

(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 2020/053502 A2

(43) Date de la publication internationale
19 mars 2020 (19.03.2020)

(51) Classification internationale des brevets :

B64D 27/24 (2006.01) *B64D 35/08* (2006.01)
B64D 35/02 (2006.01) *F02C 6/14* (2006.01)
B64D 27/02 (2006.01)

(71) **Déposant** : SAFRAN [FR/FR] ; 2, Boulevard du Général
Martial Valin, 75015 PARIS (FR).

(72) **Inventeurs** : SALANNE, Jean-Philippe Hervé ; c/o
Safran Aircraft Engines PI (AJI), Rond-point René Ra-
vaud-Réau, 77550 Moissy-Cramayel (FR). PETIBON, Sté-
phane ; c/o Safran Aircraft Engines PI (AJI), Rond-
point René Ravaud-Réau, 77550 Moissy-Cramayel (FR).
ROUGIER, Florent ; c/o Safran Aircraft Engines PI (AJI),
Rond-point René Ravaud-Réau, 77550 Moissy-Cramayel
(FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2019/052021

(22) Date de dépôt international :

02 septembre 2019 (02.09.2019)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(74) **Mandataire** : DAVID, Alain et al. ; Cabinet Beau De Lo-
menie, 158 Rue de l'Université, 75340 Paris Cedex 07 (FR).

(30) Données relatives à la priorité :

1858172 12 septembre 2018 (12.09.2018) 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: HYBRID PROPULSION ASSEMBLY FOR AIRCRAFT

(54) Titre : ENSEMBLE PROPULSIF HYBRIDE SERIE POUR AERONEF

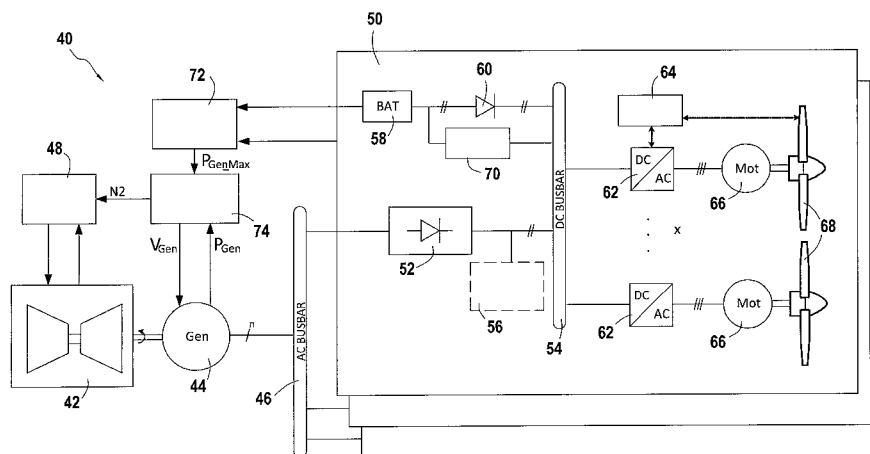


FIG.1

(57) **Abstract**: The invention relates to a hybrid propulsion assembly (40) comprising a gas turbine (42) driving a mechanical shaft of an electric generator (44) having n phases at the output and powering an AC distribution bar (46), and a system for controlling the speed of the gas turbine (48), the AC distribution bar supplying a plurality of AC distribution channels (50), each composed of an electrical rectifier and a battery (58) sharing the power required to power a DC bus (54). The DC bus supplies in turn a plurality of propulsive sub-channels composed of electrical inverters (62) which power under the control of a control module (64) motors (66) driving thrusters (68). The assembly according to the invention further comprises a battery charger (70) for charging the battery from the DC bus, a power management module (72) delivering a power reference for the electric generator, and a module for managing the hybridization rate (74) controlling the voltage of the DC bus, wherein the battery is directly connected to the DC bus via a passive component (diode 60) and the electrical rectifier is a passive converter (diode bridge 52).

(57) **Abrégé** : Ensemble propulsif hybride série (40) comportant une turbine à gaz (42) entraînant un arbre mécanique d'une génératrice électrique (44) disposant de n phases en sortie et alimentant une barre de distribution AC (46), et un système de contrôle de la vitesse de la turbine à gaz (48), la barre de distribution AC alimentant une pluralité de canaux de distribution AC (50) composés chacun d'un redresseur électrique et d'une batterie (58) se partageant la puissance nécessaire à l'alimentation d'un bus DC (54), le bus DC alimentant à son tour une pluralité de sous-canaux propulsifs composés d'onduleurs électriques (62) alimentant sous le contrôle d'un module de

WO 2020/053502 A2

CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (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, 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:

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2(g))*

commande (64) des moteurs (66) entraînant des propulseurs (68), ensemble comportant en outre un chargeur de batterie (70) pour charger la batterie depuis le bus DC, un module de gestion de puissance (72) délivrant une référence en puissance pour la génératrice électrique, et un module de gestion du taux d'hybridation (74) contrôlant la tension du bus DC, la batterie étant connectée directement sur le bus DC via un composant passif (diode 60) et le redresseur électrique étant un convertisseur passif (pont de diodes 52).

Ensemble propulsif hybride série pour aéronef

Arrière-plan de l'invention

L'invention se rapporte à la propulsion électrique dédiés aux aéronefs
5 et concerne plus particulièrement les nouvelles architectures s'appuyant
sur l'hybridation série de sources de puissance électrique qui permet de
multiplier le nombre de rotor et donc d'améliorer potentiellement la
robustesse des aéronefs vis-à-vis des pannes rotor.

L'hybridation série de sources de puissance électrique consiste à
10 associer un turbogénérateur (turbine à gaz + génératrice électrique) avec
une batterie. Cette hybridation permet d'associer les performances de
chacune des sources et permet de bénéficier d'un système plus sûr en cas de
perte de l'une des sources électriques.

Classiquement et comme le montre la figure 7, un ensemble propulsif
15 hybride série 10 comporte une turbine à gaz 12 (à turbine libre ou liée)
entraînant l'arbre mécanique d'une génératrice électrique 14 disposant de n
phases en sortie et alimentant une barre de distribution AC 16, et un système
de contrôle (mesure et commande) de la vitesse de la turbine à gaz 18
(vitesse de rotation fixe N1). La barre de distribution AC 16 alimente une
20 pluralité de canaux de distribution AC 20 composés chacun d'un redresseur
électrique 22 de type redresseur commandé alimentant un bus DC 24, d'un
dispositif de stockage ou de dissipation électrique 26 permettant de gérer les
lâchers de charges (limitation de la tension du bus DC), d'une batterie 28 en
série avec un convertisseur réversible DC/DC 30 permettant de gérer la
25 charge et la décharge de la batterie et alimentant le bus DC 24 en parallèle
du redresseur électrique 22. Le bus DC 24 alimente à son tour une pluralité
de sous-canaux propulsifs composés d'onduleurs électriques 32 alimentant
sous l'action d'un module de commande de poussée 34 les moteurs 36
entraînant les hélices de l'aéronef 38.

30 Le problème avec une telle architecture est que le convertisseur
réversible DC/DC est nécessairement surdimensionné. En effet, ce dernier

gère la charge et la décharge de la batterie mais également le taux d'hybridation entre la batterie et génératrice électrique qui se partage la puissance nécessaire à l'alimentation du bus DC. Le convertisseur est donc dimensionné par rapport à la puissance de décharge à fournir, c'est-à-dire la puissance des propulseurs (ou une grande partie de cette puissance), ce qui, par exemple pour une batterie li-ion, représente de trois à six fois la puissance de recharge de la batterie. Le convertisseur est donc surdimensionné et son poids et son volume impactent fortement le poids de l'aéronef et en conséquence la charge transportable.

10 Objet et résumé de l'invention

La présente invention propose donc une nouvelle architecture d'ensemble propulsif hybride série pour aéronef palliant les inconvénients précités.

Ce but est atteint avec un ensemble propulsif hybride série comportant une turbine à gaz entraînant un arbre mécanique d'une génératrice électrique disposant de n phases en sortie et alimentant une barre de distribution AC, et un système de contrôle de la vitesse de la turbine à gaz, ladite barre de distribution AC alimentant une pluralité de canaux de distribution AC composés chacun d'un redresseur électrique et d'une batterie se partageant la puissance nécessaire à l'alimentation d'un bus DC, ledit bus DC alimentant à son tour une pluralité de sous-canaux propulsifs composés d'onduleurs électriques alimentant sous le contrôle d'un module de commande des moteurs entraînant des propulseurs, ensemble caractérisé en ce qu'il comporte en outre :

25 . un chargeur de batterie pour charger ladite batterie depuis ledit bus DC,

. un module de gestion de puissance délivrant une référence en puissance pour ladite génératrice électrique,

30 . un module de gestion du taux d'hybridation pour gérer le partage de puissance entre ladite génératrice électrique et ladite batterie en contrôlant la tension dudit bus DC,

et en ce que ladite batterie est connectée directement sur ledit bus DC via un composant passif et ledit redresseur électrique est un convertisseur passif (non commandé).

5 Avantageusement, ledit composant passif est formé d'une simple diode et ledit convertisseur passif est formé d'un simple pont de diodes. Ledit chargeur de batterie est formé par un simple convertisseur DC/DC non réversible.

10 Ainsi, en utilisant une diode pour la décharge de la batterie et un convertisseur DC/DC non réversible, dédié et dimensionné uniquement pour la charge de la batterie, il est possible de réduire le redresseur électrique à simple pont de diodes et d'optimiser la connexion de la batterie sur le bus DC dont le contrôle de la tension permet en outre de contrôler efficacement le taux d'hybridation.

15 Selon le mode de réalisation envisagé, l'ensemble comporte un dispositif autonome de limitation de la tension du bus DC ou ledit chargeur de batterie forme un dispositif de limitation de la tension du bus DC en assurant également une gestion des lâchers de charges.

20 Selon un mode de réalisation particulier, ledit module de gestion du taux d'hybridation est configuré pour contrôler ladite tension de bus DC via la vitesse de rotation de ladite génératrice électrique soit via la tension de sortie de ladite génératrice électrique. Lorsque la génératrice électrique est une génératrice à rotor bobiné, ladite tension de sortie est contrôlée via le courant d'excitation imposé au niveau du rotor de ladite génératrice électrique.

25 Brève description des dessins

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description faite ci-après à titre indicatif mais non limitatif en référence aux figures suivantes sur lesquelles :

30 - la figure 1 est un schéma de principe d'un ensemble propulsif hybride série conforme à l'invention,

- la figure 2 est un logigramme de contrôle du taux d'hybridation via la vitesse de sortie de la turbine à gaz,
- la figure 3 illustre un exemple de réalisation du contrôle de la figure 2 par la régulation de la vitesse de la turbine à gaz,
- 5 - la figure 4 montre les différentes formes d'ondes au niveau de points caractéristiques de l'ensemble propulsif de la figure 1,
- la figure 5 est un logigramme de contrôle du taux d'hybridation via la tension de sortie de la génératrice,
- la figure 6 illustre un exemple de réalisation du contrôle de la figure 4 par la régulation de la tension de la génératrice, et
- 10 - la figure 7 est un schéma de principe d'un ensemble propulsif hybride série selon l'art antérieur.

Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

15 L'invention trouve plus particulièrement application dans les applications propulsives de type VTOL (pour Vertical Take Off & Landing) où chaque propulseur est associé à un convertisseur.

La figure 1 montre un ensemble propulsif hybride série 40 conforme à l'invention et comportant une turbine à gaz 42 (à turbine libre ou liée) entraînant l'arbre mécanique d'une génératrice électrique 44
20 disposant de n phases en sortie et alimentant une barre de distribution AC 46, et un système de contrôle (mesure et commande) de la vitesse de la turbine à gaz 48. La barre de distribution AC 46 alimente une pluralité de canaux de distribution AC 50 composés chacun d'un redresseur électrique
25 52, convertisseur passif formé d'un simple pont de diodes alimentant un bus DC 54, facultativement d'un dispositif autonome 56 de stockage ou de dissipation électrique permettant de gérer les lâchers de charges (limitation de la tension du bus DC), d'une batterie 58 connectée directement sur le bus DC via une simple diode 60, composant passif en permettant sa
30 décharge. Le bus DC 54 alimente à son tour une pluralité de sous-canaux

propulsifs composés d'onduleurs électriques 62 alimentant sous l'action d'un module de commande de poussée 64 des moteurs 66 entraînant des hélices de l'aéronef (propulseurs 68).

5 Selon l'invention, cet ensemble propulsif hybride série comporte également un chargeur de batterie 70 formé d'un simple convertisseur DC/DC non réversible, dédié à la charge de la batterie et relié au bus DC 54, un module de gestion de puissance 72 et un module de gestion du taux d'hybridation 74.

10 Le module de gestion de puissance 72 définit une référence en puissance P_{Gen_Max} que doit fournir la génératrice 44 à partir de l'état de charge de la batterie (State-Of-Charge en anglais, SOC) et d'autres informations utiles comme l'altitude, la vitesse, la température, la localisation, les réserves carburants, etc..., ce qui permet de faire le partage de puissance entre la génératrice et la batterie 58. Cette
15 puissance maximale de référence est fournie au module de gestion du taux d'hybridation 74 qui va contrôler la tension du bus DC 54 afin de contrôler le taux de décharge de la batterie et donc gérer ce partage de puissance entre génératrice et batterie. Si la tension du bus DC est supérieure à la tension de la batterie alors la décharge de la batterie ne
20 peut se faire, la diode 60 étant bloquée. Au contraire, si la tension de bus DC est inférieure à la tension de la batterie, alors la batterie fournira de la puissance, la diode 60 étant alors passante. La recharge de la batterie pourra se faire via le chargeur de batterie dédié 70.

25 Le contrôle de la tension du bus DC 54 peut se faire selon deux réalisations distinctes soit par le contrôle de la vitesse de rotation de la génératrice électrique (et donc de la vitesse en sortie de la turbine à gaz) soit par le contrôle de la tension alternative de sortie de cette génératrice électrique.

30 La figure 2 illustre par un logigramme la stratégie de contrôle du taux d'hybridation par le contrôle de la vitesse de sortie de la turbine à gaz qui peut être décrit par les étapes suivantes.

Dans une première étape 100, il est déterminé par le module de gestion du taux d'hybridation 74 le besoin de puissance des différentes charges puis dans une étape 102 la répartition de la puissance entre la batterie et la source thermique en fonction des capacités de chacune d'entre elles est définie par le module de gestion du taux d'hybridation 74. Le niveau de tension du bus DC est alors défini dans une étape suivante 104 par le module de gestion du taux d'hybridation 74 pour obtenir le partage de puissance désiré et le contrôle de la vitesse de la source thermique est contrôlé dans une étape finale 106 par le module de gestion du taux d'hybridation 74 pour s'assurer que cette tension du bus DC est bien celle désirée.

En effet, lors de l'utilisation d'une génératrice à aimant permanent (ou d'une génératrice à flux rotorique constant), on peut écrire, en première approximation, l'équation suivante :

$$V_{dc_busbar} = k_{gen} * \omega * k_{rectifier}$$

Avec V_{dc_busbar} la tension de Bus DC,

k_{gen} , le coefficient lié la génératrice,

ω , la vitesse de rotation de la génératrice,

$k_{rectifier}$, le gain lié au redresseur électrique.

Les paramètres k pouvant être considérés comme constants, la vitesse ω permet donc bien de contrôler la tension du bus DC et par conséquent le taux de décharge de la batterie.

La figure 3 montre un exemple d'implantation au niveau du module de gestion d'hybridation 74 de la stratégie d'hybridation utilisant le procédé de la figure 2, $N2$ étant la vitesse de la turbine à gaz et de la génératrice électrique et P_{Gen_Max} la puissance de référence maximale que doit fournir la génératrice. Dans ce cas, la référence $N2_ref$ conduira directement à une tension de bus DC. La vitesse $N2$ est déterminée pour limiter la puissance que fournit la turbine à gaz étant entendu que la batterie va naturellement fournir le reste aux charges. Ainsi, quand la tension de la génératrice baisse (équivalent à la vitesse $N2$), la génératrice fourni moins de puissance et la batterie compense

la différence par rapport au besoin des charges. Par contre, quand la tension de la génératrice monte, la puissance de cette dernière augmente limitant le recours à la batterie.

La figure 4 montre différentes formes d'ondes qui peuvent être observées au sein de l'ensemble propulsif de l'invention. A la figure 4a, on observe les différentes puissances fournies aux propulseurs 68, à la batterie 58 et à la génératrice électrique 44 ainsi que la limitation de cette dernière par le module de gestion de puissance 72 à la puissance maximale P_{Gen_Max} . A la figure 4b, on observe la vitesse de la génératrice électrique et la vitesse de référence $N2_ref$ et on peut noter en 300 le besoin d'un dispositif de dissipation (autonome 56 ou chargeur de batterie 70) pour éviter les survitesses de la turbine à gaz 42. A la figure 4c, on observe la tension de bus DC et celle de la batterie.

La figure 5 illustre par un logigramme la stratégie de contrôle du taux d'hybridation par le contrôle de la tension de sortie de la génératrice électrique qui peut être décrit par les étapes suivantes.

Dans une première étape 200, il est déterminé par le module de gestion du taux d'hybridation 74 le besoin de puissance des différentes charges puis dans une étape 202 la répartition de la puissance entre la batterie et la source thermique en fonction des capacités de chacune d'entre elles est définie par le module de gestion du taux d'hybridation 74. Le niveau de tension du bus DC est alors défini dans une étape suivante 204 par le module de gestion du taux d'hybridation 74 pour obtenir le partage de puissance désiré et le contrôle de l'excitation de la génératrice électrique est assuré dans une étape finale 206 par le module de gestion du taux d'hybridation 74 pour s'assurer que cette tension du bus DC est bien celle désirée.

Lors de l'utilisation d'une génératrice à rotor bobiné, la tension de sortie peut être contrôlée via le courant d'excitation imposé au niveau du rotor de la machine. On peut écrire, en première approximation, l'équation suivante :

$$V_{dc_busbar} = k_{gen} * \omega * I_{exc} * k_{rectifier}$$

Avec V_{dc_busbar} la tension de Bus DC,

k_{gen} , le coefficient lié la génératrice,

ω , la vitesse de rotation de la génératrice,

I_{exc} , le courant d'excitation,

5 $k_{rectifier}$, le gain lié au redresseur électrique.

Les paramètres k et ω pouvant être considérés comme constants, le courant d'excitation I_{exc} permet donc de contrôler la tension du bus DC et par conséquent le taux de décharge de la batterie.

La figure 6 montre un exemple d'implantation au niveau du module de
10 gestion d'hybridation 74 de la stratégie d'hybridation utilisant le procédé de la
figure 5, V_{gen} étant la tension aux bornes de la génératrice électrique et
comme précédemment P_{Gen_Max} la puissance maximale que peut fournir la
génératrice. Dans ce cas, la référence V_{gen_ref} conduira directement à une
tension de bus DC. Elle est déterminée pour limiter la puissance que fournit la
15 turbine à gaz étant entendue que comme précédemment la batterie va
naturellement fournir le reste aux charges. Et comme précédemment, quand
la tension de la génératrice baisse, la génératrice fourni moins de puissance
et la batterie compense la différence par rapport au besoin des charges. Par
contre, quand la tension de la génératrice monte, la puissance de cette
20 dernière augmente limitant le recours à la batterie.

Avec une batterie connectée via un simple composant passif pour sa
décharge, l'invention est néanmoins capable d'hybrider cette batterie de
manière indirecte avec la génératrice électrique par un contrôle en tension de
la source électrique composée de la machine thermique, de cette génératrice
25 électrique et du convertisseur passif. Le contrôle de l'hybridation se fait donc
sans l'aide d'une électronique de puissance commandable (à l'exception de la
recharge batterie) comme le nécessitait l'art antérieur. De plus, lorsque
l'ensemble propulsif ne comporte pas de dispositif spécifique de lâchers
de charges, le chargeur de batterie peut assurer également la fonction de
30 limitation de la tension de bus DC.

Cette capacité d'hybridation indirecte par contrôle d'une tension de bus par la source électrique alors que la batterie est connectée avec des composants passifs est particulièrement innovante au vu de l'état de l'art.

REVENDEICATIONS

1. Ensemble propulsif hybride série (40) comportant une turbine à gaz (42) entraînant un arbre mécanique d'une génératrice électrique (44) disposant de n phases en sortie et alimentant une barre de distribution AC (46), et un système de contrôle de la vitesse de la turbine à gaz (48), ladite barre de distribution AC alimentant une pluralité de canaux de distribution AC (50) composés chacun d'un redresseur électrique (52) et d'une batterie (58) se partageant la puissance nécessaire à l'alimentation d'un bus DC (54), ledit bus DC alimentant à son tour une pluralité de sous-canaux propulsifs composés d'onduleurs électriques (62) alimentant sous le contrôle d'un module de commande (64) des moteurs (66) entraînant des propulseurs (68), ensemble caractérisé en ce qu'il comporte en outre :

. un chargeur de batterie (70) pour charger ladite batterie depuis ledit bus DC,

. un module de gestion de puissance (72) délivrant une référence en puissance pour ladite génératrice électrique,

. un module de gestion du taux d'hybridation (74) pour gérer le partage de puissance entre ladite génératrice électrique et ladite batterie en contrôlant la tension dudit bus DC,

et en ce que ladite batterie est connectée directement sur ledit bus DC via un composant passif (60) et ledit redresseur électrique est un convertisseur passif.

2. Ensemble propulsif hybride série selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit composant passif est formé d'une simple diode (60).

3. Ensemble propulsif hybride série selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit convertisseur passif est formé d'un simple pont de diodes (52).

4. Ensemble propulsif hybride série selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit chargeur de batterie est formé par un simple convertisseur DC/DC non réversible.

5 5. Ensemble propulsif hybride série selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un dispositif autonome (56) de limitation de la tension du bus DC.

10 6. Ensemble propulsif hybride série selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit chargeur de batterie forme un dispositif de limitation de la tension du bus DC en assurant également une gestion des lâchers de charges.

7. Ensemble propulsif hybride série selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit module de gestion du taux d'hybridation est configuré pour contrôler ladite tension de bus DC via la vitesse de rotation de ladite génératrice électrique.

15 8. Ensemble propulsif hybride série selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit module de gestion du taux d'hybridation est configuré pour contrôler ladite tension de bus DC via la tension de sortie de ladite génératrice électrique.

20 9. Ensemble propulsif hybride série selon la revendication 8, dans lequel la génératrice électrique est une génératrice à rotor bobiné, caractérisé en ce que ladite tension de sortie est contrôlée via un courant d'excitation imposé au niveau d'un rotor de ladite génératrice électrique.

25 10. Ensemble propulsif hybride série selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que lesdits propulseurs sont des hélices d'un aéronef.

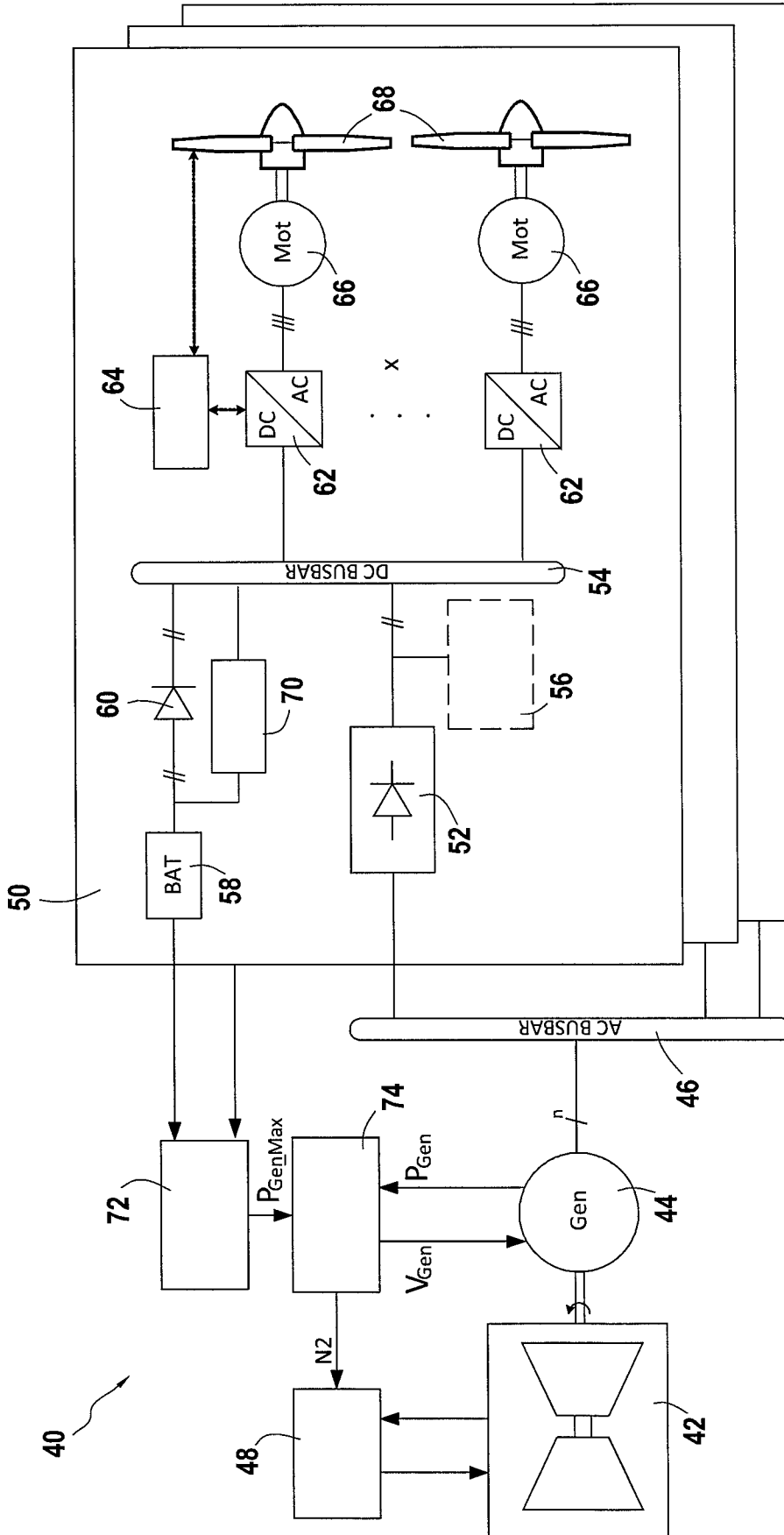


FIG.1

2/5

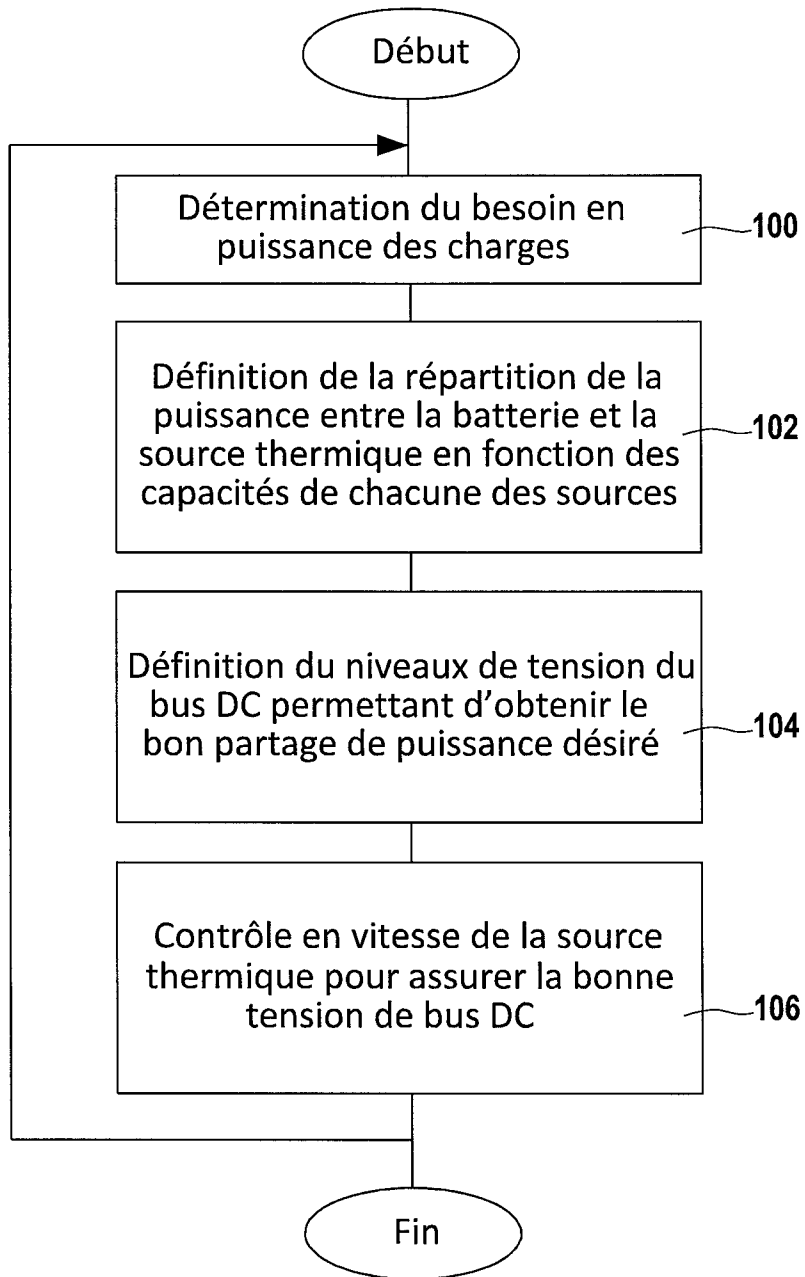


FIG.2

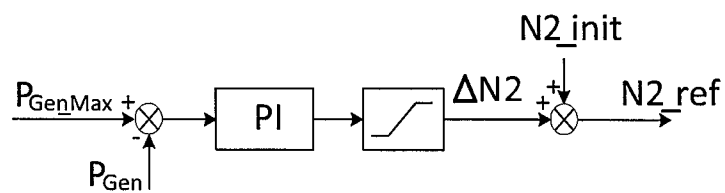


FIG.3

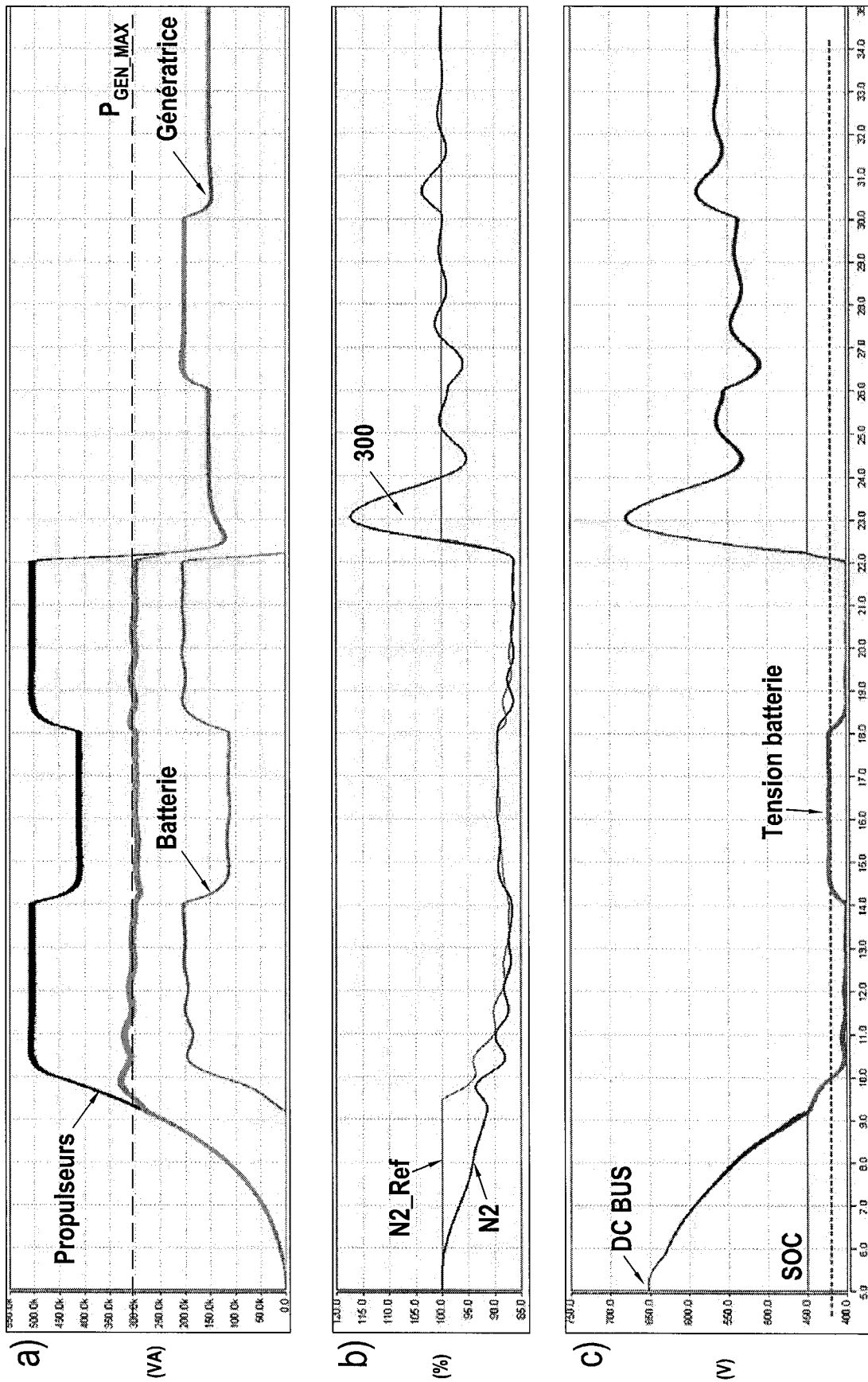


FIG.4

4/5

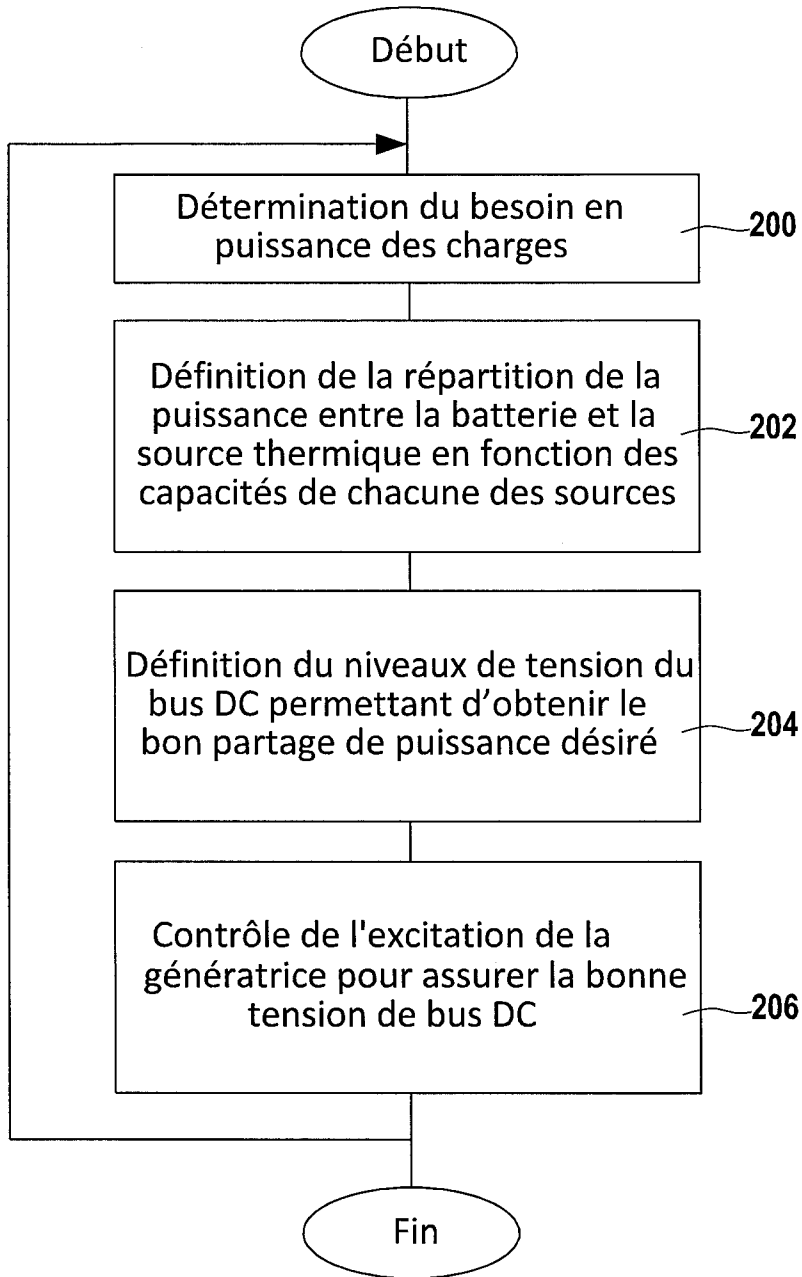


FIG.5

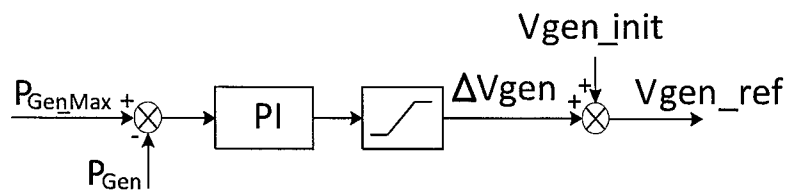
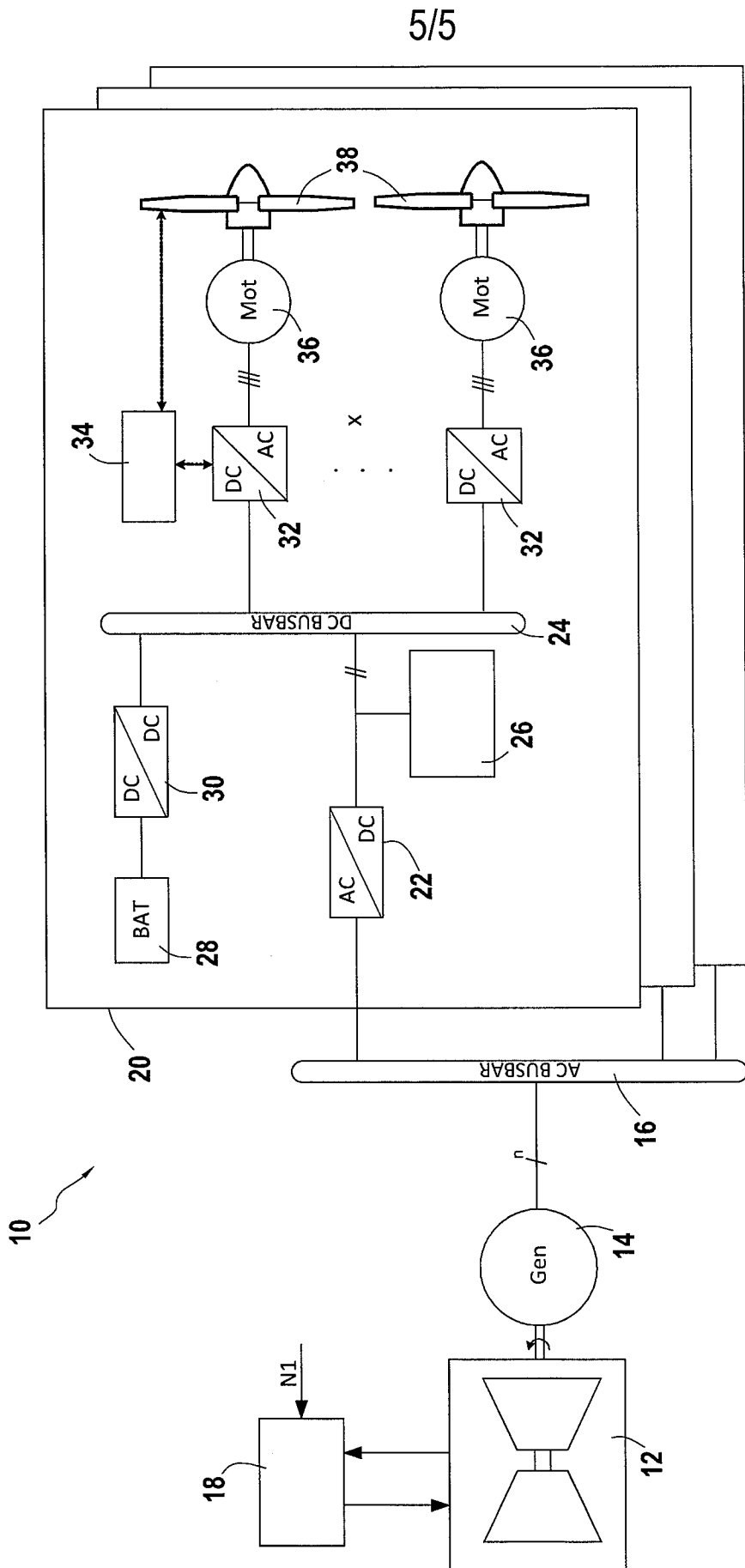


FIG.6



5/5

FIG.7