

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

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

3 066 444

②① N° d'enregistrement national : **17 54493**

⑤① Int Cl⁸ : **B 60 K 6/50 (2017.01)**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ ARCHITECTURE PROPULSIVE HYBRIDE D'AERONEF COMPRENANT UN MOTEUR AVEC UNE MACHINE ELECTRIQUE REVERSIBLE MONTEE SUR DEUX ARBRES.

②② Date de dépôt : 19.05.17.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.11.18 Bulletin 18/47.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 16.04.21 Bulletin 21/15.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN* — FR.

⑦② Inventeur(s) : *JALJAL NAWAL* et *DESARNAUD FABIEN*.

⑦③ Titulaire(s) : *SAFRAN*.

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

FR 3 066 444 - B1



ARCHITECTURE PROPULSIVE HYBRIDE D'AERONEF COMPRENANT UN MOTEUR AVEC UNE MACHINE ELECTRIQUE REVERSIBLE MONTEE SUR DEUX ARBRES

DESCRIPTION

Le sujet de l'invention est une architecture propulsive hybride d'aéronef comprenant un moteur couplé avec une machine électrique réversible sur ses arbres.

5 Les architectures propulsives hybrides d'aéronefs modernes comportent des moteurs qui sont associés à des machines électriques reliées par un réseau de distribution électrique à des stockeurs électriques ou d'autres appareils de stockage énergétique. Les moteurs peuvent fournir, outre l'énergie nécessaire à la propulsion, de l'énergie électrique exploitée ou stockée ailleurs dans l'aéronef ; les machines électriques
10 peuvent aussi, réciproquement, fournir une énergie d'assistance aux moteurs, utile pour certaines phases de la mission au sol et en vol.

Mais comme les turbomachines usuelles comprennent un arbre basse pression BP et un arbre haute pression HP tournant à des vitesses différentes, et que la transmission de puissance réversible peut avantageusement concerner l'un ou l'autre de
15 ces arbres, on est amené à associer chacune d'elles à une machine électrique particulière, ce qui conduit à un agencement lourd et qui peut se révéler compliqué à commander de façon fiable.

Un premier objet de l'invention est donc de simplifier les agencements plausibles, avec la possibilité de diminuer le nombre de machines électriques associées au
20 système propulsif hybride.

Sous un aspect général, l'invention est relative à une architecture d'un système propulsif hybride comprenant un moteur comprenant au moins deux arbres tournant indépendamment l'un de l'autre, l'agencement comprenant encore une machine électrique réversible, la machine électrique étant reliée à un réseau de distribution,
25 caractérisé en ce qu'un rotor de la machine électrique est relié à chacun des arbres du moteur par une transmission respective, chacune des transmissions comprenant un accouplement débrayable.

Une machine électrique unique se révèle donc suffisante pour la transmission de puissance réversible avec chacun des deux arbres du moteur. Il est manifeste que l'agencement peut s'en trouver allégé ; il peut toutefois apparaître d'autres difficultés si la commande des accouplements se révèle insuffisamment fiable.

5 Selon un perfectionnement important de l'invention permettant d'obvier à ce nouveau problème, les accouplements débrayables peuvent être des embrayages unidirectionnels et notamment des embrayages unidirectionnels passifs, comme des roues libres.

10 En exploitant le fonctionnement possible d'une machine électrique selon les quatre quadrants de fonctionnement, on obtient automatiquement une transmission par un seul des deux arbres selon le sens de rotation du rotor de la machine si les embrayages unidirectionnels débrayent pour des sens opposés de rotation du rotor, puisque l'accouplement de l'une des transmissions implique le désaccouplement de l'autre. Aucun dommage par accident de fonctionnement n'est donc à craindre. Ce résultat
15 est immédiatement obtenu avec des arbres du moteur ne tournant pas dans le même sens de rotation, comme des arbres contrarotatifs. Dans le cas contraire, il faudra rajouter un inverseur de rotation, tel qu'un engrenage ou tout dispositif usuel, à l'une des transmissions. Si les embrayages unidirectionnels sont des dispositifs passifs, aucun dispositif de commande des embrayages n'est nécessaire.

20 Un aspect particulier de l'invention est caractérisé par la présence d'une deuxième machine électrique, qui est semblable à la précédente et reliée aux mêmes arbres haute pression et basse pression du moteur par des transmissions semblables à celles qui précèdent.

25 Si de telles réalisations de l'invention impliquent une paire de machines électriques par moteur, elles présentent l'intérêt d'autoriser des modes de fonctionnement originaux, consistant notamment en des transferts de puissance d'un arbre à l'autre, un prélèvement sur l'une d'entre elles par une première des machines électriques coïncidant avec une fourniture de puissance à l'autre arbre par l'autre machine électrique.

30 D'autres modes de fonctionnement de l'agencement de l'invention sont possibles, et leurs avantages et circonstances d'emploi seront détaillés plus loin.

Les différentes réalisations de l'invention, et surtout les dernières mentionnées, comprenant deux machines électriques reliées aux deux arbres du moteur, offrent donc divers avantages. Il devient possible d'ajuster avec une grande liberté les prélèvements de puissance mécanique ou au contraire les fournitures de puissance supplémentaire au moteur de manière beaucoup plus adaptée aux différentes situations rencontrées pendant toute la mission en vol et au sol, avec la perspective d'augmenter les performances du moteur à différents régimes, ou au contraire de prélever plus de puissance mécanique, sans inconvénient pour les performances globales du moteur et son opérabilité. On mentionnera en particulier des possibilités d'améliorer les performances transitoires, ou d'assister le moteur lors des phases de démarrage au sol et en vol. Une autre conséquence favorable aux performances globales de l'aéronef sera une plus grande liberté dans le dimensionnement de la turbomachine, en considérant qu'on disposera toujours, de façon sûre, d'un supplément de puissance originaire d'un autre dispositif de fourniture d'énergie, qu'il sera possible d'affecter grâce au mode moteur des machines électriques à l'arbre qui en aura besoin. Le couplage indépendant des machines électriques sur les deux arbres permet par ailleurs des modes de fonctionnement innovants pour les aéronefs modernes avec la mise en rotation électrique ou l'assistance électrique par accélération ou freinage des arbres BP et/ou HP, moteur éteint ou en fonctionnement. La fourniture de la puissance électrique aux machines électriques d'un moteur pourra provenir d'un autre moteur ou d'un stockeur d'énergie, prévu pour cette fonction ou associé à un turbogénérateur par exemple.

L'architecture caractéristique de l'invention est par ailleurs simple et fiable.

Et l'invention peut être mise en œuvre sur chacun des moteurs d'un même aéronef, avec un dispositif de fourniture d'énergie commun aux différentes machines électriques, apte aussi à alimenter en puissance électrique les équipements et les servitudes de l'aéronef.

Les différents aspects, caractéristiques et avantages de l'invention seront maintenant décrits en liaison aux figures suivantes, qui représentent de façon détaillée une réalisation purement illustrative de celle-ci :

- les figures 1 à 6 représentent une réalisation de l'invention et ses différents modes de fonctionnement, et

- la figure 7 représente l'agencement complet disposé sur un aéronef.

La description porte d'abord sur les figures 1 et 7. Un moteur d'aéronef
 5 comprend un arbre basse pression 1 et un arbre haute pression 2 coaxiaux et concentriques, ainsi qu'il est usuel. Il est associé à deux machines électriques 3 et 4 réversibles dont chacune comprend un stator 5 relié par des câbles électriques d'un réseau de distribution 6 à un système de commande 7, et par l'intermédiaire de celui-ci à une batterie ou un autre stockeur d'énergie 8 électrique. La figure 7 montre que le système
 10 de commande 7 est relié à toutes les machines électriques caractérisant l'invention, qui est ici appliquée avantageusement à chacun des deux moteurs 21 et 22 de l'aéronef. Le système de commande 7 interagit avec les électroniques de puissance nécessaires à la commande des machines électriques 3 et 4. L'architecture peut aussi disposer d'un turbogénérateur 9 qui alimente entre autres le réseau de distribution 6 électrique et/ou un
 15 stockage d'énergie comme des systèmes de batteries

Les machines électriques 3 et 4 comprennent chacune un rotor 10, qui est relié à chacun des arbres basse pression 1 et haute pression 2 par une transmission, respectivement 11 et 12 pour la machine électrique 3 et 13 et 14 pour la machine électrique
 20 4. Chacune des transmissions 11, 12, 13 et 14 comprend des éléments de transmission proprement dits comme des éléments de rotor, des arbres de renvoi, des engrenages, etc., de genres quelconques et aussi un accouplement unidirectionnel, respectivement 15, 16, 17 et 18, pouvant avantageusement être un élément passif comme un accouplement à roue libre. Les accouplements unidirectionnels 15 à 18 peuvent être montés directement sur les rotors 10 comme on l'a représenté ici, ou ailleurs sur les transmissions 11 à 14.

25 Il est essentiel de remarquer que les sens d'accouplements des roues libres 15 et 16 sont opposés, de même que ceux des roues libres 17 et 18, avec la conséquence que chacun des rotors 10 est accouplé à l'un ou l'autre des arbres basse pression 1 et haute pression 2, par l'une ou l'autre des transmissions 11 et 12, ou 13 et 14, et un seul d'entre eux, selon son sens de rotation.

Les différents modes de fonctionnement possibles, régis par le système de commande 7, vont maintenant être détaillés. Ces modes de fonctionnement sont choisis et réglés par le système de commande 7, qui agit sur les commandes des machines électriques 3 et 4 et le contrôle du moteur ; les accouplements unidirectionnels 15 à 18 n'ont besoin d'aucun mécanisme de commande s'ils sont passifs, ce qui est un avantage important qui améliore la fiabilité de l'architecture.

Le mode de la figure 1 est un mode où les rotors 10 des deux machines électriques 3 et 4 tournent dans un sens de rotation qu'on appellera positif (R_{3+} et R_{4+}) qui induit l'accouplement des roues libres 15 et 17. La mise en prise des deux rotors 10 et de l'arbre basse pression 1 s'effectue par les transmissions 11 et 13. De plus, le stockeur d'énergie 8 fournit la puissance électrique nécessaire aux machines électriques 3 et 4. Cette situation peut correspondre à un moteur 21 ou 22 éteint et au mode de taxiage ou d'entraînement au sol par une hélice ou une soufflante 23 (figure 7) au bout de l'arbre basse pression 1, ou à une fourniture de puissance additionnelle en transitoire ou en continu exclusivement sur l'arbre basse pression 1, qu'on peut instaurer pendant les différentes phases de vol. Dans ce mode de fonctionnement comme dans tous ceux où les machines électriques 3 et 4 (ou l'une d'elles seulement) travaillent en mode moteur, l'énergie électrique qui les alimente peut aussi provenir d'autres équipements qui leur sont reliés par le réseau de distribution 6, comme du turbogénérateur 9 ou de l'autre des moteurs 22 ou 21, par les machines électriques 3 et 4 de celui-ci. L'invention peut donc autoriser des modes de fonctionnement où un des moteurs fait démarrer ou accélérer l'autre, ce qui peut être particulièrement apprécié en cas de panne, le moteur éteint continuant alors à fonctionner par son arbre basse pression 1, qui entraîne ici encore une hélice ou la soufflante 23.

Le mode de la figure 2 est analogue à celui de la figure 1 et repose notamment sur la rotation des deux rotors 10 dans le sens positif R_{3+} et R_{4+} , si ce n'est que les machines électriques 3 et 4 travaillent toutes deux en générateur de puissance électrique grâce à leurs électroniques de puissance. Ce mode permet de prélever de la puissance mécanique de l'arbre basse pression 1 pour fournir de l'énergie non propulsive, recharger le stockeur d'énergie 8 ou freiner l'arbre basse pression 1.

Le mode de réalisation de la figure 3 se distingue des précédents par une inversion des sens de rotation des rotors 10, c'est-à-dire qu'ils tournent dans les sens dits négatifs R3- et R4-. Les transmissions 11 et 13 menant à l'arbre basse pression 1 deviennent alors inactives, et réciproquement les transmissions 12 et 14 menant à l'arbre haute
5 pression 2 transmettent de la puissance. Dans ce mode, la puissance est fournie par le stockeur d'énergie 8, ou le turbogénérateur 9, ou le second moteur 22 ou 21 à l'arbre haute pression 2 par les deux machines électriques 3 et 4. Cela peut être employé pour le démarrage du moteur 21 ou 22 ou une assistance électrique transitoire ou continue de l'arbre haute pression 2, qu'on peut instaurer pendant les différentes phases de vol. Ici
10 aussi, la présence de deux machines électriques 3 et 4 qu'on peut commander indépendamment offre une plus grande liberté de conception.

Dans le mode de réalisation de la figure 4, on retrouve les mêmes sens négatifs R3- et R4- de rotation des rotors 10, mais le sens de transmission de puissance est inversé, c'est-à-dire que les machines électriques 3 et 4 travaillent en mode générateur. Ce
15 mode de fonctionnement pourrait être usuel pour fournir de l'énergie non propulsive, recharger le stockeur d'énergie 8 ou freiner l'arbre haute pression 2.

Dans le mode de fonctionnement de la figure 5, la rotation dans le sens positif R3+ de la première machine électrique 3 est associée au sens de rotation négatif R4- de la deuxième machine électrique 4. Il est alors possible de prélever de la puissance
20 mécanique d'un des arbres et de fournir de la puissance mécanique à l'autre, avec un bilan de fourniture ou de ponction de la puissance électrique sur le réseau de distribution 6 pouvant être nul. Ici, la première machine électrique 3 contribue à entraîner l'arbre basse pression 1 par la transmission 11, et l'arbre haute pression 2 fait travailler la seconde machine électrique 4 en mode générateur d'électricité. Un tel mode de fonctionnement
25 peut présenter de l'intérêt par exemple dans des phases transitoires du moteur 21 ou 22, en accélérant l'arbre basse pression 1 et décélérant l'arbre haute pression 2.

La figure 6 montre que le fonctionnement opposé est possible, la première machine électrique 3 fournissant de l'énergie à l'arbre haute pression 2, avec le sens de rotation négatif R3-, et l'arbre basse pression 1 faisant travailler la seconde
30 machine électrique 4 en générateur au moyen de la rotation de son rotor 10 dans le sens

positif R4+. Un tel mode de fonctionnement peut présenter de l'intérêt par exemple dans des phases transitoires du moteur 21 ou 22, en accélérant l'arbre haute pression 2 et décélérant l'arbre basse pression 1.

5 La commutation entre les différents modes de fonctionnement peut être facilitée, ainsi que le dimensionnement des machines électriques 3 et 4, si les rapports de réduction des transmissions 11 et 12, et 13 et 14 menant à chacun des rotors 10 sont inégaux, de façon à ce que les intervalles de régime de l'arbre basse pression 1 et de l'arbre haute pression 2 correspondent à des intervalles de vitesse proches sur le rotor 10 de chacune des machines électriques 3 et 4, ce qu'on peut obtenir par des amplificateurs ou
10 des réducteurs de rotation (non représentés, pouvant consister en engrenages) sur les transmissions 11 à 14 de chacune des machines électriques 3 et 4.

REVENDEICATIONS

1) Architecture d'un système propulsif hybride d'aéronef, comprenant un moteur (21, 22) comprenant au moins deux arbres (1, 2) tournant indépendamment l'un de l'autre, l'agencement comprenant encore deux machines électriques réversibles (3, 4) reliées à un réseau de distribution (6), caractérisée en ce qu'un rotor (10) de chaque machine électrique est relié à chacun des arbres (1, 2) du moteur par une transmission (11, 12, 13, 14) respective, chacune des transmissions comprenant un accouplement débrayable (15, 16, 17, 18), les accouplements débrayables sont des embrayages unidirectionnels passifs, et les embrayages unidirectionnels de chaque machine électrique ont des sens de débrayage opposés de rotation, les arbres ayant soit des sens de rotation inverses, soit des sens de rotation identiques, une des transmissions comportant alors une inversion de sens de rotation, et en ce qu'elle comprend un système de commande (7) des machines électriques permettant un entraînement d'au moins un des arbres par les deux machines électriques (3, 4), et permettant aussi une génération d'électricité à partir d'un des deux arbres par la première machine électrique, simultanément à un entraînement du second des deux arbres par la seconde machine électrique.

2) Architecture d'un système propulsif hybride d'aéronef selon la revendication 1, caractérisée en ce que le système de commande (7) permet une génération d'électricité à partir d'un des arbres, par une ou deux machines électriques (3, 4).

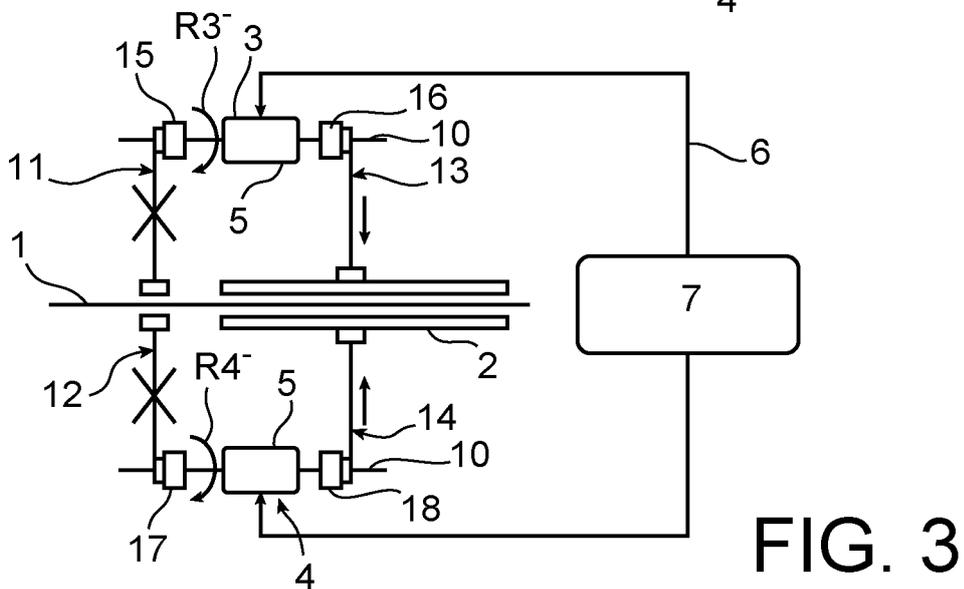
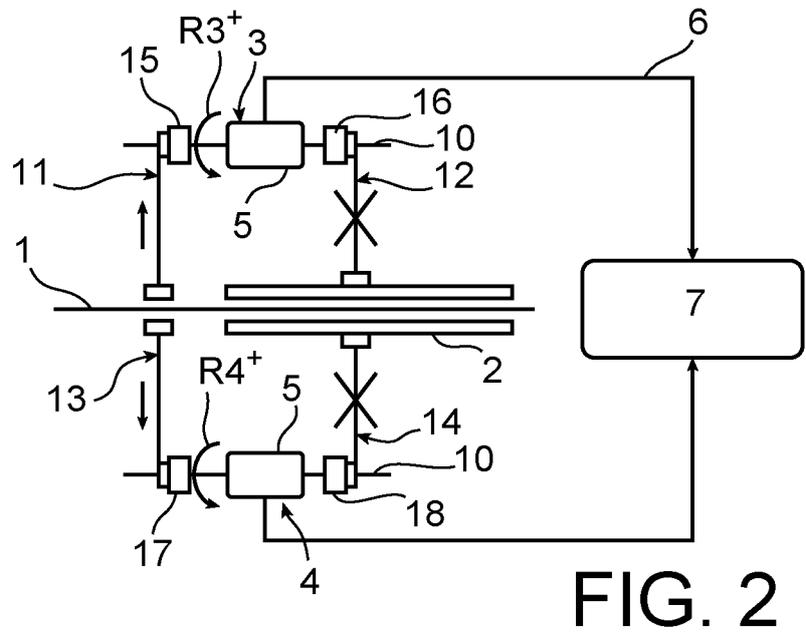
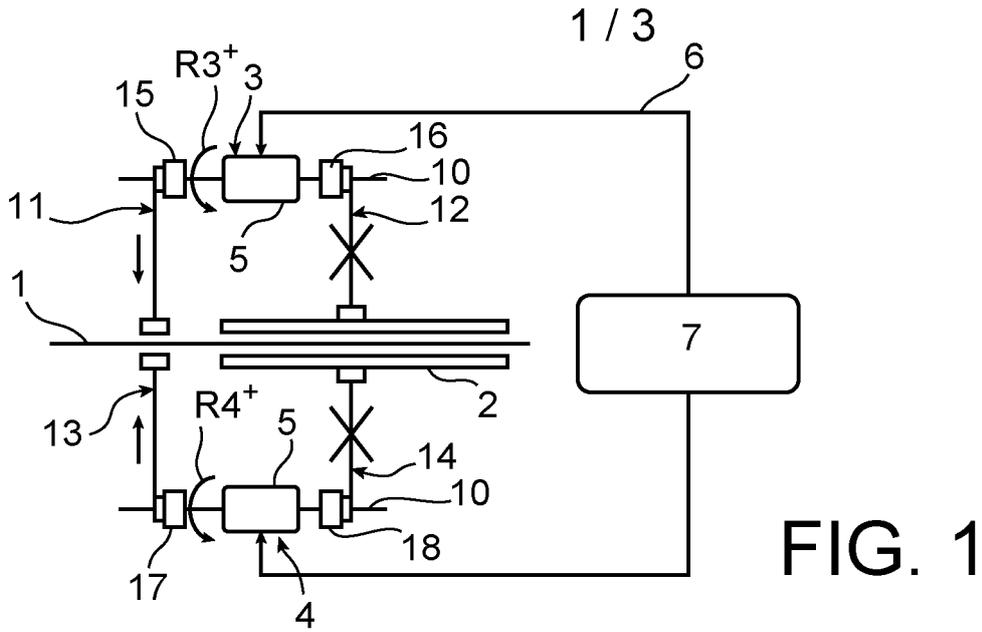
3) Architecture d'un système propulsif hybride d'aéronef selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisée en ce que les transmissions comprennent des rapports de réduction de vitesse de rotation inégaux entre le rotor d'au moins une des machines et les arbres du moteur.

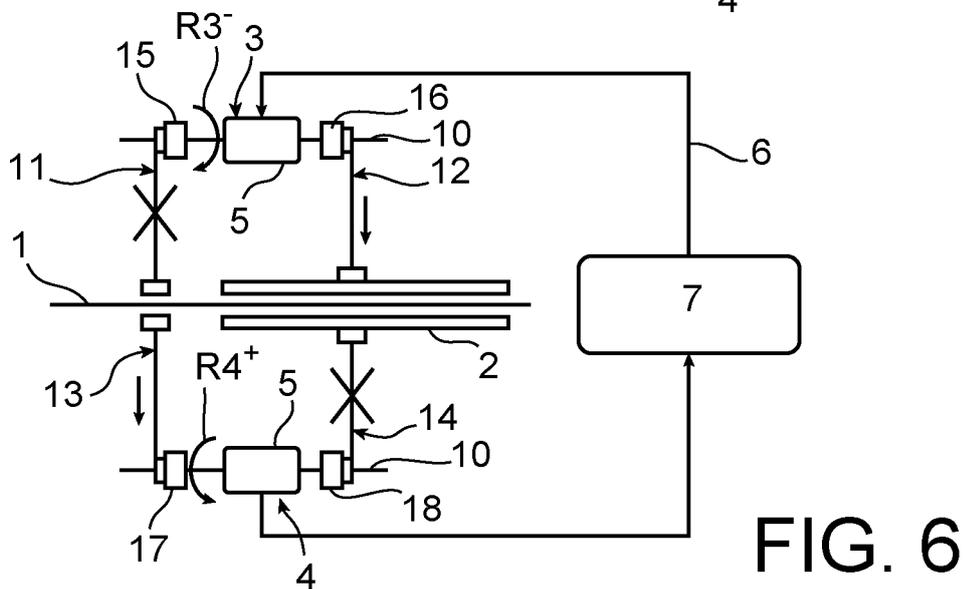
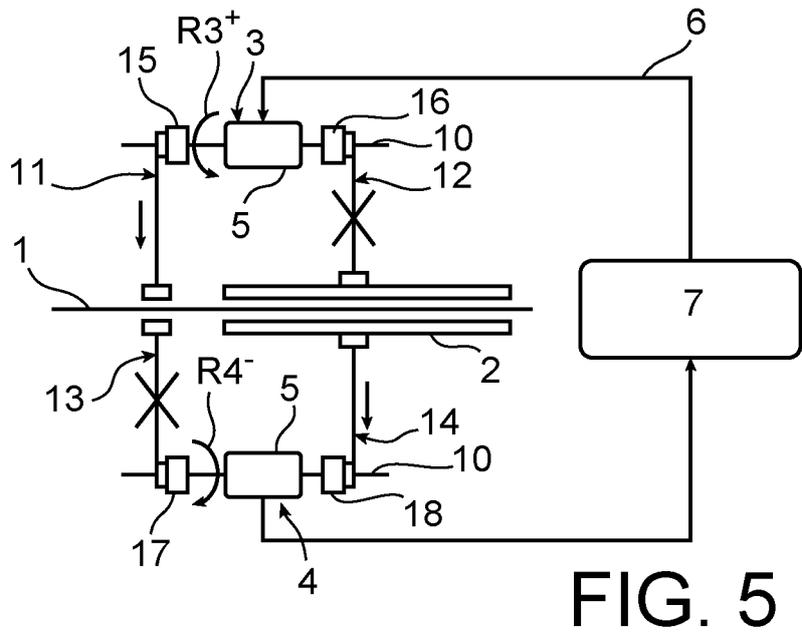
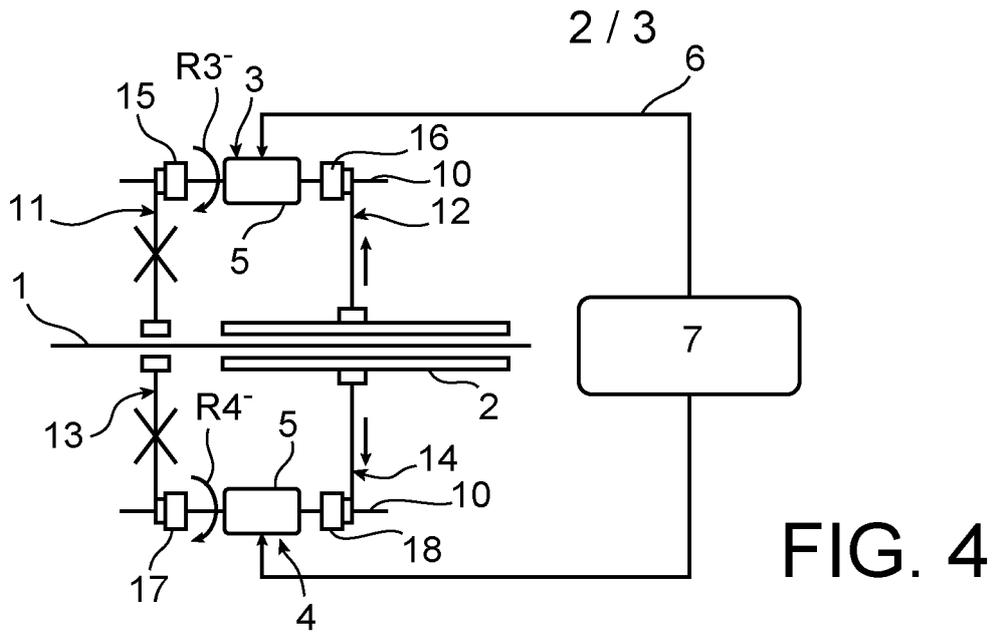
4) Aéronef, comprenant une pluralité de moteurs (21, 22) chacun pourvus de l'architecture selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les machines électriques de tous les moteurs sont reliés à un dispositif (8, 9) de fourniture d'énergie.

5) Aéronef selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comprend un système de commande (7) permettant un entraînement d'un premier des moteurs par un autre des moteurs via les machines électriques, les machines électriques du premier des moteurs fonctionnant en mode moteur et les machines électriques du second des moteurs fonctionnant en mode générateur.

5

6) Aéronef selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de fourniture d'énergie, relié aux machines électriques, et qui comprend un turbogénérateur (9) et/ou un stockeur d'énergie (8).





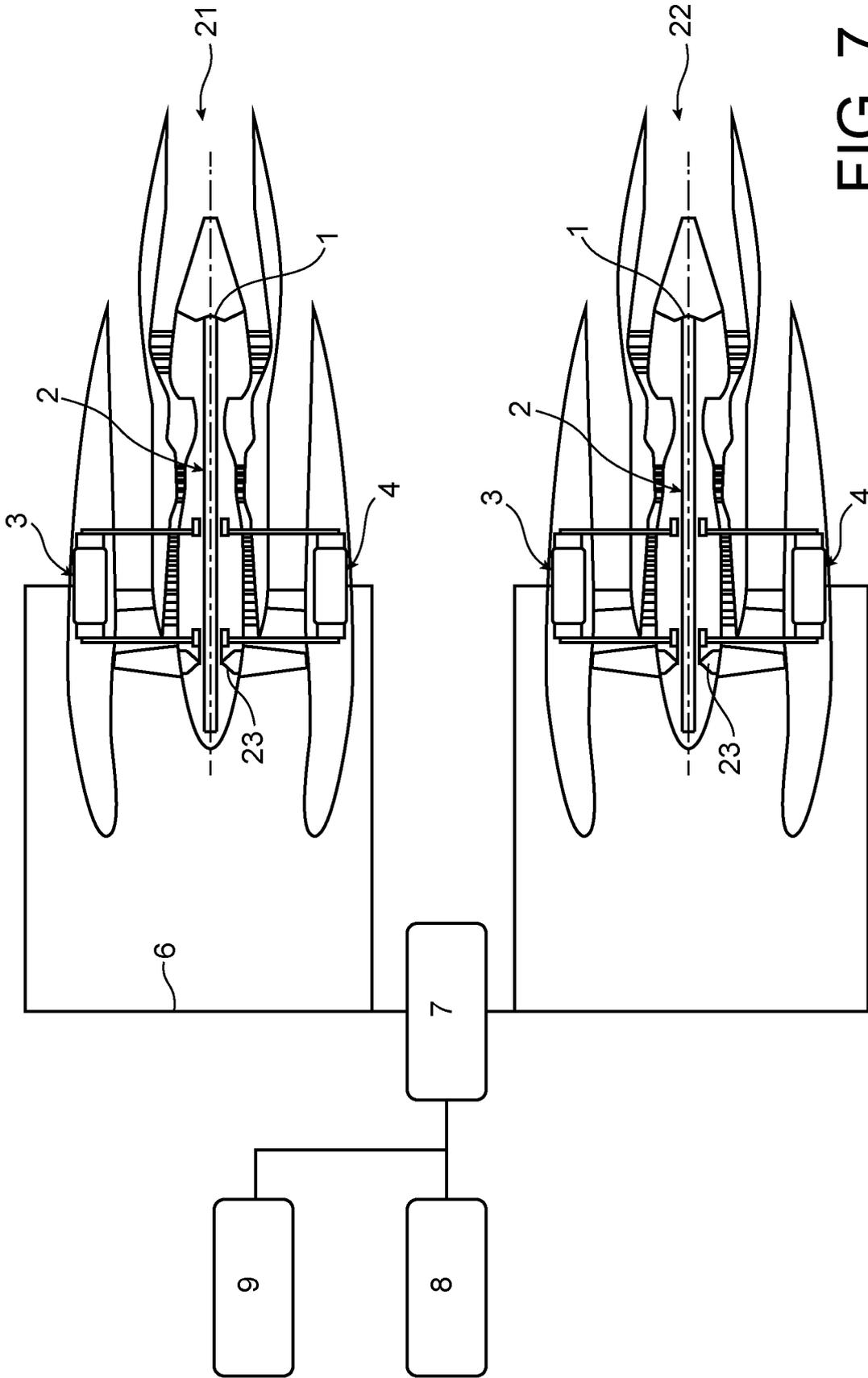


FIG. 7

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

EP 2 192 291 A2 (ROLLS ROYCE PLC [GB]) 2 juin 2010 (2010-06-02)

US 2013/038057 A1 (MCLOUGHLIN ADAM JOHN [GB] ET AL) 14 février 2013 (2013-02-14)

WO 95/02120 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB]; NEWTON ARNOLD CHARLES [GB]; ROWE ARTHUR LAWRENCE) 19 janvier 1995 (1995-01-19)

US 2011/154827 A1 (RESS JR ROBERT A [US] ET AL) 30 juin 2011 (2011-06-30)

EP 1 731 735 A2 (HONEYWELL INT INC [US]) 13 décembre 2006 (2006-12-13)

EP 1 785 614 A2 (PRATT & WHITNEY CANADA [CA]) 16 mai 2007 (2007-05-16)

US 5 867 979 A (NEWTON ARNOLD C [GB] ET AL) 9 février 1999 (1999-02-09)

WO 2016/020618 A1 (SNECMA [FR]) 11 février 2016 (2016-02-11)

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

NEANT

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

NEANT