

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE DE DETECTION D'UN DEPLACEMENT TANGENTIEL D'UN ENSEMBLE MECA-
NIQUE COMPRENANT UN ORGANE TOURNANT.

②② Date de dépôt : 12.02.16.

③③ Priorité :

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : NTN-SNR ROULEMENTS — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 18.08.17 Bulletin 17/33.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 23.03.18 Bulletin 18/12.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : HATAKEYAMA WATARU et LE GOFF
ALEXIS.

⑦③ Titulaire(s) : NTN-SNR ROULEMENTS.

⑦④ Mandataire(s) : STRATO-IP Société à responsabilité
limitée.



L'invention concerne un procédé de détection d'un déplacement tangentiel d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant ainsi que l'application d'un tel procédé au diagnostic embarqué d'une défaillance d'un ensemble mécanique qui correspond au déplacement tangentiel détecté.

5

En particulier, l'invention peut être mise en œuvre pour le diagnostic d'une défaillance de l'organe tournant d'un palier, notamment de la bague tournante ou fixe d'un roulement, de guidage en rotation d'un ensemble mécanique. En variante, l'invention peut être mise en œuvre pour diagnostiquer la défaillance d'un autre organe, y compris fixe, d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant.

10

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.

15

On connaît du document WO-2010/122240 un procédé de détection d'un défaut structurel, notamment à des fins de diagnostic, dans lequel un spectre de la vitesse instantanée de l'organe tournant est surveillé à au moins une fréquence caractéristique de l'apparition du défaut.

20

Pour ce faire, une analyse préalable doit être menée pour identifier les fréquences d'apparition de chacun des défauts à détecter. Toutefois, cette analyse ne prend en compte l'impact du défaut que sur la vitesse de rotation de l'organe, rendant ainsi difficilement détectable les défauts qui auraient un effet faible sur ladite vitesse.

25

En particulier, la demanderesse a analysé que les éventuels micro-déplacements tangentiels de l'ensemble mécanique par rapport à son axe de rotation était un marqueur pertinent pour diagnostiquer une défaillance dudit ensemble, éventuellement en complément de l'exploitation des variations de sa vitesse de rotation.

30

Pour détecter un déplacement tangentiel, on utilise classiquement un capteur de déplacement dédié afin d'obtenir la précision attendue. Toutefois, cette réalisation nécessite l'ajout d'au moins un capteur qui, outre son coût, présente des contraintes importantes d'intégration dans l'ensemble mécanique comprenant un organe tournant.

L'invention vise à perfectionner l'art antérieur en proposant notamment un procédé de détection d'un déplacement tangentiel d'un ensemble mécanique comprenant un organe tournant qui ne nécessite pas de moyens de mesure difficilement implantables, ledit procédé étant particulièrement adapté au diagnostic embarqué d'une défaillance dudit ensemble mécanique.

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

- mesure synchrone de la vitesse instantanée de rotation de l'organe tournant en au moins deux positions réparties angulairement autour de l'organe ;
- exploitation desdites mesures de vitesse pour obtenir un signal temporel qui est sensiblement indépendant de la vitesse instantanée de rotation de l'organe ;
- échantillonnage angulaire dudit signal pour obtenir un signal échantillonné qui est représentatif de la position tangentielle de l'organe ;
- analyse harmonique spatiale du signal échantillonné pour obtenir un spectre de la position tangentielle de l'organe ;
- surveillance de l'énergie du spectre pour la signature caractéristique de sorte, en fonction de ladite énergie, à en déduire l'apparition du déplacement tangentiel correspondant.

Selon un deuxième aspect, l'invention propose une application d'un tel procédé au diagnostic embarqué d'une défaillance de l'ensemble mécanique qui correspond au déplacement tangentiel détecté.

5 D'autres objets et avantages de l'invention apparaîtront dans la description qui suit, faite en relation avec 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
10 rotation d'un ensemble mécanique qui est embarqué dans un véhicule automobile, 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 déplacement tangentiel
15 d'un autre type d'ensemble mécanique comprenant un organe tournant et/ou dans une autre application, par exemple une application statique comme dans une machine-outil portant un organe tournant.

En particulier, le déplacement tangentiel à détecter peut apparaître du fait des
20 contraintes mécaniques induites par la rotation de l'organe tournant. Ainsi, le procédé permet de diagnostiquer une défaillance de l'ensemble mécanique pour, en assurant une maintenance prédictive, alerter d'une panne dudit ensemble. En particulier, le procédé permet la détection des micro-déplacements tangentiels qui peuvent être induits notamment par une défaillance d'un roulement, d'une
25 roue d'engrenage ou d'un montage incorrect de l'organe tournant.

Le procédé prévoit une analyse préalable d'identification d'une signature fréquentielle caractéristique de l'apparition du déplacement tangentiel sur un tour de rotation de l'organe tournant. Selon une réalisation, il prévoit l'identification
30 préalable de plusieurs signatures fréquentielles qui correspondent chacune à un type de déplacement tangentiel à détecter.

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 au moins une fréquence identifiant chacun des déplacements tangentiels susceptibles de se produire.

5

Après l'identification des signatures fréquentielles caractéristiques des déplacements tangentiels qui sont susceptibles de se produire, le procédé prévoit des étapes itératives de détection du déplacement tangentiel correspondant à l'une de ces signatures caractéristiques. En variante, le procédé peut être mis en œuvre pour détecter chacun des déplacements tangentiels susceptibles de se produire.

10

Le procédé prévoit la mesure synchrone de la vitesse instantanée de rotation de l'organe tournant en au moins deux positions réparties angulairement autour de l'organe, lesdites mesures pouvant être réalisées sur l'organe tournant à surveiller ou sur un autre organe tournant qui lui est associé dans l'ensemble mécanique.

15

En particulier, les mesures de la vitesse instantanée peuvent être réalisées au moyen d'un codeur annulaire autour duquel sont répartis au moins deux capteurs. 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 la géométrie est identique. En variante, une technologie optique peut être utilisée.

20

25

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 déplacement tangentiel dudit organe, ou pour détecter un déplacement tangentiel sur l'ensemble tournant qui est guidé en rotation par ledit palier.

30

Chaque capteur est fixe et comprend au moins un élément sensible qui est disposé en regard et à distance de lecture de la piste multipolaire dans la position angulaire correspondante. Dans un exemple de réalisation, les éléments sensibles sont des sondes à effet Hall, des magnétorésistances ou des magnétorésistances géantes. En particulier, le capteur peut comprendre une pluralité d'éléments sensibles alignés tel que décrit dans le document FR-2 792 403.

Selon une réalisation, chacun des capteurs est agencé pour délivrer un signal comprenant des fronts qui sont espacés d'un pas angulaire constant. En particulier, le signal délivré par chacun des capteurs peut être interpolé de sorte que le pas angulaire séparant les fronts soit inférieur à l'écart angulaire entre les pôles magnétiques.

Chacun des signaux mesurés comprend une contribution liées aux variations de vitesse, une contribution liée aux déplacements tangentiels et une contribution liée aux bruits de mesure. Le procédé prévoit une exploitation des mesures de vitesse pour obtenir un signal temporel qui est sensiblement indépendant de la vitesse instantanée de rotation de l'organe, ne comprenant essentiellement que la contribution liée aux déplacements tangentiels. Ainsi, le signal obtenu est un marqueur pertinent pour diagnostiquer une défaillance de l'ensemble mécanique qui se caractérise par des déplacements tangentiels.

Selon une réalisation, le procédé prévoit des mesures de vitesse instantanée qui sont équiréparties autour de l'organe. En outre, le procédé peut prévoir une combinaison linéaire des mesures de vitesse pour obtenir le signal temporel sensiblement indépendant de la vitesse instantanée de rotation de l'organe. En particulier, avec un nombre pair de mesures synchrones, en soustrayant la moitié des mesures à l'autre moitié, le signal devient indépendant de la vitesse, et ce quel que soit le positionnement des mesures autour de l'organe.

Ainsi, en considérant deux mesures de vitesse instantanée en des positions qui sont séparées de 90° ou de 180° autour de l'organe, le signal temporel peut être

obtenu par soustraction desdites mesures puisque la contribution de vitesse est la même pour les deux mesures.

5 A titre d'exemple, en disposant deux capteurs à 180°, la sensibilité de la soustraction des mesures est doublée par rapport à la valeur du déplacement tangentiel. De même, en disposant deux capteurs à 90°, la sensibilité est multipliée par $\sqrt{2}$.

10 Selon une réalisation, le procédé prévoit quatre mesures de vitesse instantanée en des positions qui sont séparées de 90° autour de l'organe, le signal temporel étant obtenu par soustraction desdites mesures et/ou d'une combinaison linéaire desdites mesures.

15 A titre d'exemple, la sensibilité peut être multipliée par $2\sqrt{2}$ en soustrayant une addition de deux mesures adjacentes et une soustraction des deux autres mesures adjacentes.

20 Selon une réalisation, le procédé prévoit trois mesures de vitesse instantanée en des positions qui sont séparées de 120° autour de l'organe, le signal temporel étant obtenu par soustraction desdites mesures et/ou d'une combinaison linéaire desdites mesures.

25 En particulier, les mesures de la vitesse en fonction du temps peuvent être posées sous forme matricielle en exprimant les déplacements tangentiels selon deux degrés de liberté, pour être ensuite inversées afin d'obtenir lesdits déplacements indépendamment de ladite vitesse.

30 Le procédé prévoit un échantillonnage angulaire de ce signal pour obtenir un signal échantillonné qui est représentatif de la position tangentielle de l'organe, puis de réaliser une analyse harmonique du signal échantillonné pour obtenir un spectre de la position tangentielle de l'organe. Selon une réalisation, l'analyse

harmonique spatiale est réalisée par transformée de Fourier spatiale (FFT) du signal échantillonné.

5 Ensuite, le procédé prévoit une surveillance de l'énergie du spectre pour la signature fréquentielle caractéristique de sorte, en fonction de ladite énergie, à en déduire l'apparition du déplacement tangentiel correspondant. En particulier, la signature peut comprendre au moins une fréquence caractéristique de l'apparition du déplacement tangentiel sur un tour de rotation de l'organe. Selon une réalisation, l'énergie du spectre peut être surveillée pour chacune parmi
10 plusieurs signatures caractéristiques de sorte à en déduire l'apparition des déplacements tangentiels correspondant à chacune de ces signatures.

La surveillance peut être réalisée dans une fenêtre comprenant au moins une fréquence caractéristique et/ou au moins une harmonique de cette fréquence. En
15 particulier, lorsque plusieurs types de déplacement doivent être détectés chacun au moyen d'une signature caractéristique, les fréquences surveillées doivent être différentes pour pouvoir discriminer chacun des déplacements.

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

25 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 position tangentielle pour réaliser la surveillance de l'énergie sur le spectre obtenu.

30 La mise en œuvre du procédé décrit ci-dessus trouve particulièrement son application au diagnostic embarqué d'une défaillance de l'ensemble mécanique qui correspond au déplacement tangentiel détecté. En particulier, le procédé peut

détecter tout déplacement tangentiel anormal afin d'en déduire une défaillance de fonctionnement de l'ensemble mécanique.

5 Selon une réalisation avantageuse, un défaut structurel de l'ensemble mécanique est également diagnostiqué par une analyse préalable d'identification d'une fréquence caractéristique de l'apparition du défaut sur un tour de rotation de l'organe, et les étapes itératives de :

- 10 - échantillonnage angulaire d'au moins une mesure de la vitesse instantanée de rotation de l'organe tournant pour obtenir un signal échantillonné qui est représentatif de ladite vitesse instantanée ;
- analyse harmonique spatiale du signal échantillonné pour obtenir un spectre de la vitesse instantanée de rotation de l'organe ;
- 15 - 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 particulier, le défaut structurel peut être diagnostiqué également en fonction du déplacement angulaire détecté.

REVENDICATIONS

1. Procédé de détection d'un déplacement tangentiel d'un ensemble mécanique
5 comprenant un organe tournant, ledit procédé prévoyant une analyse préalable
d'identification d'une signature fréquentielle caractéristique de l'apparition du
déplacement tangentiel sur un tour de rotation dudit organe, et les étapes
itératives de :
- mesure synchrone de la vitesse instantanée de rotation de l'organe
10 tournant en au moins deux positions réparties angulairement autour de
l'organe ;
 - exploitation desdites mesures de vitesse pour obtenir un signal temporel
qui est sensiblement indépendant de la vitesse instantanée de rotation de
l'organe ;
 - 15 - échantillonnage angulaire dudit signal pour obtenir un signal échantillonné
qui est représentatif de la position tangentielle de l'organe ;
 - analyse harmonique spatiale du signal échantillonné pour obtenir un
spectre de la position tangentielle de l'organe ;
 - 20 - surveillance de l'énergie du spectre pour la signature caractéristique de
sorte, en fonction de ladite énergie, à en déduire l'apparition du
déplacement tangentiel correspondant.
2. Procédé de détection selon la revendication 1, caractérisé en ce que la
signature comprend au moins une fréquence caractéristique de l'apparition du
25 déplacement tangentiel sur un tour de rotation de l'organe.
3. Procédé de détection selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en
ce qu'il prévoit l'identification préalable de plusieurs signatures fréquentielles qui
correspondent chacune à un type de déplacement tangentiel à détecter, l'énergie
30 du spectre étant surveillée pour chacune desdites signatures.

4. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il prévoit des mesures de vitesse instantanée qui sont équiréparties autour de l'organe.
- 5 5. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il prévoit une combinaison linéaire des mesures de vitesse pour obtenir le signal temporel sensiblement indépendant de la vitesse instantanée de rotation de l'organe.
- 10 6. Procédé de détection selon les revendications 4 et 5, caractérisé en ce qu'il prévoit deux mesures de vitesse instantanée en des positions qui sont séparées de 90° ou de 180° autour de l'organe, le signal temporel étant obtenu par soustraction desdites mesures.
- 15 7. Procédé de détection selon les revendications 4 et 5, qu'il prévoit quatre mesures de vitesse instantanée en des positions qui sont séparées de 90° autour de l'organe, le signal temporel étant obtenu par soustraction desdites mesures et/ou d'une combinaison linéaire desdites mesures.
- 20 8. Procédé de détection selon les revendications 4 et 5, caractérisé en ce qu'il prévoit trois mesures de vitesse instantanée en des positions qui sont séparées de 120° autour de l'organe, le signal temporel étant obtenu par soustraction desdites mesures et/ou d'une combinaison linéaire desdites mesures.
- 25 9. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'analyse harmonique spatiale est réalisée par transformée de Fourier spatiale du signal échantillonné.
- 30 10. Procédé de détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que chacune des mesures de vitesse est réalisée au moyen :
- d'un codeur solidaire en rotation de l'organe tournant, ledit codeur comprenant une piste multipolaire ;

- de respectivement un capteur fixe comprenant au moins un élément sensible qui est disposé en regard et à distance de lecture de la piste multipolaire dans la position angulaire correspondante, ledit capteur étant agencé pour délivrer un signal comprenant des fronts espacés d'un pas angulaire constant.

5

11. Application d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 au diagnostic embarqué d'une défaillance de l'ensemble mécanique qui correspond au déplacement tangentiel détecté.

10

12. Application selon la revendication 11, dans laquelle un défaut structurel de l'ensemble mécanique est également diagnostiqué par une analyse préalable d'identification d'une fréquence caractéristique de l'apparition du défaut sur un tour de rotation de l'organe, et les étapes itératives de :

15

- échantillonnage angulaire d'au moins une mesure de la vitesse instantanée de rotation de l'organe tournant pour obtenir un signal échantillonné qui est représentatif de ladite vitesse instantanée ;
- analyse harmonique spatiale du signal échantillonné pour obtenir un spectre de la vitesse instantanée de rotation de l'organe ;

20

- 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.

13. Application selon la revendication 12, caractérisé en ce que le défaut structurel est diagnostiqué également en fonction du déplacement angulaire détecté.

25

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

- ☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- ☒ Le demandeur a maintenu les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié les revendications.
- ☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- ☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- ☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- ☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- ☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- ☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

WO 96/05486 A1 (MONITORING TECH CORP [US])
22 février 1996 (1996-02-22)

JP 2008 051669 A (NSK LTD)
6 mars 2008 (2008-03-06)

Vsevolod Kharyton ET AL: "Mode family identification of a blisk by tip timing measurements", 20ème Congrès Français de Mécanique, 28 mars 2012 (2012-03-28), XP055307444, Extrait de l'Internet:
URL:http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/46319/cfm2011_638.pdf?sequence=1&isAllowed=y [extrait le 2016-10-04]

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT