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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
18 juin 2015 (18.06.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/086959 A1

(51) Classification internationale des brevets :
*G01M 13/04* (2006.01) *G01H 1/00* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/053167

(22) Date de dépôt international :
4 décembre 2014 (04.12.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1362319 9 décembre 2013 (09.12.2013) FR

(71) Déposant : **CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES MECANIQUES** [FR/FR]; 52, Avenue Félix Louat, F-60300 Senlis (FR).

(72) Inventeur : **ELTABACH, Mario**; 4, rue Georges Charpak, F-60200 Compiègne (FR).

(74) Mandataires : **GENDRON, Vincent** et al.; c/o S.A. FEDIT-LORIOT, 38, avenue Hoche, F-75008 Paris (FR).

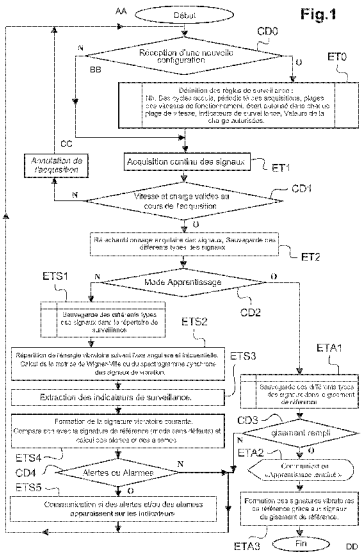
(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,

*[Suite sur la page suivante]*

(54) Title : METHOD AND DEVICE FOR DETECTING MECHANICAL FAULTS IN A VARIABLE SPEED ROTATING MACHINE

(54) Titre : PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE DÉTECTION DE DÉFAUTS MÉCANIQUES DANS UNE MACHINE TOURNANTE A RÉGIME VARIABLE

Fig.1




AA Start
CD0 Reception of a new configuration
ET0 Definition of the monitoring rules: number of cycles acquired, periodicity of acquisitions, ranges of operating speeds, deviation allowed within each speed range, monitoring indicators, authorised load values
CC Cancellation of the acquisition
ET1 Continuous acquisition of signals
CD1 Speed and load valid during acquisition
ET2 Angular re-sampling of the signals, Backing up of the different types of signal
CD2 Learning mode
ETS1 Backing up of the different types of signal in the monitoring repository
ETS2 Distribution of the vibration energy according to the angular and frequency axis: Calculation of the Wigner-Ville matrix or of the synchronous spectrogram of the vibration signals
ETA1 Backing up of the different types of signals in the reference repository
ETS3 Extraction of monitoring indicators
ETS4 Formation of the current vibration signature. Comparison with the reference signature (fault-free mode) and calculation of alerts and alarms.
CD3 repository full
CD4 Alerts or alarms
ETA2 "Learning finished" communication
ETS5 Communication if alerts and/or alarms are displayed on the indicators
ETA3 Formation of reference vibration signatures using the reference repository signals
DD End

(57) Abstract : The invention concerns a method for detecting mechanical faults in a rotating machine which involves acquiring (ET1) measurement signals from vibration sensors fitted to non-rotating components of the machine for several operating cycles of the machine, categorising the measurement signals by speed range, determining (ETS2), for each vibration sensor, a distribution of the energy levels of the measurement signals of a given speed range in given angular and frequency bands, generating (ETS3) a current vibration signature per speed range for each vibration sensor from the distribution of energy levels determined in this way, and comparing (ETS4) the current vibration signature for a given speed range and a given vibration sensor to a reference vibration signature established for each vibration sensor in a fault-free mode of the rotating machine.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de détection de défauts mécaniques dans une machine tournante dans lequel on acquiert (ET1) des signaux de mesure issus de capteurs de vibrations équipant des composants non tournants de la machine pendant plusieurs cycles de fonctionnement de la machine, on classe les signaux de mesure par plage de vitesses, on détermine (ETS2), pour chaque capteur de vibrations, une répartition des niveaux d'énergie des signaux de mesure d'une même plage de vitesses dans des bandes angulaires et fréquentielles données, on génère (ETS3) une signature vibratoire

*[Suite sur la page suivante]*

WO 2015/086959 A1

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, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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), eurasien (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))*

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))*

courante par plage de vitesses pour chaque capteur de vibrations à partir de la répartition des niveaux d'énergie ainsi déterminée et on compare (ETS4) la signature vibratoire courante pour une plage de vitesses donnée et un capteur de vibrations donné à une signature vibratoire de référence établie pour chaque capteur de vibrations dans un mode sans défaut de la machine tournante.

# Procédé et dispositif de détection de défauts mécaniques dans une machine tournante à régime variable

La présente invention concerne le domaine de la surveillance des machines tournantes à régime variable et se rapporte en particulier à un procédé de détection de défauts mécaniques dans une machine tournante à régime variable, notamment, mais non exclusivement, une éolienne.

Un domaine d'application privilégiée est donc la surveillance et le diagnostic des défauts mécaniques dans une éolienne. De façon plus générale, l'invention peut aussi s'appliquer aux machines tournantes à régime variable assurant une fonctionnalité précise sur une chaîne de production, telles que par exemple les moteurs entraînant des engrenages, des pompes volumétriques, ou encore des machines à fonctionnement alternatifs comme les compresseurs et suppresseurs d'air. Les défauts mécaniques dans ces machines sont souvent caractérisés par des phénomènes périodiques liés à la vitesse de rotation et à un cycle d'un composant tournant de la machine. Notons toutefois qu'en ce qui concerne plus spécifiquement les éoliennes, la charge et la vitesse de rotation des différents composants mécaniques sont deux grandeurs relativement variables selon des paramètres externes à la chaîne cinématique de la machine elle-même comme la direction et la vitesse des vents, ce qui complique la détection de défauts.

Or, concernant la maintenance des éoliennes, la détection de défauts mécaniques et leur diagnostic jouent un rôle industriel primordial, car ils contribuent, par une détection rapide et précoce, à optimiser les temps de production notamment pour des fonctionnements où l'arrêt intempestif d'une éolienne est susceptible d'impacter la production sur une longue durée, en raison des longs délais d'approvisionnement requis pour certaines pièces mécaniques comme le multiplicateur ou les roulements. Au surplus, partant du fait que les éoliennes de grandes puissances sont souvent d'accès très difficile (en mer ou tours extrêmement élevées dépassant la hauteur de 20 m), il existe un important besoin pour la réduction des coûts de maintenance et d'exploitation des éoliennes.

Aussi, un problème qui se pose et que vise à résoudre la présente invention, est de permettre de détecter, d'une façon précoce, les défauts

mécaniques notamment sur une éolienne, de façon à prévoir les défaillances des différents composants mécaniques de l'éolienne, facilitant la mise en place d'une maintenance prévisionnelle, minimisant les arrêts intempestifs causés par des pannes et par conséquent, maximisant la productivité.

Dans le but de résoudre ce problème, la présente invention propose un procédé de détection de défauts mécaniques dans une machine tournante à régime variable munie de composants tournants et non tournants, dans lequel on fournit des capteurs de vibrations installés respectivement sur chaque composant non tournant de la machine sollicité par un composant tournant de la machine, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'on acquiert des signaux de mesure provenant de chaque capteur de vibrations pendant un nombre paramétré de cycles de fonctionnement d'un composant tournant de la machine, on classe les signaux de mesure acquis pour chaque capteur de vibrations par plage de vitesses de rotation du composant tournant suivant une pluralité de plages de vitesses de rotation préétablies, on détermine, pour chaque capteur de vibrations, une répartition de niveaux d'énergie des signaux de mesure d'une même plage de vitesses conjointement selon une fréquence donnée et pour chaque position angulaire du composant tournant à partir d'une représentation des signaux de mesure d'une même plage de vitesses en fonction combinée de la fréquence et de l'angle de rotation du cycle du composant tournant, on extrait de la répartition des niveaux d'énergie conjointement selon la fréquence et la position angulaire une pluralité d'indicateurs de surveillance correspondant aux niveaux d'énergie dissipés dans des bandes angulaires et fréquentielles données considérées en combinaison, on génère une signature vibratoire courante par plage de vitesses pour chaque capteur de vibrations à partir des valeurs courantes des indicateurs de surveillance, on compare la signature vibratoire courante pour une plage de vitesses donnée et un capteur de vibrations donné à une signature vibratoire de référence établie pour chaque capteur de vibrations dans un mode sans défaut de la machine tournante, et on constate la présence d'un défaut si la signature vibratoire courante générée pour un capteur de vibrations donné diffère de la signature vibratoire de référence.

Comme il a été indiqué en préambule, les éoliennes possèdent un comportement vibratoire complexe du fait notamment des nombreux

évènements transitoires qui se déroulent au cours du fonctionnement, ce qui rend de prime abord particulièrement compliqué d'envisager la prise en considération des vibrations pour effectuer un diagnostic fiable quant à la manifestation d'une anomalie, cause potentielle de dégradations, voire de pannes.

Or, de façon surprenante, il s'est effectivement avéré qu'à partir de signaux de mesure provenant de capteurs de vibrations installés sur les différents composants non tournants de la machine sollicités par des composants tournants, on peut extraire une signature vibratoire pour chaque capteur et pour chaque plage de vitesses à partir d'une présentation des signaux de mesure en fonction de l'angle de rotation dans un cycle d'un composant tournant de l'éolienne et de la fréquence, qui est en soi suffisamment pertinente pour permettre de caractériser en continu l'état de fonctionnement des différents composants mécaniques de la machine et ainsi prendre une décision quant à lever une alerte concernant tel ou tel composant.

Ainsi, grâce à l'analyse de l'écart entre la signature vibratoire courante pour une plage de vitesses donnée et une signature de référence pour cette plage de vitesses pour chacun des capteurs de vibrations installés sur lesdits composants non tournants de la machine, lesdites signatures étant basées sur une répartition de l'énergie du signal selon les deux axes angle et fréquence grâce à une présentation en mode angle-fréquence du signal, le procédé de l'invention permet non seulement de pouvoir détecter une dérive par rapport à un état de fonctionnement normal de la machine, mais également de pouvoir localiser le composant défectueux et d'identifier le type de défaut.

La méthode utilisée par la présente invention pour extraire les indicateurs de surveillance repose donc avantageusement sur une répartition des niveaux d'énergie des signaux vibratoires déterminée conjointement selon l'angle de rotation du composant à diagnostiquer et le contenu fréquentiel du signal correspondant à analyser. Une telle répartition de l'énergie vibratoire en fonction, en combinaison, de la fréquence et de la position angulaire dans le cycle de fonctionnement permet d'extraire des indicateurs de surveillance correspondant aux niveaux d'énergie dissipés dans des bandes angulaires et fréquentielles données considérées en combinaison. Cette méthode de surveillance permet donc avantageusement de quantifier l'énergie d'un signal

vibratoire lorsqu'un composant tournant se trouve dans une plage angulaire précise et ainsi de quantifier des énergies dissipées par des phénomènes physiques liés à l'angle de rotation d'un composant tournant de la machine.

De préférence, le procédé peut comprendre une étape de validation de l'acquisition des signaux de mesure, consistant à vérifier que les signaux de mesure sont acquis à une vitesse sensiblement constante dans chaque plage de vitesses préétablie et à un niveau de charge de la machine sensiblement constant.

Selon un mode de réalisation préféré, l'acquisition des signaux de mesure provenant des capteurs de vibrations est effectuée selon un échantillonnage temporel et on ré-échantillonne les signaux de mesure dans le domaine angulaire en utilisant une information de position angulaire fournie par un signal de référence top tour pendant toute la durée d'acquisition des signaux de mesure, et on applique une transformation angle-fréquence aux signaux ré-échantillonnés en angulaire pour obtenir la représentation des signaux en fonction de la fréquence et de l'angle de rotation. Un tel ré-échantillonnage en angulaire des signaux de mesure permet avantageusement de synchroniser les signaux de mesure par rapport aux fluctuations de vitesse.

De préférence, le ré-échantillonnage d'un signal de mesure dans le domaine angulaire peut comprendre la construction d'une grille angulaire de ré-échantillonnage, une évaluation des instants temporels correspondant à la grille angulaire de ré-échantillonnage et une détermination des valeurs du signal ré-échantillonné en angulaire à partir des valeurs d'échantillonnage temporel du signal de mesure en utilisant la grille angulaire de ré-échantillonnage.

Avantageusement, la transformation angle-fréquence appliquée aux signaux ré-échantillonnés en angulaire pour obtenir la représentation du signal en fonction de la fréquence et de l'angle de rotation est réalisée par la transformation de Wigner-Ville synchrone.

En variante, la transformation angle-fréquence appliquée aux signaux ré-échantillonnés en angulaire pour obtenir la représentation du signal en fonction de la fréquence et de l'angle de rotation peut être réalisée par la transformation de spectrogramme synchrone.

De préférence, on extrait de la répartition des niveaux d'énergie selon la fréquence et l'angle de rotation, une pluralité d'indicateurs de surveillance

correspondant au niveau d'énergie des signaux dans des bandes angulaires et fréquentielles données correspondant à l'apparition d'un phénomène périodique résultant du cycle du composant tournant, et la signature vibratoire courante est constituée par les valeurs courantes des indicateurs de surveillance ainsi extraits. Chacun de ces indicateurs de surveillance permet avantageusement de quantifier l'énergie d'un phénomène périodique particulier lié au cycle d'un composant tournant de la machine apparaissant dans une bande angulaire et dans une bande fréquentielle donnée.

De préférence, on compare les valeurs des indicateurs de surveillance courants à des seuils de détection de défauts préétablis en fonction de valeurs de référence des indicateurs de surveillance formant la signature vibratoire de référence.

Les seuils de détection de défauts sont préférentiellement fixés en pourcentage des valeurs de référence des indicateurs de surveillance.

Avantageusement, la constatation de la présence d'un défaut peut déclencher la transmission vers un terminal opérateur distant, par voie filaire ou non filaire, d'un message de détection de défaut.

Il est en outre proposé un programme d'ordinateur comportant des instructions pour exécuter le procédé décrit ci-dessus. Ce programme peut être implémenté dans un processeur embarqué dans une machine tournante, par exemple un microcontrôleur, un DSP (de l'anglais « Digital Signal Processor ») ou autre.

Il est encore proposé un dispositif de détection de défauts mécaniques dans une machine tournante à régime variable munie de composants tournants et non tournants dans laquelle chaque composant non tournant sollicité par un composant tournant de la machine est équipé d'un capteur de vibrations, ledit dispositif comprenant des moyens matériels et/ou logiciels agencés de façon à mettre en œuvre le procédé décrit ci-dessus.

Ce dispositif peut par exemple être intégré dans, ou comprendre, un ou plusieurs processeurs.

Il est en outre proposé une machine tournante à régime variable munie de composants tournants et non tournants, comprenant une pluralité de capteurs de vibrations équipant les différents composants non tournants de la machine

sollicités par des composants tournants de la machine et un dispositif de détection décrit ci-dessus.

D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après d'un mode de réalisation particulier de l'invention, donné à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la Figure 1 est un schéma d'un organigramme illustrant le fonctionnement du procédé selon l'invention ;

- la Figure 2 illustre un exemple de représentation de la répartition de l'énergie du signal suivant les deux axes angle de rotation – fréquence, suivant la représentation de Wigner-Ville synchrone ou spectrogramme synchrone

L'invention vise à réaliser la surveillance d'une machine tournante à régime variable, notamment mais non exclusivement une éolienne, par analyse des vibrations, en particulier pour la détection de plusieurs types de défauts mécaniques fréquemment recensés en relation avec les composants tournants de la machine, tels que les multiplicateurs, roulements, axes, etc., qui sont généralement la source des efforts anormaux appliqués aux composants non tournants et la cause de l'arrêt intempestif de la machine. On distingue notamment les efforts tournants, qui sont liés à la rotation d'un arbre et qui sont générés par exemple par un défaut balourd ou un désalignement. Ces efforts comprennent également les efforts de type directionnel, radial ou axial, liés à une contrainte sur un arbre, générés par exemple par l'engrènement dans un engrenage. Aussi, les mesures de vibration nécessitées pour mettre en œuvre la surveillance de la machine par analyse vibratoire, seront effectuées selon l'invention au droit des composants non tournants de la machine, tels que des paliers, qui sont les parties fixes de la machine les plus directement en relation avec les composants tournants de la machine. Typiquement, on équipe chacun de ces différents composants non tournants de la machine sollicités par les composants tournants d'un capteur de vibrations, par exemple de type accéléromètre piézoélectrique. Ce type de capteur est avantageusement utilisable sur de larges bandes fréquentielles et présente en outre une excellente linéarité dans sa bande passante.

Comme on le verra plus en détail par la suite, le procédé de détection selon l'invention repose sur une analyse des vibrations de la machine selon un

premier mode, dit mode d'apprentissage, durant lequel on constitue au fur et à mesure une signature vibratoire de référence pour chaque capteur de vibrations et pour chaque plage de vitesses pour la machine fonctionnant en mode sans défaut, et selon un deuxième mode, dit mode de surveillance, durant lequel on surveille le fonctionnement de la machine à partir d'une signature vibratoire courante générée par plage de vitesses pour chaque capteur de vibrations dans ce mode de surveillance de la machine. Conformément à l'invention, la surveillance de la machine repose sur une analyse de l'écart entre la signature vibratoire courante et la signature vibratoire de référence préétablie en mode d'apprentissage sans défaut. Pour mener à bien cette analyse, une étape préalable de configuration est nécessaire permettant de définir des paramètres de configuration ou règles de surveillance à appliquer pour l'acquisition des signaux de mesure provenant des capteurs de vibrations.

Pour ce faire, le dispositif pour la mise en œuvre du procédé de l'invention, qui intègre des moyens de traitement numérique de type microcontrôleur/processeur par exemple, est en communication filaire ou sans fil avec un terminal opérateur distant permettant de transmettre ces paramètres de configuration.

Comme illustré sur la figure 1, l'étape de configuration ET0 est mise en œuvre à chaque réception dans une étape CD0 d'une nouvelle configuration, utilisant les moyens de communication filaire ou sans fil. En particulier, les paramètres de configuration nécessaires au bon déroulement du procédé de détection comprennent un paramètre de définition de la périodicité des acquisitions des signaux de mesure provenant des capteurs de vibration équipant les différents composants non tournants de l'éolienne. Ce paramètre permet en particulier de définir la période minimale à respecter entre deux acquisitions. Cette périodicité est appliquée en mode d'apprentissage et en mode de surveillance.

Les paramètres de configuration comprennent également un paramètre de définition de plages de vitesse de fonctionnement de la machine, permettant de discriminer les signaux de mesure acquis selon les plages de vitesse configurées, ainsi qu'un paramètre définissant un écart autorisé dans chaque plage de vitesse configurée. On veillera ainsi à ce que les éventuelles

fluctuations de vitesse de fonctionnement demeurent dans les limites préalablement définies grâce à ce dernier paramètre durant toute la durée d'une phase d'acquisition des signaux de mesure.

Les paramètres de configuration comprennent également un paramètre de définition du nombre de cycles à acquérir, permettant de définir la longueur des signaux à acquérir.

Les paramètres de configuration comprennent également un paramètre de définition d'un nombre d'enregistrements (i.e. de fichiers contenant tous les signaux enregistrés) à collecter, permettant de définir le nombre des enregistrements à sauvegarder pour chaque plage de vitesse configurée en mode d'apprentissage. Ainsi, dans le mode d'apprentissage qui sera détaillé plus loin en référence aux étapes ETA1 à ETA3, l'ensemble des différents enregistrements collectés pour les différentes plages de vitesse sera sauvegardé de façon à constituer un gisement de données de référence, qui sera utilisé pour former les signatures vibratoires de référence.

Les paramètres de configuration comprennent encore un paramètre de définition de la valeur de la charge autorisée pour la machine, permettant de définir une marge autorisée de la charge de la machine au cours de l'acquisition des signaux de mesure. Comme on le verra plus en détail par la suite, ce paramètre est un paramètre utile pour valider l'acquisition des signaux de mesure.

En référence à la figure 1, suite à l'étape ET0 de configuration, une étape ET1 du procédé conforme à l'invention consiste à acquérir dans le domaine temporel, suivant les paramètres de configuration prédéterminés à l'étape ET0, les signaux de mesure provenant des capteurs de vibrations installés sur les différents composants non tournants de l'éolienne. On acquiert également, au cours de cette étape ET1, un signal de référence dit top tour, par exemple sous forme d'une pluralité d'impulsions par tour d'un codeur, représentatives d'une position angulaire absolue de l'arbre lent de l'éolienne. En variante, le signal de référence dit top tour peut aussi être fourni par un capteur de proximité sous la forme d'une seule impulsion de référence correspondant par exemple à la détection du passage d'une singularité de référence sur l'arbre rapide de l'éolienne (arbre de la génératrice électrique).

On acquiert également, au cours de cette étape ET1, un signal fournissant la charge instantanée de l'éolienne, par exemple la puissance générée par la génératrice électrique de l'éolienne. Pendant cette étape, la valeur de la vitesse instantanée de l'éolienne est calculée en temps réel afin de la vérifier en continu pendant les acquisitions.

La fréquence d'échantillonnage des signaux acquis est par exemple de l'ordre de quelques dizaines de KHz.

Puis, une étape de validation CD1 de l'acquisition des signaux de mesure est mise en œuvre, consistant à vérifier que l'acquisition des signaux de mesure est effectuée dans une plage de vitesse et à un niveau de charge de l'éolienne sensiblement constants. Plus précisément, à partir de la vitesse instantanée et du signal fournissant charge instantanée, on contrôle que, pendant la durée de l'acquisition des signaux de mesure, la fluctuation de la vitesse de fonctionnement de l'éolienne ne dépasse pas les limites fixées à l'étape de configuration pour chaque plage de vitesse préétablie, de même qu'on contrôle que l'éolienne fonctionne en régime stable (charge constante) à l'intérieur de la marge définie à l'étape de configuration.

Si les signaux de mesure acquis dans le domaine temporel à l'étape ET1 sont validées, autrement dit s'il a été validé à l'étape CD1 que la vitesse et la charge de l'éolienne sont restées sensiblement constantes (dans une des plages de vitesse prédéfinies) pendant la durée de l'acquisition des signaux de mesure, une étape ET2 de ré-échantillonnage des signaux de mesure dans le domaine angulaire est mise en œuvre. Ce ré-échantillonnage angulaire a posteriori consiste à ré-échantillonner les signaux de mesure acquis dans le domaine temporel selon une grille angulaire (pas angulaire constant) en utilisant l'information sur la position angulaire fournie par le signal de référence dit top tour pendant toute la durée de l'acquisition des signaux de mesure. Le ré-échantillonnage dans le domaine angulaire mis en œuvre à l'étape ET2 est avantageusement utilisé pour pallier les petites variations de vitesse de l'éolienne et permet de synchroniser les signaux de mesure par rapport aux fluctuations de vitesse et ainsi de renforcer la propriété périodique et cyclique des signaux de mesure (vibration). Dit autrement, la représentation des signaux de mesure dans le domaine angulaire permet de réduire le problème d'étalement des spectres et donc de mieux caractériser les signaux provenant

des phénomènes périodiques liés à un angle précis durant un cycle de fonctionnement d'un composant tournant de la machine.

Plus précisément, le ré-échantillonnage angulaire consiste à substituer à l'échantillonnage temporel d'un signal de mesure X(t) acquis dans le domaine temporel et donc fonction du temps t, l'échantillonnage d'un nouveau signal $x_a(\theta)$ fonction de l'angle θ. Cette opération est donc une transformation qui associe à une série d'échantillons $x(t_n)$ espacés d'une période constante d'échantillonnage temporelle $T_e$, une série d'échantillons $x_a(\theta_n)$ espacés d'une période constante d'échantillonnage angulaire $\Theta_e$. Pour que le ré-échantillonnage angulaire soit possible, il est nécessaire de connaître la loi de phase ou la loi de vitesse de la machine exprimant la variation de la position angulaire en fonction du temps. Cette information est avantageusement disponible à partir du signal de référence dit top tour.

Le principe de ré-échantillonnage angulaire repose alors sur les trois étapes consécutives suivantes :

- construction de la grille angulaire $\{\theta_n\}$ de ré-échantillonnage ;
- évaluation des instants temporels $t[\theta_n]$ correspondants ;
- évaluation des valeurs $x_a[\theta_n]$ du signal de mesure transformé dans le domaine angulaire.

On va maintenant décrire les étapes mises en œuvre exclusivement dans le mode d'apprentissage, permettant de former les signatures vibratoires référence pour chaque capteur de vibrations, par plage de vitesse de fonctionnement, pour l'éolienne fonctionnant sans défaut. Le système de surveillance est d'abord basculé en mode d'apprentissage au cours d'une étape CD2 et, lors d'une première étape ETA1 de sauvegarde des signaux de mesure en mode d'apprentissage, les différents signaux de mesure validés à l'étape ET1 et ré-échantillonnés dans le domaine angulaire à l'étape ET2 sont sauvegardés sur un support d'enregistrement dédié en étant classés par plage de vitesse, de manière à construire le gisement de données de référence pour les différentes plages de vitesse. Ainsi, selon les principes exposés plus haut en référence à l'étape de configuration, le gisement de données de référence contenant les différents enregistrements sauvegardés pour chaque plage de vitesse, se remplit au fur et à mesure selon la vitesse de fonctionnement de l'éolienne. A noter que la durée de remplissage du gisement de données de

référence augmente avec le nombre de plages de vitesse et le nombre d'enregistrements à collecter configurés. On vérifie dans une étape CD3 que le gisement de données de référence est rempli et lorsque c'est le cas, on met fin au mode d'apprentissage et une étape ETA2 de communication de la fin du mode d'apprentissage est mise en œuvre au cours de laquelle un message d'état de fin du mode d'apprentissage est transmis au terminal opérateur distant, en utilisant les moyens de communication filaire ou sans fil.

Puis, une étape ETA3 de formation des signatures vibratoires de référence pour chaque capteur de vibrations est mise en œuvre à partir des signaux collectés et sauvegardés dans le gisement de données de référence. Pour ce faire, pour chaque capteur de vibrations, les signaux de mesure collectés pour une même plage de vitesse et une même charge lors du mode d'apprentissage et ré-échantillonnés en angulaire sont traités de manière à présenter les signaux de mesure en fonction de l'angle de rotation dans un cycle d'un composant tournant de l'éolienne et de la fréquence. Ce traitement peut être réalisée par la représentation de Wigner-Ville synchrone ou par la transformation de spectrogramme synchrone en utilisant les signaux angulaires bruts ou cyclostationnaires à l'ordre 2, appelés aussi signaux résiduels (calculés à partir des signaux angulaires bruts auxquels on a retranché leurs moyennes synchrones). Une telle présentation des signaux de mesure d'une même plage de vitesse et pour une même charge conjointement suivant ces deux axes, respectivement l'angle de rotation et la fréquence, va permettre de calculer une répartition des niveaux d'énergie de chaque signal traité dans des bandes angulaires et fréquentielles données considérées en combinaison. Les valeurs obtenues de l'énergie dans une bande angulaire et une bande fréquentielle données d'un signal de mesure provenant d'un capteur de vibrations donné vont servir de valeurs de référence formant la signature vibratoire de référence pour ledit capteur de vibrations lorsque l'on passe en mode de surveillance de la machine.

Le mode de surveillance de la machine va maintenant être décrit en référence aux étapes ETS1 à ETS5 de la figure 1.

Ainsi, une fois les étapes ET0 à ET2 réalisées, lors d'une première étape ETS1 de sauvegarde des signaux de mesure en mode de surveillance, les différents signaux de mesure validés à l'étape ET1 et ré-échantillonnés dans le

domaine angulaire à l'étape ET2 sont sauvegardés sur un support d'enregistrement dédié sous un répertoire portant préférentiellement une information d'horodatage du lancement de la procédure de surveillance, en étant classés par plage de vitesse dans des sous-répertoires du répertoire principal.

Puis, pour chaque capteur de vibrations, une étape ETS2 de calcul de la répartition de l'énergie vibratoire des signaux d'une même plage de vitesse suivant les deux axes angle de rotation et fréquence est mise en œuvre. Plus précisément et comme évoqué précédemment en rapport avec l'étape de formation des signatures vibratoires de référence, on réalise une transformation des signaux de mesure ré-échantillonnés dans le domaine angulaire en fonction combinée de l'angle de rotation et de la fréquence par la transformation de Wigner-Ville synchrone ou par la transformation de spectrogramme synchrone, qui mesurent l'énergie vibratoire à une fréquence donnée et pour chaque instant angulaire dans le cycle machine. Il en résulte une représentation de la répartition de l'énergie dissipée par le signal de mesure provenant d'un capteur de vibration donné suivant les deux axes en angle et en fréquence. La figure 2 illustre un exemple d'une telle représentation de la répartition de l'énergie du signal suivant les deux axes angle de rotation – fréquence. cette représentation fournit donc une répartition des niveaux d'énergie des signaux de mesure d'une même plage de vitesses conjointement selon une fréquence donnée et pour chaque position angulaire du composant tournant. Grâce à cette représentation, il est possible de quantifier très précisément des énergies émises par des phénomènes physiques de natures différentes liés à l'angle de rotation du composant tournant de la machine, en fonction de leur signature angle/fréquence sur un cycle machine.

Pour ce faire, une étape ETS3 d'extraction d'indicateurs de surveillance est mise en œuvre. Un indicateur est défini comme la valeur de l'énergie dans une bande fréquentielle et une bande angulaire données d'un signal de mesure déterminé considérées en combinaison. Plus précisément, la réalisation de la matrice de Wigner-Ville synchrone ou la matrice provenant du spectrogramme synchrone va permettre d'extraire des paramètres scalaires relatifs au niveau d'énergie du signal dans des bandes fréquentielles et angulaires données considérées en combinaison. Chacun des ces paramètres scalaires, appelés

indicateurs de surveillance, permet ainsi de quantifier l'énergie d'un phénomène vibratoire particulier apparaissant dans une bande angulaire du cycle de la machine et dans une bande fréquentielle donnée. En outre, afin d'extraire des paramètres pertinents relatifs à des évènements physiques d'un composant de l'éolienne, il convient d'identifier les bandes angulaires qui correspondent à ces phénomènes physiques. Par exemple, si certains défauts sont susceptibles d'apparaître à tout moment (i.e. à tout angle) du cycle, la bande angulaire pour ces défauts est la plage totale du cycle. Selon l'exemple de la figure 2, un ensemble d'indicateurs de surveillance est extrait de la répartition des niveaux d'énergie, correspondant respectivement à différentes valeurs d'énergie pour des combinaisons distinctes de bandes angulaires et fréquentielles. La Figure 2 montre un exemple de définition de 24 paramètres de surveillances , respectivement P1 à P24. Ainsi, à titre d'exemple, l'indicateur de surveillance P16 correspond à la valeur de l'énergie dans la bande fréquentielle [10-15] kHz et la bande angulaire [160-210] degrés.

Suite à l'étape ETS3 d'extraction des indicateurs de surveillance, une étape ETS4 est mise en œuvre consistant à former la signature vibratoire courante pour chaque capteur de vibration, à la comparer avec la signature vibratoire de référence et à détecter un défaut en cas de divergence. Le calcul de la signature vibratoire courante comprend la détermination d'un vecteur des indicateurs courants dont les composantes sont constituées par les valeurs des indicateurs de surveillance extraits précédemment. Puis un calcul de détection de défaut est effectué en comparant les différentes valeurs des composantes du vecteur des indicateurs courants à des seuils de détection de défauts préalablement établis en fonction des valeurs de référence des indicateurs respectifs fournies par la signature vibratoire de référence formée pour le capteur de vibrations concerné dans la plage de vitesse et de charge correspondantes, et qui sont avantageusement définis dans les paramètres de configuration fournis à l'étape de configuration ET0.

Selon un mode de réalisation, on peut distinguer deux niveaux de seuils de détection de défauts, respectivement un niveau de seuils d'alertes et un niveau de seuils d'alarmes, par exemple en fonction d'un degré de priorité quant à la nécessité de prendre les dispositions nécessaires en maintenance pour la résolution du défaut détecté. On distingue ainsi des seuils d'alertes et

des seuils d'alarmes, qui sont chacun préférentiellement fixés en pourcentage des valeurs de référence des indicateurs formant la signature vibratoire de référence. Les valeurs de ces seuils sont par exemple fixées par un opérateur de la machine selon sa propre expertise, ou bien encore peuvent être fixées selon une information extraite d'une base de données acquise préalablement sur un même type d'éolienne. Ainsi, on définit deux vecteurs, respectivement de seuils d'alertes et de seuils d'alarmes représentant en termes de pourcentage les seuils de déclenchement des alertes et des alarmes pour tous les indicateurs. En comparant les différents valeurs des composantes du vecteur des indicateurs courants aux seuils de détection respectifs préalablement établis dans les deux vecteurs de seuils d'alertes et de seuils d'alarmes, on peut calculer deux vecteurs de détection d'alertes et d'alarmes, à composantes binaires, reflétant la détection ou non d'un défaut et plus précisément l'apparition ou non d'une alerte ou d'une alarme sur un indicateur. Ainsi, la valeur permise pour chaque composante du vecteur de détection d'alertes, respectivement du vecteur de détection d'alarmes, est la valeur binaire 0 ou 1 selon que la composante correspondante du vecteur des indicateurs courants dépasse ou non le seuil correspondant contenu dans le vecteur de seuils d'alertes, respectivement le vecteur de seuil d'alarmes.

Une fois les calculs des vecteurs de détection d'alertes et d'alarmes effectués, une étape ETS5 est mise en œuvre consistant à communiquer le résultat de la détection de défauts au terminal opérateur distant en utilisant les moyens de communication filaires ou sans fil. Deux cas peuvent se présenter en fonction de la présence ou non d'alertes et/ou d'alarmes vérifiée dans une étape CD4. Le premier cas correspond à une situation de détection où les deux vecteurs de détection d'alertes et d'alarmes sont identiquement nuls. Dans ce cas, la machine est saine et aucune détection de défaut n'est relevée. Le processus de surveillance de la machine peut reprendre en rebouclant sur les étapes ET1 et suivantes en mode de surveillance, éventuellement précédées d'une étape de configuration en cas de réception d'une nouvelle configuration.

Dans un deuxième cas, au moins une des composantes des vecteurs de détection d'alertes et/ou d'alarmes est égale à un, indiquant la présence d'une alerte et/ou d'une alarme sur les indicateurs correspondants. Dans ce cas, on lève une alerte et/ou une alarme pour le ou les indicateurs concernés, qui sera

communiquée au terminal opérateur distant. A l'issue de cette étape, on reboucle également en mode de surveillance de la machine.

# REVENDICATIONS

1. Procédé de détection de défauts mécaniques dans une machine tournante à régime variable munie de composants tournants et non tournants, dans lequel on fournit des capteurs de vibrations installés respectivement sur chaque composant non tournant de la machine sollicité par un composant tournant de la machine, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'on acquiert (ET1) des signaux de mesure provenant de chaque capteur de vibrations pendant un nombre paramétré de cycles de fonctionnement d'un composant tournant de la machine, on classe les signaux de mesure acquis pour chaque capteur de vibrations par plage de vitesses de rotation du composant tournant suivant une pluralité de plages de vitesses de rotation préétablies, on détermine (ETS2), pour chaque capteur de vibrations, une répartition de niveaux d'énergie des signaux de mesure d'une même plage de vitesses conjointement selon une fréquence donnée et pour chaque position angulaire du composant tournant à partir d'une représentation des signaux de mesure d'une même plage de vitesses en fonction combinée de la fréquence et de l'angle de rotation du cycle du composant tournant, on extrait de la répartition des niveaux d'énergie conjointement selon la fréquence et la position angulaire une pluralité d'indicateurs de surveillance correspondant aux niveaux d'énergie dissipés dans des bandes angulaires et fréquentielles données considérées en combinaison, on génère (ETS3) une signature vibratoire courante par plage de vitesses pour chaque capteur de vibrations à partir des valeurs courantes des indicateurs de surveillance, on compare (ETS4) la signature vibratoire courante pour une plage de vitesses donnée et un capteur de vibrations donné à une signature vibratoire de référence établie pour chaque capteur de vibrations dans un mode sans défaut de la machine tournante, et on constate (ETS5) la présence d'un défaut si la signature vibratoire courante générée pour un capteur de vibrations donné diffère de la signature vibratoire de référence.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de validation (CD1) de l'acquisition des signaux de mesure consistant à vérifier que les signaux de mesure sont acquis à une vitesse sensiblement constante dans chaque plage de vitesse préétablie et à un niveau de charge de la machine sensiblement constant.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'acquisition des signaux de mesure provenant des capteurs de vibrations est effectuée selon un échantillonnage temporel et en ce qu'on ré-échantillonne (ET2) les signaux de mesure dans le domaine angulaire en utilisant une information de position angulaire fournie par un signal de référence top tour pendant toute la durée d'acquisition des signaux de mesure, et en ce qu'on applique une transformation angle-fréquence aux signaux ré-échantillonnés en angulaire pour obtenir la représentation des signaux en fonction de la fréquence et de l'angle de rotation.
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le ré-échantillonnage d'un signal de mesure dans le domaine angulaire comprend la construction d'une grille angulaire de ré-échantillonnage, une évaluation des instants temporels correspondant à la grille angulaire de ré-échantillonnage et une détermination des valeurs du signal ré-échantillonné en angulaire à partir des valeurs d'échantillonnage temporel du signal de mesure en utilisant la grille angulaire de ré-échantillonnage.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que la transformation angle-fréquence appliquée aux signaux ré-échantillonnés en angulaire pour obtenir la représentation des signaux en fonction de la fréquence et de l'angle de rotation est réalisée par la transformation de Wigner-Ville synchrone.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que la transformation angle-fréquence appliquée aux signaux ré-échantillonnés en angulaire pour obtenir la représentation des signaux en fonction de la fréquence et de l'angle de rotation est réalisée par la transformation de spectrogramme synchrone.

7. Procédé selon la revendication l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'on compare les valeurs des indicateurs de surveillance courants à des seuils de détection de défauts préétablis en fonction de valeurs de référence des indicateurs de surveillance formant la signature vibratoire de référence.
8. Dispositif de détection de défauts mécaniques dans une machine tournante à régime variable munie de composants tournants et non tournants dans laquelle chaque composant non tournant sollicité par un composant tournant de la machine est équipé d'un capteur de vibrations, ledit dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens matériels et/ou logiciels pour mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.
9. Machine tournante à régime variable munie de composants tournants et non tournants, comprenant une pluralité de capteurs de vibrations équipant les différents composants non tournants de la machine sollicités par des composants tournants de la machine et un dispositif de détection selon la revendication 8.

Fig.1

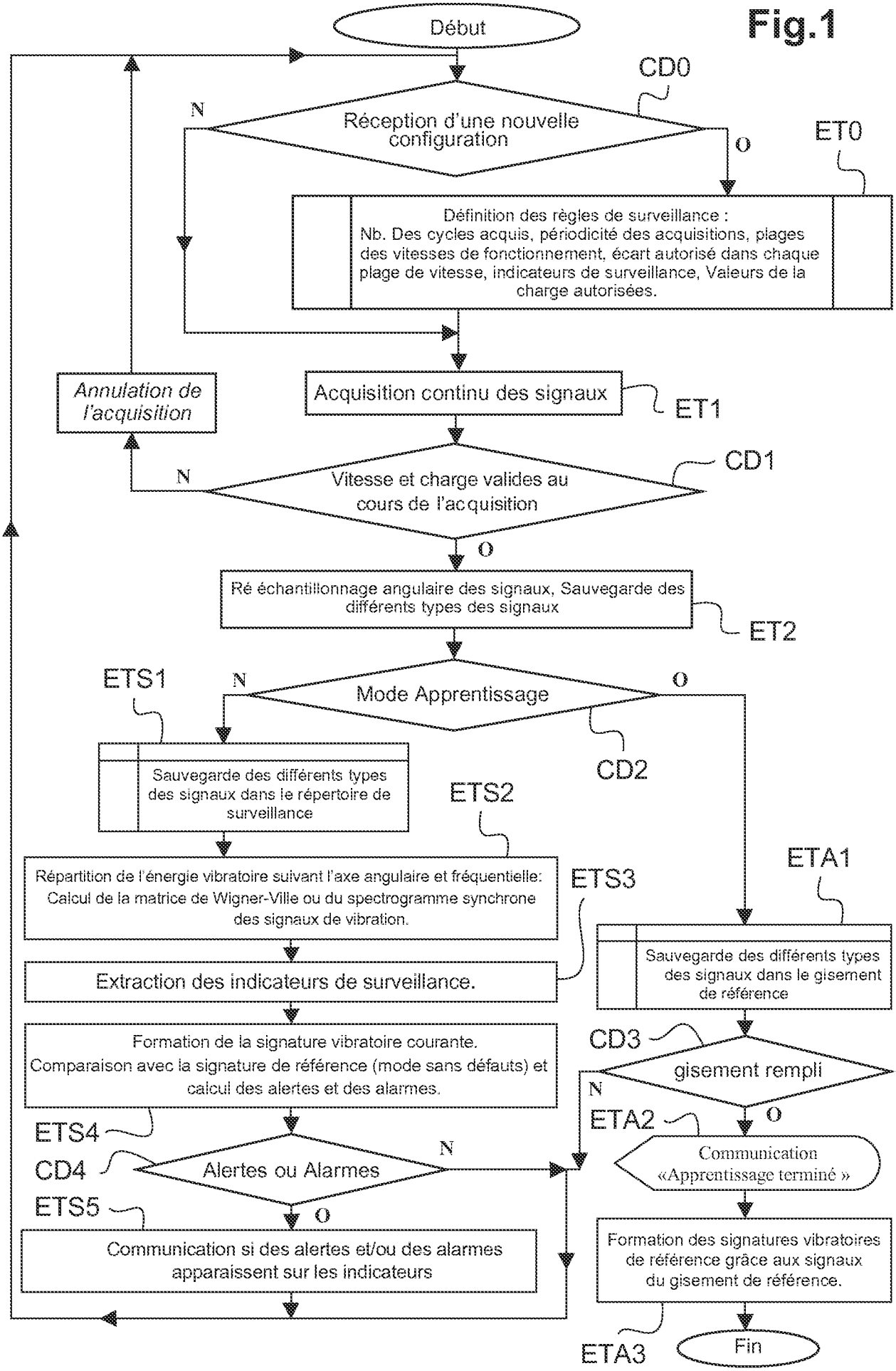
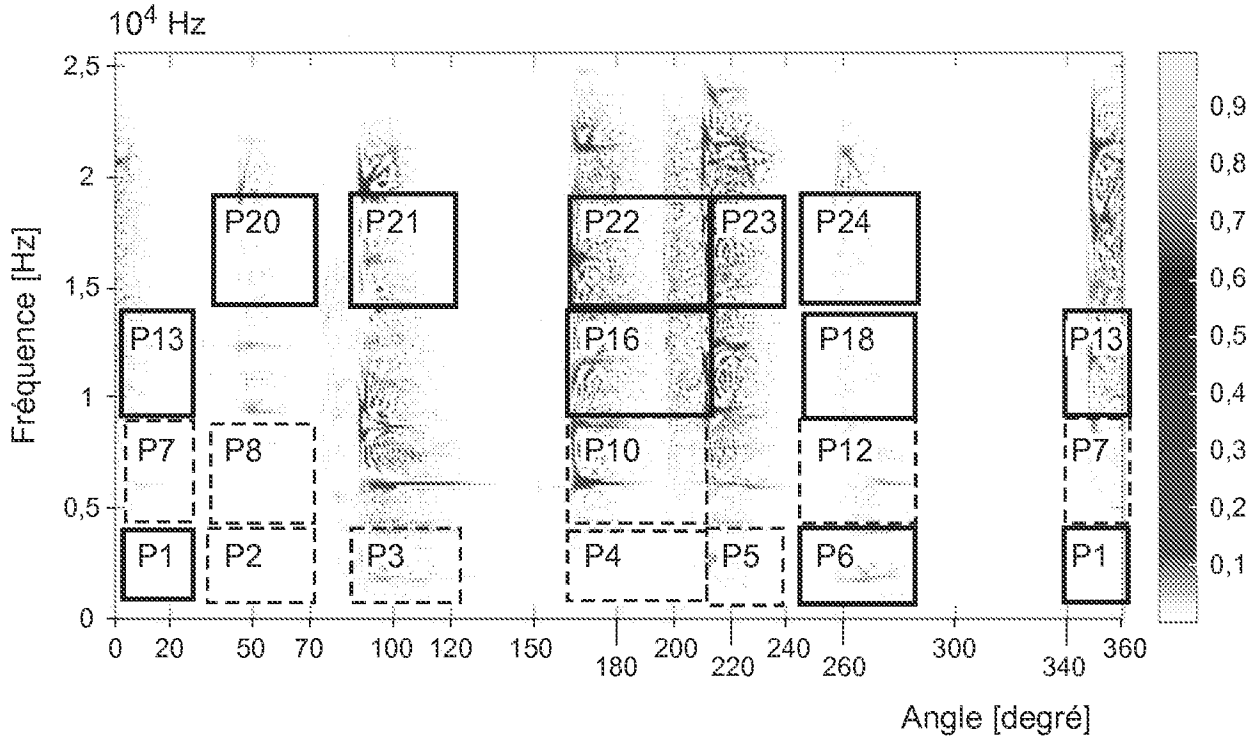

Début
CD0
Réception d'une nouvelle configuration
N
O
ET0
Définition des règles de surveillance : Nb. Des cycles acquis, périodicité des acquisitions, plages des vitesses de fonctionnement, écart autorisé dans chaque plage de vitesse, indicateurs de surveillance, Valeurs de la charge autorisées.
Annulation de l'acquisition
Acquisition continu des signaux
ET1
CD1
Vitesse et charge valides au cours de l'acquisition
N
O
Ré échantillonnage angulaire des signaux, Sauvegarde des différents types des signaux
ET2
ETS1
Mode Apprentissage
N
O
CD2
Sauvegarde des différents types des signaux dans le répertoire de surveillance
ETS2
Répartition de l'énergie vibratoire suivant l'axe angulaire et fréquentielle: Calcul de la matrice de Wigner-Ville ou du spectrogramme synchrone des signaux de vibration.
ETS3
Extraction des indicateurs de surveillance.
Formation de la signature vibratoire courante. Comparaison avec la signature de référence (mode sans défauts) et calcul des alertes et des alarmes.
ETS4
CD4
Alertes ou Alarmes
N
O
ETS5
Communication si des alertes et/ou des alarmes apparaissent sur les indicateurs
ETA1
Sauvegarde des différents types des signaux dans le gisement de référence
CD3
gisement rempli
N
O
ETA2
Communication «Apprentissage terminé »
Formation des signatures vibratoires de référence grâce aux signaux du gisement de référence.
ETA3
Fin

Fig.2


$10^4$ Hz
Fréquence [Hz]
2,5
2
1,5
1
0,5
0
0 20 50 70 100 120 150 180 200 220 240 260 300 340 360
Angle [degré]
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
P20
P21
P22
P23
P24
P13
P16
P18
P13
P7
P8
P10
P12
P7
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2014/053167

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01M13/04 G01H1/00
ADD.

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)
G01M G01H

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. |
|---|---|---|
| X | WO 2004/059399 A2 (RSL ELECTRONICS LTD [IL]; KLEIN RENATA [IL])<br>15 July 2004 (2004-07-15) | 1,2,4-9 |
| Y | résumé<br>figures 4-7<br>page 1, lines 1-9<br>page 4, line 5 - page 6, line 10<br>page 7, line 21 - page 18, line 10<br>page 19, line 20 - page 25, line 10<br>page 27, lines 14-16<br>page 28, lines 9-14<br>page 29, lines 9-21<br>page 30, line 23 - page 31, line 1<br>page 31, line 21 - page 32, line 10<br>page 33, lines 15-19<br>page 34, lines 19-20<br>page 8, lines 3-4<br>page 39, lines 10-14<br>page 40, lines 4-23 | 3 |

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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 | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| 22 April 2015 | 08/05/2015 |

| Name and mailing address of the ISA/ | Authorized officer |
|---|---|
| European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Schambach, Philip |

2

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| | page 44, line 22 - page 53, line 10<br>----- | |
| Y | Georges Ishak ET AL: "Analysis of vibration signals using cyclostationary indicators",<br>,<br>28 October 2013 (2013-10-28), XP055183358,<br>Retrieved from the Internet:<br>URL:http://surveillance7.sciencesconf.org/conference/surveillance7/07_analysis_of_vibration_signals_using_cyclostationary_indicators.pdf<br>[retrieved on 2015-04-15]<br>page 1, lines 6-11<br>page 3, line 19 - page 4, line 16<br>----- | 3 |

2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2014/053167

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---|---|---|
| WO 2004059399 A2 | 15-07-2004 | AU 2003288519 A1 | 22-07-2004 |
| | | CA 2512383 A1 | 15-07-2004 |
| | | EP 1581839 A2 | 05-10-2005 |
| | | US 2005096873 A1 | 05-05-2005 |
| | | WO 2004059399 A2 | 15-07-2004 |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2014/053167

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G01M13/04 G01H1/00
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)
G01M G01H

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 |
|---|---|---|
| X | WO 2004/059399 A2 (RSL ELECTRONICS LTD [IL]; KLEIN RENATA [IL])<br>15 juillet 2004 (2004-07-15) | 1,2,4-9 |
| Y | résumé<br>figures 4-7<br>page 1, ligne 1-9<br>page 4, ligne 5 - page 6, ligne 10<br>page 7, ligne 21 - page 18, ligne 10<br>page 19, ligne 20 - page 25, ligne 10<br>page 27, ligne 14-16<br>page 28, ligne 9-14<br>page 29, ligne 9-21<br>page 30, ligne 23 - page 31, ligne 1<br>page 31, ligne 21 - page 32, ligne 10<br>page 33, ligne 15-19<br>page 34, ligne 19-20<br>page 8, ligne 3-4<br>page 39, ligne 10-14<br>page 40, ligne 4-23 | 3 |

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] 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 |
|---|---|
| 22 avril 2015 | 08/05/2015 |

| Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale | Fonctionnaire autorisé |
|---|---|
| Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Schambach, Philip |

2

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

| Catégorie* | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées |
|---|---|---|
| | page 44, ligne 22 - page 53, ligne 10<br>----- | |
| Y | Georges Ishak ET AL: "Analysis of vibration signals using cyclostationary indicators",<br>,<br>28 octobre 2013 (2013-10-28), XP055183358,<br>Extrait de l'Internet:<br>URL:http://surveillance7.sciencesconf.org/conference/surveillance7/07_analysis_of_vibration_signals_using_cyclostationary_indicators.pdf<br>[extrait le 2015-04-15]<br>page 1, ligne 6-11<br>page 3, ligne 19 - page 4, ligne 16<br>----- | 3 |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

**Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets**

**Demande internationale n°**
PCT/FR2014/053167

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|---|---|---|---|
| WO 2004059399 A2 | 15-07-2004 | AU 2003288519 A1 | 22-07-2004 |
| | | CA 2512383 A1 | 15-07-2004 |
| | | EP 1581839 A2 | 05-10-2005 |
| | | US 2005096873 A1 | 05-05-2005 |
| | | WO 2004059399 A2 | 15-07-2004 |