

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5798992号  
(P5798992)

(45) 発行日 平成27年10月21日(2015.10.21)

(24) 登録日 平成27年8月28日(2015.8.28)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>H02N</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H02N</b>	<b>1/00</b>
<b>H02M</b>	<b>3/28</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H02M</b>	<b>3/28</b>
<b>B81B</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>B81B</b>	<b>3/00</b>

Y

請求項の数 8 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2012-192113 (P2012-192113)
(22) 出願日	平成24年8月31日 (2012.8.31)
(65) 公開番号	特開2014-50249 (P2014-50249A)
(43) 公開日	平成26年3月17日 (2014.3.17)
審査請求日	平成26年11月17日 (2014.11.17)

(73) 特許権者	390022471 アオイ電子株式会社 香川県高松市香西南町455番地の1
(73) 特許権者	304023318 国立大学法人静岡大学 静岡県静岡市駿河区大谷836
(74) 代理人	100084412 弁理士 永井 冬紀
(72) 発明者	鈴木 雅人 香川県高松市香西南町455番地の1 ア オイ電子株式会社内
(72) 発明者	林 宏樹 香川県高松市香西南町455番地の1 ア オイ電子株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 静電誘導型変換装置およびDC-DCコンバータ

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

第1の固定電極と、前記第1の固定電極に対向した第1の可動電極を有する入力側静電アクチュエータと、

前記第1の可動電極に生じる変位量を拡大もしくは縮小させるリンク機構部材を介して前記第1の可動電極に連結されている第2の可動電極と、前記第2の可動電極に対向した第2の固定電極を有する出力側静電アクチュエータとを備え、

前記入力側静電アクチュエータおよび前記出力側静電アクチュエータの可動電極側または固定電極側の電極面上に永久帶電膜を設けたことを特徴とする静電誘導型変換装置。

## 【請求項2】

10

請求項1に記載の静電誘導型変換装置において、

前記第1の可動電極と、前記リンク部材と、前記第2の可動電極は、同一の材料を用いて形成されていることを特徴とする静電誘導型変換装置。

## 【請求項3】

請求項2に記載の静電誘導型変換装置において、

前記リンク部材の端部または所定の中間位置に設けられているヒンジ機構を中心として、前記第1の可動電極と前記リンク部材と前記第2の可動電極から成る可動部は一体的に回動することを特徴とする静電誘導型変換装置。

## 【請求項4】

請求項3に記載の静電誘導型変換装置において、

20

前記ヒンジ機構が前記リンク部材の端部に設けられている場合には、前記端部を中心として、前記第1の可動電極および前記第2の可動電極は同一の方向に回動し、

前記ヒンジ機構が前記リンク部材の前記所定の中間位置に設けられている場合には、前記所定の中間位置を中心として、前記第1の可動電極および前記第2の可動電極は互いに逆の方向に回動する、

ことを特徴とする静電誘導型変換装置。

#### 【請求項5】

請求項1から4のいずれか一項に記載の静電誘導型変換装置において、

前記入力側静電アクチュエータに交流入力信号を印加することにより前記第1の可動電極を振動させ、前記1の可動電極の振動に対応して前記前記2の可動電極を振動させることにより、前記出力側静電アクチュエータから、前記交流入力信号の電圧を昇圧または降圧した交流出力信号を得ることを特徴とする静電誘導型変換装置。 10

#### 【請求項6】

請求項5に記載の静電誘導型変換装置において、

前記交流入力信号の電圧と、前記交流出力信号の電圧との比は、前記第1の可動電極の長さと、前記リンク部材の長さと、前記第2の可動電極の長さとに基づいて決定されることを特徴とする静電誘導型変換装置。

#### 【請求項7】

請求項6に記載の静電誘導型変換装置において、

前記第1の可動電極が回動する支点と、前記第1の可動電極の中間位置との間の距離を  $a_k$  とし、 20

前記第1の可動電極の前記中間位置と、前記第2の可動電極の中間位置との間の距離を  $a_1$  としたとき、

前記支点を中心として前記第1の可動電極および前記第2の可動電極が同一の方向に回動する場合には、

前記交流入力信号の電圧  $e_{in}$  と、前記交流出力信号の電圧  $e_{out}$  との比  $|e_{out}/e_{in}|$  は、

$$|e_{out}/e_{in}| = |1 + 3a_1/2a_k|$$

で与えられることを特徴とする静電誘導型変換装置。

#### 【請求項8】

請求項1から7のいずれか一項に記載の前記入力側静電アクチュエータを自励発振器の帰還回路中に挿入し、直流入力電圧を印加することにより前記帰還回路のゲインを設定し、前記出力側静電アクチュエータの前記第2の固定電極から得られた交流出力電圧を整流することを特徴とするDC-DCコンバータ。 30

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本発明は、静電誘導型変換装置およびDC-DCコンバータに関するものである。

##### 【背景技術】

##### 【0002】

MEMS技術により作成された3端子型櫛歯アクチュエータを用いることにより、昇圧回路を構成することが知られている（特許文献1）。特許文献1に記載されている3端子型櫛歯アクチュエータは、第1の櫛歯電極と、前記第1の櫛歯電極と所定の間隔をもって嵌合する第2の櫛歯電極とを有する第1の櫛歯アクチュエータと、第3の櫛歯電極と、前記第3の櫛歯電極と所定の間隔をもって嵌合する第4の櫛歯電極とを有する第2の櫛歯アクチュエータとを備え、前記第2の櫛歯電極および前記第3の櫛歯電極が同じ変位をするよう一体的に形成した3端子型櫛歯アクチュエータのいずれか一つの櫛歯電極から出力を得るものである。 40

##### 【0003】

より具体的な技術として、特許文献1には、MEMS技術にて作成された入力側櫛歯静

10

20

30

40

50

電アクチュエータと、出力側櫛歯静電アクチュエータの2組の静電アクチュエータを備え、これら両静電アクチュエータの可動櫛歯電極を機械的に連結して連動させ、且つ、出力側櫛歯静電アクチュエータに対しては別の直流電圧を印加すること、あるいはエレクトレットにより電界を発生させることが開示されている（特許文献1の[図1]，[図2]参照）。そして2組の静電アクチュエータを高真空中におき（可動櫛歯電極の真空封止）、入力側静電アクチュエータ側に交流入力を加えると（もしくは、帰還回路を形成して自励振動を発生させると）、入力側静電アクチュエータの振動に伴って出力側静電アクチュエータも振動するので、静電誘導による電荷が誘起され、その結果として、入力電圧以上に昇圧された電圧が得られるものである。ここで得られる出力電圧は交流であるので、後段に設けた回路で整流することにより昇圧された直流電圧が得られる。

10

#### 【先行技術文献】

##### 【特許文献】

###### 【0004】

【特許文献1】特開2011-62024号公報

##### 【発明の概要】

##### 【発明が解決しようとする課題】

###### 【0005】

上述したことから明らかなように、入力側櫛歯静電アクチュエータの可動櫛歯電極と出力側櫛歯静電アクチュエータの可動櫛歯電極を機械的に連結して連動させた場合には、入力側における可動櫛歯電極の振幅と、出力側における可動櫛歯電極の振幅は同じ大きさとなってしまうことになる。したがって、出力電圧をより高めるためには、入力側に微弱な交流電圧を印加した場合にも可動櫛歯電極を十分に大きく振動させる必要がある。一方、可動櫛歯電極を十分に大きく振動させるためには、バネ定数（特許文献1の図3，段落[0032]参照）を弱くして回路のQ値が高くなるように設計し、且つ空気抵抗を抑えるために真空封止することが必要であった。

20

###### 【0006】

しかしながら、バネ定数を弱くして高いQ値を得るには、その分だけ軽量にしなくてはならないので、設計の自由度が小さくなるという問題がある。しかも、可動櫛歯電極の振幅を大きくすると梁の非線形性の影響も大きくなってしまうので、高いQ値を得ることは困難である。

30

##### 【課題を解決するための手段】

###### 【0007】

本発明に係る静電型変換装置（請求項1）は、第1の固定電極と、前記第1の固定電極に対向した第1の可動電極を有する入力側静電アクチュエータと、前記第1の可動電極に生じる変位量を拡大もしくは縮小させるリンク機構部材を介して前記第1の可動電極に連結されている第2の可動電極と、前記第2の可動電極に対向した第2の固定電極を有する出力側静電アクチュエータとを備え、前記入力側静電アクチュエータおよび前記出力側静電アクチュエータの可動電極側または固定電極側の電極面上に永久帯電膜を設けたことを特徴とするものである。

請求項2に係る静電誘導型変換装置は、請求項1に記載の静電誘導型変換装置において、前記第1の可動電極と、前記リンク部材と、前記第2の可動電極は、同一の材料を用いて形成されていることを特徴とする。

40

請求項3に係る静電誘導型変換装置は、請求項2に記載の静電誘導型変換装置において、前記リンク部材の端部または所定の中間位置に設けられているヒンジ機構を中心として、前記第1の可動電極と前記リンク部材と前記第2の可動電極から成る可動部は一体的に回動することを特徴とする。

請求項4に係る静電誘導型変換装置は、請求項3に記載の静電誘導型変換装置において、前記ヒンジ機構が前記リンク部材の端部に設けられている場合には、前記端部を中心として、前記第1の可動電極および前記第2の可動電極は同一の方向に回動し、前記ヒンジ機構が前記リンク部材の前記所定の中間位置に設けられている場合には、前記所定の中間

50

位置を中心として、前記第1の可動電極および前記第2の可動電極は互いに逆の方向に回動する、ことを特徴とする。

請求項5に係る静電誘導型変換装置は、請求項1から4のいずれか一項に記載の静電誘導型変換装置において、前記入力側静電アクチュエータに交流入力信号を印加することにより前記第1の可動電極を振動させ、前記1の可動電極の振動に対応して前記前記2の可動電極を振動させることにより、前記出力側静電アクチュエータから、前記交流入力信号の電圧を昇圧または降圧した交流出力信号を得ることを特徴とする。

請求項6に係る静電誘導型変換装置は、請求項5に記載の静電誘導型変換装置において、前記交流入力信号の電圧と、前記交流出力信号の電圧との比は、前記第1の可動電極の長さと、前記リンク部材の長さと、前記第2の可動電極の長さとに基づいて決定されることを特徴とする。10

請求項7に係る静電誘導型変換装置は、請求項6に記載の静電誘導型変換装置において、前記第1の可動電極が回動する支点と、前記第1の可動電極の中間位置との間の距離を $a_k$ とし、前記第1の可動電極の前記中間位置と、前記第2の可動電極の中間位置との間の距離を $a_1$ としたとき、前記支点を中心として前記第1の可動電極および前記第2の可動電極が同一の方向に回動する場合には、前記交流入力信号の電圧 $e_{in}$ と、前記交流出力信号の電圧 $e_{out}$ との比 $|e_{out}/e_{in}|$ は、 $|e_{out}/e_{in}| = |1 + 3a_1/2a_k|$ で与えられることを特徴とする。

本発明に係るDC - DCコンバータ(請求項8)は、前記入力側静電アクチュエータを自励発振器の帰還回路中に挿入し、直流入力電圧を印加することにより前記帰還回路のゲインを設定し、前記出力側静電アクチュエータの前記第2の固定電極から得られた交流出力電圧を整流することを特徴とするものである。20

#### 【発明の効果】

#### 【0008】

本発明によれば、静電アクチュエータの可動電極または固定電極に永久帯電膜を形成することにより、いわゆる静電トランスを実現することができるので、従来の技術では実現し得なかった小型の素子により所望の入出力変換機能およびDC - DC変換機能を達成することができる。勿論、上記DC - DC変換機能に加えて、従来から知られている通常のトランスと同じくAC - AC変換機能を達成することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0009】

【図1】本発明を説明する前の前提的基礎技術として、ヒンジ機構を備えた静電型変換装置を示す平面図である。

【図2】図1におけるヒンジの構造を示す説明図である。

【図3】図1におけるヒンジの回動状態を示す説明図である。

【図4】本発明を説明する前の前提的基礎技術として、図1とは異なるヒンジ機構を備えた静電型変換装置を示す平面図である。

【図5】図4におけるヒンジの構造を示す説明図である。

【図6】図4におけるヒンジの回動状態を示す説明図である。

【図7】本発明に係る実施の形態1として構成した静電誘導型変換装置を示す平面図である。40

【図8】図7に示した静電誘導型変換装置の駆動点行列によって導かれる電気等価回路を示す図である。

【図9】図7に示した静電誘導型変換装置のSPICE等価回路を示す図である。

【図10】SPICE等価回路を用いたシミュレーションの結果を示す図である。

【図11】実施の形態1により構成したZ方向振動型櫛歯静電トランスを示す図である。

【図12】実施の形態1により構成したY方向振動型櫛歯静電トランスを示す図である。

【図13】本発明に係る実施の形態2として構成したDC - DCコンバータを示す回路図である。

【図14】図13の回路図をより詳細に示した回路図である。50

【図15】DC - DCコンバータに含まれる自励発振回路の動作原理を示した回路図である。

【図16】可動部材の中間部にヒンジを設けた変形例1を示す図である。

【図17】可動部材の中間部にヒンジを設けた変形例2を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明の実施の形態を詳細に説明する前に、本発明の前提となる基礎技術を説明する。

<前提となる基礎技術の説明>

§ 前提的基礎技術（その1）

図1は、本発明を説明する前の前提的基礎技術として、ヒンジ機構を備えた静電型変換装置を示す平面図である。図2は、図1におけるヒンジの構造を示す説明図である。図3は、図1におけるヒンジの回動状態を示す説明図である。

10

【0011】

前提的基礎技術としてここで説明する静電型変換装置は、入出力間での昇圧機能を果たすことができる。図1において、固定電極2aおよび可動電極4aは、所定の間隔をもって嵌合する固定歫電極および可動歫電極である。なお、図1のZ軸方向には、固定歫電極2aおよび可動歫電極4aが延在している。可動電極4aは可動部材6aに固着されている。

【0012】

可動部材6aは、ヒンジ12aを中心としてX-Y平面上を回動するので、固定歫電極2aおよび可動歫電極4aによる入力側静電アクチュエータ20aが構成される。可動部材6aの初期位置は、バネ等の支持部材14により規定される。ヒンジ12aの具体的な構成については、後に図2および図3を参照して説明する。

20

【0013】

可動部材6aの他端（ヒンジ12aから遠い端部）は出力側の可動電極8aに接続されている。入力側静電アクチュエータ20aと同様、可動電極8aは可動歫電極であり、固定電極10aはこの可動歫電極と所定の間隔をもって嵌合する固定歫電極である。固定電極10aおよび可動電極8aにより、出力側静電アクチュエータ30aを構成している。

【0014】

30

入力側静電アクチュエータ20aの可動電極（可動歫電極）4aと、出力側静電アクチュエータ30aの可動電極（可動歫電極）8aは、可動部材6aの両端部にそれぞれに固着されている。したがって、出力側静電アクチュエータ30aの可動電極8aは、入力側静電アクチュエータ20aの可動電極4aの変位方向と同じ方向に変位することになる。しかも、可動部材6aはヒンジ12aを中心にしてX-Y平面上を回動するので、入力側可動電極4aの変位量を増幅した変位量が出力側可動電極8aに与えられる。換言すると、入力側の可動電極4aにおける変位量がLであるときには、出力側の可動電極8aはM = k · L (k > 1)だけ変位することになる。

【0015】

なお、入力側の可動電極4aと、出力側の可動電極8aとを電気的に分離するために、可動部材6aの途中には絶縁部材を介挿させておくことが必要である。図1では、黒塗りの長方形により、絶縁物を模式的に表している。

40

【0016】

また、ヒンジ12aを中心にして可動部材6aが円弧状に回動することから、可動電極4a、固定電極2aおよび可動電極8a、固定電極10aを構成する各歫電極も円弧状となるよう湾曲させておく。この円弧状湾曲はX-Y平面における湾曲であり、X-Z平面上での湾曲は必要ない。

【0017】

次に、図2および図3を参照しながら、ヒンジ12aの構成について具体的に説明する。一般的に知られているヒンジ（蝶番）は、中心ピンの回りに回動する物理的な摺動面が

50

存在するが、MEMS構造では潤滑のための給油などが困難であることから、摺動面の磨耗による耐久性の問題が避けられない。しかも、一般的に知られているようなヒンジをMEMS技術で構成するには、多層の犠牲層エッティングなどが必要となるので、製造コストも高くなってしまい現実的ではない。そこで、MEMS技術を用いる図1の静電型変換装置では、物理的に他の箇所より曲がり易くなっている薄い部分を形成することにより、ヒンジ12aとしての機能を実現している。

#### 【0018】

図2に示すように、平面図(X-Y平面)では折れ曲がる(回動する)部分が薄くなつてあり、その部分がヒンジ12aとして機能する。すなわち、他の箇所より曲がり易くなっているので、外力が加わると、擬似的にその薄い箇所が中心ピンと同様に機能し、その箇所を中心として円弧状に可動部材6aが回動することになる。なお、図2のX-Z平面図に示すように、垂直方向(Z軸方向)には薄くなっていないので、ヒンジ12aを中心として垂直方向に回動することはない。

10

#### 【0019】

再び図1に戻り、出力側静電アクチュエータ30aに付されている永久帯電膜について説明する。図1の静電型変換装置では、直流電源を出力側静電アクチュエータ30aに接続する代わりに、エレクトレットを用いて永久帯電膜を実現している。より具体的には、出力側静電アクチュエータ構造30aの可動電極8aまたは固定電極10aのいずれか一方の側面には、エレクトレットが形成されている。あるいは、櫛歯電極自身がエレクトレットで形成されている。

20

#### 【0020】

このエレクトレットは、アルカリ金属ないしアルカリ土類金属のプラスイオンを含有する酸化シリコンからなる。イオンとしては、カリウム、カルシウム、ナトリウム、リチウムのイオンを用いる。エレクトレットは、アルカリ雰囲気内でシリコンを酸化して作成する。もちろん、酸化シリコンに外部からのコロナ放電やイオン注入で電荷や固体イオンを注入してもよい。但し、その場合には櫛歯電極の側面にエレクトレットを形成することは困難である。

#### 【0021】

入力側静電アクチュエータ20aの入力端子A,B間には、交流電圧源を接続する。また、出力側静電アクチュエータ30aの出力端子C,D間には、固定電極10aに誘起された電荷を取り出して電圧に変換するI/V変換回路16aを接続する。かくして、図1に示した静電型変換装置は、昇圧回路として機能することになる。

30

#### 【0022】

また、可動部材6aの長さを適宜選択することにより、昇圧率を可変設定することができる。さらに、入力側静電アクチュエータ20aと出力側静電アクチュエータ30aを入れ替えることにより、降圧回路として機能させることもできる。

#### 【0023】

図1に示した静電型変換装置では、入力端子A,B間に交流電圧を印加し、B端子およびG端子を接地する。すると、可動部材6aはX-Y平面上を円弧状に回動(振動)する。出力側静電アクチュエータ30aは、ヒンジ12aから見て入力側静電アクチュエータ20aよりも外側(遠い位置)に位置するので、上記振動による振幅は入力側アクチュエータ20aにおける振幅よりも増幅されることになる。そして、出力側の可動電極8a(すなわち、可動櫛歯電極)がエレクトレットによる電界中を移動することによって、静電誘導による電荷が誘起され、出力電流が得られる。

40

#### 【0024】

この出力電流は、特許文献1に記載されている3端子型櫛歯アクチュエータと異なり、出力側の可動電極8aが入力側の可動電極4aより大きな振幅で振動することになるので、より大きな電流値となる。

#### 【0025】

なお出力電流を増大させるためには、エレクトレットが十分な電荷を有し、且つ出力側

50

静電アクチュエータ 30a の静電容量が十分に大きく、しかも寄生容量をできるだけ小さくすることが望ましい。また、エレクトレットを荷電させるには BT ( Bias Temperature ) 処理が必要な場合があるが、その場合は、エレクトレットにつながる導通路をあらかじめ作成しておき、BT 处理後に除去する。あるいは、バネを出力側の可動部につながるようにし、そちら側を導通路としてもよい。そして、静電誘導によって誘起した電流に対し、後段側に I/V 変換回路 16a を組み込むことにより、入力する交流電圧よりも高い電圧の交流電圧を取り出すことができる。

#### 【 0026 】

以上のことから、図 1 に示した静電型変換装置は、片持ち梁構造の可動部材 6a により回動される可動電極 4a および可動電極 8a を備えた昇圧回路 / 降圧回路のみならず、通常の変圧器（トランス）と同様の機能を果たすことができる。10

#### 【 0027 】

##### § 前提的基礎技術（その 2）

図 4 は、本発明を説明する前の前提的基礎技術として、図 1 とは異なるヒンジ機構を備えた静電型変換装置を示す平面図である。図 5 は、図 4 におけるヒンジの構造を示す説明図である。図 6 は、図 4 におけるヒンジの回動状態を示す説明図である。入出力間で昇圧機能を果たすことは、図 1 に示した静電型変換装置と同じであるが、ここで説明する静電型変換装置は、可動部材 6b が垂直方向（Z 軸方向）に回動する点が異なっている。すなわち、ヒンジ 12b を中心として、可動部材 6b が垂直方向（Z 軸方向）に振動することにより、出力側静電アクチュエータ 30 の固定電極 10b から交流電流を取り出している。20

#### 【 0028 】

図 5 に示したヒンジ 12b の構造から明らかなように、図 1 の静電型変換装置と異なり、Z 方向の厚さが薄くなっているので、ヒンジ 12b を中心にして垂直方向に回動することになる。また、片持ち梁構造の可動部材 6b は、実施の形態 1 と同じく、左右の部分が電気的に絶縁されている。また、図 1 の静電型変換装置と同じく、出力側静電アクチュエータ 30b の可動電極表面にはエレクトレットが形成されている。

#### 【 0029 】

上述の通り、ヒンジ 12b に連結されている可動部材 6b は、垂直方向に振動する自由度を有している。また、図 6 に示す通り、固定電極 2b と可動電極 4b は、初期段階で垂直方向（Z 軸方法）に対し、入力された交流電圧により振動する入力側可動電極の振幅の半値よりも大きな初期ズレを有している。入力側静電アクチュエータ 20b にて、可動電極 4b と固定電極 2b とが、垂直方向（Z 軸方向）に初期ズレを有していない場合は、可動部材 6b を垂直方向に振動させることができない。30

#### 【 0030 】

入力端子 A, B 間に交流電圧を印加し、入力端子 B および接地端子 G を接地すると、可動電極 4b に連結されている可動部材 6b は垂直方向（Z 軸方向）に円弧状に振動する。出力側静電アクチュエータ 30b は、ヒンジ 12b から入力側静電アクチュエータ 20b よりも外側に位置するので、その振幅は入力側アクチュエータ 20b における振幅よりも大となる。ここで、出力側静電アクチュエータ 30b における固定電極 10b および可動電極 8b の垂直方向の厚みは、入力側静電アクチュエータ 20b における固定電極 2b および可動電極 4b よりも厚くなっていることが望ましい。40

#### 【 0031 】

以上のことから、図 4 に示した静電型変換装置は、片持ち梁構造の可動部材 6b により回動される可動電極 4b および可動電極 8b を備えた昇圧回路 / 降圧回路であると言うばかりでなく、通常の変圧器（トランス）と同様の機能を果たす静電型トランスであるとも言える。

#### 【 0032 】

次に、これまで説明してきた基礎技術を前提として、本発明を適用した静電誘導型変換装置の実施形態を詳細に説明する。50

## &lt; 実施の形態 1 &gt;

図 7 は、本発明に係る実施の形態 1 を示す平面図である。本図に示す静電誘導型変換装置は、先に説明した図 4 と同様に、可動部材 6 c (1), 6 c (2) が Z 軸方向に回動する構成となっている。ここで、一方の可動部材 6 c (1) の端部（図 7 の左端部）は、図 5 に示したようなヒンジ 12 c となっている。換言すると、ヒンジ 12 c に接続されている可動部材 6 c (1) と、可動部材 6 c (1) の延長側（図 7 の右側）に接続されている可動部材 6 c (2) とにより構成されるリンク機構部材により、可動電極 4 c の変位量と可動電極 8 c の変位量に差を生じさせている。但し、基本的には、大きく振動する櫛歯のほうが昇圧時の入力側となっているので、図 7 の右側が入力側櫛歯、図 7 の左側が出力側櫛歯となる（その理由は、以下に説明していく）。

10

## 【 0 0 3 3 】

なお、入出力間で D C - D C 変圧機能および A C - A C 変換機能を果たすことは、図 1 ~ 図 6 により説明した前提的基礎技術と同じであるが、構造上から見た大きな相違点として、次の 2 点が挙げられる。

## 【 0 0 3 4 】

相違点 1：図 1 および図 4 に示した可動部材 6 a, 6 b とは異なり、電気的な絶縁処理は不要である。換言すると、同一の導電材料を用いて可動電極 4 c, 8 c および可動部材 6 c (1), 6 c (2) を形成することにより、静電型トランスとしての機能を果たすことができる。その理由は、後に詳述する。

20

相違点 2：図 1 および図 4 に示した入力側静電アクチュエータ 20 a, 20 b は単なる励振機構であるのでエレクトレット層は不要であったが、図 7 に示す静電誘導型変換装置では、可動電極 4 c または固定電極 2 c の対向電極面上にもエレクトレット層を形成している。その理由は、後に詳述する。

## 【 0 0 3 5 】

まず、図 7 に示した静電誘導型変換装置の電気等価回路を求めるために、ラグランジュの運動方程式から駆動点行列を求める演算過程を説明する。

## 【 0 0 3 6 】

ラグランジアン L は、次の式で表すことができる。

## 【 数 1 】

30

$$L = \frac{1}{2} m_e v_0^2 + \frac{1}{2} \frac{\rho a_l (4a_k^2 + 6a_k a_l + 3a_l^2)}{4a_k^2} v_0^2 - \frac{1}{2} k(Y + y_0)^2 - \frac{(Q_0 + q_0)^2}{2C_0} - \frac{(Q_2 + q_2)^2}{2C_2}$$

## 【 0 0 3 7 】

上式の第 2 項に含まれている

## 【 数 2 】

$$\frac{\rho a_l (4a_k^2 + 6a_k a_l + 3a_l^2)}{4a_k^2} v_0^2$$

40

は、いわゆる錘部（図 7 の a<sub>1</sub> に含まれている部分）の質量を線 p 上に換算した等価質量である。

## 【 0 0 3 8 】

また、散逸関数 F は、次の式で表すことができる。

## 【 数 3 】

$$F = \frac{1}{2} r v_0^2$$

50

## 【0039】

ここで、 $m_e$ はいわゆるバネ部（図7の $a_k$ に含まれている部分）の実効質量、 $v_0$ は根本部の速度、 $\rho$ は線密度、 $a_k$ はいわゆるバネ部の長さ（櫛中央まで）、 $a_l$ はいわゆる錐部の長さ（櫛中央まで）、 $k$ はバネ定数、 $Y$ はBT処理による戻り量、 $y_0$ はZ軸方向変位、 $Q_0$ は根本部櫛歯の初期電荷、 $Q_2$ は先端部櫛歯の初期電荷、 $C_0$ は根本部櫛歯の初期容量、 $C_2$ は先端部櫛歯の初期容量、 $r$ は機械抵抗である。

## 【0040】

また、図7において、 $X_0$ は根本部櫛歯の重なり、 $X_2$ は先端部櫛歯の重なり、 $Y_0$ は荷電処理前の根本部櫛歯のZ軸方向変位、 $Y_2$ は荷電処理前の先端部櫛歯のZ軸方向変位、 $b$ は櫛歯の厚さである。 10

## 【0041】

上記のラグランジアンから線形近似により機械系・電気系の運動方程式を導き、駆動点行列を求めるとき、次式の通りとなる。

## (数4)

駆動点行列

$$\begin{bmatrix} f_0 \\ i_0 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_m & -A & -B \\ A & j\omega C_0 & 0 \\ B & 0 & j\omega C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_0 \\ e_0 \\ e_2 \end{bmatrix}$$

20

## 【0042】

この駆動点行列において、

## 【数5】

$$Z_m = r + j\omega \left( m_e + \frac{\rho b (4a_k^2 + 6a_k a_l + 3a_l^2)}{4a_l^2} \right) + \frac{k}{j\omega}$$

30

## 【数6】

$$A = \frac{2n_0 \varepsilon_0 X_0 E_0}{d_0}$$

## 【数7】

$$B = \frac{2n_2 \varepsilon_0 X_2 E_2}{d_2} \left( 1 + \frac{3a_l}{2a_k} \right)$$

40

## 【数8】

$$C_0 = \frac{2n_0 \varepsilon_0 X_0 (b - Y_0 + Y)}{d_0}$$

## 【数9】

$$C_2 = \frac{2n_2 \epsilon_0 X_2 \left\{ b + \left( 1 + \frac{3a_1}{2a_k} \right) (Y - Y_0) \right\}}{d_2}$$

である。

## 【0043】

また、

$n_0$  : 出力側歯組数

$n_2$  : 入力側歯組数

$\epsilon_0$  : 真空誘電率

$d_0$  : 出力側歯ギヤップ

$d_2$  : 入力側歯ギヤップ

$e_0$  : 出力電圧

$e_2$  : 入力電圧

$R$  : インピーダンスマッチング抵抗

: 角周波数

である。

10

## 【0044】

以上のことから、

## 【数10】

$$i_0 = -\frac{e_0}{R}$$

$$\therefore -\frac{e_0}{R} = Av_0 + j\omega C_0 e_0$$

20

$$\therefore v_0 = -\frac{1}{A} \left( \frac{1}{R} + j\omega C_0 \right) e_0$$

30

## 【0045】

## 【数11】

$$0 = Z_m v_0 - Ae_0 - Be_2$$

より、

40

## 【数12】

$$0 = - \left\{ \frac{Z_m}{A} \left( \frac{1}{R} + j\omega C_0 \right) + A \right\} e_0 - Be_2$$

## 【0046】

従って、電圧増幅率は、

## 【数13】

$$\frac{e_0}{e_2} = -\frac{B}{A \left[ 1 + \frac{Z_m}{A^2} \left( \frac{1 + j\omega C_0 R}{R} \right) \right]} \approx -\frac{B}{A}$$

## 【数14】

$$X_0 = X_2$$

$$n'_0 = n_2$$

10

$$d'_0 = d_2$$

のとき

$$\frac{e_0}{e_2} \approx -\left( 1 + \frac{3a_k}{2a_k} \right)$$

となる。

## 【0047】

このように、各パラメータを設定することで、上式のように、入力電圧  $e_2$  に対して出力電圧  $e_0$  の値を変更することができる。すなわち、上式に基づいて、従来のコイルを不要とした静電型トランスを実現することが可能となる。さらに換言すると、入力電圧と出力電圧の比 (= 電圧増幅率) は、所定の条件 ( $X_0 = X_2$ ,  $n_0 = n_2$ ,  $d_0 = d_2$ ) を満たしたとき、可動部の寸法値 ( $a_k$ ,  $a_1$ ) に応じて所望の値に設定することができる。別の言い方をすると、第1の可動電極が回動する支点と、第1の可動電極の中間位置との間の距離を  $a_k$  とし、第1の可動電極の中間位置と、第2の可動電極の中間位置との間の距離を  $a_1$  としたとき、上記の支点を中心として第1の可動電極および第2の可動電極が同一の方向に回動する場合には、前記交流入力信号の電圧  $e_{in}$  と、前記交流出力信号の電圧  $e_{out}$  との比  $|e_{out}/e_{in}|$  は、

$$|e_{out}/e_{in}| = |1 + 3a_1 / 2a_k|$$

20

で与えられることになる。

## 【0048】

図8は、図7に示した静電誘導型変換装置の駆動点行列によって導かれる電気等価回路を示す図である。図9は、その電気的等価回路に基づいて作成したS P I C E 等価回路図である。図10は、図9のS P I C E 等価回路を用いたシミュレーション結果を示す図である。図10から明らかなように、約3.9倍の電圧増幅率が得られた。これは一例であり、電圧増幅率は設計によって任意に変更できる。

## 【0049】

図11は、図7に示した静電誘導型変換装置を用いたZ方向振動型歯静電トランスを示す図である。この静電トランスは、入力側可動歯を機械的に駆動することなく、歯対向面に酸化膜エレクトレットを形成することにより、M E M S 技術を用いた小型トランスとすることができます。

40

## 【0050】

当然のことながら、磁束を発生させることもないので、周囲にある素子に対して磁気にによる影響を与えることもない。また、入力側の静電歯の容量値ないし入力インピーダンスよりも出力側の容量値ないし出力インピーダンスを小さくすることで昇圧するばかりではなく、逆に出力側の容量値を大きくすることで降圧することも可能となる。

## 【0051】

図12は、Y軸方向に歯が回動するY方向振動型歯静電トランスを示す図である。基本的な動作原理は、図11のZ方向振動型歯静電トランスと同じであるので、説明は

50

省略する。

**【0052】**

図11および図12に示した櫛歯静電トランスの構造および動作原理をまとめると、次の(i)~(v)に示す通りである。

(i) 3端子の静電トランス構造を有している。

**【0053】**

(ii) てこの原理などにより、入力側・出力側に振幅の差を与える。

**【0054】**

(iii) 静電容量および電気機械結合係数を適宜選択し、振幅が入力側 > 出力側となる状況を実現することで、昇圧比を任意に設定することができる。 10

**【0055】**

(iv) 昇圧をする場合には、出力側の静電容量を図1、図4に示したものより小さくすることができるので、インピーダンスマッチングをとる際の電圧が高くなり、比較的容易に高電圧を得ることができる。

**【0056】**

(v) 前提的基礎技術として述べた図1、図4の場合には、てこの原理によりヒンジから離れた出力側の変位量を入力側の変位量より大きし、静電誘導に得られた電荷を電流として取り出し、その出力電流に適切な負荷をかけて昇圧電圧を取り出していたので、降圧トランスとするためには、設計変更が必要であった。

他方、図11および図12に示した櫛歯静電トランスでは、入力側および出力側の両方にエレクトレットを形成し、図1、図4の場合とは逆にした入出力接続とすることにより、インピーダンス（出力インピーダンス）が高い出力側から昇圧された電圧を取り出すことができる。したがって、単に入力側と出力側を逆に接続することにより、昇圧トランスと降圧トランスを切り替えることが可能となる。 20

なお、入力側櫛歯と出力側櫛歯とでは、振動の振幅が異なることが望ましいが、振幅を共通とした場合であっても、[数6]、[数7]、[数13]にあるように、櫛歯の容量やエレクトレットの荷電量などによって、電気機械結合係数（[数13]におけるAおよびB）に違いを与えることによって、昇圧ないし降圧を実現することが可能である。

そして振幅を共通としない場合、すなわちその振幅の違いは[数7]における寸法a1およびakによって表される。したがって[数13]におけるBがそのぶん変化するので、昇圧ないし降圧する際の増幅率ないし低減率を大きくすることができる。 30

**【0057】**

<実施の形態2>

図13は、静電型トランス（櫛歯静電トランス）を用いたDC - DCコンバータを示す回路図である。本図に示す静電型トランス50は、これまで説明してきた図7、図11、図12と同じく複数の櫛歯を備えているが、図13では1つの可動櫛歯のみを描いてある。AGC（Auto Gain Control）機能付きのゲイン可変型増幅器60の入力端子と出力端子との間に、この静電型トランス50が挿入されている。ここで、上記AGC機能を実現するための基準電圧として、直流電圧Vinを発生する直流電圧源が用いられている。発振信号の振幅は、直流電圧Vinの大きさに比例する。そして、整流回路70を介して、直流電圧Voutが出力される。 40

**【0058】**

図14は、図13の回路図をより詳細に示した回路図である。図15は、DC - DCコンバータに含まれる自励発振回路の動作原理を示した回路図である。

**【0059】**

このように、実施の形態2では、入力側櫛歯を帰還回路中に組み込んだ自励発振回路を形成することにより、DC - DCコンバータを構成している。すなわち、入力側櫛歯に直流電圧が印加されると自励発振により交流信号が生じ、それにより櫛歯可動電極が振動する。櫛歯の共振周波数は自励発振の信号の周波数と同じにする。出力側の櫛歯可動電極が振動することにより生じた出力側の信号を整流し、出力電圧(DC)とする。なお、自励発 50

振回路中に櫛歯アクチュエータを挿入すること、および、A G C 回路を用いて増幅器のゲインを制御することは、特許第4708455号（特開2009-8671号）などに見られる通り周知であるので、詳細な説明は省略する。

#### 【0060】

<その他の変形例>

図16は、可動部材の中間部にヒンジを設けた変形例1を示す図である。本図に示す静電型変換装置は、実施の形態1で説明した通り、入出力間で昇圧／降圧機能を果たすことができる。但し、可動部材6eがヒンジ12eを中心、X-Y平面上を回転する点が異なっている。すなわち、可動部材6eの中間部を挟持する支持部材によりヒンジ12eが実現されており、このヒンジ12eの左側にある可動電極4eと、このヒンジ12eの右側にある可動電極8eとはそれぞれ逆の方向に回動する。

10

#### 【0061】

図16から明らかなように、入力側静電アクチュエータ20eの可動部材は、ヒンジ12eを介して、出力側静電アクチュエータ30eの可動電極と物理的につながっており、全体として可動部材6eとなっている。

#### 【0062】

可動電極8eとヒンジ12eとの間の距離は、可動電極4eとヒンジ12eとの間の距離より長く設定されている。ヒンジ12eにより平面方向（X-Y平面）に振動する自由度を有し、固定電極2e, 10eと可動電極4e, 8eは、それぞれヒンジ12eからの距離に応じた円弧状の相対する櫛歯構造を有している。

20

#### 【0063】

図16に示す通り、可動電極4eに連結されている可動部材6eはヒンジ12eを中心として振動する。可動電極8eは、入力側可動電極4eよりヒンジ12cから離れた円弧上を回動するので、てこの原理に従い、その振幅は可動電極4eにおける振幅よりも大となる。以上のことから、図16に示した静電誘導型変換装置は、ヒンジ12eにより挟持された可動部材6eにより回動される可動電極4eおよび可動電極8eを備えた昇圧トランス／降圧トランスであると言ふことができる。

#### 【0064】

図17は、可動部材の中間部にヒンジを設けた変形例2を示す図である。本図に示す静電型変換装置は、実施の形態1で説明した通り、入出力間で昇圧／降圧機能を果たすことができる。但し、可動部材6fがヒンジ12fを中心、垂直方向（Z軸方向）に回動する点が異なっている。すなわち、可動部材6fの中間部を挟持する支持部材によりヒンジ12fが実現されており、このヒンジ12fの左側にある可動電極4fと、このヒンジ12fの右側にある可動電極8fとはそれぞれ逆の方向に回動する。

30

#### 【0065】

図17から明らかなように、入力側静電アクチュエータ20fの可動部材は、ヒンジ12fを介して、出力側静電アクチュエータ30fの可動電極と物理的につながっており、全体として可動部材6fとなっている。

#### 【0066】

可動電極8fとヒンジ12fとの間の距離は、可動電極4fとヒンジ12fとの間の距離より長く設定されている。ヒンジ12fにより垂直方向（Z軸方向）に振動する自由度を有し、固定電極2f, 10fと可動電極4f, 8fは、それぞれヒンジ12fからの距離に応じた円弧状の相対する櫛歯構造を有している。

40

#### 【0067】

可動電極4fに連結されている可動部材6fはヒンジ12fを中心として上下に振動する。可動電極8fは、可動電極4fよりヒンジ12fから離れた円弧上を回動する。

#### 【0068】

- 実施の形態による作用・効果 -

以下に、本発明を実施することにより生じる作用（あるいは効果）を列挙する。

#### 【0069】

50

静電型トランスは電界を利用しているため、静電遮蔽することにより他の素子への影響をなくすことができ、コイルを用いたトランスよりも小型化することができる。

【0070】

磁界の影響を受けにくく、且つ磁界に影響を与えるにくいので、磁気記録素子の書き込み電圧用のトランス、磁界に敏感な光電子増幅装置用のトランスといった応用分野に適用することができる。

【0071】

自励発振回路中に用いることで、DC - DCコンバータを構成することができる。

【0072】

可動部の端子間を絶縁する必要がなく、可動部全体をエレクトレットとすればよいので  
、構造自体が簡単となるばかりでなく、製造工程も簡略化することができる。 10

【0073】

入力側と出力側を切り替えるだけで、設計変更をすることなく、昇圧 / 降圧を切り替えることができる。

【0074】

以上の説明はあくまで一例であり、本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上述した実施の形態および変形例に限定されるものではない。

実施の形態と変形例の一つと組み合わせること、もしくは、実施の形態と変形例の複数と組み合わせることも可能である。

変形例同士をどのように組み合わせることも可能である。 20

さらに、本発明の技術的的思想の範囲内で考えられる他の形態についても、本発明の範囲内に含まれる。

【符号の説明】

【0075】

- 2 固定電極
- 4 可動電極
- 6 可動部材
- 8 可動電極

10 固定電極

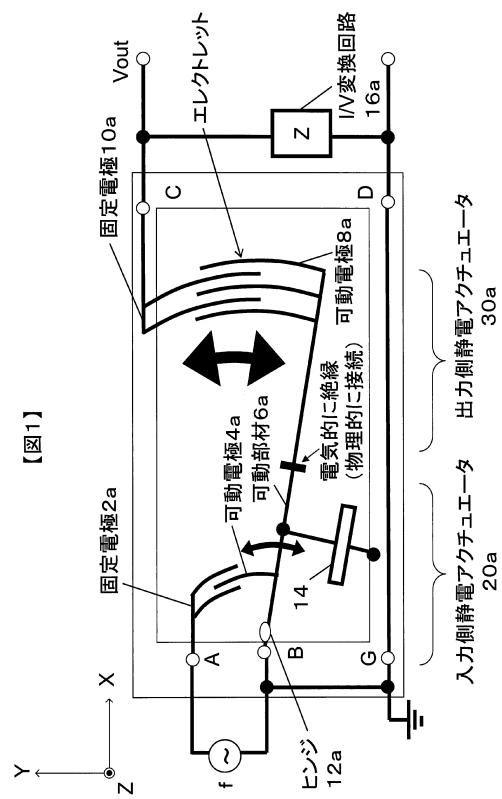
20 入力側静電アクチュエータ

30 出力側静電アクチュエータ

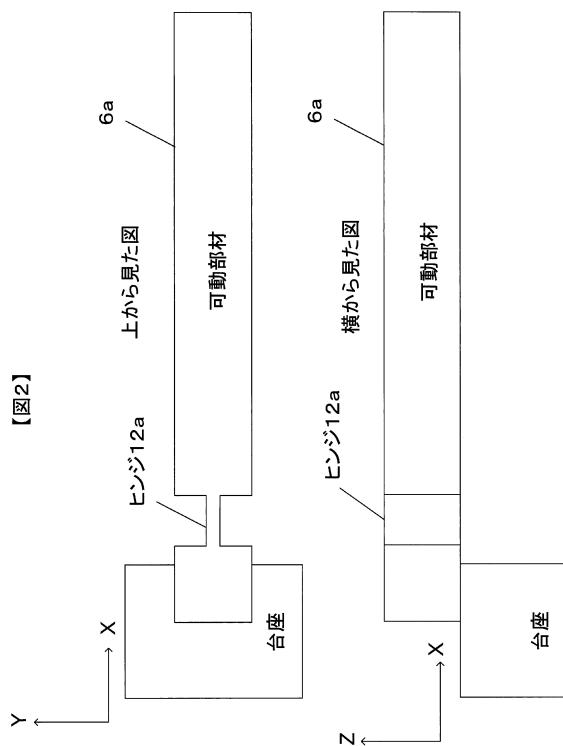
20

30

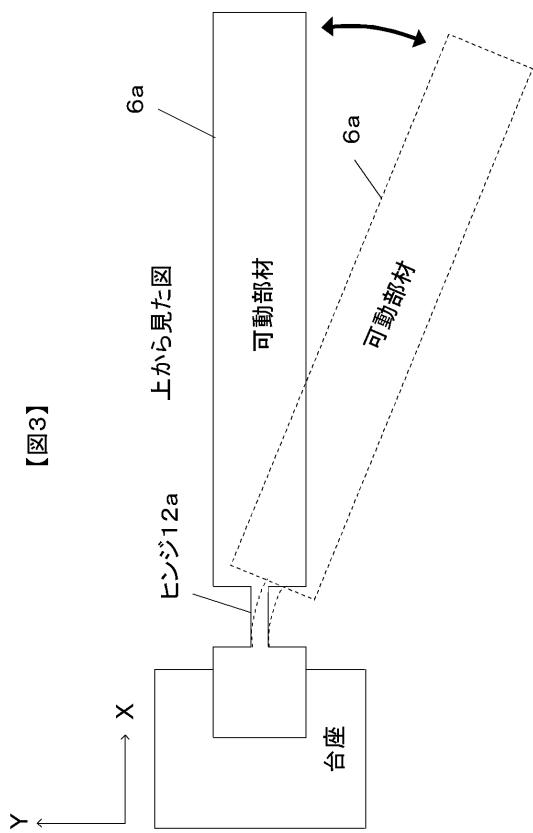
【図1】



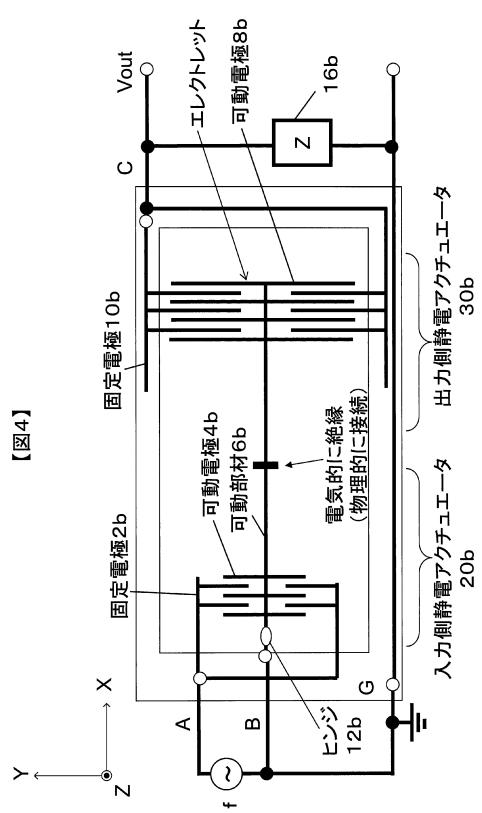
【図2】



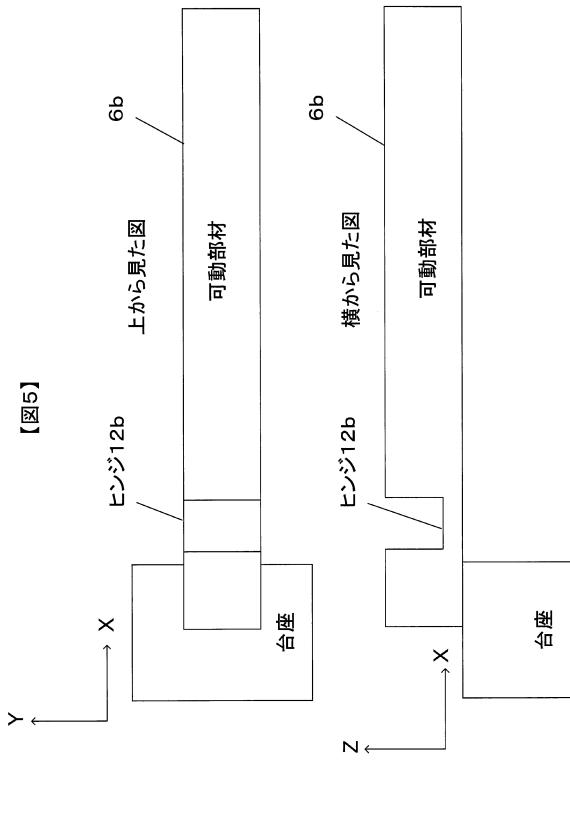
【図3】



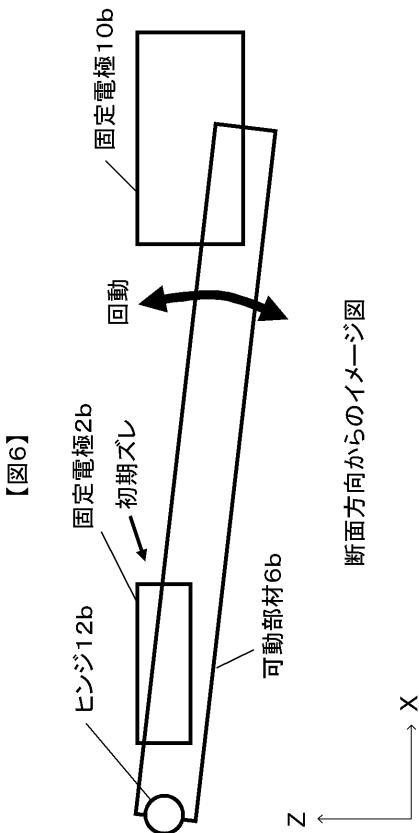
【図4】



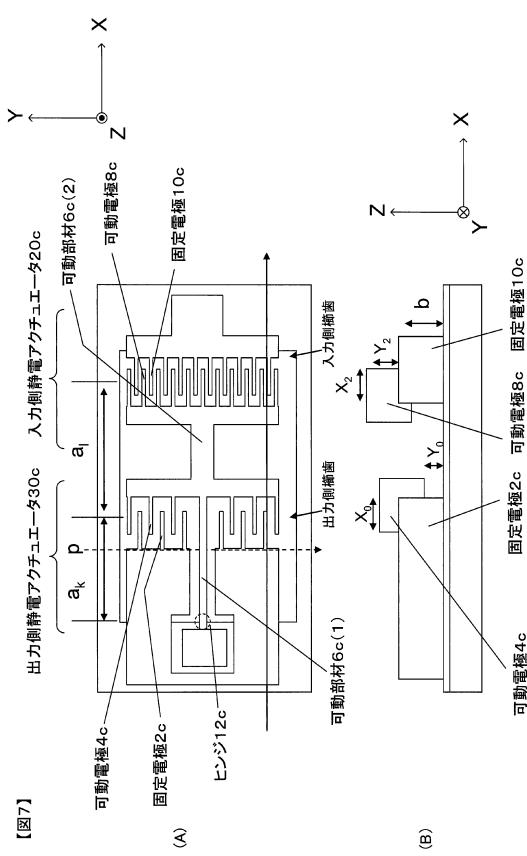
【図5】



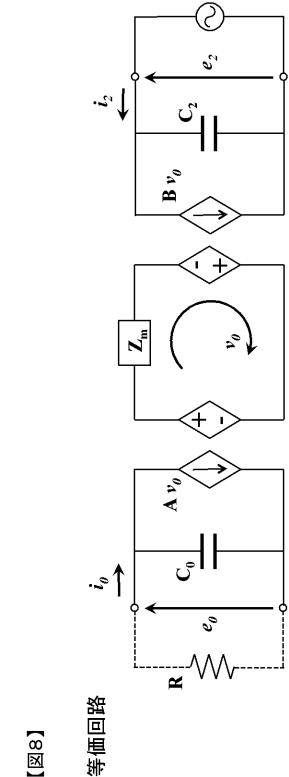
【図6】



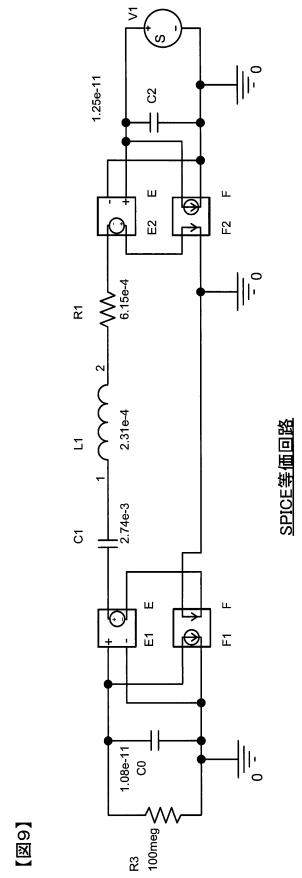
【図7】



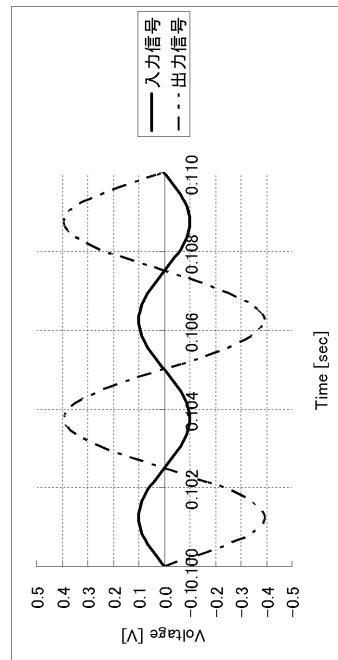
【図8】



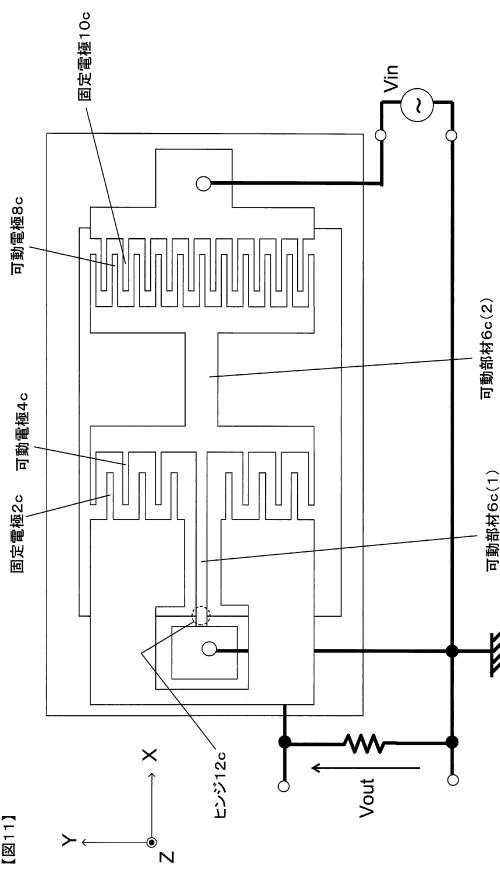
【図 9】



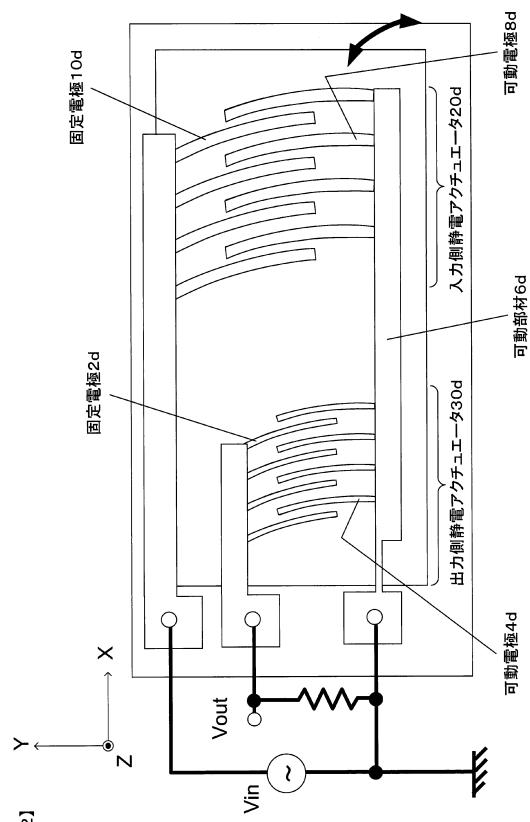
【図 10】



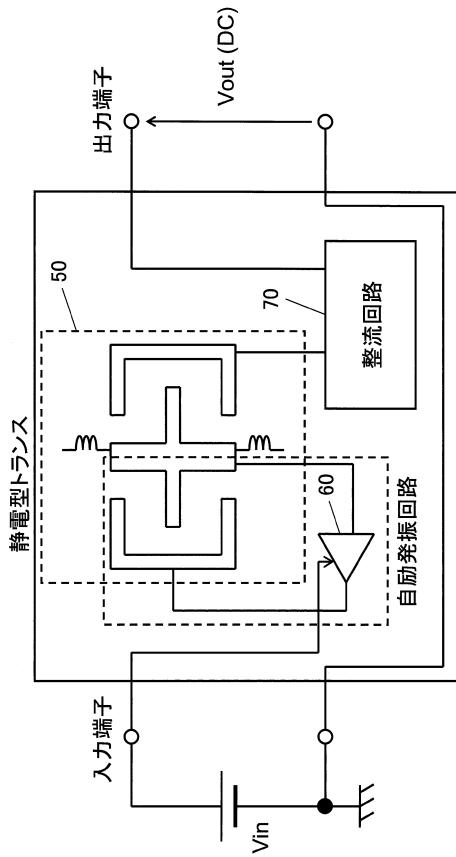
【図 11】



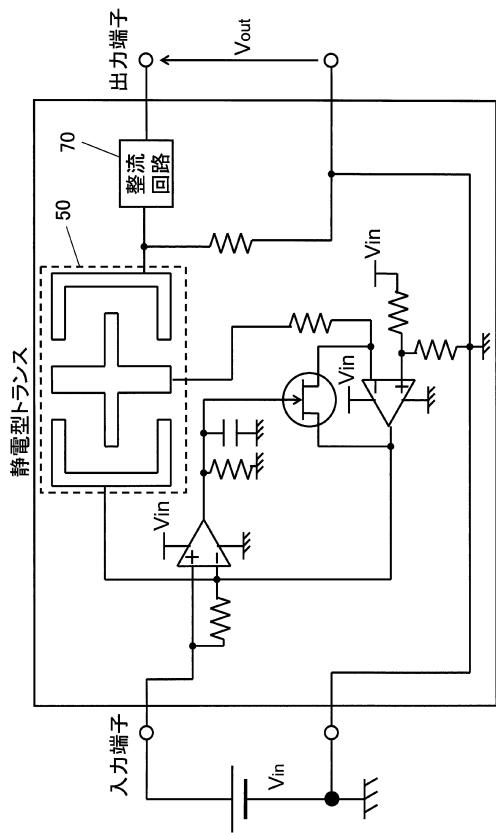
【図 12】



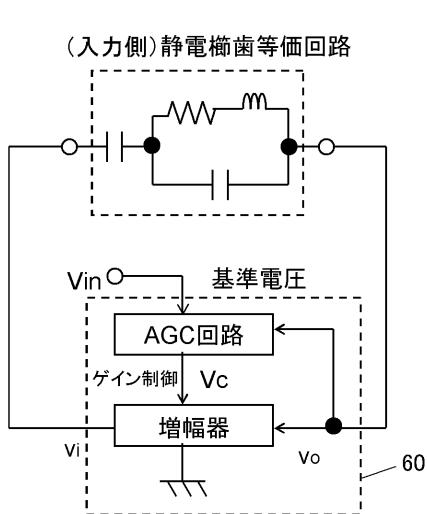
【図 1 3】



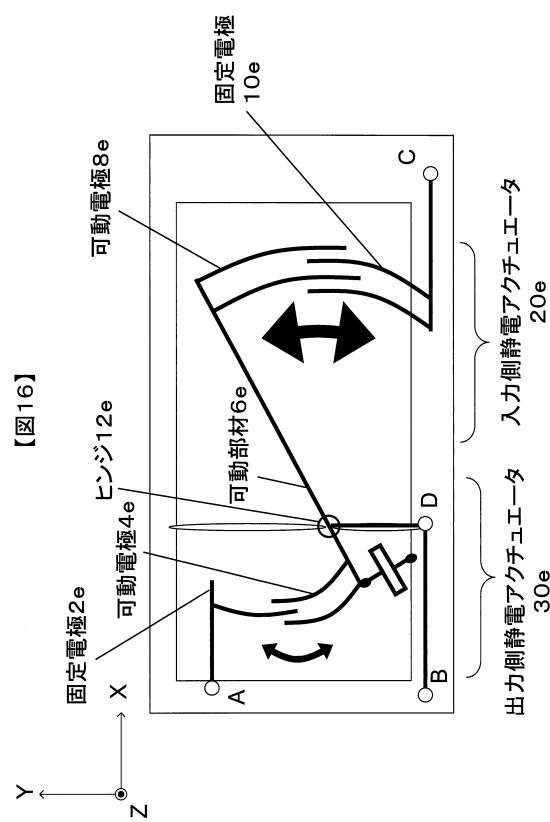
【図 1 4】



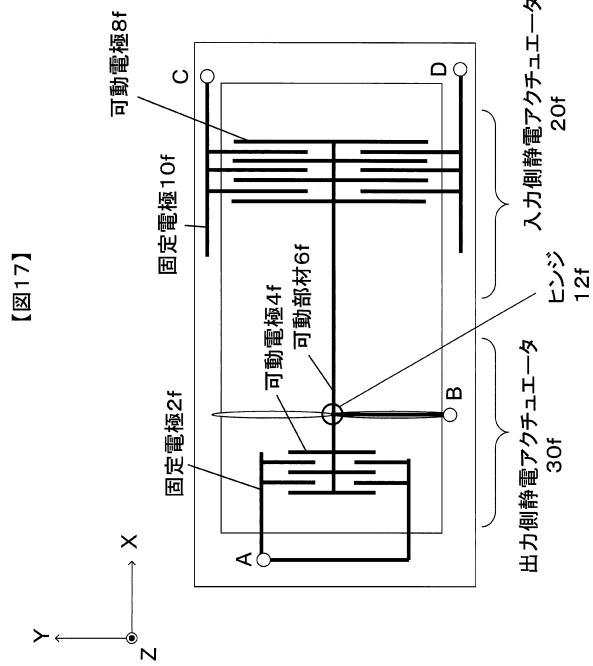
【図 1 5】



【図 1 6】



【図17】



---

フロントページの続き

(72)発明者 橋口 原  
静岡県静岡市駿河区大谷 836 国立大学法人静岡大学内  
(72)発明者 杉山 達彦  
静岡県静岡市駿河区大谷 836 国立大学法人静岡大学内

審査官 宮地 将斗

(56)参考文献 特開2007-280368(JP,A)  
特開平4-325882(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 02 N	1 / 0 0
B 81 B	3 / 0 0
H 02 M	3 / 2 8