

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-9414
(P2017-9414A)

(43) 公開日 平成29年1月12日(2017.1.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
GO1P 15/09 (2006.01)	GO1P 15/09 V	2F055
GO1L 23/10 (2006.01)	GO1L 23/10	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2015-124554 (P2015-124554)	(71) 出願人	000115636 リオン株式会社 東京都国分寺市東元町3丁目20番41号
(22) 出願日	平成27年6月22日(2015.6.22)	(74) 代理人	100148068 弁理士 高橋 洋平
		(72) 発明者	矢島 章二郎 東京都国分寺市東元町3丁目20番41号 リオン株式会社内
		(72) 発明者	下村 和広 東京都国分寺市東元町3丁目20番41号 リオン株式会社内
		Fターム(参考)	2F055 AA40 BB20 EE23 FF02 GG32

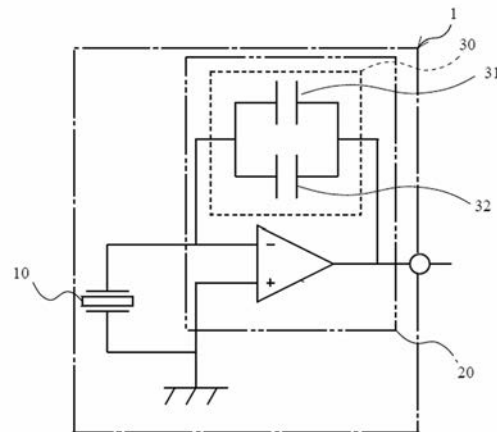
(54) 【発明の名称】 圧電センサ

(57) 【要約】

【課題】 電圧感度の変化率を技術的及び経済的に容易に小さくすることができる圧電センサを提供する。

【解決手段】 本発明の圧電センサ1は、圧電素子10と、圧電素子10と同じ材質で構成されており分極されていない同材質コンデンサからなる第1フィードバックコンデンサ31と圧電素子10が有する電荷感度の温度変化率より小さな温度変化率の静電容量を有する第2フィードバックコンデンサ32とを接続して構成されるフィードバックコンデンサユニット30を有するとともに、圧電素子10に電氣的に接続されているチャージアンプ20と、を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

圧電素子と、

前記圧電素子と同じ材質で構成されており分極されていない同材質コンデンサからなる第 1 フィードバックコンデンサと前記圧電素子が有する電荷感度の温度変化率より小さな温度変化率の静電容量を有する第 2 フィードバックコンデンサとを接続して構成されるフィードバックコンデンサユニットを有するとともに、前記圧電素子に電氣的に接続されているチャージアンプと、を備えることを特徴とする圧電センサ。

【請求項 2】

前記第 2 フィードバックコンデンサの温度係数は、圧電センサの使用許容温度の範囲内において $\pm 100 \text{ ppm/}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の圧電センサ。

【請求項 3】

前記第 2 フィードバックコンデンサは、セラミックコンデンサであることを特徴とする請求項 2 に記載の圧電センサ。

【請求項 4】

前記フィードバックコンデンサユニットは、前記第 1 フィードバックコンデンサと、前記第 2 フィードバックコンデンサと、を並列に接続して構成されることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の圧電センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電センサに係り、特に、低温から高温の範囲（例えば $-50 \sim 170$ ）内全域において電圧感度の温度補償に対応する圧電式加速度センサや圧電式圧力センサなどに好適に利用できる圧電センサに関する。

【背景技術】

【0002】

従来の圧電センサは、例えば、圧電素子と、圧電素子に電氣的に接続したチャージアンプと、を備える。また、チャージアンプは、フィードバックコンデンサを有する。フィードバックコンデンサとしては、圧電素子と同じ材質で構成され、かつ、分極されていないコンデンサ（以下、「同材質コンデンサ」という。）が用いられる（特許文献 1 を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 05 - 60643 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来の圧電センサにおいては、フィードバックコンデンサとして同材質コンデンサを用いたとしても、フィードバックコンデンサの静電容量の変化率が圧電素子の電荷感度の変化率より大きくなってしまふ。圧電センサの電圧感度 S_v は、圧電素子の電荷感度 S_q に比例し、フィードバックコンデンサの静電容量 C_f に反比例する（ $S_v = S_q / C_f$ ）。その結果、使用温度が室温等の基準温度に対して低温側又は高温側に变化すると、電圧感度 S_v の変化率が大きくなってしまふという問題があった。

【0005】

また、圧電素子の電荷感度の変化率とフィードバックコンデンサの静電容量の変化率を

同程度にすることは理論上可能であっても、圧電素子の製品誤差が必ず生じることを考慮すると、上記のような理想的なフィードバックコンデンサを選定又は製作することは技術的及び経済的に困難であるという問題があった。

【0006】

そこで、本発明はこれらの点に鑑みてなされたものであり、電圧感度の温度補償を高精度かつ容易に実現することができる圧電センサを提供することを本発明の目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

(1) 前述した目的を達成するため、本発明の圧電センサは、圧電素子と、圧電素子と同じ材質で構成されており分極されていない同材質コンデンサからなる第1フィードバックコンデンサと圧電素子が有する電荷感度の温度変化率より小さな温度変化率の静電容量を有する第2フィードバックコンデンサとを接続して構成されるフィードバックコンデンサユニットを有するとともに、圧電素子に電氣的に接続されているチャージアンプと、を備えることを特徴としている。

10

【0008】

これにより、圧電素子が有する電荷感度の温度変化率よりも静電容量の温度変化率を大きくし、かつ温度に対して圧電素子の電荷感度と同様な傾向を有する第1フィードバックコンデンサ及び圧電素子が有する電荷感度の温度変化率より小さな温度変化率の静電容量を有する第2フィードバックコンデンサを組合せた回路をフィードバックコンデンサユニットとして使用するので、フィードバックコンデンサユニットが有する静電容量の温度変化率を圧電素子が有する電荷感度の温度変化率と同程度の値に容易に設定することができる。また、チャージアンプのゲインとの関係から第1フィードバックコンデンサ及び第2フィードバックコンデンサの静電容量は約10～1000pF程度で十分であり、それらの各サイズはいずれも小さいことから、それらを組み合わせたフィードバックコンデンサユニットのサイズも小さいままである。その結果、本発明の圧電センサを従来と同程度のサイズにすることができる。

20

【0009】

(2) また、本発明の圧電センサにおいて、第2フィードバックコンデンサの温度係数は、圧電センサの使用許容温度の範囲内において ± 100 ppm/以下であることが好ましい。

30

【0010】

これにより、第2フィードバックコンデンサの温度変化率を0に近似させてもフィードバックコンデンサユニットの温度変化率を約 $\pm 5\%$ の精度で設定することができるので、第1フィードバックコンデンサ及び第2フィードバックコンデンサの各静電容量を選択する労力を大幅に軽減することができる。

【0011】

(3) また、本発明の圧電センサにおいて、第2フィードバックコンデンサは、セラミックコンデンサであることが好ましい。

【0012】

これにより、第2フィードバックコンデンサとしてのセラミックコンデンサの温度係数は \pm 約30ppm/であるから、その温度変化率を0に近似させてもフィードバックコンデンサユニットの温度変化率を約 $\pm 2\%$ の精度で設定することができるので、第1フィードバックコンデンサ及び第2フィードバックコンデンサの各静電容量の選択する労力を大幅に軽減することができる。また、市販のセラミックコンデンサは容易に入手可能であり、第2フィードバックコンデンサの選択自由度を高めることができる。また、第2フィードバックコンデンサが耐熱性に優れたセラミックコンデンサであることによって、圧電センサを従来よりも高温で使用することができる。

40

【0013】

(4) また、本発明の圧電センサにおいて、フィードバックコンデンサユニットは、第

50

1 フィードバックコンデンサと、第 2 フィードバックコンデンサと、を並列に接続して構成されることが好ましい。

【0014】

これにより、フィードバックコンデンサユニットの静電容量 C_f は第 1 フィードバックコンデンサの静電容量 C_{f1} と第 2 フィードバックコンデンサの静電容量 C_{f2} とを足して得た値 ($C_f = C_{f1} + C_{f2}$) となるので、フィードバックコンデンサユニットの設計時にその静電容量の計算を容易にすることができる。また、並列接続時に使用する第 1 フィードバックコンデンサの静電容量が直列接続時に使用する第 1 フィードバックコンデンサの静電容量よりも小さくなり、その分だけ第 1 フィードバックコンデンサのサイズも小さくなるので、圧電センサを小型化させることができる。

10

【発明の効果】

【0015】

本発明の圧電センサによれば、フィードバックコンデンサユニットが有する静電容量の温度変化率を圧電素子が有する電荷感度の温度変化率と同程度の値に設定することが容易となるので、電圧感度の温度補償を高精度かつ容易に実現することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図 1】本実施形態の第 1 フィードバックコンデンサ及び第 2 フィードバックコンデンサを並列接続した圧電センサの一例を示す等価回路図である。

20

【図 2】本実施形態の第 1 フィードバックコンデンサ及び第 2 フィードバックコンデンサを直列接続した圧電センサの一例を示す等価回路図である。

【図 3】本実施形態の第 1 フィードバックコンデンサ及び第 2 フィードバックコンデンサを並列接続した圧電センサの温度変化率を示すグラフである。

【図 4】本実施形態の第 1 フィードバックコンデンサ及び第 2 フィードバックコンデンサを直列接続した圧電センサの温度変化率を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、図を用いて、本実施形態の圧電センサを説明する。

【0018】

30

[1] 圧電センサ 1 の構成

図 1 は、本実施形態の第 1 フィードバックコンデンサ及び第 2 フィードバックコンデンサを並列接続した圧電センサの一例を示す等価回路図である。図 2 は、本実施形態の第 1 フィードバックコンデンサ及び第 2 フィードバックコンデンサを直列接続した圧電センサの一例を示す等価回路図である。

【0019】

本実施形態の圧電センサは、例えば、チャージアンプ（プリアンプ）を内蔵した圧電式加速度センサや圧電式圧力センサなど、加速度や力を低インピーダンスの電気信号に変換するセンサを想定している。また、圧電センサは、例えば、フィードバックコンデンサを内蔵する圧電式加速度センサや圧電式圧力センサなど、低温から高温の範囲（例えば - 50 ~ 170 ）内全域において電圧感度の温度補償に対応するセンサを想定している。

40

【0020】

したがって、本実施形態の圧電センサ 1 は、図 1 又は図 2 に示すように、圧電素子 10 と、チャージアンプ 20 と、を備える。

【0021】

(1) 圧電素子 10

圧電素子 10 は、力を受けると電荷（高インピーダンスの電気信号）を生じるといった圧電効果を生じる素子である。本実施形態の圧電素子 10 は、所望の面に電極を有している。また、その電極とチャージアンプ 20 とは電氣的に接続されている。圧電素子の材質としては、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）、や水晶などが用いられる。電極の

50

材質としては、ニッケル (Ni) や金 (Au) などが用いられる。

【0022】

また、本実施形態の圧電センサ1が圧電式加速度センサである場合、圧電素子10は、例えば、圧電式加速度センサの本体部となるベースと重錘の間においてネジや接着剤などの固定材を用いて固定される。そして、圧電式加速度センサが加速度を受けると、その加速により重錘に生じた力が圧電素子10に加わり、その圧電素子10に電荷が発生する。

【0023】

(2) チャージアンプ20

チャージアンプ20は、圧電素子10から得た電荷に比例した電圧を出力する増幅器である。このチャージアンプ20は、その出力電圧の増幅率を決める帰還静電容量となるフィードバックコンデンサユニット30と、オペアンプ又はトランジスタなどで構成される。また、このチャージアンプ20は圧電センサ1に内蔵されている。これは、チャージアンプ20が圧電センサ1に内蔵されていない場合に、圧電センサ1と外付用チャージアンプとを接続する外付用接続ケーブルの浮遊容量が原因となって圧電素子10から出力された電気信号にノイズが発生することを除くためである。

10

【0024】

(3) フィードバックコンデンサユニット30

フィードバックコンデンサユニット30は温度補償用コンデンサとしての役割を果たす。そのため、フィードバックコンデンサユニット30は、圧電素子10の温度環境と同様の温度環境になるように、圧電センサ1内において圧電素子10の近くに配置されることが好ましい。

20

【0025】

また、フィードバックコンデンサユニット30は、第1フィードバックコンデンサ31と、第2フィードバックコンデンサ32と、を有する。第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32の接続方法としては、温度補償の観点から、図1に示すような並列接続又は図2に示すような直列接続のどちらでもよい。その一方、フィードバックコンデンサユニット30の設計容易性の観点から、第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32の接続方法としては、図1に示すような並列接続が好ましい。

【0026】

(3-1) 第1フィードバックコンデンサ31

第1フィードバックコンデンサ31は、圧電素子10が有する電荷感度の温度変化率より大きな温度変化率の静電容量を有する。

30

【0027】

第1フィードバックコンデンサ31としては、圧電素子10と同じ材質で構成され、かつ、分極されていない同材質コンデンサであることが好ましい。

【0028】

また、第1フィードバックコンデンサ31は、1個のコンデンサで構成されていてもよいし、2個以上の合成コンデンサで構成されていてもよい。

【0029】

(3-2) 第2フィードバックコンデンサ32

第2フィードバックコンデンサ32は、圧電素子10が有する電荷感度の温度変化率より小さな温度変化率の静電容量を有する。

40

【0030】

第2フィードバックコンデンサ32の温度係数は、圧電センサ1の使用許容温度の範囲内において ± 100 ppm/以下であることが好ましい。このようにすれば、フィードバックコンデンサユニット30の温度変化率を約 $\pm 5\%$ の範囲内において高精度に設定することができる。さらに、第2フィードバックコンデンサ32としては、温度係数が ± 30 ppm/以下のセラミックコンデンサであることが好ましい。このようにすれば、フィードバックコンデンサユニット30の温度変化率を約 $\pm 2\%$ の範囲内において高精度で

50

設定することができる。

【0031】

また、第2フィードバックコンデンサ32は、1個のコンデンサで構成されていてもよいし、2個以上の合成コンデンサで構成されていてもよい。

【0032】

(3-3) フィードバックコンデンサユニット30の設計原理

(3-3-1) 温度補償の基本原理

式1は、基準温度20度におけるチャージアンプ20の電圧感度 S_{v0} 、基準温度20度における圧電素子10の電荷感度 S_{q0} 及び基準温度20度におけるフィードバックコンデンサユニット30の静電容量 C_{f0} 、並びに、任意温度におけるチャージアンプ20の電圧感度 S_v 、任意温度における圧電素子10の電荷感度 S_q 及び任意温度におけるフィードバックコンデンサユニット30の静電容量 C_f の関係を示す。 S_v の温度変化率 $z(t-20)$ 、 S_q の温度変化率 $y(t-20)$ 又は C_f の温度変化率 $x(t-20)$ は、 S_{v0} 、 S_{q0} 又は C_{f0} の各温度変化率を基準に算出されている。

【0033】

【数 1】

$$Sv_0 = \frac{Sq_0}{Cf_0}, \quad Sv = \frac{Sq}{Cf}$$

$$Sv = Sv_0 (1 + z(t - 20)),$$

$$Sq = Sq_0 (1 + y(t - 20)),$$

$$Cf = Cf_0 (1 + x(t - 20)),$$

Sv_0 : 基準温度 20℃におけるチャージアンプの出力電圧 (電圧感度)

Sq_0 : 基準温度 20℃における圧電素子の電荷感度 (電荷感度)

Cf_0 : 基準温度 20℃における FB*¹コンデンサユニットの静電容量 (FB静電容量)

Sv : (任意温度における) 電圧感度

Sq : (任意温度における) 電荷感度

Cf : (任意温度における) FB静電容量

t : 任意温度 (℃)

$t - 20$: 任意温度と基準温度 (20℃) との温度差 (℃)

$z(t - 20)$: 電圧感度 Sv の温度 t ℃における変化率 *²

$y(t - 20)$: 電荷感度 Sq の温度 t ℃における変化率 *³

$x(t - 20)$: 静電容量 Cf の温度 t ℃における変化率 *⁴

* 1 : FB = フィードバック

* 2 : $z(t - 20) = \{\gamma_1(t - 20) + \gamma_2(t - 20)^2 + \gamma_3(t - 20)^3 + \dots\}$,
($\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$: 各々 1 次、2 次、3 次の温度係数)

* 3 : $y(t - 20) = \{\beta_1(t - 20) + \beta_2(t - 20)^2 + \beta_3(t - 20)^3 + \dots\}$,
($\beta_1, \beta_2, \beta_3$: 各々 1 次、2 次、3 次の温度係数)

* 4 : $x(t - 20) = \{\alpha_1(t - 20) + \alpha_2(t - 20)^2 + \alpha_3(t - 20)^3 + \dots\}$,
($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: 各々 1 次、2 次、3 次の温度係数)

【0034】

式 1 に示す通り、チャージアンプ 20 の電圧感度 Sv は、圧電センサ 1 の使用温度にかかわらず、圧電素子 10 の電荷感度 Sq に比例し、フィードバックコンデンサユニット 30 の静電容量 Cf に反比例する ($Sv = Sq / Cf$)。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 5 】

また、式 2 は、式 1 に基づき、チャージアンプ 2 0 の電圧感度 S_v の温度変化率 $z(t - 20)$ を示している。

【 0 0 3 6 】

【 数 2 】

$$z(t - 20) = \frac{S_v}{S_{v_0}} - 1$$

$$z(t - 20) = \frac{\frac{S_q(1 + y(t - 20))}{C_f(1 + x(t - 20))}}{\frac{S_q}{C_f}} - 1$$

$$z(t - 20) = \frac{1 + y(t - 20)}{1 + x(t - 20)} - 1$$

$$x(t - 20) \doteq y(t - 20) \rightarrow z(t - 20) \doteq 0$$

10

20

【 0 0 3 7 】

式 2 に示す通り、圧電素子 1 0 の電荷感度 S_q の温度変化率 $y(t - 20)$ の上昇にもなってチャージアンプ 2 0 の電圧感度 S_v の温度変化率 $z(t - 20)$ は上昇し、フィードバックコンデンサユニット 3 0 の静電容量 C_f の温度変化率 $x(t - 20)$ の上昇にもなってチャージアンプ 2 0 の電圧感度 S_v の温度変化率 $z(t - 20)$ は減少する(式: $z(t - 20) = (1 + y(t - 20)) / (1 + x(t - 20)) - 1$)。例えば、圧電素子 1 0 の電荷感度 S_q の温度変化率 $y(t - 20)$ とフィードバックコンデンサユニット 3 0 の静電容量 C_f の温度変化率 $x(t - 20)$ とが同じ場合 ($y(t - 20) = x(t - 20)$)、チャージアンプ 2 0 の電圧感度 S_v の温度変化率 $z(t - 20)$ は 0 になる(式: $z(t - 20) = 0$)。しかし、上記の通り、フィードバックコンデンサとして同材質コンデンサを用いたとしても、同材質コンデンサのみでは、その静電容量 C_f の変化率が圧電素子 1 0 の電荷感度 S_q の変化率より大きくなってしまふ。

30

【 0 0 3 8 】

そのため、本実施形態の圧電センサ 1 に対して温度補償する場合、例えば以下の条件が必要になる。

【 0 0 3 9 】

(A) C_f との温度変化率 $x(t - 20)$ と S_q の温度変化率 $y(t - 20)$ との正負が同じ。

40

【 0 0 4 0 】

(B) $x(t - 20)$ の絶対値が $y(t - 20)$ の絶対値より大きい。

【 0 0 4 1 】

(C) $x(t - 20)$ と $y(t - 20)$ とがそれぞれ比例関係又はそれとの近似関係を有する。

【 0 0 4 2 】

上記条件 (A) ~ (C) を満たす場合、圧電センサ 1 の使用温度が変化しても「チャージアンプ 2 0 の電圧感度 S_v の温度変化率 $z(t - 20) = 0$ 」であれば「電圧感度 $S_v = \text{一定}$ 」になるため、圧電センサ 1 に対して温度補償をなし得る。

【 0 0 4 3 】

50

(3-3-2) フィードバックコンデンサユニット30の設計原理

式3は、フィードバックコンデンサユニット30を構成する第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32の各静電容量 $Cf1$ 、 $Cf2$ と、基準温度20度における第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32の各静電容量 $Cf1_0$ 、 $Cf2_0$ と、の関係を示す。 $Cf1$ の温度変化率 $x1(t-20)$ 又は $Cf2$ の温度変化率 $x2(t-20)$ は、 $Cf1_0$ 又は $Cf2_0$ の各温度変化率を基準に算出されている。

【0044】

【数3】

$$Cf1 = Cf1_0(1 + x1(t - 20))$$

$$Cf2 = Cf2_0(1 + x2(t - 20))$$

$$x(t - 20) = \frac{Cf}{Cf_0} - 1$$

10

$Cf1$: 任意温度における第1FB静電容量

$Cf2$: 任意温度における第2FB静電容量

$Cf1_0$: 基準温度20°Cにおける第1FB静電容量

$Cf2_0$: 基準温度20°Cにおける第2FB静電容量

$x(t - 20)$: 静電容量 Cf の温度 t °Cにおける変化率

$x1(t - 20)$: 静電容量 $Cf1$ の温度 t °Cにおける変化率

$x2(t - 20)$: 静電容量 $Cf2$ の温度 t °Cにおける変化率

20

30

【0045】

フィードバックコンデンサユニット30において、第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32は、上記の通り、並列又は直列に接続されている。また、フィードバックコンデンサユニット30は第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32から構成される合成コンデンサであるため、フィードバックコンデンサユニット30の静電容量 Cf 及び Cf_0 は第1フィードバックコンデンサ31の静電容量 $Cf1$ 及び第2フィードバックコンデンサ32の静電容量 $Cf2$ に依存する。

【0046】

ここで、第1フィードバックコンデンサ31の静電容量 $Cf1$ 及び第2フィードバックコンデンサ32の静電容量 $Cf2$ は、式3に示すように、基準温度20度における第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32の各静電容量 $Cf1_0$ 、 $Cf2_0$ 、及び、その各温度変化率 $x1(t-20)$ 、 $x2(t-20)$ に依存する。つまり、 $Cf1_0$ 、 $Cf2_0$ 、 $x1(t-20)$ 及び $x2(t-20)$ を調整することにより、フィードバックコンデンサユニット30において所望又はそれに近い温度変化率 $x(t-20)$ を得ることができる。

40

【0047】

(3-3-3) 並列接続時のフィードバックコンデンサユニット30

図3は、本実施形態の第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32を並列接続した圧電センサ1における温度変化率を示すグラフである。

50

【0048】

図3に示すように、圧電素子10の電荷感度 S_q における温度変化率 $y(t-20)$ は、基準温度20の温度変化率を0としたとき、温度上昇に対してほぼ比例的に上昇する。

【0049】

また、上記条件(A)~(C)を満たす又は上記条件に近づくように、第1フィードバックコンデンサ31及びその静電容量 C_{f1} を選定又は作成する。このような場合、図3に示すように、基準温度20の温度変化率を0としたとき、温度上昇に対して第1フィードバックコンデンサ31の静電容量 C_{f1} の温度上昇率 $x(t-20)$ がほぼ比例的に上昇する。また、第1フィードバックコンデンサ31は同材質コンデンサであるため、図3に示すような温度特性のグラフが得られやすい。

10

【0050】

フィードバックコンデンサユニット30が第1フィードバックコンデンサ31のみの場合、図3に示すように、基準温度20の各温度変化率を0としたとき、温度上昇に対してチャージアンプ20の電圧感度 S_v の温度変化率 $z(t-20)$ がほぼ比例的に下降する。

【0051】

そして、電圧感度 $S_v = \text{一定に近づくためには、上記の通り、「チャージアンプ20の電圧感度 } S_v \text{ の温度変化率 } z(t-20) = 0$ 」、すなわち、「フィードバックコンデンサユニット30の静電容量 C_f の温度変化率 $x(t-20)$ 圧電素子10の電荷感度 S_q の温度変化率 $y(t-20)$ 」になればよい。

20

【0052】

そこで、フィードバックコンデンサユニット30において第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32を並列接続している。

【0053】

ここで、式4は、式1~3に基づき、調整可能な C_{f1o} 、 C_{f2o} 、 $x_1(t-20)$ 及び $x_2(t-20)$ を用いて並列時のフィードバックコンデンサユニット30の静電容量 C_f の温度変化率 $x(t-20)$ を算出する計算式を示す。

【0054】

【数4】

<並列>

$$Cf = Cf1 + Cf2$$

$$Cf_0(1 + x(t-20)) = Cf1_0(1 + x1(t-20)) + Cf2_0(1 + x2(t-20))$$

$$1 + x(t-20) = \frac{Cf1_0(1 + x1(t-20)) + Cf2_0(1 + x2(t-20))}{Cf_0}$$

$$x(t-20) = \frac{Cf1_0(1 + x1(t-20)) + Cf2_0(1 + x2(t-20))}{Cf_0} - 1$$

$$x2(t-20) = 0$$

$$\rightarrow x(t-20) = \frac{Cf1_0(1 + x1(t-20)) + Cf2_0}{Cf_0} - 1$$

$$x(t-20) \doteq y(t-20)$$

$$\rightarrow z(t-20) \doteq 0$$

$$\rightarrow Sv \doteq Const$$

10

20

【0055】

式4に示す通り、電荷感度 Sq より大きな温度変化率 $x1(t-20)$ を有する第1フィードバックコンデンサ31の静電容量 $Cf1$ を減らし、電荷感度 Sq より小さな温度変化率 $x2(t-20)$ を有する第2フィードバックコンデンサ32の静電容量 $Cf2$ を増やしつつ、フィードバックコンデンサユニット30の静電容量 Cf をほぼ一定に保つことは可能である。

30

【0056】

つまり、フィードバックコンデンサユニット30において第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32を並列接続した場合、 $Cf1_0$ 、 $Cf2_0$ 、 $x1(t-20)$ 及び $x2(t-20)$ を調整することにより「フィードバックコンデンサユニット30の静電容量 Cf の温度変化率 $x(t-20)$ 圧電素子10の電荷感度 Sq の温度変化率 $y(t-20)$ 」に近づけることができるので、温度変化に対してチャージアンプ20の電圧感度 Sv の温度変化率 $z(t-20)$ を0に近似させることができる。

40

【0057】

第1フィードバックコンデンサ31が同材質コンデンサであるから $x(t-20)$ と $y(t-20)$ との温度特性が基準温度(20)に対して同様な傾向であり、図3に示すように、第2フィードバックコンデンサ32なし(=温度補償なし)に比べ、第2フィードバックコンデンサ32あり(=温度補償あり)の場合には大幅に温度変化率を小さくすることができる。

【0058】

なお、第2フィードバックコンデンサ32がセラミックコンデンサである場合、温度係数が約30ppm以下の市販品を使用することにより、 $x2(t-20) = 0$ として計算しても製品上問題がない。これにより、フィードバックコンデンサユニット30の静電容量 Cf の温度変化率 $x(t-20)$ の設定の際、変数が $Cf1_0$ 、 $Cf2_0$ 及び $x1(t$

50

- 20) の3つに減らすことができる。

【0059】

(3-3-4) 直列接続時のフィードバックコンデンサユニット30

図4は、本実施形態の第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32を直列接続した圧電センサ1における温度変化率を示すグラフである。

【0060】

また、式5は、式1~3に基づき、調整可能な $Cf1_0$ 、 $Cf2_0$ 、 $x1(t-20)$ 及び $x2(t-20)$ を用いて直列時のフィードバックコンデンサユニット30の静電容量 Cf の温度変化率 $x(t-20)$ を算出する計算式を示す。

【0061】

【数5】

<直列>

$$Cf = \frac{Cf1Cf2}{Cf1+Cf2}$$

$$Cf_0(1+x(t-20)) = \frac{Cf1_0Cf2_0(1+x1(t-20))(1+x2(t-20))}{Cf1_0(1+x1(t-20))+Cf2_0(1+x2(t-20))}$$

$$1+x(t-20) = \frac{Cf1_0Cf2_0(1+x1(t-20))(1+x2(t-20))}{Cf_0(Cf1_0(1+x1(t-20))+Cf2_0(1+x2(t-20)))}$$

$$x(t-20) = \frac{Cf1_0Cf2_0(1+x1(t-20))(1+x2(t-20))}{Cf_0(Cf1_0(1+x1(t-20))+Cf2_0(1+x2(t-20)))} - 1$$

$$x2(t-20) = 0$$

$$\rightarrow x(t-20) = \frac{Cf1_0Cf2_0(1+x1(t-20))}{Cf_0(Cf1_0(1+x1(t-20))+Cf2_0)} - 1$$

$$x(t-20) \doteq y(t-20)$$

$$\rightarrow z(t-20) \doteq 0$$

$$\rightarrow Sv \doteq Const$$

【0062】

直列接続時のフィードバックコンデンサユニット30は、図4及び式5に示すように、上記した並列接続時のフィードバックコンデンサユニット30と同様、 $Cf1_0$ 、 $Cf2_0$ 、 $x1(t-20)$ 及び $x2(t-20)$ を調整することにより「フィードバックコンデンサユニット30の静電容量 Cf の温度変化率 $x(t-20)$ 圧電素子10の電荷感度 Sq の温度変化率 $y(t-20)$ 」に近づけることができる。そのため、温度変化に対してチャージアンプ20の電圧感度 Svt の温度変化率 zt を0に近似させることができる。

【0063】

また、上記したとおり、第1フィードバックコンデンサ31が同材質コンデンサなので、 $x(t-20)$ と $y(t-20)$ との温度特性が基準温度(20)に対して同様な傾向になる。そのため、図4に示すように、第2フィードバックコンデンサ32なし(=温

10

20

30

40

50

度補償なし)に比べ、第2フィードバックコンデンサ32あり(=温度補償あり)の場合には大幅に温度変化率を小さくすることができる。

【0064】

なお、第2フィードバックコンデンサ32がセラミックコンデンサである場合、温度係数が約30ppm以下の市販品を使用することで、 $x2(t-20)=0$ として計算しても製品上問題がない。これにより、フィードバックコンデンサユニット30の静電容量Cfの温度変化率 $x(t-20)$ の設定の際、変数がCf10、Cf20及び $x1(t-20)$ の3つに減らすことができる。特に、直列接続時の合成静電容量の計算が並列接続時の合成静電容量の計算よりも複雑である。そのため、変数が1個減少することは、フィードバックコンデンサの設計を容易にすることができる。

10

【0065】

[2]効果

次に、本実施形態の圧電センサ1の効果を説明する。

【0066】

(1)本実施形態の圧電センサ1は、圧電素子10と、圧電素子10と同じ材質で構成されており分極されていない同材質コンデンサからなる第1フィードバックコンデンサ31と圧電素子10が有する電荷感度の温度変化率より小さな温度変化率の静電容量を有する第2フィードバックコンデンサ32とを接続して構成されるフィードバックコンデンサユニット30を有するとともに、圧電素子10に電気的に接続されているチャージアンプ20と、を備えることを特徴としている。

20

【0067】

これにより、圧電素子が有する電荷感度の温度変化率よりも静電容量の温度変化率を大きくし、かつ温度に対して圧電素子10の電荷感度と同様な傾向を有する第1フィードバックコンデンサ31及び圧電素子が有する電荷感度の温度変化率より小さな温度変化率の静電容量を有する第2フィードバックコンデンサ32を組合せた回路をフィードバックコンデンサユニット30として使用するので、フィードバックコンデンサユニット30が有する静電容量の温度変化率を圧電素子10が有する電荷感度の温度変化率と同程度の値に容易に設定することができる。また、チャージアンプ20のゲインとの関係から第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32の静電容量は約10~1000pF程度で十分であり、それらの各サイズはいずれも小さいことから、それらを組み合わせたフィードバックコンデンサユニット30のサイズも小さいままである。その結果、本実施形態の圧電センサ1を従来と同程度のサイズにすることができる。

30

【0068】

(2)また、本実施形態の圧電センサ1において、第2フィードバックコンデンサ32の温度係数は、圧電センサ1の使用許容温度の範囲内において $\pm 100ppm/$ 以下であることが好ましい。

【0069】

これにより、第2フィードバックコンデンサ32の温度変化率を0に近似させてもフィードバックコンデンサユニット30の温度変化率を約 $\pm 5\%$ の精度で設定することができるので、第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32の各静電容量を選択する労力を大幅に軽減することができる。

40

【0070】

(3)また、本実施形態の圧電センサ1において、第2フィードバックコンデンサ32は、セラミックコンデンサであることが好ましい。

【0071】

これにより、第2フィードバックコンデンサ32としてのセラミックコンデンサの温度係数は \pm 約30ppm/であるから、その温度変化率を0に近似させてもフィードバックコンデンサユニット30の温度変化率を約 $\pm 2\%$ の精度で設定することができるので、第1フィードバックコンデンサ31及び第2フィードバックコンデンサ32の各静電容量の選択する労力を大幅に軽減することができる。また、市販のセラミックコンデンサは容

50

易に入手可能であり、第2フィードバックコンデンサ32の選択自由度を高めることができる。また、第2フィードバックコンデンサ32が耐熱性に優れたセラミックコンデンサであることによって、圧電センサ1を従来よりも高温で使用することができる。

【0072】

(4)また、本実施形態の圧電センサ1において、フィードバックコンデンサユニット30は、第1フィードバックコンデンサ31と、第2フィードバックコンデンサ32と、を並列に接続して構成されることが好ましい。

【0073】

これにより、フィードバックコンデンサユニット30の静電容量 C_f は第1フィードバックコンデンサ31の静電容量 C_{f1} と第2フィードバックコンデンサ32の静電容量 C_{f2} とを足して得た値($C_f = C_{f1} + C_{f2}$)となるので、フィードバックコンデンサユニット30の設計時にその静電容量の計算を容易にすることができる。また、並列接続時に使用する第1フィードバックコンデンサ31の静電容量が直列接続時に使用する第1フィードバックコンデンサ31の静電容量よりも小さくなり、その分だけ第1フィードバックコンデンサ31のサイズも小さくなるので、圧電センサ1を小型化させることができる。

10

【0074】

すなわち、本実施形態の圧電センサ1によれば、フィードバックコンデンサユニット30が有する静電容量の温度変化率を圧電素子10が有する電荷感度の温度変化率と同程度の値に設定することが容易となるので、電圧感度の温度補償を高精度かつ容易に実現することができるという効果を奏する。

20

【0075】

なお、本発明は、前述した実施形態などに限定されるものではなく、必要に応じて種々の変更が可能である。

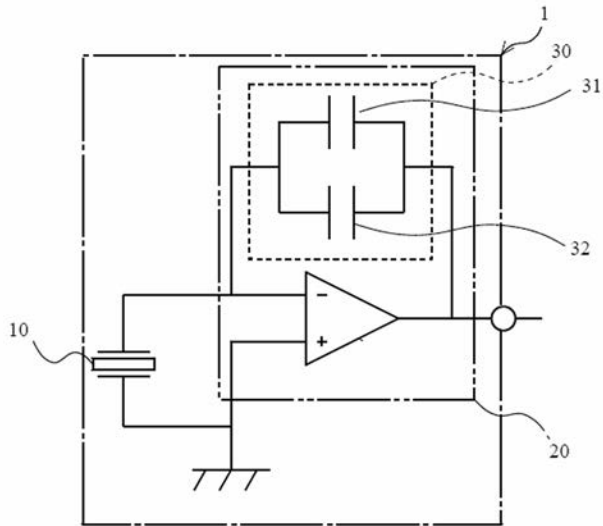
【符号の説明】

【0076】

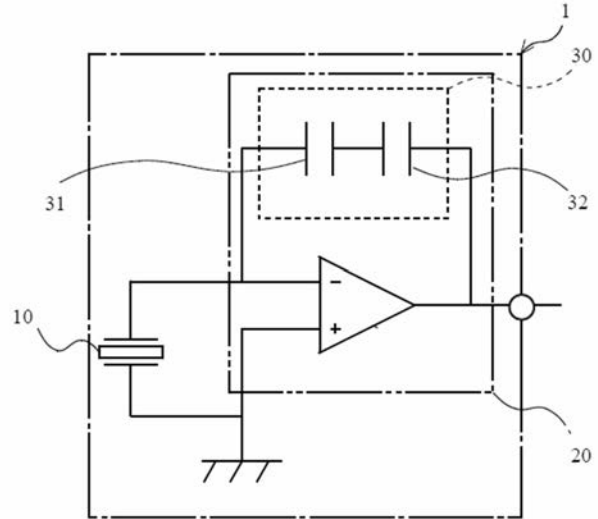
- 1 圧電センサ
- 10 圧電素子
- 20 チャージアンプ
- 30 フィードバックコンデンサユニット
- 31 第1フィードバックコンデンサ
- 32 第2フィードバックコンデンサ

30

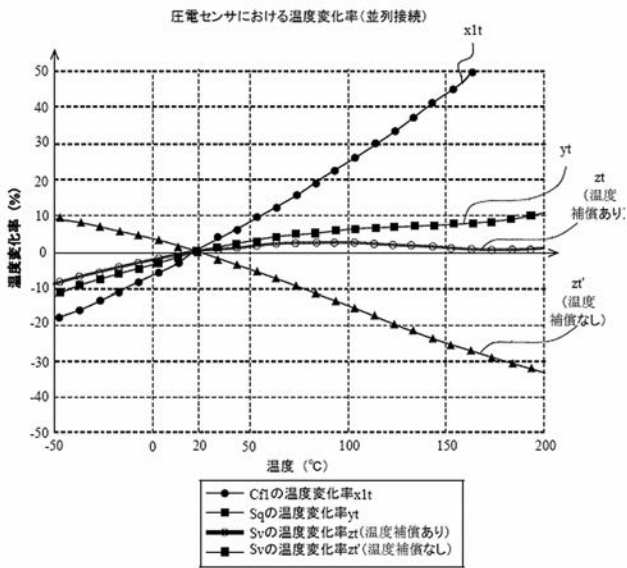
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

