

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

①① N° de publication : **3 040 580**

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

②① N° d'enregistrement national : **16 57879**

⑤① Int Cl⁸ : **H 05 B 3/02** (2016.01), B 64 D 15/12

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **SYSTEME DE CHAUFFAGE POUR LA MISE EN TEMPERATURE ELECTROTHERMIQUE ET
PROCEDE DE FABRICATION S'Y RAPPORTANT.**

②② **Date de dépôt** : 24.08.16.

③③ **Priorité** : 26.08.15 DE 102015114163.9.

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande** : 03.03.17 Bulletin 17/09.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention** : 30.08.19 Bulletin 19/35.

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

Se reporter à la fin du présent fascicule

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

Demande(s) d'extension :

⑦① **Demandeur(s)** : *DEUTSCHES ZENTRUM FUR
LUFT- UND RAUMFAHRT E. V. — DE.*

⑦② **Inventeur(s)** : *POTOTZKY ALEXANDER et DURING
DENISE.*

⑦③ **Titulaire(s)** : *DEUTSCHES ZENTRUM FUR LUFT-
UND RAUMFAHRT E.V..*

⑦④ **Mandataire(s)** : *IPAZ.*

FR 3 040 580 - B1



Système de chauffage pour la mise en température électrothermique et procédé de fabrication s'y rapportant

L'invention concerne un système de chauffage pour la mise en température électrothermique, dans lequel en cas d'alimentation en courant d'un matériau, en raison de la résistance électrique, la chaleur perdue dissipée est utilisée pour la mise en température. L'invention concerne également un procédé pour fabriquer un tel système de chauffage pour la mise en température électrothermique. L'invention concerne également un corps aérodynamique comportant un tel système de chauffage, ainsi qu'un procédé pour fabriquer un tel corps aérodynamique avec un tel système de chauffage.

L'utilisation de matériaux composites renforcés de fibres est aujourd'hui incontournable dans le domaine aéronautique et spatial moderne. En raison de leur résistance et de leur légèreté spécifiques au poids, de tels matériaux composites renforcés de fibres sont particulièrement bien adaptés à exploiter de manière optimale le potentiel de construction allégée. En conséquence, il n'est pas rare de fabriquer également des pièces de structure critiques en de tels matériaux composites renforcés de fibres.

Ainsi, l'utilisation de matières plastiques renforcées de fibres de carbone (CFK) fait déjà aujourd'hui partie de l'état de la technique, même dans le domaine de l'aviation civile. Dans les modèles les plus récents des grands constructeurs d'avions, comme par exemple l'Airbus A350XWB et le Boeing 787 (Dreamliner), même des grandes pièces de la structure des ailes sont à présent réalisées en matières plastiques renforcées de fibres.

Des pièces en une matière plastique renforcée de fibres, dites pièces en matériau composite renforcé de fibres, sont fabriquées en mettant en forme des fibres de renfort du matériau composite renforcé de fibres, en noyant les fibres de renfort dans une matrice (matériau de matrice, notamment matières plastiques thermoplastiques ou thermodurcissables, résines), et en durcissant le matériau de matrice dans lequel sont noyées les fibres de renfort. La mise en forme des fibres de renfort, pour ainsi réaliser la forme

de la pièce future, est en général réalisée en introduisant et drapant des fibres de renfort dans un outillage de mise en forme. Les fibres de renfort peuvent être des fibres sèches, dans lesquelles le matériau de matrice n'est infusé qu'après le drapage dans l'outillage de mise en forme (procédé dit d'infusion). Les fibres de renfort peuvent toutefois également être constituées par un matériau à base de fibres pré-imprégné (appelé prépreg), déjà imprégné au moment de la mise en forme des fibres de renfort, c'est à dire le plus souvent lors du drapage des fibres de renfort dans l'outillage de mise en forme, avec le matériau de matrice durcissant par la suite.

10

Notamment les structures d'avion soumises en vol à un écoulement, (corps aérodynamiques), comme par exemple des ailes, des empennages ou le nez de l'avion, risquent de givrer pendant le vol. Or un givrage des ailes ou des empennages est particulièrement critique, parce que la capacité de vol est gravement compromise par la formation de glace. C'est pourquoi ces structures sont munies de systèmes de dégivrage, pour dégivrer des structures d'avion givrées ou s'opposer à un risque de givrage.

15

De manière classique, le dégivrage s'effectue par de l'air de soutirage des groupes motopropulseurs, à savoir un système dit bleed air system. Ces systèmes sont toutefois très antiéconomiques, puisqu'ils nécessitent des groupes motopropulseurs plus grands ainsi que plus de carburant pour pouvoir produire suffisamment d'air de soutirage. En particulier en raison d'une perte de puissance élevée dans les conduites tubulaires, le rendement n'est que d'environ 30% à 40%. Les turboréacteurs double-flux modernes ne permettent d'ailleurs plus de prélever une quantité quelconque d'air de soutirage, à peine de ne plus respecter les conditions aux limites de ces réacteurs.

20

25

D'autre part, les températures d'air de soutirage, avec des valeurs d'environ 180°C, sont très élevées. Or dans le cas de structures d'avion en matériaux composites renforcés de fibres, cela conduit à une rapide dégradation des matériaux utilisés et donc des pièces en matériaux composites renforcés de fibres, qui sont en interaction thermique avec cet air de soutirage à des températures élevées.

30

35

Pour cette raison, la tendance pour les futures générations d'avions, est aux systèmes de dégivrage électrothermiques, dans lesquels l'échauffement s'effectue par l'application d'une tension électrique à des structures à résistance électrique. Un exemple est donné par le document US 7,246,773 B2. Dans ce cas, une feuille métallique appliquée sur le bord d'attaque d'une aile est chauffée par application d'une tension électrique, en raison de la puissance électrique dissipée dans la résistance.

10 Ceci a l'inconvénient que l'application d'une feuille métallique par exemple sur des matériaux composites renforcés de fibres annule en partie l'avantage de tels matériaux, puisque la feuille de métal contribue à une augmentation considérable de poids par rapport au matériau composite renforcé de fibres. En outre, la combinaison de tels matériaux pose des problèmes de fabrication.

On connaît d'après le document US 5,947,418 un système de dégivrage pour un bord d'attaque d'aile, dans lequel on utilise des fibres de renfort électriquement conductrices d'un matériau composite renforcé de fibres pour assurer un apport d'énergie thermique dans la surface d'écoulement du bord d'attaque de l'aile. A cet effet, les fibres de renfort électriquement conductrices sont reliées à une source de tension électrique, en vue d'alimenter en courant les fibres de renfort électriquement conductrices, et ainsi, en raison de la résistance électrique, chauffer la surface au moyen de la puissance électrique dissipée.

L'inconvénient est toutefois que l'apport en énergie thermique ne peut être modulé de manière fiable sur toute l'envergure de l'aile, pour d'une part garantir de manière appropriée une surface d'écoulement libre de glace, et d'autre part empêcher une détérioration du matériau composite renforcé de fibres en raison d'un apport trop important d'énergie thermique. C'est pourquoi on doit agencer plusieurs de ces nappes chauffantes à intervalles rapprochés le long de l'envergure d'aile, ce qui augmente considérablement la mise en œuvre de câblage et donc les coûts de production.

En conséquence, le but de la présente invention consiste à indiquer un système de chauffage amélioré et un procédé amélioré pour fabriquer un tel système de chauffage, notamment pour servir de système de dégivrage sur des structures d'avions, et qui peut être adapté de manière exacte à la géométrie et aux conditions de givrage, réduit la mise en œuvre de câblage et garantit simultanément que le matériau composite renforcé de fibres de la structure d'avion ne soit pas endommagé par un apport d'énergie thermique excessif.

Ce but est atteint grâce à un système de chauffage pour la mise en température électrothermique, comportant au moins un élément chauffant mince réalisé en un matériau composite renforcé de fibres, qui renferme des fibres de renfort au moins en partie électriquement conductrices, noyées dans un matériau de matrice durci, les fibres de renfort électriquement conductrices de l'élément chauffant mince étant en contact ou pouvant être mises en contact avec une source de tension électrique, de sorte que les fibres de renfort électriquement conductrices, dans lesquelles circule le courant, constituent un secteur alimenté en courant, caractérisé en ce que le système de chauffage présente un ou plusieurs ponts de courant minces, qui dans des secteurs partiels du secteur alimenté en courant s'appuient en surface sur les fibres de renfort électriquement conductrices, et sont en contact électrique avec celles-ci de manière que le pont de courant forme un diviseur de courant et/ou un shunt, les ponts de courant ayant une résistance électrique spécifique moindre que les fibres de renfort électriquement conductrices.

Le but recherché est également atteint grâce à un procédé pour fabriquer un tel système de chauffage, comprenant les étapes suivantes :

- introduire des fibres de renfort électriquement conductrices d'un matériau composite renforcé de fibres dans un outillage de mise en forme pour former au moins un élément chauffant mince,
- mettre les fibres de renfort électriquement conductrices de l'élément chauffant en contact avec un ou plusieurs ponts de courant minces en appliquant l'au moins un pont de courant sur les fibres de renfort électriquement conductrices dans au moins un secteur partiel, de

manière que le pont de courant forme un diviseur de courant et/ou un shunt, les ponts de courant ayant une résistance électrique spécifique moindre que les fibres de renfort électriquement conductrices,

- réaliser des zones de contact électrique destinées à mettre l'élément chauffant en contact avec une source de tension électrique, et
- durcir un matériau de matrice ayant été infusé dans les fibres de renfort électriquement conductrices, par mise en température et/ou mise sous pression.

10 Le but recherché est par ailleurs également atteint grâce à un corps aérodynamique comportant une surface d'écoulement conçue pour être balayée par un fluide gazeux, le corps aérodynamique présentant un système de dégivrage pour dégivrer au moins une partie de la surface d'écoulement, caractérisé en ce que le système de dégivrage comprend un

15 système de chauffage conforme à l'invention, qui est en contact avec une source de tension électrique pour l'application d'une tension électrique.

En outre, le but recherché est également atteint grâce à un procédé pour fabriquer un tel corps aérodynamique comprenant un système de dégivrage, caractérisé en ce que le système de dégivrage est fabriqué conformément

20 au procédé pour fabriquer un système de chauffage selon l'invention, lors de la fabrication du corps aérodynamique.

Conformément à l'invention, il est proposé un système de chauffage pour la

25 mise en température électrothermique, comportant au moins un élément chauffant mince réalisé en un matériau composite renforcé de fibres. Le matériau composite renforcé de fibres renferme des fibres de renfort au moins en partie électriquement conductrices, qui sont noyées dans un matériau de matrice durci. L'élément chauffant mince, réalisé en ce

30 matériau composite renforcé de fibres, est ainsi une pièce composite renforcée de fibres en un matériau à base de fibres électriquement conducteur.

Les fibres de renfort électriquement conductrices de l'élément chauffant

35 mince sont en contact ou peuvent être mises en contact avec une source de

tension électrique, de sorte que les fibres de renfort électriquement conductrices, dans lesquelles circule le courant, constituent un secteur alimenté en courant.

5 Conformément à l'invention, il est à présent prévu que le système de chauffage présente un ou plusieurs ponts de courant minces, qui dans des secteurs partiels du secteur alimenté en courant s'appuient en surface sur les fibres de renfort électriquement conductrices, et sont en contact électrique avec celles-ci, les ponts de courant ayant une résistance
10 électrique spécifique moindre que les fibres de renfort électriquement conductrices.

L'un des ponts de courant peut être en contact électrique avec les fibres de renfort électriquement conductrices de manière que le pont de courant
15 forme un diviseur de courant avec les fibres de renfort contactées électriquement dans la zone de contact du pont de courant, ce qui en raison de la résistance électrique spécifique moindre du pont de courant, conduit à réduire la puissance électrique dissipée dans la zone de contact du pont de courant.

20

L'application des ponts de courant contre les fibres de renfort électriquement conductrices pour former un diviseur de courant permet de moduler de manière ciblée l'apport d'énergie thermique dans le système de chauffage, et de l'adapter aux conditions locales et à la géométrie, sans que chaque
25 élément chauffant individuel nécessite à cet effet son propre raccordement, qui conduirait à une augmentation notable de la mise en œuvre de câblage. Au contraire, l'application des ponts de courant et la formation d'un diviseur de courant permettent de réduire, voire d'empêcher, de manière ciblée un apport d'énergie thermique, et une adaptation ciblée à la forme de pièce et
30 au cas d'utilisation.

En variante ou en supplément, l'un des ponts de courant peut également être mis en contact électrique avec les fibres de renfort électriquement conductrices de manière que le pont de courant forme un shunt, pour ainsi
35 shunter des fibres de renfort électriquement conductrices, qui sont isolées

les unes des autres, et par exemple relier électriquement deux éléments chauffants du système de chauffage l'un avec l'autre, sans effectuer un câblage conséquent dans la zone de liaison, ni générer un apport de chaleur conséquent dans la zone de liaison. Au contraire, le pont de courant en tant que shunt permet de relier mutuellement des fibres de renfort électriquement conductrices, sans avoir à redouter un échauffement supplémentaire dans la zone de pontage.

La dénomination pont de courant mince désigne, dans l'optique de l'invention qui va suivre, un élément électriquement conducteur conçu de manière à pouvoir contacter les fibres de renfort électriquement conductrices d'un élément chauffant et formant, après durcissement d'un matériau de matrice, une unité intégrale avec l'élément chauffant. Le pont de courant mince présente ici une étendue bidimensionnelle qui est considérablement plus grande que l'épaisseur du pont de courant mince. Le pont de courant mince présente de préférence une épaisseur plus faible qu'un conducteur électrique à section transversale ronde prévu pour ce cas d'utilisation. Le pont de courant mince est ici d'une configuration permettant sa mise en contact avec un grand nombre de fibres de renfort électriquement conductrices individuelles d'un élément chauffant.

D'après un mode de réalisation avantageux, pour former un diviseur de courant ledit au moins un pont de courant est en contact avec les fibres de renfort électriquement conductrices de manière telle que les fibres de renfort électriquement conductrices forment un secteur chauffant en amont et en aval du secteur à diviseur de courant formé par le diviseur de courant (secteur de contact du diviseur de courant avec les fibres de renfort électriquement conductrices), en se référant à la direction de circulation du courant. Par l'alimentation en courant des fibres de renfort électriquement conductrices, il est formé un secteur alimenté en courant dans les éléments chauffants minces, parce que grâce au pont de courant et au diviseur ainsi formé, le secteur alimenté en courant est alors divisé en un secteur chauffant en amont et un secteur chauffant en aval du diviseur de courant.

Comme le pont de courant a une résistance électrique spécifique moindre

que les fibres de renfort électriquement conductrices, on génère dans le secteur chauffant, lors de l'alimentation en courant des fibres de renfort électriquement conductrices, une puissance électrique dissipée plus élevée, tandis que dans le secteur à diviseur de courant, en raison de la résistance spécifique moindre du pont de courant, la puissance électrique dissipée est nettement réduite, de sorte que l'apport d'énergie thermique du système de chauffage est globalement diminué. Ceci permet de développer des stratégies de chauffage exactement adaptées aux conditions locales.

10 Il s'avère ici particulièrement avantageux que le diviseur de courant forme dans le secteur à diviseur de courant, une zone froide par rapport aux secteurs chauffants, pour ainsi réduire la formation de points chauds dans les secteurs chauffants, ce qui permet de réduire nettement le risque d'une détérioration de la structure se trouvant en-dessous.

15

Selon un autre mode de réalisation avantageux, le système de chauffage présente au moins deux éléments chauffants minces, isolés électriquement l'un de l'autre, qui sont pontés au moyen d'au moins un pont de courant, ledit au moins un pont de courant étant mis en contact électrique, à une première extrémité, avec les fibres de renfort électriquement conductrices du premier élément chauffant mince, et à une deuxième extrémité opposée, avec les fibres de renfort électriquement conductrices du deuxième élément chauffant mince. Ainsi, des éléments chauffants minces, prévus de manière électriquement isolée les uns des autres, peuvent être reliés électriquement en série les uns derrière les autres, sans avoir à redouter un endommagement de structures en raison d'un apport d'énergie thermique trop élevé. En effet, en raison de la résistance électrique spécifique moindre des ponts de courant, la puissance électrique dissipée dans le secteur du pontage est nettement diminuée, de même également que l'apport d'énergie thermique dans son ensemble.

30

Ceci a l'avantage que les éléments chauffants individuels ne nécessitent pas leur propre raccordement séparé, ce qui réduit nettement le câblage. Au contraire, la présente invention permet de monter plusieurs éléments chauffants en série les uns derrière les autres, sans câbler séparément

35

chaque élément chauffant individuel.

Avantageusement, on peut également envisager que l'un des ponts de courant soit en appui de surface, à une première extrémité au début du secteur alimenté en courant d'un élément chauffant mince, sur les fibres de renfort électriquement conductrices, et soit en contact électrique avec celles-ci, et, à une deuxième extrémité opposée, soit relié ou puisse être relié à la source de tension électrique. Les ponts de courant minces peuvent ainsi également servir d'éléments de raccordement pour raccorder le système de chauffage dans son ensemble, à la source de tension électrique.

D'après un autre mode de réalisation avantageux, la résistance électrique spécifique des ponts de courant vaut moins de 1%, de préférence moins de 5‰, et de manière particulièrement préférée moins de 2‰, de la résistance électrique spécifique des fibres de renfort électriquement conductrices, de sorte que les ponts de courant présentent un pouvoir conducteur électrique nettement plus élevé et ainsi une dissipation de puissance électrique nettement moindre que les fibres de renfort électriquement conductrices.

D'après un autre mode de réalisation avantageux, les ponts de courant et les fibres de renfort électriquement conductrices présentent une différence de potentiel standard d'au maximum 0,4 V, de sorte que le pont de courant et les fibres de renfort électriquement conductrices peuvent être mutuellement combinés sans avoir à redouter un risque de corrosion.

Avantageusement, les ponts de courant sont réalisés en un matériau renfermant du cuivre et/ou de l'aluminium. Les ponts de courant sont de manière particulièrement préférée réalisés en cuivre et/ou en aluminium. Le cuivre présente ici l'avantage d'avoir un potentiel standard (+ 0,35V) similaire à celui des fibres de carbone (+ 0,75V), de sorte que la différence de potentiel standard de 0,4 V n'est pas dépassée et qu'aucun risque de corrosion n'est ainsi à redouter. En outre, le cuivre présente un pouvoir conducteur électrique particulièrement élevé en permettant ainsi de réduire nettement la puissance électrique dissipée.

D'après un autre mode de réalisation avantageux, les ponts de courant minces présentent une configuration en forme de mailles, de grille ou de filet, ce qui permet de garantir une liaison intégrale des ponts de courant avec les éléments chauffants.

Avantageusement, les éléments chauffants sont agencés en commun avec les ponts de courant mis en contact, entre des couches de fibres de verre électriquement isolantes, pour ainsi isoler les éléments chauffants d'autres structures dans lesquelles doit être mis en œuvre le système de chauffage.

Conformément à l'invention, il est proposé un corps aérodynamique comportant une surface d'écoulement, la surface d'écoulement étant conçue pour être balayée par un fluide gazeux. Avantageusement, au moins la surface d'écoulement est fabriquée en un matériau composite renforcé de fibres, ou est constituée d'un tel matériau composite renforcé de fibres, ou bien encore comporte un tel matériau composite renforcé de fibres. Le corps aérodynamique présente ici un système de dégivrage pour dégivrer au moins une partie de la surface d'écoulement. Conformément à l'invention, le système de dégivrage est ici un système de chauffage tel que décrit précédemment, qui est en contact avec une source de tension électrique pour l'application d'une tension électrique.

Selon un mode de réalisation avantageux, le corps aérodynamique est constitué par un bord d'attaque d'une aile d'avion, par des volets d'une aile d'avion, par l'empennage d'un avion, par les pales de rotor d'un rotor d'hélicoptère ou par les pales de rotor d'une installation éolienne.

On peut également envisager que le système de chauffage tel que décrit précédemment soit intégré dans un outillage de mise en forme pour la fabrication d'une pièce composite renforcée de fibres, en vue d'assurer le durcissement par mise en température, de la pièce composite renforcée de fibres, par durcissement du matériau de matrice ayant été infusé dans le matériau à base de fibres. Un tel système de chauffage peut ici notamment être intégré à la surface d'outillage de l'outillage de mise en forme.

Conformément à l'invention, il est proposé un procédé pour fabriquer un système de chauffage pour la mise en température électrothermique, d'après lequel on introduit tout d'abord des fibres de renfort électriquement conductrices d'un matériau composite renforcé de fibres, dans un outillage de mise en forme pour former au moins un élément chauffant mince. Les fibres de renfort électriquement conductrices du matériau composite renforcé de fibres peuvent ici par exemple être des matériaux à base de fibres secs ou pré-imprégnés, par exemple des tissus ou nappes, des matériaux tissés sous forme de bandes ou par exemple des mèches individuelles ou rovings.

Les fibres de renfort électriquement conductrices de l'élément chauffant à fabriquer en introduisant les fibres de renfort électriquement conductrices dans l'outillage de mise en forme, sont ensuite mises en contact électrique avec un ou plusieurs ponts de courant minces par l'application dudit au moins un pont de courant sur les fibres de renfort électriquement conductrices dans au moins un secteur partiel. Cela peut par exemple être effectué en déposant les ponts de courant sur les secteurs partiels adéquats des fibres de renfort électriquement conductrices ayant été introduites dans l'outillage de mise en forme. On peut également envisager de déposer préalablement les ponts de courant dans les positions adéquates dans l'outillage de mise en forme, puis de positionner par-dessus les fibres de renfort électriquement conductrices de manière correspondante.

Les ponts de courant sont alors en contact avec les fibres de renfort électriquement conductrices de manière telle que le pont de courant forme un diviseur de courant et/ou un shunt, le pont de courant ayant une résistance électrique spécifique moindre que les fibres de renfort électriquement conductrices.

On réalise ensuite des zones de contact électrique pour assurer la mise en contact de l'élément chauffant avec une source de tension électrique, puis le durcissement du matériau de matrice ayant été infusé dans les fibres de renfort électriquement conductrices, par mise en température et/ou mise

sous pression.

Les ponts de courant minces, notamment lorsqu'ils présentent une configuration en forme de mailles, de grille ou de filet, forment lors du durcissement du matériau de matrice une unité intégrale avec l'élément chauffant en tant que pièce composite renforcée de fibres, et sont simultanément en contact avec les fibres de renfort électriquement conductrices de la future pièce composite renforcée de fibres (élément chauffant). Les ponts de courant peuvent ainsi être fabriqués en commun avec les éléments chauffants lors d'une seule étape de processus.

Dans une configuration avantageuse du procédé, ledit au moins un pont de courant pour former un diviseur de courant est mis en contact avec les fibres de renfort électriquement conductrices de manière telle que les fibres de renfort électriquement conductrices, lorsqu'elles sont alimentées en courant, forment un secteur chauffant en amont et en aval du secteur à diviseur de courant formé par le diviseur de courant, en se référant à la direction de circulation du courant. Dans un mode de mise en œuvre de cette configuration, on forme par le diviseur de courant, dans le secteur à diviseur de courant, une zone froide par rapport aux secteurs chauffants.

Dans une autre configuration avantageuse, combinable avec la précédente, on forme, par l'introduction des fibres de renfort électriquement conductrices dans l'outillage de mise en forme, on forme au moins deux éléments chauffants minces isolés électriquement l'un de l'autre, les fibres de renfort électriquement conductrices des éléments chauffants étant pontées au moyen d'au moins un pont de courant, en mettant ledit au moins un pont de courant en contact électrique, à une première extrémité, avec les fibres de renfort électriquement conductrices du premier élément chauffant mince, et à une deuxième extrémité opposée, avec les fibres de renfort électriquement conductrices du deuxième élément chauffant mince.

Dans une troisième configuration avantageuse, combinable avec l'une et/ou l'autre des précédentes, on applique les fibres de renfort électriquement conductrices sur une première couche de fibres de verre dans l'outillage de

mise en forme, et après l'introduction des fibres de renfort électriquement conductrices et des ponts de courant dans l'outillage de mise en forme, on applique une deuxième couche de fibres de verre sur les fibres de renfort électriquement conductrices ayant été introduites.

5

Il s'avère particulièrement avantageux que les éléments chauffants du système de chauffage, lors de la fabrication d'une structure d'ordre supérieur, soient fabriqués simultanément en commun avec cette structure d'ordre supérieur, pour ainsi former une unité intégrale du système de chauffage avec la structure d'ordre supérieur. Cette structure d'ordre supérieur peut par exemple être un corps aérodynamique dans l'optique de la présente invention ou bien un outillage de mise en forme ou de moulage.

10

L'invention va être explicitée au regard d'un exemple de réalisation, en référence aux dessins annexés. Ceux-ci montrent :

15

Figure 1 une représentation schématique d'une section transversale d'un profil aérodynamique d'écoulement ;

Figure 2 une représentation schématique d'un élément chauffant du système de chauffage ;

20

Figure 3 un exemple de réalisation comportant deux éléments chauffants ;

Figure 4 un exemple de réalisation avec montage en parallèle.

La figure 1 montre un corps ou profil aérodynamique 100 en section transversale, qui peut par exemple être une aile d'avion. Le profil aérodynamique 100 présente une surface aérodynamique ou d'écoulement 110 qui peut être balayée par l'air environnant. Dans la partie avant, le profil aérodynamique 100 présente un bord d'attaque 120, qui peut être la zone la plus exposée de l'ensemble du profil aérodynamique 100.

30

A l'intérieur du profil aérodynamique 100, il est prévu conformément à l'invention le système de chauffage 1, qui possède des éléments chauffants 2 (représentés schématiquement) dans la zone du bord d'attaque 120. Les éléments chauffants 2 interagissent ici avec la surface d'écoulement 110 du

35

profil aérodynamique 100 de manière telle qu'en cas d'apport d'énergie thermique et d'échauffement des éléments chauffants 2, l'énergie thermique soit délivrée à la surface d'écoulement 110 en permettant ainsi le dégivrage du bord d'attaque 120. Dans l'exemple de réalisation de la figure 1, le système de chauffage 1 forme ainsi un système de dégivrage pour le profil aérodynamique 100.

L'élément chauffant ou les éléments chauffants 2 du système de chauffage 1 sont reliés à une source de tension électrique 3, de sorte que les éléments chauffants 2, ou plus précisément les fibres de renfort électriquement conductrices des éléments chauffants 2, peuvent être alimentées en courant pour ainsi mettre en température les éléments chauffants 2.

Pour pouvoir convenablement commander le système de chauffage 1, il est prévu une unité de commande 4, conçue pour commander l'alimentation en courant des éléments chauffants 2 au moyen de la source de tension électrique 3.

Pour la clarté de la représentation, les ponts de courant du système de chauffage 1 ne sont pas montrés sur l'exemple de réalisation de la figure 1.

La figure 2 montre schématiquement le système de chauffage 1 dans le détail, dans un premier exemple de réalisation. Le système de chauffage 1 présente ici tout d'abord un élément chauffant 2, qui est en contact avec une source de tension électrique 3.

Dans l'exemple de réalisation de la figure 2, l'élément chauffant 2 est configuré en forme de U et présente en particulier deux branches 5 et 6, qui, par l'intermédiaire d'une traverse de liaison 7, forment un U. L'élément chauffant 2 avec sa première branche 5, sa deuxième branche 6 et sa traverse de liaison 7, comporte ici des fibres de renfort 8 électriquement conductrices, qui sont indiquées sur la figure 2.

Si comme le montre la figure 2, l'élément chauffant 2 est relié, aussi bien à une extrémité de la première branche 5 qu'à une extrémité de la deuxième

branche 6, à la source de tension électrique, un courant circule à travers la première branche 5, puis par la traverse de liaison 7 vers la deuxième branche 6, en réalisant ainsi l'alimentation en courant de l'ensemble de l'élément chauffant 2. Dans un tel mode de réalisation, l'élément chauffant 2 s'échauffe fortement en raison de la dissipation de puissance électrique, en permettant de réaliser un apport d'énergie thermique élevé à l'élément chauffant 2, pour ainsi pouvoir mettre en température de manière appropriée d'autres structures.

10 Pour pouvoir adapter l'apport d'énergie thermique aux conditions locales, notamment en relation avec des systèmes de dégivrage et des profils aérodynamiques tels que connus d'après la figure 1, on a représenté schématiquement sur la figure 2 la possibilité de mettre en contact électrique la traverse de liaison 7 avec un pont de courant 9, et plus
15 précisément de mettre en contact électrique les fibres de renfort 8 électriquement conductrices de la traverse de liaison 7 avec le pont de courant 9 électriquement conducteur. La mise en contact électrique s'effectue ici de préférence de façon telle que la totalité du secteur couvert par le pont de courant 9 soit en contact électrique avec les fibres 8
20 électriquement conductrices de la traverse de liaison 7.

Il est à noter que l'exemple de réalisation de la figure 2 ne présente qu'une représentation schématique du principe fonctionnel, et que dans la pratique il existe naturellement d'autres formes et recouvrements par le pont de
25 courant, pour tenir compte des conditions locales correspondantes.

Si l'élément chauffant 2 est à présent alimenté en courant par la source de tension électrique, le pont de courant 9 forme, en combinaison avec la traverse de liaison 7, un diviseur de courant, et, en raison de la résistance
30 électrique considérablement plus faible du pont de courant 9, le flux de courant s'effectue principalement à travers le pont de courant 9 et moins à travers la traverse de liaison 7.

Grâce au pont de courant 9, on réalise ainsi un diviseur de courant qui
35 conduit à ce que la zone de fibres de renfort électriquement conductrices

recouverte par le pont de courant 9, conduit nettement moins de courant lors de l'alimentation en courant, de sorte que la puissance thermique dissipée est réduite par rapport aux fibres de renfort 8 électriquement conductrices, en permettant ainsi de réaliser un non-chauffage de la zone ou du secteur recouvert par le pont de courant 9.

Dans l'exemple de réalisation de la figure 2, le pont de courant 9 subdivise ainsi l'élément chauffant 2 en forme de U en un secteur chauffant situé avant et après ou en amont et en aval du pont de courant 9, correspondant à la première branche 5 et à la deuxième branche 6. En d'autres termes, lorsque l'élément chauffant 2 est alimenté en courant, la première branche 5 et la deuxième branche 6 forment un secteur chauffant ou un parcours chauffant, tandis que le secteur de la traverse de liaison 7 sur laquelle est placé le pont de courant 9, constitue une zone froide, qui n'est pas chauffée.

Le pont de courant 9 peut par exemple être un élément plat et mince présentant une configuration en forme de mailles, de grille ou de filet, qui de préférence est réalisé en cuivre (mèches de cuivre).

Aux extrémités des deux branches 5 et 6, qui sont diamétralement opposées à la traverse de liaison 7, il est en outre également prévu un pont de courant 10, qui est en contact électrique avec les fibres de renfort 8 électriquement conductrices des branches 5 et 6 respectives, à leur extrémité inférieure. Par l'intermédiaire des ponts de courant 10, on assure le contact électrique avec la source de tension 3, de sorte que ces ponts de courant 10 établissent un contact de l'élément chauffant 2 avec la source de tension électrique 3.

Cela a le premier avantage que grâce aux ponts de courant 10, il n'est pas nécessaire d'insérer des câbles supplémentaires à relativement forte section dans l'ensemble de la structure, pour relier l'élément chauffant 2 à la source de tension électrique 3. D'autre part, les ponts de courant 10, par exemple réalisés en un matériau à base de cuivre avec une très faible résistance spécifique, permettent d'éviter qu'il se produise dans l'espace en amont de l'élément chauffant 2, un apport d'énergie thermique en raison de la puissance électrique dissipée.

Ainsi, l'apport d'énergie thermique se limite exclusivement aux branches restantes 5 et 6 de l'élément chauffant 2, et s'en trouve ainsi modulé de manière définie.

5

La figure 3 montre un exemple de réalisation dans lequel deux éléments chauffants sont reliés mutuellement par l'intermédiaire d'un pont de courant 11 sous la forme d'un pont de courant de liaison. Dans ce cas, une extrémité de la deuxième branche 6 du premier élément chauffant 2a est mise en contact avec une extrémité de la première branche 5 du deuxième élément chauffant 2b au moyen du pont de courant 11, de sorte qu'il en résulte une liaison électriquement conductrice entre le premier élément chauffant 2a et le deuxième élément chauffant 2b. En raison du pouvoir conducteur électrique élevé du pont de courant 11, il ne se produit à cet endroit qu'un très faible apport d'énergie thermique, qui est nettement en retrait par rapport à l'apport d'énergie thermique des secteurs chauffants des branches 5 et 6 des éléments chauffants 2a, 2b.

10

15

On peut ainsi monter plusieurs éléments chauffants en série les uns derrière des autres, sans que l'apport d'énergie thermique global pour la structure sous-jacente ou l'élément chauffant lui-même ne devienne trop élevé. Grâce à la mise en place continue de zones froides au moyen des ponts de courant 9, 10 et 11, l'apport d'énergie thermique peut être modulé de manière définie.

20

La figure 4 montre schématiquement un exemple de réalisation, où le système de chauffage est réalisé par l'intermédiaire d'un montage en parallèle. A cet effet, il est prévu un premier pont de courant 11a et un deuxième pont de courant 11b entre lesquels sont agencées les branches 5a à 5c avec les fibres de renfort électriquement conductrices. Les ponts de courant 11a et 11b sont ici en contact avec les fibres de renfort électriquement conductrices des branches 5a à 5c au niveau de leurs extrémités respectives supérieures et inférieures, de manière que dans ces secteurs, les ponts de courant 11a, 11b s'appuient en surface, dans des secteurs partiels, sur les fibres de renfort électriquement conductrices.

25

30

35

Si à présent l'on établit, au moyen de la source de tension 3, un flux de courant dans les ponts de courant 11a et 11b ainsi que dans les branches 5a à 5c, ce sont notamment les branches 5a à 5c qui, en raison de leur résistance électrique spécifique plus élevée, s'échauffent nettement plus que les ponts de courant 11a et 11b présentant une résistance électrique spécifique plus faible par rapport à celle des fibres de renfort électriquement conductrices. Ceci permet de réaliser un apport défini d'énergie thermique.

Nomenclature :

	1	système de chauffage
	2	éléments chauffants
5	2a	premier élément chauffant
	2b	deuxième élément chauffant
	3	source de tension
	4	unité de commande
	5,6	branches
10	7	traverse de liaison
	8	fibres de renfort
	9	pont de courant
	10	ponts de courant
	11	pont de courant
15	100	profil ou corps aérodynamique
	110	surface d'écoulement
	120	bord d'attaque

Revendications :

1. Système de chauffage (1) pour la mise en température électrothermique, comportant au moins un élément chauffant mince (2) réalisé en un matériau composite renforcé de fibres, qui renferme des fibres de renfort (8) au moins en partie électriquement conductrices, noyées dans un matériau de matrice durci, les fibres de renfort (8) électriquement conductrices de l'élément chauffant mince (2) étant en contact ou pouvant être mises en contact avec une source de tension électrique (3), de sorte que les fibres de renfort (8) électriquement conductrices, dans lesquelles circule le courant, constituent un secteur alimenté en courant, **caractérisé en ce que** le système de chauffage (1) présente au moins un pont de courant mince (10), qui dans au moins un secteur partiel du secteur alimenté en courant s'appuie en surface sur les fibres de renfort (8) électriquement conductrices, et est en contact électrique avec celles-ci de manière que le pont de courant (9) forme un diviseur de courant, les ponts de courant (9) ayant une résistance électrique spécifique moindre que les fibres de renfort (8) électriquement conductrices.
2. Système de chauffage (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que pour former un diviseur de courant ledit au moins un pont de courant (9) est en contact avec les fibres de renfort (8) électriquement conductrices de manière telle que les fibres de renfort (8) électriquement conductrices forment un secteur chauffant en amont et en aval du secteur à diviseur de courant formé par le diviseur de courant, en se référant à la direction de circulation du courant.
3. Système de chauffage (1) selon la revendication 2, caractérisé en ce que le diviseur de courant forme dans le secteur à diviseur de courant une zone froide par rapport aux secteurs chauffants.
4. Système de chauffage (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que sont prévus au moins deux éléments chauffants minces (2), isolés électriquement l'un de l'autre, qui sont pontés au moyen

d'au moins un pont de courant (9), ledit au moins un pont de courant (9) étant mis en contact électrique, à une première extrémité, avec les fibres de renfort (8) électriquement conductrices du premier élément chauffant mince (2a), et à une deuxième extrémité opposée, avec les fibres de renfort électriquement conductrices du deuxième élément chauffant mince (2b).

5
10
15
20
25
30
35

5. Système de chauffage (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'un au moins des ponts de courant (10) est en appui de surface, à une première extrémité au début du secteur alimenté en courant d'un élément chauffant mince, sur les fibres de renfort (8) électriquement conductrices et est en contact électrique avec celles-ci, et, à une deuxième extrémité opposée, est ou peut être relié à la source de tension électrique (3).

6. Système de chauffage (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la résistance électrique spécifique des ponts de courant (10) vaut moins de 1 pourcent, de préférence moins de 5 pour mille, et de manière particulièrement préférée moins de 2 pour mille, de la résistance électrique spécifique des fibres de renfort (8) électriquement conductrices, et/ou en ce que les ponts de courant (10) et les fibres de renfort (8) électriquement conductrices présentent une différence de potentiel standard d'au maximum 0,4 V.

7. Système de chauffage (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les ponts de courant (10) sont réalisés en un matériau renfermant du cuivre et/ou de l'aluminium.

8. Système de chauffage (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'un au moins des ponts de courant minces (10) présente une configuration en forme de mailles, de grille ou de filet.

9. Système de chauffage (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit au moins un élément chauffant (1) est agencé en commun avec les ponts de courant (10) mis en contact, entre des couches de fibres de verre électriquement isolantes.

10. Corps aérodynamique comportant une surface d'écoulement (110) conçue pour être balayée par un fluide gazeux, le corps aérodynamique présentant un système de dégivrage pour dégivrer au moins une partie de la surface d'écoulement (110), **caractérisé en ce que** le système de dégivrage comprend un système de chauffage (1) selon l'une des revendications précédentes, qui est en contact avec une source de tension électrique (3) pour l'application d'une tension électrique.
11. Corps aérodynamique selon la revendication 10, caractérisé en ce que le corps aérodynamique est constitué par un bord d'attaque d'une aile d'avion, par des volets d'une aile d'avion, par l'empennage d'un avion, par les pales de rotor d'un hélicoptère ou par les pales de rotor d'une installation éolienne.
12. Procédé pour fabriquer un système de chauffage (1) pour la mise en température électrothermique, comprenant les étapes suivantes :
- introduire des fibres de renfort (8) électriquement conductrices d'un matériau composite renforcé de fibres dans un outillage de mise en forme pour former au moins un élément chauffant mince (2),
 - mettre les fibres de renfort (8) électriquement conductrices de l'élément chauffant (2) en contact avec au moins un pont de courant mince (10) en appliquant l'au moins un pont de courant (9) sur les fibres de renfort (8) électriquement conductrices dans au moins un secteur partiel, de manière que le pont de courant (9) forme un diviseur de courant, les ponts de courant (10) ayant une résistance électrique spécifique moindre que les fibres de renfort (8) électriquement conductrices,
 - réaliser des zones de contact électrique destinées à mettre l'élément chauffant (2) en contact avec une source de tension électrique (3), et
 - durcir un matériau de matrice ayant été infusé dans les fibres de renfort (8) électriquement conductrices, par mise en température et/ou mise sous pression.
13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que ledit au moins

un pont de courant (9) pour former un diviseur de courant est mis en contact avec les fibres de renfort (8) électriquement conductrices de manière telle que les fibres de renfort (8) électriquement conductrices, lorsqu'elles sont alimentées en courant, forment un secteur chauffant en amont et en aval du secteur à diviseur de courant formé par le diviseur de courant, en se référant à la direction de circulation du courant,

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que par le diviseur de courant on forme dans le secteur à diviseur de courant une zone froide par rapport aux secteurs chauffants.

15. Procédé selon l'une des revendications 12 à 14, caractérisé en ce que par l'introduction des fibres de renfort (8) électriquement conductrices dans l'outillage de mise en forme, l'on forme au moins deux éléments chauffants minces (2) isolés électriquement l'un de l'autre, les fibres de renfort (8) électriquement conductrices des éléments chauffants (2) étant pontées au moyen d'au moins un pont de courant (9), en mettant ledit au moins un pont de courant (9) en contact électrique, à une première extrémité, avec les fibres de renfort (8) électriquement conductrices du premier élément chauffant mince (2a), et à une deuxième extrémité opposée, avec les fibres de renfort électriquement conductrices du deuxième élément chauffant mince (2b).

16. Procédé selon l'une des revendications 12 à 15, caractérisé en ce que l'on applique les fibres de renfort (8) électriquement conductrices sur une première couche de fibres de verre dans l'outillage de mise en forme, et après l'introduction des fibres de renfort (8) électriquement conductrices et des ponts de courant (10) dans l'outillage de mise en forme, on applique une deuxième couche de fibres de verre sur les fibres de renfort (8) électriquement conductrices ayant été introduites.

17. Procédé pour fabriquer un corps aérodynamique comprenant un système de dégivrage, **caractérisé en ce que** le système de dégivrage est fabriqué conformément au procédé selon l'une des revendications 12 à 16 lors de la fabrication du corps aérodynamique.

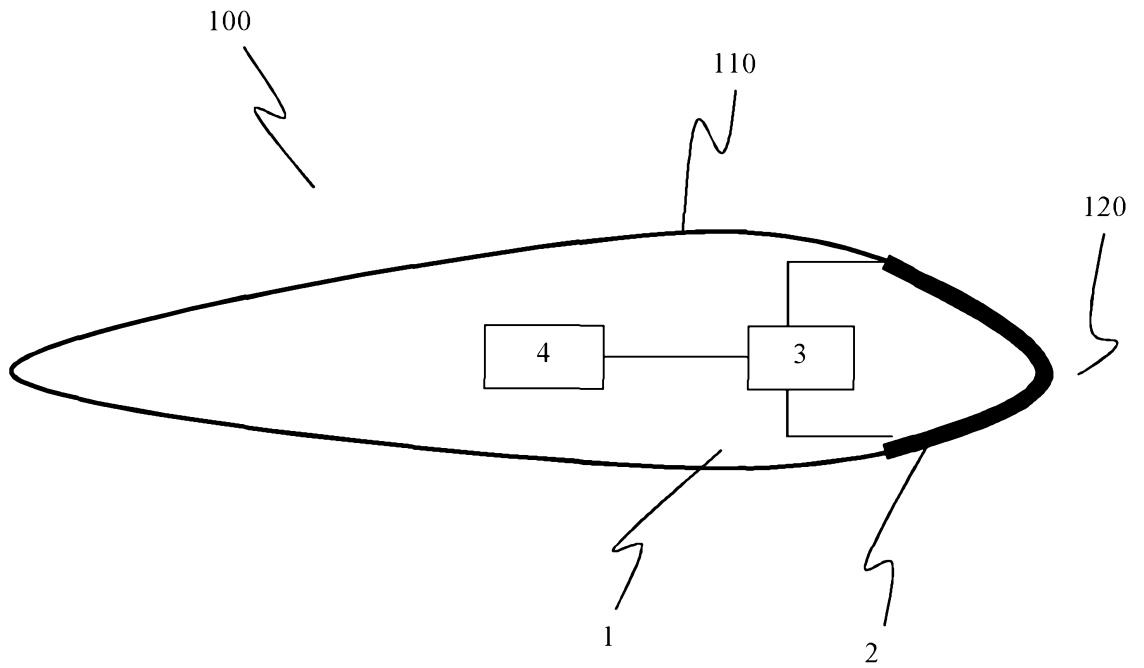


Figure 1

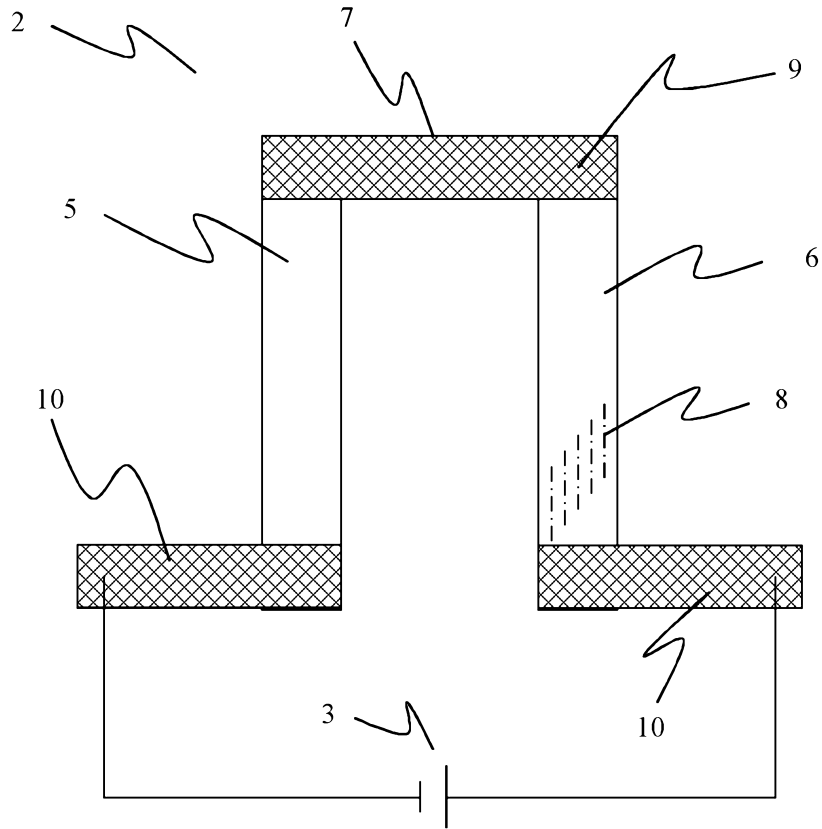


Figure 2

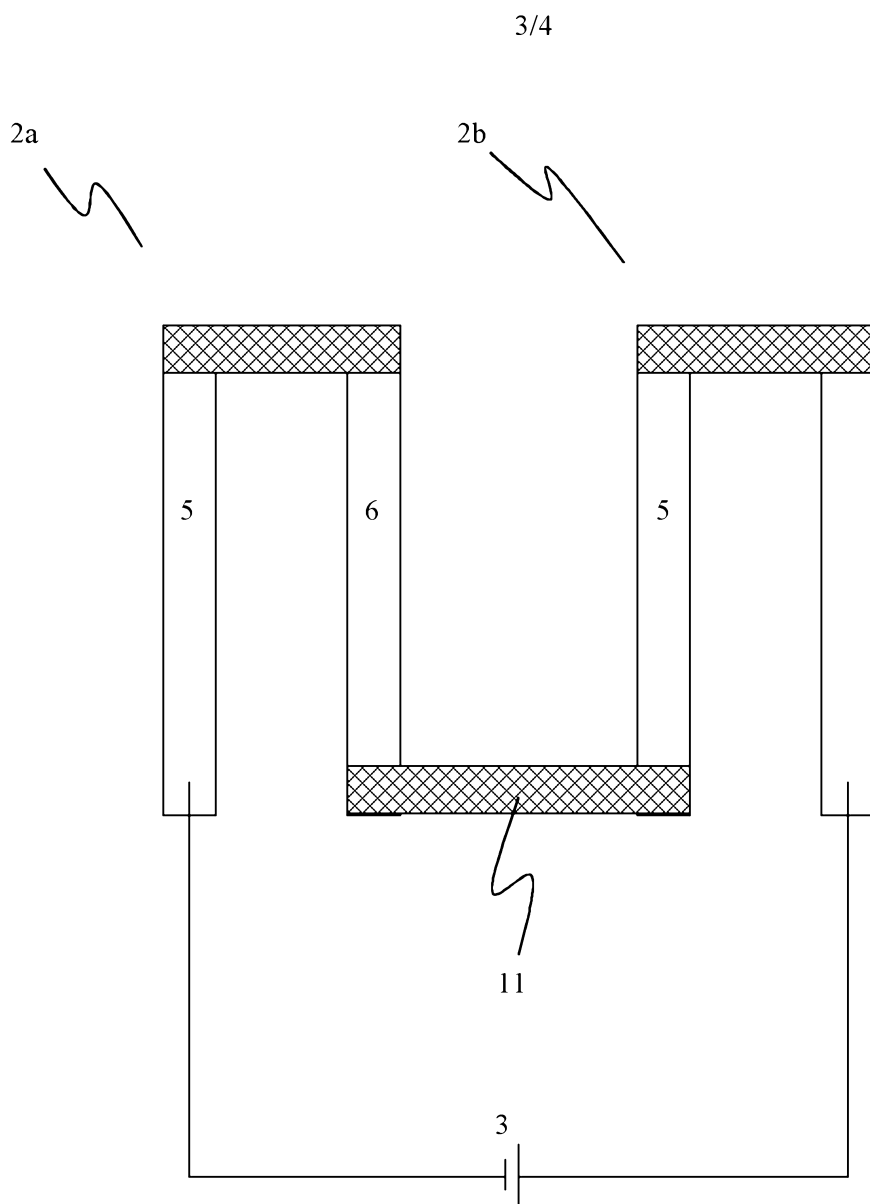


Figure 3

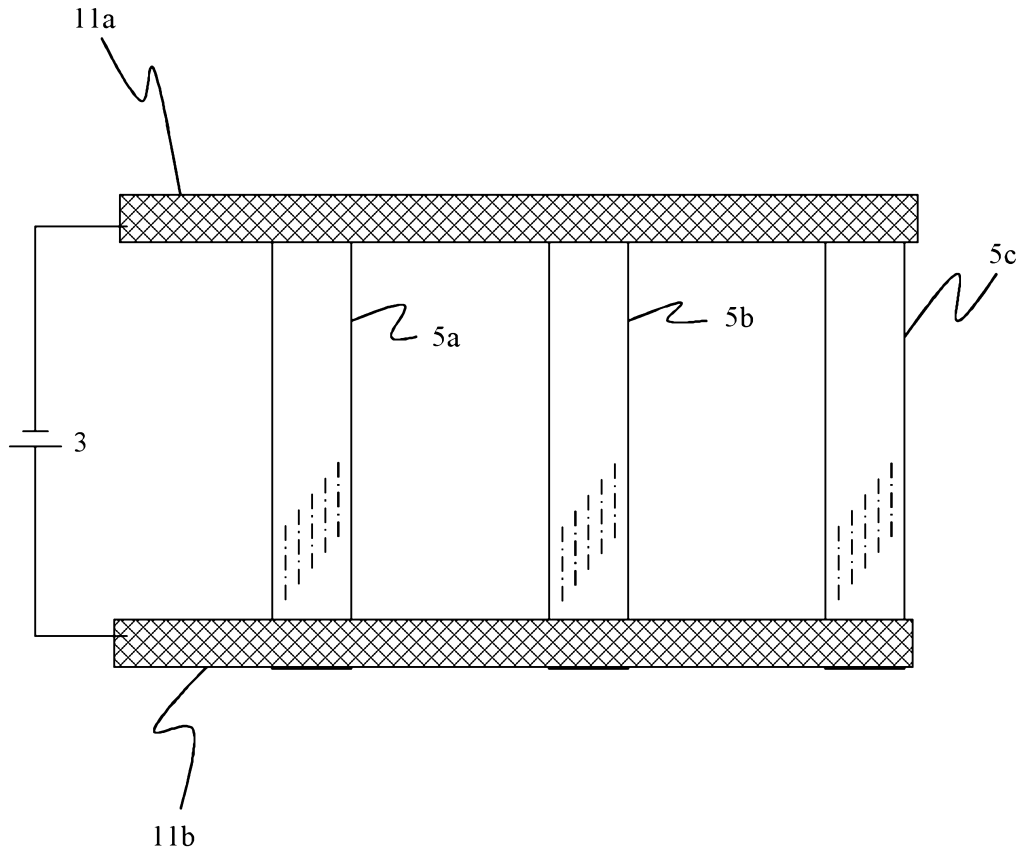


Figure 4

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

NEANT

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

GB2319943 A (EUROCOPTER AEROPORT INTERNATIO [FR]) 3 juin 1998 (1998-06-03)

US5947418 A (BESSIERE ROBERT [FR]) 7 septembre 1999 (1999-09-07)

US2006278631 A1 (LEE KUO-TING [TW]) 14 décembre 2006 (2006-12-14)

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

NEANT