

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**3 064 064**

②1 N° d'enregistrement national : **17 52282**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **G 01 M 1/38 (2017.01), G 01 M 1/02, F 04 D 29/66**

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 **Date de dépôt** : 20.03.17.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 21.09.18 Bulletin 18/38.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire** : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

**Demande(s) d'extension** :

⑦1 **Demander(s)** : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES — FR.

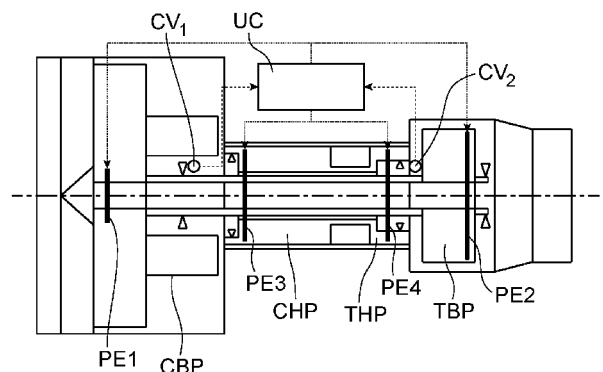
⑦2 **Inventeur(s)** : PETARD BENJAMIN, BORIES SYLVAIN, BOZONNET AURELIE et LOUIS ALBAN.

⑦3 **Titulaire(s)** : SAFRAN AIRCRAFT ENGINES.

⑦4 **Mandataire(s)** : BREVALEX Société à responsabilité limitée.

⑤4 **EQUILIBRAGE DE ROTOR DE TURBOMACHINE.**

⑤7 Dispositif d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine, comprenant  
une unité de contrôle (UC),  
un dispositif de balourdage apte à équilibrer ledit rotor, connecté à l'unité de contrôle (UC),  
des moyens de mesure (CV<sub>1</sub>, CV<sub>2</sub>) d'un niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine, connectés à l'unité de contrôle (UC),  
des moyens de comparaison du niveau de vibration mesuré avec un seuil de vibration, intégrés à l'unité de contrôle (UC),  
des moyens de détermination d'une configuration d'équilibrage en fonction d'une sensibilité prédéterminée de la turbomachine, intégrés à l'unité de contrôle (UC),  
l'unité de contrôle (UC) étant configuré pour commander les moyens de détermination d'une configuration d'équilibrage lorsque le niveau de vibration est supérieur au seuil de vibration, et  
l'unité de contrôle (UC) étant configurée pour commander le dispositif de balourdage en fonction de la configuration d'équilibrage..



FR 3 064 064 - A1



## EQUILIBRAGE DE ROTOR DE TURBOMACHINE

### DESCRIPTION

#### DOMAINE TECHNIQUE

5 La présente invention concerne l'équilibrage de rotor de turbomachine d'aéronef.

#### ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

10 Une turbomachine d'aéronef comporte un ou plusieurs rotors. Un tel rotor doit être équilibré au mieux pour minimiser les efforts de balourd qu'il génère, l'usure du moteur et le bruit cabine.

Avant la livraison d'un moteur neuf, des opérations d'équilibrage sont d'abord réalisées à l'échelle de la pièce puis à celle du module, pour chaque rotor.

15 L'équilibrage moteur est réalisé par ajout de masses déportées par rapport à l'axe moteur, en plusieurs positions axiales pour chaque rotor. Son objectif est de compenser le balourd résiduel ayant échappé aux équilibrages primaires et modulaires. Les équilibrages primaires sont réalisés sur chaque étage de rotor. Les équilibrages modulaires sont relatifs à chaque module de la turbomachine, un module étant lui-même composé de plusieurs étages.

20 En fonction de l'architecture de la turbomachine, un rotor peut être accessible sans démontage, ou au contraire inaccessible sans démontage, c'est-à-dire qu'un démontage complet du moteur est nécessaire pour accéder à ce rotor. Pour un rotor accessible sans démontage, un équilibrage moteur est possible avant livraison du moteur au client. Si le balourd d'un rotor inaccessible sans démontage est trop important, un démontage complet du moteur est nécessaire pour effectuer un nouvel équilibrage.

25 Les niveaux de balourd et donc de charge transitant dans les structures sont connus grâce aux mesures de vibration fournies par des accéléromètres de surveillance.

Au cours de sa vie, l'usure normale du moteur (usure des aubes notamment) et des événements divers (ingestion d'oiseau, de glace, de sable, etc..) provoquent une augmentation des niveaux vibratoires.

5 En cas de niveaux vibratoires trop importants, des actions sont attendues du pilote en vol, notamment une modification du régime moteur, et des rééquilibrages deviennent obligatoires pour les compagnies aériennes. Un rééquilibrage constitue une contrainte opérationnelle forte:

10 - Dans le cas d'un équilibrage de rotor accessible sans démontage, l'avion est immobilisé quelques heures et un technicien formé à la procédure doit manuellement installer les vis et épingles aux positions déterminées par le calculateur.

- Dans le cas d'un équilibrage de rotor inaccessible sans démontage, le moteur doit retourner en atelier pour démontage et rééquilibrage des modules.

15 De plus, pour certifier une turbomachine, il est nécessaire de démontrer qu'elle est capable de supporter, en vie infinie, des niveaux vibratoires correspondant aux balourds maximaux non détectables. Pour cela, un essai d'endurance vibratoire est réalisé. Le niveau vibratoire mesuré lors de cet essai permet de fixer un seuil de vibrations admissibles en flotte.

La configuration de balourd d'un rotor non accessible sans démontage est fixée à l'avance car le balourd n'est pas modifiable sans démontage du moteur.

20 Si l'objectif sur les niveaux de rotor non accessible sans démontage n'est pas atteint, deux solutions sont possibles :

- démonter le moteur au cours de l'essai pour changer le niveau de balourd. Cela requiert plusieurs semaines d'intervention.

25 - certifier le moteur à un niveau différent de celui initialement souhaité, ce qui diminue la future disponibilité des moteurs en service.

De multiples essais dits « vibration surveys » sont réalisées lors d'une campagne de développement. Ces essais sont nécessaires notamment pour estimer la sensibilité du moteur.

30 Par ailleurs, dans les procédures actuelles d'équilibrage manuel en atelier pour les moteurs en service, un rotor est équilibré de manière à minimiser la

réponse vibratoire du moteur aux fréquences spécifiques des modes du rotor dans la plage de fonctionnement.

Néanmoins, cette solution d'équilibrage n'est pas optimisée pour minimiser la réponse vibratoire sur les régimes stationnaires courants, par exemple en régime de croisière ou au ralenti, notamment. Cette situation peut devenir problématique pour des avions soumis à des enjeux importants de bruit cabine, auxquels les vibrations moteur contribuent.

Par exemple, lors de la traversée d'un nuage, de la glace peut s'accumuler sur les aubes basse pression. Cette accumulation de glace peut générer un balourd important et se répercuter sur les niveaux vibratoires du moteur.

## EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention vise à résoudre les problèmes de la technique antérieure en fournissant un dispositif d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine, comprenant

- une unité de contrôle,
- un dispositif de balourdage apte à équilibrer ledit rotor, connecté à l'unité de contrôle,
- des moyens de mesure d'un niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine, connectés à l'unité de contrôle,
- des moyens de comparaison du niveau de vibration mesuré avec un seuil de vibration, intégrés à l'unité de contrôle,
- des moyens de détermination d'une configuration d'équilibrage en fonction d'une sensibilité prédéterminée de la turbomachine, intégrés à l'unité de contrôle,
- l'unité de contrôle étant configuré pour commander les moyens de détermination d'une configuration d'équilibrage lorsque le niveau de vibration est supérieur au seuil de vibration, et
- l'unité de contrôle étant configurée pour commander le dispositif de balourdage en fonction de la configuration d'équilibrage.

Grâce à l'invention, il est possible d'effectuer un équilibrage automatique de rotor sans démontage de la turbomachine. L'équilibrage peut donc être réalisé non seulement au sol, mais aussi en vol.

5 L'équilibrage est réalisé plus rapidement, ce qui augmente la disponibilité de la turbomachine. Corrélativement, les opérations de maintenance et leurs coûts sont diminués.

L'invention permet d'atteindre des plans d'équilibrage qui ne seraient sinon accessibles qu'au prix d'un démontage de la turbomachine. Grâce à l'invention, la  
10 dépose de la turbomachine pour équilibrage est évitée.

Les niveaux d'alarme vibratoire peuvent être diminués, ce qui implique que le balourd maximal acceptable en vol, les charges et les environnements vibratoires associés, et qui dimensionnent mécaniquement le moteur, peuvent être réduits. Cela permet d'envisager une diminution de la masse de l'ensemble propulsif.

15 Les contraintes sur l'équilibrage primaire et modulaire sont limitées notamment pour les rotors qui étaient jusqu'alors inaccessibles une fois la turbomachine assemblée.

La configuration d'équilibrage est adaptable en fonction de l'individu moteur et même de la phase de vol par optimisation continue de l'équilibrage. En effet,  
20 les niveaux vibratoires peuvent également varier au cours d'une mission sur un moteur neuf. Cela contribue notamment au bruit perçu en cabine. Par exemple, l'équilibrage automatique sur un régime stationnaire permet de minimiser en continu les niveaux vibratoires du moteur dus à un phénomène de givrage.

En ce qui concerne le développement d'une turbomachine, la  
25 modification des balourds sans démontage permise par l'invention limite les risques de la certification en ce qui concerne la campagne de « vibration survey » pour un rotor inaccessible sans démontage. Le temps nécessaire et le coût sont également réduits.

Les opérations de « vibration survey » nécessitent moins de temps, il est donc possible d'en réaliser plus, sur plus de turbomachines différentes, et de connaître au  
30 mieux le comportement vibratoire de la turbomachine.

Selon une caractéristique préférée, la turbomachine est apte à fonctionner selon une pluralité de régimes dont un régime stationnaire, et l'unité de contrôle est configurée pour fonctionner dans l'un quelconques desdits régimes.

Selon une caractéristique préférée, le dispositif d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine est caractérisé en ce que :

- les moyens de mesure sont aptes à mesurer un premier niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

- les moyens de comparaison sont aptes à comparer le premier niveau de vibration mesuré avec un seuil de vibration,

- les moyens de détermination sont aptes à déterminer une première configuration d'équilibrage en fonction d'une sensibilité prédéterminée de la turbomachine, si le premier niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration,

- l'unité de contrôle est apte à commander le dispositif de balourdage en fonction de la première configuration d'équilibrage déterminée,

- les moyens de mesure sont aptes à mesurer un deuxième niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

- les moyens de comparaison sont aptes à comparer le deuxième niveau de vibration mesuré avec le seuil de vibration,

- les moyens de détermination sont aptes à déterminer une deuxième configuration d'équilibrage par une méthode vectorielle, si le deuxième niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration, et

- l'unité de contrôle est apte à commander le dispositif de balourdage en fonction de la deuxième configuration d'équilibrage déterminée.

Selon une caractéristique préférée, le dispositif d'équilibrage est apte à réitérer le fonctionnement :

- des moyens de mesure du deuxième niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

- des moyens de comparaison du deuxième niveau de vibration mesuré avec le seuil de vibration,

- des moyens de détermination d'une deuxième configuration d'équilibrage par une méthode vectorielle, si le deuxième niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration, et

5 - de l'unité de contrôle pour commander le dispositif de balourdage en fonction de la deuxième configuration d'équilibrage déterminée.

L'invention concerne aussi une turbomachine comportant un dispositif d'équilibrage tel que présenté précédemment.

10 L'invention concerne aussi un procédé d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine, le rotor étant équipé d'un dispositif de balourdage, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes de :

- mesure d'un premier niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

15 - comparaison du premier niveau de vibration mesuré avec un seuil de vibration,

- détermination d'une première configuration d'équilibrage en fonction d'une sensibilité prédéterminée de la turbomachine, si le premier niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration,

20 - commande du dispositif de balourdage en fonction de la première configuration d'équilibrage déterminée,

- mesure d'un deuxième niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

- comparaison du deuxième niveau de vibration mesuré avec le seuil de vibration,

25 - détermination d'une deuxième configuration d'équilibrage par une méthode vectorielle, si le deuxième niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration, et

- commande du dispositif de balourdage en fonction de la deuxième configuration d'équilibrage déterminée.

Selon une caractéristique préférée, le procédé d'équilibrage est mis en œuvre en régime stationnaire ou sur une plage de régimes de la turbomachine.

Selon une caractéristique préférée, le procédé d'équilibrage comporte une réitération des étapes de :

- 5                               - mesure du deuxième niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,
- comparaison du deuxième niveau de vibration mesuré avec le seuil de vibration,
- détermination d'une deuxième configuration d'équilibrage par une
- 10 méthode vectorielle, si le deuxième niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration, et
- commande du dispositif de balourdage en fonction de la deuxième configuration d'équilibrage déterminée.

15 Le procédé et la turbomachine présentent des avantages analogues à ceux précédemment présentés.

Dans un mode particulier de réalisation, les étapes du procédé selon l'invention sont mises en œuvre par des instructions de programme d'ordinateur.

20 En conséquence, l'invention vise aussi un programme d'ordinateur sur un support d'informations, ce programme étant susceptible d'être mis en œuvre dans un ordinateur, ce programme comportant des instructions adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé tel que décrit ci-dessus.

25 Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation, et être sous la forme de code source, code objet, ou de code intermédiaire entre code source et code objet, tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable.

L'invention vise aussi un support d'informations lisible par un ordinateur, et comportant des instructions de programme d'ordinateur adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé tel que décrit ci-dessus.

30 Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de



stockage, tel qu'une ROM, par exemple un CD ROM ou une ROM de circuit microélectronique, ou une mémoire Flash, ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, par exemple un disque dur.

5 D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur un réseau de type Internet.

10 Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé selon l'invention.

## BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

15 D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préféré, donné à titre d'exemple non limitatif, décrit en référence aux figures dans lesquelles :

La figure 1 représente schématiquement une turbomachine équipée d'un système d'équilibrage de rotor selon un mode de réalisation de l'invention,

La figure 2 représente un procédé d'équilibrage de rotor selon un premier mode de réalisation de l'invention,

20 La figure 3 représente un procédé d'équilibrage de rotor selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,

La figure 4 représente un dispositif d'équilibrage de rotor selon un mode de réalisation de l'invention.

## 25 EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Selon un mode de réalisation préféré, représenté à la **figure 1**, une turbomachine comporte deux rotors coaxiaux. L'invention n'est pas limitée à une

turbomachine à deux rotors et s'applique aussi à des turbomachines comportant un nombre quelconque de rotors. La turbomachine est équipée d'un système d'équilibrage.

Seuls les éléments utiles à la compréhension de l'invention ont été représentés, afin de simplifier la figure.

5 La turbomachine comporte de l'amont à gauche de la figure 1 vers l'aval à droite de la figure 1 :

- Une partie basse pression comportant un compresseur basse pression CBP ;

10 CHP et une turbine haute pression THP ;

- Une partie basse pression comportant une turbine basse pression TBP.

Ainsi, les deux rotors de la turbomachine sont :

- Un rotor basse pression comportant le compresseur basse pression CBP et la turbine basse pression TBP ;

15 - Un rotor haute pression comportant le compresseur haute pression CHP et la turbine haute pression THP. Le rotor haute pression est inaccessible sans démontage de la turbomachine.

20 La turbomachine comporte des capteurs de vibration  $CV_1$  à  $CV_N$ , où N est un entier, sous la forme d'accéléromètres placés sur des parties statiques du turbopropulseur, dans les parties basse pression et la partie haute pression. Deux accéléromètres  $CV_1$  et  $CV_2$  ont été représentés à titre d'exemple, mais bien entendu leur nombre peut être différent.

25 Les accéléromètres sont reliés à une unité de contrôle UC qui est par exemple intégrée au système FADEC (acronyme anglais de Full Authority Digital Engine Control) de régulation numérique de la turbomachine. Le système FADEC comporte notamment un calculateur.

30 Plusieurs plans d'équilibrage orthogonaux à l'axe de rotation sont intégrés dans la turbomachine. Ainsi deux plans d'équilibrage PE1 et PE2 sont situés respectivement à l'amont et à l'aval de la turbomachine, sur le rotor basse pression. D'autres plans d'équilibrage PE3 et PE4 sont situés sur le rotor haute pression. Bien

entendu, le nombre de plans d'équilibrage peut être différent aussi bien pour le rotor basse pression que pour le rotor haute pression.

Les plans d'équilibrage comportent des dispositifs de balourdage  $B_1$  à  $B_M$ , représentés schématiquement à la figure 4, où  $M$  est un entier, par exemple du type  
5 de ceux décrits dans FR 3 004 418 ou FR 3 005 095. Un dispositif de balourdage comporte des masses déplaçables soit radialement, soit angulairement et radialement, pour définir une position de balourd souhaitée. La fonction d'un dispositif de balourdage est d'équilibrer le rotor auquel il est associé.

Les dispositifs de balourdage sont reliés à l'unité de contrôle UC, par  
10 exemple par radiocommunication en haute fréquence ou en Wifi. Le déplacement des masses est commandé par l'unité de contrôle UC de manière à équilibrer les rotors.

En référence à la **figure 2**, un premier mode de réalisation de procédé d'équilibrage de rotor d'une turbomachine mis en œuvre dans l'unité de contrôle  
15 comporte des étapes E1 à E6, E10-E11, et E40-E41.

Ce mode de réalisation concerne plus particulièrement un équilibrage de rotor effectué au sol. Le procédé est par exemple mis en œuvre sur banc d'essai, en sortie de production ou lors d'un essai en développement ou encore après la mise sous aile de la turbomachine.

20 A l'étape E1, le pilote envoie à la turbomachine des commandes d'accélération et décélération successives jusqu'à atteindre l'accélération et la décélération maximales.

Simultanément, l'étape E10 est une mesure des niveaux de vibration des parties haute pression et basse pression par les différents capteurs de vibration  $CV_1$  à  
25  $CV_N$ . Les capteurs de vibration mesurent des accélérations, qui sont transmises à l'unité de contrôle UC.

A l'étape suivante E11, les mesures transmises par les capteurs de vibration sont analysées par l'unité de contrôle UC.

L'unité de contrôle UC analyse les niveaux de vibration qu'elle reçoit,  
30 c'est-à-dire qu'elle effectue un filtrage par rotor basse pression et haute pression et par

capteur, pour décorrélérer et identifier les niveaux de vibration selon les régimes des corps basse pression et haute pression.

Les niveaux de vibration sont enregistrés en fonction du régime moteur par l'unité de contrôle UC.

5 Les niveaux de vibration sont comparés à un seuil donné par rotor basse pression et haute pression. Un seuil définit un niveau de vibration limite au-delà duquel une action correctrice est à entreprendre.

L'unité de contrôle UC transmet une alerte au pilote si un niveau de vibration basse pression ou haute pression dépasse le seuil donné respectif.

10

Les étapes E10 et E11 sont effectuées en continu lors du fonctionnement de la turbomachine. Il y a donc un re-bouclage de l'étape E11 sur l'étape E10 tant que l'étape E1 est en cours d'exécution.

15 Si aucun niveau de vibration supérieur au seuil donné n'est détecté, l'équilibrage est terminé.

Lorsqu'un niveau de vibration supérieur à un seuil donné est détecté à l'étape E11, l'étape E11 est suivie de l'étape E2 à laquelle l'unité de contrôle détermine une première configuration d'équilibrage correctrice en fonction des mesures effectuées par les capteurs de vibration et d'une configuration prédéfinie pour le type de turbomachine. Cette configuration prédéfinie correspond à une sensibilité moyenne des turbomachines de même type que celle en cours d'équilibrage.

20 En se basant sur les niveaux de vibration enregistrés en fonction du régime moteur, l'unité de contrôle détermine une configuration de balourd correctif qui diminue les vibrations sur les principaux modes de fonctionnement du moteur.

25 L'étape suivante E3 est la commande des dispositifs de balourdage  $B_1$  à  $B_M$  par l'unité de contrôle UC. Les dispositifs de balourdage sont ainsi réglés en fonction des niveaux de vibration de la turbomachine et d'une configuration d'équilibrage prédéfinie pour le type de turbomachine, de manière à diminuer les niveaux de vibration.

30 L'étape suivante E4 est similaire à l'étape E1. Le pilote envoie à la turbomachine des commandes d'accélération et décélération successives jusqu'à

atteindre l'accélération et la décélération maximales. Les étapes E40 et E41 respectivement similaires aux étapes E10 et E11 précédemment décrites sont parcourues pendant l'exécution de l'étape E4, pour déterminer s'il y a encore des niveaux de vibration supérieurs au seuil donné par rotor basse pression et haute pression.

5 Si aucun niveau de vibration supérieur à un seuil donné n'est détecté, l'équilibrage de la turbomachine est terminé.

Lorsqu'un niveau de vibration supérieur à un seuil donné est détecté à l'étape E41, l'étape E41 est suivie de l'étape E5 à laquelle l'unité de contrôle détermine une deuxième configuration d'équilibrage corrective par une méthode vectorielle. Ce calcul repose sur le ratio entre la différence de niveaux de vibration et la différence de balourd appliqué. Ce ratio permet de connaître la sensibilité propre du moteur et de définir une configuration d'équilibrage plus fine que la première configuration.

10 L'étape suivante E6 est la commande des dispositifs de balourdage  $B_1$  à  $B_M$  par l'unité de contrôle UC. Les dispositifs de balourdage sont ainsi réglés en fonction des vibrations de la turbomachine et d'une configuration d'équilibrage spécifique à la turbomachine.

15 De préférence, les étapes E4 à E6 sont répétées au moins une fois. Si des niveaux supérieurs à un seuil donné sont à nouveau détectés, un nouveau calcul vectoriel est effectué en prenant en compte les nouvelles valeurs de fréquence dépassant les seuils acceptables. Une nouvelle commande d'équilibrage est alors appliquée.

20 En référence à la **figure 3**, un deuxième mode de réalisation de procédé d'équilibrage de rotor d'une turbomachine mis en œuvre dans l'unité de contrôle comporte des étapes E20 à E26 et E230-E231.

25 Ce mode de réalisation concerne plus particulièrement un équilibrage de rotor effectué en vol. Le procédé s'applique ici pour un régime stationnaire donné.

L'étape E20 est similaire à l'étape E10 précédemment décrite. Elle comporte une mesure des niveaux de vibration des parties haute pression et basse pression par les différents capteurs de vibration  $CV_1$  à  $CV_N$ .

30 Les mesures sont transmises à l'unité de contrôle UC.

A l'étape suivante E21, similaire à l'étape E11 précédemment décrite, les mesures transmises par les capteurs de vibration sont analysées par l'unité de contrôle UC.

5 L'unité de contrôle UC analyse les niveaux de vibration qu'elle reçoit, c'est-à-dire qu'elle effectue un filtrage par rotor basse pression et haute pression et par capteur, pour décorrélérer et identifier les niveaux de vibration des corps haute pression et basse pression pour le régime stationnaire considéré.

Les niveaux de vibration sont enregistrés pour le régime stationnaire considéré par l'unité de contrôle.

10 Les niveaux de vibration sont comparés à un seuil donné par rotor basse pression et haute pression. Un seuil définit un niveau de vibration limite au-delà duquel une action correctrice est à entreprendre.

L'unité de contrôle UC transmet une alerte au pilote si un niveau de vibration basse pression ou haute pression dépasse le seuil donné respectif.

15 Une alerte cockpit est alors générée.

Les étapes E20 et E21 sont effectuées en continu lors du fonctionnement de la turbomachine. Il y a donc un re-bouclage de l'étape E21 sur l'étape E20.

20 Si aucun niveau de vibration supérieur au seuil donné n'est détecté, l'équilibrage de la turbomachine est terminé.

Lorsqu'un niveau de vibration supérieur à un seuil donné est détecté à l'étape E21, cette étape est suivie de l'étape E22 à laquelle l'unité de contrôle UC détermine une première configuration d'équilibrage corrective en fonction des mesures effectuées par les capteurs de vibration et d'une configuration prédéfinie pour le type de turbomachine. L'étape E22 est similaire à l'étape E2 précédemment décrite.

25 Cette configuration prédéfinie correspond à une sensibilité moyenne des turbomachines de même type que celle en cours d'équilibrage.

L'étape suivante E23 est la commande des dispositifs d'équilibrage par l'unité de contrôle. Les dispositifs d'équilibrage sont ainsi réglés en fonction des

vibrations de la turbomachine et d'une configuration d'équilibrage prédéfinie pour le type de turbomachine. L'étape E23 est similaire à l'étape E3 précédemment décrite.

L'étape E23 est suivie des étapes E230 et E231 qui sont identiques aux étapes E20 et E21 précédemment décrites, pour déterminer s'il y a encore des niveaux de vibration supérieurs au seuil donné.

Si aucun niveau de vibration supérieur au seuil donné n'est détecté, l'équilibrage de la turbomachine est terminé.

Lorsqu'un niveau de vibration supérieur au seuil donné est détecté à l'étape E231, l'étape E231 est suivie de l'étape E25 à laquelle l'unité de contrôle détermine une deuxième configuration d'équilibrage corrective par une méthode vectorielle. Ce calcul repose sur le ratio entre la différence de vibration et la différence de balourd appliqué. Ce ratio permet de connaître la sensibilité propre du moteur et de définir une configuration d'équilibrage plus fine que la première configuration. L'étape E25 est similaire à l'étape E5 précédemment décrite.

L'étape suivante E26 est la commande des dispositifs de balourdage  $B_1$  à  $B_M$  par l'unité de contrôle UC. Les dispositifs de balourdage sont ainsi réglés en fonction des vibrations de la turbomachine et d'une configuration d'équilibrage spécifique à la turbomachine. L'étape E26 est similaire à l'étape E6 précédemment décrite.

La **figure 4** représente un mode de réalisation particulier de mise en œuvre de dispositif d'équilibrage de rotor d'une turbomachine selon l'invention.

Le dispositif d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine, le rotor étant équipé d'un dispositif de balourdage, comporte :

- des moyens de mesure d'un premier niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

- des moyens de comparaison du premier niveau de vibration mesuré avec un seuil de vibration,

- des moyens de détermination d'une première configuration d'équilibrage en fonction d'une sensibilité prédéterminée de la turbomachine, si le premier niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration,

- des moyens de commande du dispositif de balourdage en fonction de la première configuration d'équilibrage déterminée,

- des moyens de mesure d'un deuxième niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

5 - des moyens de comparaison du deuxième niveau de vibration mesuré avec le seuil de vibration,

- des moyens de détermination d'une deuxième configuration d'équilibrage par une méthode vectorielle, si le deuxième niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration, et

10 - des moyens de commande du dispositif de balourdage en fonction de la deuxième configuration d'équilibrage déterminée.

Selon ce mode de réalisation, le dispositif d'équilibrage de rotor d'une turbomachine comporte les capteurs de vibration  $CV_1$  à  $CV_N$  et l'unité de contrôle qui a la structure générale d'un ordinateur. L'unité de contrôle comporte notamment un processeur 100 exécutant un programme d'ordinateur mettant en œuvre le procédé selon l'invention, une mémoire 101, une interface d'entrée 102 et une interface de sortie 103.

Ces différents éléments sont classiquement reliés par un bus 105.

15 L'interface d'entrée 102 est reliée aux capteurs de vibration  $CV_1$  à  $CV_N$  et est destinée à recevoir les données représentant les niveaux de vibration mesurés par les capteurs de vibration.

20 Le processeur 100 exécute les traitements précédemment exposés. Ces traitements sont réalisés sous la forme d'instructions de code du programme d'ordinateur qui sont mémorisées par la mémoire 101 avant d'être exécutées par le processeur 100.

La mémoire 101 peut en outre mémoriser les résultats des traitements effectués.

L'interface de sortie 103 est reliée aux dispositifs de balourdage  $B_1$  à  $B_M$  pour leur transmettre des commandes de réglage.

30



## REVENDICATIONS

1. Dispositif d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine, comprenant
- une unité de contrôle (UC),
  - 5 • un dispositif de balourdage ( $B_1$ ,  $B_M$ ) apte à équilibrer ledit rotor, connecté à l'unité de contrôle (UC),
  - des moyens de mesure ( $CV_1$ ,  $CV_2$ ) d'un niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine, connectés à l'unité de contrôle (UC),
  - 10 • des moyens de comparaison du niveau de vibration mesuré avec un seuil de vibration, intégrés à l'unité de contrôle (UC),
  - des moyens de détermination d'une configuration d'équilibrage en fonction d'une sensibilité prédéterminée de la turbomachine, intégrés à l'unité de contrôle (UC),
  - 15 • l'unité de contrôle (UC) étant configuré pour commander les moyens de détermination d'une configuration d'équilibrage lorsque le niveau de vibration est supérieur au seuil de vibration, et
  - l'unité de contrôle (UC) étant configurée pour commander le dispositif de balourdage en fonction de la configuration d'équilibrage.
- 20 2. Dispositif d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine selon la revendication 1, la turbomachine étant apte à fonctionner selon une pluralité de régimes dont un régime stationnaire, l'unité de contrôle étant configurée pour fonctionner dans l'un quelconques desdits régimes.
- 25 3. Dispositif d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que :
- les moyens de mesure ( $CV_1$ ,  $CV_2$ ) sont aptes à mesurer un premier niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

- les moyens de comparaison (UC) sont aptes à comparer le premier niveau de vibration mesuré avec un seuil de vibration,

- les moyens de détermination (UC) sont aptes à déterminer une première configuration d'équilibrage en fonction d'une sensibilité prédéterminée de la turbomachine, si le premier niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration,

- l'unité de contrôle (UC) est apte à commander le dispositif de balourdage en fonction de la première configuration d'équilibrage déterminée,

- les moyens de mesure ( $CV_1$ ,  $CV_2$ ) sont aptes à mesurer un deuxième niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

- les moyens de comparaison (UC) sont aptes à comparer le deuxième niveau de vibration mesuré avec le seuil de vibration,

- les moyens de détermination (UC) sont aptes à déterminer une deuxième configuration d'équilibrage par une méthode vectorielle, si le deuxième niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration, et

- l'unité de contrôle (UC) est apte à commander le dispositif de balourdage en fonction de la deuxième configuration d'équilibrage déterminée.

4. Dispositif d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il est apte à réitérer le fonctionnement :

- des moyens de mesure ( $CV_1$ ,  $CV_2$ ) pour mesurer le deuxième niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

- des moyens de comparaison (UC) pour comparer le deuxième niveau de vibration mesuré avec le seuil de vibration,

- des moyens de détermination (UC) pour déterminer une deuxième configuration d'équilibrage par une méthode vectorielle, si le deuxième niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration, et

- de l'unité de contrôle (UC) pour commander le dispositif de balourdage en fonction de la deuxième configuration d'équilibrage déterminée.

5. Turbomachine comportant un dispositif d'équilibrage selon l'une quelconque des revendications 1 à 4.

6. Procédé d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine, le rotor étant équipé d'un dispositif de balourdage, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes de :

- mesure (E10, E20) d'un premier niveau de vibration pendant le fonctionnement (E1) de la turbomachine,

- comparaison (E11, E21) du premier niveau de vibration mesuré avec un seuil de vibration,

- détermination (E2, E22) d'une première configuration d'équilibrage en fonction d'une sensibilité prédéterminée de la turbomachine, si le premier niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration,

- commande (E3, E23) du dispositif de balourdage en fonction de la première configuration d'équilibrage déterminée,

- mesure (E40, E230) d'un deuxième niveau de vibration pendant le fonctionnement (E4) de la turbomachine,

- comparaison (E41, E231) du deuxième niveau de vibration mesuré avec le seuil de vibration,

- détermination (E5, E25) d'une deuxième configuration d'équilibrage par une méthode vectorielle, si le deuxième niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration, et

- commande (E6, E26) du dispositif de balourdage en fonction de la deuxième configuration d'équilibrage déterminée.

7. Procédé d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre en régime stationnaire ou sur une plage de régimes de la turbomachine.

8. Procédé d'équilibrage d'un rotor d'une turbomachine selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce qu'il comporte une répétition des étapes de :

- mesure (E40) du deuxième niveau de vibration pendant le fonctionnement de la turbomachine,

- comparaison (E41) du deuxième niveau de vibration mesuré avec le seuil de vibration,

5                   - détermination (E5) d'une deuxième configuration d'équilibrage par une méthode vectorielle, si le deuxième niveau de vibration mesuré est supérieur au seuil de vibration, et

- commande (E6) du dispositif de balourdage en fonction de la deuxième configuration d'équilibrage déterminée.

10

9. Programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 8 lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

15

10. Support d'enregistrement lisible par un ordinateur sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 6 à 8.

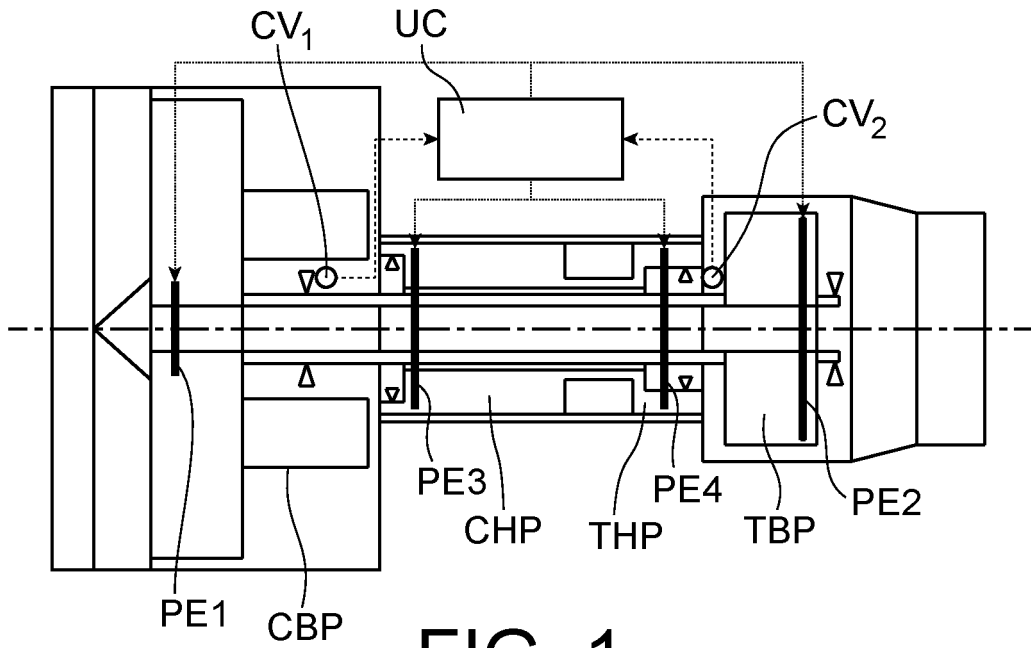


FIG. 1

2 / 4

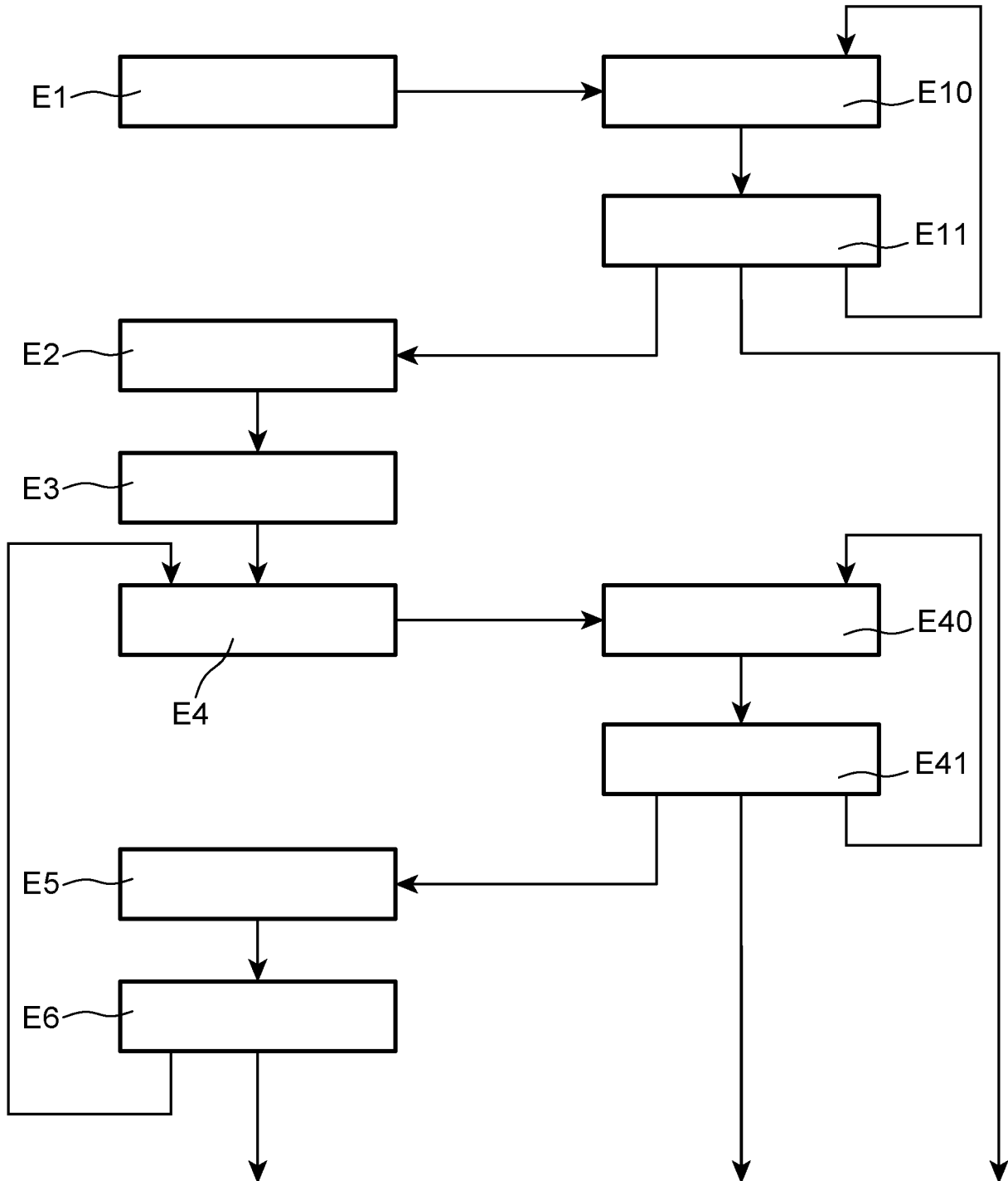


FIG. 2

3 / 4

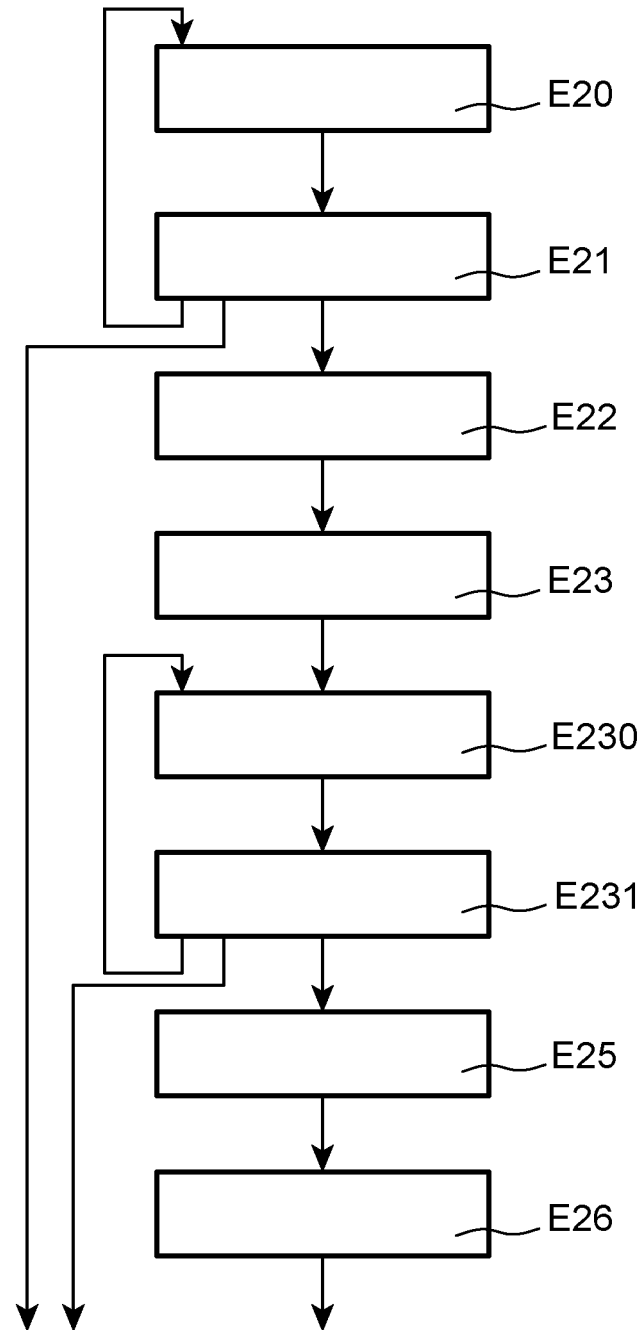


FIG. 3

4 / 4

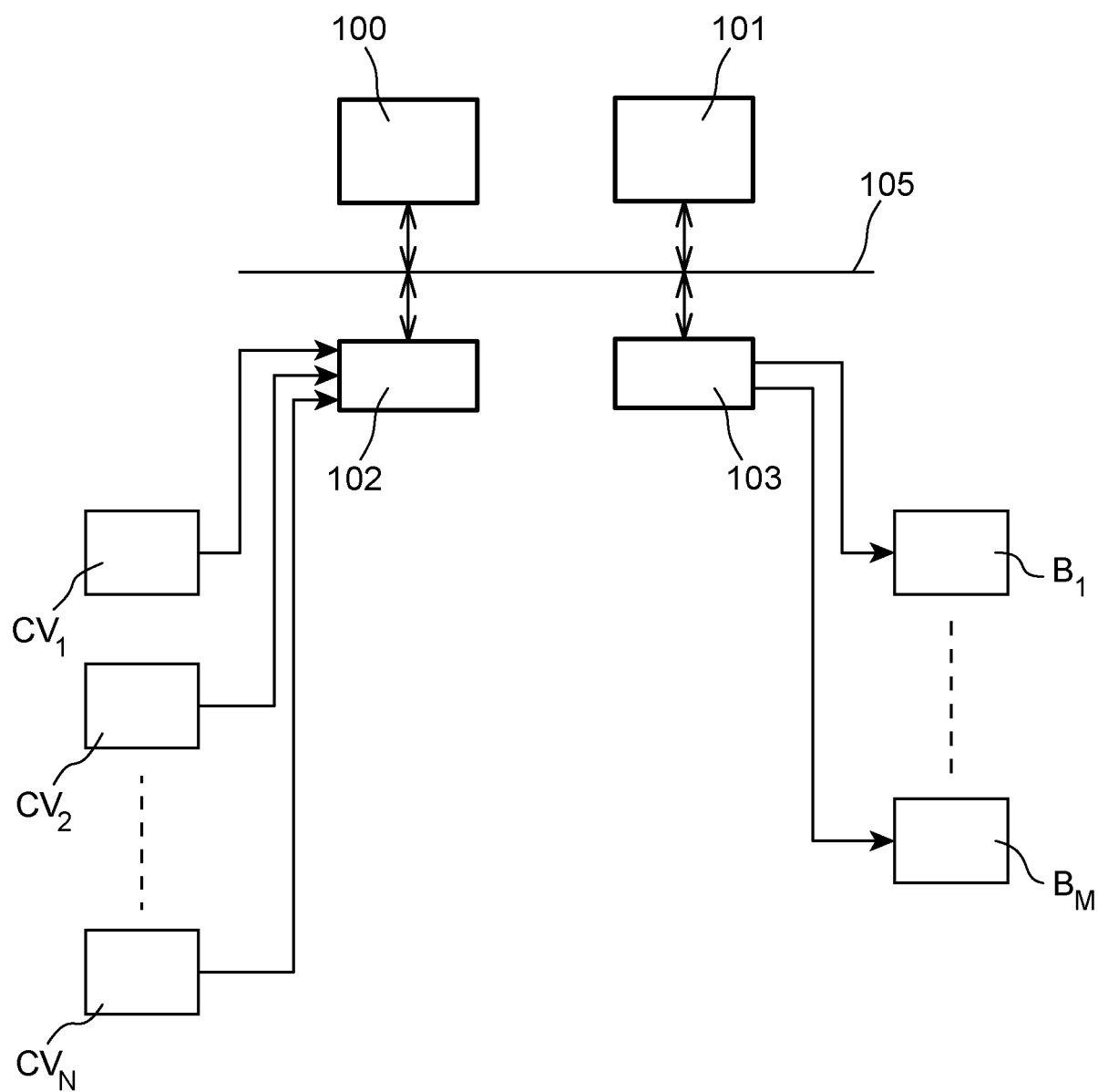


FIG. 4





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

FA 838268  
FR 1752282

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 2 960 319 A1 (AIRBUS OPERATIONS SAS [FR]) 25 novembre 2011 (2011-11-25) * abrégé * * page 1 - page 16 * * figures 1-3 *	1-10	G01M1/38 G01M1/02 F04D29/66
X	EP 1 367 226 A1 (SNECMA MOTEURS [FR]; SNECMA SERVICES [FR]) 3 décembre 2003 (2003-12-03) * abrégé * * colonne 1 - colonne 11 * * figures 1-10 *	1-10	
X	FR 2 941 049 A1 (SNECMA [FR]) 16 juillet 2010 (2010-07-16) * abrégé * * page 1 - page 14 * * figures 1-3 *	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01M G05B B64D G06F F01D G01H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
28 novembre 2017		Ridha, Philipp	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1752282 FA 838268**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **28-11-2017**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2960319	A1	25-11-2011	AUCUN	
-----				
EP 1367226	A1	03-12-2003	CA 2430153 A1	28-11-2003
			DE 60307926 T2	20-09-2007
			EP 1367226 A1	03-12-2003
			ES 2269942 T3	01-04-2007
			FR 2840358 A1	05-12-2003
			JP 4111869 B2	02-07-2008
			JP 2004036615 A	05-02-2004
			RU 2320969 C2	27-03-2008
			UA 82462 C2	25-04-2008
			US 2004060347 A1	01-04-2004
-----				
FR 2941049	A1	16-07-2010	BR PI1006159 A2	23-02-2016
			CA 2749214 A1	22-07-2010
			CN 102282450 A	14-12-2011
			EP 2387706 A1	23-11-2011
			FR 2941049 A1	16-07-2010
			JP 5562979 B2	30-07-2014
			JP 2012515285 A	05-07-2012
			RU 2011134062 A	20-02-2013
			US 2011276247 A1	10-11-2011
			WO 2010081983 A1	22-07-2010
-----				