

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/256769 A1

(43) Date de la publication internationale
19 décembre 2024 (19.12.2024)

(51) Classification internationale des brevets :
H02P 9/10 (2006.01) B64D 27/24 (2024.01)
B64D 27/02 (2006.01)

(71) Déposant : SAFRAN ELECTRICAL & POWER
[FR/FR] ; Parc d'Activité Andromède, 1 rue Louis Blériot,
CS 80049, 31702 BLAGNAC (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2024/050730

(72) Inventeur : MICHAUD, Benoît, Lucien ; c/o SAFRAN
ELECTRICAL & POWER, Parc d'Activité Andromède, 1
rue Louis Blériot, CS 80049, 31702 BLAGNAC (FR).

(22) Date de dépôt international :
06 juin 2024 (06.06.2024)

(74) Mandataire : DESORMIERE, Pierre-Louis et al. ;
CABINET BEAU DE LOMENIE, 158 Rue de l'Université,
75340 PARIS CEDEX 07 (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

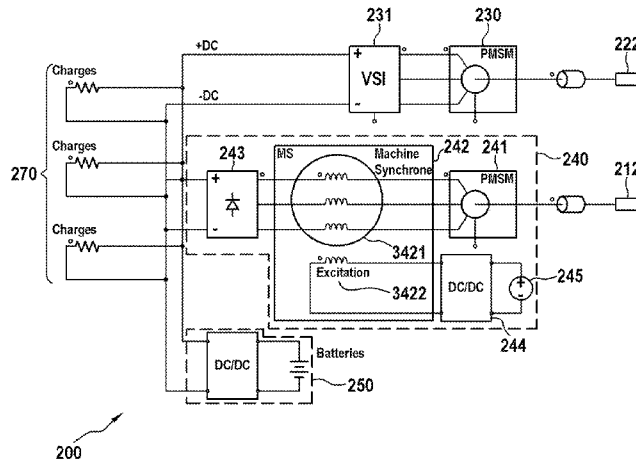
(30) Données relatives à la priorité :
FR2306184 16 juin 2023 (16.06.2023) FR

(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,
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,

(54) Title: GENERATOR WITH HYBRID EXCITATION FOR A HYBRID ELECTRIC PROPULSION SYSTEM

(54) Titre : GENERATEUR A EXCITATION HYBRIDE D'UN SYSTEME DE PROPULSION HYBRIDE ELECTRIQUE

[Fig. 2]



242 Synchronous machine
250 Batteries
270 Loads



WO 2024/256769 A1

(57) Abstract: The invention relates to a hybrid electric propulsion system (200) for a turbojet engine, comprising: - a first permanent magnet synchronous machine (230) connected to an AC-DC converter (231) and intended to be connected to a high-pressure shaft (222) of the turbojet engine; - a hybrid excitation generator (240) comprising a brushless synchronous machine (242), a second permanent magnet synchronous machine (241) connected in series with the brushless synchronous machine, and a bridge rectifier (243) connected to the brushless synchronous machine, the hybrid excitation generator being intended to be connected to a low-pressure shaft (212) of the turbojet engine and the brushless synchronous machine comprising a generator (3421), an exciter (3422), rotating diodes placed between the generator and the exciter, and a DC-DC converter (244) connected to the exciter; - an energy storage system (250); and -

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), eurasienn (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))

a DC power supply network connected to the AC-DC converter and to the bridge rectifier.

(57) Abrégé : Système (200) de propulsion électrique hybride d'un turboréacteur comprenant : - une première machine synchrone à aimants permanents (230) reliée à un convertisseur de tension continue en tension alternative (231) et destinée à être reliée à un arbre haute pression (222) du turboréacteur; - un générateur d'excitation hybride (240) comprenant une machine synchrone sans balais (242), une deuxième machine synchrone à aimants permanents (241) connectée en série à la machine synchrone sans balais, et un pont redresseur (243) connecté à la machine synchrone sans balais, le générateur d'excitation hybride étant destiné à être relié à un arbre basse pression (212) du turboréacteur et la machine synchrone sans balais comprenant une génératrice (3421), une excitatrice (3422), des diodes tournantes placées entre la génératrice et l'excitatrice et un convertisseur de tension continue en tension continue (244) relié à l'excitatrice; - un système de stockage d'énergie (250); et - un réseau d'alimentation électrique continu relié au convertisseur de tension continue en tension alternative et au pont redresseur.

Description

Titre de l'invention : Générateur à excitation hybride d'un système de propulsion hybride électrique

5 Domaine Technique

La présente invention se rapporte au domaine général des systèmes de propulsion hybrides d'aéronef et plus particulièrement à un générateur à excitation hybride pour l'alimentation électrique du système de propulsion.

10 Technique antérieure

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 états. En particulier, une norme ambitieuse s'applique à la fois aux nouveaux types d'avions
15 mais aussi 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.

Les efforts de recherche technologique ont déjà permis d'améliorer de manière très
20 significative les performances environnementales des avions. 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
25 but d'amélioration de l'efficacité énergétique des avions.

Par voie de conséquence, la Déposante travaille en permanence à la réduction de son incidence climatique négative par l'emploi de méthodes et l'exploitation de procédés de développement et de fabrication vertueux et minimisant les émissions de gaz à effet de serre au minimum possible pour réduire de l'empreinte
30 environnementale de son activité.

Ces travaux de recherche et de développement soutenus portent à la fois sur les nouvelles générations de moteurs d'avions, l'allègement des appareils, et le développement de l'emploi des technologies électriques pour assurer la propulsion.

Ainsi, certains turboréacteurs sont équipés d'un système de propulsion électrique hybride comprenant au moins une source électrique bidirectionnelle connectée à l'arbre haute pression et une autre connectée à l'arbre basse pression du turboréacteur. Ce système électrique alimente les charges de l'avion et/ou du moteur propulsif.

Comme illustré en figure 1, le système de propulsion électrique hybride 100 comprend classiquement d'amont en aval dans le sens d'écoulement des gaz, une soufflante 101, un compresseur basse pression BP110, un compresseur haute pression 120, une chambre de combustion 130 qui reçoit du carburant 102, une turbine haute pression 121, une turbine basse pression 111 et une tuyère primaire d'échappement 103. Le compresseur 110 et la turbine 111 sont reliés par l'arbre basse pression 112 et forment un corps basse pression. Le compresseur 120 et la turbine 121 sont reliés par l'arbre haute pression 122 et forment, avec la chambre de combustion 130, un corps haute pression. Le générateur haute pression GHP est entraîné directement ou par l'intermédiaire d'un arbre de transmission par l'arbre haute pression 122. Le générateur basse pression GBP est entraîné par l'arbre basse pression 112.

Classiquement, ce système de propulsion électrique est alimenté par des machines synchrones à rotor bobiné qui ont l'avantage de pouvoir contrôler la tension de sortie par le circuit d'excitation ainsi que le courant de court-circuit en cas de défaut. Pour réduire la masse et le volume du système et améliorer son rendement et sa qualité de la tension, ces machines synchrones peuvent être remplacées par des machines synchrones à aimants permanents (151, 152) associées à des convertisseurs de puissance (161, 162). Ces convertisseurs permettent de redresser et de réguler la tension pour alimenter un réseau électrique continu DC. Cette solution est particulièrement adaptée aux générateurs reliés à l'arbre haute pression 122 dont la plage de vitesse de rotation de l'arbre est peu étendue (ratio de vitesse compris entre 1,5 et 2,5), car sur une grande plage de vitesse (ratio supérieur à 5),

il y a un risque d'instabilité du contrôle de la tension à haute vitesse quand un fort défluxage est utilisé pour limiter le courant, et une augmentation de la masse des harnais et du convertisseur de puissance à cause des forts courants à basse vitesse.

Une solution consiste à utiliser un générateur à excitation hybridée qui permet de
5 contrôler le courant de court-circuit sans utiliser de convertisseur commandé sur le circuit de puissance. Mais ce générateur nécessite une excitation en courant bidirectionnelle, comme décrit dans le brevet US 5 397 975, ce qui nécessite d'alimenter le rotor du générateur avec des collecteurs tournants, qui ont une durée
10 de vie limitée, ou d'avoir une machine plus complexe avec une excitation au niveau du stator, telle que décrite dans l'article « Hybrid Excitation Synchronous Alternator Connected to a Diode Rectifier with a Resistive Load » de Y. Amara, A. H. Ben Ahmed, E. Hoang, L. Vido, M. Gabsi et M. Lécrivain publié dans EPE Journal 04/2006.

Il est donc souhaitable de disposer d'un système de propulsion électrique de masse
15 et volume réduit pouvant supporter une plage de vitesse étendue.

Exposé de l'invention

L'invention concerne un système de propulsion électrique hybride d'un turboréacteur comprenant :

- 20 - une première machine synchrone à aimants permanents reliée à un convertisseur de tension continue en tension alternative, destinée à être reliée à un arbre haute pression du turboréacteur, et configurée pour fonctionner en mode moteur ou en mode générateur ;
- 25 - un générateur d'excitation hybride comprenant une machine synchrone sans balais, une deuxième machine synchrone à aimants permanents connectée en série à la machine synchrone sans balais, et un pont redresseur connecté à la machine synchrone sans balais, le générateur d'excitation hybride étant destiné à être relié à un arbre basse pression du turboréacteur et la machine synchrone sans balais comprenant une génératrice, une excitatrice, des

diodes tournantes placées entre la génératrice et l'excitatrice et un convertisseur de tension continue en tension continue relié à l'excitatrice,

- un système de stockage d'énergie ; et
- un réseau d'alimentation électrique continu relié au convertisseur de tension continue en tension alternative et au pont redresseur.

Ainsi, grâce à l'invention, les différents modes de fonctionnement permettent d'optimiser le dimensionnement et la masse du système du générateur d'excitation hybride :

- à haute vitesse et forte puissance, la machine synchrone sans balais permet de compenser l'énergie réactive de la deuxième machine à aimants permanents ;
- à basse vitesse et forte puissance, la machine synchrone sans balais fonctionne en mode « boost » ; et
- à haute vitesse et faible puissance, la machine synchrone sans balais fonctionne en mode « frein ».

Le fonctionnement du générateur d'excitation hybride à courant et tension constantes se fait également indépendamment de la vitesse de l'arbre basse pression.

De plus, le fait que la machine synchrone soit sans balais, cela permet de ne pas complexifier le stator, comme cela est habituellement le cas dans les machines à trois étages classiquement utilisées comme générateur. Par ailleurs, en étant sans balais, la machine synchrone présente dans le générateur d'excitation hybride a une durée de vie est étendue, car il n'y a plus besoin de changer régulièrement des balais. Comme il n'y a pas de contact tournant, le courant d'excitation est unidirectionnel.

Ainsi, on peut contrôler la tension du réseau d'alimentation électrique continu à puissance constante sur une large plage de vitesse avec un courant d'excitation unidirectionnel par des boucles de courant et de tension contrairement à l'art antérieur où cela est asservi à la mesure de vitesse.

De plus, grâce au générateur d'excitation hybride, on peut contrôler le courant de court-circuit du réseau d'alimentation électrique continu afin d'assurer une protection classique par sélectivité des charges. Ainsi, le générateur d'excitation hybride est protégé contre les risques de sur-échauffement grâce à la limitation du courant de court-circuit.

Le contrôle de la tension est compatible avec les électroniques de contrôle classiques de type « Unité de contrôle de générateur » ou GCU (« Generator Control Unit »). Il permet de limiter le courant de court-circuit en cas de défaut interne et de contrôler le courant de court-circuit du réseau afin de garantir la sélectivité des protections.

Selon une caractéristique particulière de l'invention, le système de stockage d'énergie comprend un convertisseur de tension continue en tension continue et une batterie, la batterie étant reliée au convertisseur de tension continue en tension continue qui est relié au réseau d'alimentation électrique continu.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le convertisseur de tension continue en tension continue du générateur d'excitation hybride de la machine synchrone sans balais est connecté à un générateur de tension continue.

Ce générateur permet de fournir le courant d'excitation à l'excitatrice de la machine synchrone sans balais lors du démarrage du turboréacteur.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, le convertisseur de tension continue en tension continue du générateur d'excitation hybride de la machine synchrone sans balais est connecté à une sortie du pont redresseur et au réseau d'alimentation électrique continu.

Cela permet d'avoir une excitation autonome de la machine synchrone sans balais et de se passer du générateur de tension continue (ou du générateur à aimants permanents classiquement branché sur les génératrices des avions) pour alimenter l'excitatrice de la machine synchrone sans balais lors du démarrage du turboréacteur.

Un autre objet de l'invention concerne un aéronef comprenant au moins un turboréacteur équipé d'un système de propulsion électrique hybride selon l'invention, le système de propulsion électrique hybride alimentant des charges de l'aéronef.

Encore un autre objet de l'invention est un procédé de contrôle d'un système de propulsion électrique hybride selon l'invention comprenant :

- 5 - la compensation d'une énergie réactive de la deuxième machine synchrone à aimants permanents par la machine synchrone sans balais à haute vitesse et à forte puissance ;
 - le fonctionnement en mode « boost » de la machine synchrone sans balais à basse vitesse et à forte puissance ; et
 - le fonctionnement en mode « frein » de la machine synchrone sans balais à haute vitesse et à faible puissance ;
- 10 le générateur d'excitation hybride fonctionnant à courant et tension constantes indépendamment d'une vitesse de l'arbre basse pression

Brève description des dessins

15 D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent des exemples de réalisation dépourvus de tout caractère limitatif.

[Fig. 1] La figure 1 représente, de manière schématique et partielle, un système de propulsion électrique hybride selon l'art antérieur.

20 [Fig. 2] La figure 2 représente, de manière schématique et partielle, un système de propulsion électrique hybride selon un mode de réalisation de l'invention.

[Fig. 3] La figure 3 représente, de manière schématique et partielle, la machine synchrone sans balais comprise dans le système de propulsion électrique hybride de l'invention.

25 [Fig. 4] La figure 4 représente, de manière schématique et partielle, un système de propulsion électrique hybride selon un autre mode de réalisation de l'invention.

Description des modes de réalisation

La figure 2 représente, de manière schématique et partielle, un système de propulsion électrique hybride 200 d'un turboréacteur selon un premier mode de réalisation de l'invention. Ce système 200 permet de fournir une puissance électrique à des charges 270. Les charges 270 représentent des charges d'un aéronef, comme les charges moteurs et les charges avion. Les charges moteurs peuvent être des pompes pour le carburant et/ou l'huile, du dégivrage et/ou des différents actionneurs. Les charges avion peuvent être des charges de tous les systèmes électriques, comme ceux des commandes de vol et/ou des commandes des trains d'atterrissage et/ou des pompes et/ou de la climatisation et/ou du dégivrage des ailes et/ou du taxiing et/ou du réseau électrique de la cabine et/ou du convertisseur pour le réseau basse tension, etc...

Le système 200 comprend une première machine synchrone à aimants permanents 230 reliée à un convertisseur de tension continue en tension alternative 231. Cette première machine synchrone à aimants permanents 230 est destinée à être reliée à l'arbre haute pression 222 du turboréacteur.

Le système 200 comprend également un générateur d'excitation hybride 240 destiné à être relié à l'arbre basse pression 212 du turboréacteur. Ce générateur 240 comprend un pont redresseur 243 connecté à une machine synchrone sans balais 242 représentée plus en détails en figure 3. La machine synchrone sans balais 242 est elle-même connectée en série à une deuxième machine synchrone à aimants permanents 241.

La machine synchrone sans balais 242 comprend une génératrice 3421, une excitatrice 3422 et des diodes tournantes 3423 connectées entre la génératrice 3421 et l'excitatrice 3422. Cette machine 242 ne comprend aucun contact tournant, ce qui permet d'allonger la durée de vie de la machine 242 car il n'est plus nécessaire de changer régulièrement les balais. Le courant d'excitation venant d'une source de courant continu via le convertisseur de tension continue en tension continue 244 est fourni à l'excitatrice 3422, et plus particulièrement à son stator. Le rotor de l'excitatrice 3422 est induit d'une tension alternative, dont le signal est redressé par les diodes tournantes 3423. Cela permet d'alimenter le rotor de la génératrice 3421 en courant continu qui va ainsi générer un champ magnétique tournant au stator de

la génératrice 3421. Le stator de la génératrice 3421 génère ainsi un courant triphasé qui va être redressé par le pont redresseur 243.

Afin d'alimenter l'excitatrice 3422 en courant continu, un convertisseur de tension continue en tension continue 244 est relié à l'excitatrice 3422.

- 5 Dans ce premier mode de réalisation, le convertisseur de tension continue en tension continue 244 qui fournit le courant d'excitation à l'excitatrice 3422 est relié à un générateur de tension continue 245. Ce générateur de tension continue 245 peut être remplacé par un générateur à aimants permanents relié à l'arbre basse pression.
- 10 Enfin le système 200 peut comprendre un système de stockage d'énergie 250 qui peut être une batterie connectée à un convertisseur de tension continue en tension continue, lui-même connecté au réseau d'alimentation électrique continu. En cas de vitesse élevée, ce système de stockage d'énergie 250 permet de consommer l'énergie minimale nécessaire au contrôle de la tension si la puissance consommée
- 15 par les charges 270 du turboréacteur est insuffisante.

La figure 4 représente, de manière schématique et partielle, un système de propulsion électrique hybride 400 d'un turboréacteur selon un second mode de réalisation de l'invention.

- Le système 400 comprend une première machine synchrone à aimants permanents
- 20 430 reliée à un convertisseur de tension continue en tension alternative 431. Cette première machine synchrone à aimants permanents 430 est destinée à être reliée à l'arbre haute pression 422 du turboréacteur.

- Le système 400 comprend également un générateur d'excitation hybride 440 destiné à être relié à l'arbre basse pression 412 du turboréacteur. Ce générateur 440
- 25 comprend un pont redresseur 443 connecté à une machine synchrone sans balais 442, dont le fonctionnement a été décrit précédemment en référence aux figures 2 et 3. La machine synchrone sans balais 442 est elle-même connectée en série à une deuxième machine synchrone à aimants permanents 441.

- Dans ce second mode de réalisation, le convertisseur de tension continue en tension
- 30 continue 444 qui fournit le courant d'excitation à l'excitatrice 3422 est relié à la

sortie du pont redresseur 443 et au réseau d'alimentation électrique continu. Ainsi le convertisseur 444 est alimenté directement par la sortie du pont redresseur 443, cela permet d'avoir un contrôle de la génératrice 4421 totalement autonome, et de se passer du générateur à aimant permanent qui est classiquement connecté au même arbre moteur, c'est-à-dire à l'arbre basse pression 412, pour démarrer la génératrice 4421 au démarrage du moteur. Ainsi, au démarrage, dès que l'arbre basse pression 412 se met à tourner, la machine à aimants permanents 441 génère une tension suffisante pour alimenter le convertisseur 444 pour contrôler la tension continue et le courant d'excitation de l'excitatrice 4422.

Comme précédemment, le système de propulsion électrique hybride 400 peut comprendre un système de stockage d'énergie 450 qui peut être une batterie connectée à un convertisseur de tension continue en tension continue relié lui-même au réseau d'alimentation électrique continu. En cas de vitesse élevée, ce système de stockage d'énergie 450 permet de consommer l'énergie minimale nécessaire au contrôle de la tension si la puissance consommée par les charges 470 du turboréacteur est insuffisante, et s'il n'est pas possible d'ajuster le contrôle de la tension du réseau d'alimentation électrique continu par le convertisseur de tension continue en tension alternative 431, par exemple dans le cas d'une limitation de couple ou de puissance imposée par la turbomachine.

Dans les deux modes de réalisation décrits, le contrôle de la tension de la génératrice à excitation hybride peut être réalisé à partir de boucles de régulation en courant et tension comme c'est déjà le cas pour les génératrices à trois étages. Par exemple, un premier correcteur de PI (Proportionnel Intégral) génère une consigne de courant continu à partir d'une erreur de mesure de la tension continue en sortie du pont redresseur. Cette consigne est limitée par la consigne de courant de court-circuit du réseau. Cette consigne est à son tour comparée à la mesure du courant réseau, passe par un correcteur, par exemple de type PI, pour générer la consigne du courant d'excitation qui est naturellement limitée à 0 par les diodes tournantes. De plus, le générateur d'excitation hybride peut être conçu de façon à prioriser certains facteurs pour optimiser son dimensionnement en fonction de l'application. On peut utiliser :

- le ratio d'hybridation qui compare le flux de la machine à aimants permanents au flux total du générateur d'excitation hybride ; ou
- le ratio de puissance entre la machine à aimants permanents et la machine synchrone sans balais en fonction du ratio d'hybridation et ainsi optimiser la masse ou le rendement du générateur ; ou
- le courant de court-circuit à excitation nulle par la force électromotrice à vide de la machine à aimants permanents et par l'inductance de la machine synchrone sans balais ; ou encore
- la courbe de fonctionnement à puissance minimale en fonction de l'application.

Quel que soit le mode de réalisation, la machine synchrone sans balais et la deuxième machine synchrone à aimants permanents du générateur d'excitation hybride sont intégrés ensemble dans le rotor et partagent le même stator. Autrement dit, elles sont placées en série sur le rotor du générateur d'excitation hybride et elles partagent le même stator qui forme le stator du générateur d'excitation hybride.

L'invention concerne également un aéronef comprenant un système de propulsion électrique hybride tel que décrit précédemment. Ce système de propulsion électrique hybride permet de fournir une puissance électrique aux charges de l'aéronef en contrôlant la tension du réseau électrique continu.

Revendications

[Revendication 1] Procédé de contrôle d'un système (200, 400) de propulsion électrique hybride d'un turboréacteur comprenant :

- 5 - une première machine synchrone à aimants permanents (230, 430) reliée à un convertisseur de tension continue en tension alternative (231, 431), destinée à être reliée à un arbre haute pression (222, 422) du turboréacteur, et configurée pour fonctionner en mode moteur ou en mode générateur ;
- 10 - un générateur d'excitation hybride (240, 440) comprenant une machine synchrone sans balais (242, 442), une deuxième machine synchrone à aimants permanents (241, 441) connectée en série à la machine synchrone sans balais (242, 442), et un pont redresseur (243, 443) connecté à la machine synchrone sans balais (242, 442), le générateur d'excitation hybride étant destiné à être relié à un arbre basse pression
- 15 (212, 412) du turboréacteur et la machine synchrone sans balais (242, 442) comprenant une génératrice (3421), une excitatrice (3422), des diodes tournantes (3423) placées entre la génératrice et l'excitatrice et un convertisseur de tension continue en tension continue (244, 444) relié à
- 20 l'excitatrice ;
- un système de stockage d'énergie (250) ; et
- un réseau d'alimentation électrique continu relié au premier convertisseur de tension continue en tension alternative (231, 431) et au pont redresseur (243, 443) ;
- 25 le procédé comprenant :
- la compensation d'une énergie réactive de la deuxième machine synchrone à aimants permanents par la machine synchrone sans balais à haute vitesse et à forte puissance ;
- le fonctionnement en mode « boost » de la machine synchrone sans balais à
- 30 basse vitesse et à forte puissance ; et

- le fonctionnement en mode « frein » de la machine synchrone sans balais à haute vitesse et à faible puissance ;

le générateur d'excitation hybride fonctionnant à courant et tension constantes indépendamment d'une vitesse de l'arbre basse pression.

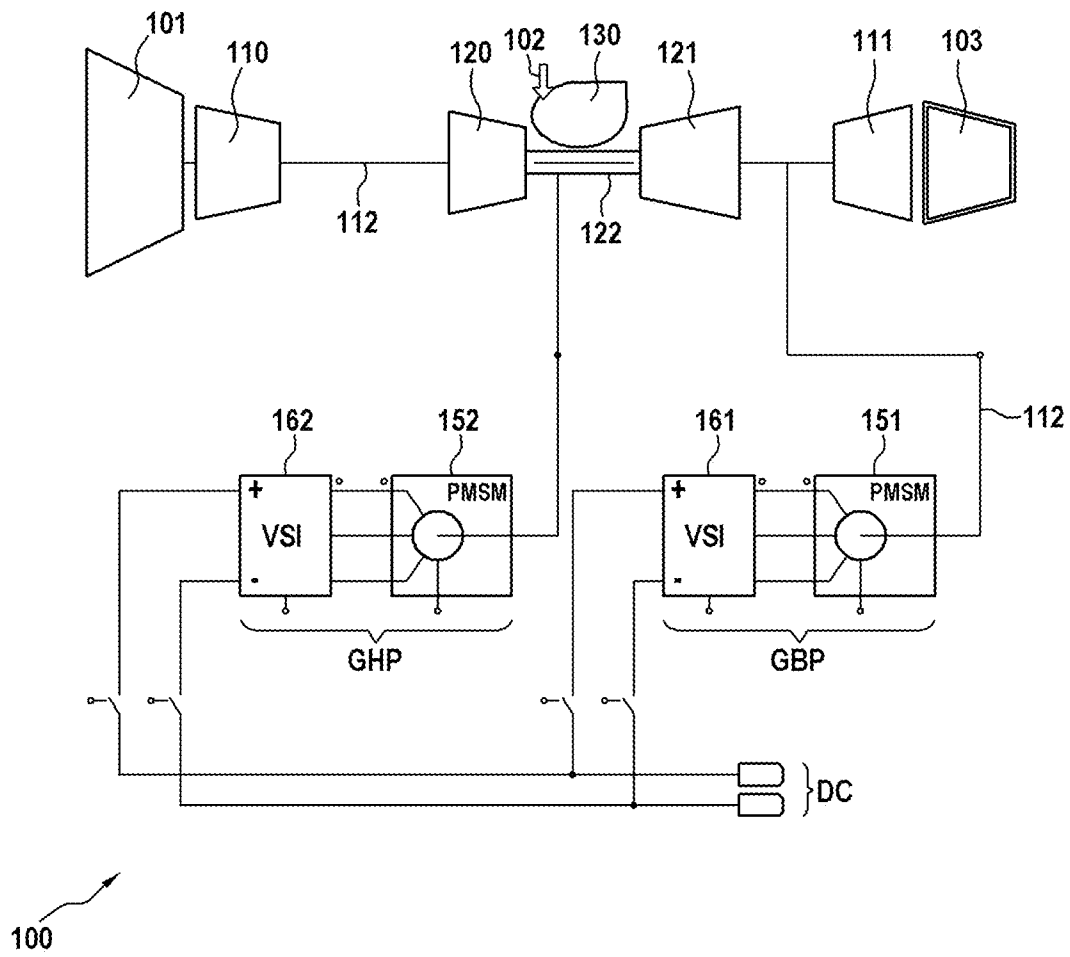
5 [Revendication 2] Procédé de contrôle selon la revendication 1, dans lequel le système de stockage d'énergie comprend un convertisseur de tension continue en tension continue et une batterie, la batterie étant reliée au convertisseur de tension continue en tension continue qui est relié au réseau d'alimentation électrique continu.

10 [Revendication 3] Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel le convertisseur de tension continue en tension continue (244) du générateur d'excitation hybride (240) de la machine synchrone sans balais (242) est connecté à un générateur de tension continue (245).

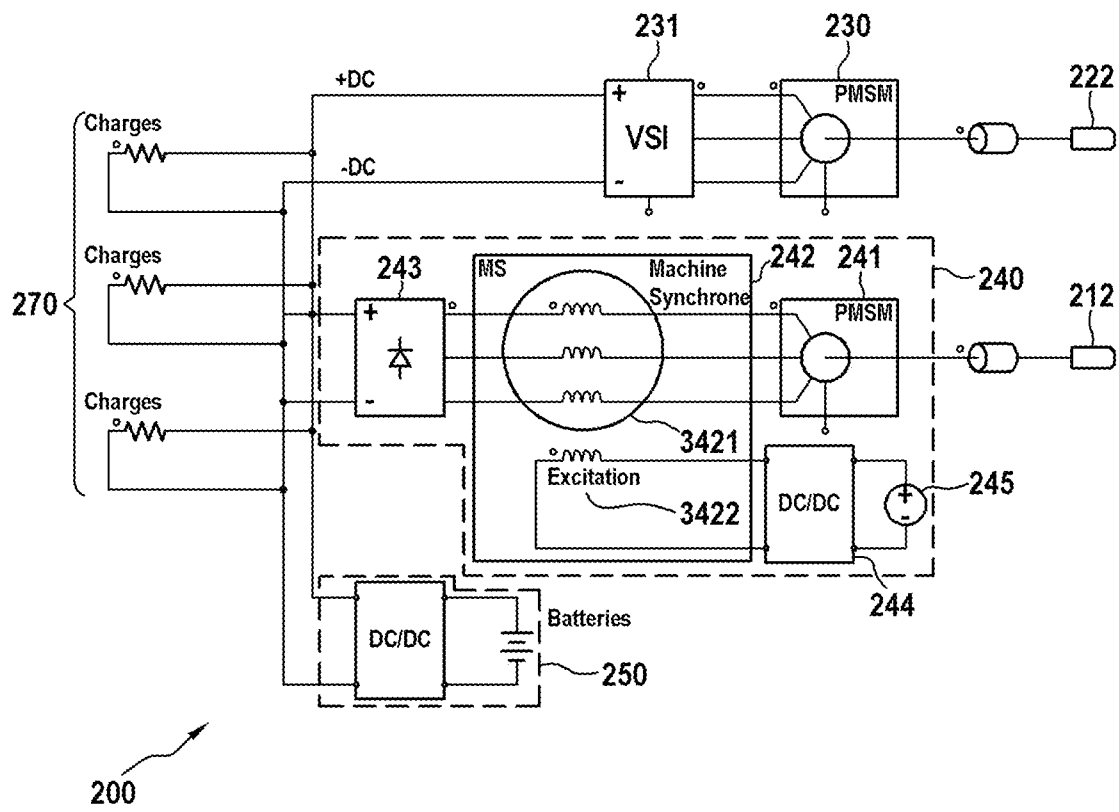
[Revendication 4] Procédé de contrôle selon l'une quelconque des revendications 1
15 ou 2, dans lequel le convertisseur de tension continue en tension continue (444) du générateur d'excitation hybride (440) de la machine synchrone sans balais (442) est connecté à une sortie du pont redresseur (443) et au réseau d'alimentation électrique continu.

⋮

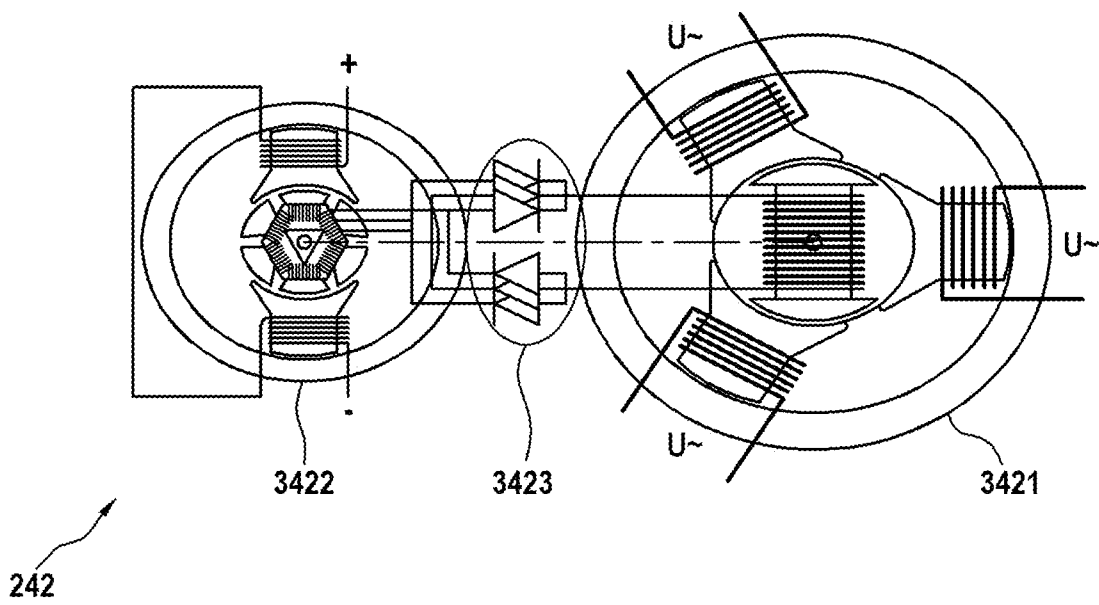
[Fig. 1]



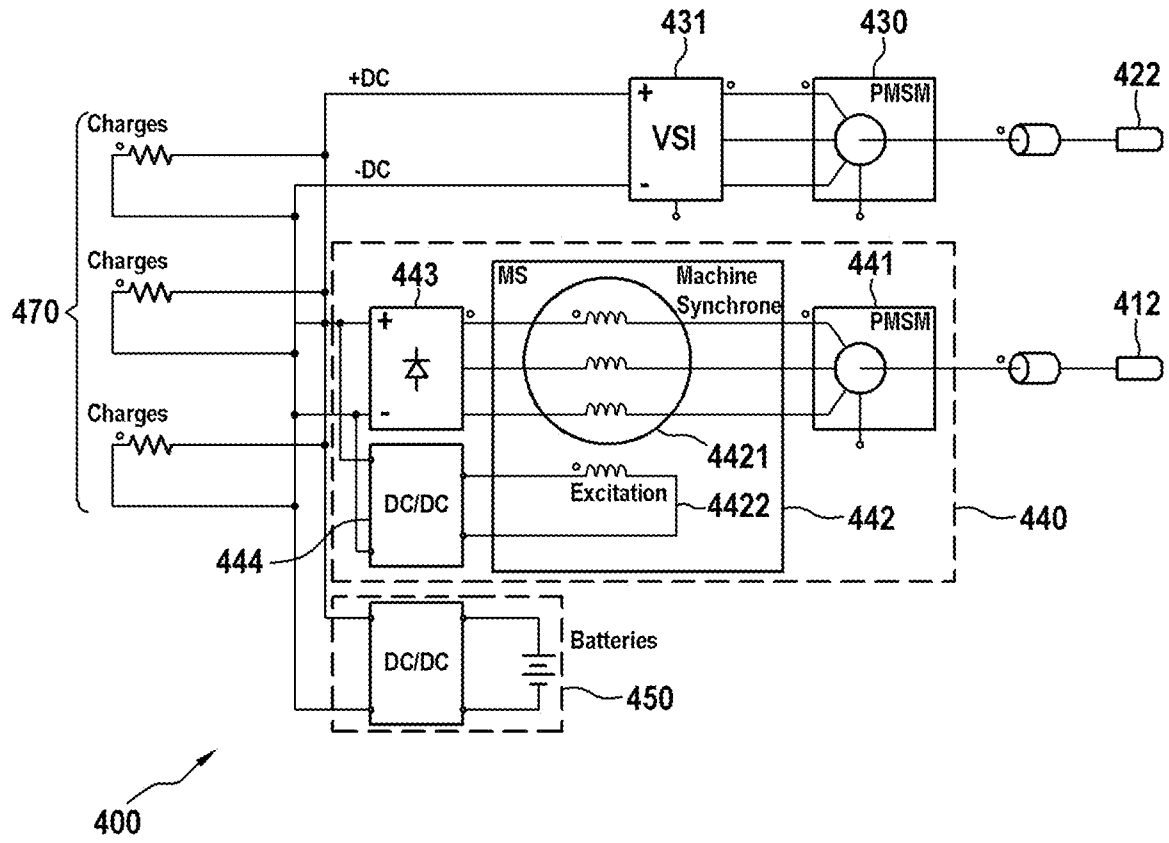
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/050730

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>H02P 9/10</i> (2006.01)i; <i>B64D 27/02</i> (2006.01)i; <i>B64D 27/24</i> (2024.01)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) H02P; B64D 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	US 2022411082 A1 (DELBOSC PHILIPPE [FR] ET AL) 29 December 2022 (2022-12-29) paragraph [0133]; claim 1; figure 1 paragraph [0137] - paragraph [0139]	1-4
A	CN 107896038 A (UNIV NANJING AERONAUTICS & ASTRONAUTICS) 10 April 2018 (2018-04-10) paragraph [0035]; figure 1	1-4
A	EP 3627689 A1 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US]) 25 March 2020 (2020-03-25) paragraph [0015] - paragraph [0019]; figure 1	1-4
A	FR 3129375 A1 (SAFRAN [FR]; SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR] ET AL.) 26 May 2023 (2023-05-26) abstract; figure 2	1-4
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 19 September 2024		Date of mailing of the international search report 26 September 2024
Name and mailing address of the ISA/EP 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		Authorized officer Hascher, Thierry Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2024/050730

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2022411082	A1	29 December 2022	CN	114728699	A	08 July 2022
				EP	4061718	A1	28 September 2022
				FR	3103647	A1	28 May 2021
				US	2022411082	A1	29 December 2022
				WO	2021099720	A1	27 May 2021

CN	107896038	A	10 April 2018	NONE			

EP	3627689	A1	25 March 2020	EP	3627689	A1	25 March 2020
				US	2020094977	A1	26 March 2020

FR	3129375	A1	26 May 2023	CN	118591686	A	03 September 2024
				EP	4437224	A1	02 October 2024
				FR	3129375	A1	26 May 2023
				WO	2023094101	A1	01 June 2023

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2024/050730

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H02P9/10 B64D27/02 B64D27/24 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) H02P B64D		
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	US 2022/411082 A1 (DELBOSC PHILIPPE [FR] ET AL) 29 décembre 2022 (2022-12-29) alinéa [0133]; revendication 1; figure 1 alinéa [0137] - alinéa [0139] -----	1 - 4
A	CN 107 896 038 A (UNIV NANJING AERONAUTICS & ASTRONAUTICS) 10 avril 2018 (2018-04-10) alinéa [0035]; figure 1 -----	1 - 4
A	EP 3 627 689 A1 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US]) 25 mars 2020 (2020-03-25) alinéa [0015] - alinéa [0019]; figure 1 -----	1 - 4
A	FR 3 129 375 A1 (SAFRAN [FR]; SAFRAN AIRCRAFT ENGINES [FR] ET AL.) 26 mai 2023 (2023-05-26) abrégé; figure 2 -----	1 - 4
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> 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	"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	
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date	"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	
"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)	"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	
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens	"&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
19 septembre 2024	26/09/2024	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé Hascher, Thierry	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2024/050730

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2022411082 A1	29-12-2022	CN 114728699 A	08-07-2022
		EP 4061718 A1	28-09-2022
		FR 3103647 A1	28-05-2021
		US 2022411082 A1	29-12-2022
		WO 2021099720 A1	27-05-2021

CN 107896038 A	10-04-2018	AUCUN	

EP 3627689 A1	25-03-2020	EP 3627689 A1	25-03-2020
		US 2020094977 A1	26-03-2020

FR 3129375 A1	26-05-2023	CN 118591686 A	03-09-2024
		EP 4437224 A1	02-10-2024
		FR 3129375 A1	26-05-2023
		WO 2023094101 A1	01-06-2023
