

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 090 856

21 N° d'enregistrement national : 18 74048

51 Int Cl⁸ : G 01 D 21/02 (2019.01), G 01 F 23/296, G 01 K 11/26

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 21.12.18.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 26.06.20 Bulletin 20/26.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public — FR.

72 Inventeur(s) : FAURE Olivier, HUDIN Charles et LAMY Sylvie.

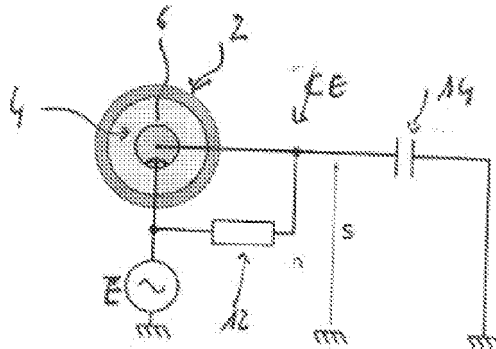
73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public.

74 Mandataire(s) : BREVALEX.

54 DISPOSITIF DE DETECTION DE LA PRESENCE D'UN LIQUIDE CAPABLE DE MESURER LA TEMPERATURE.

57 Détecteur de présence d'un liquide comportant un dispositif vibrant (6) piézoélectrique et une membrane (8) mise en vibration par le dispositif vibrant, un circuit électrique comportant le dispositif vibrant (6), une résistance montée électriquement en parallèle avec le dispositif vibrant (6), et un condensateur (14) monté électriquement en série avec le dispositif vibrant (6) et la résistance (12), et une unité de commande (UC) comportant des moyens pour appliquer un signal d'entrée (E) au circuit électrique (CE), des moyens pour mesurer un signal de sortie (S) et des moyens pour calculer le gain du circuit électrique en fonction de la fréquence et des moyens de traitement dudit gain configurés pour détecter une fréquence de résonance, et pour déterminer la température à partir d'une relation entre le module du gain moyen hors-résonance et la température.

Figure pour l'abrégé : Figure 3.



FR 3 090 856 - A1



Description

Titre de l'invention : DISPOSITIF DE DETECTION DE LA PRESENCE D'UN LIQUIDE CAPABLE DE MESURER LA TEMPERATURE

[0001] **DOMAINE TECHNIQUE ET ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

[0002] La présente invention se rapporte à un dispositif de détection de la présence d'un liquide capable de mesurer la température, de réalisation simplifiée.

[0003] Dans de nombreux domaines techniques, on souhaite détecter la présence ou l'absence d'un liquide et déterminer ses propriétés, par exemple sa masse volumique et sa viscosité, ce qui peut permettre d'identifier le liquide.

[0004] De nombreux détecteurs de niveau sont basés sur la mise en vibration d'un résonateur de petite taille. Le détecteur est fixé à une hauteur donnée dans un réservoir, pouvant correspondre à un seuil de niveau minimal ou à un seuil de niveau maximal de remplissage, pour éviter le débordement d'une cuve par exemple.

[0005] Le résonateur met en œuvre un matériau piézoélectrique qui est excité. Le contact du résonateur avec le fluide a pour effet de modifier ses fréquences de résonance. En suivant la variation d'une fréquence de résonance permet donc de déterminer la présence ou non d'un liquide. Le document *R. M. Langdon, «Resonator sensors-a review,» J. Phys. E: Sci. Instrum, vol. 18, n°1103, 1985* décrit ce phénomène.

[0006] Il peut également être souhaitable de connaître la température du capteur et donc la température du fluide dans lequel le capteur est immergé, par exemple pour suivre la température d'une réaction ou détecter un incident.

[0007] Par ailleurs, la mise en œuvre d'un transducteur piézoélectrique pour détecter la présence d'un liquide peut également permettre de mesurer la densité et la viscosité d'un liquide. En effet, la fréquence de la résonance est liée à la masse volumique tandis que l'amplitude du pic de résonance est liée à la viscosité. Plus la masse volumique est élevée, plus la fréquence de résonance est basse. Plus la viscosité est élevée, plus l'amplitude de la résonance est faible.

[0008] Par ailleurs, la fréquence de résonance du transducteur piézoélectrique varie également en fonction de la température de l'environnement dans lequel il se trouve, qui est notamment la température du liquide dont la présence est à détecter

[0009] Afin de corriger cet effet et de fournir des mesures précises, la connaissance de la température de l'environnement est requise.

[0010] Le document WO2011032793 décrit un capteur de niveau comportant des éléments piézoélectriques qui appliquent des vibrations à une membrane et un capteur de température en contact direct avec la membrane ou le boîtier du capteur, afin de pouvoir

corriger l'effet de la température sur la variation de la fréquence de résonance.

[0011] Cependant la mise en œuvre d'un capteur de température dédié augmente le nombre de composants du détecteur de niveau et complexifie la réalisation du détecteur.

Exposé de l'invention

[0012] C'est par conséquent un but de la présente invention d'offrir un détecteur de la présence d'un liquide et permettant de mesurer la température, de réalisation simplifiée par rapport aux détecteurs de l'état de la technique.

[0013] Le but énoncé ci-dessus est atteint par un détecteur de niveau comportant un élément apte à être mis en vibration, des moyens pour mettre ledit élément en vibration, une résistance en parallèle avec ledit élément et un condensateur en série avec ledit moyen et ladite résistance, des moyens pour déterminer le gain du détecteur en fonction de la fréquence et traiter celui-ci, ce qui permet de déterminer la température du détecteur, et de déterminer au moins une fréquence de résonance.

[0014] Les inventeurs ont déterminé qu'en mesurant le gain de ce circuit et en analysant le gain en dehors des fréquences de résonance, il était possible de déterminer la température de l'élément mis en vibration et donc de déterminer la température du fluide et donc de l'environnement extérieur.

[0015] C'est un but supplémentaire de la présente invention d'offrir un détecteur permettant d'identifier de manière sûre le liquide, dont il détecte la présence.

[0016] Ce but supplémentaire peut avantageusement être atteint en utilisant la connaissance de la température de l'élément vibrant pour corriger les effets de la température sur les fréquences de résonance. A partir d'une connaissance précise de la fréquence de résonance il est possible de déterminer quel est le fluide en contact avec le détecteur à partir d'abaques, par exemple en déterminant sa masse volumique.

[0017] Le détecteur selon l'invention ne met pas en œuvre de capteur de température dédié, par conséquent il est très simplifié, son intégration est améliorée et son encombrement est réduit. Le circuit électrique est facilement intégrable sur une carte électronique.

[0018] L'invention n'utilise que la mesure du gain pour déterminer la température du détecteur et détecter la présence du fluide.

[0019] En outre le gain peut avantageusement être utilisé pour déterminer la masse volumique et la viscosité du liquide de manière précise, i.e. en tenant compte de la température de l'environnement.

[0020] De manière avantageuse, l'élément configuré pour être mis en vibration est une membrane circulaire sur laquelle un disque piézoélectrique est collé. La membrane est destinée à être mise en contact avec le fluide.

[0021] La présente invention a alors pour objet un détecteur de présence d'un liquide comportant un dispositif vibrant et un élément sensible apte à être mis en vibration par

le dispositif vibrant à au moins une fréquence de résonance, ledit élément sensible étant destiné à entrer en contact avec ledit liquide, ledit dispositif vibrant comportant un matériau piézoélectrique, un circuit électrique comportant le dispositif vibrant, une résistance montée électriquement en parallèle avec le dispositif vibrant, et un condensateur monté électriquement en série avec le dispositif vibrant et la résistance, et une unité de commande comportant des moyens pour appliquer un signal d'entrée au circuit électrique, des moyens de mesure pour mesurer un signal de sortie et des moyens pour calculer le gain du circuit électrique en fonction de la fréquence et des moyens de traitement dudit gain configurés pour détecter la fréquence de résonance dudit détecteur, pour déterminer la température du détecteur à partir de la valeur du module du gain moyen hors-résonance et d'une relation préétablie, entre le module du gain moyen hors-résonance et la température.

- [0022] De manière préférée, le dispositif vibrant est modélisé par deux impédances en parallèle.
- [0023] Préférentiellement, le dispositif vibrant forme les moyens de mesure du signal de sortie.
- [0024] Dans un exemple de réalisation, l'élément sensible comporte une membrane destinée à entrer en contact avec ledit liquide.
- [0025] Le dispositif vibrant peut comporter une pastille en matériau piézoélectrique fixée sur une face de la membrane opposée à une face de la membrane destinée à entrer en contact avec ledit liquide.
- [0026] Par exemple, l'unité de commande comporte des moyens pour comparer la fréquence de résonance détectée à une fréquence de résonance dans un état antérieur dudit détecteur.
- [0027] Avantageusement l'unité de commande comporte des moyens de correction pour faire correspondre à ladite fréquence de résonance à la température mesurée une fréquence de résonance à une température de référence. Les moyens de correction en température utilisent une ou des lois de correction ou des bases de données.
- [0028] Le détecteur peut avantageusement comporter des moyens de détermination de propriétés dudit liquide, par exemple la masse volumique dudit liquide, utilisant la fréquence de résonance à la température de référence, et des bases de données reliant les propriétés des liquides aux fréquences de résonance.
- [0029] La présente invention a également pour objet une installation comportant un contenant destiné à contenir un liquide et au moins un détecteur selon l'invention disposé dans le contenant à un endroit où la détection de la présence du liquide est requise.
- [0030] La présente invention a également pour objet un procédé de détection de la présence d'un liquide mettant en œuvre le détecteur selon l'invention, comportant les étapes :

- a) application du signal d'entrée au détecteur et mesure d'un signal de sortie,
- b) calcul du gain du détecteur,
- c) détermination d'au moins une fréquence de résonance,
- d) comparaison de la fréquence de résonance avec une fréquence de résonance d'un état antérieur du détecteur,
- e) si la fréquence de résonance est sensiblement différente de la fréquence de résonance dans un état précédent, la présence ou l'absence de liquide est détectée.
- f) calcul du module du gain moyen hors-résonance,
- g) détermination de la température du détecteur à partir d'une relation linéaire préétablie entre le module du gain moyen et la température.

[0031] De préférence, les étapes a) à g) sont répétées afin de vérifier la présence ou l'absence de liquide au cours du temps.

[0032] Dans une variante, les étapes f) et g) peuvent avoir lieu avant ou après les étapes c) à e).

[0033] Dans une variante, Les étapes f) et g) n'ont pas lieu si aucun liquide n'est détecté.

[0034] Le procédé peut avantageusement comporter une étape h) après l'étape g) de correction de la valeur de la fréquence de résonance en fonction de la température afin de déterminer la fréquence de résonance à une température de référence. Le procédé peut comporter, après l'étape h), la détermination de la masse volumique du liquide le cas échéant à partir d'une base de données reliant la fréquence de résonance et la masse volumique à la température de référence, et la détermination du liquide en contact avec le détecteur.

[0035] De manière avantageuse, le signal d'entrée est un signal large bande.

Brève description des dessins

[0036] La présente invention sera mieux comprise sur la base de la description qui va suivre et des dessins en annexe sur lesquels:

[0037] [fig.1A]

[0038] [fig.1B]

[0039] [fig.1C]

[0040] sont des vues de côté, de face et en coupe le long du plan A-A respectivement d'un exemple de réalisation pratique d'un détecteur de présence de liquide.

[0041] [fig.2] est une représentation schématique d'un réservoir comportant le détecteur de la figure 1.

[0042] [fig.3] représente le schéma électrique d'un exemple de réalisation d'un détecteur de présence de liquide.

[0043] [fig.4] représente le schéma électrique de la figure 3 en appliquant le modèle de Van Dyke pour l'élément piézoélectrique.

- [0044] [fig.5] est une représentation graphique de la variation théorique de la fréquence de résonance en fonction de la masse volumique du liquide en contact avec le détecteur.
- [0045] [fig.6] est une représentation graphique de la variation théorique du module du gain hors-résonance pour la céramique Pz27 en fonction de la température.
- [0046] [fig.7] est une représentation graphique de la variation du module du gain d'un exemple de détecteur selon l'invention placé dans de l'air en fonction de la fréquence à différentes températures.
- [0047] [fig.8] est une représentation graphique de l'évolution de la fréquence de résonance en fonction de la température de l'air à partir des mesures de la figure 7.
- [0048] [fig.9] est une représentation graphique de la variation du module du gain du détecteur utilisé pour le tracé de la figure 8 dans un fluide caloporteur en fonction de la fréquence à différentes températures.
- [0049] [fig.10] est une représentation graphique de l'évolution de la fréquence de résonance en fonction de la température du fluide caloporteur à partir des mesures de la figure 9.
- [0050] [fig.11] est une représentation graphique de la variation du module du gain moyen en fonction de la température du détecteur immergé dans le fluide caloporteur.
- [0051] [fig.12A] est une représentation graphique du module du gain d'un exemple de détecteur selon l'invention en fonction de la fréquence en Hz, lorsqu'il est en contact avec l'air, l'eau et l'huile.
- [0052] [fig.12B] est une représentation graphique de la phase du gain dont le module est représenté sur la figure 12A en fonction de la fréquence en Hz, lorsqu'il est en contact avec l'air, l'eau et l'huile.
- [0053] [fig.13A] est une représentation graphique du module du gain d'un exemple de détecteur selon l'invention en fonction de la fréquence en Hz, lorsqu'il est en contact avec l'eau, le éthanol et des mélanges eau/éthanol.
- [0054] [fig.13B] est une représentation graphique de la phase du gain dont le module est représenté sur la figure 13A en fonction de la fréquence en Hz.
- [0055] [fig.14] est une représentation graphique de la variation de la fréquence de résonance en fonction de la masse volumique en kg/m³ calculée à partir de la figure 13B à température ambiante.
- [0056] [fig.15] est une représentation graphique de la variation de la permittivité relative de différents matériaux piézoélectriques en fonction de la température.
- [0057] [fig.16] est une représentation graphique de la variation du module du gain moyen en fonction de la température du détecteur immergé dans l'air.
- [0058] **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**
- [0059] Sur les figures 1A à 1C et 2, on peut voir un exemple de réalisation d'un détecteur D de la présence d'un liquide selon l'invention.
- [0060] Le détecteur D est par exemple destiné à être monté dans ou sur la paroi d'un

réservoir ou d'une cuve à une hauteur donnée, correspondant par exemple à un niveau minimal ou à un niveau maximal de liquide.

- [0061] Le détecteur D comporte un support 2, un élément sensible 4 destiné à être mis en contact avec l'environnement EVT dans lequel on souhaite détecter la présence ou l'absence d'un liquide, un dispositif vibrant 6 en contact avec l'élément sensible, le dispositif étant configuré pour mettre en vibration l'élément sensible 4. Le dispositif vibrant et l'élément sensible forment un résonateur.
- [0062] Le détecteur comporte également un circuit électrique CE intégrant le résonateur et destiné à être connecté à un générateur électrique.
- [0063] Le support 2 est destiné au montage du détecteur dans son environnement.
- [0064] L'élément sensible 4 est monté sur le support 2 de sorte à pouvoir vibrer sous l'effet du dispositif vibrant 6. De manière avantageuse, l'élément sensible 4 comporte une membrane 8 circulaire ou disque suspendu au support 2. Dans l'exemple représenté le support 2 comporte une partie tubulaire 2.1 dont une extrémité longitudinale est obturée de manière étanche par la membrane 8.
- [0065] De préférence, le dispositif vibrant 6 est fixé, par exemple par collage, sur une face de l'élément sensible opposée à celle destinée à être en contact avec le liquide. Ainsi le dispositif vibrant est protégé du liquide et les besoins de protection de celui-ci sont réduits.
- [0066] Dans un exemple très avantageux, le dispositif vibrant 6 est un dispositif piézo-électrique comportant un élément en matériau piézoélectrique et deux électrodes sur chacune des faces de l'élément en matériau piézoélectrique. Le dispositif piézo-électrique présente l'avantage de pouvoir assurer à la fois la mise en vibration de la membrane et la mesure du signal de sortie, i.e. la réponse de la membrane. En outre comme nous le verrons ci-dessous, sa capacité varie avec la température, ce qui permet d'accéder à la température.
- [0067] Dans l'exemple des figures 1A à 1C, le dispositif piézoélectrique 6 comporte une pastille piézoélectrique circulaire et deux électrodes (non représentées), la pastille étant collée par une de ses faces sur une face de la membrane circulaire. La pastille est par exemple en PZT (Titano-Zirconate de Plomb).
- [0068] La membrane est en un matériau compatible avec le liquide avec lequel elle est susceptible d'entrer en contact, par exemple en verre ou en métal, par exemple en aluminium. Le matériau et les dimensions de la membrane sont choisis pour présenter une sensibilité suffisante en fonction du fluide et de l'application, s'il s'agit uniquement de détecter sa présence ou s'il s'agit également de déterminer quel est le fluide en contact.
- [0069] En variante, l'élément sensible et le dispositif vibrant peuvent avoir une toute autre de forme, par exemple polygonale. En outre, l'élément sensible et le dispositif vibrant

n'ont pas nécessairement les mêmes formes.

[0070] Sur la figure 2, on peut voir le détecteur D monté dans un réservoir 18. Le liquide à détecter est désigné par la référence Lq. Dans cet exemple, le détecteur D est suspendu au-dessus du liquide de sorte que la face extérieure de la membrane soit parallèle au niveau du liquide et soit immergée dans celui-ci entièrement et simultanément, i.e. de sorte que le liquide entre en contact avec toute la surface de la membrane en même temps. Dans cet exemple, la membrane est en regard de la surface de liquide. En variante, la membrane est orientée vers le haut.

[0071] Sur la figure 3, le circuit électrique CE est représenté. Il s'agit d'un diviseur de tension. Il comporte le résonateur, une résistance 12 de valeur Rd montée électriquement en parallèle du dispositif vibrant, et un condensateur 14 de capacité Cd monté électriquement en série du dispositif vibrant et de la résistance 12.

[0072] Par exemple la résistance 12 et le condensateur 14 sont portés par une carte électronique et le dispositif vibrant est connecté à la carte électronique, par exemple les électrodes du dispositif piézoélectrique sont reliées au circuit par deux fils électriques.

[0073] De préférence, la capacité Cd est du même ordre de grandeur que la capacité Ce, la résistance Rd a une valeur très grande de l'ordre du $M\Omega$ afin de décharger lentement le matériau piézoélectrique.

[0074] Le signal fourni par la source de tension est un signal suffisamment large bande pour couvrir le gamme de variation de la fréquence de résonance entre la fréquence de résonance en absence de liquide (état non immergé dans le liquide) et la fréquence en présence de liquide (état immergé dans le liquide). Le signal est par exemple un signal périodique ou pseudopériodique, impulsion ou un bruit blanc. A titre d'exemple uniquement, le signal d'entrée E est de type chirp, qui est un signal périodique modulé en fréquence autour d'une fréquence porteuse et modulé également en amplitude.

[0075] Par exemple le signal large bande couvre la bande de fréquence [0 Hz – 10000 Hz].

[0076] Un signal de sortie S est mesuré. De manière avantageuse, le signal est mesuré par le matériau piézoélectrique, ce qui permet de rendre le détecteur encore plus compact.

[0077] Une unité de commande UC collecte le signal de sortie S.

[0078] L'unité de commande UC est configurée pour calculer le gain entre le signal d'entrée E et le signal de sortie S du détecteur, et pour traiter les variations de celui-ci et en déduire de ces variations la présence ou non de liquide, la température du détecteur et la masse volumique et la viscosité du liquide en tenant compte de la température.

[0079] En effet, les inventeurs ont déterminé que le circuit électrique auquel était intégré le dispositif vibrant permettait, à partir du calcul du gain, de déterminer les informations énoncées ci-dessus.

[0080] Sur la figure 4, on peut voir une modélisation du résonateur en utilisant le modèle de Van Dyke décrit dans *le document Kim, B. L. Grisso, J. K. Kim, D. S. Ha, et D. J.*

Inman, « *Electrical Modeling of Piezoelectric Ceramics for Analysis and Evaluation of Sensory Systems* », 2008 IEEE Sensors Applications Symposium, 2008.

[0081] Selon ce modèle, l'impédance du résonateur est schématisée par deux impédances en parallèle, une impédance électrique Z_e décrivant le comportement capacitif du matériau piézoélectrique, et une impédance équivalente Z_m représentant l'effet, via le couplage électromécanique, de la résonance mécanique de la membrane sur le courant traversant le matériau piézoélectrique.

[0082] D'après ce modèle :

[Math 1]

[Math 2]

$$Z_e = -j \frac{1}{C_e \omega} \quad (1)$$

$$Z_m = R_m + j \left(L_m \omega - \frac{1}{C_m \omega} \right) \quad (2)$$

Le gain G entre le signal d'entrée et le signal de sortie peut s'écrire :

[Math 3]

$$G = \frac{S}{E} = \frac{Z_m + R_d + j C_p R_d Z_m \omega}{Z_m + R_d + j (C_e + C_d) R_d Z_m \omega} \quad (3)$$

Ce circuit RLC série produit une résonance à la pulsation $\omega_r = 1 / \sqrt{C_m L_m}$ qui correspond à la résonance de la membrane. Loin de cette pulsation de résonance, l'impédance mécanique devient très grande, $\lim_{\omega \rightarrow 0 / \infty} |Z_m| = \infty$. A la résonance

$$Z_m = R_m.$$

[0083] On distingue donc trois valeurs possibles pour $|G(\omega)|$:

En basse fréquence $|G(\omega = 0)| = 1$

A la fréquence de résonance :

[Math 4]

$$|G(\omega = \omega_r)| = \sqrt{\frac{1 + (C_e R_m \omega)^2}{1 + ((C_e + C_d) R_m \omega)^2}} \quad (4)$$

Hors de la résonance du disque, en considérant l'impédance Z_m très grande

[Math 5]

$$|G(\omega \neq \omega_r)| = \frac{C_e}{C_e + C_d} \quad (5)$$

avec :

[Math 6]

$$C_e = \varepsilon(\theta) \frac{S_p}{e_p} \quad (6)$$

où S_p est la surface du disque piézoélectrique, e_p l'épaisseur du disque piézoélectrique et $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ la permittivité du matériau du disque piézoélectrique, avec $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$ la permittivité du vide, et ϵ_r la permittivité relative (constante diélectrique) du matériau piézoélectrique.

[0084] Nous allons tout d'abord expliquer comment la présence de liquide est détectée. Ensuite nous expliquerons comment la température est mesurée.

[0085] La pulsation du premier mode de résonance d'un disque dans l'air est donnée par la relation suivante :

[Math 7]

$$\omega_1 = \frac{e}{R^2} \sqrt{\frac{Y}{12\rho(1-\nu^2)}} \gamma_1^2$$

Avec e l'épaisseur de la membrane, R , son rayon, Y le module d'Young, ρ la masse volumique, ν le coefficient de poisson et $\gamma_1 = 3,2$ une constante.

[0086] Lorsque le détecteur est immergé dans un fluide de masse volumique ρ_F , sa pulsation de résonance est réduite selon la formule suivante :

[Math 8]

$$\tilde{\omega}_1 = \omega_1 \sqrt{\frac{1}{1 + \Gamma_1 \frac{\rho_F R}{\rho e}}}$$

Avec $\Gamma_1 = 0,47$ une constante.

[0087] La courbe de variation théorique de la fréquence de résonance FR en Hz en fonction de la masse volumique ρ en kg/m^3 est représentée sur la figure 5, obtenue à partir des expressions ci-dessus et des données sur les propriétés mécaniques de la membrane et du matériau piézoélectrique extraites par exemple de la base MPDB (Material Properties Database) à température ambiante.

[0088] Sur l'axe des abscisses sont repérées les masses volumiques de l'air ρ_A , et de l'eau ρ_E et du kérosène ρ_K pour lequel un intervalle est donné.

[0089] On constate que la fréquence de résonance varie de manière sensible en fonction du type de fluide en contact avec la membrane. En présence d'air, la fréquence de résonance est d'environ 10 kHz, et en présence d'un liquide la fréquence de résonance est inférieure à 6 kHz. Il est donc possible de détecter lorsque le détecteur passe d'un état non immergé (en contact avec l'air et plus généralement d'un gaz ou mélange gazeux) à un état immergé (en contact avec un liquide). Comme cela a été expliqué ci-dessus, la température a un effet sur la valeur de la fréquence de résonance, cependant la variation de la fréquence de résonance entre l'état immergé et l'état non immergé est suffisamment importante que l'effet de la température sur la fréquence de résonance peut ne pas être considérée pour la détection.

[0090] Nous allons maintenant expliquer comment, grâce à l'invention, la température de l'environnement dans lequel se trouve le détecteur, et donc la température du détecteur peut être mesurée

[0091] Reprenons les expressions 5 et 6 :

[Math 9]

$$|G(\omega \neq \omega_r)| = \frac{C_s}{C_s + C_a} \quad (5)$$

avec :

[Math 10]

$$C_s = \varepsilon(\theta) \frac{S}{d} \quad (6)$$

Par exemple, pour la plupart des céramiques piézoélectriques, la permittivité relative à un comportement sensiblement linéaire en fonction de la température sur au moins une plage de -40°C à $+80^\circ\text{C}$. La figure 15 représente la variation de la permittivité relative des piézoélectriques Pz23, Pz27 et Pz29 en fonction de la température T en $^\circ\text{C}$.

[0092] Le module du gain hors de la résonance en fonction de la température peut être tracé en utilisant les relations 5 et 6. Sur la figure 6 est tracée la variation théorique du module du gain hors-résonance $|G(\omega \neq \omega_r)|$ pour la céramique Pz27 en fonction de la température T en $^\circ\text{C}$.

[0093] Par conséquent en mesurant le module du gain hors-résonance, il est possible d'en déduire la température de l'environnement et donc celle du détecteur.

[0094] En outre, la courbe de la figure 5 montre, qu'en connaissant de manière précise la fréquence de résonance, il est possible de déterminer la masse volumique du liquide dans lequel est immergé le détecteur et d'en déduire de quel liquide il s'agit.

Cependant la différence des fréquences de résonance entre deux liquides est nettement plus faible qu'entre l'air et un liquide, l'effet de la température sur la valeur de la fréquence de résonance est alors à prendre en compte pour pouvoir déterminer de manière fiable la masse volumique et donc le liquide.

[0095] Nous allons montrer qu'il est possible d'établir des lois de corrections ou des bases de données pour tenir compte de l'effet de la température.

[0096] Sur la figure 7 on peut voir la variation du module du gain G d'un exemple de détecteur selon l'invention placé dans de l'air en fonction de la fréquence F en Hz à différentes températures. Le détecteur comporte une pastille piézoélectrique en PZT-5J ayant un diamètre de 7 mm, collée à une membrane 16 mm de diamètre et de 0,30 mm d'épaisseur.

[0097] On constate une forte variation de la fréquence de résonance en fonction de la température.

[0098] Elle varie entre 9150 Hz pour -40°C et 8480 Hz pour 80°C , ce qui correspond à une

variation maximale de $\pm 5\%$ par rapport à la résonance dans l'air à température ambiante, qui est égale à 8750 Hz. Sur la figure 8 est tracée l'évolution de la fréquence de résonance FR en Hz en fonction de la température de l'air (trait plein).

- [0099] On constate que la fréquence de résonance varie sensiblement linéairement sur la plage de température considérée, de manière inversement proportionnelle à la température. Il est possible de caler une fonction linéaire (en pointillés) sur l'évolution en trait plein. La fonction est un polynôme d'ordre 1 de coefficient directeur égal à $-5,7$ °C/Hz. On obtient alors une loi de correction de l'effet de la température à appliquer à la fréquence de résonance.
- [0100] Sur la figure 9, on peut voir la variation du module du gain du même détecteur dans un fluide caloporteur du nom de Kryo 60® en fonction de la fréquence F en Hz à différentes températures.
- [0101] Les courbes sont moins stables que pour les mesures en température pour le détecteur dans l'air à cause du bruit de mesure, mais elles permettent tout de même de trouver une fréquence de résonance pour chaque température, qui varie entre 5300 Hz et 4910 Hz, ce qui correspond à une variation maximale de $\pm 4\%$ par rapport à la fréquence dans l'eau à température ambiante (5130 Hz).
- [0102] Sur la figure 10 est tracée l'évolution de la fréquence de résonance en fonction de la température du liquide caloporteur Kryo 60® (trait plein) et en pointillés la fonction linéaire estimée de pente $-2.9\text{Hz}/^\circ\text{C}$. Les fonctions estimées sont différentes entre l'air et le Kryo 60®, car la variation de température induit également un changement de la masse volumique du fluide. Ainsi pour ce cas deux effets linéaires se combinent, l'effet thermique et l'effet de variation de la masse volumique.
- [0103] Sur la figure 11, on peut voir la variation du module du gain moyen $\text{IGI}_{\text{moyen}}$ en fonction de la température T en °C du détecteur immergé dans le Kryo 60®. A titre de comparaison la figure 16 représente la variation du module du gain moyen en fonction de la température du détecteur dans l'air. On constate que ces variations sont très proches et également très proches de celle calculée théoriquement représentée sur la figure 6.
- [0104] On peut donc utiliser la même variation de la valeur du module du gain en fonction de la température, qui est fixé par le choix du détecteur, quel que soit le fluide en contact avec le détecteur. En revanche, les lois de correction de la fréquence de résonance diffèrent d'un fluide à l'autre.
- [0105] Des lois de correction pour différents liquides peuvent être établies et intégrées à l'unité de commande. En variante est ou sont établie(s) une ou des bases de données pour relier la fréquence de résonance mesurée à la température Td, à la fréquence de résonance à une température de référence, par exemple la température ambiante, à laquelle les abaques ont été réalisés et qui seront utilisés pour déterminer la masse

volumique.

- [0106] Connaissant la température T_d déterminée suivant la méthode ci-dessus, il est alors possible de corriger la fréquence de résonance, de la relier à une valeur de masse volumique du liquide en contact avec le détecteur, et donc de connaître quel liquide en contact avec le détecteur.
- [0107] Un exemple de déroulement d'une mesure va maintenant être décrit.
- [0108] Le signal d'entrée E est appliqué au détecteur et le signal de sortie S est mesuré. Le gain est calculé.
- [0109] On trace la variation du module du gain en fonction de la fréquence. On peut alors mesurer la fréquence de résonance du détecteur à la température T_d du détecteur.
- [0110] Puisqu'il existe une différence importante entre la fréquence de résonance du détecteur dans l'air et la fréquence de résonance du détecteur dans un liquide, on peut déterminer directement si le détecteur est dans l'air ou dans un liquide sans avoir à corriger la fréquence de résonance.
- [0111] Le détecteur peut par exemple calculer le rapport entre la fréquence de résonance mesurée à l'instant t_1 et la fréquence de résonance mesurée à l'instant t_0 , t_0 ayant lieu avant t_1 , et réaliser une comparaison avec un seuil, si ce seuil est dépassé, il est considéré que le détecteur est immergé dans le liquide.
- [0112] Puisque la variation de la fréquence de résonance avec la température est relativement faible, les risques de fausse détection peuvent être évités facilement.
- [0113] On calcule ensuite le module du gain moyen hors-résonance.
- [0114] La variation du module du gain moyen hors-résonance en fonction de la température est connue et est la même pour un détecteur dans l'air et un détecteur dans un liquide, celle-ci est représentée sur les figures 11 et 16 et a été déterminée théoriquement sur la figure 6. La température du détecteur T_d peut alors être déterminée.
- [0115] Cette température T_d donne une information sur l'état du système dans lequel est intégré le détecteur.
- [0116] Par ailleurs, comme expliqué ci-dessus, si une loi de correction en température ou une base de données pour le détecteur et le liquide à détecter, a été établie, il est possible de corriger la fréquence de résonance du détecteur mesurée, pour obtenir la fréquence de résonance à une température de référence, par exemple à la température ambiante, pour laquelle on dispose de données permettant de relier les fréquences de résonance aux masses volumiques des fluides, par exemple une base de données ou des données expérimentales obtenues à la température de référence.
- [0117] On peut déterminer la masse volumique et en déduire le liquide dans lequel le détecteur est immergé.
- [0118] Nous allons maintenant donner un exemple de détection non limitatif d'un fluide avec un exemple de détecteur selon l'invention.

[0119] Le détecteur comporte une pastille piézoélectrique en PZT-5J ayant un diamètre de 7 mm, collée à une membrane 16 mm de diamètre et de 0,30 mm d'épaisseur.

[0120] Le signal d'entrée délivré au détecteur est par un sinus glissant (signal de type chirp) défini par :

[0121] [Math 11]

$$s(t) = A * \sin \left[2\pi \left(f_{\min} t + \frac{f_{\max} - f_{\min}}{2T} t^2 \right) \right].$$

avec A l'amplitude, T la durée d'émission, $[f_{\min} f_{\max}]$ la plage fréquentielle d'excitation. On fixe $A = 1$ V, $f_{\min} = 200$ Hz, $f_{\max} = 15$ kHz, $T = 0,1$ s.

[0122] La résistance 12 a une valeur $R_d = 1,2$ M Ω et le condensateur 14 a une valeur $C_d = 4,4$ nF.

[0123] Dans un exemple, le détecteur est mis en contact avec l'air, l'eau et de l'huile à température ambiante.

[0124] Sur la figure 12A, on peut voir la variation du module du gain $|G|$ du détecteur en fonction de la fréquence F en Hz, le gain étant calculé à partir du signal d'entrée et du signal de sortie mesuré.

[0125] GE correspond au module du gain $|G|$ lorsque le détecteur est en contact avec l'eau, GA correspond au module du gain lorsque le détecteur est en contact avec l'air et GH correspond au module du gain lorsque le détecteur est en contact avec l'huile.

[0126] FRE correspond à la fréquence du premier mode de résonance lorsque le détecteur est en contact avec l'eau.

[0127] FRA correspond à la fréquence du premier mode de résonance lorsque le détecteur est en contact avec l'air.

[0128] FRH correspond à la fréquence du premier mode de résonance lorsque le détecteur est en contact avec l'huile.

[0129] Ci-dessous sont données les fréquences de résonances FRE, FRA et FRH mesurées, ainsi que les masses volumiques de fluides détectés.

[0130] Pour l'air, la masse volumique est égale à $1,225$ kg.m³ et la fréquence de résonance est de 8750 Hz.

[0131] Pour l'huile, la masse volumique est égale à 900 kg.m³ et la fréquence de résonance est de 5270 Hz.

[0132] Pour l'eau la masse volumique est égale à 1000 kg.m³ et la fréquence de résonance est de 5130 Hz.

[0133] On constate que la fréquence de résonance varie sensiblement entre un état dans l'air et un état dans un liquide, la présence ou l'absence de liquide peut donc être détectée directement.

[0134] La variation de la phase du gain en fonction de la fréquence en Hz est représentée sur la figure 12B. Celle-ci permet également de détecter la présence d'un liquide. ϕ_A

correspond à la phase du détecteur dans l'air, ϕE correspond à la phase du détecteur dans l'eau et ϕH correspond à la phase du détecteur dans l'huile.

- [0135] Sur les figures 13A et 13B, on peut voir des mesures de modules de gain et de phases de gain du détecteur en présence d'eau, d'éthanol et de mélanges eau/éthanol en fonction de la fréquence en Hz.
- [0136] Les masses volumiques des liquides détectés sont donnés ci-dessous :
- Ethanol pur : $\rho = 784 \text{ kg.m}^{-3}$
 - Mélange Eth1 : $\frac{3}{4}$ éthanol, $\frac{1}{4}$ eau : $\rho = 842 \text{ kg.m}^{-3}$
 - Mélange Eth2 : $\frac{1}{2}$ éthanol, $\frac{1}{2}$ eau : $\rho = 894.5 \text{ kg.m}^{-3}$
 - Mélange Eth3 : $\frac{1}{4}$ éthanol, $\frac{3}{4}$ eau : $\rho = 947 \text{ kg.m}^{-3}$
 - Eau pure : $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$.
- [0137] GE1 correspond au module du gain lorsque le détecteur est en contact avec l'eau, GEth correspond au module du gain lorsque le détecteur est en contact avec l'éthanol et GEth1 correspond au module du gain lorsque le détecteur est en contact avec le mélange Eth1, GEth2 correspond au module du gain lorsque le détecteur est en contact avec le mélange Eth2 et GEth3 correspond au module du gain lorsque le détecteur est en contact avec le mélange Eth3.
- [0138] $\phi E1$ correspond à la phase du gain lorsque le détecteur est en contact avec l'eau, ϕEth correspond à la phase du gain lorsque le détecteur est en contact avec l'éthanol et $\phi Eth1$ correspond à la phase du gain lorsque le détecteur est en contact avec le mélange Eth1, $\phi Eth2$ correspond à la phase du gain lorsque le détecteur est en contact avec le mélange Eth2 et $\phi Eth3$ correspond à la phase du gain lorsque le détecteur est en contact avec le mélange Eth3.
- [0139] Sur la figure 14, est représentée la variation de la fréquence de résonance F_r en Hz en fonction de la masse volumique ρ en kg/m^3 calculée pour le détecteur qui a fourni les mesures de la figure 13A à température ambiante. Cette variation est quasi-linéaire. Cette variation peut être estimée en recalant une courbe linéaire sur ces résultats. La courbe estimée a un coefficient directeur de $-1,77 \text{ Hz}/(\text{kg.m}^3)$. Ces mesures permettent de calibrer le capteur et d'obtenir sa sensibilité pour la mesure de la masse volumique à température ambiante.
- [0140] On constate une forte sensibilité du capteur à la variation de masse volumique, ce qui permet de différencier de manière fiable les fluides en contact avec le détecteur.
- [0141] L'analyse du gain permet également de déterminer la viscosité du liquide. En effet il a été constaté que l'amplitude des pics à la résonance dépendait de la viscosité du liquide, par exemple que les figures 12A et 12B l'amplitude des pics pour l'eau est supérieure à celle pour l'huile.
- [0142] Dans les exemples décrits, le détecteur détecte la présence de liquide, i.e. le passage d'un état non immergé dans un liquide au passage immergé dans un liquide. Mais il

sera compris que le détecteur détecte également l'absence de liquide, i.e. l'étape de passage d'un état immergé dans un liquide à un état non immergé dans le liquide.

[0143] Il sera compris également qu'une installation, par exemple un réservoir comportant plusieurs détecteurs de liquide selon l'invention à différentes hauteurs ne sort pas du cadre de la présente invention. Dans un exemple de réalisation, le réservoir comporte plusieurs détecteurs à différentes positions verticales pour déterminer les masses volumiques dans un volume de liquide comprenant différentes strates de liquides.

[0144] Le détecteur peut être utilisé pour suivre une variation de la fréquence de résonance au cours du temps.

[0145] En outre l'information fournie concernant la température peut permettre de suivre le fonctionnement de l'installation, dans laquelle est monté le détecteur.

Revendications

- [Revendication 1] Détecteur de présence d'un liquide comportant un dispositif vibrant (6) et un élément sensible (4) apte à être mis en vibration par le dispositif vibrant à au moins une fréquence de résonance, ledit élément sensible étant destiné à entrer en contact avec ledit liquide, ledit dispositif vibrant comportant un matériau piézoélectrique, un circuit électrique comportant le dispositif vibrant (6), une résistance montée électriquement en parallèle avec le dispositif vibrant (6), et un condensateur (14) monté électriquement en série avec le dispositif vibrant (6) et la résistance (12), et une unité de commande (UC) comportant des moyens pour appliquer un signal d'entrée (E) au circuit électrique (CE), des moyens de mesure pour mesurer un signal de sortie (S) et des moyens pour calculer le gain du circuit électrique en fonction de la fréquence et des moyens de traitement dudit gain configurés pour détecter la fréquence de résonance dudit détecteur, pour déterminer la température du détecteur à partir de la valeur du module du gain moyen hors-résonance et d'une relation préétablie, entre le module du gain moyen hors-résonance et la température.
- [Revendication 2] Détecteur selon la revendication 1, dans lequel le dispositif vibrant est modélisé par deux impédances en parallèle.
- [Revendication 3] Détecteur selon la revendication 1 ou 2 dans lequel le dispositif vibrant forme les moyens de mesure du signal de sortie (S).
- [Revendication 4] Détecteur selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel l'élément sensible (4) comporte une membrane (8) destinée à entrer en contact avec ledit liquide.
- [Revendication 5] Détecteur selon la revendication 4, dans lequel le dispositif vibrant (6) comporte une pastille en matériau piézoélectrique fixée sur une face de la membrane (8) opposée à une face de la membrane destinée à entrer en contact avec ledit liquide.
- [Revendication 6] Détecteur selon la revendication précédente, dans lequel l'unité de commande comporte des moyens pour comparer la fréquence de résonance détectée à une fréquence de résonance dans un état antérieur dudit détecteur.
- [Revendication 7] Détecteur selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel l'unité de commande comporte des moyens de correction pour faire correspondre à ladite fréquence de résonance à la température mesurée une fréquence de résonance à une température de référence.

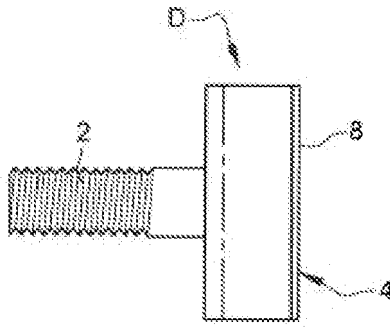
- [Revendication 8] Détecteur selon la revendication 7, dans lequel les moyens de correction en température utilisent une ou des lois de correction ou des bases de données.
- [Revendication 9] Détecteur selon la revendication 7 ou 8, comportant des moyens de détermination de propriétés dudit liquide, par exemple la masse volumique dudit liquide, utilisant la fréquence de résonance à la température de référence, et des bases de données reliant les propriétés des liquides aux fréquences de résonance.
- [Revendication 10] Installation comportant un contenant destiné à contenir un liquide et au moins un détecteur selon l'une des revendications précédentes disposé dans le contenant à un endroit où la détection de la présence du liquide est requise.
- [Revendication 11] Procédé de détection de la présence d'un liquide mettant en œuvre le détecteur selon l'une des revendications 1 à 9, comportant les étapes /
a) application du signal d'entrée au détecteur et mesure d'un signal de sortie,
b) calcul du gain du détecteur,
c) détermination d'au moins une fréquence de résonance,
d) comparaison de la fréquence de résonance avec une fréquence de résonance d'un état antérieur du détecteur,
e) si la fréquence de résonance est sensiblement différente de la fréquence de résonance dans un état précédent, la présence ou l'absence de liquide est détectée.
f) calcul du module du gain moyen hors-résonance,
g) détermination de la température du détecteur à partir d'une relation linéaire préétablie entre le module du gain moyen et la température.
- [Revendication 12] Procédé de détection selon la revendication précédente, dans lequel les étapes a) à g) sont répétées afin de vérifier la présence ou l'absence de liquide au cours du temps.
- [Revendication 13] Procédé de détection selon la revendication 11 ou 12, dans lequel les étapes f) et g) ont lieu avant ou après les étapes c) à e).
- [Revendication 14] Procédé de détection selon l'une des revendications 11 à 13, dans lequel les étapes f) et g) n'ont pas lieu si aucun liquide n'est détecté.
- [Revendication 15] Procédé de détection selon l'une des revendications 11 à 14, comportant une étape h) après l'étape g) de correction de la valeur de la fréquence de résonance en fonction de la température afin de déterminer la fréquence de résonance à une température de référence.
- [Revendication 16] Procédé de détection selon la revendication précédente, comportant

après l'étape h), la détermination de la masse volumique du liquide le cas échéant à partir d'une base de données reliant la fréquence de résonance et la masse volumique à la température de référence, et la détermination du liquide en contact avec le détecteur.

[Revendication 17] Procédé de détection selon l'une des revendications 11 à 16, dans laquelle le signal d'entrée est un signal large bande.

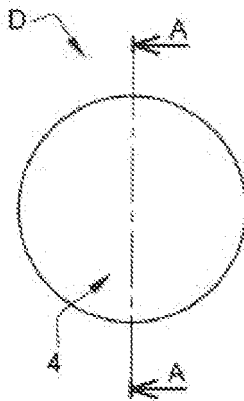
[Fig. 1A]

Fig. 1A



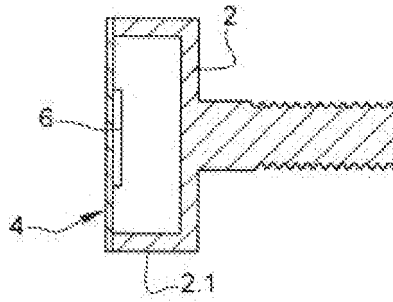
[Fig. 1B]

Fig. 1B



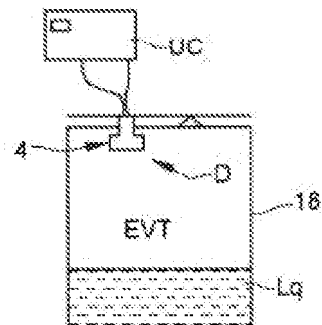
[Fig. 1C]

Fig. 1C



[Fig. 2]

Fig. 2



[Fig. 3]

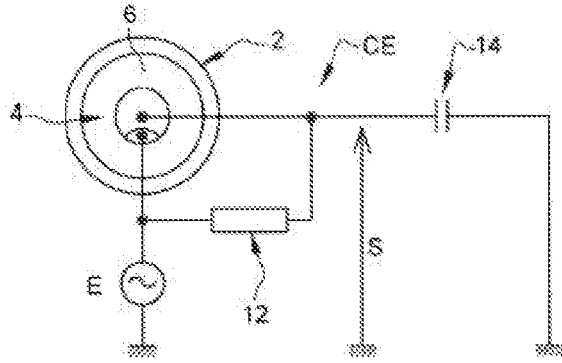


Fig. 3

[Fig. 4]

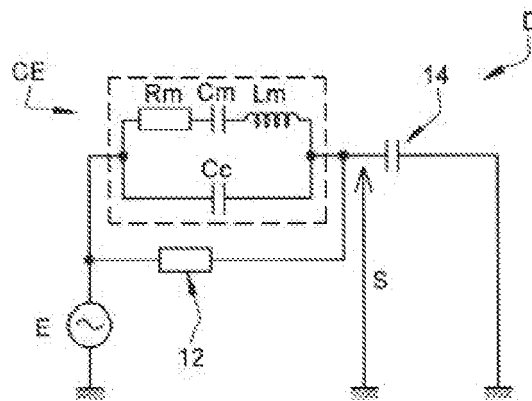


Fig. 4

[Fig. 5]

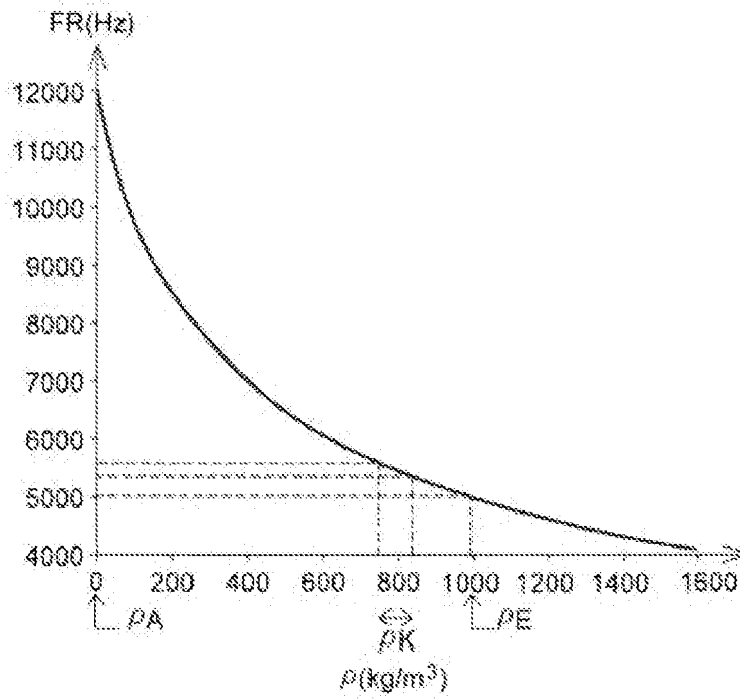
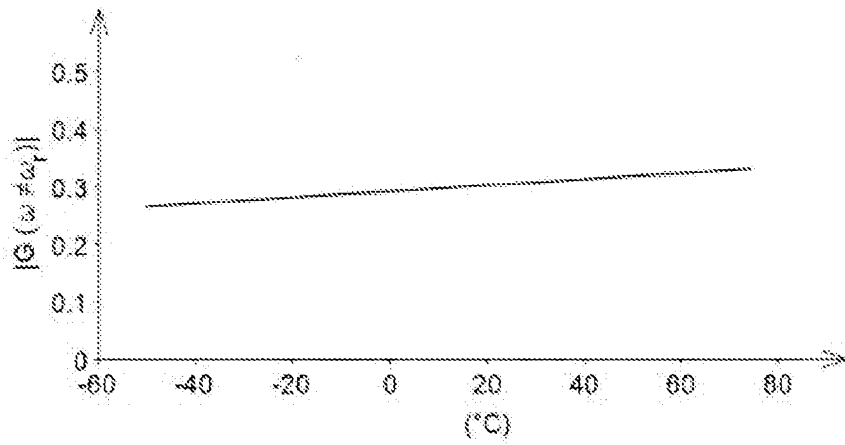


Fig. 5

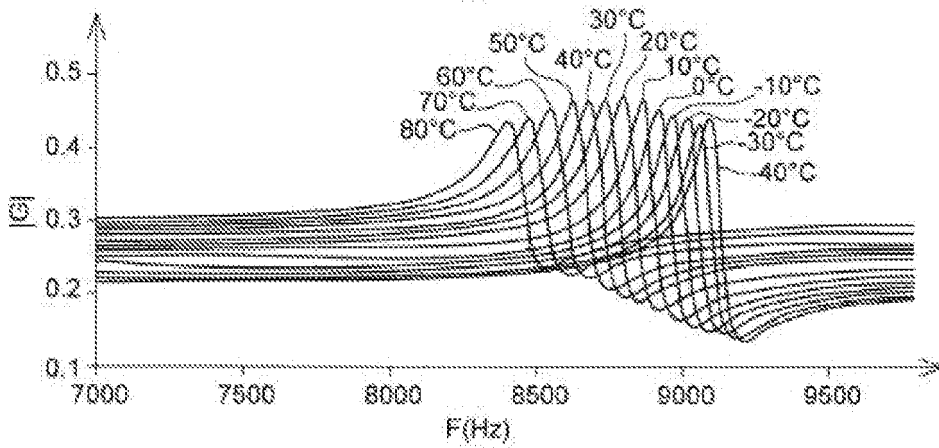
[Fig. 6]

Fig. 6

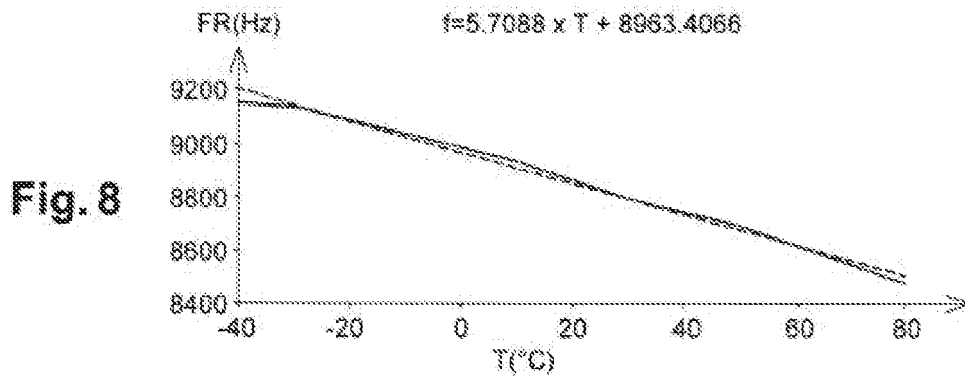


[Fig. 7]

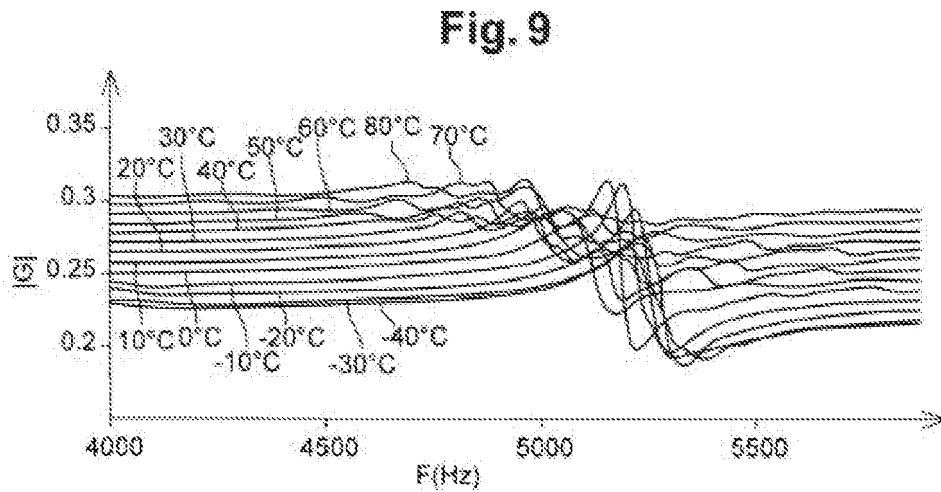
Fig. 7



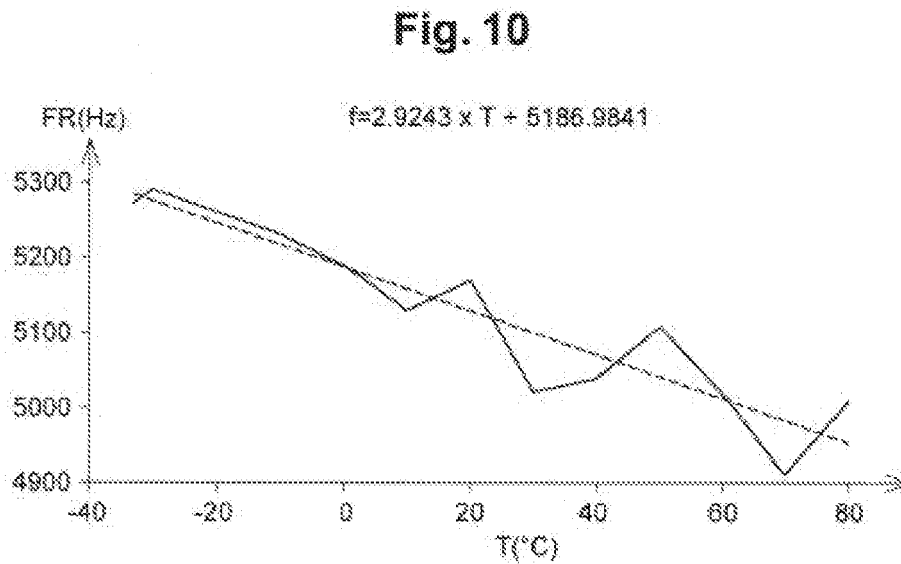
[Fig. 8]



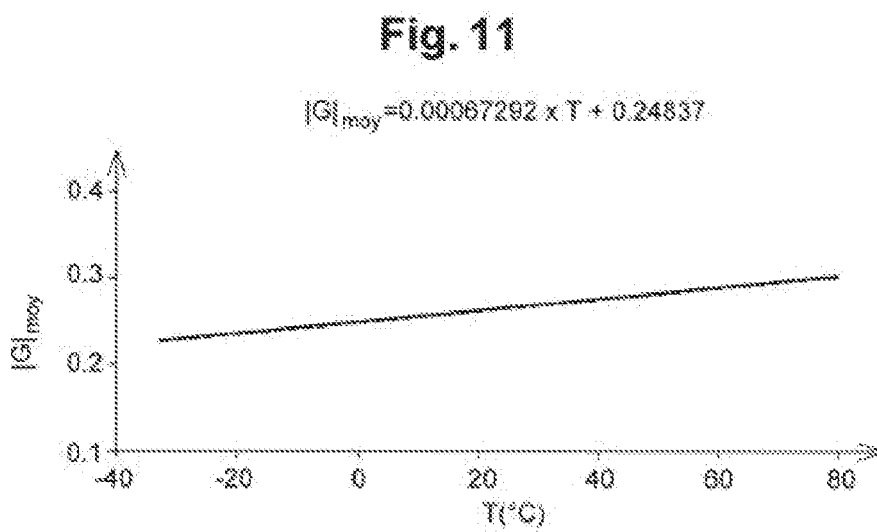
[Fig. 9]



[Fig. 10]

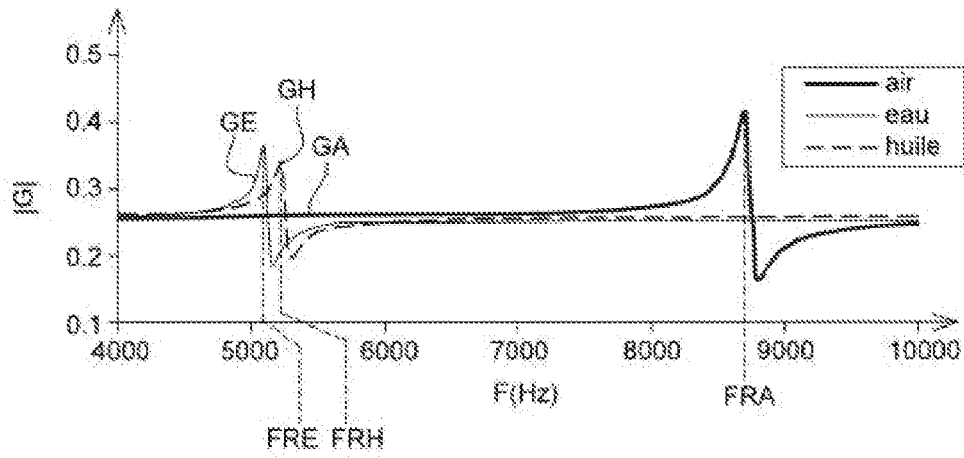


[Fig. 11]



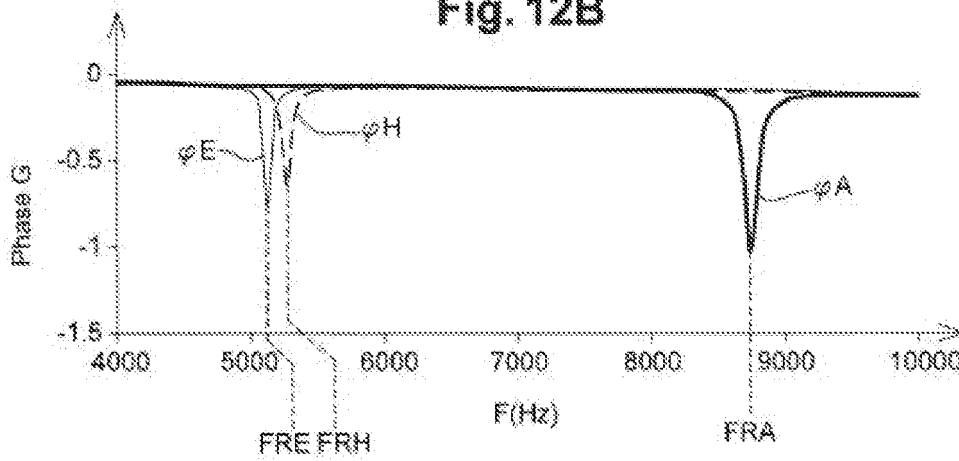
[Fig. 12A]

Fig. 12A



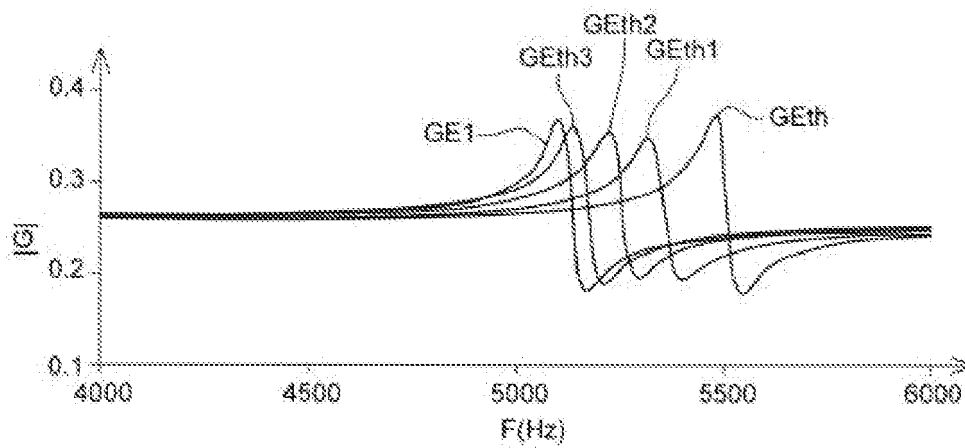
[Fig. 12B]

Fig. 12B

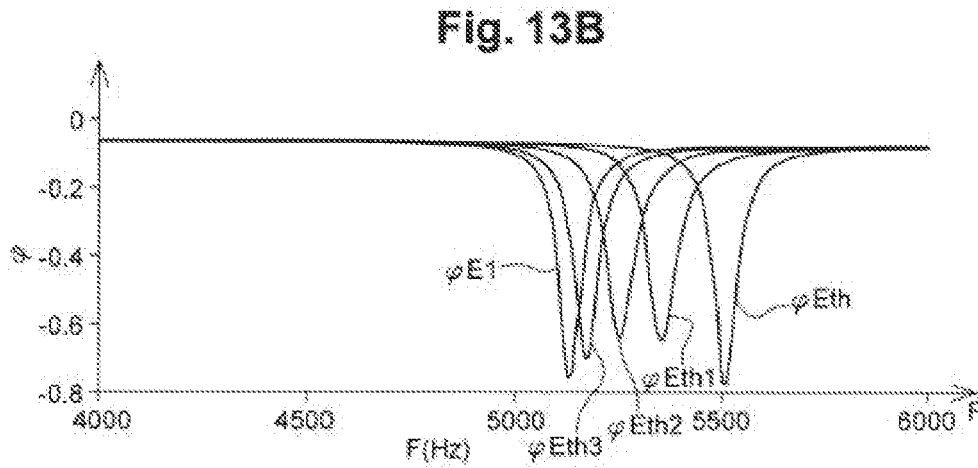


[Fig. 13A]

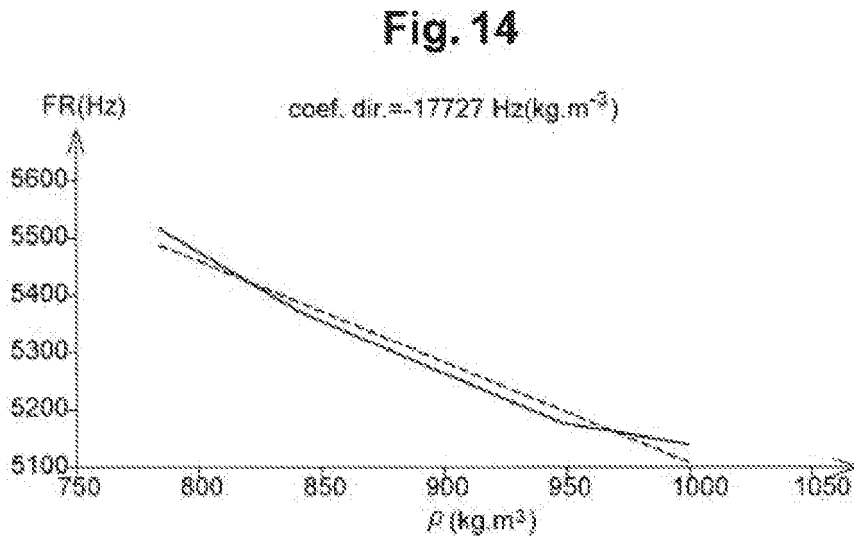
Fig. 13A



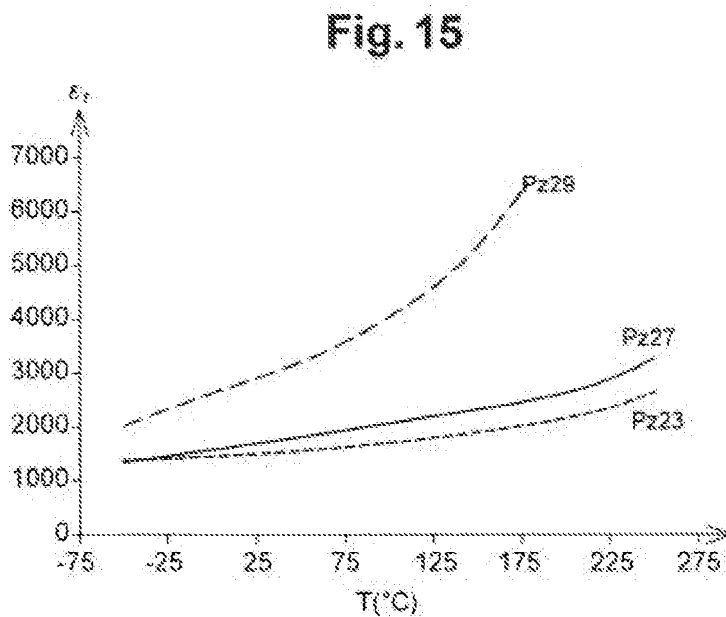
[Fig. 13B]



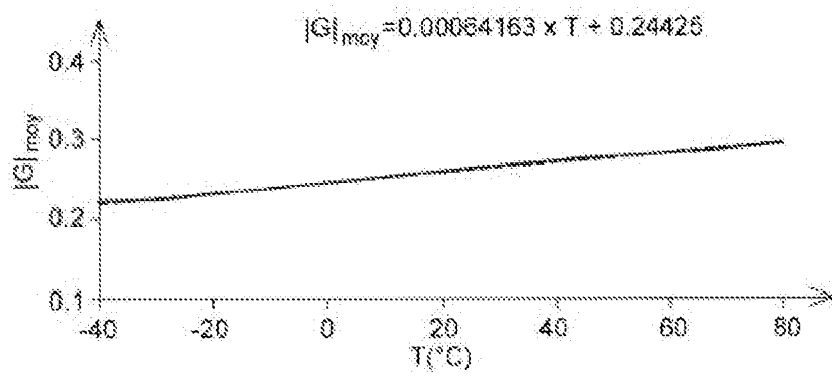
[Fig. 14]



[Fig. 15]



[Fig. 16]

Fig. 16

**RAPPORT DE RECHERCHE
 PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications
 déposées avant le commencement de la recherche

 N° d'enregistrement
 national

 FA 864875
 FR 1874048

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 3 706 981 A (HART ATLEE S) 19 décembre 1972 (1972-12-19) * colonne 1, ligne 16 - ligne 20 * * colonne 1, ligne 39 - ligne 49 * * colonne 1, ligne 62 - ligne 64 * * colonne 2, ligne 1 - ligne 6 * * colonne 2, ligne 21 - ligne 26 * * colonne 3, ligne 11 - ligne 13 * * figures 1,2,4 *	1-17	G01D21/02 G01F23/296 G01K11/26
A,D	WO 2011/032793 A1 (ENDRESS & HAUSER GMBH & CO KG [DE]; LOPATIN SERGEJ [DE] ET AL.) 24 mars 2011 (2011-03-24) * page 8, alinéa 3 * * page 9, alinéa 2 * * figures 22, 2b *	1-17	
A	DE 10 2015 112055 A1 (ENDRESS + HAUSER GMBH + CO KG [DE]) 26 janvier 2017 (2017-01-26) * alinéa [0015] * * alinéa [0032] - alinéa [0033] * * figure 1 *	1-17	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01F
A	DE 10 2016 125243 A1 (ENDRESS HAUSER SE CO KG [DE]) 21 juin 2018 (2018-06-21) * figure 2 * * alinéa [0016] * * alinéa [0028] * * alinéa [0045]; figures 4a,4b *	1-17	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
29 octobre 2019		Verdoodt, Erik	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1874048 FA 864875**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **29-10-2019**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3706981	A	19-12-1972	AUCUN	

WO 2011032793	A1	24-03-2011	CN 102575956 A	11-07-2012
			DE 102009029490 A1	24-03-2011
			SG 178838 A1	27-04-2012
			US 2012174665 A1	12-07-2012
			WO 2011032793 A1	24-03-2011

DE 102015112055	A1	26-01-2017	AUCUN	

DE 102016125243	A1	21-06-2018	AUCUN	
