

⑤④ Machine électrique intégrant des matériaux à changement de phase.

②② Date de dépôt : 28.12.21.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *THALES Société anonyme* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 30.06.23 Bulletin 23/26.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 08.12.23 Bulletin 23/49.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : LATEB Ramdane et MAGNO Jose-
Carlos.

⑦③ Titulaire(s) : *THALES Société anonyme*.

⑦④ Mandataire(s) : ATOUT PI LAPLACE.



Description

Titre de l'invention : Machine électrique intégrant des matériaux à changement de phase.

- [0001] L'invention concerne le refroidissement d'un élément produisant de la chaleur. L'invention trouve une application dans le domaine des machines électriques et de l'électronique de puissance. En effet, il est connu que les éléments électriques ainsi que l'électronique de puissance engendrent des pertes qui se traduisent par une production de chaleur qu'il est nécessaire d'évacuer. L'évacuation de cette chaleur, garantissant un bon fonctionnement des éléments cités précédemment, devient donc une priorité. L'invention trouve une application particulière dans le domaine de l'aéronautique où la tendance est d'augmenter le nombre d'équipements électriques et donc la puissance électrique embarquée.
- [0002] Un moteur de propulsion d'aéronef comprend des machines électriques comprenant un rotor ou partie tournante et un stator ou partie fixe. Les machines électriques peuvent être utilisées soit en moteur soit en générateur. Le stator comprend un circuit magnétique et un circuit électrique constitué d'un ensemble de bobinages composé de fils conducteurs.
- [0003] De manière connue, de telles machines électriques présentent des phases de fonctionnement transitoires rencontrées principalement lors de séquences de démarrage ou d'accélération du moteur d'aéronef ou de certains équipements que comporte le moteur d'aéronef.
- [0004] Pendant ces phases transitoires, la machine électrique ainsi fortement sollicitée dissipe une grande quantité de chaleur qui peut lui être préjudiciable. En effet, la chaleur est principalement dissipée dans les circuits électriques et/ou sur les aimants permanents s'ils sont compris dans la machine électrique.
- [0005] Comme dit précédemment, les machines électriques peuvent alors générer beaucoup de chaleur. En outre, le refroidissement nécessaire à l'évacuation de cette chaleur est limité par certaines contraintes. L'encombrement ainsi que la masse ajoutée par un éventuel dispositif de refroidissement sont notamment limités par les spécificités d'un véhicule embarquant une machine électrique à forte densité de puissance où le refroidissement est généralement limité à de l'air. Par exemple, pour des aéronefs tout électrique ou hybrides, il est souhaitable d'obtenir un dispositif capable de refroidir les éléments électriques doté d'une faible masse et compact.
- [0006] Dans le domaine des avions électriques avec des systèmes de propulsion électrique, plusieurs approches ont été adoptées.
- [0007] Le refroidissement à air est la méthode de refroidissement généralement préférée

pour refroidir des machines électriques ou des ensembles de machines électriques et d'électroniques de puissance. En effet, de manière connue, ces machines électriques sont dotées d'une carcasse à ailettes ou à canaux de refroidissement permettant un échange convectif avec un flux d'air balayant la carcasse. L'air circulant soit grâce à un ventilateur intégré exclusivement à cet effet soit grâce à l'air induit par une hélice monté en amont de la machine électrique. Néanmoins, ce genre de technologie présente l'inconvénient de ne pas permettre l'amélioration de la puissance massique du système en raison des limites du refroidissement par l'air et de la quantité limitée de calories à évacuer avec ce type de refroidissement. L'utilisation de matériaux comme l'aluminium ou le cuivre, à haute conductivité thermique, au niveau de la carcasse et de vitesses d'air garantissant une convection forcée ne suffit parfois pas.

[0008] Afin de permettre un meilleur refroidissement, il peut être privilégié d'opter pour un refroidissement forcé avec un fluide, comme par exemple de l'eau ou de l'huile, permettant d'avoir des coefficients d'échanges assez importants. Toutefois, le gain en masse sur le moteur et/ou l'électronique de puissance est alors important du fait de l'utilisation du système de refroidissement encombrant et lourd qui nécessite un échangeur, des pompes et un fluide réfrigérant.

[0009] Il est également suggéré d'utiliser des matériaux à changement de phase comme alternative au liquide de refroidissement de sorte à emmagasiner la chaleur jusqu'à un changement de phase (solide-liquide ou liquide-gazeux) de sorte à « conduire » la chaleur vers un autre flux réfrigérant extérieur au système. C'est notamment le cas des brevets EP 2523 314 B1 et US 2020/0076262 A1. Néanmoins, ces solutions nécessitent d'onerieuses modifications pour la mise en œuvre et nécessitent par exemple d'augmenter le volume de l'encoche à l'intérieur du stator. Par conséquent, le volume occupé par la machine électrique et donc son poids augmentent, ce qui n'est pas souhaitable. De plus, les matériaux à changement de phase selon ces documents n'échangent pas directement avec les points chauds du bobinage, ce qui nuit à l'extraction de chaleur en provenance de ces points chauds.

[0010] L'invention vise à pallier tout ou partie des problèmes cités plus haut en proposant des dispositifs compacts de machines électriques et d'électronique de puissance :

- qui présentent une puissance spécifique élevée,
- qui ne nécessitent qu'un refroidissement à air ou accessoirement forcé au travers d'une roue de ventilation ou d'une hélice portée(s) par l'arbre du moteur,
- qui est indépendant de tout dispositif de refroidissement déporté avec un fluide autre que le fluide de l'environnement dans lequel évolue le système embarquant le dispositif puissance,
- qui fonctionne en surcharge de manière ponctuelle ou sur un cycle in-

termittent avec des phases de charge ou de surcharge significative et des phases de repos ou de charge partielle ou minimale.

- [0011] A cet effet, l'invention a pour objet une machine électrique comprenant un stator et un rotor configuré pour être entraîné en rotation par le stator, le stator comprenant une carcasse dont s'étend au moins une encoche statorique parallèlement à un premier axe de rotation du rotor, la machine électrique comprenant des bobinages d'éléments conducteurs s'étendant concentriquement dans l'au moins une encoche statorique du stator de sorte à former à chaque extrémité du stator, le long du premier axe de rotation du rotor, une tête de bobinage, la machine électrique comprenant au moins une cale d'encoche disposée dans l'encoche statorique de sorte à isoler physiquement les éléments conducteurs du bobinage du rotor, la machine électrique comprenant au moins un dissipateur de chaleur disposé à l'intérieur d'une encoche statorique entre les éléments conducteurs et/ou dans la cale d'encoche, le dissipateur de chaleur s'étendant depuis la tête de bobinage d'une première extrémité du stator le long du premier axe de rotation du rotor jusqu'à une tête de bobinage d'une deuxième extrémité du stator, le dissipateur de chaleur comprenant un matériau à changement de phase.
- [0012] Selon un aspect de l'invention, le matériau à changement de phase est configuré pour subir une fusion selon une température supérieure à 100 °C.
- [0013] Selon un aspect de l'invention, l'encoche statorique comprend un séparateur de bobine apte à assurer l'isolation électrique entre les éléments conducteurs, le dissipateur de chaleur étant compris dans le séparateur de bobine.
- [0014] Selon un aspect de l'invention, l'encoche statorique comprend un isthme au-delà de la cale d'encoche selon un deuxième axe, perpendiculaire au premier axe, en direction du premier axe de rotation du rotor, le dissipateur de chaleur étant compris dans l'isthme de l'encoche statorique.
- [0015] Selon un aspect de l'invention, l'encoche statorique comprend une fente traversant le stator en direction d'un milieu extérieur à la machine électrique selon le deuxième axe, le matériau à changement de phase du dissipateur de chaleur étant compris dans la fente.
- [0016] Selon un aspect de l'invention, le dissipateur de chaleur est une matrice poreuse.
- [0017] Selon un aspect de l'invention, le bobinage des éléments conducteurs est encapsulé dans un matériau isolant diélectrique et conducteur thermique.
- [0018] Selon un aspect de l'invention, le matériau à changement de phase est un matériau à base d'aluminium, un sel ou une cire de la famille des paraffines.
- [0019] Selon un aspect de l'invention, la machine électrique comprend une couronne thermique en contact avec le stator, la couronne thermique comprenant des ailettes de refroidissement.
- [0020] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la

description détaillée d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple, description illustrée par le dessin joint dans lequel :

- [0021] [Fig.1] représente une vue selon un plan perpendiculaire à un axe de rotation d'une machine électrique tournante munie d'au moins un bobinage d'éléments conducteurs et d'un dissipateur de chaleur selon l'invention ;
- [0022] [Fig.2] représente une vue agrandie d'une extrémité du stator de la [Fig.1], d'une tête de bobinage d'éléments conducteurs et du dissipateur de chaleur selon l'invention ;
- [0023] [Fig.3] représente une vue schématique d'une encoche du stator selon l'invention ;
- [0024] [Fig.4a] représente une vue schématique d'une première variante de l'encoche du stator de la [Fig.3] ;
- [0025] [Fig.4b] représente une vue schématique d'une deuxième variante de l'encoche du stator de la [Fig.3] ;
- [0026] [Fig.4c] représente une vue schématique d'une troisième variante de l'encoche du stator de la [Fig.3] ;
- [0027] [Fig.4d] représente une vue schématique d'une quatrième variante de l'encoche du stator de la [Fig.3] ;
- [0028] [Fig.5a] représente une vue schématique d'une deuxième configuration de l'encoche du stator ;
- [0029] [Fig.5b] représente une vue schématique d'une variante de la deuxième configuration de l'encoche du stator ;
- [0030] [Fig.5c] représente une vue schématique d'une troisième variante de la deuxième configuration de l'encoche du stator ;
- [0031] [Fig.6] représente une vue schématique d'un stator d'une machine électrique munie d'un échangeur thermique ;
- [0032] Par souci de clarté, les mêmes éléments porteront les mêmes repères dans les différentes figures.
- [0033] Dans ce qui suit, le terme « matériau à changement de phase » désigne un matériau capable de changer d'état physique dans une plage de température donnée et qui absorbera une grande quantité d'énergie thermique de son environnement environnant pour passer de l'état solide à l'état liquide ou de l'état liquide à l'état gazeux et qui restitue une partie de l'énergie thermique lorsque le matériau se refroidit en passant de l'état liquide à l'état solide ou de l'état gazeux à l'état liquide.
- [0034] Ces matériaux à changement de phase peuvent être des sels qui peuvent être composés de nitrate ou d'hydroxyde.
- [0035] Le passage de la phase solide à la phase liquide du matériau s'effectue à une température supérieure à cent degrés Celsius jusqu'à une température de l'ordre de 300°C.
- [0036] La [Fig.1] représente un stator 2 d'une machine électrique 1 comprenant également un rotor 3 configuré pour être entraîné en rotation par le stator 2. Il est possible de

mettre en œuvre l'invention avec toute autre type de source de chaleur, avec ou sans partie tournante, que cette source de chaleur soit électrique ou mécanique. Généralement, une machine électrique capable de générer de la puissance est composée d'une partie mobile ou rotor tournant autour d'un premier axe A1 et d'une partie fixe ou stator 2. Lors de ces phases de production de puissance électrique en mode générateur, ou mécanique en mode moteur, des pertes sont engendrées sous forme de chaleur qu'il est nécessaire d'évacuer. Le stator 2 comprend une carcasse 21 dont s'étend au moins une encoche statorique 20 parallèlement au premier axe A1 de rotation du rotor. L'encoche statorique 20 prend la forme d'une extrusion formant un volume creux 200 dans le stator 2. Plus précisément, le stator 2 comprend un ensemble d'encoches statorique 20 et de dents 22 juxtaposés les uns aux autres de sorte qu'une dent 22 soit disposée entre deux encoches statorique 20 et qu'une encoche statorique 20 soit disposée entre deux dents 22. La machine électrique comprend un bobinage 4 d'éléments conducteurs s'étendant concentriquement dans l'au moins une encoche statorique 20, autour d'une dent 22, du stator 2 de sorte à générer à chaque extrémité 24 du stator 2, le long du premier axe A1 de rotation du rotor, une tête de bobinage 42. Ainsi, chaque volume creux 200 est rempli d'éléments conducteurs du bobinage 4 qui s'enroulent autour d'une dent 22 adjacente formant la tête de bobinage 42 sur une première extrémité 24 du stator 2 et sur une deuxième extrémité 26 (représenté en [Fig.6]) du stator 2.

[0037] La machine électrique 1 comprend également au moins une cale d'encoche 6. La cale d'encoche 6 disposée dans l'encoche statorique 20 de sorte à isoler physiquement et à protéger électriquement les éléments conducteurs du bobinage 4 du rotor 3.

[0038] De plus, la machine électrique 1 comprend au moins un dissipateur de chaleur 8 disposé à l'intérieur d'une encoche statorique 20 entre les éléments conducteurs de bobinage 4 et/ou dans la cale d'encoche 6. Le dissipateur de chaleur 8 s'étend depuis une tête de bobinage 42 des têtes de bobinage 42 de la première extrémité 24 du stator 2 le long du premier axe A1 de rotation du rotor 3 jusqu'à la tête de bobinage 42 des têtes de bobinage 42 de la deuxième extrémité 26 du stator 2 le long du premier axe A1 de rotation du rotor 3. Plus précisément, le dissipateur de chaleur 8 est positionné entre deux conducteurs électriques de bobinage 4 de sorte à être au plus proche de la source de chaleur, au voisinage du bobinage 4. Le dissipateur de chaleur 8 comprend un matériau à changement de phase.

[0039] Ainsi, le dissipateur de chaleur 8 permet le transfert de la chaleur en provenance du bobinage 4 à une carcasse dissipatrice de chaleur externe à la machine électrique 1. Pour ce faire, le dissipateur de chaleur 8 comprenant le matériau à changement de phase est capable de stocker de grandes quantités de chaleur pendant une transition de phase, à savoir une fusion, du matériau à changement de phase. En outre, le matériau à

changement de phase est configuré pour subir une fusion selon une température supérieure à 100 °C et est donc défini par température de fusion supérieure à 100 °C. Le matériau à changement de phase est un matériau avec une chaleur de fusion élevée, qui fond et se solidifie à une température de transition appropriée. A cette température de transition appropriée, le matériau à changement de phase dans le dissipateur de chaleur 8 continue d'absorber la chaleur avec très peu d'augmentation de température jusqu'à ce que tout le matériau à changement de phase fonde ou que la quantité maximale de chaleur produite par le bobinage 4 s'estompe.

[0040] Le dissipateur de chaleur 8 permet l'accumulation d'énergie thermique durant certaines phases transitoires où une forte intensité traverse les conducteurs électriques de bobinage 4. L'accumulation d'énergie thermique se fait à température stable, par exemple à la température de fusion du matériau du dissipateur de chaleur 8. En dehors de ces phases transitoires de forte dissipation d'énergie, le matériau du dissipateur de chaleur 8 renvoie de l'énergie thermique notamment vers la carcasse 21 du stator 2 afin d'évacuer cette énergie vers l'extérieur de la machine électrique 1. En étant situé au contact direct des conducteurs électriques de bobinage 4 ou dans leur voisinage immédiat, le transfert thermique des conducteurs électriques de bobinage 4 vers le dissipateur de chaleur 8 se fait avec une inertie thermique plus faible que le transfert thermique de l'ensemble de la machine électrique 1 vers l'extérieur. La présence du dissipateur de chaleur 8 au voisinage immédiat ou en contact avec les conducteurs électriques de bobinage 4 permet de lisser les pics d'émission de chaleur par les conducteurs électriques de bobinage 4 en limitant les risques d'augmentation de température.

[0041] A titre d'exemple indicatif, le matériau à changement de phase du dissipateur de chaleur 8 se présente sous la forme de sels ou sous la forme de composés organiques ou eutectiques ou tout matériau permettant de stocker de grandes quantités d'énergie dans le matériau à changement de phase à la température de transition, présentant des températures de changement de phase solide-liquide, adaptées selon les contraintes d'utilisation de la machine électrique, supérieures à une centaine de degrés Celsius, typiquement entre 100 °C et 300°C, tel qu'un matériau habituellement utilisé pour le brasage, comme l'aluminium, le zinc, un matériau à base d'étain ou de plomb à basse température, un sel ou une cire de la famille des paraffines.

[0042] Le dissipateur de chaleur 8 prend la forme d'une couronne circulaire 81 dont le rayon est équivalent à une longueur entre le premier axe A1 de rotation du rotor 3 et un fond 202 de l'encoche statorique 20. Une première portion 82 de la couronne circulaire 81 est ainsi incrustée dans les interstices formant les encoches statoriques 20 alors qu'une deuxième portion 84 de la couronne circulaire 81 est en contact avec les dents 22 juxtaposées selon le premier axe A1 de rotation du rotor 3. La première portion 82 s'étend

alors de la première extrémité 24 du stator 2 le long du premier axe A1 de rotation du rotor 3 jusqu'à la deuxième extrémité 26 du stator 2.

- [0043] Comme énoncé précédemment, le dissipateur de chaleur 8 comprend une troisième portion 86 s'étendant radialement par rapport à la couronne circulaire 81 en direction du premier axe A1 de rotation du rotor 3. Plus précisément, la troisième portion 86 du dissipateur de chaleur 8 en matériau à changement de phase s'étend à partir de la première portion 82, à l'intérieur de l'encoche statorique 20, en direction du premier axe A1 de rotation du rotor 3, de manière radiale par rapport à la couronne circulaire 81 et de sorte à être positionnée entre deux bobinages 4 adjacents l'un par rapport à l'autre. Ainsi, chaque troisième portion 86 est positionnée, selon un plan perpendiculaire au premier axe A1 de rotation du rotor 3, comme représenté en [Fig.1], entre un premier bobinage 41 d'éléments conducteurs et un deuxième bobinage 43 d'éléments conducteurs. Selon une variante préférentielle, la troisième portion 86 de matériau à changement de phase est en contact direct avec les deux bobinages 4 adjacents, c'est-à-dire le premier bobinage 41 et le deuxième bobinage 43, de sorte à optimiser l'échange thermique en provenance du premier bobinage 41 et du deuxième bobinage 42 et en direction du dissipateur de chaleur 8, par l'intermédiaire de la troisième portion 86.
- [0044] En outre, la troisième portion 86 de matériau à changement de phase du dissipateur de chaleur 8 s'étend en direction du premier axe A1 de rotation du rotor 3 jusqu'à être en contact avec la cale d'encoche 6.
- [0045] Le dissipateur de chaleur 8 peut également comprendre une quatrième portion 88 s'étendant à l'intérieur de la cale d'encoche 6 de sorte à augmenter la capacité d'extraction de chaleur du dissipateur de chaleur 8.
- [0046] Selon une variante, la troisième portion 86 en matériau à changement de phase est distante de la cale d'encoche 6.
- [0047] Pour maintenir le matériau à changement de phase dans un volume donné, ce dernier peut être mélangé dans une matrice poreuse. Dès lors, le dissipateur de chaleur 8 est une matrice poreuse. Le matériau à changement de phase peut également être encapsulé dans une capsule flexible dont les parois présentent suffisamment de conductivité thermique pour favoriser l'échange de chaleur entre le bobinage 4 et le matériau à changement de phase. Le dissipateur de chaleur 8 est alors une capsule flexible présentant ces caractéristiques thermiques.
- [0048] La [Fig.2] représente une vue agrandie de la première extrémité 24 du stator 2 de la [Fig.1], d'au moins une tête de bobinage 42 d'éléments conducteurs et du dissipateur de chaleur 8. Or, comme représenté en [Fig.2], le dissipateur de chaleur 8 encadre chaque tête de bobinage 42 par l'intermédiaire de la deuxième portion 84 de matériau à changement de phase, de la troisième portion 86 de matériau à changement de phase

86 et de la quatrième portion 88 de matériau à changement de phase permettant d'évacuer la chaleur en provenance de chaque tête de bobinage 42.

- [0049] Le dissipateur de chaleur 8 permet donc d'emmagasinier l'excès de pertes et donc de calories généré par une éventuelle surcharge momentanée et instantanée en provenance de chaque bobinage 4 et de chaque tête de bobinage 42. Le dissipateur de chaleur 8 évite donc une surélévation des températures au niveau du bobinage 4 et des têtes de bobinage 42 qui peut, en l'absence du dissipateur de chaleur 8, risquer de les détériorer ou de réduire leur durée de vie. La chaleur est ensuite restituée dans les phases de charge normale et/ou de charge partielle.
- [0050] De préférence, la deuxième portion 84 de matériau à changement de phase, la troisième portion 86 de matériau à changement de phase et la quatrième portion 88 de matériau à changement de phase décrivent, ensembles, une forme de sorte à encadrer les têtes de bobinage 42 comme une sorte d'anneau.
- [0051] La [Fig.3] représente une vue schématique d'une première configuration de bobinage avec une encoche statorique 20 comprenant le premier bobinage 41 d'éléments conducteurs, le deuxième bobinage 43 d'éléments conducteurs, adjacents l'un par rapport à l'autre et le dissipateur de chaleur 8. La première configuration de bobinage peut également être présentée comme un bobinage concentrique. En effet, le volume creux 200 de l'encoche statorique 20 est scindé, selon un deuxième axe A2 perpendiculaire au premier axe A1 en deux volumes : un premier volume 410 empli des éléments conducteurs du premier bobinage 41 et un deuxième volume 430 empli des éléments conducteurs du deuxième bobinage 43. Le premier bobinage 41 est séparé du deuxième bobinage 43 par un séparateur de bobine 44 assurant l'isolation électrique entre les éléments conducteurs. De plus, le premier bobinage 41 et le deuxième bobinage 43 sont, comme énoncé précédemment, isolés du rotor 3 par l'intermédiaire de la cale d'encoche 6.
- [0052] Les éléments conducteurs du bobinage 4 peuvent également être encapsulés dans un matériau isolant diélectrique et conducteur thermique 7 remplissant le premier et le deuxième volume 410 et 430 laissé libre par les éléments conducteurs du bobinage 4.
- [0053] Ainsi, comme énoncé précédemment, la première portion 82 du dissipateur de chaleur 8 en matériau à changement de phase est positionnée contre le fond 202 de l'encoche statorique 20. La troisième portion 86 du dissipateur de chaleur 8 en matériau à changement de phase est comprise dans le séparateur de bobine 44 entre le premier bobinage 41 d'éléments conducteurs et le deuxième bobinage 43 d'éléments conducteurs. De cette manière, la troisième portion 86 est au plus proche de la zone de chaleur la plus importante, entre les éléments conducteurs. Enfin, la quatrième portion 88 est disposée dans la cale d'encoche 6, comme représenté en [Fig.4a].
- [0054] Le dissipateur de chaleur 8 présente ainsi l'avantage d'emmagasinier de la chaleur

provenant des éléments conducteurs des premier et deuxième bobinages 41 et 43, par l'intermédiaire des première, troisième et quatrième portions 82, 86 et 88, notamment lors des phases transitoires et de surcharge. Cet emmagasinage a pour conséquence d'introduire une nouvelle constante de temps d'évolution de la température, plus lente, retardant ainsi l'instant où les éléments conducteurs atteignent la température maximale acceptable et n'induisant pas de dégradation des éléments conducteurs. Si la phase transitoire est suffisamment courte, la température maximale atteinte par les éléments conducteurs du bobinage 4 est alors plus faible. La dégradation des isolants ainsi que des composants dont la durée de vie peut se dégrader avec la température est ainsi évitée.

- [0055] Selon une variante représentée en [Fig.4b], le dissipateur de chaleur 8 peut également être compris dans un isthme 9 de l'encoche statorique 20 au-delà de la cale d'encoche 6. En effet, l'isthme 9 représente un volume rétréci de l'encoche statorique 20 par l'élargissement des dents 22 adjacentes au-delà de la cale d'encoche 6 selon le deuxième axe A2 en direction du premier axe A1 de rotation du rotor 3. Cette configuration d'introduction du dissipateur de chaleur 8 dans le séparateur de bobine 44, dans la cale d'encoche 6 et dans l'isthme 9 présente ainsi l'avantage d'augmenter la capacité d'extraction thermique du dissipateur de chaleur 8.
- [0056] Il peut également être envisagé, selon une variante représentée en [Fig.4c], d'introduire uniquement le dissipateur de chaleur 8 contre le fond 202 de l'encoche statorique 20, dans la cale d'encoche 6 et dans l'isthme 9 de sorte à favoriser le volume d'éléments conducteurs du bobinage 4.
- [0057] Une fente 10 peut également être envisagée, selon une variante représentée en [Fig.4d], traversant le stator 2 en direction du milieu extérieur de la machine électrique 1, selon le deuxième axe A2. Cette fente 10 présente l'avantage d'augmenter le volume disponible pour la fusion du matériau à changement de phase du dissipateur de chaleur 8 et donc de permettre d'extraire davantage de calories en provenance des éléments conducteurs du bobinage 4. En effet, le matériau à changement de phase, en passant de l'état solide à l'état liquide, occupe un volume plus important. Dès lors, la fusion du matériau à changement de phase peut être limitée par le volume disponible dans le séparateur de bobine 44, dans la cale d'encoche 6 ou encore dans l'isthme 9, du fait notamment des changements de condition de pression dans le dissipateur de chaleur 8. Dès lors, le matériau à changement de phase du dissipateur de chaleur 8, en passant de l'état solide à l'état liquide, peut être compris dans la fente 10 et le dissipateur de chaleur 8 s'étend dans cette fente 10.
- [0058] Les figures 5a, 5b et 5c représentent une vue schématique d'une deuxième configuration de bobinage distribué avec une encoche statorique 20'. Dès lors, comme pour la configuration de bobinage concentrique, le volume creux 200' de l'encoche

statorique 20' est scindé en un premier volume 410' rempli des éléments conducteurs du premier bobinage 41' et un deuxième volume 430' rempli des éléments conducteurs du deuxième bobinage 43'. Néanmoins, à la différence de la configuration de bobinage concentrique, le volume creux 200' est scindé selon un axe perpendiculaire au premier axe A1 de rotation du rotor 3 et au deuxième axe A2. Dès lors, le séparateur de bobine 44', assurant l'isolation électrique entre les éléments conducteurs, est également perpendiculaire au premier axe A1 de rotation du rotor 3 et au deuxième axe A2. Comme pour le bobinage concentrique, le premier bobinage 41' et le deuxième bobinage 43' sont isolés du rotor 3 par l'intermédiaire de la cale d'encoche 6'.

- [0059] Ainsi, la [Fig.5a] représente une configuration de bobinage distribué dans lequel le dissipateur de chaleur 8 est compris dans la cale d'encoche 6'.
- [0060] Selon une variante de la configuration de bobinage distribué, représenté en [Fig.5b], le dissipateur de chaleur 8 est compris dans la cale d'encoche 6' et dans l'isthme 9'.
- [0061] Selon une autre variante de la configuration de bobinage distribué, représenté en [Fig.5c], le dissipateur de chaleur 8 est compris dans la cale d'encoche 6', dans l'isthme 9' et dans le séparateur de bobine 44'.
- [0062] En outre, les têtes de bobinage 42 des éléments conducteurs peuvent également être encapsulées dans le matériau isolant diélectrique et conducteur thermique 7, comme représenté en [Fig.6]. Le matériau isolant 7 comprend ainsi une première portion externe 70 prenant la forme d'un anneau englobant toutes les têtes de bobinage 42 d'éléments conducteurs et étant apposée contre la première extrémité 24 du stator 2. Une deuxième portion externe prenant également la forme d'un anneau englobant toutes les têtes de bobinage 42 d'éléments conducteurs est également apposée contre la deuxième extrémité 26 du stator 2.
- [0063] De plus, la machine électrique 1 peut comprendre une couronne thermique 12 en contact avec le stator 2. La couronne thermique 12 comprend des ailettes de refroidissement 120 qui s'étendent radialement par rapport au premier axe A1 de rotation du rotor 3.
- [0064] Ainsi, la chaleur captée par le dissipateur de chaleur 8 en provenance du bobinage 4 et des éléments conducteurs est transmise à la couronne thermique 12 de sorte à être évacuer par convection avec un flux balayant les ailettes de refroidissement 120.
- [0065] L'invention propose donc un dissipateur de chaleur utilisant un matériau à changement de phase permettant d'atténuer la température au niveau du bobinage et des éléments conducteurs et de retarder la montée en température lors des phases de surcharge introduit au sein même de l'encoche statorique, dans le séparateur de bobine, dans la cale de l'encoche ou encore dans l'isthme de sorte à être au voisinage de la source de chaleur émettrice, à savoir le bobinage même.
- [0066] Afin d'assurer l'emplacement du dissipateur de chaleur, le volume de l'encoche peut

éventuellement être adaptée sans pour autant dégrader significativement l'encombrement et la masse résultante de la machine électrique tournante.

Revendications

- [Revendication 1] Machine électrique (1) comprenant un stator (2) et un rotor (3) configuré pour être entraîné en rotation par le stator (2), le stator (2) comprenant une carcasse (21) dont s'étend au moins une encoche statorique (20) parallèlement à un premier axe (A1) de rotation du rotor (3), la machine électrique (1) comprenant des bobinages (4) d'éléments conducteurs s'étendant concentriquement dans l'au moins une encoche statorique (20) du stator (2) de sorte à former à chaque extrémité (24, 26) du stator (2), le long du premier axe (A1) de rotation du rotor (3), une tête de bobinage (42), la machine électrique (1) comprenant au moins une cale d'encoche (6) disposée dans l'encoche statorique (20) de sorte à isoler physiquement les éléments conducteurs du bobinage (4) du rotor (3), l'encoche statorique (20) comprenant une fente (10) traversant le stator (2) en direction d'un milieu extérieur à la machine électrique (1) selon un deuxième axe (A2) perpendiculaire au premier axe (A1), la machine électrique (1) comprenant au moins un dissipateur de chaleur (8) disposé à l'intérieur d'une encoche statorique (20) entre les éléments conducteurs et/ou dans la cale d'encoche (6), le dissipateur de chaleur (8) s'étendant depuis la tête de bobinage (42) d'une première extrémité (24) du stator (2) le long du premier axe (A1) de rotation du rotor (3) jusqu'à une tête de bobinage (42) d'une deuxième extrémité (26) du stator (2), le dissipateur de chaleur (8) comprenant un matériau à changement de phase, le matériau à changement de phase du dissipateur de chaleur (8) étant compris dans la fente (10).
- [Revendication 2] Machine électrique (1) selon la revendication 1, dans laquelle le matériau à changement de phase est configuré pour subir une fusion selon une température supérieure à 100 °C.
- [Revendication 3] Machine électrique (1) selon l'une des revendications 1 ou 2, dans laquelle l'encoche statorique (20) comprend un séparateur de bobine (44) apte à assurer l'isolation électrique entre les éléments conducteurs, le dissipateur de chaleur (8) étant compris dans le séparateur de bobine (44).
- [Revendication 4] Machine électrique (1) selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle l'encoche statorique (20) comprend un isthme (9) au-delà de la cale d'encoche (6) selon un deuxième axe (A2), perpendiculaire au premier axe (A1), en direction du premier axe (A1) de rotation du rotor (3), le dissipateur de chaleur (8) étant compris dans l'isthme (9) de

l'encoche statorique (20).

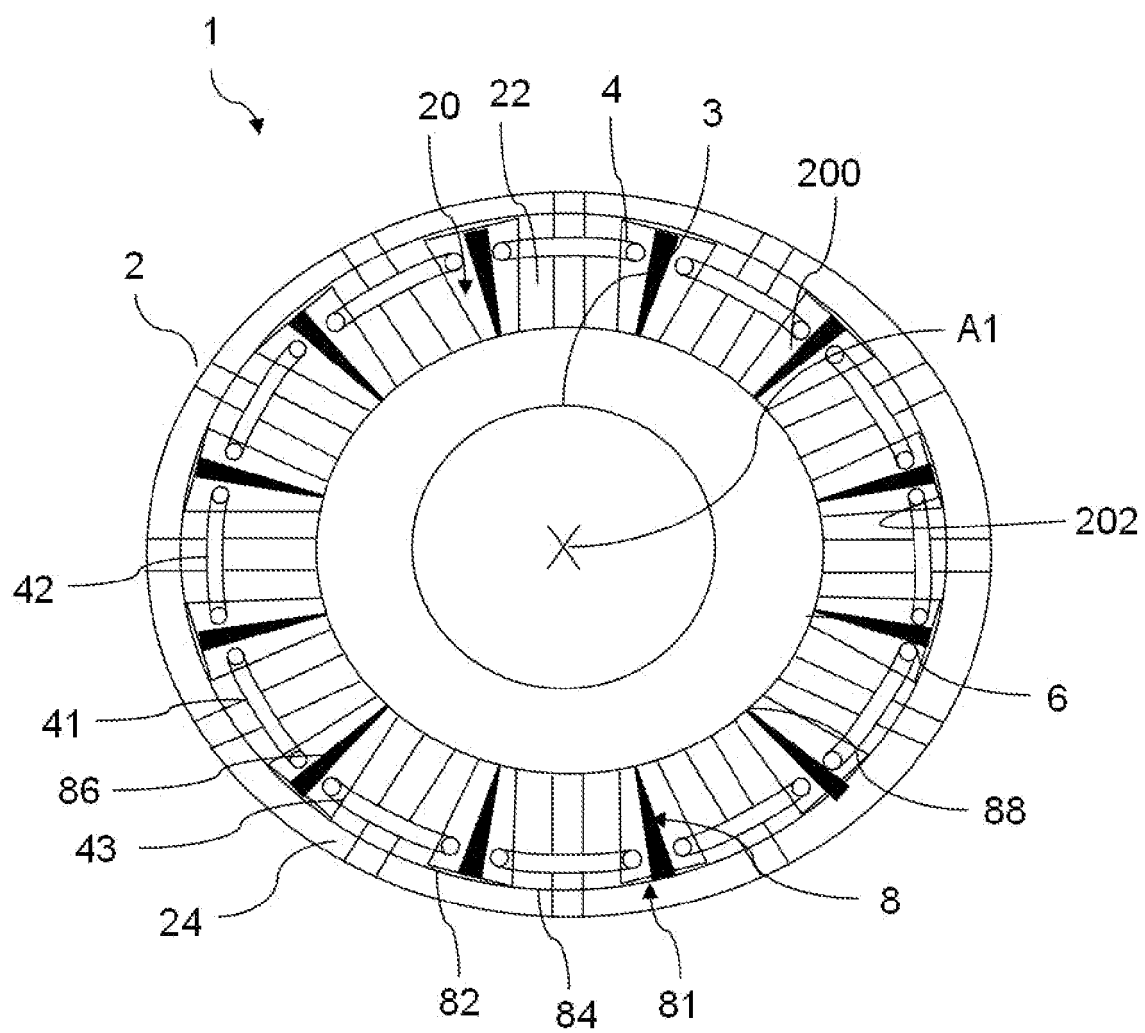
[Revendication 5] Machine électrique (1) selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle le dissipateur de chaleur (8) est une matrice poreuse.

[Revendication 6] Machine électrique (1) selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle le bobinage (4) des éléments conducteurs est encapsulé dans un matériau isolant diélectrique et conducteur thermique (7).

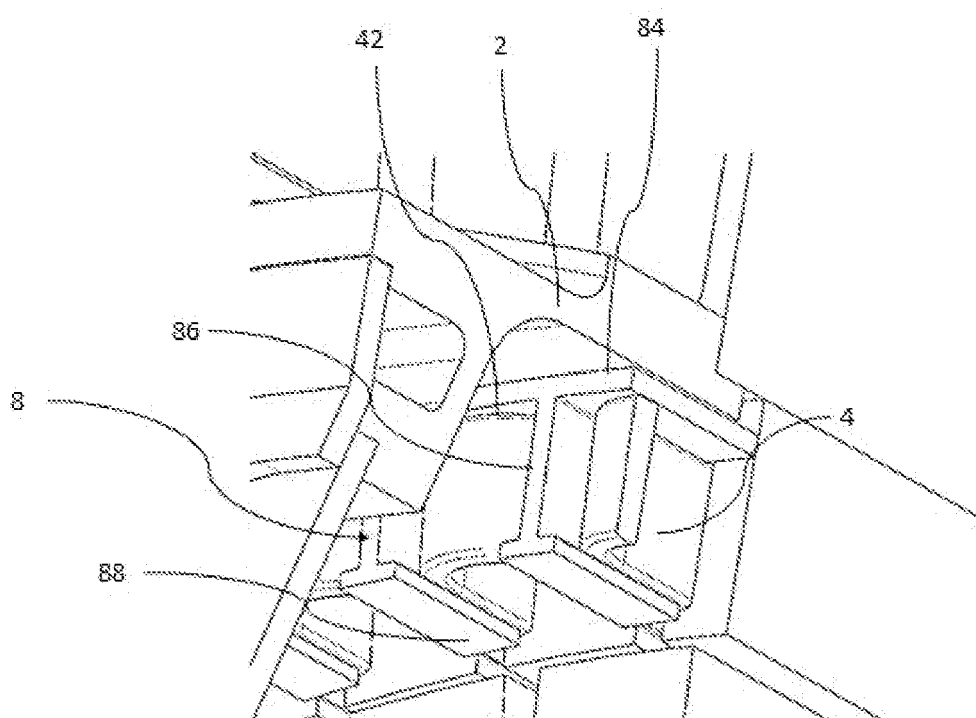
[Revendication 7] Machine électrique (1) selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle le matériau à changement de phase est un matériau à base d'aluminium, un sel ou une cire de la famille des paraffines.

[Revendication 8] Machine électrique (1) selon l'une des revendications 1 à 7, comprenant une couronne thermique (12) en contact avec le stator (2), la couronne thermique (12) comprenant des ailettes de refroidissement (120).

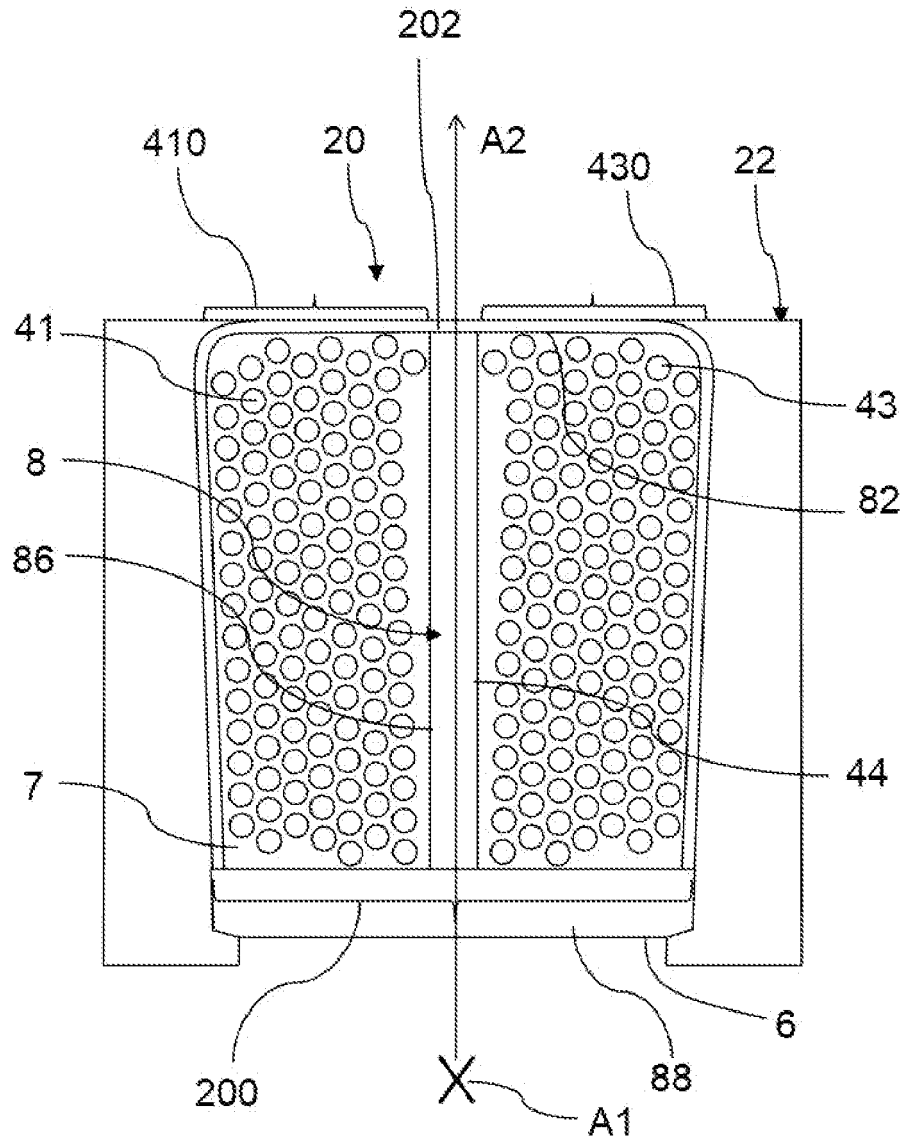
[Fig. 1]



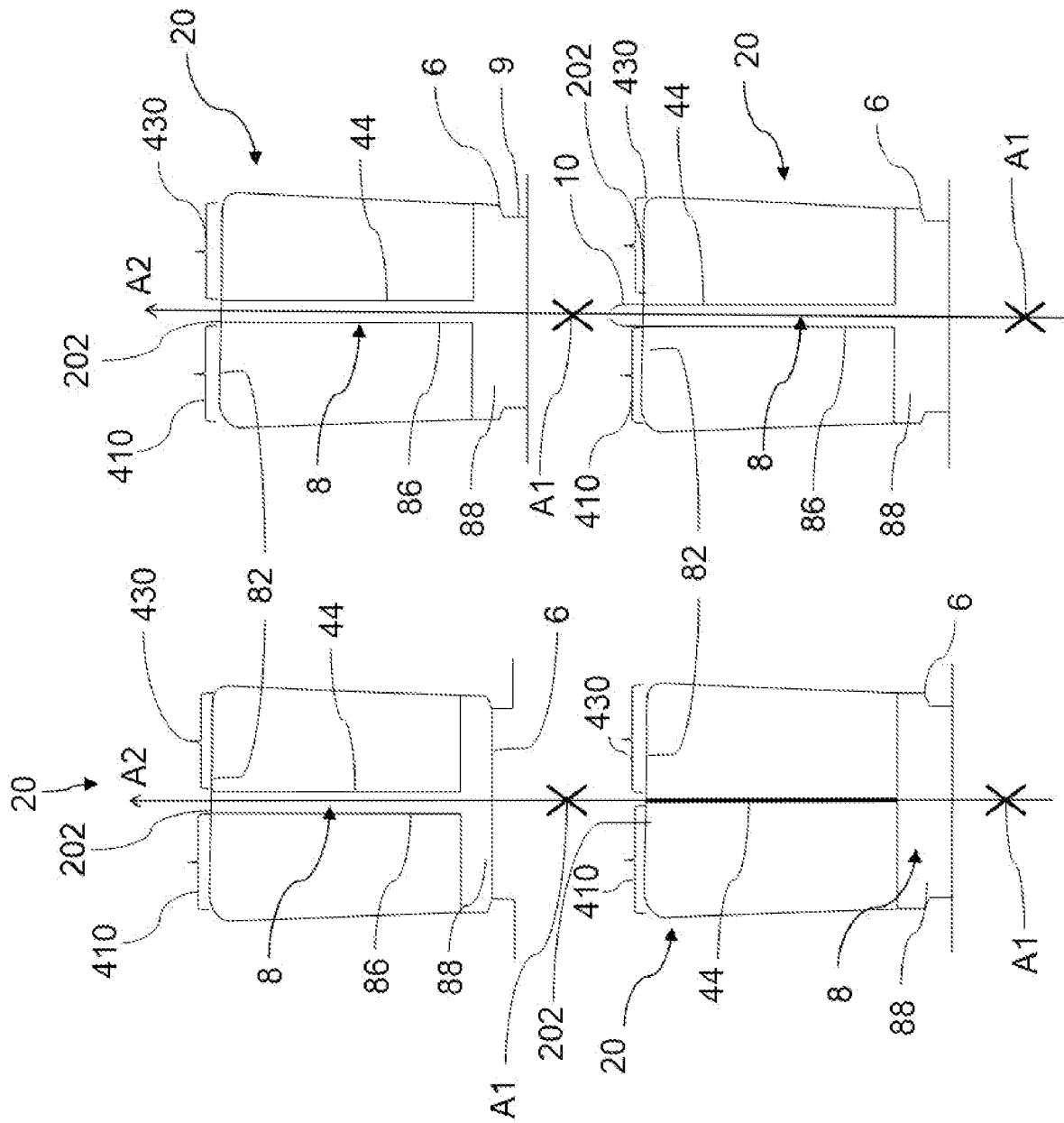
[Fig. 2]



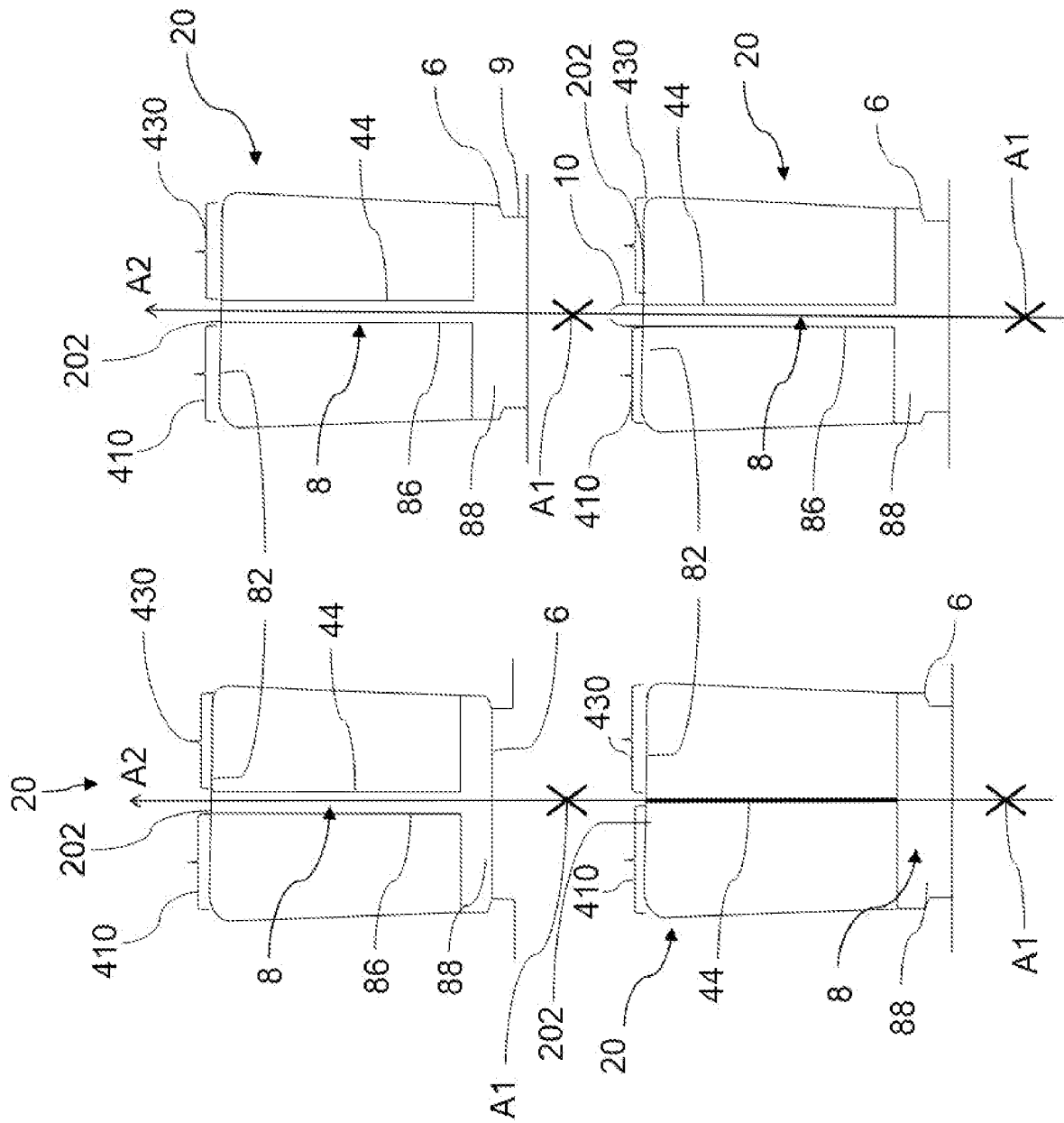
[Fig. 3]



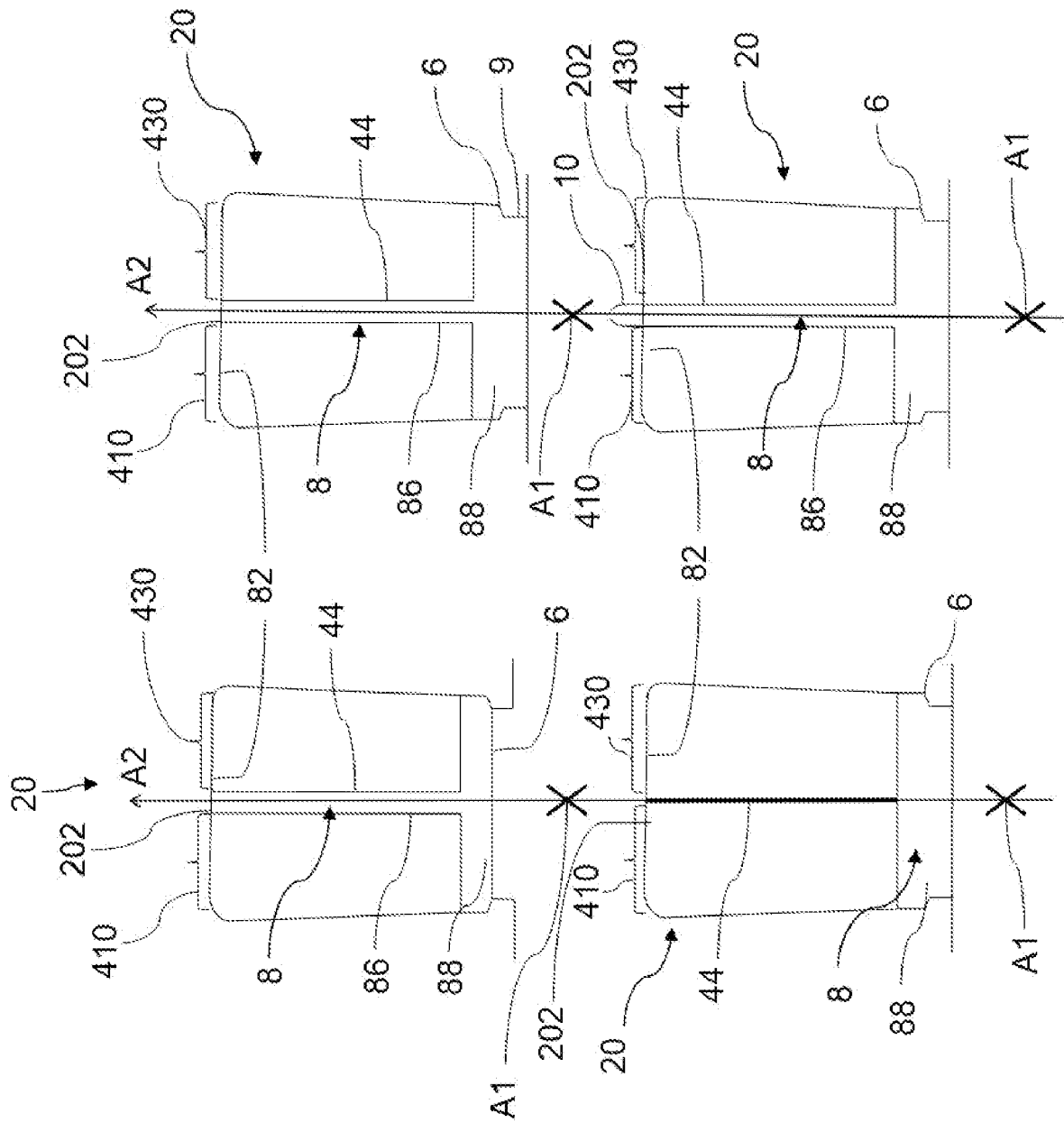
[Fig. 4b]



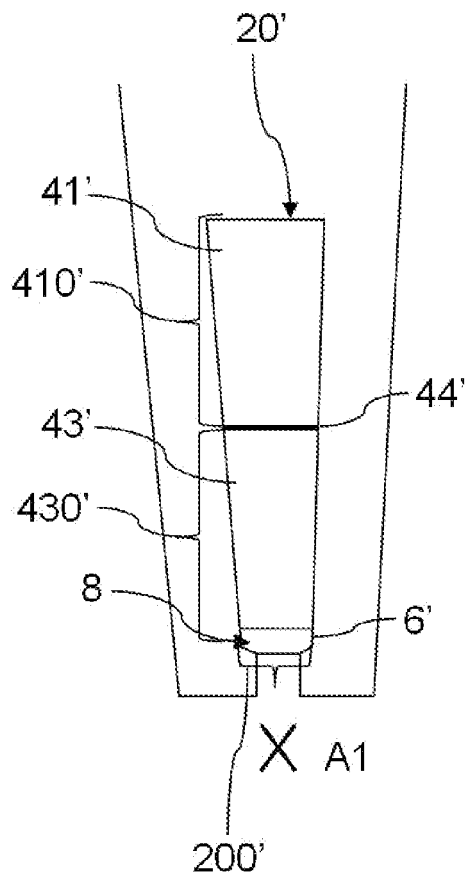
[Fig. 4c]



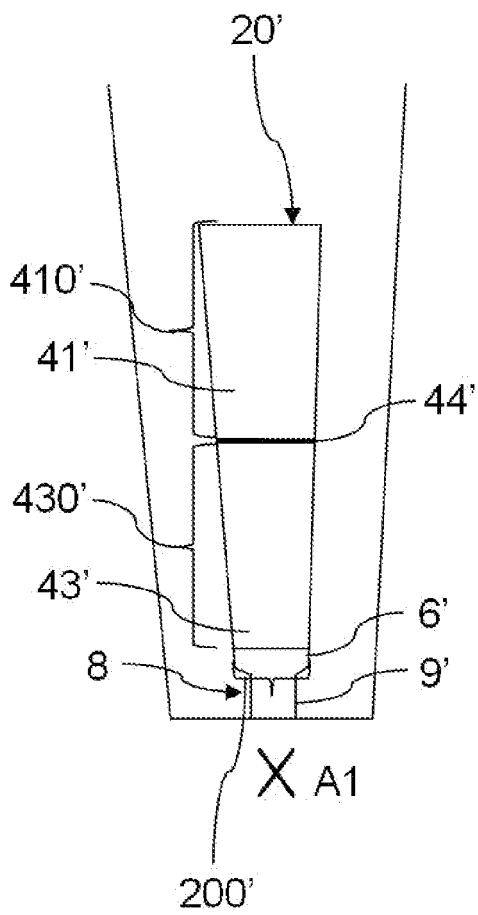
[Fig. 4d]



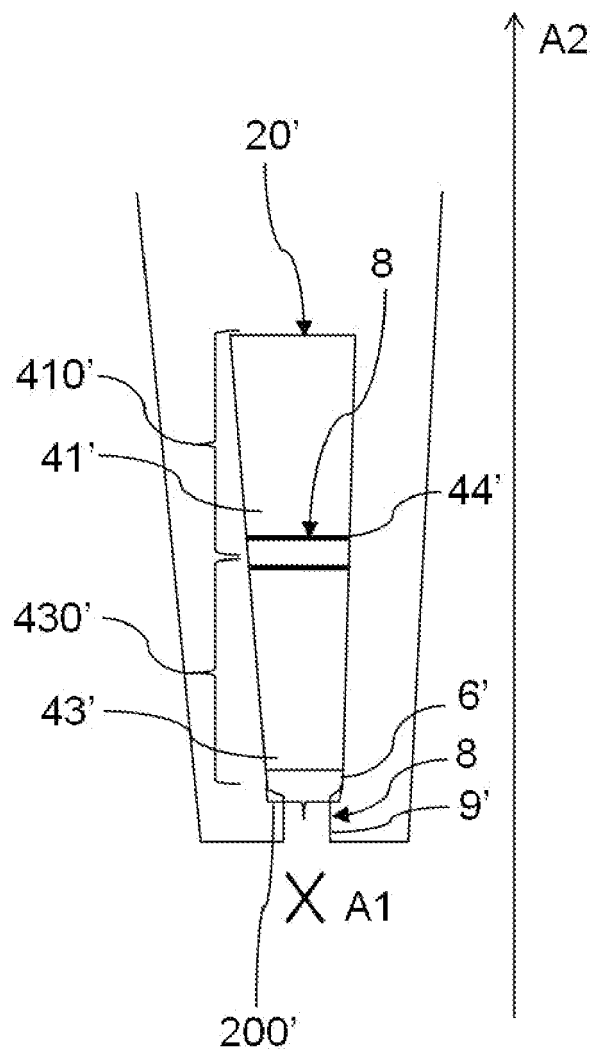
[Fig. 5a]



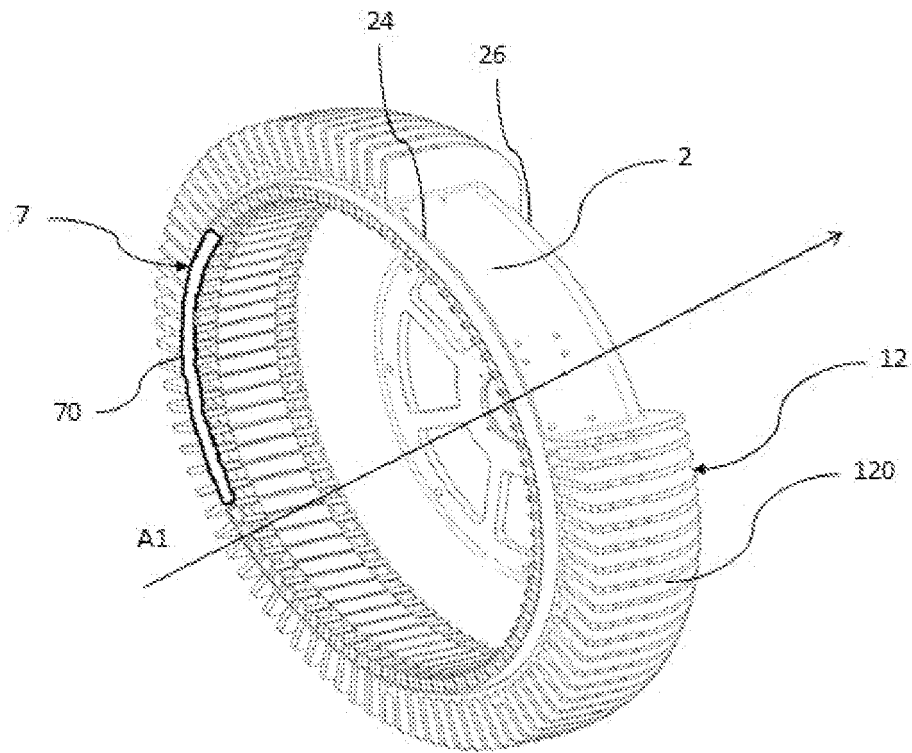
[Fig. 5b]



[Fig. 5c]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

DE 10 2013 208029 A1 (SIEMENS AG [DE])
6 novembre 2014 (2014-11-06)

EP 2 985 885 A1 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP
[US]) 17 février 2016 (2016-02-17)

CN 111 995 986 A (UNIV HUBEI TECHNOLOGY)
27 novembre 2020 (2020-11-27)

EP 1 215 800 A2 (NISSAN MOTOR [JP])
19 juin 2002 (2002-06-19)

JP H10 248211 A (TOSHIBA CORP)
14 septembre 1998 (1998-09-14)

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

NEANT

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

NEANT