

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 03.02.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 09.08.24 Bulletin 24/32.

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 Demandeur(s) : SAFRAN SA — FR et SAFRAN
ELECTRICAL & POWER SAS — FR.

72 Inventeur(s) : ROUGIER, Florent Jean-Arnaud, BEG-
GIORA, Geoffrey, BIDAN, Guillaume François Daniel et
LIENHARDT, Anne Marie.

73 Titulaire(s) : SAFRAN SA, SAFRAN ELECTRICAL &
POWER SAS.

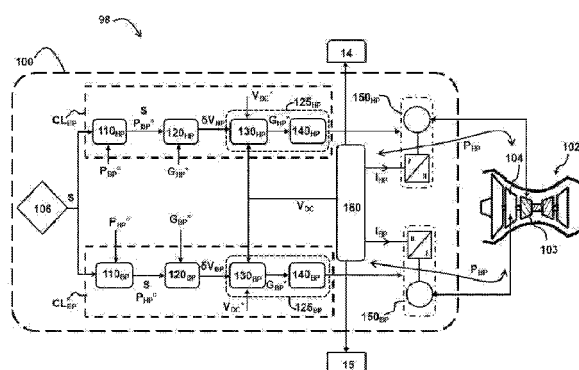
74 Mandataire(s) : GEVERS & ORES.

54 PARTAGE DE PUISSANCE DANS UN AERONEF UTILISANT UNE REGULATION DISTRIBUEE.

57 L'invention concerne une installation (100) d'échange
de puissance dans un aéronef, comportant : - un bus de ten-
sion (160) ; - un convertisseur électromécanique basse
pression (150BP) ; - un convertisseur électromécanique
haute pression (150HP) ; et - pour chaque convertisseur
électromécanique (150BP, 150HP), un module de régula-
tion de tension (125BP, 125HP).

L'installation (100) comporte en outre : - un calculateur
(106) conçu pour fournir une consigne de partage (S) entre
les puissances échangées (PHP, PBP), cette consigne de
partage (S) variant au cours du temps ; et - pour au moins
l'un des convertisseurs électromécaniques (150BP,
150HP) : un module (120BP, 120HP) de respect de la
consigne de partage (S), conçu pour ajuster la puissance
échangée (PHP, PBP) par le convertisseur électroméca-
nique (150BP, 150HP) considéré afin de respecter la
consigne de partage (S) reçue, en tenant compte d'une éva-
luation (PBP°, PHP°) reçue de la puissance échangée
(PBP, PHP) par l'autre des convertisseurs électroméca-
niques (150BP, 150HP).

Figure pour l'abrégé : Fig. 1



Description

Titre de l'invention : PARTAGE DE PUISSANCE DANS UN AERONEF UTILISANT UNE REGULATION DISTRIBUEE

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne une installation d'échange de puissance dans un aéronef, un système propulsif d'un aéronef comportant une telle installation, un aéronef comportant un tel système propulsif, ainsi qu'un procédé correspondant.

Arrière-plan technologique

[0002] Dans un contexte de réduction de l'empreinte écologique des aéronefs, l'hybridation électrique apparaît comme une solution technologique permettant d'améliorer de manière très significative les performances environnementales des aéronefs en réduisant notamment leur consommation de carburant.

[0003] Ainsi, il est connu dans l'art antérieur, des installations d'échange de puissance dans un aéronef, comportant :

- un bus de tension conçu pour présenter une tension de bus ;
- un convertisseur électromécanique dit basse pression (BP) conçu pour échanger de la puissance entre le bus de tension et un corps basse pression d'une turbomachine de l'aéronef ;
- un convertisseur électromécanique dit haute pression (HP) conçu pour échanger de la puissance entre le bus de tension et un corps haute pression de la turbomachine de l'aéronef ; et
- pour chaque convertisseur électromécanique, un module de régulation de tension, conçu pour réguler la tension de bus en commandant le convertisseur électromécanique considéré afin d'ajuster la puissance échangée.

[0004] Le bus de tension fait généralement partie d'un réseau électrique de l'aéronef, ce réseau électrique pouvant en outre comporter des sources et/ou des charges connectées au bus de tension.

[0005] De cette manière, les convertisseurs électromécaniques forment une interface entre les corps HP et BP de la turbomachine et le réseau électrique de l'aéronef.

[0006] Pour assurer le bon fonctionnement notamment des charges, la tension de bus doit rester dans un gabarit prédéfini, ce que permet les modules de régulation de la tension de bus respectivement associés aux convertisseurs électromécaniques.

[0007] Ces modules de régulation peuvent présenter une erreur statique nulle de tension de bus, ce qui présente l'avantage que la tension de bus reste très proche de sa consigne. Néanmoins, ces deux régulations de la tension de bus sont indépendantes l'une de l'autre et peuvent entrer en concurrence, de manière à aboutir à une dérive du partage

de puissance, avec un convertisseur électromécanique échangeant toute la puissance et l'autre aucune.

- [0008] Une des solutions proposées dans l'art antérieur à ce problème, est une installation dite « décentralisée » mettant en œuvre une régulation de statisme (de l'anglais « droop control ») permettant, en définissant des coefficients de statisme appropriés, de définir le partage de puissance entre la puissance échangée par le corps basse pression et la puissance échangée par le corps haute pression. Cependant, les modules de régulation de tension de bus présentent alors une erreur statique non nulle, de sorte que la tension de bus reste éloignée de sa consigne, ce qui peut la conduire à sortir du gabarit lors d'un appel de puissance par une charge du réseau électrique ou bien lors d'un apport de puissance par une source.
- [0009] Par ailleurs, la maîtrise du partage en puissance dépend fortement de la précision de la mesure de tension de bus et nécessite une chaîne d'acquisition très précise (<1% d'erreur).
- [0010] Une alternative est que l'un des deux systèmes électromécaniques doit contrôler la tension de bus et l'autre système doit appliquer une consigne de prélèvement ou d'apport de puissance venant du calculateur central.
- [0011] Néanmoins, cette solution présente l'inconvénient de ne pas être robuste à la perte du système électromécanique contrôlant la tension de bus. En effet, l'autre système peut se reconfigurer mais il y aura une perte du réseau sur un temps long électriquement. Par ailleurs, le calculateur central doit envoyer en permanence une consigne au système n'effectuant pas le contrôle en tension.
- [0012] Une autre solution de l'art antérieur est de proposer une installation dite « centralisée », où un calculateur extérieur effectue la régulation de la tension de bus et applique ou non une consigne de prélèvement ou d'apport de puissance venant du calculateur central et répartit les consignes de puissance ou couple aux deux convertisseurs électromécaniques. Le brevet US 11,355,929, par exemple, décrit une telle installation.
- [0013] Ce système présente l'avantage d'être robuste à la perte d'un des deux convertisseurs électromécaniques. Les deux convertisseurs électromécaniques peuvent alors contrôler la tension et se partager la puissance à prélever.
- [0014] Toutefois, la dépendance entre le calculateur centralisé et les deux convertisseurs électromécaniques requiert l'ajout d'une communication rapide (supérieur à 10kHz).
- [0015] Il peut ainsi être souhaité de prévoir une installation d'échange de puissance qui permette de s'affranchir d'au moins une partie des problèmes et contraintes précités.

Résumé de l'invention

- [0016] Il est donc proposé une installation d'échange de puissance dans un aéronef, comportant :

- un bus de tension conçu pour présenter une tension de bus ;
- un convertisseur électromécanique dit basse pression conçu pour échanger de la puissance entre le bus de tension et un corps basse pression d'une turbomachine de l'aéronef ;
- un convertisseur électromécanique dit haute pression conçu pour échanger de la puissance entre le bus de tension et un corps haute pression de la turbomachine de l'aéronef ; et
- pour chaque convertisseur électromécanique, un module de régulation de tension, conçu pour réguler la tension de bus en commandant le convertisseur électromécanique considéré afin d'ajuster la puissance échangée par le convertisseur électromécanique considéré ;

caractérisée en ce qu'elle comporte en outre :

- un calculateur conçu pour fournir une consigne de partage entre les puissances échangées, cette consigne de partage variant au cours du temps ; et
- pour au moins l'un des convertisseurs électromécaniques :
 - un module de communication conçu pour recevoir la consigne de partage fournie par le calculateur et une évaluation de la puissance échangée par l'autre des convertisseurs électromécaniques, et
 - un module de respect de la consigne de partage, conçu pour ajuster la puissance échangée par le convertisseur électromécanique considéré afin de respecter la consigne de partage reçue, en tenant compte de l'évaluation reçue de la puissance échangée par l'autre des convertisseurs électromécaniques.

[0017] Ainsi, grâce à l'invention, il est possible de mettre en œuvre une régulation en tension décentralisée c'est-à-dire indépendante d'un convertisseur électromécanique à l'autre, et une régulation en puissance distribuée, c'est-à-dire avec un partage des puissances échangées par les convertisseurs électromécaniques. Ce partage peut être défini et modifié au cours du temps avec la consigne de partage. Le respect de cette consigne de partage permet ainsi d'éviter une dérive du partage de puissance.

[0018] L'invention est en particulier compatible avec des régulations de tension à erreur statique nulle de chaque côté, assurant une robustesse en cas de perte ou de défaillance de la régulation d'un côté.

[0019] Une installation d'échange de puissance selon l'invention peut en outre comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes, selon toute combinaison techniquement possible.

[0020] De façon optionnelle, le module de respect de la consigne de partage est conçu pour ajuster la puissance échangée par le convertisseur électromécanique considéré en modifiant une consigne de tension afin que le module de régulation de tension du

convertisseur électromécanique considéré régule la tension de bus à la tension de bus modifiée.

- [0021] De façon optionnelle également, le module de respect de la consigne de partage est conçu pour appliquer, dans le module de régulation de tension, une correction de tension à la consigne de tension.
- [0022] De façon optionnelle également, chaque module de régulation de tension comporte :
 - un module de détermination de consigne conçu pour déterminer une consigne d'échange pour le convertisseur électromécanique considéré ; et
 - un module de commande conçu pour commander le convertisseur électromécanique considéré, afin que le convertisseur électromécanique considéré respecte la consigne d'échange.
- [0023] De façon optionnelle également, la consigne d'échange est une consigne de puissance à échanger entre le convertisseur électromécanique considéré et le bus de tension.
- [0024] De façon optionnelle également, la consigne d'échange est une consigne de courant à échanger entre le convertisseur électromécanique considéré et le bus de tension ou bien, les convertisseurs électromécanique comportant chacun une machine électrique couplée au corps associé, la consigne d'échange est une consigne de couple de la machine électrique.
- [0025] De façon optionnelle également, le module de respect de la consigne de partage est conçu pour :
 - déterminer une consigne souhaitée d'échange afin de respecter la consigne de partage reçue en tenant compte de l'évaluation reçue de la puissance échangée par l'autre des convertisseurs électromécaniques ; et
 - réguler la consigne d'échange du convertisseur électromécanique considéré à la consigne souhaitée d'échange.
- [0026] De façon optionnelle également, le module de respect de la consigne de partage comporte :
 - un comparateur conçu pour calculer une différence entre la consigne souhaitée d'échange et la consigne d'échange ; et
 - un correcteur conçu pour calculer la correction de tension à partir de la différence.
- [0027] De façon optionnelle également, le correcteur est à erreur statique nulle.
- [0028] De façon optionnelle également, le module de communication est en outre conçu pour recevoir une indication de mode de partage parmi plusieurs modes de partage prédéfinis, et le module de respect de la consigne de partage est en outre conçu pour déterminer la consigne souhaitée d'échange à partir de l'indication de mode de partage reçue.

[0029] De façon optionnelle également, les modes de partage prédéfinis comportent au moins un parmi :

- un mode de partage proportionnel, dans lequel la consigne de partage de puissance reçue est un ratio entre les puissance échangées et dans lequel le module de respect de la consigne de partage est conçu pour déterminer la consigne souhaitée d'échange en multipliant ou bien divisant l'évaluation reçue par la consigne de partage ; et
- un mode de partage différentiel, dans lequel la consigne de partage de puissance reçue est une différence entre les puissances échangées, et dans lequel le module de respect de la consigne de partage est conçu pour déterminer la consigne souhaitée d'échange en ajoutant l'évaluation reçue à la consigne de partage ou bien en soustrayant l'évaluation reçue de la consigne de partage.

[0030] De façon optionnelle également, l'installation comporte en outre un module de sélection conçu pour fournir, sur commande, une consigne d'échange, dite directe, au module de commande du convertisseur électromécanique considéré, à la place de la consigne d'échange, afin que la puissance échangée par le convertisseur électromécanique considéré soit régulée à la consigne directe d'échange.

[0031] De façon optionnelle également, les consignes d'échange sont des consignes de puissance à échanger.

[0032] De façon optionnelle également, l'évaluation de la puissance échangée par l'autre des convertisseurs électromécaniques est la consigne de puissance à échanger de l'autre des convertisseurs électromécaniques.

[0033] De façon optionnelle également, l'évaluation de la puissance échangée par l'autre des convertisseurs électromécaniques est une mesure de la puissance échangée par l'autre des convertisseurs électromécaniques.

[0034] Il est également proposé un système propulsif d'un aéronef comportant une turbomachine et une installation selon l'invention.

[0035] Il est également proposé un aéronef comportant un système propulsif selon l'invention.

[0036] Il est également proposé un procédé d'échange de puissance dans un aéronef, caractérisé en ce qu'il comporte :

- pour chacun d'un convertisseur électromécanique dit basse pression et d'un convertisseur électromécanique dit haute pression, le convertisseur électromécanique basse pression étant conçu pour échanger de la puissance entre un bus de tension conçu pour présenter une tension de bus et un corps basse pression d'une turbomachine de l'aéronef, le convertisseur électromécanique haute pression étant conçu pour échanger de la puissance entre le bus de

- tension et un corps haute pression de la turbomachine de l'aéronef, une régulation de la tension de bus en commandant le convertisseur électromécanique considéré afin d'ajuster la puissance échangée ;
- une fourniture par un calculateur d'une consigne de partage entre les puissances échangées, cette consigne de partage variant au cours du temps ; et
- pour au moins l'un des convertisseurs électromécaniques :
 - une réception de la consigne de partage fournie par le calculateur et d'une évaluation de la puissance échangée par l'autre des convertisseurs électromécaniques, et
 - un ajustement de la puissance échangée par le convertisseur électromécanique considéré afin de respecter la consigne de partage reçue, en tenant compte de l'évaluation reçue de la puissance échangée par l'autre des convertisseurs électromécaniques.

[0037] Il est également proposé un programme d'ordinateur téléchargeable depuis un réseau de communication et/ou enregistré sur un support lisible par ordinateur, caractérisé en ce qu'il comprend des instructions pour l'exécution des étapes d'un procédé selon l'invention, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur

Brève description des figures

- [0038] L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :
- la [Fig.1] est une vue simplifiée d'une installation selon l'invention d'échange de puissance dans un aéronef,
 - la [Fig.2] est une vue similaire à celle de la [Fig.1], dans un cas particulier de réalisation,
 - la [Fig.3] est une vue fonctionnelle d'un module de respect de partage de puissance de l'installation de la [Fig.2], pour un convertisseur électromécanique dit haute pression couplé à un corps haute pression d'une turbomachine,
 - la [Fig.4] est une vue fonctionnelle d'un module de respect de partage de puissance de l'installation de la [Fig.2], pour un convertisseur électromécanique dit basse pression couplé à un corps basse pression de la turbomachine,
 - la [Fig.5] est une vue fonctionnelle d'un module de régulation de tension de bus de l'installation de la [Fig.2], pour le convertisseur électromécanique haute pression,
 - la [Fig.6] est une vue fonctionnelle d'un module de régulation de tension de bus de l'installation de la [Fig.2], pour le convertisseur électromécanique

- basse pression,
- la [Fig.7] est une vue fonctionnelle d'un module de commande du convertisseur électromécanique haute pression, présent dans l'installation de la [Fig.2],
 - la [Fig.8] est une vue fonctionnelle d'un module de commande du convertisseur électromécanique basse pression, présent dans l'installation de la [Fig.2],
 - la [Fig.9] est une vue similaire à celle de la [Fig.1], avec des modules de sélection pour application directe de consignes,
 - la [Fig.10] est une vue similaire à celle de la [Fig.9], dans le cas particulier de la [Fig.2],
 - la [Fig.11] est une vue fonctionnelle d'un module de respect de partage de puissance de l'installation de la [Fig.1], pour le convertisseur électromécanique haute pression, et
 - la [Fig.12] est une vue fonctionnelle d'un module de respect de partage de puissance de l'installation de la [Fig.1], pour le convertisseur électromécanique haute pression .

Description détaillée de l'invention

- [0039] En référence à la [Fig.1], un exemple d'un système propulsif 98 d'un aéronef, dans lequel l'invention est mise en œuvre, va à présent être décrit.
- [0040] Le système propulsif 98 comprend tout d'abord une turbomachine 102 comprenant un corps basse pression 104 et un corps haute pression 103. La turbomachine 102 est par exemple une turbomachine propulsive de l'aéronef.
- [0041] Le système propulsif 98 comporte en outre une installation 100 d'échange de puissance.
- [0042] L'installation 100 comprend un bus de tension 160, ainsi que par exemple au moins une charge électrique 14, 15 connectée au bus de tension 160. Chaque charge 14, 15 correspond par exemple, et de manière non limitative, à un ou plusieurs équipements de l'aéronef.
- [0043] L'installation 100 comporte en outre un convertisseur électromécanique 150_{BP}, qualifié de basse pression, conçu pour échanger de la puissance P_{BP} entre le bus de tension 160 et le corps basse pression 104. Ainsi, le convertisseur électromécanique basse pression 150_{BP} est par exemple conçu, dans un premier sens de transfert de puissance, pour prélever de la puissance mécanique du corps basse pression 104, afin de fournir de la puissance électrique au bus de tension 160. Le convertisseur électromécanique basse pression 150_{BP} est en outre par exemple conçu, dans un deuxième sens de transfert de puissance, pour prélever de la puissance électrique au bus de

tension 160 afin de fournir de la puissance mécanique au corps basse pression 104. Pour échanger la puissance P_{BP} , un courant I_{BP} est ainsi échangé entre le bus de tension 160 et le convertisseur électromécanique basse pression 150_{BP}.

[0044] De manière similaire, pour le corps haute pression 103, l'installation 100 comporte en outre un convertisseur électromécanique 150_{HP}, qualifié de haute pression, conçu pour échanger de la puissance P_{HP} entre le bus de tension 160 et le corps haute pression 103. Ainsi, le convertisseur électromécanique haute pression 150_{HP} est par exemple conçu, dans un premier sens de transfert de puissance, pour prélever de la puissance mécanique du corps haute pression 103, afin de fournir de la puissance électrique au bus de tension 160. Le convertisseur électromécanique haute pression 150_{HP} est en outre par exemple conçu, dans un deuxième sens de transfert de puissance, pour prélever de la puissance électrique au bus de tension 160 afin de fournir de la puissance mécanique au corps haute pression 103. Pour échanger la puissance P_{HP} , un courant I_{HP} est ainsi échangé entre le bus de tension 160 et le convertisseur électromécanique haute pression 150_{HP}.

[0045] Par exemple, chaque convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} comporte une machine électrique couplée au corps basse pression 104 ou bien haute pression 103, respectivement, ainsi qu'un convertisseur alternatif-continu conçu pour transférer de la puissance électrique entre le bus de tension 160 et la machine électrique. Ainsi, la machine électrique peut recevoir un couple mécanique pour générer un courant alternatif qui est redressé par le convertisseur alternatif-continu pour fournir la tension de bus continue V_{DC} . Le convertisseur alternatif-continu peut en outre convertir la tension continue V_{DC} pour alimenter en courant alternatif la machine électrique afin que cette dernière fournisse un couple mécanique pour injecter de la puissance dans la turbomachine 102.

[0046] L'installation 100 comprend en outre, pour chaque convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP}, un module de régulation de tension 125_{BP}, 125_{HP} conçu pour réguler la tension de bus V_{DC} à une consigne de tension V_{DC}^* en commandant le convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} considéré afin d'ajuster sa puissance échangée P_{HP} , P_{BP} .

[0047] Chaque module de régulation de tension 125_{BP}, 125_{HP} comporte en particulier un module de détermination de consigne 130_{HP}, 130_{BP} conçu pour déterminer une consigne d'échange, notée G_{BP}^* , G_{HP}^* , d'une grandeur physique du convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} considéré, afin de réguler la tension de bus V_{DC} , cette grandeur physique étant liée à la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} . En effet, l'injection de puissance électrique dans le bus de tension 160 tend à augmenter la tension de bus V_{DC} , tandis que le prélèvement de puissance électrique du bus de tension 160 tend à diminuer la tension de bus V_{DC} . Ainsi, en jouant sur la consigne d'échange G_{BP}^* , G_{HP}^* , il est possible de modifier la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} pour faire en sorte que le

convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} considéré injecte ou bien prélève plus ou moins de puissance électrique et donc modifie la tension de bus V_{DC} .

- [0048] La consigne d'échange G_{BP}^* , G_{HP}^* est, par exemple, une consigne de puissance à échanger P_{BP}^* , P_{HP}^* par le convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} considéré. C'est ce cas qui sera développé par la suite.
- [0049] Alternativement, la consigne d'échange G_{BP}^* , G_{HP}^* peut être une consigne du courant I_{BP} , I_{HP} entre le convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} considéré et le bus de tension 160. En effet, lorsque la consigne V_{DC}^* est constante, la tension de bus V_{DC} qui est régulée à cette consigne reste elle-aussi sensiblement constante, de sorte que le courant I_{BP} , I_{HP} représente directement la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} .
- [0050] Encore alternativement, la consigne d'échange G_{BP}^* , G_{HP}^* peut être une consigne du couple de la machine électrique.
- [0051] Chacun des modules de régulation de tension 125_{BP}, 125_{HP} comprend en outre un module de commande 140_{BP}, 140_{HP} conçu pour commander le convertisseur électromécanique basse pression 150_{BP}, respectivement haute pression 150_{HP}, afin de réguler la grandeur physique à sa consigne d'échange G_{BP}^* , G_{HP}^* .
- [0052] L'installation 100 comporte en outre, pour au moins l'un des convertisseurs électromécaniques 150_{BP}, 150_{HP}, un module de communication 110_{BP}, 110_{HP} et un module 120_{BP}, 120_{HP} de respect de consigne de partage. Dans l'exemple illustré, ces deux modules 110_{BP}, 110_{HP} et 120_{BP}, 120_{HP} sont prévus pour chacun des deux convertisseurs électromécaniques 150_{BP}, 150_{HP}.
- [0053] Le module de communication 110_{BP}, 110_{HP} est conçu pour recevoir une consigne de partage S entre les puissances échangées P_{HP} , P_{BP} , ainsi qu'une évaluation P_{BP}° , P_{HP}° de la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} par l'autre convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP}.
- [0054] Cette évaluation P_{BP}° , P_{HP}° de la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} par l'autre convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} peut être, par exemple, la consigne de puissance à échanger P_{BP}^* , P_{HP}^* de l'autre des convertisseurs électromécaniques 150_{BP}, 150_{HP}.
- [0055] Alternativement, cette évaluation P_{BP}° , P_{HP}° peut être, par exemple, une mesure de la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} par l'autre des convertisseurs électromécaniques 150_{BP}, 150_{HP}.
- [0056] À partir des données reçues par le module de communication 110_{BP}, 110_{HP}, le module 120_{BP}, 120_{HP} est conçu pour ajuster la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} par le convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} considéré afin de respecter la consigne de partage S reçue, en tenant compte de l'évaluation reçue P_{BP}° , P_{HP}° de la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} par l'autre des convertisseurs électromécaniques 150_{BP}, 150_{HP}. Par exemple, le module 120_{BP}, 120_{HP} est conçu pour réguler la consigne d'échange G_{BP}^* , G_{HP}^* du convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} considéré, afin de respecter la consigne de partage S . Pour cela, le module 120_{BP}, 120_{HP} est par exemple conçu pour appliquer,

dans le module de régulation de tension 130_{BP} , 130_{HP} , une correction de tension δV_{BP} , δV_{HP} à la consigne de tension V_{DC}^* . Ainsi, la consigne d'échange G_{BP}^* , G_{HP}^* est déterminée par le module de régulation de tension 130_{BP} , 130_{HP} sur la base de la consigne de tension V_{DC}^* corrigée par la correction de tension δV_{BP} , δV_{HP} . Ainsi, cette correction de tension δV_{BP} , δV_{HP} permet de modifier la consigne d'échange G_{BP}^* , G_{HP}^* , et donc la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} .

- [0057] Ainsi, les régulations de la tension de bus V_{DC} mises en œuvre par la commande des convertisseurs électromécaniques 150_{BP} , 150_{HP} peuvent être réalisées indépendamment l'une de l'autre, tout en s'assurant que le partage de puissance suit la consigne S .
- [0058] Toujours en référence à la [Fig.1], l'installation 100 peut comporter des calculateurs locaux CL_{BP} , CL_{HP} indépendants, respectivement associés au convertisseur électromécanique basse pression 150_{BP} et au convertisseur électromécanique haute pression 150_{HP} .
- [0059] Chaque calculateur local CL_{BP} , CL_{HP} implémente ainsi au moins le module de régulation de tension 130_{BP} , 130_{HP} et le module de commande 140_{BP} , 140_{HP} du convertisseur électromécanique 150_{BP} , 150_{HP} associé. Chaque calculateur local CL_{BP} , CL_{HP} peut en outre implémenter le module de communication 110_{BP} , 110_{HP} et le module 120_{BP} , 120_{HP} du convertisseur électromécanique 150_{BP} , 150_{HP} associé.
- [0060] L'installation 100 comporte en outre par exemple un calculateur central 106 conçu pour fournir la consigne de partage S à chaque module de communication 110_{BP} , 110_{HP} .
- [0061] Le calculateur central 106 est par exemple conçu pour déterminer la consigne de partage S en fonction d'un point de fonctionnement (mesurée et/ou estimée, par exemple à partir d'autres mesures) de la turbomachine 102. Par exemple, et de manière non limitative, le point de fonctionnement peut comprendre un ou plusieurs parmi : le débit d'entrée de carburant et/ou le débit d'entrée d'air, une vitesse de rotation du corps BP 104, une vitesse de rotation du corps HP 103, une température d'entrée d'air et/ou d'entrée de carburant et/ou de gaz d'échappement sortant de la chambre de combustion.
- [0062] Alternativement, les modules 110_{BP} , 120_{BP} , 110_{HP} , 120_{HP} peuvent être mis en œuvre dans le calculateur central 106 et non dans les calculateurs locaux CL_{HP} , CL_{BP} .
- [0063] La description qui suit va développer un exemple d'implémentation dans le cas particulier où les consignes d'échanges G_{BP}^* , G_{HP}^* sont des consignes de puissance à échanger P_{BP}^* , P_{HP}^* et où les évaluations P_{BP}° , P_{HP}° des puissances échangées P_{BP} , P_{HP} sont également les consignes de puissance à échanger P_{BP}^* , P_{HP}^* .
- [0064] Ainsi, la [Fig.2] reprend l'illustration du système propulsif 98 de la [Fig.1] dans ce cas particulier.
- [0065] En référence à la [Fig.3], le module 120_{HP} comprend un bloc 200_{HP} de calcul d'une consigne souhaitée de puissance à échanger P_{HP}^{**} , à partir de la consigne de partage S

et de la consigne de puissance à échanger P_{BP}^* (prise comme évaluation P_{BP}° de la puissance échangée P_{BP}), afin de respecter la consigne de partage S .

- [0066] Par exemple, dans un mode de partage dit proportionnel, la consigne de partage S peut être sous la forme d'un ratio, par exemple exprimé en pourcentage, entre les puissances échangées P_{BP} , P_{HP} . Dans ce cas, le bloc 200_{HP} est conçu pour déterminer la consigne souhaitée de puissance à échanger P_{HP}^{**} en multipliant ou divisant la consigne de puissance à échanger P_{BP}^* par la consigne de partage S : $P_{HP}^{**} = P_{BP}^* \times S$ (lorsque $S = P_{HP} / P_{BP}$) ou bien $P_{HP}^{**} = P_{BP}^* / S$ (lorsque $S = P_{BP} / P_{HP}$).
- [0067] Alternativement, le ratio peut être entre l'une des puissances échangées P_{BP} , P_{HP} et la sommes des puissances échangées P_{BP} , P_{HP} . Le ratio S est ainsi dans l'intervalle $[0,1]$. Dans ce cas, la consigne souhaitée de puissance à échanger P_{HP}^{**} peut être calculée par le bloc 200_{HP} en multipliant la somme des consignes d'échange P_{BP}^* et P_{HP}^* (prises comme évaluations P_{BP}° , P_{HP}° des puissances échangées P_{BP} , P_{HP}) par la consigne de partage S : $P_{HP}^{**} = S \times (P_{BP}^* + P_{HP}^*)$.
- [0068] Dans un mode de partage dit différentiel, la consigne de partage S peut être sous la forme d'une différence entre les puissances échangées P_{BP} , P_{HP} . Dans ce cas, le bloc 200_{HP} est conçu pour déterminer la consigne souhaitée de puissance à échanger P_{HP}^{**} en ajoutant ou bien soustrayant la consigne de partage S à la consigne de puissance à échangée P_{BP}^* (prise comme évaluation P_{BP}° de la puissance échangée P_{BP}) : $P_{HP}^{**} = P_{BP}^* + S$ (lorsque $S = P_{HP} - P_{BP}$) ou bien $P_{HP}^{**} = P_{BP}^* - S$ (lorsque $S = P_{BP} - P_{HP}$).
- [0069] Il peut être intéressant que le mode de partage change dans le temps. Ainsi, pour connaître ce mode de partage et donc la signification de la consigne de partage S reçue, chaque module de communication 110_{BP}, 110_{HP} peut en outre être conçu pour recevoir une indication du mode de partage identifiant le mode de partage parmi plusieurs modes de partage prédéfinis qui incluent par exemple au moins un parmi le mode proportionnel et le mode différentiel présentés ci-dessus.
- [0070] Ainsi, le bloc 200_{HP} est conçu pour prendre en compte l'indication du mode de partage dans la détermination de la consigne souhaitée de puissance à échanger P_{HP}^{**} . Par exemple, le module 120_{BP}, 120_{HP} est conçu pour sélectionner la formule associée au mode de partage indiqué, cette formule donnant la consigne souhaitée de puissance à échanger P_{HP}^{**} à partir de la consigne de partage S et de la consigne de puissance à échanger P_{BP}^* de l'autre côté (prise comme évaluation de la puissance échangée P_{BP} de l'autre côté). Par exemple, le mode de partage proportionnel est associé à la formule $P_{HP}^{**} = P_{BP}^* \times S$ (lorsque $S = P_{HP} / P_{BP}$) ou bien $P_{HP}^{**} = P_{BP}^* / S$ (lorsque $S = P_{BP} / P_{HP}$) ou bien $P_{HP}^{**} = S \times (P_{BP}^* + P_{HP}^*)$ (lorsque $S = P_{HP} / (P_{BP} + P_{HP})$), et le mode différentiel est associé à la formule $P_{HP}^{**} = P_{BP}^* + S$ (lorsque $S = P_{HP} - P_{BP}$) ou bien $P_{HP}^{**} = P_{BP}^* - S$ (lorsque $S = P_{BP} - P_{HP}$).
- [0071] Le module 120_{HP} comprend en outre un comparateur 201_{HP} conçu pour calculer une

différence entre la consigne souhaitée de puissance à échanger P_{HP}^{**} et la consigne de puissance à échanger P_{HP}^* , et un correcteur 202_{HP} conçu pour calculer la correction de tension δV_{HP} à partir de la différence. De préférence, le correcteur 202_{HP} est à erreur statique nulle. Par exemple, le correcteur 202_{HP} est de type PI (proportionnel-intégral) ou PID (proportionnel-intégral-dérivée).

- [0072] De manière similaire, en référence à la [Fig.4], le module 120_{BP} comprend un bloc 200_{BP} de calcul de la consigne souhaitée de puissance à échanger P_{BP}^{**} à partir de la consigne de partage S et de la consigne de puissance à échanger P_{HP}^* (prise comme évaluation P_{HP}° de la puissance échangée P_{HP} de l'autre côté, un comparateur 201_{BP} conçu pour calculer une différence entre la consigne souhaitée de puissance à échanger P_{BP}^{**} et la consigne de puissance à échanger P_{BP}^* , et un correcteur 202_{BP} conçu pour calculer la correction de tension δV_{BP} à partir de la différence.
- [0073] En référence à la [Fig.5], le module de détermination de consigne 130_{HP} comporte un comparateur 300_{HP}, conçu pour calculer une différence $\Delta V_{DC, HP}$ entre la consigne de tension V_{DC}^* corrigée de la correction de tension δV_{HP} , et la tension de bus V_{DC} : $\Delta V_{DC, HP} = V_{DC}^* - \delta V_{HP} - V_{DC}$.
- [0074] Le comparateur 300_{HP} peut en outre être configuré pour calculer une différence $\Delta V^2_{DC, HP}$ entre le carré de la consigne de tension V_{DC}^* corrigée de la correction de tension δV_{HP} , et le carré de la tension de bus V_{DC} : $\Delta V^2_{DC, HP} = (V_{DC}^* - \delta V_{HP})^2 - V_{DC}^2$.
- [0075] Le module de détermination de consigne 130_{HP} comporte en outre un correcteur 301_{HP} conçu pour déterminer la consigne de puissance à échanger P_{HP}^* à partir de la différence $\Delta V_{DC, HP}$ ou $\Delta V^2_{DC, HP}$. De préférence, le correcteur 301_{HP} est à erreur statique nulle. Par exemple, le correcteur 301_{HP} est de type PI (proportionnel-intégral) ou PID (proportionnel-intégral-dérivée).
- [0076] De manière similaire, en référence à la [Fig.6], le module de détermination de consigne 130_{BP} comporte un comparateur 300_{BP} et un correcteur 301_{BP}.
- [0077] La présence de correcteurs à erreur statique nulle dans les calculateurs locaux CL_{BP}, CL_{HP}, pourrait entraîner une divergence du partage de puissance, l'un des convertisseurs électromécaniques BP ou HP prenant toute la puissance. Afin de maîtriser le partage de puissance entre les convertisseurs électromécaniques BP et HP, le calculateur central 106 envoie des consignes de partage aux calculateurs locaux CL_{BP}, CL_{HP} des convertisseurs électromécaniques 150_{BP}, 150_{HP}. Chaque convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} connaissant sa puissance et celle de l'autre peut alors réaliser un équilibrage des puissances.
- [0078] Afin de stabiliser les échanges de puissances de l'installation 100, chaque module de communication 110_{BP}, 110_{HP} est en outre conçu pour implémenter des communication lentes, par exemple et de manière non limitative à des fréquences inférieures à 1kHz et de préférence de l'ordre d'1kHz, de manière à ce que la boucle d'équilibrage, formée

par les calculateurs locaux CL_{BP} , CL_{HP} communiquant entre eux, ait une bande passante plus lente que la boucle de régulation de tension, formée par chaque calculateur local CL_{BP} , CL_{HP} et le convertisseur électromécanique correspondant.

- [0079] Le module de communication 110_{BP} , 110_{HP} est en outre conçu pour implémenter des communications lentes, par exemple et de manière non limitative à des fréquences inférieures à 1kHz et de préférence de l'ordre d'1kHz, entre le calculateur central 106 et les calculateurs locaux CL_{BP} , CL_{HP} .
- [0080] L'installation 100 est ainsi conçue pour pouvoir fonctionner avec une seule loi d'équilibrage active sur les deux (équilibrage de la puissance et de la tension) ce qui permet d'assurer une redondance en cas de perte de communication entre le calculateur central 106 et les calculateurs locaux CL_{BP} , CL_{HP} et/ou une perte de communication entre les calculateurs locaux CL_{BP} , CL_{HP} .
- [0081] En référence à la [Fig.7], le module de commande 140_{HP} comporte par exemple un bloc 400_{HP} conçu pour déterminer une consigne d'au moins un courant du convertisseur électromécanique 150_{HP} , ce ou ces courants définissant la puissance échangée P_{HP} . Par exemple, il s'agit de courants de phase $I_{A,HP}$, $I_{B,HP}$, $I_{C,HP}$ par exemple pour trois phases A, B, et C de la machine électrique, exprimé dans un repère tournant muni d'un axe direct et d'un axe en quadrature par des courants direct et de quadrature. Ainsi, le bloc 400_{HP} est par exemple conçu pour déterminer une consigne de courant direct $I_{D,HP}^*$ et une consigne de courant de quadrature $I_{Q,HP}^*$. Cette détermination est par exemple réalisée à partir d'une position angulaire θ_{HP} et d'une vitesse de rotation ω_{HP} d'un rotor de la machine électrique et de la tension de bus V_{DC} .
- [0082] La position angulaire θ_{HP} et la vitesse de rotation ω_{HP} du rotor de la machine électrique permettent en particulier d'exprimer les grandeurs électriques, comme les courants de phase $I_{A,HP}$, $I_{B,HP}$, $I_{C,HP}$, dans le repère tournant. Quant à la tension de bus V_{DC} , elle permet de réaliser la modulation des courants de phases $I_{A,HP}$, $I_{B,HP}$, $I_{C,HP}$ ou bien la détermination de la consigne de courant direct $I_{D,HP}^*$ via une méthode de défluxage.
- [0083] Le module de commande 140_{HP} comporte en outre par exemple un bloc de régulation de courant 401_{HP} conçu pour fournir des commandes au convertisseur électromécanique haute pression 150_{HP} à partir de la ou des consignes de courant $I_{D,HP}^*$, $I_{Q,HP}^*$ et d'une mesure de ce ou ces courants, par exemple des courants de phase $I_{A,HP}$, $I_{B,HP}$, $I_{C,HP}$. Les commandes sont par exemple des commandes à modulation de largeur d'impulsions PWM_{HP} .
- [0084] De manière similaire, en référence à la [Fig.8], le module de commande 140_{BP} comporte par exemple un bloc 400_{BP} conçu pour déterminer une consigne d'au moins un courant du convertisseur électromécanique basse pression 150_{BP} , ce ou ces courants définissant la puissance échangée P_{BP} . Par exemple, il s'agit de courants de phase $I_{A,BP}$, $I_{B,BP}$, $I_{C,BP}$ pour trois phases A, B, et C de la machine électrique, exprimé par des

courants direct et de quadrature. Ainsi, le bloc 400_{BP} est conçu pour déterminer une consigne de courant direct $I_{D,BP}^*$ et une consigne de contrant de quadrature $I_{Q,BP}^*$. Cette détermination est par exemple réalisée à partir d'une position angulaire θ_{BP} et d'une vitesse derotation ω_{BP} d'un rotor de la machine électrique et de la tension de bus V_{DC} .

[0085] Le module de commande 140_{BP} comporte en outre par exemple un bloc de régulation de courant 401_{BP} conçu pour fournir des commandes au convertisseur électromécanique basse pression 150_{BP} à partir de la ou des consignes de courant $I_{D,BP}^*$, $I_{Q,BP}^*$ et d'une mesure de ce ou ces courants, par exemple des courants de phase $I_{A,BP}$, $I_{B,BP}$, $I_{C,BP}$. Les commandes sont par exemple des commandes à modulation de largeur d'impulsions PWM_{BP}.

[0086] En référence à la [Fig.9], l'installation 100 peut en outre comporter, de manière optionnelle, pour le côté basse pression et/ou le côté haute pression, un module de sélection 170_{BP}, 170_{HP} conçu pour directement recevoir une consigne d'échange G'_{BP} , G'_{HP} , dite directe, par exemple en provenance du calculateur central 106, et pour la fournir de manière sélective au module de commande 140_{BP}, 140_{HP}, à la place de la consigne d'échange G_{BP}^* , G_{HP}^* fournie par le module 120_{BP}, 120_{HP}. Ainsi, la puissance échangée par le convertisseur électromécanique 150_{BP}, 150_{HP} considéré est directement régulée par la consigne directe d'échange G'_{BP} , G'_{HP} .

[0087] Dans l'exemple illustré sur la [Fig.9], seul le module de sélection 170_{HP} est activé.

[0088] Du côté où le module de sélection 170_{HP}, 170_{BP} est activé, la régulation de la tension de bus ne s'effectue donc plus. Dans cette situation, la régulation de tension de la tension de bus V_{DC} est alors réalisée de l'autre côté.

[0089] La [Fig.10] reprend la [Fig.9] dans le cas particulier où les consignes d'échanges G_{BP}^* , G_{HP}^* sont des consignes de puissance à échanger P_{BP}^* , P_{HP}^* et où les évaluations P_{BP}° , P_{HP}° des puissances échangées P_{BP} , P_{HP} sont également les consignes de puissance à échanger P_{BP}^* , P_{HP}^* .

[0090] Dans ce cas, les modules 170_{BP}, 170_{HP} reçoivent des consignes de puissance à échanger P'_{BP} ou bien P'_{HP} .

[0091] La fourniture directe de la consigne de puissance à échanger P'_{BP} ou bien P'_{HP} , sans passer par le calcul d'une correction de tension, permet de définir les échanges de puissance dans des phases de fonctionnement où la définition de la consigne de partage de puissance S n'est pas adaptée, par exemple lorsque l'on souhaite que l'échange de puissance d'un côté soit fixe et l'échange de l'autre côté quelconque. En outre, la fourniture directe de la consigne de puissance à échanger P'_{BP} ou bien P'_{HP} permet d'appliquer plus rapidement cette consigne, ce qui est utile par exemple en cas d'assistance.

[0092] La [Fig.11] et la [Fig.12] illustrent une implémentation possible des modules 120_{HP}, 120_{BP} dans le cas général illustré sur la [Fig.1]. Ainsi, dans cet exemple, les modules

200_{BP}, 200_{HP} sont conçus pour calculer la consigne souhaitée de puissance à échanger P_{BP}^{**} , P_{HP}^{**} à partir de la consigne de partage S , de l'évaluation P_{BP}° , P_{HP}° de la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} de l'autre côté, et si besoin de l'évaluation P_{BP}° , P_{HP}° de la puissance échangée P_{BP} , P_{HP} du côté considéré. Les modules 120_{HP}, 120_{BP} comportent alors en outre un module 1100_{BP}, 1100_{HP} conçu pour calculer une consigne souhaitée d'échange G_{BP}^{**} , G_{HP}^{**} à partir la consigne souhaitée de puissance à échanger P_{BP}^{**} , P_{HP}^{**} . Les comparateurs 201_{BP}, 201_{HP} sont alors conçus pour calculer une différence entre la consigne souhaitée d'échange G_{BP}^{**} , G_{HP}^{**} et la consigne d'échange G_{BP}^{*} , G_{HP}^{*} , et les correcteurs 202_{BP}, 202_{HP} (toujours de préférence à erreur statique nulle) sont conçus pour calculer la correction de tension δV_{BP} , δV_{HP} à partir de la différence.

[0093] En conclusion, on notera que l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits précédemment. Il apparaîtra en effet à l'homme de l'art que diverses modifications peuvent être apportées aux modes de réalisation décrits ci-dessus, à la lumière de l'enseignement qui vient de lui être divulgué.

[0094] Dans la présentation détaillée de l'invention qui est faite précédemment, les termes utilisés ne doivent pas être interprétés comme limitant l'invention aux modes de réalisation exposés dans la présente description, mais doivent être interprétés pour y inclure tous les équivalents dont la prévision est à la portée de l'homme de l'art en appliquant ses connaissances générales à la mise en œuvre de l'enseignement qui vient de lui être divulgué.

Revendications

[Revendication 1] Installation (100) d'échange de puissance dans un aéronef, comportant :

- un bus de tension (160) conçu pour présenter une tension de bus (V_{DC}) ;
- un convertisseur électromécanique (150_{BP}) dit basse pression (BP) conçu pour échanger de la puissance (P_{BP}) entre le bus de tension (160) et un corps basse pression (104) d'une turbomachine (102) de l'aéronef ;
- un convertisseur électromécanique (150_{HP}) dit haute pression (HP) conçu pour échanger de la puissance (P_{HP}) entre le bus de tension (160) et un corps haute pression (103) de la turbomachine (102) de l'aéronef ; et
- pour chaque convertisseur électromécanique (150_{BP} , 150_{HP}), un module de régulation de tension (125_{BP} , 125_{HP}), conçu pour réguler la tension de bus (V_{DC}) en commandant le convertisseur électromécanique (150_{BP} , 150_{HP}) considéré afin d'ajuster la puissance échangée (P_{HP} , P_{BP}) par le convertisseur électromécanique (150_{BP} , 150_{HP}) considéré ;

caractérisée en ce qu'elle comporte en outre :

- un calculateur (106) conçu pour fournir une consigne de partage (S) entre les puissances échangées (P_{HP} , P_{BP}), cette consigne de partage (S) variant au cours du temps ; et
- pour au moins l'un des convertisseurs électromécaniques (150_{BP} , 150_{HP}) :
 - un module de communication (110_{BP} , 110_{HP}) conçu pour recevoir la consigne de partage (S) fournie par le calculateur (106) et une évaluation (P_{BP}^o , P_{HP}^o) de la puissance échangée (P_{BP} , P_{HP}) par l'autre des convertisseurs électromécaniques (150_{BP} , 150_{HP}), et
 - un module (120_{BP} , 120_{HP}) de respect de la consigne de partage (S), conçu pour ajuster la puissance échangée (P_{HP} , P_{BP}) par le convertisseur électromécanique (150_{BP} , 150_{HP}) considéré afin de respecter la consigne de partage (S) reçue, en tenant compte de l'évaluation (P_{BP}^o , P_{HP}^o) reçue de la puissance échangée (P_{BP} , P_{HP})

par l'autre des convertisseurs électromécaniques (150_{BP}, 150_{HP}).

- [Revendication 2] Installation (100) d'échange de puissance selon la revendication 1, dans laquelle le module (120_{BP}, 120_{HP}) de respect de la consigne de partage (S) est conçu pour ajuster la puissance échangée (P_{BP} , P_{HP}) par le convertisseur électromécanique (150_{BP}, 150_{HP}) considéré en modifiant une consigne de tension (V_{DC}^*) afin que le module de régulation de tension (125_{BP}, 125_{HP}) du convertisseur électromécanique (150_{BP}, 150_{HP}) considéré régule la tension de bus (V_{DC}) à la tension de bus modifiée.
- [Revendication 3] Installation (100) d'échange de puissance selon la revendication 2, dans laquelle le module (120_{BP}, 120_{HP}) de respect de la consigne de partage (S) est conçu pour appliquer, dans le module de régulation de tension (125_{BP}, 125_{HP}), une correction de tension (δV_{BP} , δV_{HP}) à la consigne de tension (V_{DC}^*).
- [Revendication 4] Installation (100) d'échange de puissance selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle chaque module de régulation de tension (125_{HP}, 125_{BP}) comporte :
- un module de détermination de consigne (130_{HP}, 130_{BP}) conçu pour déterminer une consigne d'échange (G_{BP}^* , G_{HP}^*) pour le convertisseur électromécanique (150_{BP}, 150_{HP}) considéré ; et
 - un module de commande (140_{BP}, 140_{HP}) conçu pour commander le convertisseur électromécanique (150_{BP}, 150_{HP}) considéré, afin que le convertisseur électromécanique (150_{BP}, 150_{HP}) considéré respecte la consigne d'échange (G_{BP}^* , G_{HP}^*).
- [Revendication 5] Installation (100) d'échange de puissance selon la revendication 4, dans laquelle la consigne d'échange (G_{BP}^* , G_{HP}^*) est une consigne de puissance à échanger (P_{BP}^* , P_{HP}^*) entre le convertisseur électromécanique (150_{BP}, 150_{HP}) considéré et le bus de tension (160).
- [Revendication 6] Installation (100) d'échange de puissance selon la revendication 4, dans laquelle la consigne d'échange (G_{BP}^* , G_{HP}^*) est une consigne de courant à échanger entre le convertisseur électromécanique (150_{BP}, 150_{HP}) considéré et le bus de tension (160) ou bien, les convertisseurs électromécanique (150_{BP}, 150_{HP}) comportant chacun une machine électrique couplée au corps (103, 104) associé, la consigne d'échange (G_{BP}^* , G_{HP}^*)

est une consigne de couple de la machine électrique.

[Revendication 7]

Installation (100) d'échange de puissance selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans laquelle le module (120_{BP}, 120_{HP}) de respect de la consigne de partage (S) est conçu pour :

- déterminer une consigne souhaitée d'échange (G_{BP}^{**} , G_{HP}^{**}) afin de respecter la consigne de partage (S) reçue en tenant compte de l'évaluation (P_{BP}° , P_{HP}°) reçue de la puissance échangée (P_{BP} , P_{HP}) par l'autre des convertisseurs électromécaniques (150_{BP}, 150_{HP}) ; et
- réguler la consigne d'échange (G_{BP}^{*} , G_{HP}^{*}) du convertisseur électromécanique (150_{BP}, 150_{HP}) considéré à la consigne souhaitée d'échange (G_{BP}^{**} , G_{HP}^{**}).

[Revendication 8]

Installation (100) d'échange de puissance selon les revendications 3 et 7, dans laquelle le module (120_{BP}, 120_{HP}) de respect de la consigne de partage (S) comporte :

- un comparateur (201_{BP}, 201_{HP}) conçu pour calculer une différence entre la consigne souhaitée d'échange (G_{BP}^{**} , G_{HP}^{**}) et la consigne d'échange (G_{BP}^{*} , G_{HP}^{*}) ; et
- un correcteur (202_{BP}, 202_{HP}) conçu pour calculer la correction de tension (δV_{BP} , δV_{HP}) à partir de la différence.

[Revendication 9]

Installation (100) d'échange de puissance selon la revendication 8, dans laquelle le correcteur (202_{BP}, 202_{HP}) est à erreur statique nulle.

[Revendication 10]

Installation (100) d'échange de puissance selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, dans laquelle le module de communication (110_{BP}, 110_{HP}) est en outre conçu pour recevoir une indication de mode de partage parmi plusieurs modes de partage prédéfinis, et dans laquelle le module (120_{BP}, 120_{HP}) de respect de la consigne de partage (S) est en outre conçu pour déterminer la consigne souhaitée d'échange (G_{BP}^{**} , G_{HP}^{**}) à partir de l'indication de mode de partage reçue.

[Revendication 11]

Installation (100) d'échange de puissance selon la revendication 10, dans laquelle les modes de partage prédéfinis comportent au moins un parmi :

- un mode de partage proportionnel, dans lequel la consigne de partage de puissance (S) reçue est un ratio entre les puissance

échangées (P_{BP} , P_{HP}) et dans lequel le module (120_{BP} , 120_{HP}) de respect de la consigne de partage (S) est conçu pour déterminer la consigne souhaitée d'échange (G_{BP}^{**} , G_{HP}^{**}) en multipliant ou bien divisant l'évaluation (P_{BP}° , P_{HP}°) reçue par la consigne de partage (S) ; et

- un mode de partage différentiel, dans lequel la consigne de partage de puissance (S) reçue est une différence entre les puissances échangées (P_{BP} , P_{HP}), et dans lequel le module (120_{BP} , 120_{HP}) de respect de la consigne de partage (S) est conçu pour déterminer la consigne souhaitée d'échange (G_{BP}^{**} , G_{HP}^{**}) en ajoutant l'évaluation (P_{BP}° , P_{HP}°) reçue à la consigne de partage (S) ou bien en soustrayant l'évaluation (P_{BP}° , P_{HP}°) reçue de la consigne de partage (S).

- [Revendication 12] Installation (100) d'échange de puissance selon l'une quelconque des revendications 4 à 11, comportant en outre un module de sélection (170_{BP} , 170_{HP}) conçu pour fournir, sur commande, une consigne d'échange (G'_{BP} , G'_{HP}), dite directe, au module de commande (140_{BP} , 140_{HP}) du convertisseur électromécanique (150_{BP} , 150_{HP}) considéré, à la place de la consigne d'échange (G_{BP}^{*} , G_{HP}^{*}), afin que la puissance échangée (P_{BP} , P_{HP}) par le convertisseur électromécanique (150_{BP} , 150_{HP}) considéré soit réglée à la consigne directe d'échange (G'_{BP} , G'_{HP}).
- [Revendication 13] Installation (100) d'échange de puissance selon l'une quelconque des revendications 4 à 12, dans laquelle les consignes d'échange (G_{BP}^{*} , G_{HP}^{*}) sont des consignes de puissance à échanger (P_{BP}^{*} , P_{HP}^{*}).
- [Revendication 14] Installation (100) d'échange de puissance selon la revendication 13, dans laquelle l'évaluation (P_{BP}° , P_{HP}°) de la puissance échangée (P_{BP} , P_{HP}) par l'autre des convertisseurs électromécaniques (150_{BP} , 150_{HP}) est la consigne de puissance à échanger (P_{BP}^{*} , P_{HP}^{*}) de l'autre des convertisseurs électromécaniques (150_{BP} , 150_{HP}).
- [Revendication 15] Installation (100) d'échange de puissance selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans laquelle l'évaluation (P_{BP}° , P_{HP}°) de la puissance échangée (P_{BP} , P_{HP}) par l'autre des convertisseurs électromécaniques (150_{BP} , 150_{HP}) est une mesure de la puissance échangée (P_{HP} , P_{BP}) par l'autre des convertisseurs électromécaniques (150_{BP} , 150_{HP}).
- [Revendication 16] Système propulsif (98) d'un aéronef comportant une turbomachine (102) et une installation (100) selon l'une quelconque des reven-

dications 1 à 15.

[Revendication 17] Aéronef comportant un système propulsif (98) selon la revendication 16.

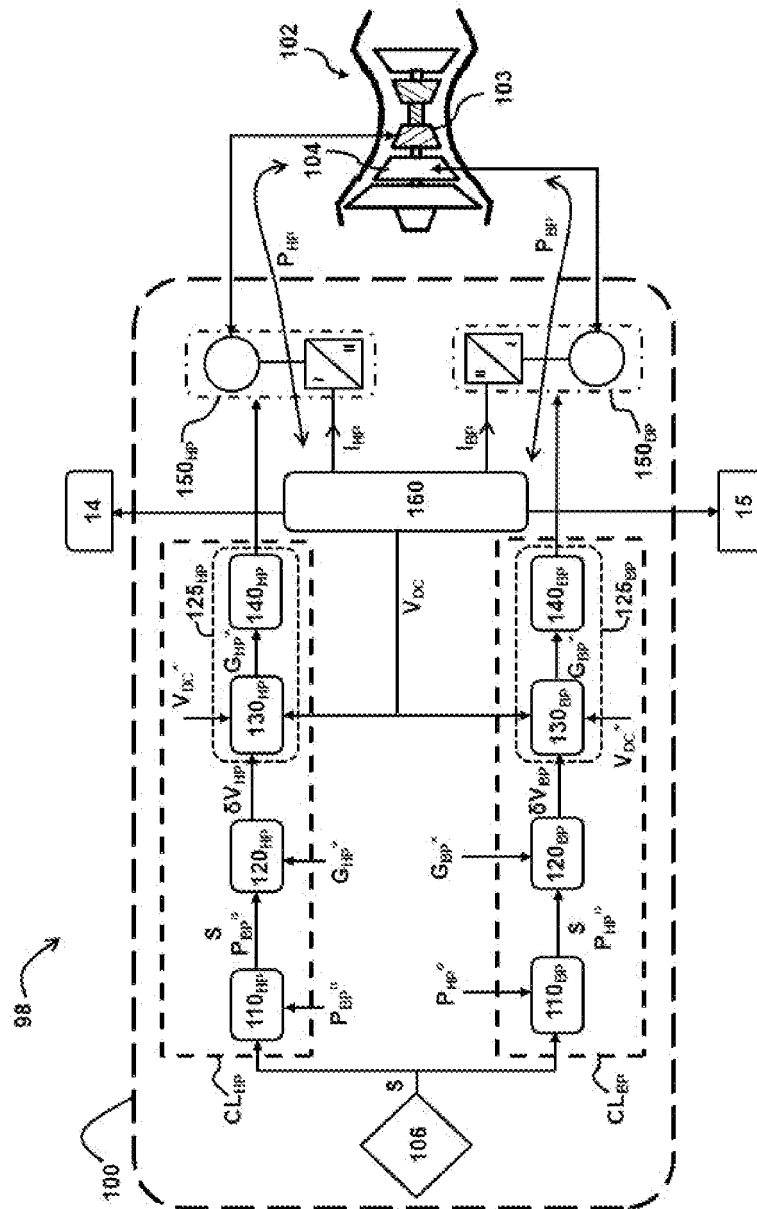
[Revendication 18] Procédé d'échange de puissance dans un aéronef, caractérisé en ce qu'il comporte :

- pour chacun d'un convertisseur électromécanique (150_{BP}) dit basse pression (BP) et d'un convertisseur électromécanique (150_{HP}) dit haute pression (HP), le convertisseur électromécanique basse pression (150_{BP}) étant conçu pour échanger de la puissance (P_{BP}) entre un bus de tension (160) conçu pour présenter une tension de bus (V_{DC}) et un corps basse pression (104) d'une turbomachine (102) de l'aéronef, le convertisseur électromécanique haute pression (150_{HP}) étant conçu pour échanger de la puissance (P_{HP}) entre le bus de tension (160) et un corps haute pression (103) de la turbomachine (102) de l'aéronef, une régulation de la tension de bus (V_{DC}) en commandant le convertisseur électromécanique (150_{BP} , 150_{HP}) considéré afin d'ajuster la puissance échangée (P_{BP} , P_{HP}) ;
- une fourniture par un calculateur (106) d'une consigne de partage (S) entre les puissances échangées (P_{HP} , P_{BP}), cette consigne de partage (S) variant au cours du temps ; et
- pour au moins l'un des convertisseurs électromécaniques (150_{BP} , 150_{HP}) :
 - une réception de la consigne de partage (S) fournie par le calculateur (106) et d'une évaluation (P_{BP}° , P_{HP}°) de la puissance échangée (P_{BP} , P_{HP}) par l'autre des convertisseurs électromécaniques (150_{BP} , 150_{HP}), et
 - un ajustement de la puissance échangée (P_{HP} , P_{BP}) par le convertisseur électromécanique (150_{BP} , 150_{HP}) considéré afin de respecter la consigne de partage (S) reçue, en tenant compte de l'évaluation (P_{BP}° , P_{HP}°) reçue de la puissance échangée (P_{BP} , P_{HP}) par l'autre des convertisseurs électromécaniques (150_{BP} , 150_{HP}).

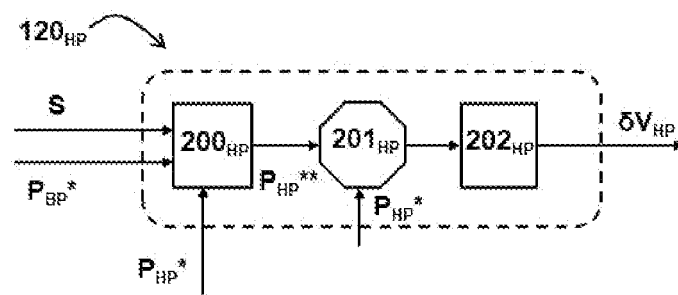
[Revendication 19] Programme d'ordinateur téléchargeable depuis un réseau de communication et/ou enregistré sur un support lisible par ordinateur, caractérisé en ce qu'il comprend des instructions pour l'exécution des étapes d'un procédé d'échange de puissance dans un aéronef selon la revendication

précédente, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.

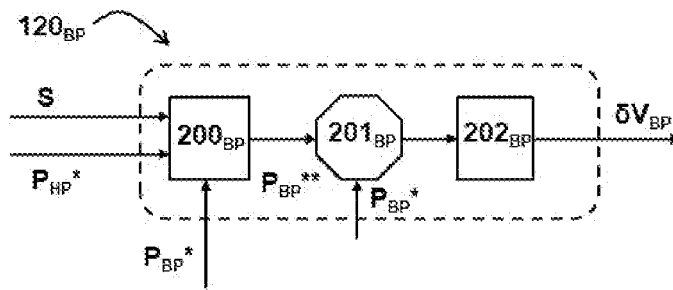
[Fig. 1]



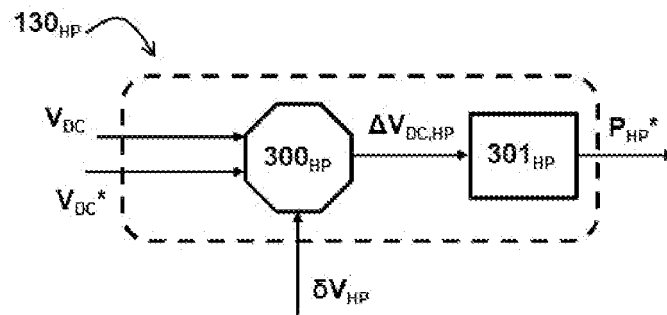
[Fig. 3]



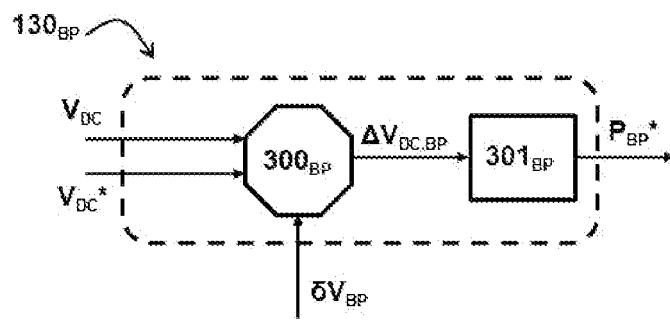
[Fig. 4]



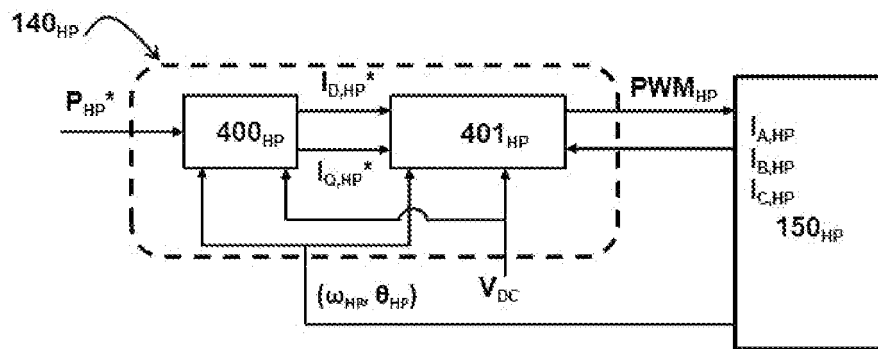
[Fig. 5]



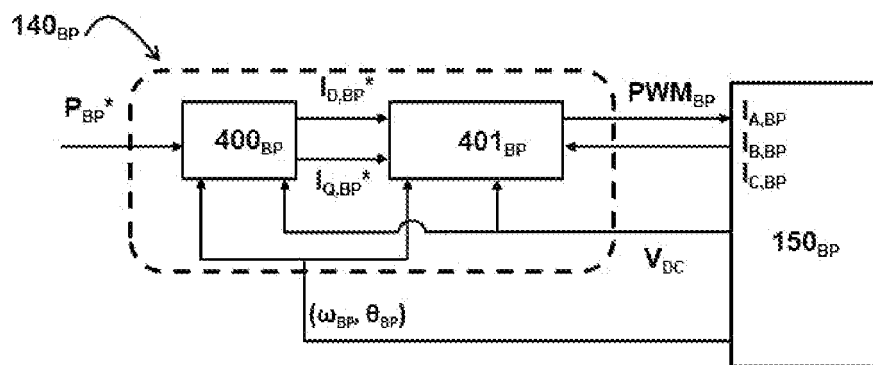
[Fig. 6]



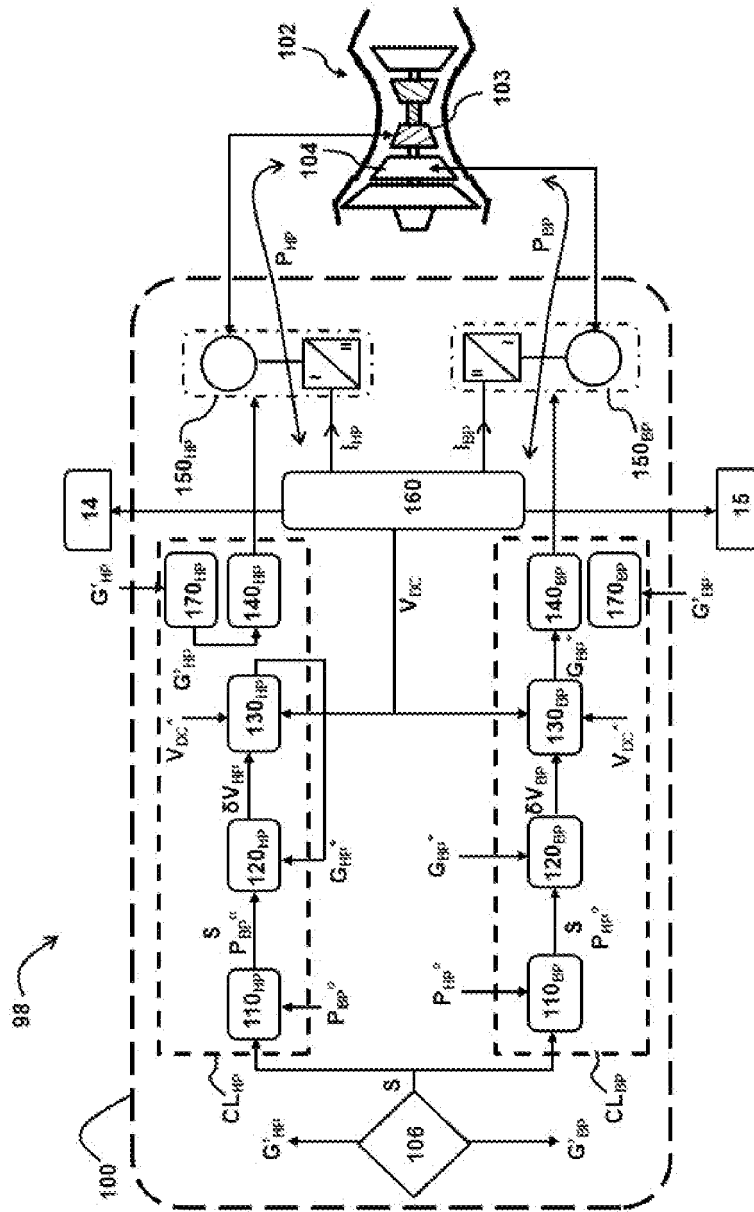
[Fig. 7]



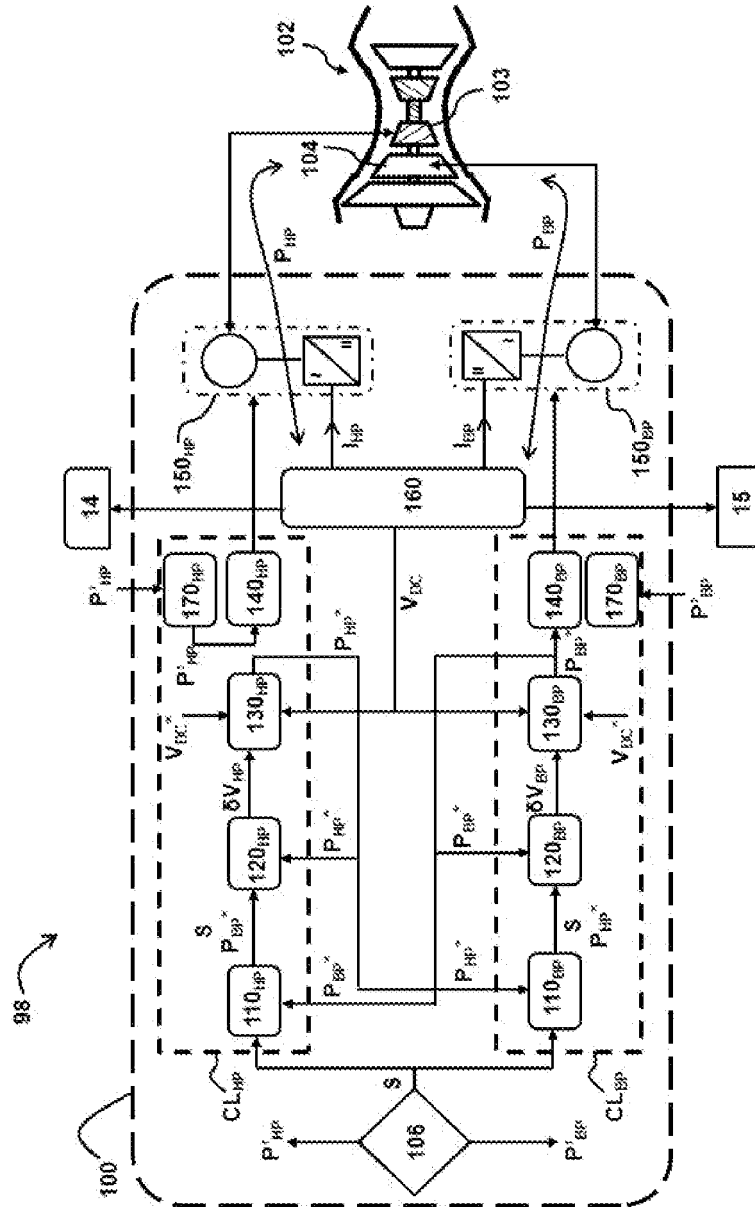
[Fig. 8]



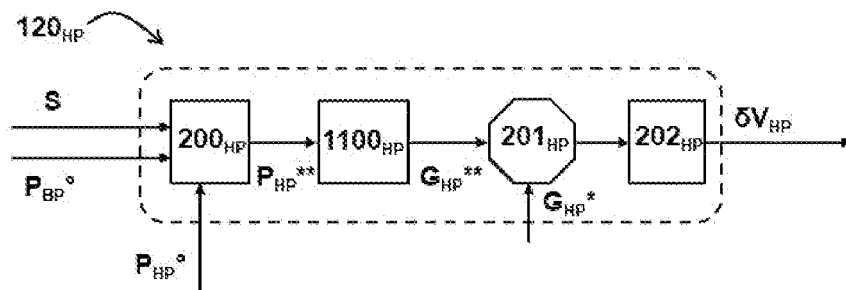
[Fig. 9]



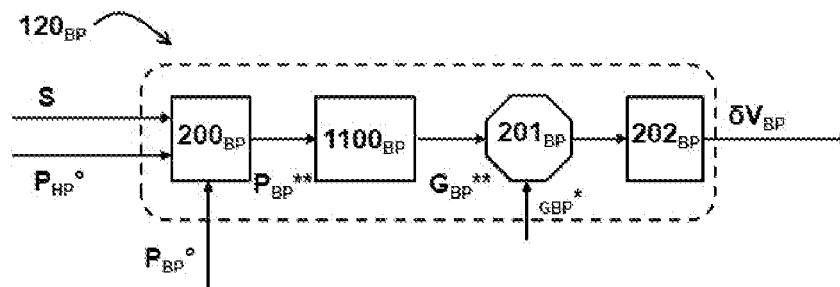
[Fig. 10]



[Fig. 11]



[Fig. 12]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 915792
FR 2301037

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 A	JP 2014 131469 A (GE AVIAT SYSTEMS LLC) 10 juillet 2014 (2014-07-10) * alinéas [0014] - [0019], [0026] - [0035], [0038] - [0042]; figures 1-3 * -----	1-8,10, 11,13-19 9,12	B64D 31/12 B64D 41/00
X,D A	US 11 355 929 B1 (HARKE MICHAEL C [US] ET AL) 7 juin 2022 (2022-06-07) * colonnes 4-5; figures 1-2 * -----	1-8,10, 11,13-19 9,12	
A	US 9 601 970 B2 (ROLLS ROYCE NAM TECH INC [US]; ROLLS ROYCE CORP [US]) 21 mars 2017 (2017-03-21) * colonnes 4-7; figures 1-2 * -----	1-19	
A	EP 3 796 503 A1 (EATON INTELLIGENT POWER LTD [IE]) 24 mars 2021 (2021-03-24) * pages 2-3; figure 1 * -----	1-19	
A	CN 108 691 653 A (GE AVIATION SYSTEMS LLC) 23 octobre 2018 (2018-10-23) * abrégé; figures 2-3 * -----	1-19	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B64D H02J F01D F02K F02C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
4 août 2023		Carlier, François	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2301037 FA 915792**

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 **04-08-2023**
 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
JP 2014131469 A		10-07-2014	BR 102013031864 A2	17-11-2015
			CA 2836008 A1	17-06-2014
			CN 103872676 A	18-06-2014
			FR 2999824 A1	20-06-2014
			GB 2508998 A	18-06-2014
			JP 6378479 B2	22-08-2018
			JP 2014131469 A	10-07-2014
			US 2014167516 A1	19-06-2014

US 11355929 B1		07-06-2022	EP 4096043 A1	30-11-2022
			US 11355929 B1	07-06-2022
			US 2022376498 A1	24-11-2022

US 9601970 B2		21-03-2017	CA 2900661 A1	18-09-2014
			EP 2971593 A1	20-01-2016
			US 2014360205 A1	11-12-2014
			US 2015274506 A1	01-10-2015
			US 2017187311 A1	29-06-2017
			WO 2014143218 A1	18-09-2014

EP 3796503 A1		24-03-2021	EP 3796503 A1	24-03-2021
			US 2021091564 A1	25-03-2021

CN 108691653 A		23-10-2018	CN 108691653 A	23-10-2018
			US 2018291807 A1	11-10-2018
