



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **710 013 A1**

(51) Int. Cl.: **G01N 27/90** (2006.01)
G08B 21/00 (2006.01)

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 01272/14

(71) Requéant:
Sensima Inspection, 31 Ave Mont Blanc
1196 Gland (CH)

(22) Date de dépôt: 25.08.2014

(43) Demande publiée: 29.02.2016

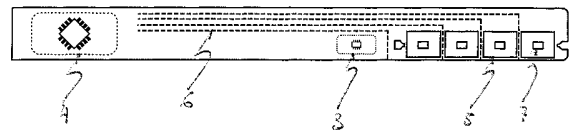
(72) Inventeur(s):
Bernard Revaz, 1205 Genève (CH)
Marc Lany, 1007 Lausanne (CH)
Frédéric Monnier, 1196 Gland (CH)
Gilles Santi, 1007 Lausanne (CH)
Enrico Gasparin, 1022 Chavannes-près-Renens (CH)

(54) **Capteur flexible intégré pour la surveillance de défauts et méthodes de génération d'alarme pour signaler leur détection.**

(57) L'invention concerne un capteur à courant de Foucault permettant de surveiller des fissures existantes ou des zones critiques dans des structures ou des pièces mécanique.

Ce capteur comporte des bobines (5) et une électronique de mesure (4) associés sur un même substrat flexible.

L'invention concerne également des méthodes de génération d'alarme à partir des mesures des bobines ainsi que de capteurs de position et/ou de force et/ou de contrainte (3) ainsi que des méthodes de filtrage des données fournies par le capteur à courant de Foucault en utilisant les données mesurées par les capteurs de position et/ou de force et/ou de contrainte.



Description

[0001] La détection des défauts dans les structures ou les pièces mécaniques a pour but d'éviter la fracture de ces pièces et les conséquences pour les autres parties en prenant des mesures de réparation ou de remplacement des pièces incriminées. Pour juger de la nécessité d'une réparation ou d'un remplacement, une évaluation de la criticité du défaut est requise, ce qui est difficile. De plus, il est parfois nécessaire de hiérarchiser les opérations de maintenance pour des raisons économiques ou logistiques. En conséquence, plus que la présence d'un défaut, c'est son activité et son évolution qui sont intéressantes pour évaluer le danger qu'il présente pour la structure ou la machine dans son ensemble. Les fissures de fatigue sont les défauts les plus dangereux parce qu'ils sont difficiles à détecter visuellement et que, passé une certaine taille critique, leur croissance devient très rapide et mène à la cassure de la pièce. Les capteurs à courant de Foucault donnent les meilleurs résultats pour la détection de tels défauts se trouvant à la surface du matériau. Dans l'état actuel des techniques d'inspection, une telle mesure nécessite l'envoi d'un inspecteur muni d'un matériel relativement lourd, ce qui représente un investissement conséquent, surtout s'il doit revenir souvent pour évaluer la progression. Là où cela est possible, il est donc souhaitable de mettre un tel capteur à demeure sur la structure, au-dessus du défaut et de recevoir les informations du capteur sur un serveur de manière régulière, par exemple 1 fois par heure.

[0002] La technique de détection de fissures à base de courants de Foucault a fait ses preuves dans le domaine du contrôle non-destructif (CND). La miniaturisation des composants électroniques, la baisse de leur consommation électrique, ainsi que le développement de plusieurs systèmes de communication sans fil rendent possible la réalisation d'un capteur autonome, suffisamment petit pour être fixé ou collé sur la structure à monitorer.

[0003] Les bobines sur circuits imprimés flexibles sont utilisées depuis quelque temps dans le domaine du CND avec succès pour les situations où il est nécessaire de se conformer à une surface à géométrie variable.

[0004] Dans l'état de l'art actuel, un système de mesure (ou d'inspection) à courants de Foucault requiert la présence d'un opérateur au moment de la mesure et d'un ensemble d'appareil totalisant un volume de l'ordre du décimètre cube et un poids de l'ordre du kilogramme. Ce qui complique l'application de cette technique aux endroits difficiles d'accès ou aux mesures de phénomènes lents tels que l'évolution d'une fissure de fatigue.

[0005] L'invention consiste en une série de capteurs à courant de Foucault (appelés en anglais «Eddy current», «EC») ainsi que l'électronique d'acquisition et d'analyse de signal montés sur un circuit imprimé (appelé en anglais «Printed Circuit Board», «PCB») flexible ou flexible-rigide (1). Elle est destinée à être montée ou collée pour une longue période allant de quelques jours à quelques années sur une structure dont le matériau a des propriétés électriques conductrices et éventuellement magnétique (typiquement une structure métallique) que l'on souhaite monitorer, par exemple un pont, un élément de construction ou un élément d'une machine (11). Elle est positionnée sur un défaut existant (par exemple fissure de fatigue) ou à un endroit où un tel défaut est susceptible d'apparaître (zone critique) (8). Son but est de mesurer l'évolution du défaut. De plus, elle contient un ou plusieurs capteurs supplémentaires permettant de connaître les variations environnementales pouvant affecter la mesure à courant de Foucault; dans l'exemple présenté ici, il s'agit d'un accéléromètre permettant de connaître l'état de vibration, suivant les circonstances, il pourrait être remplacé ou complété par un capteur de température, un capteur de position ou des dérivées temporelles ou spatiales de celle-ci (par ex. vitesse), de force ou de contrainte (3).

[0006] La partie courant de Foucault consiste en

1. Une série de bobines inductives imprimées sur un PCB flexible disposées en ligne ou matrice (2). L'ensemble de ces bobines fait quelques centimètres carrés. Dans l'exemple, il y a 4 bobines disposées en ligne.
2. En général, les bobines sont identiques, mais suivant les problèmes, un mélange de plusieurs types est possible
3. Chaque bobine (5) a les caractéristiques suivantes
 - a) Une fenêtre prédécoupée (6) en son centre ou sur les côtés de celle-ci pour permettre de voir la structure métallique en dessous et le défaut, s'il existe ou une marque de positionnement. La taille de cette fenêtre est de quelques millimètres carrés
 - b) Une forme adaptée à la mesure de l'évolution de la longueur du défaut. Dans l'exemple, la bobine est rectangulaire avec le long axe destiné à être aligné avec la direction de propagation de la fissure. D'autres formes sont cependant possibles, par exemple:
 - i) Circulaire (par ex. si une mesure indépendante de la direction est souhaitable)
 - ii) Rectangulaire avec le long axe orienté perpendiculairement à la direction de propagation de la fissure (par ex. pour maximiser la probabilité que la bobine soit traversée lors de la croissance du défaut si la direction de propagation n'est pas connue)

- c) Les différentes couches du PCB peuvent être utilisées pour augmenter le nombre de tours et l'inductance de la bobine. En l'état actuel, seules les couches supérieure et inférieure sont utilisées pour conserver une flexibilité suffisante du PCB.
- d) Bobinage en spirale pour maximiser le nombre de tours
- 4. Des marques de découpage (prédécoupage) sont placées entre les bobines de manière à pouvoir les séparer pour positionner chacune indépendamment si la situation l'exige (7). Ceci permet d'avoir des éléments sensibles (bobines) qui peuvent être positionnés indépendamment tout en restant électriquement connectés.
- 5. L'arrangement des bobines permet de suivre avantageusement la propagation d'une fissure. Pour cela, une des 2 bobines centrales est centrée sur la tête de la fissure (9) dont on veut surveiller la propagation à l'aide des fenêtres prédécoupées. La ligne des bobines est alors alignée sur la direction de propagation prévue de la fissure.
- 6. Le signal généré par les capteurs à courant de Foucault contient beaucoup plus d'information que la longueur de celui-ci, en particulier les propriétés magnétiques des matériaux, ces capteurs à courant de Foucault peuvent être utilisés pour mesurer de tels effets, par exemple la modification des propriétés magnétiques locales provoquées par les contraintes locales, en particulier pour détecter un précurseur à une fissure.
- 7. Une bobine de référence (10) peut être placée dans une zone non critique

[0007] La partie sensible contient également un ou plusieurs capteurs additionnels avec des marques de découpage pour pouvoir les positionner indépendamment. Dans l'exemple présenté, le capteur supplémentaire est un accéléromètre permettant de corréler les mesures courant de Foucault avec les vibrations dans la structure. D'autres capteurs peuvent être ajoutés sur le même principe, par exemple un capteur de température pour permettre une compensation de la réponse des bobines en fonction de la température.

[0008] L'électronique d'acquisition et de traitement du signal se trouve à l'autre bout des pistes de connexion sur le même PCB. Cette partie du PCB peut être rigide (dans le cas d'un PCB flexible-rigide). Elle est prévue pour être surmoulée de manière à protéger les éléments sensibles, mais elle pourrait être montée dans un boîtier adéquat. De plus, elle pourrait être montée sur un ou plusieurs PCBs indépendants avec un connecteur pour relier la partie sensible. Elle consiste en:

- 1. Une ou plusieurs unités de génération du signal d'excitation
- 2. Une unité d'acquisition du signal par bobine
- 3. Une unité de multiplexage pour l'excitation et/ou la lecture du signal permettant d'adresser les différentes bobines
- 4. Un microcontrôleur pour commander les différentes unités et pour effectuer les opérations d'agrégation des données et de traitement du signal avec une mémoire permanente permettant de stocker le micro-logiciel embarqué (firmware) nécessaire au fonctionnement du capteur ainsi que les éventuelles données de calibration nécessaire au traitement du signal. Le microcontrôleur est capable de se mettre en veille profonde entre les périodes de mesure afin d'économiser l'énergie.
- 5. Une unité de communication (par ex. port USB) pour connecter à un ordinateur qui peut aussi être utilisée comme connexion à une source d'alimentation
- 6. Une unité d'alimentation (par ex. batterie, panneau solaire)
- 7. Une unité de mesure de temps permettant d'envoyer des puces électriques au microcontrôleur avec une période paramétrable afin de le réactiver (le sortir de la veille profonde) à intervalles réguliers

[0009] Ces différentes unités peuvent être regroupées sur une puce (chip) ou réparties sur plusieurs.

[0010] De plus, elle contient une ou plusieurs des unités suivante:

- 1. Une unité de stockage de donnée (par ex. un lecteur de mémoire flash qui peut être une carte microSD)
- 2. Une unité de communication ethernet (type filaire, RJ-45 ou sans fil, Wifi)
- 3. Une unité de communication sans fil (radio) de type Bluetooth ou autre
- 4. Une unité de communication sans fil pour les réseaux de téléphonie mobile (par ex. GSM)

[0011] La connexion entre les capteurs – c'est à dire la partie sensible composée des bobine à courant de Foucault et des capteurs additionnels – et l'électronique est une succession de pistes avec les marques de découpe sur le même PCB flexible que la partie sensible et pouvant se terminer par un connecteur. La longueur de cette bande de connexion est typiquement de quelques centimètres à un mètre en fonction des besoins. Dans l'exemple présenté, toutes les parties décrites ci-dessus sont sur un même PCB et donc sans connecteur et la bande de connexion fait 10 cm. L'absence de connecteur permet d'assurer l'étanchéité du système et donc permettre son utilisation en extérieur, soumis aux intempéries, voire sous l'eau, les parties électroniques sensibles étant dans ce cas encapsulées dans une résine (surmoulage). Pour ces cas, les ports physiques de communication USB ou ethernet, ainsi que l'accès au lecteur de carte mémoire flash peuvent être optionnels.

[0012] Le micro-logiciel embarqué agrège les données des différents types de capteurs. Il gère les différents composants électroniques ainsi que les configurations de mesure. Il effectue tout ou partie des tâches de traitement du signal, en particulier les analyses de corrélation entre les informations venant de l'accéléromètre et/ou d'un capteur de température et les signaux provenant des capteurs à courant de Foucault. Il peut être complété par un logiciel d'analyse de données tournant sur un ordinateur externe. Il est responsable du stockage des données sur l'éventuelle carte mémoire, du transfert des données vers un serveur à travers une des interfaces de communication. Il peut optionnellement être capable de recevoir les paramètres de configuration de la mesure à distance par une des unités de communication. Il est également responsable de la gestion de l'énergie et en particulier de mettre le capteur en veille profonde après chaque séquence de mesure.

[0013] Par rapport à l'état de l'art décrit ci-dessus, l'invention présentée apporte les innovations suivantes:

1. L'intégration du système d'acquisition et de traitement de données au capteur lui-même grâce à une utilisation judicieuse de la miniaturisation de l'électronique
2. L'adaptation au problème spécifique de la surveillance d'un défaut existant ou d'une zone critique à l'aide de la flexibilité du capteur et des fenêtres de positionnement placées aux endroits clés sur la partie sensible (typiquement au centre des bobines utilisées par les capteurs à courant de Foucault.
3. La possibilité du stockage des données en interne ou leur envoi instantané vers un serveur via les moyens de communication sans fil
4. L'intégration de capteurs sensibles aux données environnementales (par ex, vibrations, température) pouvant affecter la mesure à courants de Foucault ainsi que leur utilisation dans le traitement des données

Légende des figures

[0014]

Fig. 1: Description des blocs fonctionnels du capteur

Fig. 2: Exemple typique d'implémentation avec 4 capteurs courant de Foucault en ligne

Fig. 3: Schéma bloc de l'électronique de mesure

Fig. 4: Exemple d'utilisation du capteur flexible en ligne

Fig. 5: Exemples d'utilisation du capteur sur des fissures ou zones critiques courbées

Fig. 6: Exemple de positionnement de bobines sur un élément structurel.

Revendications

1. Capteur de surveillance de défauts ou de zones critiques par courants de Foucault, caractérisé en ce qu'il comporte une pluralité de bobines associées à une électronique de mesure sur un même substrat flexible.
2. Dispositif suivant la revendication 1 dans lequel le substrat flexible est prédécoupé de sorte à pouvoir repositionner les bobines les unes par rapport aux autres.
3. Dispositif suivant la revendication 1 comprenant un capteur de position ou de dérivées temporelles ou spatiales de celle-ci (vitesse, accélération, choc,...) ou de force ou de contrainte.
4. Dispositif suivant la revendication 1 comprenant une ouverture au centre des bobines permettant un placement précis relativement à une fissure existante ou à une marque indiquant une zone critique.
5. Dispositif suivant la revendication 1 comprenant un capteur de mesure de la température.
6. Dispositif suivant la revendication 1 comprenant des bobines de géométries différentes.

7. Dispositif suivant la revendication 1 comprenant des bobines circulaires ainsi que des bobine allongées.
8. Dispositif suivant la revendication 1 muni d'un module de communication sans fil.
9. Dispositif suivant la revendication 1 permettant une mesure de la résistance d'une ou plusieurs bobines à courant constant.
10. (4û) Dispositif suivant la revendication 1 où tous les composants de l'électronique de mesure sont disposés sur une même face du substrat
11. Dispositif suivant la revendication 11 recouvert sur la face exempte de composants d'un adhésif prêt à l'emploi recouvert d'une bande de protection.
12. Dispositif suivant la revendication 1 caractérisé en ce que la zone du substrat comportant les composants électroniques est rigidifiée
13. Méthode de génération d'une alarme utilisant un ou plusieurs dispositifs suivant la revendication 1, caractérisée en ce que l'alarme est déclenchée lorsque l'impédance complexe d'une ou plusieurs bobines entre dans une zone prédéfinie du plan d'impédance.
14. Méthode de génération d'une alarme utilisant un ou plusieurs dispositifs suivant la revendication 1, caractérisée en ce que l'alarme est déclenchée lorsque la différence d'impédance complexe entre une bobine de référence et une autre bobine dépasse une valeur prédéfinie.
15. Méthode de génération d'une alarme utilisant un ou plusieurs dispositifs suivant la revendication 3, caractérisé en ce que l'alarme est déclenchée lorsque la variation d'impédance d'une ou plusieurs bobines lors d'un changement de position mesuré par le capteur de position, de force ou la jauge de contrainte excède un seuil prédéfini.
16. Méthode de génération d'une alarme utilisant un ou plusieurs dispositifs suivant la revendication 3, caractérisé en ce que l'alarme est déclenchée lorsque la variation de la différence d'impédance entre une bobine de référence et une ou plusieurs autres bobines lors d'un changement de position mesuré par le capteur de position, de force ou la jauge de contrainte excède un seuil prédéfini.
17. Méthode de filtrage des données utilisant le capteur de position, force ou contrainte pour sélectionner une zone temporelle dans les données.
18. Méthode de filtrage des données utilisant le capteur de position, force ou contrainte pour sélectionner une zone temporelle dans les données pour pondérer les données des capteurs à courants de Foucault.

Figure 1

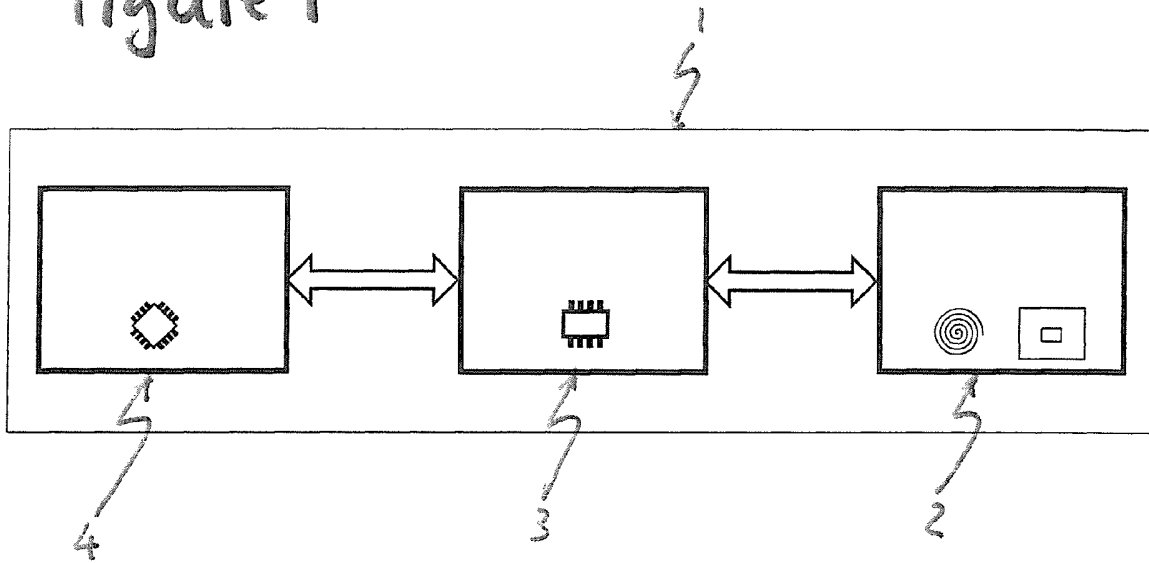


Figure 2

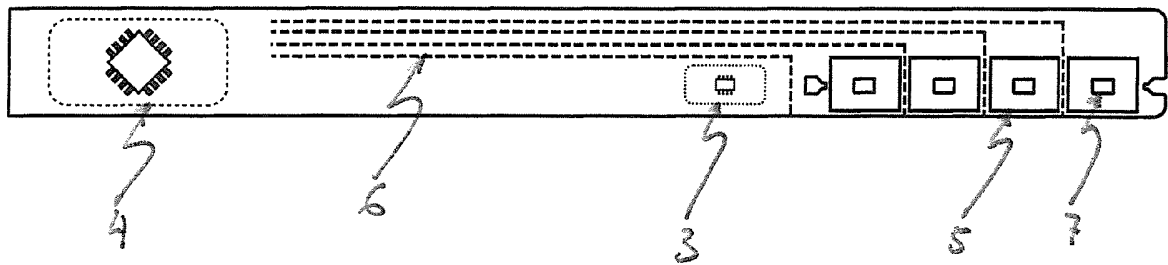


Figure 3

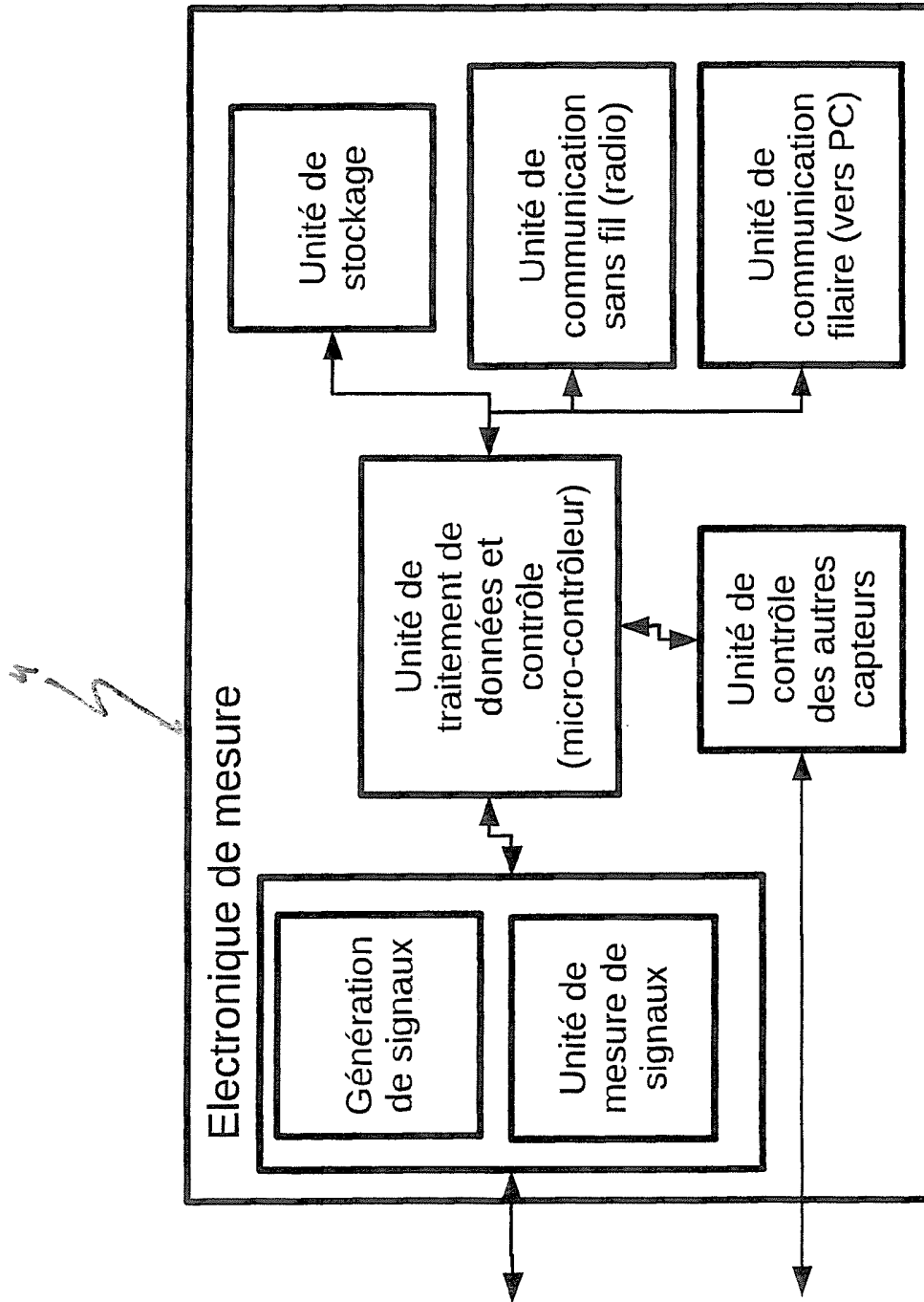


Figure 4

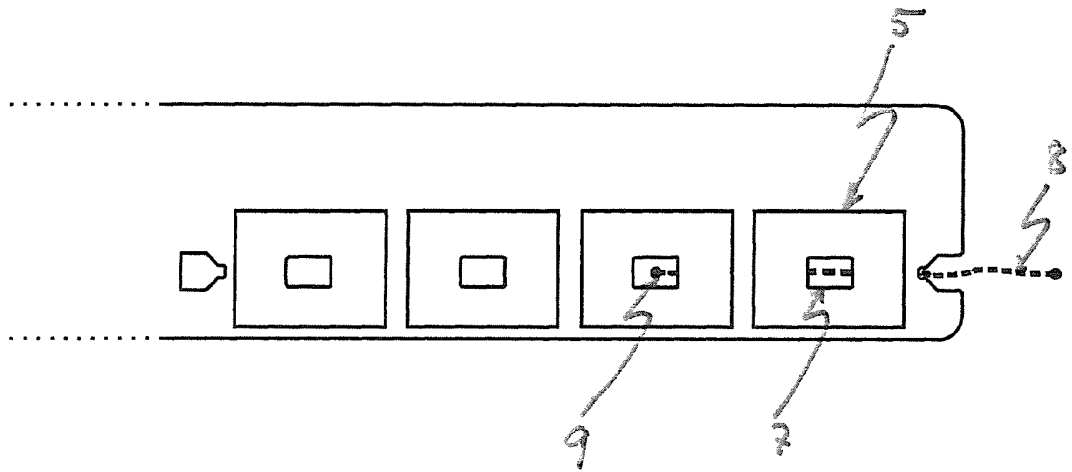


Fig 5

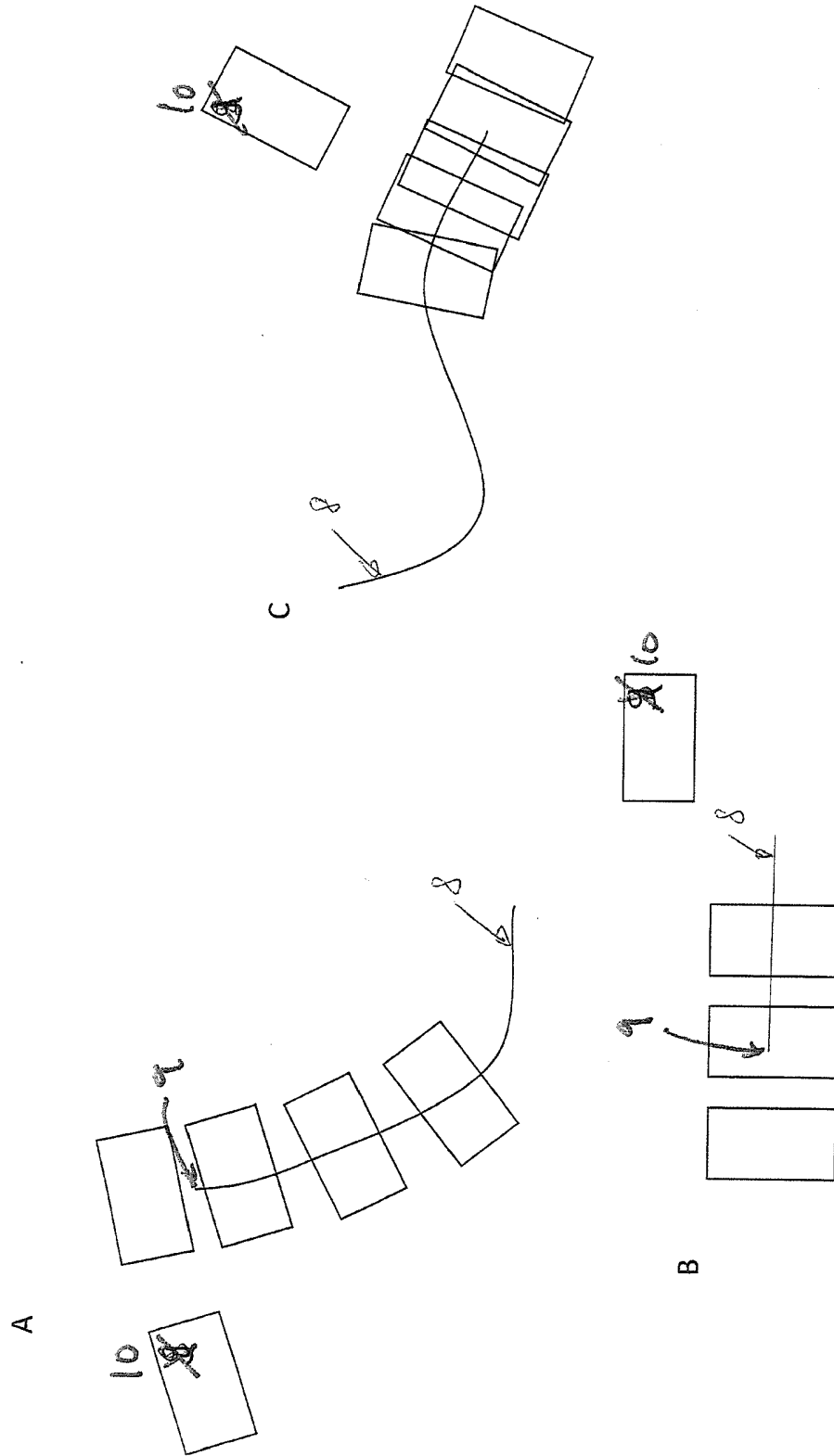
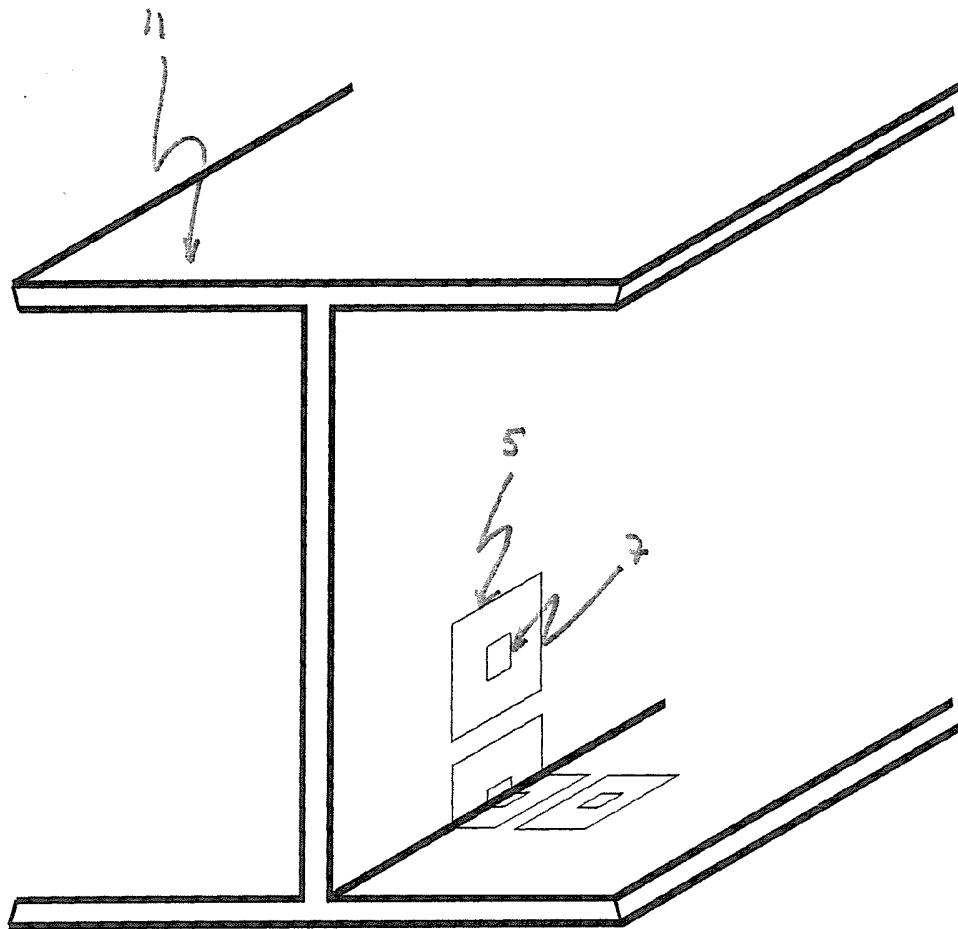


Figure 6



**RAPPORT DE RECHERCHE RELATIF À LA
DEMANDE DE BREVET SUISSE**

Numéro de la demande: CH01272/14

Classification de la demande (CIB):
G01N27/90, G08B21/00**Domaines recherchés (CIB):**
G01N, G08B, H01F, G01V**DOCUMENTS PERTINENTS:**

(référence du document, catégorie, revendications concernées, indications des parties significatives (*))

- 1 WO2007056679 A2 (CLOCK SPRING CO LP) 18.05.2007
Catégorie: **X** Revendications: **1,10,12**
* page 5, lignes 3-7, 8-22; page 6, ligne 16 - page 7, ligne 17; figure 2 *
- 2 WO2013190504 A1 (EDDYFI NDT INC GRENIER M HARDY F) 27.12.2013
Catégorie: **X** Revendications: **1,6,7**
* [0005]; [0025]; [0063]; [0067]; [0071] *
- 3 US8013600 B1 (SANDIA CORP) 06.09.2011
Catégorie: **X** Revendications: **1,6,8,9,10,12**
* colonne 8, lignes 9-44; colonne 9, lignes 60-62; colonne 10, lignes 8-10, 20-24; colonne 12, lignes 19-52; figure 9C *
Catégorie: **Y** Revendications: **3,5,7,13**
- 4 US7560920 B1 (INNOVATIVE MATERIALS TESTING TECHNOLOGIE) 14.07.2009
Catégorie: **X** Revendications: **1,11**
* colonne 7, ligne 39 - colonne 8, ligne 64 *
- 5 US3895290 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 15.07.1975
Catégorie: **Y** Revendications: **13**
* colonne 1, lignes 46-61; colonne 2, lignes 15-48; colonne 3, ligne 21 - colonne 4, ligne 5; figure 3 *
- 6 US2014182373 A1 (GENERAL ELECTRIC CO) 03.07.2014
Catégorie: **Y** Revendications: **3,5**
* [0006]; [0041]; [0056]; [0062] *
- 7 US2006192679 A1 (BUCKLEY B S BUCKLEY M M GANG A P) 31.08.2006
Catégorie: **Y** Revendications: **13**
* [0066]-[0071]; [0073]; [0079]; [0119]; [0126] *
Catégorie: **A** Revendications: **14**
* [0066]-[0071]; [0073]; [0079]; [0119]; [0126] *
- 8 US2013018340 A1 (KIMBERLY-CLARK WORLDWIDE INC ABRAHAM J K ALES T M
FELDKAMP J R GAKHAR S HELLER J R NHAN D D H RANGANATHAN S) 17.01.2013
Catégorie: **Y** Revendications: **7**
* [0072] *
- 9 US2011210724 A1 (JENTEK SENSORS INC) 01.09.2011
Catégorie: **A** Revendications: **4**
* [0067] *

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS:

X:	remettent en question, à eux seuls, la nouveauté et/ou l'activité inventive	D:	ont été fournis par le demandeur avec la demande de brevet
Y:	remettent en question, à l'appui d'un document de la même catégorie, l'activité inventive	T:	théories et principes sur lesquels se fonde l'invention
A:	définissent l'état général de la technique sans avoir de pertinence particulière pour la nouveauté et l'activité inventive	E:	documents de brevets dont la date de dépôt ou de priorité se situe avant la date de dépôt de la demande de brevet objet de la recherche mais qui ont été publiés seulement après cette date
O:	divulgation non écrite	L:	documents cités pour d'autres raisons
P:	ont été publiés entre la date de dépôt de la demande de brevet objet de la recherche et la date de priorité revendiquée	&:	membre de la même famille de brevets; document correspondant

La recherche se base sur la version des revendications déposée initialement. Une nouvelle version des revendications déposée ultérieurement (art. 51 al. 2 OBI) n'est pas prise en considération.

La recherche n'a pas porté sur la/les revendication(s) 17,18.

ABSENCE D'UNITÉ

L'Institut considère que la présente demande de brevet n'est pas unitaire au sens de l'art. 52 LBI en relation avec l'art. 30 OBI. Elle contient plusieurs inventions qui ne sont pas liées entre elles d'un point de vue technique.

Les revendications 17 et 18 ont comme objet des méthodes de filtrage de données. Ces revendications ne résolvent pas le même problème techniques que les revendications 1 à 16 qui se donnent pour objet de développer un système un capteur de surveillance des défauts à base de courants de Foucault qui soit léger, facile à utiliser dans des endroits difficiles d'accès et qui ne nécessite pas la présence d'un opérateur pour son fonctionnement et de même mettent à disposition des méthodes pour générer des alarmes basées sur les données mesurées par les capteurs. A notre avis, le fait que les méthodes de filtrages de données mentionnées ci-dessus sont utilisés pour analyser les données des capteurs mentionnés ci-dessus ne suffit pas pour justifier l'unité de la demande, car de telles méthodes pourraient aussi être utilisées pour filtrer des données provenant d'autres capteurs.

Les taxes de recherche additionnelles n'ont pas été payées ou seulement en partie. Le présent rapport de recherche a donc été établi uniquement pour une partie des revendications. (art. 57 OBI)

Recherche effectuée par:	Catalin Cris
Autorité de recherche, lieu:	Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle, Berne
Fin de la recherche:	26.08.2015

TABLEAU DES FAMILLES DES BREVETS CITÉS

Les membres de la famille sont mentionnés conformément à la base de données de l'Office européen des brevets. L'Office européen des brevets et l'Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle ne garantissent pas ces données. Celles-ci sont fournies uniquement à titre d'information.

WO2007056679 A2	18.05.2007	WO2007056679 A2	18.05.2007
		WO2007056679 A3	29.05.2008
		EP1952135 A2	06.08.2008
		EP1952135 A4	14.12.2011
		US2007126422 A1	07.06.2007
WO2013190504 A1	27.12.2013	US7557570 B2	07.07.2009
		WO2013190504 A1	27.12.2013
		CA2842888 A1	27.12.2013
		CA2842888 C	30.12.2014
		EP2864771 A1	29.04.2015
		EP2864771 A4	29.04.2015
		US2015177191 A1	25.06.2015
US8013600 B1	06.09.2011	US8013600 B1	06.09.2011
US7560920 B1	14.07.2009	US7560920 B1	14.07.2009

CH 710 013 A1

US3895290 A	15.07.1975	US3895290 A	15.07.1975
		DE2338628 A1	21.02.1974
		DE2338628 C2	03.04.1986
		FR2195021 A1	01.03.1974
		FR2195021 B1	23.01.1976
		GB1435803 A	19.05.1976
		IT991931 B	30.08.1975
US2014182373 A1	03.07.2014	US2014182373 A1	03.07.2014
		US9003880 B2	14.04.2015
		WO2014105438 A1	03.07.2014
US2006192679 A1	31.08.2006	US2006192679 A1	31.08.2006
US2013018340 A1	17.01.2013	US2013018340 A1	17.01.2013
		AU2012285498 A1	16.01.2014
		GB201401293 D0	12.03.2014
		GB2506563 A	02.04.2014
		KR20140042856 A	07.04.2014
		MX2014000368 A	21.03.2014
		WO2013011391 A2	24.01.2013
		WO2013011391 A3	04.04.2013
		US2011210724 A1	01.09.2011
		US8803515 B2	12.08.2014
US2011210724 A1	01.09.2011	US2015145510 A1	28.05.2015