

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

①① N° de publication : **3 146 350**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
②① N° d'enregistrement national : **23 01931**  
⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **G 01 D 5/12 (2025.01), H 02 P 6/16, H 02 P 6/17**

①②

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ Dispositif de détection du sens de rotation d'un rotor, systèmes de commande et d'entraînement, et procédé associés.

②② Date de dépôt : 02.03.23.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 06.09.24 Bulletin 24/36.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 06.06.25 Bulletin 25/23.

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 S.A.S*  
— FR.

⑦② Inventeur(s) : *Sadi-Haddad Lakdar et Palmeri  
Sylvain.*

⑦③ Titulaire(s) : *SKF Magnetic Mechatronics S.A.S.*

⑦④ Mandataire(s) : *SKF GmbH.*

**FR 3 146 350 - B1**



## **Description**

### **Titre de l'invention : Dispositif de détection du sens de rotation d'un rotor, systèmes de commande et d'entraînement, et procédé associés**

#### **Domaine technique de l'invention**

- [0001] La présente invention concerne la commande de paliers magnétiques.
- [0002] La présente invention concerne plus particulièrement un dispositif de détection du sens de rotation d'un rotor d'un palier magnétique, un système de commande d'un palier magnétique comprenant un tel dispositif, un système d'entraînement comportant un tel système et un palier magnétique, et un procédé de détection du changement de sens de rotation du rotor.

#### **Etat de la technique antérieure**

- [0003] Classiquement, des paliers magnétiques sont implémentés dans des systèmes comportant un rotor fonctionnant à haute vitesse de rotation.
- [0004] Un palier magnétique soutient le rotor par sustentation magnétique dans un stator du système.
- [0005] Les paliers magnétiques sont contrôlés par un système de commande comprenant généralement un filtre synchrone implémentant des algorithmes de contrôle du palier magnétique.
- [0006] Le filtre synchrone comprend un module de modulation effectuant un changement de repère d'un repère statorique vers un repère rotorique, un algorithme de contrôle du palier magnétique effectuant des opérations dans le repère rotorique afin de simplifier lesdits opérations, et un module de démodulation effectuant un changement de repère du repère rotorique vers le repère statorique.
- [0007] Les opérations de changement de repère mettent en œuvre des fonctions trigonométriques dépendantes du sens de rotation du rotor.
- [0008] Lors de la mise au point du système de commande, le sens de rotation du rotor est défini et renseigné dans les modules de modulation et de démodulation manuellement par un opérateur.
- [0009] Si le sens de rotation renseigné n'est pas représentatif du sens de rotation du rotor, le module de modulation délivre, après filtrage, une valeur nulle.
- [0010] L'opérateur peut commettre une erreur sur le sens de rotation susceptible de détériorer le système dans lequel est implémenté le palier.
- [0011] De plus, lorsque le sens de rotation nécessite d'être modifiée, il est nécessaire qu'un opérateur intervienne pour changer manuellement le sens de rotation du rotor.
- [0012] Il est donc proposé de pallier tout ou partie de ces inconvénients.

#### **Résumé de l'invention**

- [0013] Au vu de ce qui précède, l'invention propose un procédé de détection de changement de sens de rotation d'un rotor de palier magnétique, comprenant :
- [0014] - une détermination du gradient de vitesse de rotation du rotor,
- [0015] - une comparaison de la vitesse de rotation du rotor à un seuil de vitesse prédéfini, et
- [0016] - la détection d'un changement de sens de rotation du rotor à partir du résultat de la comparaison de la vitesse de rotation du rotor au seuil de vitesse prédéfini et du gradient de vitesse de rotation du rotor déterminé.
- [0017] Le changement de sens de rotation du rotor est détecté à partir de la vitesse de rotation du rotor et du gradient de la vitesse de rotation du rotor pour adapter les algorithmes de contrôle du palier magnétique de manière autonome et automatique, sans l'intervention manuelle d'un opérateur.
- [0018] Avantagement, lorsque le rotor tourne selon un premier sens de rotation, le procédé comprend :
- [0019] - la détection d'une première inversion du sens de rotation du rotor selon un deuxième sens de rotation opposé au premier sens de rotation lorsque la valeur absolue de la vitesse de rotation du rotor est inférieure au seuil de vitesse et lorsque le gradient de vitesse est négatif, et
- [0020] - la détection d'une deuxième inversion du sens de rotation du rotor selon le premier sens de rotation consécutive à la première inversion lorsque le gradient de vitesse est supérieur ou égal à zéro, et lorsque la valeur absolue de la vitesse de rotation du rotor est inférieure au seuil de vitesse.
- [0021] Il est également proposé un dispositif de détection de changement de du sens de rotation d'un rotor pour palier magnétique, comprenant :
- [0022] - des moyens de comparaison configurés pour comparer la vitesse de rotation du rotor à un seuil de vitesse prédéfini,
- [0023] - des premiers moyens de détermination configurés pour déterminer le gradient de vitesse de rotation du rotor, et
- [0024] - des deuxièmes moyens de détermination configurés pour détecter le changement de sens de rotation du rotor à partir du résultat de la comparaison de la vitesse de rotation du rotor au seuil de vitesse prédéfini et du gradient de vitesse de rotation du rotor déterminé.
- [0025] De préférence, les deuxièmes moyens de détermination sont configurés pour :
- [0026] - détecter une première inversion du sens de rotation du rotor selon un deuxième sens de rotation opposé au premier sens de rotation lorsque la valeur absolue de la vitesse de rotation du rotor est inférieure au seuil de vitesse et lorsque le gradient de vitesse est négatif, et
- [0027] - détecter une deuxième inversion du sens de rotation du rotor selon le premier sens de rotation consécutive à la première inversion lorsque le gradient de vitesse est

supérieur ou égal à zéro, et lorsque la valeur absolue de la vitesse de rotation du rotor est inférieure au seuil de vitesse.

- [0028] Il est également proposé un système de commande pour palier magnétique comprenant un dispositif tel que défini précédemment, et un filtre synchrone comportant au moins un algorithme de pilotage du palier magnétique, l'algorithme comprenant un gain variable piloté par ledit dispositif selon le sens de rotation du rotor.
- [0029] De préférence, le filtre synchrone comprend un module de modulation et un module de démodulation, le module de modulation comprenant un premier algorithme comprenant au moins un gain variable piloté par ledit dispositif selon le sens de rotation du rotor, et le module de démodulation comprenant un deuxième algorithme comprenant au moins un gain variable piloté par ledit dispositif selon le sens de rotation du rotor.
- [0030] Avantageusement, le filtre synchrone comprend en outre un module de contrôle relié d'une part au module de modulation et d'autre part au module de démodulation, le module de contrôle mettant en œuvre un algorithme de correction du balourd du rotor.
- [0031] Il est également proposé un système d'entraînement comprenant un palier magnétique comportant un rotor et un stator comportant des bobines réparties uniformément dans le stator formant au moins un axe d'asservissement, un convertisseur de puissance alimentant l'axe d'asservissement, et un système de commande tel que défini précédemment pilotant le convertisseur de puissance.

### **Brève description des figures**

- [0032] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0033] [Fig.1]
- [0034] illustre un exemple d'un système de d'entraînement selon l'invention ;
- [0035] [Fig.2]
- [0036] illustre schématiquement un exemple de réalisation d'un système de commande de palier magnétique selon l'invention;
- [0037] [Fig.3]
- [0038] illustre schématiquement un mode de réalisation d'un module de modulation selon l'invention,
- [0039] [Fig.4]
- [0040] illustre schématiquement un exemple de réalisation d'un module de contrôle selon l'invention,
- [0041] [Fig.5]

[0042] illustre schématiquement un exemple de réalisation du dispositif de détection selon l'invention,

[0043] [Fig.6]

[0044] illustre un exemple de mise en œuvre de l'exemple de réalisation du dispositif de détection selon l'invention,

### **Description détaillée de l'invention**

[0045] On se réfère à la [Fig.1] qui illustre un exemple d'un système d'entraînement comprenant un palier magnétique 1, un convertisseur de puissance 2, et un système de commande 3.

[0046] De manière connue en soi, le palier magnétique 1 comprend un stator 4 et un rotor 5 placé dans le stator 4, et un repère orthogonal direct  $R(O, V, W)$  comportant deux axes  $V, W$  et une origine  $O$  centrée sur l'axe de rotation du rotor 5.

[0047] Le stator 4 comprend des bobines 6 réparties uniformément dans le sens circonférentiel du côté interne du stator 4, deux bobines diamétralement opposées étant reliées entre elles de manière à être alimentées simultanément par le convertisseur de puissance 2.

[0048] Deux bobines statoriques diamétralement opposées définissent un axe d'asservissement du palier magnétique et permettent de piloter cet axe.

[0049] Le stator 4 comprend par exemple quatre bobines 6a, 6b, 6c, 6d formant quatre paires de pôles  $P1, P2, P3, P4$  reliées au convertisseur de puissance 2.

[0050] Le stator 4 comprend en outre deux capteurs de position 7, 8 du rotor 5 mesurant la position du rotor 5.

[0051] Un premier capteur de position 7 est disposé sur un premier axe  $V$  du repère  $R(O, V, W)$  et un deuxième capteur de position 8 est disposé sur le deuxième axe  $W$  du repère  $R(O, V, W)$ .

[0052] Le stator 4 comprend en outre un capteur de vitesse 9 mesurant la vitesse de rotation du rotor 5.

[0053] Les mesures générées par les capteurs de position 7, 8 sont transmises sur des entrées 10, 11 du système de commande 3, et les mesures générées par le capteur de vitesse sont transmises sur une troisième entrée 12 du système de commande 3.

[0054] Le système de commande 3 comprend en outre deux sorties 14, 15 reliées au convertisseur de puissance 2.

[0055] La [Fig.2] illustre schématiquement un exemple de réalisation du système de commande 3.

[0056] Le système de commande 3 comprend un filtre synchrone 16, un dispositif de détection 17 du changement de sens de rotation du rotor 5, des moyens de

détermination de la position angulaire 18 du rotor 5 à partir des mesures délivrées par le capteur de vitesse 9.

[0057] Le système de commande 3 comprend en outre une unité de traitement 19 mettant en œuvre le filtre synchrone 16, le dispositif de détection 17, et les moyens de détermination de la position angulaire 18 reliés à la troisième entrée 12.

[0058] Les moyens de détermination de la position angulaire 18 déterminent de manière connue la position angulaire du rotor 5 à partir des données générées par le capteur de vitesse 9 en estimant la durée nécessaire au rotor 5 pour effectuer un tour sur une première période de rotation du rotor 5, puis effectue une interpolation linéaire sur la durée estimée pour estimer la position du rotor 5 sur une deuxième période postérieure à la première période de rotation.

[0059] Le filtre synchrone 16 comprend un module de modulation 20, un module de contrôle 21, et un module de démodulation 22.

[0060] Le module de modulation 20 comprend une première entrée 23 reliée à une première entrée 10 du système de commande 3, une deuxième entrée 24 reliée à la deuxième entrée 11 du système de commande 3, une première sortie 25 reliée à une première entrée 26 du module de contrôle 21, et une deuxième sortie 27 reliée à une deuxième entrée 28 du module de contrôle 2.

[0061] Le module de modulation 21 comprend en outre une troisième entrée 29 reliée aux moyens de détermination de la position angulaire 18, et une entrée de commande 30 reliée à une sortie 31 du dispositif de détection 17.

[0062] Le dispositif de détection 17 comprend une entrée 170 reliée à la troisième entrée 12 du système de commande 3.

[0063] Le module de commande 21 comprend une première sortie 32 reliée à une première entrée 33 du module de démodulation 22, une deuxième sortie 34 reliée à une deuxième entrée 35 module de démodulation 22.

[0064] Le module de démodulation 22 comprend en outre une première sortie 36 reliée à une première sortie 14 du module de commande 3, une deuxième sortie 37 reliée à une deuxième sortie 15 du module de commande 3.

[0065] Le module de démodulation 22 comprend en outre une troisième entrée 38 reliée aux moyens de détermination de la position angulaire 18, et une entrée de commande 39 reliée à une sortie 31 du dispositif de détection 17.

[0066] De manière connue, le module de modulation 20 filtre les signaux sinusoïdaux délivrés par les capteurs de position 7, 8 de sorte que la première sortie 25 délivre une première valeur continue indicative de l'amplitude du signal sinusoïdal délivrée par le premier capteur de position 7, et de sorte que la deuxième sortie 27 délivre une deuxième valeur continue indicative de l'amplitude du signal sinusoïdal délivrée par le deuxième capteur de position 8.

- [0067] Le module de modulation 20 implémente un algorithme de filtrage de basse fréquence laissant passer les fréquences égales à la fréquence de rotation du rotor 5 à un seuil près de manière à permettre en outre d'effectuer un changement de base du repère  $R(0, V, W)$  vers un repère orthogonal direct  $R1$  du rotor 5 ayant pour origine un point sur l'axe de rotation du rotor 5.
- [0068] Le seuil est par exemple égal à 10Hz.
- [0069] Le module de contrôle 21 met en œuvre un algorithme de correction du balourd déterminé par le module de modulation 20, et le module de démodulation 22 effectue le changement de repère du repère  $R1$  lié au rotor 5 vers le repère  $R$  lié au stator 4.
- [0070] Comme les modules de modulation 20 et démodulation 22 sont de structure proche, seul un exemple de réalisation du module de modulation 20 et un exemple de réalisation du module de traitement 21 sont présentés dans ce qui suit.
- [0071] La [Fig.3] illustre schématiquement un mode de réalisation du module de modulation 20.
- [0072] Le module de modulation 20 comprend quatre multiplieurs 40, 44, 52, 48 comprenant chacun une première entrée 41, 45, 49, 53, une deuxième entrée 42, 47, 50, 52, et une sortie 43, 46, 51, 55.
- [0073] Le module de modulation 20 comprend un opérateur sinus 56 comprenant une entrée 57 reliée à la troisième entrée 29 du module de modulation 21, et une sortie 58 reliée à la deuxième entrée 47, 50 d'un deuxième et troisième multiplieurs 44, 48.
- [0074] Le module de modulation 20 comprend en outre un opérateur cosinus 59 comprenant une entrée 60 reliée à la troisième entrée 29 du module de modulation 21, et une sortie 61 reliée à la deuxième entrée 42, 54 d'un premier et quatrième multiplieurs 44, 52.
- [0075] La première entrée 41, 54 des premier et deuxième multiplieurs 40, 44 est reliée à la première entrée 23 du module de modulation 20, et la première entrée 49, 53 des troisième et quatrième multiplieurs 48, 52 est reliée à la deuxième entrée 24 du module de modulation 20.
- [0076] Le module de modulation 20 comprend en outre un premier gain 62 variable comprenant une entrée 63 reliée à la sortie 46 du deuxième multiplieur 44, une sortie 64, et une entrée de pilotage 65 reliée à l'entrée de commande 30 du module de modulation 20.
- [0077] Le module de modulation 20 comprend un premier sommateur 66 comprenant une entrée d'addition 67 reliée à la sortie 55 du quatrième sommateur 52, une entrée de soustraction 68 reliée à la sortie 64 du premier gain 62, et une sortie 69 reliée à une entrée 71 d'un saturateur 70 du module 20.
- [0078] Le saturateur 70 comprend en outre une sortie 72 reliée à la deuxième sortie 27 du module 20.

- [0079] Le module de modulation 20 comprend en outre un deuxième gain 73 variable comprenant une entrée 74 reliée à la sortie 51 du troisième multiplieur 48, une sortie 75, et une entrée de pilotage 76 reliée à l'entrée de commande 30 du module de modulation 20.
- [0080] Le module comprend un deuxième sommateur 77 comprenant une première entrée d'addition 78 reliée à la sortie 43 du premier sommateur 40, une deuxième entrée d'addition 79 reliée à la sortie 75 du deuxième gain 73, et une sortie 80 reliée à une entrée 82 d'un deuxième saturateur 81 du module 20.
- [0081] Le deuxième saturateur 81 comprend en outre une sortie 83 reliée à la première sortie 25 du module 20.
- [0082] Les saturateurs 70, 81 permettent d'éviter les retournements de variables relatifs aux algorithmes à virgule fixe.
- [0083] Les premier et deuxième gains 62, 73 sont pilotés de sorte qu'ils multiplient la valeur reçue à leur entrée 63, 74 par un coefficient multiplicateur prenant la valeur numérique 1 ou -1 selon le sens de rotation du rotor 5.
- [0084] Si le sens de rotation du rotor 5 est orienté de l'axe V vers l'axe W dans le repère R (sens indirect), le coefficient multiplicateur est par exemple égal à 1, et si le sens de rotation du rotor 5 est orienté de l'axe W vers l'axe V dans le repère R (sens direct), le coefficient multiplicateur est égal à -1.
- [0085] La valeur du coefficient multiplicateur est déterminée par le dispositif de détection 17 tel que décrit dans ce qui suit.
- [0086] On suppose que le premier capteur de position 7 délivre un signal sinusoïdal  $V\cos$  et que le deuxième capteur de position 8 délivre un signal sinusoïdal  $V\sin$  tels que :
- [0087]  $V\cos = A\cos(\theta)$  (1)
- [0088]  $V\sin = A\sin(\theta)$  (2)
- [0089] A étant l'amplitude des signaux et  $\theta$  étant la position angulaire du rotor 5.
- [0090] Lorsque le rotor 5 tourne dans le sens direct, le coefficient des gains 62, 73 est égal à 1. Un signal S25 sur la première sortie 25 et un signal S27 sur la deuxième sortie 27 sont égaux à :
- [0091]  $S25 = A\sin(\theta)\sin(\theta) + A\cos(\theta)\cos(\theta) = A$   
(3)
- [0092]  $S27 = A\sin(\theta)\cos(\theta) - A\cos(\theta)\sin(\theta) = 0$   
(4)
- [0093] Lorsque le rotor 5 tourne dans le sens indirect, le coefficient des gains 62 73 étant égal à -1. Le signal S25 sur la première sortie 25 et le signal S27 sur la deuxième sortie 27 sont égaux à :
- [0094]  $S25 = -A\cos(\theta)\sin(\theta) + A\sin(\theta)\cos(\theta) = 0$

(3)

$$[0095] \quad S_{27} = A \cos(\theta) \cos(\theta) + A \sin(\theta) \sin(\theta) = A$$

(4)

[0096] Les première et deuxième valeurs continues non nulles délivrées sur les sorties 25, 27 sont représentatives de l'écart entre l'axe de rotation du rotor 5 et le centre de gravité du rotor 5, et permettent de quantifier le balourd du rotor 5.

[0097] Le module 20 permet de filtrer les signaux générés par les capteurs de position indépendamment du sens de rotation du rotor 5 par la sélection du gain des gains 73, 62 égal au coefficient multiplicateur, la sélection étant effectuée par le dispositif de détection 17.

[0098] Le gain des gains variables 73, 62 est représentatif du sens de rotation du rotor 5.

[0099] La [Fig.4] illustre schématiquement un exemple de réalisation du module de contrôle 21 permettant de compenser le balourd du rotor 5 déterminé par le module de modulation 20.

[0100] Le module de modulation 20 comporte deux boucles de régulation 84, 85 identiques comportant chacune une entrée 86 et une sortie 87.

[0101] L'entrée 86 et la sortie 87 d'une première boucle de régulation 84 sont reliées respectivement à la première entrée 26 et à la première sortie 32 du module de commande 21.

[0102] L'entrée 86 et la sortie 87 de la deuxième boucle de régulation 85 sont reliées respectivement à la deuxième entrée 28 et à la deuxième sortie 34 du module de commande 21.

[0103] Comme les boucles de régulation 84, 85 sont identiques, seule la première boucle 84 est détaillée.

[0104] La première boucle 84 comprend un sommateur 88, un intégrateur 89, un gain 91 et saturateur 92.

[0105] Le sommateur 88 comprend une entrée d'addition 93 reliée à l'entrée 86, une entrée de soustraction 94 reliée à une sortie 95 du saturateur 92, et une sortie 96 reliée à une entrée 97 de l'intégrateur 89.

[0106] Une sortie 98 de l'intégrateur est reliée à la sortie 87 et à une entrée 99 du gain.

[0107] Une sortie 100 du gain 91 est reliée à une entrée 101 du saturateur 92.

[0108] La [Fig.5] divulgue un exemple de réalisation du dispositif de détection 17.

[0109] Le dispositif 17 comprend des moyens de comparaison 1000 comprenant une première entrée 1001 reliée à l'entrée 170 du dispositif 17, une deuxième entrée 1002 reliée à une mémoire 103, et une sortie 104.

[0110] La mémoire 103 peut être disposée dans le dispositif 17 tel que représenté ou disposée à l'extérieur du dispositif 17.

- [0111] Le dispositif 17 comprend en outre des premiers moyens de détermination 105 comportant une sortie 106, et des deuxièmes moyens de détermination 107 comportant une première entrée 108 reliée à la sortie 104 des moyens de comparaison 1000, une deuxième entrée 109 reliée à la sortie 106 des premiers moyens de détermination 105, et une sortie 110 reliée à la sortie 31 du dispositif de détection 17.
- [0112] Le dispositif 17 comprend en outre une deuxième unité de traitement 111 mettant en œuvre les moyens de comparaison 1000, la mémoire 103, les premier et deuxième moyens de détermination 105, 107.
- [0113] La mémoire 103 stocke un seuil de vitesse  $S_e$  prédéfinie représentatif de la vitesse minimale de rotation du rotor 5 mesurée par le capteur de vitesse 9, le capteur 9 mesurant par exemple une fréquence minimale de 10 Hz soit 600 tours par minute.
- [0114] On suppose dans ce qui suit que la vitesse mesurée par le capteur de vitesse 9 est la valeur absolue de la vitesse de sorte que la vitesse mesurée est positive ou nulle.
- [0115] Les premiers moyens de détermination 105 déterminent le gradient de vitesse de rotation du rotor 5.
- [0116] Le gradient de vitesse est par exemple transmis aux premiers moyens de détermination 105 par un calculateur de contrôle du système d'entraînement (non représenté).
- [0117] Le gradient de vitesse peut par exemple être déterminé à partir du calcul de la dérivée de la vitesse de rotation du rotor.
- [0118] En variante, le gradient de vitesse est fourni par un organe de commande de moyens de mise en rotation du rotor, les moyens de mise en rotation du rotor comportant par exemple un moteur électrique.
- [0119] Les moyens de comparaison 100 comparent la valeur absolue de la vitesse de rotation  $\Omega$  du rotor au seuil de vitesse  $S_e$ .
- [0120] A présent, un exemple de mise en œuvre de l'exemple de réalisation du dispositif de détection 17 illustré à la [Fig.5].
- [0121] La [Fig.6] illustre un exemple d'évolution temporelle de la vitesse de rotation  $\Omega$  du rotor 5, d'un signal S106 délivré sur la sortie 106 des premiers moyens de détermination 105, et d'un signal S31 délivrée sur la sortie 31 du dispositif de détection 17 représentatif du sens de rotation du rotor 5.
- [0122] On suppose qu'avant l'instant  $t_1$ , le rotor 5 tourne selon le sens indirect à une vitesse de rotation ayant une valeur absolue supérieure au seuil  $S_e$ .
- [0123] Le gradient de vitesse déterminé par les premiers moyens de détermination 105 est nul. Le signal S106 est nul, et les moyens de comparaison 1000 délivrent un signal S104 sur la sortie 104 représentatif de la comparaison, par exemple le signal S104 est égal à « 1 » lorsque la valeur absolue de la vitesse de rotation est supérieure au seuil  $S_e$ , et « 0 » dans le cas contraire.

- [0124] En l'espèce, le signal S104 est égal à « 1 ».
- [0125] Comme le signal S104 est égal à « 1 » et le signal S106 est nul, les deuxièmes moyens de détermination 107 délivrent un signal représentatif de la valeur du coefficient multiplicateur des gains 62, 73 égal à « 1 » de sorte que le signal S31 est égal à « 1 » de sorte que le coefficient multiplicateur des gains 62, 73 est égal à « 1 ».
- [0126] A l'instant t1, la vitesse de rotation du rotor 5 diminue. Le gradient de vitesse déterminé par les premiers moyens de détermination 105 est négatif. Le signal S106 est négatif et prend par exemple une valeur  $S_N$ .
- [0127] Comme la valeur absolue de la vitesse de rotation  $\Omega$  est supérieure au seuil  $Se$  entre les instants t1 et t2, la sortie S31 reste à « 1 ».
- [0128] Les deuxièmes moyens de détermination 107 délivrent un signal représentatif de la valeur du coefficient multiplicateur des gains 62, 73 est égal à « 1 » de sorte que le signal S31 est égal à « 1 ».
- [0129] Le coefficient multiplicateur des gains 62, 73 est égal à « 1 ».
- [0130] A l'instant t2, comme la valeur absolue de la vitesse de rotation  $\Omega$  du rotor est inférieure au seuil  $Se$  les moyens de comparaison 1000 délivrent un signal S104 égal à « -1 ». En outre, comme le gradient de vitesse est négatif, le signal S106 est égal à une valeur  $S_N$  indicative d'un gradient négatif.
- [0131] Les deuxièmes moyens de détermination 107 détectent une inversion du sens de rotation du rotor 5 du sens indirect vers le sens direct opposé au sens indirect, et délivrent un signal représentatif de la valeur du coefficient multiplicateur des gains 62, 73 égal à « -1 » de sorte que le signal S31 est égal à « -1 ».
- [0132] Le coefficient multiplicateur des gains 62, 73 est égal à « -1 ».
- [0133] Entre les instants t2 et t3, la vitesse de rotation  $\Omega$  continue à diminuer et devient négative car le rotor 5 tourne selon le sens indirect. La valeur absolue de la vitesse de rotation  $\Omega$  reste inférieure au seuil  $Se$ .
- [0134] Le signal S31 reste à « -1 ».
- [0135] Entre les instants t3 et t4, la la vitesse de rotation  $\Omega$  négative continue à diminuer.
- [0136] La valeur absolue de la vitesse de rotation  $\Omega$  est supérieure au seuil  $Se$  et le gradient reste négatif.
- [0137] Le signal S31 reste à « -1 ».
- [0138] A l'instant t4, la vitesse de rotation  $\Omega$  est négative et augmente de sorte que le gradient de vitesse devient positif.
- [0139] Les premiers moyens de détermination 105 délivrent le signal S106 égal à une valeur  $S_N$  indicative d'un gradient positif ou nul.
- [0140] La valeur absolue de la vitesse de rotation est supérieure au seuil  $Se$ .
- [0141] Le signal S31 reste à « -1 ».
- [0142] Entre les instants t4 et t5, la vitesse de rotation  $\Omega$  négative continue à augmenter.

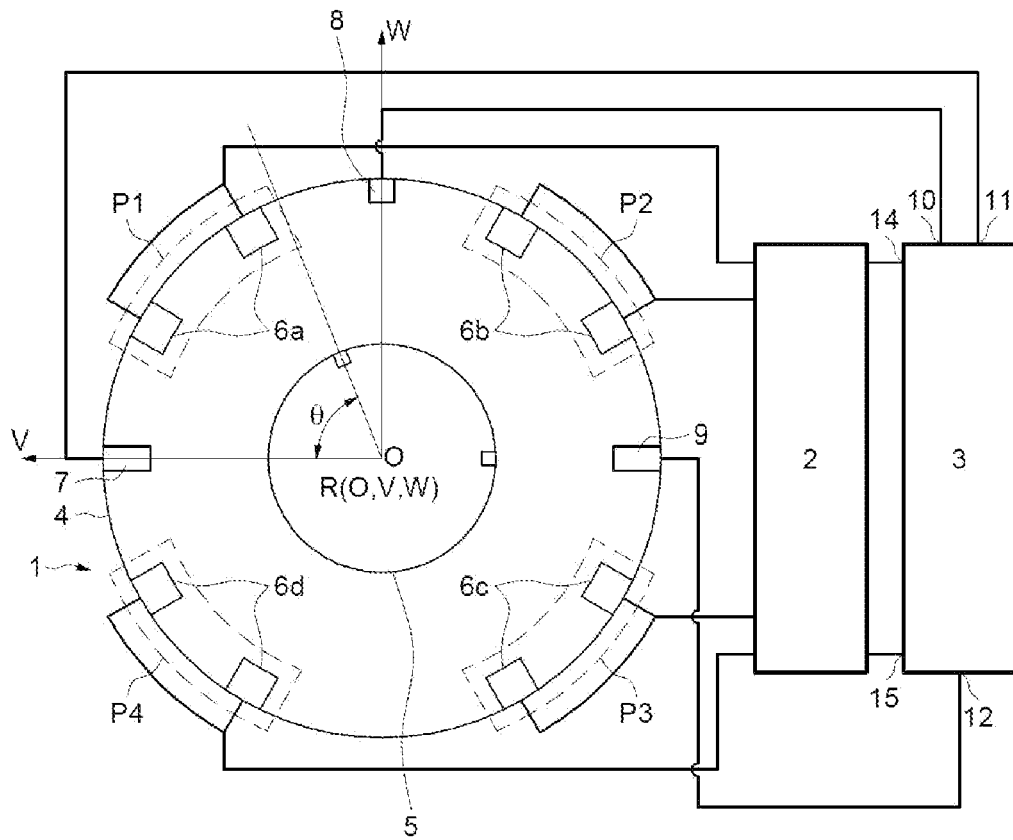
- [0143] La valeur absolue de la vitesse de rotation  $\Omega$  est supérieure au seuil  $Se$  et le gradient reste positif.
- [0144] Le signal S31 reste à « -1 ».
- [0145] A l'instant  $t_5$ , la valeur absolue de la vitesse de rotation  $\Omega$  est inférieure au seuil  $Se$ , les moyens de comparaison 1000 délivrent un signal S104 égal à « -1 ». En outre, comme le gradient de vitesse est positif ou nul, le signal S106 est égal à la valeur  $S_{p\text{indicative}}$  d'un gradient positif ou nul.
- [0146] Les deuxièmes moyens de détermination 107 détectent une inversion du sens de rotation du rotor 5 du sens direct vers le sens indirect, et délivrent un signal représentatif de la valeur du coefficient multiplicateur des gains 62, 73 égal à « 1 » de sorte que le signal S31 est égal à « 1 ».
- [0147] Le coefficient multiplicateur des gains 62, 73 est égal à « 1 ».

## Revendications

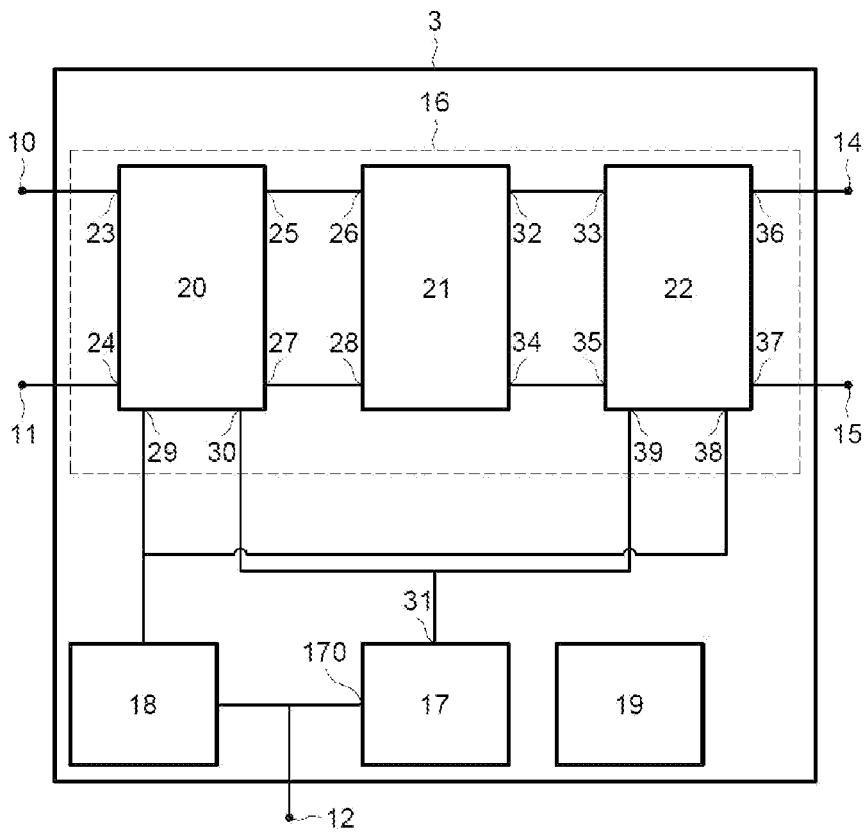
- [Revendication 1] Procédé de détection du changement de sens de rotation d'un rotor (5) de palier magnétique (1), comprenant :
- une détermination du gradient de vitesse de rotation du rotor (5),
  - une comparaison de la vitesse de rotation du rotor (5) à un seuil de vitesse (Se) prédéfini, et
  - la détection du changement de sens de rotation du rotor (5) à partir du résultat de la comparaison de la vitesse de rotation du rotor (5) au seuil de vitesse (Se) prédéfini et du gradient de vitesse de rotation du rotor (5) déterminé.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel lorsque le rotor tourne selon un premier sens de rotation, le procédé comprend :
- la détection d'une première inversion du sens de rotation du rotor (5) selon un deuxième sens de rotation opposé au premier sens de rotation lorsque la valeur absolue de la vitesse de rotation du rotor est inférieure au seuil de vitesse (Se) et lorsque le gradient de vitesse est négatif, et
  - la détection d'une deuxième inversion du sens de rotation du rotor consécutive à la première inversion, lorsque le gradient de vitesse est supérieur ou égal à zéro, et lorsque la valeur absolue de la vitesse de rotation du rotor est inférieure au seuil de vitesse.
- [Revendication 3] Dispositif (17) de détection du changement de sens de rotation d'un rotor pour palier magnétique, comprenant :
- des moyens de comparaison (1000) configurés pour comparer la vitesse de rotation du rotor (5) à un seuil de vitesse (Se) prédéfini,
  - des premiers moyens de détermination (105) configurés pour déterminer le gradient de vitesse de rotation du rotor (5), et
  - des deuxièmes moyens de détermination (107) configurés pour détecter le changement de sens de rotation du rotor (5) à partir du résultat de la comparaison de la vitesse de rotation du rotor (5) au seuil de vitesse (Se) prédéfini et du gradient de vitesse de rotation du rotor (5) déterminé.

- [Revendication 4] Dispositif selon la revendication 3, dans lequel les deuxièmes moyens de détermination (107) sont configurés pour :
- détecter une première inversion du sens de rotation du rotor selon un deuxième sens de rotation opposé au premier sens de rotation lorsque la valeur absolue de la vitesse de rotation du rotor est inférieure au seuil de vitesse ( $S_e$ ) et lorsque le gradient de vitesse est négatif, et
  - détecter une deuxième inversion du sens de rotation du rotor consécutive à la première inversion lorsque le gradient de vitesse est supérieur ou égal à zéro, et lorsque la valeur absolue de la vitesse de rotation du rotor est inférieure au seuil de vitesse ( $S_e$ ).
- [Revendication 5] Système de commande (3) pour palier magnétique comprenant un dispositif (17) selon la revendication 3 ou 4, et un filtre synchrone (16) comportant au moins un algorithme de pilotage (21) du palier magnétique (1), l'algorithme comprenant un gain variable (62, 73) piloté par ledit dispositif selon le sens de rotation du rotor.
- [Revendication 6] Système de commande selon la revendication 5, dans lequel le filtre synchrone comprend un module de démodulation (20) et un module de modulation (22), le module de modulation (20) comprenant un premier algorithme comprenant au moins un gain variable (62, 73) piloté par ledit dispositif selon le sens de rotation du rotor, et le module de démodulation (22) comprenant un deuxième algorithme comprenant au moins un gain variable piloté par ledit dispositif selon le sens de rotation du rotor.
- [Revendication 7] Système de commande selon la revendication 6, dans lequel le filtre synchrone comprend en outre un module de contrôle (21) relié d'une part au module de modulation (20) et d'autre part au module de démodulation (22), le module de contrôle (21) mettant en œuvre un algorithme de correction du balourd du rotor (5).
- [Revendication 8] Système d'entraînement comprenant un palier magnétique (1) comportant un rotor (5) et un stator (4) comportant des bobines (6a, 6b, 6c, 6d) réparties uniformément dans le stator (4) formant au moins un axe d'asservissement, un convertisseur de puissance (2) alimentant l'axe d'asservissement, et un système de commande (3) selon l'un des revendications 5 à 7 pilotant le convertisseur de puissance.

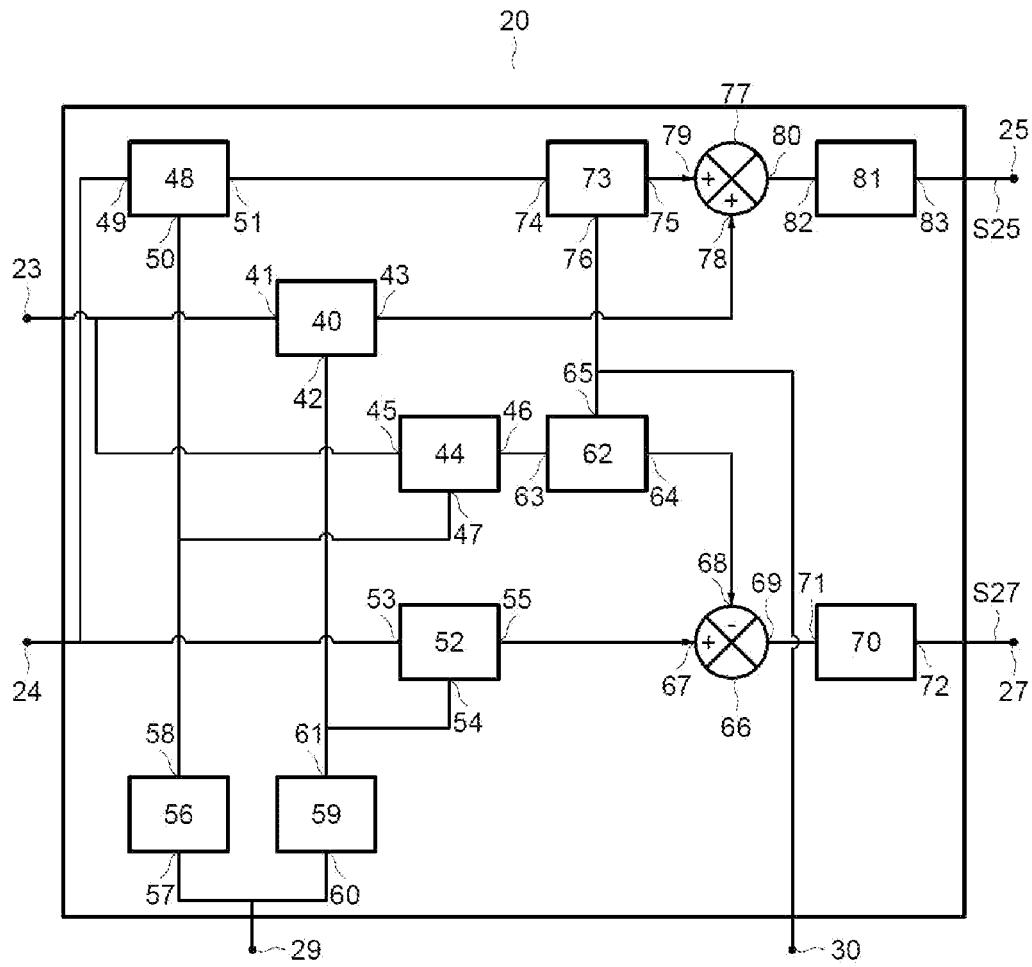
[Fig. 1]



[Fig. 2]

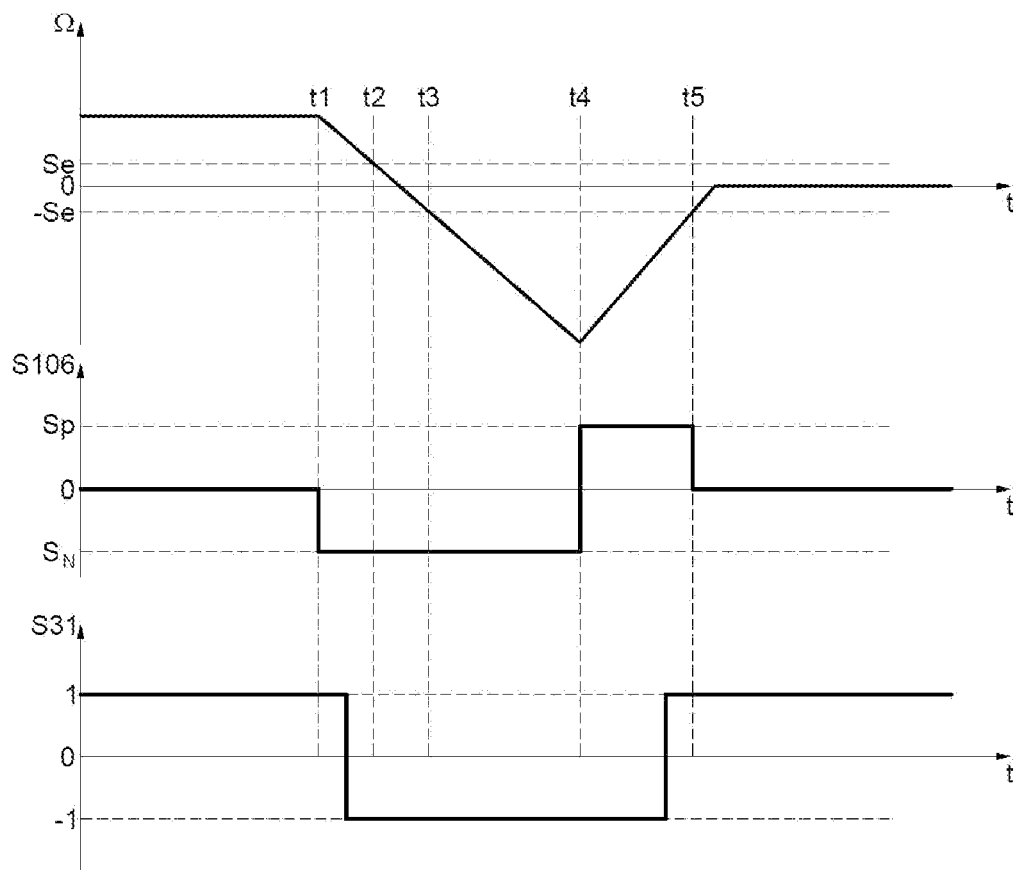


[Fig. 3]





[Fig. 6]



# 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**

NEANT

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

FR 2 995 939 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE  
FRANCE [FR]; CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH  
[DE]) 28 mars 2014 (2014-03-28)

DE 10 2014 216546 A1 (BOSCH GMBH ROBERT  
[DE]) 25 février 2016 (2016-02-25)

FR 2 918 756 A1 (RENAULT SAS [FR])  
16 janvier 2009 (2009-01-16)

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

NEANT