

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

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

**3 093 876**

②① N° d'enregistrement national : **19 02569**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **H 02 M 5/45 (2019.01)**

①②

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ **SYSTÈME CONFIGURÉ POUR DÉLIVRER UN COURANT POLYPHASÉ DE FRÉQUENCE  
CONSTANTE À PARTIR D'UNE GÉNÉRATRICE SYNCHRONE.**

②② **Date de dépôt** : 13.03.19.

③③ **Priorité** :

④③ **Date de mise à la disposition du public  
de la demande** : 18.09.20 Bulletin 20/38.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention** : 21.01.22 Bulletin 22/03.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche** :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux  
apparentés** :

○ **Demande(s) d'extension** :

⑦① **Demandeur(s)** : SAFRAN SA — FR.

⑦② **Inventeur(s)** : SABER Christelle, GIMENO Anthony,  
GAUTIER Cyrille, PETIBON Stéphane et YOUSSEF  
Toni.

⑦③ **Titulaire(s)** : SAFRAN SA.

⑦④ **Mandataire(s)** : GEVERS & ORES.

**FR 3 093 876 - B1**



## Description

### **Titre de l'invention : SYSTÈME CONFIGURÉ POUR DÉLIVRER UN COURANT POLYPHASÉ DE FRÉQUENCE CONSTANTE À PARTIR D'UNE GÉNÉRATRICE SYNCHRONE**

#### **Domaine technique de l'invention**

- [0001] La présente invention concerne un générateur électrique à fréquence fixe via une machine synchrone polyphasée à vitesse variable, notamment pour aéronef. Un tel générateur électrique forme un système configuré pour délivrer en sortie une tension polyphasée de fréquence constante à partir d'une machine ou génératrice synchrone, par exemple à aimants permanents, entraînée à vitesse variable, et plus particulièrement un système à fréquence constante pour une vitesse d'entraînement variable provenant d'une génératrice variable connu sous l'acronyme VSCF (de l'expression anglaise « Variable Speed Constant Frequency »), notamment dans un aéronef.
- [0002] La présente invention s'applique néanmoins à toute application de génération électrique alternative embarquée à fréquence électrique fixe à partir d'un arbre mécanique à vitesse variable.

#### **Arrière-plan technique**

- [0003] Il est connu une structure de conversion de puissance permettant de générer un réseau électrique triphasé plus une phase reliée au neutre à fréquence fixe à partir d'une machine électrique à vitesse variable fonctionnant en tant que génératrice de courant entraînée par un boîtier d'accessoires d'un turboréacteur d'un aéronef. En particulier, une telle structure peut intégrer un système VSCF.
- [0004] Un système VSCF peut, par exemple, être intégré dans une nacelle de moteur. Ce système VSCF comprend au moins une génératrice synchrone, des moyens de conversion d'un courant alternatif en courant continu, puis d'un courant continu en courant alternatif et une unité électronique de contrôle configurée pour assurer le pilotage du système VSCF.
- [0005] La nacelle de moteur loge un boîtier d'accessoires sous la forme d'une boîte de vitesses entraînant la génératrice synchrone à partir du turboréacteur.
- [0006] Un système VSCF permet de générer une fréquence électrique constante via une transformation électrique, à l'opposé d'une transformation mécanique habituellement utilisée dans l'aéronautique via un équipement de pilotage à vitesse constante connu de l'état de la technique sous le nom anglais de « Constant Speed Drive ».
- [0007] Un tel système VSCF embarqué est un système de conversion de puissance électromécanique intégré capable de remplacer certaines génératrices intégrées sur des aéronefs.

- [0008] La figure 1 représente un système VSCF 1a connu de l'état de la technique. De manière générale, un système VSCF 1a comprend une génératrice 2 synchrone à aimants permanents, un redresseur passif 3a, un bus de courant continu 4, un onduleur 5 et un filtre à compatibilité électromagnétique 9a disposé en sortie du système 1a.
- [0009] Sur la figure 1, la génératrice 2 synchrone à courant alternatif est triphasée. Une unité électronique de contrôle 7a pilote le système 1a en relevant les tensions en amont et en aval du redresseur 3 et de l'onduleur 5 en étant alimentée par la génératrice 2 synchrone.
- [0010] Le courant alternatif en sortie de la génératrice synchrone à aimants permanents est triphasé. Un dispositif de protection, avantageusement un fusible, est disposé en aval de la génératrice afin de séparer la génératrice et les capteurs de courant, chacun étant spécifique à une phase.
- [0011] Le redresseur 3a est passif, puisqu'il ne comporte pas d'interrupteur commandé, mais seulement des diodes 14 (dont une seule est référencée parmi toutes les diodes présentes). Le redresseur passif 3a est couplé en sortie à un condensateur de liaison 11 faisant partie du bus à courant continu 4 puis à l'onduleur 5 à trois bras ne comportant pas de liaison au neutre. En sortie de l'onduleur 5, le système 1a comprend un filtre à compatibilité électromagnétique 9a et des capteurs de tension pour chaque phase. Chaque ligne de phase en sortie du système 1a comporte un interrupteur 13.
- [0012] Un système VSCF de l'état de la technique est avantageusement plus compact que d'autres types de système équivalent, du fait de l'utilisation d'une génératrice synchrone à aimants permanents. De plus, il n'est pas nécessaire d'utiliser un dispositif annexe pour fluxer la génératrice au démarrage.
- [0013] Un redresseur passif offre une commande simplifiée du système. Cependant, un redresseur passif présente l'inconvénient de délivrer une tension variable à la branche comprenant le condensateur de liaison assimilable à un bus à courant continu, cette tension étant fonction de la vitesse d'entraînement de la génératrice synchrone.
- [0014] De plus, le dimensionnement des modules de puissance et du condensateur dans le bus à courant continu ne peut être optimal sur toute la plage de fonctionnement du système.
- [0015] En outre, pour un redresseur passif, une possibilité de défluxage de la génératrice synchrone est absente.
- [0016] Enfin, le système VSCF de cet état de la technique assure une circulation unidirectionnelle en courant avec un fonctionnement seulement en mode générateur de courant par la génératrice synchrone, et non en récupération d'énergie vers le bus en courant continu ou la génératrice synchrone.
- [0017] L'invention a pour objectif, pour un système délivrant un courant polyphasé de fréquence constante à partir d'une génératrice synchrone entraînée à vitesse variable,

d'éviter au moins en partie les inconvénients précités.

### **Résumé de l'invention**

- [0018] À cet effet, la présente invention concerne un système configuré pour délivrer en sortie un courant polyphasé de fréquence constante à partir d'une génératrice synchronisée entraînée à vitesse variable, ledit système comprenant successivement, en sortie de ladite génératrice, un redresseur de courant alternatif en courant continu, un bus à courant continu et un onduleur de courant continu en courant alternatif de sortie dudit système, ledit système étant remarquable en ce que ledit redresseur est un redresseur actif comportant au moins un bras pour chaque phase d'un courant polyphasé en sortie de ladite génératrice, chaque bras comportant au moins un interrupteur commandable, et en ce que ledit système comprend également une unité électronique de contrôle configurée pour piloter ledit redresseur actif avec des premiers moyens de commande dudit au moins un interrupteur commandable de chaque bras.
- [0019] Le système intégré réalise un générateur électrique à fréquence fixe via une machine synchronisée polyphasée à vitesse variable.
- [0020] La présente invention se destine principalement à un système intégré d'alimentation électrique d'un ou d'une pluralité de réseaux électriques embarqués permettant de garantir une fréquence fixe de courant d'alimentation à partir de l'entraînement à vitesse variable d'une génératrice, notamment couplée à un arbre de turbomachine, avec en plus la possibilité de réguler la machine par un redresseur commandé, ce que ne pouvait garantir un système selon l'état de la technique.
- [0021] Un redresseur actif permet de réguler la tension continue en sortie du redresseur actif, ce qui n'était pas possible avec un redresseur passif de l'état de la technique. Ceci permet de protéger les éléments du bus continu, notamment un ou des condensateurs, ainsi que les composants de puissance présents dans le système. Le rendement du système est en outre amélioré.
- [0022] Dans un système de l'état de la technique, une unité électronique de contrôle n'avait aucune action sur le redresseur passif de ce système, mais avait une action seulement sur l'onduleur en sortie du système.
- [0023] La génératrice peut être réversible. Le redresseur actif peut être réversible en fonctionnant comme onduleur en assurant une alimentation électrique polyphasée de la génératrice.
- [0024] Un tel système opère en alimentation électrique d'un réseau électrique en sortie du système, mais aussi de la génératrice, ce qui lui assure une double fonction et accroît ses possibilités d'utilisation.
- [0025] Le système selon la présente invention étant réversible, ce système peut être utilisé pour une alimentation électrique d'un ou d'une pluralité de réseaux électriques

embarqués en sortie ou inversement pour un démarrage de la turbomachine ou d'une source de vitesse équivalente à une turbomachine.

- [0026] Ledit interrupteur commandable peut être un transistor, un transistor bipolaire à grille isolée, un transistor à effet de champ, ou un transistor à effet de champ à grille métal-oxyde.
- [0027] Chaque bras du redresseur actif peut comporter au moins deux interrupteurs commandables. Autrement dit, deux interrupteurs commandables peuvent être intégrés dans chacun des bras du redresseur actif.
- [0028] L'unité électronique de contrôle peut comprendre des moyens de suivi d'une tension respective en amont et en aval pour le redresseur actif et/ou pour l'onduleur en sortie du système et des deuxièmes moyens de commande de l'onduleur en sortie.
- [0029] L'onduleur en sortie du système ou le bus à courant continu peuvent comprendre un bras relié au neutre. L'onduleur en sortie peut comprendre en outre un bras par phase du courant alternatif polyphasé en sortie du système, chaque bras par phase de l'onduleur en sortie comprenant au moins un interrupteur commandable configuré pour être piloté par les deuxièmes moyens de commande de l'unité électronique de contrôle.
- [0030] Dans un système VSCF de l'état de la technique à redresseur passif, l'onduleur en sortie, à au moins trois bras, en pouvant être à autant de bras que de phases en sortie, ne permet pas d'assurer la gestion du neutre dans le système.
- [0031] Selon un premier mode de réalisation, le système peut comporter un filtre de compatibilité électromagnétique en sortie de l'onduleur en sortie du système, le filtre comportant un bras pour chaque phase du courant polyphasé en sortie du système, chaque bras de chaque phase comprenant une inductance, un condensateur monté dans une dérivation de chaque bras en aval de l'inductance, le bras relié au neutre étant connecté à chaque dérivation des bras des phases du filtre de compatibilité électromagnétique.
- [0032] Selon ce premier mode de réalisation, le redresseur en sortie de la génératrice et la génératrice ne subissent pas l'impact des courts-circuits pouvant se produire sur le réseau électriques polyphasé en sortie et n'ont pas besoin d'être surdimensionnés.
- [0033] Dans ce premier mode de réalisation, la gestion du neutre est effectuée par l'onduleur en sortie du système. Les modules de l'onduleur peuvent être surdimensionnés pour la tenue des éventuels courts-circuits du côté de la sortie du système vers le réseau électrique extérieur. La tension du bus à courant continu peut être de 540 Volts.
- [0034] Un bras supplémentaire peut être prévu pour l'électronique de puissance de l'unité électronique de contrôle avec une commande plus complexe.
- [0035] Selon un deuxième mode de réalisation, le bras relié au neutre est configuré pour partager le bus à courant continu en deux parties, chaque partie du bus à courant continu comportant un condensateur. Autrement dit, un condensateur peut être po-

sitionné dans chacune des deux parties du bus à courant continu.

- [0036] Le bus à courant continu peut être séparé en deux portions de 270 Volts chacune au point milieu capacitif du bus à courant continu.
- [0037] Selon ce deuxième mode de réalisation, la gestion du neutre s'effectue à travers le redresseur, la génératrice et/ou l'onduleur en sortie du système, l'onduleur ne nécessitant pas l'ajout d'un bras supplémentaire.
- [0038] La génératrice et le redresseur peuvent être dimensionnés pour la tenue des courts-circuits.
- [0039] Le bras relié au neutre partant du bus à courant continu peut être connecté à un bras relié au neutre partant de la génératrice synchrone.
- [0040] Le bras relié au neutre peut être relié dans l'onduleur en sortie à un bras supplémentaire aux bras de l'onduleur associés respectivement à une phase du courant, le bras supplémentaire comportant au moins un interrupteur commandable.
- [0041] D'une manière générale, pour un système selon la présente invention, la gestion du flux de puissance est assurée à travers des lois de commande implémentées dans des cartes de commande de l'unité électronique de contrôle et permettant d'assurer :
- [0042] – la régulation de la tension du bus à courant continu à un niveau constant,  
 – le défluxage, si besoin, de la génératrice synchrone,  
 – la génération d'un réseau de bord électrique embarqué, avantageusement d'une tension de chaque phase par rapport au neutre de 115 Volts effectif et d'une fréquence fixe de 400 Hertz,  
 – la gestion du neutre du réseau électrique,  
 – la stabilité du système notamment après l'insertion du filtre de compatibilité électromagnétique en sortie du système,  
 – la gestion des cas de défaillance, avec des lois de contrôle tolérantes aux pannes, et  
 – la réversibilité du système VSCF.

### **Brève description des figures**

- [0043] La présente invention sera mieux comprise et d'autres détails, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description d'un exemple non limitatif qui suit, en référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0044] [fig.1] la figure 1 représente schématiquement un système VSCF selon l'état de la technique,
- [0045] [fig.2] la figure 2 représente schématiquement un système VSCF selon la présente invention,
- [0046] [fig.3] la figure 3 représente schématiquement un circuit de puissance d'un système

VSCF selon un premier mode de réalisation de la présente invention avec redresseur actif et gestion du neutre en partant de l'onduleur en sortie du système,

[0047] [fig.4] la figure 4 représente schématiquement le système VSCF selon le premier mode de réalisation de la présente invention avec redresseur actif et gestion du neutre en partant de l'onduleur,

[0048] [fig.5] la figure 5 représente schématiquement un deuxième mode de réalisation d'un système VSCF selon la présente invention avec redresseur actif et gestion du neutre en partant du bus à courant continu.

[0049] Les éléments ayant les mêmes fonctions dans les différentes mises en œuvre ont les mêmes références dans les figures.

### **Description détaillée de l'invention**

[0050] Dans la suite de la description, il est fait référence à toutes les figures 1 à 5 prises en combinaison. Quand il est fait référence à une ou des figures spécifiques, ces figures sont à prendre en combinaison avec les autres figures pour la reconnaissance des références numériques désignées.

[0051] Dans le redresseur actif 3, un seul interrupteur commandable est référencé 6 mais ce qui est énoncé pour cet interrupteur commandable référencé l'est pour chaque interrupteur commandable du redresseur 3. Il en va de même dans l'onduleur 5 pour ses interrupteurs commandables dont un seul est référencé 6 et pour l'un des deux interrupteurs commandables 6a du bras relié au neutre 8.

[0052] En se référant plus particulièrement aux figures 2 à 5, la présente invention concerne un système 1 VSCF délivrant en sortie un courant polyphasé de fréquence constante à partir d'une génératrice 2 synchrone, de préférence à aimants permanents entraînée à vitesse variable. Selon l'invention, un courant polyphasé comporte au moins trois phases, c'est donc au moins un courant triphasé.

[0053] Ce système peut faire office de générateur électrique à fréquence fixe via une machine synchrone polyphasée à vitesse variable et être utilisé dans un aéronef, sans que cela soit limitatif.

[0054] Le fait que la génératrice 2 soit entraînée à vitesse variable implique que la fréquence du courant alternatif en sortie de la génératrice 2 ne peut pas être constante dans le temps.

[0055] Le rotor d'une génératrice 2 électrique synchrone à aimants permanents polyphasée, avec un nombre de phases supérieur ou égal à 3 est entraîné par un arbre mécanique, par exemple un arbre d'une source de vitesse, notamment une turbomachine, à des vitesses de rotation variables. Ces vitesses de rotation dépendent du régime de fonctionnement de la turbomachine comme source de vitesse et de la phase de vol de l'aéronef quand la turbomachine est embarquée dans l'aéronef.

- [0056] Cet entraînement à vitesse variable de la génératrice 2 génère au niveau des phases de son stator des forces électromotrices ayant des fréquences électriques variables, étant donné la vitesse de rotation variable, autrement dit le régime de fonctionnement de la turbomachine.
- [0057] Sur la figure 2, l'organe, non illustré à cette figure, entraînant la génératrice 2 peut être une turbomachine tournante et délivrant une puissance mécanique  $P_m$ . La fréquence du courant de sortie de la génératrice 2 est variable et est référencée  $f_v$ . La référence  $n$  indique le nombre de phases de courant en sortie de la génératrice 2.
- [0058] Pour garantir un courant alternatif de fréquence constante en sortie du système 1, le système 1 comprend successivement, en sortie de la génératrice 2, un redresseur 3 de courant alternatif en courant continu, un bus 4 à courant continu et un onduleur 5 de courant continu en courant alternatif de sortie du système 1.
- [0059] En sortie de l'onduleur 5, la fréquence du courant électrique référencée  $f_c$  est sensiblement constante. Le système 1 alimente électriquement un réseau ou des réseaux électriques 12 extérieurs.
- [0060] Ainsi, de manière connue, la conversion en fréquence électrique fixe est assurée par l'insertion de deux convertisseurs, à savoir un redresseur actif 3 puis un onduleur 5, reliés par un bus 4 à courant continu commun entre les phases de la génératrice 2 et le réseau de sortie électrique polyphasé 12, avec un nombre de phases supérieur ou égal à 3.
- [0061] Le redresseur 3 en sortie de la génératrice 2 convertit les signaux électriques alternatifs en sortie de la génératrice 2 en signaux continus.
- [0062] L'onduleur 5 en sortie du système 1 permet de convertir la tension du bus 4 à courant continu en un courant alternatif d'un nombre défini de tensions alternatives, le nombre de phases en sortie du système 1 pouvant être différent du nombre de phases en sortie de la génératrice 2 avant le redresseur 3.
- [0063] L'onduleur 5 en sortie du système 1 possède au moins autant de bras qu'il y a des phases au niveau du réseau électrique en sortie 12 du système 1.
- [0064] Un exemple de réalisation d'onduleur 5 de tension est donné notamment à la figure 3. Sur cette figure, un réseau triphasé avec un bras de mise au neutre 8 et un onduleur 5 sont choisis pour la simplicité de l'illustration. Rien n'empêche l'utilisation d'autres topologies d'onduleurs de tension et/ou de réseau de distribution en courant alternatif polyphasé.
- [0065] La présence d'un bus 4 à courant continu intermédiaire entre le redresseur 3 et l'onduleur 5 permet de découpler le nombre de phases de la génératrice 2 du nombre de phases du réseau de distribution électrique en sortie du système 1, ces deux nombres de phase pouvant être égaux ou différents.
- [0066] L'utilisation d'un redresseur 3 passif et d'un onduleur 5 permet de générer un

courant de sortie à fréquence électrique fixe.

- [0067] Selon la présente invention, dans un système 1 précédemment décrit, le redresseur est un redresseur 3 actif comportant au moins un bras pour chaque phase d'un courant polyphasé en sortie de la génératrice 2.
- [0068] Chaque bras comporte au moins un interrupteur commandable 6. De plus, le système 1 comprend une unité électronique de contrôle 7 pilotant le redresseur 3 actif avec des premiers moyens de commande dudit au moins un interrupteur commandable 6 de chaque bras.
- [0069] Le redresseur est dit redresseur 3 de tension actif car il incorpore des interrupteurs commandables 6 avec au moins un interrupteur commandable 6 pour chaque phase de courant en sortie de la génératrice 2.
- [0070] Différentes topologies de redresseurs de tension peuvent répondre aux besoins du système 1. L'important est que ces redresseurs aient au moins autant de bras qu'il y a de phases au stator de la génératrice 2 électrique.
- [0071] Une topologie d'un redresseur 3 actif de tension utilisable dans le cadre de la présente invention sans être limitatif est montrée à la figure 3.
- [0072] Dans le cas d'une génératrice 2 réversible pouvant servir aussi comme machine électrique en tant que moteur, le redresseur 3 actif peut être réversible en fonctionnant comme onduleur afin d'assurer une alimentation électrique polyphasée de la génératrice 2.
- [0073] Ceci confère une fonction d'alimentation électrique effectuée par le système 1 dans deux directions opposées soit vers un réseau électrique extérieur en sortie de l'onduleur 5 du système 1 soit vers la génératrice 2, le redresseur 3 en sortie de la génératrice 2 fonctionnant alors en onduleur pour alimenter la génératrice 2 en courant alternatif.
- [0074] La présence d'un redresseur 3 actif réversible permet à l'unité électronique de contrôle 7 de piloter une alimentation en courant via le système 1 fonctionnant en sens inverse de celui habituellement utilisé, ceci pour pouvoir alimenter la génératrice 2 par le système 1 plutôt que la génératrice 2 n'alimente le système 1.
- [0075] Le fonctionnement de la génératrice 2 n'est plus uniquement en mode générateur de courant. Ceci n'était pas possible avec un redresseur 3a passif selon l'état de la technique précédemment montré à la figure 1.
- [0076] Le ou les interrupteurs commandables 6 du redresseur 3 en sortie de la génératrice 2 peuvent être un transistor, un transistor bipolaire à grille isolée, un transistor à effet de champ ou un transistor à effet de champ à grille métal-oxyde, connus notamment sous l'acronyme IGBT ou MOSFET. D'autres types d'interrupteurs commandables 6 peuvent aussi être mis en œuvre dans le cadre de la présente invention.
- [0077] Pour effectuer le pilotage du redresseur 3 actif mais aussi de l'onduleur 5 en sortie, l'unité électronique de contrôle 7 peut comprendre des moyens de suivi d'une tension

respective en amont et en aval aussi bien pour le redresseur 3 actif que pour l'onduleur 5 en sortie du système 1. L'unité électronique de contrôle 7 peut également comprendre des moyens de suivi d'un courant sur chacune des phases aussi bien pour le redresseur 3 actif que pour l'onduleur 5.

- [0078] L'unité électronique de contrôle 7 peut aussi comprendre des deuxièmes moyens de commande de l'onduleur 5 en sortie.
- [0079] Sur les figures 3 à 5, l'onduleur 5 en sortie comprend un bras par phase a, b, c du courant alternatif polyphasé en sortie du système 1, le nombre non limitatif de bras étant de trois sur ces figures. La phase du neutre est référencée n.
- [0080] Chaque bras par phase a, b, c de l'onduleur 5 en sortie peut comprendre au moins un interrupteur commandable 6 piloté par les deuxièmes moyens de commande de l'unité électronique de contrôle 7, comme il est montré à la figure 2.
- [0081] D'autre part, dans un système 1a VSCF de l'état de la technique à redresseur passif, l'onduleur 5 en sortie, à trois bras illustré à la figure 1 mais cependant pouvant être à autant de bras que de phases en sortie, ne permet pas d'assurer la gestion du neutre dans le système 1a.
- [0082] En se référant aux figures 3 à 5, des phases statoriques, représentées au nombre non limitatif de cinq donc pentaphasées, d'une génératrice 2 synchrone peuvent être reliées aux points milieu de cinq bras d'un redresseur 3 actif à deux niveaux de tension.
- [0083] Sur les figures 3 à 5, les phases en sortie de la génératrice 2 sont au nombre de cinq et référencées a, b, c, d, e. Les phases en sortie de l'onduleur 5 sont au nombre de trois et référencées a, b, c. La phase neutre par le bras de mise au neutre ou bras relié au neutre 8 est référencée n. Sur les figures 2, 4 et 5, DC signifie courant continu (acronyme de l'expression anglaise « Direct Current ») et AC signifie courant alternatif (acronyme de l'expression anglaise « Alternative Current »).
- [0084] L'onduleur 5 en sortie du système 1 ou le bus 4 à courant continu peuvent comprendre un bras relié au neutre 8. Sur les figures 3 et 4, le bras relié au neutre 8 part de l'onduleur 5 en sortie du système 1 tandis que sur la figure 5, le bras relié au neutre 8 part du bus 4 à courant continu en un point milieu capacitif.
- [0085] Comme montré sur la figure 5, le bras relié au neutre 8 peut partager le bus 4 à courant continu en deux parties, un condensateur 11a pouvant être positionné dans chacune des deux parties du bus 4 à courant continu. Dans ce cas, le raccordement du bras relié au neutre 8 peut se faire au point milieu capacitif du bus 4 à courant continu, avantageusement à 270 Volts. Le bus 4 à courant continu comprend alors deux condensateurs 11a en série.
- [0086] Toujours en se référant à la figure 5, le bras relié au neutre 8 partant du bus 4 à courant continu peut être connecté à un bras relié au neutre 8a partant de la génératrice 2 synchrone.

- [0087] Sur la figure 3, le bras relié au neutre 8 peut être connecté dans l'onduleur 5 en sortie à un bras supplémentaire aux bras de l'onduleur 5 associés respectivement à une phase a, b, c du courant, le bras supplémentaire pouvant comporter au moins un interrupteur commandable 6a, avantageusement deux interrupteurs commandables 6a, comme montré sur la figure 3. Dans ce cas, le bus 4 à courant continu ne comprend qu'un seul condensateur 11a.
- [0088] Le neutre du réseau électrique peut être géré notamment par une stratégie de modulation vectorielle tridimensionnelle dite 3D-SVM connue sous la dénomination anglo-saxonne de « Three Dimensional Space Vector Modulation ».
- [0089] Afin d'assurer cette gestion du neutre, le point milieu du bras supplémentaire ou bras relié au neutre 8 peut être connecté au point milieu d'un couplage étoile des condensateurs de filtrage 11 en sortie de l'onduleur 5 dans le filtre 9 de compatibilité électromagnétique. Cela vaut aussi pour un bras relié au neutre 8 partant du bus 4 à courant continu, comme montré à la figure 5.
- [0090] Sur les figures 3 et 4, le bus 4 à courant continu du système 1 peut être placé en sortie du redresseur 3 actif de tension et en entrée d'un onduleur 5 actif de sortie à deux niveaux de tension ayant non limitativement quatre bras de sortie dont trois bras associés respectivement à une phase a, b, c du courant de sortie.
- [0091] Le quatrième bras qui est le bras supplémentaire précédemment mentionné est employé pour assurer la gestion du neutre du réseau électrique en étant un bras relié au neutre 8.
- [0092] Ainsi, pour un réseau triphasé, ce qui est le cas non limitatif de cet exemple des figures 3 et 4, une tension de chaque phase par rapport au neutre de 115 Volts efficace et une fréquence fixe de 400 Hertz peuvent être générées aux points de régulation en sortie du système 1, avantageusement en sortie d'un filtre 9 de compatibilité électromagnétique.
- [0093] Le filtre 9 de compatibilité électromagnétique peut être dimensionné pour filtrer les harmoniques hautes fréquences, par exemple multiples de 400 Hertz et les harmoniques liés une fréquence de commutation, multiples de cette fréquence de commutation.
- [0094] Le filtre 9 de compatibilité électromagnétique peut comporter un bras pour chaque phase a, b, c du courant polyphasé en sortie du système 1. Chaque bras de chaque phase a, b, c peut comprendre une inductance 10. Un condensateur 11 peut être monté dans une dérivation de chaque bras en aval de l'inductance 10 c'est-à-dire en un point du bras plus proche de la sortie du système 1 que l'inductance 10.
- [0095] Comme montré sur les figures 3 à 5, le bras relié au neutre 8 partant soit du bus 4 en courant continu soit de l'onduleur 5 en sortie du système 1 peut être connecté à chaque dérivation contenant un condensateur 11 des bras des phases a, b, c du filtre 9 de com-

patibilité électromagnétique.

[0096] Le bras relié au neutre 8 peut aussi être filtré dans le filtre 9 de compatibilité électromagnétique et peut comprendre une inductance, comme montré sur la figure 3.

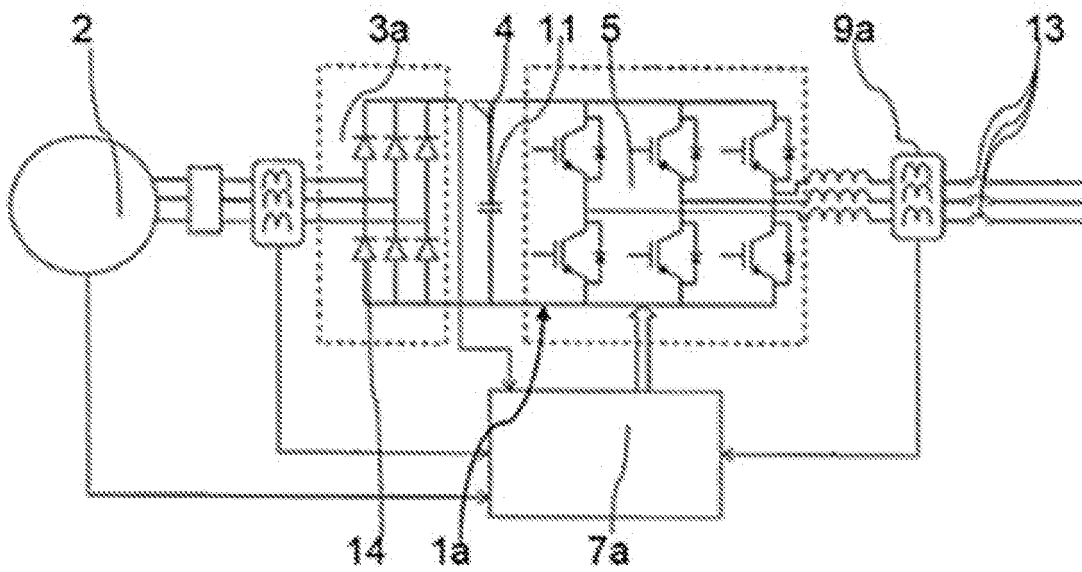
[0097] L'invention n'est nullement limitée aux modes de réalisation décrits et illustrés qui n'ont été donnés qu'à titre d'exemples.

## Revendications

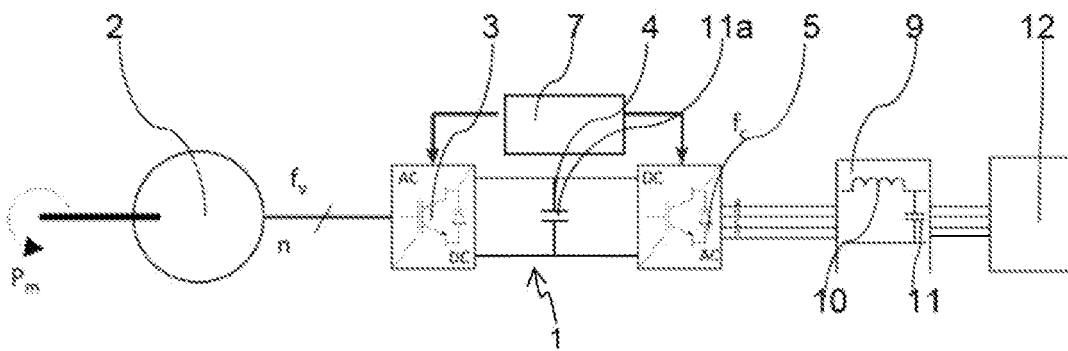
- [Revendication 1] Système (1) configuré pour délivrer en sortie un courant polyphasé de fréquence constante à partir d'une génératrice (2) synchrone entraînée à vitesse variable, ledit système (1) comprenant successivement, en sortie de ladite génératrice (2), un redresseur (3) de courant alternatif en courant continu, un bus (4) à courant continu et un onduleur (5) de courant continu en courant alternatif de sortie dudit système (1), ledit redresseur (3) étant un redresseur (3) actif comportant au moins un bras pour chaque phase d'un courant polyphasé en sortie de ladite génératrice (2), chaque bras comportant au moins un interrupteur commandable (6), ledit système (1) comprenant également une unité électronique de contrôle (7) configurée pour piloter ledit redresseur (3) actif avec des premiers moyens de commande dudit au moins un interrupteur commandable (6) de chaque bras, ledit système étant caractérisé en ce que l'unité électronique de contrôle (7) comprend des moyens de suivi d'une tension respective en amont et en aval pour le redresseur (3) actif et/ou pour l'onduleur (5) en sortie dudit système (1) et des deuxièmes moyens de commande dudit onduleur (5) en sortie.
- [Revendication 2] Système (1) selon la revendication précédente, dans lequel la génératrice (2) est réversible, le redresseur (3) actif étant réversible en fonctionnant comme onduleur en assurant une alimentation électrique polyphasée de ladite génératrice (2).
- [Revendication 3] Système (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ledit au moins un interrupteur commandable (6) est un transistor, un transistor bipolaire à grille isolée, un transistor à effet de champ ou un transistor à effet de champ à grille métal-oxyde.
- [Revendication 4] Système (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque bras du redresseur (3) actif comporte au moins deux interrupteurs commandables (6).
- [Revendication 5] Système (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'onduleur (5) en sortie dudit système (1) ou le bus (4) à courant continu comprennent un bras relié au neutre (8), ledit onduleur (5) en sortie comprenant en outre un bras par phase (a, b, c) du courant alternatif polyphasé en sortie dudit système (1), chaque bras par phase (a, b, c) dudit onduleur (5) en sortie comprenant au moins un interrupteur commandable (6) configuré pour être piloté par les deuxièmes moyens de commande de l'unité électronique de contrôle (7).

- [Revendication 6] Système (1) selon la revendication précédente, comportant un filtre (9) de compatibilité électromagnétique en sortie de l'onduleur (5) en sortie dudit système (1), ledit filtre (9) comportant un bras pour chaque phase (a, b, c) du courant polyphasé en sortie dudit système (1), chaque bras de chaque phase (a, b, c) comprenant une inductance (10), un condensateur (11) monté dans une dérivation de chaque bras en aval de ladite inductance (10), le bras relié au neutre (8) étant connecté à chaque dérivation des bras des phases (a, b, c) du filtre (9) de compatibilité électromagnétique.
- [Revendication 7] Système (1) selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, dans lequel le bras relié au neutre (8) est configuré pour partager le bus (4) à courant continu en deux parties, chaque partie du bus (4) à courant continu comportant un condensateur (11a).
- [Revendication 8] Système (1) selon la revendication précédente, dans lequel le bras relié au neutre (8) partant du bus (4) à courant continu est connecté à un bras relié au neutre (8a) partant de la génératrice (2) synchrone.
- [Revendication 9] Système (1) selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, dans lequel le bras relié au neutre (8) est relié dans l'onduleur (5) en sortie à un bras supplémentaire aux bras dudit onduleur (5) associés respectivement à une phase (a, b, c) du courant, ledit bras supplémentaire comportant au moins un interrupteur commandable (6a).

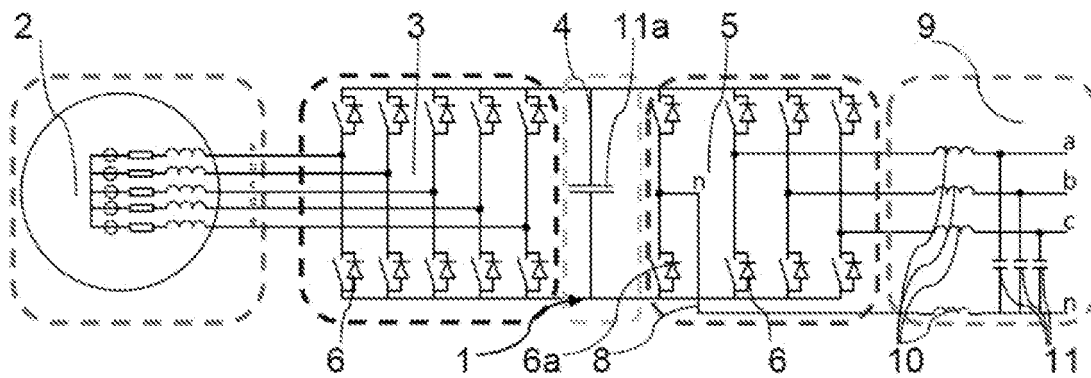
[Fig. 1]



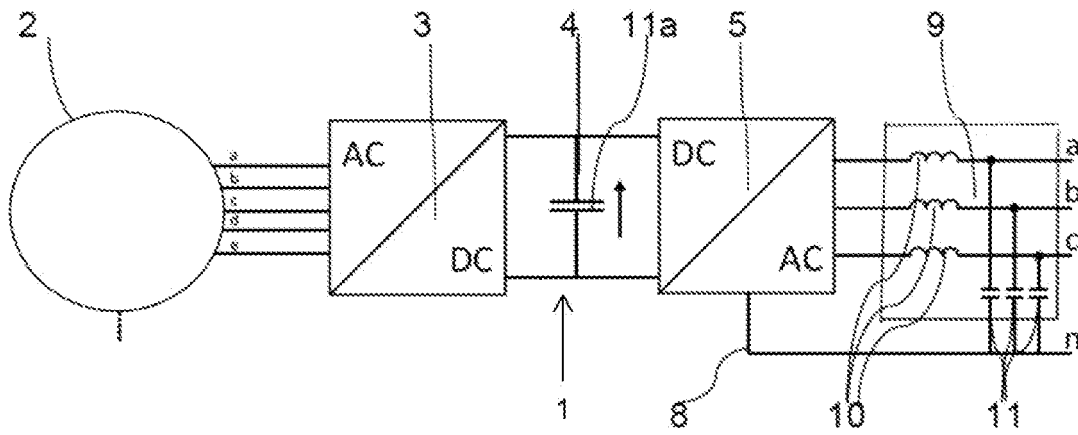
[Fig. 2]



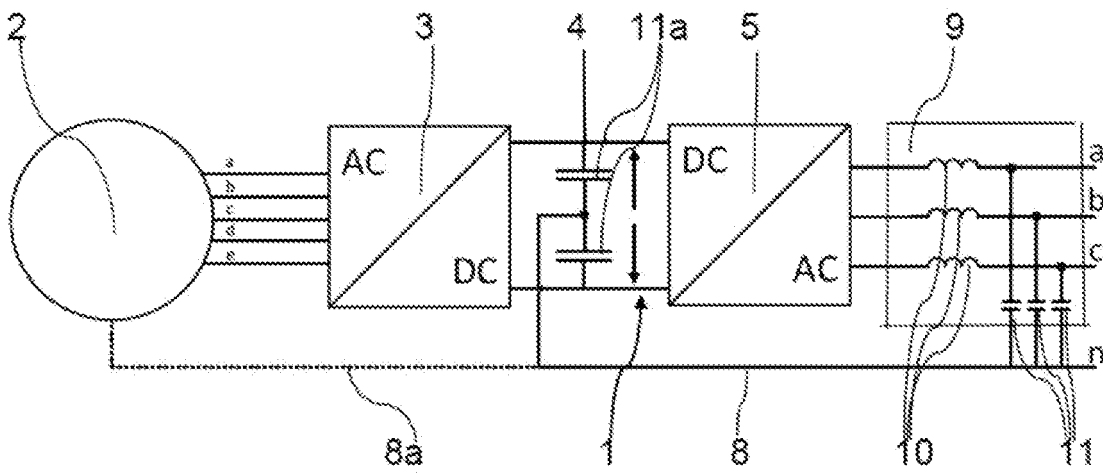
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN  
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

EP 2 157 683 A2 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP  
[US]) 24 février 2010 (2010-02-24)

EP 2 980 977 A1 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP  
[US]) 3 février 2016 (2016-02-03)

EP 0 244 186 A2 (HOFFMANN DAVID C [US];  
SHENOY SURATKAL P [US])  
4 novembre 1987 (1987-11-04)

WO 2006/121425 A2 (ATLAS MARINE SYSTEMS LP  
[US]; SHIRES JERRY O [US] ET AL.)  
16 novembre 2006 (2006-11-16)

EP 1 995 860 A2 (GEN ELECTRIC [US])  
26 novembre 2008 (2008-11-26)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN  
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND  
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT