

(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  
2023年5月19日(19.05.2023)



(10) 国際公開番号

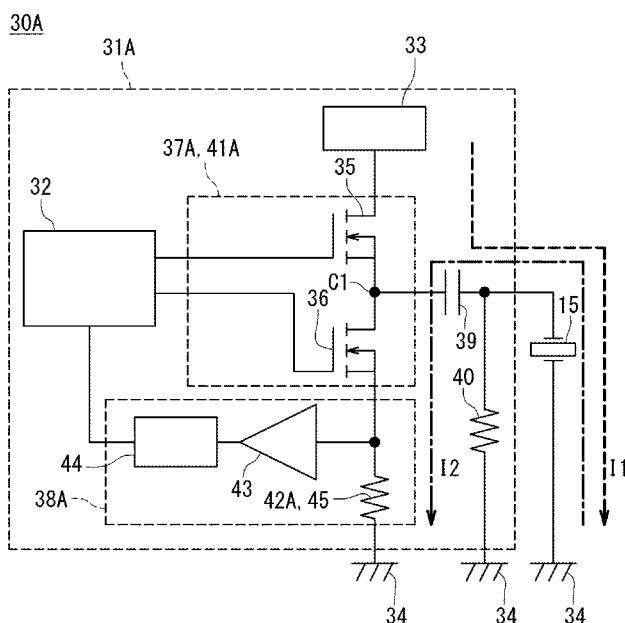
WO 2023/084829 A1

- (51) 国際特許分類:  
*H01L 41/04* (2006.01)    *H01L 41/09* (2006.01)  
*B06B 1/06* (2006.01)    *H01L 41/187* (2006.01)
- (21) 国際出願番号:                    PCT/JP2022/024577
- (22) 国際出願日:                    2022年6月20日(20.06.2022)
- (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 2021-183592    2021年11月10日(10.11.2021) JP
- (71) 出願人: 株式会社村田製作所  
 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/
- JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 0 番 1 号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 岸 宣孝(KISHI, Noritaka); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 0 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). ▲高▼田 政明 (TAKATA, Masaaki); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 0 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 市原 聡(ICHIHARA, Satoshi); 〒6178555 京都府長岡京市東神足 1 丁目 1 0 番 1 号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 山尾 憲人, 外(YAMAOKA, Norihito et al.); 〒5300017 大阪府大阪市北区角田町 8 番 1 号 大阪梅田ツインタワーズ・ノース 青山特許事務所 Osaka (JP).

(54) Title: EXCITATION CIRCUIT, VIBRATION DEVICE, AND VEHICLE

(54) 発明の名称: 励振回路、振動装置および車両

図3



(57) Abstract: This excitation circuit (31A-31E) comprises: an output circuit (37A, 37B) which contains a series circuit of a first switch (35) and a second switch (36), connected to a DC power source (33, 33A), and in which a piezoelectric element (15) is connected to a connection point (C1) of the first switch (35) and the second switch (36); a current-detecting circuit (38A, 38E) that detects a current flowing in the first switch (35) and/or a current flowing in the second switch (36), and outputs a detection signal that indicates a value based on the detected current; and a control circuit (32) that, in order



WO 2023/084829 A1

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

to apply a voltage of a prescribed frequency from the output circuit (37A, 37B) to the piezoelectric element (15), executes a switching process in which the first switch (35) and the second switch (36) are complementarily switched between on and off at a switching frequency that corresponds to the prescribed frequency, and that has a search mode in which, on the basis of the value indicated by the detection signal output from the current-detecting circuit (38A, 38E), the resonance frequency of a resonator (17) vibrated by the piezoelectric element (15) is determined.

(57) 要約 : 励振回路 (31A~31E) は、直流電源 (33、33A) に接続される第1スイッチ (35) と第2スイッチ (36) との直列回路を含み、第1スイッチ (35) と第2スイッチ (36) との接続点 (C1) に圧電素子 (15) が接続される、出力回路 (37A、37B) と、第1スイッチ (35) に流れる電流と第2スイッチ (36) に流れる電流との少なくとも一方を検出し、検出した電流に基づく値を示す検出信号を出力する電流検出回路 (38A、38E) と、出力回路 (37A、37B) から圧電素子 (15) に所定周波数の電圧を印加するために第1スイッチ (35) と第2スイッチ (36) とのオンとオフを所定周波数に対応するスイッチング周波数で相補的に切り換えるスイッチング処理を実行し、電流検出回路 (38A、38E) から出力された検出信号が示す値に基づいて、圧電素子 (15) により振動される振動子 (17) の共振周波数を決定するサーチモードを有する、制御回路 (32) と、を備える。

## 明 細 書

**発明の名称**：励振回路、振動装置および車両

### 技術分野

[0001] 本開示は、励振回路、振動装置および車両に関する。

### 背景技術

[0002] 従来、圧電素子に周波数成分を有する駆動信号を与えて振動させ、当該振動によってレンズを振動させてレンズをきれいにする技術が検討されてきた。例えば、特許文献1には、振動駆動信号が超音波振動子に提供され、ドライバ集積回路が振動子に流れる駆動電流を示す電流検知信号に基づいて駆動信号の周波数を制御する、レンズをきれいにするための超音波クリーニングシステムが開示されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：米国特許第10401618号

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1に開示されている技術を用いれば、所定の装置に設けられた圧電素子は、共振周波数で駆動されると装置を所定の振動モードで振動することができる。しかし、所定の周波数を有する信号である駆動電流の大きさを検出するために制御回路が圧電素子を片極性で駆動すると、圧電素子のマイグレーションを助長し、故障につながる可能性があった。

[0005] 本開示は、圧電素子にマイグレーションが生じる可能性を低減しつつ、圧電素子に流れる電流の大きさを検出することができる励振回路、振動装置および車両を提供することを目的とする。

#### 課題を解決するための手段

[0006] 本開示に係る励振回路は、直流電源に接続される第1スイッチと第2スイッチとの直列回路を含み、第1スイッチと第2スイッチとの接続点に圧電素

子が接続される、出力回路と、第1スイッチに流れる電流と第2スイッチに流れる電流との少なくとも一方を検出し、検出した電流に基づく値を示す検出信号を出力する電流検出回路と、出力回路から圧電素子に所定周波数の電圧を印加するために第1スイッチと第2スイッチとのオンとオフを所定周波数に対応するスイッチング周波数で相補的に切り換えるスイッチング処理を実行し、電流検出回路から出力された検出信号が示す値に基づいて、圧電素子により振動される物体と前記圧電素子とを含む振動子の共振周波数を決定するサーチモードを有する、制御回路と、を備える。

[0007] 本開示に係る振動装置は、励振回路と、圧電素子と、圧電素子によって振動される光透過性を有する保護カバーと、を備える。

[0008] 本開示に係る車両は、振動装置と、保護カバーを透過する光を検出する撮像装置と、を備える。

### 発明の効果

[0009] 本開示によれば、圧電素子にマイグレーションが生じる可能性を低減しつつ、圧電素子に流れる電流の大きさを検出することができる励振回路、振動装置および車両を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0010] [図1]第1の実施の形態に係る振動装置の斜視図

[図2]第1の実施の形態に係る撮像ユニットの構成の概略断面図

[図3]第1の実施の形態に係る振動回路の概略的な回路図

[図4]圧電素子に印加される駆動信号の周波数と、インピーダンスとの関係を表すグラフ

[図5]励振回路の各素子の入出力信号を示すタイミングチャート

[図6A]圧電素子に印加した所定の共振周波数を有する駆動信号の時間変化と当該周波数で圧電素子を駆動させた際の保護カバーの変位量の時間変化とを示すグラフ

[図6B]圧電素子に印加した所定の共振周波数を有する駆動信号の時間変化と当該周波数の1/3倍の周波数で圧電素子を駆動させた際の保護カバーの変

位置の時間変化とを示すグラフ

[図7A]共振周波数を判定するための制御回路の第1スイープ方法による制御の一例

[図7B]共振周波数を判定するための制御回路の第2スイープ方法による制御の一例

[図7C]共振周波数を判定するための制御回路の第3スイープ方法による制御の一例

[図8]共振周波数付近におけるスイッチング周波数に対する圧電素子のインピーダンスと、圧電素子に印加される電圧と圧電素子に流れる電流との間の位相差と、を示すグラフ

[図9]第1の実施の形態に係る励振回路の変形例を示す概略的な回路図

[図10]第1の実施の形態に係る励振回路の制御回路による振動装置の振動処理を説明するためのフローチャート

[図11]第1の実施の形態に係る励振回路のローパスフィルタの一例を示す概略的な回路図

[図12]第1の実施の形態に係る励振回路の変形例を示す概略的な回路図

[図13]第2の実施の形態に係る振動回路の概略的な回路図

[図14]第3の実施の形態に係る振動回路の概略的な回路図

### 発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照しつつ、本開示に係る第1の実施の形態、第2の実施の形態および第3の実施の形態を説明する。ただし、以下に説明する構成は、本開示の一例に過ぎず、本開示は下記の実施の形態に限定されることはなく、これら実施の形態以外であっても、本開示に係る技術的思想を逸脱しない範囲であれば、設計等に応じて種々の変更が可能である。

[0012] (第1の実施の形態)

#### 1-1. 構成例

本開示の第1の実施形態に係る励振回路は、直流電源に接続される第1スイッチと第2スイッチとの直列回路を含み、第1スイッチと第2スイッチと

の接続点に圧電素子が接続される、出力回路と、第1スイッチに流れる電流と第2スイッチに流れる電流との少なくとも一方を検出し、検出した電流を示す検出信号を出力する電流検出回路と、第1スイッチおよび第2スイッチのスイッチング周波数を制御でき、第1スイッチと第2スイッチとのオン／オフを相補的に切り換えるスイッチング処理を実行して圧電素子にスイッチング周波数を有する電圧を印加し、電流検出回路から出力された検出信号が示す電流に基づいて、圧電素子により振動される物体と圧電素子とを含む振動子の共振周波数を決定するサーチモードを有する、制御回路と、を備える。このように構成することで、励振回路の制御回路は、スイッチング処理を実行するスイッチング周波数を制御して、圧電素子に印加される電圧の周波数を制御できる。制御回路は、当該周波数で圧電素子に流れる平均電流または圧電素子に印加される平均電圧がゼロであったとしても圧電素子に流れる電流の大きさを検出できるため、振動子の共振周波数を決定することができる。したがって、励振回路は、電圧を印加する圧電素子にマイグレーションが生じる可能性を低減しつつ、圧電素子に流れる電流を検出することができる。また、励振回路は、検出した電流の大きさに基づいて、スイッチング周波数を実行するスイッチング周波数を制御することができる。

[0013] 1-1-1. 振動装置

図1は、本開示の第1の実施の形態に係る振動装置10の斜視図である。第1の実施の形態に係る振動装置10は、保護カバー11と、振動体13と、圧電素子15と、後述する励振回路31Aと、を備える。振動体13は、第1筒状体13aと、バネ部13bと、第2筒状体13cと、振動板13dと、を含む。振動装置10、および振動装置10を備える撮像ユニット100（詳細は後述する）は、後述する本実施の形態に係る励振回路31Aによって振動される装置の一例であり、これに限定されない。また、圧電素子15は、所定の物体を振動させる。当該物体は、保護カバー11および振動体13を含む。また、保護カバー11、振動体13および圧電素子15を含む構造体は、圧電素子15の振動に対して、後述する所定の共振周波数を有す

る。以下、当該構造体を振動子 17 という。

- [0014] 保護カバー 11 は、所定の波長の光を透過する。所定の波長は、例えば、撮像ユニット 100 の撮像装置 20（図 2 参照）が検出する波長である。所定の波長は、可視光領域の波長に限定されず、不可視光領域の波長であってもよい。
- [0015] 保護カバー 11 は、円筒状の第 1 筒状体 13 a の端部によって支持されている。具体的には、保護カバー 11 の裏面が第 1 筒状体 13 a によって支持されている。
- [0016] 保護カバー 11 は、半球状のドーム状である。振動装置 10 の高さ方向から見て、保護カバー 11 は円形である。なお、保護カバー 11 の形状は、円形に限定されない。振動装置 10 の高さ方向から見た保護カバー 11 の形状は、多角形または楕円形などであってもよい。保護カバー 11 は、半球状のドーム状に限定されない。例えば、保護カバー 11 は、半球に円筒を連ねた形状、または半球よりも小さい曲面形状を有してもよい。保護カバー 11 は平板でもよい。保護カバー 11 は、レンズ等の光学素子としての機能を有してもよい。
- [0017] 第 1 筒状体 13 a は、一端および他端を有する筒状に形成されている。第 1 筒状体 13 a は、一端で保護カバー 11 を支持している。例えば、保護カバー 11 と第 1 筒状体 13 a とは接合されている。保護カバー 11 と第 1 筒状体 13 a との接合方法は、特に問わない。接合方法の例としては、例えば、接着剤による接着、溶着、嵌合、圧入が挙げられる。
- [0018] 第 1 の実施の形態では、第 1 筒状体 13 a は、一端にフランジ 13 a a を有する。フランジ 13 a a は、第 1 筒状体 13 a の一端から外側に延びる板状の部材である。フランジ 13 a a は、円環板状に形成されている。第 1 筒状体 13 a は、フランジ 13 a a によって保護カバー 11 との接触面積を増やし、保護カバー 11 を安定して支持している。
- [0019] 第 1 筒状体 13 a の他端は、弾性変形するバネ部 13 b によって支持されている。言い換えると、第 1 筒状体 13 a は、保護カバー 11 側と反対側で

バネ部 13b により支持されている。

[0020] 第 1 筒状体 13a は、内部に貫通孔が設けられた中空部材からなる。貫通孔は、振動装置 10 の高さ方向に設けられており、第 1 筒状体 13a の一端と他端とに貫通孔の開口が設けられている。第 1 筒状体 13a は、例えば、円筒形状を有する。振動装置 10 の高さ方向から見て、第 1 筒状体 13a の外形および貫通孔の開口は、円形に形成されている。

[0021] なお、第 1 筒状体 13a の形状は、円筒形状に限定されない。例えば、第 1 筒状体 13a の形状は、多角形の筒状または楕円形の筒状などであってもよい。

[0022] 第 1 筒状体 13a の材料は、例えば、金属または合成樹脂などであってよい。また、第 1 筒状体 13a の材料は、成型および／または切削が可能なセラミックまたはガラスなどであってよい。この点は、バネ部 13b、第 2 筒状体 13c および振動板 13d についても同様である。

[0023] バネ部 13b は、第 2 筒状体 13c に対して第 1 筒状体 13a を変位可能に支持する。バネ部 13b は、円環状の板バネである。バネ部 13b の内周部分は、第 1 筒状体 13a の他端を支持する。バネ部 13b の外周部分は、第 2 筒状体 13c に支持される。振動装置 10 の高さ方向から見て、バネ部 13b の外周形状および内周形状は、円形である。

[0024] なお、バネ部 13b の外周形状および内周形状は、円形状に限定されない。振動装置 10 の高さ方向から見て、バネ部 13b の外周形状および内周形状は、多角形または楕円形であってもよい。

[0025] 第 2 筒状体 13c は、一端および他端を有する円筒形状である。第 2 筒状体 13c の一端は、バネ部 13b の外周部分を支持する。

[0026] 第 2 筒状体 13c の他端には、振動板 13d が配置される。

[0027] なお、第 2 筒状体 13c は、円筒形状に限定されない。例えば、第 2 筒状体 13c は、多角形の筒状または楕円形の筒状などであってもよい。

[0028] 振動板 13d は、第 2 筒状体 13c の他端に配置され、振動装置 10 の高さ方向に振動する。具体的には、振動板 13d は、第 2 筒状体 13c の他端

、すなわち、底面に配置されている。

[0029] 圧電素子15は、振動板13dの底面（下面）に設けられている。圧電素子15が振動することによって振動板13dが振動して、第2筒状体13cを振動装置10の高さ方向に振動させる。例えば、圧電素子15は、電圧が印加されることによって振動する。

[0030] 圧電素子15は、円環形の板状である。振動装置10の高さ方向から見て、圧電素子15の外周形状および内周形状は、円形である。なお、圧電素子15の外周形状および内周形状は、円形に限定されない。振動装置10の高さ方向から見た圧電素子15の外周形状および内周形状は、例えば、多角形または楕円形などであってもよい。

[0031] 圧電素子15は、圧電体と、電極と、を有する。圧電体の材料としては、例えば、チタン酸バリウム ( $BaTiO_3$ )、チタン酸・ジルコン酸鉛 ( $PZT: PbTiO_3 \cdot PbZrO_3$ )、チタン酸鉛 ( $PbTiO_3$ )、メタニオブ酸鉛 ( $PbNb_2O_6$ )、チタン酸ビスマス ( $Bi_4Ti_3O_{12}$ ) (K, Na)  $NbO_3$ などの適宜の圧電セラミックス、または  $LiTaO_3$ 、 $LiNbO_3$ などの適宜の圧電単結晶などが挙げられる。電極は、例えば、Ni電極であってもよい。電極は、スパッタリング法により形成される、AgまたはAuなどの金属薄膜からなる電極であってもよい。電極は、スパッタリング法の他、めっき、蒸着でも形成可能である。

[0032] 振動板13dは、円環形の板状である。振動板13dは、第2筒状体13cの底面を支持する。

[0033] 保護カバー11、第1筒状体13a、バネ部13bおよび第2筒状体13cは、保護カバー11の共振周波数がバネ部13bの共振周波数よりも大きくなるように構成される。具体的には、上述した保護カバー11、第1筒状体13a、バネ部13bおよび第2筒状体13cの材料および寸法を決定することによって、保護カバー11の共振周波数をバネ部13bの共振周波数よりも大きくする。

[0034] 第1筒状体13a、バネ部13b、第2筒状体13cおよび振動板13d

は、一体的に形成される。なお、第1筒状体13a、バネ部13b、第2筒状体13cおよび振動板13dを別体で形成してもよいし、別部材で形成してもよい。

[0035] 振動装置10は、上記するように、振動を発生させる駆動信号を圧電素子15に印加する励振回路31Aを備える。励振回路31Aは、例えば、給電導体を介して圧電素子15と接続されている。圧電素子15は、励振回路31Aからの駆動信号に基づいて、振動装置10の高さ方向に振動する。圧電素子15が振動することによって振動板13dが振動装置10の高さ方向に振動し、振動板13dは、第2筒状体13cを振動装置10の高さ方向に振動させる。第2筒状体13cが振動することによって、バネ部13bを介して第1筒状体13aに圧電素子15の振動を伝えることができる。振動装置10では、第1筒状体13aを振動させることで保護カバー11が振動して、保護カバー11に付着した雨滴等の異物が除去される。

[0036] 励振回路31Aは、第1筒状体13aと第2筒状体13cとが逆位相で振動装置10の高さ方向に振動するように、圧電素子15に駆動信号を印加する。励振回路31Aは、圧電素子15に印加する駆動信号により第1筒状体13aと第2筒状体13cとが逆位相で振動装置10の高さ方向に振動する以外の振動モードで振動装置10を振動させることができる。

[0037] 図2は、本実施の形態に係る撮像ユニット100の構成の概略断面図である。図2は、図1の振動装置10を振動装置10の高さ方向から見た振動装置10の中心を通る平面で切断した断面図である。撮像ユニット100は、例えば車両の前方又は後方に取り付けられ、被撮像物を撮像するユニットである。なお、撮像ユニット100は、車両に限られず、船舶、航空機などの他の装置に取り付けられてもよい。

[0038] 撮像ユニット100は、振動装置10と、撮像装置20とを含む。撮像装置20は、振動装置10内に收容される。撮像装置20は、例えば、CMOSおよびCCDなどの撮像素子を備える。撮像装置20は、保護カバー11を透過した光に基づいて画像を形成することができる。撮像ユニット100

は、さらに、ベース部材 2 1 と、本体部材 2 2 と、支持部材 2 3 とを備える。本体部材 2 2 は、円形の板状である。ベース部材 2 1 は、本体部材 2 2 の上面の中央にある。撮像装置 2 0 は、ベース部材 2 1 上に固定される。支持部材 2 3 は、本体部材 2 2 の外周部から上方に延びる。振動装置 1 0 は、支持部材 2 3 により支持される。撮像ユニット 1 0 0 は、保護カバー 1 1 と撮像装置 2 0 との間に一つ以上のレンズ等の光学部材を備えてもよい。

[0039] 撮像ユニット 1 0 0 を車両などに取り付けて屋外で使用する場合、撮像装置 2 0 を覆う保護カバー 1 1 に雨滴、泥、塵埃等の異物が付着することがあり、また、保護カバー 1 1 が凍結することがある。振動装置 1 0 は、保護カバー 1 1 に付着した雨滴等の異物を除去する振動または凍結を解消する振動を発生させることができる。

[0040] 1 - 1 - 2. 振動回路

図 3 は、本実施の形態に係る励振回路 3 1 A および圧電素子 1 5 を含む振動回路 3 0 A の概略的な回路図である。励振回路 3 1 A は、制御回路 3 2 と、直流電源 3 3 と、第 1 スイッチ 3 5 および第 2 スイッチ 3 6 の直列回路を含む出力回路 3 7 A と、電流検出回路 3 8 A と、コンデンサ 3 9 と、抵抗 4 0 と、を備える。

[0041] 制御回路 3 2 は、第 1 スイッチ 3 5 および第 2 スイッチ 3 6 のスイッチング周波数を制御する。制御回路 3 2 は、プログラムを実行することで所定の機能を実現する CPU または MPU のような汎用プロセッサを含む。制御回路 3 2 は、記憶装置と通信可能に構成され、当該記憶装置に格納された演算プログラム等呼び出して実行することにより、第 1 スイッチ 3 5 および第 2 スイッチ 3 6 のスイッチング処理など、制御回路 3 2 等における各種の処理を実現する。制御回路 3 2 は、ハードウェア資源とソフトウェアとが協働して所定の機能を実現する態様に限定されず、所定の機能を実現する専用設計されたハードウェア回路でもよい。すなわち、制御回路 3 2 は、CPU、MPU 以外にも、GPU、FPGA、DSP、ASIC 等、種々のプロセッサで実現され得る。このような制御回路 3 2 は、例えば、半導体集積回路

である信号処理回路で構成され得る。

[0042] 直流電源33は、基準電位34との間に所定の電圧を発生させる出力端を有する。直流電源33は、例えば、バッテリーであり、出力端はバッテリーの+極であってよい。なお、直流電源33は、基準電位34と組み合わせて所定の電圧を圧電素子15に印加できる既知の装置であってもよい。

[0043] 基準電位34は、例えば、グラウンドであってもよいし、バッテリーの-極と接続されたボディアースであってもよい。

[0044] 出力回路37Aは、直流電源33に接続される。図3に示すように、本実施の形態において、出力回路37Aは、後述する電流電圧変換回路42Aを介して基準電位34に接続される。出力回路37Aは、上記するように、直流電源33に接続される第1スイッチ35と第2スイッチ36との直列回路を含む。第1スイッチ35および第2スイッチ36の直列回路は、本明細書において「第1レグ41A」とも呼ばれる。出力回路37Aの第1レグ41Aは、第1スイッチ35と第2スイッチ36との間の接続点C1が圧電素子15にコンデンサ39を介して接続されている。

[0045] 第1スイッチ35は、例えば、金属酸化膜半導体電解効果トランジスタ（MOSFET）であるが、これに限定されない。第1スイッチ35は、一端（例えば、ソース）と他端（例えば、ドレイン）とを備える。第1スイッチ35の一端は、直流電源33に接続される。第1スイッチ35の他端は、第2スイッチ36に接続される。また、第1スイッチ35の他端は、コンデンサ39を介して圧電素子15に接続される。制御回路32は、第1スイッチ35の制御端（例えば、ゲート）に接続され、上記するように第1スイッチ35のオン／オフを切り換えることができる。すなわち、制御回路32は、第1スイッチ35のオン／オフを切り換えることで、第1スイッチ35に接続されている直流電源33と圧電素子15との間の電路を電氣的に導通／開放するように第1スイッチ35を制御できる。

[0046] 第2スイッチ36は、第1スイッチ35と同様、例えばMOSFETであるが、これに限定されない。第2スイッチ36は、一端（例えば、ソース）

と他端（例えば、ドレイン）とを有する。第2スイッチ36の一端は、第1スイッチ35の他端に接続される。すなわち、第2スイッチ36の一端は、第1スイッチ35の他端と同様に、コンデンサ39を介して圧電素子15と接続される。第2スイッチ36の他端は、電流電圧変換回路42Aの電流電圧変換素子45を介して基準電位34に接続される。制御回路32は、第2スイッチ36の制御端（例えば、ゲート）に接続され、上記するように第2スイッチ36のオン／オフを切り換えることができる。すなわち、制御回路32は、第2スイッチ36のオン／オフを切り換えることで、第2スイッチ36に接続されている圧電素子15と基準電位34との間の電路を電氣的に導通／開放するように第2スイッチ36を制御できる。

[0047] 電流検出回路38Aは、第1スイッチ35に流れる電流と、第2スイッチ36に流れる電流との少なくとも一方を検出し、検出した電流の大きさを示す検出信号を制御回路32に出力することができる。本実施の形態に係る電流検出回路38Aは、電流電圧変換回路42Aと、ローパスフィルタ43と、アナログ／デジタル変換回路（AD変換回路）44とを備える。

[0048] 電流電圧変換回路42Aは、電流電圧変換素子45を有する。電流電圧変換素子45は、電流電圧変換素子45に流れる電流を電流電圧変換素子45に流れる電流の大きさに応じた電圧に変換することができる。電流電圧変換素子45は、例えば、第1スイッチ35に流れる電流または第2スイッチ36に流れる電流を電圧として検出するように設けられ得る。本実施の形態において、電流電圧変換素子45は、第2スイッチ36と基準電位34との間に接続される。電流電圧変換素子45は、圧電素子15から第2スイッチ36を介して基準電位34へと流れる電流を検出することができる。電流電圧変換回路42Aは、二つの電流電圧変換素子を有し、二つの電流電圧変換素子の一方が第1スイッチ35に流れる電流を、二つの電流電圧変換素子の他方が第2スイッチ36に流れる電流を検出するように構成されてもよい。本実施の形態において、電流電圧変換素子45は、所定の抵抗値を有する抵抗（シャント抵抗）である。電流電圧変換素子45は、シャント抵抗に限定さ

れず、ホール素子であってもよい。この場合、電流電圧変換素子45は、第2スイッチ36に流れる電流による磁場を検出するように、第2スイッチ36の近傍に配置されてもよい。このように、電流電圧変換素子45は、電流を電圧に変換できる、既知の素子であってもよい。

[0049] ローパスフィルタ43は、遮断周波数よりも高い周波数成分を有する信号を除去するフィルタ回路である。本実施の形態において、ローパスフィルタ43は、電流電圧変換素子45と第2スイッチ36との間の接続点に接続される。ローパスフィルタ43は、電流電圧変換回路42Aから入力された電圧を平滑化して、AD変換回路45に出力する。

[0050] AD変換回路44は、ローパスフィルタ43で平滑化された電圧（アナログ信号）を、制御回路32へと入力可能なデジタル信号に変換する回路である。AD変換回路44は、デジタル信号を検出信号として制御回路32に出力する。電流検出回路38Aは、AD変換回路44を備えず、ローパスフィルタ43が平滑化された電圧を検出信号として制御回路32に出力するように構成されてもよい。

[0051] 本実施の形態に係る電流検出回路38Aは、第2スイッチ36に流れる電流の大きさに基づいて生成されたデジタル信号である検出信号を制御回路32へと出力するが、これに限定されない。例えば、電流検出回路38Aは、電流電圧変換回路42Aおよびローパスフィルタ43のみを備え、デジタル信号ではなくアナログ信号である検出信号を制御回路32へと出力するように構成されてもよい。

[0052] 圧電素子15は、上述するように、圧電体と電極とを有する。圧電素子15は、一端と他端とを有し、一端がコンデンサ39と、他端が基準電位34と接続されている。具体的には、圧電素子15の一端側の電極がコンデンサ39と、圧電素子15の他端側の電極が基準電位34と、それぞれ接続されている。

[0053] コンデンサ39は、後述する第1状態において、直流電源33によって印加された電圧に基づいて、電荷を溜めることができる。コンデンサ39は、

後述する第2状態において、溜まっている電荷を第2スイッチ36を介して基準電位34へと放出することができる。それによって、励振回路31Aは、制御回路32が第1スイッチ35および第2スイッチ36のスイッチング処理を制御することで、後述するように電流 $I_1$ および電流 $I_2$ を振動回路30Aに流すことができる。このように、コンデンサ39は、第1状態と第2状態とで圧電素子15に印加される電圧の極性を反転させる極性反転回路として機能する。

[0054] 抵抗40は、圧電素子15とコンデンサ39との接続点と、基準電位34との間に接続される。圧電素子15は、制御回路32によるスイッチング処理が終了すると、一端側が抵抗40を介して基準電位34に接続されているため、一端側および他端側が等電位となる。

[0055] 1-2. 動作例

図3を参照しつつ、第1の実施の形態に係る励振回路31Aの動作例を説明する。上述するように、図3は、励振回路31Aおよび圧電素子15を含む振動回路30Aを示す。

[0056] 第1の実施の形態に係る励振回路31Aの制御回路32は、スイッチング周波数で第1スイッチ35と第2スイッチ36とを相補的に切り換えるスイッチング処理を実行する。すなわち、制御回路32は、第1スイッチ35がオンであるときに第2スイッチ36がオフである状態（適宜「第1状態」という）となるように第1スイッチ35および第2スイッチ36を制御する。また、制御回路32は、第1スイッチ35がオフであるときに第2スイッチ36がオンである状態（適宜「第2状態」という）となるように第1スイッチ35および第2スイッチ36を制御する。制御回路32は、第1スイッチ35および第2スイッチ36を相補的に切り換えることで、直流電源33からの所定電圧に基づいて、スイッチング周波数に応じた周波数を有する電圧（例えば矩形波電圧）を駆動信号として圧電素子15に印加する。

[0057] 第1状態において、振動回路30A内に第1スイッチ35を介して電流 $I_1$ が流れる。電流 $I_1$ は、図3において破線の矢印で示されている。図3に示さ

れているように、電流 $I_1$ は、直流電源33から第1スイッチ35を介して圧電素子15へと流れる。したがって、圧電素子15には、励振回路31A側を高電位とする電圧が印加される。

[0058] 振動回路30Aにおいて、第1状態において圧電素子15に電圧が印加されると、出力回路37Aと圧電素子15との間に介在するコンデンサ39で、出力回路37A側に正電荷が、基準電位34側に負電荷が溜まる。制御回路32が出力回路37Aを第1状態から第2状態へと変化させると、コンデンサ39および圧電素子15は、当該電荷を放出する。当該電荷の放出は、第2状態において、電流 $I_2$ として、振動回路30A内に第2スイッチ36を介して流れる。電流 $I_2$ は、図3において1点鎖線の矢印で示されている。図3に示されているように、電流 $I_2$ は、圧電素子15から第2スイッチを介して基準電位34へと流れる。また、コンデンサ39には、出力回路37A側に負電荷が、圧電素子15側に正電荷が溜まる。したがって、圧電素子15には、励振回路31A側を低電位とする電圧が印加される。

[0059] このように、制御回路32は、第1スイッチ35および第2スイッチ36をスイッチングすることで、所定の周波数で極性を反転させた電圧を圧電素子15に印加することができる。したがって、本実施の形態に係る振動回路30Aは、圧電素子15でイオンマイグレーションが発生する可能性を低減することができる。

[0060] 圧電素子15に駆動信号（例えば所定の周波数を有する矩形波電圧）が印加される場合、圧電素子15のインピーダンスは、駆動信号の周波数によって変化する。例えば、図4は、圧電素子15に印加される駆動信号の周波数と、インピーダンスとの関係を表すグラフである。図4に示されているように、圧電素子15は、インピーダンスが局所的に減少する周波数を複数有する。当該周波数は、振動子17の共振周波数に対応する。本実施の形態に係る振動装置10において、共振周波数は、例えば、約31kHz（矢印A部）、約110kHz（矢印B部）、約550kHz（矢印C部）に存在する。圧電素子15は、これらの共振周波数のいずれかに対応する周波数の電圧

(駆動信号) が印加されると、周波数ごとに異なる振動モードで保護カバー 11 を振動させる。例えば、約 31 kHz の周波数を有する電圧が印加された際、圧電素子 15 は、保護カバー 11 を全体的に振動させる振動モードである第 1 除去モードで、振動体 13 を介して保護カバー 11 を振動させる。第 1 除去モードは、保護カバー 11 に付着した液滴などの異物を霧化させて除去することができる振動モードである。また、約 110 kHz の周波数を有する電圧が印加された際、圧電素子 15 は、保護カバー 11 の中心部を周縁部に比べてより大きく振動させる振動モードである第 2 除去モードで、振動体 13 を介して保護カバー 11 を振動させる。第 2 除去モードでの振動は、保護カバー 11 の共振周波数に対応する振動である。また、約 550 kHz の周波数を有する電圧が印加された際、圧電素子 15 は、保護カバー 11 が昇温しやすい振動モードである解氷モードで、振動体 13 を介して保護カバー 11 を振動させる。約 550 kHz 付近の振動は、約 110 kHz の振動よりもノード数が多い高次の振動モードで保護カバー 11 を振動させている。解氷モードは、圧電素子 15 のインピーダンスが小さいため、大電力が圧電素子 15 に加えられ、保護カバー 11 を迅速に昇温できる。上記の共振周波数は一例であり、振動装置 10 の形状および材質等によって変更され得る。圧電素子 15 は、上記した振動モード以外の振動を保護カバー 11 に与えるように構成されてもよい。

[0061] 図 4 に示されているように、共振周波数に対応する周波数の電圧が印加されると、圧電素子 15 のインピーダンスは局所的に最小になる。したがって、制御回路 32 は、圧電素子 15 に流れる電流値を検出することで、圧電素子 15 に印加している電圧の周波数が共振周波数であるかどうか判定することができる。

[0062] 図 5 は、励振回路 31A の各素子に入力される信号または各素子から出力される信号 (例えば、電流値、電圧値) を示すタイミングチャートである。図 5 の横軸は、時間である。図 5 は、信号 DT1、信号 DT2、電流  $I_R$ 、入力電圧  $V_{AD}$  を示す。信号 DT1 は、制御回路 32 が第 1 スイッチ 35 のオン

／オフを制御するための信号の一例である。信号DT2は、制御回路32が第2スイッチ36のオン／オフを制御するための信号の一例である。第1スイッチ35および第2スイッチ36は、信号DT1および信号DT2がハイレベルである場合にオンになる（すなわち、第1スイッチ35は直流電源33と圧電素子15とを、第2スイッチ36は圧電素子15と基準電位34とを電氣的に接続する）。第1スイッチ35および第2スイッチ36は、信号DT1および信号DT2がロウレベルである場合にオフになる（すなわち、第1スイッチ35は直流電源33と圧電素子15とを、第2スイッチ36は圧電素子15と基準電位34とを電氣的に開放する）。電流 $I_R$ は、電流電圧変換素子45に流れる電流を示す。電流 $I_R$ は、電流電圧変換回路42Aに基づいてローパスフィルタ43に入力される電圧に対応する。入力電圧 $V_{AD}$ は、ローパスフィルタ43からAD変換回路44に入力される、平滑化された電圧を示す。図5に示されているように、本実施の形態において、 $V_{AD}$ は、直流成分を有する信号である。

[0063] 図5において、電流 $I_R$ の複数の波形が記載されている。実線で示されている電流 $I_R$ は、第1スイッチ35および第2スイッチ36のスイッチング周波数が、振動子17の共振周波数に対応している場合（すなわち共振時）に、電流電圧変換素子45に流れる電流の波形の一例である。破線で示されている電流 $I_R$ は、第1スイッチ35および第2スイッチ36のスイッチング周波数が振動子17の共振周波数に対応していない場合（すなわち非共振時）に、電流電圧変換素子45に流れる電流の波形の一例である。図5において明らかなように、共振時の電流は、非共振時の電流よりも大きい。

[0064] 同様に、図5において、入力電圧 $V_{AD}$ の複数の波形が記載されている。実線で示されている入力電圧 $V_{AD}$ は、共振時にローパスフィルタ43から出力されてAD変換回路44に入力される電圧の波形の一例である。破線で示されている入力電圧 $V_{AD}$ は、非共振時にローパスフィルタ43から出力されてAD変換回路44に入力される電圧の波形の一例である。図5において明らかなように、共振時の入力電圧は、非共振時の入力電圧より大きい。

[0065] このように、AD変換回路44に入力される信号（電圧）は、非共振時よりも共振時の方が値が大きい。したがって、AD変換回路44から制御回路32に入力される検出信号は、同様に、非共振時よりも共振時の方が値が大きい。そのため、制御回路32は、AD変換回路44から入力された検出信号に基づいて、第1スイッチ35および第2スイッチ36のスイッチング周波数、つまり、圧電素子15に入力されている駆動信号の周波数が共振周波数であるかどうかを判定することができる。例えば、制御回路32は、特定のスイッチング周波数で各スイッチ35、36を動作させた際にAD変換回路44から入力される検出信号の値を、二つ以上のスイッチング周波数で取得する。そして、制御回路32は、異なるスイッチング周波数での検出信号の値を比較して、値が大きいほうの検出信号に対応するスイッチング周波数がより共振周波数に近いと判定できる。したがって、制御回路32は、所定の周波数範囲の複数のスイッチング周波数で各スイッチ35、36をスイッチング動作させ、複数のスイッチング周波数に対応する複数の検出信号の値を比較すると、当該所定の周波数範囲内で最も共振周波数に近いスイッチング周波数を判定できる。

[0066] なお、信号DT1および信号DT2の周期は、共振時と非共振時とで異なるが、簡便のため、図5は、異なる周期であっても横幅を一致させて信号波形を示している。したがって、電流 $I_R$ が流れる期間は、実際には共振時と非共振時とで異なる。

[0067] このように、制御回路32は、スイッチング処理に基づいて電流電圧変換回路42Aの電流電圧変換素子45に流れる電流を、直流成分として取得することができる。したがって、制御回路32は、圧電素子15に流れる電流を検出する場合とは異なり、電流の検出のサンプリング周波数を振動子17の共振周波数に比べて十分に高く設定する必要がないから、電流電圧変換回路42Aの低コスト化が図れる。そして、制御回路32は、電流を検出することにより、圧電素子15のインピーダンスを算出でき、振動子17の共振周波数を判定できる。

[0068] 上記のように、制御回路32は、スイッチング周波数を制御して圧電素子15に印加する電圧の周波数を変化させることで電流検出回路38Aから入力された検出信号の値に基づいて、振動子17の共振周波数を判定することができる。例えば、制御回路32は、複数の方法を用いて振動子17の共振周波数を判定することができる。本実施の形態に係る励振回路31Aは、第1スイープ方法、第2スイープ方法および第3スイープ方法の三つのスイープ方法を有する（それぞれの詳細は後述する）。第1スイープ方法と第2スイープ方法と第3スイープ方法とは、振動子17の共振周波数を判定するためのスイッチング周波数の変更手法が異なる。制御回路32は、第1スイープ方法から第3スイープ方法のそれぞれにおいて実行する複数のシーケンスを有する。本実施の形態において、複数のシーケンスは、サーチモードとドライブモードとを含む。

[0069] サーチモードにおいて、制御回路32は、所定の周波数範囲（以下、「第1周波数範囲」という）内でスイッチング周波数を変化させ、共振周波数を判定する。以下、制御回路32が共振周波数を判定するために任意の周波数範囲内においてスイッチング周波数を所定の増加幅（または減少幅）で変化させることを「スイープ」ともいう。制御回路32は、上述しているように、AD変換回路44から出力された検出信号の値が最も大きいスイッチング周波数を共振周波数と判定できる。したがって、第1周波数範囲内に共振周波数が含まれる場合、制御回路32は、共振周波数を判定することができる。第1周波数範囲内の上限の周波数においてAD変換回路44から出力された検出信号の値が最も大きくなる場合、当該スイッチング周波数は共振周波数ではない可能性がある。したがって、このような場合、制御回路32は、より高い周波数を含むように第1周波数範囲を変更し、当該範囲内でスイッチング周波数を変化させ、再び共振周波数を判定してもよい。第1周波数範囲内の下限の周波数においてAD変換回路44から出力された検出信号の値が最も大きくなる場合も同様に、制御回路32は、より低い周波数を含むように第1周波数範囲を変更して、再び共振周波数を判定してもよい。制御回

路 3 2 は、当該出力された検出信号の値が局所的に最も大きくなるスイッチング周波数が複数あると判定した場合、スイープを再度実行してもよい。

[0070] 制御回路 3 2 は、サーチモードによって共振周波数を判定すると、当該周波数でスイッチングさせることで当該周波数に対応した所定の振動モード（例えば第 1 除去モード、第 2 除去モードまたは解氷モード）で保護カバー 1 1 を振動させることができる。しかし、共振周波数は、様々な要因により変動し得る。例えば、共振周波数は、保護カバー 1 1 の温度変化に応じて変動し得る。また、共振周波数は、保護カバー 1 1 に異物が付着した場合に変動し得る。したがって、本実施の形態に係る励振回路 3 1 A は、ドライブモードにおいて、当該周波数の変化に対応するように構成されている。

[0071] ドライブモードにおいて、制御回路 3 2 は、第 1 周波数範囲より狭い所定の周波数範囲（以下、「第 2 周波数範囲」という）内でスイッチング周波数を変化させ、共振周波数を判定する。制御回路 3 2 は、サーチモードからドライブモードに移行する際、サーチモードで判定した共振周波数が中心となるように第 2 周波数範囲を設定して、第 2 周波数範囲内でスイッチング周波数を変化させる。制御回路 3 2 は、スイッチング周波数を第 2 周波数範囲内でスイープし、A/D 変換回路 4 4 から出力された検出信号の値が最も大きいスイッチング周波数を判定し、判定したスイッチング周波数を現在の振動子 1 7 の共振周波数と判定する。振動子 1 7 の現在の共振周波数を判定すると、制御回路 3 2 は、第 2 周波数範囲の中心に設定されている周波数を当該現在の共振周波数に変更して、第 2 周波数範囲を更新する。制御回路 3 2 は、更新後の第 2 周波数範囲内で再びスイッチング周波数をスイープし、上記の第 2 周波数範囲の更新を繰り返す。このようなドライブモードで動作することで、制御回路 3 2 は、振動子 1 7 の共振周波数に変化が生じて、スイッチング周波数を共振周波数に追従させることができる。

[0072] 圧電素子 1 5 を振動させる場合、振動子 1 7 の共振周波数は、低周波側から高周波側へと変化させた場合と、高周波側から低周波側へと変化させた場合とで、一致しない場合がある。したがって、本実施の形態に係る励振回路

3 1 Aの制御回路3 2は、サーチモード又はドライブモードを用いて共振周波数を判定するにあたって、複数の方法でスイッチング周波数をスイープさせることができるように構成されている。本実施の形態において、上記したように制御回路3 2は、第1スイープ方法と、第2スイープ方法と、第3スイープ方法とを有する。第1スイープ方法において、制御回路3 2は、スイッチング周波数を低周波側から高周波側へ変化させる（以下、「アップ方向のスイープ」ともいう）。第2スイープ方法において、制御回路3 2は、スイッチング周波数を、低周波側から高周波側へと変化させ、さらに高周波側から低周波側へと変化させる（以下、「アップ方向およびダウン方向のスイープ」ともいう）。第3スイープ方法において、制御回路3 2は、スイッチング周波数を、高周波側から低周波側へと変化させる（以下、「ダウン方向のスイープ」ともいう）。

[0073] 本実施の形態に係る励振回路3 1 Aは、第1スイッチ3 5および第2スイッチ3 6のスイッチング周波数を振動子1 7の共振周波数と一致させることで、保護カバー1 1を所定の振動モードで動作させるように構成されている。これに関して、共振周波数に対して所定の割合を有するスイッチング周波数で第1スイッチ3 5および第2スイッチ3 6を動作させた場合であっても、インピーダンスは局所的に最小になる。ここで、所定の割合を有する周波数とは、共振周波数の $1 / (2n + 1)$ 倍の周波数（ $n$ は正の整数）である。

[0074] 図6 Aは、圧電素子1 5に印加した、共振周波数の一つの付近の周波数である3 1. 5 k H zの周波数を有する駆動信号（電圧）の時間変化と、当該周波数で圧電素子1 5を駆動させた際の保護カバー1 1の変位量の時間変化とを示すグラフである。図6 Aにおいて、波形S 1は、駆動信号の時間変化を示し、波形D 1は、変位量の時間変化を示す。保護カバー1 1の変位量は、例えばレーザドップラ計によって保護カバー1 1の変位を測定することで得られ、図6 Aの波形D 1は、測定された変位量を電圧に変換した電圧値の時間変化を示す。図6 Aに示すグラフの横軸は、時間であり、縦軸は、電圧

である。

[0075] 図6Bは、圧電素子15に印加した、31.5kHzの1/3倍の周波数である10.5kHzの周波数を有する駆動信号の時間変化と、当該周波数で圧電素子15を駆動させた際の保護カバー11の変位量の時間変化とを示すグラフである。図6Bにおいて、波形S2は、駆動信号の時間変化を示し、波形D2は、変位量の時間変化を示す。図6Bに示すグラフの横軸は、時間であり、縦軸は、電圧である。

[0076] 図6Aおよび図6Bから分かるように、駆動信号の周波数が共振周波数の1/3倍であったとしても、保護カバー11の変位の周波数（すなわち、保護カバー11の振動の周波数）は、共振周波数と同等である。また、図6Aおよび図6Bから分かるように、共振周波数の1/3倍の周波数で、圧電素子15を駆動した場合の変位量の最大値は、共振周波数で圧電素子15を駆動した場合の変位量の最大値と比べて、約1/3倍となる。上記の関係は、駆動信号の周波数を共振周波数の1/(2n+1)倍（nは正の整数）の場合に成立する。すなわち、駆動信号の周波数が共振周波数の1/(2n+1)倍である場合、保護カバー11の変位量の最大値は、共振周波数で圧電素子15を駆動させた場合の変位量の最大値と比べて、約1/(2n+1)倍となる。このような駆動信号の周波数の違いに基づく変位量の変化を利用することで、本実施の形態に係る振動装置10は、様々な効果を得ることができる。

[0077] 例えば、制御回路32は、サーチモードにおいて、共振周波数の1/3倍に相当する周波数を含む第1周波数範囲でスイッチング周波数をスイープさせて、共振周波数に対応する周波数を判定できる。制御回路32は、共振周波数に対応すると判定されたスイッチング周波数の3倍の周波数を共振周波数として判定し、当該3倍の周波数が中心となるように第2周波数範囲を定めてドライブモードを実行する。これにより、制御回路32は、圧電素子15の温度上昇を抑制しながらも、当該判定時に必要な消費電力を低減することができる。また、制御回路32は、電流値を下げることで、サーチモード

を実行する際に発生する振動を抑制することができ、当該振動に起因した異物等の状態の変化による共振周波数の変動を抑制することができる。

[0078] 上記のような関係は、共振周波数とその  $2n + 1$  倍の周波数 ( $n$  は正の整数) との間でも成立する。例えば、制御回路 32 が、共振周波数の 3 倍の周波数を有する駆動信号を圧電素子 15 に印加すると、図 6 A の場合と同様、保護カバー 11 の変位量の時間変化は、共振周波数に対応する周波数を有する。また、保護カバー 11 の変位量の最大値は、共振周波数を有する駆動信号を印加した場合の変位量の最大値と比べて、約  $1/3$  倍となる。したがって、制御回路 32 は、圧電素子 15 の温度上昇を抑制するために、第 1 スイッチ 35 および第 2 スイッチ 36 のオン/オフを切り換えるスイッチング周波数を共振周波数の  $(2n + 1)$  倍に設定し、動作させてもよい。

[0079] 制御回路 32 は、保護カバー 11 に異物が付着したか否かを共振周波数の変化とインピーダンスの変化とを組み合わせで判断する。振動子 17 の共振周波数は、温度が高くなると低下する。同様に、圧電素子 15 の最小インピーダンス (インピーダンスの局所的な最小値) は、温度が高くなると低下する。それに対して、保護カバー 11 に異物 (例えば水) が付着した場合、振動子 17 の共振周波数は、水付着量が多くなると低下する。また、圧電素子 15 の最小インピーダンスの変化率は、水付着量が多くなると上昇する。このように、制御回路 32 は、温度の変化と最小インピーダンスの変化を参照することで、保護カバー 11 に異物が付着したかどうかを判断することができる。なお、温度の変化は、例えば振動装置 10 に設けられ得る温度センサによって取得され得る。制御回路 32 は、異物が付着するまでは、上記のようにサーチモードで共振周波数の  $1/(2n + 1)$  倍 ( $n$  は正の整数) の周波数で圧電素子 15 を駆動し、異物が付着したと判断するとドライブモードに切り換えて共振周波数で圧電素子 15 を駆動させてもよい。制御回路 32 は、このように圧電素子 15 を駆動することで、振動装置 10 の消費電力を低減することができる。

[0080] 図 7 A は、共振周波数を判定するための制御回路 32 の第 1 スイープ方法

による制御の一例を示す。図7Bは、共振周波数を判定するための制御回路32の第2スイープ方法による制御の一例を示す。図7Cは、共振周波数を判定するための制御回路32の第3スイープ方法による制御の一例を示す。

[0081] 図7Aは、第1スイープ方法を用いた、制御回路32によるサーチモードおよびドライブモードの処理の一例を示す。制御回路32は、本実施例において、共振周波数のおよそ1/3倍の周波数を含むように第1周波数範囲を設定して、サーチモードを実行する。図7Aにおいて、第1周波数範囲は、 $f_{search1}$ で示されている。制御回路32は、スイッチング周波数をアップ方向にスイープさせて、第1周波数範囲内で電流最大となる周波数 $f_{r_u}$ を判定すると、周波数 $f_{r_u}$ の値を3倍し、 $f_{drive_u}$ を算出する。図7Aに示すように、制御回路32は、期間 $t_{search1}$ でスイープを実行する。

[0082] 制御回路32は、算出された $f_{drive_u}$ が中心となるように第2周波数範囲を設定して、ドライブモードを実行する。図7Aにおいて、第2周波数範囲は、 $f_{drive1}$ で示されている。制御回路32は、第2周波数範囲内でスイッチング周波数をアップ方向にスイープさせ、電流値が最大となる周波数を判定し、 $f_{drive_u}$ を当該周波数に更新する。図7Aに示すように、制御回路32は、期間 $t_{sweep1}$ で第2周波数範囲のスイープを実行する。そして、制御回路32は、スイープを実行するごとに第2周波数範囲を更新し、再び期間 $t_{sweep1}$ で更新後の第2周波数範囲でのスイープを実行する。期間 $t_{drive1}$ は、ドライブモードで圧電素子15が駆動される期間を示す。このように動作することで、制御回路32は、変動する共振周波数に追従しながらより正確な周波数で保護カバー11を振動させることができる。制御回路32は、例えば期間 $t_{drive1}$ で示すような所定の期間、ドライブモードでの圧電素子15の駆動を実行すると、再度サーチモードでの圧電素子の駆動に切り換えてもよい。また、制御回路32は、例えば温度の変化およびインピーダンスの変化に基づいて、異物の付着が解消されたことを判断すると、ドライブモードでの駆動からサーチモードで

の駆動に切り換えてもよい。制御回路32は、ドライブモードからサーチモードに切り換えるのではなく、圧電素子の駆動を停止してもよい。後述する第2スイープ方法、第3スイープ方法についても同様である。

[0083] 図7Bは、第2スイープ方法を用いた、制御回路32によるサーチモードおよびドライブモードの処理の一例を示す。制御回路32は、本実施例において、共振周波数に対応する周波数を含むように第1周波数範囲を設定して、サーチモードを実行する。図7Bにおいて、第1周波数範囲は、 $f_{search2}$ で示されている。制御回路32は、スイッチング周波数をアップ方向にスイープさせて、第1周波数範囲内で電流最大となる周波数 $f_{ru}$ を判定すると、周波数 $f_{ru}$ に基づいて $f_{drive_u}$ を決定する。制御回路32は、決定された $f_{drive_u}$ が中心となるようにアップ方向の第2周波数範囲を設定する。また、制御回路32は、スイッチング周波数をダウン方向にスイープさせて、第1周波数範囲内で電流最大となる周波数 $f_{rd}$ を判定すると、周波数 $f_{rd}$ に基づいて $f_{drive_d}$ を決定する。制御回路32は、決定された $f_{drive_d}$ が中心となるようにダウン方向の第2周波数範囲を設定する。図7Bに示すように、制御回路32は、アップ方向のスイープおよびダウン方向のスイープをそれぞれ期間 $t_{search2}$ で実行する。なお、アップ方向の期間 $t_{search2}$ とダウン方向の期間 $t_{search2}$ とは、長さが同じであってもよいし異なってもよい。

[0084] 制御回路32は、アップ方向およびダウン方向の第2周波数範囲を設定すると、ドライブモードを実行する。制御回路32は、アップ方向およびダウン方向のそれぞれに対して各第2周波数範囲内でスイッチング周波数をスイープさせ、電流値が最大となる周波数を判定し、 $f_{drive_u}$ および $f_{drive_d}$ を各周波数に更新する。図7Bに示すように、制御回路32は、第2周波数範囲のアップ方向のスイープおよびダウン方向のスイープをそれぞれ期間 $t_{sweep2}$ で実行する。そして、制御回路32は、アップ方向のスイープまたはダウン方向のスイープを実行するごとにそれぞれの第2周波数範囲を更新し、再び期間 $t_{sweep2}$ で更新後の第2周波数範囲でのスイ

ープを実行する。期間  $t_{drive2}$  は、ドライブモードで圧電素子 15 が駆動される期間を示す。このように動作することで、制御回路 32 は、アップ方向へのスイープとダウン方向へのスイープとのそれぞれに関して、変動する共振周波数に追従しながら、より正確な周波数で保護カバー 11 を振動させることができる。

[0085] 図 7C は、第 3 スイープ方法を用いた、制御回路 32 によるサーチモードおよびドライブモードの処理の一例を示す。制御回路 32 は、本実施例において、共振周波数に対応する周波数を含むように第 1 周波数範囲を設定して、サーチモードを実行する。図 7C において、第 1 周波数範囲は、 $f_{search3}$  で示されている。制御回路 32 は、スイッチング周波数をダウン方向にスイープさせて、第 1 周波数範囲内で電流最大となる周波数  $f_{rd}$  を判定すると、周波数  $f_{rd}$  に基づいて  $f_{drive_d}$  を決定する。図 7C に示すように、制御回路 32 は、期間  $t_{search3}$  でスイープを実行する。

[0086] 制御回路 32 は、決定された  $f_{drive_d}$  が中心となるように第 2 周波数範囲を設定して、ドライブモードを実行する。図 7C において、第 2 周波数範囲は、 $f_{drive3}$  で示されている。制御回路 32 は、第 2 周波数範囲内でスイッチング周波数をダウン方向にスイープさせ、電流値が最大となる周波数を判定し、 $f_{drive_d}$  を当該周波数に更新する。図 7C に示すように、制御回路 32 は、期間  $t_{sweep3}$  で第 2 周波数範囲のスイープを実行する。そして、制御回路 32 は、スイープを実行するごとに第 2 周波数範囲を更新し、再び期間  $t_{sweep3}$  で更新後の第 2 周波数範囲でのスイープを実行する。期間  $t_{drive3}$  は、ドライブモードで圧電素子 15 が駆動される期間を示す。このように動作することで、制御回路 32 は、変動する共振周波数に追従しながらより正確な周波数で保護カバー 11 を振動させることができる。

[0087] 制御回路 32 は、例えば、上記した第 1 スイープ方法を、第 1 除去モードに用いることができる。また、制御回路 32 は、上記した第 2 スイープ方法を、第 2 除去モードに用いることができる。また、制御回路 32 は、上記し

た第3スイープ方法を、解氷モードに用いることができる。各振動モードに用いられるスイープ方法は上記に限定されず、制御回路32は、任意の組み合わせで圧電素子15を振動させてもよい。また、上記した第1スイープ方法では、制御回路32は、サーチモードにおいて共振周波数の $1/3$ の周波数を用いて圧電素子15を駆動し、ドライブモードにおいて共振周波数を用いて圧電素子15を駆動しているがこれに限定されない。また、上記した第2スイープ方法および第3スイープ方法では、制御回路32は、サーチモードおよびドライブモードにおいて共振周波数を用いて圧電素子15を駆動しているがこれに限定されない。例えば、制御回路32は、第1スイープ方法から第3スイープ方法の少なくとも一つで、サーチモードおよびドライブモードにおいて共振周波数を用いて圧電素子15を駆動してもよい。また、制御回路32は、第1スイープ方法から第3スイープ方法の少なくとも一つで、サーチモードにおいて共振周波数の $1/(2n+1)$ 倍の周波数を用いて圧電素子15を駆動し、ドライブモードにおいて共振周波数を用いて圧電素子15を駆動してもよい。また、制御回路32は、第1スイープ方法から第3スイープ方法の少なくとも一つで、サーチモードにおいて共振周波数を用いて圧電素子15を駆動し、ドライブモードにおいて共振周波数の $1/(2n+1)$ 倍の周波数を用いて圧電素子15を駆動してもよい。また、制御回路32は、第1スイープ方法から第3スイープ方法の少なくとも一つで、サーチモードおよびドライブモードにおいて共振周波数の $1/(2n+1)$ 倍の周波数を用いて圧電素子15を駆動してもよい。

[0088] 図8は、ある共振周波数付近におけるスイッチング周波数に対する圧電素子15のインピーダンスと、圧電素子15に印加される電圧と圧電素子15に流れる電流との間の位相差と、を示すグラフである。図8に示すように、共振周波数付近でスイッチング周波数が増加すると、インピーダンスは変化する。上述するように、インピーダンスが局所的に最小となる周波数が共振周波数に該当する。また、図8に示すように、共振周波数付近でスイッチング周波数が増加すると、圧電素子15に印加される電圧と圧電素子に流れる

電流との位相差は変化する。制御回路 3 2 が共振周波数で第 1 スイッチ 3 5 および第 2 スイッチ 3 6 をスイッチングさせた場合、当該位相差は、ゼロとなる。したがって、当該位相差を検出するように励振回路 3 1 A を構成することで、より正確に共振周波数に対応するスイッチング周波数を判定することができる。

[0089] 図 9 は、第 1 の実施の形態に係る励振回路 3 1 A の変形例である。図 9 は、振動回路 3 0 B を示す。振動回路 3 0 B は、励振回路 3 1 B と圧電素子 1 5 とを備える。励振回路 3 1 B は、励振回路 3 1 A に対してさらに位相比較器 4 6 を備える。励振回路 3 1 B は、位相比較器 4 6 によって、上記したような、圧電素子 1 5 に印加される電圧と圧電素子に流れる電流との位相差を比較することができるように構成されている。

[0090] 位相比較器 4 6 は、例えば、乗算器である。位相比較器 4 6 は、電流電圧変換素子 4 5 に流れる電流に基づく電圧を検知することができる。位相比較器 4 6 が利用する電流に関する位相は、第 2 スイッチ 3 6 がオンの際に電流電圧変換素子 4 5 に流れる電流である。また、制御回路 3 2 は、第 1 スイッチ 3 5 および第 2 スイッチ 3 6 をスイッチングする際の制御信号を、位相比較器 4 6 に出力できる。したがって、位相比較器 4 6 は、当該制御信号の位相に基づいて、圧電素子 1 5 に印加される電圧の位相と圧電素子に流れる電流と位相とを比較できる。位相比較器 4 6 は、例えば、第 2 スイッチ 3 6 を駆動するための制御信号の位相を、電流電圧変換素子 4 5 に流れる電流に基づく電圧の位相と比較し、位相に差異があるときは、制御回路 3 2 に所定の信号（例えば電圧）を出力するように構成され得る。位相比較器 4 6 は、制御信号の位相が電流電圧変換素子 4 5 に流れる電流に基づく電圧の位相よりも進んでいる場合、正の値を有する電圧を、遅れている場合、負の値を有する電圧を、制御回路 3 2 に出力してもよい。このように構成することで、制御回路 3 2 は、位相比較器 4 6 から出力された信号に基づいて、圧電素子 1 5 における電流と電圧の位相差の有無を検出できる。また、制御回路 3 2 は、電流の位相が、電圧に対して進んでいるのか、遅れているのかを検出でき

る。図9から分かるように、スイッチング周波数が共振周波数付近の場合、圧電素子15に印加される電圧と圧電素子15を流れる電流との間の位相の進みまたは遅れは、スイッチング周波数が共振周波数より高いか低いによって決まる。したがって、制御回路32は、スイッチング周波数を共振周波数に一致させるために、スイッチング周波数を高周波側または低周波側のどちらに変更する必要があるか位相差に基づいて判定することができる。制御回路32は、位相比較器46で検出した位相差に基づいて、スイッチング周波数を制御することで、より適切にスイッチング周波数を振動子17の共振周波数に一致させることができる。位相比較器46は、上記とは逆に、制御信号の位相が電流電圧変換素子45に流れる電流に基づく電圧の位相よりも進んでいる場合、負の値を有する電圧を、遅れている場合、正の値を有する電圧を、制御回路32に出力してもよい。

[0091] 次に、制御回路32による振動装置10の振動処理について、フローチャートに基づいて説明する。図10は、本実施の形態に係る励振回路31Aの制御回路32による振動装置10の振動処理を説明するためのフローチャートである。当該振動処理では、制御回路32は、共振周波数の $1/3$ の周波数を含む第1周波数範囲内でサーチモードを実行して圧電素子15を駆動する。そして、制御回路32は、保護カバー11に異物が付着したと判断すると、現在の共振周波数を判定し、現在の共振周波数を含む第2周波数範囲内でドライブモードを実行して圧電素子15を駆動する。

[0092] まず、制御回路32は、圧電素子15を駆動させる振動モードの共振周波数の $1/3$ 倍の周波数を算出する(S10)。 $1/3$ 倍の周波数を算出すると、制御回路32は、当該周波数を含む第1周波数範囲を設定する(S11)。第1周波数範囲を設定すると、制御回路32は、サーチモードで圧電素子15を第1周波数範囲内で駆動させ、現在の共振周波数を判定する(S12)。すなわち、制御回路32は、第1スイッチ35および第2スイッチ36のスイッチング周波数を第1周波数範囲内でスイープさせ、電流検出回路38Aで検出された電流の大きさに基づいて現在の共振周波数を判定する。

[0093] 制御回路32は、上記したように例えば検出された電流の大きさから算出されたインピーダンス等に基づいて、保護カバー11に異物が付着したかどうかを判定する(S13)。制御回路32は、異物が付着していないと判定すると(S13:No)、再度ステップS12を実行し、再び現在の共振周波数を判定する。制御回路32は、異物が付着していると判定すると(S13:Yes)、その時点の現在の共振周波数を中心とする第2周波数範囲を設定する(S14)。第2周波数範囲を設定すると、制御回路32は、ドライブモードで圧電素子15を第2周波数範囲内で駆動させ、現在の共振周波数を判定する(S15)。すなわち、制御回路32は、第1スイッチ35および第2スイッチ36のスイッチング周波数を第2周波数範囲内でスイープさせ、電流検出回路38Aで検出された電流の大きさに基づいて現在の共振周波数を判定する。

[0094] 制御回路32は、ステップS13と同様、例えば検出された電流の大きさから算出されたインピーダンス等に基づいて、保護カバー11に付着した異物が残っているか否か確認する(S16)。異物が保護カバー11に残っていると判定すると(S16:No)、制御回路32は、再びステップS14を実行して、ステップS15で判定した現在の共振周波数を中心とする第2周波数範囲を設定する。すなわち、制御回路32は、第2周波数範囲を現在の共振周波数を中心とする範囲に更新する。そして、制御回路32は、異物の付着が解消するまで、ドライブモードで圧電素子15を駆動させる。異物の付着が解消した(すなわち保護カバー11に付着した異物が存在しなくなった)と判断すると(S16:Yes)、制御回路32は、圧電素子15の駆動を停止する(S17)。このようにして、制御回路32は、保護カバー11に付着した異物を除去することができる。また、制御回路32は、異物を除去する際に必要な電力を低減させることができる。

[0095] 図8に示すように、各振動モードに対応する各共振周波数での圧電素子15のインピーダンス値は、周波数によって異なる。したがって、各共振周波数によって第1スイッチ35および第2スイッチ36をスイッチングさせた

際に圧電素子15に流れる電流値は、周波数毎に異なる。そのため、電流検出回路38Aは、電流電圧変換素子45に流れる電流が最も大きくなる（すなわち圧電素子15のインピーダンス値が最も低くなる）振動モードに対応するように構成される必要がある。

[0096] 図11は、増幅率を切り換えることができるように構成されたローパスフィルタ43の一例を示す概略的な回路図である。ローパスフィルタ43は、入力される電圧に対する増幅率を変更することができるため、電流電圧変換素子45に流れる電流の大きさが異なっても共振周波数を判定できる。

[0097] ローパスフィルタ43は、オペアンプ50と、可変抵抗51と、抵抗52と、コンデンサ53とを有する。オペアンプ50の反転入力端子は可変抵抗51を介して入力端（すなわち電流電圧変換素子45の基準電位側とは異なる端） $V_{in}$ と、非反転入力端子は基準電位と、出力端子は出力端（すなわちAD変換回路44へ出力する端） $V_{out}$ と接続される。可変抵抗51は、入力端 $V_{in}$ と、オペアンプ50の反転入力端子との間に配置されている。抵抗52は、オペアンプの反転入力端子と出力端子とを抵抗52を介して接続するように配置されている。コンデンサ53は、オペアンプ50の反転入力端子と出力端子とをコンデンサ53を介して接続するように、抵抗52と並列に配置されている。可変抵抗51の抵抗値を変更することで、ローパスフィルタ43は、入力端 $V_{in}$ から入力される電圧に対する増幅率（すなわち、利得）を変更できるため、電流電圧変換素子45に流れる電流の大きさが異なっても共振周波数を判定することができる。周波数制御回路32は、例えば、圧電素子15を振動させる振動モードに基づいて、増幅率を変更することができる。また、制御回路32は、サーチモードで圧電素子15を駆動する第1周波数範囲に含まれる周波数に基づいて、増幅率を変更してもよい。励振回路31Bは、このような構成を有するローパスフィルタ43を備えることで、ピーク電流が異なる複数の振動モードにおいて、当該ピーク電流の検出を精度よく行うことができる。

[0098] 図12は、第1の実施の形態に係る励振回路31Aの変形例である。図1

2は、振動回路30Cの構成を示す。振動回路30Cは、励振回路31Cと圧電素子15とを備える。励振回路31Cは、励振回路31Aに対して、直流電源33の代わりに直流電源33Aおよび負電源回路33Bを備える。また、励振回路31Cは、励振回路31Aに対して、コンデンサ39を備えない。負電源回路33Bは、励振回路31Aにおけるコンデンサ39の代わりに極性反転回路として機能する。

[0099] 本実施例において、直流電源33Aは、励振回路31Aにおける直流電源33の代わりに第1スイッチ35に接続される。直流電源33Aは、正電圧を出力する。負電源回路33Bは、出力回路37Aの直列回路に対して、直流電源33Aとは反対側に接続される。具体的には、負電源回路33Bは、電流電圧変換回路42Aを介して、振動回路30Aにおける基準電位34の代わりに第2スイッチ36に接続される。負電源回路33Bは、負電圧を出力する。すなわち、負電源回路33Bは、基準電位34の電位を基準として、直流電源33Aに対して極性が反転した電位を有する。例えば、基準電位34の電位がゼロであり、かつ、直流電源33Aの電位が $+V_p$ である場合、負電源回路33Bの電位は $-V_p$ であってもよい。直流電源33Aおよび負電源回路33Bはそれぞれ、基準電位と組み合わせて所定の電圧を圧電素子15に印加できる既知の装置であってもよい。

[0100] このように構成することで、制御回路32が第1スイッチ35および第2スイッチ36のスイッチング処理を実行すると、第1状態と第2状態とで圧電素子15に極性が反転した電圧を印加することができる。例えば、基準電位34の電位がゼロ、直流電源33Aの電位が $+V_p$ 、負電源回路33Bの電位が $-V_p$ の場合、制御回路32は、第1状態では圧電素子15に $+V_p$ の正電圧を印加し、第2状態では圧電素子15に $-V_p$ の負電圧を印加することができる。この場合、制御回路32は、スイッチング処理によって、平均するとゼロとなる電圧を圧電素子15に印加することができる。圧電素子15に極性が反転した電圧を印加することで、振動回路30Cは、振動回路30Aと同様、圧電素子15でイオンマイグレーションが発生する可能性を

低減することができる。

[0101] (第2の実施の形態)

#### 2-1. 構成例

本開示の第2の実施の形態に係る振動装置について説明する。なお、第2の実施の形態では、主に第1の実施の形態と異なる点について説明する。第2の実施の形態においては、第1の実施の形態と同一または同等の構成については同じ符号を付して説明する。また、第2の実施の形態では、第1の実施の形態と重複する記載は省略する。

[0102] 図13は、本開示の第2の実施の形態に係る励振回路31Dおよび圧電素子15を含む振動回路30Dの概略的な回路図である。振動回路30Dの励振回路31Dは、励振回路31Aの出力回路37Aの代わりに、直流電源33に接続される第3スイッチ60と第4スイッチ61との直列回路をさらに含む出力回路37Bを有する。第3スイッチ60および第4スイッチ61の直列回路は、本明細書において「第2レグ41B」とも呼ばれる。第2レグ41Bは、直流電源33と基準電位34との間に、第1レグ41Aと並列に接続される。図13に示すように、本実施の形態において、第2レグ41Bは、電流電圧変換回路42Aの電流電圧変換素子45を介して基準電位34に接続される。代替的にまたは付加的に、第2レグ41Bは、電流電圧変換回路42Aの電流電圧変換素子45を介して直流電源33に接続されてもよい。図13から分かるように、振動回路30Dの圧電素子15は、第1の実施の形態に係る振動回路30Aとは異なり基準電位34に接続されていないが、代わりに第2レグ41Bの第3スイッチ60と第4スイッチ61との間の接続点C2に接続されている。したがって、圧電素子15は、第1スイッチ35と第2スイッチ36との接続点C1と、第3スイッチ60と第4スイッチ61との接続点C2と、の間に接続される。なお、第2の実施の形態に係る振動回路30Dは、第1の実施の形態に係る振動回路30Aが備えるコンデンサ39を備えなくてもよい。

[0103] 第3スイッチ60は、第1スイッチ35と同様、例えばMOSFETであ

るが、これに限定されない。第3スイッチ60は、一端（ソース）と他端（ドレイン）とを有する。第3スイッチ60の一端は、直流電源33に接続される。また、第3スイッチ60の一端は、第1スイッチ35の一端に接続される。第3スイッチ60の他端は、第4スイッチ61の一端に接続される。また、第3スイッチ60の他端は、圧電素子15の第1レグ41Aに接続している端とは反対側の端に接続される。制御回路32は、第3スイッチ60の制御端に接続されて、第3スイッチ60のオン／オフを切り換えることができる。制御回路32は、第3スイッチ60のオン／オフを切り換えることで、第3スイッチ60に接続されている直流電源33と圧電素子との間の回路とを電氣的に導通／開放するように第3スイッチ60を制御できる。

[0104] 第4スイッチ61は、第1スイッチ35と同様、例えばMOSFETであるが、これに限定されない。第4スイッチ61は、一端（ソース）と他端（ドレイン）とを有する。第4スイッチ61の一端は、第3スイッチ60の他端に接続される。すなわち、第4スイッチ61の一端は、第3スイッチの他端と同様に、圧電素子15に接続される。第4スイッチ61の他端は、電流電圧変換回路42Aの電流電圧変換素子45を介して基準電位34に接続される。制御回路32は、第4スイッチ61の制御端に接続しており、第4スイッチ61のオン／オフを切り換えることができる。制御回路32は、第4スイッチ61のオン／オフを切り換えることで、第4スイッチ61に接続される圧電素子15と基準電位34との間の回路を電氣的に導通／開放するように第4スイッチ61を制御できる。

[0105] 2-2. 動作例

図13を参照しつつ、第2の実施の形態に係る励振回路31Dの動作例を説明する。上述するように、図13は、励振回路31Dおよび圧電素子15を含む振動回路30Dを示す。

[0106] 第2の実施の形態に係る励振回路31Dの制御回路32は、第1スイッチ35と第2スイッチ36に加えて、第3スイッチ60と第4スイッチ61を相補的に切り換えるように制御する。すなわち、制御回路32は、第3スイ

ッチ60と第2スイッチ36とが同期し、第4スイッチ61と第1スイッチ35とが同期するように、各スイッチ35、36、60、61のオン/オフを切り換えるように制御する。制御回路32は、第1スイッチ35および第3スイッチがオンである場合に第2スイッチ36および第4スイッチ61がオフである状態（適宜「第3状態」という）となるように第1スイッチ35から第4スイッチ61を制御する。また、制御回路32は、第1スイッチ35および第3スイッチ60がオフである場合に、第2スイッチ36および第4スイッチ61がオンである状態（適宜「第4状態」という）となるように第1スイッチ35から第4スイッチ61を制御する。制御回路32は、各スイッチ35、36、60、61を第3状態と第4状態との間で切り換えることで、圧電素子15に印加する電圧の極性を反転させることができる。

[0107] 制御回路32がこのように動作することで、電流検出回路38Aは、第3状態において、直流電源33から第1スイッチ35、圧電素子15および第4スイッチ61を通じて基準電位34へと流れる電流を検出できる。また、電流検出回路38Aは、第4状態において、直流電源33から第3スイッチ60、圧電素子15および第2スイッチ36を通じて基準電位34へと流れる電流を検出できる。第1の実施の形態に係る振動回路30Aでは、電流検出回路38Aは、第2状態においてのみ電流を検出する。しかし、第2の実施の形態に係る振動回路30Dでは、電流検出回路38Aは、第3状態および第4状態のそれぞれにおいて電流を検出する。すなわち、第2状態における電流電圧変換素子45に流れる電流を検出する第1の実施の形態に係る電流検出回路38Aとは異なり、第2の実施の形態に係る電流検出回路38Aは、第3状態と第4状態のそれぞれにおける電流電圧変換素子45に流れる電流を検出する。したがって、ローパスフィルタ43を介してAD変換回路44から制御回路32へと出力される値は、実質的に第2スイッチ36と第4スイッチ61とを流れる電流を加算した電流に基づく。そのため、励振回路31Dは、AD変換回路44から制御回路32へと入力される信号のS/N比を向上させることができる。

[0108] (第3の実施の形態)

3-1. 構成例

本開示の第3の実施の形態に係る振動装置について説明する。なお、第3の実施の形態では、主に第1の実施の形態と異なる点について説明する。第3の実施の形態においては、第1の実施の形態と同一または同等の構成については同じ符号を付して説明する。また、第3の実施の形態では、第1の実施の形態と重複する記載は省略する。

[0109] 図14は、本開示の第3の実施の形態に係る励振回路31Eおよび圧電素子15を含む振動回路30Eの概略的な回路図である。第3の実施の形態に係る励振回路31Eは、電流電圧変換回路42Aの代わりに電流電圧変換回路42Eを備える。励振回路31Eの電流電圧変換回路42Eは、第2スイッチ36と基準電位34との間に電流電圧変換素子45Aを、直流電源33と第1スイッチ35との間に電流電圧変換素子45Bを含む。電流電圧変換素子45Aは、第1の実施の形態における電流電圧変換素子45に対応する。本実施の形態において、電流電圧変換素子45A、45Bは、電流電圧変換素子45と同様、所定の抵抗値を有する抵抗（シャント抵抗）であるがこれに限定されず、ホール素子等の電流を電圧に変換できる既知の素子であってもよい。

[0110] 電流電圧変換回路42Eは、第2スイッチ36と電流電圧変換素子45Aとの間の接続点と、ローパスフィルタ43との間に、差分回路70を有する。電流電圧変換素子45Bと第1スイッチ35との間の接続点は、差分回路70に接続される。

[0111] 差分回路70は、例えば、増幅率が1倍になるように構成された差動増幅回路であるが、これに限定されず、既知の回路が用いられ得る。電流電圧変換素子45Aは、第2スイッチ36を介して電流電圧変換素子45Aに流れる電流を電流電圧変換素子45Aに流れる電流の大きさに応じた電圧に変換する。また、電流電圧変換素子45Bは、第1スイッチ35を介して電流電圧変換素子45Bに流れる電流を電流電圧変換素子45Bに流れる電流の大

きさに応じた電圧に変換する。差分回路70は、電流電圧変換素子45Aから入力された電圧と、電流電圧変換素子45Bから入力された電圧との差を示す電圧を検出電圧として、ローパスフィルタ43へと出力する。

[0112] 電流電圧変換素子45Aは、圧電素子15に対して低電位側（ローサイド側）に配置され、電流電圧変換素子45Bは、圧電素子15に対して高電位側（ハイサイド側）に配置される。図14および電流の向きを考慮すると、各電流電圧変換素子45A、45Bで変換される電圧の極性は、逆となる。

[0113] したがって、差分回路70がこれらの電圧の差分を取得すると、第1状態において電流電圧変換素子45Bに流れる電流を検出できる。

[0114] 第3の実施の形態に係る振動回路30Eでは、電流検出回路38Eは、第1状態および第2状態のそれぞれにおいて電流を検出する。すなわち、第2状態における電流電圧変換素子45に流れる電流を検出する電流検出回路38Aとは異なり、第3の実施の形態に係る電流検出回路38Eは、第1状態と第2状態のそれぞれにおける電流電圧変換素子45A、45Bに流れる電流を検出する。したがって、差分回路70が各電流電圧変換素子45A、45Bに流れる電流に基づく電圧値の差分を取得すると、AD変換回路44から制御回路32へと出力される値は、実質的に第1スイッチ35と第2スイッチ36とを流れる電流を加算した値に基づく。このように、励振回路31Eは、各電圧値の差分を取得するため、当該素子45A、45Bに流れるコモンモードノイズを打ち消し、且つAD変換回路44から制御回路32へと入力される信号のS/N比を向上させることができる。

[0115] 本実施の形態に係る励振回路31Eの電流検出回路38Eは、差分回路70によって、電流電圧変換素子45Aと電流電圧変換素子45Bとで変換された電圧の差分を取得するがこれに限定されない。例えば、電流検出回路38Eは、電流電圧変換素子45A、45Bそれぞれにホール素子を用いる場合、差分回路70の代わりに、各ホール素子によって得られた電圧を加算する演算回路を備えてもよい。

[0116] （実施の形態のまとめ）

以上のように説明した本実施の形態に係る励振回路、振動装置および車両は、以下のように構成してもよい。

- [0117] (態様1) 励振回路は、直流電源に接続される第1スイッチと第2スイッチとの直列回路を含み、第1スイッチと第2スイッチとの接続点に圧電素子が接続される、出力回路と、第1スイッチに流れる電流と第2スイッチに流れる電流との少なくとも一方を検出し、検出した電流に基づく値を示す検出信号を出力する電流検出回路と、出力回路から圧電素子に所定周波数の電圧を印加するために第1スイッチと第2スイッチとのオンとオフを所定周波数に対応するスイッチング周波数で相補的に切り換えるスイッチング処理を実行し、電流検出回路から出力された検出信号が示す値に基づいて、圧電素子により振動される物体と圧電素子を含む振動子の共振周波数を決定するサーチモードを有する、制御回路と、を備える。
- [0118] (態様2) 態様1の励振回路は、電流検出回路が、第1スイッチに流れる電流と第2スイッチに流れる電流との少なくとも一方を検出し、検出した電流に基づいて検出電圧を出力する電流電圧変換回路と、電流電圧変換回路からの検出電圧を平滑化して平滑化された検出電圧を出力するローパスフィルタと、を備えてもよい。
- [0119] (態様3) 態様2の励振回路は、電流検出回路が、ローパスフィルタからの平滑化された検出電圧を受け取って、ローパスフィルタからの平滑化された検出電圧を示すデジタル信号を、検出信号として制御回路に出力するアナログ／デジタル変換回路をさらに含んでもよい。
- [0120] (態様4) 態様2または態様3の励振回路は、電流電圧変換回路が、第1スイッチに流れる電流を電圧に変換して出力する第1電流電圧変換素子と、第2スイッチに流れる電流を電圧に変換して出力する第2電流電圧変換素子と、第1電流電圧変換素子から出力される電圧と第2電流電圧変換素子から出力される電圧とに基づいて第1スイッチに流れる電流と第2スイッチに流れる電流との差または和を示す電圧を検出電圧としてローパスフィルタへ出力する演算回路と、を有してもよい。

- [0121] (態様5) 態様1から態様4のいずれか一つの励振回路は、第1スイッチがオンで第2スイッチがオフである場合と第1スイッチがオフで第2スイッチがオンである場合とで圧電素子に印加される電圧の極性を反転させる極性反転回路を、さらに備えてもよい。
- [0122] (態様6) 態様5の励振回路は、極性反転回路が、第1スイッチと第2スイッチとの接続点と圧電素子との間に接続されるコンデンサを含んでもよい。
- [0123] (態様7) 態様5の励振回路は、直流電源が、正電圧を出力し、極性反転回路が、出力回路の直列回路に対して直流電源とは反対側に接続され、負電圧を出力する負電源回路を含んでもよい。
- [0124] (態様8) 態様1から態様7のいずれか一つの励振回路は、電流検出回路が、第2スイッチに流れる電流と、圧電素子に印加される電圧との位相差を検出する位相差検出回路をさらに含み、制御回路は、検出された位相差に基づいて、スイッチング周波数を調整してもよい。
- [0125] (態様9) 態様1から態様8のいずれか一つの励振回路は、サーチモードが、第1周波数範囲でスイッチング周波数を変化させるとともに第1周波数範囲でのスイッチング周波数の変化に対する検出信号の値の変化を取得し、第1周波数範囲内で検出信号の値が最大となる周波数に基づき振動子の共振周波数を決定し、制御回路が、振動子の共振周波数を含み且つ第1周波数範囲より狭い第2周波数範囲でスイッチング周波数を変化させるとともに第2周波数範囲でのスイッチング周波数の変化に対する検出信号の値の変化を取得し、第2周波数範囲内で検出信号の値が最大となる周波数に基づき振動子の共振周波数を更新する動作を繰り返すドライブモードを、さらに有してもよい。
- [0126] (態様10) 態様9の励振回路は、制御回路が、第1周波数範囲に含まれる周波数に基づいて、電流検出回路の利得を変更してもよい。
- [0127] (態様11) 態様9または態様10の励振回路は、第1周波数範囲が、振動子の共振周波数の $1 / (2n + 1)$ 倍または $(2n + 1)$ 倍の周波数を含み、第2周波数範囲が、第2周波数範囲内で検出信号の値が最大となる周波数

である振動子の共振周波数を含んでもよい。ここで、 $n$ が正の整数である。

[0128] (態様12) 態様9または態様10の励振回路は、第1周波数範囲が、振動子の共振周波数を含み、第2周波数範囲が、第2周波数範囲内で検出信号の値が最大となる周波数である、振動子の共振周波数の $1 / (2n + 1)$ 倍または $(2n + 1)$ 倍の周波数を含んでもよい。ここで、 $n$ が正の整数である。

[0129] (態様13) 態様1から態様12のいずれか一つの励振回路は、圧電素子が第1端および第2端を有し、圧電素子の第1端が、第1スイッチおよび第2スイッチの接続点に接続され、圧電素子の第2端が、直流電源の出力端より低い電位を有する基準電位に接続されてもよい。

[0130] (態様14) 態様1から態様12のいずれか一つの励振回路は、出力回路が、第1スイッチと第2スイッチとの直列回路と並列に直流電源に接続される第3スイッチと第4スイッチとの直列回路をさらに含み、第3スイッチと第4スイッチとの接続点と、第1スイッチと第2スイッチとの接続点と、の間に圧電素子が接続され、第1スイッチにおける第2スイッチとは反対側の端と第3スイッチにおける第4スイッチとは反対側の端とは互いに接続され、第2スイッチにおける第1スイッチとは反対側の端と第4スイッチにおける第3スイッチとは反対側の端とは互いに接続され、スイッチング処理が、第1スイッチと第4スイッチとの組と第2スイッチと第3スイッチとの組とのオンとオフをスイッチング周波数で相補的に切り換えてもよい。

[0131] (態様15) 振動装置は、態様1から態様14のいずれか一つの励振回路と、圧電素子と、圧電素子によって振動される光透過性を有する保護カバーと、を備える。

[0132] (態様16) 車両は、態様15の振動装置と、保護カバーを透過する光を検出する撮像する撮像装置と、を備える。

[0133] 本開示に記載の励振回路、振動装置および車両は、ハードウェア資源、例えば、プロセッサ、メモリ、と、ソフトウェア資源（コンピュータプログラム）との協働などによって実現される。

## 産業上の利用可能性

[0134] 本開示によれば、圧電素子にマイグレーションが生じる可能性を低減しつつ、圧電素子に流れる電流の大きさを検出することができる励振回路、振動装置および車両を提供することができるため、この種の産業分野において好適に利用できる。

## 符号の説明

- [0135] 1 0 振動装置  
1 1 保護カバー  
1 3 振動体  
1 5 圧電素子  
1 7 振動子  
2 0 撮像装置  
3 0 A、3 0 B、3 0 C、3 0 D、3 0 E 振動回路  
3 1 A、3 1 B、3 1 C、3 1 D、3 1 E 励振回路  
3 2 制御回路  
3 3、3 3 A 直流電源  
3 3 B 負電源回路  
3 4 基準電位  
3 5 第1スイッチ  
3 6 第2スイッチ  
3 7 A、3 7 B 出力回路  
3 8 A、3 8 E 電流検出回路  
3 9 コンデンサ  
4 0 抵抗  
4 2 A、4 2 E 電流電圧変換回路  
4 3 ローパスフィルタ  
4 4 アナログ／デジタル変換回路  
4 5、4 5 A、4 5 B 電流電圧変換素子

- 60 第3スイッチ
- 61 第4スイッチ
- 70 差分回路
- C1、C2 接続点

## 請求の範囲

[請求項1] 直流電源に接続される第1スイッチと第2スイッチとの直列回路を含み、前記第1スイッチと前記第2スイッチとの接続点に圧電素子が接続される、出力回路と、

前記第1スイッチに流れる電流と前記第2スイッチに流れる電流との少なくとも一方を検出し、検出した電流に基づく値を示す検出信号を出力する電流検出回路と、

前記出力回路から前記圧電素子に所定周波数の電圧を印加するために前記第1スイッチと前記第2スイッチとのオンとオフを前記所定周波数に対応するスイッチング周波数で相補的に切り換えるスイッチング処理を実行し、前記電流検出回路から出力された前記検出信号が示す値に基づいて、前記圧電素子により振動される物体と前記圧電素子とを含む振動子の共振周波数を決定するサーチモードを有する、制御回路と、

を備える、

励振回路。

[請求項2] 前記電流検出回路は、

前記第1スイッチに流れる電流と前記第2スイッチに流れる電流との少なくとも一方を検出し、検出した電流に基づいて検出電圧を出力する電流電圧変換回路と、

前記電流電圧変換回路からの検出電圧を平滑化して平滑化された検出電圧を出力するローパスフィルタと、

を備える、

請求項1に記載の励振回路。

[請求項3] 前記電流検出回路は、

前記ローパスフィルタからの平滑化された検出電圧を受け取って、前記ローパスフィルタからの平滑化された検出電圧を示すデジタル信号を、前記検出信号として前記制御回路に出力するアナログ／デジタ

ル変換回路をさらに含む、

請求項 2 に記載の励振回路。

[請求項4]

前記電流電圧変換回路は、

前記第 1 スイッチに流れる電流を電圧に変換して出力する第 1 電流電圧変換素子と、

前記第 2 スイッチに流れる電流を電圧に変換して出力する第 2 電流電圧変換素子と、

前記第 1 電流電圧変換素子から出力される電圧と前記第 2 電流電圧変換素子から出力される電圧とに基づいて前記第 1 スイッチに流れる電流と前記第 2 スイッチに流れる電流との差または和を示す電圧を前記検出電圧として前記ローパスフィルタへ出力する演算回路と、

を有する、

請求項 2 または請求項 3 に記載の励振回路。

[請求項5]

前記第 1 スイッチがオンで前記第 2 スイッチがオフである場合と前記第 1 スイッチがオフで前記第 2 スイッチがオンである場合とで前記圧電素子に印加される電圧の極性を反転させる極性反転回路を、さらに備える、

請求項 1 ～請求項 4 のいずれか一項に記載の励振回路。

[請求項6]

前記極性反転回路は、前記第 1 スイッチと前記第 2 スイッチとの接続点と前記圧電素子との間に接続されるコンデンサを含む、

請求項 5 に記載の励振回路。

[請求項7]

前記直流電源は、正電圧を出力し、

前記極性反転回路は、前記出力回路の前記直列回路に対して前記直流電源とは反対側に接続され、負電圧を出力する負電源回路を含む、

請求項 5 に記載の励振回路。

[請求項8]

前記電流検出回路は、前記第 2 スイッチに流れる電流と、前記圧電素子に印加される電圧との位相差を検出する位相差検出回路をさらに含む、

前記制御回路は、検出された前記位相差に基づいて、前記スイッチング周波数を調整する、

請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の励振回路。

[請求項9]

前記サーチモードは、

第 1 周波数範囲で前記スイッチング周波数を変化させるとともに前記第 1 周波数範囲での前記スイッチング周波数の変化に対する前記検出信号の値の変化を取得し、前記第 1 周波数範囲内で前記検出信号の値が最大となる周波数に基づき前記振動子の共振周波数を決定し、

前記制御回路は、前記振動子の共振周波数を含み且つ前記第 1 周波数範囲より狭い第 2 周波数範囲で前記スイッチング周波数を変化させるとともに前記第 2 周波数範囲での前記スイッチング周波数の変化に対する前記検出信号の値の変化を取得し、前記第 2 周波数範囲内で前記検出信号の値が最大となる周波数に基づき前記振動子の共振周波数を更新する動作を繰り返すドライブモードを、

さらに有する、

請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の励振回路。

[請求項10]

前記制御回路は、前記第 1 周波数範囲に含まれる周波数に基づいて、前記電流検出回路の利得を変更する、

請求項 9 に記載の励振回路。

[請求項11]

前記第 1 周波数範囲は、前記振動子の前記共振周波数の  $1 / (2n + 1)$  倍または  $(2n + 1)$  倍の周波数を含み、

前記第 2 周波数範囲は、前記第 2 周波数範囲内で前記検出信号の値が最大となる周波数である前記振動子の共振周波数を含み、

$n$  は正の整数である、

請求項 9 または請求項 10 に記載の励振回路。

[請求項12]

前記第 1 周波数範囲は、前記振動子の共振周波数を含み、

前記第 2 周波数範囲は、前記第 2 周波数範囲内で前記検出信号の値が最大となる周波数である、前記振動子の共振周波数の  $1 / (2n +$

1) 倍または  $(2n + 1)$  倍の周波数を含み、

$n$  は正の整数である、

請求項 9 または請求項 10 に記載の励振回路。

[請求項13]

前記圧電素子は第 1 端および第 2 端を有し、

前記圧電素子の第 1 端は、前記第 1 スイッチおよび前記第 2 スイッチの接続点に接続され、

前記圧電素子の第 2 端は、前記直流電源の出力端より低い電位を有する基準電位に接続される、

請求項 1 から請求項 12 のいずれか一項に記載の励振回路。

[請求項14]

前記出力回路は、

前記第 1 スイッチと前記第 2 スイッチとの直列回路と並列に前記直流電源に接続される第 3 スイッチと第 4 スイッチとの直列回路をさらに含み、

前記第 3 スイッチと前記第 4 スイッチとの接続点と、前記第 1 スイッチと前記第 2 スイッチとの接続点と、の間に前記圧電素子が接続され、

前記第 1 スイッチにおける前記第 2 スイッチとは反対側の端と前記第 3 スイッチにおける前記第 4 スイッチとは反対側の端とは互いに接続され、

前記第 2 スイッチにおける前記第 1 スイッチとは反対側の端と前記第 4 スイッチにおける前記第 3 スイッチとは反対側の端とは互いに接続され、

前記スイッチング処理は、前記第 1 スイッチと前記第 4 スイッチとの組と前記第 2 スイッチと前記第 3 スイッチとの組とのオンとオフを前記スイッチング周波数で相補的に切り換える、

請求項 1 から請求項 12 のいずれか一項に記載の励振回路。

[請求項15]

請求項 1 から請求項 14 のいずれか一項に記載の励振回路と、

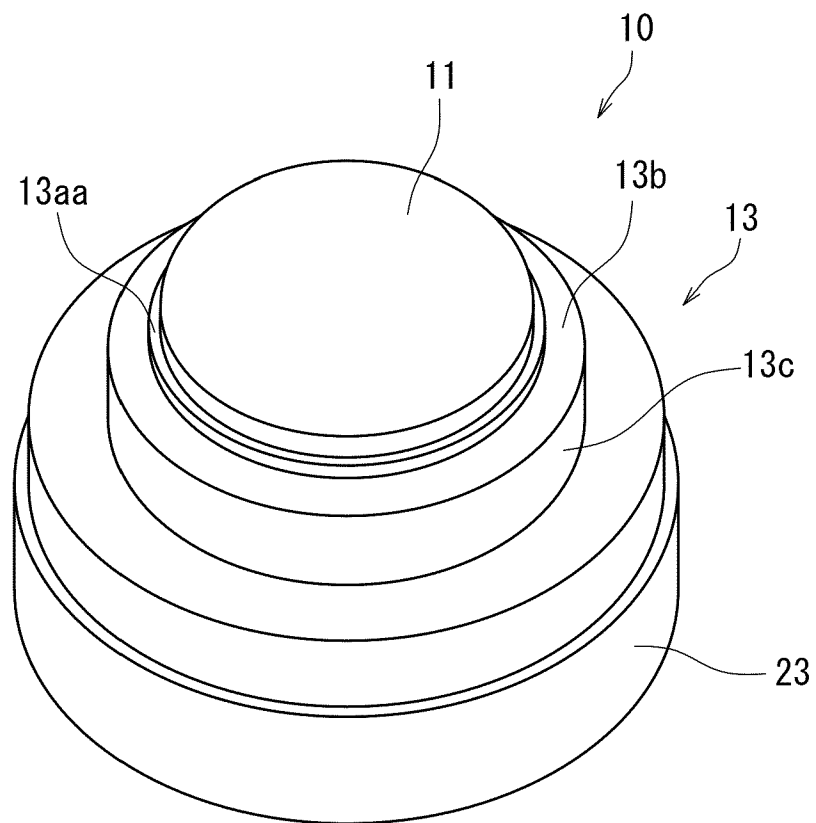
前記圧電素子と、

前記圧電素子によって振動される光透過性を有する保護カバーと、  
を備える、  
振動装置。

[請求項16] 請求項15に記載の振動装置と、  
前記保護カバーを透過する光を検出する撮像装置と、  
を備える、  
車両。

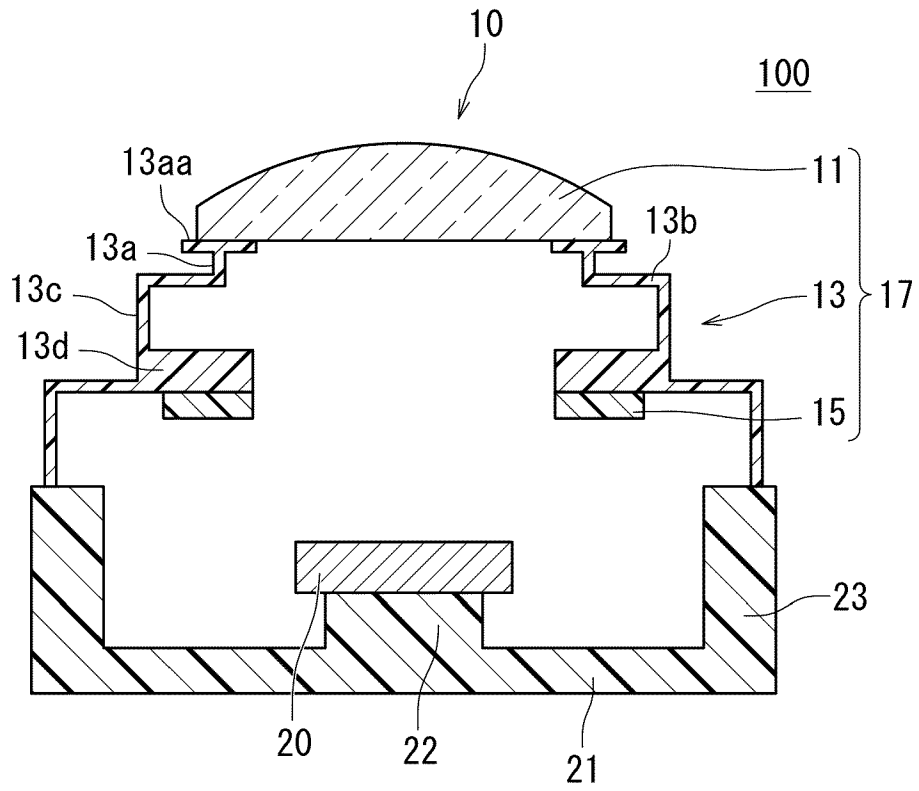
[図1]

図1



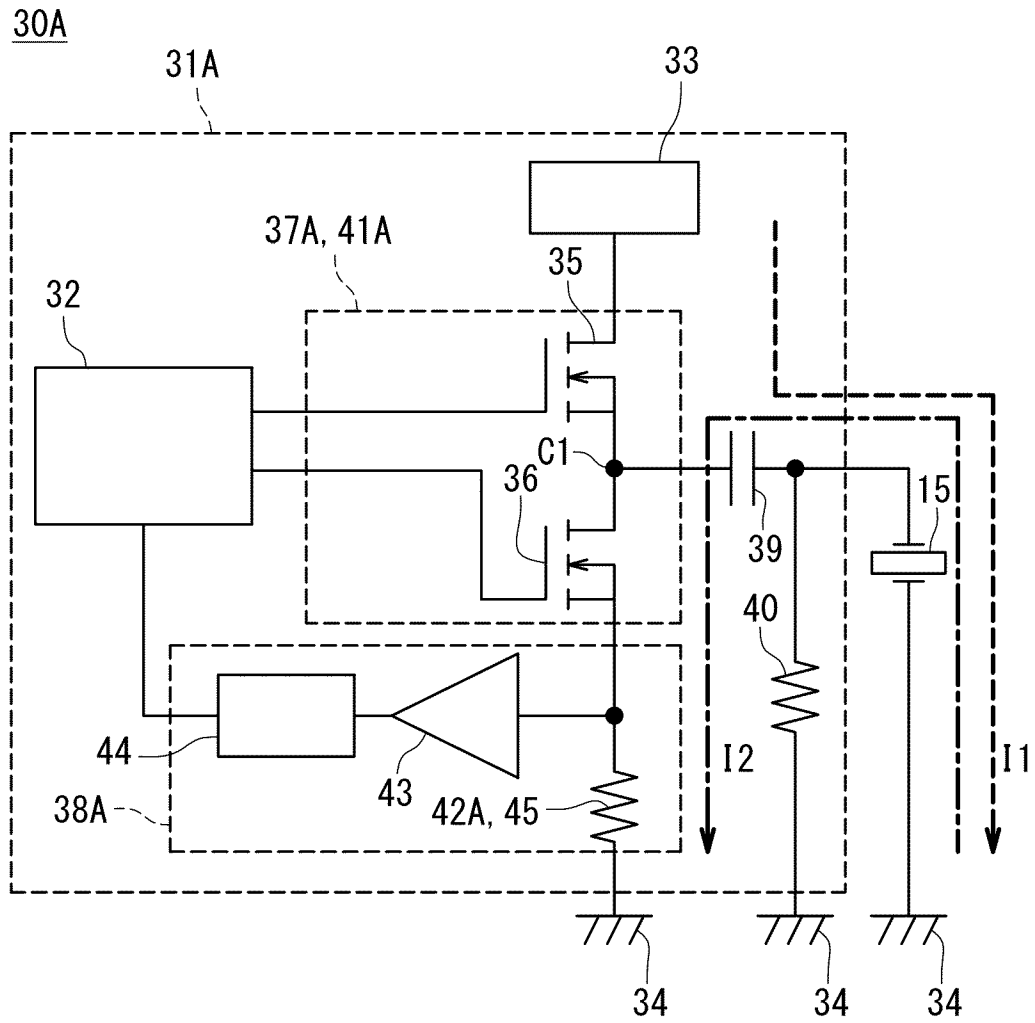
[図2]

図2



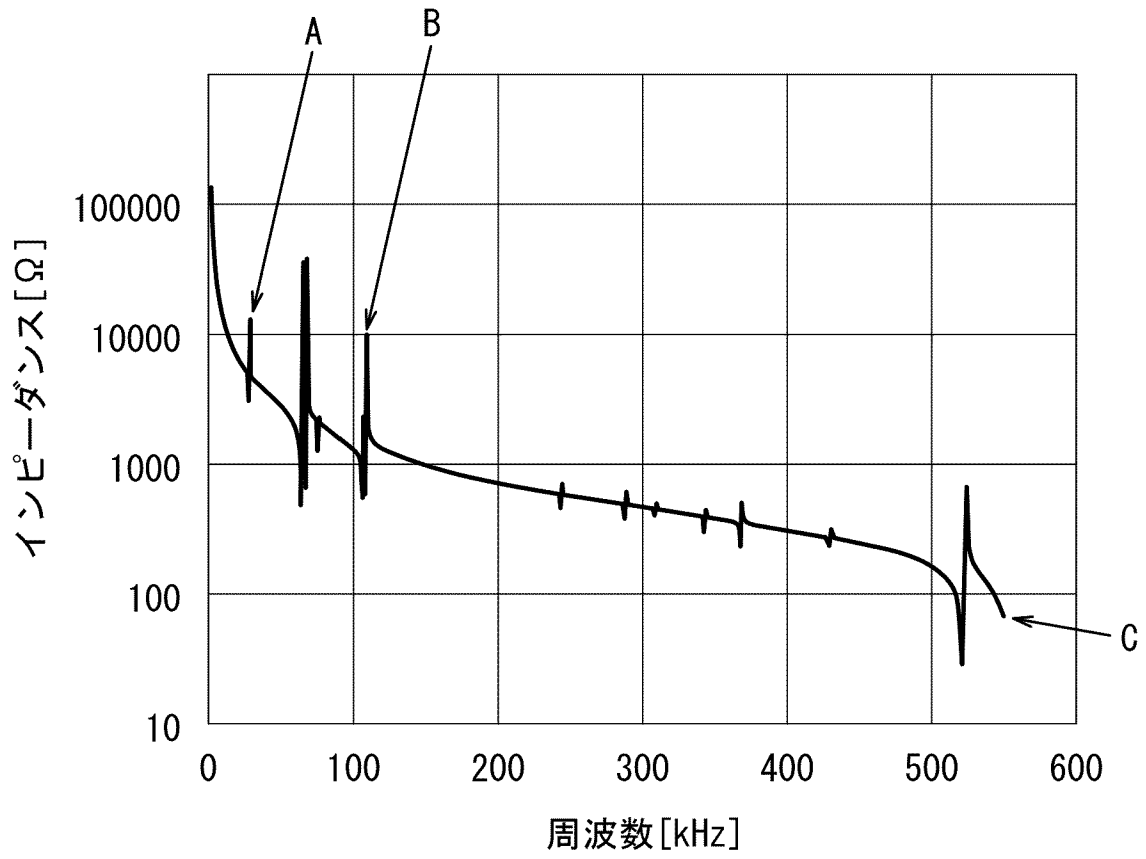
[図3]

図3



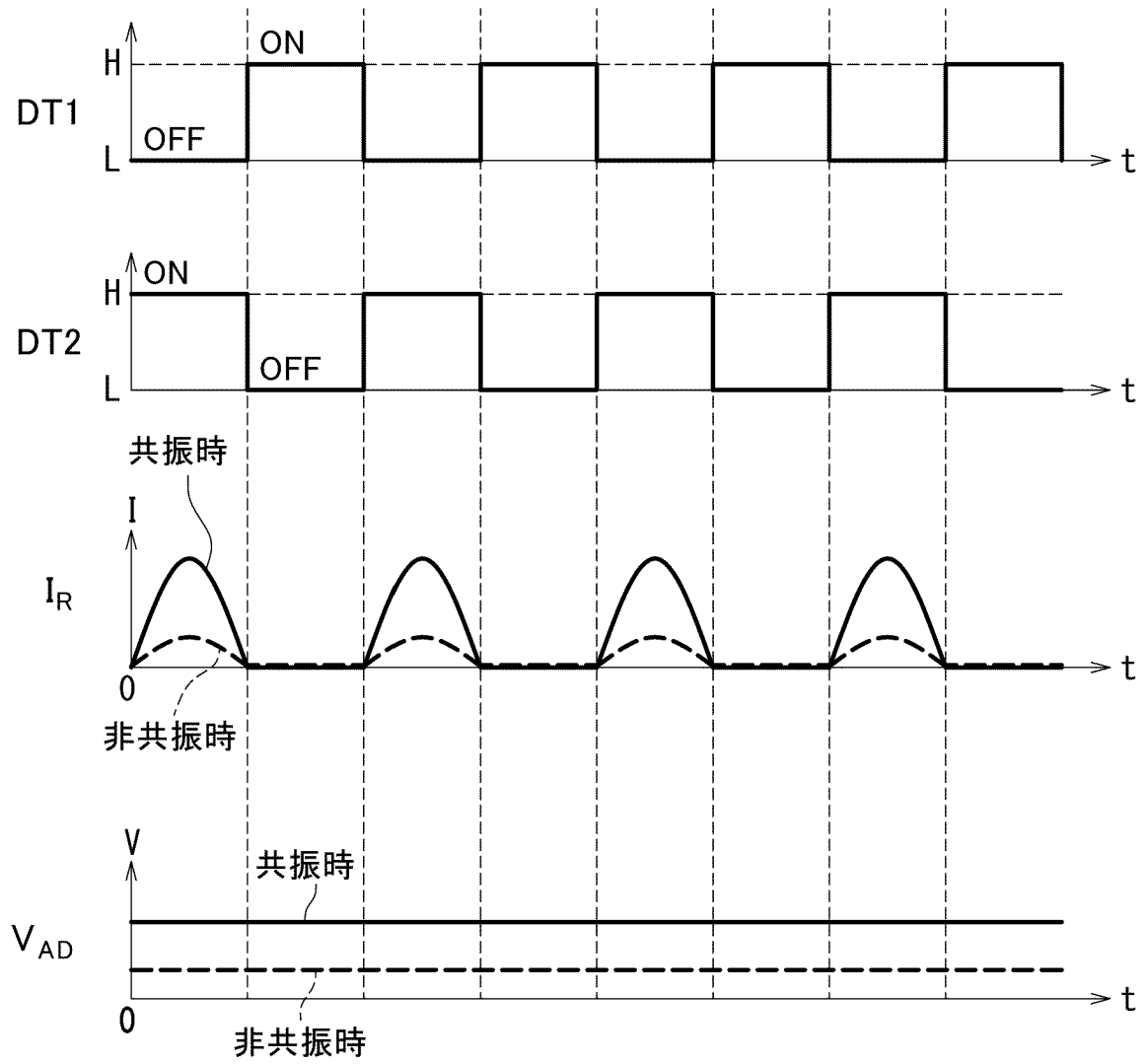
[図4]

図4



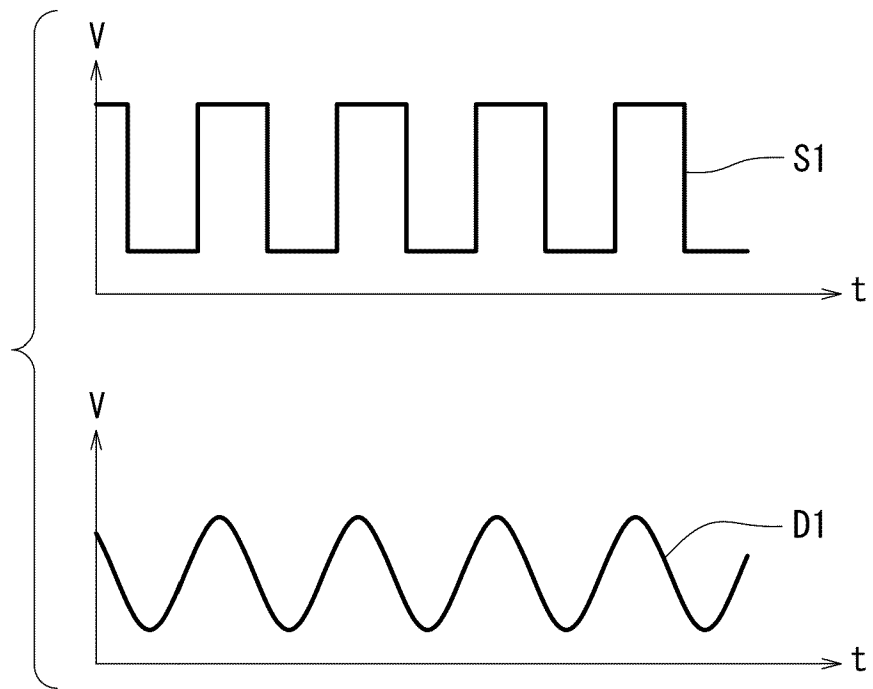
[図5]

図5



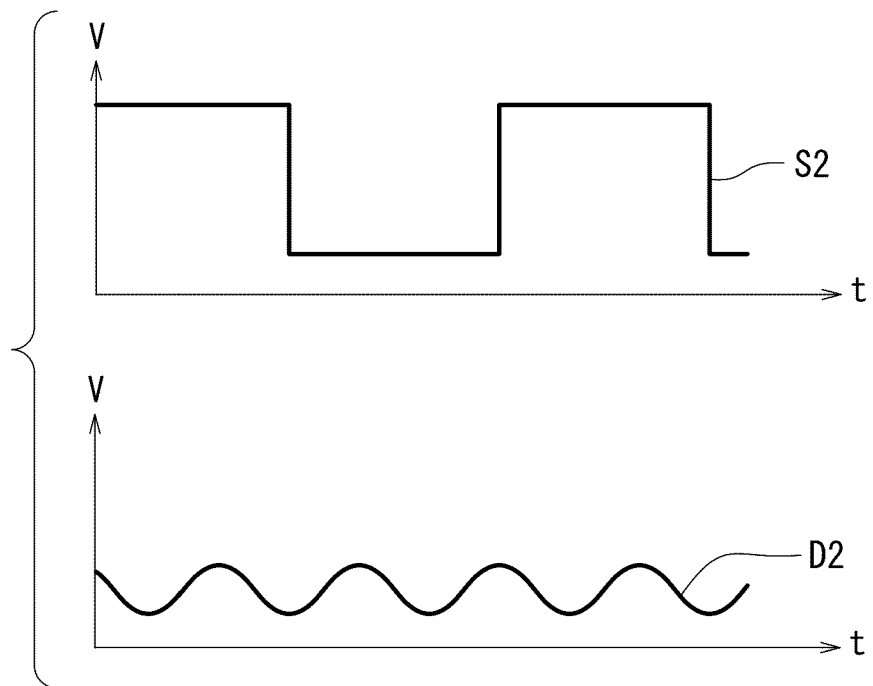
[図6A]

図6A



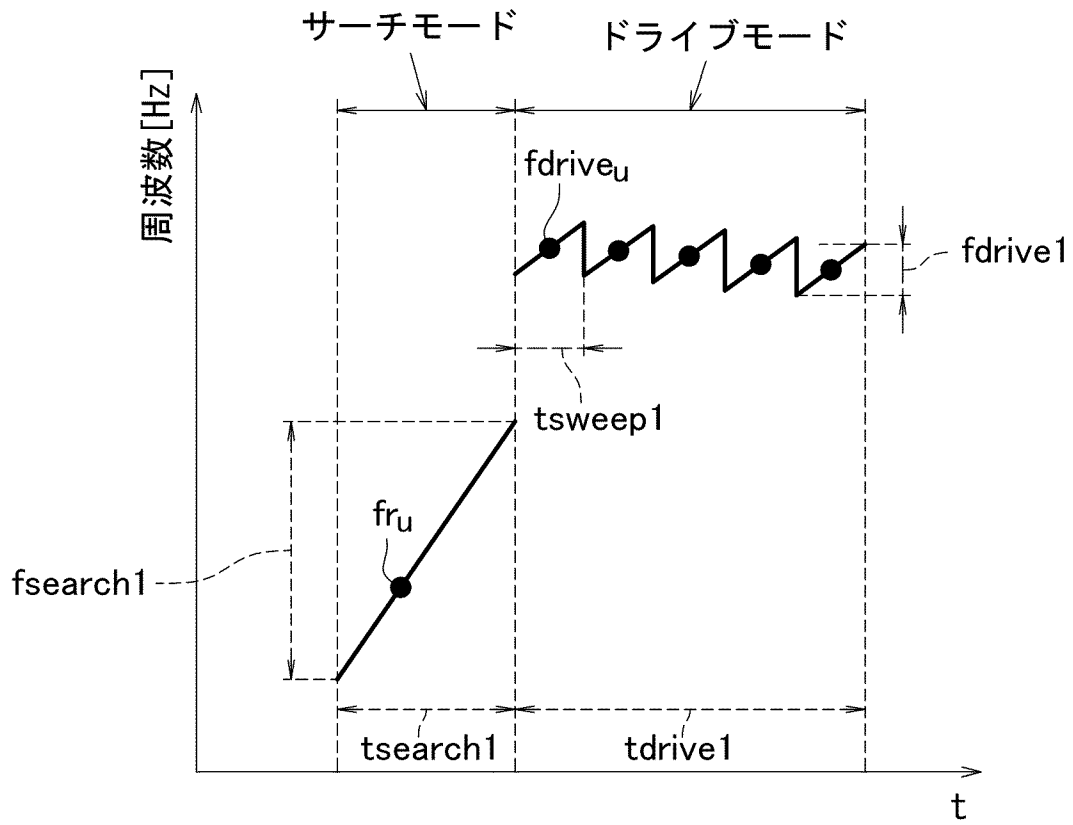
[図6B]

図6B



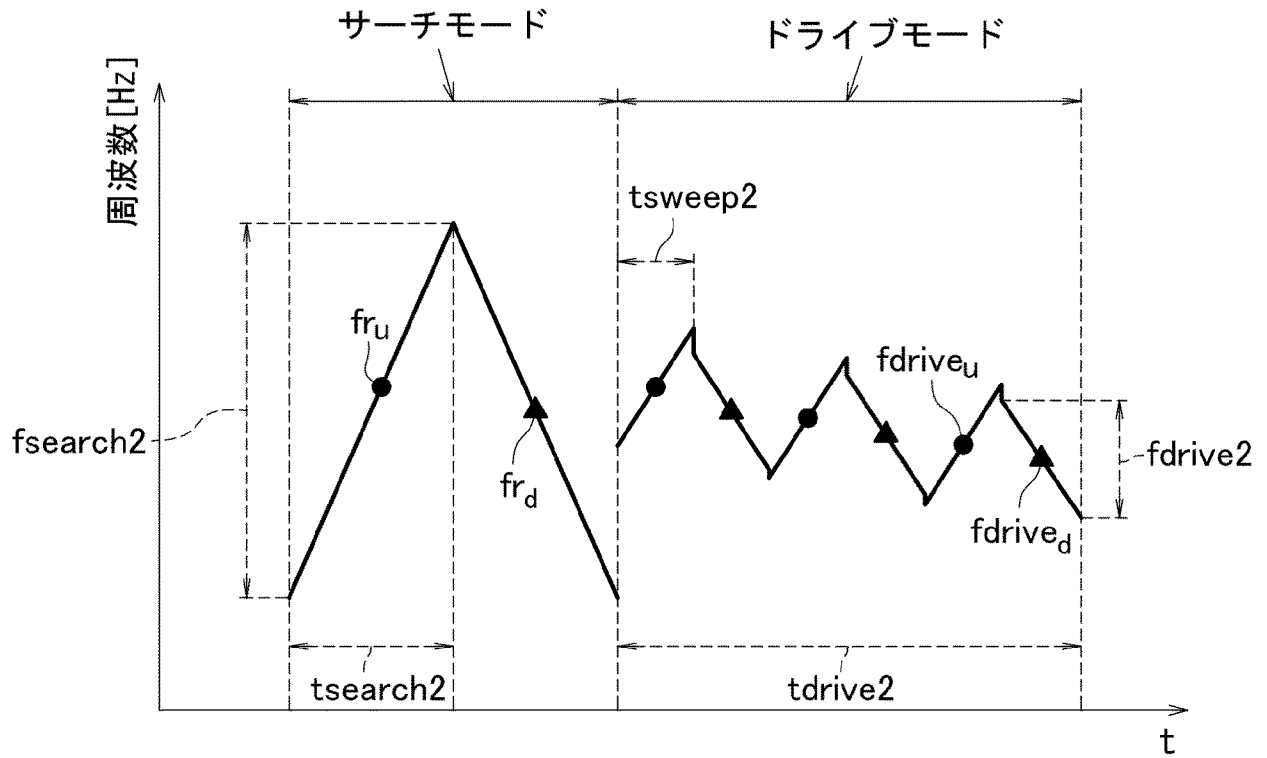
[図7A]

図7A



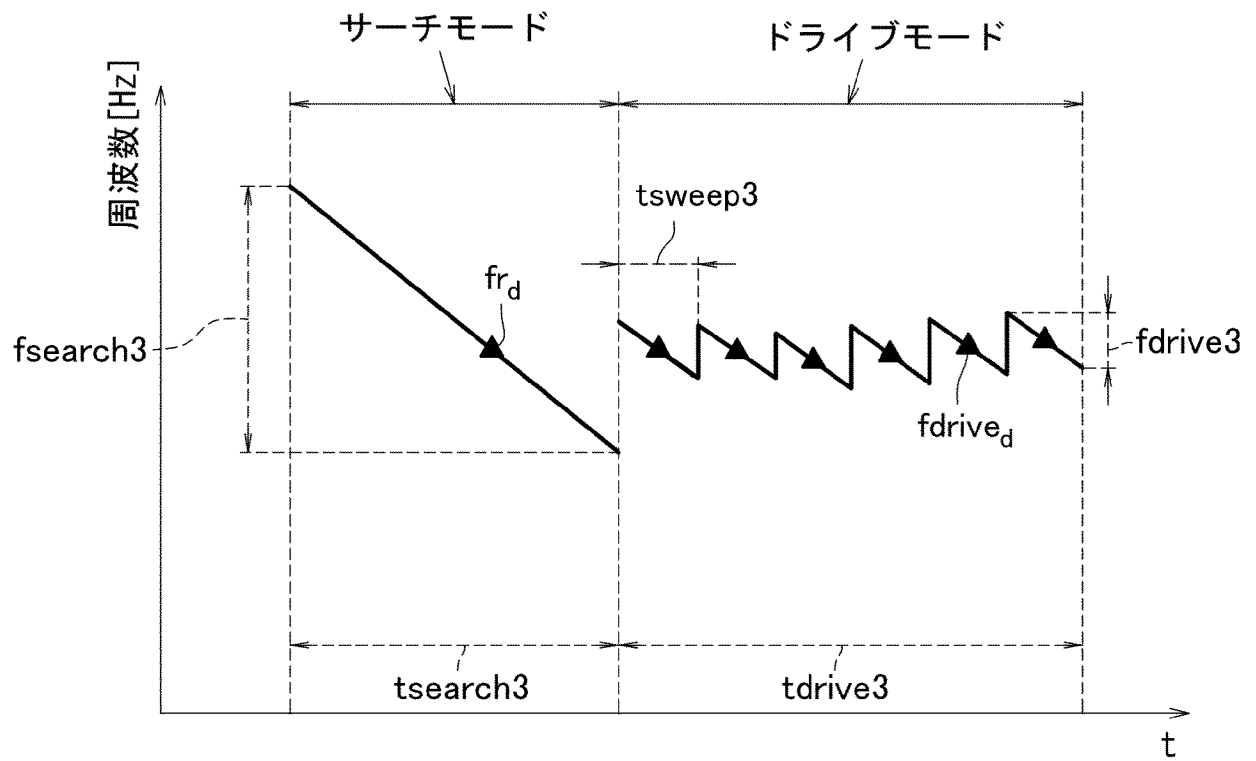
[図7B]

図7B



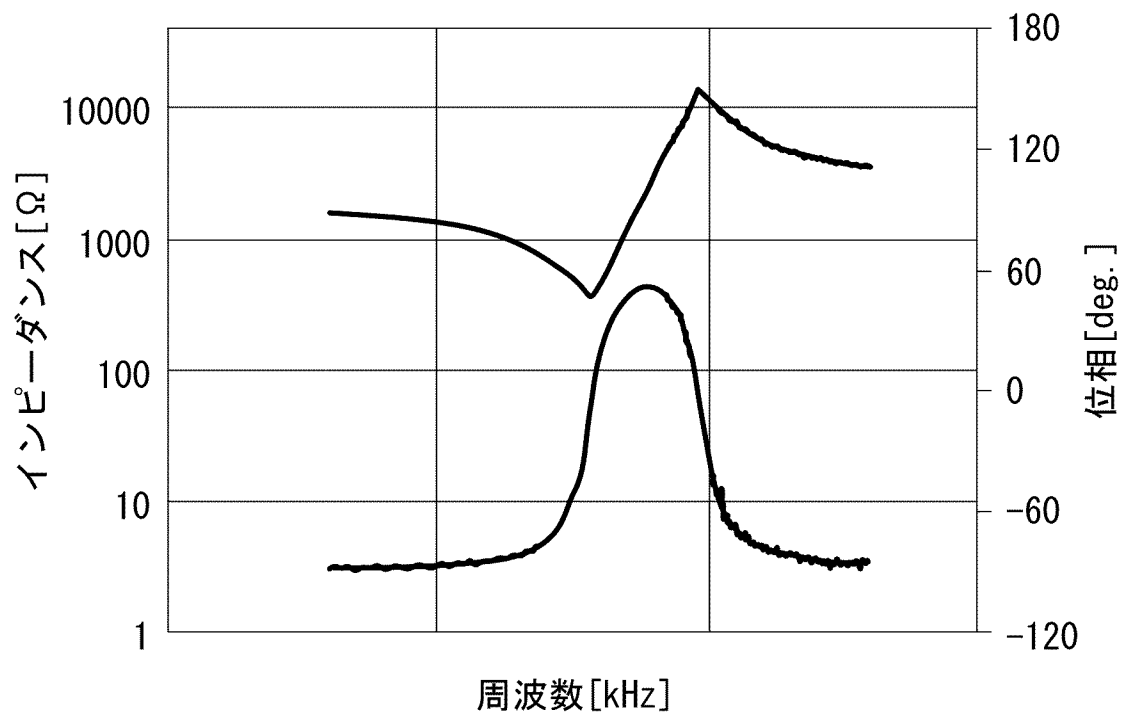
[図7C]

図7C



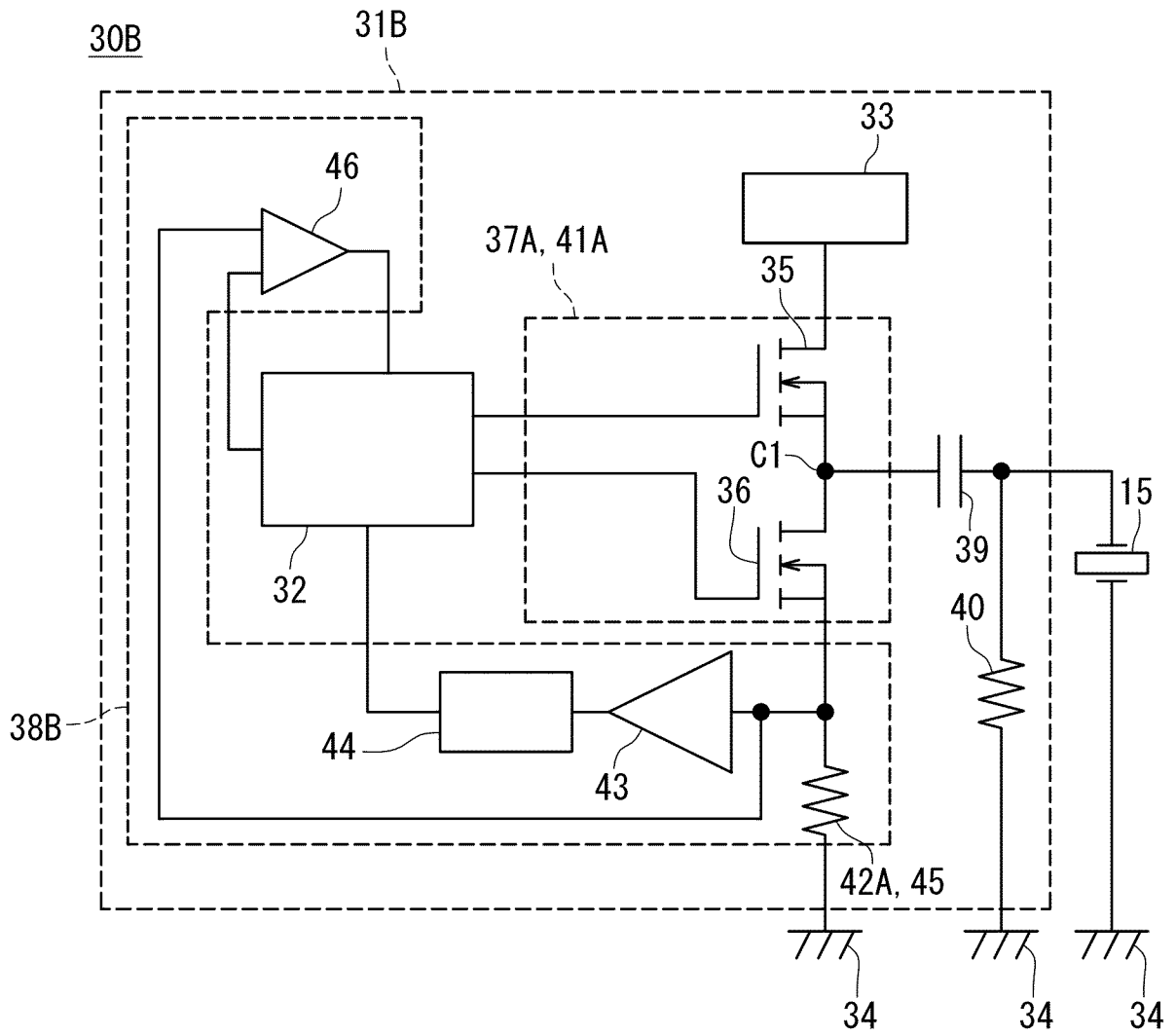
[図8]

図8



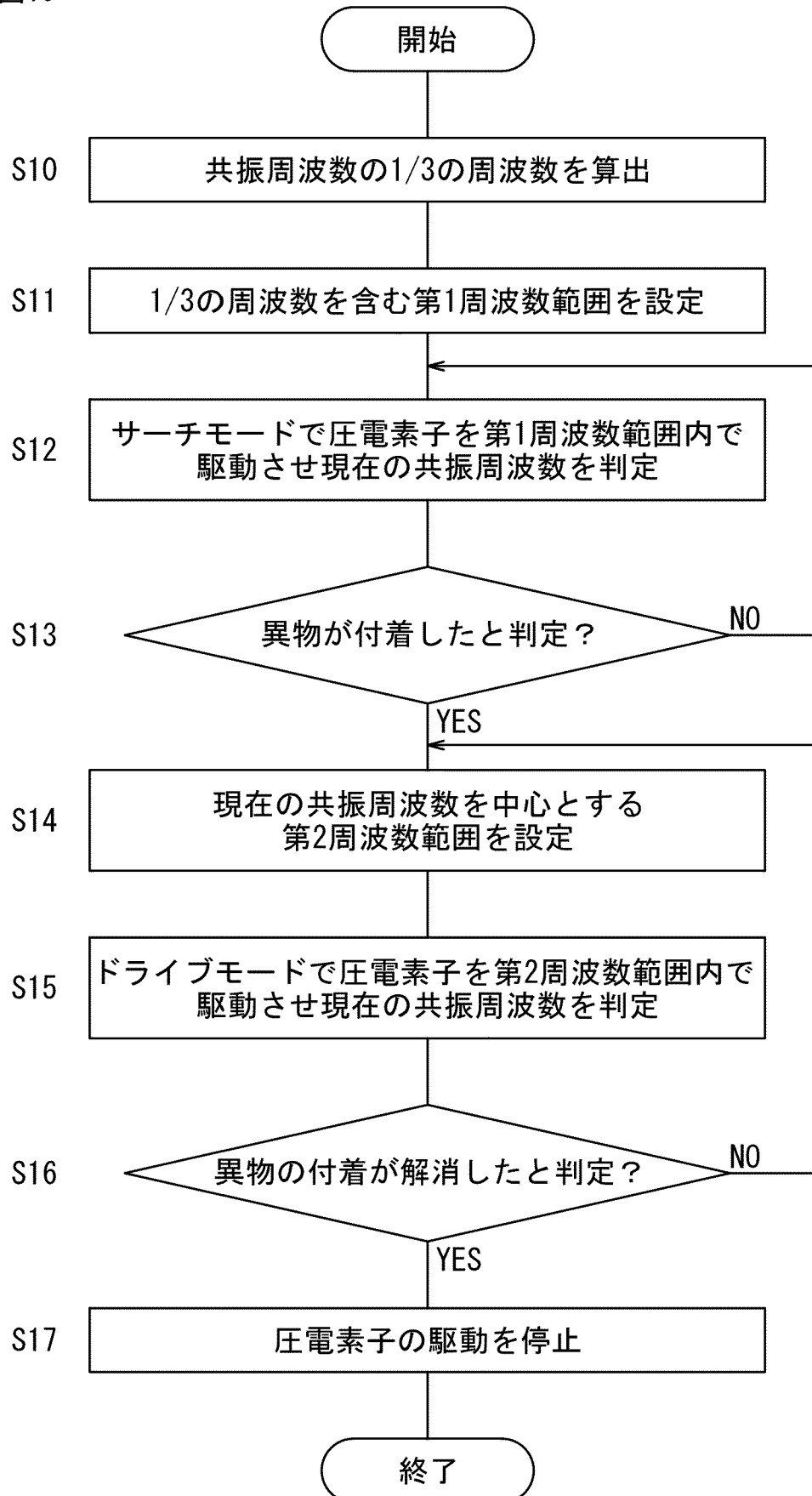
[図9]

図9



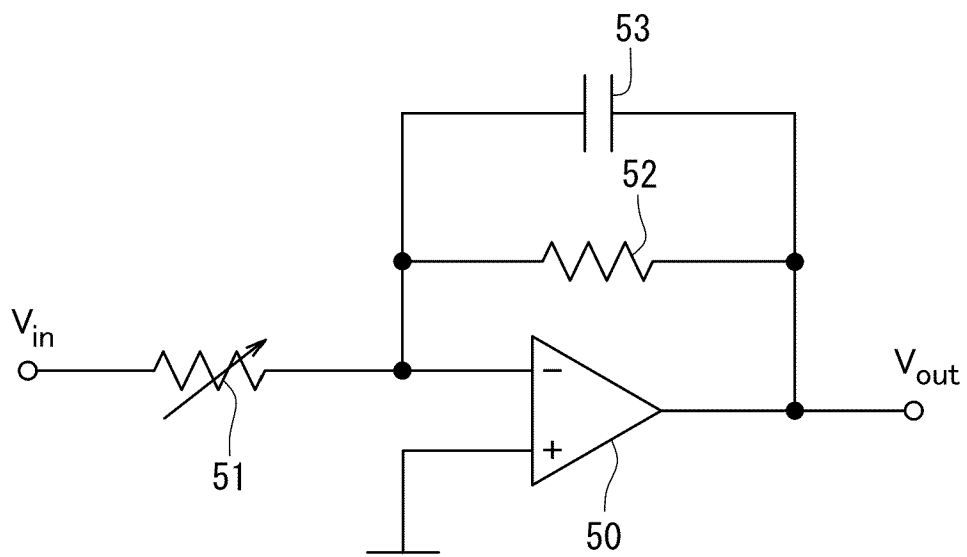
[図10]

図10



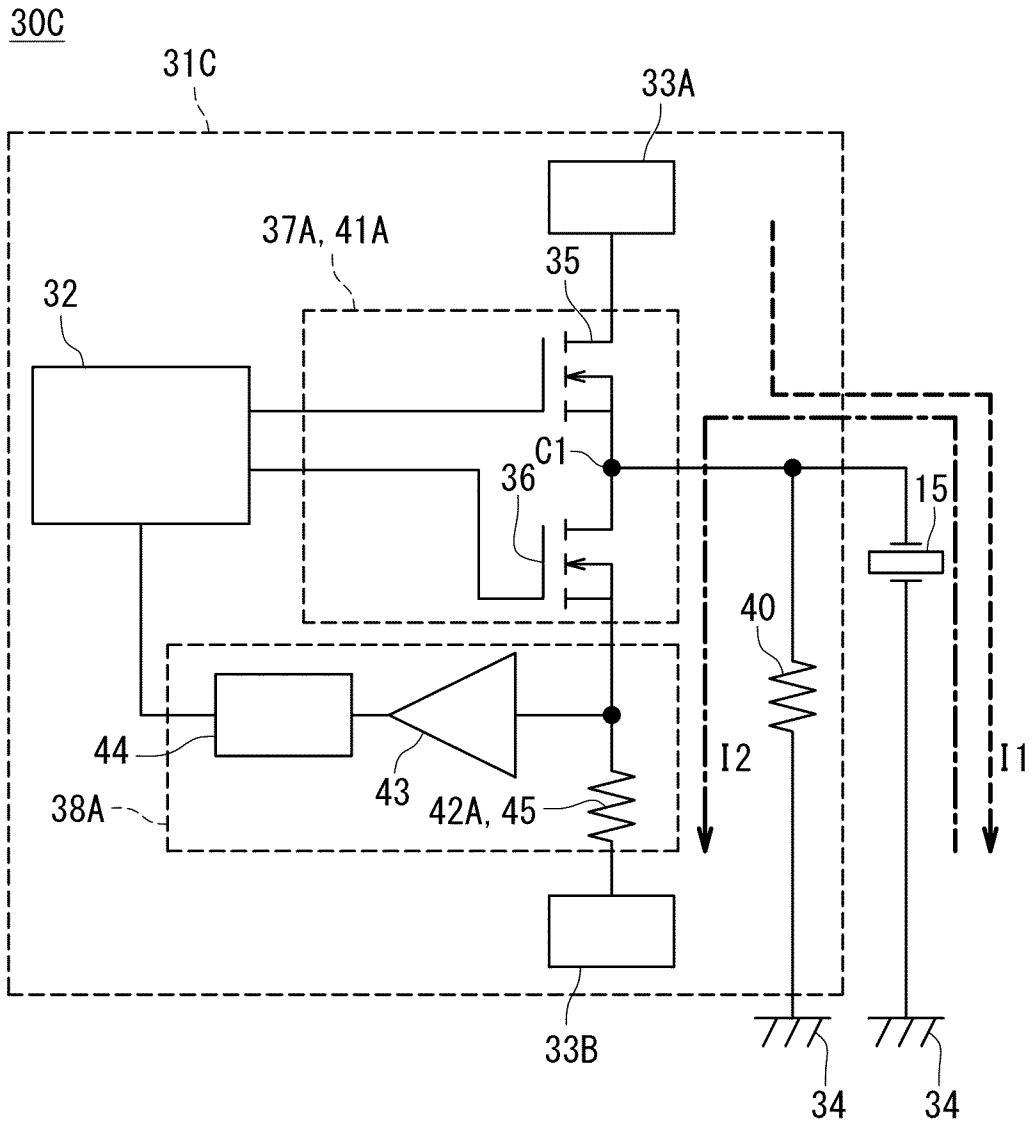
[図11]

図11



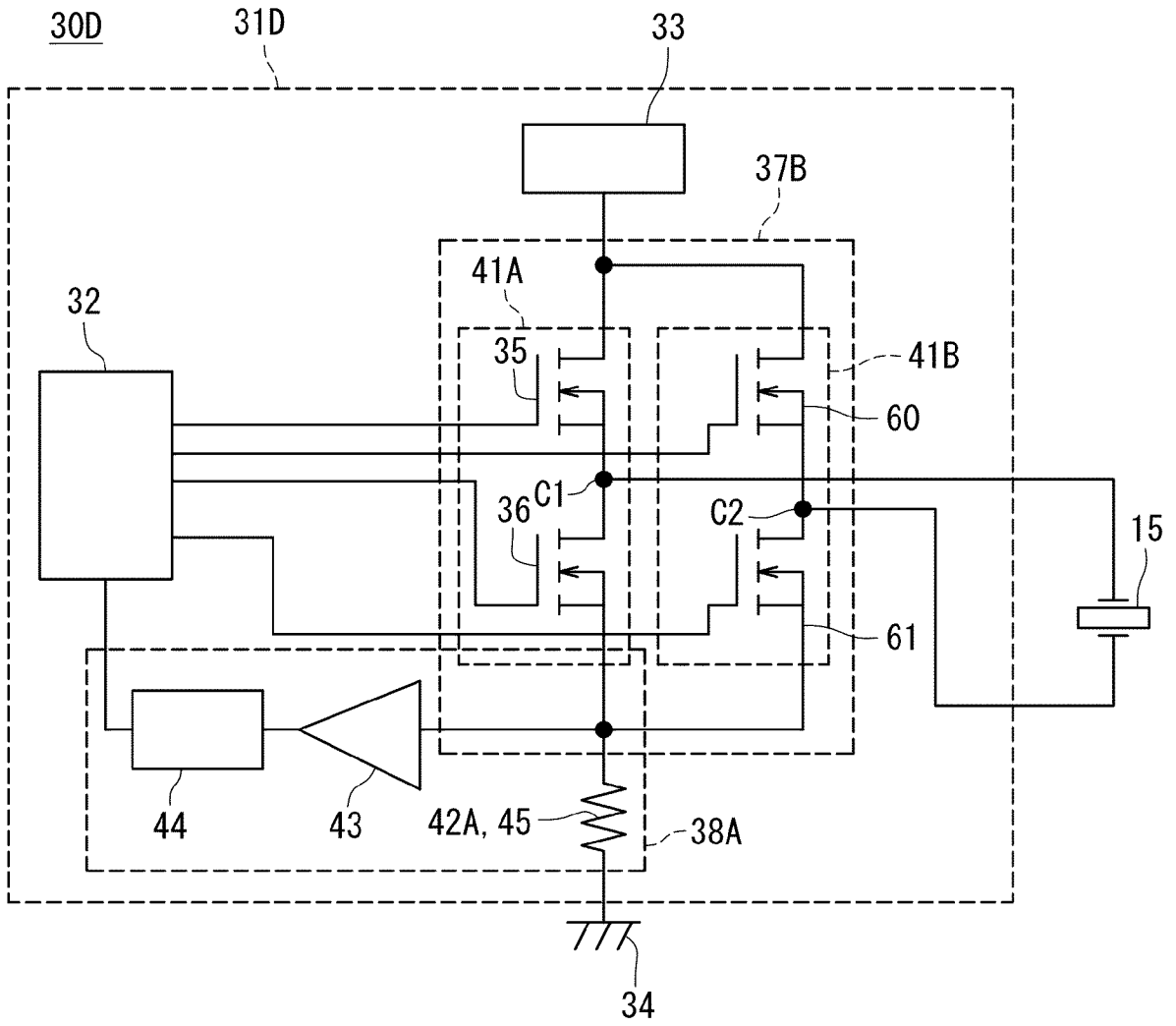
[図12]

図12



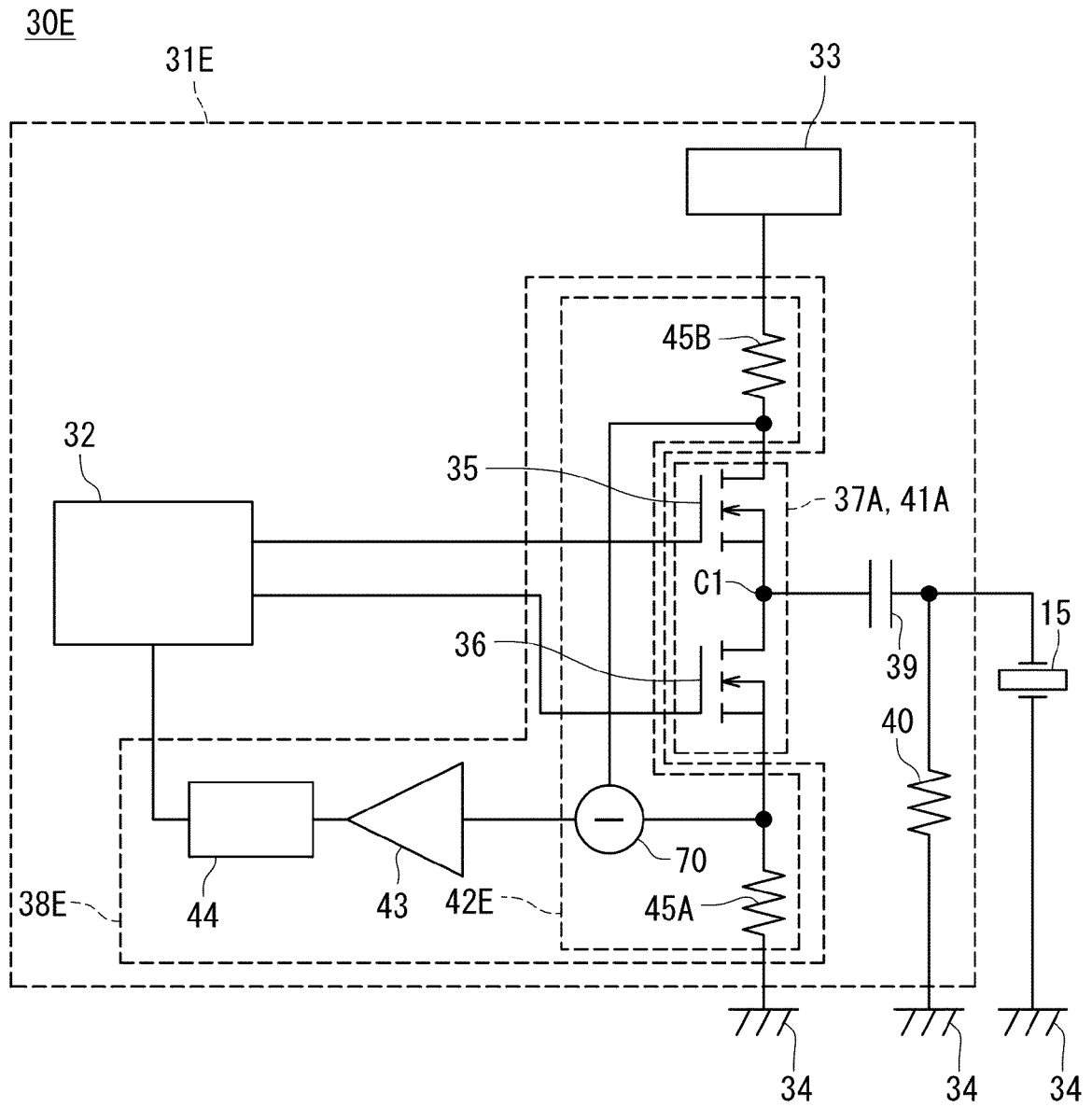
[図13]

図13



[図14]

図14



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/024577

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<b>H01L 41/04</b> (2006.01)i; <b>B06B 1/06</b> (2006.01)i; <b>H01L 41/09</b> (2006.01)i; <b>H01L 41/187</b> (2006.01)i FI: H01L41/04; H01L41/09; H01L41/187; B06B1/06 A		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L41/04; B06B1/06; H01L41/09; H01L41/187		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	US 2016/0266379 A1 (TEXAS INSTRUMENTS INC.) 15 September 2016 (2016-09-15) paragraphs [0016]-[0031], fig. 1, 2	1-3, 5-8, 13-16 4, 9-12
Y	JP 2000-295055 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND. CO., LTD.) 20 October 2000 (2000-10-20) paragraphs [0029]-[0032], fig. 1	1-3, 5-8, 13-16
Y	WO 2005/080793 A1 (NEC CORP.) 01 September 2005 (2005-09-01) paragraphs [0053]-[0054], fig. 8	1-3, 5-8, 13-16
Y	JP 2014-049979 A (CANON INC.) 17 March 2014 (2014-03-17) paragraph [0015], fig. 3	2, 3, 5-8, 13-16
Y	JP 8-146056 A (AKAI ELECTRIC CO., LTD.) 07 June 1996 (1996-06-07) paragraphs [0026]-[0027], fig. 6	6-8, 13-16
Y	JP 2012-249492 A (FUJITSU SEMICONDUCTOR LTD.) 13 December 2012 (2012-12-13) paragraphs [0018]-[0025], fig. 2	7, 8, 13-16
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>23 August 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>30 August 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2022/024577**

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2006/004108 A1 (SEIKO EPSON CORP.) 12 January 2006 (2006-01-12) paragraph [0041], fig. 6	8, 13-16
.....		

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2022/024577**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2016/0266379	A1	15 September 2016	(Family: none)	
JP	2000-295055	A	20 October 2000	EP 1093222	A1 paragraphs [0031]-[0036], fig. 1
				WO 2000/060736	A1
				CA 2333742	A
				KR 10-2001-0043939	A
WO	2005/080793	A1	01 September 2005	US 2007/0242427	A1 paragraphs [0101]-[0102], fig. 8
				CN 1922401	A
JP	2014-049979	A	17 March 2014	US 2014/0061495	A1 paragraph [0028], fig. 3
JP	8-146056	A	07 June 1996	(Family: none)	
JP	2012-249492	A	13 December 2012	US 2012/0306469	A1 paragraphs [0025]-[0032], fig. 2
WO	2006/004108	A1	12 January 2006	US 2007/0188048	A1 paragraphs [0109]-[0110], fig. 6
				EP 1786091	A1
				CN 1981427	A

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 41/04(2006.01)i; B06B 1/06(2006.01)i; H01L 41/09(2006.01)i; H01L 41/187(2006.01)i FI: H01L41/04; H01L41/09; H01L41/187; B06B1/06 A		
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）） H01L41/04; B06B1/06; H01L41/09; H01L41/187 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 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022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
Y A	US 2016/0266379 A1 (TEXAS INSTRUMENTS INC) 15.09.2016 (2016 - 09 - 15) [0016]-[0031], FIGS.1, 2	1-3, 5-8, 13-16 4, 9-12
Y	JP 2000-295055 A (松下電器産業株式会社) 20.10.2000 (2000 - 10 - 20) [0029]-[0032], 図1	1-3, 5-8, 13-16
Y	WO 2005/080793 A1 (日本電気株式会社) 01.09.2005 (2005 - 09 - 01) [0053]-[0054], 図8	1-3, 5-8, 13-16
Y	JP 2014-049979 A (キヤノン株式会社) 17.03.2014 (2014 - 03 - 17) [0015], 図3	2, 3, 5-8, 13-16
Y	JP 8-146056 A (赤井電機株式会社) 07.06.1996 (1996 - 06 - 07) [0026]-[0027], 図6	6-8, 13-16
Y	JP 2012-249492 A (富士通セミコンダクター株式会社) 13.12.2012 (2012 - 12 - 13) [0018]-[0025], 図2	7, 8, 13-16
Y	WO 2006/004108 A1 (セイコーエプソン株式会社) 12.01.2006 (2006 - 01 - 12) [0041], 図6	8, 13-16
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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、一般的な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抵触するものではなく、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	国際調査報告の発送日	
23.08.2022	30.08.2022	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  加藤 俊哉 5F 9554  電話番号 03-3581-1101 内線 3516	

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/024577

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
US	2016/0266379	A1	15.09.2016	(ファミリーなし)			
JP	2000-295055	A	20.10.2000	EP	1093222	A1	
				[0031]-[0036], FIG. 1			
				WO	2000/060736	A1	
				CA	2333742	A	
				KR	10-2001-0043939	A	
WO	2005/080793	A1	01.09.2005	US	2007/0242427	A1	
				[0101]-[0102], FIG. 8			
				CN	1922401	A	
JP	2014-049979	A	17.03.2014	US	2014/0061495	A1	
				[0028], FIG. 3			
JP	8-146056	A	07.06.1996	(ファミリーなし)			
JP	2012-249492	A	13.12.2012	US	2012/0306469	A1	
				[0025]-[0032], FIG. 2			
WO	2006/004108	A1	12.01.2006	US	2007/0188048	A1	
				[0109]-[0110], FIG. 6			
				EP	1786091	A1	
				CN	1981427	A	