

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

①① N° de publication : **3 148 780**

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

②① N° d'enregistrement national : **23 04928**

⑤① Int Cl⁸ : **B 64 D 35/08 (2023.01)**, B 64 D 27/02, B 60 K 6/383

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Ensemble propulsif amélioré pour aéronef hybridé multi moteurs.

②② Date de dépôt : 17.05.23.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 22.11.24 Bulletin 24/47.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 18.04.25 Bulletin 25/16.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN HELICOPTER ENGINES
Société par actions simplifiée à associé unique — FR.*

⑦② Inventeur(s) : THIRIET Romain Jean Gilbert,
SERGHINE Camel, FULLERINGER Benjamin Nicolas,
DROUIN Thomas, HUMBERT Sophie Carole Nathalie
et LEMAY David Bernard Martin.

⑦③ Titulaire(s) : SAFRAN HELICOPTER ENGINES
Société par actions simplifiée à associé unique.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

FR 3 148 780 - B1



Description

Titre de l'invention : Ensemble propulsif amélioré pour aéronef hybridé multi moteurs

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine des aéronefs hybridés, comprenant au moins deux moteurs tels que des turbomoteurs ou des turbopropulseurs, pour des engins volants tels des hélicoptères ou avions bimoteurs. En particulier, l'invention concerne un ensemble propulsif pour aéronef hybridé multi moteurs, notamment bimoteur, et un aéronef hybridé comprenant un tel ensemble propulsif.

Technique antérieure

[0002] De manière connue, une turbomachine, par exemple un turbomoteur, notamment pour un hélicoptère, comporte une turbine à gaz ayant un générateur de gaz et une turbine libre entraînée en rotation par le flux de gaz généré par le générateur de gaz. De manière connue en soi, la turbine libre est complètement indépendante du générateur de gaz, comprenant un ou deux compresseurs (haute et basse pression) et une ou deux turbines (haute et basse pression). En particulier, l'arbre de la turbine libre et l'arbre du générateur de gaz (portant le ou les compresseur(s) et la ou les turbine(s)) ne sont pas liés. La turbine libre est donc distincte de la ou des turbine(s) (haute et basse pression) portées par l'arbre du générateur de gaz, qui sont liées quant à elles au compresseur. Ainsi, la particularité d'un turbopropulseur à turbine libre réside dans la séparation des éléments « moteur » (générateur de gaz) et « turbine de puissance » (ou turbine libre).

[0003] Traditionnellement, le générateur de gaz comporte au moins un compresseur et une turbine couplés en rotation. Le principe de fonctionnement est le suivant : l'air frais entrant dans la turbine à gaz est comprimé du fait de la rotation du compresseur avant d'être envoyé vers une chambre de combustion où il est mélangé à un carburant. Les gaz brûlés du fait de la combustion sont ensuite évacués à grande vitesse. Il se produit alors une première détente dans la turbine du générateur de gaz, durant laquelle cette dernière extrait l'énergie nécessaire à l'entraînement du compresseur. La turbine du générateur de gaz n'absorbe pas toute l'énergie cinétique des gaz brûlés et l'excédent d'énergie cinétique correspond au flux de gaz généré par le générateur de gaz. Ce dernier fournit donc de l'énergie cinétique à la turbine libre de sorte qu'il se produit une seconde détente dans la turbine libre qui transforme cette énergie cinétique en énergie mécanique afin d'entraîner un organe récepteur, tel le rotor de l'hélicoptère.

[0004] Certains aéronefs comportent deux turbomachines ou plus, comprenant chacune une turbine à gaz telle que décrite ci-dessus. C'est le cas notamment des hélicoptères bimoteurs ou multi moteurs. De tels aéronefs permettent un fonctionnement en mode

SEO (pour « Single Engine Operative » en anglais). Le mode SEO est un mode de fonctionnement d'une architecture bimoteur dans lequel une des turbines à gaz est volontairement mise en veille, chambre de combustion éteinte ou allumée, l'autre assurant l'intégralité de la fourniture de puissance. Ce mode permet d'optimiser la consommation spécifique, qui diminue avec la puissance fournie par une turbomachine. En effet, la consommation spécifique d'une turbine diminuant avec la puissance fournie, il est en effet préférable de fournir 100% de la puissance avec une turbine, plutôt que 50% par chacune d'entre elle.

[0005] Un des points essentiels du mode SEO réside dans la capacité à réactiver la turbine mise en veille en cas de perte de puissance de la turbine en fonctionnement. Afin d'assurer une réactivation la plus rapide possible, il est possible de maintenir la turbine mise en mode veille (ou « super ralenti »), c'est-à-dire de continuer à faire tourner son générateur de gaz au moyen exclusif d'une machine électrique, sans apport de carburant. Le générateur étant alors maintenu dans sa « fenêtre d'allumage » (typiquement 10-30% de la vitesse de rotation nominale du générateur de gaz) afin de permettre un allumage immédiat de la chambre de combustion, soit en mode « super-ralenti » au moyen d'une combustion à un seuil de vitesse faible et assisté par l'intermédiaire d'un apport de puissance mécanique via une machine électrique, afin de bénéficier d'une chambre de combustion déjà allumée mais avec une température interne maîtrisée.

[0006] Les applications bimoteur impliquent de nombreuses fonctions, telles que le démarrage ou la réactivation en vol du générateur de gaz, la génération d'électricité à bord, ou la fourniture de puissance mécanique au rotor principal. Les solutions existantes, permettant de réaliser certaines de ces fonctions ne sont pas entièrement optimisées. En particulier, elles ne permettent pas de maximiser le nombre de fonctions réalisables tout en limitant l'impact du prélèvement électrique sur le moteur, ni le nombre de pièces que comportent ces architectures, et donc la masse. Il existe donc un besoin pour un ensemble propulsif d'aéronef bimoteur ou multi moteurs présentant une architecture répondant au moins en partie aux inconvénients précités.

Exposé de l'invention

[0007] Le présent exposé concerne un ensemble propulsif pour aéronef hybridé, notamment d'hélicoptère multi-moteurs, comprenant :

- au moins un premier moteur et un deuxième moteur ayant chacun un générateur de gaz et une turbine libre entraînée en rotation par un flux de gaz généré par le générateur de gaz,
- un rotor principal couplé à la turbine libre du premier et du deuxième moteur,
- le premier et le deuxième moteur comprenant chacun une première machine

électrique apte à être couplée au générateur de gaz uniquement, et une deuxième machine électrique apte à être couplée au générateur de gaz par l'intermédiaire d'un premier moyen de couplage lorsqu'elle tourne dans un premier sens de rotation, et à être couplée à un arbre de la turbine libre par l'intermédiaire d'un deuxième moyen de couplage lorsqu'elle tourne dans un deuxième sens de rotation opposé au premier sens de rotation, la première machine électrique étant apte à fonctionner sélectivement dans un mode moteur ou dans un mode générateur, et la deuxième machine électrique étant apte à fonctionner dans le mode moteur lorsqu'elle tourne dans le premier sens de rotation, et à fonctionner sélectivement dans le mode moteur ou le mode générateur lorsqu'elle tourne dans le deuxième sens de rotation.

- [0008] On comprend que selon le présent exposé, chacun du premier et du deuxième moteur est équipé d'une première machine électrique et d'une deuxième machine électrique, de préférence de manière symétrique.
- [0009] On comprend en outre que la première et la deuxième machine électrique sont réversibles, de manière à pouvoir fonctionner sélectivement dans le mode moteur ou dans le mode générateur. Ainsi, la première machine électrique peut fonctionner dans le mode moteur de manière à entraîner le générateur de gaz en apportant un couple moteur à celui-ci, ou dans le mode générateur en étant entraînée par ledit générateur de gaz, le courant ainsi généré pouvant être transféré à la deuxième machine électrique ou vers une batterie pour recharger celle-ci.
- [0010] De même, la deuxième machine électrique peut fonctionner dans le mode moteur de manière à entraîner le générateur de gaz lorsqu'elle tourne dans le premier sens de rotation, ou le rotor principal lorsqu'elle tourne dans le deuxième sens de rotation. La deuxième machine électrique peut en outre fonctionner dans le mode générateur lorsqu'elle tourne dans le deuxième sens de rotation, en étant entraînée par la turbine libre, le courant ainsi généré pouvant être transféré à la première machine électrique du premier et/ou du deuxième moteur, ou vers une batterie pour recharger celle-ci.
- [0011] Par conséquent, pour chacun du premier et du deuxième moteur, la première machine électrique est apte à fonctionner dans deux quadrants de fonctionnement, à savoir dans le mode moteur ou dans le mode générateur en tournant dans un seul sens de rotation, et la deuxième machine électrique est apte à fonctionner dans trois quadrants de fonctionnement, à savoir dans le mode moteur en tournant dans un premier sens de rotation, et dans le mode moteur ou dans le mode générateur en tournant dans le deuxième sens de rotation.
- [0012] Cette utilisation des machines électriques, dans le cadre d'une application multi moteurs, offre un large éventail de fonctionnement et présente l'avantage d'être simple en limitant le nombre de composants et de connexions, tout en assurant un bon niveau de redondance, en effectuant de l'hybridation interne bidirectionnel, chaque machine

électrique pouvant générer et transférer de la puissance électrique à l'autre machine électrique, et en permettant de réaliser un nombre élevé de fonctions, notamment lors d'un fonctionnement en mode SEO ou lors d'une réactivation rapide, la première et la deuxième machine électrique pouvant toutes les deux fonctionner en génératrice, et ainsi d'améliorer la fiabilité du dispositif.

- [0013] Dans certains modes de réalisation, le premier moyen de couplage et la deuxième moyen de couplage sont des moyens de couplage désactivables.
- [0014] Par « moyens de couplage désactivables », on entend que les moyens de couplage peuvent être dans une position activée dans laquelle les organes reliés auxdits moyens de couplage sont couplés, ou dans une position désactivée dans laquelle lesdits organes sont découplés, étant entendu que par "organe" on entend les machines électriques, le rotor principal et le générateur de gaz.
- [0015] Dans certains modes de réalisation, les premier et deuxième moyens de couplage désactivables comprennent une roue libre.
- [0016] La roue libre présente l'avantage de ne pas nécessiter d'être commandée électriquement ou mécaniquement par un opérateur extérieur. Une telle roue libre est généralement constituée d'un moyeu et d'une couronne périphérique montée rotative sur le moyeu. Le moyeu pouvant entraîner en rotation la couronne périphérique mais pas l'inverse. Aussi, le moyeu ne peut entraîner la couronne que lorsque le moyeu tourne dans un sens prédéterminé, que l'on appellera « sens d'engagement ». Dans le cas contraire, le moyeu et la couronne périphérique tournent librement l'un par rapport à l'autre. En l'espèce, les moyens de couplage désactivables sont activés lorsque le moyeu de la roue libre entraîne en rotation la couronne périphérique, et, à l'inverse, les moyens de couplage désactivables sont désactivés lorsque le moyeu de la roue libre n'entraîne pas en rotation la couronne périphérique.
- [0017] Dans certains modes de réalisation, le rotor principal est couplé à la turbine libre du premier moteur et du deuxième moteur par l'intermédiaire d'un premier et d'un deuxième moyen de couplage principal respectivement. Par ailleurs, la turbine libre de chacun du premier et du deuxième moteur peut être en prise directe avec le rotor principal, ou par l'intermédiaire d'un réducteur mécanique.
- [0018] Dans certains modes de réalisation, le premier et le deuxième moyens de couplage du premier moteur sont les seuls moyens de couplage en amont du premier moyen de couplage principal, et le premier et le deuxième moyens de couplage du deuxième moteur sont les seuls moyens de couplage en amont du deuxième moyen de couplage principal.
- [0019] Le terme « en amont » s'entend selon le sens de transfert de la puissance fournie par la première machine électrique vers le rotor principal. En d'autres termes, hormis le premier et le deuxième moyen de couplage principal permettant le couplage du premier

et du deuxième moteur avec le rotor principal, chacun du premier et du deuxième moteur comprend seulement deux moyens de couplage, par exemple deux roues libres. Le fait de minimiser le nombre de moyens de couplage que comprend chaque moteur permet de simplifier l'architecture de l'ensemble, de limiter sa masse et les coûts, et de minimiser les potentielles défaillances pouvant survenir sur ces moyens de couplage, par exemple un blocage non souhaité de ces derniers.

- [0020] Dans certains modes de réalisation, le deuxième moyen de couplage du premier et du deuxième moteur comprend un moyen de blocage mobile entre une position libre dans laquelle la turbine libre ne peut pas entraîner en rotation la deuxième machine électrique, et une position de blocage dans laquelle la turbine libre est apte à entraîner en rotation la deuxième machine électrique.
- [0021] Le moyen de blocage est un moyen permettant de forcer l'accouplement entre la deuxième machine électrique et l'arbre de la turbine libre. Par exemple, lorsque le moyen de couplage comprend une roue-libre et un moyen de blocage, la roue libre est dite « roue libre blocable », de telle sorte qu'en position de blocage, le moyeu de la roue libre peut entraîner en rotation la couronne périphérique de la roue-libre blocable. En d'autres termes, la turbine libre est apte à entraîner en rotation la deuxième machine électrique pouvant alors fonctionner en mode générateur.
- [0022] Dans certains modes de réalisation, lorsque l'un du premier ou du deuxième moteur entraîne seul le rotor principal, le générateur de gaz de l'autre du premier ou du deuxième moteur est maintenu dans un mode veille, par l'intermédiaire de la première ou de la deuxième machine électrique.
- [0023] Lorsque l'aéronef fonctionne en mode SEO, le deuxième moteur, par exemple, assure l'intégralité de la fourniture de puissance, alors que le premier moteur est volontairement arrêtée, ou de préférence mis en mode veille, afin d'optimiser la consommation spécifique. Le mode veille permet de maintenir le générateur de gaz du premier moteur dans une plage de 5 à 40%, préférentiellement de 5 à 30% de sa vitesse de rotation nominale, afin de permettre un rallumage rapide en cas de nécessité, notamment lorsque le deuxième moteur perd de la puissance.
- [0024] Dans certains modes de réalisation, lorsque le générateur de gaz de l'une du premier ou du deuxième moteur est maintenu dans le mode veille par l'intermédiaire de la première machine électrique, la deuxième machine électrique de l'autre du premier ou du deuxième moteur est configurée pour fonctionner dans le mode générateur en tournant dans le deuxième sens de rotation, et pour transmettre le courant électrique généré vers la première machine électrique maintenant ledit premier ou deuxième moteur dans le mode veille.
- [0025] Selon cette configuration, l'arbre de la turbine libre entraîne avantageusement en rotation la deuxième machine électrique, fonctionnant en génératrice électrique, de

telle sorte que l'énergie cinétique destinée à être transformée en énergie électrique est avantageusement prélevée sur l'arbre de la turbine libre (entraînant lui-même le rotor principal), et non sur le générateur de gaz. Cela permet de fournir de l'électricité à la première machine électrique pour l'assister, et ainsi permettre une redondance, tout en limitant l'impact sur le rendement du moteur. Il en résulte que le turbomoteur selon l'invention permet avantageusement de fournir de l'électricité sans trop pénaliser son rendement.

- [0026] Dans certains modes de réalisation, la deuxième machine électrique fonctionnant dans le mode générateur est configurée pour transmettre également le courant électrique généré vers la première machine électrique de celui du premier ou du deuxième moteur entraînant seul le rotor principal.
- [0027] Ainsi, le courant électrique généré par la deuxième machine électrique peut également, en remplacement ou en complément, être transmis vers la première machine électrique du moteur entraînant seul le rotor principal, pour assister cette dernière.
- [0028] Dans certains modes de réalisation, la première machine électrique est couplée au générateur de gaz uniquement, par l'intermédiaire d'une section à casser.
- [0029] Dans certains modes de réalisation, l'ensemble comprend une unité de contrôle configurée pour piloter les première et deuxième machine électriques en sélectionnant le mode moteur pour entraîner le générateur de gaz et/ou le rotor principal, ou le mode générateur pour transférer le courant électrique généré par l'une de la première ou de la deuxième machine électrique vers l'autre de la première ou de la deuxième machine électrique.
- [0030] Dans certains modes de réalisation, l'unité de contrôle est configurée pour, après détection d'une perte de puissance de l'un du premier ou du deuxième moteur entraînant seul le rotor principal, piloter la première et la deuxième machine électrique de l'autre du premier ou du deuxième moteur fonctionnant dans un mode veille, pour qu'elles fonctionnent dans le mode moteur, la deuxième machine électrique tournant dans le premier sens de rotation, de manière à entraîner en rotation le générateur de gaz dudit premier ou du deuxième moteur fonctionnant dans le mode veille.
- [0031] L'unité de contrôle permet ainsi d'assurer une redondance en adaptant le pilotage des différentes machines électriques selon les conditions de vol. Par exemple, lorsqu'une réactivation rapide est nécessaire suite à une perte de puissance d'un des deux moteurs, l'unité de contrôle pilote la première et la deuxième machine électrique de l'autre des deux moteurs pour qu'elles fonctionnent toutes les deux en mode moteur, afin d'accélérer la réactivation du générateur de gaz qui était en mode veille.
- [0032] Le présent exposé concerne également un aéronef hybridé comprenant un ensemble propulsif selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents, l'aéronef hybridé

étant un hélicoptère multi moteurs, notamment bimoteur.

[0033] On comprend par « aéronef hybridé », un aéronef comprenant un moteur thermique permettant d'entraîner en rotation un rotor principal, et au moins une machine électrique permettant d'apporter de la puissance au moteur thermique.

Brève description des dessins

[0034] L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description détaillée faite ci-après de différents modes de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs. Cette description fait référence aux pages de figures annexées, sur lesquelles :

[0035] [Fig.1] La [Fig.1] représente une vue en coupe d'un ensemble propulsif pour aéronef bimoteur selon l'invention,

[0036] [Fig.2] La [Fig.2] représente un schéma fonctionnel de l'ensemble propulsif de la [Fig.1],

[0037] [Fig.3] La [Fig.3] représente le schéma fonctionnel de l'ensemble propulsif de la [Fig.2] selon un premier mode de fonctionnement,

[0038] [Fig.4] La [Fig.4] représente le schéma fonctionnel de l'ensemble propulsif de la [Fig.2] selon un deuxième mode de fonctionnement.

Description des modes de réalisation

[0039] Une architecture d'un ensemble propulsif 100 selon un mode de réalisation de l'invention va être décrite dans la suite de la description, en référence aux figures 1 à 4.

[0040] On notera de manière générale que, par souci de clarté, les figures représentent schématiquement et de manière fonctionnelle et simplifiée une architecture du dispositif, sans représenter tous les détails des éléments constituant les turbomachines et les différents organes de transmission de puissance. En particulier, les pignons permettant l'entraînement des arbres 13, 14 par les machines électriques, et inversement le cas échéant, et les éventuels rapports de vitesse, ne sont pas représentés.

[0041] La [Fig.1] représente de façon schématique un ensemble propulsif 100 d'un aéronef bimoteur, comprenant un premier moteur, dans cet exemple une première turbomachine 1 et un deuxième moteur, dans cet exemple une deuxième turbomachine 2, entraînant en rotation des organes de transmissions 60 d'un hélicoptère portant une hélice ou un rotor principal 62. Les turbomachines peuvent être des turbomoteurs ou des turbopropulseurs. Bien que l'ensemble propulsif décrit dans la suite de la description comprenne deux turbomachines, cet exemple n'est pas limitatif, l'invention s'appliquant également aux ensembles propulsif d'aéronefs multi moteurs comprenant plus de deux moteurs.

[0042] La première turbomachine 1 et la deuxième turbomachine 2 sont de préférence identiques et présentent les mêmes caractéristiques. Aussi, la description ci-dessous

fait référence à la fois à la première et à la deuxième turbomachine 1, 2.

[0043] La première turbomachine 1 et la deuxième turbomachine 2 comprennent respectivement une turbine à gaz 10, 20 ayant un générateur de gaz 12, 22 et une turbine libre 11, 21 apte à être entraînée en rotation par un flux de gaz généré par le générateur de gaz 12, 22. La turbine libre 11, 21 est montée sur un arbre 13, 23 qui transmet le mouvement de rotation à un organe récepteur tel un rotor principal 62 de l'hélicoptère par l'intermédiaire des organes de transmission 60. Selon cet exemple, la turbine à gaz 10, 20 représentée sur la [Fig.1] est du type à prise de mouvement avant avec renvoi par arbre coaxial. On pourrait très bien considérer, sans sortir du cadre de la présente invention, une turbine à gaz à turbine libre du type à prise de mouvement avant avec renvoi par arbre interne ou extérieur, ou bien une turbomachine à turbine libre du type à prise de mouvement arrière. De la même manière, la turbine libre peut être en prise directe avec le rotor principal 62 ou intégrer un réducteur de vitesse sans remettre en cause le principe de l'invention.

[0044] Le générateur de gaz 12, 22 comporte un arbre rotatif 14, 24 sur lequel sont montés un compresseur 15, 25 et une turbine 16, 26, ainsi qu'une chambre de combustion 17, 27 disposée axialement entre le compresseur 15, 25 et la turbine 16, 26 dès lors que l'on considère le générateur de gaz 12, 22 selon la direction axiale de l'arbre rotatif 14, 24. La turbine à gaz 10, 20 présente un carter 18, 28 muni d'une entrée d'air 19, 29 par laquelle l'air frais entre dans le générateur de gaz 12, 22. Après son admission dans l'enceinte du générateur de gaz 12, 22, l'air frais est comprimé par le compresseur 15, 25 qui le refoule vers l'entrée de la chambre de combustion 17, 27 dans laquelle il est mélangé avec du carburant. La combustion qui a lieu dans la chambre de combustion 17, 27 provoque l'évacuation à grande vitesse des gaz brûlés vers la turbine 16, 26, ce qui a pour effet d'entraîner en rotation de l'arbre 14, 24 du générateur de gaz 12, 22 et, par conséquent, le compresseur 15, 25. La vitesse de rotation de l'arbre 14, 24 du générateur de gaz 12, 22 est déterminée par le débit de carburant entrant dans la chambre de combustion 17, 27.

[0045] L'ensemble propulsif 100 étant de type à turbine libre, on comprendra donc que l'arbre de générateur 14, 24 est indépendant de l'arbre de turbine 13, 23. En d'autres termes, la turbine libre 11, 21 et l'arbre de turbine 13, 23 sont totalement indépendants de l'arbre de générateur 14, 24 et du compresseur 15, 25, contrairement à la turbine 16, 26 qui est liée au compresseur 15, 25.

[0046] Malgré l'extraction d'énergie cinétique par la turbine 16, 26, le flux de gaz sortant du générateur de gaz présente une énergie cinétique significative. Comme on le comprend à l'aide de la [Fig.1], le flux de gaz F est dirigé vers la turbine libre 11, 21 ce qui a pour effet de provoquer une détente dans la turbine libre 11, 21 conduisant à la mise en rotation de la roue de turbine et de l'arbre 13, 23.

- [0047] Le rotor principal 62 est couplé, via les organes de transmission 60, à l'arbre 13 de la turbine libre 11 de la première turbine à gaz 10 par l'intermédiaire d'un premier moyen de couplage principal 51. Le rotor principal 62 est également couplé, via les organes de transmission 60, à l'arbre 23 de la turbine libre 21 de la deuxième turbine à gaz 20 par l'intermédiaire d'un deuxième moyen de couplage principal 52.
- [0048] De préférence, le premier et le deuxième moyen de couplage principal 51, 52 comprend une roue libre montée de telle sorte que la rotation de l'arbre 13, 23 peut entraîner en rotation le rotor principal 62, mais qu'au contraire, la rotation du rotor principal 62 ne peut pas entraîner en rotation l'arbre 13, 23 de la turbine libre 11, 21. Autrement dit, la roue libre du premier et du deuxième moyen de couplage principal 51, 52 ne peut transférer un couple de rotation que dans le sens de la turbine libre 11, 21 vers le rotor principal 62, mais pas l'inverse. Sur un hélicoptère, cette roue libre est couramment appelée "roue libre moteur" ou « roue libre de puissance ». On notera que l'utilisation d'une roue libre pour les moyens de couplage principaux 51, 52 n'est pas limitative, la roue libre pouvant être remplacée par tout système de crabot ou d'embrayage.
- [0049] Les turbomachines 1, 2 comportent en outre chacune une première machine électrique 30, 40 comprenant un moteur électrique apte à fonctionner de manière réversible en mode moteur ou en mode génératrice électrique. La première machine électrique 30, 40 est couplée mécaniquement à l'arbre 14, 24 du générateur de gaz 12, 22 uniquement, de préférence par l'intermédiaire d'une section à casser, ou arbre à section frangible 91, 92, permettant de libérer de manière irréversible la machine électrique 30, 40 en cas de blocage de celle-ci. En d'autres termes, la section à casser 91, 92 est configurée pour permettre une déconnexion de la première machine électrique 30, 40 avec l'arbre de générateur 14, 24 en cas de blocage du générateur de gaz 12, 22 par exemple lors d'un arrêt accidentel ou d'une panne de celui-ci.
- [0050] Les turbomachines 1, 2 comportent également chacune une deuxième machine électrique 32, 42 comprenant également un moteur électrique apte à fonctionner de manière réversible en mode moteur ou en mode génératrice électrique. La deuxième machine électrique 32, 42 est couplée mécaniquement à l'arbre 14, 24 du générateur de gaz 12, 22 par l'intermédiaire d'un premier moyen de couplage désactivable 34, 44, comprenant une roue libre (ci-après nommée roue libre 34, 44).
- [0051] La roue libre 34, 44 est montée de telle sorte que la rotation de la deuxième machine électrique 32, 42, fonctionnant en mode moteur, peut entraîner en rotation le générateur de gaz 12, 22, mais qu'au contraire, la rotation du générateur de gaz 12, 22 ne peut pas entraîner la deuxième machine électrique 32, 42. Autrement dit, la roue libre 34, 44 ne peut transférer un couple de rotation que dans le sens de la deuxième machine électrique 32, 42 vers le générateur de gaz 12, 22.

- [0052] La deuxième machine électrique 32, 42 est en outre couplée mécaniquement à l'arbre 13, 23 de la turbine libre 11, 21 par l'intermédiaire d'un deuxième moyen de couplage désactivable 36, 46, comprenant une roue libre (ci-après nommée roue libre 36, 46).
- [0053] La roue libre 36, 46 est montée de telle sorte que la rotation de la deuxième machine électrique 32, 42, fonctionnant alors en mode moteur, peut entraîner la turbine libre 11, 21, mais qu'au contraire, la rotation de la turbine libre 11, 21 ne peut pas entraîner en rotation la deuxième machine électrique 32, 42, sauf lorsque la roue libre 36, 46 est bloquée selon la configuration décrite ci-après. Autrement dit, la roue libre 36, 46 non bloquée ne peut transférer un couple de rotation que dans le sens de la deuxième machine électrique 32, 42 vers la turbine libre 11, 21.
- [0054] Conformément au dispositif du présent exposé, la deuxième machine électrique 32, 42 est apte à tourner dans un premier sens de rotation dans lequel elle est couplée mécaniquement à l'arbre 14, 24 du générateur de gaz 12, et dans un deuxième sens de rotation, opposé au premier sens de rotation, dans lequel elle est couplée mécaniquement à l'arbre 13, 23 de la turbine libre 11, 21, et peut ainsi entraîner le rotor principal 62 par l'intermédiaire de l'arbre 13, 23 de la turbine libre 11, 21.
- [0055] Par convention, on comprendra dans la suite de la description un sens positif, comme un sens de rotation de la deuxième machine électrique 32, 42 dans lequel la roue libre 34, 44 est activée, et un sens négatif, comme un sens de rotation de la deuxième machine électrique 32, 42 dans lequel la roue libre 36, 46 est activée. En particulier, l'élément représenté par « -1 » sur la [Fig.2] et les figures suivantes représente des engrenages, par exemple des pignons, permettant l'inversion du sens de rotation.
- [0056] On comprendra ainsi que lorsque la deuxième machine électrique 32, 42 tourne dans le sens positif, la roue libre 34, 44 peut être activée, et la roue libre 36, 46 est désactivé, et lorsque la deuxième machine électrique 32, 42 tourne dans le sens négatif, la roue libre 34, 44 est désactivée, et la roue libre 36, 46 peut être activée.
- [0057] Selon ce mode de réalisation, la roue libre 36, 46 est du type blocable. En particulier, le deuxième moyen de couplage comprend également un moyen de blocage 38, 48. Le moyen de blocage 38, 48 est mobile entre une position libre dans laquelle la turbine libre 11, 21 ne peut pas entraîner en rotation la deuxième machine électrique 32, 42 compte tenu de l'orientation de la roue libre 36, 46 (configuration représentée sur la [Fig.2]), et une position de blocage permettant de bloquer la roue libre 36, 46 et ainsi de forcer le couplage entre la turbine libre 11, 21 et la deuxième machine électrique 32, 42 (configuration représentée sur la [Fig.3] pour le moyen de blocage 48). En d'autres termes, lorsque le moyen de blocage 38, 48 est en position de blocage, le deuxième moyen de couplage agit comme un arbre de telle sorte que la turbine libre 11, 21 est apte à entraîner en rotation la deuxième machine électrique 32, 42, malgré la présence de la roue libre 36, 46. La deuxième machine électrique 32, 42 peut ainsi fonctionner

en mode génératrice électrique en prélevant de la puissance sur l'arbre 13, 23 de la turbine libre 11, 21. On notera que le changement de position du moyen de blocage 46 peut être réalisé par un composant électrique, pneumatique ou hydraulique et commandé par un utilisateur ou une unité de contrôle.

[0058] A cet égard, l'ensemble selon l'invention comprend également un moyen de stockage de courant, par exemple une batterie 70 ou « pack batterie », et une unité de contrôle 80.

[0059] La batterie 70 est apte à stocker le courant généré par les différentes machines électriques lorsqu'elles fonctionnent en mode génératrice, et à fournir le courant nécessaire à ces machines électriques lorsqu'elles fonctionnent en mode moteur. On notera que, bien que la connexion électrique existant entre la batterie 70 et les machines électriques ne soit pas représentée sur toutes les figures, par soucis de clarté, cette connexion existe bien en permanence.

[0060] L'unité de contrôle 80 est typiquement un calculateur ou une unité de commande électronique communément désignée sous l'acronyme en langue anglaise ECU. Elle est apte à piloter la première machine électrique 30, 40 et la deuxième machine électrique 32, 42 de chacun des moteurs 1, 2 pour les faire opérer sélectivement en mode moteur ou générateur, la batterie 70 pour transmettre du courant électrique de cette dernière vers les machines électriques le cas échéant et éventuellement mesurer son état de charge, et également les moyens de blocage 38, 48, pour faire passer ces derniers de la position libre à la position de blocage, et inversement. L'unité de contrôle 80 et ses connexions avec ces différents organes, représentées sur la [Fig.1] uniquement, existent également sur les autres figures mais sont omises pour en clarifier la description.

[0061] Ainsi, la première machine électrique 30, 40 est apte à fonctionner dans deux quadrants de fonctionnement (mode moteur ou mode générateur en étant pilotée par l'unité de contrôle 80), et la deuxième machine électrique 32, 42 est apte à fonctionner dans trois quadrants de fonctionnement (mode moteur sur le générateur de gaz 12, 22 en tournant dans le sens positif ou mode moteur sur le rotor principal 62 en tournant dans le sens négatif, et mode générateur en tournant dans le sens négatif, le moyen de blocage 38, 48 étant en position de blocage).

[0062] Cette architecture simple de l'ensemble propulsif 100, utilisant pour chaque moteur 1, 2 seulement deux roues libres 34, 44 et 36, 46 en amont du moyen de couplage principal 51, 52, permet de réaliser efficacement différents modes de fonctionnement décrits dans la suite de la description, et permet ainsi d'optimiser le fonctionnement de l'ensemble propulsif 100.

[0063] La [Fig.3] représente un fonctionnement en mode SEO (pour « Single Engine Operative » en anglais) que permet la présence des deux turbomachines 1, 2, dans

lequel seule la deuxième turbomachine 2 (dans cet exemple) est en fonctionnement, assurant l'intégralité de la fourniture de puissance au rotor principal 62, la première turbomachine 1 étant volontairement mise en veille. Lorsque le mode SEO est engagé, le générateur de gaz 12 est mis en veille (ou en super-ralenti assisté), c'est-à-dire qu'il ne fournit plus de puissance motrice au rotor principal 62. En revanche, pour être réactivé le plus vite possible, le générateur de gaz 12 est entraîné dans la fenêtre d'allumage (dans une plage de 5 à 30%, par exemple 10% de sa vitesse de rotation nominale) par la première machine électrique 30 dans cet exemple. On notera à cet égard que dans la [Fig.3] (ainsi que dans la [Fig.4] décrite ci-après), les lignes et flèches en traits épais représentent le sens de transmission de la puissance mécanique fournie ou prélevée par les machines électriques.

- [0064] A l'inverse, la première machine électrique 40 de la deuxième turbomachine 2 entraînant seule le rotor principal 62 fournit de la puissance électrique au générateur de gaz 22 pour qu'il fonctionne à sa vitesse de rotation nominale, de manière à entraîner la turbine libre 21 et son arbre 23, et par conséquent le rotor principal 62 par l'intermédiaire des organes de transmissions 60.
- [0065] Dans le même temps, la deuxième machine électrique 42 de la deuxième turbomachine 2 est utilisée pour prélever de la puissance mécanique sur l'arbre 23 de la turbine libre 21. Pour ce faire, la deuxième machine électrique 42 est pilotée pour fonctionner dans le mode générateur (représenté par un petit éclair sur la [Fig.3]) en tournant dans le sens négatif, le moyen de blocage 48 étant piloté en position de blocage pour bloquer la roue libre 46.
- [0066] L'électricité générée par la deuxième machine électrique 42 est transmise, via des connections électriques représentées en traits interrompus sur la [Fig.3], à la première machine électrique 40 de la deuxième turbomachine 2, fonctionnant dans le mode moteur, la première machine électrique 40 injectant ainsi de la puissance mécanique dans le corps haute pression du générateur de gaz 22. Cette hybridation interne sans batterie permet d'améliorer la durée de vie de la deuxième turbomachine 2.
- [0067] L'électricité générée par la deuxième machine électrique 42 est également transmise électriquement à la première machine électrique 30 de la première turbomachine 1 fonctionnant en mode veille. La première machine électrique 30 fonctionne dans le mode moteur et injecte également de la puissance mécanique dans le corps haute pression du générateur de gaz 12, mais à une puissance moindre (de l'ordre de 10% de la vitesse nominale de la première turbomachine 1) que ne le fait la première machine électrique 40 dans la deuxième turbomachine 2.
- [0068] La [Fig.4] représente un fonctionnement dans le cas d'une réactivation rapide. En effet, à partir du fonctionnement en mode SEO, il peut être nécessaire de réactiver rapidement la première turbomachine 1 dans le cas d'une situation d'urgence lorsque la

deuxième turbomachine 2 qui fonctionnait à pleine puissance pour alimenter seule le rotor principal 62, perd de la puissance, ou quand le besoin de puissance au niveau du rotor principal 62 devient très rapidement supérieur à ce qu'un seul turbomoteur peut fournir.

- [0069] Dans ce cas de figure, la première machine électrique 30 et la deuxième machine électrique 32 de la première turbomachine 1 sont pilotées pour fonctionner dans le mode moteur, et fournir de la puissance mécanique au générateur de gaz 12. La deuxième machine électrique 32 tourne dans le sens positif. Comme l'hybridation interne n'est pas possible dans ce cas de figure, la première machine électrique 30 et la deuxième machine électrique 32 sont alimentées électriquement par la batterie 70.
- [0070] Plus précisément, un tel procédé d'optimisation de la réactivation de l'ensemble propulsif 100 peut comprendre dans un premier temps la détection, par l'unité de contrôle 80, de la perte de puissance de la deuxième turbomachine 2 ou d'une baisse significative du régime de rotation du rotor principal 62. Le corps haute pression du générateur de gaz 12 de la première turbomachine 1 est ensuite maintenu dans la fenêtre de vitesse d'allumage par la première machine électrique 30, qui est alimentée par la batterie 70, jusqu'à la détection de l'allumage de la chambre de combustion 17.
- [0071] Lorsque l'allumage de la chambre de combustion 17 est détecté, la première machine électrique 30 et la deuxième machine électrique 32 de la première turbomachine 1 sont alors pilotées pour fonctionner dans le mode moteur en étant alimentées électriquement par la batterie 70, pour assister le générateur de gaz 12 afin de réactiver rapidement la première turbomachine 1. On notera que les étapes ci-dessus s'appliquent également à une réactivation normale de l'une ou l'autre des turbomachines 1 et 2, hors situation d'urgence.
- [0072] On notera en outre que, la première machine électrique 30, 40 et la deuxième machine électrique 32, 42 sont de préférence des machines électriques de forte puissance, notamment de plusieurs dizaines de kilowatts, permettant de démarrer la turbine beaucoup plus rapidement qu'avec un démarreur d'une puissance de l'ordre de 10kW. Ainsi, chacune de la première et de la deuxième machine électrique peut être en mesure d'assurer la réactivation rapide de la turbomachine 1, 2 qui est en veille. La fonction de réactivation rapide est ainsi redondée et reste possible même en cas de panne de l'une de la première 30, 40 ou de la deuxième 32, 42 machine électrique, assurant ainsi un taux de disponibilité élevé.
- [0073] On notera cependant que cette configuration n'est pas limitative, la première machine électrique pouvant être de puissance supérieure à la deuxième, et inversement, sans sortir du cadre de l'invention. En outre, la première et la deuxième machine électrique peuvent fonctionner de manière séquentielle ou de manière synchrone.
- [0074] Bien que la présente invention ait été décrite en se référant à des exemples de réa-

lisation spécifiques, il est évident que des modifications et des changements peuvent être effectués sur ces exemples sans sortir de la portée générale de l'invention telle que définie par les revendications. En particulier, des caractéristiques individuelles des différents modes de réalisation illustrés/mentionnés peuvent être combinées dans des modes de réalisation additionnels. Par conséquent, la description et les dessins doivent être considérés dans un sens illustratif plutôt que restrictif.

[0075] Il est également évident que toutes les caractéristiques décrites en référence à un procédé sont transposables, seules ou en combinaison, à un dispositif, et inversement, toutes les caractéristiques décrites en référence à un dispositif sont transposables, seules ou en combinaison, à un procédé.

Revendications

- [Revendication 1] Ensemble propulsif (100) pour aéronef hybride, notamment d'hélicoptère multi-moteurs, comprenant :
- au moins un premier moteur (1) et un deuxième moteur (2) ayant chacun un générateur de gaz (12, 22) et une turbine libre (11, 21) entraînée en rotation par un flux de gaz généré par le générateur de gaz,
 - un rotor principal (62) couplé à la turbine libre (11, 21) du premier et du deuxième moteur (1, 2),
 - le premier et le deuxième moteur (1, 2) comprenant chacun une première machine électrique (30, 40) apte à être couplée au générateur de gaz (12, 22) uniquement, et une deuxième machine électrique (32, 42) apte à être couplée au générateur de gaz (12, 22) par l'intermédiaire d'un premier moyen de couplage (34, 44) lorsqu'elle tourne dans un premier sens de rotation, et à être couplée à un arbre (23) de la turbine libre (11, 21) par l'intermédiaire d'un deuxième moyen de couplage (36, 46) lorsqu'elle tourne dans un deuxième sens de rotation opposé au premier sens de rotation, la première machine électrique (30, 40) étant apte à fonctionner sélectivement dans un mode moteur ou dans un mode générateur, et la deuxième machine électrique (32, 42) étant apte à fonctionner dans le mode moteur lorsqu'elle tourne dans le premier sens de rotation, et à fonctionner sélectivement dans le mode moteur ou le mode générateur lorsqu'elle tourne dans le deuxième sens de rotation.
- [Revendication 2] Ensemble propulsif (100) selon la revendication 1, dans lequel le premier moyen de couplage (34, 44) et la deuxième moyen de couplage (36, 46) sont des moyens de couplage désactivables.
- [Revendication 3] Ensemble propulsif (100) selon la revendication 2, dans lequel les premier et deuxième moyens de couplage (34, 44, 36, 46) désactivables comprennent une roue libre.
- [Revendication 4] Ensemble propulsif (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le rotor principal (62) est couplé à la turbine libre (11, 21) du premier moteur (1) et du deuxième moteur (2) par l'intermédiaire d'un premier et d'un deuxième moyen de couplage principal (51, 52) respectivement.
- [Revendication 5] Ensemble propulsif (100) selon la revendication 4, dans lequel le premier et deuxième moyens de couplage (34, 44) du premier moteur (1) sont les seuls moyens de couplage en amont du premier moyen de couplage principal (51), et le premier et le deuxième moyens de

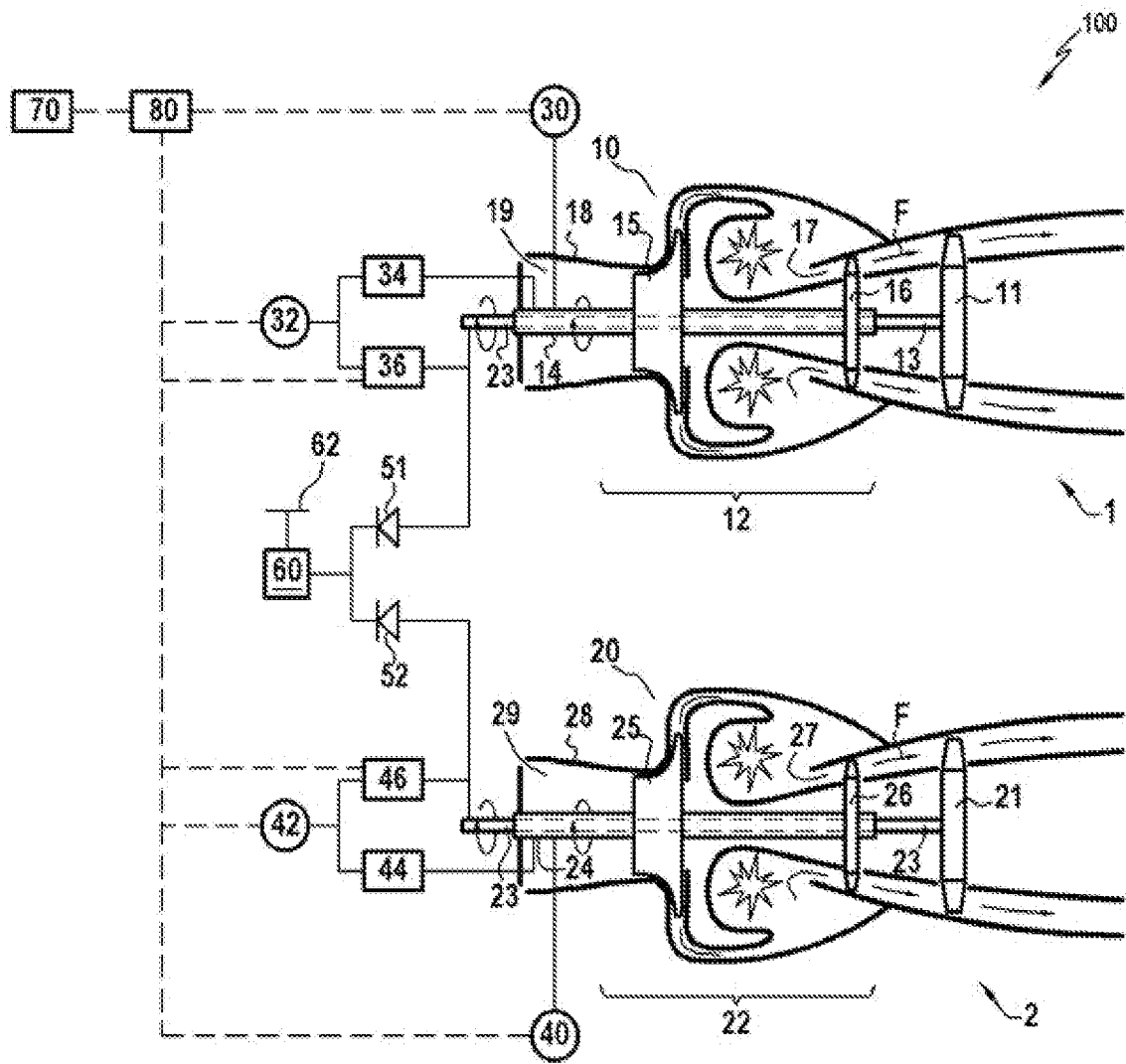
- couplage (36, 46) du deuxième moteur (2) sont les seuls moyens de couplage en amont du deuxième moyen de couplage principal (52).
- [Revendication 6] Ensemble propulsif (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le deuxième moyen de couplage (36, 46) du premier et du deuxième moteur (1, 2) comprend un moyen de blocage (38, 48) mobile entre une position libre dans laquelle la turbine libre (11, 21) ne peut pas entraîner en rotation la deuxième machine électrique (32, 42), et une position de blocage dans laquelle la turbine libre (11, 21) est apte à entraîner en rotation la deuxième machine électrique (32, 42).
- [Revendication 7] Ensemble propulsif (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel, lorsque l'un du premier ou du deuxième moteur (1, 2) entraîne seul le rotor principal (62), le générateur de gaz (12, 22) de l'autre du premier ou du deuxième moteur (1, 2) est maintenu dans un mode veille, par l'intermédiaire de la première machine électrique (30, 40) ou de la deuxième machine électrique (32, 42).
- [Revendication 8] Ensemble propulsif (100) selon la revendication 7, dans lequel, lorsque le générateur de gaz (12, 22) de l'une du premier ou du deuxième moteur (1, 2) est maintenu dans le mode veille par l'intermédiaire de la première machine électrique (30, 40), la deuxième machine électrique (32, 42) de l'autre du premier ou du deuxième moteur (1, 2) est configurée pour fonctionner dans le mode générateur en tournant dans le deuxième sens de rotation, et pour transmettre le courant électrique généré vers la première machine électrique (30, 40) maintenant ledit premier ou deuxième moteur (1, 2) dans le mode veille.
- [Revendication 9] Ensemble propulsif (100) selon la revendication 8, dans lequel la deuxième machine électrique (32, 42) fonctionnant dans le mode générateur est configurée pour transmettre également le courant électrique généré vers la première machine électrique (30, 40) de celui du premier ou du deuxième moteur (1, 2) entraînant seul le rotor principal (62).
- [Revendication 10] Ensemble propulsif (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel la première machine électrique (32, 42) est couplée au générateur de gaz (12, 22) uniquement, par l'intermédiaire d'une section à casser (91, 92).
- [Revendication 11] Ensemble propulsif (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, comprenant une unité de contrôle (80) configurée pour piloter les première et deuxième machines électriques (30, 40, 32, 42) en sélectionnant le mode moteur pour entraîner le générateur de gaz (12, 22) et/ou le rotor principal (62), ou le mode générateur pour transférer le

courant électrique généré par l'une de la première ou de la deuxième machine électrique (30, 40, 32, 42) vers l'autre de la première ou de la deuxième machine électrique (30, 40, 32, 42).

[Revendication 12] Ensemble propulsif (100) selon la revendication 11, dans lequel l'unité de contrôle (80) est configurée pour, après détection d'une perte de puissance de l'un du premier ou du deuxième moteur (1, 2) entraînant seul le rotor principal (62), piloter la première et la deuxième machine électrique (30, 40, 32, 42) de l'autre du premier ou du deuxième moteur (1, 2) fonctionnant dans un mode veille, pour qu'elles fonctionnent dans le mode moteur, la deuxième machine électrique (32, 42) tournant dans le premier sens de rotation, de manière à entraîner en rotation le générateur de gaz (12, 22) dudit premier ou du deuxième moteur (1, 2) fonctionnant dans le mode veille.

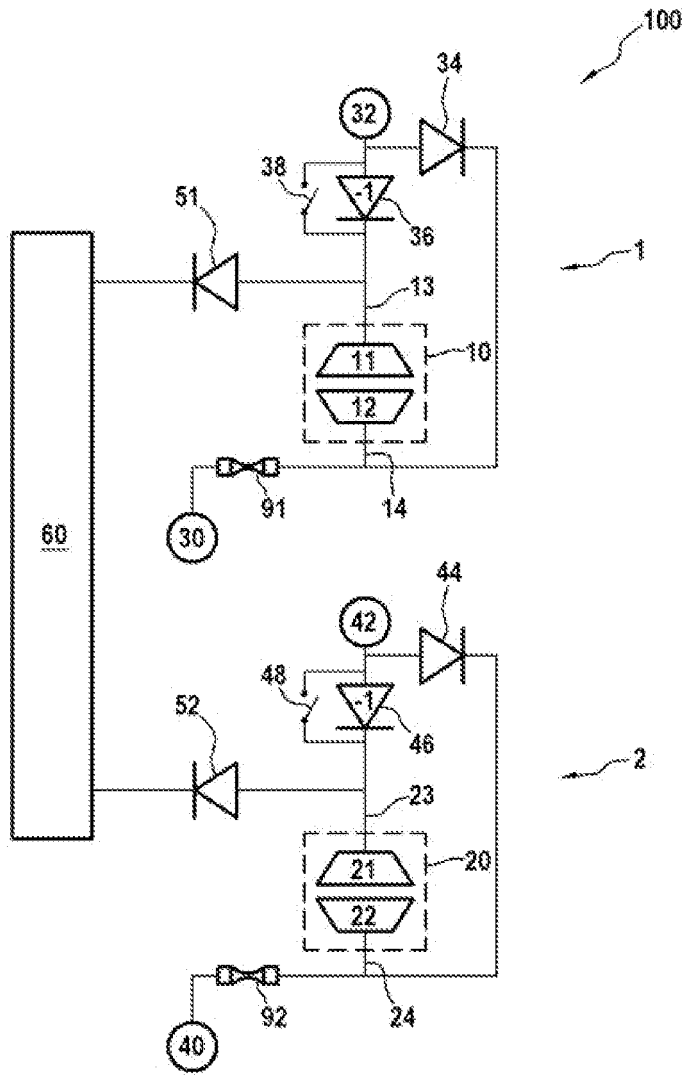
[Revendication 13] Aéronef hybridé comprenant un ensemble propulsif (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'aéronef hybridé étant un hélicoptère multi moteurs, notamment bimoteur.

[Fig. 1]



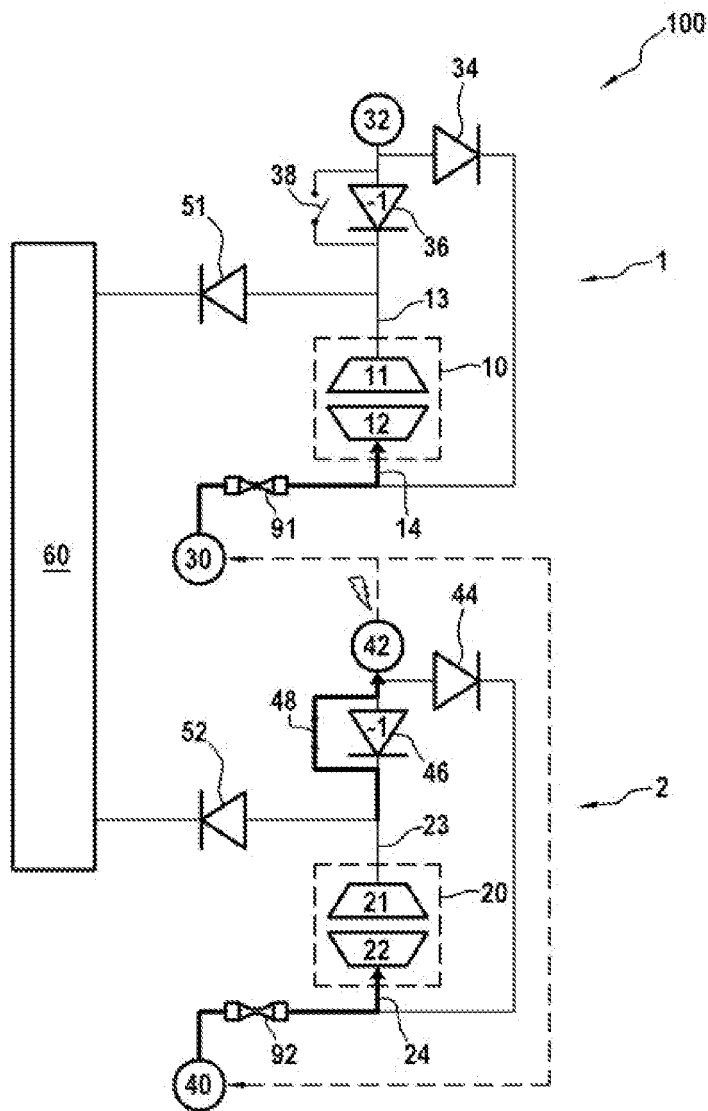
[Fig. 2]

70

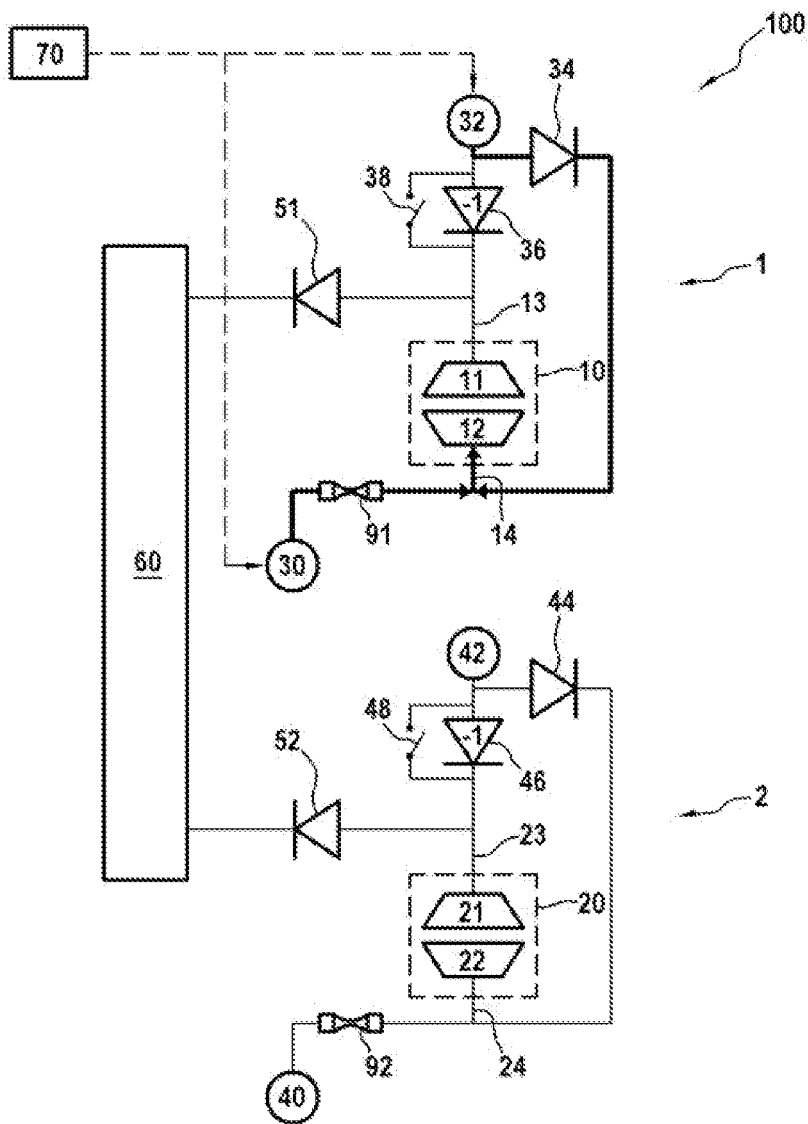


[Fig. 3]

70



[Fig. 4]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

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

WO 2022/234210 A1 (SAFRAN HELICOPTER
ENGINES [FR])
10 novembre 2022 (2022-11-10)

FR 3 115 825 A1 (AIRBUS HELICOPTERS [FR])
6 mai 2022 (2022-05-06)

FR 3 039 614 A1 (AIRBUS HELICOPTERS [FR])
3 février 2017 (2017-02-03)

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

NEANT