

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 07.07.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 12.01.24 Bulletin 24/02.

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 Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : LIENHARDT Anne Marie, BIDAN Guil-
laume François Daniel et ROUGIER Florent Jean-
Arnaud.

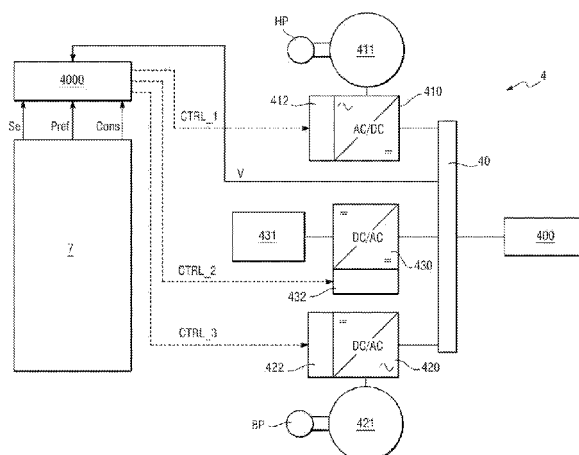
73 Titulaire(s) : SAFRAN Société anonyme.

74 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

54 Ensemble pour une turbomachine hybridée électriquement.

57 La présente divulgation concerne un ensemble pour
turbomachine comprenant : un premier corps rotatif (222,
262, 282) ; un deuxième corps rotatif (20, 220, 260, 280) ;
et un système électrique (4) comprenant : un bus (40) ; un
premier générateur (411) ; un deuxième générateur (421) ;
un premier convertisseur (410) ; un deuxième convertis-
seur (420) ; et un dispositif de contrôle (412, 422, 432,
4000).

Figure pour l'abrégé : Fig. 3



Description

Titre de l'invention : Ensemble pour une turbomachine hybridée électriquement

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente demande concerne le domaine des turbomachines, en particulier des moteurs d'aéronef. Plus précisément, la présente demande concerne la gestion de l'alimentation de charges électriques d'un moteur et/ou d'un aéronef.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Un aéronef peut comprendre au moins un moteur et chacun du moteur et de l'aéronef peut comprendre des charges électriques et/ou des sources d'alimentation électrique. Un système électrique peut relier les charges, les sources et le moteur entre eux pour permettre des échanges électriques entre ces différents éléments. Les charges peuvent être alimentées par prélèvement mécanique sur le moteur, et le moteur peut être assisté par prélèvement électrique sur les sources, que ce soit en démarrage ou en vol. Au cours du fonctionnement du moteur, les besoins en alimentation des charges peuvent évoluer, parfois brusquement. D'un autre côté, le prélèvement mécanique sur le moteur doit respecter un certain nombre de contraintes pour assurer une optimisation du fonctionnement de ce-dernier. Par exemple, au décollage, il est préférable de limiter le prélèvement sur le corps basse pression du moteur, lequel est extrêmement sollicité pour fournir la poussée et ne peut se permettre, à cet égard, de connaître des oscillations de poussée liées à un prélèvement mécanique variable de la part du système électrique.

Exposé de l'invention

[0003] Un but de l'invention est de permettre à un moteur d'aéronef de répondre aux besoins en puissance de charges électriques tout en respectant ses propres contraintes de fonctionnement.

[0004] A cet égard, il est proposé, selon un aspect de la présente divulgation, un ensemble pour turbomachine hybridée électriquement, comprenant :

un premier corps rotatif formant une première source de puissance mécanique ;

un deuxième corps rotatif formant une deuxième source de puissance mécanique ; et

un système électrique comprenant :

un bus d'alimentation électrique prévu pour être relié à au moins une charge électrique et configuré pour fournir une puissance électrique à la charge sous forme d'un signal continu ;

une pluralité de sources de puissance électrique configurées pour transférer une puissance électrique au bus et comprenant :

un premier générateur de courant alternatif relié au premier corps rotatif pour

prélever une puissance mécanique sur le premier corps rotatif et la transformer en puissance électrique susceptible d'être transférée au bus ;

un deuxième générateur de courant alternatif relié au deuxième corps rotatif pour prélever une puissance mécanique sur le deuxième corps rotatif et la transformer en puissance électrique susceptible d'être transférée au bus ;

une pluralité de convertisseurs reliée à la pluralité de sources de puissance électrique et au bus, les convertisseurs étant configurés pour réguler le bus en tension à partir d'une puissance électrique fournie par les sources de puissance électrique et comprenant :

un premier convertisseur relié au premier générateur de courant alternatif, le premier convertisseur étant relié au bus et configuré pour réguler le bus en tension à partir d'une puissance électrique fournie par le premier générateur de courant alternatif ;

un deuxième convertisseur relié au deuxième générateur de courant alternatif, le deuxième convertisseur étant relié au bus et configuré pour réguler le bus en tension à partir d'une puissance électrique fournie par le deuxième générateur de courant alternatif ; et

un dispositif de contrôle relié aux convertisseurs et configuré pour piloter les convertisseurs en vue de compenser une évolution d'une tension du bus par sollicitation successives des sources de puissance électrique selon une séquence de prélèvement déterminée.

[0005] Avantageusement, mais facultativement, l'ensemble peut comprendre l'une au moins des caractéristiques suivantes, prise seul ou dans une quelconque combinaison :

- dans cet ensemble :

la pluralité de sources de puissance électrique comprend une source de courant continu ;

la pluralité de convertisseurs comprend un troisième convertisseur relié à la source de courant continu et au bus, le troisième convertisseur étant configuré pour réguler le bus en tension à partir d'une puissance fournie par la source de courant continu ; et

le dispositif de contrôle est relié au troisième convertisseur ;

- chaque convertisseur comprend un organe de contrôle configuré pour piloter le convertisseur, le dispositif de contrôle comprenant en outre un organe central configuré pour :

recevoir une consigne relative à la séquence de prélèvement ; et

transmettre à chacun des organes de contrôle un signal de commande pour le pilotage des convertisseurs, le signal de commande ayant été généré à partir de la consigne ;

- le dispositif de contrôle est en outre configuré pour piloter les convertisseurs en fonction d'un seuil de prélèvement propre à chacune des sources de puissance électrique ;

- le dispositif de contrôle est en outre configuré pour :

recevoir un signal de contrôle représentatif d'une correction associée à une différence entre une mesure d'une tension du bus et une référence, la différence étant représentative de l'évolution de la tension du bus ; et

réaliser un filtrage fréquentiel du signal de contrôle de sorte à en déterminer au moins une composante basse fréquence et au moins une composante haute fréquence, le pilotage des convertisseurs étant mis en œuvre à partir de l'une au moins de la composante basse fréquence et de la composante haute fréquence ;

- le dispositif de contrôle est configuré pour piloter les convertisseurs à partir de la composante basse fréquence ;

- le dispositif de contrôle est configuré pour piloter les convertisseurs à partir de la composante haute fréquence ; et

- le dispositif de contrôle est en outre configuré pour piloter les convertisseurs en fonction d'une consigne de répartition de prélèvement entre les sources de puissance électrique.

[0006] Selon un autre aspect de la présente divulgation, il est proposé un procédé de contrôle d'un ensemble tel que précédemment décrit, le procédé étant mise en œuvre par le dispositif de contrôle et comprenant le pilotage des convertisseurs en vue de compenser une évolution d'une tension du bus par sollicitation successives des sources de puissance électrique selon une séquence de prélèvement prédéterminée.

[0007] Avantageusement, mais facultativement, dans le procédé de contrôle tel que précédemment décrit, le pilotage selon une séquence de prélèvement prédéterminée comprend la sollicitation d'une source de puissance électrique préférentielle parmi la pluralité de sources de puissance électrique jusqu'à atteindre la limite de prélèvement de la source de puissance électrique préférentielle, les autres sources de puissance électriques n'étant pas sollicitées, puis la sollicitation successive d'autres sources de puissance électrique une fois la limite de prélèvement dépassée.

[0008] Alternativement, dans le procédé de contrôle tel que précédemment décrit, le pilotage selon une séquence de prélèvement prédéterminée comprend la sollicitation d'une source de puissance électrique préférentielle parmi la pluralité de sources de puissance électrique jusqu'à atteindre la limite de prélèvement de la source de puissance électrique préférentielle, les autres sources de puissance électriques étant en outre sollicitées à un seuil minimal de puissance, puis la sollicitation successive d'autres sources de puissance électrique une fois la limite de prélèvement dépassée.

DESCRIPTION DES FIGURES

[0009] D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- [0010] La [Fig.1] illustre de façon schématique un aéronef.
- [0011] La [Fig.2] illustre de façon schématique un moteur.
- [0012] La [Fig.3] illustre de façon schématique un système électrique selon un aspect de la présente divulgation.
- [0013] La [Fig.4] est un organigramme illustrant des étapes d'un procédé de contrôle d'un système électrique selon la présente divulgation.
- [0014] La [Fig.5] illustre le fonctionnement d'une partie d'un système électrique selon un aspect de la présente divulgation.
- [0015] La [Fig.6] illustre le fonctionnement d'une autre partie d'un système électrique selon un autre aspect de la présente divulgation.
- [0016] Sur l'ensemble des figures, les éléments similaires portent des références identiques.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

Aéronef

- [0017] La [Fig.1] illustre un aéronef **100** comprenant au moins un ensemble propulsif **1**, en l'espèce deux ensembles propulsifs **1**. L'aéronef **100** représenté est un avion, civil ou militaire, mais pourrait être tout autre type d'aéronef **100**, tel qu'un hélicoptère. Les ensembles propulsifs **1** sont rapportés et fixés sur l'avion **100**, chacun sous une aile de l'avion **100**, comme visible sur la [Fig.1]. Ceci n'est toutefois pas limitatif, puisqu'au moins un ensemble propulsif **1** peut être également monté sur l'aile de l'avion ou encore à l'arrière de son fuselage.
- [0018] L'aéronef **100** comprend également une pluralité de charges (ou récepteurs) électriques (non représentés). Chaque charge électrique est un dispositif alimenté par de l'énergie électrique et pouvant être configuré pour transformer l'énergie électrique qui l'alimente en une autre forme d'énergie, comme par exemple de la chaleur ou de l'énergie mécanique. Des exemples non limitatifs de charges électriques de l'aéronef **100** sont : un moteur électrique, un système de chauffage et/ou de climatisation, un compresseur, etc. Ces charges électriques permettent notamment d'assurer un certain nombre de fonctionnalités, en vol comme au sol, telles que la pressurisation et/ou l'illumination de la cabine de l'aéronef **100**, le fonctionnement du poste de pilotage, etc.
- [0019] Pour alimenter ces charges électriques en énergie électrique, l'aéronef **100** comprend une pluralité de réseaux électriques, dont au moins un réseau à courant continu. Chaque réseau électrique comprend typiquement un ensemble de conducteurs d'électricité, typiquement un ensemble de fil(s) ou barre(s) et/ou un assemblage de fil(s) et/ou une (ou plusieurs) piste(s) imprimée(s) et/ou quelque appareil qui sert à conduire l'électricité. Le réseau à courant continu n'autorise la circulation d'énergie électrique que sous forme d'un signal continu.

[0020] L'énergie électrique consommée par les charges électriques peut, au moins en partie, être produite par le moteur **2** de l'ensemble propulsif **1**, décrit plus en détails ci-après, et plus précisément par prélèvement mécanique sur des corps rotatifs **BP**, **HP** du moteur **2**.

Ensemble propulsif

[0021] La [Fig.2] illustre un ensemble propulsif **1** présentant un axe longitudinal **X-X**, et comprenant un moteur **2**, qui est une turbomachine, et une nacelle **3** entourant le moteur **2**.

[0022] L'ensemble propulsif **1** est destiné à être monté sur un aéronef **100**, par exemple de la manière illustrée sur la [Fig.1]. A cet égard, l'ensemble propulsif **1** peut comprendre un mât (non représenté) destiné à relier l'ensemble propulsif **1** à une partie de l'aéronef **100**.

[0023] Le moteur **2** illustré sur la [Fig.2] est un turboréacteur à double corps, double flux et entraînement direct de la soufflante **20**. Ceci n'est toutefois pas limitatif puisque le moteur **2** peut comporter un nombre différent de corps et/ou de flux, et/ou être un autre type de turboréacteur, tel qu'un turboréacteur à entraînement de la soufflante via un réducteur, ou un turbopropulseur. De même, ce qui est décrit est applicable à tous types de turbomachine, c'est-à-dire de système permettant un transfert d'énergie entre une partie tournante et un fluide.

[0024] Sauf précision contraire, les termes « amont » et « aval » sont utilisés en référence à la direction globale d'écoulement d'air à travers l'ensemble propulsif **1** en fonctionnement. De même, une direction axiale correspond à la direction de l'axe longitudinal **X-X** et une direction radiale est une direction orthogonale à l'axe longitudinal **X-X** et coupant l'axe longitudinal **X-X**. Par ailleurs, un plan axial est un plan contenant l'axe longitudinal **X-X** et un plan radial est un plan orthogonal à l'axe longitudinal **X-X**. Une circonférence s'entend comme un cercle appartenant à un plan radial et dont le centre appartient à l'axe longitudinal **X-X**. Une direction tangentielle ou circonférentielle est une direction tangente à une circonférence : elle est orthogonale à l'axe longitudinal **X-X** mais ne passe pas par l'axe longitudinal **X-X**. Enfin, les adjectifs « intérieur » (ou « interne ») et « extérieur » (ou « externe ») sont utilisés en référence à une direction radiale de sorte que la partie intérieure d'un élément est, suivant une direction radiale, plus proche de l'axe longitudinal **X-X** que la partie extérieure du même élément.

[0025] Comme visible sur la [Fig.2], le moteur **2** comprend, de l'amont vers l'aval, une soufflante **20**, une section de compression **22** comprenant un compresseur basse pression **220** et un compresseur haute pression **222**, une chambre de combustion **24** et une section de détente **26** comprenant une turbine haute pression **262** et une turbine basse pression **260**. Chacun du compresseur basse pression **220**, du compresseur haute

pression **222**, de la turbine haute pression **262** et de la turbine basse pression **260** comprend une partie rotor et une partie stator, la partie rotor étant susceptible d'être entraînée en rotation par rapport à la partie stator autour de l'axe longitudinal **X-X**. La soufflante **20**, la partie rotor du compresseur basse pression **220**, et la partie rotor de la turbine basse pression **260** sont reliées entre elles par un arbre basse pression **280** s'étendant le long de l'axe longitudinal **X-X**, formant ainsi un corps basse pression (corps **BP**) qui est un premier corps rotatif. La partie rotor du compresseur haute pression **222** et la partie rotor de la turbine haute pression **262** sont reliées entre elles par un arbre haute pression **282** s'étendant également le long de l'axe longitudinal **X-X**, autour de l'arbre basse pression **280**, formant ainsi un corps haute pression (corps **HP**) qui est un deuxième corps rotatif. Comme visible sur la [Fig.2], la section de compression **22**, la chambre de combustion **24** et la section de détente **26** sont entourés par un carter moteur **23**, auxquels sont reliés les parties stator du compresseur basse pression **220**, du compresseur haute pression **222**, de la turbine haute pression **262** et de la turbine basse pression **260**, tandis que la soufflante **20** est entourée par un carter de soufflante **25**. Le carter moteur **23** et le carter de soufflante **25** sont reliés entre eux par des bras **27** profilés formant des redresseurs (ou OGV pour « *Outlet Guide Vanes* » dans la terminologie anglo-saxonne) répartis de manière circonférentielle tout autour de l'axe longitudinal **X-X**. Au moins certains de ces bras **27** peuvent être prévus structuraux. L'axe longitudinal **X-X** définit l'axe de rotation pour la soufflante **20**, les parties rotor de la section de compression **22** et les parties rotor de la section de détente **26**, autrement dit pour le corps **BP** et le corps **HP**, lesquels sont chacun susceptibles d'être entraînés en rotation autour de l'axe longitudinal **X-X** par rapport au carter moteur **23** et au carter de soufflante **25**.

[0026] La nacelle **3** s'étend radialement à l'extérieur du moteur **2**, tout autour de l'axe longitudinal **X-X**, de sorte à entourer à la fois le carter de soufflante **25** et le carter moteur **23**, et à définir, avec une partie aval du carter moteur **23**, une partie aval d'une veine secondaire **B**, la partie amont de la veine secondaire **B** étant définie par le carter de soufflante **25** et une partie amont du carter moteur **23**. La partie amont de la nacelle **3** définit en outre une entrée d'air **29** par laquelle la soufflante **20** aspire le flux d'air circulant à travers l'ensemble propulsif **1**. La nacelle **3** est solidaire du carter de soufflante **25** et rapportée et fixée à l'aéronef **100** au moyen du mât.

[0027] Le moteur **2** peut également comprendre au moins un boîtier d'accessoires (non représenté), appelé AGB (pour « *Accessory gear box* » dans la terminologie anglo-saxonne), typiquement logé dans une cavité ménagée au sein de la nacelle **3**. Le boîtier d'accessoires comprend un ensemble d'engrenages permettant d'entraîner en rotation une pluralité d'arbres autour de leur propre axe, des accessoires étant montés sur ces arbres pour tirer de leur rotation une puissance mécanique utile. L'ensemble

d'engrenages est lui-même entraîné à l'aide d'un arbre de prise de mouvement (ou RDS pour « *Radial Drive Shaft* » dans la terminologie anglo-saxonne) reliant, éventuellement par l'intermédiaire d'un boîtier de transfert (non représenté), le boîtier d'accessoires à l'un au moins parmi le corps haute pression **HP** et le corps basse pression **BP**, typiquement en étant engrené avec l'un au moins parmi l'arbre haute pression **282** et l'arbre basse pression **280**. A cet égard, l'arbre de prise de mouvement peut s'étendre à l'intérieur d'une cavité longitudinale ménagée au sein de l'un des bras **27**. De cette manière, une puissance mécanique est susceptible d'être prélevée sur l'un au moins parmi le corps haute pression **HP** et le corps basse pression **BP** pour être délivrée à l'un au moins des accessoires par l'intermédiaire du boîtier d'accessoires.

[0028] Le moteur **2** peut, lui aussi, comprendre une pluralité de charges électriques (non représentées), telles qu'un démarreur, des géométries variables ou des systèmes de dégivrage, lesquelles doivent également être alimentées en énergie électrique.

L'alimentation d'au moins certaines de ces charges électriques peut être sous la forme d'un signal continu, typiquement une tension continue.

[0029] En fonctionnement, la soufflante **20** aspire un flux d'air dont une portion, circulant au sein d'une veine primaire **A**, est, successivement, comprimée au sein de la section de compression **22**, enflammée au sein de la chambre de combustion **24** et détendue au sein de la section de détente **26** avant d'être éjectée hors du moteur **2**. La veine primaire **A** traverse le carter moteur **23** de part en part. Une autre portion du flux d'air circule au sein de la veine secondaire **B** qui prend une forme annulaire allongée entourant le carter moteur **23**, l'air aspiré par la soufflante **20** étant redressé par les redresseurs puis éjecté hors de l'ensemble propulsif **1**. De cette manière, l'ensemble propulsif **1** génère une poussée. Cette poussée peut, par exemple, être mise au profit de l'aéronef **100** sur lequel l'ensemble propulsif **1** est rapporté et fixé.

Système électrique

[0030] La [Fig.3] illustre un système électrique **4** distribué entre l'ensemble propulsif **1** et l'aéronef **100** pour l'alimentation en énergie électrique des charges électriques **400** du moteur **2** et/ou de l'aéronef **100**, typiquement au moyen du réseau à courant continu. Le système électrique **4** permet notamment de réaliser l'interface entre les corps rotatifs **BP**, **HP** du moteur **2** et le réseau électrique de l'aéronef **100**. Le système électrique est notamment configuré pour répondre aux besoins en puissance électrique des charges **400** de l'aéronef **100** et/ou du moteur **2** par prélèvement mécanique sur le moteur **2**, et pour assister le démarrage et/ou le fonctionnement en vol du moteur **2** à l'aide de sources électriques de l'aéronef **100** et/ou du moteur **2**. En d'autres termes, le moteur **2** est hybridé électriquement.

[0031] Le système électrique **4** comprend un bus **40** électrique, ou bus **40** d'alimentation électrique, relié à au moins une charge **400** électrique de l'aéronef **100** et/ou du moteur

2, de préférence un ensemble de plusieurs charges **400** de l'aéronef **100** et/ou du moteur **2**, le bus **40** étant configuré pour fournir une puissance électrique à la charge **400** sous forme d'un signal continu afin notamment de répondre à ses besoins en puissance. En d'autres termes, le bus **40** est configuré pour autoriser une circulation d'énergie électrique sous forme d'un signal continu. Le bus **40** peut, par exemple, comprendre un ensemble de conducteurs d'électricité, typiquement un ensemble de fil(s) ou barre(s) et/ou un assemblage de fil(s) et/ou une (ou plusieurs) piste(s) imprimée(s) et/ou quelque appareil qui sert à conduire l'électricité.

[0032] Le système électrique **4** comprend en outre plusieurs convertisseurs **410**, **420**, **430** électriques, chacun relié à une source électrique **411**, **421**, **431** respective, c'est-à-dire à un élément configuré pour fournir une puissance électrique. Les sources électriques **411**, **421**, **431** peuvent être un générateur de courant alternatif **411**, **421**, et/ou une source de courant continu **431**. Le générateur de courant alternatif **411**, **421** et la source de courant continu **431** peuvent appartenir au moteur **2**, c'est-à-dire être pilotés en même temps que le moteur **2**, voire être pilotés par le moteur **2**. Dans ce cas ce sont des sources électriques **411**, **421**, **431** du moteur **2**. Du reste, la source de courant continu **431** n'est pas nécessairement localisée dans le moteur **2** et peut, par exemple, être logée dans un pylône permettant de fixer le moteur **2** à l'aéronef **100**. Alternativement, la source de courant continu **431** appartient à l'aéronef **100**, c'est-à-dire qu'elle est pilotée en même temps que l'aéronef **100**. Comme visible sur la [Fig.3], le système électrique **4** peut ainsi comprendre un premier convertisseur **410** relié à un premier générateur de courant alternatif **411**, un deuxième convertisseur **420** relié à un deuxième générateur de courant alternatif **421** et, optionnellement, un troisième convertisseur **430** relié à une source de courant continu **431**. Le troisième convertisseur **430** et la source de courant continu **431** sont optionnels dans le sens où, dans certains modes de réalisation, ils sont absents ou, dans d'autres modes de réalisation, la source de courant continu **431** est indisponible. D'autre part, chacun des convertisseurs **410**, **420**, **430** est, comme visible sur la [Fig.3], relié au bus **40**. De fait, au moins un, si ce n'est chacun, des convertisseurs **410**, **420**, **430** est configuré pour réguler le bus **40** en tension à partir, c'est-à-dire à l'aide, d'une puissance électrique fournie par la ou les source(s) électrique(s) **411**, **421**, **431** auxquels les convertisseurs **410**, **420**, **430** sont reliés. Le nombre et le type de convertisseurs **410**, **420**, **430** et de sources électriques **411**, **421**, **431** n'est, bien entendu, pas limitatif.

[0033] La régulation en tension du bus **40** est critique. En effet, l'évolution temporelle de la tension électrique au sein du bus **40**, lors du fonctionnement du système électrique **4**, si elle peut ponctuellement varier autour d'une valeur nominale donnée, doit pour autant demeurer au sein de limites d'un gabarit, ce qui est la garantie que l'ensemble des éléments qui sont connectés au bus **40** fonctionne correctement. Le gabarit définit, en

fait, les limites supérieures et inférieures d'excursion de la tension, en fonction du temps, lors du fonctionnement du système électrique **4**. Le gabarit peut comprendre des limites définies pour des conditions de fonctionnement normales et/ou anormales, lesquelles limites entourent, de manière symétrique ou non, un niveau de tension électrique nominal du bus **40**. Dans un diagramme (non représenté) fournissant l'évolution de la tension électrique en fonction du temps, une limite d'un gabarit est typiquement représentée comme une ligne, brisée ou non. De préférence, même si la limite ne définit par une valeur de tension électrique constante dans un premier temps, notamment pendant le temps caractéristique de mise en fonctionnement (ou démarrage) du système électrique **4** ou encore pendant le temps d'établissement d'un régime permanent en cas de transitoire de puissance, il est commun que la limite définisse ensuite une valeur de tension électrique constante, et ce afin de garantir la stabilité de fonctionnement du bus **40** et, partant, du système électrique **4**. Un tel gabarit peut, par exemple, être défini dans une norme relative à la qualité du système électrique **4** et/ou du réseau à courant continu, mais aussi être défini par un cahier des charges d'un véhicule type aéronef auquel le système électrique **4** est raccordé, typiquement les exigences du fabricant de l'aéronef **100** et/ou du moteur **2** au sein duquel le système électrique **4** est intégré.

[0034] D'autre part, la régulation en tension du bus **40** permet de répondre aux demandes en puissance de la part des charges **400** reliées au bus **40**. Typiquement, lorsque la quantité de puissance prélevée par au moins une charge **400** sur le bus **40** est supérieure à la quantité de puissance injectée sur le bus **40** par au moins un convertisseur **410, 420, 430**, la tension du bus **40** diminue significativement. Inversement, lorsque la quantité de puissance injectée par au moins un convertisseur **410, 420, 430** sur le bus **40** est supérieure à la quantité de puissance prélevée sur le bus **40** par au moins une charge **400**, la tension du bus **40** augmente. Ainsi, réguler la tension du bus **40** permet, outre d'assurer la sécurité du système électrique **4**, de répondre aux besoins en puissance des charges **400**. En d'autres termes, chacun des convertisseurs **410, 420, 430** est configuré pour adapter en permanence la puissance qu'il injecte ou prélève sur le bus **40**, selon la tension du bus **40**, de sorte à répondre exactement aux besoins en puissance des charges **400** reliées au bus **40**.

[0035] Cette injection ou ce prélèvement de puissance sur le bus **40** par les convertisseurs **410, 420, 430** est notamment permise par leur liaison avec les sources électriques **411, 421, 431**. De fait, au moins un, si ce n'est chacun, des générateurs **411, 421** à courant alternatif est relié à un corps rotatif **BP, HP**, du moteur **2** pour permettre un échange de puissance mécanique et/ou électrique entre le corps rotatif **BP, HP** et le générateur **411, 421** de courant alternatif, de préférence pour prélever une puissance mécanique sur le corps rotatif **BP, HP** et la transformer en une puissance électrique, laquelle puissance

électrique est ensuite délivrée au premier convertisseur **410** et/ou au deuxième convertisseur **420** pour être injectée sur le bus **40**. Comme la puissance électrique fournie par les générateurs **411**, **421** à courant alternatif est sous la forme d'un signal alternatif, chacun du premier convertisseur **410** et du deuxième convertisseur **420** est configuré pour transformer, de manière réversible, ce signal alternatif en un signal continu adapté pour être injecté, puis circuler, sur le bus **40**. De même, la source de courant continu **431** peut délivrer une puissance sous forme d'un signal continu au troisième convertisseur **430**, lequel va tout de même le convertir, également de manière réversible, pour le mettre en forme selon les contraintes propres au bus **40**, puis l'injecter sur le bus **40**. Chacun, ou au moins l'un, des générateurs **411**, **421** de courant alternatif peut, par exemple, être une machine synchrone à rotor bobiné, comprenant typiquement trois étages, appelée VFG (pour « *Variable Frequency Generator* » dans la terminologie anglo-saxonne), entraînée par l'un au moins parmi l'arbre haute pression **282** et l'arbre basse pression **280** du moteur **2**, typiquement par l'intermédiaire du boîtier d'accessoires. D'autres types de machines électriques sont envisageables, telles que, de préférence, des machines synchrones à aimant permanent, appelées PMSM (pour « *Permanent-Magnet Synchronous Machine Drives* » dans la terminologie anglo-saxonne) qui présentent notamment l'avantage d'avoir une masse plus réduite, ou telles que des machines asynchrones (ou « *Induction machine* » dans la terminologie anglo-saxonne) ou à réluctance variable. De préférence, le premier générateur **411** de courant alternatif est relié au corps **HP**, tandis que le deuxième générateur **421** de courant alternatif est relié au corps **BP**, **280**. La source de courant continu **431** peut, quant à elle, comprendre une batterie, un supercondensateur, une génératrice à courant continu et/ou une pile à combustible. La source de courant continu **431** permet notamment de soulager les corps rotatifs **BP**, **HP**, ou prendre leur relais, lorsque, par exemple, le niveau de prélèvement exigé pour répondre aux besoins en puissance des charges **400** est trop élevé, mais permet aussi d'absorber certaines dynamiques, telles des variations brusques, du comportement des charges **400**.

[0036] La [Fig.3] illustre également que le système électrique **4** comprend un dispositif de contrôle **412**, **422**, **432**, **4000**, relié à au moins un, si ce n'est chacun, des convertisseurs **410**, **420**, **430**.

[0037] Le dispositif de contrôle **412**, **422**, **432**, **4000** illustré sur la [Fig.3] comprend un organe central **4000** et une pluralité d'organes de contrôle **412**, **422**, **432**, chacun des organes de contrôle **412**, **422**, **432** étant relié (ou intégré) à un des convertisseurs **410**, **420**, **430**. Alternativement, le dispositif de contrôle **412**, **422**, **432** peut ne comprendre que la pluralité des organes de contrôle **412**, **422**, **432**, chacun des organes de contrôle **412**, **422**, **432** étant relié (ou intégré) à un des convertisseurs **410**, **420**, **430**.

[0038] Le dispositif de contrôle **412**, **422**, **432**, **4000** est en outre avantageusement configuré

pour recevoir un signal **V** représentatif d'une mesure d'une tension du bus **40**. Pour ce faire, le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** peut être relié au bus **40** ou à un capteur de tension relié au bus **40**, et recevoir du bus **40** (ou de ce capteur) le signal **V**. Ce signal **V** peut être reçu par l'intermédiaire d'une liaison physique ou sans fil. Ce signal **V** représente notamment l'évolution des besoins en puissance de la part des charges **400** reliées au bus **40**. Typiquement, lorsqu'une charge **400** requiert soudainement de pouvoir prélever sur le bus **40** une puissance importante, du fait du temps de réponse du système électrique **4** pour fournir au bus **40** la puissance nécessaire pour compenser la puissance prélevée, la tension du bus **40** va brutalement chuter, et cette chute sera remontée au dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** par l'intermédiaire du signal **V**. De la même manière, lorsqu'une charge **400** se déleste brusquement d'une puissance importante sur le bus **40**, du fait du temps de réponse du système électrique **4** pour soutirer au bus **40** la puissance nécessaire en vue de compenser ce délestage, la tension du bus **40** va brutalement augmenter, et cette augmentation sera remontée au dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** par l'intermédiaire du signal **V**. De ce fait, le signal **V** est typiquement un signal temporel, c'est-à-dire fournissant (ou représentant) l'évolution de la tension du bus **40** en fonction du temps. De nombreuses charges **400**, notamment les charges **400** dites « actives », peuvent présenter ce type de comportement dynamique, lequel peut d'ailleurs varier au cours des différentes phases de vol.

- [0039] Les évolutions de la tension du bus **40** sont compensées par l'action des convertisseurs **410, 420, 430**, laquelle action suit donc l'évolution de la tension, aussi brusque et fluctuante soit-elle. C'est pourquoi, cette action est coordonnée par le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** pour maintenir la tension du bus **40** dans les gabarits permettant un fonctionnement stable du système électrique **4**.
- [0040] Pour ce faire, chacun des convertisseurs **410, 420, 430** reçoit du dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** une consigne qui lui est propre, et à partir de laquelle le convertisseur **410, 420, 430** régule en tension le bus **40**. La combinaison des régulations en tension de chaque convertisseur **410, 420, 430** permet ainsi de suivre en permanence les besoins en puissance des charges **400**.
- [0041] Ainsi, le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** peut être configuré pour piloter les convertisseurs **410, 420, 430** selon une séquence de prélèvement sur les corps rotatifs **BP, HP**, et éventuellement de prélèvement sur la source de tension continue **431**, en vue de compenser une évolution d'une tension du bus **40**. En d'autres termes, la compensation d'une évolution de la tension du bus **40** exprimant un besoin en puissance d'une charge **400** est réalisée de manière préférentielle par l'un des convertisseurs **410, 420, 430**, jusqu'à une certaine limite de prélèvement admissible sur la source électrique **411, 421, 431** correspondante, puis par un (ou plusieurs) autre(s) des

convertisseurs **410, 420, 430** pour compenser le reste de l'évolution que le convertisseur **410, 420, 430** préférentiel n'aurait pas pu compenser. Dit autrement, le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** arbitre pour déterminer quelle source électrique **411, 421, 431** va être d'abord sollicitée pour réguler la tension du bus **40**, les autres sources électriques **411, 421, 431** n'étant pas sollicitées, puis, lorsque cette première source électrique **411, 421, 431** sollicitée ne pouvant plus répondre car elle a atteint sa limite admissible de prélèvement de puissance, le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** va arbitrer pour déterminer laquelle parmi les autres sources électriques **411, 421, 431** prend le relais, et ainsi de suite tant que la régulation en tension du bus **40** nécessite une injection de puissance supplémentaire sur le bus **40** et que les limites admissibles des sources électriques **411, 421, 431** successives sont atteintes. En d'autres termes, à ce stade, le système électrique **4** en place ne peut plus générer la puissance nécessaire aux charges **400**. Ceci permet au dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** de favoriser, ou au contraire d'interdire, le prélèvement sur tel ou tel corps rotatif **BP, HP** au cours du fonctionnement du moteur **2**, et ce afin d'optimiser le point de fonctionnement du moteur **2**, en ménageant, au cas par cas, l'impact que peut générer le prélèvement sur un corps rotatif **BP, HP** sur les performances de ce corps rotatif **BP, HP**. Cette optimisation peut également avantageusement inclure la gestion des performances de la source de courant continu **431**.

[0042] Dans un mode de réalisation, le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** peut être configuré de sorte à ce que, même si une source électrique **411, 421, 431** est d'abord sollicitée, selon la séquence de prélèvement, les autres sources électriques **411, 421, 431** ne sont pas pour autant dénuée de sollicitation. En d'autres termes, dans ce mode de réalisation, la régulation de la tension du bus **40** est réalisée majoritairement par sollicitation de la source électrique **411, 421, 431** préférentielle, et minoritairement par les autres sources électriques **411, 421, 431**, et ce jusqu'à ce que la source électrique **411, 421, 431** préférentielle ait atteint sa limite admissible de prélèvement de puissance. Ainsi, les sources électriques non préférentielles **411, 421, 431** se voient toujours solliciter *a minima*, leur régime oscillant autour d'un minima de puissance électrique échangée avec leur convertisseur **410, 420, 430** respectif, ce qui évite une oscillation autour d'une valeur de puissance électrique nulle, laquelle serait susceptible d'endommager le système électrique **4**.

[0043] Par ailleurs, le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** peut être configuré pour réaliser un filtrage fréquentiel d'un courant de contrôle **i**, lequel est représentatif de l'action requise des convertisseurs **410, 420, 430** pour corriger une différence relevée entre le signal **V** et une référence **V_ref**, par exemple associée au gabarit, comme décrit plus en détails ci-après. En réalité, le courant de contrôle **i** est représentatif (ou associé) à l'évolution de tension du bus **40** relevée via le signal **V**.

- [0044] Or, la composante haute fréquence de l'évolution de la tension du bus **40** nécessite une réponse immédiate et rapide du système électrique **4**, tandis que sa composante basse fréquence exige une réponse de fond, sur le long terme, du système électrique **4**. Typiquement, lors du fonctionnement du moteur **2**, la puissance demandée par les charges **400** évolue avec une dynamique lente (composante basse fréquence), mais peut connaître des appels brusques et ponctuels de puissance (composante haute fréquence) de la part de certaines charges **400**, par exemple des actionneurs électriques des volets des ailes de l'aéronef **100**. Dès lors, il peut s'avérer pertinent de piloter les convertisseurs **410, 420, 430** en discriminant ces différentes composantes, par l'intermédiaire du filtrage fréquentiel du courant de contrôle **i**.
- [0045] De manière générale, la composante basse fréquence de l'évolution de la tension du bus **40** déterminera le point de fonctionnement du moteur **2**, tandis que la composante haute fréquence sera plutôt absorbée par l'inertie des corps rotatifs **BP, HP**. Pour cela, le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** peut en outre être configuré pour piloter chacun des convertisseurs **410, 420, 430** en vue de compenser une partie de la composante haute fréquence et une partie de la composante basse fréquence. En d'autres termes, chaque convertisseur **410, 420, 430** prend sa part de la réponse aux besoins en puissance exprimée par les charges **400** et matérialisées par l'évolution de la tension du bus **40**. Plus exactement, chacun des convertisseurs **410, 420, 430** peut ainsi recevoir du dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** une consigne qui lui est propre, et à partir de laquelle le convertisseur **410, 420, 430** régule en tension le bus **40**. La combinaison des régulations en tension de chaque convertisseur **410, 420, 430** permet, dans ce cas, une optimisation du point de fonctionnement du moteur en suivant en permanence les besoins en puissance des charges **400**. Ainsi, le corps rotatif **BP, HP** qui serait le plus sensible à des fluctuations rapides de prélèvement de puissance mécanique sur certains points de fonctionnement peut avantageusement être délesté en faveur de l'autre corps rotatif **BP, HP** ou de la source de courant continu **431**, et ce afin de permettre une optimisation du point de fonctionnement du moteur **2**.
- [0046] A cet égard, les différentes stratégies précédemment décrites peuvent être mises en œuvre par le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** en combinaison, comme il sera notamment décrit plus en détails en référence à la [Fig.6]. Typiquement, le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** peut être configuré pour piloter les convertisseurs **410, 420, 430** selon une séquence de prélèvement sur les corps rotatifs **BP, HP**, en vue de compenser la composante basse fréquence, et selon la même, ou un autre, séquence de prélèvement en vue de compenser la composante haute fréquence. Alternativement, ou en complément, le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** peut être configuré pour piloter les convertisseurs **410, 420, 430** selon une consigne de répartition de prélèvement entre les corps rotatifs **BP, HP**, en vue de compenser la composante basse

fréquence, et selon la même, ou un autre, consigne de répartition de prélèvement en vue de compenser la composante haute fréquence.

[0047] Dans le système électrique **4** illustré sur la [Fig.3], c'est l'organe central **4000** qui est, notamment, configuré pour recevoir puis traiter le signal **V**, comme illustré plus en détails sur la [Fig.6]. En outre, l'organe central **4000** est configuré pour transmettre à chacun des organes de contrôle **412, 422, 432** un signal de commande **CTRL_1, CTRL_2, CTRL_3**, pouvant typiquement prendre la forme d'un courant de commande, pour le pilotage des convertisseurs **410, 420, 430**. Dans le système électrique **4** illustré sur la [Fig.3], le contrôle est donc réalisé de manière centralisée. Alternativement, lorsque le dispositif de contrôle **412, 422, 432** ne comprend que les organes de contrôle **412, 422, 432**, chacun des organes de contrôle **412, 422, 432** est configuré pour, notamment, recevoir et traiter le signal **V**, et piloter le convertisseur **410, 420, 430**. En d'autres termes, le contrôle est alors réalisé de manière décentralisé.

[0048] La [Fig.3] montre en outre la présence d'un contrôleur général **7**, qui peut par exemple être tout ou partie du système réalisant l'interface entre le cockpit de l'aéronef **100** et le moteur **2** (ou FADEC ou « *Full Authority Digital Engine Control* », dans la terminologie anglo-saxonne), typiquement être l'unité de commande du moteur **2**, (ou ECU pour « *Electronic Control Unit* » dans la terminologie anglo-saxonne), laquelle est intégrée au FADEC. Le contrôleur général **7** est relié au dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000**, en l'occurrence à l'organe central **4000**, mais pourrait alternativement être directement relié à chacun des organes de contrôle **412, 422, 432** lorsque l'organe central **4000** n'est pas présent. Dans ce cas, les fonctions réalisées par l'organe central **4000** sont soit effectuées localement dans les organes de contrôle **412, 422, 432**, soit effectuées par le contrôleur général **7**. Le contrôleur général **7** détermine non seulement la séquence de prélèvement, mais aussi des contraintes supplémentaires à respecter par le système électrique **4** pour répondre aux besoins en puissances des charges **400**. Ainsi, le contrôleur général **7** peut transmettre au dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** une consigne **Pref** relative à la séquence de prélèvement, mais aussi une consigne **Cons** de répartition de prélèvement entre les corps rotatifs **BP, HP** et la source de courant continu **431**, et/ou un seuil **Se1, Se2, Se3** de prélèvement maximal sur au moins un, si ce n'est chacun, des corps rotatifs **BP, HP** et de la source de courant continu **431**, le seuil **Se1, Se2, Se3** étant, le cas échéant, propre à chaque corps rotatif **BP, HP** et à la source de courant continu **431**. Plus précisément, la consigne **Pref** relative à la séquence de prélèvement fournit l'ordre dans lequel les générateurs **411, 421** et la source de courant continu **431** doivent être sollicités, tandis que la consigne **Cons** de répartition indique au dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** la manière dont la totalité de la puissance à prélever sur le moteur **2** pour répondre aux besoins des charges **400** doit être répartie entre les corps rotatifs **BP, HP**,

et la source de courant continu **431**, et peut typiquement prendre la forme d'un pourcentage. Les seuils **Se1**, **Se2**, **Se3** de prélèvement fournissent, quant à eux, et pour chacune des sources électriques **411**, **421**, **431**, la valeur maximale de la puissance que le dispositif de contrôle **412**, **422**, **432**, **4000** est autorisé à faire prélever par leur convertisseur respectif **410**, **420**, **430** ; c'est-à-dire une première valeur maximale de puissance pouvant être prélevée sur le moteur **2** par le premier convertisseur **410**, via le premier générateur **411** à courant alternatif, une deuxième valeur maximale de puissance pouvant être prélevée sur le moteur **2** par le deuxième convertisseur **420**, via le deuxième générateur **421** à courant alternatif, et une troisième valeur maximale de puissance pouvant être prélevée sur la source de courant continu **431** par le troisième convertisseur **430**. Le seuil **Se3** associé à la source de courant continu **431** peut typiquement prendre la forme d'une limite de prélèvement de courant de charge ou de décharge si la source de courant continu **431** est une batterie. Le dispositif de contrôle **412**, **422**, **432**, **4000** est alors configuré pour piloter les convertisseurs **410**, **420**, **430** en fonction de cette consigne **Pref** relative à la séquence de prélèvement, de cette consigne **Cons** de répartition et/ou de ces seuils **Se1**, **Se2**, **Se3**. Notamment, comme il sera décrit plus en détails ci-après, les parties de la composante haute fréquence et de la composante basse fréquence qui sont compensées par le convertisseur **410**, **420**, **430** sont déterminées à l'aide de la consigne **Cons** de répartition et/ou des seuils **Se1**, **Se2**, **Se3**.

- [0049] La consigne **Pref** relative à la séquence de prélèvement, la consigne **Cons** de répartition et/ou les seuils **Se1**, **Se2**, **Se3** de prélèvement transmis par le contrôleur général **7** peuvent évoluer au cours du temps et permettent de s'assurer que chacun des corps rotatifs **BP**, **HP** et la source de courant continu **431** fournissent la puissance nécessaire aux charges en optimisant le point de fonctionnement du moteur **2**. Par exemple, lors du décollage, qui est une phase de vol sollicitant une forte poussée de la soufflante **20**, c'est-à-dire une phase lors de laquelle une puissance importante est transmise par le corps **BP** à la soufflante **20**, la partie haute fréquence de la puissance sera prélevée préférentiellement, voire totalement, sur le corps **HP**, la partie basse fréquence de la puissance étant prélevée préférentiellement, voire totalement, sur le corps **BP**, et ce afin d'éviter des oscillations de poussée sur le corps **BP**. Au contraire, lors de certaines phases de vol où les limites d'opérabilité du corps haute pression **HP** sont atteintes, il est préférable de prélever une puissance plus importante sur le corps basse pression **BP**. En tout état de cause, cette consigne **Pref** relative à la séquence de prélèvement, cette consigne **Cons** de répartition et/ou ces seuils **Se1**, **Se2**, **Se3** de prélèvement peuvent également s'avérer nécessaire dans la mesure où le prélèvement mécanique a des conséquences différentes suivant le corps rotatif **BP**, **HP** sur lequel la puissance est prélevée.

Procédé de contrôle

[0050] La [Fig.4] illustre plus précisément le procédé de contrôle **E** qui peut être mis en œuvre par le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000** pour permettre de répondre en temps réel aux besoins en puissance des charges **400**, quelle que soit la phase de fonctionnement du moteur **2**, tout en respectant les contraintes propres au moteur **2**, et notamment à ses corps rotatifs **BP, HP**. La [Fig.5] et la [Fig.6] illustrent ce procédé de contrôle **E** mis en œuvre au sein de l'organe central **4000**, mais ceci n'est toutefois pas limitatif puisque ce procédé de contrôle peut être mis en œuvre au sein d'un, si ce n'est chacun, des organes de contrôle **412, 422, 432**. Ce procédé de contrôle **E** permet au système électrique **4** de corriger une différence (ou erreur) relevée entre une référence **V_ref**, qui dépend du gabarit en tension du bus **40** et représente l'état dans lequel devrait se trouver le bus **40** pour un fonctionnement normal, et une mesure de la tension **V** du bus **40**, qui représente quant à elle la réalité des besoins des charges **400** telles qu'elles l'expriment par injection ou prélèvement de puissance sur le bus **40**. En d'autres termes, ce procédé de contrôle **E**, en corrigeant cette différence entre la référence **V_ref** et la mesure de la tension **V** du bus **40**, assure que les besoins en puissance des charges **400** soient assouvis par la régulation en puissance du bus **40**.

[0051] Plus précisément, comme visible sur la [Fig.5] et la [Fig.6], un signal **V** représentatif d'une mesure de la tension du bus **40** est reçu. Ce signal **V** peut alors être comparé à une référence **V_ref**. S'il n'y a aucune différence entre référence **V_ref** et signal **V** mesuré, c'est que la tension du bus **40** n'a pas à être régulée. En revanche, si une différence est constatée, c'est-à-dire que la tension du bus **40** a subi une évolution, il est nécessaire que la tension du bus **40** soit régulée. Pour ce faire, il est nécessaire de piloter les sources électriques **411, 421, 431** en vue de réaliser cette régulation en tension. Ce pilotage (ou cette commande) peut, par exemple, consister en la transmission d'un courant de consigne, d'une puissance de consigne ou même d'un couple de consigne. Ces consignes fixeront la manière dont le système électrique **4**, et plus précisément les sources électriques **411, 421, 431**, devra adapter son fonctionnement pour mener à bien cette régulation en tension. En l'occurrence, un courant de contrôle **i** de consigne, plus aisé à manipuler par le dispositif de contrôle **412, 422, 432, 4000**, qu'il s'agisse de l'organe central **4000** ou des organes de contrôle **412, 422, 432**, peut avantageusement être généré puis traité en fonction de l'erreur relevée dans le signal **V** par rapport à la référence **V_ref**. Le traitement peut avantageusement être mise en œuvre par un correcteur de type proportionnel intégral. Ainsi, le courant de contrôle **i** est représentatif de la correction à apporter par le système électrique **4** pour réduire, voire annuler, la différence entre référence **V_ref** et signal **V** mesuré, et ainsi compenser l'évolution de la tension du bus **40**. Toutefois, ce courant de contrôle **i** ne fait que fixer la consigne générale à adopter par le système électrique **4**, sans pour

autant discriminer le rôle que chacun des membres du système électrique **4**, et plus précisément les sources électriques **411**, **421**, **431**, aura à jouer dans la régulation en tension.

[0052] A cet égard, le courant de contrôle **i**, est reçu **E1** par un organe de filtrage qui peut lui faire subir un filtrage fréquentiel **E2** de sorte à en déterminer au moins une composante basse fréquence **i_BF** et une composante haute fréquence **i_HF**, lesquelles composantes **i_BF**, **i_HF** sont, en fait, représentatives, respectivement, de la composante basse fréquence et de la composante haute fréquence de l'évolution de la tension sur le bus **40**. De fait, l'évolution du courant de contrôle **i** est représentatif de l'évolution de la tension du bus **40**, par l'intermédiaire du signal **V** mesuré. Pour ce faire comme illustré sur la [Fig.6], le courant de contrôle **i** est, par exemple, dupliqué, puis chacun des jumeaux du courant de contrôle **i** subit un filtrage fréquentiel, l'un basse fréquence et l'autre haute fréquence. Par haute fréquence, il faut comprendre des fréquences supérieures ou égales à 1 Hz et inférieures ou égales à 1000 Hz, tandis que basse fréquence renvoie à des fréquences inférieures à 1 Hz.

[0053] Comme visible sur la [Fig.5] et la [Fig.6], que le courant de contrôle **i** ait subi un filtrage fréquentiel **E2** ([Fig.6]) ou non ([Fig.5]), la consigne **Pref** relative à la séquence de prélèvement est utilisée **E3** pour déterminer **Pref_1** la source électrique **411**, **421**, **431** préférentielle à solliciter pour compenser l'évolution de tension sur le bus **40**. Cette consigne préférentielle **Pref_1** peut être avantageusement combinée **E5** aux seuils **Se1**, **Se2**, **Se3** de prélèvement, lequel peut d'ailleurs, le cas échéant, être adapté **Se1_BF**, **Se2_BF** au prélèvement pour la composante basse fréquence ou pour la composante haute fréquence de l'évolution de la tension du bus **40**, comme c'est le cas sur la [Fig.6]. De cette manière, si la quantité de puissance à injecter sur le bus **40** ne dépasse pas sa limite de prélèvement, c'est uniquement la source électrique **411**, **421**, **431** préférentielle qui est sollicitée. Alternativement, tandis que la source électrique **411**, **421**, **431** est majoritairement (mais pas uniquement) sollicitée, les autres sources électriques **411**, **421**, **431** sont sollicitées à hauteur d'un seuil minium, lequel peut par exemple être transmis par le contrôleur général **7**, de sorte à ce que la somme des puissances à injecter sur le bus **40** permettent de compenser la différence relevée entre la référence **V_ref** et la mesure de la tension **V** du bus **40**. En revanche, quel que soit le mode de mise en œuvre considéré (i.e., avec sollicitation unique ou non de la source électrique **411**, **421**, **431** préférentielle), si la quantité de puissance à injecter sur le bus **40** pour assurer cette compensation dépasse la limite de prélèvement de la source électrique **411**, **421**, **431** préférentielle, cette source électrique **411**, **421**, **431** préférentielle va devoir prélever de la puissance au niveau de sa limite, et le complément est prélever par les autres sources électriques **411**, **421**, **431**. Là encore la consigne **Pref** relative à la séquence de prélèvement est utilisée pour déterminer

Pref_2 la source électrique **411**, **421**, **431** non-préférentielle à solliciter en premier, puis en second **Pref_3**, à cet égard, la logique étant répétée jusqu'à ce que toute l'évolution de la tension du bus **40** ait pu être compensée, chaque source électrique **411**, **421**, **431** sollicitée pour ce faire étant, ou non, à la limite du prélèvement qu'ils peuvent assurer. Typiquement, comme visible sur la [Fig.5] et sur la [Fig.6], cette logique peut être mise en œuvre en modifiant les courants de contrôle filtrés (**i_BF**) ou non (**i**). Les courants de contrôle **i*_pref1**, **i*_pref2**, **i*_pref3**, **i_BF_pref1**, **i_BF_pref2** qui en résultent sont ensuite sélectionnés pour être réalloués **i*_1**, **i*_2**, **i_BF_1**, **i_BF_2** à chaque source électrique **411**, **421**, **431**, en pouvant préalablement subir un dernier traitement pour correspondre aux contraintes propres aux convertisseurs **410**, **420**, **430**.

[0054] La [Fig.6] illustre que la logique de prélèvement préférentiel est appliquée sur la composante basse fréquence **i_BF**, tandis que la composante haute fréquence **i_HF** subit une logique de répartition de prélèvement. Ceci peut s'avérer avantageux dans la mesure où la composante basse fréquence de l'évolution de la tension du bus **40** peut avoir tendance à influencer le point de fonctionnement du moteur **2**, tandis que la composante haute fréquence de l'évolution de la tension du bus **40** influence plutôt la régulation du bus **40**. Néanmoins ceci n'est pas limitatif, puisque et la composante basse fréquence **i_BF** et la composante haute fréquence **i_HF** peuvent subir la logique préférentielle, ou la logique de répartition de prélèvement, ou c'est la composante haute fréquence **i_HF** qui peut subir la logique de prélèvement préférentiel, tandis que la composante basse fréquence **i_BF** subit la logique de répartition de prélèvement. Par ailleurs, la [Fig.6] illustre que seuls les générateurs **411**, **412** à courant alternatif sont sollicités, mais ce qui est décrit en référence à la [Fig.6] peut bien entendu s'étendre au cas où la source de courant continu **431** est également présente.

[0055] Sur la [Fig.6], à partir d'une consigne **Cons** de répartition reçue du contrôleur général **7**, une partie **i_HF_1**, **i_HF_2** dédiée à chaque convertisseur **410**, **420**, **430** est déterminée **E4** pour la composante haute fréquence **i_HF**. Cette consigne **Cons** de répartition prend dans ce cas la forme d'une consigne de répartition **Cons_HP/BP** imposant la répartition de prélèvement entre corps **HP** et corps **BP**. Typiquement, le courant de contrôle filtré est ainsi modifié **i_1_HF**, **i_2_HF** en fonction de la consigne **Cons** de répartition. La [Fig.6] illustre également que les courants de contrôle **i_BF_1**, **i_BF_2** issus de la logique de prélèvement préférentiel et les courants de contrôle **i_1_HF**, **i_2_HF** issus de la logique de répartition, sont sommés, éventuellement combinés **E5** à nouveau avec le seuil **Se_1**, **Se_2** de prélèvement correspondant à chacun des générateurs **411**, **421** sollicités pour s'assurer que celui-ci ne prélèvera pas au-delà de sa limite, et avantageusement traités **i*_1**, **i*_2** à nouveau pour correspondre aux contraintes propres aux convertisseurs **410**, **420**, **430**.

[0056] Chaque convertisseur **410, 420, 430** est piloté **E6**, par exemple à l'aide du courant de contrôle final **CTRL_1, CTRL_2, CTRL_3**, en vue de compenser sa partie de l'évolution de la tension.

Revendications

[Revendication 1] Ensemble pour turbomachine hybridée électriquement (2), comprenant :

- un premier corps rotatif (HP) formant une première source de puissance mécanique ;
- un deuxième corps rotatif (BP) formant une deuxième source de puissance mécanique ; et
- un système électrique (4) comprenant :
 - un bus (40) d'alimentation électrique prévu pour être relié à au moins une charge électrique (400) et configuré pour fournir une puissance électrique à la charge (400) sous forme d'un signal continu ;
 - une pluralité de sources de puissance électrique (411, 421, 431) configurées pour transférer une puissance électrique au bus (40) et comprenant :
 - un premier générateur (411) de courant alternatif relié au premier corps rotatif (222, 262, 282) pour prélever une puissance mécanique sur le premier corps rotatif (222, 262, 282) et la transformer en puissance électrique susceptible d'être transférée au bus (40) ;
 - un deuxième générateur (421) de courant alternatif relié au deuxième corps rotatif (20, 220, 260, 280) pour prélever une puissance mécanique sur le deuxième corps rotatif (20, 220, 260, 280) et la transformer en puissance électrique susceptible d'être transférée au bus (40) ;
 - une pluralité de convertisseurs (410, 420, 430) reliée à la pluralité de sources de puissance électrique (411, 421, 431) et au bus (40), les convertisseurs (410, 420, 430) étant configurés pour réguler le bus (40) en tension à partir d'une puissance électrique fournie par les sources de puissance électrique (411, 421, 431) et comprenant :
 - un premier convertisseur (410) relié au premier générateur (411) de courant alternatif, le premier convertisseur (410) étant relié au bus (40) et configuré pour réguler le bus (40) en tension à partir d'une puissance électrique fournie par le premier générateur (411) de courant alternatif ;
 - un deuxième convertisseur (420) relié au deuxième générateur (421) de courant alternatif, le deuxième convertisseur (420) étant relié au bus (40) et configuré pour réguler le bus (40) en tension à partir d'une puissance électrique fournie par le deuxième générateur (421) de courant alternatif ; et
 - un dispositif de contrôle (412, 422, 432, 4000) relié aux convertisseurs (410, 420, 430) et configuré pour piloter les convertisseurs (410, 420,

430) en vue de compenser une évolution d'une tension du bus (40) par sollicitation successive des sources de puissance électrique (411, 421, 431) selon une séquence de prélèvement déterminée.

[Revendication 2]

Ensemble selon la revendication 1, dans lequel :

la pluralité de sources de puissance électrique (411, 421, 431) comprend une source de courant continu (431) ;

la pluralité de convertisseurs (410, 420, 430) comprend un troisième convertisseur (432) relié à la source de courant continu (431) et au bus (40), le troisième convertisseur (432) étant configuré pour réguler le bus (40) en tension à partir d'une puissance fournie par la source de courant continu (431) ; et

le dispositif de contrôle (412, 422, 432, 4000) est relié au troisième convertisseur (432).

[Revendication 3]

Ensemble selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel chaque convertisseur (410, 420, 430) comprend un organe de contrôle (412, 422, 432) configuré pour piloter le convertisseur (410, 420, 430), le dispositif de contrôle (412, 422, 432, 4000) comprenant en outre un organe central (4000) configuré pour :

recevoir une consigne (Pref) relative à la séquence de prélèvement ; et transmettre à chacun des organes de contrôle (412, 422, 432) un signal de commande (CTRL_1, CTRL_2, CTRL_3) pour le pilotage des convertisseurs (410, 420, 430), le signal de commande (CTRL_1, CTRL_2, CTRL_3) ayant été généré à partir de la consigne (Pref).

[Revendication 4]

Ensemble selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le dispositif de contrôle (412, 422, 432, 4000) est en outre configuré pour piloter les convertisseurs (410, 420, 430) en fonction d'un seuil de prélèvement (Se1, Se2, Se3) propre à chacune des sources de puissance électrique (411, 421, 431).

[Revendication 5]

Ensemble selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le dispositif de contrôle (412, 422, 432, 4000) est en outre configuré pour :

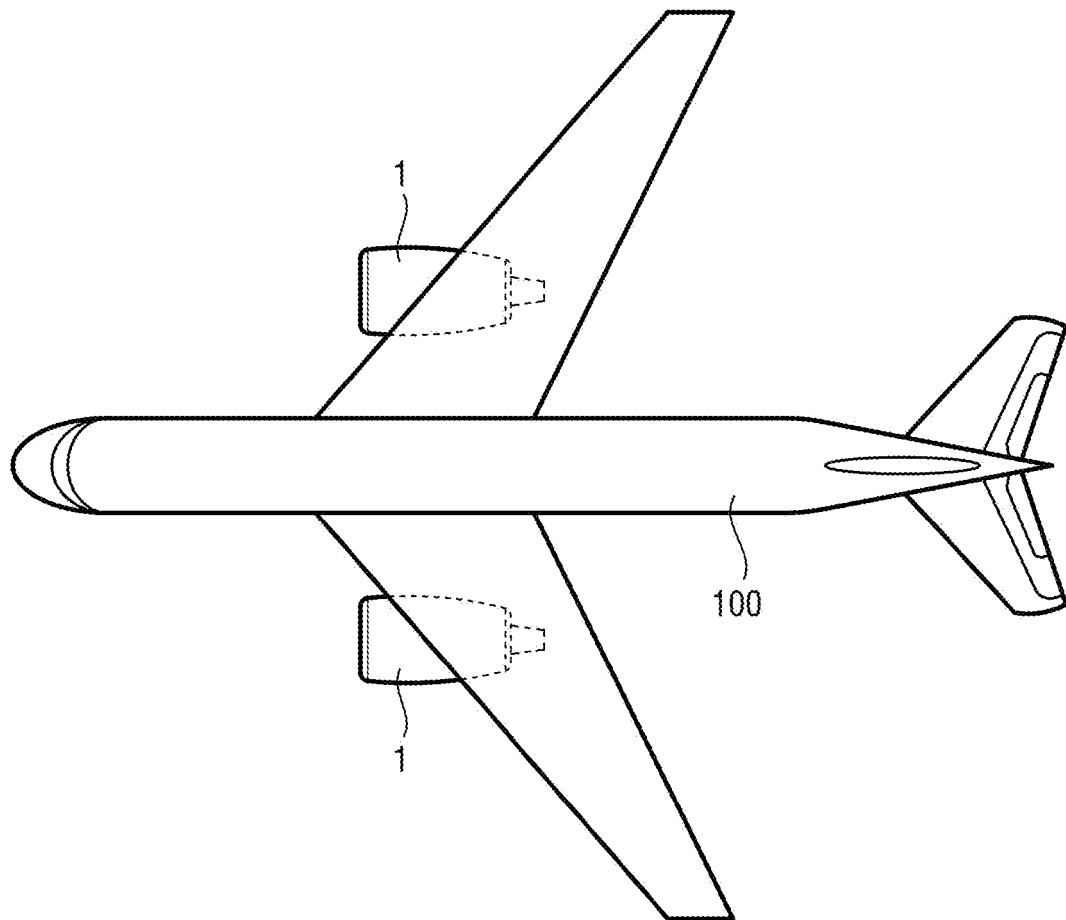
recevoir un signal de contrôle (i) représentatif d'une correction associée à une différence entre une mesure (V) d'une tension du bus (40) et une référence (V_ref), la différence étant représentative de l'évolution de la tension du bus (40) ; et

réaliser un filtrage fréquentiel du signal de contrôle (i) de sorte à en déterminer au moins une composante basse fréquence (i_BF) et au moins une composante haute fréquence (i_HF), le pilotage des convertisseurs (410, 420, 430) étant mis en œuvre à partir de l'une au moins de la

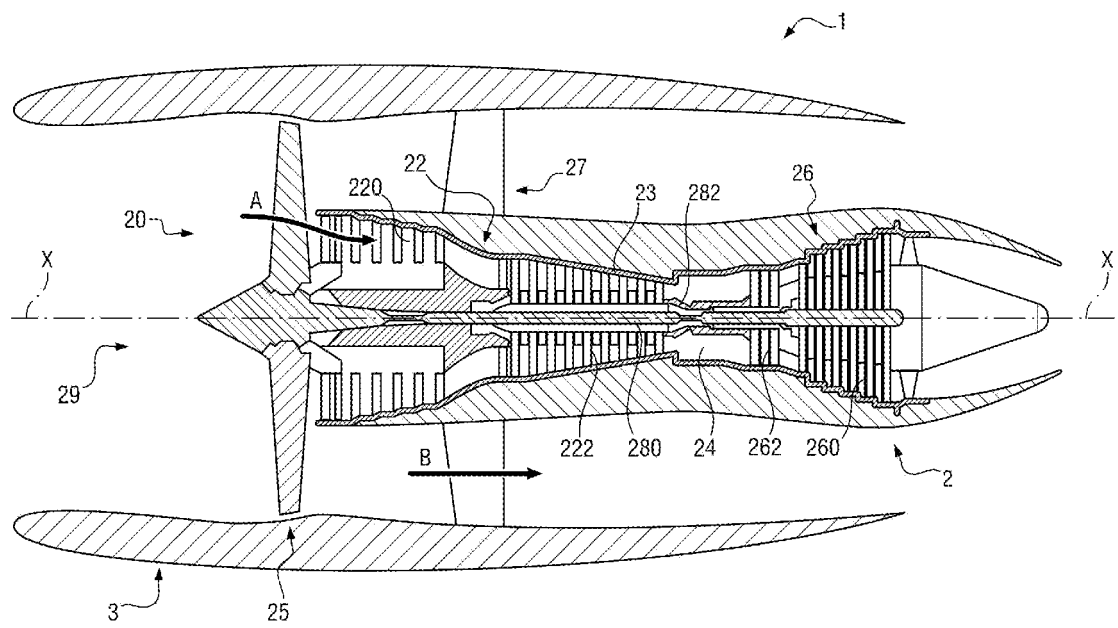
- composante basse fréquence (i_{BF}) et de la composante haute fréquence (i_{HF}).
- [Revendication 6] Ensemble selon la revendication 5, dans lequel le dispositif de contrôle (412, 422, 432, 4000) est configuré pour piloter les convertisseurs (410, 420, 430) à partir de la composante basse fréquence (i_{BF}).
- [Revendication 7] Ensemble selon l'une des revendications 5 et 6, dans lequel le dispositif de contrôle (412, 422, 432, 4000) est configuré pour piloter les convertisseurs (410, 420, 430) à partir de la composante haute fréquence (i_{HF}).
- [Revendication 8] Ensemble selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le dispositif de contrôle (412, 422, 432, 4000) est en outre configuré pour piloter les convertisseurs (410, 420, 430) en fonction d'une consigne (Cons) de répartition de prélèvement entre les sources de puissance électrique (411, 421, 431).
- [Revendication 9] Procédé de contrôle (E) d'un ensemble selon l'une des revendications 1 à 8, le procédé étant mis en œuvre par le dispositif de contrôle (412, 422, 432, 4000) et comprenant le pilotage (E6) des convertisseurs (410, 420, 430) en vue de compenser une évolution d'une tension du bus (40) par sollicitation successive des sources de puissance électrique (411, 421, 431) selon une séquence de prélèvement prédéterminée.
- [Revendication 10] Procédé de contrôle (E) selon la revendication 9, dans lequel le pilotage (E6) selon une séquence de prélèvement prédéterminée comprend la sollicitation d'une source de puissance électrique (411, 421, 431) préférentielle parmi la pluralité de sources de puissance électrique (411, 421, 431) jusqu'à atteindre une limite de prélèvement de la source de puissance électrique (411, 421, 431) préférentielle, les autres sources de puissance électriques (411, 421, 431) n'étant pas sollicitées, puis la sollicitation successive d'autres sources de puissance électrique (411, 421, 431) une fois la limite de prélèvement dépassée.
- [Revendication 11] Procédé de contrôle (E) selon la revendication 9, dans lequel le pilotage (E6) selon une séquence de prélèvement prédéterminée comprend la sollicitation d'une source de puissance électrique (411, 421, 431) préférentielle parmi la pluralité de sources de puissance électrique (411, 421, 431) jusqu'à atteindre une limite de prélèvement de la source de puissance électrique (411, 421, 431) préférentielle, les autres sources de puissance électriques (411, 421, 431) étant en outre sollicitées à un seuil minimal de puissance, puis la sollicitation successive d'autres sources de puissance électrique (411, 421, 431) une fois la limite de prélèvement

dépassée.

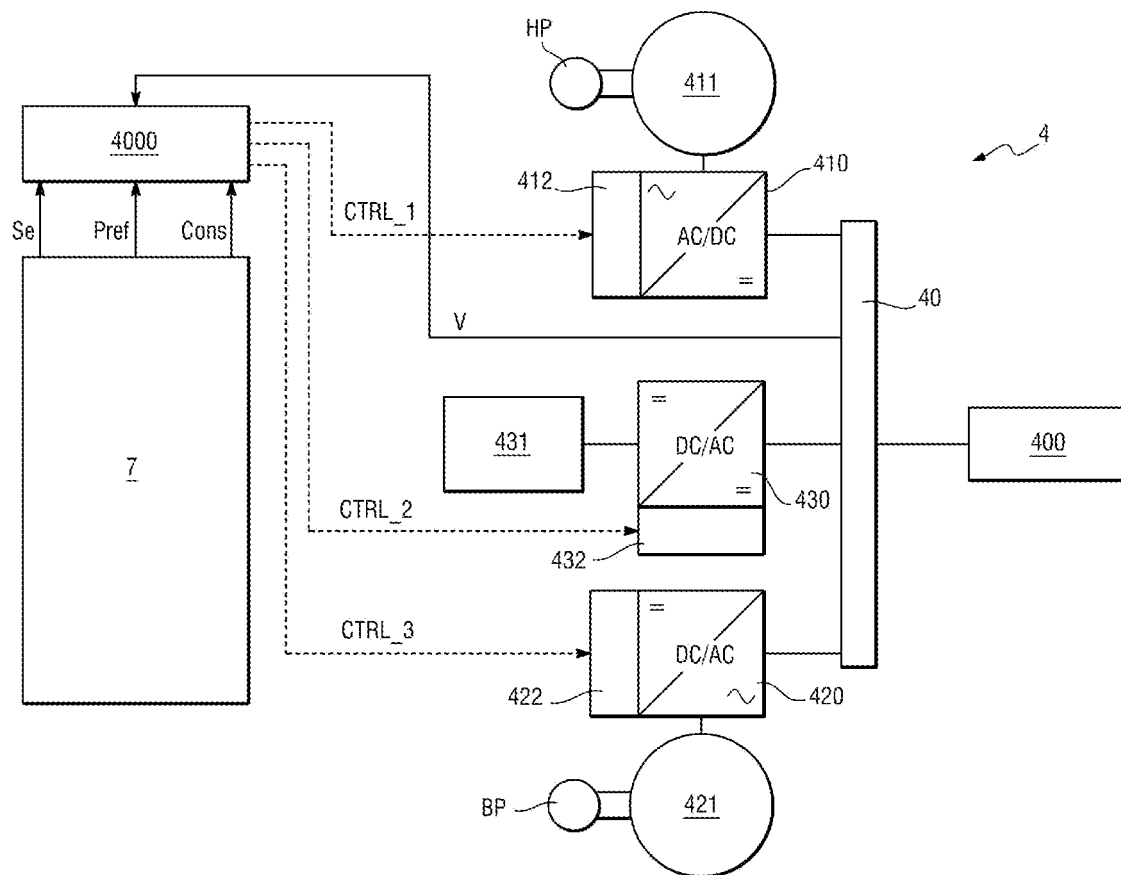
[Fig. 1]



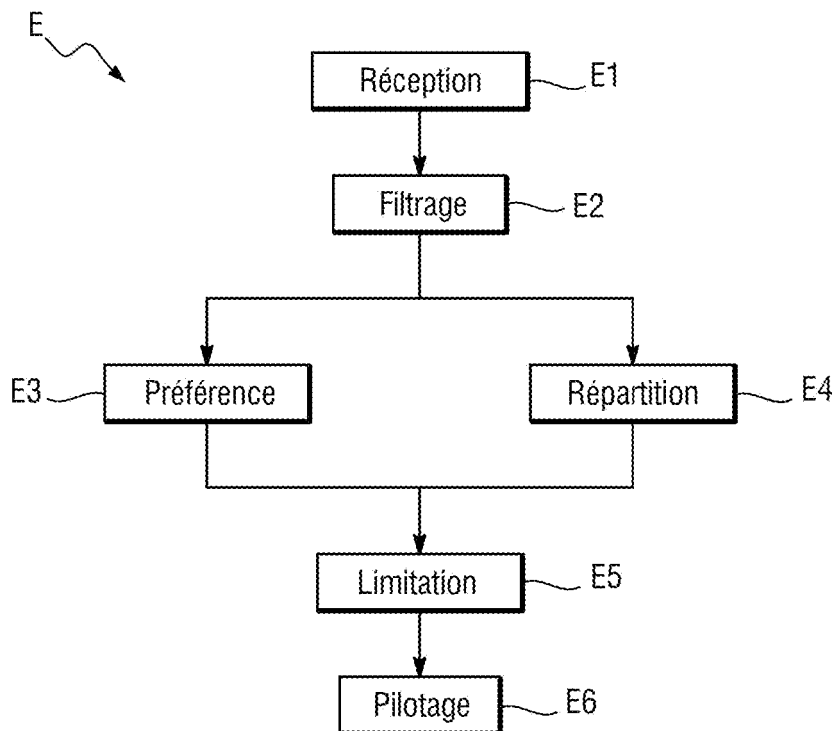
[Fig. 2]



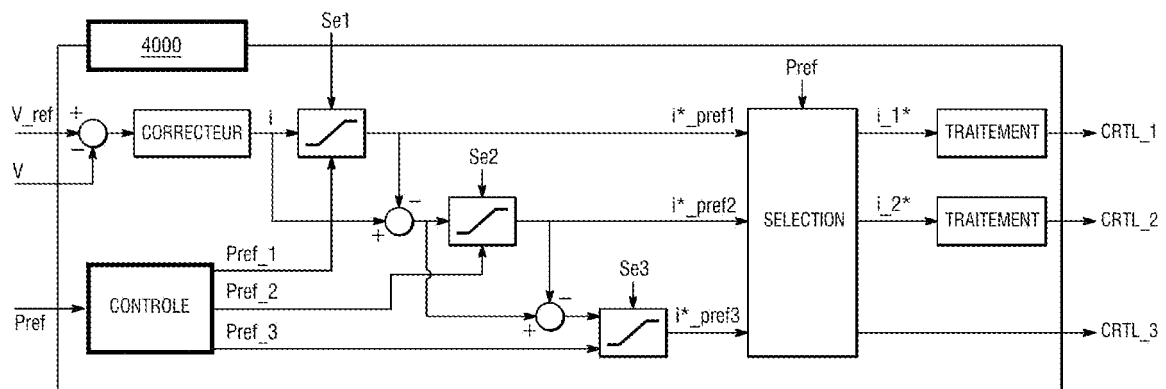
[Fig. 3]



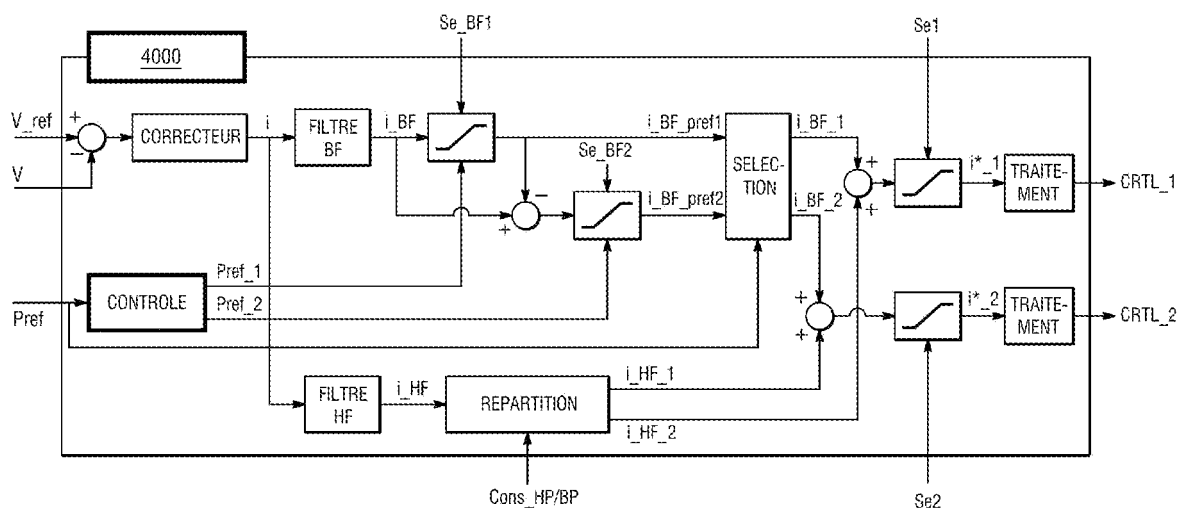
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 908350
FR 2206972

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	CN 108 691 653 A (GE AVIATION SYSTEMS LLC) 23 octobre 2018 (2018-10-23) * figures 3-4 * -----	1-11	B64D27/24 B64D41/00 F02C7/32 B64D31/00 F02C7/275 F01D15/10 F02N11/04 F02N11/08 H02P9/10
A	US 2017/297732 A1 (WALTNER PETER JAMES [US] ET AL) 19 octobre 2017 (2017-10-19) * alinéa [0026] - alinéa [0027] * -----	5-7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H02J B64D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
8 février 2023		Bourdon, Jérémy	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2206972 FA 908350

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **08-02-2023**

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

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

US 2017297732	A1	19-10-2017	EP	3162713 A1	03-05-2017
			US	2017297732 A1	19-10-2017