(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
27 mars 2025 (27.03.2025)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2025/062033 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H02J 1/10 (2006.01) *G05B 5/00* (2006.01)
B64D 41/00 (2006.01) *G05B 11/36* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2024/076616

(22) Date de dépôt international :
23 septembre 2024 (23.09.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2310093 23 septembre 2023 (23.09.2023) FR

(71) Déposant : **SAFRAN ELECTRICAL & POWER** [FR/FR] ; Parc d'Activité Andromède, 1 Rue Louis Blériot, CS80049, 31702 BLAGNAC (FR).

(72) Inventeurs : **BEGGIORA, Geoffrey** ; SAFRAN CEPI, Rond-Point René Ravaud, Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). **MAUVIEL, Quentin** ; SAFRAN CEPI, Rond-Point René Ravaud, Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). **BUFFO, Marc** ; SAFRAN CEPI, Rond-Point René Ravaud, Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR).

(74) Mandataire : **ARGYMA** ; 14 Boulevard de Strasbourg, 31000 TOULOUSE (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA,

(54) Title: ELECTRICAL GENERATION SYSTEM AND METHOD, FOR SUPPLYING POWER TO AT LEAST ONE ELECTRICAL NETWORK OF AN AIRCRAFT

(54) Titre : SYSTÈME ET PROCÉDÉ DE GÉNÉRATION ÉLECTRIQUE POUR ALIMENTER AU MOINS UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE D'UN AÉRONEF

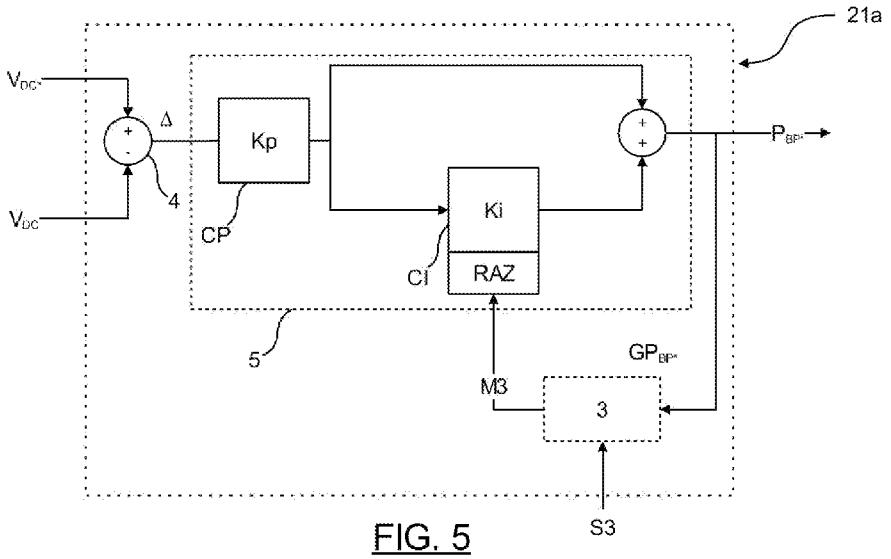


FIG. 5

(57) **Abstract:** The invention relates to an electrical generation method for supplying power to at least one electrical network of an aircraft using an electrical generation system, the aircraft comprising two power supply paths, each power supply path comprising an electrical converter and an electrical generator, the electrical system comprising two regulation units (21a) respectively associated with each power supply path, each regulation unit (21a) comprising a correction module (5) comprising an integral corrector (CI), the method comprising steps consisting, for the correction module (5), in: determining a power setpoint (P_{BP*}), from a distribution voltage setpoint (V_{DC*}) and from a measurement of the distribution voltage (V_{DC}), determining a divergence indicator (M3) from a gradient (GP_{BP*}) of the power setpoint (P_{BP*}), and resetting the integral corrector (CI) of the regulation unit (21a) of the power supply path depending on the divergence indicator (M3).

(57) **Abrégé :** Un procédé de génération électrique pour alimenter au moins un réseau électrique d'un aéronef à partir d'un

[Suite sur la page suivante]

WO 2025/062033 A1

CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

— *en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.*

système de génération électrique, l'aéronef comprenant deux voies d'alimentation, chaque voie d'alimentation comprenant un convertisseur électrique et une génératrice électrique, le système électrique comprenant deux unités de régulation (21a) associées respectivement à chaque voie d'alimentation, chaque unité de régulation (21a) comprenant un module de correction (5) comprenant un correcteur intégral (CI), le procédé comportant des étapes consistant à, pour ledit module de correction (5) :déterminer une consigne de puissance (P_{BP*}), à partir d'une consigne de tension de distribution (V_{DC*}) et d'une mesure de la tension de distribution (V_{DC}), déterminer un indicateur de divergence (M3) à partir d'un gradient (GP_{BP*}) de la consigne de puissance (P_{BP*}), et réinitialiser le correcteur intégral (CI) de l'unité de régulation (21a) de la voie d'alimentation en fonction de l'indicateur de divergence (M3).

Description

Titre de l'invention : Système et procédé de génération électrique pour alimenter au moins un réseau électrique d'un aéronef

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un système de génération électrique pour un aéronef.

[0002] Le changement climatique est une préoccupation majeure pour de nombreux organes législatifs et de régulation à travers le monde. En effet, diverses restrictions sur les émissions de carbone ont été, sont ou seront adoptées par divers Etats. En particulier, une norme ambitieuse s'applique à la fois aux nouveaux types d'aéronefs mais aussi à ceux en circulation nécessitant de devoir mettre en œuvre des solutions technologiques afin de les rendre conformes aux réglementations en vigueur. L'aviation civile se mobilise depuis maintenant plusieurs années pour apporter une contribution à la lutte contre le changement climatique.

[0003] Les efforts de recherche technologique ont déjà permis d'améliorer de manière très significative les performances environnementales des aéronefs. La Déposante prend en considération les facteurs impactant dans toutes les phases de conception et de développement pour obtenir des composants et des produits aéronautiques moins énergivores, plus respectueux de l'environnement et dont l'intégration et l'utilisation dans l'aviation civile ont des conséquences environnementales modérées dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique des aéronefs.

[0004] Ces travaux de recherche et de développement soutenus portent notamment sur de nouvelles générations de moteurs d'aéronef hybrides thermiques et électriques. L'objectif de la Déposante est notamment de développer des aéronefs intégrant un système de génération électrique de forte puissance. Ceci permettrait d'augmenter la part des équipements électriques à bord afin de réduire la consommation de carburant.

[0005] En pratique, dans une turbomachine d'aéronef classique, il est connu d'intégrer un générateur électrique qui prélève de l'énergie mécanique sur un unique arbre de la turbomachine d'aéronef pour produire de l'énergie électrique qui est distribuée à une unité de distribution d'énergie électrique.

[0006] Pour augmenter la génération d'énergie électrique, en référence à la [Fig.1], il a été proposé un système de génération électrique 100 configuré pour prélever, d'une part, de l'énergie mécanique sur un arbre basse pression BP et, d'autre part, de l'énergie mécanique sur un arbre haute pression HP d'une turbomachine d'aéronef T pour alimenter un réseau électrique de l'aéronef REA avec une tension de distribution calibrée. Autrement dit, le système de génération électrique 100 comporte au moins deux voies d'alimentation, ici, une voie BP et une voie HP. Le système de génération

électrique 100 peut être par ailleurs relié à des sources électriques BAT ou des charges électriques LOAD.

[0007] En pratique, le système de génération électrique 100 est configuré pour recevoir une consigne de génération P_{ECU} issue d'un calculateur ECU de la turbomachine T. Cette consigne de génération P_{ECU} permet de déterminer, par exemple, la quantité de puissance électrique à générer, le prélèvement mécanique sur chaque arbre, etc. Autrement dit, la consigne de génération P_{ECU} permet de déterminer la stratégie d'hybridation retenue.

[0008] En référence à la [Fig.2], le système de génération électrique 100 comporte deux génératrices G1, G2 reliées respectivement à l'arbre basse pression BP et à l'arbre haute pression HP de la turbomachine T. Le système de génération électrique 100 comporte en outre deux convertisseurs C1, C2, en particulier des onduleurs, qui sont respectivement associés aux deux génératrice G1, G2. Chaque génératrice G1, G2 génère un courant alternatif qui est ensuite redressé par son convertisseur C1, C2 pour fournir une tension de distribution V_{DC} à une unité de distribution électrique EDU qui est reliée électriquement au réseau électrique de l'aéronef REA, aux sources électriques BAT ou aux charges électriques LOAD.

[0009] Il est présenté dans cet exemple une application liée à la génération électrique mais l'invention s'applique plus généralement au domaine de l'hybridation dans lequel une machine électrique remplit, d'une part, une fonction de générateur pour prélever de la puissance mécanique sur l'arbre basse pression BP ou sur l'arbre haute pression HP et, d'autre part, une fonction de moteur pour injecter de la puissance mécanique sur l'arbre basse pression BP ou sur l'arbre haute pression HP. Pour une fonction moteur, chaque convertisseur C1, C2 peut également convertir la tension continue V_{DC} pour alimenter en courant alternatif respectivement les deux machines électriques G1, G2 afin d'injecter de la puissance.

[0010] Par souci de clarté et de concision, il n'est présenté que la fonction génératrice. Pour une fonction moteur, le calculateur ECU fournit une consigne d'injection P_{ECU} permettant de déterminer, par exemple, l'injection de puissance mécanique sur chaque arbre, etc. Le système d'hybridation est bidirectionnel pour permettre la génération de puissance électrique mais également l'injection de puissance mécanique.

[0011] De manière connue, chaque convertisseur C1, C2 comporte une pluralité d'interrupteurs, en particulier des transistors de puissance, qui permettent de modifier la puissance électrique générée et la puissance électrique prélevée par chaque génératrice G1, G2 sur chaque arbre BP, HP. Le système de génération électrique 100 comporte un dispositif de contrôle 200 pour émettre des consignes de paramétrage P_{CONS1}, P_{CONS2} à chaque convertisseur C1, C2 en fonction de la consigne de génération

P_{ECU} de manière à obtenir une tension de distribution V_{DC} qui soit adaptée à l'unité de distribution électrique EDU.

[0012] En pratique, la mise en parallèle des convertisseurs C1, C2 doit se faire avec des lois de contrôle appropriées pour garantir la qualité du réseau électrique et la maitrise du partage de puissance. Plusieurs stratégies de contrôle de la tension peuvent être appliquées. Il est notamment connu une stratégie de contrôle centralisé, dans laquelle le contrôle des différents équipements électriques est effectué par une unique boucle de contrôle de tension. Cette stratégie ne permet cependant pas un contrôle indépendant de chaque convertisseur électrique C1, C2.

[0013] Il est connu d'utiliser une stratégie de contrôle décentralisée, dans laquelle la tension de chaque équipement électrique est contrôlée par une boucle de contrôle différente. Pour réaliser cette stratégie décentralisée, il est connu d'utiliser un contrôle de type «Droop», connu de l'Homme du métier, permettant une indépendance des boucle de contrôles. Ce type de contrôle présente cependant l'inconvénient de provoquer la création d'une erreur statique dans la commande en sortie. En effet, lorsqu'une perturbation est détectée, chaque boucle de contrôle va chercher à la compenser. Ces compensations peuvent provoquer une divergence de la commande. Cela crée une instabilité du système de génération électrique. Il est connu de corriger cette erreur statique par l'utilisation d'une communication entre les boucles de contrôle, mais cela supprime alors l'indépendance de chaque boucle de contrôle et augmente la complexité.

[0014] L'invention vise ainsi à éliminer au moins certains de ces inconvénients afin d'obtenir une commande indépendante de plusieurs voies d'alimentation électrique.

PRESENTATION DE L'INVENTION

[0015] L'invention concerne un procédé de génération électrique pour alimenter au moins un réseau électrique d'un aéronef à partir d'un système de génération électrique, l'aéronef comprenant au moins une turbomachine d'aéronef, le système électrique comprenant deux voies d'alimentation, chaque voie d'alimentation comprenant un convertisseur électrique et une génératrice électrique entrainée par la turbomachine, le système électrique comprenant deux unités de régulation associées respectivement à chaque voie d'alimentation, chaque unité de régulation comprenant un module de correction comprenant un correcteur intégral, le procédé comportant des étapes consistant à, pour ledit module de correction, :

- Déterminer une consigne de puissance, à partir d'une consigne de tension de distribution et d'une mesure de la tension de distribution,
- Déterminer un indicateur de divergence à partir d'un gradient de la consigne de puissance,

- Réinitialiser le correcteur intégral de l'unité de régulation de la voie d'alimentation en fonction de l'indicateur de divergence.

[0016] La réinitialisation du correcteur intégral lors d'une divergence permet d'écarter tout risque d'instabilité temporaire pour générer de manière optimale de l'énergie pour un aéronef. L'invention permet avantageusement d'empêcher la divergence des unités de régulation sans communication entre les voies d'alimentation, et permet ainsi une commande indépendante stable et sans erreur statique de chaque voie d'alimentation.

[0017] Selon un aspect, l'indicateur de divergence est déterminé à partir de la comparaison entre le gradient de la consigne de puissance et un seuil de gradient prédéterminé. Le seuil de gradient déterminé permet de régler la sensibilité de la réinitialisation.

[0018] Selon un aspect, une limitation en variation dans le temps est appliquée à la consigne de puissance en fonction d'un seuil de gradient prédéterminé afin de déterminer une valeur seuil. L'indicateur de divergence est déterminé à partir de la comparaison entre la consigne de puissance et la valeur seuil. Cet indicateur de divergence active la réinitialisation du correcteur intégral. Le seuil de gradient prédéterminé permet de régler la sensibilité de la réinitialisation.

[0019] Selon un aspect, l'unité de régulation comprend un correcteur proportionnel.

[0020] Selon un aspect, l'unité de régulation comprend un correcteur dérivé.

[0021] Selon un aspect, le correcteur intégral et le correcteur proportionnel sont montés en cascade. Selon un autre aspect, le correcteur intégral et le correcteur proportionnel sont montés en série. Les unités de régulation peuvent être déterminées de manière libre. Cela permet avantageusement de les adapter en fonction du besoin.

[0022] L'invention concerne également un système de génération électrique pour alimenter au moins un réseau électrique d'un aéronef comprenant au moins une turbomachine, le système électrique comprenant deux voies d'alimentation, chaque voie d'alimentation comprenant un convertisseur électrique et une génératrice électrique entrainée par la turbomachine, le système électrique comprenant un dispositif de contrôle, le dispositif de contrôle comprenant deux unités de régulation associées respectivement à chaque voie d'alimentation, chaque unité de régulation comprenant un module de correction comprenant un correcteur intégral, chaque unité de régulation étant configurée pour :

- Déterminer une consigne de puissance, à partir d'une consigne de tension de distribution et d'une mesure de la tension de distribution,
- Déterminer un indicateur de divergence à partir d'un gradient de la consigne de puissance,
- Réinitialiser le correcteur intégral de l'unité de régulation de la voie d'alimentation en fonction de l'indicateur de divergence.

[0023] L'invention concerne également une turbomachine hybridée électriquement comprenant un système de génération électrique tel que présentée précédemment.

[0024] L'invention concerne également un aéronef comprenant au moins une turbomachine telle que présentée précédemment.

[0025] L'invention concerne également un produit de type programme d'ordinateur, comprenant au moins une séquence d'instructions stockée et lisible par un processeur et qui, une fois lue par ce processeur, provoque la réalisation des étapes du procédé tel que présenté précédemment.

[0026] L'invention concerne en outre un support lisible par un ordinateur comportant le produit de type programme d'ordinateur tel que présenté précédemment.

PRESENTATION DES FIGURES

[0027] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple, et se référant aux figures suivantes, données à titre d'exemples non limitatifs, dans lesquelles des références identiques sont données à des objets semblables.

[0028] La [Fig.1] est une représentation schématique d'un système de génération électrique prélevant de l'énergie mécanique sur une turbomachine d'aéronef.

[0029] La [Fig.2] est une représentation schématique du système de génération électrique avec ses génératrices, ses convertisseurs, une unité de distribution électrique et un dispositif de contrôle.

[0030] La [Fig.3] est une représentation schématique d'un système de génération électrique selon l'invention.

[0031] La [Fig.4] est une représentation schématique d'un dispositif de contrôle selon l'invention.

[0032] La [Fig.5] est une représentation schématique d'une première forme de réalisation d'une unité de régulation selon l'invention, présentant des contrôleurs montés en série.

[0033] La [Fig.6] est une représentation schématique d'une deuxième forme de réalisation d'une unité de régulation selon l'invention, présentant des contrôleurs montés en parallèle.

[0034] La [Fig.7] est une représentation schématique d'une première forme de réalisation d'un module de détermination de divergence selon l'invention.

[0035] La [Fig.8] est une représentation schématique d'une deuxième forme de réalisation d'un module de détermination de divergence selon l'invention.

[0036] Il faut noter que les figures exposent l'invention de manière détaillée pour mettre en œuvre l'invention, lesdites figures pouvant bien entendu servir à mieux définir l'invention le cas échéant.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0037] En référence à la [Fig.3], il est représenté un système de génération électrique 1 pour un aéronef. L'aéronef comprend une turbomachine T comprenant un arbre basse

pression BP et un arbre haute pression HP. Dans cet exemple, la turbomachine T comporte un compresseur basse pression 71 et une turbine basse pression 74 qui sont reliées par l'arbre basse pression BP et un compresseur haute pression 72 et une turbine haute pression 73 qui sont reliées par l'arbre haute pression HP.

[0038] Le système de génération électrique 1 est configuré pour prélever, d'une part, de l'énergie mécanique sur l'arbre basse pression BP et, d'autre part, de l'énergie mécanique sur l'arbre haute pression HP pour alimenter un réseau électrique de l'aéronef REA avec une tension calibrée. Le système de génération électrique 1 peut être par ailleurs relié à des sources électriques BAT ou des équipements électriques à alimenter LOAD.

[0039] En pratique, comme cela sera présenté par la suite, le système de génération électrique 1 permet plus généralement une hybridation électrique pour permettre de prélever ou d'injecter de la puissance à la turbomachine T.

[0040] Le système de génération électrique 1 est configuré pour recevoir une consigne de génération P_{ECU} issue d'un calculateur ECU de la turbomachine T. Cette consigne de génération P_{ECU} permet de déterminer, par exemple, la quantité de puissance électrique à générer, le prélèvement mécanique sur chaque arbre, etc. Autrement dit, la consigne de génération P_{ECU} permet de déterminer la stratégie d'hybridation retenue. En pratique, la consigne de génération P_{ECU} se présente sous la forme d'une consigne de puissance dite « Setpoint PS » ou d'une consigne de partage de puissance dite « Mode PS ».

[0041] En référence à la [Fig.3], le système de génération électrique 1 comporte deux génératrices G1, G2 reliées respectivement à l'arbre basse pression BP et à l'arbre haute pression HP de la turbomachine T. Le système de génération électrique 1 comporte une première voie d'alimentation V1 et une deuxième voie d'alimentation V2 qui sont, dans cet exemple, indépendantes.

[0042] La première voie d'alimentation V1 comprend :

- Une première génératrice G1 configurée pour générer un courant alternatif en prélevant de l'énergie mécanique sur l'arbre basse pression BP et
- Un premier convertisseur C1, associé à la première génératrice G1, pour convertir le courant alternatif généré en une première intensité de distribution en fonction de son paramétrage, le premier convertisseur C1 générant une première puissance P_{BP} qui est fonction d'une tension de distribution V_{DC}.

[0043] La deuxième voie d'alimentation V2 comprend :

- Une deuxième génératrice G2 configurée pour générer un courant alternatif en prélevant de l'énergie mécanique sur l'arbre haute pression HP et

- Un deuxième convertisseur C2, associé à la deuxième génératrice G2, pour convertir le courant alternatif généré en une deuxième intensité de distribution en fonction de son paramétrage, le deuxième convertisseur C2 générant une deuxième puissance P_{HP} qui est fonction de la tension de distribution V_{DC}.

[0044] Dans cet exemple, la première voie d'alimentation V1 est associée à un prélèvement de puissance sur un arbre basse pression BP tandis que la deuxième voie d'alimentation V2 est associée à un prélèvement de puissance sur un arbre haute pression HP. Il va de soi que l'inverse est également possible.

[0045] Dans cet exemple, les génératrices G1, G2 sont de préférence des machines électriques capables de fonctionner selon un mode générateur un ou mode moteur. De manière connue, chaque machine électrique comporte un rotor solidaire d'un arbre tournant (ici un arbre BP ou un arbre HP) et un stator comportant des enroulements de manière à générer des courants alternatifs triphasés. De manière préférée, la vitesse et la position angulaire de chaque génératrice G1, G2 sont disponibles. La structure et le fonctionnement d'une telle machine électrique sont connus et ne seront pas présentés plus en détails.

[0046] En référence à la [Fig.3], le système de génération électrique 1 comporte une unité de distribution électrique EDU qui est reliée électriquement au réseau électrique de l'aéronef REA, aux sources électriques BAT ou aux charges électriques LOAD.

[0047] Chaque convertisseur C1, C2 assure une tension de distribution V_{DC} à l'unité de distribution électrique EDU. De préférence, l'unité de distribution électrique EDU comporte un bus de tension.

[0048] De manière connue, chaque convertisseur C1, C2 comporte une pluralité d'interrupteurs, en particulier des transistors, qui permettent de modifier la puissance électrique générée et la puissance mécanique prélevée sur chaque arbre BP, HP pour adapter l'intensité de distribution en fonction des besoins.

[0049] Selon l'invention, en référence à la [Fig.3], le système de génération électrique 1 comporte un dispositif de contrôle 2 configuré pour déterminer une première consigne de paramétrage P_{CONS1} pour le premier convertisseur C1 et une deuxième consigne de paramétrage P_{CONS2} pour le deuxième convertisseur C2.

[0050] De manière préférée, chaque consigne de paramétrage P_{CONS1}, P_{CONS2} se présente sous la forme d'un signal de modulation de largeur d'impulsion (MLI). Une telle consigne de paramétrage P_{CONS1}, P_{CONS2} permet de commander la commutation des transistors des convertisseurs C1, C2.

[0051] En référence à la [Fig.4], le dispositif de contrôle 2 comprend une première unité de traitement 22a configurée pour déterminer une première consigne de paramétrage P_{CONS1} pour le premier convertisseur C1 à partir d'une première consigne de puissance

P_{BP*}. De plus, le dispositif de contrôle 2 comprend une première unité de régulation 21a configurée pour déterminer la première consigne de puissance P_{BP*} en fonction d'une consigne de tension de distribution V_{DC*} et d'une mesure de la tension de distribution V_{DC}. La première unité de régulation 21a est également configurée pour recevoir la consigne de génération P_{ECU}, et déterminer à partir de cette dernière la première consigne de puissance P_{BP*} ; ce dernier aspect étant connu de l'Homme du Métier, il ne sera pas présenté par la suite.

[0052] Le dispositif de contrôle 2 comprend également une deuxième unité de traitement 22b configurée pour déterminer une deuxième consigne de paramétrage P_{CONS2} pour le deuxième convertisseur C2 à partir d'une deuxième consigne de puissance P_{HP*}. De plus, le dispositif de contrôle 2 comprend une deuxième unité de régulation 21b configurée pour déterminer la deuxième consigne de puissance P_{HP*} en fonction d'une consigne de tension de distribution V_{DC*}et d'une mesure de la tension de distribution V_{DC}. La deuxième unité de régulation 21b est également configurée pour recevoir la consigne de génération P_{ECU}, et déterminer à partir de cette dernière la deuxième consigne de puissance $P_{H\ P*}$; ce dernier aspect étant connu de l'Homme du Métier, il ne sera pas présenté par la suite.

[0053] Selon une autre forme de réalisation, le système de génération électrique 1 ne comprend pas de dispositif de contrôle 2, et la première unité de régulation 21a et la première unité de traitement 22a sont réunies dans le premier convertisseur C1, tandis que la deuxième unité de régulation 21b et la deuxième unité de traitement 22b sont réunies dans le deuxième convertisseur C2.

[0054] En référence à la [Fig.5], il est représenté une forme de réalisation de la première unité de régulation 21a pour déterminer la première consigne de puissance P_{BP*}. La deuxième unité de régulation 21b présente une architecture analogue et ne sera pas présentée par la suite. Par souci de clarté et de concision, il ne sera présenté que la première unité de régulation 21a.

[0055] La première unité de régulation 21a comporte un comparateur 4 configuré pour déterminer un écart Δ entre la consigne de tension de distribution V_{DC*}et la mesure de la tension de distribution V_{DC}. De préférence, la première unité de régulation 21a tient compte de la consigne de génération P_{ECU} pour déterminer la première consigne de puissance P_{BP*}. Par souci de clarté et de concision, la prise en compte de la consigne de génération P_{ECU}ne va pas être présentée.

[0056] Dans cet exemple, la première unité de régulation 21a comporte en outre un module de correction 5 qui comporte un correcteur proportionnel CP, présentant un gain proportionnel Kp, et un correcteur intégral CI présentant un gain intégral Ki. De tels correcteurs permettent de réaliser une régulation visant à diminuer l'écart Δ

pour fournir en sortie la première consigne de puissance P_{BP*}. Un correcteur du type proportionnel intégral est connu de l'Homme du métier et ne sera pas présenté par la suite. Il permet avantageusement d'annuler l'erreur statique.

[0057] De manière connue, le correcteur intégral CI est configuré pour déterminer un paramètre de correction qui est déterminé entre un instant initial t0 et un instant courant tx. Au fur et à mesure que la correction s'effectue, le paramètre de correction comporte une erreur statique qui augmente. Dans cet exemple, le correcteur intégral CI comporte un module de remise à zéro RAZ qui est configuré pour réinitialiser le correcteur intégral CI. En particulier, le module de remise à zéro RAZ est configuré pour déterminer la correction par rapport à un nouvel instant initial t0' qui correspond à l'instant courant tx déterminé lors de l'activation de la remise à zéro. Cela permet avantageusement d'arrêter l'effet intégral du correcteur CI dans certains cas afin de maitriser la dynamique de l'intégrale, de limiter les surtensions et les sous-tensions de la tension de distribution Vdc et de supprimer les instabilités entre les convertisseurs C1 et C2.

[0058] Dans cette forme de réalisation de la [Fig.5], le correcteur proportionnel CP et le correcteur intégral CI sont montés en série. Selon une autre forme de réalisation, représentée sur la [Fig.6], le correcteur proportionnel CP et le correcteur intégral CI sont montés en parallèle. Cette autre forme de réalisation sera présentée par la suite.

[0059] Il va de soi que le module de correction 5 pourrait comporter également d'autres correcteurs, en particulier, un correcteur dérivé. Selon une forme de réalisation, le module de correction 5 ne comporte qu'un correcteur intégral CI, c'est-à-dire, le module de correction 5 est dénué de correcteur proportionnel CP.

[0060] Toujours en référence à la [Fig.5], la première unité de régulation 21a comporte également un module de détermination de divergence 3 configuré pour déterminer un indicateur de divergence M3, en particulier un booléen, à partir de la première consigne de puissance P_{BP*} issue du module de correction 5.

[0061] Le module de détermination de divergence 3 est relié au module de remise à zéro RAZ. Le module de remise à zéro RAZ est configuré pour s'activer en fonction de l'indicateur de divergence M3. Comme illustré à la [Fig.5], le module de détermination de divergence 3 est configuré pour déterminer l'indicateur de divergence M3 à partir d'un gradient GP_{BP*}de la première consigne de puissance P_{BP*}. En effet, le gradient GP_{BP*}de la première consigne de puissance P_{BP*} représente la variation de la première consigne de puissance P_{BP*}et est représentatif du degré de correction et du risque de divergence.

[0062] En référence à la [Fig.5], le module de détermination de divergence 3 est configuré pour déterminer le gradient GP_{BP*}de la première consigne de puissance P_{BP*} et le comparer à un seuil de gradient prédéterminé S3.

[0063] En référence à la [Fig.7], selon une première forme de réalisation, le module de détermination de divergence 3 comporte un bloc de saturation 30 et un bloc de comparaison 31.

[0064] Dans cette première forme de réalisation, le bloc de saturation 30 détermine une valeur seuil vS à partir de la première consigne de puissance P_{BP*} en la limitant en variation par rapport à ses valeurs précédentes, en fonction d'un seuil de gradient prédéterminé S3. Cette valeur seuil vS est ensuite comparée avec la première consigne de puissance P_{BP*}par le bloc de comparaison 31, déterminant l'indicateur de divergence M3 comme positif si les deux valeurs sont différentes. En effet, si la valeur de la consigne de puissance P_{BP*}a été limitée par le bloc de saturation 30, cela signifie qu'elle a commencé à diverger et risque d'entrainer une instabilité. Dans cet exemple, l'indicateur de divergence M3 est égal à 1 en cas de divergence et est égal à 0 en l'absence de divergence.

[0065] Selon une autre forme de réalisation, représentée sur la [Fig.8], le module de détermination de divergence 3 comporte un bloc de contrôle 33 et un bloc de détermination de gradient 32.

[0066] Le bloc de détermination de gradient 32 détermine explicitement le gradient $GP_{BP}*$ de la première consigne de puissance P_{BP*}par calcul. Le bloc de contrôle 33 détermine que l'indicateur de divergence M3 est positif si la valeur absolue du gradient $GP_{BP}*$ de la première consigne de puissance P_{BP*}est supérieure à la valeur absolue du seuil de gradient prédéterminé S3.

[0067] Ainsi, l'indicateur de divergence M3 permet d'indiquer de manière rapide et pratique que la consigne de puissance P_{BP*} est en train d'être modifiée de manière trop rapide et qu'elle peut entrainer un risque d'instabilité. Le seuil de gradient prédéterminé S3 est prédéterminé par calcul, de manière statistique ou par retour d'expérience.

[0068] Il est représenté à la [Fig.5] une première forme de réalisation de la première unité de régulation 21a présentant un module de correction 5 ayant une architecture cascadée. Dans cet exemple, une divergence est détectée à l'instant de divergence t_3. La première consigne de puissance P_{BP*} suit alors dans cette forme de réalisation une loi mathématique de la forme :

[0069] $$P_{BP*} = K_p*\left((V_{DC*} - V_{DC}) + \int_{t_x}^{t} (K_i*(V_{DC*} - V_{DC})) \right)$$

[0070] Avec :

[0071] $$\begin{cases} A\ t_0 \rightarrow t_x = t_0 \\ Tant\ que\ M3 = 0 \rightarrow t_x = t_x \\ Lorsque\ M3 = 1 \rightarrow t_x = t_3 \end{cases}$$

[0072] Où l'instant initial $t_0$correspond au moment d'initialisation de l'unité de régulation 21a, 21b, et l'instant de divergence t_3 correspond au moment où l'indicateur de divergence M3 a indiqué une divergence au module de remise à zéro RAZ. Cela permet avantageusement au correcteur intégral CI de recommencer à fonctionner sans prendre en compte ce qui s'est déroulé entre le temps initial t_0 etl'instant de divergence t_3. Autrement dit, l'effet intégral du correcteur CI est arrêté immédiatement afin de stopper au plus vite la divergence.

[0073] Il est représenté en [Fig.6] une deuxième forme de réalisation de la première unité de régulation 21a présentant un module de correction 5 ayant une architecture parallèle. La première consigne de puissance P_{BP*} suit alors dans cette forme de réalisation une loi mathématique de la forme :

[0074] $$P_{BP*} = K_p{*}(V_{DC*} - V_{DC}) + \int_{t_x}^{t}(K_i{*}(V_{DC*} - V_{DC}))$$

[0075] Avec :

[0076] $$\begin{cases} A\ t_0 \rightarrow t_x = t_0 \\ Tant\ que\ M3 = 0 \rightarrow t_x = t_x \\ Lorsque\ M3 = 1 \rightarrow t_x = t_3 \end{cases}$$

[0077] Grâce à l'invention, les deux convertisseurs C1, C2 peuvent se contrôler de manière indépendante, de manière décentralisée et sans nécessité de mettre en place un lien de communication. La réinitialisation du module de correction 5, en particulier de son correcteur intégral CI, lors d'une divergence permet d'écarter tout risque d'instabilité temporaire pour générer de manière optimale de l'énergie pour un aéronef.

[0078] Dans l'art antérieur, les modules de correction des deux correcteurs s'affrontaient de manière concurrente. Dans le cas présent, les modules de correction des deux correcteurs peuvent être remis à zéro en même temps sans communication entre eux. Les modules de correction vont repartir avec des valeurs stables voire dans certains cas égales en se partageant le contrôle. Cela permet d'éviter les instabilités. Cela permet également de réduire les pics de tension en obligeant l'intégrale du correcteur intégral CI à revenir à zéro quand la variation est trop importante. Cela permet à l'intégrale de ne pas partir en fort dépassement avant de devoir changer de sens. Cet aspect permet de réduire le temps pour atteindre la correction voulue.

Revendications

[Revendication 1] Procédé de génération électrique pour alimenter au moins un réseau électrique d'un aéronef (REA) à partir d'un système de génération électrique, l'aéronef comprenant au moins une turbomachine d'aéronef (T), le système électrique comprenant deux voies d'alimentation (V1, V2), chaque voie d'alimentation (V1, V2) comprenant un convertisseur électrique (C1, C2) et une génératrice électrique (G1, G2) entrainée par la turbomachine d'aéronef (T), le système électrique comprenant deux unités de régulation (21a, 21b) associées respectivement à chaque voie d'alimentation (V1, V2), chaque unité de régulation (21a, 21b) comprenant un module de correction (5) comprenant un correcteur intégral (CI), le procédé comportant des étapes consistant à, pour ledit module de correction (5) :

- Déterminer une consigne de puissance (P_{BP*}, P_{HP*}), à partir d'une consigne de tension de distribution (V_{DC*}) et d'une mesure de la tension de distribution (V_{DC}) d'une unité de distribution électrique (EDU) reliée électriquement au réseau électrique de l'aéronef (REA),
- Déterminer un indicateur de divergence (M3) à partir d'un gradient (GP_{BP*}) de la consigne de puissance (P_{BP*}, P_{HP*}), et
- Réinitialiser le correcteur intégral (CI) de l'unité de régulation (21a, 21b) de la voie d'alimentation (V1, V2) en fonction de l'indicateur de divergence (M3).

[Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'indicateur de divergence (M3) est déterminé à partir de la comparaison entre le gradient (GP_{BP*}) de la consigne de puissance (PBP*, PHP*), et un seuil de gradient prédéterminé (S3).

[Revendication 3] Procédé selon la revendication 1, dans lequel une limitation en variation dans le temps est appliquée à la consigne de puissance (P_{BP*}, P_{HP*}) en fonction d'un seuil de gradient prédéterminé (S3) afin de déterminer une valeur seuil (vS), et dans lequel l'indicateur de divergence (M3) est déterminé à partir de la comparaison entre la consigne de puissance (P_{BP*}, P_{HP*}), et la valeur seuil (vS).

[Revendication 4] Procédé de commande selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel l'unité de régulation (21a, 21b) comprend un correcteur dérivé.

[Revendication 5] Procédé de commande selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'unité de régulation (21a, 21b) comprend un correcteur proportionnel (CP).

[Revendication 6] Procédé de commande selon la revendication 5, dans lequel le correcteur intégral (CI) et le correcteur proportionnel (CP) sont montés en cascade.

[Revendication 7] Procédé de commande selon la revendication 5, dans lequel le correcteur intégral (CI) et le correcteur proportionnel (CP) sont montés en série.

[Revendication 8] Système de génération électrique (1) pour alimenter au moins un réseau électrique d'un aéronef (REA) comprenant au moins une turbomachine d'aéronef (T), le système électrique comprenant deux voies d'alimentation (V1, V2), chaque voie d'alimentation (V1, V2) comprenant un convertisseur électrique (C1, C2) et une génératrice électrique (G1, G2) entrainée par la turbomachine d'aéronef (T), le système électrique comprenant un dispositif de contrôle (2), le dispositif de contrôle (2) comprenant deux unités de régulation (21a, 21b) associées respectivement à chaque voie d'alimentation (V1, V2), chaque unité de régulation (21a, 21b) comprenant un module de correction (5) comprenant un correcteur intégral (CI), chaque unité de régulation (21a, 21b) étant configurée pour :

- Déterminer une consigne de puissance (P_{BP*}, P_{HP*}), à partir d'une consigne de tension de distribution (V_{DC*}) et d'une mesure de la tension de distribution (V_{DC}) d'une unité de distribution électrique (EDU) reliée électriquement au réseau électrique de l'aéronef (REA),
- Déterminer un indicateur de divergence (M3) à partir d'un gradient (GP_{BP*}) de la consigne de puissance (P_{BP*}, P_{HP*}),
- Réinitialiser le correcteur intégral (CI) de l'unité de régulation (21a, 21b) de la voie d'alimentation (V1, V2) en fonction de l'indicateur de divergence (M3).

[Revendication 9] Turbomachine hybridée électriquement comprenant un système de génération électrique (1) selon la revendication 8.

[Revendication 10] Aéronef comprenant au moins une turbomachine selon la revendication 9.

[Fig. 1]

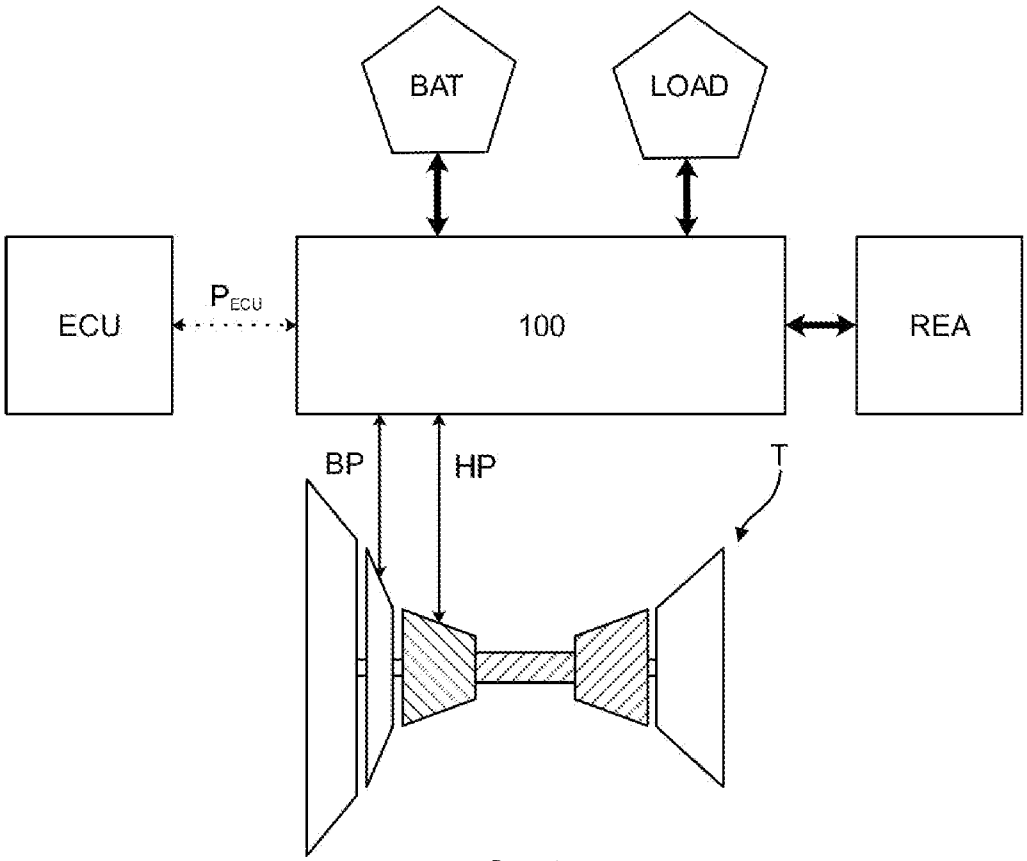


FIG. 1

[Fig. 2]

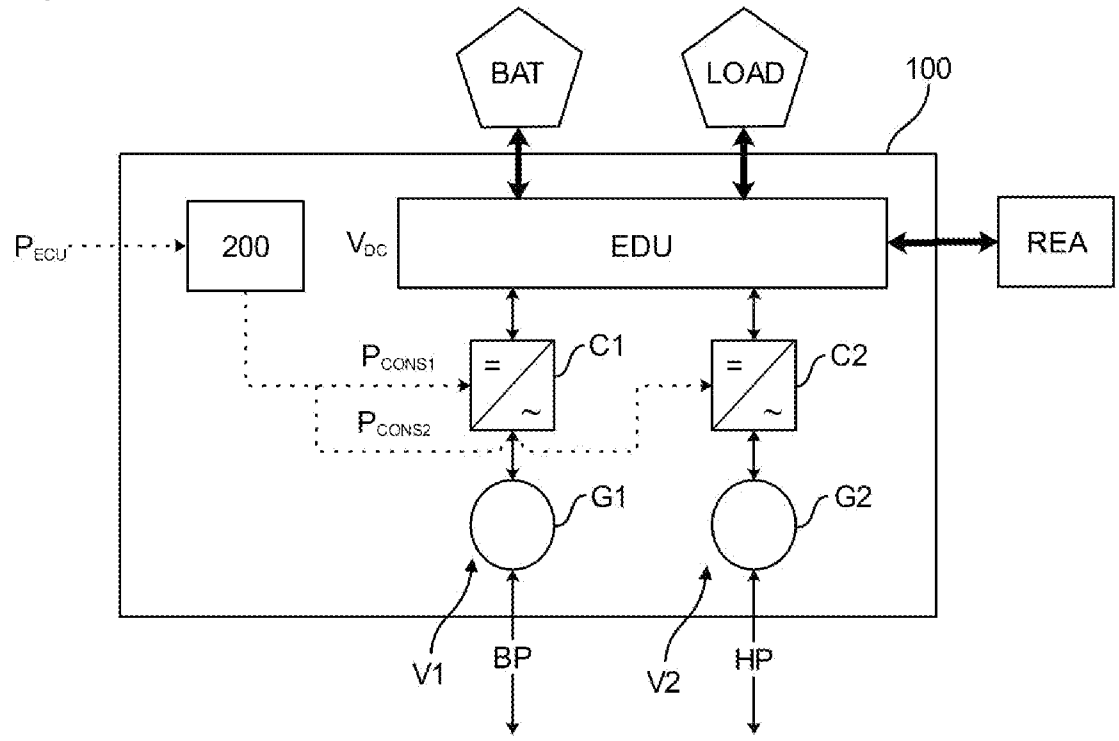


FIG. 2

[Fig. 3]

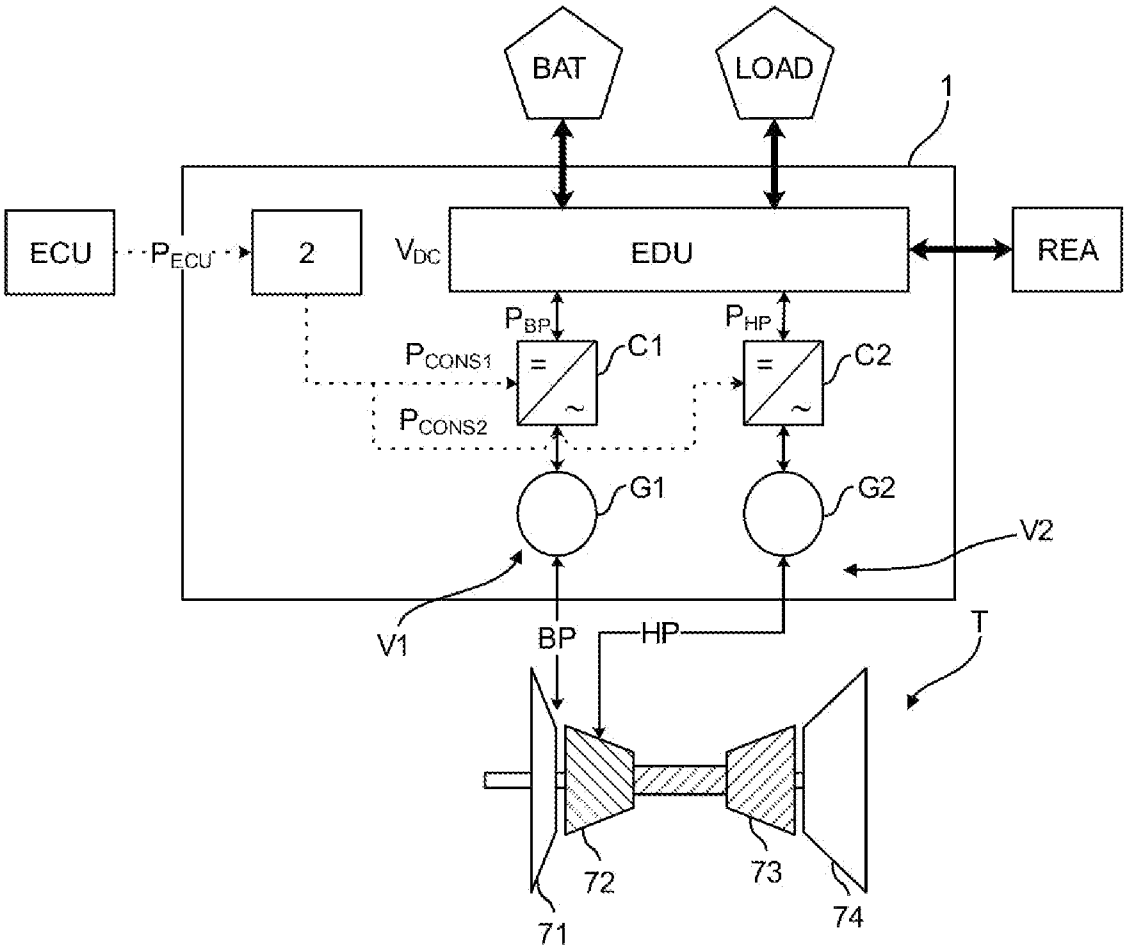


FIG. 3

[Fig. 4]

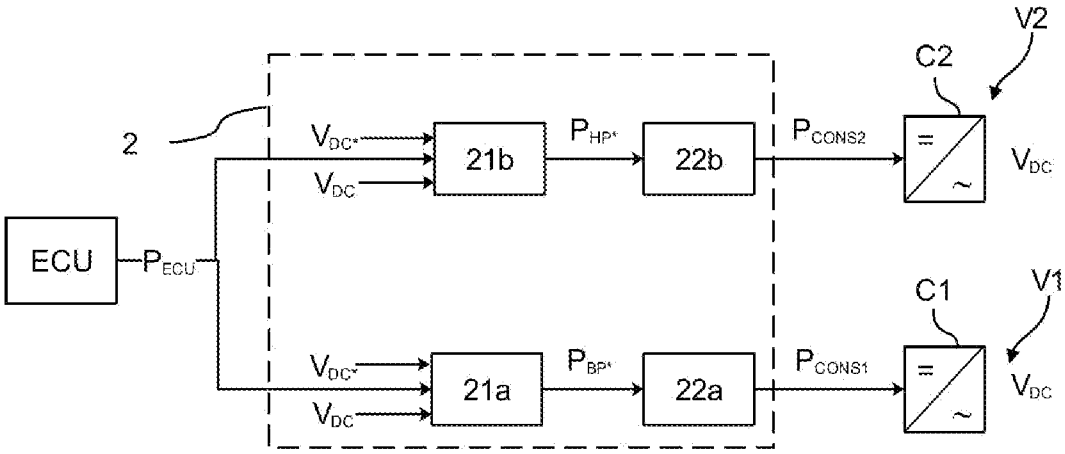


FIG. 4

[Fig. 5]

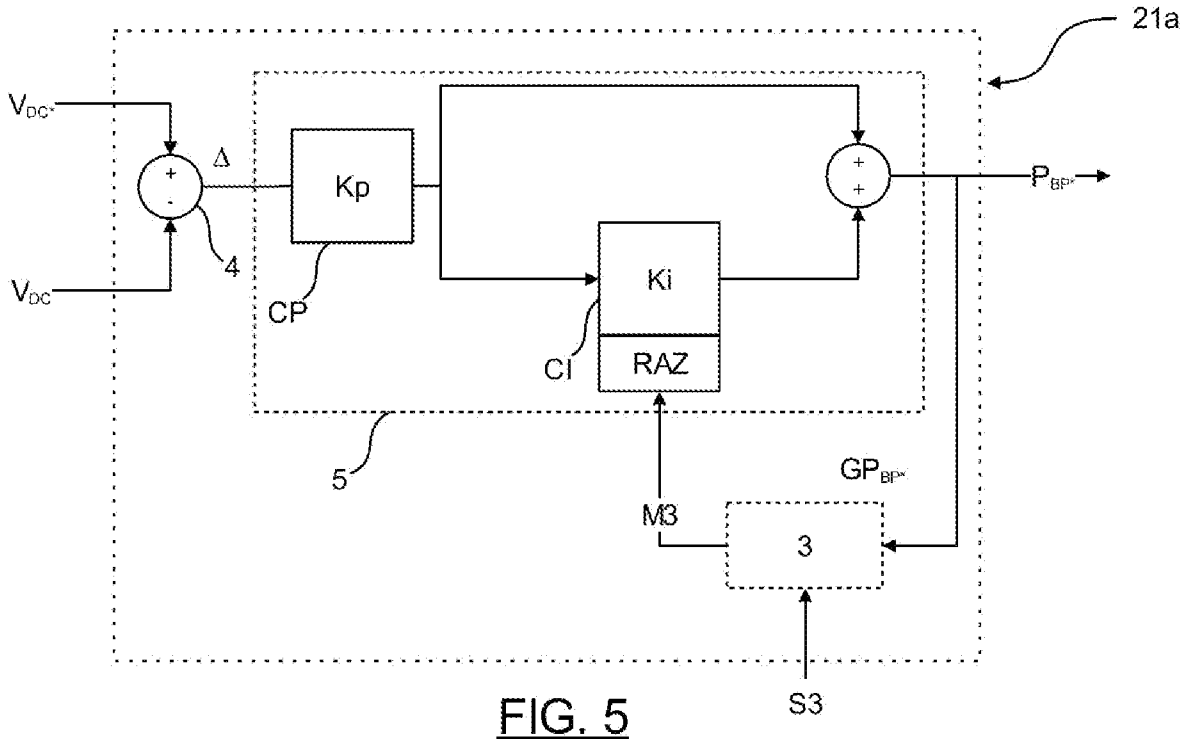


FIG. 5

[Fig. 6]

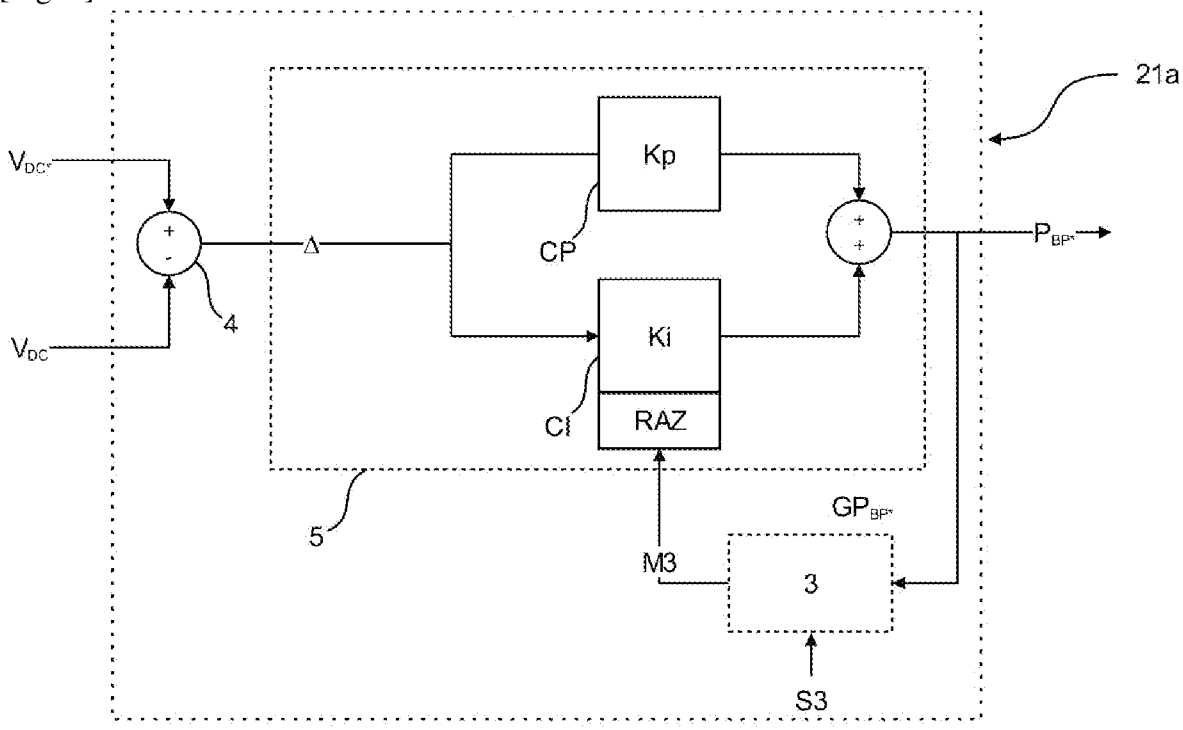


FIG. 6

[Fig. 7]

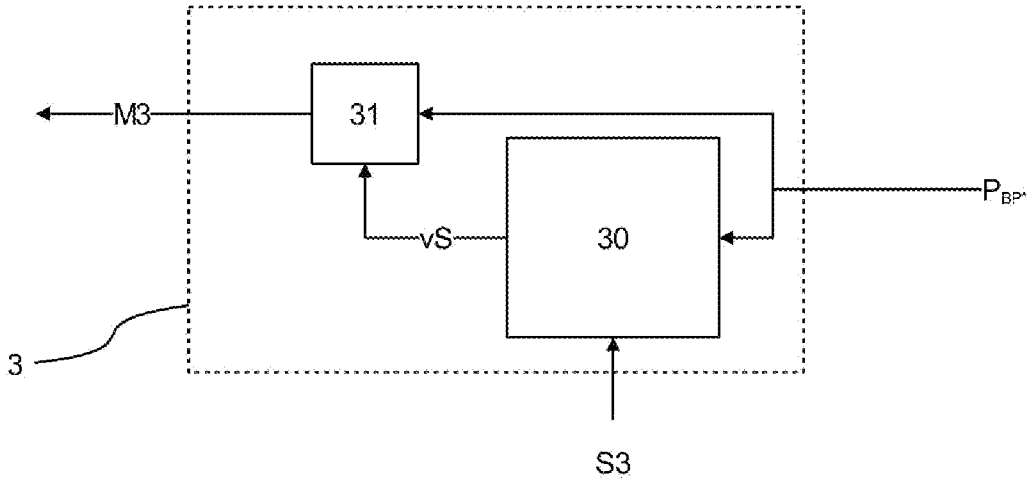


FIG. 7

[Fig. 8]

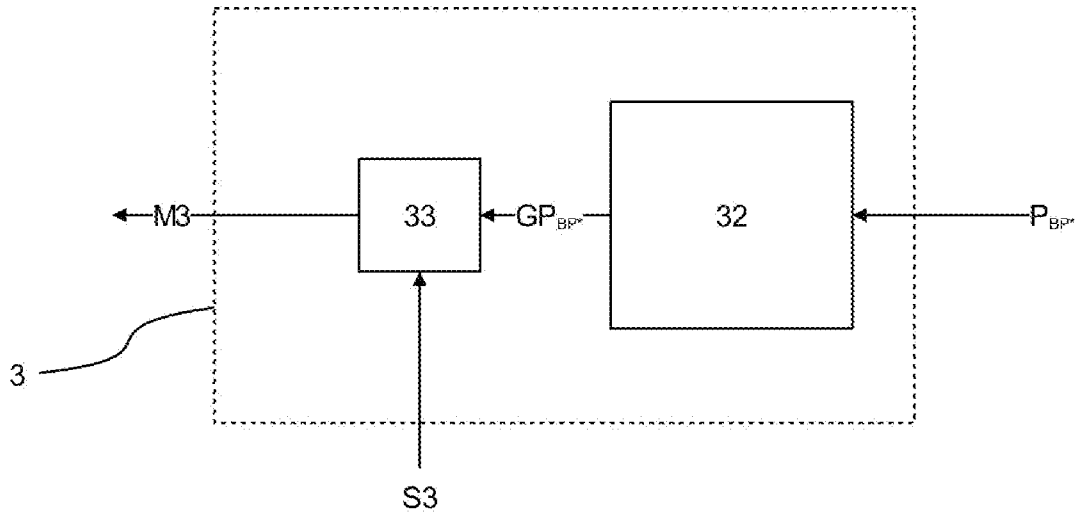


FIG. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2024/076616

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 1/10(2006.01)i; ***B64D 41/00***(2006.01)i; ***G05B 5/00***(2006.01)i; ***G05B 11/36***(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02J; B64D; G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2023105168 A1 (SAFRAN [FR]) 15 June 2023 (2023-06-15) the whole document	1-10
A	US 5270916 A (SEXTON DANIEL W [US] ET AL) 14 December 1993 (1993-12-14) columns 5-6; claims 1-3; figure 4	1-10
A	US 2016208717 A1 (CAI CHAOHONG [US]) 21 July 2016 (2016-07-21) paragraphs [0043] - [0052]; figure 3	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
15 November 2024	**26 November 2024**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands (Kingdom of the)** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Tchegho Kamdem, A** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/076616

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2023105168 A1	15 June 2023	CN 118414759 A	30 July 2024
		EP 4445464 A1	16 October 2024
		FR 3130464 A1	16 June 2023
		WO 2023105168 A1	15 June 2023
US 5270916 A	14 December 1993	CA 2034474 A1	28 August 1991
		DE 4104642 A1	05 September 1991
		FR 2658929 A1	30 August 1991
		JP H04227501 A	17 August 1992
		US 5270916 A	14 December 1993
US 2016208717 A1	21 July 2016	EP 3045696 A1	20 July 2016
		US 2016208717 A1	21 July 2016

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2024/076616

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. H02J1/10 B64D41/00 G05B5/00 G05B11/36
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
H02J B64D G05B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 2023/105168 A1 (SAFRAN [FR]) 15 juin 2023 (2023-06-15) le document en entier	1-10
A	US 5 270 916 A (SEXTON DANIEL W [US] ET AL) 14 décembre 1993 (1993-12-14) colonnes 5-6; revendications 1-3; figure 4	1-10
A	US 2016/208717 A1 (CAI CHAOHONG [US]) 21 juillet 2016 (2016-07-21) alinéas [0043] - [0052]; figure 3	1-10

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée
"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
"X" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
15 novembre 2024	26/11/2024

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Tchegho Kamdem, A

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2024/076616

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2023105168 A1	15-06-2023	CN 118414759 A	30-07-2024
		EP 4445464 A1	16-10-2024
		FR 3130464 A1	16-06-2023
		WO 2023105168 A1	15-06-2023
US 5270916 A	14-12-1993	CA 2034474 A1	28-08-1991
		DE 4104642 A1	05-09-1991
		FR 2658929 A1	30-08-1991
		JP H04227501 A	17-08-1992
		US 5270916 A	14-12-1993
US 2016208717 A1	21-07-2016	EP 3045696 A1	20-07-2016
		US 2016208717 A1	21-07-2016