

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
02 janvier 2025 (02.01.2025)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2025/003595 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01F 27/24 (2006.01) H01F 38/18 (2006.01)

LOUIS BLERIOT CS 80049, 31702 BLAGNAC CEDEX (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2024/050806

(72) Inventeurs : **HADJIDJ, Djemouai** ; c/o SAFRAN ELECTRICAL & POWER, Parc d'Activité Andromède - 1 rue Louis Blériot, Cs 80049, 31702 BLAGNAC (FR).
BELFKIRA, Rachid ; c/o SAFRAN ELECTRICAL & POWER, Parc d'Activité Andromède - 1 rue Louis Blériot, Cs 80049, 31702 BLAGNAC (FR).

(22) Date de dépôt international :
19 juin 2024 (19.06.2024)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2306694 27 juin 2023 (27.06.2023) FR

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

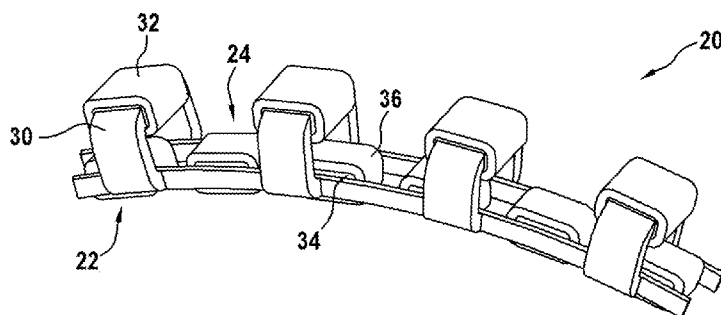
(71) Déposant : **SAFRAN ELECTRICAL & POWER**
[FR/FR] ; PARC D'ACTIVITE ANDROMEDE, 1 RUE

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

(54) Title: STANDARDIZED SEGMENTED LARGE-DIAMETER ROTARY TRANSFORMER

(54) Titre : TRANSFORMATEUR TOURNANT SEGMENTE STANDARDISE A GRAND DIAMETRE

[Fig. 2]



(57) Abstract: Disclosed is a rotary transformer intended to be installed around a rotatable shaft, the rotary transformer consisting of a plurality of annular stator sectors (22) and of a plurality of annular rotor sectors (24), the juxtaposition of said annular sectors forming a stator ring and a rotor ring which consist of elementary magnetic stator and rotor circuits comprising outer (40) and inner (48) magnetic cores as well as a first electrical winding (50) and a second electrical winding (52) to allow electrical energy to be transferred by electromagnetic induction between the stator and rotor rings, the inner and outer magnetic cores being separated by two air gaps e1 and e2 located on either side of the inner magnetic core, wherein the outer magnetic cores (40) are each in the form of a C-shaped claw and the inner magnetic cores (48) are each in the form of an I-shaped bar, and the outer magnetic cores (40) and/or the inner magnetic cores (48) have, at each of the air gaps, annular flared portions (44) produced by cutting into adjacent sectors a magnetic circular ring (46) formed of a radial stack of circular metal sheets advantageously provided with notches to facilitate their assembly on the outer and inner magnetic cores.

(57) Abrégé : Transformateur tournant destiné à être installé autour d'un arbre mobile en rotation, le transformateur tournant étant constitué d'une pluralité de secteurs annulaires de stator (22) et d'une pluralité de secteurs annulaires de rotor (24), la juxtaposition de ces secteurs annulaires formant un anneau de stator et un anneau de rotor constitués de circuits magnétiques stator et rotor élémentaires comportant des noyaux magnétiques externes (40) et internes (48) et des premier (50) et second (52) bobinages électriques pour permettre un transfert d'énergie électrique par induction électromagnétique entre les anneaux de stator et de rotor, les noyaux magnétiques

[Suite sur la page suivante]



HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

internes et externes étant séparés par deux entrefers e1 et e2 présents de part et d'autre du noyau magnétique interne et les noyaux magnétiques externes (40) présentent chacun une forme de griffe en C et les noyaux magnétiques internes (48) présentent chacun une forme de barre en I et les noyaux magnétiques externes (40) et/ou les noyaux magnétiques internes (48) présentent au niveau de chacun des entrefers des épanouissements annulaires (44) réalisés par la découpe en secteurs adjacents d'un anneau circulaire magnétique (46) formé d'un empilement radial de tôles circulaires avantageusement pourvues d'encoches pour faciliter leur assemblage sur les noyaux magnétiques externes et internes.

Description

Titre de l'invention : Transformateur tournant segmenté standardisé à grand diamètre

5 Domaine Technique

La présente invention se rapporte au domaine du transfert de puissance entre un repère fixe et un repère tournant pour le dégivrage électrique (électrothermique) des pales d'hélice d'une turbomachine d'aéronef et a pour objet un transformateur tournant monophasé utilisé dans un environnement sévère pour la transmission
10 d'énergie électrique sans contact par induction électromagnétique entre des premier et second bobinages électriques de ce transformateur.

Technique antérieure

Sur les aéronefs électriques ou hybrides comme sur les aéronefs conventionnels, il y
15 a plusieurs surfaces à protéger contre le givre sur les parties fixes et tournantes de la turbomachine. La protection envisagée pour les parties tournantes est en général exclusivement électrothermique à base de tapis chauffants électriques formés de nappes de résistances couvrant les surfaces à protéger.

Pour assurer le transfert de puissance et donc acheminer l'énergie électrique de la
20 partie fixe à la partie tournante où les tapis chauffants électriques sont installés, il est connu de recourir à un dispositif appelé « slip ring » dont le principe consiste à faire frotter plusieurs bagues conductrices fixes solidaires de la partie fixe sur des pistes conductrices circulaires et solidaires de la partie tournante, afin de créer une connexion électrique entre la partie fixe et la partie tournante de la turbomachine.
25 Toutefois, l'inconvénient majeur de cette solution réside dans sa durée de vie très limitée due à l'usure des pièces en frottement continu, laquelle génère donc des coûts d'exploitation inacceptable sur un avion commercial monocouloir du type A320 ou B737 où la partie tournante endure de multiples rotations.

Par ailleurs, il est connu que du fait de l'environnement sévère (thermique, électromagnétique et vibratoire) existant dans les aéronefs hybrides comportant de nombreuses charges moteurs électrifiées, l'intégration d'équipements électriques est un enjeu majeur et doit répondre à de multiples contraintes liées à la fois à une

5 accessibilité pour le montage/démontage et à un cheminement des câbles de puissance avec d'importants rayons de courbure et des servitudes comme le refroidissement.

Il existe donc un besoin actuel pour une solution fiable et à durée de vie importante de transfert de puissance d'un repère fixe vers un repère tournant applicable à des

10 arbres de rotation de grand diamètre et dans le respect des contraintes d'un équipement remplaçable en ligne sous aile (LRU : Line Replaceable Unit).

Exposé de l'invention

La présente invention a donc pour but principal un transformateur tournant de grand

15 diamètre, segmenté en quartiers, dont la maintenance est facilitée et n'interfère pas avec les autres systèmes et modules de la turbomachine de l'aéronef et ce malgré son installation dans une zone confinée, contrainte et difficile d'accès. Un autre but est de proposer un transformateur permettant un contrôle simplifié mais robuste. Encore un autre but est de permettre une industrialisation de ce transformateur

20 tournant à moindre coût, tout en limitant les rebuts de matériaux à la fabrication.

Ces buts sont atteints par un transformateur tournant destiné à être installé autour d'un arbre mobile en rotation, le transformateur tournant étant constitué d'une pluralité de secteurs annulaires externes de stator et d'une pluralité de secteurs annulaires internes de rotor, la juxtaposition sur 360° de ces secteurs annulaires

25 externes de stator et internes de rotor formant un anneau externe de stator et un anneau interne de rotor constitués d'un ensemble de circuits magnétiques stator et rotor élémentaires, chacun des circuits magnétiques stator élémentaires comportant un noyau magnétique externe et un premier bobinage électrique et chacun des circuits magnétiques rotor élémentaires comportant un noyau magnétique interne et

un second bobinage électrique pour permettre un transfert d'énergie électrique par induction électromagnétique entre les anneaux externe de stator et interne de rotor, les noyaux magnétiques internes et externes étant montés concentriquement et séparés par deux entrefers présents de part et d'autre du noyau magnétique interne, les noyaux magnétiques externes présentent chacun une forme de griffe en C et les noyaux magnétiques internes présentent chacun une forme de barre en I et en ce que les noyaux magnétiques externes et/ou les noyaux magnétiques internes présentent au niveau de chacun des entrefers des épanouissements annulaires réalisés par la découpe en secteurs adjacents d'un anneau circulaire magnétique formé d'un empilement radial de tôles circulaires.

Ainsi, avec ce transfert de puissance sans contact, une amélioration de la fiabilité, de la durée de vie et du coût d'exploitation du transformateur est obtenu. De plus, une meilleure accessibilité au transformateur est possible facilitant son intégration dans les systèmes et modules de la turbomachine de l'aéronef. Un tel transformateur tournant est avantageusement utilisé pour le dégivrage électrique des pales d'hélice d'une turbomachine d'aéronef.

De préférence, les noyaux magnétiques internes et externes sont formés d'un empilement radial de tôles enroulées d'un matériau magnétique de type amorphe ou nanocristallin ou d'un bloc de poudre magnétique constitué de poudre d'Amorphe.

Selon le mode de réalisation envisagé, pour permettre l'insertion du noyau magnétique interne dans le noyau magnétique externe et la création des entrefers de part et d'autre du noyau magnétique interne, le noyau magnétique externe en forme de C est issu de la découpe à la dimension du noyau magnétique interne, des épanouissements annulaires et des entrefers, soit d'un élément magnétique standard de forme oblongue constituée d'un empilement radial de tôles enroulées.

De préférence, le nombre des secteurs annulaires au stator est ou non identique au nombre des secteurs annulaires au rotor et le nombre des noyaux magnétiques externes par secteur annulaire externe de stator est ou non identique au nombre des noyaux magnétiques internes par secteur annulaire interne de rotor.

Avantageusement, le bobinage au stator qui peut être filaire ou en rubans est soit un bobinage concentrique autour de chaque noyau magnétique externe soit un bobinage unique entourant tous les noyaux magnétiques externe d'un secteur annulaire déterminé et le bobinage au rotor qui peut être filaire ou en rubans est soit

5 un bobinage concentrique autour de chaque noyau magnétique interne soit un bobinage unique entourant tous les noyaux magnétiques interne d'un secteur annulaire déterminé.

De préférence, les épanouissements annulaires comportent des encoches pour faciliter leur assemblage sur les noyaux magnétiques internes ou externes.

10 Avantageusement, les secteurs annulaires externes de stator sont identiques et interchangeables entre eux et/ou les secteurs annulaires internes de rotor sont identiques et interchangeables entre eux.

De préférence, les secteurs annulaires externes de stator sont interconnectés entre eux électriquement par des pièces d'interconnexions souples accessibles au

15 montage/démontage au travers de trappes d'accès circonférentielles et/ou les secteurs annulaires internes de rotor sont interconnectés entre eux électriquement par des pièces d'interconnexions souples accessibles au montage/démontage au travers des trappes d'accès circonférentielles. Il est important de noter que ces pièces d'interconnexions électriques tant au stator qu'au rotor doivent être souples

20 (type tresses ou équivalent) et non mécaniquement structurales pour limiter (voire éviter) la transmission d'efforts mécanique entre secteurs adjacents.

Brève description des dessins

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront mieux de

25 la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent des exemples de réalisation dépourvus de tout caractère limitatif et sur lesquels :

[Fig. 1] la figure 1 illustre une partie d'une turbomachine d'aéronef intégrant un transformateur tournant conforme à l'invention,

[Fig. 2] la figure 2 montre un quartier du transformateur tournant de la figure 1,

[Fig. 3A-3B] les figures 3A et 3B montrent un exemple de réalisation d'un noyau magnétique externe de stator composant le quartier de transformateur tournant de la figure 2,

5 [Fig. 4A] la figure 4A montre un segment du quartier de stator composant le quartier de transformateur tournant de la figure 2,

[Fig. 4B] la figure 4B montre un segment du quartier de rotor composant le quartier de transformateur tournant de la figure 2,

10 [Fig. 5] la figure 5 illustre un premier exemple de segment de quartier de transformateur tournant selon l'invention,

[Fig. 6] la figure 6 illustre un deuxième exemple de segment de quartier de transformateur tournant selon l'invention,

[Fig. 7] la figure 7 montre un troisième exemple de segment de quartier de transformateur tournant selon l'invention, et

15 [Fig. 8] la figure 8 montre un quatrième exemple de segment de quartier de transformateur tournant selon l'invention.

Description des modes de réalisation

Le principe de l'invention mis en œuvre est basé sur une segmentation du transformateur tournant, au stator (dit primaire) comme au rotor (dit secondaire), en plusieurs secteurs annulaires ou quartiers ayant chacun une masse et un temps de remplacement compatible avec une opération de maintenance au sol limitant le temps d'immobilisation de l'avion, de sorte que les interventions de maintenance et de remplacement (montage /démontage) sont facilitées et peuvent être réalisées par un outillage classique à travers de trappes d'accès dédiées, sans avoir à démonter ni à interférer avec les autres parties de la turbomachine de l'aéronef. Pour ce faire, les secteurs annulaires de stator sont identiques et interchangeables entre eux et les secteurs annulaires de rotor sont identiques et interchangeables entre eux.

Le transfert de puissance entre le stator et le rotor se fait par induction électromagnétique et sans contact. Le stator est alimenté par une électronique dédiée (onduleur monophasé résonant ou non) fonctionnant de préférence à des fréquences élevées (plusieurs dizaines de kilohertz), sans que cela ne soit limitatif.

- 5 Comme le montre la figure 1 qui est une partie de turbomachine d'aéronef, le transformateur tournant 10 selon l'invention est monté entre un arbre de transmission 12 mobile en rotation formant une partie tournante de la turbomachine et un carter 14 formant une partie fixe de la turbomachine, muni de trappes d'accès
10 circonférentielles 14A au travers desquelles chacun des quartiers ou secteurs annulaires du transformateur tournant 10 peut être installé ou aisément retiré pour réparation ou maintenance puis réinstallé une fois ces interventions de remplacement effectuées.

- La figure 2 illustre plus précisément un exemple d'un secteur annulaire ou quartier
15 20 du transformateur tournant 10 (qui dans l'exemple illustré comporte une seule voie mais deux voies redondantes axialement décalées seraient aussi possibles) constitué d'un quartier de stator fixe 22 solidaire du carter et d'un quartier de rotor tournant 24 solidaire de l'arbre de transmission, le quartier de rotor étant monté concentriquement (inséré) dans le quartier de stator pour former le quartier de
20 transformateur en conservant un jeu mécanique axial de part et d'autre du quartier de rotor. Le transformateur tournant formé par la juxtaposition sur 360° de plusieurs quartiers 20 présente un grand diamètre, de l'ordre du mètre et plus, qui permet au rotor de recevoir un arbre de transmission également de grand diamètre, comme un arbre d'hélice.

- Selon l'invention, la juxtaposition sur 360° de ces différents secteurs annulaires au
25 stator et au rotor forment un anneau externe de stator et un anneau interne de rotor constitués d'une pluralité de circuits magnétiques stator et rotor élémentaires monophasés comportant respectivement un noyau magnétique statorique 30 et un premier bobinage électrique (primaire 32) et un noyau magnétique rotorique 34 et un second bobinage électrique (secondaire 36), les noyaux magnétiques statorique
30 et rotorique étant séparés par deux entrefers e_1 et e_2 présents de part et d'autre du

noyau magnétique rotorique (voir la figure 5) et les secteurs pouvant être interconnectés électriquement en série ou en parallèle pour la transmission d'énergie électrique par induction électromagnétique entre les premier et second bobinages électriques de ces circuits magnétiques élémentaires de stator et de rotor. Comme

5 indiqué précédemment, tant au stator qu'au rotor, les secteurs annulaires sont identiques et interchangeables entre eux. Par contre, le nombre de ces circuits magnétiques élémentaires par secteur annulaire n'est pas forcément identique au stator et au rotor (par exemple quatre au stator et six au rotor comme illustré), le choix du nombre de circuits magnétiques au stator et au rotor étant guidé par des

10 considérations de conception et d'optimisation de performances de transfert. Comme pour les nombres des circuits magnétiques au stator et rotor qui peuvent être différents, le nombre de secteurs au stator peut également être différent du nombre de secteurs au rotor.

Un secteur annulaire au stator ou au rotor est conçu comme un LRU (Line

15 Replaceable Unit) démontable et remplaçable sous aile au travers de trappes d'accès circonférentielles dédiées 14A. Ils sont interconnectés entre eux électriquement par des pièces d'interconnexions souples (non référencées) également accessibles au montage/démontage au travers des trappes d'accès circonférentielles 14A.

Le type de matériau utilisé pour le noyau magnétique ou les épanouissements

20 pourra être différent au stator et au rotor (par exemple enroulement ou empilement de tôles de type FeNi, ou un autre matériau comme le FeSi ou le FeCo, au stator et bloc de poudre au rotor). Mais un noyau magnétique en tôle enroulée de type amorphe ou nanocristallin ou sous forme de bloc de poudre de tout autre matériau magnétique adapté (par exemple en poudre d'Amorphe) est envisagé de préférence.

25 L'usage de matériaux de type Amorphe ou Nanocristallin permet de réduire la taille et la masse du transformateur ainsi que ses pertes.

Différentes topologies sont envisageables pour chaque circuit magnétique élémentaire au stator et au rotor permettant la réalisation du transformateur tournant selon l'invention. Ces topologies ont toutes en commun le fait que les

30 noyaux magnétiques statoriques (ou externe de stator 30) et/ou les noyaux

magnétiques rotoriques (ou interne de rotor 34) présentent au niveau de chacun des entrefers des épanouissements 30A, 30B ; 34A, 34B réalisés de façon économique avec des formes magnétiques standards sans gaspillage de matériaux à la découpe. Les épanouissements ont pour but d'éviter une discontinuité des lignes de champs magnétiques pendant la rotation, améliorant de ce fait l'efficacité du transfert et une simplification de la gestion du mode résonant par un contrôle simplifié indépendant de la rotation (variations limitées des paramètres du transformateur selon la position angulaire).

Ainsi, et comme le montrent les figures 3A et 3B, le noyau magnétique du stator 30 est obtenu à partir d'un assemblage de deux éléments : un élément magnétique standard 40 en forme de C (plus connu sous le sigle C-core) issu d'une découpe d'un empilement radial de tôles enroulées 42 autour d'un axe commun, et un épanouissement annulaire 44 issu de la découpe d'un anneau circulaire magnétique 46 fait d'un empilement radial de tôles circulaires prédéfini au bon diamètre.

L'anneau circulaire est découpé en un nombre déterminé de secteurs annulaires prévus pour constituer le transformateur complet.

De même, le noyau magnétique du rotor 34 est obtenu à partir d'un assemblage de deux éléments : un élément magnétique standard 48 en forme de I (une simple barre visible sur la figure 8) et le même épanouissement annulaire 44 issu de la découpe du même anneau circulaire 46 fait d'un empilement radial de tôles circulaires prédéfini au bon diamètre sur le même principe que le stator.

Pour faciliter, au stator comme au rotor, l'assemblage des épanouissements sur les C-core et les formes en I, ceux-ci peuvent être pourvus d'encoches 44a, 44b, 44c, 44d. Dans le cas où la découpe d'encoches ne serait pas réalisable (cas d'un matériau comme l'Amorphe), l'usage par exemple de FeNi pour les épanouissements peut alors être envisagé.

Comme le montrent les figures 4A et 4B, le bobinage au stator est un bobinage concentrique 50 autour de chaque C-core. De même, le bobinage au rotor est un bobinage concentrique 52 autour de chaque élément en I. Les bobinages peuvent

être filaires ou en rubans selon les différentes contraintes d'intégration et de performances à respecter.

Les bobines du stator au niveau d'un secteur annulaire sont interconnectées entre elles en série. Les secteurs annulaires sont également interconnectés entre eux en série pour former le bobinage primaire du transformateur complet. Le même principe d'interconnexion entre secteurs et dans chaque secteur est mis en œuvre pour le rotor.

Sur la figure 4A, les noyaux magnétiques du stator 40 comportent des épanouissements annulaires 44 à chacune de leurs deux extrémités mais une configuration sans épanouissements est aussi possible, comme il sera montré plus avant en référence à la figure 7. De même, sur la figure 4B, les noyaux magnétiques du rotor 48 comportent des épanouissements annulaires 44 à chacune de leurs deux extrémités mais une configuration sans épanouissements est aussi possible, comme il sera montré plus avant en référence à la figure 6.

L'ensemble des pièces sont assemblées et maintenues par des pièces mécaniques adaptées (non représentées).

La figure 5 illustre un premier exemple d'un segment (une partie comportant deux noyaux magnétiques de stator) d'un quartier de transformateur dans lequel les noyaux magnétiques du stator 40 et les noyaux magnétiques du rotor 48 comportent chacun des épanouissements annulaires 44, les entrefers e_1 et e_2 se trouvant entre ces épanouissements annulaires au stator et au rotor. Le bobinage au stator est formé des bobines concentriques 50 autour de chaque élément en griffe de type C-core et le bobinage au rotor est formé des bobines concentriques 52 autour de chaque élément en I.

La figure 6 illustre un deuxième exemple d'un segment (une partie comportant deux noyaux magnétiques de stator) d'un quartier de transformateur dans lequel seuls les noyaux magnétiques du stator 40 comportent chacun des épanouissements annulaires 44 (munis d'encoches dans cet exemple), les entrefers e_1 et e_2 se trouvant alors entre ces épanouissements annulaires du stator et les noyaux

magnétiques du rotor 48. Les bobinages au stator sont des bobinages concentriques 50 autour de chaque élément C-core et les bobinages au rotor sont des bobinages concentriques 52 autour de chaque élément en I.

La figure 7 illustre un troisième exemple d'un segment (une partie comportant deux
5 noyaux magnétiques de stator) d'un quartier de transformateur dans lequel seuls les noyaux magnétiques du rotor 48 comportent chacun des épanouissements annulaires 44, les entrefers e_1 et e_2 se trouvant alors entre ces épanouissements annulaires du rotor et les noyaux magnétiques du stator 40. Les bobinages au stator sont des bobinages concentriques 50 autour de chaque élément C-core et les
10 bobinages au rotor sont des bobinages concentriques 52 autour de chaque élément en I.

La figure 8 illustre un quatrième exemple d'un segment (une partie comportant deux noyaux magnétiques de stator) d'un quartier de transformateur dans lequel les noyaux magnétiques du stator 40 et les noyaux magnétiques du rotor 48 comportent
15 chacun des épanouissements annulaires 44, les entrefers e_1 et e_2 se trouvant entre ces épanouissements annulaires au stator et au rotor. Toutefois, au contraire des exemples précédents, les bobinages au stator sont formés d'un unique bobinage 54 entourant tous les éléments C-core d'un secteur annulaire déterminé de transformateur et les bobinages au rotor sont formés d'un unique bobinage 56
20 entourant tous les éléments en I du même secteur annulaire déterminé de transformateur.

Si à titre d'application, il a été fait référence au dégivrage des pales d'hélice d'une turbomachine d'aéronef, parmi les autres applications possibles, notamment dans l'industrie aéronautique, qui peuvent tirer profit de l'utilisation de transformateurs
25 tournants, on peut citer, la remontée d'informations de capteurs de couple pour le calage variable d'aubes dans les avions et le calage du pas d'hélice dans les hélicoptères, par exemple. Pour de telles applications, la suppression du collecteur à balais frottant classique et son remplacement par un transformateur tournant sont avantageux car il permet de fiabiliser le matériel en supprimant le risque de panne
30 créée par l'usure fréquente des balais.

Ainsi, l'invention présente notamment les avantages suivants :

- . une amélioration de la fiabilité et de la durée de vie du système de dégivrage par une solution de transfert sans contact,
- . un coût d'exploitation du système réduit à travers l'amélioration de sa fiabilité et de son accessibilité (amélioration du temps de remplacement de l'équipement),
- . une intégration facilitée du système de dégivrage sur la turbomachine.

Revendications

[Revendication 1] Transformateur tournant (10) destiné à être installé autour d'un arbre mobile en rotation (12), le transformateur tournant étant
5 constitué d'une pluralité de secteurs annulaires externes de stator (22) et d'une pluralité de secteurs annulaires internes de rotor (24), la juxtaposition sur 360° de ces secteurs annulaires externes de stator et internes de rotor formant un anneau externe de stator et un anneau interne de rotor constitués de circuits magnétiques stator et rotor élémentaires, les secteurs annulaires
10 internes de rotor étant insérés axialement dans les secteurs annulaires externes de stator, chacun des circuits magnétiques stator élémentaires comportant un noyau magnétique externe (30 ; 40) et un premier bobinage électrique (32 ; 50, 54) et chacun des circuits magnétiques rotor élémentaires comportant un noyau magnétique interne (34 ; 48) et un second bobinage
15 électrique (36 ; 52, 56) pour permettre un transfert d'énergie électrique par induction électromagnétique entre les anneaux externe de stator et interne de rotor, les noyaux magnétiques internes et externes étant montés concentriquement et séparés par deux entrefers axiaux e_1 et e_2 présents de part et d'autre du noyau magnétique interne (48), caractérisé en ce que les
20 noyaux magnétiques externes (40) présentent chacun une forme de griffe en C et les noyaux magnétiques internes (48) présentent chacun une forme de barre en I et en ce que les noyaux magnétiques externes (40) et/ou les noyaux magnétiques internes (48) présentent au niveau de chacun des entrefers des épanouissements annulaires (44) réalisés par la découpe en
25 secteurs adjacents d'un anneau circulaire magnétique (46) formé d'un empilement radial de tôles circulaires.

[Revendication 2] Transformateur tournant selon la revendication 1, dans lequel les noyaux magnétiques interne et externe (30, 40 ; 34, 48) sont formés d'un empilement radial de tôles enroulées d'un matériau magnétique

de type amorphe ou nanocristallin ou d'un bloc de poudre magnétique constitué de poudre d'Amorphe.

[Revendication 3] Transformateur tournant selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel pour permettre l'insertion du noyau magnétique interne dans le noyau magnétique externe et la création des entrefers de part et d'autre du noyau magnétique interne, le noyau magnétique externe en forme de C (40) est issu de la découpe à la dimension du noyau magnétique interne, des épanouissements annulaires et des entrefers, d'un élément magnétique standard de forme oblongue (42) constituée d'un empilement radial de tôles enroulées.

[Revendication 4] Transformateur tournant selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel le nombre des secteurs annulaires au stator est ou non identique au nombre des secteurs annulaires au rotor.

[Revendication 5] Transformateur tournant selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le nombre des noyaux magnétiques externes par secteur annulaire externe de stator est ou non identique au nombre des noyaux magnétiques internes par secteur annulaire interne de rotor.

[Revendication 6] Transformateur tournant selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les épanouissements annulaires comportent des encoches (44a, 44b, 44c, 44d) pour faciliter leur assemblage sur les noyaux magnétiques internes ou externes.

[Revendication 7] Transformateur tournant selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel le bobinage au stator qui peut être filaire ou en rubans est soit un bobinage concentrique autour de chaque noyau magnétique externe soit un bobinage unique (54) entourant tous les noyaux magnétiques externe d'un secteur annulaire déterminé et le bobinage au rotor qui peut être filaire ou en rubans est soit un bobinage concentrique autour de chaque noyau magnétique interne soit un bobinage unique (56) entourant tous les noyaux magnétiques interne d'un secteur annulaire déterminé.

[Revendication 8] Transformateur tournant selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel les secteurs annulaires externes de stator sont identiques et interchangeables entre eux et/ou les secteurs annulaires internes de rotor sont identiques et interchangeables entre eux.

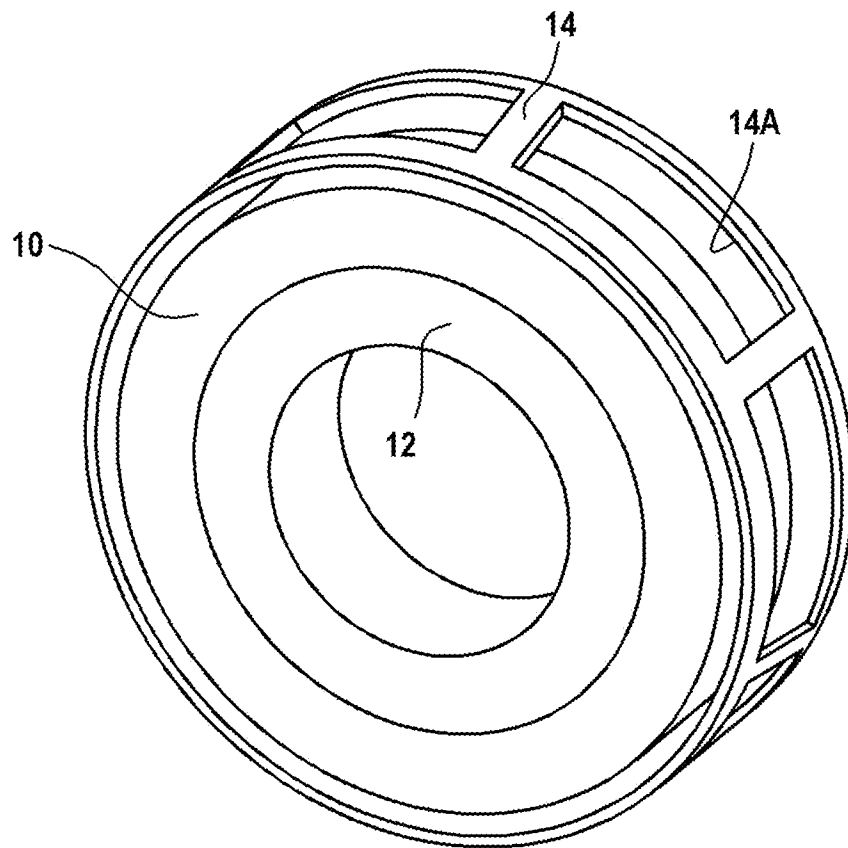
5 [Revendication 9] Transformateur tournant selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel les secteurs annulaires externes de stator sont interconnectés entre eux électriquement par des pièces d'interconnexions souples accessibles au montage/démontage au travers de trappes d'accès circonférentielles (14A) et/ou les secteurs annulaires internes
10 de rotor sont interconnectés entre eux électriquement par des pièces d'interconnexions souples accessibles au montage/démontage au travers de trappes d'accès circonférentielles (14A).

[Revendication 10] Utilisation d'un transformateur tournant selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 pour le dégivrage électrique des pales
15 d'hélice d'une turbomachine d'aéronef.

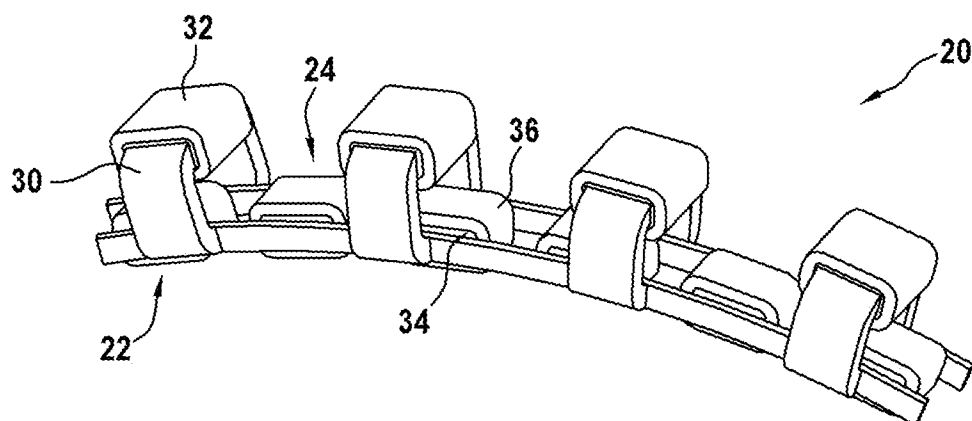
.....

1/5

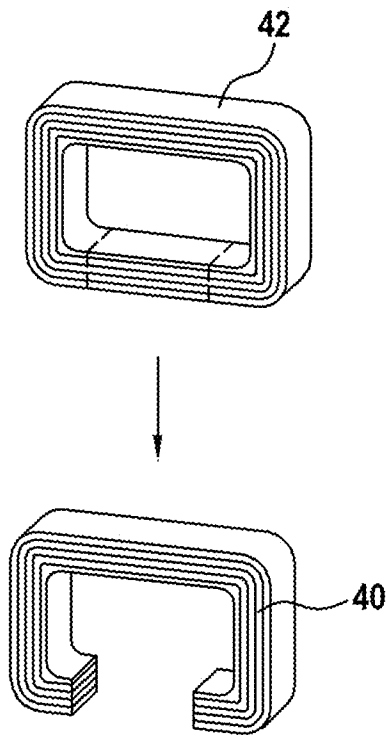
[Fig. 1]



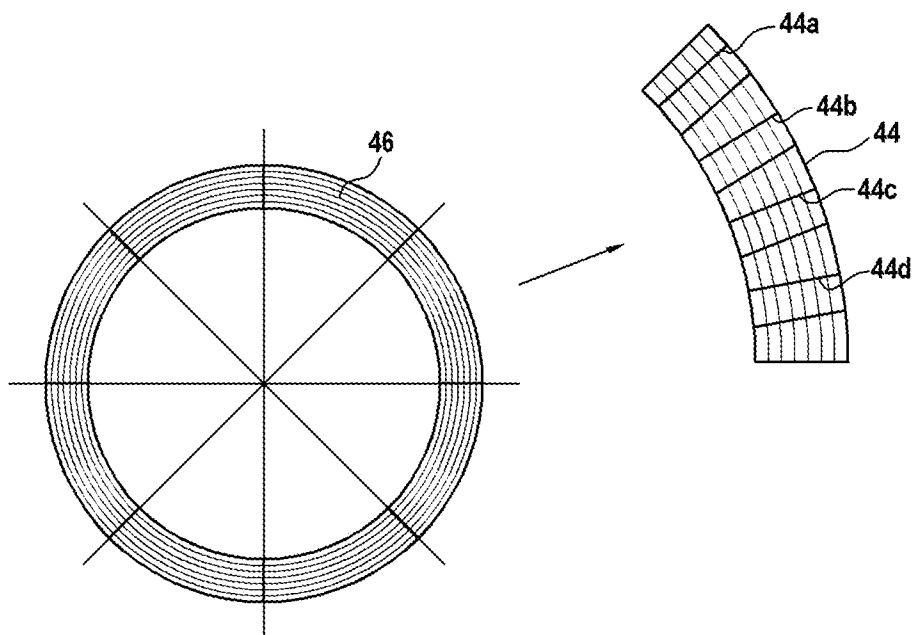
[Fig. 2]



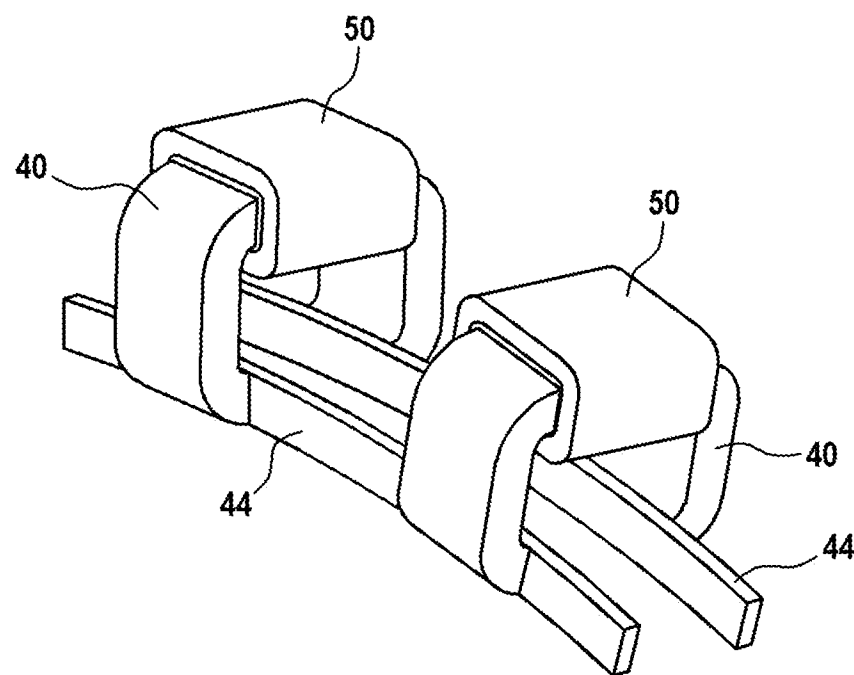
[Fig. 3A]



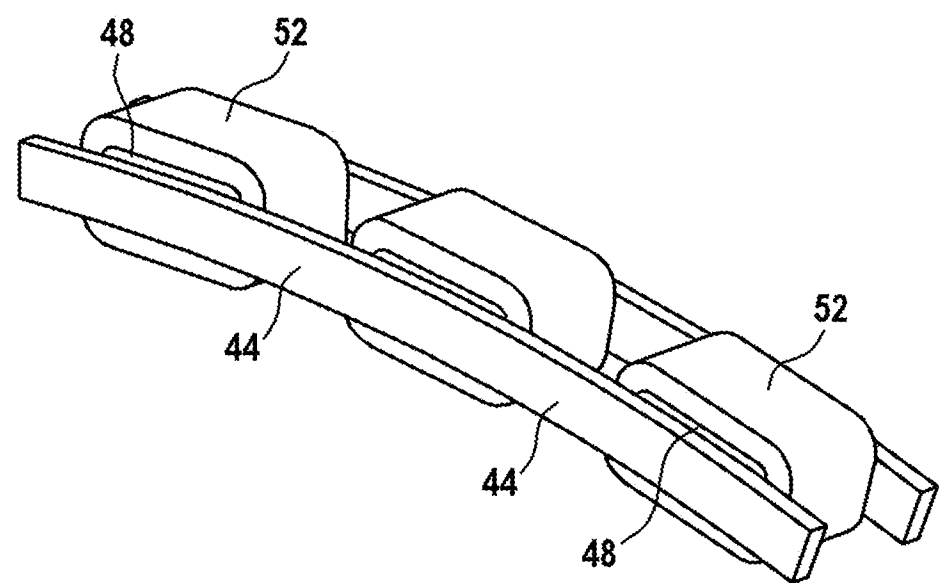
[Fig. 3B]



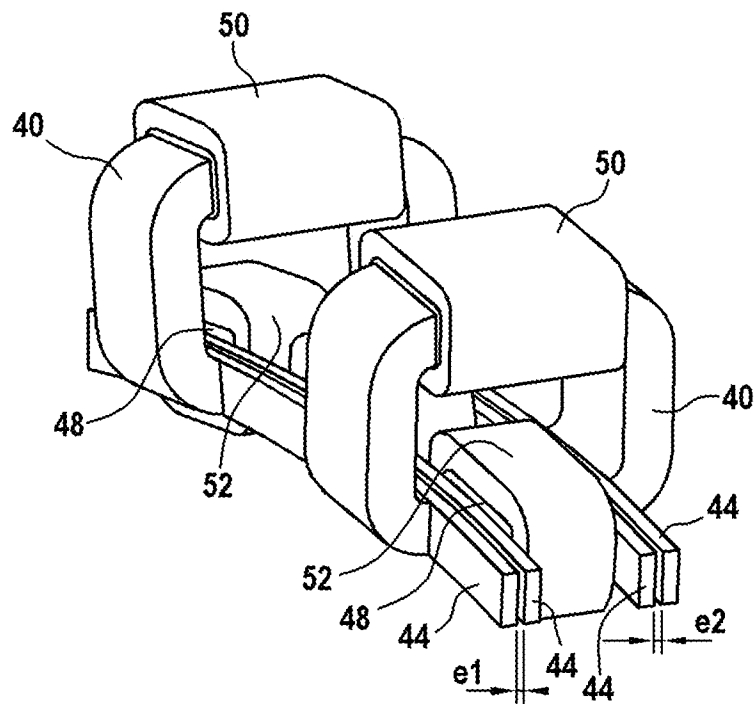
[Fig. 4A]



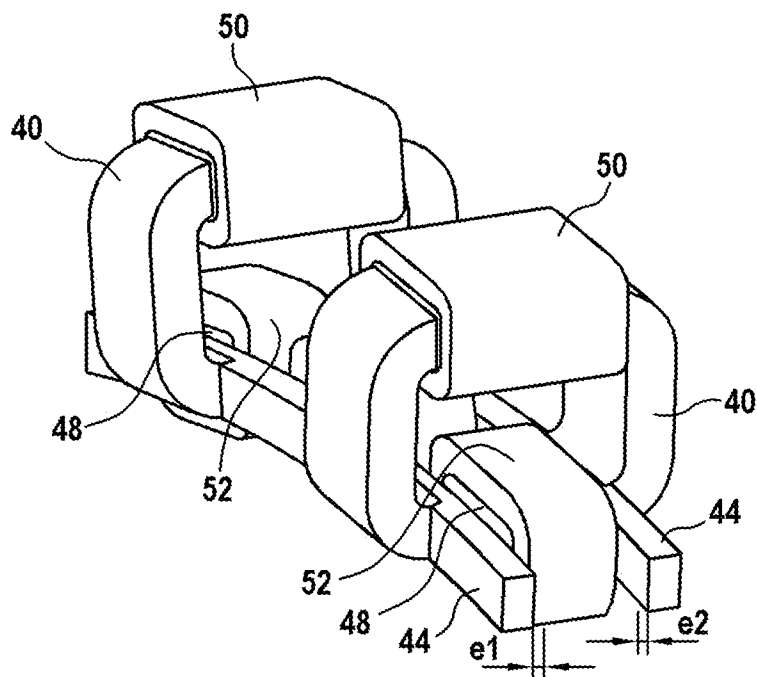
[Fig. 4B]



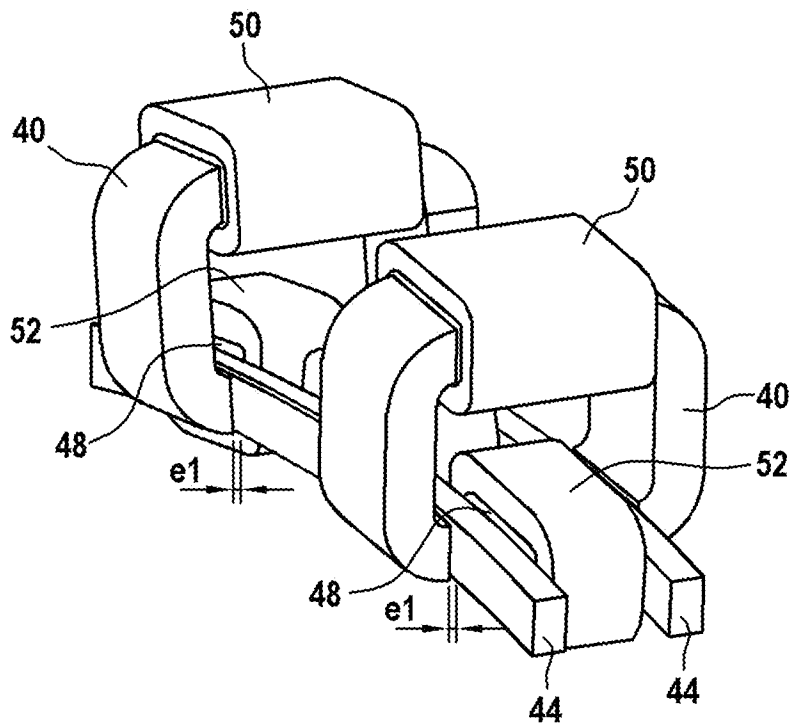
[Fig. 5]



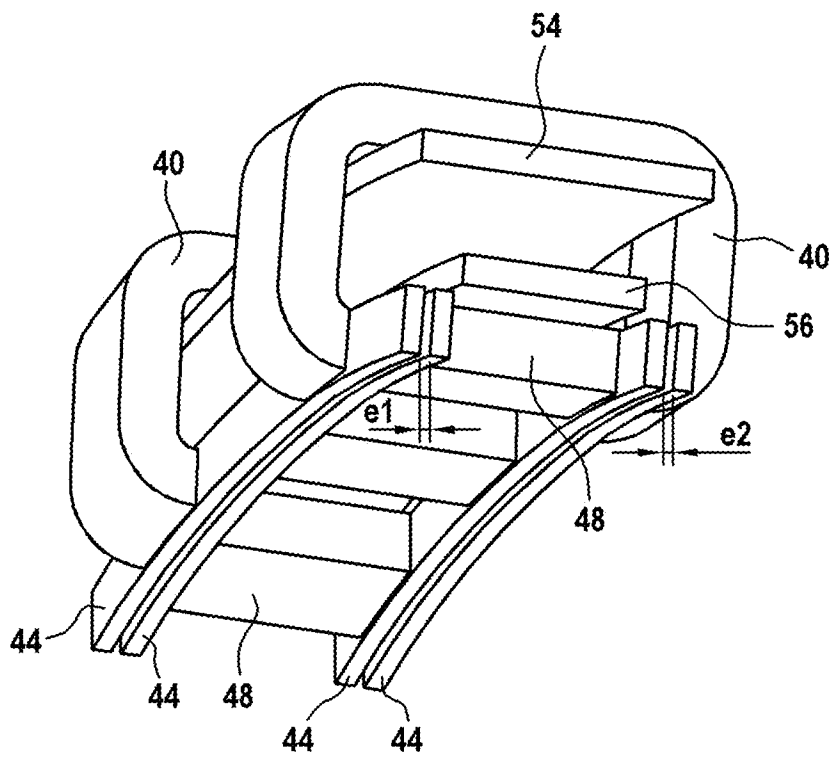
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/050806

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01F 27/24(2006.01)i; H01F 38/18(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01F Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2953321 A1 (HISPANO SUIZA SA [FR]) 03 June 2011 (2011-06-03) page 1, line 18 - line 31 page 6, line 5 - line 9 page 6, line 13 - line 16 page 7, line 5 - line 6 abstract; figures 5,6,7	1-10
A	WO 2010081654 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB]; LANGLEY FELIX LAWRENCE [GB] ET AL.) 22 July 2010 (2010-07-22) page 10, line 3 - line 22; figure 6	1-10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 13 September 2024		Date of mailing of the international search report 27 September 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Rouzier, Brice Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/FR2024/050806

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
FR	2953321	A1	03 June 2011	BR	112012013062	A2	23 May 2017
				CA	2782033	A1	03 June 2011
				CN	102640235	A	15 August 2012
				EP	2507803	A1	10 October 2012
				FR	2953321	A1	03 June 2011
				JP	2013513231	A	18 April 2013
				RU	2012127359	A	10 January 2014
				US	2012280777	A1	08 November 2012
				WO	2011064377	A1	03 June 2011
WO	2010081654	A1	22 July 2010	EP	2377133	A1	19 October 2011
				US	2011285491	A1	24 November 2011
				WO	2010081654	A1	22 July 2010

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01F27/24 H01F38/18 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01F		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	FR 2 953 321 A1 (HISPANO SUIZA SA [FR]) 3 juin 2011 (2011-06-03) page 1, ligne 18 - ligne 31 page 6, ligne 5 - ligne 9 page 6, ligne 13 - ligne 16 page 7, ligne 5 - ligne 6 abrégé; figures 5,6,7 -----	1 - 10
A	WO 2010/081654 A1 (ROLLS ROYCE PLC [GB]; LANGLEY FELIX LAWRENCE [GB] ET AL.) 22 juillet 2010 (2010-07-22) page 10, ligne 3 - ligne 22; figure 6 -----	1 - 10
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 13 septembre 2024		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 27/09/2024
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Rouzier, Brice

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2024/050806

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2953321	A1	03-06-2011	BR 112012013062 A2	23-05-2017
			CA 2782033 A1	03-06-2011
			CN 102640235 A	15-08-2012
			EP 2507803 A1	10-10-2012
			FR 2953321 A1	03-06-2011
			JP 2013513231 A	18-04-2013
			RU 2012127359 A	10-01-2014
			US 2012280777 A1	08-11-2012
			WO 2011064377 A1	03-06-2011

WO 2010081654	A1	22-07-2010	EP 2377133 A1	19-10-2011
			US 2011285491 A1	24-11-2011
			WO 2010081654 A1	22-07-2010
