(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 136 908**

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **22 05987**

(51) Int Cl[8] : ***H 02 K 11/27*** *(2022.01)*

(12) **BREVET D'INVENTION** **B1**

(54) Machine électrique pour aéronef comprenant au moins un organe de protection de court-circuit entre deux phases du stator et procédé de protection.

(22) **Date de dépôt :** 18.06.22.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 22.12.23 Bulletin 23/51.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 25.04.25 Bulletin 25/17.

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

Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *SAFRAN HELICOPTER ENGINES*
Société par actions simplifiée à associé unique — FR.

(72) **Inventeur(s) :** LEMAY David, Bernard, Martin et KLONOWSKI Thomas.

(73) **Titulaire(s) :** SAFRAN HELICOPTER ENGINES
Société par actions simplifiée à associé unique.

(74) **Mandataire(s) :** ARGYMA.

FR 3 136 908 - B1

Description

Titre de l'invention : Machine électrique pour aéronef comprenant au moins un organe de protection de court-circuit entre deux phases du stator et procédé de protection

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine des machines électriques pour aéronef et vise à protéger une machine électrique en cas de court-circuit entre deux phases d'un stator d'une machine électrique.

[0002] De manière connue, des machines électriques sont embarquées dans des aéronefs, tels que les hélicoptères, pour fournir un couple, par exemple pour la propulsion de l'aéronef (fonctionnement moteur), ou pour générer de l'énergie électrique (fonctionnement générateur). Les machines électriques usuellement utilisées dans les aéronefs à propulsion électrique et ceux d'architecture hybride thermique/électrique sont de type synchrone à aimants permanents du fait de leur densité massique de puissance élevée, ce qui permet de limiter la masse embarquée de l'aéronef.

[0003] Il est représenté de manière schématique sur la [Fig.1] un exemple de machine synchrone à aimants permanents 300 embarquée dans un hélicoptère. De manière connue, une machine synchrone à aimants permanents 300 comprend un stator 100, monté sur un élément de carter de l'aéronef, et un rotor 200, monté mobile en rotation en vis-à-vis du stator 100. Dans cet exemple, la machine synchrone à aimants permanents 300 est de type à flux radial, c'est-à-dire que le rotor 200 comprend une forme cylindrique et le stator 100 s'étend de manière annulaire extérieurement autour du rotor 200.

[0004] De manière connue et en référence aux figures 1 et 2, le rotor 200 comprend des aimants permanents et le stator comprend plusieurs phases 110, généralement trois phases. Chaque phase 110 comprend un bobinage 130, une branche de commande 120 et une branche de neutre 140. Les branches de commande 120 sont reliées à un convertisseur de puissance 400, usuellement un onduleur/redresseur, et les branches de neutre 140 sont reliées ensemble en un point, désigné point neutre 150. En fonctionnement générateur, la rotation du rotor 200 par rapport aux bobinages 130 du stator 100 génère un flux magnétique excitateur, à l'origine d'une tension électrique alternative entre les phases 110.

[0005] En pratique, comme illustré sur la [Fig.2], un court-circuit peut apparaître dans la machine électrique 300 lorsque deux bobinages 130 du stator 100 entrent en contact en un point, désigné point de court-circuit CC. La rotation du rotor 200 alimente alors de manière permanente la circulation d'un courant électrique entre le point de court-

circuit CC et le point neutre 150. L'impédance des bobinages 130 étant usuellement faible, le courant électrique augmente rapidement, ce qui est susceptible d'engendrer une surchauffe et un endommagement des composants du stator 100.

[0006] Pour réduire ce risque, il est connu par la demande de brevet FR3057029A1 de stopper la rotation du rotor de la machine électrique en cas de détection d'un court-circuit en ajoutant un dispositif de découplage mécanique, mis en œuvre par exemple par débrayage ou par crabot. Un tel dispositif possède une masse élevée, est coûteux et est difficile à intégrer.

[0007] Une autre solution consiste à dimensionner la machine électrique pour supporter le court-circuit pendant une durée suffisante, à savoir jusqu'à l'atterrissage de l'aéronef. Il a ainsi été proposé de renforcer les bobinages et/ou l'isolation, ce qui augmente l'encombrement et la masse de la machine électrique et réduit son rendement de manière indésirable.

[0008] Il est également connu par la demande de brevet FR3091060A1 de prélever de l'air chaud dans le système de génération de puissance thermique et de l'injecter au niveau du rotor de la machine électrique. Cela permet d'atteindre la température de Curie des aimants permanents et ainsi de désactiver leurs propriétés ferromagnétiques. Une telle solution présente l'inconvénient d'exposer la machine électrique à de hautes températures indésirables.

[0009] L'invention vise ainsi à protéger une machine électrique en cas de court-circuit entre deux phases du stator en éliminant au moins certains des inconvénients susmentionnés.

PRESENTATION DE L'INVENTION

[0010] L'invention concerne une machine électrique pour un aéronef, comprenant un stator et un rotor monté mobile en rotation relativement au stator, ledit rotor comprenant au moins un aimant permanent, ledit stator comprenant au moins trois phases, chaque phase comprenant un bobinage, une branche de commande et une branche de neutre, lesdites branches de commande étant configurées pour être reliées à un dispositif de conversion de puissance, lesdites branches de neutre étant reliées ensemble en un point neutre.

[0011] L'invention est remarquable en ce que la machine électrique comprend au moins un organe de protection monté sur la branche de neutre d'au moins une phase, chaque organe de protection comportant :

- un état inactif, dans lequel l'organe de protection autorise la circulation du courant électrique dans chaque phase sur la branche de neutre de laquelle l'organe de protection est monté, et
- un état de protection, dans lequel l'organe de protection interrompt la circulation du courant électrique dans chaque phase sur la branche de neutre de

laquelle l'organe de protection est monté, de manière à protéger la machine électrique en cas de court-circuit.

[0012] Grâce à l'invention, la circulation du courant électrique dans une ou plusieurs phases du stator est pilotée via l'organe de protection, ce qui permet de protéger la machine électrique en cas de court-circuit, en particulier entre deux phases du stator. Chaque organe de protection permet de suspendre la circulation du courant électrique dans une ou plusieurs phases données, de manière ciblée, simple et rapide, contrairement au dispositif de découplage du rotor et au circuit d'air chaud de l'art antérieur. De tels organes de protection permettent ainsi d'interrompre un court-circuit entre deux phases ce qui assure une protection efficace des composants du stator du risque de surchauffe et d'endommagement.

[0013] Selon un aspect de l'invention, le stator comprend un carter extérieur et au moins une portion de la branche de neutre de chaque phase sur laquelle est monté l'organe de protection s'étend de manière externe au carter extérieur du stator. De préférence, le point neutre est positionné de manière externe au carter extérieur du stator. Ceci permet de faciliter l'intégration des organes de protection ainsi que leur pilotage et leur accessibilité lors d'une maintenance.

[0014] Selon un aspect de l'invention, la branche de neutre de chacune d'une pluralité de phases est équipée d'un organe de protection. De préférence, N désignant le nombre de phases du stator, la branche de neutre d'au moins N-1 phases sont équipées d'un organe de protection. Cela permet de protéger la machine électrique de manière ciblée et efficace quel que soit l'emplacement du point de court-circuit entre deux phases. En effet, le courant électrique peut être interrompu dans au moins l'une des deux phases où se situe le point de court-circuit.

[0015] Selon un premier aspect de l'invention, la machine électrique comporte une pluralité d'organes de protection dipolaires, chaque organe de protection étant monté sur la branche de neutre d'une phase. Des organes de protection dipolaires sont avantageusement simples et peu coûteux.

[0016] Selon un deuxième aspect de l'invention, la machine électrique comporte un unique organe de protection multipolaire monté sur la branche de neutre de chacune d'une pluralité de phases, de préférence toutes les phases du stator. On précise que le terme « multipolaire » qualifie un organe comportant plus de deux pôles électriques. Il suffit avantageusement d'un seul organe de protection pour suspendre la circulation de courant électrique dans chaque phase.

[0017] Selon un aspect préféré de l'invention, chaque organe de protection comprend un interrupteur pour chaque phase sur laquelle l'organe de protection est monté. De préférence, l'interrupteur se présente sous la forme d'un contacteur électromécanique (EMR), d'un contacteur statique (SSR) ou d'un fusible pyrotechnique (PSS). Préféren-

tiellement l'interrupteur se présente sous la forme d'un contrôleur de puissance à semi-conducteurs (SSPC). Un tel organe de protection permet d'interrompre de manière efficace et simple le courant électrique dans la ou les phases dans lesquelles il est monté.

[0018] Selon un aspect préféré de l'invention, la machine électrique comporte au moins un organe de contrôle configuré pour activer l'état de protection de chaque organe de protection. L'organe de contrôle assure le pilotage des organes de protection.

[0019] Selon un aspect préféré de l'invention, la machine électrique comporte au moins un organe de mesure du courant électrique circulant dans au moins une phase du stator, de préférence de la somme des courants électriques circulant dans toutes les phases du stator. Un tel organe de mesure permet avantageusement de détecter de manière précoce un court-circuit et son emplacement. Un unique organe de mesure de la somme des courants électriques des phases est avantageusement suffisant pour surveiller toutes les phases, ce qui limite l'encombrement.

[0020] Selon un aspect de l'invention, l'organe de mesure se présente sous la forme d'un capteur de courant magnétique comportant une boucle magnétique entourant la branche de neutre ou la branche de commande d'au moins une phase du stator, de préférence de toutes les phases du stator. Un tel organe de mesure présente un faible encombrement, ce qui facilite son intégration sur la machine électrique.

[0021] Le capteur de courant magnétique est avantageusement de type à effet Hall, offrant une grande précision de mesure et simple à intégrer.

[0022] De préférence, l'organe de mesure est relié à l'organe de contrôle pour permettre un pilotage automatique des organes de protection, à partir de la surveillance du courant électrique dans les phases du stator.

[0023] L'invention concerne également l'ensemble d'une machine électrique telle que décrite précédemment et d'un dispositif de conversion de puissance, ledit dispositif de conversion de puissance étant relié à la branche de commande de chaque phase du stator. De manière avantageuse, les organes de protection permettent également de protéger la machine électrique en cas de court-circuit au niveau du dispositif de conversion de puissance.

[0024] De préférence, le dispositif de conversion de puissance se présente sous la forme d'un onduleur/redresseur.

[0025] Selon un aspect de l'invention, le dispositif de conversion de puissance comprend un carter extérieur et le point neutre est positionné de manière interne au carter extérieur du dispositif de conversion de puissance. Ceci permet de faciliter l'intégration des organes de protection dans les branches de neutre et de favoriser leur accessibilité en cas de maintenance. Le pilotage au moyen de l'organe de contrôle et de l'organe de mesure s'en trouve également simplifié.

[0026] L'invention concerne également un aéronef comportant une machine électrique telle que décrite précédemment. De préférence, l'aéronef se présente sous la forme d'un hélicoptère. Les organes de protection permettent avantageusement de protéger la machine électrique lors d'un court-circuit en vol, ce qui évite tout risque de surchauffe et d'endommagement jusqu'à l'atterrissage de l'aéronef.

[0027] L'invention concerne également un aéronef comportant un ensemble d'une machine électrique et d'un dispositif de conversion de puissance tel que décrit précédemment.

[0028] L'invention concerne également un procédé de protection d'une machine électrique telle que décrite précédemment, dans lequel chaque organe de protection est initialement dans l'état inactif de manière à laisser circuler le courant électrique dans chaque phase du stator, ledit procédé comprenant :

- une étape de détection d'un court-circuit entre deux phases du stator, et
- une étape d'activation de l'état de protection d'au moins un organe de protection, afin d'interrompre la circulation du courant électrique dans au moins une phase du stator touchée par le court-circuit, de manière à protéger la machine électrique.

[0029] L'invention concerne également un procédé de protection de l'ensemble d'une machine électrique et d'un dispositif de conversion de puissance tel que décrit précédemment, dans lequel chaque organe de protection est initialement dans l'état inactif de manière à laisser circuler le courant électrique dans chaque phase du stator, ledit procédé comprenant :

- une étape de détection d'un court-circuit, et
- une étape d'activation de l'état de protection d'au moins un organe de protection, afin d'interrompre la circulation du courant électrique dans au moins une phase du stator touchée par le court-circuit, de manière à protéger la machine électrique.

[0030] Un tel procédé de protection est avantageusement simple et rapide à mettre en œuvre, ce qui permet de protéger sans attente la machine électrique en cas d'apparition d'un court-circuit entre deux phases du stator.

PRESENTATION DES FIGURES

[0031] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple, et se référant aux figures suivantes, données à titre d'exemples non limitatifs, dans lesquelles des références identiques sont données à des objets semblables.

[0032] La [Fig.1] est une représentation schématique d'une machine synchrone à aimants permanents reliée à un convertisseur de puissance selon l'art antérieur.

[0033] La [Fig.2] est une représentation schématique d'un court-circuit entre deux phases du

stator de la machine synchrone à aimants permanents de la [Fig.1].

[0034] La [Fig.3] est une représentation schématique d'une machine synchrone à aimants permanents reliée à un convertisseur de puissance et équipée d'organes de protection selon une forme de réalisation de l'invention.

[0035] La [Fig.4] est une représentation schématique de la machine synchrone à aimants permanents de la [Fig.3] dans laquelle le rotor n'est pas représenté.

[0036] La [Fig.5] est une représentation schématique d'un procédé de protection de la machine synchrone à aimants permanents de la [Fig.3] lors d'un court-circuit entre deux phases du stator selon un mode de réalisation de l'invention.

[0037] La [Fig.6] est une représentation schématique d'un procédé de protection de la machine synchrone à aimants permanents de la [Fig.3] lors d'un court-circuit dans le dispositif de conversion de puissance.

[0038] La [Fig.7] est une représentation schématique d'une machine synchrone à aimants permanents selon une autre forme de réalisation de l'invention, dans laquelle le rotor n'a pas été représenté.

[0039] La [Fig.8] est une représentation schématique d'une machine synchrone à aimants permanents selon une autre forme de réalisation de l'invention dans laquelle le rotor n'a pas été représenté.

[0040] Il faut noter que les figures exposent l'invention de manière détaillée pour mettre en œuvre l'invention, lesdites figures pouvant bien entendu servir à mieux définir l'invention le cas échéant.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0041] L'invention concerne un aéronef comportant une ou plusieurs machines électriques reliées à un ou plusieurs dispositifs de conversion de puissance, afin de fournir un couple, par exemple pour la propulsion de l'aéronef (fonctionnement moteur), ou pour générer de l'énergie électrique (fonctionnement générateur). L'aéronef est notamment de type à propulsion électrique ou d'architecture hybride thermique/électrique. L'aéronef se présente par exemple sous la forme d'un hélicoptère.

[0042] Il est représenté de manière schématique sur la [Fig.3] un exemple de machine synchrone à aimants permanents 3 embarquée dans un hélicoptère. Une telle machine électrique comporte avantageusement une densité massique de puissance élevée, ce qui permet de limiter la masse embarquée de l'aéronef. La machine électrique est de préférence reliée à un dispositif de conversion de puissance de type onduleur/redresseur 4.

[0043] Comme décrit dans le préambule et illustré sur la [Fig.3], une machine synchrone à aimants permanents 3 comprend un stator 1, monté sur un élément de carter de l'aéronef, et un rotor 2, monté mobile en rotation relativement au stator 1. Dans cet

exemple, la machine synchrone à aimants permanents 3 est de type à flux radial, c'est-à-dire que le rotor 2 comprend une forme cylindrique et le stator 1 s'étend de manière annulaire extérieurement autour du rotor 2. L'invention s'applique également notamment à une machine synchrone à aimants permanents de type à flux radial inversé, dans laquelle le stator 1 comprend une forme cylindrique et le rotor 2 s'étend de manière annulaire extérieurement autour du stator 1. L'invention s'applique également à une machine synchrone à aimants permanents de type à flux axial, dans laquelle le stator 1 et le rotor 2 comportent une forme cylindrique et s'étendent en face-à-face selon une direction axiale.

[0044] Comme décrit dans le préambule et illustré sur la [Fig.3], le rotor 2 comprend des aimants permanents et le stator 1 comprend plusieurs phases 10, en général trois phases. En référence à la [Fig.4] (sur laquelle n'est pas représenté le rotor 2 à des fins de clarté), chaque phase 10 comprend un bobinage 12, une branche de commande 11 et une branche de neutre 13. La branche de commande 11 et la branche de neutre 13 s'étendent respectivement aux extrémités du bobinage 12. Les branches de commande 11 sont reliées à l'onduleur/redresseur 4 et permettent d'alimenter la machine électrique 3 ou de transmettre le courant électrique produit à l'onduleur/redresseur 4 suivant que l'on est en fonctionnement moteur ou générateur. Les branches de neutre 13 sont quant à elles reliées ensemble en un point, désigné point neutre 14, formant la masse de la machine électrique 3. En fonctionnement générateur, la rotation du rotor 2 par rapport aux bobinages 10 du stator 1 génère un flux magnétique excitateur, à l'origine d'une tension électrique alternative entre les phases 10.

[0045] Selon l'invention et comme illustré sur les figures 3 et 4, la machine électrique 3 comporte un ou plusieurs organes de protection 5. Chaque organe de protection 5 est monté sur une ou plusieurs phases 10 du stator, plus précisément sur la branche de neutre 13 d'une ou de plusieurs phases 10. Chaque organe de protection 5 comporte un état inactif P1 (voir [Fig.3]) et un état de protection P2 (voir [Fig.5]). Dans l'état inactif P1, l'organe de protection 5 autorise la circulation du courant électrique dans chaque phase 10 sur laquelle il est monté. Dans l'état de protection P2, l'organe de protection 5 interrompt la circulation du courant électrique dans chaque phase 10 sur laquelle il est monté. Autrement dit, l'organe de protection 5 permet de connecter électriquement une ou plusieurs branches de neutre 13 au point neutre 14 (état inactif P1) ou de déconnecter électriquement la ou les branches de neutre 13 du point neutre 14 (état de protection P2). L'organe de protection 5 remplit ainsi une fonction d'interrupteur.

[0046] L'intégration d'organes de protection 5 dans la machine électrique 3 permet avantageusement de protéger la machine électrique 3 en cas d'apparition d'un court-circuit CC, notamment entre deux phases 10 du stator 1 (voir [Fig.5]), ou encore au niveau du dispositif de conversion de puissance 4 (voir [Fig.6]). Plus précisément, l'activation de

l'état de protection P2 permet d'ouvrir le point neutre 14 en cas d'apparition d'un court-circuit, ce qui évite les risques de surchauffe et de détérioration des composants de la machine électrique 3 et/ou du dispositif de conversion de puissance 4 engendrés par le court-circuit.

[0047] On précise à toute fins utiles qu'un court-circuit entre deux phases 10 du stator 1 de la machine électrique 3 désigne la mise en contact des deux phases 10 du stator 1, par exemple au niveau des bobinages 12 dans l'exemple de la [Fig.5], en un point désigné point de court-circuit CC. La rotation du rotor 2 alimente alors de manière permanente la circulation d'un courant électrique entre le point de court-circuit CC et le point neutre 14. L'impédance des bobinages 12 étant usuellement faible, le courant électrique augmente rapidement et peut détériorer les composants de la machine électrique 3. La présente invention permet d'interrompre le court-circuit pour éviter tout endommagement en ouvrant le point neutre 14. L'invention permet également de se protéger contre d'autres types de court-circuit, tels que ceux entre les harnais d'alimentation de deux phases 10 de stator 1 différentes, ou encore ceux entre deux transistors de puissance différents de l'onduleur/redresseur 4.

[0048] Selon un aspect de l'invention illustré sur les figures 3, 4 et 8, en notant N le nombre de phases 10 du stator 1, un nombre (N-1) ou N de branches de neutre 13 sont équipées d'un organe de protection 5. Ceci permet de protéger efficacement les composants du stator 1 peu importe l'emplacement du court-circuit en interdisant toute formation d'une boucle de courant. De préférence, (N-1) branches de neutre 13 sont équipées d'un organe de protection 5 pour minimiser la masse et l'encombrement avec une protection optimale. En effet, un court-circuit touche en pratique deux phases 10 du stator 1, donc touche nécessairement au moins une phase 10 équipée d'un organe de protection 5, ce qui est suffisant pour interrompre la circulation du courant électrique à l'origine du court-circuit. Dans l'exemple des figures 3 et 4 d'une machine électrique 3 à trois phases 10, seules deux branches de neutre 13 sont ainsi équipées d'un organe de protection 5. Dans l'exemple de la [Fig.8], toutes les branches de neutre 13 sont équipées d'un organe de protection 5 pour suspendre la circulation de courant dans toutes les phases 10.

[0049] Selon un aspect de l'invention illustré sur les figures 3, 4 et 8, au moins une portion de chaque branche de neutre 13 sur laquelle est monté un organe de protection 5 s'étend de manière externe au carter extérieur 15 du stator 1. Autrement dit, les organes de protection 5, éléments fonctionnels du stator 1, s'étendent physiquement en dehors de celui-ci. Comme illustré sur les figures 3, 4 et 8, ceci est de préférence mis en œuvre en positionnant le point neutre 14 de manière externe au carter extérieur 15 du stator 1. Les branches de neutre 13 comportent ainsi au moins une portion externe s'étendant en dehors du stator 1 et reliées ensemble au niveau du point neutre 14. Un

montage externe des organes de protection 5 est avantageusement simple et rapide, sans contrainte d'encombrement, et préserve les organes de protection 5 des hautes températures. En outre, un tel montage facilite leur accessibilité en cas de maintenance.

[0050] De préférence, comme illustré sur les figures 3 et 4, le point neutre 14 s'étend de manière interne à extérieur 40 de l'onduleur/redresseur 4. Autrement dit, le point neutre 14, élément fonctionnel du stator 1, s'étend physiquement dans l'onduleur/redresseur 4. Chaque branche de neutre 13 comporte ainsi une première extrémité reliée au bobinage 12 dans le stator 1 de la machine électrique 3 et une deuxième extrémité reliée au point neutre 14 dans l'onduleur/redresseur 4. Entre la première extrémité et la deuxième extrémité, chaque branche de neutre 13 comprend une portion externe au niveau de laquelle est monté l'organe de protection 5. Autrement dit, l'organe de protection 5 s'étend hors du stator 1 et hors de l'onduleur/redresseur 4, pour une plus grande facilité d'accès et de montage.

[0051] Selon un premier aspect de l'invention illustré sur les figures 3 et 4, chaque organe de protection 5 se présente sous la forme d'un dipôle électrique monté sur une unique phase 10 du stator 1. De préférence, la machine électrique 3 comporte N-1 ou N organes de protection 5 montés chaque sur une phase 10 du stator 1. Chaque organe de protection 5 pilote la circulation du courant électrique dans la phase 10 dans laquelle il est monté.

[0052] Selon un deuxième aspect de l'invention illustré sur la [Fig.8], la machine électrique 3 comprend un unique organe de protection 5 se présentant sous la forme d'un multipôle électrique. Un multipôle désigne ici un organe comportant plus de deux pôles électriques. L'organe de protection 5 est monté dans plusieurs phases 10 du stator 1, de préférence toutes, et est configuré pour permettre l'interruption de chaque phase 10 sur laquelle il est monté. Dans l'exemple de la [Fig.8], l'organe de protection 5 se présente sous la forme d'un hexapôle à trois interfaces pour être monté aux trois phases 10 du stator 1.

[0053] Comme illustré sur les figures 3, 4 et 8, chaque organe de protection 5 est de type commutateur à deux états différents, à savoir un état inactif P1 d'une part et un état de protection P2 d'autre part. L'état de protection P2 est configuré pour être déclenché uniquement lors de l'apparition d'un court-circuit, l'organe de protection 5 étant autrement dans l'état inactif P1.

[0054] Selon un aspect préféré, chaque organe de protection 5 comprend un interrupteur pour chaque phase 10 sur laquelle il est monté. Dans la forme de réalisation des figures 3 et 4, chaque organe de protection 5 dipolaire se présente sous la forme d'un interrupteur simple. Dans la forme de réalisation de la [Fig.8] d'un organe de protection 5 multipolaire d'une pluralité de phases 10, chaque organe de protection 5 multipolaire comprend un ensemble d'interrupteurs, un par phase, configurés pour être déclenchés

simultanément. Selon un aspect préféré, chaque interrupteur se présente sous la forme d'un contacteur statique (« Solid State Relay SSR »), d'un contacteur électro-mécanique (« Electromechanical Relay EMR ») ou d'un fusible pyrotechnique, également connu sous le terme « pyro-fuse ». De préférence, l'interrupteur se présente sous la forme d'un contrôleur de puissance à semi-conducteurs (« Solid State Power Controler SSPC »), qui présente avantageusement une masse et un volume réduits. De tels interrupteurs sont connus de l'homme du métier et ne sont pas décrits davantage.

[0055] Selon un aspect de l'invention illustré schématiquement sur les figures 3 et 4, la machine électrique 3 comprend également un organe de contrôle 7 configuré pour piloter chaque organe de protection 5. L'organe de contrôle 7 permet d'activer l'état de protection P2 de chaque organe de protection 5, l'organe de protection 5 étant autrement dans l'état inactif P1. De préférence, l'organe de contrôle 7 assure un pilotage identique de chaque organe de protection 5 et est configuré pour activer simultanément l'état de protection P2 de chaque organe de protection 5, pour protéger toutes les phases 10. De préférence, l'organe de contrôle 7 se présente sous la forme d'un calculateur. De préférence, l'organe de contrôle 7 est relié de manière filaire à chaque organe de protection 5 de manière à leur transmettre un signal de commande.

[0056] Selon un aspect de l'invention, la machine électrique 3 comprend également un ou plusieurs organes de mesure 6 configurés pour mesurer un paramètre de la machine électrique 3, tel que le courant électrique circulant dans les phases 10, la vitesse de rotation du rotor 2 ou la position du rotor 2. Selon un aspect préféré illustré sur les figures 3, 4, 7 et 8, la machine électrique 3 comprend un ou plusieurs organes de mesure 6 du courant électrique circulant dans les phases 10 du stator 1. L'organe de mesure 6 est monté au niveau de la branche de commande 11 (voir [Fig.3] et 4) ou de la branche de neutre 13 (non représenté) d'au moins une phase 10.

[0057] Selon un premier aspect illustré sur les figures 3 et 4, chaque phase 10 du stator 1 est équipée d'un organe de mesure 6. En variante il peut être prévu qu'une ou plusieurs phases 10 pourraient être exemptes d'organe de mesure 6. Selon un deuxième aspect illustré sur les figures 7 et 8, la machine électrique 3 comprend un unique organe de mesure 6 de la somme des courants électriques circulant dans toutes les phases 10 du stator 1.

[0058] De préférence, en référence aux figures 3, 4, 7 et 8, l'organe de mesure 6 se présente sous la forme d'un capteur de courant magnétique comportant une boucle magnétique entourant une branche 11, 13 d'une phase 10 du stator 1 ([Fig.7]) ou une branche 11, 13 de toutes les phases 10 du stator 1 ([Fig.8]). De préférence, l'organe de mesure 6 se présente sous la forme d'un capteur à effet Hall.

[0059] Selon un aspect préféré illustré sur les figures 3 et 4, l'organe de contrôle 7 est relié à chaque organe de mesure 6 et est configuré pour détecter l'apparition d'un court-circuit

à partir du paramètre mesuré, tel que le courant électrique. De préférence, l'organe de contrôle 7 est configuré pour comparer la mesure à une valeur seuil prédéterminée, stockée par exemple dans une base de données de l'organe de contrôle 7, afin de détecter un dépassement de seuil. De préférence, le pilotage des organes de protection 5 dans l'état de protection P2 est mis en œuvre de manière automatique à partir de l'analyse des paramètres mesurés, ce qui permet une protection rapide et efficace. De préférence, les paramètres sont mesurés de manière continue ou périodique pour une détection précoce et automatique de l'apparition d'un court-circuit. Le pilotage de l'état des organes de protection 5 peut alternativement ou de manière complémentaire être mis en œuvre de manière manuelle par un opérateur.

[0060] En référence aux figures 5 et 6, l'invention concerne également un procédé de protection, dans lequel chaque organe de protection 5 est initialement dans l'état inactif P1 de manière à laisser circuler le courant électrique dans chaque phase 10 du stator 1 de la machine électrique 3, le procédé comprenant :

- une étape de détection E1 d'un court-circuit CC entre deux phases 10 du stator 1, et
- une étape d'activation E2 de l'état de protection P2 d'un organe de protection 5, afin d'interrompre la circulation du courant électrique dans une phase 10 du stator 1 touchée par le court-circuit CC.

[0061] Le procédé de protection est mis en œuvre durant le fonctionnement de la machine électrique 3, le fonctionnement étant indifféremment de type moteur ou générateur. Avant l'étape de détection E1, l'ensemble des organes de protection 5 sont dans l'état inactif P1 de manière à permettre la circulation normale du courant électrique dans chaque phase 10 du stator 1.

[0062] En référence à la [Fig.5], l'étape de détection E1 est de préférence mise en œuvre à partir d'une ou plusieurs mesures d'un paramètre de la machine électrique 3, par exemple le courant électrique circulant dans chaque phase 10 du stator 1 ou la somme des courants électriques circulant dans toutes les phases 10. D'autres paramètres peuvent être mesurés, comme la vitesse de rotation et la position du rotor. Les organes de mesure 6, après avoir acquis ces mesures, les transmettent à l'organe de contrôle 7 qui les compare à un seuil prédéterminé, un dépassement du seuil correspondant à un court-circuit. Une telle détection est avantageusement automatique et précoce. De manière alternative ou complémentaire, la détection peut également être opérée par un opérateur.

[0063] En référence à la [Fig.6], l'étape d'activation E2 est mise en œuvre après l'étape de détection E1, de préférence immédiatement à la suite de cette étape. Selon un premier aspect de l'invention illustré sur la [Fig.6], l'organe de contrôle 7 transmet un signal de commande à l'organe de protection 5 d'une phase 10 touchée par le court-circuit CC

pour activer l'état de protection P2. Les autres organes de protection 5 restent dans l'état inactif P1. L'activation de l'état de protection P2 d'un unique organe de protection 5 situé sur la boucle de court-circuit suffit avantageusement pour interrompre le courant électrique généré par le court-circuit. Dans l'exemple de la [Fig.5], le court-circuit CC touche deux phases 10 du stator 1, l'une équipée d'un organe de protection 5 et l'autre non, pour minimiser l'encombrement. L'étape d'activation E2 est ainsi mise en œuvre sur l'unique organe de protection 5 présent sur la boucle de court-circuit. Dans le cas d'un court-circuit affectant deux phases 10 équipées chacune d'un organe de protection 5, l'étape d'activation E2 peut être mise en œuvre sur l'un des deux organes de protection 5 uniquement, et suffit à isoler proprement la phase en défaut. Dans le cas d'une machine électrique 3 avec plus de trois phases 10, par exemple cinq ou six, si une phase sur les N phases de la machine est en défaut, cela permet en outre de continuer de fonctionner de manière dégradée sur les N-1 phases 10 restantes. Cela permet avec une machine électrique 3 conçue pour de continuer à fonctionner dès que la phase perdue est correctement isolée.

[0064] De préférence, l'étape de détection E1 permet également de déterminer les phases 10 du stator 1 touchées par le court-circuit, à savoir les deux phases où se trouve le point de court-circuit CC dans l'exemple de la [Fig.5] d'un court-circuit entre deux bobinages 12. Dans l'exemple de la [Fig.5] d'un organe de mesure dédié à chaque phase 10, ceci est avantageusement réalisé à partir de la position des organes de mesure 6 où une mesure anormale a été mesurée. La [Fig.6] illustre un exemple où le point de court-circuit apparaît entre deux transistors de puissance de l'onduleur/redresseur 4.

[0065] Selon un deuxième aspect de l'invention, lors de l'étape d'activation E2, le courant électrique est interrompu dans toutes les phases 10 équipées d'un organe de protection 5. Ceci évite avantageusement de devoir localiser le court-circuit CC et permet une mise en protection d'autant plus rapide et fiable. Autrement dit, en reprenant l'exemple de la [Fig.6], l'état de protection P2 de chaque organe de protection 5 est activé. Dans l'exemple de la [Fig.8], l'activation de l'état de protection P2 de l'organe de protection 5 multipolaire permet à lui seul de suspendre le courant électrique dans toutes les phases 10.

[0066] Suite à la mise en œuvre de l'étape d'activation E2, le courant électrique circulant dans la phase 10 du stator 1 où est monté l'organe de protection 5 est interrompu. La boucle de court-circuit est ainsi ouverte, ce qui empêche tout risque de surchauffe et d'endommagement des composants du stator 1. Une telle solution présente l'avantage de pouvoir être mise en œuvre de manière précoce, simple et rapide, ce qui évite toute exposition à la chaleur indésirable des composants. En outre, une telle solution présente un coût faible et est d'intégration aisée, notamment grâce au positionnement

du point neutre 14 hors de la machine électrique 3.

Revendications

[Revendication 1] Machine électrique (3) pour un aéronef, comprenant un stator (1) et un rotor (2) monté mobile en rotation relativement au stator (1), ledit rotor (2) comprenant au moins un aimant permanent, ledit stator (1) comprenant un carter extérieur (15) et au moins trois phases (10), chaque phase (10) comprenant un bobinage (12), une branche de commande (11) et une branche de neutre (13), lesdites branches de commande (11) étant configurées pour être reliées à un dispositif de conversion de puissance (4), lesdites branches de neutre (13) étant reliées ensemble en un point neutre (14), ladite machine électrique (3) étant **caractérisée en ce qu'**elle comprend au moins un organe de protection (5) monté sur la branche de neutre (13) d'au moins une phase (10), au moins une portion de la branche de neutre (13) de chaque phase (10) sur laquelle est monté l'organe de protection (5) s'étendant de manière externe au carter extérieur (15) du stator (1), chaque organe de protection (5) comportant :

- un état inactif (P1), dans lequel l'organe de protection (5) autorise la circulation du courant électrique dans chaque phase (10) sur la branche de neutre de laquelle l'organe de protection (5) est monté, et
- un état de protection (P2), dans lequel l'organe de protection (5) interrompt la circulation du courant électrique dans chaque phase (10) sur la branche de neutre de laquelle l'organe de protection (5) est monté, de manière à protéger la machine électrique (3) en cas de court-circuit (CC).

[Revendication 2] Machine électrique (3) selon la revendication 1, dans laquelle le point neutre (14) étant positionné de manière externe au carter extérieur (15) du stator (1).

[Revendication 3] Machine électrique (3) selon l'une des revendications 1 et 2, dans laquelle la branche de neutre (13) de chacune d'une pluralité de phases (10) est équipée d'un organe de protection (5), de préférence, d'au moins N-1 phases (10) avec N désignant le nombre de phases (10) du stator (1).

[Revendication 4] Machine électrique (3) selon l'une des revendications 1 à 3, comportant une pluralité d'organes de protection (5) dipolaires, chaque organe de

protection (5) étant monté sur la branche de neutre (13) d'une phase (10).

[Revendication 5] Machine électrique (3) selon l'une des revendications 1 à 3, comportant un unique organe de protection (5) multipolaire monté sur la branche de neutre (13) de chacune d'une pluralité de phases (10), de préférence de toutes les phases (10) du stator (1).

[Revendication 6] Machine électrique (3) selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle chaque organe de protection (5) comprend un interrupteur pour chaque phase (10) sur laquelle l'organe de protection (5) est monté, de préférence sous la forme d'un contacteur électromécanique, un contacteur statique ou un fusible pyrotechnique.

[Revendication 7] Ensemble d'une machine électrique (3) selon l'une des revendications 1 à 6 et d'un dispositif de conversion de puissance (4), ledit dispositif de conversion de puissance (4) étant relié à la branche de commande (11) de chaque phase (10) du stator (1).

[Revendication 8] Ensemble selon la revendication 7, dans lequel le dispositif de conversion de puissance (4) comprend un carter extérieur (40), le point neutre (14) étant positionné de manière interne au carter extérieur (40) du dispositif de conversion de puissance (4).

[Revendication 9] Aéronef comportant une machine électrique (3) selon l'une des revendications 1 à 6.

[Revendication 10] Procédé de protection d'une machine électrique (3) selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel chaque organe de protection (5) est initialement dans l'état inactif (P1) de manière à laisser circuler le courant électrique dans chaque phase (10) du stator (1), ledit procédé comprenant :

- une étape de détection (E1) d'un court-circuit (CC) entre deux phases (10) du stator (1), et
- une étape d'activation (E2) de l'état de protection (P2) d'au moins un organe de protection (5), afin d'interrompre la circulation du courant électrique dans au moins une phase (10) du stator (1) touchée par le court-circuit (CC), de manière à protéger la machine électrique (3).

[Fig. 1]

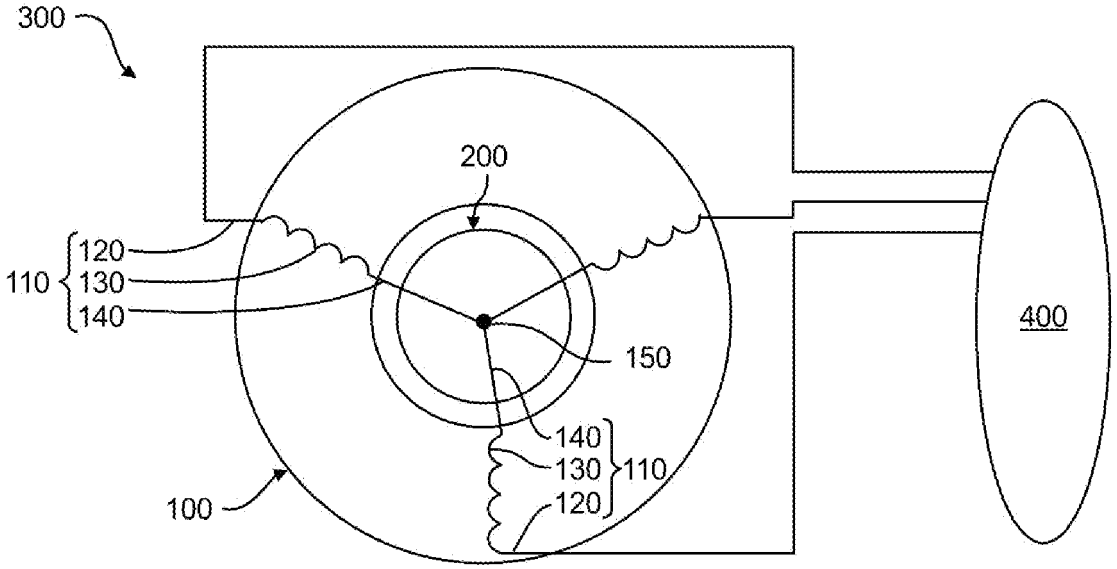


FIG. 1

[Fig. 2]

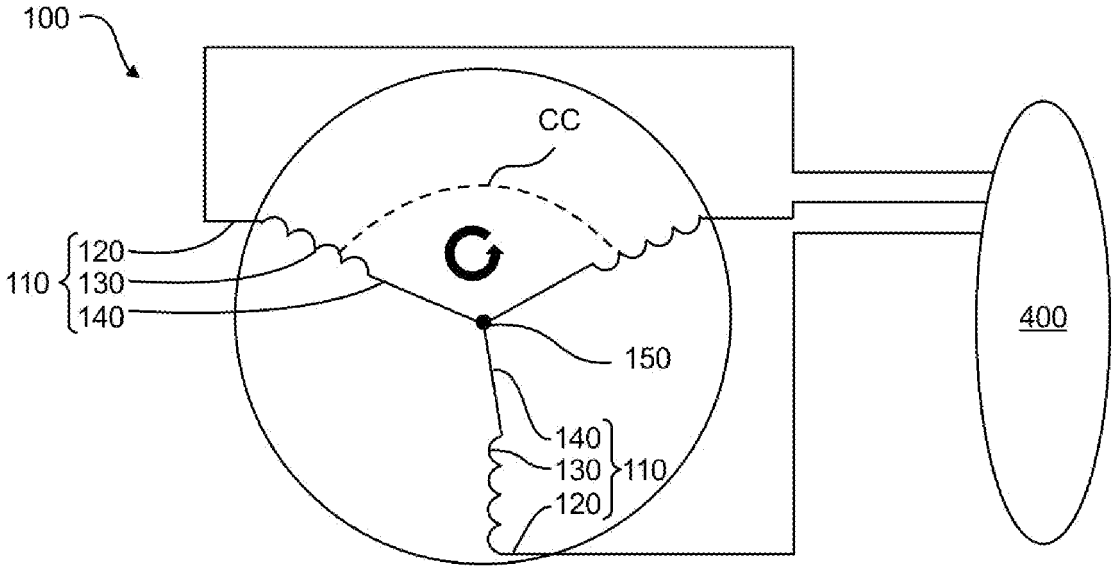


FIG. 2

[Fig. 3]

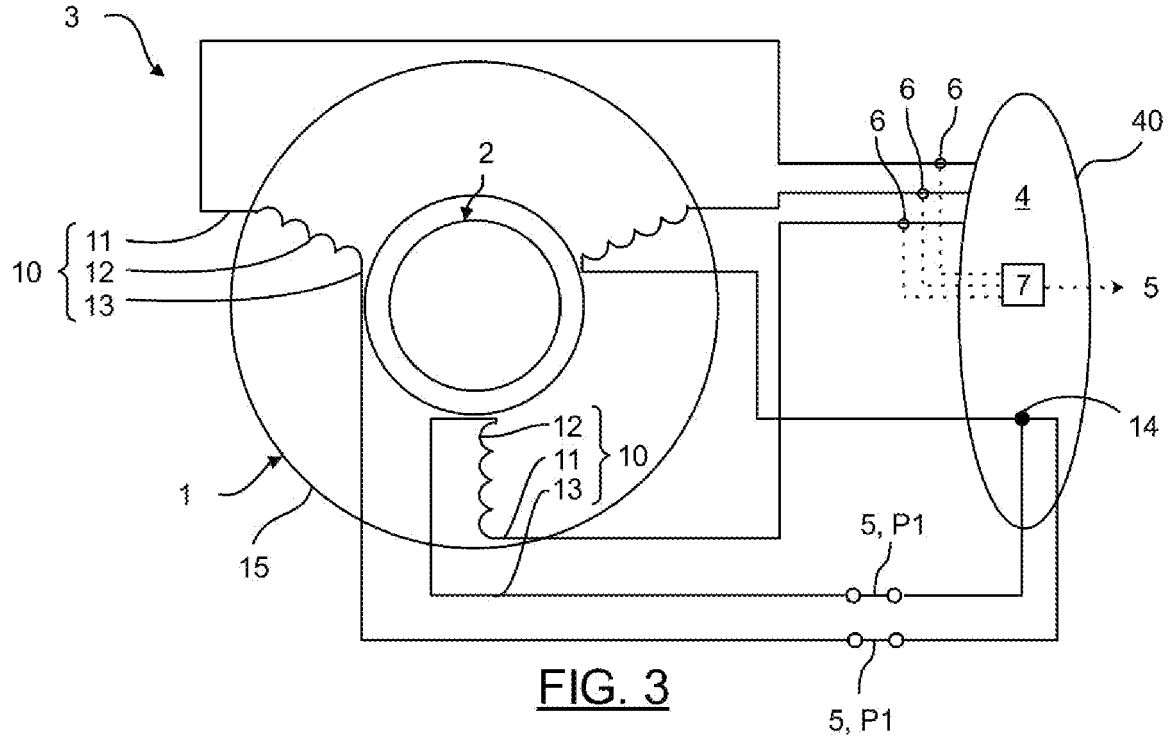


FIG. 3

[Fig. 4]

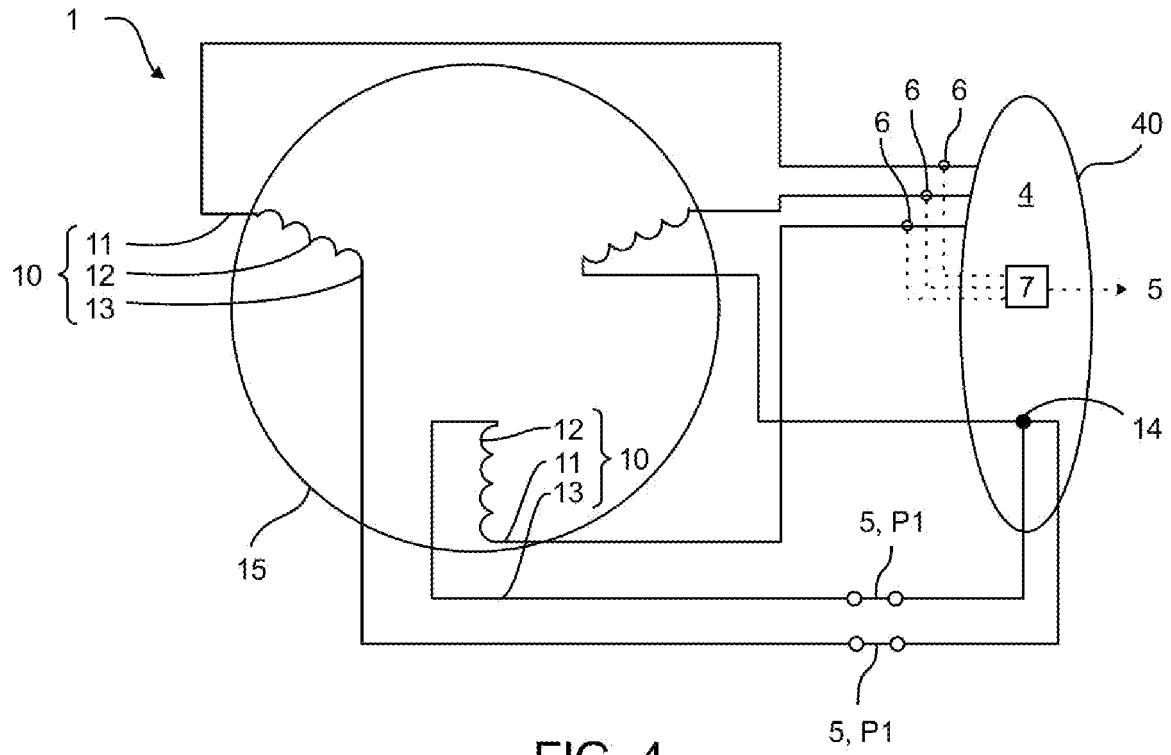


FIG. 4

[Fig. 5]

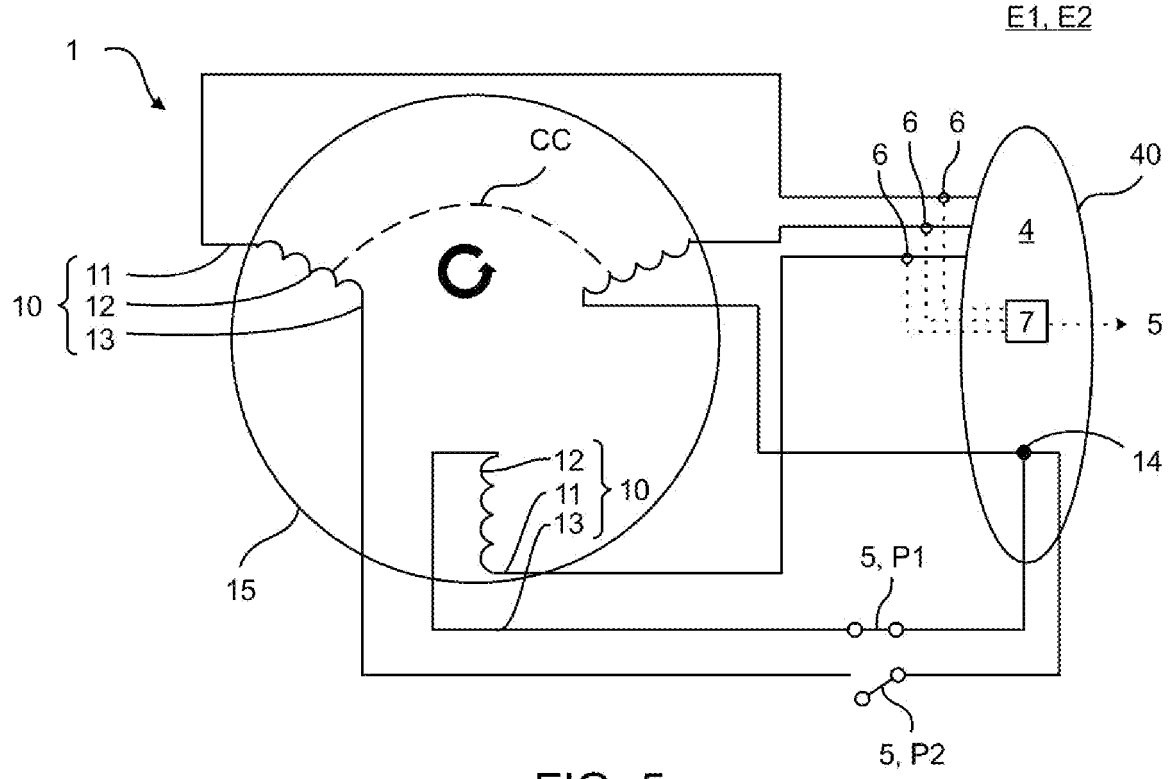


FIG. 5

[Fig. 6]

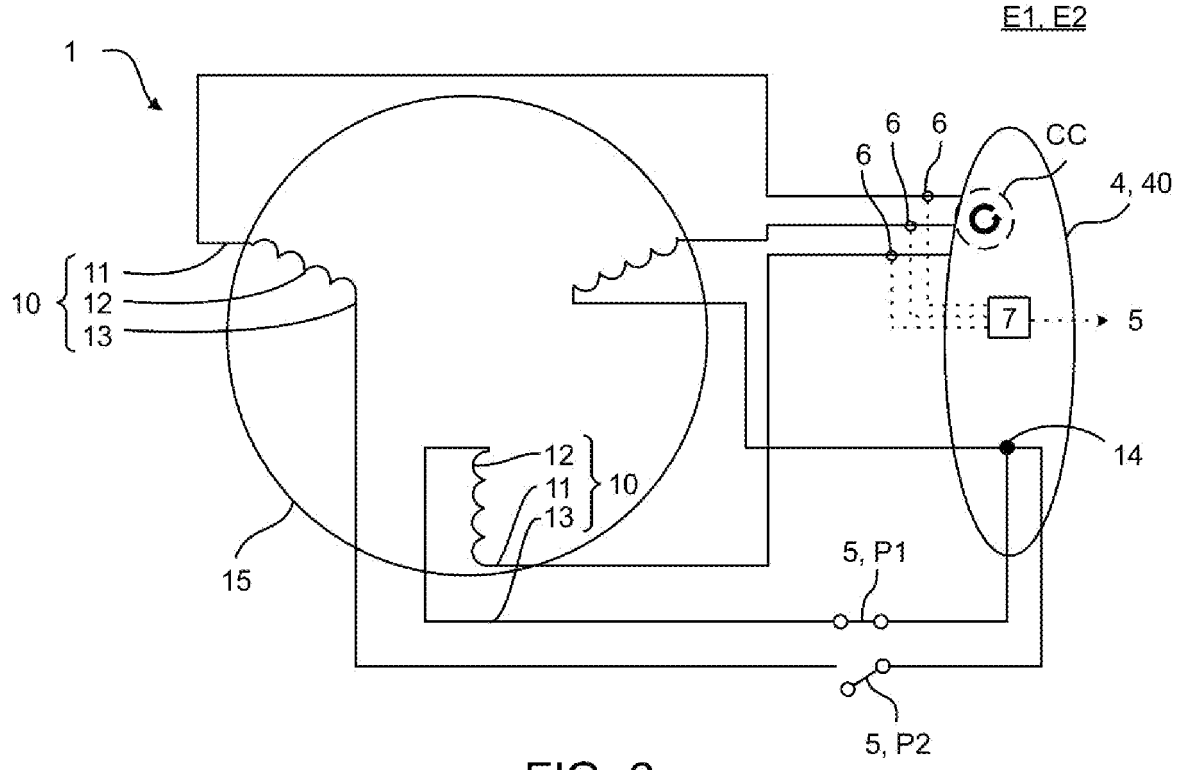


FIG. 6

[Fig. 7]

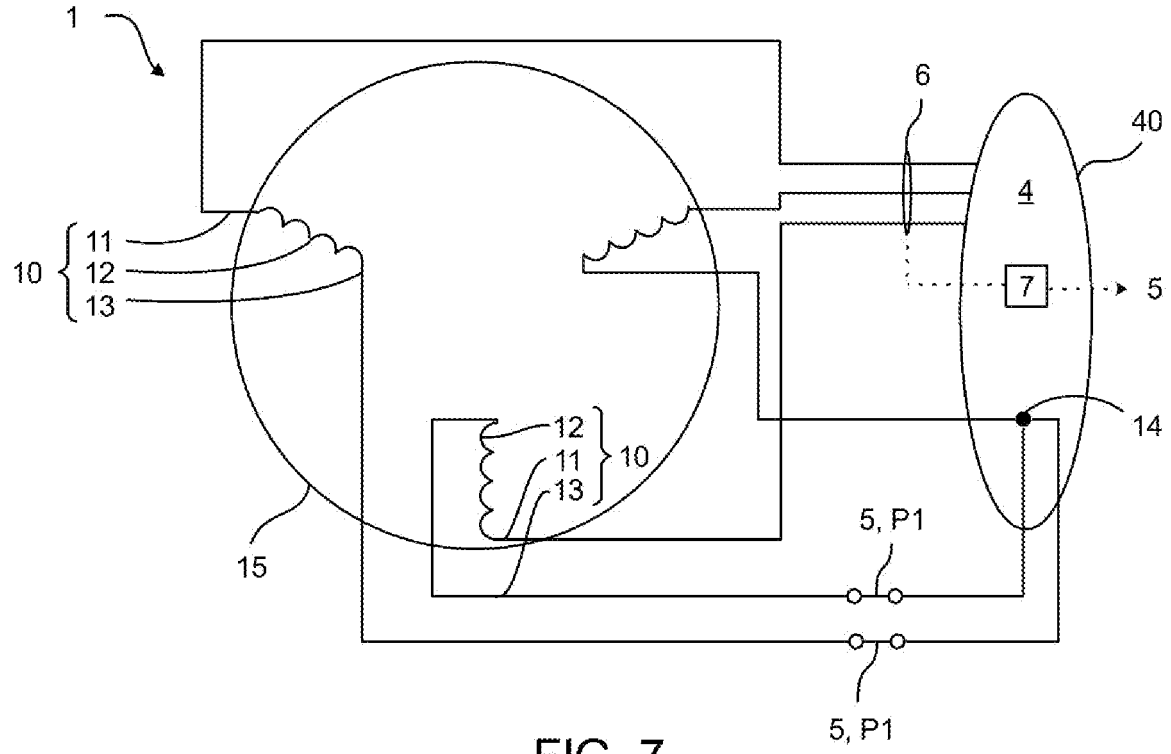


FIG. 7

[Fig. 8]

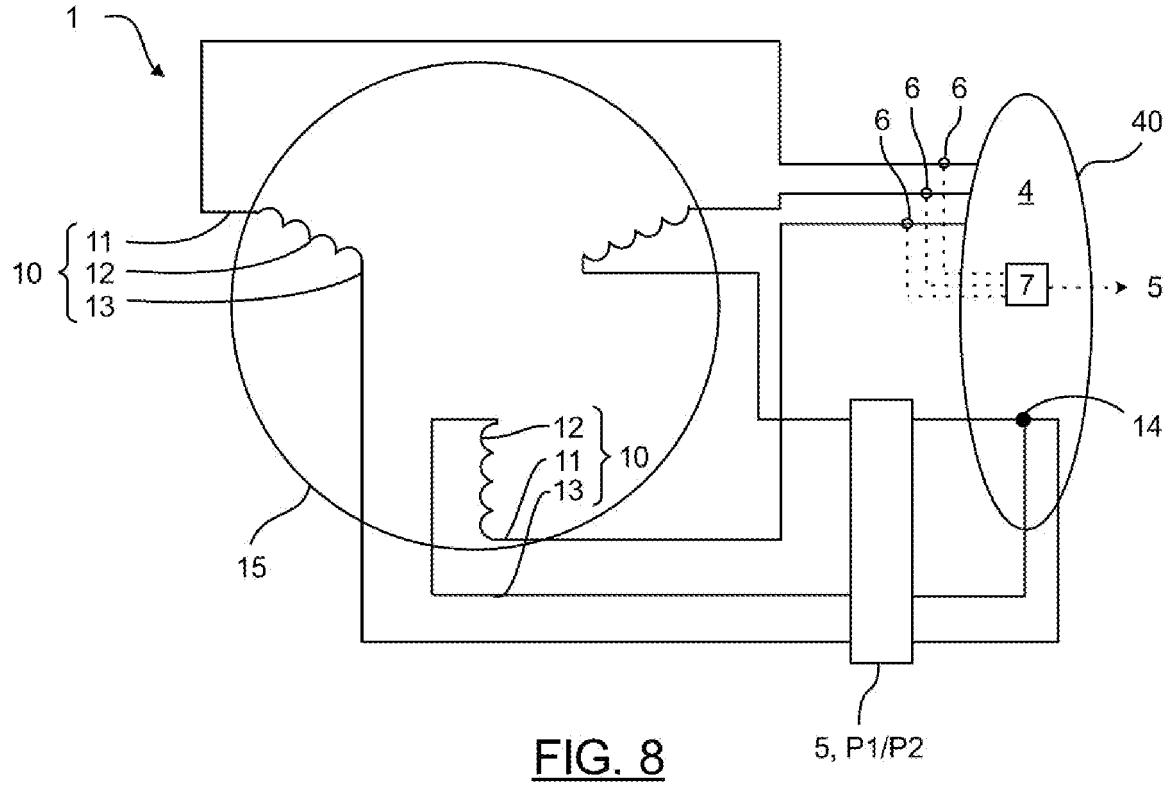


FIG. 8

RAPPORT DE RECHERCHE

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 (nouveauté) 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

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

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] 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.

[x] 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

NEANT

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

US 2014/268460 A1 (BANERJEE SWARNAB [US] ET AL) 18 septembre 2014 (2014-09-18)

FR 3 079 361 A1 (AIRBUS OPERATIONS SAS [FR]) 27 septembre 2019 (2019-09-27)

EP 2 560 277 A1 (SIEMENS AG [DE]) 20 février 2013 (2013-02-20)

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

NEANT