

(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2月19日(19.02.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/022794 A1

- (51) 国際特許分類:
H02N 2/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/063319
- (22) 国際出願日: 2014年5月20日(20.05.2014)
- (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 2013-168141 2013年8月13日(13.08.2013) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東北大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP). 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10番1号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 榎原 幹十郎(MAKIHARA, Kanjuro); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1

号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 坂口仁志(SAKAGUCHI, Hitoshi); 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 堀口 睦弘(HORIGUCHI, Chikahiro); 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).

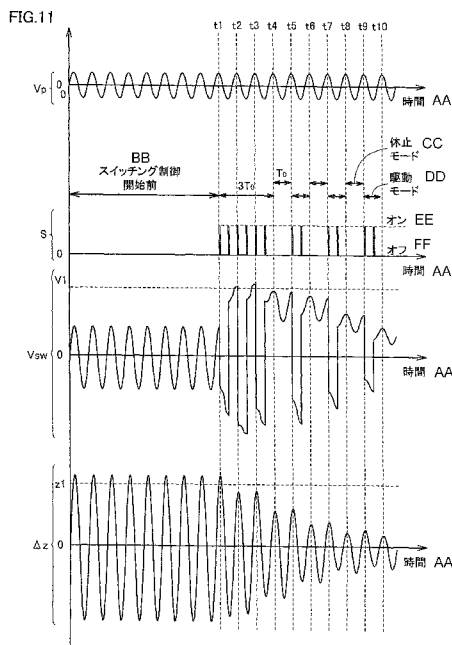
(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所(FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー Osaka (JP).

(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, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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,

[続葉有]

(54) Title: POWER GENERATING APPARATUS

(54) 発明の名称: 発電装置



AA Time
 BB Prior to starting switching control
 CC Stop mode
 DD Drive mode
 EE On
 FF Off

(57) Abstract: A power generating apparatus (100) is provided with a power generating unit (1), an inductor (L), a switch (SW) connected in series to the inductor (L), and a control circuit (3). The power generating unit (1) includes a piezoelectric element (11), and an upper electrode (112) and a lower electrode (113), which are formed on a surface of the piezoelectric element (11). The inductor (L) is electrically connected in parallel to the upper electrode (112) and the lower electrode (113), and constitutes a resonant circuit with a capacitance component of the piezoelectric element (11). The control circuit (3) has drive mode, in which the switch (SW) is brought into the on-state in synchronization with timing when a voltage generated in the piezoelectric element (11) is at an extreme value, and stop mode, in which the switch (SW) is brought into the off-state at the timing when the voltage is at an extreme value. In the cases where frequency of vibration is the natural frequency of the power generating unit, the control circuit (3) inserts a control in the stop mode during a time when control in the drive mode is being performed.

(57) 要約: 発電装置(100)は、発電部(1)と、インダクタ(L)と、インダクタ(L)に直列に接続されたスイッチ(SW)と、制御回路(3)と、を備える。発電部(1)は、圧電素子(11)と、圧電素子(11)の表面に形成された上部電極(112)および下部電極(113)と、を含む。インダクタ(L)は、上部電極(112)および下部電極(113)に並列に電氣的に接続されて、圧電素子(11)の容量成分と共振回路を構成する。制御回路(3)は、圧電素子(11)に発生した電圧が極値を取るタイミングに同期してスイッチ(SW)をオンの状態とする駆動モードと、上記極値を取るタイミングにおいてスイッチ(SW)をオフの状態とする休止モードとを有する。制御回路(3)は、振動の振動数が発電部の固有振動数である場合に、駆動モードによる制御中に休止モードによる制御を挿入する。

WO 2015/022794 A1



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, 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))

明 細 書

発明の名称：発電装置

技術分野

[0001] 本発明は、発電装置に関し、特に圧電体を備える発電装置に関する。

背景技術

[0002] 圧電体の圧電効果を利用して発電する技術が開発されている。たとえば特開2012-254005号公報（特許文献1）に開示された発電装置は、圧電材料によって形成された圧電部材と、圧電部材に設けられた一对の電極と、圧電部材を繰り返し変形させる変形部材と、一对の電極の間に設けられ、圧電部材の容量成分と共振回路を構成するインダクタと、インダクタに対して直列に接続されたスイッチと、圧電部材の電圧を検出する電圧検出部と、電圧検出部で検出される第1電圧が極大値または極小値であるかを判断する制御部と、を備える。

[0003] 圧電効果を利用する発電装置は他にも、たとえば特開2012-175712号公報（特許文献2）、特開2012-105518号公報（特許文献3）、特開2012-110143号公報（特許文献4）、米国特許出願公開第2010/0079034号明細書（特許文献5）、特開2012-65533号公報（特許文献6）、およびYogesh K. Ramadass et al., "An Efficient Piezoelectric Energy Harvesting Interface Circuit Using a Bias-Flip Rectifier and Shared Inductor", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL 45, No.1, JANUARY 2010（非特許文献1）に開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0004] 特許文献1：特開2012-254005号公報
特許文献2：特開2012-175712号公報
特許文献3：特開2012-105518号公報

特許文献4：特開2012-110143号公報

特許文献5：米国特許出願公開第2010/0079034号明細書

特許文献6：特開2012-65533号公報

非特許文献

- [0005] 非特許文献1：Yogesh K. Ramadass et al., "An Efficient Piezoelectric Energy Harvesting Interface Circuit Using a Bias-Flip Rectifier and Shared Inductor", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL 45, No.1, JANUARY 2010

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] 圧電体に電荷が生じると、逆圧電効果によって機械的な力が発生する。この力は、圧電体に生じた電荷分布の状態に応じて、圧電体の振動を妨げる方向に働き得る。また、この力の大きさは圧電体に生じた電荷量に比例する。圧電の振動の振幅の増加に伴って、圧電体に生じる電荷の量が増えるが、一方で逆圧電効果によって発生する力も増加する。このために、発電装置の発電量が低下するという課題が生じ得る。
- [0007] 本発明の目的は、圧電体を備えた発電装置において、高い発電効率を得ることである。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明のある局面に従う発電装置は、外部から加えられる振動によって発電する発電部を備える。発電部は、前記振動によって変形して、変形量に応じた電圧を発生させる圧電体と、圧電体の表面に形成された一対の電極と、を含む。発電装置は、インダクタと、インダクタに直列に接続されたスイッチと、スイッチを制御する制御回路と、をさらに備える。インダクタは、一対の電極に並列に電氣的に接続されて、圧電体の容量成分と共振回路を構成する。制御回路は、圧電体に発生した電圧が極値を取るタイミングに同期してスイッチをオンの状態とする第1の制御モードと、上記極値を取るタイミ

ングにおいてスイッチをオフの状態とする第2の制御モードとを有する。制御回路は、上記振動の振動数が発電部の固有振動数である場合に、第1の制御モードによる制御中に第2の制御モードによる制御を挿入する。

[0009] 好ましくは、制御回路は、第1の制御モードにおいて、共振回路の共振周期の1/2の奇数倍の期間、スイッチをオンの状態とする。

[0010] 好ましくは、発電装置は、一对の電極間に並列に接続され、一对の電極間の電圧を整流する整流回路と、整流回路により整流された電圧を蓄える蓄電部と、をさらに備える。

[0011] 好ましくは、発電装置は、一对の電極間の電圧を検出する電圧検出部をさらに備える。制御回路は、電圧検出部により検出された電圧の振幅が所定の基準値を下回った場合に、第2の制御モードによる制御を挿入する。

[0012] 好ましくは、発電装置は、発電部の変位を検出する変位検出部をさらに備える。制御回路は、変位検出部により検出された変位の振幅が所定の基準値を下回った場合に、第2の制御モードによる制御を挿入する。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、圧電体を備えた発電装置の発電効率を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の実施の形態1に係る発電装置の構成を概略的に示す回路図である。

[図2A]図1に示す発電部の構成を概略的に示す斜視図である。

[図2B]図1に示す発電部の構成を概略的に示す分解図である。

[図3]図1に示す発電部が振動する様子を説明するための図である。

[図4]図1に示す制御回路によるスイッチング制御を説明するための図である。

[図5]図4に示すスイッチング制御における共振回路の共振を説明するための図である。

[図6]錘の変位の振幅の振動数依存性を示す図である。

[図7]発電部に加えられる振動の振動数が固有振動数と異なる場合における電圧および錘の変位を示す図である。

[図8]発電部に固有振動数の振動が加えられた場合における電圧および錘の変位を示す図である。

[図9]制動効果が電圧の振幅に及ぼす影響の振動数依存性を示す図である。

[図10]制動効果が錘の変位の振幅に及ぼす影響の振動数依存性を示す図である。

[図11]本発明の実施の形態1に係る発電装置において、発電部の固有振動数におけるスイッチング制御を説明するための図である。

[図12]本発明の実施の形態2に係る発電装置において、発電部の固有振動数におけるスイッチング制御を説明するための図である。

[図13A]図1に示す蓄電部に蓄えられる静電エネルギーを比較する条件を示す図である。

[図13B]図1に示す蓄電部に蓄えられる静電エネルギーを比較するための図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下において、本発明の実施の形態について図面を参照して詳しく説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付して、その説明は繰り返さない。

[0016] [実施の形態1]

<発電装置の構成>

図1は、本発明の実施の形態1に係る発電装置の構成を概略的に示す回路図である。図2Aは、図1に示す発電部の構成を概略的に示す斜視図である。図2Bは、図1に示す発電部の構成を概略的に示す分解図である。図3は、図1に示す発電部1が振動する様子を説明するための図である。

[0017] 図1～図3を参照して、発電装置100は、発電部1と、インダクタLと、電圧検出部2と、制御回路3と、スイッチSWと、整流回路4と、蓄電部5と、出力端子T1、T2と、変位検出部6と、を備える。

- [0018] 発電部 1 は、発電部 1 に振動を加えるための加振器 200 上に設けられている。発電部 1 は、加振器 200 から加えられる振動によって発電する。発電部 1 は、圧電素子 11 と、金属板 12 と、支持部 13 と、錘 14 と、を含む。
- [0019] 圧電素子 11 は、たとえばユニモルフ型の圧電素子である。圧電体 111 の一方の面には金属板 12 が接着されている。圧電素子 11 は、圧電体 111 と、上部電極 112 と、下部電極 113 と、を有する。
- [0020] 圧電体 111 は、薄い板状に形成された圧電材料である。圧電材料には、たとえばチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT)、水晶 (SiO_2)、または酸化亜鉛 (ZnO) を用いることができる。上部電極 112 および下部電極 113 は、圧電体 111 を間に挟むように圧電体 111 の表面に形成されている。なお、上部電極 112 および下部電極 113 は、本発明に係る「一对の電極」に相当する。
- [0021] 圧電素子 11 は、たとえば片持ち梁構造 (カンチレバー構造) を有する。つまり、圧電素子 11 の一方端は固定端であって、支持部 13 に取り付けられている。支持部 13 は加振器 200 上に固定されている。圧電素子 11 の他方端は自由端であって、錘 14 が取り付けられている。
- [0022] 発電部 1 には、加振器 200 によって鉛直方向 (z 方向) の振動が加えられる (図中矢印 AR1 で示す)。これにより、錘 14 は z 方向に振動する (図中矢印 AR2 で示す)。振動が加えられていない状態における錘 14 の位置を基準として、錘 14 の変位を Δz で表す。圧電体 111 は錘 14 の振動に伴って変形する。その結果として、上部電極 112 と下部電極 113 との間には、圧電効果によって圧電体 111 の変形量に応じた電圧 V_p が発生する。
- [0023] 図 1 に示すように、圧電素子 11 は、電圧源 V とコンデンサ C とが並列に接続された等価回路で表される。電圧源 V は電圧 V_p を発生させる。コンデンサ C は、圧電体 111 の容量成分に相当する。なお、圧電素子 11 は上記の等価回路で表されるものに限らない。

- [0024] インダクタLはコンデンサCに並列に接続される。言い換えると、コンデンサCは、上部電極112と下部電極113との間に並列に電氣的に接続される。これにより、インダクタLはコンデンサCとLC共振回路を構成している。
- [0025] 電圧検出部2はコンデンサCに並列に接続される。電圧検出部2は、たとえばA/Dコンバータ（図示せず）を含む。電圧検出部2は、上部電極112と下部電極113との間の電圧 V_{sw} を検出して、検出した電圧 V_{sw} の値を制御回路3に出力する。
- [0026] 制御回路3は、たとえばマイクロコンピュータである。制御回路3は、電圧検出部2から受けた電圧 V_{sw} の値に基づいて、導通信号SをスイッチSWに出力する。
- [0027] スイッチSWはインダクタLに直列に接続される。スイッチSWは、制御回路3からの導通信号Sに応答して、オフの状態からオンの状態に切り替わる。
- [0028] 整流回路4はコンデンサCに並列に接続される。整流回路4は、たとえばブリッジ型全波整流回路を構成するダイオードD1～D4を含む。整流回路4により整流された電圧 V_{out} は、出力端子T1, T2間に出力される。
- [0029] 蓄電部5は出力端子T1, T2間に並列に接続される。蓄電部5は、整流回路4により整流された電圧を蓄える。蓄電部5には、たとえば周知の二次電池、キャパシタ、またはコンデンサを用いることができる。
- [0030] 変位検出部6は、たとえば錘14のz方向上方に設けられる。変位検出部6は、錘14の変位 Δz を電氣的または光学的に測定して、変位 Δz の値を制御回路3に出力する。
- [0031] たとえば、圧電素子11において、上部電極112および下部電極113の一部に切り欠き部分を設けることができる。これにより、上記切り欠き部分は、圧電素子11の発電するための部分と電氣的に分離される。圧電素子11が振動するに伴って、上記切り欠き部分には、圧電素子11に生じた歪に対応する電圧が現れる。この電圧を検出することで、圧電素子11の変位

の検出の代用が可能である。また、光学的に変位 Δz を測定するために、たとえばレーザ変位計を使用してもよい。

[0032] <制御回路によるスイッチング制御>

図4は、図1に示す制御回路3によるスイッチング制御を説明するための図である。図4を参照して、横軸は時間軸である。発電部1に振動を加え始める時刻を0とする。縦軸は、電圧 V_p 、導通信号 S 、および電圧 V_{sw} を表す。図5は、図4に示すスイッチング制御における共振回路の共振を説明するための図である。

[0033] 図4および図5を参照して、発電部1には、たとえば正弦波の振動が加えられる。これにより、電圧源 V は正弦波の電圧 V_p を発生させる。なお、発電部1に加えられる振動は、振動数が一定であって、かつ極値を有するのであれば正弦波に限定されず、たとえばノコギリ波であってもよい。

[0034] 時刻0から時刻 t_1 までの期間、錘14は正の z 方向に変位している。つまり、圧電素子11は、圧電体111の上部電極112側が凹になる方向に変形している(図5(A)参照)。圧電体111の変形で生じた圧電効果によって、圧電体111の上部電極112側の表面には正電荷が蓄えられるとともに、圧電体111の下部電極113側の表面には負電荷が蓄えられる。したがって、コンデンサ C の電圧は正になる(図5(B)参照)。

[0035] 時刻 t_1 において、錘14の変位 Δz の振幅は最大になる。このため、電圧 V_{sw} は極大値を取る。制御回路3は、電圧検出部2から電圧 V_{sw} の値を受ける。制御回路3は、電圧 V_{sw} が極値を取るタイミングすなわち電圧 V_p が極値を取るタイミングに同期して、導通信号 S を出力する。スイッチ SW は、導通信号 S に応答して、オフの状態からオンの状態に切り替わる。(図5(C)参照)。

[0036] インダクタ L とコンデンサ C とは LC 共振回路を構成している。スイッチ SW がオンの状態になると、 LC 共振回路が共振し、コンデンサ C の両端にかかる電圧は反転して交互に正と負との状態をとる。導通信号 S は、この LC 共振回路の共振周期 T_{LC} の $1/2$ の期間だけ出力される。なお、コンデ

ンサCの電圧を反転させるためには、導通信号Sが出力される期間は共振周期 T_{LC} の $1/2$ の奇数倍の期間であればよい。

[0037] 時刻 $(t_1 + T_{LC}/2)$ において、コンデンサCの電圧は負である(図5(D)参照)。この状態は、スイッチSWをオンの状態にする直前の状態と比較して、圧電体111の上部電極112側に蓄えられていた電荷と下部電極113側に蓄えられていた電荷とが入れ替わった状態に対応する。制御回路3によるスイッチング制御によって圧電体111の電荷分布が反転する現象を、本明細書では電荷反転と称する。時刻 t_1 における電荷反転前の電圧 V_{sw} の振幅と、時刻 $(t_1 + T_{LC}/2)$ 参照における電荷反転後の電圧 V_{sw} の振幅とは、理想的には等しい。制御回路3からの導通信号Sの出力が終わると、スイッチSWはオンの状態からオフの状態に戻る(図5(F)参照)。

[0038] 時刻 t_2 において、錘14は負のz方向に変位している。圧電素子11は、圧電体111の下部電極113側が凹になる方向に変形している(図5(G)参照)。圧電体111の変形で生じた圧電効果によって、圧電体111の上部電極112側の表面には新たな負電荷が蓄えられるとともに、圧電体111の下部電極113側の表面には新たな正電荷が蓄えられる(図5(H)参照)。これにより、時刻 t_2 における電圧 V_{sw} の振幅は、時刻 t_1 における電圧 V_{sw} の振幅よりも大きい。

[0039] 制御回路3は、電圧 V_{sw} が極小値を取るタイミングに同期して導通信号Sを出力する。時刻 t_2 以降、時刻 $(t_2 + T_{LC}/2)$ までの期間におけるLC共振回路の共振による効果は、電荷の極性は反対であるが、時刻 t_1 以降、時刻 $(t_1 + T_{LC}/2)$ までの期間における効果と同等であるため、詳細な説明を繰り返さない。

[0040] 時刻 t_2 以降、時刻 t_6 までの期間において、電圧 V_{sw} の振幅は、圧電体111の振動の半周期毎に増加する。これにより、電圧源Vが発生させる電圧 V_p よりも高い電圧 V_{sw} を得ることができる。したがって、スイッチング制御を実行しない場合と比べて、電圧 V_{out} を高くすることができる。

ため、発電装置100の発電量を大きくする可能になる。

[0041] 時刻 t_6 以降の期間において、電圧 V_{sw} の振幅の増加は止まる。その主な原因は、スイッチ SW の導通抵抗による損失およびインダクタ L の内部抵抗による損失である。増加が止まった状態における電圧 V_{sw} の振幅は、時刻 t_1 における電圧 V_{sw} の振幅の4～5倍程度である。

[0042] LC 共振回路の共振周期 T_{LC} は、発電部1に加えられる振動の周期と比べて十分に短い。このため、たとえば圧電体111の上部電極112側が凹になる方向に圧電体111が変形した場合、電荷反転後においても、圧電体111は依然として上部電極112側が凹である。電荷反転が生じると、圧電体111には逆圧電効果によって、下部電極113側が凹になるように変形させるようとする力が発生する(図5(E)参照)。すなわち、この力の向きは、加振器200から加えられた振動による圧電体111の変形を妨げる向きである。このように、逆圧電効果によって発電部1の振動が減衰する効果を、本明細書では電荷反転による制動効果と称する。

[0043] <電荷反転による制動効果>

図6は、錘14の変位 Δz の振幅の振動数依存性を示す図である。図6を参照して、横軸は発電部1に加えられる振動の振動数 f を表す。縦軸は錘14の変位 Δz の振幅を表す。

[0044] 発電部1の固有振動数 f_0 は、たとえば18Hzである。変位 Δz の振幅は、振動数 f が固有振動数 $f_0 = 18\text{Hz}$ に一致する場合に最大値 $600\mu\text{m}$ を取る。一方、振動数 f が固有振動数 f_0 と異なる場合、たとえば振動数 f が15Hzの場合、変位 Δz の振幅は $40\mu\text{m}$ である。

[0045] このように、変位 Δz の振幅は、発電部1に加えられる振動の振動数 f が発電部1の固有振動数 f_0 に一致する場合に著しく大きい。したがって、最大の発電量を得るためには、発電部1に固有振動数 f_0 の振動を加えることが望ましいとも考えられる。しかしながら、以下に詳細に説明するように、電荷反転による制動効果に起因して、振動数 f が固有振動数 f_0 に一致する場合と異なる場合とでは、電圧 V_{sw} および錘14の変位 Δz の挙動が大きい

く異なる。

[0046] 図7は、発電部1に加えられる振動の振動数 f が固有振動数 f_0 と異なる場合における電圧 V_{sw} および錘14の変位 Δz を示す図である。図8は、発電部1に加えられる振動の振動数 f が固有振動数 f_0 に一致する場合における電圧 V_{sw} および錘14の変位 Δz を示す図である。図7および図8を参照して、横軸は時間軸である。縦軸は、電圧 V_p 、導通信号 S 、電圧 V_{sw} 、および変位 Δz を表す。

[0047] 図7を参照して、発電部1には固有振動数 f_0 と異なる15Hzの正弦波の振動が加えられる。これにより、電圧源 V は15Hzの正弦波の電圧 V_p を発生させる。

[0048] 時刻 t_1 において、制御回路3によるスイッチング制御が開始される。制御回路3は、電圧 V_p が極値を取るタイミングに同期して導通信号 S を出力する。

[0049] 時刻 t_1 から4周期だけ経過した時刻 t_2 において、電圧 V_{sw} の振幅は、スイッチング制御の開始前の振幅の約3倍である。このように、電圧 V_{sw} の振幅は、スイッチング制御の開始から数周期の間、次第に増加する。時刻 t_2 以降、電圧 V_{sw} の振幅はほぼ一定に保たれる。

[0050] 一方、錘14の変位 Δz の振幅は、スイッチ SW のスイッチング制御の有無に関わらず、ほとんど変化しない。この結果から、発電部1に加えられる振動の振動数 f が固有振動数 f_0 と異なる場合、錘14の変位 Δ は電荷反転による制動効果の影響をほとんど受けないことが分かる。

[0051] これに対し、図8を参照して、発電部1には固有振動数 $f_0 = 18\text{Hz}$ の正弦波の振動が加えられる。これにより、電圧源 V は18Hzの正弦波の電圧 V_p を発生させる。

[0052] 時刻 t_1 以降、時刻 t_2 までの期間、電圧 V_{sw} の振幅は急激に増加する。しかし、時刻 t_2 以降、電圧 V_{sw} の振幅は次第に減少する。時刻 t_3 以降、電圧 V_{sw} の振幅は、スイッチング制御の開始前の振幅の $1/2$ 程度でほぼ一定になる。

- [0053] また、錘 1 4 の変位 Δz の振幅は、時刻 t_1 以降次第に減少する。時刻 t_3 において、変位 Δz の振幅は、スイッチング制御の開始前の振幅の $1/10$ 程度にまで大幅に低減される。
- [0054] 電圧 V_{sw} および錘 1 4 の変位 Δz が上述の挙動を示す理由を説明する。振動数 f が固有振動数 f_0 に一致する場合、発電部 1 には共振が生じる。共振が生じた状態において、変位 Δz の振幅は著しく大きく、共振が生じていない状態における振幅の Q 倍に増加する。具体的には、固有振動数 $f_0 = 18 \text{ Hz}$ における変位 Δz の振幅 ($600 \mu\text{m}$) は、 15 Hz における振幅 ($40 \mu\text{m}$) の $Q = 15$ 倍である (図 6 参照)。
- [0055] 圧電体 1 1 1 が発生させる電荷量は、錘 1 4 の変位 Δz の振幅に比例する。このため、共振状態における圧電体 1 1 1 には、非共振状態と比べて Q 倍の電荷が発生する。圧電体 1 1 1 には、逆圧電効果によって Q 倍の力が発生する。よって、固有振動数 f_0 では、電荷反転による制動効果が変位 Δ に及ぼす影響が、固有振動数 f_0 と異なる振動数の場合と比べて著しく大きい。
- [0056] 図 9 は、制動効果が電圧 V_{sw} の振幅に及ぼす影響の振動数依存性を示す図である。図 9 を参照して、横軸は発電部 1 に加えられる振動の振動数 f を示す。縦軸は電圧 V_{sw} の振幅を示す。
- [0057] スwitching制御なしの場合、電圧 V_{sw} の振幅は、固有振動数 $f_0 = 18 \text{ Hz}$ において最大になる。
- [0058] スwitching制御ありの場合の電圧 V_{sw} の振幅は、固有振動数 $f_0 = 18 \text{ Hz}$ を含む振動数領域において、スイッチング制御なしの場合の振幅よりも小さい。スイッチング制御ありの場合の電圧 V_{sw} の振幅がスイッチング制御なしの場合の振幅未満である振動数領域は、本実施の形態では、固有振動数 $f_0 \pm 2.5\%$ の領域である。
- [0059] 図 10 は、制動効果が錘 1 4 の変位 Δz の振幅に及ぼす影響の振動数依存性を示す図である。図 10 を参照して、横軸は発電部 1 に加えられる振動の振動数 f を示す。縦軸は変位 Δz の振幅を示す。
- [0060] スwitching制御なしの場合、変位 Δz の振幅は、固有振動数 $f_0 = 18$

H_zにおいて最大になる。スイッチング制御ありの場合の変位 Δz の振幅は、固有振動数 $f_0 \pm 15\%$ の振動数領域において、スイッチング制御なしの場合の振幅未満である。

[0061] 以上のように、電荷反転による制動効果の影響が大きい振動数は、固有振動数 f_0 を中心にしてある程度の広さの振動数領域にわたることが分かる。

[0062] <固有振動数におけるスイッチング制御>

図8を再び参照すると、固有振動数 f_0 の振動が発電部1に加えられる場合でも、電圧 V_{sw} は、スイッチング制御を開始してからある程度の期間（時刻 t_1 以降、時刻 t_2 までの期間）増加している。本実施の形態において、制御回路3は、この性質を利用してスイッチング制御を実行する。

[0063] 図11は、本発明の実施の形態1に係る発電装置100において、発電部1の固有振動数 f_0 におけるスイッチング制御を説明するための図である。図11を参照して、図11は図8と対比される。

[0064] 制御回路3は、スイッチSWをスイッチング制御するためのモードとして、駆動モード（第1の制御モード）と休止モード（第2の制御モード）とを有する。駆動モードにおいて制御回路3は、圧電体111に発生した電圧 V_p が極値を取るタイミングに同期して導通信号Sを出力する。これにより、スイッチSWはオンの状態となる。一方、休止モードにおいて制御回路は、電圧 V_p が極値を取るタイミングにおいて導通信号Sを出力しない。すなわち、スイッチSWは、休止モードの期間中オフの状態となる。

[0065] 時刻0以降、時刻 t_1 までの期間は、制御回路3によるスイッチング制御の開始前の期間である。時刻 t_1 において、制御回路3はスイッチング制御を開始する。

[0066] 時刻 t_1 以降、時刻 t_1 から周期 T_0 の3倍（ $3T_0$ ）だけ経過した時刻 t_4 までの期間において、制御回路3は駆動モードに従ってスイッチSWを制御する。

[0067] 時刻 t_4 において、電圧 V_{sw} の検出値が所定の基準値 V_1 を下回る。したがって、時刻 t_4 以降、時刻 t_4 から周期 T_0 だけ経過した時刻 t_5 まで

の期間において、休止モードに従ってスイッチSWを制御する。言い換えると、駆動モードによる制御中に休止モードによる制御の挿入が開始される。

[0068] 時刻 t_5 以降、時刻 t_5 から周期 T_0 だけ経過した時刻 t_6 までの期間において、制御回路3は駆動モードに従ってスイッチSWを制御する。時刻 t_6 以降、時刻 t_6 から周期 T_0 だけ経過した時刻 t_7 までの期間において、制御回路3は休止モードに従ってスイッチSWを制御する。すなわち、制御回路3は、駆動モードによる制御中に休止モードによる制御を挿入する。時刻 t_7 以降の制御回路3によるスイッチング制御は、時刻 t_5 以降、時刻 t_7 までの期間におけるスイッチング制御と同等であるため、説明を繰り返さない。

[0069] このように制御回路3は、発電部1に加えられる振動の周期 T_0 に相当する長さの駆動モードと、周期 T_0 に相当する長さの休止モードとを交互に繰り返す。なお、制御回路3は、電圧 V_{sw} の検出値が基準値 V_1 を下回ったか否かに関係なく、スイッチング制御を実行してもよい。この場合、制御回路3は、時刻 t_1 におけるスイッチング制御の開始直後から駆動モードと休止モードとを交互に繰り返す。

[0070] また、制御回路3は、変位検出部6によって検出された錘14の変位 Δz の振幅が所定の基準値 z_1 を下回った場合に、休止モードの挿入を開始してもよい。

[0071] 図8で説明したように、スイッチング制御の開始直後の数周期の間、電圧 V_{sw} の振幅は、スイッチング制御の開始前の振幅よりも大きい。また、スイッチング制御の開始から電圧 V_{sw} の振幅が減少を開始するまでには、ある程度の時間を要する。本実施の形態によれば、制御回路3は、電圧 V_{sw} の振幅が減少を開始する前に休止モードによる制御を挿入する。したがって、スイッチング制御を実行しない場合よりも電圧 V_{sw} の振幅を大きくすることができる。

[0072] また、錘14の変位 Δz の振幅が大幅に低減されるまでには、スイッチング制御を開始してからある程度の時間を要する（図8参照）。したがって、

制御回路3は、変位 Δz の振幅が大幅に低減される前に休止モードによる制御を挿入する。これにより、変位 Δz の振幅が大幅に低減して、発電装置100の発電量が低下するのを防止することができる。すなわち、発電装置100の発電効率を高めることができる。

[0073] [実施の形態2]

図12は、本発明の実施の形態2に係る発電装置において、発電部1の固有振動数 f_0 におけるスイッチング制御を説明するための図である。図12を参照して、図12は図8および図11と対比される。なお、実施の形態2に係る発電装置の構成は、発電装置100（図1参照）の構成と同等であるため、詳細な説明を繰り返さない。

[0074] 時刻 t_1 において、制御回路3はスイッチング制御を開始する。時刻 t_1 における電圧 V_{sw} の検出値は基準値 V_1 を下回る。したがって、時刻 t_1 以降、時刻 t_1 から周期 T_0 だけ経過した時刻 t_2 までの期間において、制御回路3は、制御回路3は駆動モードに従ってスイッチ SW を制御する。

[0075] 時刻 t_2 以降、時刻 t_2 から $3T_0$ だけ経過した時刻 t_3 までの期間において、制御回路3は、駆動モードによる制御中に休止モードによる制御を挿入する。時刻 t_3 以降の制御回路3によるスイッチング制御は、時刻 t_1 以降、時刻 t_3 までの期間におけるスイッチング制御と同等であるため、説明を繰り返さない。

[0076] このように制御回路3は、発電部1に加えられる振動の周期 T_0 に相当する長さの駆動モードと、周期 T_0 の3倍に相当する長さの休止モードとを交互に繰り返す。

[0077] なお、制御回路3は、電圧 V_{sw} の検出値が基準値 V_1 を下回ったか否かに関係なく、スイッチング制御を実行してもよい。また、制御回路3は、変位検出部6によって検出された錘14の変位 Δz の振幅が所定の基準値 z_1 を下回った場合に、休止モードの挿入を開始してもよい。

[0078] 本実施の形態によれば、スイッチング制御開始後における電圧 V_{sw} の振幅は、スイッチング制御開始前の振幅の約2倍である。また、スイッチング

制御開始後における錘14の変位 Δz の振幅は、スイッチング開始前の振幅の $2/3$ 程度である。言い換えると、変位 Δz の振幅の減少量を、スイッチング開始前の振幅の $1/3$ 程度に収めることができる。したがって、実施の形態1と同様に、発電装置の発電量が低下するのを防止することができる。すなわち、発電装置の発電効率を高めることができる。

[0079] 図13Aは、図1に示す蓄電部に蓄えられる静電エネルギーを比較する条件を示す図である。図13Bは、図1に示す蓄電部に蓄えられる静電エネルギーを比較するための図である。図13Aおよび図13Bを参照して、横軸は蓄電部5にエネルギーを蓄え始めてからの経過時間を示す。縦軸は蓄電部5に蓄えられた静電エネルギー U を示す。発電部1には固有振動数 f_0 の振動が加えられる。

[0080] 波形13aは、常にスイッチング制御の駆動期間である場合（図8参照）の静電エネルギー U を表す。波形13bは、実施の形態1（図11参照）における静電エネルギー U を表す。波形13cは、実施の形態2（図12参照）における静電エネルギー U を表す。波形13dは、スイッチング制御を実行しない場合（あるいは常にスイッチング制御の休止期間である場合）の静電エネルギー U を表す。

[0081] 蓄電部5には、たとえば静電容量 $C_5 = 47 \mu F$ の電解コンデンサが用いられる。静電エネルギー U は、 $U = 1/2 \times C_5 \times V_{out}^2$ の関係式に従って算出される。

[0082] 常に駆動モードである場合の静電エネルギー U （波形13a参照）は、同一時刻におけるスイッチング制御を実行しない場合（波形13d参照）を基準にすると約60%である。このように、静電エネルギー U は、常に駆動モードでスイッチング制御を実行すると、電荷反転による制動効果に起因して、スイッチング制御を実行しない場合よりもかえって小さくなる。

[0083] これに対し、実施の形態1における静電エネルギー U （波形13b参照）は、上記と同一の基準に対して約150%である。また、実施の形態2における静電エネルギー U （波形13c参照）は、上記基準に対して約180%

である。以上のように、駆動モードによる制御中に休止モードによる制御を挿入することにより、蓄電部5に蓄えられる静電エネルギーを大きくすることができる。

[0084] なお、駆動モードおよび休止モードの各々の長さは、実施の形態1, 2で説明した長さに限定されるものではない。駆動モードおよび休止モードの各々の長さは、発電部の仕様（たとえば圧電素子の方式および構造または発電部の固有振動数）あるいは発電部に加えられる振動の条件（たとえば振幅の大きさ）などを考慮して適宜設定される。たとえば、制御回路3は、1周期の駆動モードと2周期の休止モードとを交互に繰り返してもよい。あるいは、制御回路3は、2周期の駆動モードと2周期の休止モードとを交互に繰り返してもよい。

[0085] 圧電素子11には、たとえばバイモルフ型の圧電素子を採用してもよい。また、圧電素子の構造は、周期的な振動に応じて圧電体が繰り返し変形する構造であれば、カンチレバー構造に特に限定されるものではない。たとえば、薄膜の表面に圧電体を接着してもよく、あるいは弦巻バネの側面に圧電体を取り付けてもよい。

[0086] さらに、実施の形態1, 2では、制御回路3が予め定められた長さの駆動期間および休止期間に従って、スイッチング制御を実行する場合について説明した。しかし、制御回路3がスイッチング制御の駆動期間と休止期間とを切り替えるタイミングは、これに限定されるものではない。図11および図12を参照して、たとえば、制御回路3は、電圧 V_{sw} の検出値が所定の基準値 V_1 を下回った場合にのみ、休止モードを挿入してもよい。これにより、錘14の振幅を回復することができる。あるいは、制御回路3は、変位検出部6によって検出された錘14の変位 Δz の振幅が所定の基準値 z_1 を下回った場合にのみ、休止モードを挿入してもよい。

[0087] 今回開示された実施の形態は全ての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内で全ての変更が含まれることが意図され

る。

符号の説明

[0088] 100 圧電装置、1 発電部、11 圧電素子、111 圧電体、112 上部電極、113 下部電極、12 金属板、13 支持部、14 錘、V 電圧源、C コンデンサ、2 電圧検出部、3 制御回路、SW スイッチ、L インダクタ、4 整流回路、D1～D4 ダイオード、5 蓄電部、6 変位検出部、T1, T2 出力端子。

請求の範囲

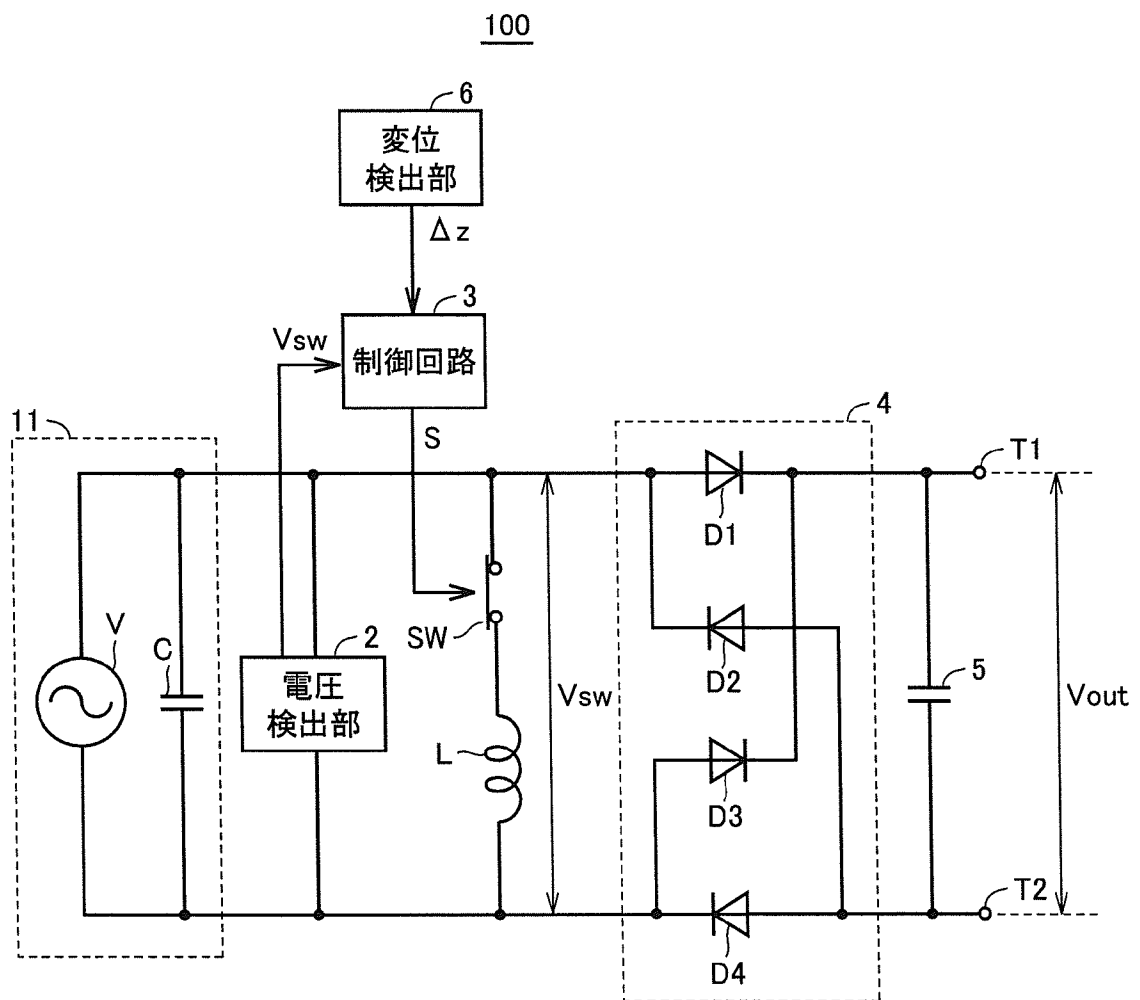
- [請求項1] 外部から加えられる振動によって発電する発電部を備え、
前記発電部は、
前記振動によって変形して、変形量に応じた電圧を発生させる圧電体と、
前記圧電体の表面に形成された一対の電極と、を含み、
前記一対の電極に並列に電氣的に接続されて、前記圧電体の容量成分と共振回路を構成するインダクタと、
前記インダクタに直列に接続されたスイッチと、
前記スイッチを制御する制御回路と、をさらに備え、
前記制御回路は、前記圧電体に発生した電圧が極値を取るタイミングに同期して前記スイッチをオンの状態とする第1の制御モードと、
前記極値を取るタイミングにおいて前記スイッチをオフの状態とする第2の制御モードとを有し、前記振動の振動数が前記発電部の固有振動数である場合に、前記第1の制御モードによる制御中に前記第2の制御モードによる制御を挿入する、発電装置。
- [請求項2] 前記制御回路は、前記第1の制御モードにおいて、前記共振回路の共振周期の $1/2$ の奇数倍の期間、前記スイッチをオンの状態とする、請求項1に記載の発電装置。
- [請求項3] 前記一対の電極間に並列に接続され、前記一対の電極間の電圧を整流する整流回路と、
前記整流回路により整流された電圧を蓄える蓄電部と、をさらに備える、請求項1または2に記載の発電装置。
- [請求項4] 前記一対の電極間の電圧を検出する電圧検出部をさらに備え、
前記制御回路は、前記電圧検出部により検出された電圧の振幅が所定の基準値を下回った場合に、前記第2の制御モードによる制御を挿入する、請求項1～3のいずれか1項に記載の発電装置。
- [請求項5] 前記発電部の前記振動による変位を検出する変位検出部をさらに備

え、

前記制御回路は、前記変位検出部により検出された変位の振幅が所定の基準値を下回った場合に、前記第2の制御モードによる制御を挿入する、請求項1～3のいずれか1項に記載の発電装置。

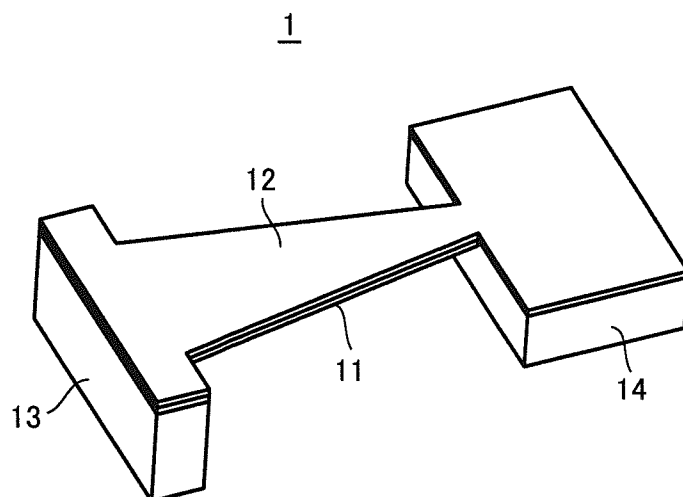
[図1]

FIG.1



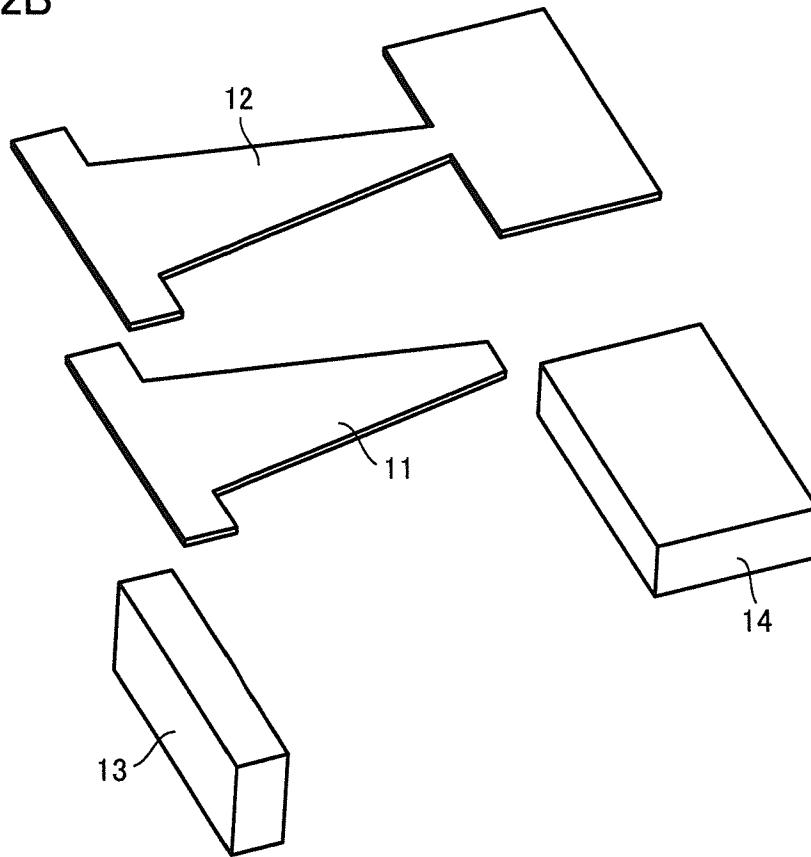
[図2A]

FIG.2A



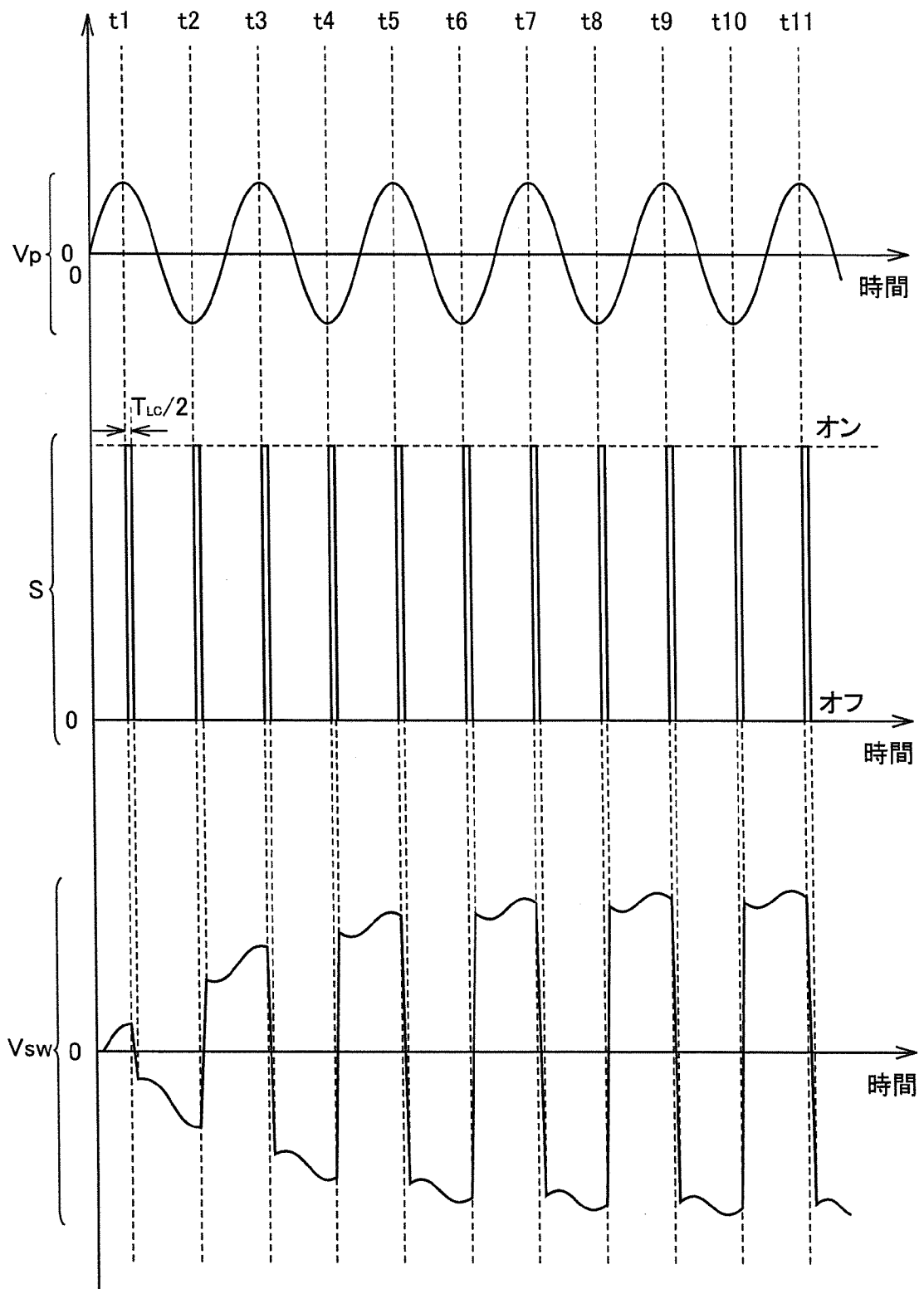
[図2B]

FIG.2B



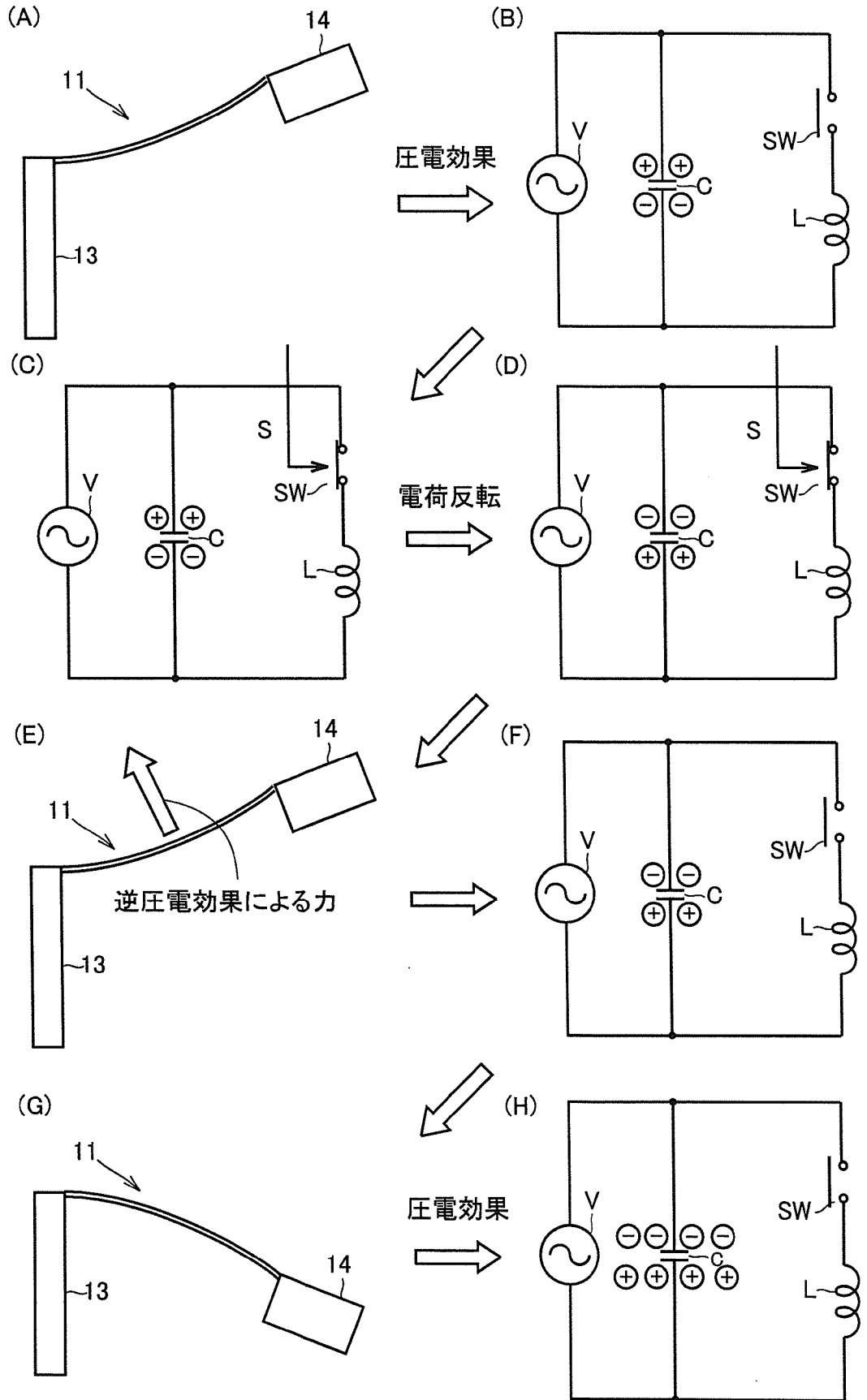
[図4]

FIG.4



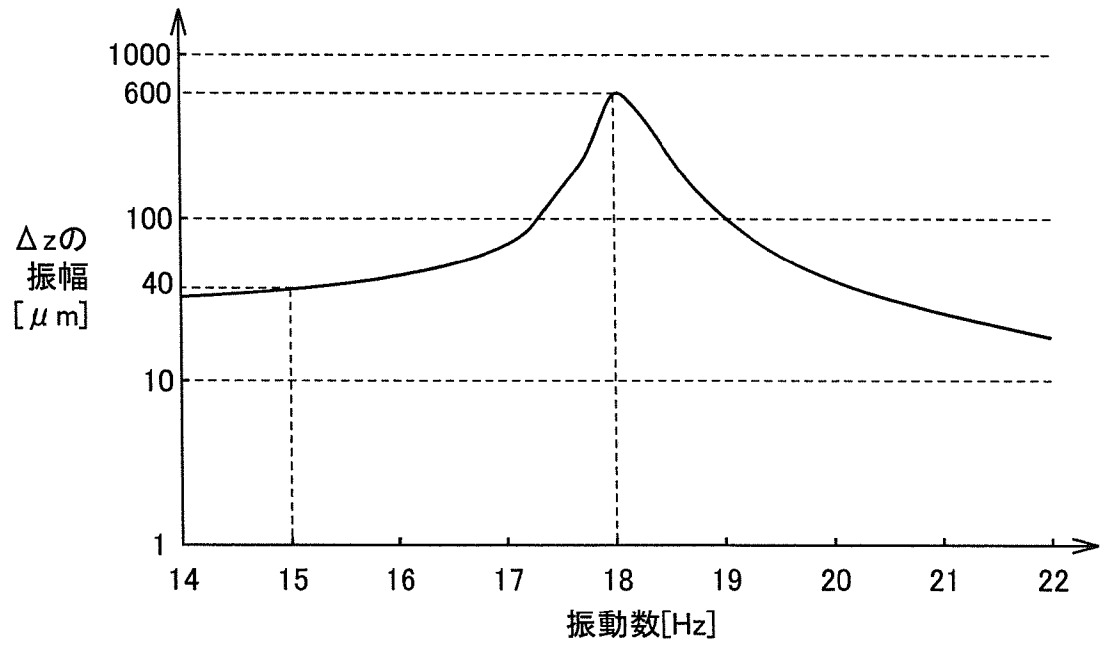
[図5]

FIG.5



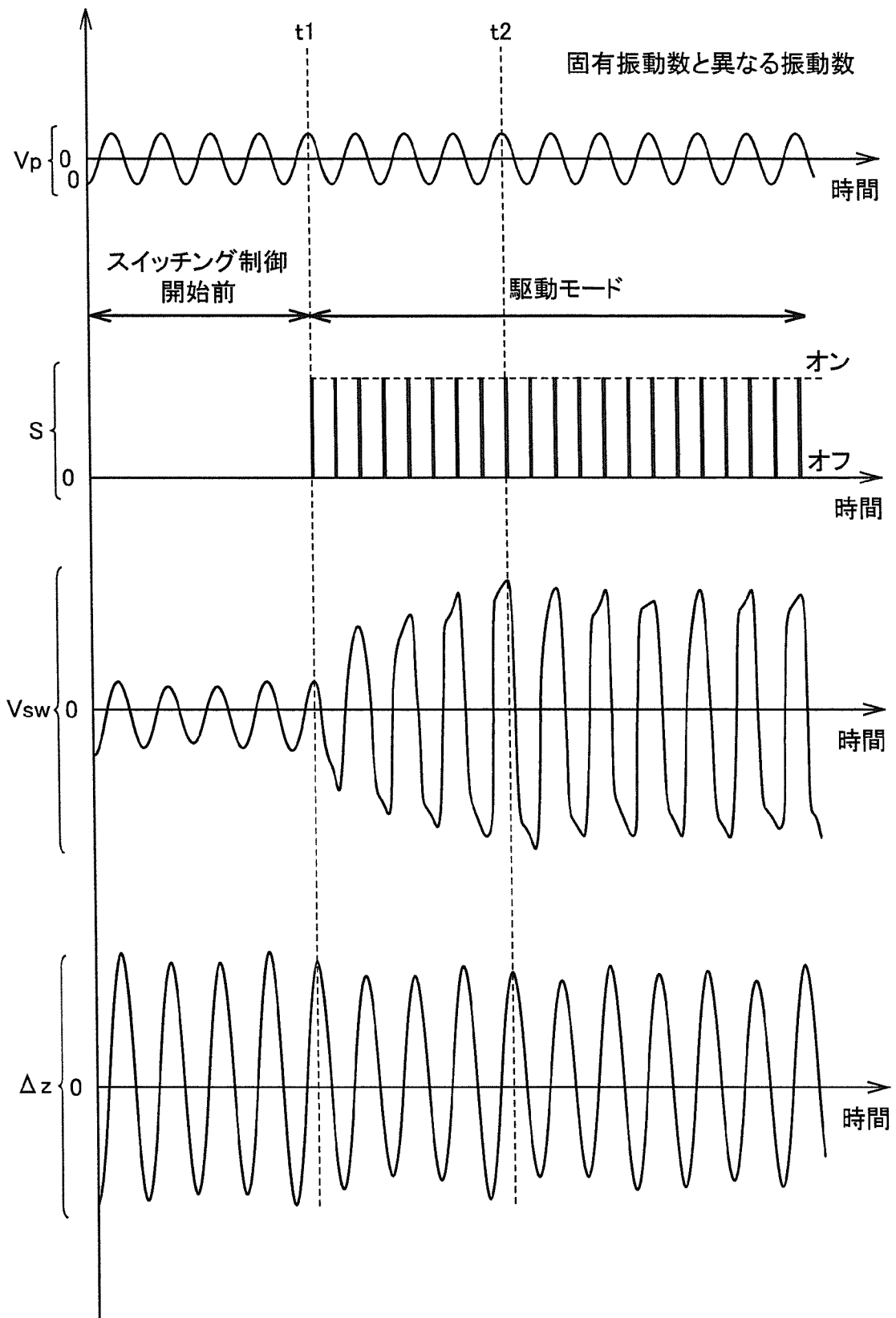
[図6]

FIG.6



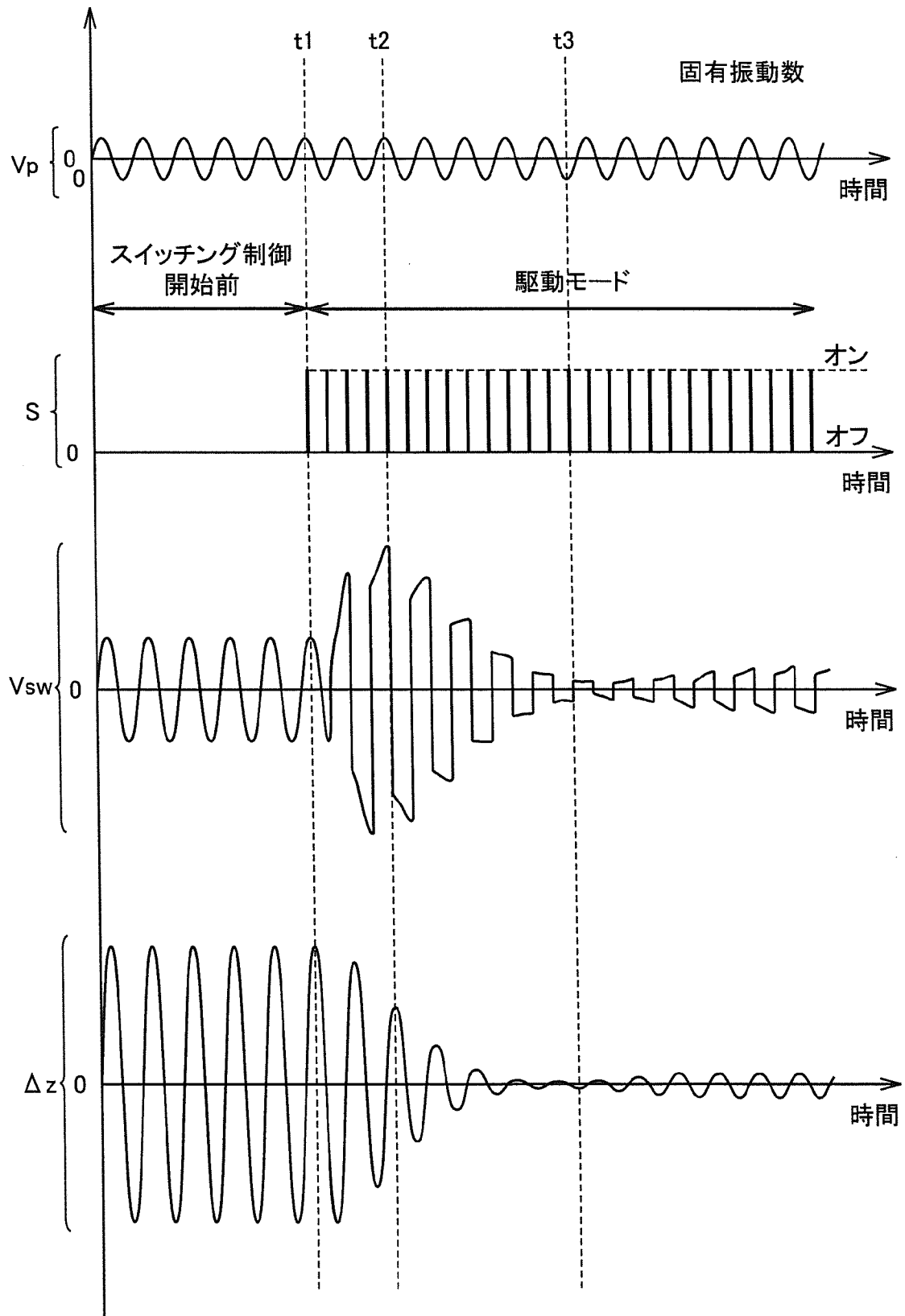
[図7]

FIG. 7



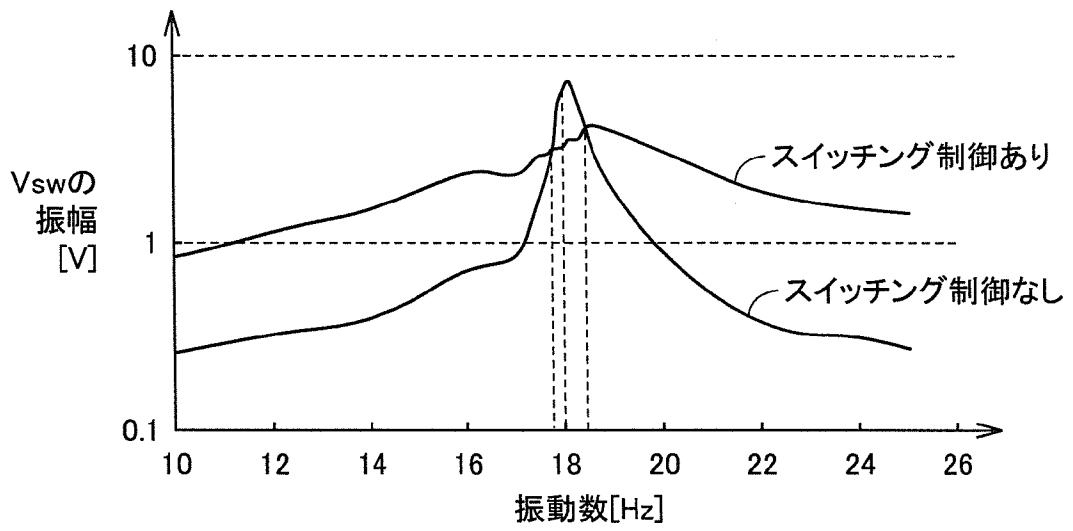
[図8]

FIG.8



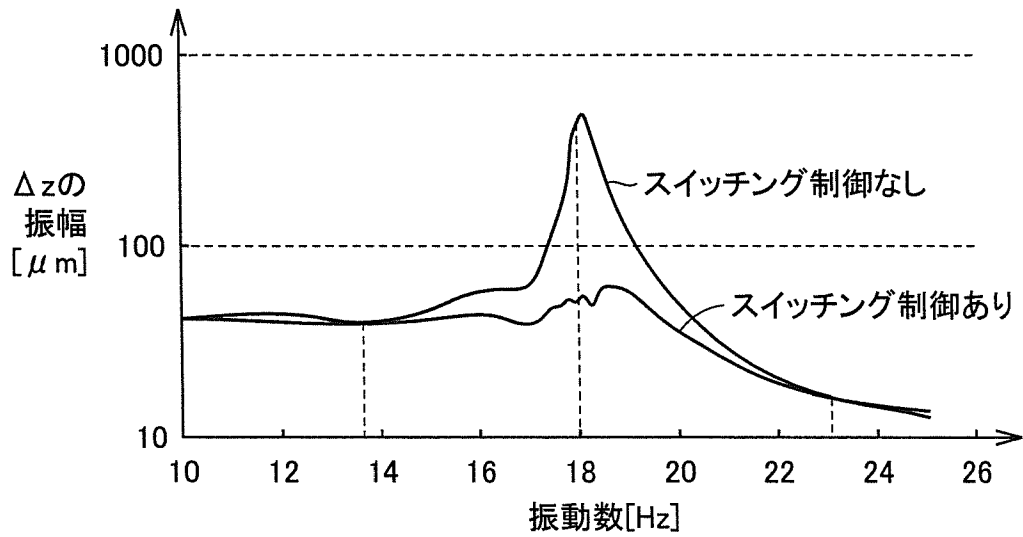
[図9]

FIG.9



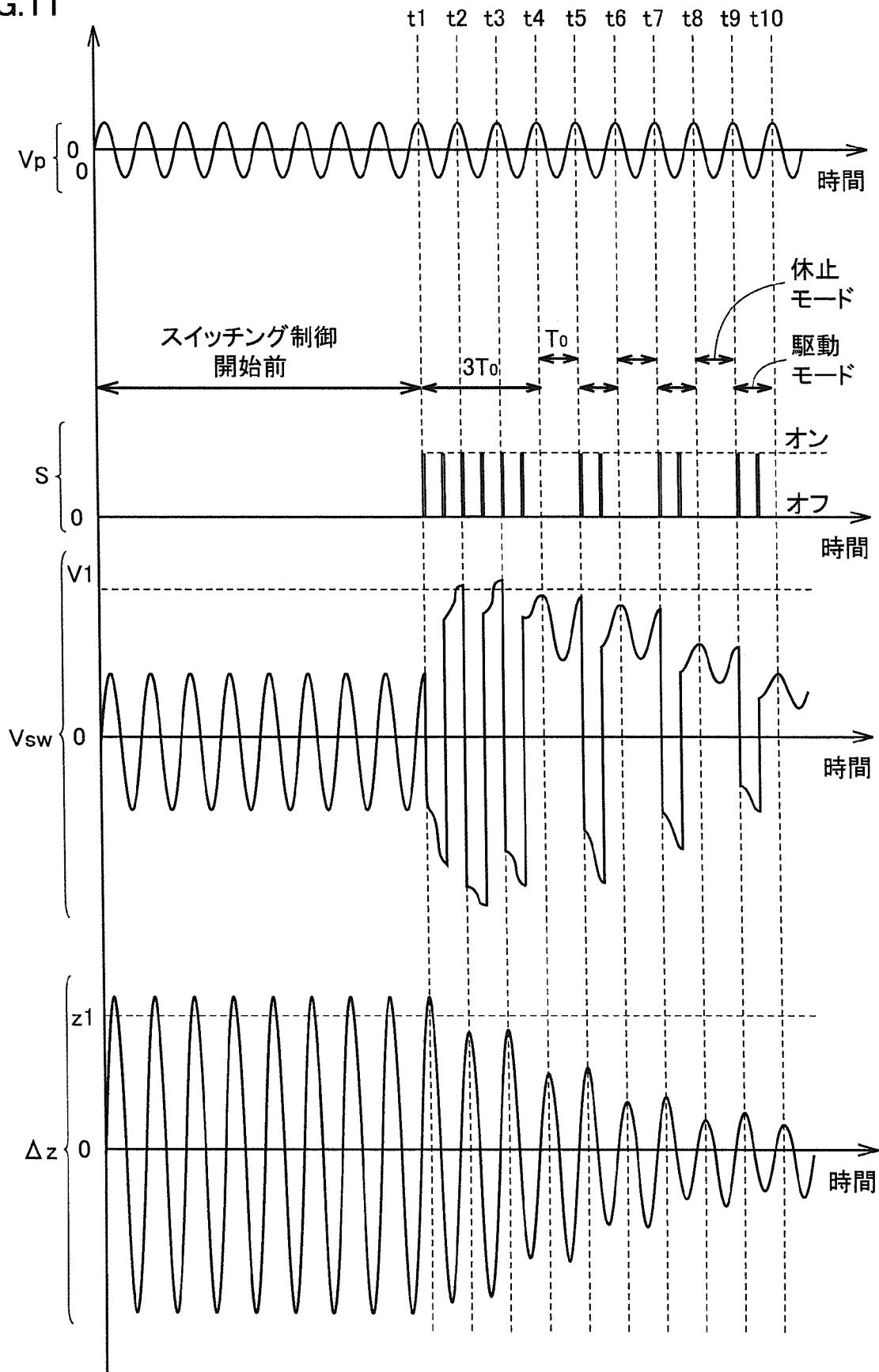
[図10]

FIG.10



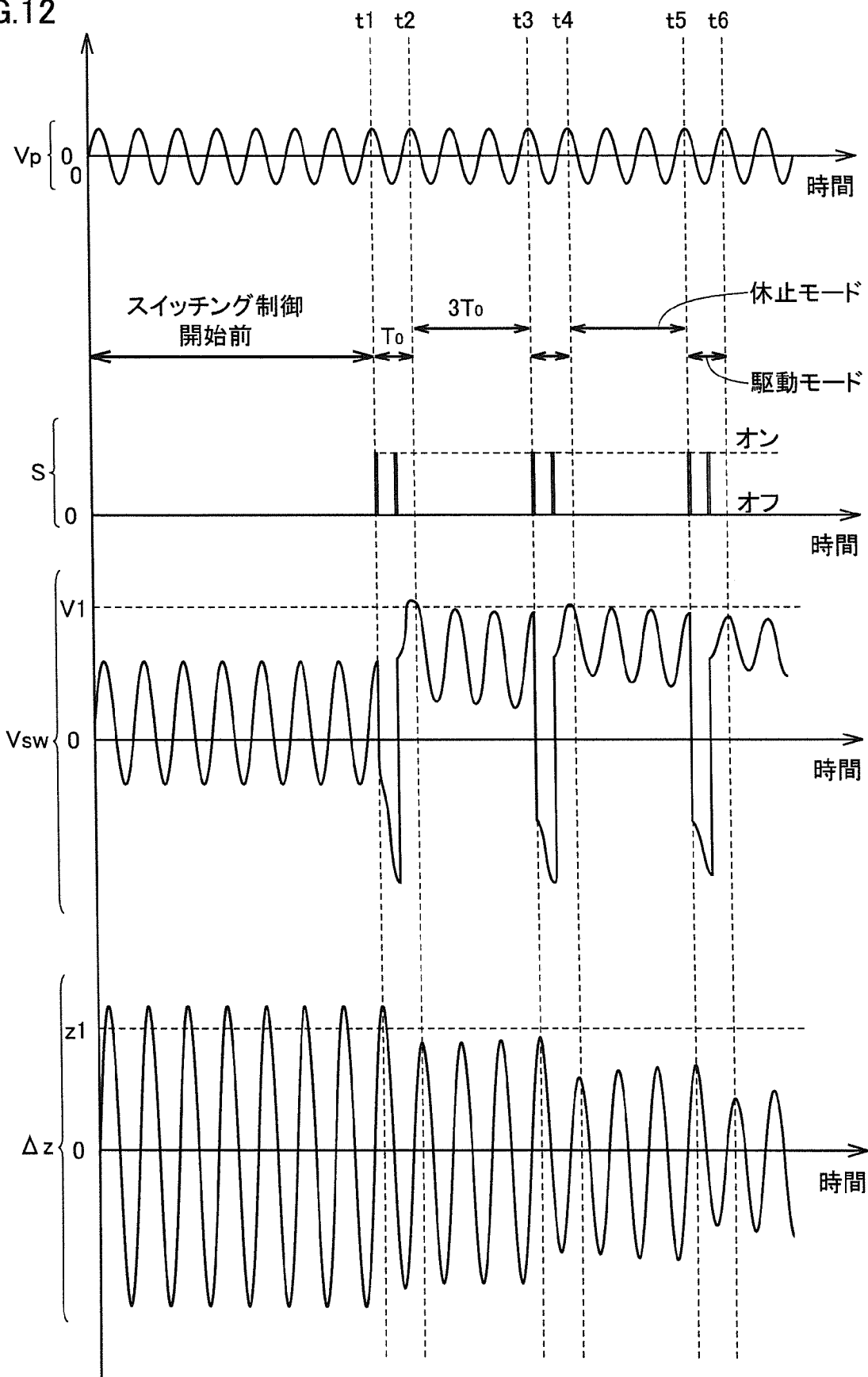
[図11]

FIG.11



[図12]

FIG.12



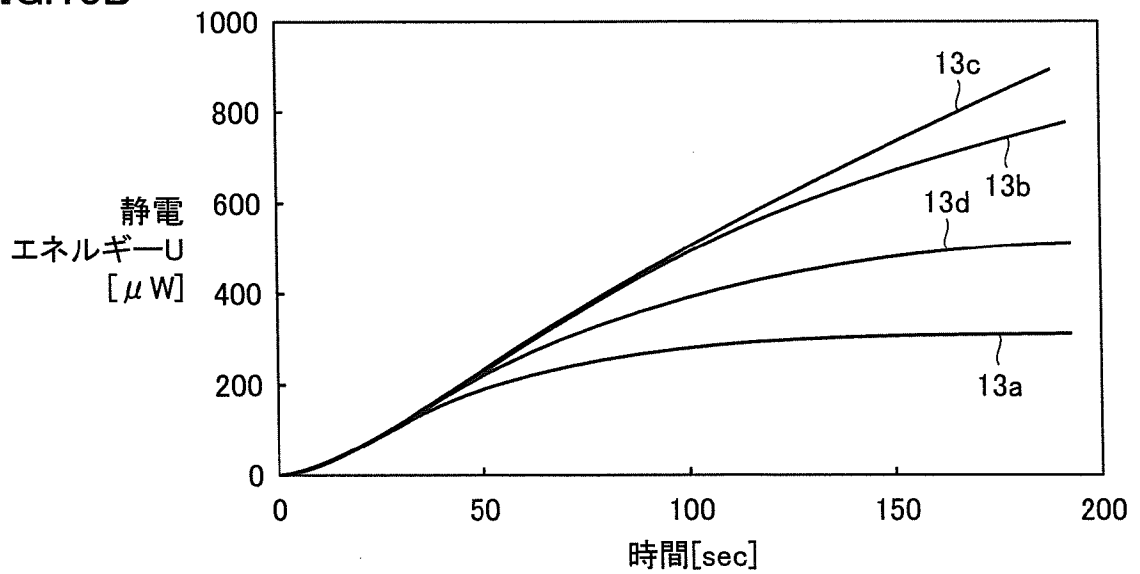
[図13A]

FIG.13A

13a	常に駆動モード
13b	1周期の駆動モードと1周期の休止モードとの繰り返し
13c	1周期の駆動モードと3周期の休止モードとの繰り返し
13d	スイッチング制御なし(常に休止モード)

[図13B]

FIG.13B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/063319

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H02N2/18 (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)
H02N2/18

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
A	JP 2012-175712 A (Seiko Epson Corp.), 10 September 2012 (10.09.2012), paragraphs [0042] to [0046]; fig. 6 to 7 & US 2012/0212101 A1 & CN 102647109 A	1-5
A	JP 2012-65533 A (Electronics and Telecommunications Research Institute), 29 March 2012 (29.03.2012), paragraph [0043]; fig. 1 & US 2012/0068576 A1 & KR 10-2012-0029504 A	1-5
A	JP 2009-524387 A (Commissariat A L'energie Atomique), 25 June 2009 (25.06.2009), paragraphs [0144] to [0148]; fig. 6 & US 2010/0133954 A1 & WO 2007/082894 A1 & FR 2896635 A1 & CN 101371375 A	1-5

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 04 August, 2014 (04.08.14)	Date of mailing of the international search report 19 August, 2014 (19.08.14)
-----------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H02N2/18(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. H02N2/18		
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 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014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
A	JP 2012-175712 A (セイコーエプソン株式会社) 2012. 09. 10, 【0042】 - 【0046】, 第 6-7 図 & US 2012/0212101 A1 & CN 102647109 A	1 - 5
A	JP 2012-65533 A (韓国電子通信研究院) 2012. 03. 29, 【0043】, 第 1 図 & US 2012/0068576 A1 & KR 10-2012-0029504 A	1 - 5
A	JP 2009-524387 A (コミツサリア タ レネルジー アトミック) 2009. 06. 25, 【0144】 - 【0148】, 第 6 図 & US 2010/0133954 A1 & WO 2007/082894 A1 & FR 2896635 A1 & CN 101371375 A	1 - 5
<input type="checkbox"/> C 欄の続きにも文献が列挙されている。 <input 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 0 4 . 0 8 . 2 0 1 4	国際調査報告の発送日 1 9 . 0 8 . 2 0 1 4	
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 1 0 0 - 8 9 1 5 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） 西山 智宏 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 5 7	3 V 3 1 1 2