

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 108 692**

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

②① N° d'enregistrement national : **20 02848**

⑤① Int Cl⁸ : **F 16 C 33/58** (2019.12), **F 16 C 41/00**, **G 01 L 5/00**,
G 01 M 13/04

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Système de compensation des efforts appliqués sur un palier supportant un arbre de rotor d'une machine tournante.

②② Date de dépôt : 24.03.20.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 01.10.21 Bulletin 21/39.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 24.06.22 Bulletin 22/25.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SKF Magnetic Mechatronics SAS* —
FR.

⑦② Inventeur(s) : *Mouterde Joel et Da Silva Joaquim.*

⑦③ Titulaire(s) : *SKF Magnetic Mechatronics SAS.*

⑦④ Mandataire(s) : *SKF.*

FR 3 108 692 - B1



Description

Titre de l'invention : Système de compensation des efforts appliqués sur un palier supportant un arbre de rotor d'une machine tournante

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne le domaine général des machines tournantes, et plus particulièrement les machines tournantes soumises à des charges statiques et/ou transitoires, telles que par exemple les éoliennes.

Art Antérieur

[0002] Les machines tournantes comprenant généralement un arbre rotatif supporté par au moins un palier, par exemple un palier à roulement ou un palier magnétique.

[0003] Il est connu de commander les paliers magnétiques en fonction d'un déplacement par rapport au rotor.

[0004] Plus particulièrement, la présente invention concerne les systèmes de compensation des charges appliquées sur le palier à roulement supportant l'arbre rotatif. Un système de compensation conventionnel est connu par exemple par le document JP H01 277845.

[0005] La durée de vie des paliers à roulement actuels est considérablement affectée par les charges statiques et variables appliquées.

[0006] Afin d'assurer le bon fonctionnement des paliers à roulement et d'améliorer leur durée de vie, il est connu d'utiliser des capteurs pour la surveillance du palier, et notamment pour détecter la charge transmise audit palier.

[0007] Ainsi, la dégradation du palier à roulement peut être détectée et des étapes de maintenance peuvent être anticipées.

[0008] On pourra se référer à cet égard au document EP 2 507 605 – B1.

[0009] Toutefois, la surveillance de l'état du palier à roulement ne permet pas d'éviter la dégradation dudit palier, mais uniquement d'anticiper des opérations de maintenance.

[0010] Il existe un besoin d'améliorer la fiabilité des paliers à roulement en limitant leurs dégradations.

Résumé de l'invention

[0011] La présente invention trouve une application particulière dans le domaine des paliers, tels que les paliers à roulements, par exemple les roulements à billes, les roulements à rouleaux, les roulements à aiguilles.

[0012] L'invention a pour objet un système de compensation des efforts appliqués sur au moins un palier destiné à supporter en rotation un arbre de rotor d'une machine tournante par rapport à un stator de ladite machine. Ledit système comprend au moins un capteur de mesure d'un signal d'entrée et disposé sur au moins un élément dudit

palier, un module d'acquisition du signal d'entrée configuré pour convertir ledit signal d'entrée en valeur de déformations appliquées sur le palier à roulement, un module de détermination d'un signal de compensation en fonction de la valeur de déformations, et un module amplificateur configuré pour commander au moins un actionneur magnétique supportant en rotation l'arbre dudit rotor et comprenant au moins un électroaimant, ledit module amplificateur étant configuré pour convertir le signal de compensation en un signal de tension à transmettre à au moins un électroaimant de l'actionneur magnétique, ledit actionneur magnétique étant configuré pour exercer un effort sur l'arbre de rotor en fonction du signal de tension.

- [0013] Le signal de tension est connu sous le nom de « pulse width modulation », d'acronyme « PWM » en termes anglo-saxons.
- [0014] De manière nullement limitative, on pourrait prévoir que le module d'acquisition soit également configuré pour convertir le signal de déformation en signal de charges appliquées sur le palier à roulement.
- [0015] Le signal de compensation transmis à l'actionneur magnétique permet de générer un effort sur l'arbre du rotor et ainsi diminuer la charge appliquée sur le palier.
- [0016] Ainsi, on connaît en temps réel, les déformations et/ou charges exercées sur le palier afin de les compenser au moins partiellement par l'utilisation d'au moins un actionneur magnétique.
- [0017] Avantagement, le module amplificateur comprend un module de commande configuré pour déterminer une durée des pulsations du signal de tension à transmettre à l'électroaimant de l'actionneur magnétique en fonction du signal de compensation et un module de puissance configuré pour fournir le courant nécessaire à l'électroaimant dudit actionneur magnétique pour appliquer ladite tension.
- [0018] Le module de détermination d'un signal de compensation comprend une unité électronique de commande configurée pour recevoir la valeur des déformations provenant du module d'acquisition et la convertir en commande de force et un convertisseur configuré pour convertir ladite commande de force en signal de compensation.
- [0019] L'unité électronique de commande peut être un système d'asservissement en boucle fermée de type régulateur proportionnel, intégral dérivé, d'acronyme « PID » délivrant par exemple un signal de force, sous forme numérique ou analogique.
- [0020] Par exemple, le signal de compensation est un signal de compensation en courant ou un signal de compensation en flux.
- [0021] La conversion en signal de compensation à partir d'une commande de force est connue de l'homme du métier et ne sera pas davantage décrite.
- [0022] Par exemple, le palier est de type palier à roulement comprenant une bague intérieure solidaire de la surface externe cylindrique du rotor, ensemble bague extérieure comprenant une bague extérieure et un carter monté autour de ladite bague extérieure,

et une pluralité d'éléments roulants disposés radialement entre lesdites bagues.

[0023] Par exemple, les éléments roulants sont des billes. En variante, on pourrait prévoir d'autres types d'éléments roulants, tels que par exemple, des rouleaux, des aiguilles, etc... On pourrait également prévoir deux ou plus rangées d'éléments roulants. Par exemple, le roulement est un roulement conique.

Par exemple, la bague intérieure est massive et est délimitée radialement par une surface cylindrique intérieure et une surface cylindrique extérieure et axialement par deux surfaces radiales frontales opposées. La bague intérieure peut comporter, sur sa surface cylindrique extérieure, une gorge toroïdale formant chemin de roulement pour les éléments roulants.

[0024] Par exemple, la bague extérieure est massive et est délimitée radialement par une surface cylindrique intérieure et une surface cylindrique extérieure et axialement par deux surfaces radiales frontales opposées. La surface cylindrique intérieure de la bague extérieure peut former une gorge toroïdale formant chemin de roulement pour les éléments roulants.

[0025] Selon un mode de réalisation, l'actionneur magnétique est un palier magnétique axial supportant axialement l'arbre du rotor.

[0026] Par exemple, le palier magnétique axial comprend une armature de stator et une armature de rotor en forme de disque solidaire de l'arbre de rotor, l'armature statorique comprenant un circuit magnétique statorique comportant au moins une bobine annulaire et un corps ferromagnétique entourant ladite bobine et le rotor comprenant au moins une partie ferromagnétique.

[0027] Selon un autre mode de réalisation, l'actionneur magnétique est un palier magnétique radial supportant radialement l'arbre du rotor.

[0028] Par exemple, le palier magnétique radial comprend une armature annulaire en matériau ferromagnétique montée sur la surface cylindrique extérieure de l'arbre de rotor et une armature de stator solidaire du stator, l'armature de stator comprenant un circuit magnétique statorique comportant au moins une bobine annulaire et un corps ferromagnétique et étant placée radialement face à l'armature de rotor de manière à définir un entrefer radial.

[0029] Selon un autre mode de réalisation, le système comprend au moins deux actionneurs magnétiques. Par exemple, le système comprend au moins un palier magnétique radial et/ou un palier magnétique axial.

[0030] Avantageusement, le capteur de charge est disposé sur la bague extérieure du palier à roulement.

[0031] Par exemple, le capteur est disposé sur au moins un élément de l'ensemble bague extérieure, par exemple sur le carter ou sur la bague extérieure. Avantageusement, le capteur est disposé sur la surface extérieure de la bague extérieure et/ou sur une surface

latérale de ladite bague extérieure.

[0032] Le capteur de charge peut comprendre au moins un réseau de fibres optiques, dit « Fiber Bragg Grating » en termes anglo-saxons, délivrant un signal d'entrée sous forme lumineuse.

[0033] Selon un mode de réalisation, le module d'acquisition d'un signal d'entrée comprend un receveur optique ou interrogateur configuré pour injecter ou émettre un signal optique dans la fibre optique et recevoir un signal optique réfléchi par ladite fibre optique. Ledit receveur optique est configuré pour convertir le signal optique réfléchi en longueur d'ondes.

[0034] Avantagement le module d'acquisition comprend en outre un convertisseur configuré pour convertir le signal de longueur d'ondes en signal ou valeur de déformations appliquées sur le palier à roulement.

[0035] De manière nullement limitative, on pourrait prévoir que le convertisseur soit également configuré pour convertir le signal de déformation en signal de charges appliquées sur le palier à roulement.

[0036] Le capteur pourrait être une jauge de contraintes délivrant un signal d'entrée sous forme de tension.

[0037] Selon un autre mode de réalisation, le système comprend au moins deux capteurs de charge disposés sur le palier.

[0038] Par exemple, les capteurs sont respectivement agencés dans une rainure correspondante pratiquée respectivement sur la surface extérieure et une surface latérale de la bague extérieure.

[0039] Selon un second aspect, l'invention concerne une machine tournante comprenant un stator et un rotor comprenant un arbre tournant autour d'un axe de rotation et supporté en rotation par rapport au stator par au moins un palier à roulement et par au moins un palier magnétique, ladite machine tournante comprenant un système de compensation des efforts appliqués sur le palier tel que décrit précédemment.

[0040] Lorsque le palier magnétique comprend une pluralité d'électroaimants comprenant chacun une ou plusieurs bobines, chacun des électroaimants reçoit un signal de tension par le module de commande du palier magnétique. Ainsi, chacun des électroaimants du palier magnétique reçoit un signal de tension qui lui est propre.

Brève description des figures

[0041] La présente invention sera mieux comprise à l'étude de la description détaillée de modes de réalisation, pris à titre d'exemples nullement limitatifs et illustrés par les dessins annexés, sur lesquels :

[0042] – [Fig 1] est une vue partielle en coupe d'un système de compensation des charges appliquées sur un palier à roulement supportant un arbre d'une

- machine tournante selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- [Fig 2] est une vue partielle en coupe d'un système de compensation des charges appliquées sur un palier à roulement supportant un arbre d'une machine tournante selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ; et
 - [Fig 3] est une vue partielle en coupe d'un système de compensation des charges appliquées sur un palier à roulement supportant un arbre d'une machine tournante selon un troisième mode de réalisation de l'invention.
- [0043] Les expressions « extérieur » et « intérieur » font référence à l'axe de rotation X-X des paliers, les parties intérieures sont plus proches de l'axe de rotation que les parties extérieures.
- [0044] Sur la [fig.1] est représenté une machine tournante 10 comprenant un stator (non représenté) et un rotor 12 comprenant un arbre tournant autour de l'axe de rotation X-X. L'arbre du rotor 12 est supporté en rotation par rapport au stator par un palier à roulement 20 et par un palier magnétique 30 axial.
- [0045] Le palier à roulement 20 comprend une bague intérieure 22 solidaire de la surface externe cylindrique 12a du rotor, une bague extérieure 24 et une pluralité d'éléments roulants 26 disposés radialement entre lesdites bagues 22, 24.
- [0046] Les éléments roulants 26 sont ici des billes. En variante, on pourrait prévoir d'autres types d'éléments roulants, tels que par exemple, des rouleaux, des aiguilles, etc... On pourrait également prévoir deux ou plus rangées d'éléments roulants.
- [0047] Les éléments roulants 26 peuvent être maintenus circonférentiellement à l'intérieur d'une cage (non représentée).
- [0048] Telle qu'illustré, la bague intérieure 22 est délimitée radialement par une surface cylindrique intérieure 22a et une surface cylindrique extérieure 22b et axialement par deux surfaces radiales frontales opposées 22c, 22d.
- [0049] La bague intérieure 22 comporte, sur sa surface cylindrique extérieure 22b, une gorge toroïdale 22e formant chemin de roulement pour les éléments roulants 26.
- [0050] Telle qu'illustré, la bague extérieure 24 est délimitée radialement par une surface cylindrique intérieure 24a et une surface cylindrique extérieure 24b et axialement par deux surfaces radiales frontales opposées 24c, 24d.
- [0051] La surface cylindrique intérieure 24a de la bague extérieure 24 forme une gorge toroïdale 24e formant chemin de roulement pour les éléments roulants 26.
- [0052] Le palier magnétique 30 axial supporte axialement le rotor sans contact physique. Le palier magnétique 30 axial comprend une armature de stator 32 et une armature de rotor 34 en forme de disque solidaire de l'arbre de rotor 12. L'armature statorique 32 comprend un circuit magnétique statorique 33 comprenant, de manière classique, un ou plusieurs électroaimants 33a comportant chacun une ou plusieurs bobines annulaires 33a et un corps ferromagnétique 33b entourant lesdites bobines 33a.

- [0053] Le circuit magnétique statorique 33 est placé axialement face à l'armature du rotor 34 à un entrefer axial.
- [0054] La machine tournante 10 comprend en outre un système 40 de compensation des efforts appliqués sur le palier à roulement 20.
- [0055] Le système 40 de compensation des efforts comprend un module 42 d'acquisition d'un signal d'entrée mesuré par deux capteurs 44a, 44b dudit système. Le module 42 d'acquisition comprend un receveur optique ou interrogateur configuré pour injecter un signal optique et recevoir un signal optique réfléchi par les capteurs 44a, 44b et les convertir en longueur d'ondes λ . Le module d'acquisition 42 comprend en outre un convertisseur 42b configuré pour convertir le signal de longueur d'ondes en signal ou valeur de déformations S_{def} appliquées sur le palier à roulement 20. De manière nullement limitative, on pourrait prévoir que le convertisseur 42b soit également configuré pour convertir le signal de déformation S_{def} en signal de charges appliquées sur le palier à roulement.
- [0056] Ainsi, on obtient les valeurs de déformations et/ou charges appliquées au palier à roulement selon un ou plusieurs axes, par exemples les déformations et/ou charges axiale et/ou radiale. On pourrait prévoir également de récupérer les valeurs de déformations et/ou charges selon d'autres axes.
- [0057] Tels qu'illustrés, les capteurs 44a, 44b sont respectivement agencés dans une rainure correspondante 24f, 24g pratiquée respectivement sur la surface extérieure 24b et une surface latérale 24c de la bague extérieure 24. En variante, les capteurs pourraient être disposés sur une autre surface de la bague extérieure ou sur la bague intérieure. En variante, les capteurs pourraient également être montés dans un carter (non représenté) dans lequel est monté la bague extérieure 24 du palier à roulement. De manière générale, les capteurs pourraient être montés sur un élément d'un ensemble de bague extérieure comprenant la bague extérieure 24 et le carter dans lequel est montée serrée ladite bague 24.
- [0058] Les capteurs 44a, 44b comprennent, par exemple, un réseau de fibres optiques, dit « Fiber Braggs grating » en termes anglo-saxons. En variante, on pourrait prévoir également d'autre type de capteurs, tel que par exemple des jauges de contraintes.
- [0059] On pourrait prévoir également un nombre différent de capteurs, par exemple un unique capteur ou un nombre de capteurs supérieur à trois.
- [0060] Dans le cas de l'utilisation de fibres optiques comme capteurs, le module d'acquisition 42 reçoit un signal d'entrée S sous forme de signal optique qu'il convertit d'abord en longueur d'ondes puis en signal de déformation S_{def} .
- [0061] Dans le cas de l'utilisation de jauges de contraintes comme capteurs, le module d'acquisition 42 reçoit un signal d'entrée S sous forme d'une tension qu'il convertit en signal de déformation S_{def} .

- [0062] Le système 40 de compensation des efforts comprend en outre un module 46 de détermination d'un signal de compensation en fonction des valeurs de déformations ou de charges appliquées sur le palier à roulement 20. Le module 46 de détermination d'un signal de compensation comprend une unité électronique de commande 46a, d'acronyme « UCE », configuré pour recevoir le signal S_def provenant du module d'acquisition 42 et le convertir en commande de force F_com. L'unité électronique de commande 46a peut être un système d'asservissement en boucle fermée de type régulateur proportionnel, intégral dérivé, d'acronyme « PID » délivrant par exemple un signal de tension, analogique ou numérique, comme commande de force.
- [0063] Le module 46 comprend en outre un convertisseur 46b configuré pour convertir la commande de force F_com en signal de compensation S_comp à appliquer sur le palier magnétique 30. Le signal de compensation S_comp peut être un signal de compensation en courant ou un signal de compensation en flux. La conversion d'un signal de compensation à partir d'une commande de force est connue de l'homme du métier et ne sera pas davantage décrite.
- [0064] Le système 40 de compensation des efforts comprend en outre un module amplificateur 48.
- [0065] Le module amplificateur 48 comprend un module de commande 48a configuré pour déterminer une durée des pulsations d'un ensemble de signaux de tension T, dit pulse width modulation, d'acronyme « PWM » en termes anglo-saxons, à transmettre aux électroaimants du palier magnétique 30 en fonction du signal de compensation S_comp.
- [0066] Le module amplificateur 48 comprend en outre un module de puissance 48b configuré pour fournir le courant nécessaire aux électroaimants du palier magnétique 30 pour appliquer cette tension T. Ainsi, chacun des électroaimants du palier magnétique reçoit un courant dépendant d'un signal de tension qui lui est propre.
- [0067] La commande en tension transmise au palier magnétique axial 30 permet de générer un effort axial sur l'arbre du rotor 12 et ainsi diminuer la charge axiale appliquée sur le palier à roulement 20.
- [0068] Le mode de réalisation illustré sur la [fig.2], dans lequel les mêmes éléments ont les mêmes références, diffère du mode de réalisation illustré sur la [fig.1] par le fait que l'arbre du rotor 12 est supporté par un palier à roulement 20 et par un palier magnétique radial 50.
- [0069] Le palier magnétique radial 50 supporte radialement l'arbre de rotor 12 sans contact physique. Le palier magnétique 50 radial comprend une armature annulaire 52 en matériau ferromagnétique montée sur la surface cylindrique extérieure 12a de l'arbre de rotor 12, en matériau ferromagnétique, et une armature de stator 54 solidaire du stator. L'armature de stator 54 comprend, de manière classique, un circuit magnétique

statorique comportant un ou plusieurs électroaimants 54a comportant chacun une ou plusieurs bobines annulaires et un corps ferromagnétique 54b, est placée radialement face à l'armature de rotor 52 de manière à définir un entrefer radial. Les détails de l'armature du stator ne sont pas représentés sur la figure.

- [0070] De manière similaire au mode de réalisation de la [fig.1], la machine tournante 10 comprend en outre un système 40 de compensation des efforts appliqués sur le palier à roulement 20.
- [0071] Le système 40 de compensation des efforts comprend un module 42 d'acquisition d'un signal d'entrée mesuré par deux capteurs 44a, 44b dudit système. Le module 42 d'acquisition comprend un receveur optique ou interrogateur configuré pour injecter un signal optique et recevoir un signal optique réfléchi par les capteurs 44a, 44b et les convertir en longueur d'ondes λ . Le module d'acquisition 42 comprend en outre un convertisseur 42b configuré pour convertir le signal de longueur d'ondes en signal ou valeur de déformations S_{def} appliquées sur le palier à roulement 20. De manière nullement limitative, on pourrait prévoir que le convertisseur 42b soit également configuré pour convertir le signal de déformation S_{def} en signal de charges appliquées sur le palier à roulement.
- [0072] Ainsi, on obtient les valeurs de déformations et/ou charges appliquées au palier à roulement selon un ou plusieurs axes, par exemples les déformations et/ou charges axiale et/ou radiale. On pourrait prévoir également de récupérer les valeurs de déformations et/ou charges selon d'autres axes.
- [0073] Tels qu'illustrés, les capteurs 44a, 44b sont respectivement agencées dans une rainure correspondante 24f, 24g pratiquée respectivement sur la surface extérieure 24b et une surface latérale 24c de la bague extérieure 24. En variante, les capteurs pourraient être disposés sur une autre surface de la bague extérieure ou sur la bague intérieure. En variante, les capteurs pourraient également être montés dans un carter (non représenté) dans lequel est monté la bague extérieure 24 du palier à roulement. De manière générale, les capteurs pourraient être montés sur un élément d'un ensemble de bague extérieure comprenant la bague extérieure 24 et le carter dans lequel est montée serrée ladite bague 24.
- [0074] Les capteurs 44a, 44b comprennent, par exemple, un réseau de fibres optiques, dit « Fiber Braggs grating » en termes anglo-saxons. En variante, on pourrait prévoir également d'autre type de capteurs, tel que par exemple des jauges de contraintes.
- [0075] On pourrait prévoir également un nombre différent de capteurs, par exemple un unique capteur ou un nombre de capteurs supérieur à trois.
- [0076] Dans le cas de l'utilisation de fibres optiques comme capteurs, le module d'acquisition 42 reçoit un signal d'entrée S sous forme de signal optique qu'il convertit d'abord en longueur d'ondes puis en signal de déformation S_{def} .

- [0077] Dans le cas de l'utilisation de jauges de contraintes comme capteurs, le module d'acquisition 42 reçoit un signal d'entrée S sous forme d'une tension qu'il convertit en signal de déformation S_def.
- [0078] Le système 40 de compensation des efforts comprend en outre un module 46 de détermination d'un signal de compensation en fonction des valeurs de déformations ou de charges appliquées sur le palier à roulement 20. Le module 46 de détermination d'un signal de compensation comprend une unité électronique de commande 46a, d'acronyme « UCE », configuré pour recevoir le signal S_def provenant du module d'acquisition 42 et le convertir en commande de force F_com. L'unité électronique de commande 46a peut être un système d'asservissement en boucle fermée de type régulateur proportionnel, intégral dérivé, d'acronyme « PID » délivrant par exemple un signal de tension, analogique ou numérique, comme commande de force.
- [0079] Le module 46 comprend en outre un convertisseur 46b configuré pour convertir la commande de force F_com en signal de compensation S_comp à transmettre au module de commande 48 afin de le convertir en signal de tension à appliquer sur le palier magnétique 30. Le signal de compensation S_comp peut être un signal de compensation en courant ou un signal de compensation en flux. La conversion d'un signal de compensation à partir d'une commande de force est connue de l'homme du métier et ne sera pas davantage décrite.
- [0080] Le système 40 de compensation des efforts comprend en outre un module amplificateur 48.
- [0081] Le module amplificateur 48 comprend un module de commande 48a configuré pour déterminer une durée des pulsations d'un ensemble de signaux de tension T, dit pulse width modulation, d'acronyme « PWM » en termes anglo-saxons, à transmettre aux électroaimants du palier magnétique radial 50 en fonction du signal de compensation S_comp.
- [0082] Le module amplificateur 48 comprend en outre un module de puissance 48b configuré pour fournir le courant nécessaire aux électroaimants du palier magnétique 50 pour appliquer cette tension T. Ainsi, chacun des électroaimants du palier magnétique reçoit un courant dépendant d'un signal de tension qui lui est propre.
- [0083] La commande en tension transmise au palier magnétique radial 50 permet de générer un effort radial sur l'arbre du rotor 12 et ainsi diminuer la charge radiale appliquée sur le palier à roulement 20.
- [0084] Le mode de réalisation illustré sur la [fig.3], dans lequel les mêmes éléments ont les mêmes références, combine l'utilisation d'un palier magnétique axial 30 et d'un palier magnétique radial 50 afin de compenser les efforts radiaux et axiaux appliqués sur le palier à roulement 20.
- [0085] On notera que l'invention n'est pas limitée aux trois exemples de configurations

illustrés. En effet, l'invention peut s'appliquer à un arbre supporté d'un côté par un palier à roulement instrumenté associé à un palier magnétique, par exemple radial, et supporté du côté opposé par un autre palier à roulement instrumenté associé lui aussi à un palier magnétique, par exemple radial. Il est également possible de prévoir un palier magnétique axial au centre du rotor dont la force de compensation est basée sur les mesures de déformations des deux roulements instrumentés. Par exemple à partir des déformations de chaque roulement, il est possible de connaître la direction de la force axiale. On peut alors utiliser la déformation du roulement instrumenté situé du côté vers lequel se dirige la force axiale.

[0086] On peut également prévoir, dans cette configuration, que le signal de compensation pour chaque palier magnétique radial soit déterminé en utilisant, simultanément, les déformations des deux roulements instrumentés.

[0087] L'invention pourrait également s'appliquer à un arbre supporté par deux paliers à roulements et un unique palier magnétique radial situé entre les deux paliers à roulements, un ou les deux paliers à roulements peuvent être instrumentés.

[0088] L'invention pourrait également s'appliquer à un arbre supporté, d'un côté, par un palier à roulement à rouleaux accolé à un palier à roulement à billes associés à un palier magnétique radial afin d'utiliser la déformation du roulement à rouleaux et à un palier magnétique axial afin d'utiliser la déformation du roulement à billes, et du côté opposé, par un deuxième palier à roulement à billes associé à autre palier magnétique axial afin d'utiliser la déformation du deuxième roulement à billes.

[0089] Grâce à l'invention, il est possible de compenser au moins partiellement les forces exercées sur le palier à roulement. La durée de vie des paliers à roulement se trouve fortement améliorée.

Revendications

[Revendication 1]

Système (40) de compensation des efforts appliqués sur au moins un palier (20) destiné à supporter en rotation un arbre de rotor (12) d'une machine tournante (10) par rapport à un stator de ladite machine (10), ledit système (40) comprenant :

- au moins un capteur (44a, 44b) de mesure d'un signal d'entrée (S) et disposé sur au moins un élément dudit palier (20),
- un module (42) d'acquisition du signal d'entrée (S) configuré pour convertir ledit signal d'entrée (S) en valeur de déformations (S_def) appliquées sur le palier (20),
- un module (46) de détermination d'un signal de compensation en fonction de la valeur de déformations (S_def),

et

- un module amplificateur (48) configuré pour commander au moins un actionneur magnétique (30, 50) supportant en rotation l'arbre dudit rotor (12) et comprenant au moins un électroaimant, ledit module amplificateur (48) étant configuré pour convertir le signal de compensation (S_comp) en un signal de tension (T) à transmettre à l'électroaimant de l'actionneur magnétique (30, 50), ledit au moins un actionneur magnétique (30, 50) étant configuré pour exercer un effort sur l'arbre de rotor (12) en fonction dudit signal de tension (T), dans lequel le module amplificateur (48) comprend un module de commande (48a) configuré pour déterminer une durée des pulsations du signal de tension (T) à transmettre à l'électroaimant de l'actionneur magnétique (30, 50) en fonction du signal de compensation (S_comp) et un module de puissance (48b) configuré pour fournir le courant nécessaire à l'électroaimant dudit actionneur magnétique (30, 50) pour appliquer ladite tension (T).

[Revendication 2]

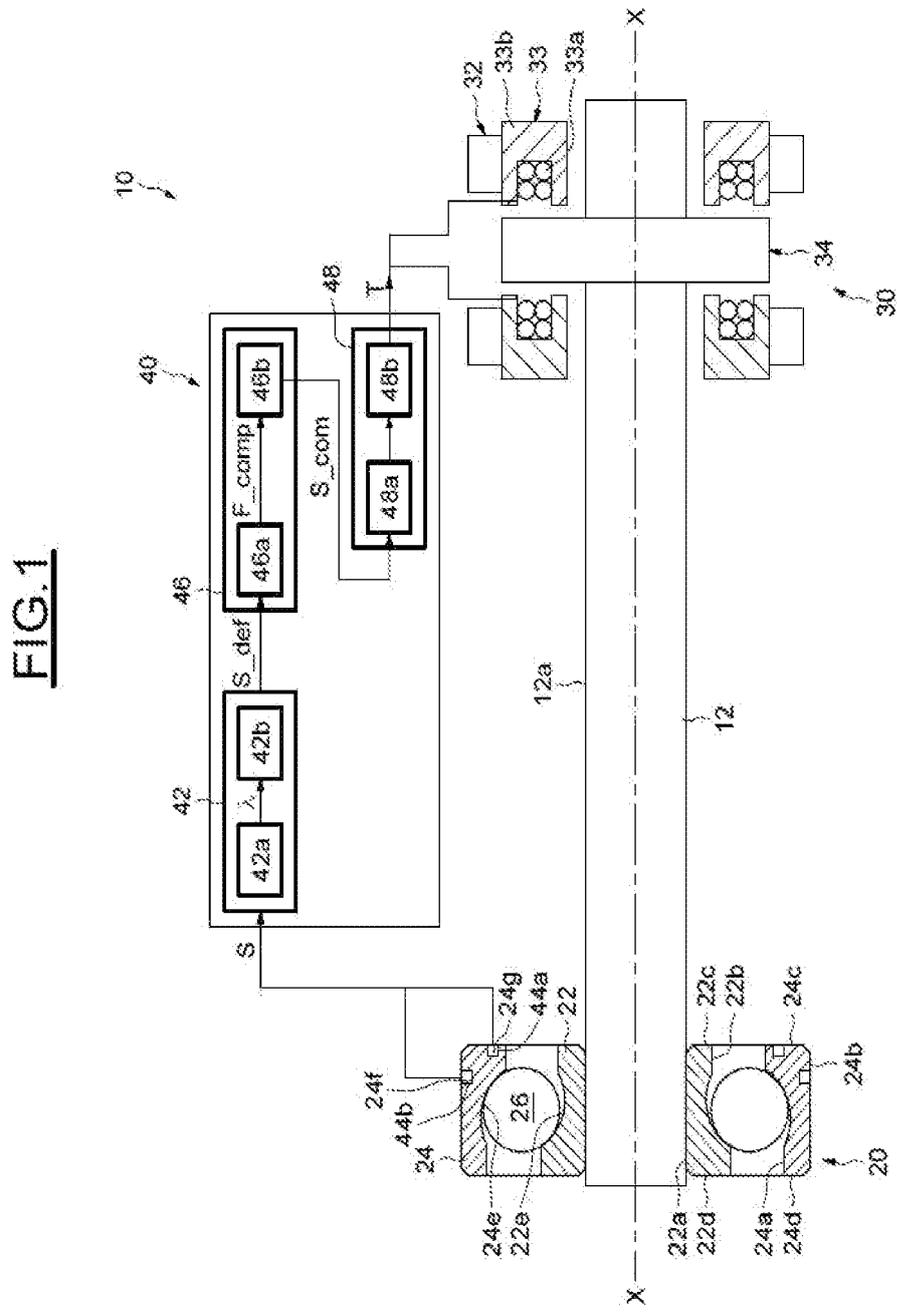
Système (40) selon la revendication 1, dans lequel le module (46) de détermination d'un signal de compensation comprend une unité électronique de commande (46a) configurée pour recevoir la valeur des déformations (S_def) provenant du module d'acquisition (42) et la convertir en commande de force (F_com) et un convertisseur (46b) configuré pour convertir ladite commande de force (F_com) en signal de compensation (S_comp).

[Revendication 3]

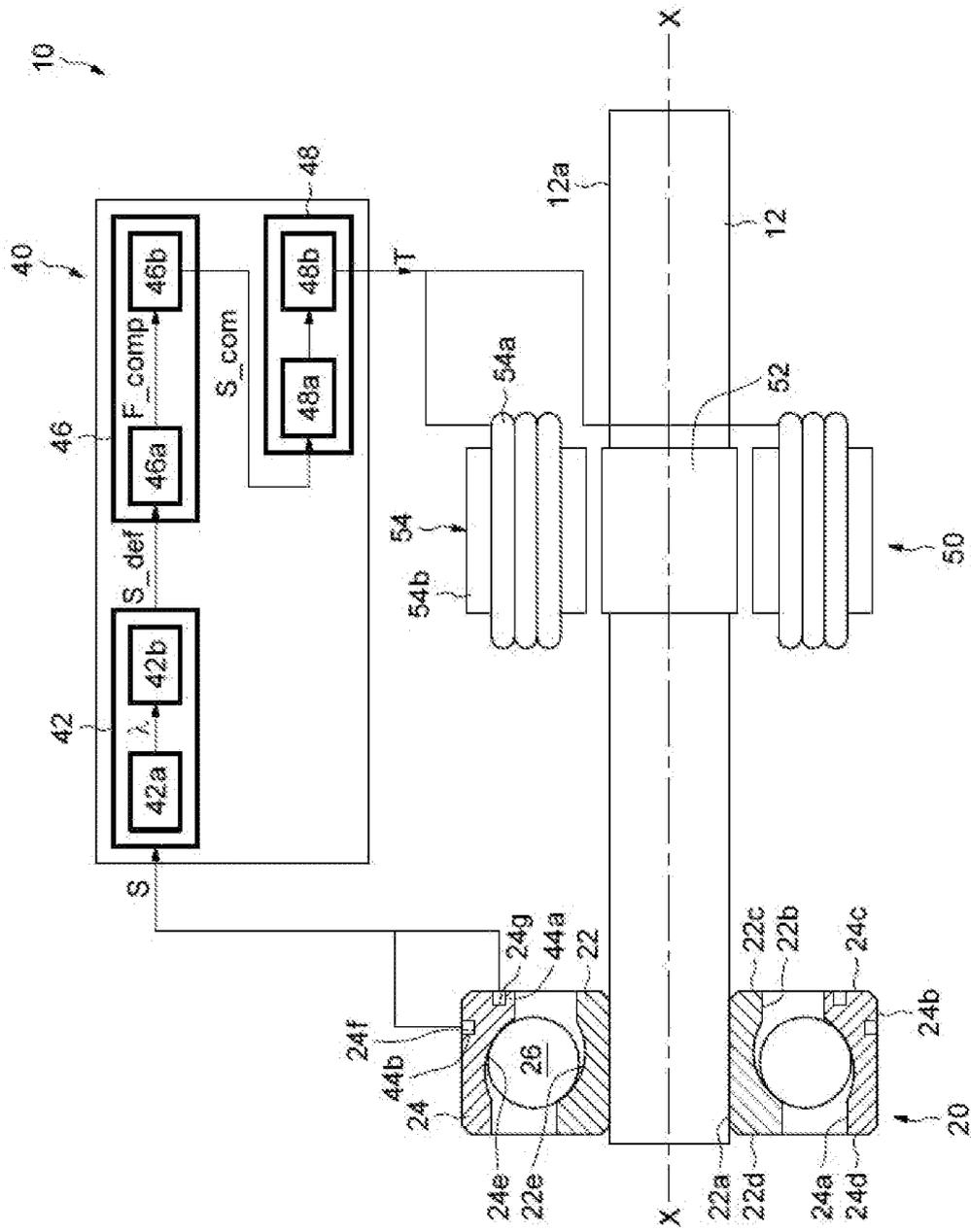
Système (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le signal de compensation (S_comp) est un signal de com-

- compensation en courant ou un signal de compensation en flux.
- [Revendication 4] Système (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'actionneur magnétique (30) est un palier magnétique axial supportant axialement l'arbre du rotor (12).
- [Revendication 5] Système (40) l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'actionneur magnétique (50) est un palier magnétique radial supportant radialement l'arbre du rotor (12).
- [Revendication 6] Système (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant au moins deux actionneurs magnétiques (30, 50).
- [Revendication 7] Système (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le capteur de charge (44a, 44b) est disposé sur un ensemble bague extérieure du palier (20).
- [Revendication 8] Système (40) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le capteur de charge (44a, 44b) comprend au moins un réseau de fibres optiques.
- [Revendication 9] Machine tournante (10) comprenant un stator et un rotor (12) comprenant un arbre tournant autour d'un axe de rotation (X-X) et supporté en rotation par rapport au stator par au moins un palier tel qu'un palier à roulement (20) et par au moins un palier magnétique (30, 50), ladite machine tournante comprenant un système (40) de compensation des efforts appliqués sur le palier (20) selon l'une quelconque des revendications précédentes.

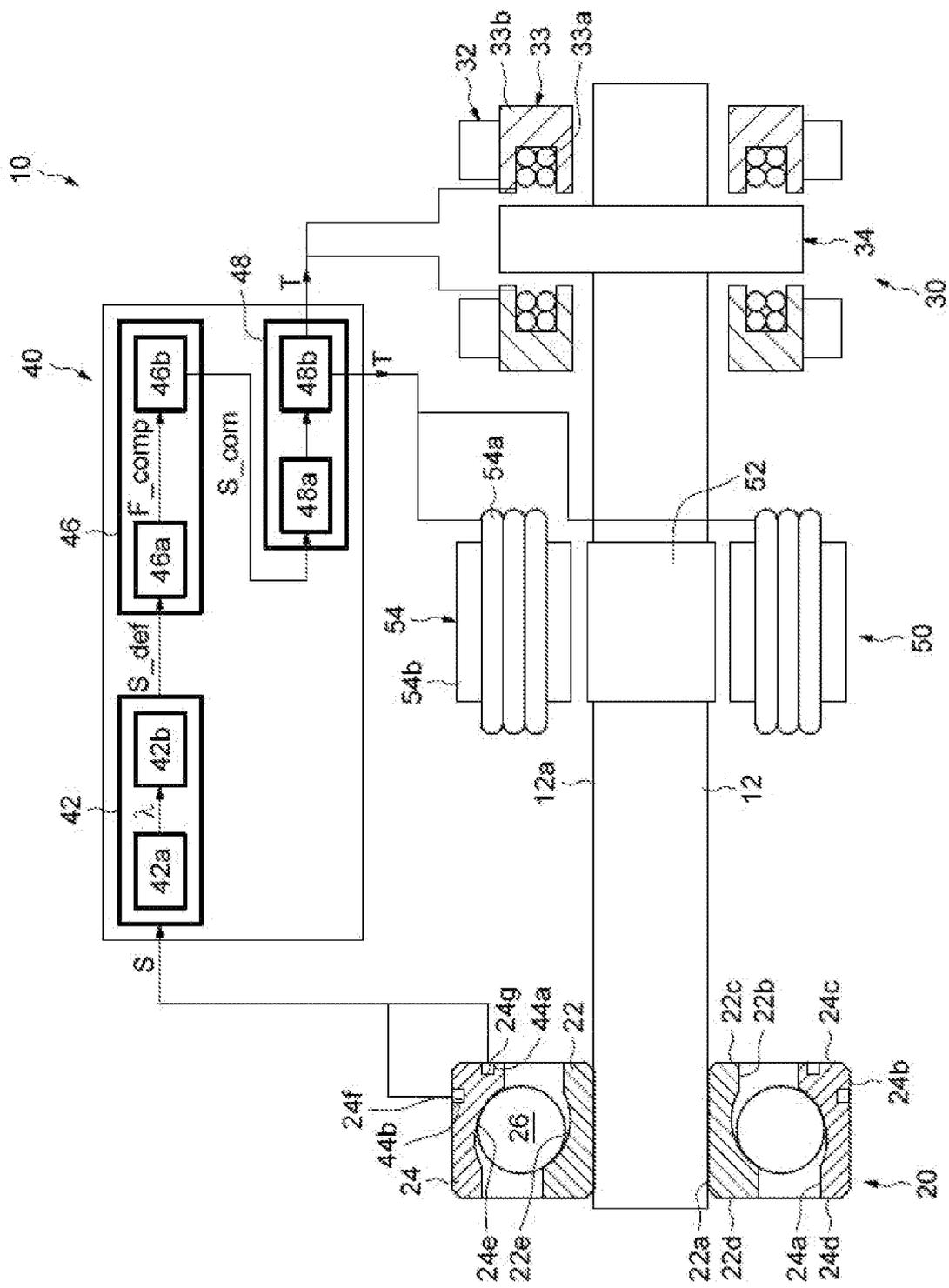
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.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'ETABLISSEMENT DU PRESENT 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 CITES DANS LE PRESENT 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**

JP H08 277845 A (SHINKO ELECTRIC CO LTD)
22 octobre 1996 (1996-10-22)

US 2018/328375 A1 (BETSCHART MICHAEL [CH]
ET AL) 15 novembre 2018 (2018-11-15)

WO 2010/136264 A1 (SIEMENS AG [DE];
SCHAEFFLER KG [DE] ET AL.)
2 décembre 2010 (2010-12-02)

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

NEANT

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

NEANT