

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

3 084 792

②1 N° d'enregistrement national : 18 57224

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : H 02 K 17/02 (2018.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 01.08.18.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de mise à la disposition du public de la demande : 07.02.20 Bulletin 20/06.

⑫⑤ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : SAFRAN ELECTRICAL & POWER  
Société par actions simplifiée — FR.

⑦② Inventeur(s) : MEER FREDERIC et BELFKIRA  
RACHID.

⑦③ Titulaire(s) : SAFRAN ELECTRICAL & POWER  
Société par actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : BREVALEX Société à responsabilité limitée.

⑤④ MACHINE ASYNCHRONE A DOUBLE BOBINAGE, ENSEMBLE, AERONEF ET PROCEDE ASSOCIES.

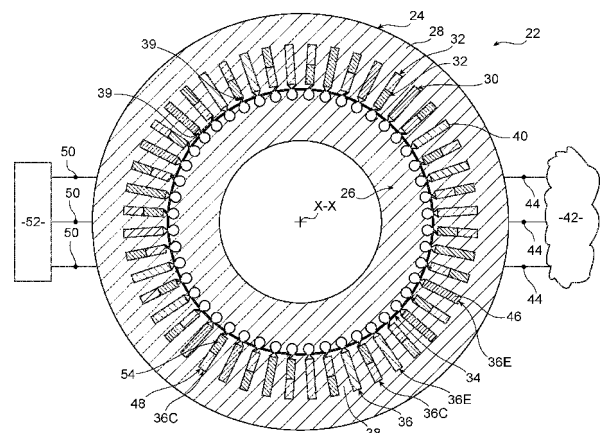
⑤⑦ L'invention concerne une machine asynchrone à double bobinage (22), présentant un axe de rotation (X-X) et comportant un rotor (26) et un stator (24),

le stator (24) comportant un circuit magnétique (28), au moins un bobinage d'excitation (30) et au moins un bobinage de charge (32),

le circuit magnétique (28) comportant une pluralité d'encoches (36, 36E, 36C) agencées radialement autour de l'axe de rotation (X-X), chaque bobinage d'excitation (30) comprenant au moins un conducteur d'excitation (46), chaque bobinage de charge (32) au moins un conducteur de charge (54),

les encoches (36, 36E, 36C) comportant des encoches d'excitation (36E) et des encoches de charge (36C), les encoches d'excitation (36E) étant distinctes des encoches de charge (36C),

les conducteurs d'excitation (46) étant exclusivement logés dans des encoches d'excitation (36E), et les conducteurs de charge (54) étant exclusivement logés dans des encoches de charge (36C).



FR 3 084 792 - A1



## **MACHINE ASYNCHRONE A DOUBLE BOBINAGE, ENSEMBLE, AERONEF ET PROCEDE ASSOCIES**

### **DESCRIPTION**

#### **DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne une machine asynchrone à double bobinage, présentant un axe de rotation et comportant un rotor et un stator, le stator comportant un circuit magnétique, au moins un bobinage d'excitation et au moins un bobinage de charge, le circuit magnétique s'étendant le long de l'axe de rotation et délimitant radialement une cavité dans laquelle est logé le rotor, le circuit magnétique comportant une pluralité d'encoches agencées radialement autour de l'axe de rotation, chaque encoche s'étendant le long d'un axe parallèle à l'axe de rotation, chaque bobinage d'excitation comportant au moins un enroulement d'excitation associé à une phase électrique respective, chaque enroulement d'excitation comprenant au moins un conducteur d'excitation, chaque bobinage de charge comportant au moins un enroulement de charge associé à une phase électrique respective, chaque enroulement de charge comprenant au moins un conducteur de charge.

L'invention s'applique au domaine des machines tournantes, et plus particulièrement aux machines asynchrones à double bobinage et à excitation séparée, par exemple embarquées à bord d'aéronefs.

#### **ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

Il est connu de faire fonctionner des machines asynchrones classiques en mode « génératrice ». Dans un tel mode de fonctionnement, le rotor est entraîné en rotation autour de l'axe de la machine asynchrone.

Dans de telles machines asynchrones, le stator comprend des bobinages qui servent à la fois à fournir de l'énergie électrique à des charges connectées à la machine asynchrone, et à recevoir de la puissance réactive provenant d'une source

d'alimentation électrique telle qu'un réseau électrique, des condensateurs ou un onduleur. Cette puissance réactive sert à exciter la machine asynchrone, c'est-à-dire créer un champ magnétique dans la machine asynchrone, destiné à interagir avec son rotor.

5 Par « bobinage », il est entendu, au sens de la présente invention, un ensemble indépendant d'enroulements. Deux ensembles d'enroulements sont dits « indépendants » s'ils ne sont pas électriquement connectés ou s'ils ne sont connectés qu'en un seul point (par exemple le point neutre).

10 L'application d'un couple externe au rotor, pour entraîner le rotor en rotation à une vitesse angulaire supérieure à une vitesse de synchronisme imposée par les courants fournis au stator, se traduit par une conversion d'énergie depuis un arbre qui entraîne le rotor vers les bobinages du stator par couplage électromagnétique entre le rotor et chacun des bobinages.

15 Il est également connu d'avoir recours à des machines asynchrones à double bobinage et à excitation séparée, par la suite appelées simplement « machines asynchrones à excitation séparée ». Une telle machine asynchrone à excitation séparée se distingue d'une machine asynchrone telle que décrite ci-dessus en ce que les bobinages du stator sont remplacés par des bobinages dits « d'excitation » et des bobinages dits « de charge », indépendants.

20 Les bobinages d'excitation sont exclusivement dédiés à la réception de la puissance réactive depuis une source d'alimentation électrique et à la génération du champ magnétique dans l'enceinte de la machine asynchrone à excitation séparée. Les enroulements de chaque bobinage d'excitation, dits « enroulements d'excitation », comportent des bornes qui constituent des entrées de la machine asynchrone. La source d'alimentation électrique est, par exemple, un réseau électrique, un ou des  
25 condensateur(s) ou un onduleur.

En outre, les bobinages de charge sont exclusivement dédiés à la récupération d'énergie, par couplage électromagnétique avec le rotor, et à la fourniture d'au moins une partie de l'énergie électrique récupérée à des charges connectées en sortie des bobinages de charge. Les enroulements des bobinages de charge, dits

« enroulements de charge », comportent des bornes qui constituent des sorties de la machine asynchrone à excitation séparée.

Les bobinages d'excitation et les bobinages de charge, électriquement indépendants, sont agencés de sorte que des conducteurs électriques des bobinages d'excitation et des bobinages de charge soient reçus conjointement dans des encoches du stator.

Une telle machine asynchrone à excitation séparée est avantageuse, par exemple, en ce qu'elle confère une isolation galvanique entre les entrées et les sorties de la machine asynchrone à excitation séparée, ou encore autorise l'existence de tensions différentes entre les entrées et les sorties.

Néanmoins, une telle machine asynchrone à excitation séparée ne donne pas entière satisfaction.

La machine asynchrone à excitation séparée présente des flux de fuite qui traduisent un mauvais couplage entre le stator et le rotor. Parmi ces flux de fuite, il en existe dont les lignes de champ magnétique enlacent simultanément, dans un plan orthogonal à l'axe de rotation, dit « plan transversal », des conducteurs du bobinage d'excitation et du bobinage de charge agencés conjointement dans l'encoche, comme illustré par la figure 1B. Ce phénomène se traduit par l'existence d'une inductance de fuite couplée (appelée, en anglais, « *mutual leakage inductance* »).

Sur cette figure, des conducteurs du bobinage d'excitation et du bobinage de charge sont respectivement désignés par les références 46' et 54', et sont agencés dans une encoche 36' d'un stator 24'.

La référence numérique 26' désigne un rotor de la machine asynchrone.

En outre, les flux de fuite correspondant aux lignes de champ magnétique qui enlacent simultanément des conducteurs du bobinage d'excitation et du bobinage de charge agencés conjointement dans une même encoche sont désignés par la référence 18.

La référence numérique 19 désigne les flux de fuite correspondant aux lignes de champ magnétique qui enlacent des conducteurs d'un même bobinage uniquement.

La référence numérique 20 désigne le flux magnétique utile.

Un circuit équivalent 1 d'une machine asynchrone à excitation séparée de l'état de la technique, pour une phase du bobinage d'excitation et une phase du bobinage de charge données de la machine asynchrone à excitation séparée, est représenté sur la figure 1A.

Le circuit équivalent 1 comporte une première branche 2, une deuxième branche 4 et une troisième branche 6 connectées en parallèle entre une première borne A et une deuxième borne B.

La première branche 2 est représentative de l'enroulement de charge.

La première branche 2 comporte, en série, une inductance de fuite simple  $L_{fs,c}$  de l'enroulement de charge et une résistance  $R_c$  de l'enroulement de charge. Une charge 52 est insérée dans la première branche 2, en série avec l'inductance de fuite simple  $L_{fs,c}$  de l'enroulement de charge et la résistance  $R_c$  de l'enroulement de charge.

L'inductance de fuite simple  $L_{fs,c}$  de l'enroulement de charge est représentative des fuites de champ simple de l'enroulement de charge, qui sont des fuites du champ magnétique dues à des lignes de champ magnétique qui, dans un plan transversal de la machine asynchrone, enlacent uniquement les conducteurs de l'enroulement de charge.

La deuxième branche 4 est représentative de l'enroulement d'excitation.

La deuxième branche 4 comporte, en série, une source d'alimentation électrique 42, une inductance de fuite simple  $L_{fs,e}$  de l'enroulement d'excitation et une résistance  $R_e$  de l'enroulement d'excitation.

La source d'alimentation électrique 42 est configurée pour fournir de la puissance réactive à l'enroulement d'excitation pour la génération d'un champ magnétique au sein de la machine asynchrone.

L'inductance de fuite simple  $L_{fs,e}$  de l'enroulement d'excitation est représentative des fuites de champ simple de l'enroulement d'excitation, qui sont des fuites du champ magnétique dues à des lignes de champ magnétique qui, dans le plan transversal, enlacent uniquement les conducteurs de l'enroulement d'excitation.

La troisième branche 6 comporte une première sous-branche 8 en série avec une deuxième sous-branche 10, la première sous-branche 8 et la deuxième sous-branche 10 étant reliées entre elles en un point milieu P.

5 La première sous-branche 8 est connectée entre la borne A et le point milieu P. La première sous-branche 8 comporte une inductance de fuite couplée  $L_{fc}$ .

L'inductance de fuite couplée  $L_{fc}$  est représentative des fuites du champ magnétique dues, pour chaque encoche, à des lignes de champ magnétique qui, dans le plan transversal, enlacent conjointement les conducteurs de l'enroulement d'excitation et les conducteurs de l'enroulement de charge logées dans ladite encoche (figure 1B).

10 La deuxième sous-branche comporte un premier segment 12, un deuxième segment 14 et un troisième segment 16. Le premier segment 12, le deuxième segment 14 et le troisième segment 16 sont connectés en parallèle entre la borne B et le point milieu P.

15 Le premier segment 12 comporte une résistance  $R_f$ , représentative des « pertes fer » dans la machine asynchrone à excitation séparée, c'est-à-dire les pertes par hystérésis et les pertes par courants de Foucault.

20 Le deuxième segment 14 comporte une inductance  $L_m$ , représentative d'un couplage électromagnétique entre le stator et le rotor de la machine asynchrone. La force électromotrice est illustrée par une flèche s'étendant de la borne B au point milieu P.

Le troisième segment 16 comporte une inductance de fuite  $L_{fr}$  du rotor et une résistance variable  $R_r/g$  connectées en série.

25 L'inductance  $L_{fr}$  est représentative des fuites de flux électromagnétique au niveau du rotor. En outre, la valeur de la résistance variable  $R_r/g$  est égale à la valeur de la résistance  $R_r$  du rotor, divisée par un glissement  $g$  de la machine asynchrone à excitation séparée.

30 L'inductance de fuite couplée  $L_{fc}$  présente des effets préjudiciables sur les performances de la machine asynchrone à excitation séparée, dans la mesure où l'inductance de fuite couplée  $L_{fc}$  est responsable d'une réduction du flux mutuel pour une charge donnée par rapport au flux mutuel que l'on aurait si cette inductance était nulle.

Cette réduction du flux mutuel est particulièrement préjudiciable lors du fonctionnement sur une charge de très faible impédance, voire d'impédance nulle. En effet dans ce dernier cas le flux mutuel est déjà très réduit (faible tension de charge).

5 Un but de l'invention est donc de proposer une machine asynchrone à excitation séparée qui présente de meilleures performances que les machines asynchrones à excitation séparée de l'état de la technique.

### **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

10 A cet effet, l'invention a pour objet une machine asynchrone à excitation séparée du type précité, dans laquelle les encoches comportent des encoches d'excitation et des encoches de charge, les encoches d'excitation étant distinctes des encoches de charge, les conducteurs d'excitation étant exclusivement logés dans des encoches d'excitation, et les conducteurs de charge étant exclusivement logés dans des encoches de charge.

15 En effet, les conducteurs d'excitation étant agencés dans des encoches d'excitation respectives d'une part, et les conducteurs de charge étant agencés dans des encoches de charge respectives d'autre part, les lignes de champ représentant le flux de fuite du champ magnétique généré par les conducteurs d'excitation qui sont agencés dans une encoche d'excitation donnée, respectivement par les conducteurs de charge qui  
20 sont agencés dans une encoche de charge donnée, n'enlacent majoritairement que lesdits conducteurs d'excitation, respectivement lesdits conducteurs de charge. Par conséquent, il ne reste que peu de fuites couplées entre les bobinages d'excitation et les bobinages de charge, et donc l'inductance de fuite couplée est très réduite par rapport à  
25 l'inductance de fuite couplée des machines asynchrones à excitation séparée de l'état de la technique.

Ceci a notamment pour effet que, toutes choses égales par ailleurs, la machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention présente, relativement à une machine asynchrone à excitation séparée de l'état de la technique, une force électromotrice supérieure.

En outre, un tel agencement des conducteurs d'excitation et des conducteurs de charge entraîne le fait que, toutes choses égales par ailleurs, la machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention présente, relativement à une machine asynchrone à excitation séparée de l'état de la technique, une inductance de fuite non couplée (c'est-à-dire une inductance de fuite due à des lignes de champ magnétique qui n'enlacent qu'un seul type de conducteur, et non pas des conducteurs de charge et des conducteurs d'excitation simultanément) supérieure, et donc une charge propre supérieure, notamment une charge propre des bobinages de charge supérieure.

Une telle charge propre supérieure, en s'ajoutant en série à la charge externe connectée aux enroulements de charge, augmente la charge globale vue par la machine asynchrone à excitation séparée. Dans le cas où la machine asynchrone à excitation séparée fonctionne en mode « génératrice », et où les enroulements de charge sont connectés à une charge externe présentant une impédance très faible, voire nulle, une telle charge propre est avantageuse, dans la mesure où elle empêche la source d'être en court-circuit ou quasi court-circuit susceptible de provoquer des dysfonctionnements, par exemple la démagnétisation de la machine asynchrone à excitation séparée entraînant l'arrêt de la génération d'énergie électrique.

Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, la machine asynchrone à excitation séparée comporte une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- les conducteurs d'excitation de deux enroulements d'excitation distincts sont logés dans au moins une même encoche d'excitation, et/ou les conducteurs de charge de deux enroulements de charge distincts sont logés dans au moins une même encoche de charge ;

- la machine asynchrone comporte au moins deux bobinages d'excitation, les conducteurs d'excitation d'au moins deux bobinages d'excitation distincts étant logés dans au moins une même encoche d'excitation, et/ou comporte au moins deux bobinages de charge, les conducteurs de charge d'au moins deux bobinages de charge distincts étant logés dans au moins une même encoche de charge ;



- les encoches d'excitation et les encoches de charge présentent des sections différentes dans un plan orthogonal à l'axe de rotation ;

5 - au moins une encoche débouche sur la cavité au niveau d'une ouverture, l'ouverture présentant une forme qui est fonction de ce que l'encoche est une encoche d'excitation ou une encoche de charge ; et

- au moins une encoche débouche sur la cavité au niveau d'une ouverture, une cale étant agencée au niveau de l'ouverture de l'encoche entre deux dents délimitant radialement l'encoche, chaque cale étant, de préférence, réalisée dans un matériau magnétique ou amagnétique suivant l'encoche concernée.

10 En outre, l'invention a pour objet un ensemble comprenant une machine asynchrone telle que définie ci-dessus, et :

- au moins une charge, des bornes d'au moins un enroulement de charge étant connectées à l'au moins une charge ; et/ou

15 - au moins une source d'alimentation électrique, des bornes d'au moins un enroulement d'excitation étant connectées à au moins une source d'alimentation électrique.

En outre, l'invention a pour objet un aéronef comportant un ensemble tel que défini ci-dessus.

20 En outre, l'invention a pour objet un procédé de connexion d'une machine asynchrone telle que définie ci-dessus à au moins une charge, comprenant :

- la connexion de bornes d'au moins un enroulement de charge à l'au moins une charge ; et

- de préférence, la connexion de bornes d'au moins un enroulement d'excitation à au moins une source d'alimentation électrique.

25

### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

L'invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1A est un circuit équivalent d'une machine asynchrone à excitation séparée de l'état de la technique ;

5 - la figure 1B est un détail d'une vue en section d'une machine asynchrone à excitation séparée de l'état de la technique, selon un plan orthogonal à un axe de rotation de la machine asynchrone à excitation séparée, des lignes de champ magnétique étant schématiquement représentées ;

10 - la figure 2 est une vue en section d'une machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention, selon un plan orthogonal à un axe de rotation de la machine asynchrone à excitation séparée, une charge et une source d'alimentation électrique connectées à la machine asynchrone à excitation séparée étant schématiquement représentées ;

- la figure 3 est un circuit équivalent d'une machine asynchrone à excitation séparée de la figure 2 ;

15 - la figure 4 est un détail de la figure 2, sur lequel sont représentées une encoche d'excitation et une encoche de charge d'un circuit magnétique de la machine asynchrone à excitation séparée de la figure 2 ;

20 - la figure 5 est un détail d'une vue en section d'un deuxième mode de réalisation d'une machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention, sur lequel sont représentées une encoche d'excitation et une encoche de charge d'un circuit magnétique de la machine asynchrone à excitation séparée ;

- la figure 6 est un détail d'une vue en section d'un troisième mode de réalisation d'une machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention, sur lequel sont représentées une encoche d'excitation et une encoche de charge d'un circuit magnétique de la machine asynchrone à excitation séparée ;

25 - la figure 7 est un détail d'une vue en section d'un quatrième mode de réalisation d'une machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention, sur lequel sont représentées une encoche d'excitation et une encoche de charge d'un circuit magnétique de la machine asynchrone à excitation séparée ;

30 - la figure 8 est un détail d'une vue en section d'un cinquième mode de réalisation d'une machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention, sur lequel

sont représentées une encoche d'excitation et une encoche de charge d'un circuit magnétique de la machine asynchrone à excitation séparée ; et

5 - la figure 9 est un détail d'une vue en section d'un sixième mode de réalisation d'une machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention, sur lequel sont représentées une encoche d'excitation et une encoche de charge d'un circuit magnétique de la machine asynchrone à excitation séparée.

### **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

10 Une machine asynchrone à excitation séparée 22 selon l'invention va maintenant être décrite, en relation avec la figure 2. Par la suite, la machine asynchrone à excitation séparée 22 sera désignée par l'expression « machine asynchrone 22 ».

La machine asynchrone 22 comporte un stator 24 et un rotor 26 apte à entrer en rotation, relativement au stator 24, autour d'un axe de rotation X-X.

15 Le stator 24 comporte un circuit magnétique 28, au moins un bobinage d'excitation 30 et au moins un bobinage de charge 32. Par exemple, sur la figure 2, le stator comporte un bobinage d'excitation 30 et deux bobinages de charge 32.

Le circuit magnétique 28 s'étend le long de l'axe de rotation X-X et délimite radialement une cavité 34 dans laquelle est logé le rotor 26.

20 Le circuit magnétique 28 comporte une pluralité d'encoches 36 s'étendant chacune le long d'un axe parallèle à l'axe de rotation X-X. Les encoches 36 sont agencées radialement autour de l'axe de rotation X-X, deux encoches 36 radialement successives définissant entre elles une dent 38 qui les sépare.

Par exemple, sur la figure 2, le circuit magnétique 28 comprend quarante-huit encoches 36.

25 Chaque encoche 36 débouche dans la cavité 34 au niveau d'une ouverture 39.

Les encoches 36 sont réparties en encoches d'excitation 36E et en encoches de charge 36C, les encoches d'excitation 36E étant distinctes des encoches de charge 36C. Avantageusement, pour faciliter la réalisation de la machine asynchrone à

excitation séparée 22, les encoches d'excitation 36E et les encoches de charge 36C sont en nombre égal. Par exemple, sur la figure 2, le circuit magnétique 28 comporte quarante-huit encoches 36, parmi lesquelles vingt-quatre encoches d'excitation 36E et vingt-quatre encoches de charge 36C.

5 Les encoches 36 seront décrites plus en détail ultérieurement.

Le bobinage d'excitation 30 comporte au moins un enroulement d'excitation 40, chaque enroulement d'excitation 40 définissant au moins un pôle. A titre d'exemple, le bobinage d'excitation 30 comporte trois enroulements d'excitation 40, chacun définissant quatre pôles, comme cela apparaît sur la figure 2.

10 Chaque enroulement d'excitation 40 comporte des bornes d'entrée 44 connectées à une source 42 d'alimentation électrique, et plus précisément à une phase correspondante de la source 42. De cette façon, chaque enroulement d'excitation 40 est associé de façon univoque à la phase correspondante. En outre, chaque enroulement d'excitation 40 comporte des conducteurs d'excitation 46, par exemple des fils  
15 électriques, agencés longitudinalement dans les encoches d'excitation 36E, et destinés à être parcourus par un courant électrique provenant de la source 42 et reçu par l'intermédiaire des bornes d'entrée 44.

Chaque bobinage de charge 32 comporte au moins un enroulement de charge 48, chaque enroulement de charge 48 définissant au moins un pôle. A titre  
20 d'exemple, chaque bobinage de charge 32 comporte trois enroulements de charge 48, chacun définissant quatre pôles.

Chaque enroulement de charge 48 comporte des bornes de sortie 50 connectées à une charge 52, ou encore à une phase correspondante de la charge 52. De  
25 cette façon, chaque enroulement de charge 48 est associé de façon univoque à la phase correspondante. En outre, chaque enroulement de charge 48 comporte des conducteurs de charge 54, par exemple des fils électriques, agencés longitudinalement dans les encoches de charge 36C, et destinés à être parcourus par un courant électrique fourni à la charge 52 par l'intermédiaire des bornes de sortie 50.

30 Comme cela apparaît sur la figure 2, il est envisagé que les conducteurs de charge 54 d'enroulements de charge 48 appartenant à des bobinages de charge 32

différents soient agencés conjointement dans une ou plusieurs mêmes encoches de charge 36C.

Le tableau suivant est un tableau récapitulatif des caractéristiques de la machine asynchrone 22 de la figure 2, et qui ont été décrites précédemment :

| Machine 48 encoches                | Bobinage d'excitation | Bobinage de charge |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Nombre de bobinages                | 1                     | 2                  |
| Nombre d'enroulements par bobinage | 3                     | 3                  |
| Nombre d'encoches par bobinage     | 24                    | 12                 |
| Nombre de pôles                    | 4                     | 4                  |

5

Dans le tableau qui précède, ainsi que dans les tableaux apparaissant ultérieurement, chaque bobinage est susceptible d'être monophasé ou polyphasé.

Le nombre de phases par bobinage correspond au nombre d'enroulements par bobinage.

10

Un circuit équivalent 101 de la machine asynchrone 22 selon l'invention, pour un enroulement d'excitation 40 et un enroulement de charge 48 donnés de la machine asynchrone 22, est représenté sur la figure 3.

Le circuit équivalent 101 de la figure 3 se distingue du circuit équivalent 1 de la figure 1A en ce qu'il ne comporte pas d'inductance de fuite couplée.

15

Ceci provient du fait que les conducteurs d'excitation 46 sont agencés dans des encoches d'excitation 36E respectives d'une part, et que les conducteurs de charge 54 sont agencés dans des encoches de charge 36C respectives d'autre part. En effet, les lignes de champ représentant les flux de fuite (c'est-à-dire les lignes de champ créées au stator qui n'enlacent pas les barres ou le bobinage du rotor) du champ magnétique généré par les conducteurs d'excitation 46 qui sont agencés dans une encoche d'excitation donnée 36E, respectivement par les conducteurs de charge 52 qui sont agencés dans une encoche de charge donnée, sont guidées par les dents 38 et ne se propagent pas aux encoches 36 voisines, de sorte que, dans le plan transversal, les lignes de champ représentant les flux de fuite n'enlacent que lesdits conducteurs d'excitation 46, respectivement lesdits conducteurs de charge 52. Par conséquent, il n'existe pas (ou

25

peu) de fuites couplées, et pas d'inductance de fuite couplée dans le circuit équivalent 101 (ou une inductance de fuite couplée négligeable par rapport aux inductances de fuite d'une machine asynchrone à excitation séparée, toutes choses égales par ailleurs).

5 Il en résulte que la troisième branche 8 est formée par les premier, deuxième et troisième segments 12, 14, 16 connectés en parallèle entre les bornes A et B, avec la première branche 2 et la deuxième branche 4. Ceci a notamment pour effet que, toutes choses égales par ailleurs, la machine asynchrone 22 présente, relativement à une machine asynchrone à excitation séparée de l'état de la technique, une force électromotrice (illustrée par une flèche s'étendant de la borne B à la borne A) supérieure.

10 En outre, un tel agencement des conducteurs d'excitation 46 dans les encoches d'excitation 36E respectives permet de quasiment annuler la valeur de l'inductance de fuite couplée (c'est-à-dire que la valeur de l'inductance de fuite couplée de la machine selon l'invention est négligeable par rapport aux inductances de fuite d'une machine asynchrone à excitation séparée, toutes choses égales par ailleurs) et se traduit  
15 également par le fait que, dans le plan transversal, davantage de lignes de champ enlacent lesdits conducteurs d'excitation 46. Dans ce cas, l'inductance de fuite simple de l'enroulement d'excitation 40 correspondant est accrue, ce qui revient à augmenter l'inductance de fuite simple  $L_{fs,c}$  de la deuxième branche 4 par rapport à une machine à excitation séparée de l'état de la technique, toutes choses égales par ailleurs.

20 De la même façon, un tel agencement des conducteurs de charge 54 dans les encoches de charge 36C respectives permet de quasiment annuler la valeur de l'inductance de fuite couplée et se traduit également par le fait que, dans le plan transversal, davantage de lignes de champ enlacent lesdits conducteurs de charge 54. Dans ce cas, l'inductance de fuite simple de l'enroulement de charge 48 correspondant  
25 est accrue, ce qui revient à augmenter l'inductance de fuite simple  $L_{fs,c}$  de la première branche 2 par rapport à une machine à excitation séparée de l'état de la technique, toutes choses égales par ailleurs.

En comparaison avec une machine asynchrone à excitation séparée usuelle, cette augmentation de l'inductance de fuite simple de l'enroulement de charge

48 de la machine asynchrone 22 selon l'invention est assimilable à une charge supplémentaire.

Or, une machine asynchrone à excitation séparée usuelle présente des risques d'arrêt de la génération d'énergie électrique, dans le cas où ses enroulements de charge sont connectés à une charge de très faible impédance, voire nulle. Par conséquent, l'augmentation de l'inductance de fuite simple  $L_{fs,c}$  de l'enroulement de charge 48 de la machine asynchrone 22 selon l'invention est avantageuse, dans la mesure où elle constitue une charge additionnelle à alimenter, et qui est susceptible de prévenir des dysfonctionnements de la machine asynchrone 22, notamment l'arrêt de la génération d'énergie électrique, lorsque les enroulements de charge 48 sont connectés à une charge 52 d'impédance très faible ou nulle.

De préférence, les encoches d'excitation 36E et les encoches de charge 36C présentent des géométries différentes pour conférer au circuit magnétique des propriétés magnétiques différentes pour les bobinages d'excitation 30 et les bobinages de charge 32. En particulier, les encoches d'excitation 36E et les encoches de charge 36C présentent des géométries différentes pour conférer à l'inductance de fuite simple de chaque enroulement d'excitation 40 et à l'inductance de fuite simple de chaque enroulement de charge 48 des valeurs désirées.

Les caractéristiques des encoches 36 de la machine asynchrone à excitation séparée vont maintenant être brièvement décrites, en référence aux figures 4 à 9.

Par exemple, les encoches d'excitation 36E et les encoches de charge 38C sont identiques. Notamment, dans un même plan transversal, les encoches d'excitation 36E et les encoches de charge 38C présentent une section identique (figure 4).

Avantageusement, les encoches d'excitation 36E présentent une section, dans un plan transversal donné, différente de la section des encoches de charge 36C dans le même plan transversal (figures 5 à 8). Ceci permet de dimensionner séparément les sections respectives des bobinages d'excitation et de charge et donc les densités de courant dans le but d'optimiser les pertes Joule.

Par exemple, les encoches d'excitation 36E et les encoches de charge 36C présentent des étendues circonférentielles différentes (figure 5).

Par exemple, l'ouverture 39 d'une encoche de charge 36C présente une forme et des dimensions, dans le plan transversal, différentes de celles de l'ouverture  
5 d'une encoche d'excitation 36E dans le même plan transversal (figures 5 à 8).

Par exemple, pour une encoche de charge 36C donnée, la distance, au niveau de l'ouverture 39 de ladite encoche de charge 36C, entre les dents 38 délimitant radialement ladite encoche de charge 36C, est inférieure à la distance, pour une encoche d'excitation 36E donnée, au niveau de l'ouverture 39 de ladite encoche d'excitation 36E,  
10 entre les dents 38 délimitant radialement ladite encoche d'excitation 36E (figures 5 à 8).

Par exemple, pour chaque encoche de charge 36C, l'ouverture 39 présente une forme droite, c'est-à-dire que, dans un plan transversal quelconque, l'ouverture 39 s'étend sensiblement le long d'une direction radiale au niveau de ladite encoche de charge 36C (figures 6 et 8).

Selon un autre exemple, pour chaque encoche de charge 36C, l'ouverture 39 présente une forme inclinée, c'est-à-dire que, dans un plan transversal quelconque, l'ouverture 39 s'étend le long d'une direction qui n'est pas une direction radiale au niveau de ladite encoche de charge 36C (figure 7).

Selon un autre exemple, pour chaque encoche d'excitation 36E, l'ouverture 39 présente une forme convergente en direction de l'axe de rotation (figure  
20 8).

Par exemple, pour une encoche 36 donnée, une cale 56, réalisée dans un matériau magnétique ou amagnétique, est agencée entre les dents 38 délimitant radialement ladite encoche, au niveau de l'ouverture 39 de ladite encoche 36 donnée  
25 (figure 9).

Le réglage de la forme des encoches 36, et/ou l'ajout de cales 56, a pour effet d'agir sur les fuites de champ simples, dans le but d'ajuster la valeur de l'inductance de fuite simple  $L_{f_s,e}$  des enroulements d'excitation et/ou la valeur de l'inductance de fuite simple  $L_{f_s,c}$  des enroulements de charges.



Les cales 56 sont également destinées à empêcher une sortie intempestive des conducteurs 46, 54 des encoches correspondantes.

5 Les conducteurs de charge et les conducteurs d'excitation étant agencés dans des encoches distinctes, un tel réglage des fuites de champs simples est susceptible d'être réalisé indépendamment pour les bobinages d'excitation et pour les bobinages de charge, ce qui n'est pas possible avec les machines asynchrones à excitation séparée de l'état de la technique.

Les caractéristiques d'autres machines asynchrones à excitation séparée selon l'invention vont maintenant être brièvement décrites.

10 Selon un premier exemple, une machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention comporte un bobinage d'excitation identique au bobinage d'excitation 30 de la machine asynchrone 22 de la figure 2, et un seul bobinage de charge. Les caractéristiques d'une telle machine asynchrone à excitation séparée sont présentées dans le tableau récapitulatif suivant :

| Machine 48 encoches                | Bobinage d'excitation | Bobinage de charge |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Nombre de bobinages                | 1                     | 1                  |
| Nombre d'enroulements par bobinage | 3                     | 3                  |
| Nombre d'encoches par bobinage     | 24                    | 24                 |
| Nombre de pôles                    | 4                     | 4                  |
| Nombre de pôles                    | 4                     | 4                  |

15 Selon un autre exemple, une machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention comporte un bobinage d'excitation et deux bobinages de charge. En outre, les conducteurs de charge de chacun des deux bobinages de charge sont agencés dans des encoches de charge respectives, c'est-à-dire qu'une encoche de charge donnée reçoit les conducteurs de charge d'un unique bobinage de charge. Les caractéristiques d'une telle machine asynchrone à excitation séparée sont présentées dans le tableau récapitulatif suivant :

| Machine 36 encoches | Bobinage d'excitation | Bobinage de charge |
|---------------------|-----------------------|--------------------|
|---------------------|-----------------------|--------------------|

20

|                                    |    |    |
|------------------------------------|----|----|
| Nombre de bobinages                | 1  | 2  |
| Nombre d'enroulements par bobinage | 3  | 3  |
| Nombre d'encoches par bobinage     | 12 | 12 |
| Nombre de pôles                    | 4  | 4  |

5 Selon un autre exemple, une machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention comporte un bobinage d'excitation et un bobinage de charge. Le bobinage d'excitation comporte trois enroulements d'excitation, tandis que le bobinage de charge comporte cinq enroulements de charge. Dans ce cas, les conducteurs d'excitation d'un même pôle d'un même enroulement d'excitation sont reçus dans deux encoches et demie, c'est-à-dire deux encoches d'excitation propres et une encoche partagée avec, par exemple, les conducteurs d'excitation d'un autre enroulement d'excitation. En outre, les conducteurs de charge d'un même pôle d'un même enroulement de charge sont reçus dans une encoche et demie, c'est-à-dire une encoche de charge propre et une encoche partagée avec, par exemple, les conducteurs de charge d'un autre enroulement de charge. Les caractéristiques d'une telle machine asynchrone, conforme à l'invention, sont présentées dans le tableau récapitulatif suivant :

| Machine 50 encoches                | Bobinage d'excitation | Bobinage de charge |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Nombre de bobinages                | 1                     | 1                  |
| Nombre d'enroulements par bobinage | 3                     | 5                  |
| Nombre d'encoches par bobinage     | 30                    | 30                 |
| Nombre de pôles                    | 4                     | 4                  |

15 Dans le cas où la machine asynchrone à excitation séparée selon l'invention comporte une pluralité de bobinages d'excitation, il est envisagé que les conducteurs d'excitation d'enroulements d'excitation appartenant à des bobinages d'excitation différents soient agencés conjointement dans une ou plusieurs mêmes encoches d'excitation.

20 Le fonctionnement d'une telle machine asynchrone à excitation séparée  
22 selon l'invention va maintenant être décrit.

La machine asynchrone à excitation séparée 22 est connectée à au moins une charge 52 et à une source d'alimentation électrique 42.

Plus précisément, les bornes 50 d'au moins un enroulement de charge 48 sont connectées à l'au moins une charge 52.

5 En outre, les bornes 44 d'au moins un enroulement d'excitation 40 sont connectées à au moins une source d'alimentation électrique 42. Plus précisément, chaque enroulement d'excitation 40 est connecté à une phase correspondante de l'au moins une source d'alimentation électrique 42 pour créer un champ magnétique dans le stator 24.

10 Lorsque le rotor 26 est entraîné en rotation autour de son axe X-X, de l'énergie électrique est générée, qui sert à alimenter l'au moins une charge.

## REVENDEICATIONS

1. Machine asynchrone à double bobinage (22), présentant un axe de rotation (X-X) et comportant un rotor (26) et un stator (24),

5 le stator (24) comportant un circuit magnétique (28), au moins un bobinage d'excitation (30) et au moins un bobinage de charge (32),

le circuit magnétique (28) s'étendant le long de l'axe de rotation (X-X) et délimitant radialement une cavité (34) dans laquelle est logé le rotor (26), le circuit magnétique (28) comportant une pluralité d'encoches (36, 36E, 36C) agencées radialement autour de l'axe de rotation (X-X), chaque encoche (36, 36E, 36C) s'étendant le long d'un axe parallèle à l'axe de rotation (X-X), chaque bobinage d'excitation (30) comportant au moins un enroulement d'excitation (40) associé à une phase électrique respective, chaque enroulement d'excitation (40) comprenant au moins un conducteur d'excitation (46),

15 chaque bobinage de charge (32) comportant au moins un enroulement de charge (48) associé à une phase électrique respective, chaque enroulement de charge (48) comprenant au moins un conducteur de charge (54),

la machine asynchrone à excitation séparée (22) étant caractérisée en ce que

20 les encoches (36, 36E, 36C) comportent des encoches d'excitation (36E) et des encoches de charge (36C), les encoches d'excitation (36E) étant distinctes des encoches de charge (36C),

les conducteurs d'excitation (46) étant exclusivement logés dans des encoches d'excitation (36E), et les conducteurs de charge (54) étant exclusivement logés dans des encoches de charge (36C).

2. Machine asynchrone (22) selon la revendication 1, dans laquelle les conducteurs d'excitation (46) de deux enroulements d'excitation (40) distincts sont logés dans au moins une même encoche d'excitation (36E), et/ou les conducteurs de charge

(54) de deux enroulements de charge (48) distincts sont logés dans au moins une même encoche de charge (36C).

5 3. Machine asynchrone (22) selon la revendication 1 ou 2, comportant au moins deux bobinages d'excitation (30), les conducteurs d'excitation (46) d'au moins deux bobinages d'excitation (30) distincts étant logés dans au moins une même encoche d'excitation (36E), et/ou comportant au moins deux bobinages de charge (32), les conducteurs de charge (54) d'au moins deux bobinages de charge (32) distincts étant logés dans au moins une même encoche de charge (36C).

10

4. Machine asynchrone (22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle les encoches d'excitation (36E) et les encoches de charge (36C) présentent des sections différentes dans un plan orthogonal à l'axe de rotation (X-X).

15

5. Machine asynchrone (22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle au moins une encoche (36, 36E, 36C) débouche sur la cavité (34) au niveau d'une ouverture (39), l'ouverture (39) présentant une forme qui est fonction de ce que l'encoche (36, 36E, 36C) est une encoche d'excitation (36E) ou une encoche de charge (36C).

20

6. Machine asynchrone (22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans laquelle au moins une encoche (36, 36E, 36C) débouche sur la cavité (34) au niveau d'une ouverture (39), une cale (56) étant agencée au niveau de l'ouverture (39) de l'encoche (36, 36E, 36C) entre deux dents (38) délimitant radialement l'encoche (36, 36E, 36C), chaque cale (56) étant, de préférence, réalisée dans un matériau magnétique ou amagnétique suivant l'encoche (36, 36E, 36C) concernée.

25

7. Ensemble comprenant une machine asynchrone (22) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, et :

- au moins une charge (52), des bornes (50) d'au moins un enroulement de charge (48) étant connectées à l'au moins une charge (52) ; et/ou

- au moins une source (42) d'alimentation électrique, des bornes (44) d'au moins un enroulement d'excitation (40) étant connectées à au moins une source (42) d'alimentation électrique.

5

8. Aéronef comportant un ensemble selon la revendication 7.

9. Procédé de connexion d'une machine asynchrone selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 à au moins une charge (52), comprenant :

10

- la connexion de bornes (50) d'au moins un enroulement de charge (48) à l'au moins une charge (52) ; et

- de préférence, la connexion de bornes (44) d'au moins un enroulement d'excitation (40) à au moins une source (42) d'alimentation électrique.

15

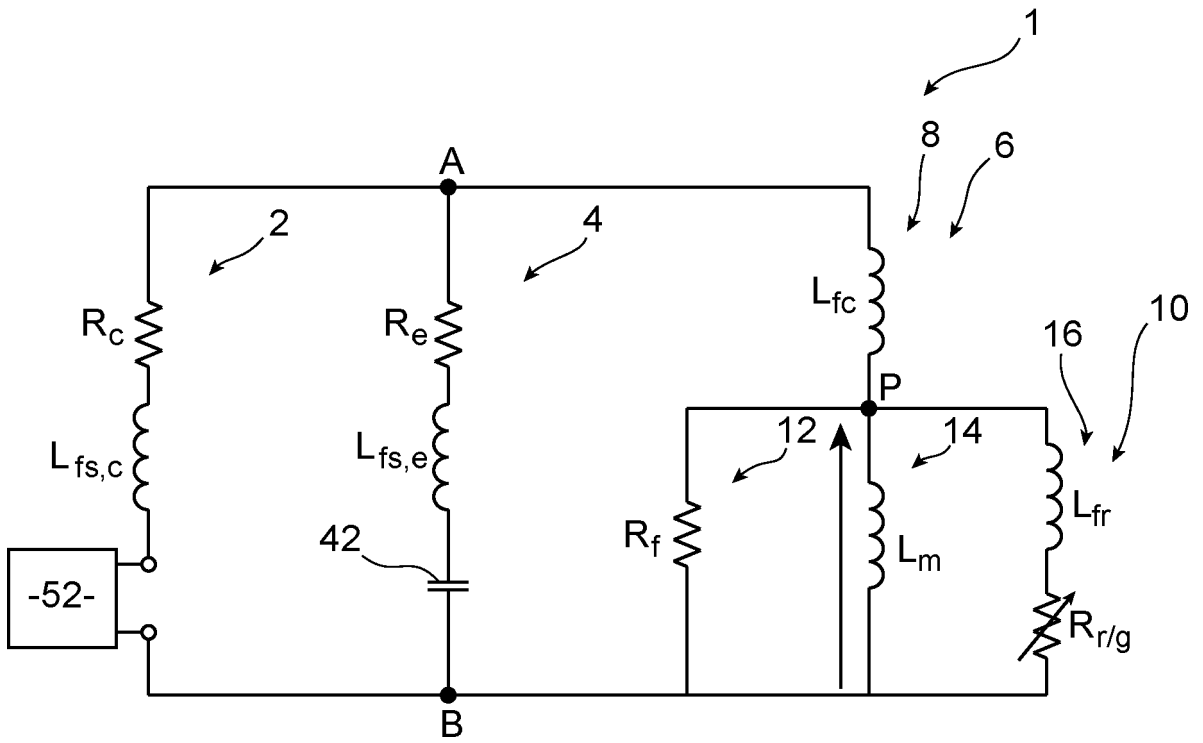


FIG. 1A

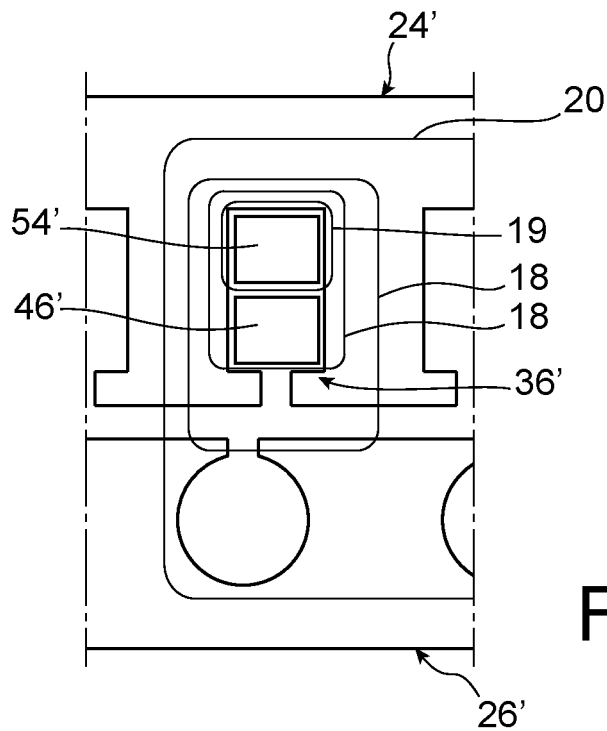


FIG. 1B

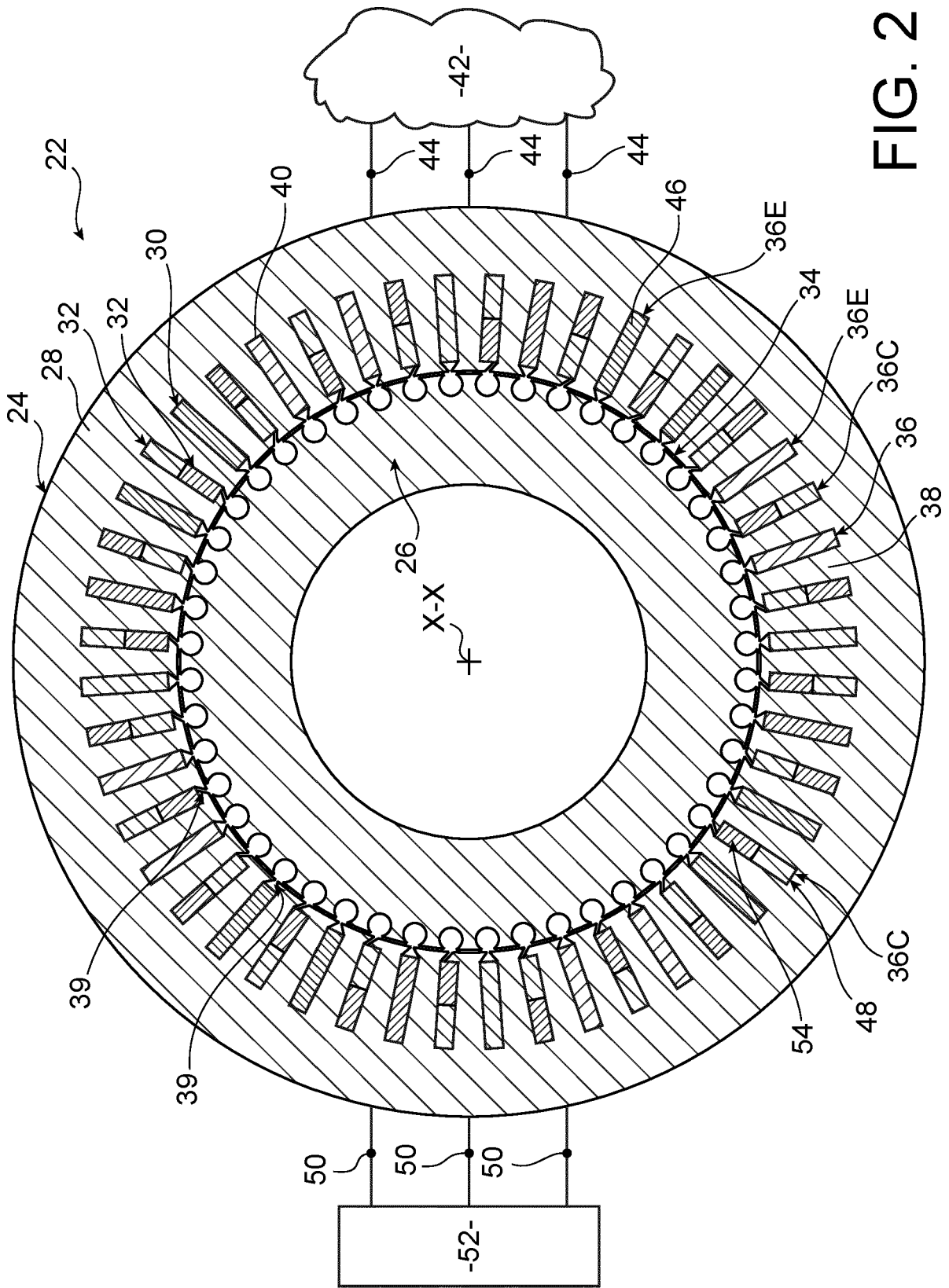


FIG. 2





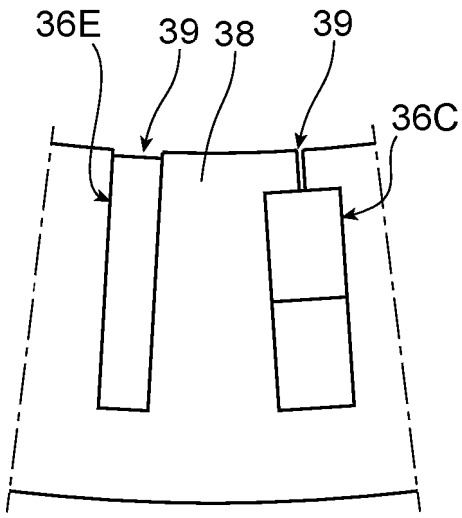


FIG. 6

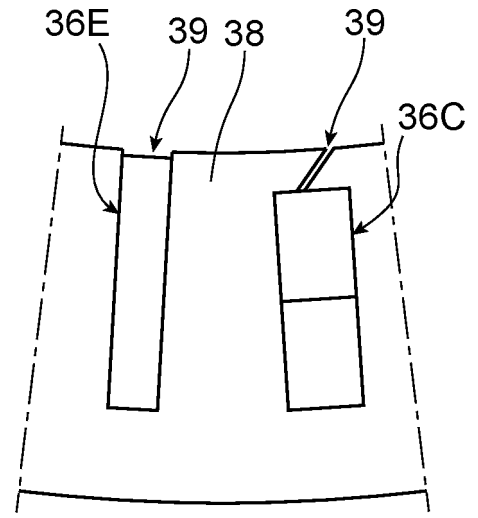


FIG. 7

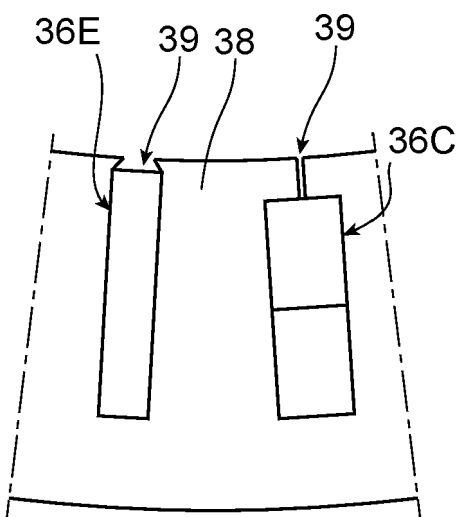


FIG. 8

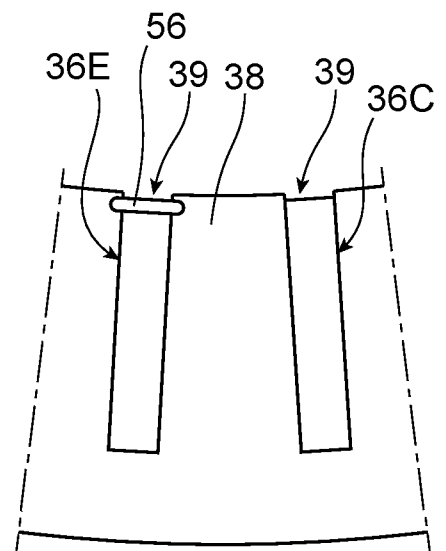


FIG. 9

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement  
national

FA 857876  
FR 1857224

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS  |   | Revendication(s)<br>concernée(s)   | Classement attribué<br>à l'invention par l'INPI |
|--|---|--|---|
| Catégorie  | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes  |  |   |
| X  | JP S56 133271 U (SANKO ELECTRIC CO., LTD.)<br>8 octobre 1981 (1981-10-08)   | 1-4  | H02K17/02                                       |
| Y  | * le document en entier *   | 5,6  |   |
| Y  | -----<br>US 2014/252905 A1 (MANFE PHILIPPE [FR] ET<br>AL) 11 septembre 2014 (2014-09-11)<br>* alinéa [0033] - alinéa [0056]; figures<br>1-5 * | 5  |   |
| Y  | -----<br>US 2003/102762 A1 (JANSEN PATRICK LEE [US]<br>ET AL) 5 juin 2003 (2003-06-05)<br>* alinéa [0082] - alinéa [0085]; figure 34<br>*     | 6  |   |
|  |   |  | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHÉS (IPC)         |
|  |   |  | H02K  |
| Date d'achèvement de la recherche  |   | Examineur  |   |
| 24 avril 2019  |   | Zavelcuta, Florin  |   |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS  |   | T : théorie ou principe à la base de l'invention   |   |
| X : particulièrement pertinent à lui seul  |   | E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure   |   |
| Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br>autre document de la même catégorie |   | à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br>de dépôt ou qu'à une date postérieure. |   |
| A : arrière-plan technologique   |   | D : cité dans la demande   |   |
| O : divulgation non-écrite   |   | L : cité pour d'autres raisons   |   |
| P : document intercalaire  |   | .....  |   |
|  |   | & : membre de la même famille, document correspondant  |   |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1857224 FA 857876**

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 **24-04-2019**

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<br>au rapport de recherche |    | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|---|----|------------------------|---|------------------------|
| JP S56133271                                    | U  | 08-10-1981             | AUCUN                                   |                        |
| -----   |    |                        |   |                        |
| US 2014252905                                   | A1 | 11-09-2014             | CN 103931088 A                          | 16-07-2014             |
|   |    |                        | EP 2777137 A2                           | 17-09-2014             |
|   |    |                        | FR 2982714 A1                           | 17-05-2013             |
|   |    |                        | US 2014252905 A1                        | 11-09-2014             |
|   |    |                        | WO 2013068956 A2                        | 16-05-2013             |
| -----   |    |                        |   |                        |
| US 2003102762                                   | A1 | 05-06-2003             | US 6058596 A                            | 09-05-2000             |
|   |    |                        | US 6232692 B1                           | 15-05-2001             |
|   |    |                        | US 6515395 B1                           | 04-02-2003             |
|   |    |                        | US 2003102762 A1                        | 05-06-2003             |
| -----   |    |                        |   |                        |