

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 6 juillet 1988.

(30) Priorité : US, 6 juillet 1987, n° 069.817.

(43) Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 2 du 13 janvier 1989.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

(71) Demandeur(s) : FISCHER ET PORTER Company. — US.

(72) Inventeur(s) : Peter J. Herzl.

(73) Titulaire(s) :

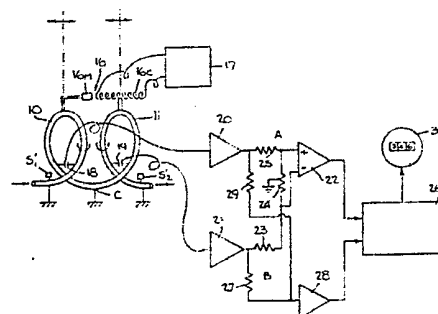
(74) Mandataire(s) : Jacques Chanet.

(54) Débitmètre de masse du type coriolis à double boucle.

(57) L'invention concerne un débitmètre de masse, de type coriolis, dans lequel des doubles boucles sont aboutées pour définir un diapason, les deux branches de la double boucle, de part et d'autre d'un centre fixe, jonction 15 des deux boucles, sont libres de vibrer en opposition de phase et d'osciller en torsion, et qui fonctionne de façon efficace, sûre et précise.

Il comprend un tuyau, enroulé pour former une paire de boucles 10, 11 identiques, un bâti fixe 12, un exciteur électromagnétique alimenté pour induire la vibration des boucles en opposition de phase à leur fréquence de diapason, des moyens d'adduction du fluide dans le tuyau, une paire de capteurs capacitifs 18, 19, des moyens pour transmettre les signaux des capteurs à un amplificateur différentiel 22 dont la tension de sortie est sensiblement proportionnelle à la vitesse de la masse en écoulement.

Application : débitmètre de masse du type coriolis.



La présente invention est du domaine des débitmètres de masse, et elle a plus particulièrement pour objet un débitmètre de type Coriolis à double boucle dans lequel les boucles sont aboutées pour définir un diapason, et dans lequel les boucles, de part et d'autre d'un centre fixe qui est la jonction de celles-ci, sont libres de vibrer en opposition de phase et d'osciller en torsion.

Un débitmètre pour la mesure de la vitesse d'écoulement d'une masse est un appareil mesurant la masse d'un fluide circulant à travers une conduite par l'unité de temps. La plupart des débitmètres pour cet usage mesurent une quantité à partir de laquelle la masse peut être calculée, au lieu de mesurer la masse directement. Ainsi, on peut mesurer la vitesse d'écoulement de la masse avec un débitmètre volumétrique, ou en tenant compte de la pression, de la température, et d'autres paramètres permettant de calculer la masse.

Un débitmètre de masse du type Coriolis, encore appelé débitmètre gyroscopique/Coriolis, fournit une sortie directement proportionnelle à la vitesse d'écoulement, évitant par là de mesurer la pression, la température, la densité ou autres paramètres. Avec cette sorte de débitmètre, il n'y a d'obstacles sur le passage du fluide et la précision de l'appareil n'est pas touchée par l'érosion, la corrosion, ni par l'étendue d'échelle du capteur.

La théorie de base du débitmètre de masse du type Coriolis et les avantages atteints par là, sont expliqués clairement dans l'article de K.O. Plache, "Débitmètre gyroscopique/Coriolis", mars 1979, numéro "Mechanical Engineering", pages 36 à 39.

Une force de Coriolis est en général associée à un système continuellement en rotation. Ainsi la rotation de la terre entraîne les vents d'une zone de forte pression dans une spirale dans le sens des aiguilles d'une montre à l'hémisphère nord, et dans le

sens contraire des aiguilles d'une montre à l'hémisphère sud. Et une personne se déplaçant le long d'un méridien éprouvera une force latérale et devra se pencher de côté pour avancer le long du méridien.

5 Une force de Coriolis et une précession dans un gyroscope dérivent du même principe. Dans un gyroscope, lorsqu'un couple est appliqué perpendiculairement à l'axe du gyroscope, il se produit une rotation
10 précessionnelle de l'axe du gyroscope et à l'axe d'application du couple. Une force de Coriolis procède du mouvement radial d'une masse se déplaçant d'un premier point sur un corps en rotation vers un second point, comme résultat de ce que la vitesse périphérique de la masse s'accélère. Cette accélération de la masse génère une force dans le
15 plan de rotation, qui est perpendiculaire au mouvement radial instantané.

Dans une forme connue de débit-
mètre de masse du type Coriolis, le fluide soumis à mesure s'écoule à travers le tuyau en forme de C, qui en associa-
20 tion avec un ressort à lames, agit comme les fourches opposées d'un diapason. Ce diapason est commandé électromagnétiquement, et soumet de ce fait chaque particule mobile à l'intérieur du tuyau à une accélération de type Coriolis. Les forces résultantes infléchissent ou tordent angulaire-
25 ment le tuyau en forme de C, de façon inversement proportionnelle à la rigidité du tuyau et directement proportionnelle à la vitesse d'écoulement de la masse à l'intérieur du tuyau.

La torsion du tuyau est perçue
30 électro-optiquement deux fois au cours de chaque cycle d'oscillation du diapason qui a lieu à sa fréquence de résonance propre à la structure. La sortie du détecteur optique est une pulsation dont l'amplitude est modulée en fonction de la vitesse d'écoulement de la masse. Cette
35 amplitude de pulsation est numérisée et affichée pour fournir une indication numérique de la vitesse d'écoulement de la masse.

Le brevet US. 3.132.512 (ROTH) divulgue un débitmètre de masse du type Coriolis ; dans celui-ci une boucle vibrant à sa fréquence de résonance est mise en oscillation autour d'un axe de couple qui varie
5 avec le fluide présent dans la boucle. Cette oscillation torsionnelle est perçue par des transducteurs à bobines mobiles.

Les brevets US n° 4.127.828 et 4.192.184 (de COX et al) montrent un débitmètre du type
10 Coriolis ayant deux boucles en forme de U disposées pour vibrer comme les fourches d'un diapason, l'oscillation torsionnelle de ces boucles, fonction de la masse du fluide le traversant, est perçue par des détecteurs . optiques.
Dans le brevet US n°4.222.338 (de SMITH), des capteurs
15 électromagnétiques fournissent un signal linéaire analogique représentatif du mouvement oscillatoire du tuyau en forme de U. Des capteurs électromagnétiques sont également utilisés dans le brevet n°4.491.025 (SMITH et al.), dans lequel
20 le fluide dont la masse est soumise à mesure, s'écoule en série à travers deux tuyaux parallèles en forme de U, qui fonctionnent ensemble comme les fourches d'un diapason.

Les références suivantes constituent un arrière plan aussi intéressant de la technique
: US 3.485.098 (SIPIN), US 4.187.721 (SMITH), US 4.252.028
25 (SMITH et al.), demande internationale 85/05677 (DAHLIN).

En raison du fait que le débit-
mètre à double boucle du type Coriolis fonctionne comme
un diapason, il faut moins de puissance pour faire osciller
les deux boucles à leur fréquence propre que pour faire
30 osciller une simple boucle. Lorsque les deux boucles vibrent
comme un diapason par rapport à un centre fixe de la
jonction des deux boucles, elles se rapprochent en
alternance l'une de l'autre avec un intervalle minimum
et s'éloignent ensuite avec un intervalle maximum ; par
35 conséquent le vecteur de la vitesse angulaire d'une boucle
sera toujours opposé au vecteur de la vitesse angulaire

de l'autre boucle. Et en raison du fait que le flux traversant les deux boucles est le même, les boucles seront soumises à des couples opposés en raison de la vitesse angulaire des vecteurs opposés. En conséquence, les deux
5 boucles se tordent et s'éloignent l'une de l'autre par alternance.

Une configuration d'un diapason en double boucle donne lieu à un fonctionnement plus stable que celui d'une simple boucle ; puisque la masse d'une
10 boucle varie en fonction de l'augmentation de la densité du fluide, la masse de l'autre boucle en fera de même. Cela donnera lieu à un équilibrage dynamique de la paire des boucles et à une sensibilité substantiellement diminuée des forces vibratoires externes.

Cependant par le fait que les
15 boucles du diapason sont fixées en leur centre où a lieu leur jonction, aussi bien qu'à leur extrémité d'admission et de sortie, une telle fixation empêche les boucles d'osciller efficacement. En résultat, les capteurs de
20 vitesse du type utilisé dans l'art antérieur ne sont pas suffisamment sensibles pour fournir un signal adéquat de mesure de la masse du flux.

Au vu de ce qui précède, le principal objectif de la présente invention est de proposer
25 un débitmètre de masse du type Coriolis à deux boucles qui fonctionne de façon efficace, sûre et précise.

Un objectif plus particulier de l'invention est de proposer un débitmètre de masse du type susmentionné qui utilise une double boucle, qui
30 fonctionne elle-même comme un diapason et dont la vibration de fréquence normale de résonance est induite par un excitateur électromagnétique qui est alimenté en synchronisme avec les vibrations du diapason.

Un objectif de la présente
35 invention est de proposer aussi un débitmètre de masse dans lequel les oscillations torsionnelles des boucles vibrantes sont perçues par une paire de capteurs de capacité

très sensibles montés de façon symétrique sur les deux boucles.

Ces buts sont atteints dans un débitmètre de masse du type Coriolis dans lequel le fluide soumis à mesure est véhiculé dans un tuyau qui est enroulé pour former une double boucle. Ce tuyau est fixé à ses extrémités d'entrée et de sortie et également à son centre où se situe la jonction des deux boucles, pour définir un diapason dans lequel les boucles, identiques de chaque côté du centre fixe, fonctionnent comme des fourches libres en vibration aussi bien qu'en torsion. Un excitateur électromagnétique monté au sommet de la double boucle est alimenté électriquement de façon à faire vibrer les boucles en opposition de phase à leur fréquence propre de diapason. Le fluide s'écoulant dans la double boucle est soumis aux forces de Coriolis, faisant par là osciller torsionnellement les boucles vibratoires en fonction de la masse du fluide en écoulement. Les capteurs capacitifs sont montés de façon symétrique sur les boucles respectives pour produire des signaux avec des différences d'amplitude et de phase qui dépendent de l'amplitude des oscillations en torsion; ces signaux sont appliqués à un amplificateur différentiel dont la sortie est proportionnelle au débit massique du fluide.

La présente invention sera mieux comprise et des détails en relevant apparaîtront à la descriptions qui va être faite d'exemples de réalisation avec les figures des planches annexées dans lesquelles :

-la fig.1 est une vue en bout d'un débitmètre de masse du type Coriolis à deux boucles, conforme à l'invention ;

-la fig.2 est une vue de côté du même;

-la fig.3 illustre schématiquement le débitmètre et le circuit de mesure associé aux capteurs capacitifs de la boucle ;

-la fig.4 est un diagramme vecteuriel montrant les vecteurs qui déterminent le déplacement du capteur ;

5 -la fig.5 illustre une forme préférée du capteur capacitif de la boucle ;

-la fig.6 illustre une autre forme de réalisation des capteurs capacitifs de la boucle ;

10 -la fig.7 est un diagramme illustrant la sensibilité combinée des capteurs de la boucle ; et,

-la fig.8 est un schéma simplifié représentant le circuit qui va alimenter l'excitateur de la boucle en synchronisme avec les sorties combinées des capteurs.

15 Sur les figures 1 et 2, un débitmètre de masse du type Coriolis conforme à l'invention, comprend un tuyau métallique en acier inoxydable ou autre matériau inerte vis-à-vis du fluide mesuré, et qui peut supporter la pression du fluide. Ce tuyau est enroulé
20 suivant une boucle double constituée par des boucles circulaires identiques 10 et 11 de même diamètre.

La double boucle est supportée dans un boîtier parallélépipédique fixe et rigide ou bâti 12 ayant un fond 12A et des côtés parallèles 12B et 12C.
25 Le débit massique peut être mesuré dans chacune des directions de l'écoulement du fluide dans le tuyau. Mais à titre d'exemple, nous considérerons l'ajutage 13 couplé à une extrémité du tuyau qui traverse une ouverture du côté 12B et qui est soudé à celui-ci, comme ajutage d'entrée
30 et l'ajutage 14 qui passe à travers une ouverture du côté 12C, et soudé à celui-là, comme ajutage de sortie. En outre, les entrée et sortie de la double boucle sont fixées au bâti.

Le centre C de la double boucle qui est la jonction des boucles 10 et 11, est fixé sur
35 le bâti par un pivot 15 qui est soudée à la base 12A.

La configuration de la double

boucle dans laquelle sont fixées les extrémités d'entrée et de sortie ainsi que le centre, crée un diapason dont les fourches sont constituées par des boucles indentiques 10 et 11. Celles-ci sont libres de vibrer en opposition de phase à leur fréquence propre de diapason. En raison du fait que les boucles vibratoires sont soumises à la force opposée du couple de Coriolis lorsqu'un fluide les parcourt, les boucles 10 et 11 sont amenées à se tordre et à s'éloigner l'une de l'autre.

Un excitateur électromagnétique 16 disposé sur le sommet de la double boucle est alimenté par une source d'énergie externe alternative 17, comme le montre la figure 3, pour faire vibrer les boucles du diapason à une fréquence correspondant à sa résonance propre; de cette façon les deux boucles oscillent en un mouvement de va-et-vient par rapport au centre, en opposition de phase.

L'excitateur 16, comme le montre la fig.3, peut prendre la forme d'un aimant permanent 16M coopérant avec une bobine 16C excitée par la source d'énergie 17 pour alternativement aspirer l'aimant et le repousser à une fréquence correspondant à la fréquence de résonance de diapason. Toute forme connue d'excitateur peut être utilisée à cette fin.

Un capteur capacitif 18 monté sur la boucle 10 en un point intermédiaire compris dans un angle de 45° formé depuis le pivot du centre, est pourvu d'une paire d'armatures, l'une d'elles étant attachée à une branche de la boucle et l'autre à l'autre branche, les armatures du capteur capacitif étant isolées des branches métalliques. De la même façon, un capteur capacitif 19

est monté sur la boucle 11 dans une position correspondante de sorte que la paire des capteurs est montée systématiquement sur la double boucle.

La capacité d'un condensateur formé par deux armatures séparées par un diélectrique,

est déterminée par l'équation $C=KA/d$, dans laquelle C est la capacité totale, K est la constante diélectrique du matériau entre les armatures (qui est l'air, dans le cas des capteurs 18 et 19), A représente les surfaces des armatures, d est la distance entre les armatures.

Dans le cas du capteur 18, une de ses armatures est montée sur la branche de la boucle 10 qui est fixée au centre C, et l'autre armature 19 montée sur l'autre branche de la même boucle fixée à l'extrémité d'entrée 13. Les armatures du capteur 19 sont, chacune, en relation avec les branches de la boucle 11.

Attendu que chaque boucle vibre en un mouvement de va-et-vient et oscille par torsion, l'écart entre les armatures du capteur capacitif varie avec une amplitude déterminée par le vecteur résultant des mouvements vibratoires et torsionnels. La variation de capacité perçue par chaque capteur est convertie en un signal de tension correspondant, en reliant le condensateur à une source de tension en courant continu en série avec une résistance limitant le courant d'une façon qui sera expliquée ultérieurement.

Le signal en tension du capteur 18 est appliqué à un préamplificateur 20 et, celui du capteur 19 à un préamplificateur 21. La sortie du préamplificateur 21 est reliée à l'entrée négative de l'amplificateur différentiel 22 à travers une résistance fixe 23 en série avec une résistance variable 24 de contrôle de gain. La sortie d'un préamplificateur 20 est reliée à l'entrée positive de l'amplificateur différentiel 22 à travers une résistance fixe 25. La sortie de l'amplificateur différentiel 22 qui représente la différence entre les amplitudes des signaux du capteur, est appliquée à un microprocesseur 26.

La sortie préamplificateur 21 est également appliquée à travers une résistance fixe 27 à l'entrée d'un amplificateur de sommation 28, auquel est également appliquée à travers une résistance fixe 29, la

sortie du préamplificateur 20. Par conséquent, la sortie de l'amplificateur de sommation 28 est la somme des signaux du capteur et celle-ci est appliquée à une autre entrée du microprocesseur 26.

5 Le microprocesseur 26, se basant sur la somme et la différence des données de signaux qui lui sont fournies, calcule la vitesse d'écoulement de masse du fluide s'écoulant à travers la boucle pour fournir une valeur numérique représentative du débit massique. Cela
10 est visualisé sur l'écran 30.

La sensibilité du capteur capacitif à la torsion varie en fonction du cube du déplacement torsionnel (X^3) et sa sensibilité aux oscillations vibratoires varie en fonction du cube du déplacement
15 vibratoire (Y^3). Néanmoins, ces déplacements qui ont lieu en même temps, comme le montre le diagramme du vecteur de la fig.4, sont à angle droit les uns des autres. Par conséquent, la direction réelle perçue par le capteur capacitif est le vecteur résultant de X^3 et Y^3 . Pour obtenir
20 la sensibilité maximale du capteur capacitif à l'oscillation par torsion, puisque c'est cette oscillation qui fournit la lecture du débit de masse, le rapport du vecteur de torsion au vecteur vibratoire doit être tel qu'il fournit le déplacement optimal du capteur capacitif. Cela se
25 produit lorsque le capteur est logé assez près du centre fixe C et bien au-dessous de 45° du centre sur la boucle.

La façon suivant laquelle un changement de capacité est converti en un changement du signal en tension se trouve indiquée sur les fig.5 et 6.
30 Le capteur capacitif de la fig.5 se compose d'une paire d'armatures métalliques P_1 et P_2 fixées par des patins d'isolement 31 et 32 sur les branches L_1 et L_2 d'une boucle, de telle sorte que lorsque la boucle est infléchie, que l'intervalle entre les armatures varie en fonction de l'in-
35 flexion de la boucle.

L'armature P_1 est reliée par une résistance limitant le courant 33 à la borne positive

d'une source 34 de courant continu dont la borne négative, est mise à la masse L. L'armature P₂ est reliée à l'entrée négative d'un amplificateur opérationnel 35 ayant une réaction négative, dont l'entrée positive est mise à la masse. Par conséquent, comme l'écart entre les armatures P₁ et P₂ varie en fonction de l'inflexion de la boucle, la grandeur de la tension négative appliquée à l'amplificateur varie en conséquence .

Dans la disposition du capteur de la fig.6, une armature P₃ est reliée par un patin d'isolement 36 à la branche L₂ de la boucle, tandis qu'une paire d'armatures parallèles P₄ et P₅ est rattachée par une pièce isolante 37 à la branche L₁. L'armature P₃ se rapproche de l'armature P₄ et s'en éloigne, ou inversement, selon la direction de l'inflexion.

Une source de courant continu 38 dont le point milieu est relié à l'entrée positive de l'amplificateur 35, est appliquée comme tension positive constante à l'armature P₄, à travers une résistance 39 de limitation de courant, tandis qu'une tension constante négative est appliquée à l'armature P₅ à travers une résistance 40 de limitation de courant. Par conséquent, il se existe un écart de tension positif entre les armatures P₃ et P₄ et un écart de tension négatif entre les armatures P₃ et P₄. L'armature P₅ est reliée à l'entrée négative de l'amplificateur 35. Donc lorsque l'armature P₃ se déplace vers l'armature P₄, la tension appliquée à l'amplificateur 35 s'accroît, tandis que lorsqu'elle se déplace vers l'armature P₅, la tension appliquée diminue.

La fig.7 montre par un graphique comment se combine la sensibilité du capteur ayant un intervalle de polarisation (+) et d'un capteur ayant un intervalle de polarisation (-). On verra que sur une échelle d'intervalle capacitif de 0 à 20, la tension de l'intervalle (+) varie de 5 à 1, tandis que la tension de l'intervalle négatif, qui est inversée par rapport à la précédente sur la même échelle, varie de 1 à 5. Toutefois comme le montre

par évidence le graphique, la sensibilité combinée du capteur produit une sortie significativement plus haute sur l'intervalle d'échelle.

5 Une disposition préférée d'alimentation alternative de l'excitateur 16 du débitmètre à double boucle, est montrée sur la fig.8 dans laquelle l'énergie est fournie à l'excitateur 16 par amplificateur de puissance 41, de manière telle que le diapason à double boucle vibre à une fréquence qui correspond à sa fréquence
10 normale de diapason.

A cette fin, les capteurs capacitifs 18 et 19 disposés symétriquement sur les boucles de la manière décrite précédemment, sont reliés respectivement aux amplificateurs 42 et 43, dont les sorties
15 sont appliquées à travers des résistances 44 et 45 à une jonction de sommation 46, pour que les sorties S1 et S2 de capteur soient combinées par addition. La tension combinée du signal (S1 et S2) à la jonction 46 est appliquée à l'entrée de l'amplificateur 47 dont la sortie est
20 appliquée à travers un atténuateur variable 48, à l'entrée de l'amplificateur de puissance 41. La sortie de l'amplificateur de tension du signal combiné 47 est aussi appliquée par un redresseur 49 à l'entrée positive d'un comparateur 50 à l'entrée négative duquel est appliquée
25 une tension positive de référence.

L'amplificateur 50 compare la sortie redressée de l'amplificateur 47 avec le niveau de tension pour émettre un signal d'erreur qui dépend de la différence entre eux. Le signal d'erreur apparaissant
30 à la sortie de l'amplificateur 50 est appliqué à l'atténuateur 48 et agit pour modifier la puissance produite par l'amplificateur de puissance 41 qui entraîne le diapason en vibration de telle sorte que la sortie redressée de l'amplificateur du signal de tension du capteur 47 devienne égal à la tension de référence.
35

De ce fait la somme des signaux de tension produits par les capteurs 18 et 19 est alors

fixe. Le diapason à double boucle se met en marche lui-même et est excité à sa fréquence de résonance.

5 Au lieu d'une double boucle, du type représenté, dans lequel les deux boucles sont disposées en série, en pratique la double boucle peut être constituée par une paire de boucles associées en parallèle. Et pour augmenter encore le rapport du vecteur de torsion au vecteur de vibrations en vue d'accroître la sensibilité des capteurs capacitifs à l'oscillation torsionnelle, les
10 capteurs peuvent être logés plus près de l'entrée et de la sortie du tuyau comme cela est indiqué par S'1 et S'2 (figure 3) ce qui représente une variante de disposition des capteurs 18 et 19 des figures.

15 Ainsi et bien que l'on ait décrit et représenté une forme particulière de réalisation de l'invention, il doit être compris que la portée de celle-ci n'est pas limitée à cette forme, mais qu'elle s'étend à tout débitmètre du type Coriolis à double boucle comportant les caractéristiques générales énoncées plus
20 haut.

REVENDICATIONS

1.- Débitmètre massique du type Coriolis caractérisé :

en ce qu'il comprend pour agir

en combinaison :

- 5 - un tuyau pourvu d'une entrée et d'une sortie, enroulé pour former une paire de boucles (10,11) identiques ,
- un bâti fixe (12) pour supporter ladite double boucle solidaire du bâti à ses dites extrémités d'entrée et de sortie et en un pivot central (15), les deux branches de la boucle formant les branches d'un diapason pouvant vibrer de part et d'autre du dit pivot aussi bien en va-et-vient qu'en torsion,
- 10 - un excitateur électromagnétique (16) disposé au sommet de la boucle et alimenté pour induire la vibration des boucles en opposition de phase à leur fréquence de diapason,
- 15 - des moyens d'adduction du fluide dans le tuyau depuis son entrée vers sa sortie, pour soumettre la double boucle aux forces de Coriolis entraînant la vibration torsionnelle des boucles en fonction de la masse du fluide en écoulement,
- 20 - une paire de capteurs capacitifs (18,19) disposés de part et d'autre du pivot, lesdits capteurs délivrant en absence de débit, des signaux égaux, et en présence de débit, des signaux dont l'amplitude est fonction du débit massique, et
- 25 - des moyens pour transmettre les signaux des capteurs, à un amplificateur différentiel (22) dont la tension de sortie est sensiblement proportionnelle à la vitesse de la masse en écoulement ;

30 2.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé :

en ce que ladite double boucle

ayant une forme générale circulaire, chaque capteur est disposé, respectivement, sur sa branche dans une position comprise dans un angle de 45° formé depuis

le pivot ;

3.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé :

5 en ce que ledit bâti forme un boîtier parallélépipédique comprenant un fond (12A), une paire de côtés parallèles (12B,12C), ledit pivot (15) étant solidaire du fond, lesdites entrées et sorties passant à travers lesdits côtés et y étant fixées ;

4.- Dispositif selon la revendication 3, caractérisé :

10 en ce que lesdites entrées et sorties sont pourvues d'ajutages (13,14) soudés aux dits côtés (12B,12C) ;

5.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé :

15 en ce que chaque boucle est formée d'une branche (L1) incurvée partant d'une extrémité du tuyau et d'une autre branche (L2) partant du pivot, chacun des capteurs étant constitué d'une première armature (P1) reliée à une branche (L1) de la boucle, et d'une deuxième armature (P2) reliée à l'autre branche (L2), lesdites armatures étant séparées par un intervalle variant en fonction de l'oscillation torsionnelle de la boucle ;

20

6.- Dispositif selon la revendication 5, caractérisé :

25 en ce que l'une (P1) des armatures de condensateur est connectée, à travers une résistance (37) de limitation de courant, à la borne positive d'une source de tension continue (34) dont la borne négative est reliée à l'entrée positive d'un amplificateur opérationnel (35), d'où il résulte qu'une variation de la capacité du capteur est convertie en un signal en tension à la sortie de l'amplificateur ;

30

7.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé :

en ce que chaque boucle est formée par une première branche (L1) incurvée s'étendant depuis une extrémité fixée du tuyau et par une autre branche (L3) s'étendant depuis le pivot, chaque capteur étant formé par une paire d'armatures parallèles (P4,P5) supportée par une pièce isolante (37) solidaire d'une dite branche (L1), et par une troisième armature (P3) interposée entre les armatures de ladite paire et supportée par une pièce isolante (3) solidaire de ladite autre branche (L3), d'où il résulte que l'oscillation torsionnelle de la boucle entraîne la troisième armature à se rapprocher et à s'éloigner alternativement de l'une des premières en faisant varier son intervalle entre l'un et l'autre ;

8.- Dispositif selon la revendication 7, caractérisé :

en ce qu'il incorpore en outre une source de tension continue (38) dont le point milieu est connecté à l'entrée positive d'un amplificateur opérationnel (35) et dont les bornes positives et négatives sont connectées aux armatures de ladite paire, l'une de celle-ci étant connectée à l'entrée de l'amplificateur ;

9.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé :

en ce que les sorties des capteurs sont combinées par sommation pour fournir un signal d'entrée,

en ce que l'excitateur (16) est alimenté par un amplificateur de puissance (41) à l'entrée duquel le signal d'entrée est appliqué à travers une résistance variable (48) d'atténuation qui varie avec un signal d'erreur dérivé de la comparaison du signal d'entrée avec une tension de référence, grâce à quoi la double boucle est excitée de manière telle que le signal d'entrée soit égal à la tension de référence ;

10.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé :
en ce que ladite double boucle
est formée par une paire de boucles montées en série ;

5 11.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé :
en ce que ladite boucle est
formée par une paire de boucles montées en parallèles
;

10 12.- Dispositif selon la revendication 1, caractérisé :
en ce que l'un des capteurs
est disposé de façon adjacente à ladite entrée de
boucle, et l'autre capteur de façon adjacente à ladite
sortie.

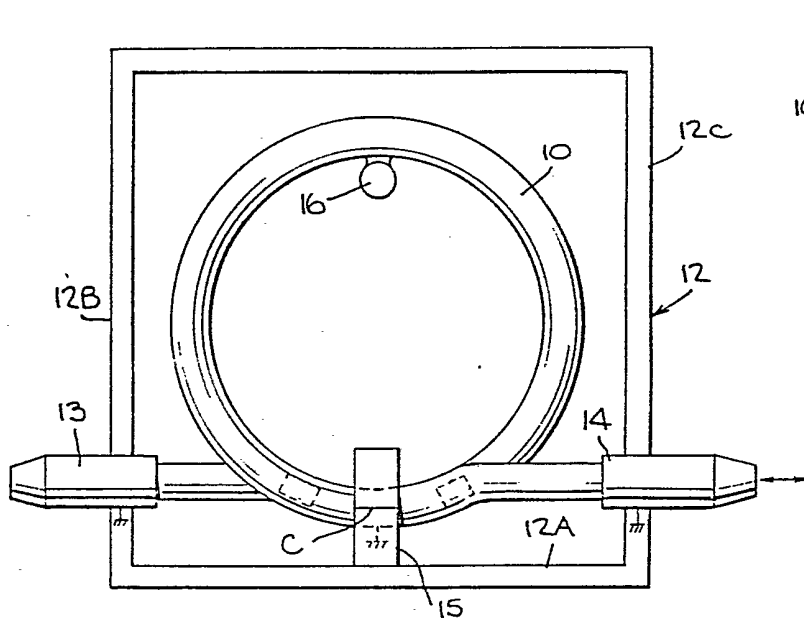


Fig. 1.

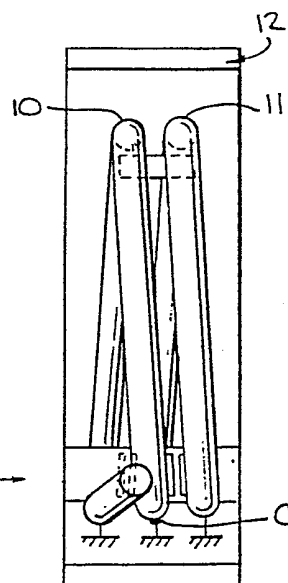


Fig. 2.

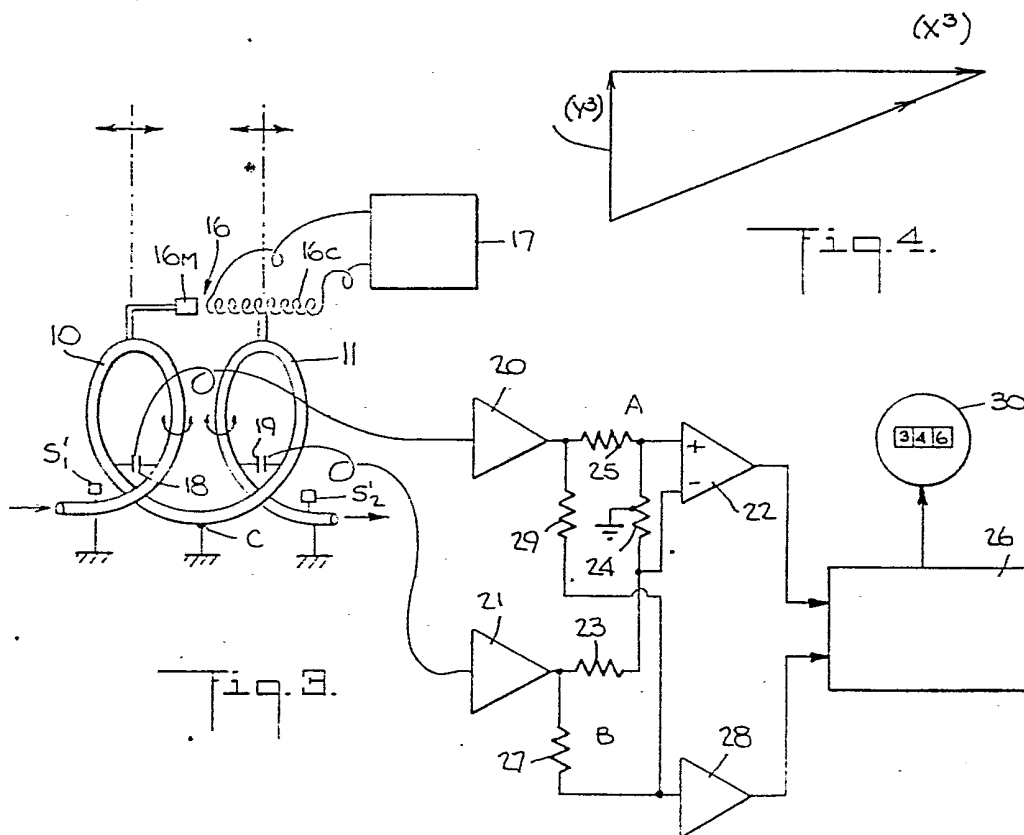


Fig. 3.

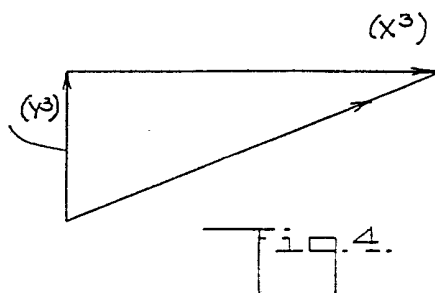


Fig. 4.

Fig. 7.

