

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 944 875

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

②1 N° d'enregistrement national :

09 01988

⑤1 Int Cl⁸ : G 01 P 3/42 (2006.01), G 01 D 1/14, 5/12, G 01 M 17/00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 23.04.09.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 29.10.10 Bulletin 10/43.

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 :

⑦1 Demandeur(s) : S.N.R. ROULEMENTS Société anonyme — FR.

⑦2 Inventeur(s) : DESBIOLLES PASCAL, ELBADAoui MOHAMED, MUSY OLIVIER et REMOND DIDIER.

⑦3 Titulaire(s) : S.N.R. ROULEMENTS Société anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : STRATO-IP.

⑤4 PROCÉDE DE DETECTION D'UN DEF AUT STRUCTUREL D'UN ENSEMBLE MECANIQUE COMPRENANT UN ORGANE TOURNANT.

⑤7 L'invention concerne un procédé de détection d'un défaut structurel d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant, ledit procédé prévoyant une analyse préalable d'identification d'une fréquence caractéristique de l'apparition du défaut sur un tour de rotation dudit organe, et les étapes itératives de:

- mesure de la vitesse instantanée de rotation de l'organe tournant;
- échantillonnage angulaire de ladite mesure pour obtenir un signal échantillonné qui est représentatif de la vitesse instantanée de rotation de l'organe;
- analyse harmonique spatiale du signal échantillonné pour obtenir un spectre de la vitesse instantanée de rotation de l'organe;
- surveillance de l'amplitude du spectre pour la fréquence caractéristique de sorte, en fonction de ladite amplitude, à en déduire l'apparition du défaut correspondant.

FR 2 944 875 - A1



L'invention concerne un procédé de détection d'un défaut structurel d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant ainsi que l'application d'un tel procédé au diagnostic embarqué de l'état d'usure d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant pour un véhicule automobile.

5

En particulier, l'invention peut être mise en œuvre pour la détection d'un défaut structurel de l'organe tournant d'un palier, notamment de la bague tournante d'un roulement, de guidage en rotation d'un ensemble mécanique. En variante, l'invention peut être mise en œuvre pour la détection d'un défaut structurel d'un

10 autre organe, y compris fixe, d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant.

15

Par exemple, l'ensemble mécanique peut appartenir à une boîte de vitesses, un motoréducteur, un variateur de vitesse, un autodémarrreur, une turbine, un réacteur, une transmission, un embrayage, une broche ou un support de broche d'usinage.

20

La mise en œuvre d'un procédé de détection d'un défaut structurel permet à l'organe tournant de remplir également une fonction de collecte d'informations, afin notamment de pouvoir assurer :

25

- un diagnostic ou une surveillance embarqué de pièces mécaniques, notamment d'usure, d'un véhicule automobile, par exemple une surveillance d'un vilebrequin, un diagnostic d'un roulement ou d'un engrenage de distribution ;
- une mise au point d'un prototype d'un système dynamique en rotation, par exemple d'un alterno-démarrreur ;
- une surveillance d'un parc de machines, par exemple de broches de machine outils, de réducteurs, de transmission d'éoliennes.

30

Pour détecter un défaut structurel, on réalise classiquement une analyse vibratoire de l'ensemble mécanique en exploitant des signaux délivrés par des accéléromètres. Toutefois, cette réalisation nécessite d'ajouter des

accéléromètres qui, outre leur coût, présentent des contraintes importantes d'intégration dans l'ensemble mécanique comprenant un organe tournant.

5 L'invention vise à perfectionner l'art antérieur en proposant notamment un procédé de détection d'un défaut structurel d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant qui ne nécessite pas de moyens de mesure
difficilement implantables, ledit procédé étant particulièrement simple et fiable dans sa mise en œuvre, notamment en étant indépendant de la vitesse de rotation de l'organe tournant ainsi que des sollicitations extérieures subies par
10 ledit ensemble.

A cet effet, et selon un premier aspect, l'invention propose un procédé de détection d'un défaut structurel d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant, ledit procédé prévoyant une analyse préalable d'identification
15 d'une fréquence caractéristique de l'apparition du défaut sur un tour de rotation dudit organe, et les étapes itératives de :

- mesure de la vitesse instantanée de rotation de l'organe tournant ;
- échantillonnage angulaire de ladite mesure pour obtenir un signal échantillonné qui est représentatif de la vitesse instantanée de rotation
20 de l'organe ;
- analyse harmonique spatiale du signal échantillonné pour obtenir un spectre de la vitesse instantanée de rotation de l'organe ;
- surveillance de l'amplitude du spectre pour la fréquence caractéristique de sorte, en fonction de ladite amplitude, à en déduire l'apparition du
25 défaut correspondant.

Selon un deuxième aspect, l'invention propose une application d'un tel procédé au diagnostic embarqué de l'état d'usure d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant pour un véhicule automobile

30

D'autres objets et avantages de l'invention apparaîtront dans la description qui suit, faite en référence à la figure annexée qui représente un principe

d'obtention d'un signal échantillonné représentatif de la vitesse instantanée de rotation d'un organe tournant.

5 On décrit ci-dessous un procédé de détection d'un défaut structurel d'un ensemble mécanique comprenant un palier à roulement formé d'un organe tournant, d'un organe fixe et d'au moins une rangée de corps roulants disposée entre lesdits organes pour permettre leur rotation relative. En outre, la description est faite en relation avec un palier de guidage en rotation d'un ensemble mécanique qui est embarqué dans un véhicule automobile,
10 notamment un roulement de guidage en rotation d'un arbre de boîte de vitesses.

Toutefois, l'invention peut s'appliquer à la détection d'un défaut structurel d'un autre type d'ensemble mécanique comprenant un organe tournant et/ou dans
15 une autre application, par exemple une application statique comme dans une machine outil portant un organe tournant.

En particulier, le défaut structurel à détecter peut apparaître du fait des contraintes mécaniques induites par la rotation de l'organe tournant. Ainsi, le
20 procédé permet de diagnostiquer un état d'usure de l'ensemble mécanique pour, en assurant une maintenance prédictive, éviter une défaillance dudit ensemble.

Par exemple, dans le cas d'un palier à roulement, le défaut structurel peut être
25 un écaillage de la piste de roulement de l'organe fixe, de l'organe tournant et/ou des corps roulants. Dans le cas d'un ensemble mécanique comprenant un arbre tournant, notamment de transmission, d'une boîte de vitesses ou moteur, le défaut structurel peut être formé sur une dent d'engrenage dudit arbre.

30 Le procédé prévoit une analyse préalable d'identification d'une fréquence caractéristique de l'apparition d'un défaut structurel sur un tour de rotation de l'organe tournant. En particulier, l'analyse peut être réalisée par étude géométrique de l'ensemble mécanique, en particulier à partir des relations

cinématiques entre les différents composants mécaniques dudit ensemble, de sorte à localiser une fréquence identifiant chacun des défauts structuraux susceptibles de se produire.

5 Dans l'exemple d'un palier à roulement, l'identification de la fréquence caractéristique d'un défaut peut être réalisée par calcul de la fréquence de passage d'un corps roulant sur ledit défaut. Ainsi, la fréquence caractéristique peut correspondre à une estimation du nombre de fois par tour qu'un corps roulant passe sur le défaut.

10

Après l'identification des fréquences caractéristiques de défauts structuraux qui sont susceptibles de se produire, le procédé prévoit des étapes itératives de détection du défaut correspondant à l'une de ces fréquences caractéristiques. En variante, le procédé peut être mis en œuvre pour détecter chacun des

15 défauts susceptibles de se produire.

Le procédé prévoit la mesure de la vitesse instantanée de rotation de l'organe tournant, ladite mesure pouvant être réalisée sur l'organe tournant à surveiller ou sur un autre organe tournant qui lui est associé dans l'ensemble mécanique.

20

En particulier, la mesure de la vitesse instantanée peut être réalisée au moyen d'un ensemble codeur – capteur. Le codeur est solidaire en rotation de l'organe tournant et peut être de type magnétique en comprenant une piste multipolaire qui présente une succession alternée de pôles magnétiques Nord et Sud dont

25 la géométrie est identique.

En particulier, le codeur peut être fixé sur l'organe tournant ou sur un composant tournant lié en rotation audit organe tournant. Dans l'exemple d'un palier à roulement, le codeur peut être fixé à l'organe tournant pour détecter un

30 défaut structurel sur ledit palier, ou pour détecter un défaut structurel sur l'ensemble tournant qui est guidé en rotation par ledit palier.

Le capteur est fixe et comprend au moins deux éléments sensibles qui sont disposés en regard et à distance de lecture de la piste multipolaire. Dans un exemple de réalisation, les éléments sensibles sont des sondes à effet Hall, des magnétorésistances ou des magnétorésistances géantes. En particulier, le

5 capteur peut comprendre une pluralité d'éléments sensibles alignés tel que décrit dans le document FR-2 792 403.

En relation avec la figure 1, on décrit un capteur agencé pour délivrer un signal S comprenant des fronts S_f qui sont espacés d'un pas angulaire constant. En

10 particulier, le signal S délivré par le capteur peut être interpolé de sorte que le pas angulaire séparant les fronts S_f soit inférieur à l'écart angulaire entre les pôles magnétiques.

Le procédé prévoit en outre un échantillonnage angulaire de la mesure de la

15 vitesse instantanée de rotation pour obtenir un signal échantillonné qui est représentatif de ladite vitesse. Dans le mode de réalisation représenté, on mesure le temps écoulé entre deux fronts S_f , notamment au moyen d'une carte de comptage qui est couplée au capteur.

En particulier, la mesure du temps peut être effectuée en comptant le nombre

20 d'impulsions N_i d'une horloge haute fréquence f qui séparent deux fronts montants S_f du signal mesuré S, ce qui correspond à un pas angulaire fixé par le nombre de fronts N_f dudit. Ainsi, le signal échantillonné donne le temps écoulé entre chaque front S_f du signal mesuré S de sorte à connaître la vitesse

25 instantanée réelle ω de rotation avec la relation :
$$\omega = \frac{Angle}{Temps} = \frac{2\pi f}{N_f N_i}$$

Dans un exemple de réalisation, le nombre de fronts N_f du signal mesuré S est égal à 2400 par tour, lesdits fronts étant obtenus avec un codeur possédant 60

30 paires de pôles et une interpolation de 40. En outre, la fréquence f de l'horloge haute fréquence est de 100 MHz.

La vitesse instantanée de rotation étant échantillonnée, le procédé prévoit de réaliser une analyse harmonique du signal échantillonné pour obtenir un spectre de la vitesse instantanée de rotation de l'organe. Selon une réalisation, l'analyse harmonique spatiale est réalisée par transformée de Fourier spatiale (FFT) du signal échantillonné.

En relation avec la figure 1, la transformée de Fourier spatiale peut être réalisée sur la mesure du temps écoulé entre chaque front montant S_f . En outre, la mesure de la vitesse instantanée de rotation de l'organe tournant ou du temps écoulé entre chaque front peut être réalisée sur plusieurs tours, par exemple une trentaine de tours, l'analyse harmonique étant alors réalisée sur ce signal échantillonné angulairement de sorte à limiter l'influence des fluctuations de vitesse de rotation de l'organe tournant.

Ensuite, le procédé prévoit une surveillance de l'amplitude du spectre pour la fréquence caractéristique de sorte, en fonction de ladite amplitude, à en déduire l'apparition du défaut correspondant. En variante, plusieurs fréquences caractéristiques peuvent être surveillées de sorte à en déduire l'apparition des défauts identifiées par chacune de ces fréquences.

En particulier, la position fréquentielle des raies du spectre est indépendante de la vitesse de rotation de l'organe tournant puisqu'il s'agit d'événements liés à l'organe tournant et non à des sollicitations extérieures. En effet, le signal est échantillonné angulairement de sorte que l'acquisition des signaux s'affranchit intrinsèquement des fluctuations de vitesse afin de pouvoir comparer de manière exacte les niveaux des différentes fréquences pour différentes conditions de vitesse.

Cette surveillance peut être réalisée dans une fenêtre comprenant la fréquence caractéristique et/ou au moins un harmonique de cette fréquence. En particulier, lorsque plusieurs défauts doivent être détectés chacun au moyen d'une fréquence caractéristique, les fréquences surveillées doivent être différentes pour pouvoir discriminer chacun des défauts.

L'apparition du défaut peut être détectée pour une valeur de l'amplitude du spectre qui est supérieure à un seuil. En outre, on peut prévoir une quantification du défaut en fonction de l'amplitude et/ou de la forme du spectre pour la fréquence caractéristique.

Selon une réalisation, le procédé prévoit en outre une détermination préalable de la signature propre au codeur, ladite signature étant soustraite du signal de la vitesse instantanée pour réaliser la surveillance de l'amplitude sur le spectre obtenu. En effet, la technologie du codeur magnétique induit un bruit spectral pour tous les ordres entiers, cette signature étant également fonction de l'intégration du codeur sur l'organe tournant. Ce filtrage des fréquences aux ordres entiers est particulièrement utile dans le cas où la fréquence à surveiller est un multiple de vitesse de rotation.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de détection d'un défaut structurel d'un ensemble mécanique
5 comprenant un organe tournant, ledit procédé prévoyant une analyse préalable
d'identification d'une fréquence caractéristique de l'apparition du défaut sur un
tour de rotation dudit organe, et les étapes itératives de :
- mesure de la vitesse instantanée de rotation de l'organe tournant ;
 - échantillonnage angulaire de ladite mesure pour obtenir un signal
10 échantillonné qui est représentatif de la vitesse instantanée de rotation
de l'organe ;
 - analyse harmonique spatiale du signal échantillonné pour obtenir un
spectre de la vitesse instantanée de rotation de l'organe ;
 - surveillance de l'amplitude du spectre pour la fréquence caractéristique
15 de sorte, en fonction de ladite amplitude, à en déduire l'apparition du
défaut correspondant.
2. Procédé de détection selon la revendication 1, caractérisé en ce que
l'analyse harmonique spatiale est réalisée par transformée de Fourier spatiale
20 du signal échantillonné.
3. Procédé de détection selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la
mesure de la vitesse est réalisée au moyen :
- d'un codeur solidaire en rotation de l'organe tournant, ledit codeur
25 comprenant une piste multipolaire ;
 - d'un capteur fixe comprenant au moins deux éléments sensibles qui sont
disposés en regard et à distance de lecture de la piste multipolaire, ledit
capteur étant agencé pour délivrer un signal (S) comprenant des fronts
(S_f) espacés d'un pas angulaire constant.
- 30
4. Procédé de détection selon la revendication 3, caractérisé en ce que la
piste multipolaire présente une succession alternée de pôles magnétiques Nord
et Sud.

5. Procédé de détection selon la revendication 4, caractérisé en ce que le pas angulaire séparant les fronts (S_f) est inférieur à l'écart angulaire entre les pôles.
- 5 6. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce qu'il prévoit en outre la mesure du temps écoulé entre deux fronts (S_f), le signal échantillonné donnant le temps écoulé entre chaque front (S_f) du signal mesuré (S) de sorte à connaître la vitesse instantanée de rotation.
- 10 7. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisé en ce qu'il prévoit une détermination préalable de la signature propre au codeur, ladite signature étant soustraite du signal de la vitesse instantanée pour réaliser la surveillance de l'amplitude sur le spectre obtenu.
- 15 8. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la vitesse instantanée de rotation de l'organe tournant est mesurée sur plusieurs tours, l'analyse harmonique étant réalisée sur ce signal échantillonné angulairement.
- 20 9. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'identification de la fréquence caractéristique est réalisée par étude géométrique de l'ensemble mécanique.
- 25 10. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'apparition du défaut est détectée pour une valeur de l'amplitude du spectre qui est supérieure à un seuil.
- 30 11. Procédé de détection selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend une quantification du défaut en fonction de l'amplitude et/ou de la forme du spectre pour la fréquence caractéristique.

12. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que la surveillance est réalisée à la fréquence caractéristique et/ou à au moins un harmonique de cette fréquence.
- 5 13. Application d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12 au diagnostic embarqué de l'état d'usure d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant pour un véhicule automobile.

1/1

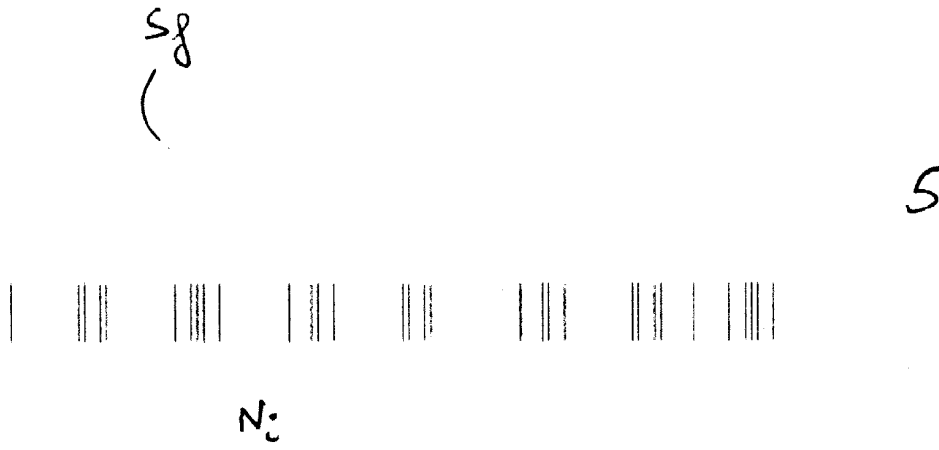


Figure 1



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 720563
FR 0901988

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	FR 2 872 905 A (SNR ROULEMENTS SA [FR]) 13 janvier 2006 (2006-01-13)	1-6,8-13	G01P3/42 G01D1/14 G01D5/12 G01M17/00
Y	* page 4.8.9; figures 3,4 *	7	
X	FR 2 814 238 A (DUFURNIER TECHNOLOGIES S A S [FR]) 22 mars 2002 (2002-03-22) * page 2, ligne 9 - ligne 15; revendications 1-3 *	1	
Y	US 2005/171723 A1 (KOEBE ANDREAS [DE] ET AL) 4 août 2005 (2005-08-04) * alinéas [0053] - [0055] *	7	
A	US 2002/139191 A1 (HEDEEN ROBERT A [US] ET AL) 3 octobre 2002 (2002-10-03) * abrégé *	1-13	
A	FR 1 605 154 A (KRENTS ET AL) 23 mars 1973 (1973-03-23) * revendications 1,2 *	1-13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01M F16C G01H B60C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 octobre 2009		Debesset, Sébastien	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0901988 FA 720563**

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 19-10-2009

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
FR 2872905	A	13-01-2006	AT 442967 T	15-10-2009
			CN 101010209 A	01-08-2007
			EP 1789267 A1	30-05-2007
			WO 2006013278 A1	09-02-2006
			JP 2008506097 T	28-02-2008
			US 2008033689 A1	07-02-2008

FR 2814238	A	22-03-2002	EP 1327131 A1	16-07-2003
			WO 0223152 A1	21-03-2002
			US 2004196149 A1	07-10-2004
			US 2008001728 A1	03-01-2008

US 2005171723	A1	04-08-2005	CN 1910062 A	07-02-2007
			EP 1708897 A2	11-10-2006
			WO 2005072994 A2	11-08-2005
			JP 2005214983 A	11-08-2005
			JP 2007519912 T	19-07-2007
			KR 20070038946 A	11-04-2007

US 2002139191	A1	03-10-2002	MX PA02003238 A	12-08-2004

FR 1605154	A	23-03-1973	DE 1648542 A1	27-01-1972
			GB 1158735 A	16-07-1969
