

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 145 147

21 N° d'enregistrement national : 23 00539

51 Int Cl⁸ : B 64 D 31/12 (2023.01), B 60 L 50/10, 50/50, B 64 C 29/00

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 20.01.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 26.07.24 Bulletin 24/30.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : ASCENDANCE FLIGHT TECHNOLOGIES Société par actions simplifiée (SAS) — FR.

72 Inventeur(s) : GRÉGOIRE Jérôme et LAM SHANG LEEN Ludovic.

73 Titulaire(s) : ASCENDANCE FLIGHT TECHNOLOGIES Société par actions simplifiée (SAS).

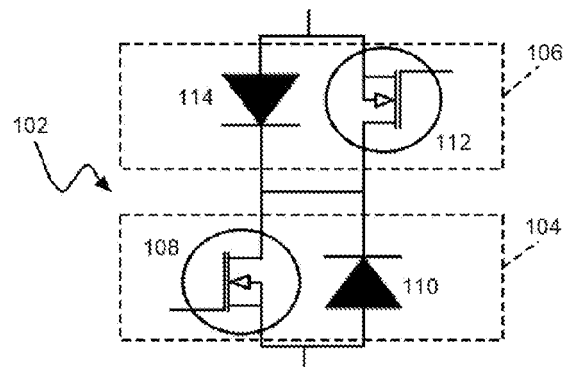
74 Mandataire(s) : Cabinet NETTER.

54 Aéronef à source d'énergie hybride et à jonction à transistor de distribution et de protection.

57 L'invention concerne un aéronef comprenant:
- des groupes d'entraînement,
- une pluralité de batteries des groupes d'entraînement,
- au moins une source de génération électrique reliée à une ou plusieurs batteries et comprenant au moins un convertisseur électrique, et
- une commande d'alimentation pour commander chaque source de génération électrique en fonction des besoins en puissance des groupes d'entraînement et pour traiter chaque batterie de manière passive.

Les batteries sont réparties en groupements couplés chacun à un convertisseur électrique. Chaque convertisseur électrique est relié à chaque batterie du groupement auquel il est couplé via une jonction (102) respective incluant deux transistors à effet de champ à grille métal-oxyde (104, 106) branchés en série et de sens passants opposés. Chaque jonction (102) peut fonctionner exclusivement selon un état unidirectionnel dans lequel le courant circule du convertisseur électrique vers la batterie, un état bidirectionnel et un état bloquant.

[Fig. 5]



FR 3 145 147 - A1



Description

Titre de l'invention : Aéronef à source d'énergie hybride et à jonction à transistor de distribution et de protection

- [0001] Le domaine de l'invention se rapporte aux aéronefs, et plus particulièrement aux aéronefs à motorisation électrique.
- [0002] L'aéronautique connaît actuellement de nombreuses évolutions liées aux contraintes environnementales, et notamment à l'exigence de réduction progressive des émissions de gaz à effets de serre tels que le dioxyde de carbone (CO₂). À ce titre, le développement d'aéronefs à motorisation électrique apparaît comme un réel progrès.
- [0003] L'architecture classique d'un aéronef à motorisation électrique intègre au moins une source de génération électrique agencée pour alimenter des blocs de batteries – ou « *battery packs* » en anglais –, lesquels fournissent une puissance à des groupes d'entraînement en fonction de leurs besoins. Par exemple, dans le cas d'un avion à décollage et atterrissage verticaux électrique (aussi connu sous l'acronyme anglophone eVTOL pour « *electric Vertical Take-Off and Landing* »), les batteries sont combinées à des groupes d'entraînement vertical et à des groupes d'entraînement horizontal. La multiplication des batteries permet notamment de répondre à des normes de sécurité imposant une redondance des composants pour garantir une continuité du vol et de l'atterrissage – ou « *continued safe flight and landing* » en anglais.
- [0004] En particulier, dans le cas d'un aéronef à source d'énergie hybride, la source de génération électrique comprend un générateur d'énergie électrique à combustible, par exemple un turbomoteur ou une pile à combustible.
- [0005] Le circuit d'alimentation des batteries peut être configuré de sorte que les batteries sont branchées les unes aux autres en parallèle. Un tel circuit est alors muni d'un système de protection par séparation pour isoler les batteries les unes des autres en cas de défaillance, et notamment de court-circuit. L'activation d'un tel système de protection entraîne toutefois une perte significative de puissance due à l'isolation d'une des batteries.
- [0006] Une solution possible pour éviter la propagation d'une défaillance à l'ensemble des batteries tout en limitant l'éventuelle perte de puissance consiste à séparer directement les batteries et à organiser le circuit d'alimentation en conséquence. Cependant, un tel principe de séparation se trouve contrarié dans le cas d'un aéronef à source d'énergie hybride. En effet, un aéronef à source d'énergie hybride a ceci de particulier que les batteries sont en général plus nombreuses que les sources de génération électrique pour des raisons de redondance, ce qui implique de connecter les batteries entre elles via des sources de génération électrique partagées. Une telle interconnexion constitue un point

de défaillance commun entre des batteries alimentées par une même source de génération électrique.

[0007] Par ailleurs, chaque batterie est généralement couplée à un convertisseur électrique, par exemple un onduleur ou un redresseur. De ce fait, la multiplication des batteries, et donc des convertisseurs électriques, a un impact important sur le poids de l'aéronef et donc sur sa consommation d'énergie électrique lors d'un vol.

[0008] La présente invention vient améliorer la situation.

[0009] À ce titre, l'invention se rapporte à un aéronef à source d'énergie hybride comprenant :

[0010] - au moins deux groupes d'entraînement comprenant chacun un propulseur et un moteur électrique,

[0011] - une pluralité de sources d'énergie électrique stockée agencées chacune pour fournir de l'énergie électrique à un ou plusieurs des moteurs électriques,

[0012] - au moins une source de génération électrique comprenant un générateur électrique à combustible et reliée à une ou plusieurs des sources d'énergie électrique stockée, et

[0013] - une commande d'alimentation agencée pour émettre une commande de puissance à l'au moins une source de génération électrique en fonction des besoins en puissance des groupes d'entraînement, la pluralité de sources d'énergie électrique stockée étant agencée pour fournir de l'énergie électrique en fonction de la différence entre les besoins en puissance des groupes d'entraînement et la puissance fournie par l'au moins une source de génération électrique sur la base de la commande de puissance, l'au moins une source de génération électrique étant en outre propre à recharger la pluralité de sources d'énergie électrique stockée de sorte que chaque source d'énergie électrique stockée est traitée de manière passive.

[0014] Les sources d'énergie électrique stockée sont réparties en plusieurs groupements.

[0015] Chaque source de génération électrique comprend au moins un convertisseur électrique, le nombre total de convertisseurs électriques étant égal au nombre de groupements, chaque convertisseur électrique étant respectivement couplé à un groupement.

[0016] Chaque convertisseur électrique est relié à chaque source d'énergie électrique stockée du groupement auquel le convertisseur électrique est couplé via une jonction respective incluant :

- un premier transistor à effet de champ à grille métal-oxyde et un deuxième transistor à effet de champ à grille métal-oxyde branchés en série et de sens passants opposés, ou

- deux circuits électriques comprenant chacun un transistor bipolaire à grille isolée et une diode inverse branchés en parallèle, les deux circuits électriques étant branchés en série et de sens passants opposés.

- [0017] La commande d'alimentation est agencée pour commander le fonctionnement de chaque jonction selon un ensemble d'états constitué de : un état unidirectionnel dans lequel le courant circule du convertisseur électrique vers la source d'énergie électrique stockée, un état bidirectionnel dans lequel le courant circule dans les deux sens et un état bloquant dans lequel la circulation du courant est bloquée.
- [0018] Dans un ou plusieurs modes de réalisation, le premier transistor à effet de champ à grille métal-oxyde et le deuxième transistor à effet de champ à grille métal-oxyde d'au moins une jonction sont en carbure de silicium.
- [0019] Dans un ou plusieurs modes de réalisation, au moins une jonction inclut en outre un composant électronique comprenant une résistance branchée en série avec :
- un transistor à effet de champ à grille métal-oxyde, ou
 - un circuit électrique comprenant un transistor bipolaire à grille isolée et une diode inverse branchés en parallèle,
- [0020] le composant électronique étant agencé pour permettre une précharge de la source d'énergie électrique stockée correspondante.
- [0021] Dans un ou plusieurs modes de réalisation, au moins une source d'énergie électrique stockée est une batterie.
- [0022] Dans un ou plusieurs modes de réalisation, les groupes d'entraînement comprennent au moins un groupe d'entraînement de décollage et au moins un groupe d'entraînement de croisière.
- [0023] Par exemple, au moins un groupe d'entraînement de décollage est un groupe d'entraînement de décollage/atterrissage vertical et au moins un groupe d'entraînement de croisière est un groupe d'entraînement horizontal.
- [0024] Dans un ou plusieurs modes de réalisation, le générateur d'énergie électrique à combustible d'au moins une source de génération électrique est un turbomoteur et chaque convertisseur électrique de la source de génération électrique est un convertisseur de courant alternatif-continu.
- [0025] Le turbomoteur peut être alimenté par du carburant, du biocarburant ou de l'essence synthétique.
- [0026] Dans un ou plusieurs modes de réalisation, le générateur d'énergie électrique à combustible d'au moins une source de génération électrique est une pile à combustible et chaque convertisseur électrique de la source de génération électrique est un convertisseur de courant continu-continu.
- [0027] Dans un ou plusieurs modes de réalisation, l'aéronef est agencé pour fonctionner au moins selon un mode turbo dans lequel les besoins en puissance des groupes d'entraînement nécessitent une fourniture de puissance en provenance de l'au moins une source de génération électrique et de la pluralité de sources d'énergie électrique stockée, et dans lequel la commande d'alimentation commande chaque jonction selon

l'état unidirectionnel.

- [0028] Dans un ou plusieurs modes de réalisation, l'aéronef est agencé pour fonctionner au moins selon un mode économie d'énergie dans lequel la commande d'alimentation commande chaque jonction selon l'état bloquant.
- [0029] Dans un ou plusieurs modes de réalisation, l'aéronef est agencé pour fonctionner au moins selon un mode de charge dans lequel la commande d'alimentation émet une commande de puissance à l'au moins une source de génération électrique pour satisfaire aux besoins en puissance des groupes d'entraînement tout en chargeant les sources d'énergie électrique stockée.
- [0030] Typiquement, dans le mode de charge, la commande d'alimentation commande séquentiellement chaque jonction en une ou plusieurs phases de charge, la commande d'alimentation étant agencée pour mettre en œuvre chaque phase de charge en associant chaque convertisseur électrique à une source d'énergie électrique stockée du groupement auquel le convertisseur électrique est couplé, en commandant chaque jonction entre un convertisseur électrique et une source d'énergie électrique stockée associés selon l'état unidirectionnel et en commandant toute autre jonction selon l'état bloquant, et ce jusqu'à ce que chaque source d'énergie électrique stockée soit chargée.
- [0031] Avantagusement, dans le mode de charge, la commande d'alimentation commande séquentiellement chaque jonction en une ou plusieurs phases de charge, la commande d'alimentation étant agencée pour mettre en œuvre chaque phase de charge en associant chaque convertisseur électrique à plusieurs sources d'énergie électrique stockée du groupement auquel le convertisseur électrique est couplé, en commandant chaque jonction entre un convertisseur électrique et une source d'énergie électrique stockée associés selon l'état bidirectionnel et en commandant toute autre jonction selon l'état bloquant, et ce jusqu'à ce que chaque source d'énergie électrique stockée soit chargée.
- [0032] Dans un ou plusieurs modes de réalisation, l'aéronef est agencé pour fonctionner au moins selon un mode tampon dans lequel la commande d'alimentation émet une commande de puissance à l'au moins une source de génération électrique pour satisfaire aux besoins en puissance des groupes d'entraînement via les sources d'énergie électrique stockée, et dans lequel la commande d'alimentation commande séquentiellement chaque jonction en une ou plusieurs phases d'alimentation, la commande d'alimentation étant agencée pour mettre en œuvre chaque phase d'alimentation en associant chaque convertisseur électrique à une source d'énergie électrique stockée du groupement auquel le convertisseur électrique est couplé, en commandant chaque jonction entre un convertisseur électrique et une source d'énergie électrique stockée associés selon l'état unidirectionnel et en commandant toute autre jonction selon l'état bloquant, et ce jusqu'à ce que les besoins en puissance des groupes d'entraînement

soient satisfaits.

- [0033] D'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après, et à l'analyse des dessins annexés sur lesquels :
- [0034] [Fig.1] représente une vue schématique de l'architecture électrique d'un aéronef selon l'invention comprenant une unique source de génération électrique,
- [0035] [Fig.2] représente une vue schématique de l'architecture électrique d'un aéronef selon l'invention comprenant deux sources de génération électrique,
- [0036] [Fig.3] illustre un circuit d'alimentation de batteries par des convertisseurs électriques via des jonctions au sein de l'architecture électrique d'un aéronef selon l'invention,
- [0037] [Fig.4] illustre les états possibles d'une jonction,
- [0038] [Fig.5] illustre schématiquement la structure d'une jonction,
- [0039] [Fig.6] illustre schématiquement un mode de réalisation de la structure de la [Fig.5],
- [0040] [Fig.7] illustre un convertisseur électrique et un groupement de batteries couplés du circuit d'alimentation de la [Fig.3] dans un mode de fonctionnement dit « mode turbo » de l'aéronef,
- [0041] [Fig.8] illustre le mode turbo de la [Fig.7] dans le cas où une défaillance apparaît au niveau d'une batterie du groupement,
- [0042] [Fig.9] illustre le mode turbo de la [Fig.7] dans le cas où une défaillance apparaît au niveau du convertisseur électrique couplé au groupement,
- [0043] [Fig.10] illustre un convertisseur électrique et un groupement de batteries couplés du circuit d'alimentation de la [Fig.3] dans un mode de fonctionnement dit « mode économie d'énergie » de l'aéronef,
- [0044] [Fig.11] illustre un convertisseur électrique et un groupement de batteries couplés du circuit d'alimentation de la [Fig.3] dans un mode de fonctionnement dit « mode de charge » ou dans un mode de fonctionnement dit « mode tampon » de l'aéronef, et
- [0045] [Fig.12] illustre le mode de charge ou le mode tampon de la [Fig.11] dans un cas particulier.
- [0046] La [Fig.1] illustre un aéronef 2 comprenant une commande d'alimentation 4, une pluralité de groupes d'entraînement 6, 8, 10, 12, 14 et 16, une pluralité de sources d'énergie électrique stockée 18, 20, 22 et 24 ainsi qu'une source de génération électrique 26.
- [0047] Typiquement, les deux groupes d'entraînement 6 et 8 sont des groupes d'entraînement de croisière sollicités lors de la phase du vol située entre le décollage et l'atterrissage, tandis que les quatre groupes d'entraînement 10, 12, 14 et 16 sont des groupes d'entraînement de décollage sollicités lors de la phase de décollage.
- [0048] À titre d'exemple, l'aéronef 2 peut être un avion à décollage et atterrissage verticaux électrique – ou eVTOL –, auquel cas les quatre groupes d'entraînement de décollage

10, 12, 14 et 16 sont des groupes d'entraînement vertical et les deux groupes d'entraînement de croisière 6 et 8 sont des groupes d'entraînement horizontal.

- [0049] Dans l'exemple illustré sur la [Fig.1], le groupe d'entraînement de croisière 6 comprend un convertisseur de courant continu-alternatif 30, un moteur électrique 32 et un propulseur 34. De même, le groupe d'entraînement de croisière 8 comprend un convertisseur de courant continu-alternatif 38, un moteur électrique 40 et un propulseur 42.
- [0050] Le convertisseur de courant continu-alternatif 30 (respectivement 38) peut aussi être appelé « onduleur » – ou « *inverter* » dans la littérature anglophone – et est agencé pour générer un courant alternatif à partir d'un courant continu.
- [0051] Le propulseur 34 (respectivement 42), qui correspond par exemple à une hélice, est agencé pour permettre à l'aéronef 2 de se déplacer dans une direction sensiblement horizontale. En régime de vol, le propulseur 34 (respectivement 42) consomme une puissance de l'ordre de 150 kilowatts (kW).
- [0052] Le groupe d'entraînement de croisière 6 (respectivement 8) est relié en entrée à un commutateur 36 (respectivement 44) qui permet de relier cette entrée à la sortie du groupe d'entraînement de décollage 10 (respectivement 14) ou à celle du groupe d'entraînement de décollage 12 (respectivement 16).
- [0053] Le groupe d'entraînement de décollage 10 (respectivement 12, 14 et 16) comprend une hélice 46 (respectivement 50, 54 et 58) entraînée par un moteur électrique 62 (respectivement 66, 70 et 74) et une hélice 48 (respectivement 52, 56 et 60) entraînée par un moteur électrique 64 (respectivement 68, 72 et 76).
- [0054] Dans le cadre de l'invention, les hélices 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58 et 60 sont considérées comme des propulseurs, au même titre que les propulseurs 34 et 42.
- [0055] Les moteurs électriques 62 et 64 (respectivement 66 et 68, 70 et 72, 74 et 76) sont respectivement alimentés par des convertisseurs de courant continu-alternatif 78 et 80 (respectivement 82 et 84, 86 et 88, 90 et 92). Les convertisseurs de courant continu-alternatif 78 et 80 (respectivement 82 et 84, 86 et 88, 90 et 92) sont reliés à un bus électrique du groupe d'entraînement de décollage 10 (respectivement 12, 14 et 16).
- [0056] La source d'énergie électrique stockée 18 (respectivement 20, 22 et 24) est agencée pour stocker de l'énergie électrique afin d'en fournir au groupe d'entraînement de décollage 10 (respectivement 12, 14 et 16) en fonction des besoins en puissance de celui-ci. Par ailleurs, les sources d'énergie électrique stockée 18 et 20 (respectivement 22 et 24) sont également agencées pour fournir de l'énergie électrique au groupe d'entraînement de croisière 6 (respectivement 8) via le commutateur 36 (respectivement 44).
- [0057] Pour ce faire, la source d'énergie électrique stockée 18 (respectivement 20, 22 et 24) est reliée, par le bus électrique du groupe d'entraînement de décollage 10

(respectivement 12, 14 et 16), aux convertisseurs de courant continu-alternatif 78 et 80 (respectivement 82 et 84, 86 et 88, 90 et 92). Par ailleurs, le bus électrique de chacun des groupes d'entraînement de décollage 10 et 12 (respectivement 14 et 16) est relié à une sortie respective de ces derniers à laquelle peut être sélectivement relié le commutateur 36 (respectivement 44).

- [0058] La source d'énergie électrique stockée 18 (respectivement 20, 22 et 24) est typiquement un bloc de batteries – ou « *battery packs* » en anglais –, c'est-à-dire de batteries d'accumulateurs électriques destinés chacun au stockage d'énergie électrique. En variante, les sources d'énergie électrique stockée 18, 20, 22 et 24 peuvent être des supercondensateurs ou une combinaison de batteries et de supercondensateurs.
- [0059] Dans la suite de la description, par souci de concision, la source d'énergie électrique stockée 18 (respectivement 20, 22 et 24) est appelée batterie 18 (respectivement 20, 22 et 24).
- [0060] Typiquement, les batteries 18, 20, 22 et 24 délivrent ensemble une puissance de l'ordre de 800 kilowatts (kW) à 100% de leurs capacités respectives.
- [0061] La source de génération électrique 26 est agencée pour générer de l'énergie électrique et alimenter chacune des batteries 18, 20, 22 et 24. Pour ce faire, la source de génération électrique 26 présente plusieurs bus électriques de distribution.
- [0062] Dans l'exemple de la [Fig.1], la source de génération électrique 26 est reliée à chacun des groupes d'entraînement de décollage 10, 12, 14 et 16 via un bus électrique de distribution respectif. Les bus électriques de distribution permettent de relier chaque groupe d'entraînement de décollage 10, 12, 14 et 16 à la batterie respectivement associée 18, 20, 22 et 24.
- [0063] Dans l'exemple de la [Fig.1], la source de génération électrique 26 comprend deux convertisseurs électriques 94 et 96 ainsi qu'un générateur d'énergie électrique à combustible 98.
- [0064] Plus particulièrement ici, les convertisseurs électriques 94 et 96 sont des convertisseurs de courant alternatif-continu tandis que le générateur d'énergie électrique à combustible 98 est un turbomoteur, par exemple un générateur à turbine – ou turbogénérateur.
- [0065] Le convertisseur de courant alternatif-continu 94 (respectivement 96) est relié aux entrées respectives des groupes d'entraînement de décollage 10 et 12 (respectivement 14 et 16). Ainsi, le convertisseur de courant alternatif-continu 94 définit le point de départ des bus électriques de distribution reliant la source de génération électrique 26 respectivement aux entrées des groupes d'entraînement de décollage 10 et 12 tandis que le convertisseur de courant alternatif-continu 96 définit le point de départ des bus électriques de distribution reliant la source de génération électrique 26 respectivement aux entrées des groupes d'entraînement de décollage 14 et 16.

- [0066] Le convertisseur de courant alternatif-continu 94 (respectivement 96) peut aussi être appelé « redresseur » – ou « *rectifier* » dans la littérature anglophone – et est agencé pour générer un courant continu à partir d'un courant alternatif.
- [0067] Typiquement, le turbomoteur 98 peut délivrer une puissance de l'ordre de 300 kilowatts (kW) à 100% de sa capacité.
- [0068] Il doit être noté que la source de génération électrique 26 peut fonctionner aussi bien à courant continu qu'à courant alternatif, auquel cas les convertisseurs 94 et 96 sont, selon le cas, des convertisseurs de courant alternatif-continu ou des convertisseurs de courant continu-continu – ou « *DC-to-DC converter* » dans la littérature anglophone.
- [0069] La source de génération électrique 26 peut ainsi être basée sur un turbomoteur alimenté par un réservoir de carburant conventionnel, de biocarburant ou d'essence synthétique (aussi connue sous le terme anglophone « *synthetic fuel* » ou « *synfuel* »). Dans un tel cas, les convertisseurs électriques 94 et 96 sont des convertisseurs de courant alternatif-continu. En variante, la source de génération électrique 26 peut être basée sur une source d'énergie à base d'hydrogène, comme une pile à combustible. Dans un tel cas, les convertisseurs électriques 94 et 96 sont des convertisseurs de courant continu-continu. Dans le cadre de l'invention, de telles sources d'énergie sont considérées comme des générateurs d'énergie électrique à combustible.
- [0070] La commande d'alimentation 4 est un appareil basse tension agencé pour commander, d'une part, la source de génération électrique 26 et, d'autre part, les commutateurs 36 et 44, ainsi que divers éléments de protection non représentés sur la [Fig.1].
- [0071] L'architecture électrique de l'aéronef 2 permet d'avoir une réelle hybridation des batteries 18, 20, 22 et 24, et non une simple juxtaposition. Ainsi, selon les besoins en puissance, les batteries 18, 20, 22 et 24 et la source de génération électrique 26 peuvent fonctionner de concert.
- [0072] Les batteries 18, 20, 22 et 24 sont des batteries conventionnelles dont le fonctionnement est régi par un système de contrôle classique (plus connu sous le sigle anglophone BMS pour « *Battery Management System* »). Un tel système permet de réaliser des fonctions telles que la surveillance de paramètres – tension, température, état de charge, état de santé, etc. –, la prévention de tout risque de sortie de la plage de fonctionnement prévue – surtension, surintensité, surchauffe, etc. – ou encore l'optimisation des capacités de la batterie. Dans le contexte de l'invention, aucune autre intelligence, notamment logicielle ou matérielle, n'est nécessaire. Par conséquent, les batteries 18, 20, 22 et 24 sont traitées de manière passive dans le sens où leur intégration ne requiert aucune adaptation particulière en dehors de la manière, détaillée ci-après, dont les batteries 18, 20, 22 et 24 sont reliées aux convertisseurs électriques 94 et 96. Du point de vue du reste de l'architecture électrique de l'aéronef

2, les batteries 18, 20, 22 et 24 sont vues comme de simples tampons d'énergie – au sens ici du terme anglophone « *buffer* ». Cela va à l'encontre des solutions existantes dans lesquelles : soit un élément est spécifiquement prévu pour optimiser le fonctionnement des batteries et joue un rôle de commande, soit un élément est prévu pour compenser une éventuelle défaillance des batteries, mais en alternance exclusive, c'est-à-dire sans que les batteries et cet élément soient susceptibles de fonctionner simultanément.

- [0073] Dans le mode de réalisation illustré sur la [Fig.1], l'aéronef 2 comprend une unique source de génération électrique, à savoir la source de génération électrique 26. Toutefois, il doit être compris ici que l'aéronef 2 peut comprendre une pluralité de sources de génération électrique.
- [0074] À titre d'exemple, la [Fig.2] représente un mode de réalisation dans lequel l'aéronef 2 comprend deux sources de génération électrique 26 et 28. La source de génération électrique 26 (respectivement 28) comprend un convertisseur électrique 94 (respectivement 96) et un générateur électrique à combustible 98 (respectivement 100).
- [0075] Dans l'exemple de la [Fig.2], le générateur électrique à combustible 98 (respectivement 100) est un turbomoteur et le convertisseur électrique 94 (respectivement 96) est un convertisseur de courant alternatif-continu.
- [0076] Typiquement, les générateurs électriques à combustible 98 et 100 peuvent chacun délivrer une puissance de l'ordre de 150 kilowatts (kW) à 100% de leurs capacités respectives. Là encore, chacune des sources de génération électrique 26 et 28 peut être basée sur un turbomoteur alimenté par un réservoir de carburant conventionnel, de bio-carburant ou d'essence synthétique. En variante, une source d'énergie alimentée par un réservoir d'hydrogène, comme une pile à combustible, peut être utilisée.
- [0077] L'architecture électrique globale de l'aéronef 2 a été décrite en référence à la [Fig.1] et à la [Fig.2].
- [0078] Comme détaillé précédemment, l'aéronef 2 comprend au moins une source de génération électrique – une unique source de génération électrique 26 sur la [Fig.1], deux sources de génération électrique 26 et 28 sur la [Fig.2] – agencée pour alimenter une ou plusieurs sources d'énergie électrique stockée – quatre batteries 18, 20, 22 et 24 sur la [Fig.1] et la [Fig.2].
- [0079] L'aéronef 2 est un aéronef à source d'énergie hybride et comprend généralement à ce titre plus de batteries que de sources de génération électrique. Par ailleurs, le point de départ de chaque bus électrique de distribution de chaque source de génération électrique est défini par un convertisseur électrique – ici les convertisseurs de courant alternatif-continu 94 et 96 – de sorte que le nombre de convertisseurs électriques est réduit et que le poids de l'aéronef 2 s'en trouve allégé. En d'autres termes, les convertisseurs électriques sont au niveau des sources de génération électrique et non au

niveau des batteries.

- [0080] À titre d'illustration, les architectures électriques respectivement représentées sur la [Fig.1] et la [Fig.2] ne comprennent que deux convertisseurs électriques 94 et 96 pour quatre batteries 18, 20, 22 et 24.
- [0081] Toutefois, cet avantage relatif au poids de l'aéronef 2 a une contrepartie : les batteries 18, 20, 22 et 24 sont connectées entre elles via la ou les sources de génération électrique 26 et 28. Par conséquent, tout court-circuit survenant au niveau d'une source de génération électrique ou d'une batterie est susceptible de se propager.
- [0082] Pour résoudre ce problème, la Demanderesse propose le circuit d'alimentation représenté sur la [Fig.3]. Dans la suite de la description, on s'intéresse désormais à la manière dont les convertisseurs électriques sont reliés aux batteries.
- [0083] La [Fig.3] illustre un circuit d'alimentation de plusieurs sources d'énergie électrique stockée B_1, \dots, B_M par plusieurs convertisseurs électriques E_1, \dots, E_N . Ici, M est un entier naturel supérieur ou égal à 2 correspondant au nombre de sources d'énergie électrique stockée tandis que N est un entier naturel supérieur ou égal 2 correspondant au nombre de convertisseurs électriques.
- [0084] On comprend que le circuit d'alimentation décrit ici est une généralisation de la partie de l'architecture électrique de la [Fig.1] ou de la [Fig.2] relative aux convertisseurs électriques 94 et 96 et aux batteries 18, 20, 22 et 24. Ainsi, en prenant $M = 4$ et $N = 2$, on retrouve la même configuration que celle de la [Fig.1] ou de la [Fig.2], les sources d'énergie électrique stockée B_1, B_2, B_3 et B_4 correspondant respectivement aux batteries 18, 20, 22 et 24 ; les convertisseurs électriques E_1 et E_2 correspondant respectivement aux convertisseurs électriques 94 et 96.
- [0085] Par souci de concision, les source d'énergie électrique stockée B_1, \dots, B_M sont respectivement appelées batteries B_1, \dots, B_M ci-après.
- [0086] Les batteries B_1, \dots, B_M sont réparties en plusieurs groupements G_1, \dots, G_N de manière à ce que le nombre de groupements G_1, \dots, G_N soit égal au nombre de convertisseurs électriques E_1, \dots, E_N . D'une manière générale, et tant que cette condition est vérifiée, chaque groupement peut comprendre une ou plusieurs batteries, et le nombre de batteries peut d'ailleurs varier d'un groupement à l'autre.
- [0087] Étant donné que le nombre de groupements G_1, \dots, G_N est égal au nombre de convertisseurs électriques E_1, \dots, E_N , il est possible de coupler chaque convertisseur électrique à un groupement. En d'autres termes, une bijection peut être construite entre l'ensemble des convertisseurs électriques E_1, \dots, E_N et l'ensemble des groupements G_1, \dots, G_N .
- [0088] La répartition des batteries B_1, \dots, B_M en groupements permet d'obtenir une isolation efficace entre des batteries de groupements différents.
- [0089] Dans l'exemple de la [Fig.3], chaque convertisseur électrique E_1, \dots, E_N est respec-

tivement couplé à un groupement G_1, \dots, G_N . En particulier, le convertisseur électrique E_1 est couplé au groupement G_1 tandis que le convertisseur électrique E_N est couplé au groupement G_N . Les groupements G_1 et G_N comprennent ici un même nombre P de batteries, où P est un entier naturel non nul. En particulier, le groupement G_1 comprend les batteries B_1, \dots, B_P tandis que le groupement G_N comprend les batteries B_{M-P+1}, \dots, B_M .

- [0090] Comme illustré sur la [Fig.3], chaque convertisseur électrique E_1, \dots, E_N est relié à chaque batterie du groupement auquel il est couplé par une jonction 102 respective. Ainsi, le convertisseur électrique E_1 est relié à chaque batterie B_1, \dots, B_P du groupement G_1 via une jonction 102 respective tandis que le convertisseur électrique E_N est relié à chaque batterie B_{M-P+1}, \dots, B_M du groupement G_N via une jonction 102 respective.
- [0091] Par conséquent, chaque groupement comprend autant de jonctions qu'il comprend de batteries. Il y a ainsi P jonctions dans le groupement G_1 et P batteries dans le groupement G_N .
- [0092] Comme illustré sur la [Fig.4], la jonction 102 est agencée pour fonctionner exclusivement selon trois états possibles : un état unidirectionnel, un état bidirectionnel et un état bloquant. Plus spécifiquement, le fonctionnement de chaque jonction 102 est piloté par la commande d'alimentation 4.
- [0093] Dans l'état unidirectionnel, la jonction 102 permet au courant de circuler du convertisseur électrique vers la batterie. Bien entendu, le courant ne peut alors pas circuler dans le sens opposé, c'est-à-dire de la batterie vers le convertisseur électrique.
- [0094] Dans l'état bidirectionnel, la jonction 102 permet au courant de circuler dans les deux sens, à savoir du convertisseur électrique vers la batterie mais aussi de la batterie vers le convertisseur électrique.
- [0095] Enfin, dans l'état bloquant, la jonction 102 bloque la circulation du courant, dans un sens comme dans l'autre.
- [0096] Il doit être compris ici que la jonction 102 ne peut fonctionner que selon ces trois états. En particulier, la commande d'alimentation 4 ne peut pas commander la jonction 102 pour fonctionner dans un état dans lequel le courant ne pourrait circuler que de la batterie vers le convertisseur électrique.
- [0097] La structure de la jonction 102 est discutée ci-après en référence à la [Fig.5] et à la [Fig.6].
- [0098] Dans un mode de réalisation illustré sur la [Fig.5], la jonction 102 est réalisée en utilisant la technologie du transistor à effet de champ à grille métal-oxyde (plus connu sous l'acronyme anglophone MOSFET pour « *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* ») – ou transistor à effet de champ à grille isolée.
- [0099] Plus particulièrement, la jonction 102 comprend un premier MOSFET 104 et un

deuxième MOSFET 106 branchés en série. Chaque MOSFET 104, 106 comprend trois électrodes – la *grille*, le *drain* et la *source* – qui forment ensemble un semi-conducteur 108, 112. Par ailleurs, chaque MOSFET 104, 106 comprend également un élément parasite formé par la jonction p-n entre le drain et la source : une diode 110, 114. La diode 110, 114 – souvent appelée « *body diode* » dans la littérature anglophone – est inhérente au MOSFET 104, 106.

- [0100] Le sens passant de chaque diode 110, 114 est opposé à celui du semi-conducteur 108, 112 correspondant. L'expression « sens passant » désigne ici le sens de circulation du courant. Ainsi, pour le semi-conducteur 108, 112, le courant circule du drain vers la source pour un canal de type N – comme sur la [Fig.5] –, et de la source vers le drain pour un canal de type P.
- [0101] Pour conférer à la jonction 102 les propriétés illustrées sur la [Fig.4], à savoir un fonctionnement possible selon l'état unidirectionnel, l'état bidirectionnel et l'état bloquant, le premier MOSFET 104 et le deuxième MOSFET 106 sont branchés de manière à ce que leurs semi-conducteurs 108, 112 respectifs soient de sens passants opposés. D'une manière équivalente, les diodes 110, 114 respectives du premier MOSFET 104 et du deuxième MOSFET 106 sont alors également de sens passants opposés. Le premier MOSFET 104 et le deuxième MOSFET 106 sont donc branchés en série et de sens passants opposés.
- [0102] Chaque MOSFET 104, 106 est par exemple un MOSFET en carbure de silicium (plus connu sous l'acronyme anglophone SiC pour « *silicon carbide* ») – ou SiC MOSFET.
- [0103] La jonction 102 est dans l'état unidirectionnel lorsque le premier MOSFET 104 est dans l'état bloquant et que le deuxième MOSFET 106 est dans l'état passant. En d'autres termes, la jonction 102 est dans l'état unidirectionnel lorsque seul le MOSFET dont le semi-conducteur a un sens passant du convertisseur électrique vers la batterie est dans l'état passant. La jonction 102 est dans l'état bidirectionnel lorsque le premier MOSFET 104 et le deuxième MOSFET 106 sont dans l'état passant. La jonction 102 est dans l'état bloquant lorsque le premier MOSFET 104 et le deuxième MOSFET 106 sont dans l'état bloquant.
- [0104] L'état – bloquant ou passant – de chaque MOSFET 104 et 106 est contrôlé par la commande d'alimentation 4. Pour ce faire, la commande d'alimentation 4 applique à la grille de chaque MOSFET 104, 106 la tension nécessaire pour le faire passer de l'état bloquant à l'état passant.
- [0105] En variante, chaque MOSFET 104, 106 peut être remplacé par un transistor bipolaire à grille isolée (plus connu sous le sigle anglophone IGBT pour « *Insulated Gate Bipolar Transistor* ») branché en parallèle avec une diode inverse, c'est-à-dire une diode dont le sens passant est opposé à celui de l'IGBT. Dans un tel mode de réa-

lisation, chaque IGBT remplace donc le semi-conducteur 108, 112 d'un MOSFET 104, 106 tandis que chaque diode inverse remplace la diode 110, 114.

- [0106] La jonction 102 comprend alors deux circuits électriques branchés en série, chaque circuit électrique comprenant un IGBT et une diode inverse branchés en parallèle. Ces deux circuits électriques sont par ailleurs de sens passants opposés, qu'on compare leurs IGBTs respectifs ou leurs diodes inverses respectives.
- [0107] La [Fig.6] représente un mode de réalisation dans lequel, au sein de la jonction 102, le premier MOSFET 104 et le deuxième MOSFET 106 se voient associer un composant électronique 116. Plus exactement, le premier MOSFET 104 et le deuxième MOSFET 106 sont branchés en série sur le fil positif – ou « *positive wire* » en anglais –, tandis que le composant électronique 116 est disposé sur le fil négatif – ou « *negative wire* » en anglais.
- [0108] Le composant électronique 116 comprend un MOSFET 118 et une résistance 120 branchés en série. De même que le premier MOSFET 104 et le deuxième MOSFET 106, le troisième MOSFET 118 comprend un semi-conducteur 122 et une diode parasite 124.
- [0109] Le composant électronique 116 est disposé sur le fil négatif de sorte que le sens passant du troisième MOSFET 118 va de la batterie vers le convertisseur électrique. D'une manière équivalente, le sens passant de la diode 124 va du convertisseur électrique vers la batterie. Comme illustré sur la [Fig.6], le troisième MOSFET 118 est en fait orienté de la même manière que le premier MOSFET 104.
- [0110] Le troisième MOSFET 118 est par exemple un SiC MOSFET. Par ailleurs, là encore, le troisième MOSFET 118 peut être remplacé par un IGBT branché en parallèle avec une diode inverse.
- [0111] Le composant électronique 116 permet de précharger, via le fil négatif, la batterie correspondante.
- [0112] L'utilisation d'un transistor – que ce soit un MOSFET ou un IGBT – permet de réduire la masse de la jonction 102 par rapport à une solution dans laquelle la jonction 102 serait réalisée avec des contacteurs ou des relais électromécaniques. À titre d'illustration, la masse d'un SiC MOSFET est de l'ordre de 6 grammes (g) contre 750 grammes (g) environ pour un relais électromécanique. En plus d'être plus lourds et plus encombrants, les contacteurs et les relais électromécaniques ont également ceci de désavantageux qu'ils comprennent des pièces mobiles – les contacts – qui augmentent les risques de défaillance (frictions, étincelles) lorsque le courant est rétabli ou coupé.
- [0113] Comme détaillé ci-après, le circuit d'alimentation proposé, et notamment l'utilisation des jonctions 102, s'adapte aussi bien au fonctionnement nominal de l'aéronef 2 qu'en cas de défaillance, c'est-à-dire lorsqu'une batterie au moins est indisponible ou lorsqu'un convertisseur électrique au moins est indisponible.

- [0114] La [Fig.7] illustre un mode de fonctionnement de l'aéronef 2 – ou mode turbo – dans lequel les besoins en puissance des groupes d'entraînement, et plus exactement de leurs moteurs électriques respectifs, sont très élevés au point que les batteries B1,...,BM et la ou les sources de génération électrique, donc les convertisseurs électriques E1,...,EN, sont sollicitées au maximum de leurs capacités.
- [0115] Plus particulièrement, la [Fig.7] représente le convertisseur électrique E1 couplé au groupement G1 de batteries B1,...,BP. Bien entendu, l'homme du métier comprend que ce qui suit peut s'appliquer à n'importe quel autre groupement.
- [0116] La commande d'alimentation 4 commande chaque jonction 102 pour fonctionner selon l'état unidirectionnel. Ainsi, le convertisseur électrique E1 alimente chaque batterie B1,...,BP du groupement G1. En cas de défaillance, par exemple un court-circuit, au niveau d'une des batteries B1,...,BP, celle-ci ne peut se propager aux autres batteries B1,...,BP puisque le courant généré par un court-circuit est bloqué par chaque jonction 102 à laquelle est reliée la batterie défaillante. Il en est de même dans le cas où la défaillance apparaît au niveau du convertisseur électrique : le courant généré par un court-circuit ne peut circuler d'une batterie vers le convertisseur électrique défaillant.
- [0117] Dans un cas comme dans l'autre, la commande d'alimentation 4 peut ensuite isoler l'élément défaillant. Pour ce faire, la commande d'alimentation 4 commande les jonctions 102 reliées à l'élément défaillant pour les faire passer de l'état unidirectionnel à l'état bloquant.
- [0118] Ce principe est vrai aussi d'un groupement à l'autre. Étant donné que deux batteries appartenant à des groupements différents ne sont pas reliées entre elles, toute défaillance, par exemple un court-circuit, au niveau d'une des deux batteries ne peut se propager à l'autre. Il en est de même pour deux convertisseurs électriques puisqu'ils ne sont reliés à aucune batterie commune.
- [0119] Dans le cas, illustré sur la [Fig.8], où une défaillance apparaît au niveau de la batterie B1, la commande d'alimentation 4 isole la batterie B1 en faisant passer la jonction 102 via laquelle le convertisseur électrique E1 est relié à la batterie B1 de l'état unidirectionnel à l'état bloquant. Par ailleurs, étant donné qu'une batterie, ici la batterie B1, n'est plus alimentée, l'énergie électrique qui lui était originellement destinée peut être distribuée aux autres batteries, ici les batteries B2,...,BP. On comprend que le circuit d'alimentation est suffisamment flexible pour mettre en œuvre une allocation dynamique de la puissance et ainsi fournir de l'énergie électrique à une batterie dont les besoins sont plus élevés que ceux des autres.
- [0120] Dans le cas, illustré sur la [Fig.9], où une défaillance apparaît au niveau du convertisseur électrique E1, la commande d'alimentation 4 isole le convertisseur électrique E1 en faisant passer toutes les jonctions 102 via lesquelles le convertisseur

électrique E1 est relié aux batteries B1,...,BP de l'état unidirectionnel à l'état bloquant. Là encore, du fait de l'attribution d'un groupement différent à chaque convertisseur électrique, aucune propagation d'un groupement à l'autre n'est possible.

- [0121] La [Fig.10] illustre un mode de fonctionnement de l'aéronef 2 – ou mode économie d'énergie – dans lequel aucune puissance n'est requise de la part de la ou des sources de génération électrique, donc des convertisseurs électriques E1,...,EN.
- [0122] Plus particulièrement, la [Fig.10] représente le convertisseur électrique E1 couplé au groupement G1 de batteries B1,...,BP.
- [0123] La commande d'alimentation 4 commande chaque jonction 102 pour fonctionner selon l'état bloquant. En cas de défaillance, par exemple un court-circuit, au niveau d'une des batteries B1,...,BP ou du convertisseur électrique E1, celle-ci ne peut se propager puisque le courant généré par un court-circuit est bloqué par chaque jonction 102.
- [0124] La [Fig.11] illustre un mode de fonctionnement de l'aéronef 2 – ou mode de charge – dans lequel les besoins en puissance des groupes d'entraînement, et plus exactement de leurs moteurs électriques respectifs, sont faibles au point que les convertisseurs électriques E1,...,EN alimentent les groupes d'entraînement en énergie électrique via les batteries B1,...,BM tout en chargeant ces dernières.
- [0125] Plus particulièrement, la [Fig.11] représente le convertisseur électrique E1 couplé au groupement G1 de batteries B1,...,BP.
- [0126] Chaque convertisseur électrique E1,...,EN est respectivement associé à une batterie parmi les batteries du groupement G1,...,GN auquel il est couplé.
- [0127] La commande d'alimentation 4 commande chaque jonction 102 de sorte que, au sein de chaque groupement, la jonction 102 entre le convertisseur électrique couplé au groupement et la batterie à laquelle il est associé soit dans l'état unidirectionnel, et que les autres jonctions 102 – c'est-à-dire les jonctions 102 respectives entre le convertisseur électrique et les batteries auxquelles il n'est pas associé – soient dans l'état bloquant.
- [0128] Lorsque les N batteries associées chacune à un convertisseur électrique sont chargées, les convertisseurs électriques E1,...,EN, se voient tous attribuer une nouvelle batterie de leur groupement respectif à charger et ainsi de suite. À l'échelle du groupement G1, les batteries B1,...,BP sont ainsi séquentiellement chargées une à la fois par phase de charge – ou itération. À l'échelle du circuit d'alimentation, les batteries B1,...,BM sont séquentiellement chargées N à la fois au maximum par itération. Bien entendu, un convertisseur électrique E1,...,EN n'est pas associé à une nouvelle batterie si toutes les batteries du groupement auquel il est couplé sont déjà chargées.
- [0129] La [Fig.11] illustre ainsi une itération dans laquelle le convertisseur électrique E1 est

associé à la batterie B1.

- [0130] Le nombre d'itérations nécessaires pour charger l'ensemble des batteries B1,...,BP du groupement G1 est de P.
- [0131] À l'échelle du circuit d'alimentation, le nombre d'itérations nécessaires pour charger l'ensemble des batteries B1,...,BM correspond au nombre de batteries du groupement comprenant le plus grand nombre de batteries.
- [0132] La sélection, à chaque itération, de la batterie à charger au niveau de chaque groupement – et donc des N batteries à charger au total au niveau du circuit d'alimentation – peut dépendre des niveaux de charge respectifs des batteries B1,...,BM, par exemple pour donner la priorité aux batteries dont le niveau de charge est le plus faible ou, à l'inverse, aux batteries dont le niveau de charge est le plus élevé.
- [0133] Par ailleurs, la [Fig.11] illustre également un autre mode de fonctionnement de l'aéronef 2 – ou mode tampon – dans lequel les besoins en puissance des groupes d'entraînement, et plus exactement de leurs moteurs électriques respectifs, sont faibles, mais dans lequel les batteries B1,...,BM n'ont pas besoin d'être chargées.
- [0134] Les batteries B1,...,BM sont traitées de manière passive, comme des tampons d'énergie. En d'autres termes, la puissance fournie par les convertisseurs électriques E1,...,EN transite simplement par les batteries B1,...,BM pour alimenter les groupes d'entraînement.
- [0135] D'une manière similaire au mode de charge, la commande d'alimentation 4 met en œuvre une ou plusieurs phases d'alimentation – ou itérations. À chaque itération, chaque convertisseur électrique E1,...,EN est respectivement associé à une batterie parmi les batteries du groupement G1,...,GN auquel il est couplé. La commande d'alimentation 4 commande alors chaque jonction 102 de sorte que la jonction 102 entre un convertisseur électrique et la batterie à laquelle il est associé soit dans l'état unidirectionnel, et que les autres jonctions 102 – c'est-à-dire les jonctions 102 respectives entre un convertisseur électrique et les batteries auxquelles il n'est pas associé – soient dans l'état bloquant. Le mode tampon s'achève lorsque les besoins en puissance des groupes d'entraînement sont satisfaits.
- [0136] Dans l'exemple de la [Fig.11], chaque convertisseur électrique est successivement associé à une batterie. Toutefois, il est possible aussi d'associer, à chaque itération, plusieurs batteries d'un groupement au convertisseur électrique couplé à ce groupement.
- [0137] Ainsi, dans le cas illustré sur la [Fig.12], le convertisseur électrique E1 est associé à un nombre Q de batteries, où Q est un entier naturel strictement supérieur à 1. En l'occurrence, le convertisseur électrique E1 est associé aux Q premières batteries du groupement G1, à savoir les batteries B1,...,BQ.
- [0138] La commande d'alimentation 4 commande chaque jonction 102 de sorte que, au sein

de chaque groupement, la jonction 102 entre le convertisseur électrique couplé au groupement et une batterie à laquelle il est associé soit dans l'état bidirectionnel, et que les autres jonctions 102 – c'est-à-dire les jonctions 102 respectives entre le convertisseur électrique et les batteries auxquelles il n'est pas associé – soient dans un état bloquant.

- [0139] Ainsi, dans l'exemple de la [Fig.12], la jonction 102 entre chacune des batteries B1,...,BQ et le convertisseur électrique E1 est dans l'état bidirectionnel. En revanche, la jonction 102 entre chacune des batteries BQ+1,...,BP et le convertisseur électrique E1 est dans l'état bloquant.
- [0140] Dans le mode de charge de l'aéronef 2, le mode de réalisation de la [Fig.12] présente l'avantage de réduire le temps de charge.
- [0141] L'état bidirectionnel des jonctions 102 entre un convertisseur électrique et les Q batteries auxquelles il est associé permet d'obtenir un flux croisé – ou « *cross-flow* » en anglais – entre ces Q batteries de manière à ce qu'elles ne soient vues par le convertisseur électrique auxquelles elles sont associées que comme une seule et unique batterie.
- [0142] La conséquence de la bidirectionnalité est que toute défaillance, par exemple un court-circuit, qui se produit au niveau d'une batterie se propage aux Q-1 autres batteries associées au même convertisseur électrique. Cet effet est toutefois circonscrit aux Q batteries et ne se propage pas aux autres batteries du même groupement du fait de l'état bloquant des jonctions 102 par lesquelles ces autres batteries sont reliées au convertisseur électrique. Bien entendu, il n'y a pas non plus de propagation aux batteries des autres groupements.
- [0143] La configuration des jonctions 102 illustrée sur la [Fig.12] peut également s'appliquer au mode tampon, et pas seulement au mode de charge.

Revendications

[Revendication 1]

Aéronef (2) à source d'énergie hybride comprenant :

- au moins deux groupes d'entraînement (6, 8, 10, 12, 14, 16)

comprenant chacun un propulseur (34, 42, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60)

et un moteur électrique (32, 40, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76),

- une pluralité de sources d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24)

agencées chacune pour fournir de l'énergie électrique à un ou plusieurs

des moteurs électriques (32, 40, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76),

- au moins une source de génération électrique (26, 28) comprenant un

générateur électrique à combustible (98, 100) et reliée à une ou plusieurs

des sources d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24), et

- une commande d'alimentation (4) agencée pour émettre une

commande de puissance à l'au moins une source de génération

électrique (26, 28) en fonction des besoins en puissance des groupes

d'entraînement (6, 8, 10, 12, 14, 16), la pluralité de sources d'énergie

électrique stockée (18, 20, 22, 24) étant agencée pour fournir de

l'énergie électrique en fonction de la différence entre les besoins en

puissance des groupes d'entraînement (6, 8, 10, 12, 14, 16) et la

puissance fournie par l'au moins une source de génération électrique

(26, 28) sur la base de la commande de puissance, l'au moins une source

de génération électrique (26, 28) étant en outre propre à recharger la

pluralité de sources d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) de sorte

que chaque source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) est

traitée de manière passive,

ledit aéronef (2) étant caractérisé en ce que les sources d'énergie

électrique stockée (18, 20, 22, 24) sont réparties en plusieurs

groupements (G1,...,GN),

en ce que chaque source de génération électrique (26, 28) comprend au

moins un convertisseur électrique (94, 96), le nombre total de conver-

tisseurs électriques (94, 96) étant égal au nombre de groupements

(G1,...,GN), chaque convertisseur électrique (94, 96) étant respec-

tivement couplé à un groupement (G1,...,GN),

en ce que chaque convertisseur électrique (94, 96) est relié à chaque

source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) du groupement

(G1,...,GN) auquel ledit convertisseur électrique (94, 96) est couplé via

une jonction (102) respective incluant :

- un premier transistor à effet de champ à grille métal-oxyde (104) et un

deuxième transistor à effet de champ à grille métal-oxyde (106) branchés en série et de sens passants opposés, ou

- deux circuits électriques comprenant chacun un transistor bipolaire à grille isolée et une diode inverse branchés en parallèle, les deux circuits électriques étant branchés en série et de sens passants opposés, et en ce que la commande d'alimentation (4) est agencée pour commander le fonctionnement de chaque jonction (102) selon un ensemble d'états constitué de : un état unidirectionnel dans lequel le courant circule du convertisseur électrique (94, 96) vers la source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24), un état bidirectionnel dans lequel le courant circule dans les deux sens et un état bloquant dans lequel la circulation du courant est bloquée.

[Revendication 2] Aéronef (2) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le premier transistor à effet de champ à grille métal-oxyde (104) et le deuxième transistor à effet de champ à grille métal-oxyde (106) d'au moins une jonction (102) sont en carbure de silicium.

[Revendication 3] Aéronef (2) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'au moins une jonction (102) inclut en outre un composant électronique (116) comprenant une résistance (120) branchée en série avec :

- un transistor à effet de champ à grille métal-oxyde (118), ou
- un circuit électrique comprenant un transistor bipolaire à grille isolée et une diode inverse branchés en parallèle,

ledit composant électronique (116) étant agencé pour permettre une précharge de la source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) correspondante.

[Revendication 4] Aéronef (2) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) est une batterie.

[Revendication 5] Aéronef (2) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les groupes d'entraînement (6, 8, 10, 12, 14, 16) comprennent au moins un groupe d'entraînement de décollage (10, 12, 14, 16) et au moins un groupe d'entraînement de croisière (6, 8).

[Revendication 6] Aéronef (2) selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'au moins un groupe d'entraînement de décollage (10, 12, 14, 16) est un groupe d'entraînement de décollage/atterrissage vertical et au moins un groupe d'entraînement de croisière (6, 8) est un groupe d'entraînement horizontal.

[Revendication 7] Aéronef (2) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce

que le générateur d'énergie électrique à combustible (98, 100) d'au moins une source de génération électrique (26, 28) est un turbomoteur et en ce que chaque convertisseur électrique (94, 96) de ladite source de génération électrique (26, 28) est un convertisseur de courant alternatif-continu.

- [Revendication 8] Aéronef (2) selon la revendication 7, caractérisé en ce que le turbomoteur est alimenté par du carburant, du biocarburant ou de l'essence synthétique.
- [Revendication 9] Aéronef (2) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le générateur d'énergie électrique à combustible (98, 100) d'au moins une source de génération électrique (26, 28) est une pile à combustible et en ce que chaque convertisseur électrique (94, 96) de ladite source de génération électrique (26, 28) est un convertisseur de courant continu-continu.
- [Revendication 10] Aéronef (2) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est agencé pour fonctionner au moins selon un mode turbo dans lequel les besoins en puissance des groupes d'entraînement (6, 8, 10, 12, 14, 16) nécessitent une fourniture de puissance en provenance de l'au moins une source de génération électrique (26, 28) et de la pluralité de sources d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24), et dans lequel la commande d'alimentation (4) commande chaque jonction (102) selon l'état unidirectionnel.
- [Revendication 11] Aéronef (2) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est agencé pour fonctionner au moins selon un mode économie d'énergie dans lequel la commande d'alimentation (4) commande chaque jonction (102) selon l'état bloquant.
- [Revendication 12] Aéronef (2) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est agencé pour fonctionner au moins selon un mode de charge dans lequel la commande d'alimentation (4) émet une commande de puissance à l'au moins une source de génération électrique (26, 28) pour satisfaire aux besoins en puissance des groupes d'entraînement (6, 8, 10, 12, 14, 16) tout en chargeant les sources d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24).
- [Revendication 13] Aéronef (2) selon la revendication 12, caractérisé en ce que, dans le mode de charge, la commande d'alimentation (4) commande séquentiellement chaque jonction (102) en une ou plusieurs phases de charge, la commande d'alimentation (4) étant agencée pour mettre en œuvre chaque phase de charge en associant chaque convertisseur électrique

(94, 96) à une source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) du groupement (G1,...,GN) auquel ledit convertisseur électrique (94, 96) est couplé, en commandant chaque jonction (102) entre un convertisseur électrique et une source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) associés selon l'état unidirectionnel et en commandant toute autre jonction (102) selon l'état bloquant, et ce jusqu'à ce que chaque source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) soit chargée.

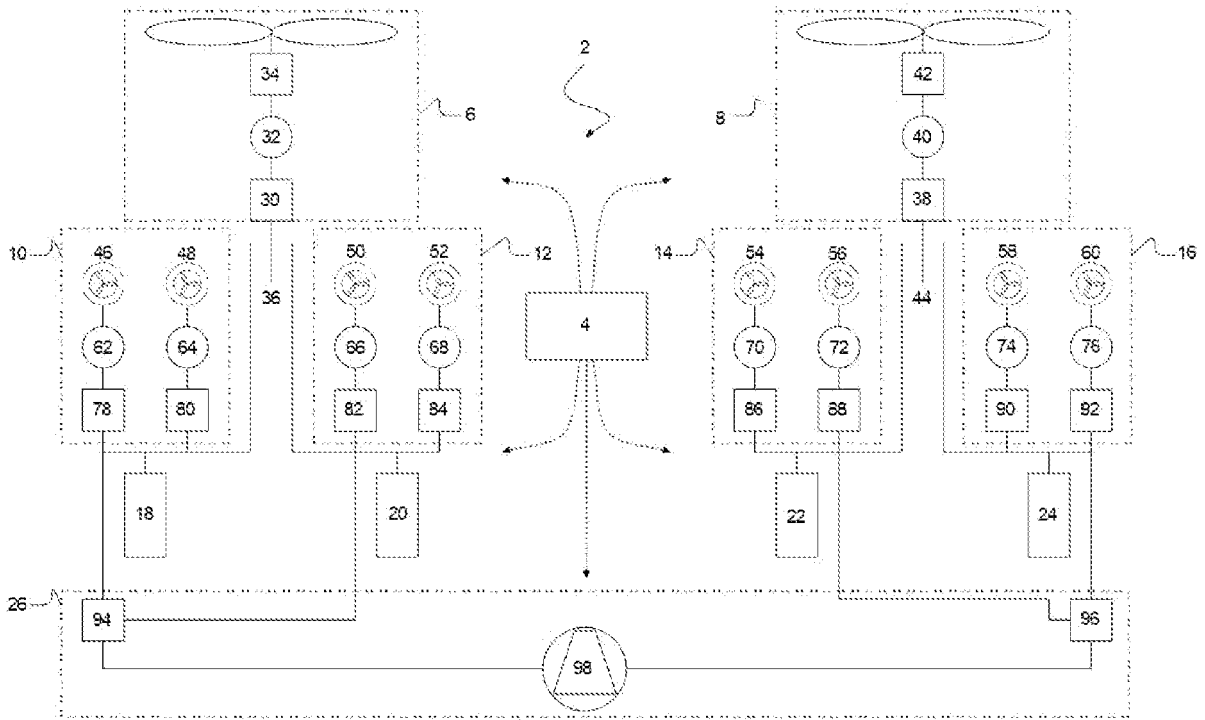
[Revendication 14]

Aéronef (2) selon la revendication 12, caractérisé en ce que, dans le mode de charge, la commande d'alimentation (4) commande séquentiellement chaque jonction (102) en une ou plusieurs phases de charge, la commande d'alimentation (4) étant agencée pour mettre en œuvre chaque phase de charge en associant chaque convertisseur électrique à plusieurs sources d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) du groupement (G1,...,GN) auquel ledit convertisseur électrique (94, 96) est couplé, en commandant chaque jonction (102) entre un convertisseur électrique et une source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) associés selon l'état bidirectionnel et en commandant toute autre jonction (102) selon l'état bloquant, et ce jusqu'à ce que chaque source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) soit chargée.

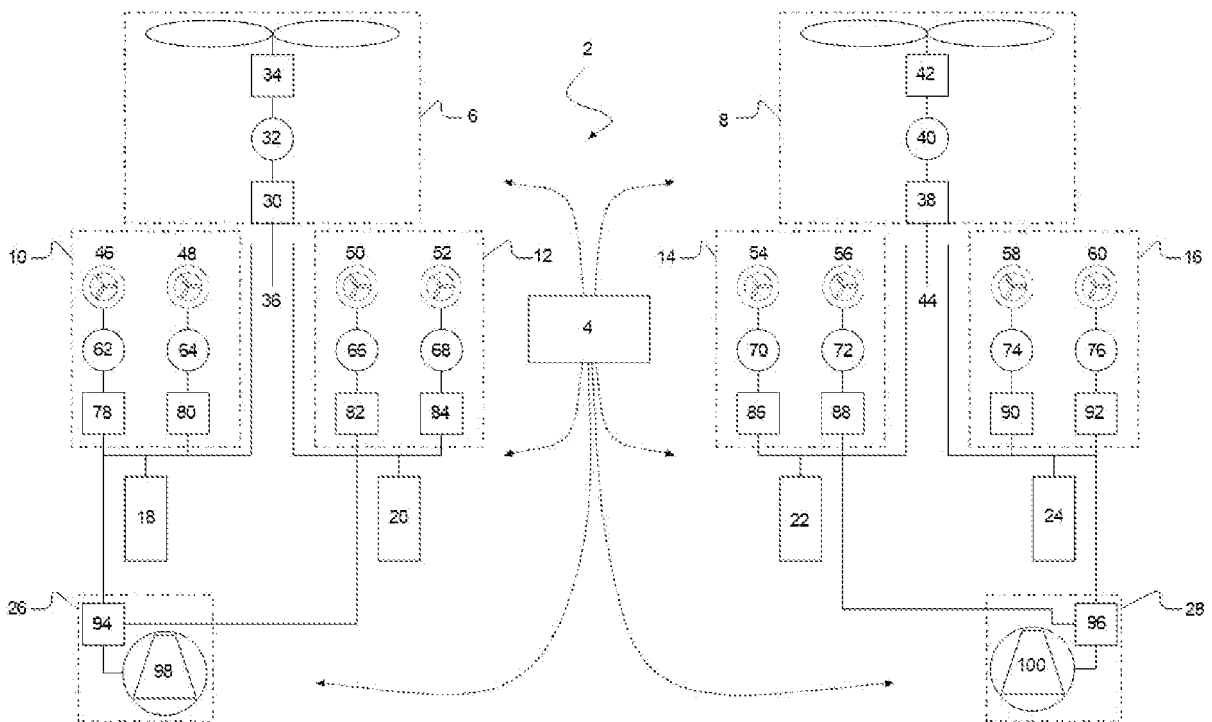
[Revendication 15]

Aéronef (2) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est agencé pour fonctionner au moins selon un mode tampon dans lequel la commande d'alimentation (4) émet une commande de puissance à l'au moins une source de génération électrique (26, 28) pour satisfaire aux besoins en puissance des groupes d'entraînement (6, 8, 10, 12, 14, 16) via les sources d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24), et dans lequel la commande d'alimentation (4) commande séquentiellement chaque jonction (102) en une ou plusieurs phases d'alimentation, la commande d'alimentation (4) étant agencée pour mettre en œuvre chaque phase d'alimentation en associant chaque convertisseur électrique (94, 96) à une source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) du groupement (G1,...,GN) auquel ledit convertisseur électrique (94, 96) est couplé, en commandant chaque jonction (102) entre un convertisseur électrique et une source d'énergie électrique stockée (18, 20, 22, 24) associés selon l'état unidirectionnel et en commandant toute autre jonction (102) selon l'état bloquant, et ce jusqu'à ce que les besoins en puissance des groupes d'entraînement (6, 8, 10, 12, 14, 16) soient satisfaits.

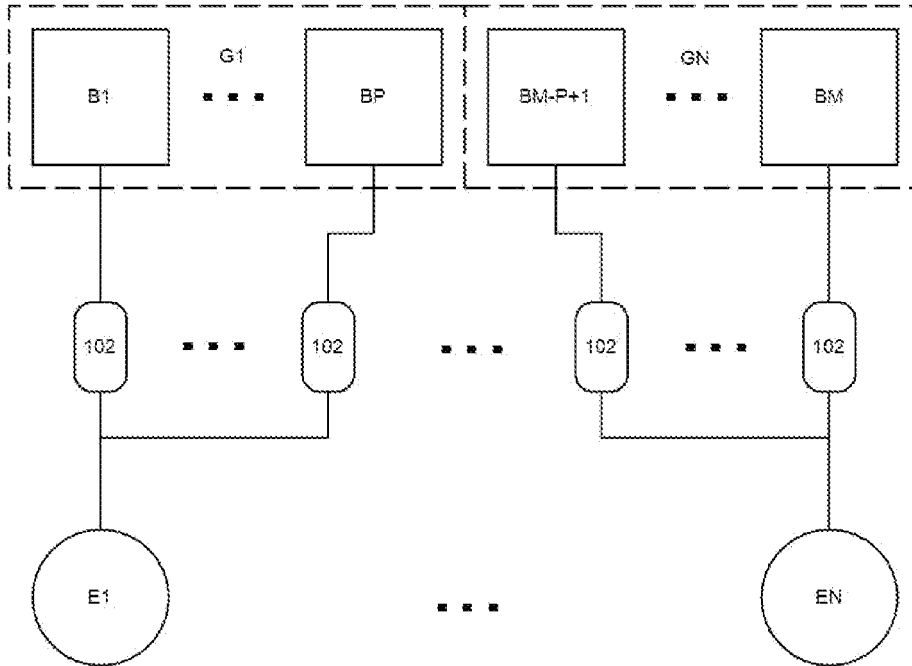
[Fig. 1]



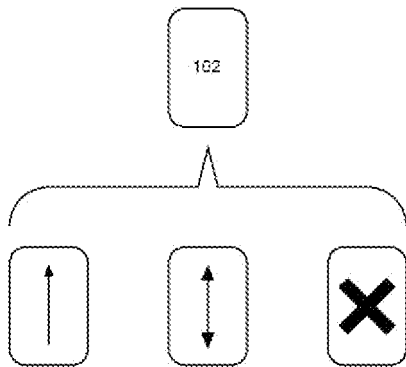
[Fig. 2]



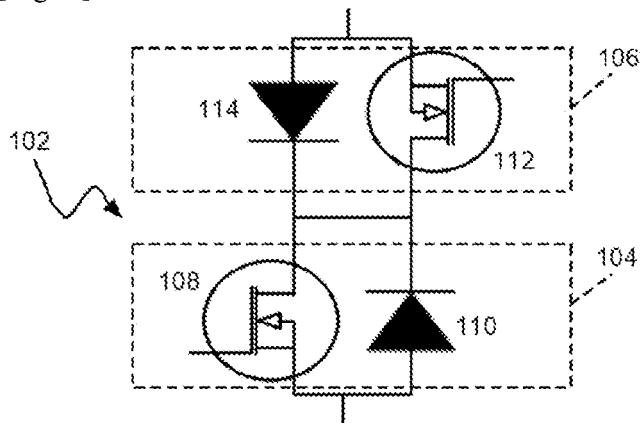
[Fig. 3]



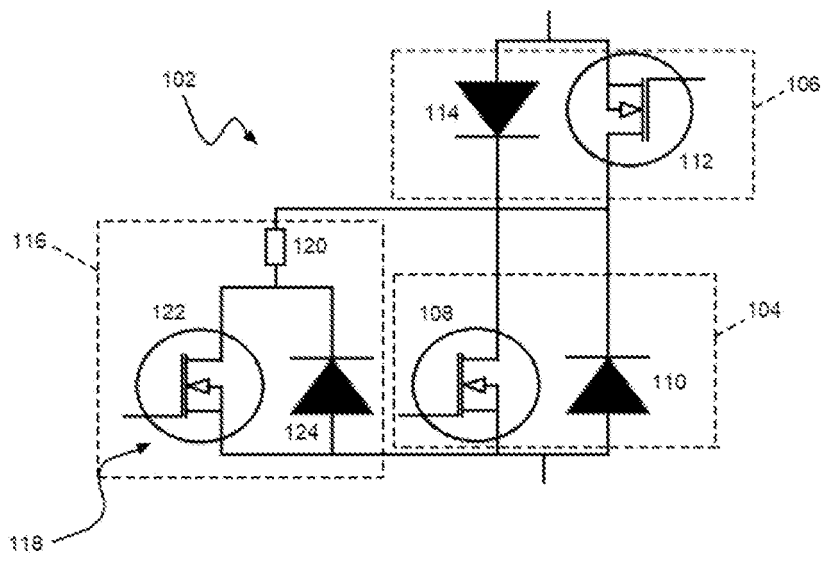
[Fig. 4]



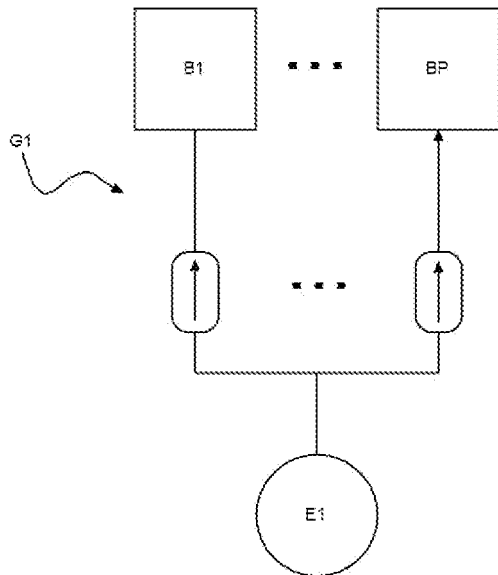
[Fig. 5]



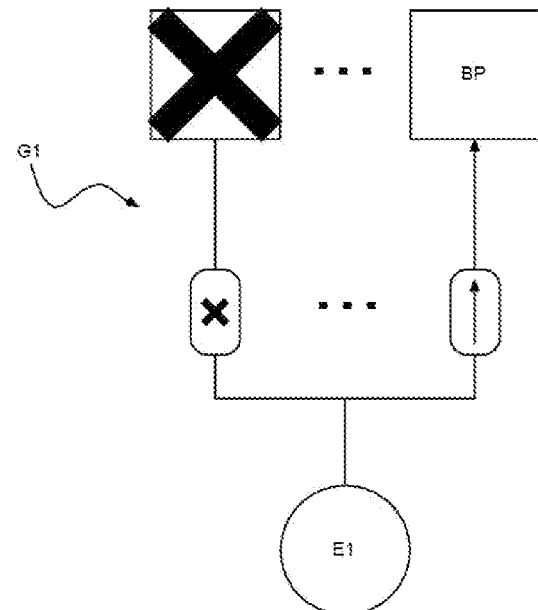
[Fig. 6]



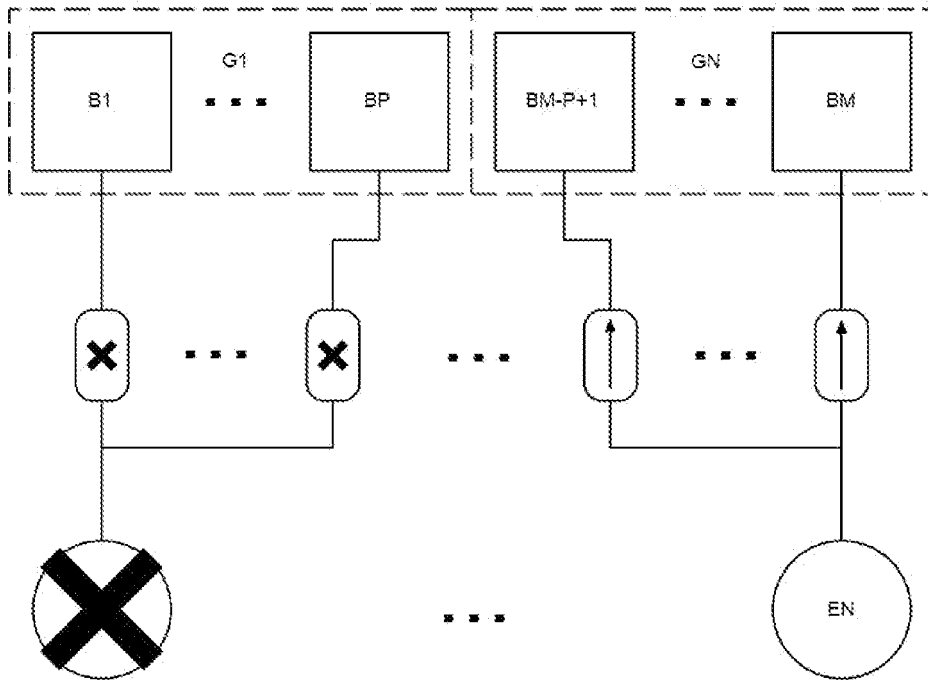
[Fig. 7]



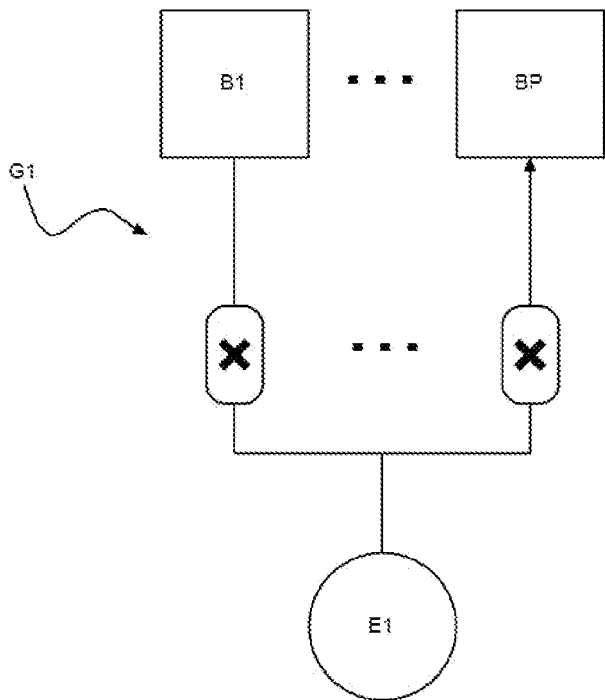
[Fig. 8]



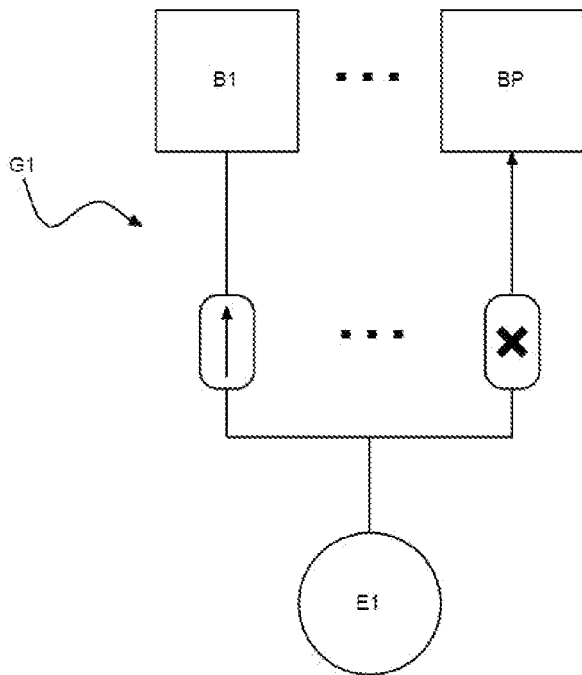
[Fig. 9]



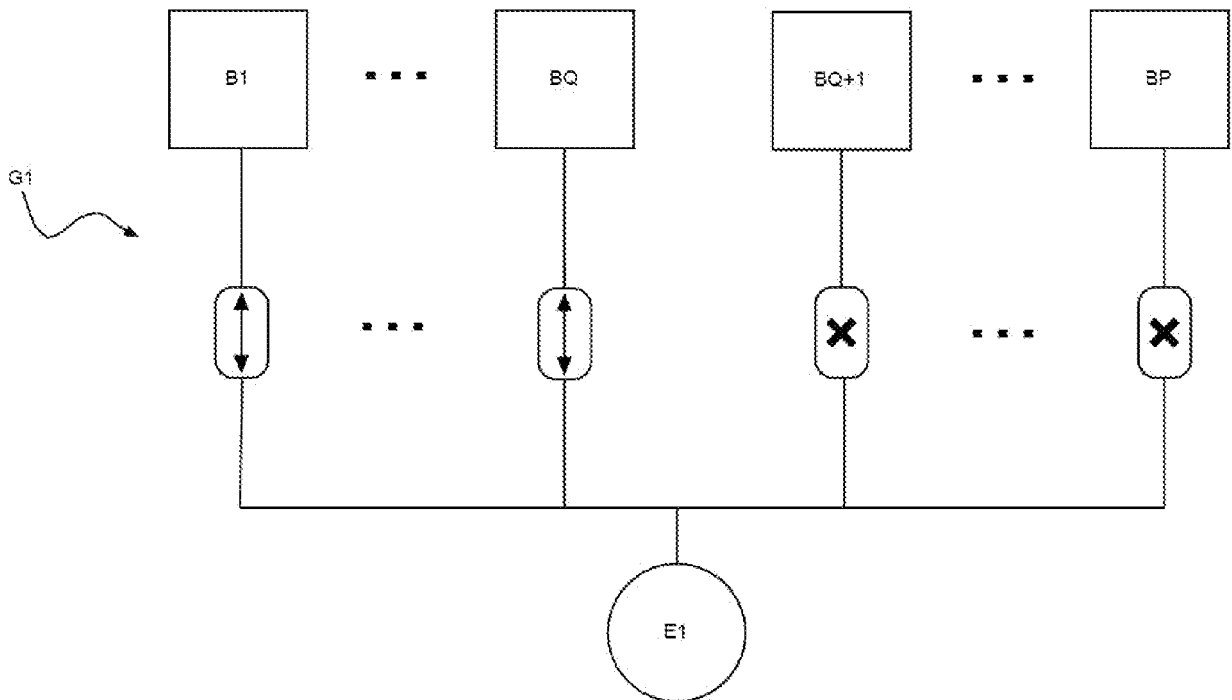
[Fig. 10]



[Fig. 11]



[Fig. 12]



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 915580
FR 2300539

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	FR 3 118 622 A1 (ASCENDANCE FLIGHT TECH [FR]) 8 juillet 2022 (2022-07-08)	1,2, 4-13,15	B60L 50/10 B60L 50/50
A	* alinéas [0016] - [0018], [0049], [0050], [0054]; revendications 1-8; figure 1 *	3,14	B64C 29/00 B64D 31/12
A	FR 3 122 642 A1 (ASCENDANCE FLIGHT TECH [FR]) 11 novembre 2022 (2022-11-11) * alinéas [0036] - [0047]; figure 1 *	1-15	
A	US 2021/370786 A1 (VINSON GARANCE [FR] ET AL) 2 décembre 2021 (2021-12-02) * pages 2-3; figures 2-4 *	1-15	
A	US 2021/075331 A1 (TARIQ MOHD [GB] ET AL) 11 mars 2021 (2021-03-11) * pages 3-5; figures 9-13 *	1-15	
Y	DE 10 2016 202195 A1 (SIEMENS AG [DE]) 17 août 2017 (2017-08-17)	1,2, 4-13,15	
A	* alinéas [0003] - [0012], [0036]; figures 1,3 *	3,14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B64C B60L H02J B64D B64U
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 juillet 2023		Carlier, François	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2300539 FA 915580**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **10-07-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 3118622 A1	08-07-2022	FR 3118622 A1	08-07-2022
		WO 2022148926 A1	14-07-2022

FR 3122642 A1	11-11-2022	FR 3122642 A1	11-11-2022
		WO 2022238653 A1	17-11-2022

US 2021370786 A1	02-12-2021	CN 112424068 A	26-02-2021
		EP 3823899 A1	26-05-2021
		FR 3083778 A1	17-01-2020
		US 2021370786 A1	02-12-2021
		WO 2020016510 A1	23-01-2020

US 2021075331 A1	11-03-2021	CN 112467710 A	09-03-2021
		EP 3790140 A1	10-03-2021
		GB 2587667 A	07-04-2021
		US 2021075331 A1	11-03-2021

DE 102016202195 A1	17-08-2017	CN 108602564 A	28-09-2018
		DE 102016202195 A1	17-08-2017
		EP 3397555 A1	07-11-2018
		US 2019152617 A1	23-05-2019
		WO 2017137537 A1	17-08-2017
