

(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
2019年3月7日(07.03.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/044070 A1

(51) 国際特許分類:

H04R 3/00 (2006.01) *G10H 1/32* (2006.01)
B06B 1/06 (2006.01) *G10H 3/00* (2006.01)
F16F 15/02 (2006.01) *H02N 2/06* (2006.01)

番 1 号 ヤマハ株式会社内 Shizuoka (JP).
野呂 正夫(**NORO, Masao**); 〒4308650 静岡県
浜松市中区中沢町 1 0 番 1 号 ヤマハ
株式会社内 Shizuoka (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/020004

(22) 国際出願日: 2018年5月24日(24.05.2018)

(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 2017-167341 2017年8月31日(31.08.2017) JP

(71) 出願人: ヤマハ株式会社 (**YAMAHA CORPORATION**) [JP/JP]; 〒4308650 静岡県浜松市中区中沢町 1 0 番 1 号 Shizuoka (JP).

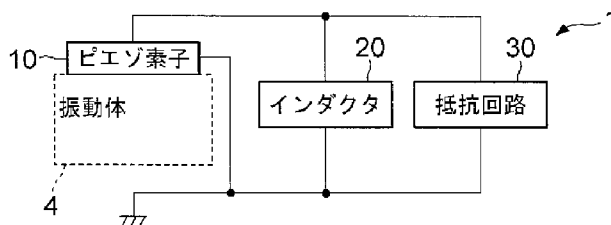
(72) 発明者: 三宅 佳郎 (**MIYAKE, Yoshiro**);
〒4308650 静岡県浜松市中区中沢町 1 0

(74) 代理人: 立花 顕治, 外 (**TACHIBANA, Kenji et al.**); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島 6 - 2 - 4 0 中之島インテス 2 1 階 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, 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,

(54) Title: VIBRATION CONTROL DEVICE

(54) 発明の名称: 振動制御装置



4 Vibratory body
10 Piezoelectric component
20 Inductor
30 Resistor circuit

(57) Abstract: Provided is a feature that allows the duration of vibrations of a vibratory body to be freely controlled. Provided is a vibration control device 1 equipped with: a piezoelectric component 10 fixed to a vibratory body 4 to be vibration-controlled; and an inductor 20 and a resistor circuit 30 connected in parallel to the piezoelectric component 10. The resistor circuit 30 may be a variable resistor the resistance value of which can be changed from a negative value to a positive value. The resistance value of the resistor circuit 30 may be set to a positive value to damp the vibration of the vibratory body 4, and the resistance value of the resistor circuit 30 may be set to a negative value to vibrate the vibratory body 4.

(57) 要約: 振動体の振動継続時間を任意に制御できるようにする技術が提供される。振動制御の対象となる振動体 4 に固定される piezo 素子 1 0 と、当該 piezo 素子 1 0 に並列接続されるインダクタ 2 0 および抵抗回路 3 0 とを具備する振動制御装置 1 を提供する。抵抗回路 3 0 は、抵抗値を負の値から正の値まで変更可能な可変抵抗であってもよい。振動体 4 の制振を行う場合には抵抗回路 3 0 の抵抗値を正の値に設定し、振動体 4 の励振を行う場合には抵抗回路 3 0 の抵抗値を負の値に設定してもよい。

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：振動制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、振動体の振動を制御する技術に関する。

背景技術

[0002] 制振対象の振動体に固定された piezo 素子にインダクタを接続し、piezo 素子の寄生キャパシタと当該インダクタとで共振回路を形成する制振装置が提案されている（例えば、特許文献 1，2 参照）。この種の制振装置は、上記共振回路を上記振動体の固有周波数で共振させることで振動エネルギーを吸収する。これにより、振動継続時間が短くなり、制振効果が得られる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献 1：特開 2002-061708 号公報

特許文献 2：特開 2003-285738 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 共振回路は寄生抵抗を有し、この寄生抵抗が共振の Q を低下させる。このため、特許文献 1 や特許文献 2 に開示の技術では、十分な制振効果が得られない。また、特許文献 1 や特許文献 2 に開示の技術では、振動継続時間を長くする励振効果は得られない。つまり、特許文献 1 や特許文献 2 に開示の技術では、振動体の振動を制振から励振まで連続的に制御すること、すなわち振動体の振動継続時間を任意に制御すること、はできなかった。

[0005] 本発明は以上に説明した課題に鑑みて為されたものであり、振動体の振動継続時間を任意に制御できるようにする技術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] 上記課題を解決するために本発明は、振動体に固定される piezo 素子と、前記 piezo 素子に並列に接続されるインダクタおよび抵抗と、を具備するこ

とを特徴とする振動制御装置、を提供する。本態様によれば、インダクタのインダクタンスおよび抵抗の抵抗値を適宜定めておくことで振動体の振動を任意に制御することが可能になる。詳細については後述するが、振動体の制振を行うのであれば、上記抵抗の抵抗値を正の値としておけば良く、振動体の励振を行うのであれば、上記抵抗の抵抗値を負の値としておけば良い。なお、上記インダクタは、疑似インダクタであっても良い。

[0007] より好ましい態様では、前記抵抗は、抵抗値を負の値から正の値まで変更可能な可変抵抗であることを特徴とする。この態様によれば、1つの振動制御装置で振動体の制振と励振の両方を行うことが可能になる。

[0008] 以上の振動制御装置と、前記振動体としてのスピーカ筐体とを備える、スピーカシステムを提供することができる。以上の振動制御装置と、前記振動体としての楽器とを備える、楽器システムを提供することができる。前記楽器は、打楽器とすることができる。

[0009] この発明では、振動体の電気等価回路のパラメータの計測も可能である。この計測方法は、以下の第1ステップから第4ステップを有する。第1ステップは、振動体にピエゾ素子を固定し、当該ピエゾ素子にインダクタを並列接続するステップである。第2ステップは、所定のインパルス振動を上記振動体に与えて上記ピエゾ素子の両端に現れる第1の電圧を計測するステップである。第3ステップは、上記インダクタに抵抗を並列接続して上記インパルス振動を与えて当該抵抗の両端に現れる第2の電圧を計測するステップである。そして、第4ステップは、振動体の電気等価回路のパラメータのうち当該振動体の固有振動の減衰を表す抵抗値を、第1の電圧と第2の電圧とから算出するステップである。

[0010] 振動体の固有振動を、抵抗、キャパシタおよびインダクタを直列接続した電気等価回路の共振により表す場合、上記電気等価回路における抵抗の抵抗値は上記固有振動の減衰を表すパラメータである。なお、上記電気等価回路におけるキャパシタのキャパシタンスは上記固有振動の剛性を表すパラメータであり、上記電気等価回路におけるインダクタのインダクタンスは上記固

有振動の質量を表すパラメータである。言い換えると、上記電気等価回路における抵抗の抵抗値は上記振動体の固有振動の減衰に相当し、上記電気等価回路におけるキャパシタのキャパシタンスは上記振動体の固有振動の剛性に相当し、上記電気等価回路におけるインダクタのインダクタンスは上記振動体の固有振動の質量に相当する。以上の計測方法によれば、振動体の固有振動の減衰を表す抵抗値を実際に計測することが可能になる。従来の制振技術では、上記電気等価回路における抵抗の抵抗値はシミュレーション等により算出され、その算出結果に応じて制振装置のインダクタや抵抗等のパラメータの値が定められており、この点も十分な制振効果が得られない原因の一つであった。これに対して、本態様によれば、振動体の固有振動の減衰を表す抵抗値を実測することが可能になり、実測結果に応じて振動制御装置に含まれるインダクタや抵抗等のパラメータの値を定めることができ、従来よりも精度良く振動制御を行うことが可能になる。

[0011] より好ましい態様においては、上記計測方法は以下の第5ステップから第7ステップをさらに含むことを特徴とする。第5ステップは、所定のインパルス振動を振動体に与え、第3ステップにてインダクタに並列接続した抵抗の両端に現れる電圧の周波数応答を計測するステップである。第6ステップは、第5ステップにて計測した周波数応答に基づいて前記振動体の共振のQ値を算出するステップである。そして、第7ステップは、上記電気等価回路のパラメータのうち固有振動の剛性を表すキャパシタンスおよび固有振動の質量を表すインダクタンスの少なくとも一方を、第4ステップで算出した抵抗値と上記Q値から算出するステップである。

[0012] 以上説明した計測方法では、振動体の電気等価回路のパラメータのうち、振動体の固有振動の剛性を表すキャパシタンスおよび当該固有振動の質量を表すインダクタンスの少なくとも一方を実際に計測することが可能になる。従来の振動制御技術では、上記電気等価回路におけるキャパシタのキャパシタンスおよびインダクタのインダクタンスはシミュレーション等により算出され、その算出結果に応じて制振装置のインダクタンス等のパラメータが定

められており、この点も十分な制振効果が得られない原因の一つであった。これに対して、本態様によれば、上記電気等価回路におけるキャパシタンスおよびインダクタンスの少なくとも一方を実測することが可能になり、実測結果に応じて振動制御装置に含まれるインダクタや抵抗等のパラメータの値を定めることで、従来よりも精度良く振動制御を行うことが可能になる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]この発明の一実施形態である振動制御装置1の構成例を示すブロック図である。

[図2]振動体4および振動制御装置1の電気等価回路を示す図である。

[図3]振動制御装置1に含まれる抵抗回路30の構成例を示すブロック図である。

[図4]振動体4の振動の一例を示す図である。

[図5]本実施形態の効果を説明するための図である。

[図6]本実施形態の効果を説明するための図である。

[図7]本実施形態の効果を説明するための図である。

[図8]変形例(2)の疑似インダクタ回路20Aの構成例を示す図である。

[図9]変形例(3)における電気等価回路パラメータ計測方法の流れを示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0014] 以下図面を参照しつつ本発明の実施の形態を説明する。

(A：実施形態)

図1はこの発明の一実施形態である振動制御装置1の構成例を示すブロック図である。図1では、振動制御装置1による振動制御の対象となる振動体4が点線で図示されている。図1に示すように、振動制御装置1は、 piezo素子10と、インダクタ20と、抵抗回路30と、を有する。piezo素子10は振動体4に固定される。例えば、振動体4がスピーカ筐体であれば、piezo素子10は当該スピーカ筐体の表面に固定される。piezo素子10は、振動体4に固有振動が発生している状態において振動体4の歪が、振動体4

（振動体 4 のうち、ピエゾ素子 10 が固定される部材のみを意味し得る）全体での平均より大きい箇所に固定されることが好ましく、最大となる箇所に固定されることがより好ましい。ピエゾ素子 10 の 2 枚の電極のうちの一方は接地されており、その電位は基準電位（GND）となっている。

[0015] 図 1 に示すように、インダクタ 20 および抵抗回路 30 は、ピエゾ素子 10 に並列接続されている。より詳細には、インダクタ 20 はピエゾ素子 10 の 2 枚の電極のうちの一方の電極と他方の電極との間に設けられており、抵抗回路 30 もピエゾ素子 10 の 2 枚の電極のうちの一方の電極と他方の電極との間に設けられている。詳細については後述するが、抵抗回路 30 は、抵抗値を負の値から正の値まで変更可能な可変抵抗回路である。

[0016] 図 2 は、振動制御装置 1 と振動体 4 とからなる系全体の電気等価回路の構成例を示す図である。図 2 において符号 P 10 はピエゾ素子 10 の寄生キャパシタを表す。ピエゾ素子 10 の両端から見ると、振動体 4 は、キャパシタ 410、インダクタ 420 および抵抗 430 を直列接続した電気等価回路で表現される。この電気等価回路においてキャパシタ 410 のキャパシタンス C_m は、振動体 4 の固有振動の剛性を表すパラメータである。そして、インダクタ 420 のインダクタンス L_m は振動体 4 の固有振動の質量を表すパラメータであり、抵抗 430 の抵抗値 R_{es} は振動体 4 の固有振動の減衰を表すパラメータである。振動体 4 の振動は、キャパシタンス C_m 、インダクタンス L_m および抵抗値 R_{es} の各パラメータで特徴付けられる。具体的には、上記電気等価回路の共振周波数 $(1 / (2\pi\sqrt{L_m \times C_m}))$ が振動体 4 の固有振動の周波数と一致する。なお、 π は円周率であり、 $\sqrt{L_m \times C_m}$ は $L_m \times C_m$ の平方根である。

[0017] 前述のように抵抗 430 は、振動体 4 の振動エネルギーの減衰に作用する。このため、抵抗 430 の抵抗値を増減させることができれば、振動継続時間の伸長または短縮が可能となる。図 2 に示す電気等価回路では、抵抗 430 と抵抗回路 30 の合成抵抗が振動体 4 の振動エネルギーの減衰に作用する。抵抗回路 30 の抵抗値 R_n が正の値の場合、上記合成抵抗の抵抗値（ R_n

+ R_{es}) は抵抗 430 の抵抗値 R_{es} よりも大きくなる。その結果、インダクタ 420 と容量 410 による直列共振の Q が下がり、制振作用が得られる。逆に、抵抗回路 3 の抵抗値 R_n が負の値の場合、上記合成抵抗の抵抗値 ($R_n + R_{es}$) は抵抗 430 の抵抗値 R_{es} よりも小さくなる。その結果、インダクタ 420 と容量 410 による直列共振の Q が上がり、励振作用が得られる。

[0018] インダクタ 20 は、 piezo 素子 10 の寄生キャパシタ P_{10} との並列共振作用を利用して、共振周波数においてキャパシタ 410 およびインダクタ 420 の直列共振電流が piezo 素子 10 の寄生キャパシタ P_{10} の経路に流れることを防ぐために挿入されている。インダクタ 20 のインダクタンスは、インダクタ 20 と寄生キャパシタ P_{10} とからなる並列共振回路の共振周波数と、振動体 4 の電気等価回路である直列共振回路の共振周波数とが実質的に一致するように設定される。このとき、振動体 4 の共振周波数は、実際に振動体 4 を加振して振動の振幅が実質的に最大となる周波数を検出して得られる。piezo 素子 10 の寄生キャパシタ P_{10} のキャパシタンスは、piezo 素子 10 単体の静電容量値 (キャパシタンス) を実測すればよい。

[0019] 図 3 は、抵抗回路 30 の構成例を示す図である。図 3 では、抵抗回路 30 の他に、抵抗回路 30 とともに振動制御装置 1 を構成するインダクタ 20 および piezo 素子 10 と、振動制御装置 1 により振動制御される振動体 4 が図示されている。図 3 に示すように、抵抗回路 30 は、抵抗 $R_{301} \sim R_{307}$ と、半固定抵抗 R_{308} と、増幅器 309 と、オペアンプ 310 および 311 と、ボルテージフォロワ 312 とを有する。

[0020] 抵抗 R_{307} は、前述の直列共振電流を検出する電流検出抵抗である。抵抗 R_{307} の第 1 端は piezo 素子 10 の接地されていない方の電極に接続されており、当該第 1 端はボルテージフォロワ 312 および抵抗 R_{301} を介してオペアンプ 310 の反転入力端子に接続されている。ボルテージフォロワ 312 は、オペアンプにより構成されたバッファアンプであり、高い入力インピーダンスと低い出力インピーダンスを有するインピーダンス変換回路

である。なお、抵抗 R_{301} の抵抗値が抵抗 R_{307} の抵抗値よりも十分に大きい場合はボルテージフォロワ 312 を省略しても良い。抵抗 R_{307} の第2端は抵抗 R_{302} を介してオペアンプ 310 の非反転入力端子に接続されており、オペアンプ 310 の非反転入力端子は抵抗 R_{304} を介して接地されている。オペアンプ 310 の出力端子は抵抗 R_{303} を介して反転入力端子に接続されている。オペアンプ 310 には、抵抗 R_{307} の両端電圧が入力され、オペアンプ 310 は、当該電圧を、基準電位（GND）を基準とするシングルエンド信号に変換して出力する。

[0021] オペアンプ 310 の出力端子は、半固定抵抗 R_{308} の2つの固定電極の一方に接続されているとともに、増幅器 309 を介して半固定抵抗 R_{308} の他方の固定電極に接続されている。増幅器 309 は、オペアンプ 310 の出力信号に A 倍の反転増幅を施した信号を出力する。半固定抵抗 R_{308} の可動電極はオペアンプ 311 の非反転入力端子に接続されている。半固定抵抗 R_{308} の両側の固定電極間の抵抗値を R_8 とすると、半固定抵抗 R_{308} において増幅器 309 の出力端子に接続されている側の固定電極から可動電極までの抵抗値 r は、可動電極の位置に応じて $0 \sim R_8$ （ $R_8 > 0$ ）まで連続的に変化する。半固定抵抗 R_{308} は、固定電極間に印加される電圧を可動電極の位置に応じて $r : (R_8 - r)$ に分割し、その分割電圧をオペアンプ 311 の非反転入力端子に出力する。オペアンプ 311 の反転入力端子は抵抗 R_{306} を介して接地されている。オペアンプ 311 の出力端子は、抵抗 R_{307} の抵抗 R_{302} と接続している側の端子（抵抗 R_{307} の第2端）に接続されているとともに、抵抗 R_{305} を介してオペアンプ 311 の反転入力端子に接続されている。

[0022] 図3に示す抵抗回路30において、抵抗 R_{307} に流れる電流を I_x 、抵抗 R_{307} の両端の電圧を V_x 、オペアンプ 310 の出力電圧を V_{z1} 、半固定抵抗 R_{308} の可動電極の電圧を V_{z2} 、オペアンプ 311 の出力電圧を V_{z3} 、抵抗 $R_{301} \sim R_{306}$ の抵抗値を $R_1 \sim R_6$ 、抵抗 R_{307} の抵抗値を R_d 、抵抗 $R_{301} \sim R_{304}$ とオペアンプ 310 からなる増幅器

のゲインを A_1 、抵抗 R_{305} および R_{306} とオペアンプ 311 からなる増幅器のゲインを A_2 とすると、以下の式 (1) ~ (6) に示す関係がある。

$$A_1 = R_4 / (R_2 + R_4) \cdot \{ (R_3 / R_1) + 1 \} \cdots (1)$$

$$A_2 = ((R_5 / R_6) + 1) \cdots (2)$$

$$V_x = R_d \cdot I_x \cdots (3)$$

$$V_{z1} = V_x \cdot (-A_1) \cdots (4)$$

$$V_{z2} = \{ (R_8 - r) - r \cdot A \} \cdot V_{z1} / R_8 \cdots (5)$$

$$V_{z3} = V_{z2} \cdot A_2 \cdots (6)$$

[0023] 上記式 (4) を式 (5) に代入することで以下の式 (7) が得られ、この式 (7) を式 (6) に代入することで以下の式 (8) が得られ、この式 (8) と式 (3) とから以下の式 (9) が得られる。なお、式 (9) における A_0 は、以下の式 (10) で表される。

$$V_{z2} = V_x \cdot (-A_1) \cdot \{ (R_8 - r) - r \cdot A \} / R_8 \cdots (7)$$

$$V_{z3} = V_x \cdot (A_2) \cdot (-A_1) \cdot \{ (R_8 - r) - r \cdot A \} / R_8 \cdots (8)$$

$$V_{z3} = -A_0 \cdot R_d \cdot I_x \cdots (9)$$

$$A_0 = A_1 \cdot A_2 \cdot \{ (R_8 - r) - r \cdot A \} / R_8 \cdots (10)$$

[0024] ここで、抵抗 R_{307} は、一端がハイインピーダンスとなっており、他端はオペアンプ 311 の出力端子の定電圧源 V_{z3} に接続されていると考えることができる。この場合、抵抗 R_{307} の定電流源側の電圧には、定電圧源 V_{z3} に起因したオフセットが生じる。そして、このオフセットが抵抗回路 30 の抵抗に印加されると考えられる。したがって、抵抗回路 3 の抵抗値 R_n は以下の式 (11) のように表すことができる。

$$\begin{aligned} R_n &= (V_x - I_x \cdot R_d \cdot A_0) / I_x \\ &= V_x / I_x - R_d \cdot A_0 \cdots (11) \end{aligned}$$

[0025] そして、式 (3) から得られる $V_x / I_x = R_d$ を上記式 (11) に代入すると、抵抗回路 30 の抵抗値 R_n は、以下の式 (12) のように表される

。

$$\begin{aligned} R_n &= R_d - R_d \cdot A_0 \\ &= (1 - A_0) \cdot R_d \cdots (12) \end{aligned}$$

抵抗回路30の抵抗値 R_n は、抵抗 $R_{301} \sim R_{306}$ の抵抗値 $R_1 \sim R_6$ と、半固定抵抗 R_{308} の抵抗値 r と、増幅器309のゲイン A とに応じて定まり、 $A_0 > 1$ のとき、すなわち、 $(1 + A) \cdot r < \{1 - 1 / (A_1 \cdot A_2)\} \cdot R_8$ のとき負の値となる。抵抗 $R_{301} \sim R_{306}$ の抵抗値 $R_1 \sim R_6$ および増幅器309のゲイン A を予め適切な値に設定しておけば、半固定抵抗 R_{308} の抵抗値 r を調整することで、抵抗回路30の抵抗値 R_n を負の値から正の値まで連続的に変化させることができる。

以上が振動制御装置の構成である。

[0026] 図4は、振動制御装置1による振動制御を行わなかった場合の振動体4の振動の時間変化を示す図である。図5は、抵抗回路30の抵抗値 R_n を正の値に設定して振動制御装置1による振動制御を行った場合の振動体4の振動の時間変化を示す図であり、図6は、抵抗回路30の抵抗値 R_n を負の値に設定して振動制御装置1による振動制御を行った場合の振動体4の振動の時間変化を示す図である。

[0027] 図4と図5とを比較すれば明らかなように、抵抗回路30の抵抗値 R_n を正の値に設定して振動制御装置1による振動制御を行うことで、同振動制御を行わない場合に比較して振動体4の振動が急速に減衰し、振動継続時間が短くなっていること、すなわち、制振効果が得られることが判る。同様に、図4と図6とを比較すれば明らかなように、抵抗回路30の抵抗値 R_n を負の値に設定して振動制御装置1による振動制御を行うことで、同振動制御を行わない場合に比較して振動体4の振動の減衰が緩やかになり、振動継続時間が長くなっていること、すなわち、励振効果が得られることが判る。

[0028] 図7には、振動制御装置1による振動制御を行わなかった場合、振動制御装置1による制振を行った場合、および振動制御装置1による励振を行った場合の各々における振動体4の振動速度と周波数の関係が実線、点線および

一点鎖線で描画されている。図7を参照すれば明らかなように、抵抗回路30の抵抗値 R_n を正の値に設定して振動制御装置1による振動制御を行うことで、同振動制御を行わない場合に比較して共振周波数における振動速度が遅くなる。この点からも、抵抗回路30の抵抗値 R_n を正の値に設定することで制振効果が奏されることが判る。同様に、図7を参照すれば明らかなように、抵抗回路30の抵抗値 R_n を負の値に設定して振動制御装置1による振動制御を行うことで、同振動制御を行わない場合に比較して共振周波数における振動速度が速くなり、励振効果が奏されることが判る。

[0029] 以上説明したように本実施形態の振動制御装置1によれば、抵抗回路30の抵抗値 R_n を正の値に設定することで振動体4の制振を行うことができ、抵抗回路30の抵抗値 R_n を負の値に設定することで振動体4の励振を行うことができる。このように、本実施形態によれば、抵抗回路30の抵抗値 R_n を調整することで、振動体4の振動継続時間を任意に制御することが可能になる。

[0030] (B：変形例)

以上本発明の一実施形態について説明したが、以下の変形を加えても良い。以下の変形例の要旨は、適宜組み合わせることができる。

(1) 上記実施形態では、抵抗回路30として、抵抗値を負の値から正の値まで変更可能な可変抵抗回路が採用されていた。しかし、振動体4の制振を行う必要はなく、励振を行えば十分な場合には、抵抗回路30は、抵抗値を負の値の範囲で変更可能な可変抵抗回路であれば良い。逆に、振動体4の励振を行う必要はなく、制振を行えば十分な場合には、抵抗回路30は、抵抗値を正の値の範囲で変更可能な可変抵抗回路であれば良い。また、振動体4の制振或いは励振を行う上で抵抗回路30の抵抗値の好適な値が予め判っているのであれば、抵抗回路30は可変抵抗である必要はない。

[0031] (2) インダクタ20として、図8に示す疑似インダクタ回路20Aを用いても良い。図8に示すように、疑似インダクタ回路20Aは、第1の電流帰還型増幅回路21と、第2の電流帰還型増幅回路22と、オペアンプにより

構成されたバッファアンプであるボルテージフォロワ 23 と、積分回路 24 とにより構成されている。インダクタ 20 として、疑似インダクタ回路が使用される場合、インダクタンスの値を調整して、インダクタ 20 と寄生キャパシタ P10 とからなる並列共振回路の共振周波数と、振動体 4 の共振周波数とを一致させることができる。

[0032] ボルテージフォロワ 23 は、高い入力インピーダンスと低い出力インピーダンスを有するインピーダンス変換回路であり、 piezo 素子 10 の接地されてない方の電極が接続された被処理ノード P1 の電圧をゲイン 1 で増幅して出力する。

[0033] 積分回路 24 は、可変抵抗 R205 と、オペアンプ 206 と、積分キャパシタ Ca とにより構成されている。ここで、可変抵抗 R205 は、ボルテージフォロワ 23 の出力端子とオペアンプ 206 の反転入力端子との間に介挿されている。オペアンプ 206 の非反転入力端子は接地されている。また、オペアンプ 206 の出力端子と反転入力端子の間には積分キャパシタ Ca が挿入されている。この積分回路 24 では、ボルテージフォロワ 23 の出力電圧を可変抵抗 R205 の抵抗値により除算した電流が積分キャパシタ Ca に充電される。この結果、ボルテージフォロワ 23 の出力電圧（すなわち、被処理ノード P1 の電圧）を積分した電圧がオペアンプ 206 から出力される。

[0034] 第 1 の電流帰還型増幅回路 21 は、抵抗 R201 および R203 と、 PNP トランジスタ Tp と、直流電源 Vb1 とを有する。ここで、抵抗 R201 は、正電源 Vcc と PNP トランジスタ Tp のエミッタとの間に挿入されている。また、抵抗 R203 は、オペアンプ 206 の出力端子（すなわち、積分回路 24 の出力端子）と PNP トランジスタ Tp のエミッタとの間に挿入されている。また、 PNP トランジスタ Tp のコレクタは、被処理ノード P1 に接続されている。そして、電源 Vb1 は、正電源 Vcc の電位から所定電圧だけ低い電位を PNP トランジスタ Tp のベースに与えることにより、 PNP トランジスタ Tp のベースおよびエミッタ間に順方向バイアスを与え

ている。

[0035] この第1の電流帰還型増幅回路21において、正電源 V_{cc} から抵抗 R_{201} を通過した電流は、PNPトランジスタ T_p と抵抗 R_{203} とに分流する。ここで、積分回路24の出力電圧が上昇すると、抵抗 R_{203} に流れる電流が減少し、その減少分だけPNPトランジスタ T_p に流れるエミッタ電流が増加する。また、積分回路24の出力電圧が低下すると、抵抗 R_{203} に流れる電流が増加し、その増加分だけPNPトランジスタ T_p に流れるエミッタ電流が減少する。

[0036] 第2の電流帰還型増幅回路22は、抵抗 R_{202} および R_{204} と、NPNトランジスタ T_n と、直流電源 V_{b2} とを有する。ここで、抵抗 R_{202} は、負電源 V_{ee} とNPNトランジスタ T_n のエミッタとの間に挿入されている。また、抵抗 R_{204} は、積分回路24の出力端子とNPNトランジスタ T_n のエミッタとの間に挿入されている。また、NPNトランジスタ T_n のコレクタは、被処理ノードP1に接続されている。そして、電源 V_{b2} は、負電源 V_{ee} の電位から所定電圧だけ高い電位をNPNトランジスタ T_n のベースに与えることにより、NPNトランジスタ T_n のベースおよびエミッタ間に順方向バイアスを与えている。

[0037] この第2の電流帰還型増幅回路22では、NPNトランジスタ T_n のエミッタ電流と、積分回路24から抵抗 R_{204} を介して供給される電流とが、抵抗 R_{202} を介して負電源 V_{ee} に流れ込む。ここで、積分回路24の出力電圧が上昇すると、抵抗 R_{204} に流れる電流が増加し、その増加分だけNPNトランジスタ T_n に流れるエミッタ電流が減少する。また、積分回路24の出力電圧が低下すると、抵抗 R_{204} に流れる電流が減少し、その減少分だけNPNトランジスタ T_n に流れるエミッタ電流が増加する。

以上が疑似インダクタ回路20Aの構成である。

[0038] 疑似インダクタ回路20Aにおいて、被処理ノードP1の電圧の変動量が Δv_1 である場合、積分回路24の出力電圧の変動量 Δv_c は次式により与えられる。

$$\Delta v_c = -\Delta v_1 / (R_{205} \cdot j\omega C_a) \cdots (13)$$

[0039] この場合、PNPトランジスタ T_p のコレクタ電流の変動量 Δi_p と、NPNトランジスタ T_n のコレクタ電流の変動量 Δi_n は次式により与えられる。

$$\Delta i_p = -\Delta v_1 / (R_{203} \cdot R_{205} \cdot j\omega C_a) \cdots (14)$$

$$\Delta i_n = \Delta v_1 / (R_{204} \cdot R_{205} \cdot j\omega C_a) \cdots (15)$$

[0040] 従って、ピエゾ素子10から被処理ノードP1を介して疑似インダクタ回路20Aに流れ込む電流の変動量 Δi_1 は、次式により与えられる。

$$\begin{aligned} \Delta i_1 &= \Delta i_n - \Delta i_p \\ &= \Delta v_1 / (R_{204} \cdot R_{205} \cdot j\omega C_a) \\ &\quad + \Delta v_1 / (R_{203} \cdot R_{205} \cdot j\omega C_a) \cdots (16) \end{aligned}$$

[0041] この Δi_1 は、被処理ノードP1の電圧が Δv_1 だけ変動することによって、電流帰還型増幅回路21および22を介して被処理ノードP1に負帰還される電流であり、この電流 Δi_1 が被処理ノードP1から疑似インダクタ回路20Aに流れ込む。従って、被処理ノードP1から見た疑似インダクタ回路20AのインピーダンスZは、次式のようになる。

$$\begin{aligned} Z &= \Delta v_1 / \Delta i_1 \\ &= \Delta v_1 / [\Delta v_1 / (R_{204} \cdot R_{205} \cdot j\omega C_a) \\ &\quad + \Delta v_1 / (R_{203} \cdot R_{205} \cdot j\omega C_a)] \\ &= 1 / [1 / (R_{204} \cdot R_{205} \cdot j\omega C_a) \\ &\quad + 1 / (R_{203} \cdot R_{205} \cdot j\omega C_a)] \cdots (17) \end{aligned}$$

[0042] ここで、簡単のため、 $R_{203} = R_{204} = R_{20}$ とすると、上記式は次のようになる。

$$Z = (R_{20} \cdot R_{205} \cdot j\omega C_a) / 2 \cdots (18)$$

このように疑似インダクタ回路20AのインピーダンスZは、計算上は抵抗成分がゼロであり、リアクタンスのみにより構成されている。

$$L_s = (R_{20} \cdot R_{205} \cdot C_a) / 2 \cdots (19)$$

[0043] (3) 上記実施形態では、振動体の振動制御への本発明の適用例を説明した

。しかし、本発明の適用対象は、振動体の振動制御に限定される訳ではない。具体的には、本発明は、振動体を電気等価回路（図2の直列共振回路）に置き換えた場合における当該振動体の固有振動を特徴づけるパラメータ L_m 、 C_m および R_{es} の計測に適用可能である。

[0044] 図9は、本発明による電氣的等価回路パラメータの計測方法の流れを示すフローチャートである。当該計測方法によりパラメータ L_m 、 C_m 、および R_{es} の計測を行う計測者は、まず、振動体にピエゾ素子を固定し、ピエゾ素子にインダクタを並列接続する（ステップS A 1 0 0）。ピエゾ素子にインダクタを並列接続するのは、振動体を電気等価回路に置き換えた場合の共振周波数においてピエゾ素子の寄生キャパシタに電流が流れないようにするためである。ピエゾ素子の寄生キャパシタと並列接続したインダクタにより並列共振回路を構成し、この並列共振回路の共振周波数を振動体の共振周波数と実質的に一致させることで、寄生キャパシタへ電流が流れないようにすることができる。振動体の共振周波数は、振動体を加振して振動の振幅が実質的に最大となる周波数を実測して得ることができる。また、ピエゾ素子のキャパシタンスは素子単体の静電容量を実測により求めることができる。

[0045] 次いで、計測者は、所定のインパルス振動を振動体に与えて上記ピエゾ素子の両端に現れる電圧 V_1 を計測する（ステップS A 1 1 0）。そして、計測者は、上記インダクタに抵抗を並列接続して、ステップS A 1 1 0にて振動体に与えたインパルス振動と等価なインパルス振動を上記振動体を与え、上記抵抗の両端に現れる電圧 V_2 を計測する（ステップS A 1 2 0）。

[0046] 次いで、計測者は、上記振動体の固有振動を特徴づけるパラメータのうち抵抗値 R_{es} を、ステップS A 1 2 0にてインダクタに並列接続した抵抗の抵抗値 R_d と、ステップS A 1 1 0にて計測された電圧 V_1 と、ステップS A 1 2 0にて計測された電圧 V_2 とから、以下の式（19 A）にしたがって算出する（ステップS A 1 3 0）。

$$R_{es} = R_d \times (V_1 - V_2) / V_2 \dots (19 A)$$

[0047] 式（19 A）により抵抗値 R_{es} が算出される理由は次の通りである。ス

ステップS A 1 1 0にて計測される電圧V 1は、上記ピエゾ素子の発電電圧に相当する。ステップS A 1 2 0にて計測される電圧V 2は、電圧V 1を、ステップS A 1 2 0にてインダクタに接続した抵抗と抵抗4 3 0で分圧した電圧である。電圧V 1、電圧V 2、抵抗値R dおよびR e sの間には以下の式(19 B)に示す関係があり、式(19 B)を抵抗値R e sについて解くことで式(19 A)が得られる。

$$V 2 = V 1 \times R d / (R d + R e s) \cdots (19 B)$$

[0048] 次いで、計測者は、所定のインパルス振動を上記振動体に与え、ステップS A 1 2 0にてインダクタに並列接続した抵抗の両端に現れる電圧の周波数応答を計測する(ステップS A 1 4 0)。次いで、計測者は、上記の要領で計測した周波数応答に基づいて上記振動体の共振のQ値、すなわちキャパシタンスC mとインダクタンスL mによる共振のQ値、を算出する(ステップS A 1 5 0)。より詳細に説明すると、計測者は、まず、ステップS A 1 4 0にて計測した周波数応答から、周波数が高くなるに連れて上記電圧が増加から減少に転じる周波数範囲において、上記電圧がピークとなる第1の周波数(すなわち、共振周波数)w oを読み取る。さらに、同周波数応答から同周波数範囲において、上記電圧がピークにおける電圧の $1/\sqrt{2}$ 倍の値となる第2の周波数w p 1および第3の周波数w p 2($w p 1 < w o < w p 2$)を読み取る。計測者は、周波数応答から読み取った第1の周波数w o、第2の周波数w 1および第3の周波数w 2を用いて、上記振動体の共振のQ値を以下の式(20)にしたがって算出する。

$$Q = w o / (w p 2 - w p 1) \cdots (20)$$

[0049] そして、計測者は、ステップS A 1 3 0にて算出した抵抗値R e sとステップS A 1 5 0にて算出したQ値とを用いて、キャパシタンスC mおよびインダクタンスL mを算出する(ステップS A 1 6 0)。式(20)にしたがって算出されるQ値は以下の式(21)或いは式(22)で表すこともできるので、計測者は、式(20)にしたがって算出したQ値を式(21)に代入し、L mについて解くこととでL mの値を求めることができる。同様に、

計測者は、式（20）にしたがって算出した Q を式（22）に代入し、 C_m について解くことで C_m の値を求めることができる。

$$Q = \omega_0 \times L_m / (R_{es} + R_d) \cdots (21)$$

$$Q = 1 / (\omega_0 \times C_m \times (R_{es} + R_d)) \cdots (22)$$

[0050] 本態様によれば、振動体の電気等価回路のパラメータ R_{es} 、 C_m および L_m を実際に計測することが可能になる。従来の振動制御技術では、これらパラメータはシミュレーション等により算出され、その算出結果に応じて制振装置のインダクタンス等が定められており、この点も十分な制振効果が得られない原因の一つであった。これに対して、本態様によれば、上記各パラメータを実測することが可能になり、実測結果に応じて振動制御装置に含まれるインダクタのインダクタンスや抵抗の抵抗値を定めることで、従来よりも精度良く振動制御を行うことが可能になる。なお、振動体の電気等価回路のパラメータのうちキャパシタンス C_m およびインダクタンス L_m を求める必要がない場合には、図9におけるステップS A 1 4 0以降の処理を省略すれば良い。

（4）本発明に係る振動制御装置は、様々な振動体に適用することができ、例えば、上述したスピーカその他、楽器にも適用することができる。楽器の例としては、マリンバ等の打楽器、ピアノ等の鍵盤楽器、ヴァイオリン等の弦楽器等が挙げられる。

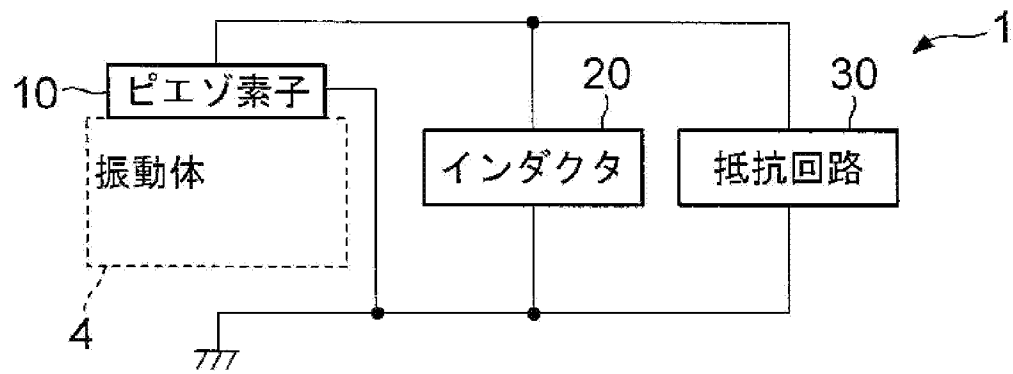
符号の説明

[0051] 1…振動制御装置、4…振動体、10… piezo素子、20…インダクタ、30…抵抗回路。

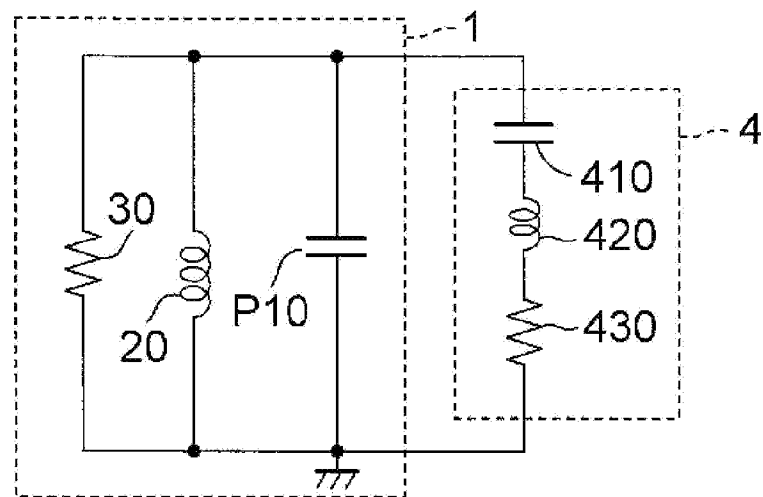
請求の範囲

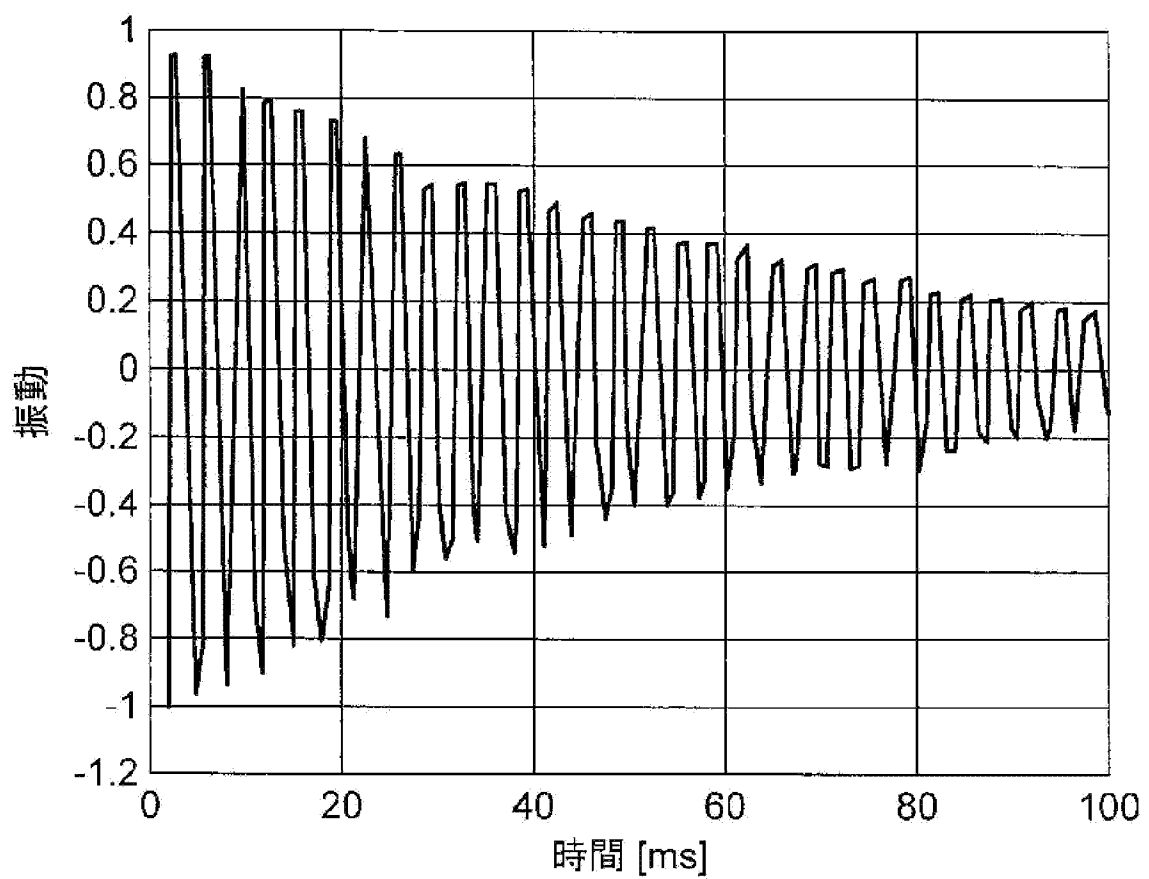
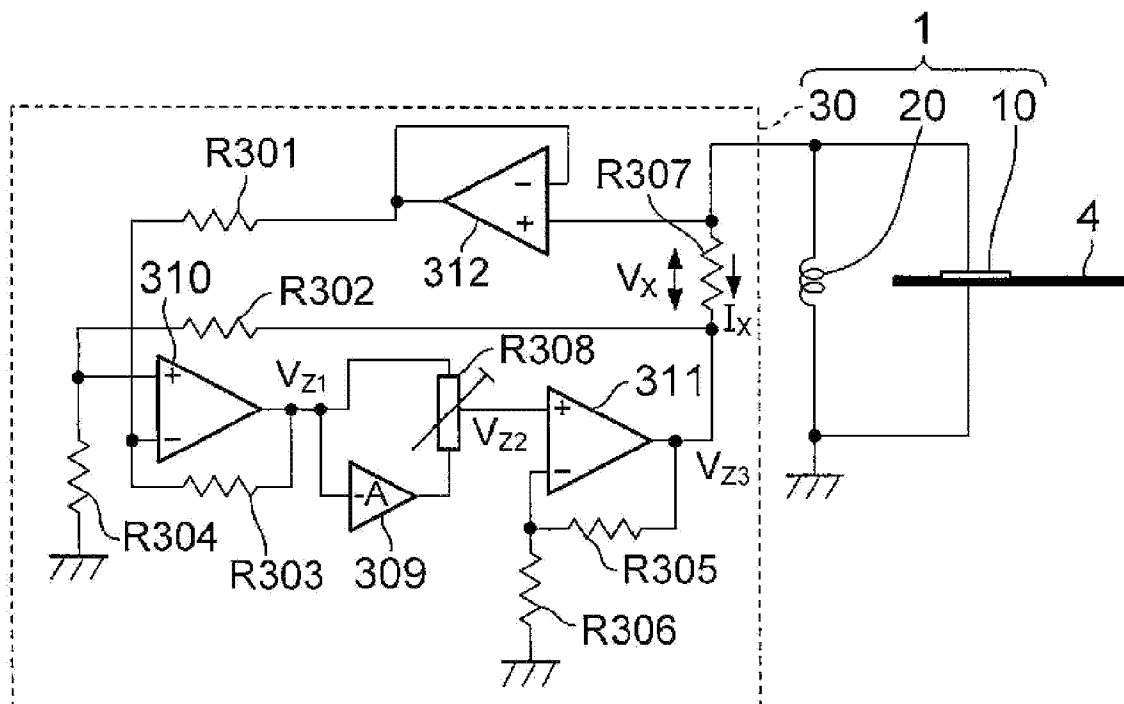
- [請求項1] 振動体に固定されるピエゾ素子と、
前記ピエゾ素子に並列に接続されるインダクタおよび抵抗と
を具備する、振動制御装置。
- [請求項2] 前記抵抗は、抵抗値を負の値から正の値まで変更可能な可変抵抗で
ある、請求項1に記載の振動制御装置。
- [請求項3] 前記インダクタは疑似インダクタである、請求項1または2に記載
の振動制御装置。
- [請求項4] 請求項1から3のいずれかに記載の振動制御装置と、
前記振動体としてのスピーカ筐体と
を備える、スピーカシステム。
- [請求項5] 請求項1から3のいずれかに記載の振動制御装置と、
前記振動体としての楽器と
を備える、楽器システム。
- [請求項6] 前記楽器は、打楽器である、請求項5に記載の楽器システム。

[図1]

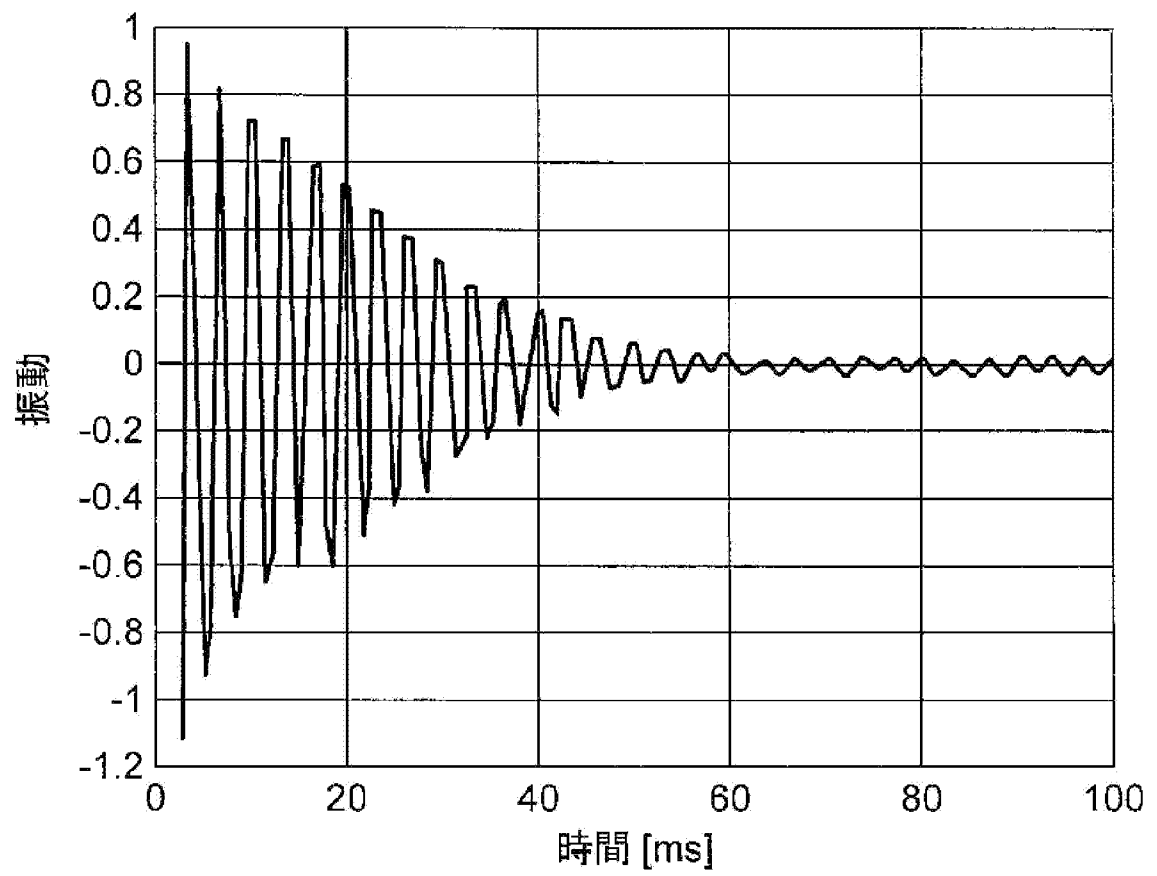


[図2]

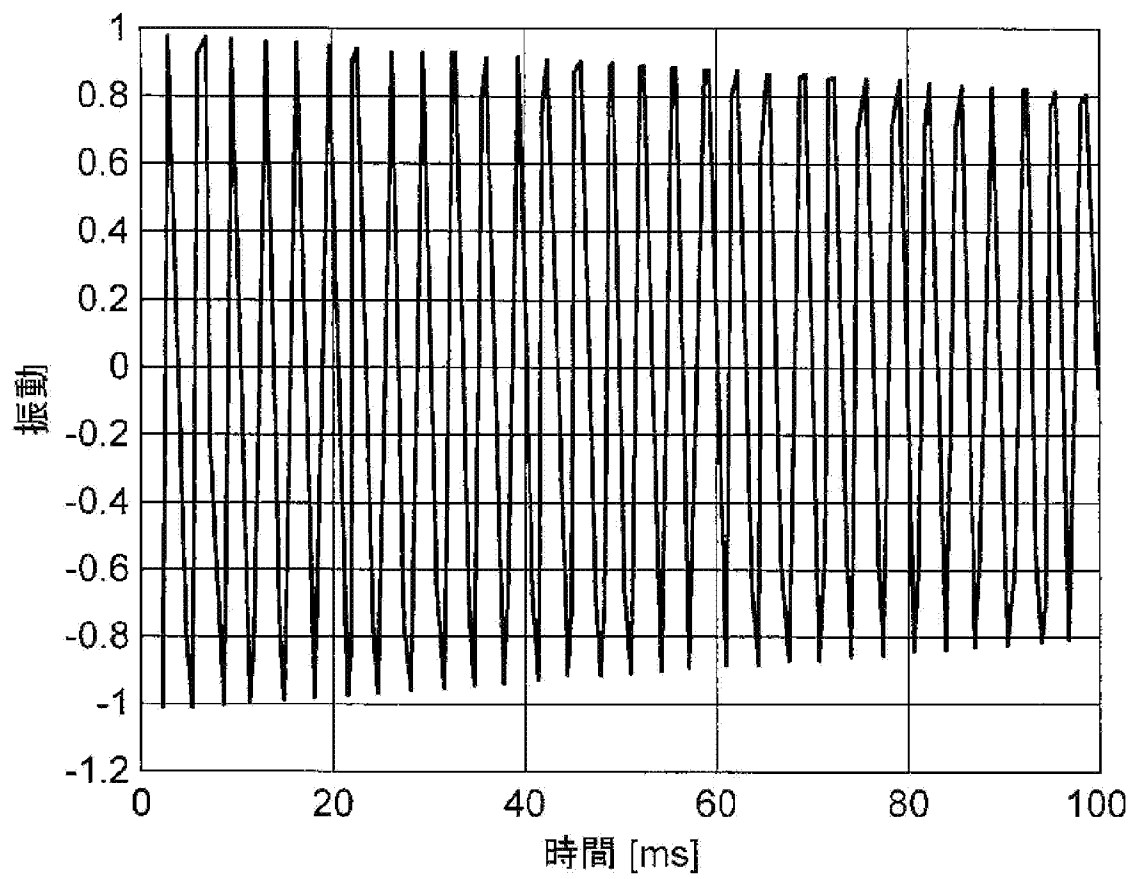




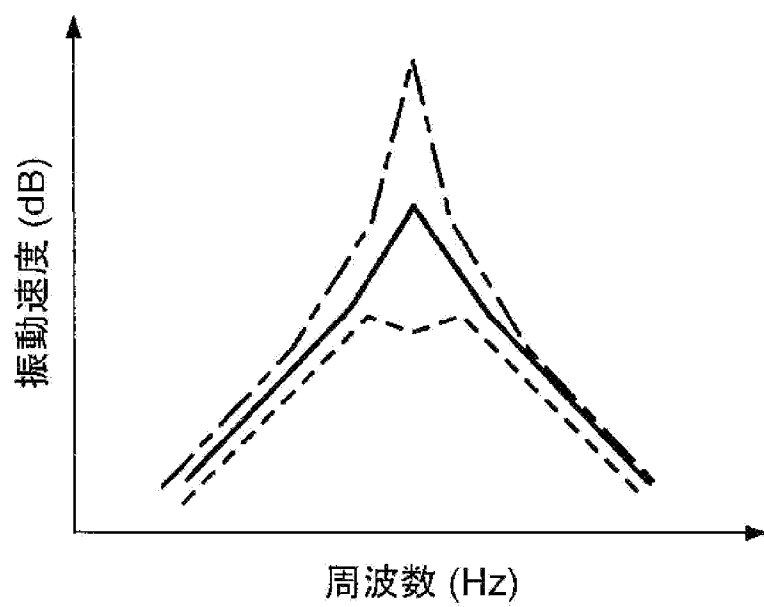
[図5]



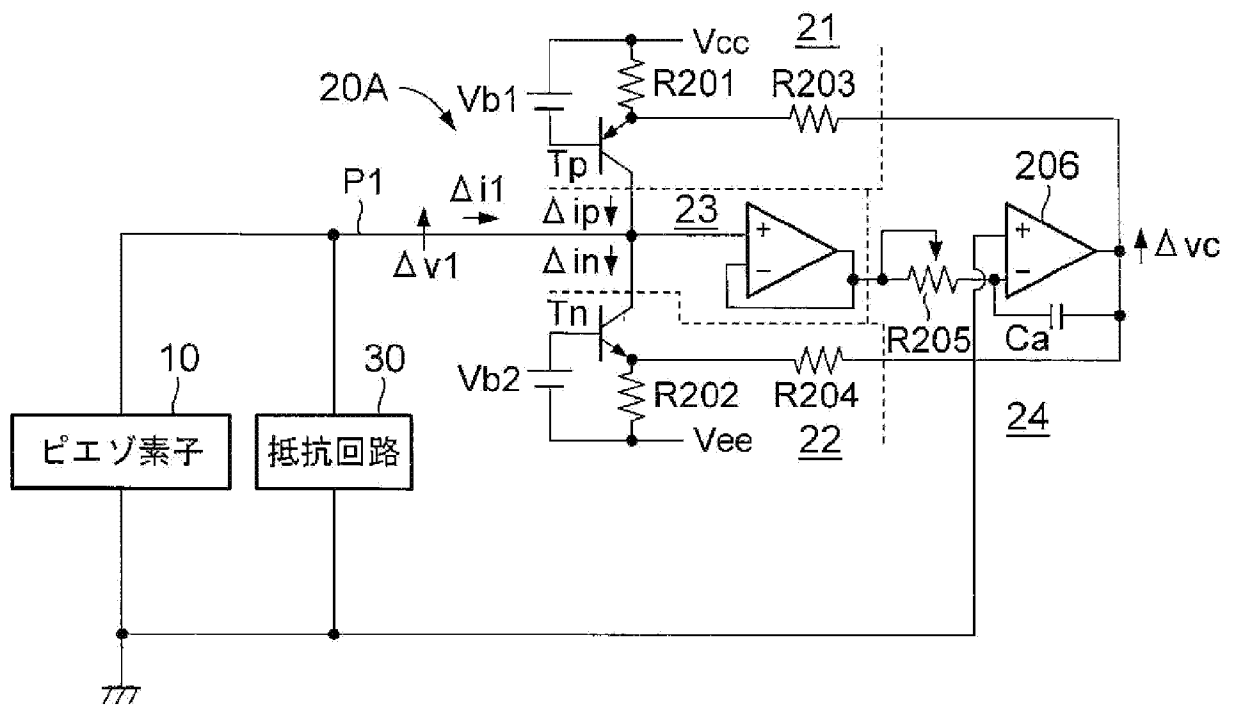
[図6]



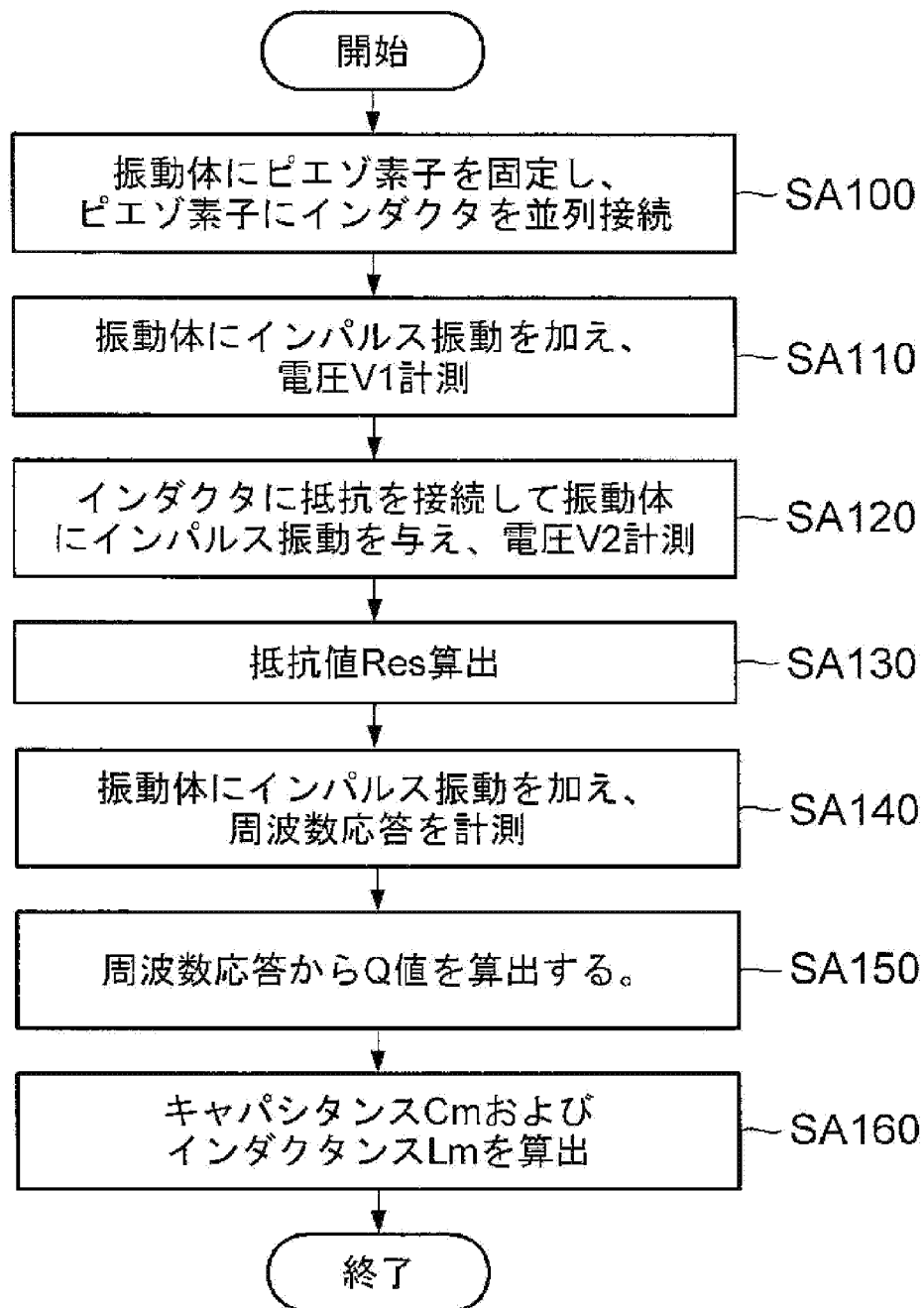
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/020004

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. H04R3/00 (2006.01) i, B06B1/06 (2006.01) i, F16F15/02 (2006.01) i, G10H1/32 (2006.01) i, G10H3/00 (2006.01) i, H02N2/06 (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) Int.Cl. H04R3/00, B06B1/06, F16F15/02, G10H1/32, G10H3/00, H02N2/06 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 1971-2018 Registered utility model specifications of Japan 1996-2018 Published registered utility model applications of Japan 1994-2018 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 5783898 A (MCDONNELL DOUGLAS CORP.) 21 July 1998, fig. 2, column 3, lines 49-56 (Family: none)	1, 3-6 2
A	JP 2007-71238 A (JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY) 22 March 2007, entire text, all drawings & US 2007/0052325 A1	1-6
P, A	WO 2017/150267 A1 (YAMAHA CORP.) 08 September 2017, entire text, all drawings & JP 2017-158419 A	1-6
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 26 July 2018 (26.07.2018)		Date of mailing of the international search report 07 August 2018 (07.08.2018)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04R3/00(2006.01)i, B06B1/06(2006.01)i, F16F15/02(2006.01)i, G10H1/32(2006.01)i,
G10H3/00(2006.01)i, H02N2/06(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（I P C））

Int.Cl. H04R3/00, B06B1/06, F16F15/02, G10H1/32, G10H3/00, H02N2/06

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	US 5783898 A (MCDONNELL DOUGLAS CORP.) 1998.07.21, FIG.2, 第 3欄第49行目-56行目（ファミリーなし）	1,3-6 2
A	JP 2007-71238 A（独立行政法人 宇宙航空研究開発機構） 2007.03.22, 全文、全図 & US 2007/0052325 A1	1-6
P, A	WO 2017/150267 A1（ヤマハ株式会社）2017.09.08, 全文、全図 & JP 2017-158419 A	1-6

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

26.07.2018

国際調査報告の発送日

07.08.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

富澤 直樹

電話番号 03-3581-1101 内線 3591

5 Z

4188