

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 20.12.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 21.06.24 Bulletin 24/25.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : SAFRAN HELICOPTER ENGINES
Société par Actions Simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : KLONOWSKI Thomas, LESCHER
Fabien, DETRY Sébastien, LAFARGUE Olivier Audrey
David et ARNAUD Yohan Frédéric André.

73 Titulaire(s) : SAFRAN HELICOPTER ENGINES
Société par Actions Simplifiée.

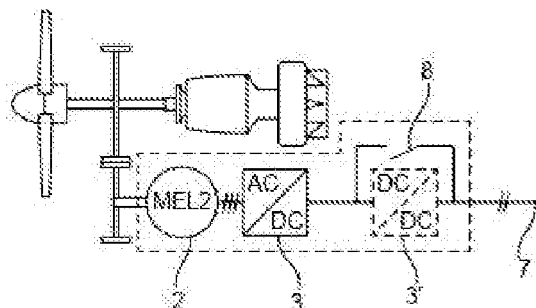
74 Mandataire(s) : BREVALEX.

54 CIRCUIT D'ALIMENTATION ELECTRIQUE D'UNE TURBOMACHINE, TURBOMACHINE ET AERONEF
COMPORTANT UNE TELLE TURBOMACHINE.

57 Circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine
comportant un circuit haute tension à courant continu ali-
menté par une source haute tension à courant continu, relié
à au moins un convertisseur continu/alternatif (3), l'au moins
un convertisseur continu/alternatif étant respectivement relié
à au moins une machine électrique tournante (2), l'au
moins une machine électrique tournante étant respective-
ment couplée à au moins une hélice de la turbomachine de
manière à entraîner en rotation l'au moins une hélice ou à
générer de l'électricité sous l'effet de la rotation de l'au
moins une hélice,

Le circuit comportant
au moins un étage élévateur de tension (3') relié entre la
source haute tension et l'au moins un convertisseur continu/
alternatif (3), l'au moins un étage élévateur de tension étant
apte à élever la tension fournie à l'au moins une machine
électrique tournante lorsque ladite machine électrique tour-
nante entraîne l'au moins une hélice en rotation.

Figure pour l'abrégi : 3



Description

Titre de l'invention : CIRCUIT D'ALIMENTATION ELECTRIQUE D'UNE TURBOMACHINE, TURBOMACHINE ET AERONEF COMPORTANT UNE TELLE TURBOMACHINE

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine des turbomachines et a plus précisément pour objet un circuit d'alimentation électrique pour une turbomachine intégrant une machine électrique tournante ainsi qu'une turbomachine comportant un tel circuit et un aéronef comportant une telle turbomachine.

ETAT DE L'ART ANTERIEUR

[0002] Le changement climatique est une préoccupation majeure pour de nombreux organes législatifs et de régulation à travers le monde. En effet, diverses restrictions sur les émissions de carbone ont été, sont ou seront adoptées par divers états. En particulier, une norme ambitieuse s'applique à la fois aux nouveaux types d'avions mais aussi ceux actuellement en circulation nécessitant de devoir mettre en œuvre des solutions technologiques afin de les rendre conformes aux réglementations en vigueur.

L'aviation civile se mobilise depuis maintenant plusieurs années pour apporter une contribution à la lutte contre le changement climatique.

[0003] Les efforts de recherche technologique ont déjà permis d'améliorer de manière très significative les performances environnementales des 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 impacts environnementaux modérés dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique des avions.

[0004] Par voie de conséquence, la Déposante travaille en permanence à la réduction de son impact climatique 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 environnementale de son activité.

[0005] Ces travaux de recherche et de développement soutenus portent à la fois sur les nouvelles générations de moteurs d'avions, l'allègement des appareils, notamment par les matériaux employés et les équipements embarqués allégés, le développement de l'emploi des technologies électriques pour assurer la propulsion, et, indispensables compléments aux progrès technologiques, les biocarburants aéronautiques.

[0006] Le document FR 3 116 303, déposé au nom de Safran Helicopter Engines, décrit la possibilité d'équiper un aéronef avec une turbomachine, telles qu'un turbopropulseur,

intégrant à la fois une turbine à gaz dans une partie thermique et une machine électrique tournante dans une partie électrique. La partie thermique et la partie électrique permettent un fonctionnement hybride de la turbomachine. La machine électrique tournante permet à la fois d'offrir une fonction de génération d'électricité, en mode génératrice, pour alimenter l'aéronef en électricité, et une fonction de propulsion dans le cadre de déplacements au sol de l'aéronef, notamment les déplacements de type taxiage.

[0007] Il existe cependant des situations dans lesquelles un surcroît de puissance de manière transitoire est nécessaire, par rapport aux limites de puissance que peut fournir la turbomachine. En effet, la partie thermique de la turbomachine peut être limitée en régime ou en accélération et la partie électrique a également des limites de puissance.

[0008] Le FADEC peut par exemple détecter l'atteinte de limitations intrinsèques de la turbine à gaz, c'est-à-dire une limitation de la puissance délivrée, notamment en condition altitude élevée avec des températures élevées. Dans un tel cas, un besoin d'un surcroît de puissance est identifié.

Exposé de l'invention

[0009] L'invention vise à résoudre les problèmes susmentionnés de la technique antérieure en fournissant un circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine comportant un circuit haute tension à courant continu alimenté par une source haute tension à courant continu, relié à au moins un convertisseur continu/alternatif du circuit d'alimentation électrique, l'au moins un convertisseur continu/alternatif étant respectivement relié à au moins une machine électrique tournante, l'au moins une machine électrique tournante étant respectivement couplée à au moins une hélice de la turbomachine de manière à entraîner en rotation l'au moins une hélice ou à générer de l'électricité sous l'effet de la rotation de l'au moins une hélice,

[0010] le circuit d'alimentation électrique comportant au moins un étage élévateur de tension relié entre la source haute tension et l'au moins un convertisseur continu/alternatif, l'au moins un étage élévateur de tension étant apte à élever la tension fournie à l'au moins une machine électrique tournante lorsque ladite machine électrique tournante entraîne l'au moins une hélice en rotation.

[0011] Grâce à l'invention, il est possible d'obtenir un surcroît de puissance de manière transitoire ou stabilisée, par rapport aux limites de puissance que peut fournir la turbomachine lorsque cela est nécessaire.

[0012] Ce surcroît de puissance, ou « boost électrique », peut exister sur toute la gamme de vitesse de rotation du turbopropulseur. Il ne crée aucune usure en comparaison d'une situation où un surcroît de puissance serait apporté par une augmentation du régime de la turbine à gaz, ce qui créerait une usure de cette dernière.

- [0013] Le circuit électrique de turbomachine selon l'invention est particulièrement adapté pour fournir un boost électrique transitoire ou stabilisé en cas de détection d'un besoin de puissance, au sein d'une turbomachine à architecture hybride électrique, notamment pour une fonctionnalité de taxiage électrique de l'aéronef.
- [0014] Selon des caractéristiques préférées alternatives, l'au moins un étage élévateur de tension comprend un convertisseur de type boost, ou un convertisseur de type boost entrelacé, ou un convertisseur de type DAB, ou un convertisseur de type Quasi Z-source.
- [0015] Selon une caractéristique préférée, le circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine comporte en outre un circuit basse tension à courant continu relié au circuit haute tension à courant continu par l'intermédiaire d'un convertisseur du circuit d'alimentation électrique.
- [0016] Selon une caractéristique préférée, le circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine comporte en outre un contacteur relié en parallèle de l'étage élévateur de tension.
- [0017] L'invention concerne aussi une turbomachine comportant un circuit d'alimentation électrique tel que précédemment présenté.
- [0018] L'invention concerne aussi un aéronef comportant une turbomachine telle que précédemment présentée.
- [0019] L'invention concerne aussi un procédé de commande d'au moins un étage élévateur de tension dans un circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine tel que précédemment présenté, caractérisé en ce qu'il comporte des étapes de :
- [0020] - détection d'un besoin de puissance supérieure à la puissance que la turbomachine est capable de délivrer,
- [0021] - commande de l'activation de l'étage élévateur de tension pour qu'il délivre une tension élevée à la machine électrique tournante pendant une période transitoire, lorsqu'un besoin de puissance supérieure à la puissance que la turbomachine est capable de délivrer est détecté, et
- [0022] - commande de la fin de l'activation de l'étage élévateur de tension à la fin de la période transitoire.
- [0023] La turbomachine, l'aéronef et le procédé présentent des avantages analogues à ceux précédemment présentés.
- [0024] Dans un mode particulier de réalisation, les étapes du procédé selon l'invention sont mises en œuvre par des instructions de programme d'ordinateur.
- [0025] En conséquence, l'invention vise aussi un programme d'ordinateur sur un support d'informations, ce programme étant susceptible d'être mis en œuvre dans un ordinateur, ce programme comportant des instructions adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé tel que décrit ci-dessus.

[0026] L'invention vise aussi un support d'informations lisible par un ordinateur, et comportant des instructions de programme d'ordinateur adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé tel que décrit ci-dessus.

BREVE DESCIPION DES DESSINS

[0027] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation préféré donné à titre d'exemple non limitatif, décrit en référence aux figures dans lesquelles :

[0028] [Fig.1] illustre une turbomachine, ici un turbopropulseur, selon un mode de réalisation de l'invention,

[0029] [Fig.2] illustre l'architecture électrique de la turbomachine, selon un mode de réalisation de l'invention,

[0030] [Fig.3] illustre une partie d'un sous-circuit haute tension à courant continu du circuit électrique de la turbomachine, selon un mode de réalisation de l'invention,

[0031] [Fig.4] illustre une première variante d'un étage élévateur de tension inclus dans le sous-circuit haute tension à courant continu du circuit électrique de la turbomachine, selon un mode de réalisation de l'invention,

[0032] [Fig.5] illustre une deuxième variante d'un étage élévateur de tension inclus dans le sous-circuit haute tension à courant continu du circuit électrique de la turbomachine, selon un mode de réalisation de l'invention,

[0033] [Fig.6] illustre une troisième variante d'un étage élévateur de tension inclus dans le sous-circuit haute tension à courant continu du circuit électrique de la turbomachine, selon un mode de réalisation de l'invention,

[0034] [Fig.7] illustre une quatrième variante d'un étage élévateur de tension inclus dans le sous-circuit haute tension à courant continu du circuit électrique de la turbomachine, selon un mode de réalisation de l'invention,

[0035] [Fig.8] illustre un procédé de commande de l'étage élévateur de tension, selon un mode de réalisation de l'invention.

[0036] Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

[0037] Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

[0038] Les différentes possibilités (variantes et modes de réalisation) doivent être comprises comme n'étant pas exclusives les unes des autres et peuvent se combiner entre elles.

EXPOSE DETAILLE DE MODES DE REALISATION PARTICULIERS

[0040] Selon un mode de réalisation préféré représenté à la [Fig.1], une turbomachine, ici un turbopropulseur 10, comporte une machine électrique tournante 2 apte à fournir une fonction de génératrice et une fonction de propulsion. La fonction de propulsion peut être fournie lorsque la turbine à gaz est en fonctionnement ou à l'arrêt.

- [0041] Lorsque la turbine à gaz est en fonctionnement, la machine électrique est apte à fournir un surcroît de puissance. Lorsque la turbine à gaz est à l'arrêt, la machine électrique est apte à fournir la puissance nécessaire à un déplacement de type taxiage.
- [0042] Alternativement, l'architecture peut être totalement électrique au lieu d'être hybride thermique/électrique.
- [0043] La turbomachine 10 est un turbopropulseur à turbine libre. Le turbopropulseur 10 comprend une turbine à gaz 11, une hélice 12, un arbre porte-hélice 13, s'étendant vers la turbine à gaz 11 et étant couplé, comme décrit dans la suite, à une turbine libre 111 au moyen d'une transmission.
- [0044] Ainsi la turbine à gaz 11 comprend une turbine haute pression, non référencée, entraînant en rotation un arbre de turbine 14 et un compresseur, non référencé, et la turbine libre 111 qui entraîne un arbre secondaire, non référencé, de la turbine à gaz, concentrique à l'arbre de turbine 14.
- [0045] La turbine libre 111 est montée en rotation autour de l'arbre de turbine 14 de la turbine haute pression. L'arbre porte-hélice 13 est entouré par un carter 15 de protection. Il est soutenu dans le carter 15 par des roulements 16 et 17. L'un des roulements 16 est proche de l'hélice 12, et l'autre des roulements 17 est adjacent à une roue dentée 18 d'entraînement de l'arbre porte-hélice 13, qui engrène avec la transmission mentionnée ci-dessus. La machine électrique tournante 19 est, dans cet exemple de l'invention, disposée concentrique autour de l'arbre porte-hélice 13, entre le premier roulement 16 et la roue dentée 18, en étant entourée par le carter 15.
- [0046] Ainsi, dans le présent mode de réalisation, la turbomachine est un turbopropulseur « classique ». En variante, la turbomachine peut être une turbomachine à rotor basculant, plus connu sous la dénomination anglaise de « proprotor », qui est destiné à équiper un aéronef à décollage verticale connu sous la dénomination anglaise de « tiltrotor ». La turbomachine peut ainsi être aussi bien un turbopropulseur qu'un turbomoteur. L'homme du métier est bien entendu à même de généraliser le présent enseignement décrit pour un turbopropulseur « classique » à ces autres types de turbomachines.
- [0047] On notera que, la turbine à gaz 11 étant du type à turbine libre, elle offre deux moyens d'entraînement des éléments du turbopropulseur, la turbine haute pression et son arbre de turbine 14, et la turbine libre 111 et son arbre secondaire.
- [0048] On notera également que, si la machine électrique tournante 2 est une simple machine électrique tournante apte à fournir une fonction génératrice et une fonction de propulsion électrique, la machine électrique tournante 2 peut présenter des fonctions supplémentaires, telles que celles d'alimenter un circuit de dégivrage des pales de l'hélice.
- [0049] La machine électrique tournante 2 est préférentiellement une machine électrique tournante sans balais, ceci pour limiter les risques d'usure et la maintenance du turbo-

propulseur 10, et peut ainsi être aussi bien une machine électrique tournante synchrone à aimant permanent qu'une machine électrique tournante synchrone à reluctance variable, ou encore une machine électrique tournante asynchrone.

- [0050] L'hélice 12 est une hélice à pas variable à simple effet. L'entraînement de l'hélice est réalisé par la turbine à gaz 11 et/ou par la machine électrique tournante 2, tel que décrit dans FR 3 116 303. La turbine à gaz 11 et la machine électrique tournante 2 sont capable d'entraîner une pompe à huile moteur 21 qui permet une circulation d'huile qui fournir notamment une pression hydraulique à une unité de commande d'hélice. L'unité de commande d'hélice comporte une pompe à huile supplémentaire qui est conçue pour élever la pression d'huile fournie par la pompe à huile moteur pour permettre la commande hydraulique du pas de l'hélice.
- [0051] Ainsi, en l'absence de pression d'huile quand la turbine à gaz est éteinte et la machine électrique tournante est à l'arrêt, l'hélice est en drapeau. Lorsque qu'une pression d'huile est générée par la turbine à gaz et/ou la machine électrique tournante, le pas de l'hélice diminue ce qui génère de la traction.
- [0052] On s'intéresse maintenant plus particulièrement à la partie électrique de la turbomachine. La [Fig.2] illustre schématiquement l'architecture électrique de la turbomachine, selon un mode de réalisation de l'invention.
- [0053] Il est à noter que l'invention peut être mise en œuvre sur une pluralité de turbopropulseurs, par exemple deux comme représenté à la [Fig.2].
- [0054] Ainsi, deux hélices 12a et 12b sont respectivement aptes à être entraînées en rotation par deux turbines à gaz et deux machines électriques tournantes 2a et 2b.
- [0055] Le circuit électrique de la turbomachine comporte un premier sous-circuit à courant continu haute tension, dit HVDC d'après l'anglais « High Voltage Direct Current ».
- [0056] Le sous-circuit HVDC comporte une batterie HVDC 1 de préférence typée en puissance, constituant une source de tension capable de générer une puissance par exemple comprise entre quelques dizaines et quelques centaines de kilowatts, sous une tension par exemple d'environ plusieurs centaines de volts, pendant quelques secondes ou plusieurs minutes.
- [0057] La batterie HVDC 1 est reliée à un convertisseur continu-continu 4. La tension d'entrée du convertisseur 4 est fixée par l'état de charge de la batterie et sa tension de sortie est une tension continue réglable. Le convertisseur 4 est facultatif et peut être de type hacheur série (en anglais « buck ») pour abaisser la tension, ou de type hacheur parallèle (en anglais « boost ») pour élever la tension, ou encore de type abaisseur-élévateur (en anglais « buck-boost ») pour abaisser ou élever la tension.
- [0058] Le convertisseur continu-continu 4 est relié à un bus HVDC 7, lui-même relié à des convertisseurs continu/alternatif 3a et 3b. Chacun des convertisseurs continu/alternatif 3a et 3b est respectivement relié à la machine électrique 2a et 2b. Pour assurer une

propulsion électrique de l'aéronef, un courant électrique continu est fourni via le bus HVDC 7 aux convertisseurs 3a et 3b qui fonctionnent en onduleurs pour convertir le courant continu en courant électrique alternatif et le fournir aux machines électriques 2a et 2b de manière à entraîner en rotation les hélices 12a et 12b. Inversement, les convertisseurs 3a et 3b fonctionnent en redresseurs pour convertir un courant électrique alternatif fourni par les machines électriques 2a et 2b fonctionnant en génératrices en courant électrique continu fourni à la batterie 1 via le bus HVDC 7.

- [0059] La structure des convertisseurs 3a et 3b est détaillée dans la suite.
- [0060] Le circuit électrique de la turbomachine comporte de préférence un deuxième sous-circuit à courant continu basse tension, typiquement 28 V. Le sous-circuit à courant continu basse tension comporte une génératrice à courant continu 5 et une batterie aptes à alimenter en électricité les différents équipements de l'aéronef.
- [0061] Le premier sous-circuit à courant continu haute tension et le deuxième sous-circuit à courant continu basse tension sont reliés par l'intermédiaire d'un convertisseur 6, par exemple tel que décrit dans FR 3 116 303.
- [0062] La [Fig.3] illustre schématiquement une partie du sous-circuit haute tension à courant continu du circuit électrique de la turbomachine précédemment décrit et détaille plus particulièrement le convertisseur 3.
- [0063] On retrouve ainsi le bus HVDC 7, le convertisseur 3 et la machine électrique tournante 2, étant entendu que la machine électrique tournante 2 et le convertisseur 3 correspondent respectivement à chacune des machines électriques tournantes 2a et 2b et à chacun des convertisseurs 3a et 3b de la [Fig.2].
- [0064] Le convertisseur 3 comporte un étage élévateur de tension 3', de préférence intégré au convertisseur 3. En variante, l'étage élévateur de tension 3' peut être un composant distinct du convertisseur 3. L'étage élévateur de tension 3' est de type continu-continu élévateur de tension.
- [0065] Un contacteur 8 est de préférence relié en parallèle de l'étage élévateur de tension 3'.
- [0066] L'étage élévateur de tension 3' est capable d'élever la tension fournie depuis le bus HVDC 7 vers la machine électrique tournante 2 de façon transitoire afin de survolter la machine électrique pour qu'elle génère de la puissance transitoire supplémentaire.
- [0067] Le contacteur 8 permet de court-circuiter l'étage élévateur de tension 3' lorsque le contacteur 8 est fermé.
- [0068] Le FADEC peut par exemple détecter l'atteinte de limitations intrinsèques de la turbine à gaz, c'est-à-dire une limitation de la puissance délivrée, notamment en condition altitude élevée avec des températures élevées. Dans un tel cas, un besoin d'un surcroît de puissance est identifié.
- [0069] L'étage élévateur de tension 3' permet alors de fournir une tension plus élevée à la machine électrique tournante 2. Un boost électrique est alors généré et appliqué à

l'arbre de l'hélice.

- [0070] Ce boost électrique peut soit augmenter la puissance maximale reçue par l'hélice sur une phase stabilisée, en cas de fonctionnement sur une limitation statique du moteur thermique, c'est-à-dire une limitation sur une butée N1 ou T4 correspondant au régime maximal du moteur, soit augmenter de façon transitoire la puissance instantanée reçue par l'hélice en cas de fonctionnement du moteur thermique sur sa limite d'accélération.
- [0071] Quand aucun besoin de boost électrique n'est identifié, l'étage élévateur de tension 3' est rendu inactif par la fermeture du contacteur 8, ce qui évite toute dissipation d'énergie.
- [0072] Selon une variante, la structure de l'étage élévateur de tension 3' peut être de type « boost » tel que représenté à la [Fig.4].
- [0073] Dans le mode de réalisation de la [Fig.4], l'étage élévateur de tension 3' comporte une entrée aux bornes de laquelle existe une tension continue V1. A partir d'une première borne de l'entrée, l'étage élévateur de tension 3' comporte une résistance R en série avec une inductance L permettant une accumulation d'énergie.
- [0074] L'inductance L est reliée à un premier transistor T1 également relié à une deuxième borne d'entrée de l'étage élévateur de tension 3'.
- [0075] L'inductance L est aussi reliée à un deuxième transistor T2 relié à une première borne de sortie de l'étage élévateur de tension 3' et à un condensateur C. Le condensateur C est également relié à une deuxième borne de sortie de l'étage élévateur de tension 3', la deuxième borne de sortie de l'étage élévateur de tension 3' étant reliée à la deuxième borne d'entrée de l'étage élévateur de tension 3'.
- [0076] Le premier transistor T1 a une fonction d'interrupteur pour permettre une accumulation d'énergie dans l'inductance L lorsqu'il est fermé et pour permettre le transfert de cette énergie vers le condensateur C lorsqu'il est ouvert. La tension de sortie V2 aux bornes de sortie de l'étage élévateur de tension 3' est ainsi supérieure à la tension d'entrée V1.
- [0077] Cette variante est particulièrement adaptée lorsque le rapport d'amplification entre la tension d'entrée V1 et la tension de sortie V2 ne dépasse pas 3.
- [0078] Selon une autre variante, la structure de l'étage élévateur de tension 3' peut être de type « boost entrelacé » tel que représenté à la [Fig.5].
- [0079] Dans ce cas, la première borne d'entrée est reliée à plusieurs branches parallèles, trois branches parallèles dans l'exemple représenté, comportant chacune une résistance R1, R2 et R3 en série avec une inductance L1, L2 et L3. Chacune des inductances L est reliée à un transistor respectif T11, T12 et T13, lui-même relié à une deuxième borne d'entrée de l'étage élévateur de tension 3'. Chacune des inductances L est aussi reliée à une diode respective D1, D2 et D3 reliée à une première borne de sortie de l'étage élévateur de tension 3' et à un condensateur C. Le condensateur C est également relié à

une deuxième borne de sortie de l'étage élévateur de tension 3', la deuxième borne de sortie de l'étage élévateur de tension 3' étant reliée à la deuxième borne d'entrée de l'étage élévateur de tension 3'.

- [0080] Cette variante permet de conserver un fonctionnement optimal même en cas de défaillance d'un transistor et limite les ondulations de courant en entrée du convertisseur 3.
- [0081] Selon une autre variante, la structure de l'étage élévateur de tension 3' peut être de type DAB, d'après l'anglais « Dual Active Bridge » tel que représenté à la [Fig.6]. Cette variante est adaptée pour une amplification de tension pouvant aller au-delà de 3. Cette structure est aussi intéressante car elle permet une isolation galvanique entre le bus HVDC 7 et le convertisseur 3. Cette structure permet également d'avoir un courant bidirectionnel c'est-à-dire que ce type de convertisseur peut également être utilisé pour une fonction de freinage de l'hélice. Cette fonctionnalité de renvoi d'énergie sur le réseau est particulièrement intéressante dans le cas où l'on veut freiner rapidement les hélices pour des raisons d'évitement d'obstacles tels qu'oiseau ou fil électrique par exemple.
- [0082] L'étage élévateur de tension 3' comporte, en partant du bus HVDC 7 vers le convertisseur 3 :
- [0083] - un premier étage de filtrage 551 du type passe bas, notamment adapté pour filtrer au moins en partie les fréquences par exemple supérieures ou égales à 1 KHz,
- [0084] - un deuxième étage convertisseur continu/alternatif réversible 552 pouvant à la fois fournir une fonction onduleur, pour un transfert d'énergie du bus HVDC 7 vers le convertisseur 3, et une fonction redresseur, pour un transfert d'énergie du convertisseur 3 vers le bus HVDC 7, le deuxième étage étant apte à fournir une tension alternative de fréquence élevée, par exemple supérieure ou égale à 1 KHz,
- [0085] - un transformateur 553 configuré pour élever la tension alternative fournie par le deuxième étage, le transformateur étant préférentiellement un transformateur résonnant, c'est-à-dire que la fréquence de résonance du circuit côté primaire du transformateur 553 est préférentiellement égale à la fréquence de résonance du circuit côté secondaire du transformateur 553, le deuxième étage convertisseur continu/alternatif 552 étant alors préférentiellement configuré pour fournir une tension alternative à une fréquence sensiblement égale à la fréquence de résonance des circuits côté primaire et secondaire du transformateur 553,
- [0086] - un troisième étage convertisseur alternatif/continu réversible 554 pouvant à la fois fournir une fonction redresseur, pour un transfert d'énergie du bus HVDC 7 vers le convertisseur 3, et une fonction onduleur, pour un transfert d'énergie du convertisseur 3 vers le bus HVDC 7, le troisième étage étant apte à fournir une tension alternative de fréquence élevée, par exemple supérieure ou égale à 1 KHz. Dans le cas où le trans-

formateur 553 est un transformateur résonnant, le troisième étage convertisseur AC/DC réversible 554 est alors préférentiellement configuré pour fournir une tension alternative à une fréquence sensiblement égale à la fréquence de résonance des circuits côté primaire et secondaire du transformateur 553,

- [0087] - un quatrième étage de filtrage 555 du type passe bas, notamment adapté pour filtrer au moins en partie les fréquences supérieures ou égales à 1 KHz.
- [0088] On notera que les premier et quatrième étages de filtrage 551, 555 ne sont pas forcément nécessaires et que, dans une configuration simplifiée, il est envisageable de ne pas les prévoir ou, d'une manière avantageuse, de seulement prévoir le premier étage de filtrage 551 de manière à protéger le bus HVDC 7.
- [0089] Selon une autre variante, la structure de l'étage élévateur de tension 3' peut être de type Quasi Z-source tel que représenté à la [Fig.7]. Cette variante permet d'optimiser la masse du convertisseur. En effet les inductances du circuit peuvent être couplées, ce qui limite leur masse et leur encombrement et ce qui permet aussi de limiter les réjections CEM en mode différentiel en entrée du convertisseur 3.
- [0090] L'étage élévateur de tension 3' comporte, en partant du bus HVDC 7 vers le convertisseur 3, deux bornes d'entrée. A partir d'une première borne d'entrée, l'étage élévateur de tension 3' comporte une première résistance R41, une première inductance L41, un transistor T4, une deuxième résistance R42 et une deuxième inductance L42 en série. La deuxième inductance L42 est reliée à une première borne de sortie de l'étage élévateur de tension 3'.
- [0091] Un premier condensateur C41 est relié en parallèle du transistor T, de la deuxième résistance R42 et de la deuxième inductance L42.
- [0092] Un deuxième condensateur C42 est relié entre un point milieu entre le transistor T4 et la deuxième résistance R42 et une deuxième borne d'entrée de l'étage élévateur de tension 3'. La deuxième borne d'entrée de l'étage élévateur de tension 3' est reliée directement à une deuxième borne de sortie de l'étage élévateur de tension 3'.
- [0093] La [Fig.8] illustre un mode de réalisation de procédé de commande de l'étage élévateur de tension 3' et comporte des étapes E1 à E3.
- [0094] La première étape E1 est la détection que la puissance à fournir par la turbomachine pour assurer correctement ses objectifs de régulation est supérieure à la puissance maximale autorisée par les limitations intrinsèques de la turbomachine. Les objectifs de régulation dépendent typiquement de l'asservissement de la vitesse de l'hélice. Les limitations intrinsèques de la turbomachine correspondent par exemple à des limitations du moteur en régime ou en accélération. Cette détection est par exemple réalisée par le FADEC de l'aéronef.
- [0095] Lorsque cette détection est réalisée, l'étape E1 est suivie de l'étape E2 à laquelle l'information est fournie à un superviseur qui commande alors l'activation du boost

électrique sur la machine électrique tournante. Le superviseur est par exemple un superviseur de la partie thermique et de la partie électrique de la turbomachine.

[0096] L'activation du boost électrique comporte l'ouverture du contacteur 8 et l'alimentation en électricité de l'étage élévateur de tension 3' via le bus HVDC 7.

[0097] Comme déjà mentionné, le boost électrique conféré à l'aide de l'étage élévateur de tension peut soit augmenter la puissance maximale reçue par l'hélice sur une phase stabilisée, par exemple en cas de fonctionnement sur une limitation statique du moteur thermique, soit augmenter de façon transitoire la puissance instantanée reçue par l'hélice, par exemple en cas de fonctionnement du moteur thermique sur sa limite d'accélération.

[0098] Ici, le boost électrique est de préférence transitoire. A la fin de la période transitoire, l'étape E2 est suivie de l'étape E3 à laquelle le superviseur commande la fin du boost électrique en commandant la fermeture du contacteur 8 de manière à court-circuiter l'étage élévateur de tension.

Revendications

- [Revendication 1] Circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine comportant un circuit haute tension à courant continu alimenté par une source haute tension à courant continu (1), relié à au moins un convertisseur continu/ alternatif (3, 3a, 3b) du circuit d'alimentation électrique, l'au moins un convertisseur continu/alternatif étant respectivement relié à au moins une machine électrique tournante (2, 2a, 2b), l'au moins une machine électrique tournante étant respectivement couplée à au moins une hélice (12a, 12b) de la turbomachine de manière à entraîner en rotation l'au moins une hélice ou à générer de l'électricité sous l'effet de la rotation de l'au moins une hélice,
le circuit d'alimentation électrique étant caractérisé en ce qu'il comporte au moins un étage élévateur de tension (3') relié entre la source haute tension (1) et l'au moins un convertisseur continu/alternatif (3), l'au moins un étage élévateur de tension (3') étant apte à élever la tension fournie à l'au moins une machine électrique tournante (2, 2a, 2b) lorsque ladite machine électrique tournante entraîne l'au moins une hélice (12a, 12b) en rotation.
- [Revendication 2] Circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine selon la revendication 1, dans lequel l'au moins un étage élévateur de tension (3') comprend un convertisseur de type boost.
- [Revendication 3] Circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine selon la revendication 1, dans lequel l'au moins un étage élévateur de tension (3') comprend un convertisseur de type boost entrelacé.
- [Revendication 4] Circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine selon la revendication 1, dans lequel l'au moins un étage élévateur de tension (3') comprend un convertisseur de type DAB.
- [Revendication 5] Circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine selon la revendication 1, dans lequel l'au moins un étage élévateur de tension (3') comprend un convertisseur de type Quasi Z-source.
- [Revendication 6] Circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comportant en outre un circuit basse tension à courant continu relié au circuit haute tension à courant continu par l'intermédiaire d'un convertisseur (6) du circuit d'alimentation électrique.
- [Revendication 7] Circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comportant en outre un contacteur

(8) relié en parallèle de l'étage élévateur de tension (3').

[Revendication 8]

Turbomachine comportant un circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

[Revendication 9]

Aéronef comportant une turbomachine selon la revendication 8.

[Revendication 10]

Procédé de commande d'au moins un étage élévateur de tension dans un circuit d'alimentation électrique d'une turbomachine selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comporte des étapes de :

-détection (E1) d'un besoin de puissance supérieure à la puissance que la turbomachine est capable de délivrer,

-commande (E2) de l'activation de l'étage élévateur de tension pour qu'il délivre une tension élevée à la machine électrique tournante pendant une période transitoire, lorsqu'un besoin de puissance supérieure à la puissance que la turbomachine est capable de délivrer est détecté, et

-commande (E3) de la fin de l'activation de l'étage élévateur de tension à la fin de la période transitoire.

[Fig. 1]

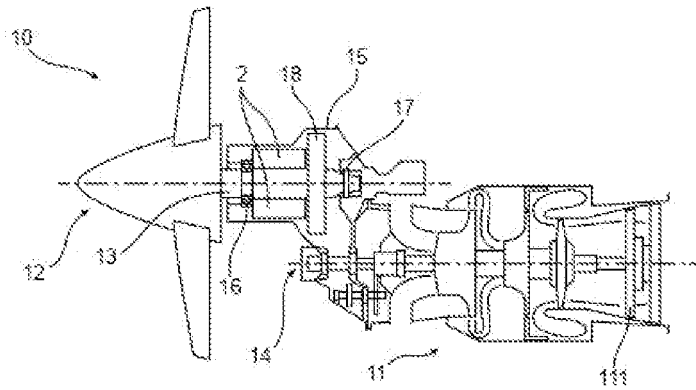


FIG. 1

[Fig. 2]

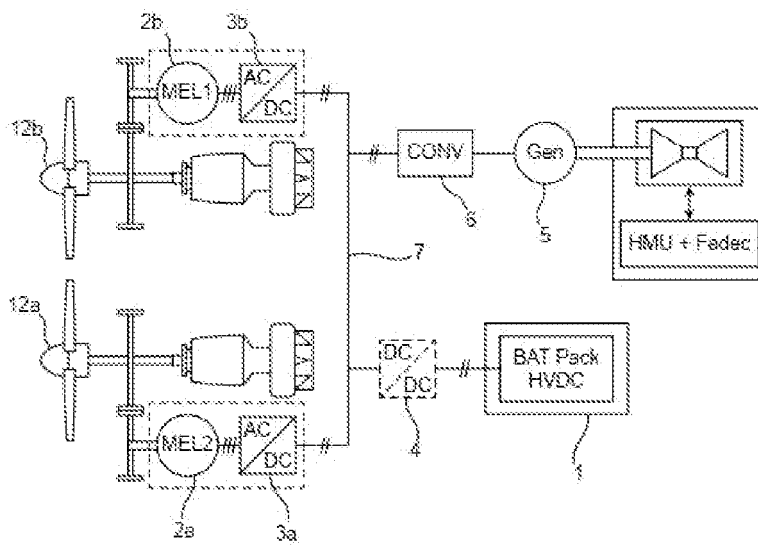


FIG. 2

[Fig. 3]

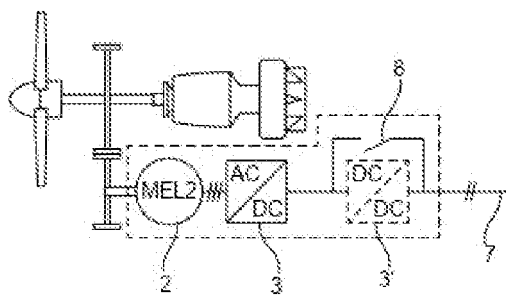


FIG. 3

[Fig. 4]

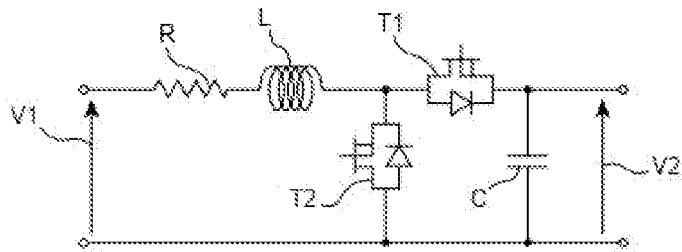


FIG. 4

[Fig. 5]

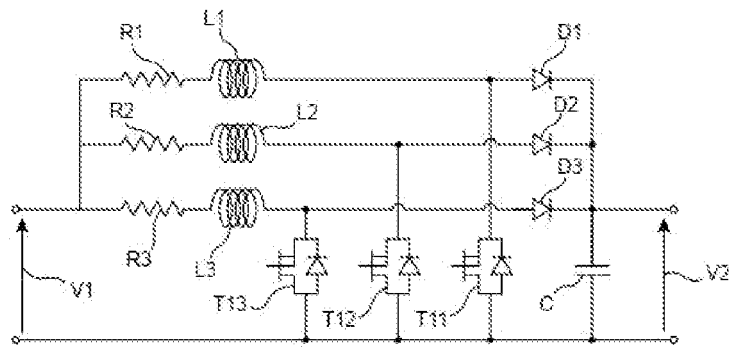


FIG. 5

[Fig. 6]

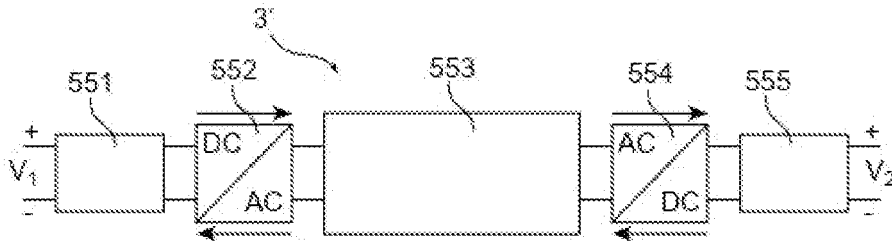


FIG. 6

[Fig. 7]

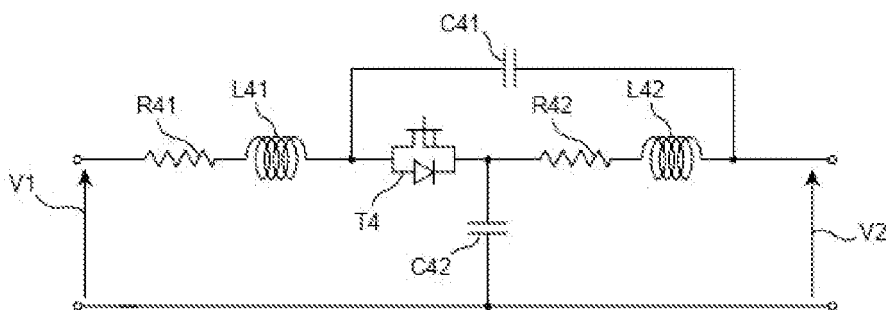


FIG. 7

[Fig. 8]

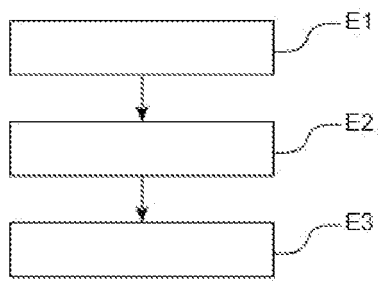


FIG. 8

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 914046
FR 2214011

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 3 116 303 A1 (SAFRAN HELICOPTER ENGINES [FR]) 20 mai 2022 (2022-05-20)	1-9	B64D27/24
Y	* alinéas [[0046]] - [[0047]], [[0055]],	3, 5, 7	F02C7/06
A	[[0056]], [[0066]], [[0067]], [[0069]]	10	F02C7/32
	- alinéas [[0070]] - [[0074]]; figures 1, 3, 4 *		F02C6/20
	-----		F02N11/04
Y	PEREIRA LUANA K MELGACO ET AL: "Generalized Mathematical Model for an N-cell Interleaved Boost Converter", 2019 IEEE 15TH BRAZILIAN POWER ELECTRONICS CONFERENCE AND 5TH IEEE SOUTHERN POWER ELECTRONICS CONFERENCE (COBEP/SPEC), IEEE, 1 décembre 2019 (2019-12-01), pages 1-6, XP033758267, DOI: 10.1109/COBEP/SPEC44138.2019.9065683 [extrait le 2020-04-13]	7	
A	* colonne 4, ligne 60 - colonne 5, ligne 3; figures 1, 13 *	1-6, 8-10	

Y	JALAKAS T ET AL: "Analysis of battery charger topologies for an electric vehicle", ELECTRONICS CONFERENCE (BEC), 2012 13TH BIENNIAL BALTIC, IEEE, 3 octobre 2012 (2012-10-03), pages 223-226, XP032277631, DOI: 10.1109/BEC.2012.6376857 ISBN: 978-1-4673-2775-6	5	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B64D
			H02J
			H02M
A	* abrégé; figure 3 *	1-4, 6-10	

	-/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
21 juin 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 2214011 FA 914046**

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 **21-06-2023**
 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 3116303 A1	20-05-2022	FR 3116303 A1	20-05-2022
		WO 2022101570 A1	19-05-2022
US 10450962 B2	22-10-2019	CA 2933774 A1	02-07-2015
		CN 105849390 A	10-08-2016
		EP 3092389 A1	16-11-2016
		FR 3015571 A1	26-06-2015
		JP 6509874 B2	08-05-2019
		JP 2017503954 A	02-02-2017
		KR 20160102202 A	29-08-2016
		PL 3092389 T3	02-11-2020
		RU 2016130041 A	30-01-2018
		US 2017002744 A1	05-01-2017
		WO 2015097361 A1	02-07-2015