

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
17 décembre 2020 (17.12.2020)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/249686 A1

(51) Classification internationale des brevets :

F01D 5/02 (2006.01) G01M 1/36 (2006.01)

F16F 15/32 (2006.01) G01M 1/16 (2006.01)

(72) Inventeur : **GRENIER, Etienne Romain Pascal** ; c/o
SAFRAN CEPI, Rond-point René Ravaut – Réau, 77550
MOISSY-CRAMAYEL (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2020/066224

(74) Mandataire : **REGIMBEAU** ; 20, rue de Chazelles, 75847
PARIS CEDEX 17 (FR).

(22) Date de dépôt international :

11 juin 2020 (11.06.2020)

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

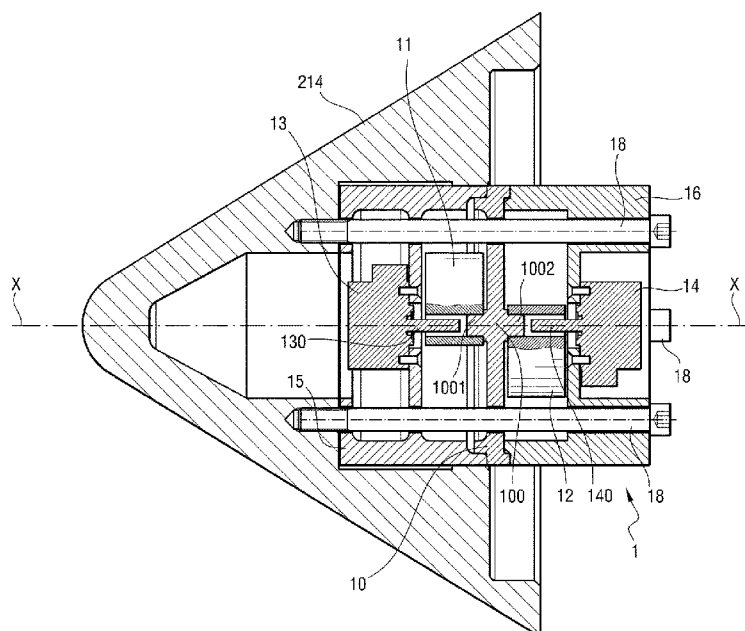
FR1906198 11 juin 2019 (11.06.2019) FR

(71) Déposant : **SAFRAN AIRCRAFT ENGINES** [FR/FR] ;
2 boulevard du Général Martial Valin, 75015 PARIS (FR).

(54) Title: DYNAMIC BALANCING DEVICE FOR ROTOR

(54) Titre : DISPOSITIF D'ÉQUILIBRAGE DYNAMIQUE POUR ROTOR

Figure 2



(57) **Abstract:** The present invention concerns a dynamic balancing device (1) for a rotor, the rotor being able to rotate relative to a housing around a longitudinal axis (X-X), the device (1) comprising: - a support shaft (100) suitable for being fixedly mounted on the rotor, extending along the longitudinal axis (X-X), - a first flyweight (11) mounted so as to be able to rotate on the support shaft (100) around the longitudinal axis (X-X), and - a second flyweight (12) mounted so as to be able to rotate on the support shaft (100) around the longitudinal axis (X-X).

(57) **Abstrégé :** La présente invention concerne un dispositif d'équilibrage dynamique (1) pour rotor, ledit rotor étant mobile en rotation par rapport à un carter autour d'un axe longitudinal (X-X), le dispositif (1) comprenant : - un axe de support (100) propre à être monté

[Suite sur la page suivante]

SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

fixe sur le rotor, en s'étendant selon l'axe longitudinal (X-X), - une première masselotte (11) montée mobile en rotation sur l'axe de support (100) autour de l'axe longitudinal (X-X), et - une deuxième masselotte (12) montée mobile en rotation sur l'axe de support (100) autour de l'axe longitudinal (X-X).

DISPOSITIF D'EQUILIBRAGE DYNAMIQUE POUR ROTOR

DOMAINE DE L'INVENTION

- 5 La présente invention concerne l'équilibrage d'un rotor.
Plus précisément, la présente invention concerne un dispositif et un procédé d'équilibrage dynamique pour rotor, par exemple un rotor de turbomachine.

10 ETAT DE LA TECHNIQUE

Un rotor mobile en rotation par rapport à un carter autour d'un axe longitudinal, est susceptible de présenter un balourd.

- 15 Un balourd correspond à un déséquilibre localisé du rotor. Un balourd peut, par exemple, naître de défauts de fabrication du rotor, se développer suite à l'usure du rotor, ou encore apparaître à la faveur de phénomènes aérodynamiques instationnaires lorsque tout ou partie du rotor est couplé à une circulation de fluide lors de sa mise en rotation.

- Un balourd entraîne généralement des vibrations au sein du rotor, lors de la mise en rotation de ce-dernier autour de l'axe longitudinal. De telles vibrations sont dommageables au bon
20 fonctionnement du rotor.

L'équilibrage d'un rotor constitue donc une étape essentielle de sa conception et de son exploitation.

Plusieurs solutions d'équilibrage d'un rotor présentant un balourd ont déjà été proposées.

- 25 Une solution dite « statique » implique le démontage du rotor en vue d'installer un ensemble de masselottes d'équilibrage à des positions données du rotor. Un tel équilibrage statique requiert donc à la fois l'immobilisation du rotor en tant que tel, mais aussi des structures auxquelles ledit rotor est lié. En outre, la détermination du nombre et des positions des masselottes constitue une entreprise fastidieuse, sophistiquée et coûteuse.

- Des solutions dites « dynamiques » ont donc été proposées. Des dispositifs d'équilibre
30 dynamique pour rotor sont, en effet, connus de l'état de la technique, et permettent d'automatiser l'équilibrage du rotor. Un de ces dispositifs a, par exemple, été décrit dans le document FR 3 004 418, au nom de la Demanderesse. Dans ce dispositif, deux masselottes sont mobiles le long d'une coulisse de guidage entourant l'axe longitudinal d'un rotor de turbomachine, en fonction d'une estimation du balourd dudit rotor.

- 35 De tels dispositifs n'apportent toutefois pas entière satisfaction. Notamment, les deux masselottes ne peuvent pas prendre la même position angulaire autour de l'axe longitudinal,

puisqu'elles viennent nécessairement en butée l'une contre l'autre. Par conséquent, la finesse de correction d'un balourd n'est pas optimale.

Il existe donc un besoin de pallier au moins des inconvénients de l'état de la technique.

5

EXPOSE DE L'INVENTION

Un but de l'invention est d'assurer l'équilibrage dynamique d'un rotor de manière fiable, simple et peu coûteuse.

10

Il est à cet effet proposé, selon un premier aspect de l'invention un dispositif d'équilibrage dynamique pour rotor, ledit rotor étant mobile en rotation par rapport à un carter autour d'un axe longitudinal, le dispositif comprenant :

- un axe de support propre à être monté fixe sur le rotor, en s'étendant selon l'axe longitudinal,
- 15 - une première masselotte montée mobile en rotation sur l'axe de support autour de l'axe longitudinal, et
- une deuxième masselotte montée mobile en rotation sur l'axe de support autour de l'axe longitudinal.

- 20 Dans un tel dispositif d'équilibrage dynamique, il n'est plus nécessaire de modifier la position radiale ou la masse d'une masselotte d'équilibrage pour déterminer et/ou corriger un balourd de rotor. En effet, il suffit d'exploiter le déphasage entre les deux masselottes, qui procure par ailleurs une correction plus fine. En outre, il est moins coûteux énergétiquement de mettre en rotation des masselottes que de les déplacer radialement, puisqu'il n'est plus nécessaire de
- 25 lutter contre les efforts centrifuges générés par le rotor lorsqu'il est mis en rotation. Ceci est d'ailleurs d'autant avantageux que les rotors à équilibrer sont de dimensions réduites, tels que, par exemple, les maquettes de rotors expérimentaux.

- Avantageusement, mais facultativement, le dispositif selon l'invention peut comprendre l'une
- 30 au moins des caractéristiques ci-dessous, prise seule ou en combinaison :

- chacune de la première masselotte et de la deuxième masselotte est susceptible d'être entraînée en rotation autour de l'axe longitudinal sans interférer avec l'autre de la première masselotte et de la deuxième masselotte,
- la première masselotte est décalée par rapport à la deuxième masselotte le long de l'axe
- 35 longitudinal,
- il comprend en outre un support, l'axe de support présentant :
 - une première partie d'extrémité faisant saillie d'une première surface du support,

- une deuxième partie d'extrémité faisant saillie d'une deuxième surface du support, opposée à la première surface,
 - la première masselotte étant montée mobile en rotation sur la première partie d'extrémité, et
- 5 ○ la deuxième masselotte étant montée mobile en rotation sur la deuxième partie d'extrémité,
- il comprend en outre :
- un premier moteur configuré pour entraîner en rotation la première masselotte, et
 - un deuxième moteur configuré pour entraîner en rotation la deuxième masselotte,
- chacun du premier moteur et du deuxième moteur étant configuré pour être monté fixe sur le
- 10 rotor,
- l'un au moins parmi le premier moteur et le deuxième moteur est un moteur électrique, et
 - la première masselotte présente une forme complémentaire de la deuxième masselotte de sorte que, lorsque la première masselotte et la deuxième masselotte sont positionnées l'une par rapport à l'autre avec un décalage angulaire prédéfini, autour de l'axe longitudinal, le
- 15 dispositif n'exerce aucun balourd sur le rotor.

Selon un deuxième aspect de l'invention, il est proposé un ensemble pour turbomachine comprenant :

- un carter,
- 20 - un rotor mobile en rotation par rapport au carter autour d'un axe longitudinal, et
- un dispositif d'équilibrage dynamique pour rotor tel que précédemment décrit.

Selon un troisième aspect de l'invention, il est proposé une turbomachine comprenant un ensemble tel que précédemment décrit.

25

Selon un quatrième aspect de l'invention, il est proposé un procédé d'équilibrage dynamique d'un rotor, ledit rotor :

- étant mobile en rotation par rapport à un carter autour d'un axe longitudinal, et
 - présentant un balourd ayant une direction radiale et une intensité,
- 30 le procédé comprenant des étapes de :
- mise en rotation d'une première masselotte par rapport à une deuxième masselotte autour d'un axe de support monté fixe sur le rotor, et s'étendant selon l'axe longitudinal, de sorte à ce que la première masselotte et la deuxième masselotte occupent un secteur angulaire commun, et
- 35 - mise en rotation simultanée de la première masselotte et de la deuxième masselotte en phase avec la première masselotte autour de l'axe de support de sorte à :
- maintenir constant le secteur angulaire commun, et

- déplacer ledit secteur angulaire commun autour de l'axe de support jusqu'à aligner le secteur angulaire commun avec la direction radiale du balourd.

Avantageusement, mais facultativement, le procédé selon l'invention peut en outre
5 comprendre une étape de mise en rotation simultanée de la première masselotte et de la deuxième masselotte, la première masselotte étant déplacée en opposition de phase avec la deuxième masselotte autour de l'axe de support de sorte à :

- augmenter le secteur angulaire commun, et
- jusqu'à compenser l'intensité du balourd.

10

DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui
15 suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 est une vue en coupe schématique d'une turbomachine.

La figure 2 est vue en coupe schématique d'un ensemble comprenant un exemple de
réalisation d'un dispositif d'équilibrage dynamique selon l'invention.

20 La figure 3 illustre de façon schématique une partie d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé d'équilibrage dynamique selon l'invention.

La figure 4 illustre de façon schématique une autre partie d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé d'équilibrage dynamique selon l'invention.

25 La figure 5 est un organigramme illustrant un exemple de mise en œuvre d'un procédé d'équilibrage dynamique selon l'invention.

Sur l'ensemble des figures, les éléments similaires portent des références identiques.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

30

En référence aux figures, un dispositif 1 et un procédé E d'équilibrage dynamique pour rotor, typiquement un rotor de turbomachine 2, vont à présent être décrits.

En référence à la figure 1, une turbomachine 2 comprend au moins un carter 20, par exemple un ensemble de carters formant carénage (i.e. ensemble stator) 20, une soufflante 21, un
35 compresseur basse pression 22, un compresseur haute pression 23, une chambre de combustion 24, une turbine haute pression 25 et une turbine basse pression 26.

Chacun de la soufflante 21, du compresseur basse pression 22, du compresseur haute pression 23, de la turbine haute pression 25, et de la turbine basse pression 26, comprend un rotor mobile en rotation par rapport au carter 20 autour d'un axe longitudinal X-X. De plus, la soufflante 21 comprend une pluralité de pales 210 fixées par leur pied à un moyeu 212 sur lequel est fixé un cône 214 d'entrée d'air centré sur l'axe longitudinal X-X.

Dans le mode de réalisation illustré en figure 1, la soufflante 21 et le compresseur basse pression 22 sont solidaires en rotation, et sont susceptibles d'être mis en rotation par un arbre basse pression 27 qui est lui-même susceptible d'être mis en rotation par la turbine basse pression 26. L'ensemble formé par la soufflante 21, le compresseur basse pression 22, l'arbre basse pression 27 et la turbine basse pression 26, forme le corps basse pression. Le compresseur haute pression 23 est, quant à lui, susceptible d'être mis en rotation par un arbre haute pression 28, qui est lui-même susceptible d'être mis en rotation par la turbine haute pression 25. L'ensemble formé par le compresseur haute pression 23, l'arbre haute pression 28 et la turbine haute pression 25, forme le corps haute pression. Le positionnement de chacun de l'arbre basse pression 27 et de l'arbre haute pression 28, est assuré par un ensemble de paliers (non représentés).

En fonctionnement, la soufflante 21 aspire un flux d'air qui se sépare entre un flux secondaire, circulant autour de l'ensemble 20 de carters, et un flux primaire, successivement comprimé au sein du compresseur basse pression 22 et du compresseur haute pression 23, enflammé au sein de la chambre de combustion 24, puis successivement détendu au sein de la turbine haute pression 25 et de la turbine basse pression 26.

L'amont et l'aval sont ici définis par rapport au sens d'écoulement normal d'air à travers la turbomachine 2 en fonctionnement. De même, une direction axiale correspond à la direction de l'axe longitudinal X-X, une direction radiale est une direction qui est perpendiculaire à cet axe longitudinal X-X et qui passe par ledit axe longitudinal X-X, et une direction circonférentielle, ou tangentielle, correspond à la direction d'une ligne courbe plane et fermée, dont tous les points se trouvent à égale distance de l'axe longitudinal X-X. Enfin, et sauf précision contraire, les termes « interne (ou intérieur) » et « externe (ou extérieur) », respectivement, sont utilisés en référence à une direction radiale de sorte que la partie ou la face interne (i.e. radialement interne) d'un élément est plus proche de l'axe longitudinal X-X que la partie ou la face externe (i.e. radialement externe) du même élément.

Un rotor, tel qu'un rotor de turbomachine 2, est susceptible de présenter un balourd. Un balourd correspond à un déséquilibre localisé du rotor et entraîne généralement des vibrations au sein du rotor, lors de la mise en rotation de ce-dernier autour de l'axe longitudinal X-X qui est son axe de rotation. Un balourd se caractérise notamment par une direction radiale, une distance à l'axe de rotation X-X du rotor, et une intensité. Il peut, par ailleurs, être mesuré selon différents procédés. Par exemple, il est possible de mesurer le balourd de la soufflante

21 en disposant un ou plusieurs capteurs de vibrations, tels que des accéléromètres, au niveau d'un ou plusieurs paliers de l'arbre basse pression 27, le balourd étant ensuite déduit à partir de modèles d'ensemble utilisant les mesures issues des capteurs de vibration. Afin d'équilibrer un rotor et supprimer un balourd, il est avantageux de créer artificiellement un contre-balourd, de même intensité, de même direction radiale, mais opposé au balourd par rapport à l'axe de rotation X-X du rotor.

Ainsi, l'équilibrage du rotor nécessite de connaître avec précision le balourd afin de pouvoir le corriger. Ceci est particulièrement avantageux lors de la conception de la turbomachine 2, par exemple lors des travaux effectués sur des maquettes de ladite turbomachine 2.

En référence à la figure 2, un dispositif d'équilibrage dynamique 1 d'un rotor 21, 22, 27, 26 mobile en rotation par rapport à un ensemble 20 de carters autour d'un axe longitudinal, tel qu'un rotor de turbomachine 2, par exemple une maquette de corps basse pression 21, 22, 27, 26 d'une turbomachine 2, comprend :

- un axe de support 100 propre à être monté fixe sur le rotor, en s'étendant selon l'axe longitudinal X-X,
- une première masselotte 11 montée mobile en rotation sur l'axe de support 100 autour de l'axe longitudinal X-X, et
- une deuxième masselotte 12 montée mobile en rotation sur l'axe de support 100 autour de l'axe longitudinal X-X.

L'axe de support 100 est ainsi solidaire en rotation du rotor autour de l'axe longitudinal X-X. En outre, contrairement à des dispositifs de l'état de la technique où des masselottes étaient disposées à distance de l'axe longitudinal X-X, le fait que l'axe de support 100 s'étende selon l'axe longitudinal X-X permet de s'affranchir d'efforts centrifuges exercés par les masselottes 11, 12 sur l'arbre 27 entraînant le rotor 21, 22, 27, 26 en rotation, et s'étendant lui-aussi selon l'axe longitudinal X-X. En tout état de cause, en faisant varier la position angulaire des deux masselottes 11, 12 autour de l'axe longitudinal X-X, il est possible de créer un contre-balourd évoluant entre 0 et 2 fois le balourd individuel de chaque masselotte 11, 12.

Dans un mode de réalisation, par exemple illustré sur la figure 2, le dispositif d'équilibrage dynamique 1 comprend un support 10 propre à être monté fixe sur le rotor, de sorte à être solidaire en rotation du rotor. Comme visible sur la figure 2, l'axe de support 100 présente :

- une première partie d'extrémité 1001 faisant saillie d'une première surface du support 10,
- une deuxième partie d'extrémité 1002 faisant saillie d'une deuxième surface du support 10, opposée à la première surface.

Dans ce mode de réalisation, la première masselotte 11 est montée mobile en rotation sur la première partie d'extrémité 1001, et la deuxième masselotte 12 est montée mobile en rotation sur la deuxième partie d'extrémité 1002.

Chacune de la première masselotte 11 et de la deuxième masselotte 12 est, avantageusement, susceptible d'être entraînée en rotation autour de l'axe longitudinal X-X sans interférer avec l'autre de la première masselotte 11 et de la deuxième masselotte 12. Ceci permet au dispositif d'équilibrage dynamique 1 d'apporter une correction du balourd plus fine, car les deux masselottes 11, 12 peuvent occuper la même position angulaire autour de l'axe longitudinal X-X, sans venir en butée l'une contre l'autre. En d'autres termes, le contre-balourd créé peut prendre n'importe quelle position angulaire autour de l'axe longitudinal X-X. Dans le mode de réalisation illustré en figure 2, la première masselotte 11 est décalée axialement par rapport à la deuxième masselotte 12, c'est-à-dire qu'elle est décalée par rapport à la deuxième masselotte 12 le long de l'axe longitudinal X-X. Ceci n'est cependant pas limitatif, la première masselotte 11 et la deuxième masselotte 12 pouvant être disposées à la même position le long de l'axe longitudinal X-X. Dans ce cas, l'une de la première masselotte 11 et de la deuxième masselotte 12 est, par exemple, creusée d'une lumière présentant une forme complémentaire de l'autre de la première masselotte 11 et de la deuxième masselotte 12 afin que cette-dernière puisse être entraînée en rotation autour de l'axe longitudinal X-X sans interférer avec celle de la première masselotte 11 et de la deuxième masselotte 12 qui est creusée. Lorsque la première masselotte 11 et la deuxième masselotte 12 occupent la même position le long de l'axe longitudinal X-X, leur encombrement axial est réduit.

En tout état de cause, comme visible sur les figures 3 et 4, chacune de la première masselotte 11 et de la deuxième masselotte 12 présente avantageusement une forme de demi-disque, la première masselotte 11 étant de préférence identique à la deuxième masselotte 12. De cette manière, l'espace occupé par le dispositif d'équilibrage dynamique 1 est optimisé. Dans un mode de réalisation, la première masselotte 11 présente une forme complémentaire de la deuxième masselotte 12 de sorte que, lorsque la première masselotte 11 et la deuxième masselotte 12 sont positionnées l'une par rapport à l'autre avec un décalage angulaire prédéfini autour de l'axe longitudinal X-X, typiquement de 180° , le dispositif d'équilibrage dynamique 1 n'exerce aucun balourd sur le rotor.

Le dispositif d'équilibrage dynamique 1 peut, dans un mode de réalisation, comprendre plus que deux masselottes 11, 12. Dans ce cas, les autres masselottes peuvent, ou non, être décalées axialement par rapport à la première masselotte 11 et à la deuxième masselotte 12, et/ou être, ou non, décalées axialement les unes par rapport aux autres. Les masselottes supplémentaires permettent notamment de corriger des balourds prenant la forme de moments d'inertie par rapport à l'axe longitudinal X-X.

Dans un mode de réalisation, l'une au moins de la première masselotte 11 et de la deuxième masselotte 12 comprend un matériau dense, de préférence de densité comprise entre 15 et 20 tonnes par mètre cube. Dans une variante préférentielle, les deux masselottes 11, 12

comprennent un matériau, par exemple le Triamet® G19, qui présente une densité de 18 tonnes par mètre cube. Chacune des masselottes 11, 12 présente alors avantageusement un balourd compris entre 75 et 150 cm.g, de préférence valant 100 cm.g, ce qui est notamment suffisant pour l'équilibrage de balourds de rotors expérimentaux se présentant sous forme de
5 maquettes.

Toujours en référence à la figure 2, dans un mode de réalisation, le dispositif d'équilibrage dynamique 1 comprend :

- un premier moteur 13 configuré pour entraîner en rotation la première masselotte 11, et
- un deuxième moteur 14 configuré pour entraîner en rotation la deuxième masselotte 12.

10 Chacun du premier moteur 13 et du deuxième moteur 14 est configuré pour être monté fixe sur le rotor, par exemple en étant propre à être monté fixe sur un support 15, 16 correspondant, les supports 15, 16 des moteurs 13, 14 pouvant alors être fixés sur le support 10 des masselottes, par exemple par l'intermédiaire de vis boulonnées 18 traversant chacun de ces trois supports 10, 15, 16.

15 Avantageusement, l'un au moins parmi le premier moteur 13 et le deuxième moteur 14 est un moteur électrique. Il s'agit en effet d'un moteur qui puisse facilement être rendu compact, ce qui peut s'avérer particulièrement intéressant lorsque le dispositif d'équilibrage dynamique 1 est utilisé au sein d'une maquette, de dimensions réduites.

Dans une variante, l'un au moins du premier moteur 13 et du deuxième moteur 14 est configuré
20 pour entraîner les masselottes 11, 12 à des vitesses comprises entre 10 000 et 15 000 tours par minute, de préférence 12 000 tours par minute.

Dans une variante préférentielle, l'axe d'entraînement 130, 140 de chacun du premier moteur 13 et du deuxième moteur 14 s'étend selon l'axe de support 10. Ceci permet de soulager les paliers (non représentés) des moteurs 13, 14 de sorte que l'axe de support 10 reprenne les
25 efforts exercés par les masselottes 11, 12 et non les axes d'entraînement 130, 140 des moteurs 13, 14. En d'autres termes, ceci permet de limiter la centrifugation des moteurs 13, 14. En tout état de cause, les engrenages d'entraînement (non représentés) des moteurs 13, 14 sont souples.

Dans une variante, l'un au moins du premier moteur 13 et du deuxième moteur 14 entraîne la
30 masselotte 11, 12 correspondante par l'intermédiaire d'un mécanisme de réduction (non représenté). Ceci permet de générer un couple important sur la masselotte 11, 12. En outre, cela permet de rendre le dispositif d'équilibrage dynamique 1 irréversible. En effet, les efforts tournants vus par les masselottes 11, 12 ne sont, ainsi, pas appliqués aux moteurs 13, 14, ce qui protège ces-derniers. L'utilisation d'un mécanisme de réduction est d'ailleurs d'autant
35 avantageuse que la vitesse d'entraînement des moteurs 13, 14 est élevée. Enfin, le mécanisme de réduction peut servir de mécanisme de sûreté en cas de panne des moteurs 13, 14. Dans ce cas, les masselottes 11, 12 pourraient en effet générer un balourd supérieur

au balourd initial du rotor. La présence du mécanisme de réduction permet de conserver les masselottes 11, 12 dans leur position au moment de la panne, le temps d'effectuer une maintenance.

Dans un mode de réalisation, le dispositif d'équilibrage dynamique 1 est pilotable à distance.

- 5 Pour ce faire, il comprend typiquement un calculateur (non représenté). En outre, afin d'assurer la commande et l'alimentation en énergie électrique des moteurs 13, 14 dans un repère, il comprend une télémessure (non représentée) qui permet de transmettre des signaux entre un repère tournant et un repère fixe, et comporte par exemple deux transformateurs tournants, l'un pour la puissance électrique, et l'autre pour le relai des signaux faibles. Dans
10 d'autres modes de réalisation, l'alimentation en énergie électrique est assurée par des accumulateurs (non représentés) embarqués dans le dispositif d'équilibrage dynamique 1, les commandes étant relayés au moyen de supports immatériels de type Wifi ou Bluetooth.

Le dispositif d'équilibrage dynamique 1 peut typiquement être piloté de la manière suivante.

- Un ordre d'équilibrage (ou de déséquilibre) est envoyé au dispositif d'équilibrage dynamique
15 1, une fois ce-dernier monté sur un rotor à équilibrer (ou déséquilibrer). Cet ordre peut par exemple consister en un objectif de contre-balourd (ou de balourd), c'est-à-dire d'atteindre une valeur spécifique de contre-balourd (ou de balourd) pour le rotor.

- Le calculateur reçoit l'ordre et le compare à la situation dynamique du rotor, typiquement en utilisant les données fournies par les capteurs de vibrations disposés au niveau de paliers du
20 rotor. Il commande ensuite le fonctionnement des moteurs 13, 14 qui mettent en rotation les masselottes 11, 12 autour de l'axe longitudinal, et retournent au calculateur les positions atteintes. Par asservissement, le calculateur affine ensuite la position des masselottes 11, 12 afin d'atteindre le contre-balourd fixé.

- Plus précisément, en référence aux figures 3 à 5, un procédé d'équilibrage dynamique E d'un
25 rotor comprend les étapes suivantes. Sur ces figures le balourd du rotor est symbolisé par un disque relié par une baguette à l'axe longitudinal X-X. Le rayon du disque correspond à l'intensité du balourd, la longueur de la baguette correspond à la distance du balourd à l'axe longitudinal X-X, et la direction de la baguette correspond à la direction radiale du balourd.

- Avantageusement, le procédé d'équilibrage dynamique E décrit est mis en œuvre lors du
30 fonctionnement du rotor, c'est-à-dire lors d'une mise en rotation du rotor par rapport au carter 20 autour de l'axe longitudinal X-X.

Lors d'une première étape, la direction radiale du balourd est recherchée. En d'autres termes, la position angulaire du balourd cherche à être déterminée.

- Pour ce faire, comme visible sur la figure 3, la première masselotte 11 est tout d'abord mise
35 en rotation E1 par rapport à la deuxième masselotte 12 autour de l'axe de support 10 de sorte à ce que la première masselotte 11 et la deuxième masselotte 12 occupent un secteur angulaire commun A. Autrement dit, les masselottes 11, 12 sont mises en rotation l'une par

rapport à l'autre de sorte à être positionnées à 180° l'une de l'autre (i.e. symétriquement opposée l'une à l'autre par rapport à l'axe longitudinal), à une ouverture angulaire O près.

Ensuite, toujours en référence à la figure 3, la première masselotte 11 et la deuxième masselotte 12 sont mises en rotation E2 de manière simultanée en phase avec la première masselotte 11 autour de l'axe de support 10 de sorte à :

- maintenir constant le secteur angulaire commun A, et
- déplacer ledit secteur angulaire commun A autour de l'axe de support 10 jusqu'à aligner le secteur angulaire commun A avec la direction radiale du balourd.

En fait, au moment où l'ouverture angulaire O entre les deux masselottes 11, 12 s'aligne avec la direction radiale du balourd, la situation dynamique du rotor s'améliore. En effet, le contre-balourd formé par le secteur angulaire commun A des deux masselottes 11, 12 est dans la même direction radiale que le balourd du rotor.

Lors d'une deuxième étape, l'intensité du balourd est recherchée et contrebalancée. Pour ce faire, comme visible sur la figure 4, la première masselotte 11 et la deuxième masselotte 12 sont mise en rotation simultanée E3, la première masselotte 11 étant déplacée en opposition de phase avec la deuxième masselotte 12 autour de l'axe de support 10 de sorte à :

- augmenter le secteur angulaire commun A, et
- jusqu'à compenser l'intensité du balourd.

Plus précisément, les deux masselottes 11, 12 sont mises en rotation avec des vitesses égales mais des sens de rotation opposées jusqu'à ce que la situation dynamique du rotor devienne faible, c'est-à-dire que l'ensemble formé par le rotor et le dispositif d'équilibrage dynamique 1 présente un balourd total résiduel (i.e. somme du balourd initial du rotor et du contre-balourd formé par les deux masselottes 11, 12) qui soit minimal. Le secteur angulaire commun A est alors centré sur la direction radiale du balourd, et opposé au balourd par rapport à l'axe longitudinal X-X.

Dans le cas où il s'agit de déséquilibrer volontairement le rotor, c'est-à-dire où un balourd supérieur au balourd initial du rotor est recherché, les masselottes 11, 12 sont mises en rotation simultanées autour de l'axe de support 10, la première masselotte 11 étant déplacée en opposition de phase avec la deuxième masselotte 12, de sorte à augmenter l'intensité du balourd initial, c'est-à-dire jusqu'à aggraver l'intensité du balourd. En d'autres termes, le secteur angulaire commun A est alors centré sur la direction radiale du balourd mais, cette fois, du même côté que le balourd par rapport à l'axe longitudinal X-X.

Dans l'exemple de réalisation illustré sur la figure 2, le dispositif d'équilibrage dynamique 1 est logé au sein du cône 214 de la soufflante 21 de la turbomachine 2. Ceci n'est cependant pas limitatif, attendu qu'un tel dispositif d'équilibrage dynamique 1 peut être disposé à n'importe quelle position au sein du corps basse pression 21, 22, 27, 26.

Grâce au dispositif 1 et au procédé E d'équilibrage dynamique décrits, il est possible d'ajuster l'équilibrage d'un rotor sans arrêt machine, ni démontage de pièces pour avoir accès aux zones d'équilibrage et mettre en œuvre les réglages. Même, il est possible de volontairement déséquilibrer le rotor, par exemple lors des travaux de conception dudit rotor, afin d'en étudier le comportement, typiquement sur une maquette. Ces éléments sont notamment avantageux pour corriger de façon autonome et automatisée le balourd d'un rotor, que ce soit lors d'une maintenance, d'une fabrication, par exemple une fabrication en série, ou de phases de tests sur ledit rotor. En tout état de cause, grâce au dispositif 1 et au procédé E d'équilibrage dynamique décrits, il est possible de déterminer directement le balourd d'un rotor. Par exemple, cette détermination peut être mise en œuvre au moyen d'un modèle dynamique reliant les informations acquises par les capteurs de vibration et celles relatives à la position relative de masselottes autour de l'axe longitudinal. Ceci est notamment plus simple et plus efficace que les procédés de détermination de balourd connus de l'état de la technique, où le balourd est déterminé par lecture du nombre et de la position radiale de masselottes permettant d'attendre une situation vibratoire fixée.

Dans tout ce qui a été décrit précédemment, la turbomachine 2 est de type turboréacteur à double-corps, double flux, à entraînement direct. Ceci n'est cependant pas limitatif, attendu que le dispositif 1 et le procédé E d'équilibrage dynamique décrits peuvent également être utilisés pour n'importe quel type de turbomachine 2, telles qu'un turbopropulseur, un turboréacteur présentant une architecture à réducteur, ou une turbomachine de type triple-corps, double-flux, qu'il s'agisse d'ailleurs de maquettes ou de turbomachines de taille réelle.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'équilibrage dynamique (1) pour rotor, ledit rotor étant mobile en rotation par rapport à un carter autour d'un axe longitudinal (X-X), le dispositif (1) comprenant :

- un axe de support (100) propre à être monté fixe sur le rotor, en s'étendant selon l'axe longitudinal (X-X),
- une première masselotte (11) montée mobile en rotation sur l'axe de support (100) autour de l'axe longitudinal (X-X),
- une deuxième masselotte (12) montée mobile en rotation sur l'axe de support (100) autour de l'axe longitudinal (X-X),
- un premier moteur (13) configuré pour entraîner en rotation la première masselotte (11), et
- un deuxième moteur (14) configuré pour entraîner en rotation la deuxième masselotte (12), chacun du premier moteur (13) et du deuxième moteur (14) étant configuré pour être monté fixe sur le rotor.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel chacune de la première masselotte (11) et de la deuxième masselotte (12) est susceptible d'être entraînée en rotation autour de l'axe longitudinal (X-X) sans interférer avec l'autre de la première masselotte (11) et de la deuxième masselotte (12).

3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel la première masselotte (11) est décalée par rapport à la deuxième masselotte (12) le long de l'axe longitudinal (X-X).

4. Dispositif selon la revendication 3, comprenant en outre un support (10), l'axe de support (100) présentant :

- une première partie d'extrémité (1001) faisant saillie d'une première surface du support (10),
- une deuxième partie d'extrémité (1002) faisant saillie d'une deuxième surface du support (10), opposée à la première surface,
- la première masselotte (11) étant montée mobile en rotation sur la première partie d'extrémité (1001), et
- la deuxième masselotte (12) étant montée mobile en rotation sur la deuxième partie d'extrémité (1002).

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'un au moins parmi le premier moteur (13) et le deuxième moteur (14) est un moteur électrique.

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la première masselotte (11) présente une forme complémentaire de la deuxième masselotte (12) de sorte que, lorsque la première masselotte (11) et la deuxième masselotte (12) sont positionnées l'une par rapport à l'autre avec un décalage angulaire prédéfini, autour de l'axe longitudinal (X-X), le dispositif (1) n'exerce aucun balourd sur le rotor.

7. Ensemble pour turbomachine (2) comprenant :

- un carter (10),
- un rotor (21, 22, 27, 26) mobile en rotation par rapport au carter (10) autour d'un axe longitudinal (X-X), et
- un dispositif d'équilibrage dynamique (1) pour rotor selon l'une des revendications 1 à 6.

8. Turbomachine (2) comprenant un ensemble selon la revendication 7.

9. Procédé d'équilibrage dynamique (E) d'un rotor, ledit rotor :

- étant mobile en rotation par rapport à un carter autour d'un axe longitudinal (X-X), et
 - présentant un balourd ayant une direction radiale et une intensité,
- le procédé (E) comprenant des étapes de :

- mise en rotation (E1) d'une première masselotte (11) par rapport à une deuxième masselotte (12) autour d'un axe de support (100) monté fixe sur le rotor, et s'étendant selon l'axe longitudinal (X-X), de sorte à ce que la première masselotte (11) et la deuxième masselotte (12) occupent un secteur angulaire commun (A), et
- mise en rotation simultanée (E2) de la première masselotte (11) et de la deuxième masselotte (12) en phase avec la première masselotte (11) autour de l'axe de support (100) de sorte à :
 - maintenir constant le secteur angulaire commun (A), et
 - déplacer ledit secteur angulaire commun (A) autour de l'axe de support (100) jusqu'à aligner le secteur angulaire commun (A) avec la direction radiale du balourd.

10. Procédé selon la revendication 9, comprenant en outre une étape de mise en rotation simultanée (E3) de la première masselotte (11) et de la deuxième masselotte (12), la première masselotte (11) étant déplacée en opposition de phase avec la deuxième masselotte (12) autour de l'axe de support (100) de sorte à :

- augmenter le secteur angulaire commun (A), et
- jusqu'à compenser l'intensité du balourd.

Figure 1

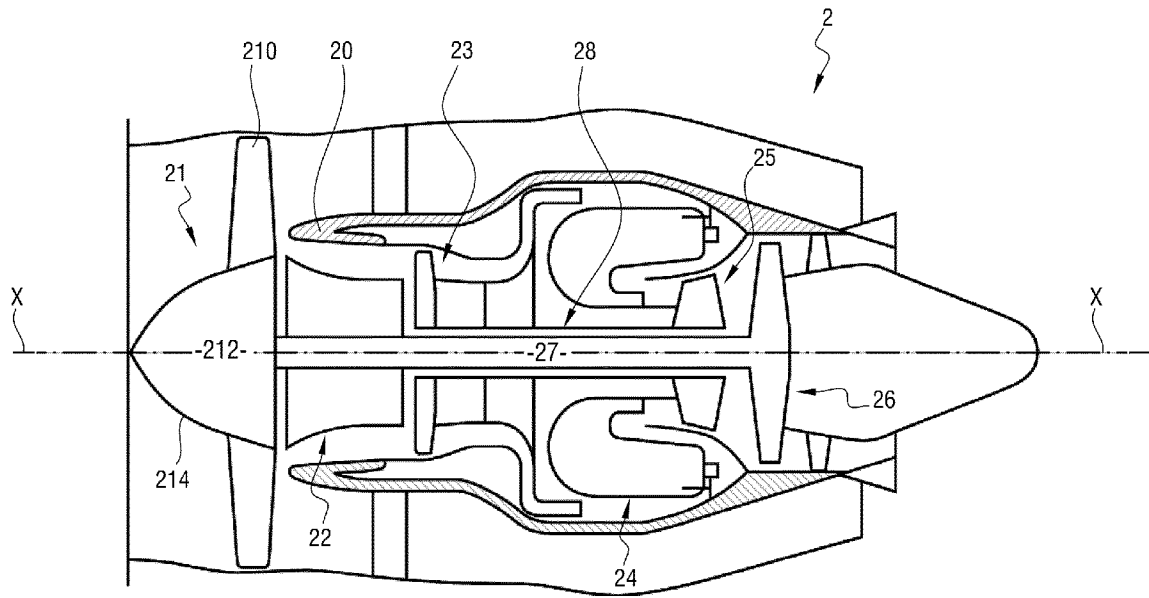


Figure 2

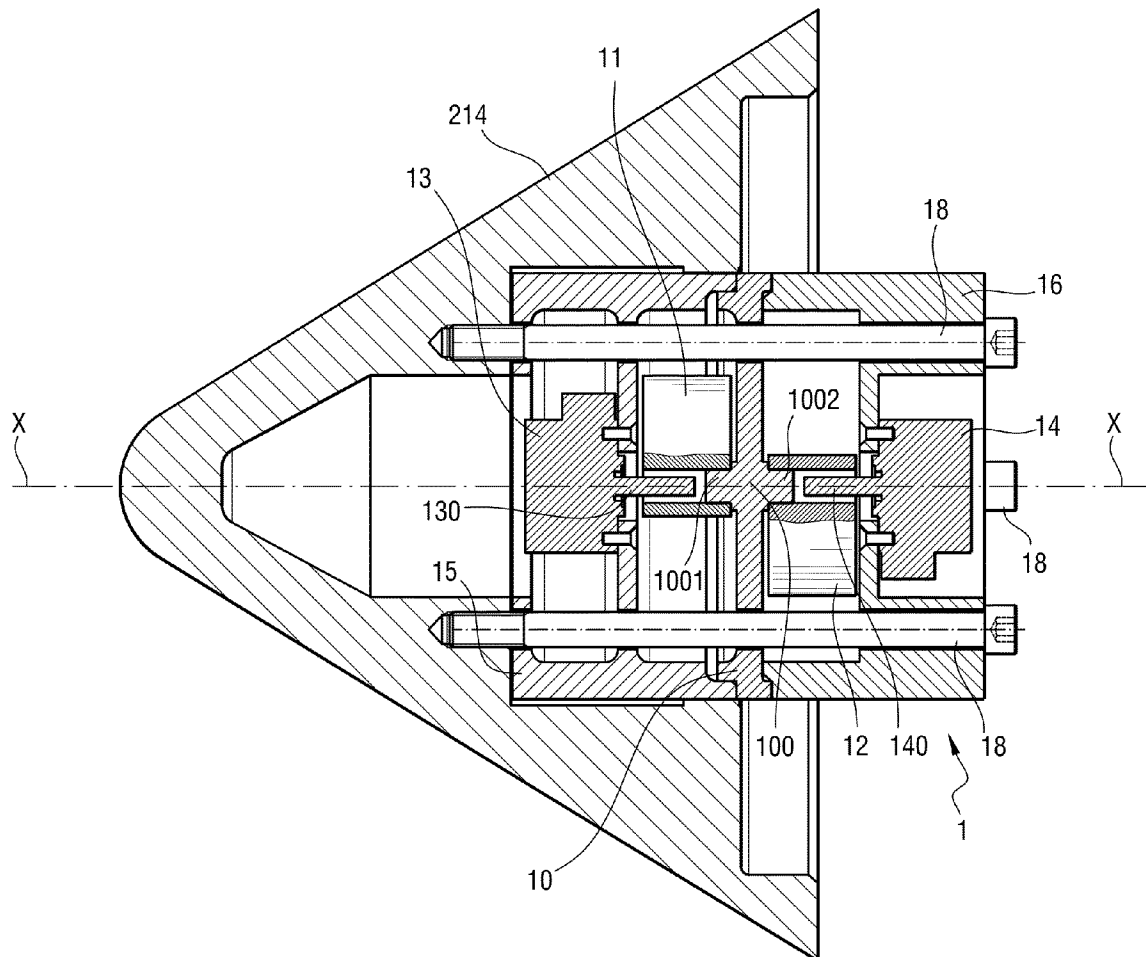


Figure 3

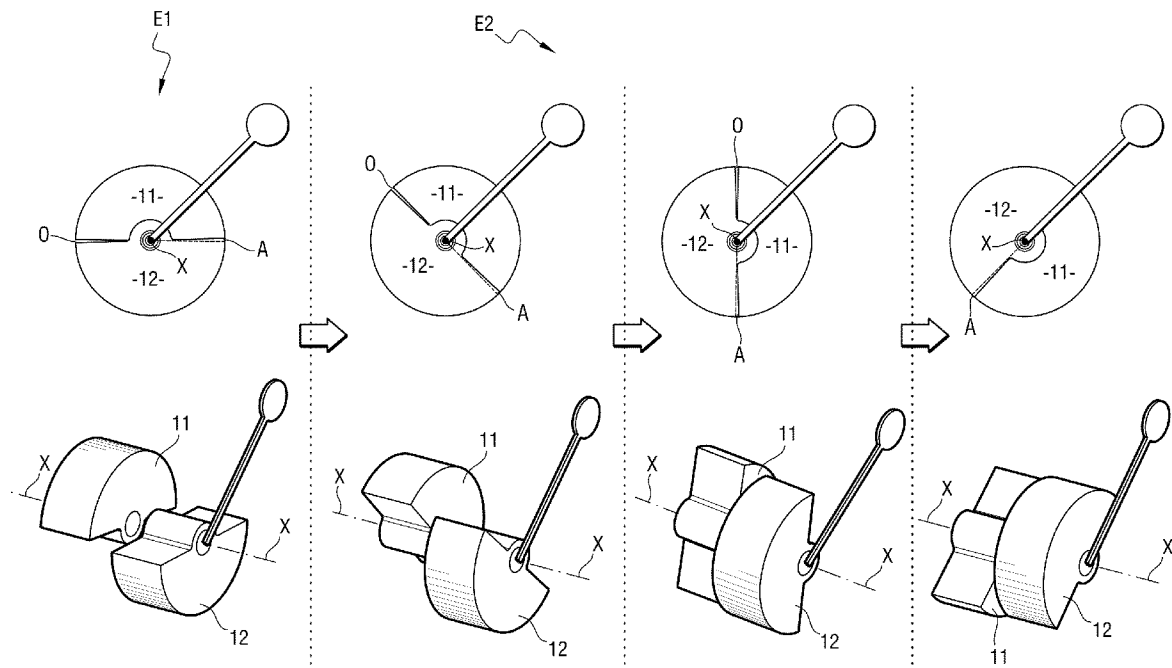


Figure 4

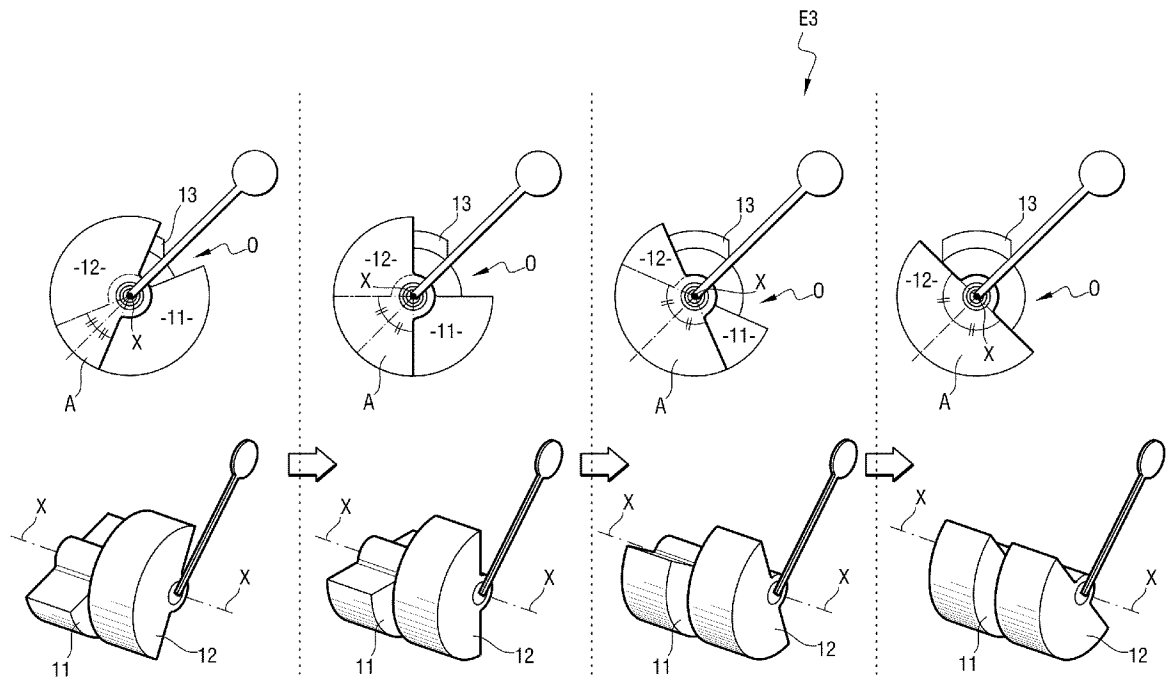
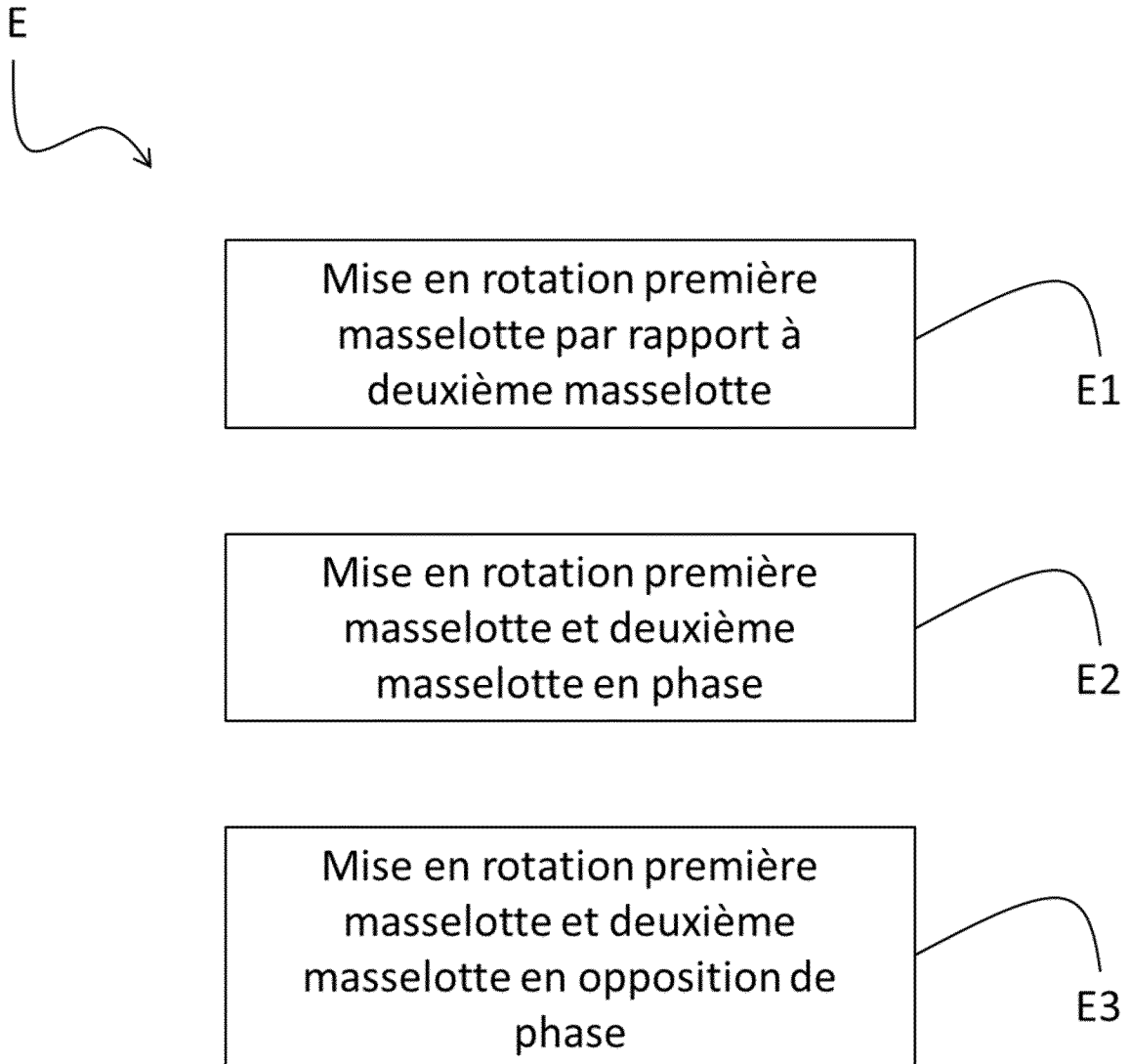


Figure 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/066224

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F01D 5/02**(2006.01)i; **F16F 15/32**(2006.01)i; **G01M 1/36**(2006.01)i; **G01M 1/16**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F01D; F16F; G01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 2134270 A1 (WALDRICH WERKZEUGMASCH) 25 January 1973 (1973-01-25) page 6 - page 7; figures	1-6,9,10
A	WO 2008127362 A2 (LORD CORP [US]; HILDEBRAND STEVE [US] ET AL.) 23 October 2008 (2008-10-23) page 8, line 29 - page 13, line 23; figures	1-10
A	DE 4244015 A1 (GERLACH THOMAS [DE]) 30 June 1994 (1994-06-30) column 3, line 18 - column 5, line 6; figures	1-10
A	FR 3004418 A1 (SNECMA [FR]) 17 October 2014 (2014-10-17) cited in the application the whole document	1-10
A	EP 0657727 A1 (ELECTRICITE DE FRANCE [FR]) 14 June 1995 (1995-06-14) the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 June 2020

Date of mailing of the international search report

09 July 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Teissier, Damien

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/066224

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	2134270	A1	25 January 1973	NONE			
WO	2008127362	A2	23 October 2008	EP	2074025	A2	01 July 2009
				US	2009306829	A1	10 December 2009
				WO	2008127362	A2	23 October 2008
DE	4244015	A1	30 June 1994	NONE			
FR	3004418	A1	17 October 2014	NONE			
EP	0657727	A1	14 June 1995	AT	164672	T	15 April 1998
				EP	0657727	A1	14 June 1995
				FR	2713771	A1	16 June 1995

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2020/066224

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. F01D5/02 F16F15/32 G01M1/36 G01M1/16 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) F01D F16F G01M		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DE 21 34 270 A1 (WALDRICH WERKZEUGMASCH) 25 janvier 1973 (1973-01-25) page 6 - page 7; figures -----	1-6,9,10
A	WO 2008/127362 A2 (LORD CORP [US]; HILDEBRAND STEVE [US] ET AL.) 23 octobre 2008 (2008-10-23) page 8, ligne 29 - page 13, ligne 23; figures -----	1-10
A	DE 42 44 015 A1 (GERLACH THOMAS [DE]) 30 juin 1994 (1994-06-30) colonne 3, ligne 18 - colonne 5, ligne 6; figures ----- -/--	1-10
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 29 juin 2020		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 09/07/2020
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Teissier, Damien

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 3 004 418 A1 (SNECMA [FR]) 17 octobre 2014 (2014-10-17) cité dans la demande le document en entier -----	1-10
A	EP 0 657 727 A1 (ELECTRICITE DE FRANCE [FR]) 14 juin 1995 (1995-06-14) le document en entier -----	1-10

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2020/066224

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 2134270	A1	25-01-1973	AUCUN	

WO 2008127362	A2	23-10-2008	EP 2074025 A2	01-07-2009
			US 2009306829 A1	10-12-2009
			WO 2008127362 A2	23-10-2008

DE 4244015	A1	30-06-1994	AUCUN	

FR 3004418	A1	17-10-2014	AUCUN	

EP 0657727	A1	14-06-1995	AT 164672 T	15-04-1998
			EP 0657727 A1	14-06-1995
			FR 2713771 A1	16-06-1995
