

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/156973 A1

(43) Date de la publication internationale
06 août 2020 (06.08.2020)

(51) Classification internationale des brevets :

G05B 19/042 (2006.01) G01M 3/02 (2006.01)
F23N 5/00 (2006.01) G01N 27/407 (2006.01)
G05B 11/42 (2006.01) G01N 33/00 (2006.01)
F17D 5/02 (2006.01)

(71) Déposant : ATEQ [FR/FR] ; 15 rue des Dames, 78340
LES-CLAYES-SOUS-BOIS (FR).

(72) Inventeur : MAY, Thierry ; c/o ATEQ Z.I. - 15 rue des
Dames, 78340 Les Clayes-sous-Bois (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2020/051865

(74) Mandataire : VIDON BREVETS & STRATÉGIE ; P. O.
Box 90333 Technopôle Atalante 16B rue de Jouanet, 35703
Rennes Cedex 7 (FR).

(22) Date de dépôt international :

27 janvier 2020 (27.01.2020)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,
CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR,
KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

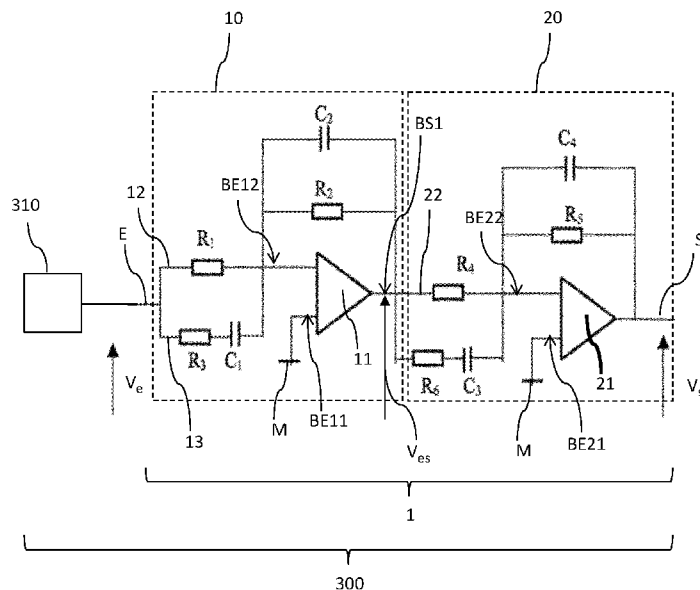
français

(30) Données relatives à la priorité :

1900806 29 janvier 2019 (29.01.2019) FR

(54) Title: TRACER GAS LEAK DETECTION SYSTEM AND CORRESPONDING USE

(54) Titre : SYSTEME DE DETECTION DE FUITE PAR GAZ TRACEUR ET UTILISATION CORRESPONDANTE



[fig. 3]

(57) Abstract: The invention relates to a tracer gas leak detection system comprising at least one sensor delivering a signal, referred to as the sensor signal, which is representative of a concentration of the tracer gas at the sensor. Such a system further comprises, for at least one given sensor, a corresponding phase advance correction device delivering a corrected signal from the sensor signal delivered by the given sensor.

(57) Abrégé : L'invention concerne un système de détection de fuite par gaz traceur comprenant au moins un capteur délivrant un signal, dit signal capteur, représentatif d'une concentration du gaz traceur au niveau du capteur. Un tel système comprend en outre, pour au moins un capteur donné, un dispositif de correction par avance de phase correspondant délivrant un signal corrigé à partir du signal capteur délivré par le capteur donné.

[Suite sur la page suivante]



WO 2020/156973 A1

SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasienn (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

DESCRIPTION

TITRE : Système de détection de fuite par gaz traceur et utilisation correspondante.

Domaine de l'invention

Le domaine de l'invention est celui de la détection de fuite de gaz traceur, e.g. du type hydrogène, hélium, dioxyde de carbone, diazote, etc.

Plus précisément, l'invention concerne un système de détection de fuite par gaz traceur.

L'invention a de nombreuses applications, notamment, mais non exclusivement, dans le domaine de la sécurité (e.g. pour prévenir le risque d'asphyxie, le risque toxique lié à certains gaz, le risque d'incendie ou d'explosion, etc.), dans le domaine de l'hygiène et de la santé (e.g. pour déterminer des profils d'exposition, aider à la validation de systèmes de captage ou d'assainissement d'air, etc.), etc.

Art antérieur et ses inconvénients

On connaît les dispositifs de test d'étanchéité et de détection de fuite par gaz traceur (e.g. du type hydrogène, hélium, dioxyde de carbone, diazote, etc.), dans lesquels l'existence d'une fuite est révélée par un appareil de détection de la présence ou du niveau de gaz traceur dans une chambre de test.

Par exemple, dans un certain nombre d'applications le gaz traceur est l'hydrogène et l'appareil de détection est un capteur d'hydrogène. L'utilisation de capteurs d'hydrogène permet ainsi de détecter et/ou mesurer, la présence de ce gaz en temps réel.

Ces capteurs sont bien connus mais présentent un certain nombre d'inconvénients que l'on retrouve quelle que soit la technologie de capteur considérée (e.g. du type électrochimique ou à semi-conducteur).

Tout d'abord ces capteurs d'hydrogène présentent un temps de réponse (ou constante de temps ou temps de montée) relativement élevé dû, notamment, à un effet capacitif ainsi qu'à la résistance de transfert de charge de ce type de capteur. Par exemple, dans le cas des capteurs utilisant une technologie à semi-conducteur, la résistivité du matériau semi-conducteur varie suivant le déroulement de réactions d'oxydo-réduction et/ou d'adsorption à la surface du matériau. Selon un guide des capteurs de gaz de l'INRS (ED 6088 Aide-mémoire technique, février 2011), il est connu que le temps de réponse de ces appareils est très variable, de quelques dizaines de secondes à plusieurs minutes, et que la durée de vie des capteurs est de l'ordre de quelques semaines à plusieurs années en fonction du contexte d'utilisation. En comparant le temps de réponse de différents capteurs d'hydrogène (six capteurs, en l'occurrence), une grande variabilité de leur temps de réponse a été observée. En effet, il a été mesuré des temps de réponse compris entre 15 et 30 secondes.

Par ailleurs, un tel temps de réponse s'avère très élevé par rapport aux attentes/contraintes des applications dans lesquelles sont mis en œuvre ces capteurs.

Ainsi, il existe un besoin pour réduire le temps de réponse des capteurs de gaz traceurs.

Il existe également un besoin pour qu'une telle réduction n'affecte pas sensiblement la précision de mesure des capteurs en question.

Exposé de l'invention

Dans un mode de réalisation, il est proposé un système de détection de fuite par gaz traceur comprenant au moins un capteur délivrant un signal, dit signal capteur, représentatif d'une concentration du gaz traceur au niveau du capteur. Un tel système de détection comprend en outre, pour au moins un capteur donné, un dispositif de correction par avance de phase correspondant délivrant un signal corrigé à partir du signal capteur délivré par le capteur donné.

Ainsi, l'invention propose une solution nouvelle et inventive pour détecter les fuites de manière améliorée. En effet, de tels capteurs (e.g. du type électrochimiques ou à semi-conducteurs) sensibles à la concentration en gaz traceur (e.g. en hydrogène, hélium, dioxyde de carbone, diazote, etc.) présentent une résistance interne qui varie en suivant une loi logarithmique lorsque la concentration en gaz augmente. Ainsi, lors d'une fuite, le signal délivré par le capteur (e.g. une tension développée sur une résistance de charge) varie de manière exponentielle, ou du moins sensiblement exponentielle, lors de l'arrivée du gaz traceur au niveau du capteur. Un dispositif de correction par avance de phase permettant d'améliorer le temps de montée d'un tel signal exponentiel ou sensiblement exponentiel, le temps de réponse du système de détection se trouve par là-même amélioré.

Selon un mode de réalisation, le dispositif de correction comprend au moins une cellule de correction sur-amortie configurée pour approximer une correction du type proportionnelle-dérivée.

Selon un mode de réalisation, un facteur d'amortissement de ladite au moins une cellule de correction sur-amortie a une valeur comprise entre 80 et 100 pourcents d'une première valeur critique correspondant au régime critique de ladite au moins une cellule de correction sur-amortie, de préférence une valeur égale à 90 pourcents de la première valeur critique.

Ainsi, le temps de réponse du système de détection se trouve être réduit au mieux par rapport à la constante de temps (ou temps de réponse ou temps de montée) du capteur. Par exemple, la valeur finale du signal délivré par le capteur est atteinte en sortie de la (ou les) cellule de correction sur-amortie après un temps compris entre $0.002 \cdot \tau$ et $0.008 \cdot \tau$, avec τ la constante de temps du capteur.

Selon un mode de réalisation, le facteur d'amortissement de ladite au moins une cellule de correction sur-amortie correspond au ratio entre une constante de temps associée au zéro dominant d'une fonction de transfert de ladite au moins une cellule de correction sur-amortie et une constante de temps du capteur.

Selon un mode de réalisation, le dispositif de correction comprend au moins une cellule de correction sous-amortie configurée pour approximer une correction du type proportionnelle-dérivée.

Selon un mode de réalisation, un facteur d'amortissement de ladite au moins une cellule de correction sous-amortie a une valeur comprise entre 110 et 130 pourcents d'une deuxième valeur critique correspondant au régime critique de ladite au moins une cellule de correction sous-amortie, de préférence une valeur égale à 120 pourcents de la deuxième valeur critique.

Ainsi, la valeur finale atteinte par le signal corrigé délivré par la (ou les) cellule sous-amortie est cohérente (i.e. est sensiblement égale), à la valeur finale du signal délivré par le capteur. Par exemple, lorsque le facteur d'amortissement de la (ou des) cellule de correction sur-amortie est choisi égal à 90 pourcents de la valeur correspondant à son régime critique, et lorsque le facteur d'amortissement de la (ou des) cellule de correction sous-amortie est choisi égal à 120 pourcents de la valeur correspondant à son régime critique, un gain sensiblement unitaire est obtenu pour le système de détection composé des cellules sur-amortie(s) et sous-amortie(s) en question lorsque le signal corrigé est observé après un temps d'établissement de l'ordre de $0.005 \cdot \tau$.

Selon un mode de réalisation, le facteur d'amortissement de ladite au moins une cellule de correction sous-amortie correspond au ratio entre une constante de temps associée au zéro dominant d'une fonction de transfert de ladite au moins une cellule de correction sous-amortie et la constante de temps du capteur.

Selon un mode de réalisation, ladite au moins une cellule de correction sur-amortie délivre un premier signal corrigé à partir du signal capteur, et ladite au moins une cellule de correction sous-amortie délivre le signal corrigé à partir du premier signal corrigé.

Selon un mode de réalisation, ladite au moins une cellule de correction sur-amortie et/ou ladite au moins une cellule de correction sous-amortie est implémentée sous une forme analogique active.

Par exemple, les cellules sur-amortie(s) et sous-amortie(s) en question sont implémentées sous forme de montages à base d'amplificateurs opérationnels rebouclés. De la sorte, les problématiques d'adaptation d'impédance, ou de dispersion des composants utilisés (capacités, résistances), sont minimisées au sein du dispositif de correction par avance de phase. Ceci permet par exemple d'éviter les oscillations avant stabilisation du signal corrigé.

Dans un autre mode de réalisation de l'invention, il est proposé une utilisation d'un système de détection de fuite par gaz traceur selon l'un quelconque des modes de réalisation précités pour détecter une fuite par gaz traceur.

Liste des figures

D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante, donnée à titre de simple exemple illustratif, et non limitatif, en relation avec les figures, parmi lesquelles :

[Fig 1] représente un schéma électrique équivalent du capteur semi-conducteur de détection de gaz SB-19 de la société FIS® ;

[Fig 2] représente l'évolution de la résistance interne du schéma électrique équivalent de la [Fig 1] en fonction de la concentration en gaz au niveau du capteur SB-19 ;

[Fig 3] représente un système de détection de fuite par gaz traceur selon un mode de réalisation de l'invention.

Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

Sur toutes les figures du présent document, les éléments et étapes identiques sont désignés par une même référence.

Le principe général de l'invention repose sur la mise en œuvre d'un dispositif de correction par avance de phase afin d'améliorer le temps de réponse (ou constante de temps ou temps de montée) d'un capteur (e.g. du type électrochimique ou à semi-conducteur) de gaz traceur (e.g. du type hydrogène, hélium, dioxyde de carbone, diazote, etc.).

On présente désormais en relation avec les **[Fig 1]** et **[Fig 2]** les caractéristiques du schéma électrique équivalent du capteur semi-conducteur de détection de gaz SB-19 de la société FIS®.

En effet, le capteur de gaz SB-19 est un capteur semi-conducteur typique auquel peut s'appliquer l'invention. Le capteur en question est du type à dioxyde d'étain, ce qui permet une faible consommation d'énergie (120mW), le rendant ainsi particulièrement adapté à une intégration dans un système portatif de détection de gaz.

Le capteur présente un boîtier métallique comprenant une paroi formée d'un double maillage en acier inoxydable et située dans le trajet du flux de gaz. Le boîtier renferme un élément de détection en forme de goutte (ou de perle) comprenant une bobine chauffante et une électrode. Le capteur SB-19 présente également un temps de réponse particulièrement long, i.e. de l'ordre de 15 à 30s.

Comme le montre le schéma électrique équivalent du capteur SB-19 illustré sur la [Fig 1], ainsi que l'évolution de la résistance interne du schéma électrique en question illustrée sur la [Fig 2] en fonction de la concentration en gaz au niveau du capteur SB-19, le capteur en question se comporte comme une source de tension dont la résistance interne R_S est variable en fonction de la concentration en gaz au niveau du capteur. Le capteur développe ainsi une tension V_{RL} , variable et fonction de la concentration en gaz au niveau du capteur, aux bornes d'une résistance de charge R_L .

Les caractéristiques de sensibilité d'un tel capteur sont exprimées par la relation entre la résistance interne R_S et la concentration du gaz au niveau du capteur en question.

Plus particulièrement, ce type de capteur est annoncé comme permettant de détecter des teneurs en hydrogène comprises entre 100ppm et 1000ppm. La résistance interne du capteur R_S diminue avec l'augmentation de la concentration de gaz en suivant une loi logarithmique comme illustré sur [Fig 2]. De la sorte, pour une résistance de charge R_L donnée, la tension développée V_{RL} varie de manière exponentielle, ou du moins sensiblement exponentielle, lors de l'arrivée du gaz au niveau du capteur. En d'autres termes, le capteur répond comme un système linéaire du premier ordre, e.g. comme un filtre RC (pour « résistance-capacité ») monté en passe-bas et dont la capacité se chargerait à l'arrivée du gaz au contact du capteur jusqu'à atteindre une valeur représentative de la concentration en gaz au niveau du capteur.

Le même type de comportement est obtenu avec différentes technologies de capteurs (e.g. du type électrochimique ou à semi-conducteur), et pour des capteurs sensibles à différents types de gaz traceurs (e.g. du type hydrogène, hélium, dioxyde de carbone, diazote, etc.).

On présente désormais en relation avec la [Fig 3] un système 300 de détection de fuite par gaz traceur selon un mode de réalisation de l'invention.

Le système 300 comprend un capteur 310 de gaz traceur. Dans le mode de réalisation illustré, le capteur 310 est le capteur SB-19 dont les caractéristiques ont été discutées ci-dessus en relation avec les [Fig 1] et [Fig 2]. Dans ce mode de réalisation, le gaz traceur est l'hydrogène. Dans d'autres modes de réalisation non illustrés, le gaz considéré est un autre gaz traceur quelconque (e.g. du type hélium, dioxyde de carbone, diazote, etc.), et le capteur est un capteur adapté correspondant (e.g. du type électrochimique ou à semi-conducteur).

De retour à la [Fig 3], le système 300 comprend en outre un dispositif 1 de correction délivrant un signal corrigé V_s à partir du signal de mesure V_e délivré par le capteur 310. Dans le mode de réalisation considéré, le dispositif 1 de correction est dimensionné pour être du type haute impédance et les signaux en question sont représentés par des tensions aux bornes de résistances de charge. Dans d'autres modes de réalisation, le dispositif 1 de correction est

dimensionné pour être du type basse impédance et les signaux de mesure sont du type courant traversant une résistance de charge.

Dans le mode de réalisation illustré, le système de détection de fuite comprend un seul capteur. Dans d'autres modes de réalisation, le système de détection de fuite comprend plusieurs capteurs, potentiellement dédiés à la mesure de différents gaz traceurs. Dans de tels modes de réalisation, le système de détection de fuite comprend au moins un dispositif de correction délivrant un signal corrigé à partir du signal de mesure délivré par un capteur donné du système de détection de fuite.

De retour à la [Fig 3], le dispositif 1 de correction est un dispositif de correction par avance de phase. En effet, comme décrit ci-dessus en relation avec les [Fig 1] et [Fig 2], le capteur 310 développe une tension qui varie de manière exponentielle, ou du moins sensiblement exponentielle, lors de l'arrivée du gaz à son niveau. Or, un dispositif 1 de correction par avance de phase permet, via la fonction de dérivation qu'il implémente, d'améliorer le temps de montée d'un tel signal exponentiel, ou sensiblement exponentiel. De la sorte, le temps de réponse du système 300 de détection se trouve amélioré par rapport au temps de réponse du capteur 310 seul.

Le dispositif 1 de correction par avance de phase comprend une première 10 et une deuxième 20 cellules de correction de structure électronique identique, les première 10 et deuxième 20 cellules étant connectées en série.

Plus particulièrement, chacune des première 10 et deuxième 20 cellules est un circuit à avance de phase, construit autour d'un amplificateur opérationnel (aussi appelé par la suite « ampli op »), avec une boucle de contre-réaction sur l'entrée inverseuse de ce dernier.

La première cellule 10 comprend un ampli op 11 présentant une entrée non inverseuse BE11, reliée à la masse M, et une entrée inverseuse BE12. L'entrée E du dispositif 1 de correction est connectée à l'entrée inverseuse BE12 de l'ampli op 11 via un bloc comprenant deux branches en parallèle : la première branche 12 comprend une résistance R_1 et la deuxième branche 13 comprenant une résistance R_3 et un condensateur C_1 en série. L'ampli op 11 comprend également une sortie BS1 qui est connectée d'une part à l'entrée de la deuxième cellule 20 du correcteur 1, et d'autre part à l'entrée inverseuse BE12 de l'ampli op 11 via une boucle de contre-réaction comprenant une résistance R_2 et un condensateur C_2 connectés en parallèle.

La deuxième cellule 20 du dispositif 1 de correction présente une structure électronique analogue à celle de la première cellule 10. Plus précisément, la deuxième cellule 20 présente un ampli op 21 présentant une entrée non inverseuse BE21, reliée à la masse M, et une entrée inverseuse BE22. La sortie BS1 de l'ampli op 11 (c'est-à-dire la sortie de la première cellule 10) est

connectée à l'entrée inverseuse BE22 de l'ampli op 21 via un bloc comprenant deux branches en parallèle : une première branche 22 comprend une résistance R_4 et une deuxième branche 23 comprend une résistance R_6 et un condensateur C_3 en série.

L'ampli op 21 comprend également une sortie BS2 qui est connectée d'une part à l'entrée inverseuse BE22 de l'ampli op 21 via une boucle de contre-réaction comprenant une résistance R_5 et un condensateur C_4 connectés en parallèle, et d'autre part à la sortie S du correcteur 1.

A partir du schéma de la [Fig 3], la fonction de transfert du dispositif 1 de correction peut s'exprimer dans le domaine de Laplace comme :

$$H(p) = H_{0(p)}H_{1(p)}H_{2(p)}$$

avec :

- $H_{0(p)} = \frac{R_2 \times R_5}{R_1 \times R_4}$ le gain à fréquence nulle du dispositif 1 de correction ;

- $H_{1(p)} = \frac{(1+R_1C_1p+R_3C_1p)}{(1+R_2C_2p)(1+R_3C_1p)}$ la fonction de transfert comprenant les pôles et les zéros liées à la première cellule 10 ; et

- $H_{2(p)} = \frac{(1+R_4C_3p+R_6C_3p)}{(1+R_5C_4p)(1+R_6C_3p)}$ la fonction de transfert comprenant les pôles et les zéros liées à la deuxième cellule 20.

De manière générale, $H_{1(p)}$ et $H_{2(p)}$ peuvent être réécrites sous la forme :

$$H_{1(p)} = \frac{1 + \tau_1p + \tau_2p}{(1 + \tau_3p)(1 + \tau_2p)}$$

et :

$$H_{2(p)} = \frac{1 + \tau_4p + \tau_5p}{(1 + \tau_6p)(1 + \tau_5p)}$$

avec :

- $\tau_1 = R_1.C_1 = R_2.C_1$

- $\tau_2 = R_3.C_1$

- $\tau_3 = R_2.C_2 = R_1.C_2$

- $\tau_4 = R_4.C_3 = R_5.C_3$

- $\tau_5 = R_6.C_3$

- $\tau_6 = R_5.C_4 = R_4.C_4$

Chacune des première 10 et deuxième 20 cellules présentent à la fois des pôles et des zéros et s'apparente ainsi de manière générale à une cellule de correction du type PID (pour « Proportionnelle, Intégrale et Dérivée »). Afin d'obtenir des cellules à avance de phase, une réduction des pôles est effectuée pour rendre la fonction de dérivation prédominante.

Pour ce faire, il est par exemple choisi $R_2 = R_1$ et $R_5 = R_4$. De la sorte, $H_{0(p)} = 1$.

De même, les pôles et zéros du dispositif 1 de correction sont configurés pour avoir :

- les zéros associés aux constantes de temps $R_2.C_2$ et $R_3.C_3$ qui soient dominants dans la fonction de transfert $H_{(p)}$ (de tels zéros correspondants à la fonction de dérivation souhaitée) ;
- les pôles associés aux constantes de temps $R_2.C_2$ et $R_5.C_4$, qui soient du 2^{ème} ordre dans la fonction de transfert $H_{(p)}$ (les pôles en question correspondants à la fonction d'intégration ;
- les pôles associés aux constantes de temps $R_3.C_1$ et $R_6.C_3$, qui soient du 3^{ème} ordre dans la fonction de transfert $H_{(p)}$ (les pôles en question correspondants à une fonction de stabilisation du dispositif).

La réduction des pôles peut ainsi être effectuée sur les pôles auxiliaires (i.e. du 2^{ème} ordre et du 3^{ème} ordre) dans la mesure où le temps de réponse envisagé pour les pôles en question est suffisamment supérieur au temps de réponse critique du dispositif 1 de correction (i.e. au temps de réponse défini comme le temps de réponse minimum fournissant une surtension du signal V_s en sortie du dispositif 1 de correction).

Par exemple, en choisissant $\tau_2 = \tau_3$ et $\tau_5 = \tau_6$, on obtient :

$$H_{1(p)} = \frac{1 + \tau_1 p + \tau_2 p}{(1 + \tau_2 p)^2}$$

et :

$$H_{2(p)} = \frac{1 + \tau_4 p + \tau_5 p}{(1 + \tau_5 p)^2}$$

En configurant la première cellule 10 de sorte que $\tau_2 \ll \tau_1$, on obtient au premier ordre que :

$$H_{1(p)} \approx 1 + \tau_1 p$$

Dans l'hypothèse discutée ci-dessus où le capteur 310 développe une tension V_e qui varie de manière exponentielle lors de l'arrivée du gaz, on peut écrire la tension V_e en question sous la forme :

$$V_{e(t)} = E(1 - e^{-t/\tau})$$

avec τ la constante de temps (ou temps de réponse ou temps de montée) du capteur 310.

Ainsi, sur la base de l'expression ci-dessus de $H_{1(p)}$, la tension V_{es} développée en sortie de la première cellule 10 peut s'écrire au premier ordre :

$$V_{es(t)} = E[1 - (1 - m)e^{-\frac{t}{\tau}}]$$

avec m le coefficient d'amortissement de la première cellule 10, qui s'exprime donc au premier ordre comme $m = \tau_1/\tau$ (i.e. comme le ratio entre la constante de temps associée au zéro

dominant de la fonction de transfert de la première cellule 10 sur-amortie et la constante de temps du capteur).

Ainsi, la première cellule 10 est configurée pour approximer une correction du type proportionnelle-dérivée (e.g. comprenant au moins une fonction de dérivation).

De manière générale, afin d'éviter toute oscillation du signal délivré par la première cellule 10, la cellule en question est dimensionnée pour être sur-amortie, i.e. pour avoir son coefficient d'amortissement m inférieur ou égale à une valeur critique correspondant au régime critique de la première cellule 10 (on comprend ici que l'on entend l'expression sur-amortie au sens large, i.e. incluant le régime critique correspondant à un coefficient d'amortissement égal à la valeur critique). Par exemple, le coefficient d'amortissement m est configuré pour avoir une valeur comprise entre 80 et 100 pourcents de la valeur critique de la première cellule 10.

Par exemple, le coefficient d'amortissement m est configuré pour avoir une valeur égale à 90 pourcents de la valeur critique de la première cellule 10. Ainsi, le temps de réponse du système 1 de détection se trouve être réduit au mieux par rapport à la constante de temps τ du capteur 310. Par exemple, la valeur finale du signal V_e délivré par la première cellule 10 est atteinte en sortie de la première cellule 10 sur-amortie après un temps compris entre $0.002 \cdot \tau$ et $0.008 \cdot \tau$.

Par ailleurs, en configurant la deuxième cellule 20 de sorte que $\tau_5 \ll \tau_4$, on obtient au premier ordre que :

$$H_{2(p)} \approx 1 + \tau_4 p$$

Ainsi, toujours en considérant que $V_{e(t)} = E(1 - e^{-t/\tau})$, la tension V_s développée en sortie de la deuxième cellule 20 peut s'écrire au premier ordre :

$$V_s = E[1 - (1 - km')e^{-\frac{t}{\tau}}]$$

avec m' le coefficient d'amortissement de la deuxième cellule 20, qui s'exprime donc au premier ordre comme $m' = \tau_4/\tau$ (i.e. comme le ratio entre la constante de temps associée au zéro dominant de la fonction de transfert de la deuxième cellule 20 sous-amortie et la constante de temps du capteur), et k une constante qui simule l'effet de la première cellule 10 sur-amortie sur le signal V_e délivré par le capteur.

Ainsi, la deuxième cellule 20 est configurée pour approximer une correction du type proportionnelle-dérivée (e.g. comprenant au moins une fonction de dérivation).

Cependant, dans le mode de réalisation considéré, la deuxième cellule 20 est configurée pour être sous-amortie afin de compenser le biais obtenu après un temps prédéterminé dans le signal V_e délivré par la première cellule 10 (qui, elle, est sur-amortie) par rapport au signal V_e délivré par le capteur. Ainsi, la valeur finale atteinte par le signal corrigé V_s délivré par la

deuxième cellule 20 sous-amortie est cohérente (i.e. est sensiblement égale), à la valeur finale du signal V_e délivré par le capteur lorsque considéré après le temps prédéterminé en question.

Par exemple, la deuxième cellule 20 est dimensionnée pour avoir son coefficient d'amortissement m' supérieur à une valeur critique correspondant au régime critique de la deuxième cellule 20. Par exemple, le coefficient d'amortissement m' est configuré pour avoir une valeur comprise entre 110 et 120 pourcents de la valeur critique de la deuxième cellule 20.

Par exemple, lorsque le facteur d'amortissement m de la première cellule 10 sur-amortie est choisi égal à 90 pourcents de la valeur correspondant à son régime critique, et lorsque le facteur d'amortissement de la deuxième cellule 20 sous-amortie est choisi égal à 120 pourcents de la valeur correspondant à son régime critique, un gain sensiblement unitaire est obtenu pour le système 1 de détection composé des première 10 et deuxième 20 cellules lorsque le signal corrigé V_s est observé après un temps d'établissement de l'ordre de $0.005 \cdot \tau$. (e.g. la valeur finale atteinte par le signal corrigé V_s délivré par la deuxième cellule 20 sous-amortie est cohérente (i.e. est sensiblement égale), à la valeur finale du signal V_e délivré par le capteur lorsque le signal corrigé V_s est observé après un temps d'établissement de l'ordre de $0.005 \cdot \tau$).

Ceci se comprend en faisant une analogie avec une fonction de transfert générique d'un système du second ordre en réponse indicielle, à savoir dans le domaine de Laplace :

$$H(p) = H_0 \frac{\omega_0^2}{p^2 + 2m'\omega_0 p + \omega_0^2}$$

avec ω_0 la pulsation naturelle du système en question. Pour un tel système, la valeur maximale de dépassement du signal de sortie peut s'exprimer en fonction du facteur d'amortissement m' . Plus particulièrement, pour un échelon de tension en entrée, i.e. $E_p = \frac{1}{p}$ dans le domaine de Laplace, on obtient en sortie le signal :

$$S(p) = \frac{1}{p} \frac{\omega_0^2}{p^2 + 2m'\omega_0 p + \omega_0^2} = \frac{1}{p} - \frac{p + 2pm'\omega_0}{(p + m'\omega_0)^2 + \omega_0^2(1 - m'^2)}$$

où $\omega_s = \omega_0 \sqrt{1 - m'^2}$ représente la pseudo pulsation du signal de sortie dans le régime sous amorti. Par transformée de Laplace inverse, on obtient dans le domaine temporel :

$$S(t) = \left[1 - \frac{e^{-m'\omega_0 t}}{\sqrt{1 - m'^2}} \sin(\omega_0 t + \varphi) \right] E(t)$$

La valeur maximale de dépassement M_d du signal de sortie par rapport à la valeur de l'échelon mis en entrée du système s'exprime comme :

$$M_d = e^{\frac{-m'\pi}{\sqrt{1 - m'^2}}}$$

En se fixant par exemple une valeur maximale de dépassement M_d égale à 1.5% de la valeur de l'échelon (ce qui permet de compenser par exemple l'effet de la première cellule 10 sur-

amortie lorsque son facteur d'amortissement m est choisi égal à 90 pourcents de la valeur correspondant à au régime critique de la première cellule 10), on obtient :

$$m' = \sqrt{\frac{\ln^2(M_d)}{\ln^2(M_d) + \pi^2}} = 1.2$$

Un tel système 300 de détection de fuite peut ainsi être utilisé pour détecter une fuite par gaz traceur (ici l'hydrogène) avec un temps de réponse amélioré par rapport à celui du capteur 310 seul.

Dans le mode de réalisation de la [Fig 3], le dispositif 1 de correction par avance de phase comprend une première 10 et une deuxième 20 cellules de correction de structure électronique identique, les première 10 et deuxième 20 cellules étant connectées en série.

Dans certains modes de réalisation non illustrés, le dispositif de correction par avance de phase comprend plusieurs cellules de correction du type sur-amortie et/ou plusieurs cellules de correction du type sous-amorties. Par exemple le dispositif de correction par avance de phase comprend plusieurs cellules 10 et 20 telles que décrites ci-dessus, mises en série et configurées pour obtenir la fonction de transfert globale voulue comprenant au moins une fonction de dérivation. Chaque cellule parmi les cellules 10 a par exemple un coefficient d'amortissement configuré pour avoir une valeur comprise entre 80 et 100 pourcents de la valeur critique de la cellule 10 en question. De même, chaque cellule parmi les cellules 20 a par exemple un coefficient d'amortissement configuré pour avoir une valeur comprise entre 110 et 120 pourcents de la valeur critique de la cellule 20 en question.

A contrario, dans certains modes de réalisation, le dispositif de correction par avance de phase comprend seulement une cellule de correction par avance de phase (sur-amortie ou sous-amortie) afin de simplifier l'implémentation.

Dans le mode de réalisation de la [Fig 3], les première 10 et deuxième 20 cellules de correction sont implémentées sous une forme analogique active, ici à base d'amplificateurs opérationnels rebouclés. De la sorte, les problématiques d'adaptation d'impédance, ou de dispersion des composants utilisés (capacités, résistances), sont minimisées au sein du dispositif 1 de correction. Ceci permet par exemple d'éviter les oscillations avant stabilisation du signal corrigé.

Dans d'autres modes de réalisation, le dispositif de correction par avance de phase est implémenté de manière passive, par exemple via une cellule passe haut du type capacité série et résistance parallèle.

Dans le mode de réalisation de la [Fig 3], le signal V_e délivré par le capteur est traité par la première cellule 10 sur-amortie et le signal corrigé V_s est délivré par la deuxième cellule 20 sous-amortie.

Dans d'autres modes de réalisation, l'ordre des cellules est inversé, i.e. le signal V_e délivré par le capteur est traité par une cellule sous-amortie et le signal corrigé V_s est délivré par une cellule sur-amortie.

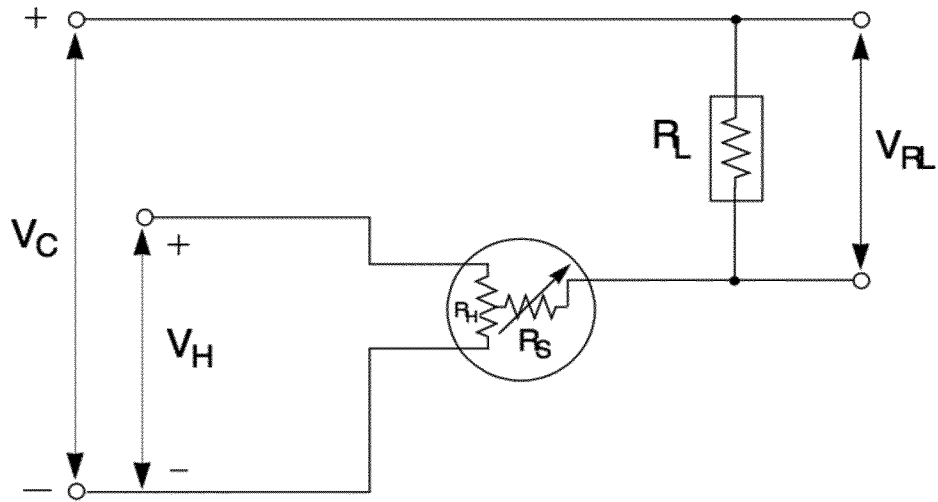
REVENDEICATIONS

1. Système (300) de détection de fuite par gaz traceur comprenant au moins un capteur (310) délivrant un signal, dit signal capteur, représentatif d'une concentration dudit gaz traceur au niveau dudit capteur,
caractérisé en ce que, pour au moins un capteur donné, ledit système comprend en outre un dispositif (1) de correction par avance de phase correspondant délivrant un signal corrigé (V_s) à partir du signal capteur (V_e) délivré par ledit capteur donné, ledit dispositif de correction (1) comprenant, d'une part, au moins une cellule (10) de correction sur-amortie configurée pour approximer une correction du type proportionnelle-dérivée, et, d'autre part, au moins une cellule (20) de correction sous-amortie configurée pour approximer une correction du type proportionnelle-dérivée.
2. Système selon la revendication 1 dans lequel un facteur d'amortissement de ladite au moins une cellule de correction sur-amortie a une valeur comprise entre 80 et 100 pourcents d'une première valeur critique correspondant au régime critique de ladite au moins une cellule de correction sur-amortie, de préférence une valeur égale à 90 pourcents de ladite première valeur critique.
3. Système selon la revendication 2 dans lequel ledit facteur d'amortissement de ladite au moins une cellule de correction sur-amortie correspond au ratio entre une constante de temps associée au zéro dominant d'une fonction de transfert de ladite au moins une cellule de correction sur-amortie et une constante de temps du capteur.
4. Système selon la revendication 1 en ce qu'elle dépend de la 2 dans lequel un facteur d'amortissement de ladite au moins une cellule de correction sous-amortie a une valeur comprise entre 110 et 130 pourcents d'une deuxième valeur critique correspondant au régime critique de ladite au moins une cellule de correction sous-amortie, de préférence une valeur égale à 120 pourcents de ladite deuxième valeur critique.
5. Système selon la revendication 4 dans lequel ledit facteur d'amortissement de ladite au moins une cellule de correction sous-amortie correspond au ratio entre une constante de temps associée au zéro dominant d'une fonction de transfert de ladite au moins une cellule de

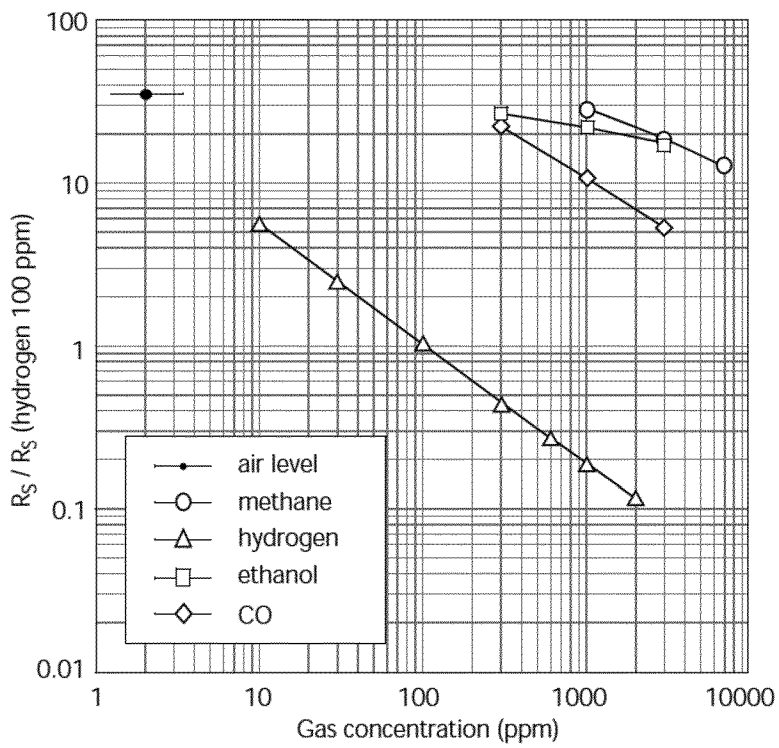
correction sous-amortie et ladite constante de temps du capteur.

6. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 dans lequel ladite au moins une cellule (10) de correction sur-amortie délivre un premier signal corrigé (Ves) à partir dudit signal capteur (Ve), et dans lequel ladite au moins une cellule (20) de correction sous-amortie délivre ledit signal corrigé (Vs) à partir dudit premier signal corrigé (Ves).
7. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 dans lequel ladite au moins une cellule de correction sur-amortie et/ou ladite au moins une cellule de correction sous-amortie est implémentée sous une forme analogique active.
8. Utilisation d'un système (300) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 pour détecter une fuite par gaz traceur.

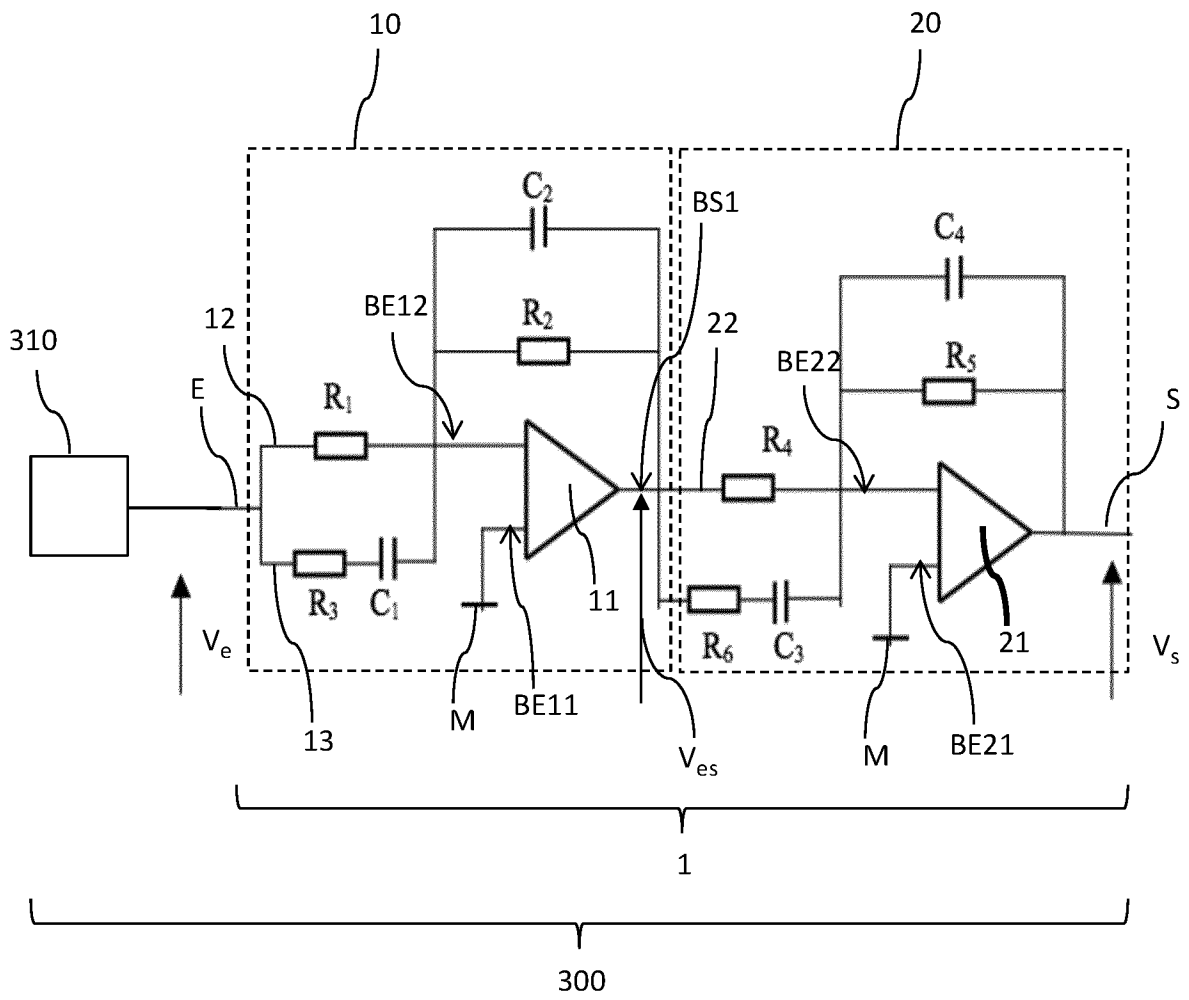
1/2



[fig. 1]



[fig. 2]



[fig. 3]

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/051865

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G05B 19/042</i> (2006.01)i; <i>F23N 5/00</i> (2006.01)i; <i>G05B 11/42</i> (2006.01)i; <i>F17D 5/02</i> (2006.01)i; <i>G01M 3/02</i> (2006.01)i; <i>G01N 27/407</i> (2006.01)i; <i>G01N 33/00</i> (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G05B; F23N; G01M; F17D; G01N		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2734053 A1 (CIT ALCATEL [FR]) 15 November 1996 (1996-11-15) page 1; figures 1-3	1-8
A	EP 1467200 A1 (THERM O DISC INC [US]) 13 October 2004 (2004-10-13) paragraphs [0006] - [0011], [0043] - [0050]; figures 3, 7, 8, 9	1-8
A	EP 1214635 A1 (MILLIPORE CORP [US]) 19 June 2002 (2002-06-19) paragraphs [0002] - [0013], [0027]; figure 2	1-8
A	EP 2270458 A1 (INFICON GMBH [DE]) 05 January 2011 (2011-01-05) page 1; claims 1-5; figures 1, 4	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 15 April 2020		Date of mailing of the international search report 22 April 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Juillot, Olivier J. Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/051865

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
FR	2734053	A1	15 November 1996	DE	69614307	D1	13 September 2001
				DE	69614307	T2	02 May 2002
				EP	0742429	A1	13 November 1996
				FR	2734053	A1	15 November 1996
				JP	H08304218	A	22 November 1996
				US	5681983	A	28 October 1997
				EP	1467200	A1	13 October 2004
EP	1467200	A1	13 October 2004	CA	2464198	A1	11 October 2004
				CN	1536354	A	13 October 2004
				EP	1467200	A1	13 October 2004
				JP	2004333479	A	25 November 2004
				MX	PA04003414	A	02 December 2004
				US	2004204920	A1	14 October 2004
				EP	1214635	A1	19 June 2002
EP	1214635	A1	19 June 2002	AU	6405400	A	30 January 2001
				CN	1371491	A	25 September 2002
				DE	60001977	T2	06 November 2003
				EP	1214635	A1	19 June 2002
				JP	2003504749	A	04 February 2003
				KR	20020039316	A	25 May 2002
				TW	434469	B	16 May 2001
				US	6389364	B1	14 May 2002
				US	2002114732	A1	22 August 2002
				WO	0104716	A1	18 January 2001
EP	2270458	A1	05 January 2011	CN	101040179	A	19 September 2007
				DE	102004050762	A1	20 April 2006
				EP	1800102	A1	27 June 2007
				EP	2270458	A1	05 January 2011
				JP	4801081	B2	26 October 2011
				JP	2008517257	A	22 May 2008
				TW	I388815	B	11 March 2013
				US	2009013766	A1	15 January 2009
				WO	2006040213	A1	20 April 2006

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2020/051865

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G05B19/042 F23N5/00 G05B11/42 F17D5/02 G01M3/02 G01N27/407 G01N33/00 ADD. Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G05B F23N G01M F17D G01N Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 734 053 A1 (CIT ALCATEL [FR]) 15 novembre 1996 (1996-11-15) page 1; figures 1-3 -----	1-8
A	EP 1 467 200 A1 (THERM O DISC INC [US]) 13 octobre 2004 (2004-10-13) alinéas [0006] - [0011], [0043] - [0050]; figures 3, 7, 8, 9 -----	1-8
A	EP 1 214 635 A1 (MILLIPORE CORP [US]) 19 juin 2002 (2002-06-19) alinéas [0002] - [0013], [0027]; figure 2 -----	1-8
A	EP 2 270 458 A1 (INFICON GMBH [DE]) 5 janvier 2011 (2011-01-05) page 1; revendications 1-5; figures 1, 4 -----	1-8
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
15 avril 2020		22/04/2020
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Juillot, Olivier J.

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2020/051865

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2734053	A1	15-11-1996	DE 69614307 D1	13-09-2001
			DE 69614307 T2	02-05-2002
			EP 0742429 A1	13-11-1996
			FR 2734053 A1	15-11-1996
			JP H08304218 A	22-11-1996
			US 5681983 A	28-10-1997

EP 1467200	A1	13-10-2004	AU 2004201530 A1	28-10-2004
			CA 2464198 A1	11-10-2004
			CN 1536354 A	13-10-2004
			EP 1467200 A1	13-10-2004
			JP 2004333479 A	25-11-2004
			MX PA04003414 A	02-12-2004
			US 2004204920 A1	14-10-2004

EP 1214635	A1	19-06-2002	AT 236419 T	15-04-2003
			AU 6405400 A	30-01-2001
			CN 1371491 A	25-09-2002
			DE 60001977 T2	06-11-2003
			EP 1214635 A1	19-06-2002
			JP 2003504749 A	04-02-2003
			KR 20020039316 A	25-05-2002
			TW 434469 B	16-05-2001
			US 6389364 B1	14-05-2002
			US 2002114732 A1	22-08-2002
			WO 0104716 A1	18-01-2001

EP 2270458	A1	05-01-2011	CN 101040179 A	19-09-2007
			DE 102004050762 A1	20-04-2006
			EP 1800102 A1	27-06-2007
			EP 2270458 A1	05-01-2011
			JP 4801081 B2	26-10-2011
			JP 2008517257 A	22-05-2008
			TW I388815 B	11-03-2013
			US 2009013766 A1	15-01-2009
WO 2006040213 A1	20-04-2006			
