(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 032 802**

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **15 51297**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 R 29/00*** *(2016.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 17.02.15.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 19.08.16 Bulletin 16/33.

(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.

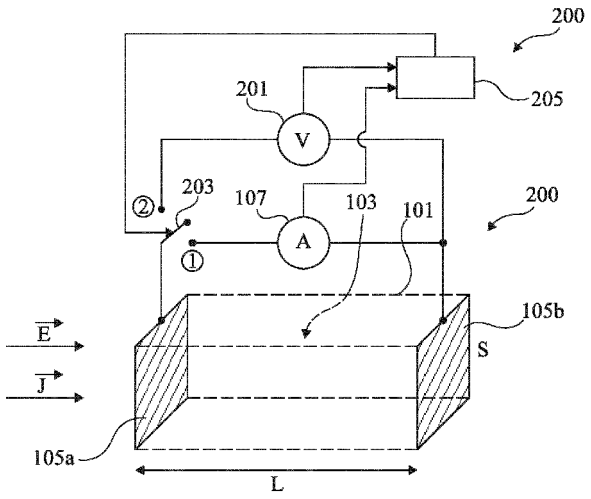
(72) **Inventeur(s) :** BAICRY MATHIEU et LE PRADO MATTHIEU.

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

(74) **Mandataire(s) :** CABINET BEAUMONT.

(54) DISPOSITIF DE MESURE D'UN CHAMP ELECTRIQUE EN MILIEU CONDUCTEUR ET PROCEDE DE CALIBRATION DE CE DISPOSITIF.

(57) L'invention concerne un dispositif (200) de mesure d'un champ électrique en milieu conducteur, comprenant: deux électrodes (105a, 105b) séparées par un volume (103) d'un mileu isolant; un dispositif de mesure de courant (107); un dispositif de mesure de tension (201); et un commutateur (203) permettant de connecter alternativement le dispositif de mesure de courant (107) et le dispositif de mesure de tension (201) entre les électrodes (105a, 105b).



FR 3 032 802 - A1

DISPOSITIF DE MESURE D'UN CHAMP ÉLECTRIQUE EN MILIEU CONDUCTEUR ET PROCÉDÉ DE CALIBRATION DE CE DISPOSITIF

Domaine

La présente demande concerne un dispositif pour la mesure d'un champ électrique en milieu conducteur. Elle s'applique en particulier à des mesures de champ électrique sous-marines.

Exposé de l'art antérieur

On a déjà proposé un dispositif de mesure d'un champ électrique en mer, ou électromètre marin, comportant deux électrodes immergées éloignées d'une distance l, reliées à un dispositif de mesure de tension. Pour mesurer un champ électrique E dans la zone située entre les deux électrodes, on mesure la tension U entre les électrodes. Le champ E se déduit de cette mesure par la formule E = U/l. Les électromètres de ce type sont dits "à mesure de tension".

Un inconvénient des électromètres à mesure de tension est que du fait de l'impédance relativement élevée du dispositif de mesure de tension, seule une très faible partie du courant se propageant dans le milieu conducteur constitué par l'eau de mer est déviée dans le dispositif de mesure de tension, ce qui pose des problèmes de métrologie. De plus, les électromètres à mesure de tension sont généralement encombrants. En effet, pour obtenir un rapport signal sur bruit satisfaisant, la distance l séparant

les deux électrodes doit être relativement importante, typiquement de l'ordre de quelques mètres à plusieurs kilomètres.

Pour pallier ces inconvénients, on a proposé un autre type de dispositif de mesure de champ électrique en milieu conducteur, dit "à mesure de courant", qui réalise une détermination de la densité de courant produit, sous l'effet du champ électrique, dans un volume fixé de milieu conducteur.

Un dispositif de ce type est par exemple décrit dans le brevet français N°9102273 de la demanderesse.

Les dispositifs de ce type, que l'on appellera ci-après électromètres à mesure de courant, peuvent être plus compacts que les électromètres à mesure de tension, et peuvent en outre présenter une meilleure sensibilité, ainsi qu'un meilleur rapport signal sur bruit, notamment pour mesurer des champs électriques dans des bandes de fréquence basses, typiquement dans des bandes de fréquences comprises entre 0 et 10 Hz.

La présente demande concerne plus particulièrement le domaine des électromètres à mesure de courant. Il serait en effet souhaitable d'améliorer certains aspects des électromètres à mesure de courant existants.

Résumé

Ainsi, un mode de réalisation prévoit un dispositif de mesure d'un champ électrique en milieu conducteur, comprenant : deux électrodes séparées par un volume d'un milieu isolant ; un dispositif de mesure de courant ; un dispositif de mesure de tension ; et un commutateur permettant de connecter alternativement le dispositif de mesure de courant et le dispositif de mesure de tension entre les électrodes.

Selon un mode de réalisation, le dispositif comporte une unité de commande et de traitement adaptée à mettre en oeuvre un procédé de calibration comportant les étapes suivantes : a) commander le commutateur pour connecter le dispositif de mesure de courant entre les électrodes, et mesurer le courant I entre les électrodes au moyen du dispositif de mesure de courant ; et b) commander le commutateur pour connecter le dispositif de mesure

de tension entre les électrodes, et mesurer la tension ΔV entre les électrodes au moyen du dispositif de mesure de tension.

Selon un mode de réalisation, le procédé de calibration comprend en outre le calcul d'une valeur de champ électrique E à partir de la tension ΔV mesurée à l'étape b) par la formule $E=\Delta V/L$, L étant la distance entre les électrodes, et le calcul d'un coefficient de proportionnalité β entre le champ E et le courant I mesuré à l'étape a).

Selon un mode de réalisation, lors d'une phase de calibration, les étapes a) et b) sont répétées périodiquement une pluralité de fois.

Selon un mode de réalisation, la fréquence de répétition des étapes a) et b) est comprise entre 1 et 1000 Hz.

Selon un mode de réalisation, l'unité de traitement est en outre adaptée, lors d'une phase de mesure de champ électrique, à commander le commutateur pour connecter le dispositif de mesure de courant entre les électrodes, à mesurer le courant I entre les électrodes au moyen du dispositif de mesure de courant, et à déduire du courant I le champ électrique E du milieu conducteur selon un rapport de proportionnalité préalablement déterminé.

Selon un mode de réalisation, le commutateur est un interrupteur au mercure.

Selon un mode de réalisation, le commutateur est un transistor.

Selon un mode de réalisation, le dispositif de mesure de courant comprend une bobine reliant les électrodes et un magnétomètre adapté à mesurer le champ magnétique induit par la circulation d'un courant dans la bobine.

Brève description des dessins

Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 illustre de façon schématique un exemple d'un électromètre à mesure de courant ; et

la figure 2 illustre de façon schématique un exemple d'un mode de réalisation d'un électromètre à mesure de courant.

Description détaillée

De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références aux différentes figures et, de plus, les diverses figures ne sont pas tracées à l'échelle. Par ailleurs, dans la suite de la description, sauf précision contraire, les expressions "approximativement", "sensiblement", et "de l'ordre de" signifient à 10 % près, de préférence à 5 % près.

La figure 1 illustre de façon schématique un exemple d'un électromètre à mesure de courant 100 destiné à être placé dans un milieu conducteur dans lequel on souhaite mesurer un champ électrique, par exemple de l'eau de mer. Le dispositif 100 comprend une enceinte 101 hermétiquement close, représentée en traits pointillés sur la figure, délimitant un volume 103 d'un milieu isolant, par exemple de l'air ou du vide. Deux électrodes 105a et 105b sont disposées à l'extérieur de l'enceinte 101, de façon que chaque électrode ait une face en contact avec le milieu conducteur lorsque l'électromètre est immergé. Dans cet exemple, les deux électrodes 105a et 105b sont approximativement planes et parallèles entre elles, ont sensiblement la même surface S, et sont séparées par une distance L. Les électrodes 105a et 105b sont par exemple disposées sur des parois extérieures opposées de l'enceinte. A titre d'exemple, l'enceinte 101 a la forme générale d'une portion de tube à section cylindrique ou rectangulaire, les électrodes étant disposées sur les faces d'extrémités transversales de l'enceinte. Un dispositif de mesure de courant 107 relie les deux électrodes. A titre d'exemple non limitatif, le dispositif de mesure de courant 107 comprend une bobine dans laquelle circule le courant I canalisé par les électrodes 105a et 105b, et un magnétomètre adapté à mesurer le champ magnétique induit par la circulation du courant I dans la bobine. La mesure du champ magnétique induit par la circulation du courant I dans la bobine permet de déterminer la valeur du courant I. A titre de variante, le système de mesure de courant peut comporter un

montage comprenant un transformateur et un amplificateur, un ampèremètre, etc.

En fonctionnement, l'électromètre 100 est immergé dans un milieu conducteur, par exemple de l'eau de mer, soumis à un champ électrique E que l'on souhaite mesurer. Sous l'effet du champ électrique E, un courant de densité σ_e*E circule dans le milieu conducteur, σ_e désignant la conductivité électrique du milieu conducteur. Au niveau de l'électromètre, un courant de densité J = α*σ_e*E circule entre les électrodes 105a et 105b, α étant un coefficient fonction du rapport entre la conductivité électrique σ_C de l'électromètre et la conductivité électrique σ_e de l'eau, avec σ_C = L/(S*Z_C), Z_C désignant l'impédance de l'électromètre, avec Z_C = Z_{elec} + Z_{int}, Z_{elec} étant l'impédance des électrodes de l'électromètre et Z_{int} étant l'impédance du ou des éléments connectés entre les électrodes, parmi lesquels on trouve au moins le dispositif de mesure de courant 107. En particulier, α est égal à 1 si l'électromètre 100 est tel que sa conductivité électrique σ_C est identique à la conductivité σ_e du milieu conducteur, c'est-à-dire si l'électromètre 100 est tel que son impédance est égale à celle de la tranche du milieu conducteur à laquelle il se substitue. A titre d'exemple, les inventeurs ont déterminé que pour un électromètre comportant une enceinte isolante en forme de cylindre droit de rayon R et de longueur L dont les électrodes sont disposées sur les deux faces circulaires opposées de l'enceinte, le paramètre α s'exprime comme suit :

$$\alpha = \frac{\sigma_c}{\sigma_e} + \frac{1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_e}}{1 + 1{,}24 \frac{\sigma_c}{\sigma_e} \left(\frac{L}{R} \right)^{0{,}90}} .$$

Plus généralement, le paramètre α peut être déterminé par calcul ou de manière empirique quelle que soit la forme de l'électromètre.

Les électrodes 105a et 105b permettent de canaliser la densité de courant J. Le courant canalisé I circulant entre les électrodes 105a et 105b est égal à I = S*J. Ce courant I peut être mesuré par le dispositif de mesure de courant 107.

La conductivité σ_e du milieu conducteur dans lequel est utilisé l'électromètre 100 est supposée connue, et, connaissant les caractéristiques de l'électromètre, le coefficient α peut être déterminé. Le champ électrique E peut alors se déduire de la mesure du courant I par la formule $E = I/(S*\alpha*\sigma_e)$. L'électromètre peut comporter des moyens de traitement, non représentés, adaptés à déterminer le champ électrique E à partir de la mesure du courant I.

Un inconvénient de l'électromètre 100 est que, en pratique, la conductivité σ_e du milieu conducteur peut être inconnue et/ou peut varier entre deux mesures, par exemple lorsque la concentration en sel de l'eau de mer varie lorsque l'électromètre est utilisé en milieu marin. De plus, avec le temps, les électrodes 105a et 105b peuvent s'altérer, ce qui peut entrainer une modification de leur impédance et donc une modification de l'impédance de l'électromètre. Dans ces conditions, le coefficient de proportionnalité $\beta=S*\alpha*\sigma_e$ utilisé par l'électromètre pour déterminer le champ électrique E à partir de la mesure du courant I n'est plus valable, ce qui entraine des erreurs de mesure.

Il serait souhaitable de pouvoir disposer d'un électromètre à mesure de courant pouvant être calibré facilement dans son environnement d'utilisation, pour pouvoir fournir des mesures précises de champ électrique y compris en cas de variation de la conductivité électrique du milieu conducteur à l'étude, ou de l'impédance des électrodes de l'électromètre.

La figure 2 illustre de façon schématique un exemple d'un mode de réalisation d'un électromètre à mesure de courant 200 destiné à être immergé dans un milieu conducteur dans lequel on souhaite mesurer un champ électrique, par exemple de l'eau de mer. L'électromètre 200 de la figure 2 comprend des éléments communs avec l'électromètre 100 de la figure 1. Ces éléments et leur fonctionnement ne seront pas détaillés à nouveau ci-après. Dans la suite, seules les différences entre l'électromètre 200 de

la figure 2 et l'électromètre 100 de la figure 1 seront mises en exergue.

Selon un aspect d'un mode de réalisation, on prévoit un électromètre à mesure de courant comportant, en plus du dispositif de mesure de courant 107 adapté à mesurer le courant circulant entre les électrodes 105a et 105b, un dispositif de mesure de tension 201 adapté à mesurer la tension entre les électrodes 105a et 105b.

L'électromètre 200 comprend en outre un commutateur 203 permettant de connecter alternativement le dispositif de mesure de courant 107 et le dispositif de mesure de tension 201 entre les électrodes 105a et 105b. En fonctionnement, seul l'un des deux dispositifs de mesure 107 et 201 est connecté entre les électrodes 105a et 105b à un instant donné. Dans l'exemple représenté, le commutateur 203 est un commutateur à deux positions désignées respectivement par les références 1 et 2. En position 1, le dispositif de mesure de courant 107 est connecté entre les électrodes 105a et 105b et le dispositif de mesure de tension 201 est déconnecté de l'électrode 105a, et, en position 2, le dispositif de mesure de tension 201 est connecté entre les électrodes 105a et 105b et le dispositif de mesure de courant 107 est déconnecté de l'électrode 105a. De préférence, le commutateur 203 est un commutateur présentant une résistance faible à l'état passant. A titre d'exemple, le commutateur 203 est un interrupteur au mercure, ou un transistor.

L'électromètre 200 comprend en outre une unité de traitement et de commande 205 adaptée à lire et traiter des mesures fournies par les dispositifs de mesure 107 et 201, et à commander le commutateur 203.

Lors d'une phase de mesure de champ électrique, le commutateur 203 est maintenu en position 1, c'est-à-dire que le dispositif de mesure de tension 201 est déconnecté. L'électromètre 200 fonctionne alors à la manière d'un électromètre à mesure de courant usuel. L'unité de traitement 205 peut être utilisée pour déterminer le champ électrique E à partir de la mesure du courant

I canalisé par les électrodes 105a, 105b. Le coefficient de proportionnalité $\beta=S*\alpha*\sigma_e$ utilisé pour déterminer le champ électrique E à partir d'une mesure du courant I peut avoir été déterminé au préalable lors d'une phase de calibration de l'électromètre.

Selon un aspect d'un mode de réalisation, on prévoit un procédé de calibration de l'électromètre 200 dans lequel on réalise une ou plusieurs mesures de tension au moyen du dispositif 201, afin de calibrer le système de mesure en courant et notamment de déterminer le coefficient de proportionnalité β permettant de déterminer le champ électrique E à partir d'une mesure du courant I réalisée par le dispositif 107 lorsque le commutateur est en position 1.

A titre d'exemple, lors d'une phase de calibration de l'électromètre 200, les étapes suivantes sont mises en oeuvre par l'unité de traitement et de commande 205.

Lors d'une première étape, le commutateur 203 est commandé en position 1, et une mesure du courant I canalisé par les électrodes 105a, 105b est réalisée au moyen du dispositif de mesure 107.

Lors d'une deuxième étape, le commutateur 205 est commandé en position 2, et une valeur de champ électrique E est déterminée par une mesure en tension au moyen du dispositif de mesure de tension 201. Lors de cette étape, le champ E est déduit de la tension ΔV mesurée par le dispositif 201 entre les électrodes 105a et 105b par la formule $E=\Delta V/L$.

Afin de maximiser le rapport signal sur bruit, ces deux étapes peuvent être répétées périodiquement pendant un certain temps, par exemple pendant une période comprise entre 1 min et 1 h, à une fréquence suffisante pour mesurer les signaux I et E aux fréquences souhaitées, c'est-à-dire à une fréquence au moins deux fois supérieure à la plus haute fréquence à laquelle on souhaite mesurer le champ E, par exemple à une fréquence comprise entre 1 et 1000 Hz.

La valeur du coefficient β est ensuite déterminée en calculant le rapport entre les signaux I et E mesurés respectivement au moyen du dispositif de mesure de courant 107 et au moyen du dispositif de mesure de tension 201.

Une fois le coefficient β déterminé, le commutateur 203 peut être replacé en position 1. La calibration de l'électromètre est alors terminée, et des mesures de champ électrique peuvent être réalisées au moyen du seul dispositif de mesure de courant 107, en utilisant le nouveau coefficient β pour déterminer le champ E à partir d'une mesure du courant I par le dispositif 107.

Le procédé de calibration peut être répété aussi souvent que nécessaire pour éviter que la dérive éventuelle des paramètres d'impédance des électrodes 105a, 105b et de conductivité σ_e n'entraine une dégradation significative de la précision de l'électromètre.

Un avantage des modes de réalisation décrits est que la calibration peut être réalisée in-situ, c'est-à-dire sans avoir à extraire l'électromètre du milieu étudié, et sans avoir à réaliser des mesures complexes de la conductivité électrique σ_e du milieu étudié et de la conductivité électrique σ_C de l'électromètre.

Des modes de réalisation particuliers ont été décrits. Diverses variantes et modifications apparaîtront à l'homme de l'art.

En particulier, l'homme du métier saura mettre en oeuvre le fonctionnement recherché en utilisant d'autres dispositions du commutateur 203 que celle représentée en figure 2.

De plus, les modes de réalisation décrits peuvent être adaptés à des électromètres à mesure de courant comportant plusieurs paires d'électrodes orientées dans des directions différentes et permettant de réaliser des mesures de champ électrique dans plusieurs directions de l'espace.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (200) de mesure d'un champ électrique en milieu conducteur, comprenant :

deux électrodes (105a, 105b) séparées par un volume (103) d'un milieu isolant ;

un dispositif de mesure de courant (107) ;

un dispositif de mesure de tension (201) ; et

un commutateur (203) permettant de connecter alternativement le dispositif de mesure de courant (107) et le dispositif de mesure de tension (201) entre les électrodes (105a, 105b).

2. Dispositif (200) selon la revendication 1, comportant une unité de commande et de traitement (205) adaptée à mettre en oeuvre un procédé de calibration comportant les étapes suivantes :

a) commander le commutateur (203) pour connecter le dispositif de mesure de courant (107) entre les électrodes (105a, 105b), et mesurer le courant I entre les électrodes au moyen du dispositif de mesure de courant (107) ; et

b) commander le commutateur (203) pour connecter le dispositif de mesure de tension (201) entre les électrodes (105a, 105b), et mesurer la tension ΔV entre les électrodes au moyen du dispositif de mesure de tension (201).

3. Dispositif (200) selon la revendication 2, dans lequel le procédé de calibration comprend en outre le calcul d'une valeur de champ électrique E à partir de la tension ΔV mesurée à l'étape b) par la formule $E=\Delta V/L$, L étant la distance entre les électrodes (105a, 105b), et le calcul d'un coefficient de proportionnalité β entre le champ E et le courant I mesuré à l'étape a).

4. Dispositif (200) selon la revendication 2 ou 3, dans lequel, lors d'une phase de calibration, les étapes a) et b) sont répétées périodiquement une pluralité de fois.

5. Dispositif (200) selon la revendication 4, dans lequel la fréquence de répétition des étapes a) et b) est comprise entre 1 et 1000 Hz.

6. Dispositif (200) selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, dans lequel l'unité de traitement (205) est en outre adaptée, lors d'une phase de mesure de champ électrique, à commander le commutateur (203) pour connecter le dispositif de mesure de courant (107) entre les électrodes (105a, 105b), à mesurer le courant I entre les électrodes au moyen du dispositif de mesure de courant (107), et à déduire du courant I le champ électrique E du milieu conducteur selon un rapport de proportionnalité préalablement déterminé.

7. Dispositif (200) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel le commutateur (203) est un interrupteur au mercure.

8. Dispositif (200) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel le commutateur (203) est un transistor.

9. Dispositif (200) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel le dispositif de mesure de courant (107) comprend une bobine reliant les électrodes (105a, 105b) et un magnétomètre adapté à mesurer le champ magnétique induit par la circulation d'un courant (I) dans la bobine.

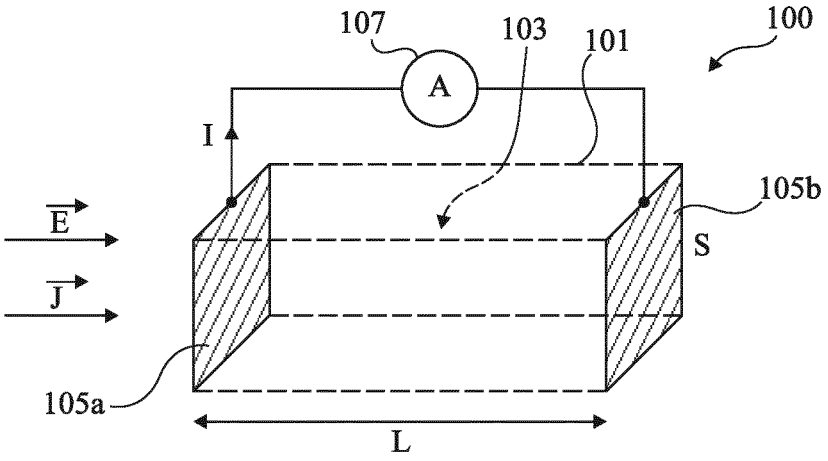

107
103
101
100
A
I
105b
E
S
J
105a
L

Fig 1

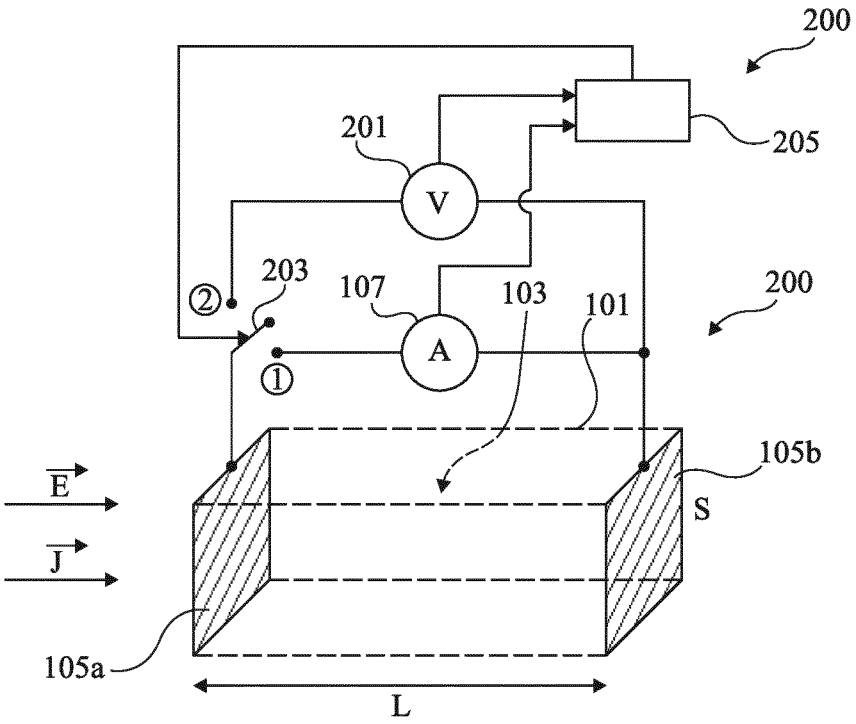

200
205
201
V
203
107
103
101
200
②
A
①
105b
E
S
J
105a
L

Fig 2

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 811343
FR 1551297

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		
X	WO 2008/121796 A2 (SCHLUMBERGER CA LTD [CA]; GECO TECHNOLOGY BV [NL]; SAFINYA KAMBIZ [US]) 9 octobre 2008 (2008-10-09)	1,7-9	G01R29/00
A	* alinéa [0007] - alinéa [0018] *	2-6	

A	US 3 641 427 A (PITTMAN ED P ET AL) 8 février 1972 (1972-02-08) * colonne 3, ligne 10 - colonne 4, ligne 44 *	1-9	

A	US 2012/161774 A1 (STRACK KURT M [US] ET AL) 28 juin 2012 (2012-06-28) * alinéa [0067] - alinéa [0070] *	1-9	

			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01R G01V

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
18 janvier 2016	Jedlicska, István

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

.....

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1551297 FA 811343

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 18-01-2016
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
WO 2008121796 A2	09-10-2008	EP 2137554 A2	30-12-2009
		US 2008238429 A1	02-10-2008
		WO 2008121796 A2	09-10-2008
US 3641427 A	08-02-1972	AUCUN	
US 2012161774 A1	28-06-2012	US 2008265896 A1	30-10-2008
		US 2010225324 A1	09-09-2010
		US 2012161774 A1	28-06-2012

EPO FORM P0465