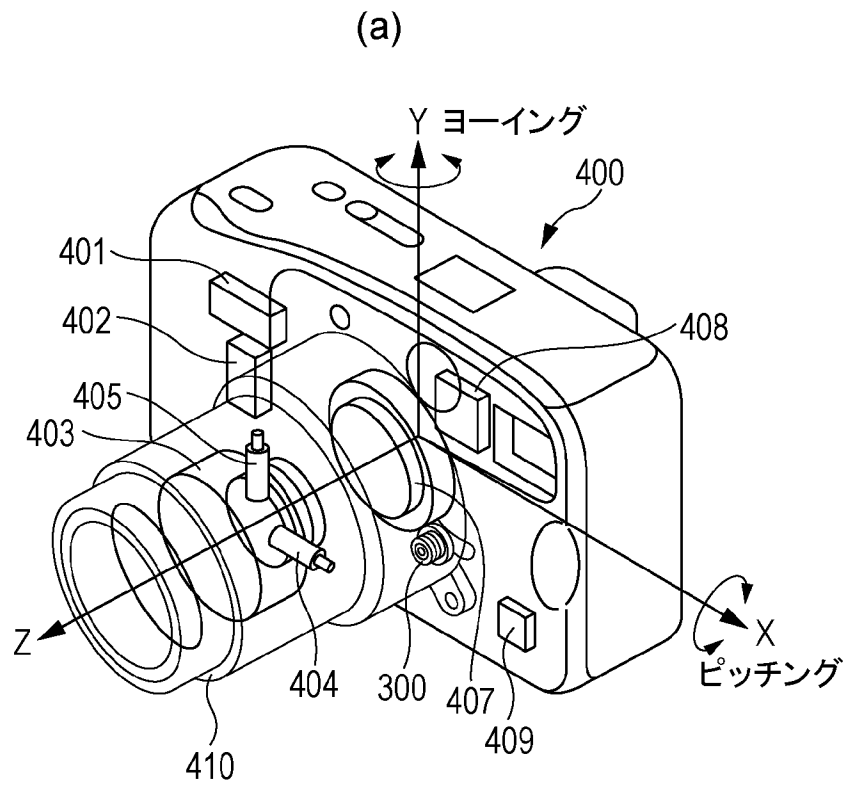
[図18]



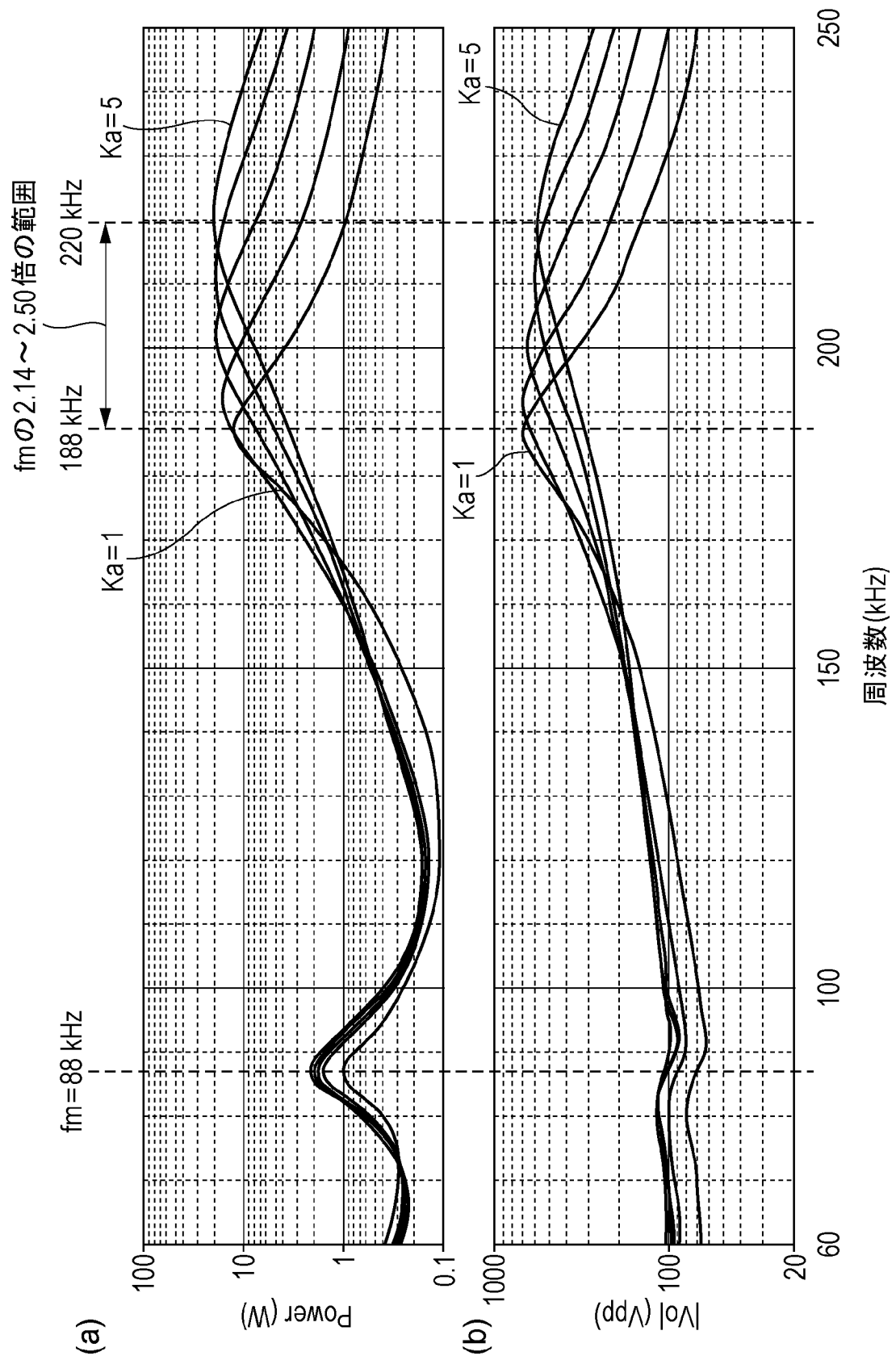
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/083841

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H02N2/00 (2006.01) i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02N2/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2015 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2015 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2015		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 04-042788 A (Sony Corp.), 13 February 1992 (13.02.1992), page 3, lower left column, line 1 to lower right column, line 19; fig. 1 (Family: none)	1-2, 5, 12-16 3-4, 6-11
A	JP 2013-247800 A (Nikon Corp.), 09 December 2013 (09.12.2013), paragraph [0030]; fig. 5(c) (Family: none)	8-10, 12-16
A	JP 2011-109882 A (Canon Inc.), 02 June 2011 (02.06.2011), paragraph [0072]; fig. 16 & US 2011/0121686 A1 & US 2014/0009088 A1	8-10, 12-16
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 17 March 2015 (17.03.15)		Date of mailing of the international search report 24 March 2015 (24.03.15)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/083841

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-101673 A (Nippon Soken, Inc., Denso Corp.), 05 April 2002 (05.04.2002), fig. 1 (Family: none)	11-16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H02N2/00(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H02N2/00			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015年			
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
X A	JP 04-042788 A（ソニー株式会社）1992.02.13, 第3頁左下欄第1行-右下欄第19行、第1図（ファミリーなし）	1-2, 5, 12-16 3-4, 6-11	
A	JP 2013-247800 A（株式会社ニコン）2013.12.09, 【0030】、図5（c）（ファミリーなし）	8-10, 12-16	
A	JP 2011-109882 A（キヤノン株式会社）2011.06.02, 【0072】、図16 & US 2011/0121686 A1 & US 2014/0009088 A1	8-10, 12-16	
A	JP 2002-101673 A（株式会社日本自動車部品総合研究所、株式会社デンソー）2002.04.05, 図1（ファミリーなし）	11-16	
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 17.03.2015		国際調査報告の発送日 24.03.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 槻木澤 昌司 電話番号 03-3581-1101 内線 3357	3V 9326