

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

①① N° de publication : **3 101 704**

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

②① N° d'enregistrement national : **19 11165**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 D 5/12** (2019.12), **G 01 B 7/30**, **G 01 P 13/04**,
B 62 D 15/02

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé de détection d'une position angulaire absolue ou d'une course de déplacement angulaire absolue d'un organe tournant.

②② Date de dépôt : 08.10.19.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 09.04.21 Bulletin 21/14.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 24.09.21 Bulletin 21/38.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : - **ROBERT BOSCH AUTOMOTIVE
STEERING VENDOME** Société par actions simplifiée
à associé unique — FR.

⑦② Inventeur(s) : **BOUSSEMART FRANCK.**

⑦③ Titulaire(s) : - **ROBERT BOSCH AUTOMOTIVE
STEERING VENDOME** Société par actions simplifiée
à associé unique.

⑦④ Mandataire(s) : **ALTA ALATIS PATENT SPEAS.**

FR 3 101 704 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de détection d'une position angulaire absolue ou d'une course de déplacement angulaire absolue d'un organe tournant

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention se rapporte à un dispositif de mesure comportant un codeur annulaire multipolaire à N paires de pôles fixé à un organe tournant par rapport à un organe de référence et un capteur fixé à l'organe de référence, chaque paire de pôle comportant un pôle de type Nord et un pôle de type Sud, les N paires de pôles formant sur un tour une alternance de pôles de type Nord et de pôles de type Sud, l'alternance de pôles de type Nord et de pôles de type Sud n'étant pas angulairement équirépartie. Elle se rapporte également à utilisation d'un tel dispositif pour détecter des courses angulaires absolues de l'organe tournant par rapport à l'organe de référence.

état de la technique antérieure

[0002] Pour déterminer la vitesse, la course de déplacement ou la position angulaire d'un organe tournant par rapport à un organe de référence autour d'un axe de révolution, il est connu d'équiper l'organe tournant d'un codeur annulaire et d'équiper l'organe de référence d'un capteur disposé en regard du codeur, pour lire des informations portées par le codeur au cours de la rotation de l'organe tournant.

[0003] Communément, le codeur comporte au moins une première piste de lecture qu'on dira dans la suite multipolaire, constituées d'une alternance de pôles de type Nord et de pôles de type Sud équirépartis à la périphérie du codeur. Il peut s'agir d'un codeur magnétique, mais également d'un codeur optique, les pôles de type Nord et de type Sud se distinguant alors par des propriétés optiques (couleur, réflectivité) différentes, ou de ce qu'on appelle communément une roue phonique, à savoir une roue dentée dont les alternances de dents et de créneaux sont détectables par un capteur à effet Hall. Dans toutes les configurations, le capteur détecte les transitions entre les pôles Nord et Sud successifs lors des révolutions de l'organe tournant, et un compteur permet d'en déduire un angle de rotation relative entre l'organe tournant et l'organe de référence, pour autant que le sens de rotation soit connu. Associé à une horloge, un tel compteur permet également de mesurer des vitesses de rotation. Ces mesures seront d'autant plus précises que le nombre de pôles sera élevé et l'horloge de haute résolution.

[0004] Après calibration et détermination d'une origine pour le comptage des angles, la donnée de la direction de rotation et le comptage des transitions permettent de calculer une position angulaire absolue ou un déplacement angulaire absolu de l'organe tournant par rapport à l'organe de référence, avec une résolution angulaire cor-

respondant au pas entre deux pôles successifs du codeur.

- [0005] En pratique, ce type de dispositif de mesure est notamment utilisé pour instrumenter des ensembles mécaniques comportant un moteur d'entraînement de l'organe tournant par rapport à l'organe fixe, et une commande moteur qui donne des ordres de marche et d'arrêt du moteur, les ordres de marche comportant le cas échéant une information de sens de rotation qui peut être extraite et mise à profit pour le comptage des transitions qui, suivant le sens de rotation, incrémentent ou décrémentent le compteur.
- [0006] Pour limiter la consommation énergétique, un tel dispositif de mesure est habituellement mis hors service lorsque l'organe tournant est à l'arrêt. La mise en service du dispositif de mesure est alors déclenchée par la commande moteur.
- [0007] Il s'ensuit qu'il existe des périodes durant lesquelles le dispositif de mesure est aveugle, au sens où il n'est pas en mesure de détecter d'éventuelles variations de position angulaire de l'organe tournant alors que le moteur est à l'arrêt. De telles variations peuvent notamment être induites par des relâchements de contraintes internes ou des micro-déplacements de l'organe tournant à l'arrêt.
- [0008] Il peut alors s'avérer que le capteur, au moment de son réveil, ne se trouve pas en regard du même pôle du codeur que lors de sa mise en sommeil. Cet état de fait peut le cas échéant être détecté, par exemple si le pôle au réveil est de polarité différente du pôle de mise en sommeil et si le capteur est en mesure de lire non seulement les transitions entre pôles mais également la nature des pôles. Mais même en pareille circonstance, il n'est possible de déterminer ni le sens ni l'amplitude du déplacement de l'organe tournant pendant la période de sommeil du capteur.
- [0009] Naturellement, il est possible d'ajouter un deuxième codeur annulaire, porteur d'une singularité et lue par un deuxième capteur, pour recalibrer à chaque tour les informations données par le codeur multipolaire. Mais un tel système est plus complexe et potentiellement plus consommateur d'énergie.

Exposé de l'invention

- [0010] L'invention vise à remédier aux inconvénients de l'état de la technique et à proposer des moyens simples et peu consommateurs d'énergie ou de temps de calcul, pour détecter et/ou corriger des erreurs dans la détermination d'une position angulaire absolue ou d'une course de déplacement angulaire absolue d'un organe tournant par rapport à un organe de référence.
- [0011] Pour ce faire est proposé, selon un premier aspect de l'invention, un procédé de détection d'une position angulaire absolue ou d'une course de déplacement angulaire absolue d'un organe tournant par rapport à un organe de référence autour d'un axe de révolution, à l'aide d'un dispositif de mesure comportant un codeur annulaire multipolaire à N paires de pôles fixé à l'organe tournant et un capteur fixe par rapport à

l'organe de référence, chaque paire de pôle comportant un pôle de type Nord et un pôle de type Sud, les N paires de pôles formant sur un tour une alternance de pôles de type Nord et de type Sud, l'alternance de pôles n'étant pas distribuée de façon régulière autour de l'axe de révolution, le procédé comportant une détection par le capteur d'une suite de transitions successives caractéristiques chacune d'un passage des pôles de l'alternance de pôles devant le capteur, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte les opérations suivantes :

- une détermination de plusieurs durées de révolution complète glissantes associées chacune à une transition extraite de la suite de transitions successives et égales chacune au temps séparant la transition extraite d'une transition d'ordre $2N$ précédente de la suite de transitions successives, et d'une durée de révolution complète estimée, fonction d'une ou plusieurs des durées de révolution complète glissantes,
- une détermination de plusieurs durées caractéristiques chacune d'une transition testée de la suite de transitions successives, et chacune égale au temps séparant la transition testée d'une autre transition de la suite de transitions successives, l'autre transition étant immédiatement adjacente à la transition testée dans la suite de transitions successives ou séparée de la transition testée par un nombre prédéterminé Q de transitions successives de la suite de transition successives, Q étant compris entre 1 et $2N-2$,
- un calcul pour chaque transition testée d'un angle caractéristique de la transition testée, proportionnel à un ratio entre la durée caractéristique de la transition testée et la durée de révolution complète estimée.

[0012] Le procédé peut tirer parti d'une imperfection constatée d'un codeur multipolaire conçu pour présenter une symétrie de révolution d'ordre $2N$, mais dont l'alternance de pôles de type Nord et de pôles de type Sud s'avère imparfaitement équirépartie, ou mettre en œuvre un codeur volontairement conçu pour présenter au moins une transition entre deux pôles successifs dont le positionnement est spécifique.

[0013] La transition d'indexation pourra être par exemple celle dont la distance angulaire à l'une des transitions directement voisines est la plus petite, ou la plus grande. Dans cette hypothèse, la durée caractéristique de la transition testée pourra être la durée la séparant de la transition la précédant ou la suivant directement (c'est-à-dire sans transition intermédiaire, $Q=0$) dans la suite des transitions détectées.

[0014] La transition d'indexation pourra le cas échéant être caractérisée par une signature angulaire plus complexe, par rapport à une ou plusieurs autres transitions : on pourra par exemple repérer la transition d'indexation par deux angles caractéristiques la séparant de deux autres transitions situées de part et d'autre de la transition d'indexation et directement adjacentes ($Q=0$) ou non ($Q>0$).

[0015] La durée de révolution complète permet une estimation d'une grandeur proportionnelle à l'inverse de la vitesse moyenne de révolution par tour, qui est insensible à l'irrégularité dans la distribution angulaire des pôles. En rapportant la durée caractéristique de la transition testée à la durée d'une révolution complète, on détermine une mesure angulaire indépendante de la vitesse de révolution de l'organe tournant. On peut envisager différentes manières de déterminer la durée de révolution complète estimée :

- Suivant une mode de réalisation, la durée de révolution complète estimée est égale soit à la durée de révolution complète glissante associée à la transition testée à l'autre transition ou à une quelconque transition entre la transition testée et l'autre transition,
- Suivant un autre mode de réalisation, la durée de révolution complète estimée est égale à une moyenne calculée à partir d'au moins certaines des durées de révolution complète glissantes, de préférence une moyenne calculée à partir de plusieurs durées parmi les durées suivantes : la durée de révolution complète glissante associée à la transition testée, la durée de révolution complète glissante associée à l'autre transition, et le cas échéant une ou plusieurs durées de révolution complète glissante associées à une ou plusieurs transitions séparant la transition testée de l'autre transition.

[0016] Suivant un mode de réalisation, on procède à une comparaison de l'angle caractéristique de la transition testée avec un angle spécifique d'indexation préalablement mémorisé ou avec un ou plusieurs autres angles caractéristiques d'une ou plusieurs autres transitions testées pour déterminer si la transition testée correspond à une transition d'indexation prédéterminée unique caractéristique de la distribution irrégulière de l'alternance de pôles autour de l'axe de révolution.

[0017] Dans la mesure où la signature de la transition d'indexation est unique, on pourra déterminer si la transition testée correspond à la transition d'indexation en comparant l'angle caractéristique de la transition testée aux angles caractéristiques de toutes les autres transitions.

[0018] Alternativement, et dans la mesure où le ratio calculé entre la durée caractéristique de la transition testée et la durée de révolution complète glissante associée à la transition testée délivre un résultat qui est un angle caractéristique de la transition testée, on pourra déterminer si la transition testée correspond à la transition d'indexation en comparant l'angle caractéristique de la transition testée à une valeur prédéterminée, gardée en mémoire et caractéristique de l'angle spécifique d'indexation.

[0019] Suivant un mode de réalisation, on prévoit les opérations suivantes :

- lors de la détection par le capteur de transitions successives caractéristiques des passages des pôles de l'alternance de pôle devant le capteur, incrément-

mentation ou décrémentation d'au moins un compteur de transitions en fonction des transitions détectées et, le cas échéant, d'une direction de rotation donnée de l'organe tournant.

- lorsque la transition testée correspond à la transition d'indexation, lecture d'une valeur courante du compteur de transitions, et écriture dans le compteur de transitions d'une valeur de remplacement fonction de la valeur courante et d'un numéro d'indexation spécifique de la transition d'indexation.

[0020] Le compteur de transition livre à chaque instant une information sur la course angulaire parcourue par l'organe tournant, et une information sur la position angulaire absolue de l'organe tournant. Cette information peut le cas échéant être entachée d'erreur, notamment si l'organe tournant a changé de position alors que le capteur était en veille. La reconnaissance de la transition indexée permet de corriger la valeur du compteur. La valeur de remplacement est fonction à la fois de la valeur courante du compteur, qui livre une information sur le nombre de tours de la course angulaire, et du numéro d'indexation spécifique de la transition d'indexation, qui précise le positionnement angulaire exacte de l'organe tournant.

[0021] En pratique, l'entraînement de l'organe tournant est réalisé par un moteur ou un motoréducteur, notamment un moteur électrique. Lorsque l'entraînement de l'organe tournant est bidirectionnel, on peut connaître la direction de rotation de l'organe tournant en déterminant la direction de l'ordre de commande du moteur, par exemple la polarité d'un courant d'alimentation du moteur. Suivant un mode de réalisation, on procède à une détection d'un ordre de mise en rotation de l'organe tournant dans une direction de rotation donnée, et à une mémorisation de la direction de rotation donnée.

[0022] En pratique, les erreurs que l'on anticipe sont notamment des erreurs de très faibles amplitude, consécutives à des relâchements de contraintes internes dans l'organe tournant lorsque le moteur d'entraînement s'arrête et que le capteur est mis en veille. On constate que l'amplitude de telles erreurs peut amener à un décalage d'un pôle entre le dernier pôle vu par le capteur avant la mise en veille et le premier pôle vu par le capteur lors du réveil. Pour cette raison, on peut prévoir, lorsque le capteur est apte à détecter le type d'un pôle de l'alternance de pôles en regard duquel se trouve le capteur, les opérations suivantes :

- lors d'un arrêt de l'organe tournant, mémorisation du dernier type de pôle détecté et de la valeur courante du compteur de transitions ;
- lors d'une reprise de rotation de l'organe tournant, lecture du premier type de pôle détecté et reprise de l'incrémementation ou de la décrémentation du compteur de transitions à partir de la valeur courant mémorisée ;
- si le premier type de pôle détecté n'est pas identique au dernier type de pôle détecté, levée d'un drapeau de vigilance ;

- abaissement du drapeau de vigilance lors de l'écriture de la valeur de remplacement.

[0023] Le ratio entre la durée caractéristique de la transition testée et la durée de révolution complète estimée sera une estimation d'autant plus correcte de l'angle caractéristique de la transition testée que les fluctuations de la vitesse de révolution seront faibles à l'échelle d'un tour. De préférence, on prévoit une procédure de test d'une condition de stabilité de vitesse angulaire de l'organe tournant par rapport à l'organe de référence autour de l'axe de révolution, comportant, pour au moins la transition testée et l'autre transition :

- un calcul de la différence entre les durées de révolution complète glissantes associées à la transition testée et à l'autre transition ;
- au moins une comparaison de ladite différence à un seuil fonction de la durée de révolution complète estimée, pour déterminer si la condition de stabilité de vitesse est réalisée ou non.

[0024] Suivant un mode de réalisation, on prévoit qu'au moins l'opération de calcul d'un angle caractéristique de la transition testée n'est réalisée ou exploitée que si la condition de stabilité de vitesse angulaire est réalisée. En pratique, la procédure de test d'une condition de stabilité de vitesse angulaire est réalisée pour chacune des transitions testées.

[0025] Pour déterminer les durées de révolution et les durées caractéristiques pour différentes transitions testées, on peut faire appel à deux horloges par transition testée, chacune déclenchée puis lue et remise à zéro lors des détections de transitions successives par le capteur.

[0026] Alternativement, et suivant un mode de réalisation préféré, le capteur est lié à au moins une horloge et une mémoire vive comportant au moins $2N$ emplacements de mémoire, le procédé comportant, pour chacune des transitions de la suite de transitions successives détectée par le capteur, la mémorisation dans un des emplacements de la mémoire vive d'un temps correspondant de l'horloge, chacune des durées déterminées étant calculée comme une différence temporelle entre deux des temps mémorisés. On n'a alors besoin pour le procédé que d'une horloge.

[0027] Suivant un mode de réalisation, on détermine à partir d'au moins deux angles caractéristiques de deux transitions testées ou d'une même transition testée, un sens de rotation relative entre l'organe tournant et l'organe de référence.

[0028] Suivant un autre aspect de l'invention, celle-ci a trait à un dispositif de mesure pour instrumenter un ensemble comportant un organe tournant apte à tourner par rapport à un organe de référence autour d'un axe de révolution, le dispositif de mesure comportant :

- un codeur annulaire multipolaire à N paires de pôles destiné à être fixé à

l'organe tournant, chaque paire de pôle comportant un pôle de type Nord et un pôle de type Sud, les N paires de pôles formant sur un tour une alternance de pôles de type Nord et de pôles de type Sud, l'alternance de pôles de type Nord et de pôles de type Sud n'étant pas distribuée de façon régulière autour de l'axe de révolution ;

- un capteur, par exemple optique ou de préférence magnétique, destiné à être fixé par rapport à l'organe de référence de manière à détecter une suite de transitions successives caractéristiques chacune d'un passage des pôles de l'alternance de pôle devant le capteur ; et
- un circuit de mesure programmé pour exécuter le procédé tel que décrit précédemment.

[0029] De préférence, le capteur est apte à détecter le type Nord ou Sud d'un pôle de l'alternance de pôles en regard duquel se trouve le capteur. Il peut notamment s'agir d'un capteur à effet Hall permettant de distinguer des pôles magnétique Nord et Sud d'un codeur magnétique multipolaire.

[0030] Le dispositif comporte de préférence une horloge et une mémoire comportant au moins $2N$ emplacements pour mémoriser des temps d'horloge, chaque emplacement mémoire étant associé à l'une des $2N$ transitions successives entre deux pôles successifs du codeur.

[0031] Le dispositif de mesure est de préférence relié à un moteur d'entraînement de l'organe tournant ou à une commande d'un tel moteur d'entraînement de manière à lire un signal représentatif d'une direction de rotation du moteur, et à mémoriser l'information correspondante.

brève description des figures

[0032] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description qui suit, en référence aux figures annexées, qui illustrent :

[fig.1] la figure 1, un système tournant comportant un dispositif selon un mode de réalisation de l'invention ;

[fig.2] la figure 2, une vue schématique d'un codeur du dispositif de la figure 1 ;

[fig.3] la figure 3, un graphe déroulé de la distribution angulaire du codeur de la figure 2 ;

[fig.4] la figure 4, un graphe illustrant une distribution angulaire de transitions successives entre pôles du codeur de la figure 2, et l'incrémentation correspondante d'un compteur de transitions

[fig.5] la figure 5, un logigramme d'un programme mettant en œuvre un procédé selon l'invention.

[0033] Pour plus de clarté, les éléments identiques ou similaires sont repérés par des signes

de référence identiques sur l'ensemble des figures.

description DÉTAILLÉE de modes de réalisation

- [0034] Sur la figure 1 est illustré de façon schématique un système tournant **10** comportant un moteur électrique **12**, dans le carter **14** duquel sont logés des enroulements statoriques **16** qui permettent d'entraîner un arbre moteur **18** autour d'un axe de référence **100** fixe par rapport au carter moteur **14**. Le moteur **12** peut être de tout type. Il est commandé par un circuit de commande **20** qui lance des ordres de marche et d'arrêt, les ordres de marche comportant le cas échéant une information de sens de rotation si le moteur **12** est bidirectionnel.
- [0035] Dans la suite de l'exposé, on nommera l'arbre moteur **18** « organe tournant », et la partie fixe **14** du moteur « organe de référence ». Le système tournant est instrumenté par un dispositif de mesure **22** d'une position angulaire absolue ou d'une course de déplacement angulaire absolue de l'organe tournant **18** par rapport à l'organe de référence **14** autour de l'axe de révolution **100**, qui comporte un codeur annulaire multipolaire **24** fixé à l'organe tournant **18** et disposé en regard d'un capteur **26** fixe par rapport à l'organe de référence **14**. Le codeur **24** est ici de type magnétique et le capteur **26** est un capteur inductif, par exemple un capteur à effet hall, mais l'invention a vocation à s'appliquer à d'autres type de codeurs multipolaires et d'autres capteurs, fonctionnant par exemple sur un principe optique.
- [0036] Par codeur multipolaire, on entend ici un codeur comportant N paires de pôles, N étant un nombre entier non nul, chaque paire de pôles comportant un pôle de type Nord (par exemple un pôle magnétique Nord ou un secteur angulaire ayant une première propriété optique) et un pôle de type Sud (par exemple un pôle magnétique Sud ou un secteur angulaire ayant une deuxième propriété optique distincte de la première propriété optique). Les N paires de pôles forment sur la circonférence de l'anneau une alternance de pôles de type Nord et de pôles de type, comme illustré sur la figure 2 pour N=4.
- [0037] Le capteur **26** est positionné sur l'organe de référence **14** de façon à détecter les transitions entre pôles de type Nord et pôles de type Sud. De préférence, le capteur **26** est également apte à détecter le type Nord ou Sud du pôle en regard duquel il se trouve.
- [0038] L'instrumentation du système comporte en outre un circuit de mesure **28**. Le circuit de mesure **28** est relié au capteur **26** pour lire les transitions détectées, et le cas échéant le type Nord ou Sud de chaque pôle du codeur **24** vu par le capteur **26**. Le circuit de mesure **28** est également relié au circuit de commande **20** du moteur **12** pour lire des informations représentatives des ordres de démarrage et d'arrêt du moteur **12**, et le cas échéant des ordres concernant la direction de rotation du moteur **12**. Le circuit de mesure **28** peut également être relié au circuit de commande **20** pour livrer au circuit de commande **20** des informations calculées par le circuit de mesure **28**.

- [0039] Le circuit de mesure **28** peut comporter un circuit de mise en sommeil, apte à réduire la consommation du circuit de mesure **28** et notamment à cesser l'alimentation du capteur, après détection d'un ordre d'arrêt du moteur **12** ou après détection d'un arrêt de l'organe tournant **18**, et jusqu'à détection d'un ordre de démarrage du moteur **12**.
- [0040] Le circuit de mesure **28** comporte une horloge **30**, une mémoire **32** comportant au moins $2N$ emplacements **34** pour mémoriser des temps de l'horloge **30** et un compteur de transitions **36** qu'il est possible d'incrémenter, de décrémenter ou de remettre à zéro. Le circuit de mesure **28** comporte également un processeur **38** pour effectuer des opérations logiques et algébriques sur les temps d'horloges et lire et écrire dans la mémoire **32** et le compteur de transitions **36**.
- [0041] À chaque détection par le capteur **26** d'une transition entre deux pôles du codeur, et suivant la direction de rotation déterminée par le circuit de commande **20** du moteur, le circuit de mesure **28** est programmé pour d'une part incrémenter ou décrémenter le compteur de transitions **36** qui prend une valeur courante j , ou j est un entier relatif quelconque, et d'autre part mémoriser le temps d'horloge T_j courant, de façon circulaire dans la mémoire **32** à $2N$ emplacements **34**. On dispose ainsi pour une suite d'au moins $2N$ transitions successives détectées, d'une suite correspondante d'au moins $2N$ instants successifs mémorisés T_j .
- [0042] De façon remarquable, l'alternance de pôles de type Nord et de pôles de type Sud du codeur n'est pas distribuée de façon régulière autour de l'axe de révolution. À titre illustratif on a représenté de façon schématique sur la figure **2** un codeur **24** présentant huit pôles **241** à **248** et on a reporté sur la figure **3** sur une échelle linéaire d'angles un déroulé des pôles **241** à **248** du codeur **24** de la figure **2** sur plus d'un tour, et sur la figure **4** les incréments successives correspondantes du compteur de transitions **36** (notées ici arbitrairement de 1 à 13) en réponse aux transitions détectées par le capteur **26**. On distingue entre les transitions 1 et 2, puis 9 et 10, un pôle étroit **242** succédant, entre les transitions 8 et 9, à un pôle large et précédant, entre les transitions 2 et 3, un pôle de largeur moyenne. Cette irrégularité peut être une conséquence aléatoire d'un procédé de fabrication du codeur **24** dans lequel la largeur des pôles **241** à **248** n'est pas parfaitement maîtrisée. Elle peut également être, et de façon préférentielle, induite par une fabrication maîtrisée du codeur **24** avec des largeurs de pôles différentes.
- [0043] Une conséquence de cette irrégularité est que le secteur angulaire couvrant un nombre entier P de pôles varie en fonction du premier pôle observé, lorsque P n'est pas un multiple de $2N$, et notamment lorsque P est strictement inférieur à $2N$. Il s'ensuit que le comptage de P transitions successives observées par le capteur ne permet pas à lui seul de calculer le débattement angulaire correspondant ou la vitesse moyenne pour parcourir ces P transitions, sauf si P est un multiple de $2N$. Inversement, lorsque P est multiple de $2N$, on sait que l'organe tournant a effectué un nombre entier de tour, et la

vitesse moyenne que l'on peut calculer n'est pas entachée d'erreur.

[0044] Selon l'invention, on prévoit de mettre à profit ce constat en observant, pour chaque transition détectée par le capteur, l'intervalle de temps $D_j = T_j - T_{j-2N}$ séparant cette transition de la transition détectée d'ordre $2N$ précédente. On détermine ainsi par le calcul pour chaque transition détectée d'ordre j une durée D_j de la révolution complète de l'organe tournant s'achevant avec cette transition. L'inverse $1/D_j$ de cette durée représente une vitesse moyenne de la révolution complète, exprimé en nombre de tours par unité de temps.

[0045] Si l'on fait l'hypothèse que la vitesse de révolution de l'organe tournant **18** varie peu entre deux instants d'observation donnés T_i et T_j correspondant à deux valeurs i et j du compteur de transition **36** suffisamment proches dans la série de transitions successives détectées, on peut considérer que le temps qui s'écoule entre les deux instants, rapporté à une durée d'une révolution complète estimée D de l'organe tournant est une mesure d'un secteur angulaire δ_{ji} du codeur **24** entre les deux transitions, qui est un angle caractéristique de ma transition j .

$$\delta_{ji} \approx \frac{T_j - T_i}{D}$$

[0046] En pratique, on peut choisir comme durée de révolution estimée D la durée de révolution complète D_j associée à l'observation de rang j , ou la durée de révolution complète D_i associée à l'observation de rang i , ou une valeur moyenne calculée sur l'intervalle entre les observations i et j , par exemple :

$$D = \frac{D_j + D_i}{2}$$

$$D = \frac{\sum_{k=i}^{k=j} D_k}{j-i+1} = \frac{\sum_{k=i}^{k=j} (T_k - T_{k-2N})}{j-i+1}$$

[0047] En pratique, on choisira i proche de j : $1 \leq j-i \leq 2N-1$

et de préférence : $1 \leq j-i \leq N-1$ et de façon particulièrement préférée : $j = i+1$

[0048] Pour valider l'hypothèse de stabilité de la vitesse de révolution de l'organe tournant, on peut effectuer un test sur les durées de révolution D_j et D_i ou sur toutes les durées D_k pour l'indice k variant de i à j , en vue de déterminer si les variations observées sont faibles par rapport à D . On peut par un exemple valider si une condition exprimée de la façon suivante est réalisée :

$$\frac{\sum_{k=i+1}^{k=j} (D_k - D_{k-1})}{D \cdot (j-i)} < \varepsilon$$

où ε est un seuil prédéterminé

faible, par exemple inférieur à 10^{-2} .

[0049] Lorsque la condition est réalisée, on considère que la valeur δ_{ji} correspond bien à la valeur de l'angle entre les transitions i et j .

[0050] En répétant ce calcul pour $2N$ valeurs de j successives, on obtient une estimation des angles caractéristiques δ_{ji} de toutes les transitions sur un tour et l'on peut identifier la valeur de j ayant une signature particulière (par exemple la valeur la plus petite cor-

respondant dans l'exemple de la figure 2 au pôle 242 occupant le secteur angulaire le moins grand, ou la valeur la plus grande correspondant au pôle 241 occupant le secteur angulaire le plus grand).

- [0051] Cette signature correspond à une position connue d'un pôle ou d'une transition d'indexation du codeur. On peut alors vérifier si la valeur correspondante du compteur, modulo $2N$ (c'est-à-dire le reste de la division entière de la valeur contenue dans le compteur par $2N$), correspond ou non au pôle ou à la transition indexée. En cas de décalage, on peut remplacer la valeur contenue dans le compteur par une valeur corrigée qui est une fonction du nombre de tour détectés par le compteur (le quotient de la division de la valeur courante du compteur par $2N$) et d'une valeur prédéterminée attribuée à la singularité.
- [0052] Alternativement, on peut, lors d'une étape préalable d'étalonnage, avoir mémorisé un angle spécifique Δ du pôle ou de l'alternance d'indexation (par exemple l'angle entre les deux transitions encadrant le pôle 242) puis, lors du fonctionnement de l'installation, comparer chaque angle caractéristique δ_{ji} à cet angle spécifique.
- [0053] Pour augmenter le niveau de confiance dans la reconnaissance du pôle ou de la transition d'indexation, on peut calculer plus d'un angle caractéristique de la transition. On peut par exemple identifier de façon unique la transition correspondant à l'incrément 9 sur la figure 4, entre les pôles 241 et 242, par les deux angles qui la sépare des deux transitions qui l'encadrent, à savoir l'angle Δ_{241} qui la sépare de la transition 8 et l'angle Δ_{242} qui la sépare de la transition 10, sachant que Δ_{241} est le secteur angulaire le plus petit entre deux transitions successives et Δ_{242} le secteur angulaire le plus grand. Lorsque le calcul des angles caractéristiques δ_{ji} livre deux valeurs successives $\delta_{j,j-1}$ et $\delta_{j+1,j}$ qui correspondent respectivement à Δ_{241} et Δ_{242} , ou qui sont respectivement la valeur la plus petite et la valeur la plus grande des angles caractéristiques calculés sur un tour, on détermine que l'incrément j correspond à la transition entre les pôles 241 et 242.
- [0054] On constatera que le calcul de plusieurs angles caractéristiques d'une même transition permet non seulement de reconnaître avec un niveau de confiance plus élevé la transition d'indexation, mais également le sens de rotation de l'organe tournant.
- [0055] On a supposé dans l'exposé précédent que l'horloge fournissait un temps précis par rapport aux événements observés. En pratique, l'horloge doit avoir un pouvoir de résolution temporelle f , exprimé en Hz, substantiellement supérieur à la fréquence de passage des transitions devant le capteur. Si V_{Max} est la vitesse de révolution maximale délivrée par le moteur 12, exprimée en rad/s : $f \gg \frac{2N}{2\pi} \cdot V_{Max}$
- [0056] En pratique : $f > 10^2 \frac{2N}{2\pi} \cdot V_{Max}$
- [0057] Sur la figure 5 est illustré un logigramme d'un programme mettant en œuvre le

procédé selon l'invention, dans un cas où $j=i+1$, c'est-à-dire dans le cas où les angles caractéristiques calculés sont les angles entre deux transitions successives du codeur **24**.

- [0058] On suppose un état initial **1000** dans lequel le moteur est à l'arrêt, le compteur de transitions **36** conserve la dernière valeur connue d'une exécution précédente du programme, mais ne représente pas nécessairement avec exactitude la position réelle de l'organe tournant qui peut avoir très légèrement bougé depuis la dernière observation. De façon optionnelle, le circuit de mesure **28** peut également avoir mémorisé le type Nord ou Sud du dernier pôle détecté avant l'arrêt.
- [0059] Au pas **1001**, un ordre de commande du moteur dans un sens donné est émis par le circuit de commande **20** et détecté par le circuit de mesure **28** qui mémorise le sens de rotation et réveille de capteur **26**. De façon optionnelle, on peut prévoir que le capteur lise le type Nord ou Sud du pôle qu'il détecte à son réveil, et que ce type soit comparé au type du dernier pôle détecté avant l'arrêt, afin de lever un drapeau de vigilance si les deux types diffèrent et de le baisser sinon. Le drapeau de vigilance levé signifie que l'on sait qu'il y a eu un décalage. Ce test peut être utile notamment si l'on sait que les changements de position de l'organe tournant à l'arrêt du moteur ne peuvent être que très faibles et inférieurs à la largeur angulaire du plus petit pôle du codeur. Dans cette hypothèse en effet, la position du drapeau de vigilance permet de savoir s'il y a ou non eu un décalage, et de décider en conséquence si les étapes suivantes du programme doivent ou non être exécutées.
- [0060] Au pas **1002**, le capteur **26** détecte les transitions entre pôles successifs du codeur **24**, et le circuit de mesure **28** alimente la mémoire **34** avec les temps d'horloge T_j correspondants et incrémente ou décrémente le compteur de transitions, suivant le sens de rotation préalablement mémorisé à l'étape **1001**. En variante, on peut prévoir que le sens de rotation ne soit pas transmis par le circuit de commande **20** au circuit de mesure **28**, et que deux compteurs distincts soient utilisés en parallèle, l'un incrémenté à chaque transition détectée et correspondant à l'hypothèse d'un premier sens de rotation et l'autre, décrémenté à chaque transition détectée, correspondant à l'hypothèse du sens de rotation opposé.
- [0061] Au pas **1003**, après la détection d'au moins $2N$ transitions successives, le processeur **38** calcule à chaque transition k le temps écoulé D_k depuis la transition d'ordre $2N$ précédente.
- [0062] Au pas **1004**, le processeur **38** effectue un test de stabilité de la vitesse de révolution de l'organe tournant et déterminant si l'inégalité suivante est réalisée :

$$\frac{\sum_{k=j-N+1}^{k=j} (D_k - D_{k-1})}{N \cdot D_j} < \varepsilon$$

- [0063] Si le test est positif, on effectue au pas **1005** les calculs d'angles caractéristiques $\delta_{k,k-1}$ pour les transitions k entre $j-N$ et j et l'on identifie la transition L correspondant à la transition d'indexation.
- [0064] Au pas **1006**, on corrige le compteur de transitions **36** en écrivant dans le compteur une valeur qui est égale à la somme du quotient de la valeur courante par $2N$ et de la valeur, comprise entre 1 et $2N$, associée à la transition d'indexation. Le cas échéant, le drapeau de vigilance peut être abaissé. À partir de cette étape, on considère que le compteur de transitions **36** donne une information non erronée sur la course angulaire du codeur **24** et de l'organe tournant **18** par rapport à une position d'étalonnage.
- [0065] Naturellement, les exemples représentés sur les figures et discutés ci-dessus ne sont donnés qu'à titre illustratif et non limitatif. Il est explicitement prévu que l'on puisse combiner entre eux les différents modes de réalisation illustrés pour en proposer d'autres.

Revendications

[Revendication 1] Procédé de détection d'une position angulaire absolue ou d'une course de déplacement angulaire absolue d'un organe tournant (18) par rapport à un organe de référence (14) autour d'un axe de révolution (100), à l'aide d'un dispositif de mesure comportant un codeur annulaire multipolaire (24) à N paires de pôles fixé à l'organe tournant (18) et un capteur (26) fixe par rapport à l'organe de référence (14), chaque paire de pôle comportant un pôle de type Nord et un pôle de type Sud, les N paires de pôles formant sur un tour une alternance de pôles (241 à 248) de type Nord et de type Sud, l'alternance de pôles (241 à 248) n'étant pas distribuée de façon régulière autour de l'axe de révolution (100), le procédé comportant une détection par le capteur (24) d'une suite de transitions successives caractéristiques chacune d'un passage des pôles (241 à 248) de l'alternance de pôles devant le capteur, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte les opérations suivantes :

- une détermination de plusieurs durées de révolution complète glissantes associées chacune à une transition extraite de la suite de transitions successives et égales chacune au temps séparant la transition extraite d'une transition d'ordre $2N$ précédente de la suite de transitions successives, et d'une durée de révolution complète estimée, fonction d'une ou plusieurs des durées de révolution complète glissantes,
- une détermination de plusieurs durées caractéristiques chacune d'une transition testée de la suite de transitions successives, et chacune égale au temps séparant la transition testée d'une autre transition de la suite de transition successives, l'autre transition étant immédiatement adjacente à la transition testée dans la suite de transitions successives ou séparée de la transition testée par un nombre prédéterminé Q de transitions successives de la suite de transition successives, Q étant compris entre 1 et $2N-2$,
- un calcul pour chaque transition testée d'un angle caractéristique de la transition testée, proportionnel à un ratio entre la durée caractéristique de la transition testée et la durée de révolution complète estimée.

- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la durée de révolution complète estimée est égale soit à la durée de révolution complète glissante associée à la transition testée, à l'autre transition ou à une quelconque transition entre la transition testée et l'autre transition, soit à une moyenne calculée à partir d'au moins certaines des durées de révolution complète glissantes, de préférence une moyenne calculée à partir de plusieurs durées parmi les durées suivantes : la durée de révolution complète glissante associée à la transition testée, la durée de révolution complète glissante associée à l'autre transition, une ou plusieurs durées de révolution complète glissante associées à une ou plusieurs transitions séparant la transition testée de l'autre transition.
- [Revendication 3] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une comparaison de l'angle caractéristique de la transition testée avec un angle spécifique d'indexation préalablement mémorisé ou avec un ou plusieurs autres angles caractéristiques d'une ou plusieurs autres transitions testées pour déterminer si la transition testée correspond à une transition d'indexation prédéterminée unique caractéristique de la distribution irrégulière de l'alternance de pôles (241 à 248) autour de l'axe de révolution (100).
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte les opérations suivantes :
- lors de la détection par le capteur de transitions successives caractéristiques des passages des pôles de l'alternance de pôle devant le capteur, incrémentation ou décrémentation d'au moins un compteur de transitions (36) en fonction des transitions détectées et, le cas échéant, d'une direction de rotation donnée de l'organe tournant.
 - lorsque la transition testée correspond à la transition d'indexation, lecture d'une valeur courante du compteur de transitions (36), et écriture dans le compteur de transitions (36) d'une valeur de remplacement fonction de la valeur courante et d'un numéro d'indexation spécifique de la transition d'indexation.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4 caractérisé en ce qu'il comporte les opérations suivantes :
- détection d'un ordre de mise en rotation de l'organe tournant

- dans une direction de rotation donnée,
- mémorisation de la direction de rotation donnée.

[Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 5, le capteur (26) étant apte à détecter le type d'un pôle (241 à 248) de l'alternance de pôles en regard duquel se trouve le capteur (26), le procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte les opérations suivantes :

- lors d'un arrêt de l'organe tournant (18), mémorisation du dernier type de pôle détecté et de la valeur courante du compteur de transitions (36) ;
- lors d'une reprise de rotation de l'organe tournant (18), lecture du premier type de pôle détecté et reprise de l'incrémementation ou de la décrémentation du compteur de transitions (36) à partir de la valeur courant mémorisée ;
- si le premier type de pôle détecté n'est pas identique au dernier type de pôle détecté, levée d'un drapeau de vigilance ;
- abaissement du drapeau de vigilance lors de l'écriture de la valeur de remplacement.

[Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une procédure de test d'une condition de stabilité de vitesse angulaire de l'organe tournant par rapport à l'organe de référence autour de l'axe de révolution, comportant, pour au moins la transition testée et l'autre transition :

- un calcul de la différence entre les durées de révolution complète glissantes associées à la transition testée et à l'autre transition ;
- au moins une comparaison de ladite différence à un seuil fonction de la durée de révolution complète estimée, pour déterminer si la condition de stabilité de vitesse est réalisée ou non.

[Revendication 8] Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'au moins l'opération de calcul d'un angle caractéristique de la transition testée est n'est réalisée ou exploitée que si la condition de stabilité de vitesse angulaire est réalisée.

- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications 7 à 8, caractérisé en ce que la procédure de test d'une condition de stabilité de vitesse angulaire est réalisée pour chacune des transitions testées.
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le capteur (26) est lié à au moins une horloge (36) et une mémoire vive (32) comportant au moins 2N emplacements de mémoire (34), le procédé comportant, pour chacune des transitions de la suite de transitions successives détectée par le capteur (26), la mémorisation dans un des emplacements (34) de la mémoire vive (32) d'un temps correspondant de l'horloge (36), chacune des durées déterminées étant calculée comme une différence temporelle entre deux des temps mémorisés.
- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que qu'il comporte, à partir d'au moins deux angles caractéristiques de deux transitions testées ou d'une même transition testée, une détermination d'un sens de rotation relative entre l'organe tournant et l'organe de référence.
- [Revendication 12] Dispositif de mesure pour instrumenter un ensemble (10) comportant un organe tournant (18) apte à tourner par rapport à un organe de référence (14) autour d'un axe de révolution (100), le dispositif de mesure comportant :
- un codeur annulaire multipolaire (24) à N paires de pôles destiné à être fixé à l'organe tournant, chaque paire de pôle comportant un pôle de type Nord et un pôle de type Sud, les N paires de pôles formant sur un tour une alternance de pôles de type Nord et de pôles de type Sud, l'alternance de pôles de type Nord et de pôles de type Sud n'étant pas distribuée de façon régulière autour de l'axe de révolution (100) ;
 - un capteur (26), par exemple optique ou de préférence magnétique, destiné à être fixé par rapport à l'organe de référence (26) de manière à détecter une suite de transitions successives caractéristiques chacune d'un passage des pôles de l'alternance de pôle devant le capteur (26) ;
- caractérisé en ce qu'il comporte un circuit de mesure (28) programmé pour exécuter le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

[Revendication 13] Dispositif de mesure selon la revendication 12, caractérisé en ce que le capteur (26) est apte à détecter le type Nord ou Sud d'un pôle (241 à 248) de l'alternance de pôles en regard duquel se trouve le capteur (26).

[Fig. 1]

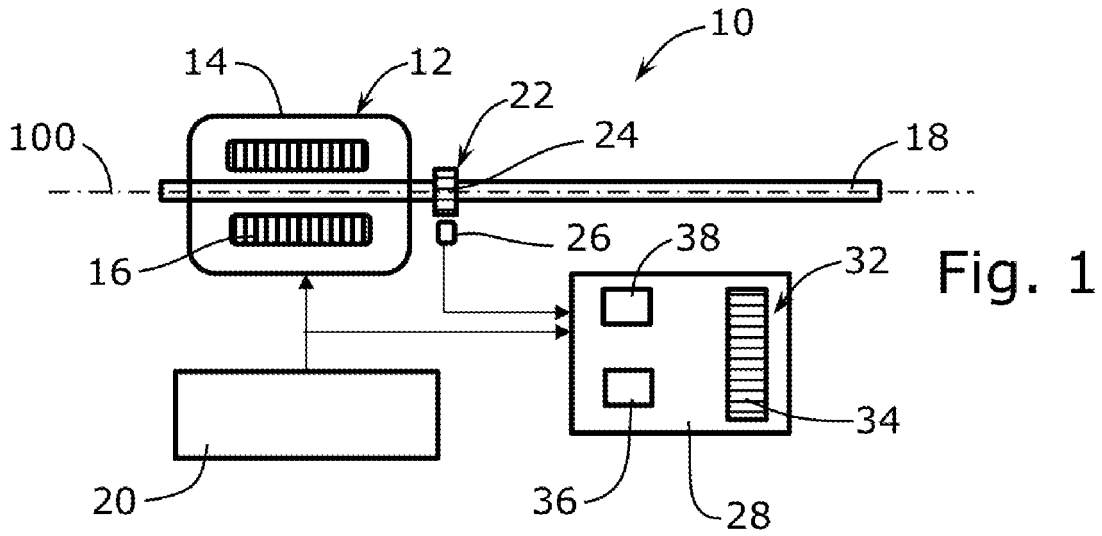


Fig. 1

[Fig. 2]

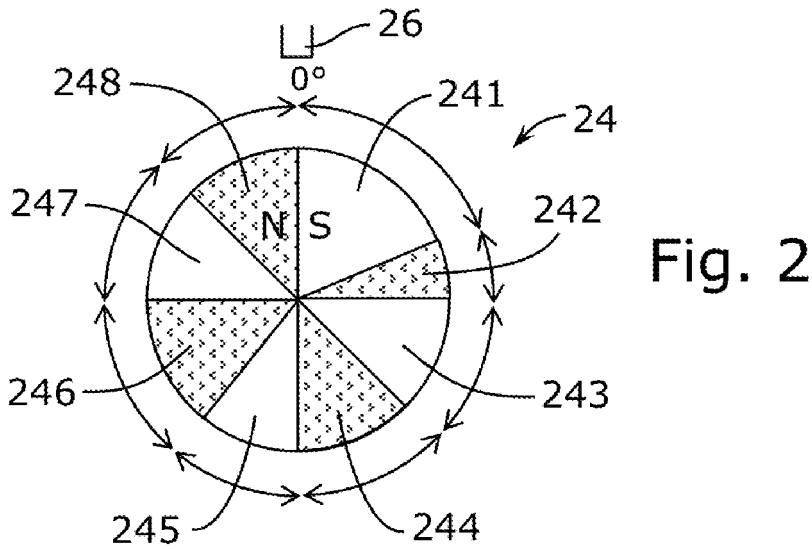


Fig. 2

[Fig. 3]

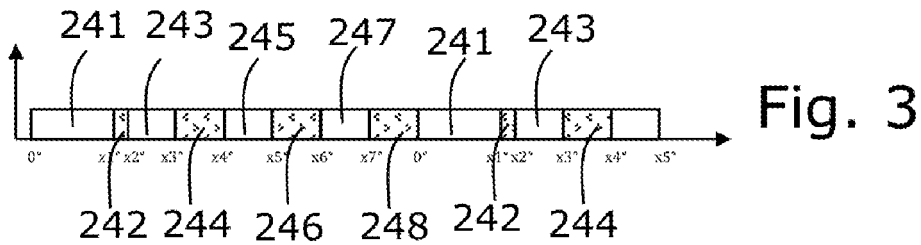


Fig. 3

[Fig. 4]

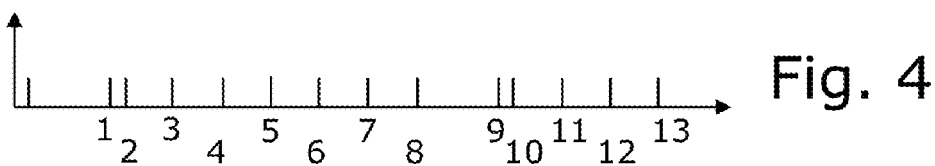


Fig. 4

[Fig. 5]

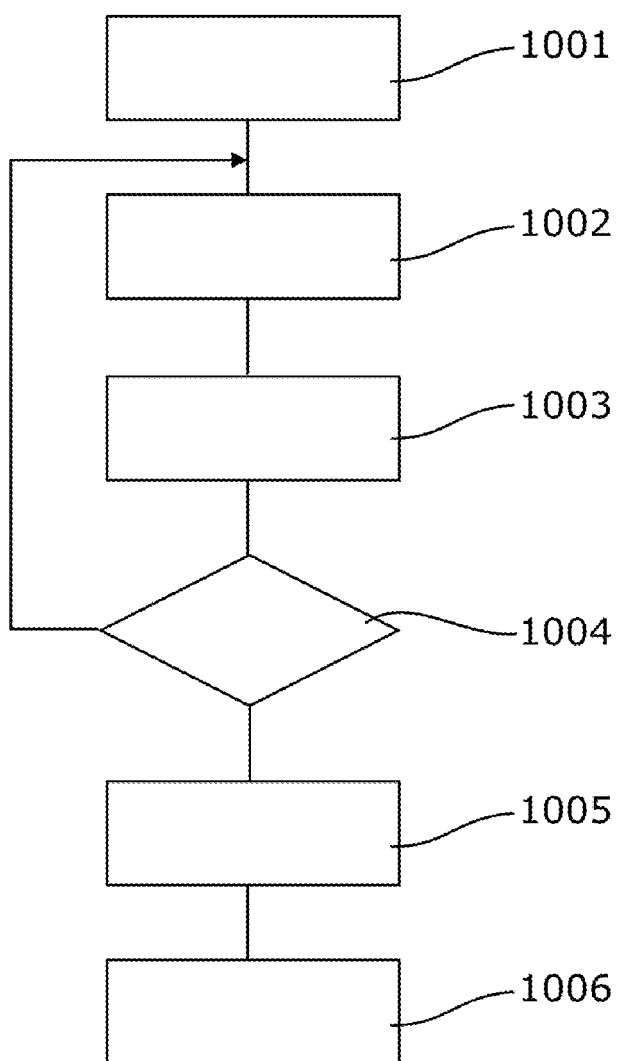


Fig. 5

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**

DE 198 35 091 C1 (BROSE FAHRZEUGTEILE
[DE]) 10 juin 1999 (1999-06-10)

DE 100 17 542 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE])
11 octobre 2001 (2001-10-11)

GB 2 065 310 A (BOSCH GMBH ROBERT)
24 juin 1981 (1981-06-24)

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

NEANT