

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 144 719**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **22 14579**

⑤1 Int Cl⁸ : **H 02 K 1/14 (2023.01), H 02 K 1/16**

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 28.12.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.07.24 Bulletin 24/27.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *Renault s.a.s Société par actions sim-
plifiée — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : KOLEHMAINEN Jere.

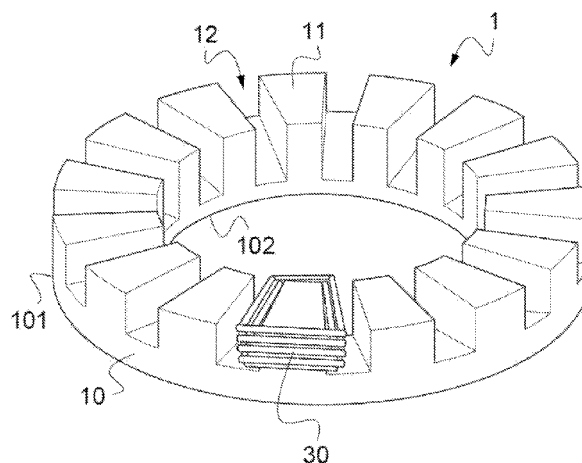
⑦3 Titulaire(s) : Renault s.a.s Société par actions simpli-
fiée.

⑦4 Mandataire(s) : Fedit-Loriot.

⑤4 **Stator pour machine électrique à flux axial et procédé d'obtention d'un tel stator.**

⑤7 L'invention concerne un stator (1) pour machine à flux axial, comprenant une culasse (10) en forme de couronne sur laquelle sont installée une pluralité de dents (11) formant une alternance circulaire de dents (11) et d'encoches (12); dans lequel chaque encoche (12) présente une largeur (121) croissante en fonction de l'augmentation de la distance radiale (R) par rapport au centre de la culasse (10), et en ce que l'épaisseur de la culasse (10), selon la direction axiale (X), augmente en fonction de sa distance radiale (R) au centre du stator (1).

Figure d'abrégé : Fig. 1a



FR 3 144 719 - A1



Description

Titre de l'invention : Stator pour machine électrique à flux axial et procédé d'obtention d'un tel stator

- [0001] L'invention concerne le domaine des machines électriques à flux axial.
- [0002] En particulier l'invention concerne les structures de stator pour machines à flux axial.
- [0003] Il est connu que les machines électriques à flux axial présentent des propriétés avantageuses pour les véhicules automobiles, en particulier leur encombrement réduit.
- [0004] Cependant, la machine à flux axial présente certaines difficultés de conception et de fabrication.
- [0005] Il est connu de fabriquer les stators de machines électriques à flux axial par enroulement d'une bande de tôle, par exemple en acier électrique, perforée.
- [0006] Le procédé de perforation classique produit ainsi un stator à culasse à épaisseur constante et à encoches à largeur constante, les perforations étant réalisées de manière identique en tout point de la bande d'enroulement. Ceci permet d'obtenir le stator de manière relativement simple, mais le flux magnétique est fortement déséquilibré.
- [0007] En effet, la forme générale des encoches ainsi produites à largeur constante, et donc générant des dents de forme sensiblement en prisme droit à base trapézoïdale isocèle, produisent une densité du flux et des pertes en fer particulièrement élevées dans les parties radialement internes des dents du stator et dans les parties radialement externes dans les culasses du stator. En outre, le flux radial provoque des pertes supplémentaires par courants de Foucault si une structure en fer laminé est utilisée.
- [0008] Cette problématique est notamment développée dans la publication *Thomas Boussey. Étude et dimensionnement de machine à flux axial pour le véhicule hybride électrique. Energie électrique. Université Grenoble Alpes, 2018. Français*, où des modèles par éléments finis mettent en évidence les phénomènes de saturation des flux au niveau de la culasse du stator ainsi que les pertes et saturations au niveau des dents du stator.
- [0009] Aussi, il existe le besoin d'un stator pouvant être obtenu simplement et présentant des densités de flux répartis plus uniformément et réduisant les pertes fer.
- [0010] A cet effet on propose un stator pour machine électrique à flux axial, comprenant une culasse en forme de couronne sur laquelle sont installée une pluralité de dents formant une alternance circonférentielle de dents et d'encoches ;
- [0011] lesdites dents présentant une forme de prisme droit à base trapézoïdale isocèle ; et chacune des dents étant séparée de chacune de ses dents voisines par une encoche, lesdites encoches s'étendant dans la largeur entre deux dents successives, et dans la direction radiale entre les deux extrémités radiales de la culasse.
- [0012] Chaque encoche du stator présente une largeur croissante en fonction de

l'augmentation de la distance radiale par rapport au centre de la culasse, et l'épaisseur de la culasse, selon la direction axiale, augmente en fonction de sa distance radiale au centre du stator.

- [0013] Ainsi, on peut obtenir une meilleure répartition des flux électromagnétiques dans le stator sans perte d'efficacité.
- [0014] Avantagement, pour chaque encoche, la variation l'épaisseur de la culasse et la variation de la largeur de l'encoche sont déterminées pour que la section transversale de l'encoche soit constante quelle que soit la distance radiale au centre du stator. Ceci permet une répartition optimisée des flux électromagnétiques et une réduction encore plus efficace des pertes fer.
- [0015] En particulier, le stator comprend pour chaque dent un bobinage statorique enroulé autour de ladite dent en passant dans les encoches adjacentes à ladite dent.
- [0016] Avantagement, le stator comprend une couronne supérieure, agencée de sorte à enfermer les bobinages statoriques axialement entre la culasse et la couronne supérieure. Ceci permet un maintien robuste des bobinages autour des dents du stator.
- [0017] En particulier, le stator comprend pour chaque dent un bobinage enroulé autour de ladite dent en passant dans les encoches adjacentes à ladite dent, caractérisé en ce que pour chaque dent un corps d'isolation est monté autour de la dent de sorte à s'intercaler entre la dent et le bobinage et de sorte à s'intercaler entre le bobinage et la culasse. Ceci permet une installation optimale des bobinages statoriques.
- [0018] Avantagement, chaque corps d'isolation de chaque dent présente un espacement latéral éloignant le bobinage de la dent et un espacement vertical éloignant le bobinage de la culasse, lesdits espacement latéraux et verticaux variant en fonction de la distance radiale au centre du stator.
- [0019] Ceci permet une installation améliorée des bobinages statoriques, permettant en outre un refroidissement performant.
- [0020] Avantagement, pour chaque corps d'isolation, plus la distance radiale au centre du stator augmente plus l'espacement latéral augmente et plus l'espacement vertical diminue. Ainsi ceci constitue une mise en œuvre optimale des espacement latéraux et verticaux du corps d'isolation.
- [0021] L'invention concerne aussi une machine électrique à flux axial comprenant un rotor à aimant permanent et un stator tel que décrit précédemment.
- [0022] L'invention concerne aussi un procédé d'obtention d'un stator tel que décrit précédemment comprenant des étapes de :
- [0023] -fourniture d'une bande de tôle ;
- [0024] - une étape d'enroulement de la bande ;
- [0025] caractérisé en ce qu'au cours de l'étape d'enroulement on met en œuvre une étape répétée de perforation ;

- [0026] ladite étape de perforation étant réalisée de sorte qu'à chaque révolution de l'enroulement la largeur de la perforation augmente et la hauteur de perforation diminue.
- [0027] Avantageusement, la perforation est réalisée par un organe de perforation à largeur constante, et lorsque la largeur d'une perforation à réaliser est supérieure à la largeur de l'organe de perforation, on met en œuvre une pluralité d'actionnement de l'organe de perforation pour ladite perforation à réaliser, la bande étant décalée entre chaque actionnement de sorte à obtenir la largeur de perforation à réaliser.
- [0028] D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après de plusieurs modes de réalisation de l'invention, donnés à titre indicatif mais non limitatifs, en référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0029] [Fig.1a] est une vue schématique d'un stator selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- [0030] [Fig.1b] est une autre vue schématique du stator selon la [Fig.1a] ;
- [0031] [Fig.1c] est une vue schématique du stator refermé par une couronne supérieure de maintien des bobinages statoriques selon le mode de réalisation principal de l'invention ;
- [0032] [Fig.1d] est une autre vue schématique du stator refermé par une couronne supérieure de maintien des bobinages statoriques selon un autre mode de réalisation principal de l'invention ;
- [0033] [Fig.2] est une vue schématique d'une dent et d'une encoche d'un stator selon l'invention, ainsi que trois vues en coupe de la dent à différentes distances radiales du centre du stator ;
- [0034] [Fig.3] la représentation a) est une vue en perspective d'un corps d'isolation selon le mode de réalisation principal de l'invention, entouré de bobinages statoriques et surmonté d'une couronne supérieure ; les représentations b), c) et d) sont des vues en coupe, en section transversale, du corps d'isolation de la représentation a) de la [Fig.3], à différentes distances radiales du centre du stator ;
- [0035] [Fig.4] la représentation a) est une vue d'une dent sur laquelle est montée un corps d'isolation selon le mode de réalisation principal de l'invention, entouré de bobinages statoriques et surmonté d'une couronne supérieure ; les représentations b), c) et d) sont des vues en coupe, en section transversale, de la dent et du corps d'isolation de la représentation a) de la [Fig.4], à différentes distances radiales du centre du stator ;
- [0036] [Fig.5] est une représentation cinématique du procédé d'obtention du stator selon l'invention ;
- [0037] [Fig.6] la représentation a) est une vue éclatée tronquée d'une dent et d'un corps d'isolation selon un mode de réalisation alternatif de l'invention, surmonté d'une couronne supérieure ; les représentations b) et c) sont des vues en coupe, en section

transversale, du corps d'isolation de la représentation a) de la [Fig.6], à différentes distances radiales du centre du stator ;

- [0038] [Fig.6d] est une vue éclatée d'une dent et d'un corps d'isolation selon un mode de réalisation alternatif de la [Fig.6], a) ;
- [0039] [Fig.7] est une représentation éclatée d'un corps d'isolation monté sur une dent et d'un bobinage présentant une forme modifiée ;
- [0040] [Fig.8a] est une vue d'une barre de cuivre enroulée autour d'une dent d'un stator selon l'invention et de deux vues en coupe à différentes distances radiales du centre du stator ;
- [0041] [Fig.8b] est une vue éclatée de la vue de la [Fig.8a].
- [0042] Une machine électrique à flux axial, comprend dans ce mode de réalisation deux stators 1 et un rotor, non représenté, ledit rotor étant généralement intercalé entre les deux stators, la succession stator-rotor-stator étant alignée sur un même axe de rotation X.
- [0043] Toutefois l'invention n'est pas limitée à cet agencement particulier de rotor et de stator, et peut par exemple être adaptée, de manière non limitative, à des configurations à un stator et un rotor, un stator et deux rotors, deux stators et trois rotors.
- [0044] Le rotor est généralement composés d'aimants permanents installés en regard du stator, de sorte que lorsque les bobinages statoriques sont alimentés électriquement, les aimants permanents sont soumis à un champ magnétique exerçant une force entraînant en rotation le rotor.
- [0045] Le stator 1 est fait d'un enroulement de bande de tôle, enroulée sur elle-même autour de l'axe de rotation X par couches superposées de sorte à forme un corps de forme générale cylindrique.
- [0046] Au cours de son enroulement, la bande est perforée de sorte que le stator 1 ainsi formé présente une alternance de dents 11 et d'encoches 12.
- [0047] Des bobinages statoriques sont alors enroulés autour des dents 11, passant dans les encoches 12 voisines, de sorte que lorsqu'ils sont alimentés électriquement ils génèrent des flux électromagnétiques radiaux produisant des forces sur les aimants permanents du rotor l'entraînant en rotation.
- [0048] Le stator 1 est fait d'une bande enroulée, présentant une culasse 10 en forme générale de couronne.
- [0049] On entend par couronne dans le contexte de l'invention un corps cylindrique à paroi épaisse et de faible hauteur.
- [0050] Des dents 11 s'étendent axialement X à la surface de la culasse 10, de sorte que le stator 1 est formé de la culasse 10 sur laquelle est formée une alternance circonférentielle de dents 11 et d'encoches 12 s'étendant axialement sur la surface de la culasse 10.

- [0051] Cet ensemble culasse et dents est formé par l'empilement de la bande de tôle enroulée sur elle-même, perforée et laminée de sorte à produire le corps du stator 10 ainsi formé d'une seule pièce.
- [0052] Les dents 11 présentent une forme générale de prisme droit à base trapézoïdale isocèle.
- [0053] Ainsi les encoches 12 qui sont définies par un espace vide s'étendent dans la largeur 121 entre deux dents successives 11, et dans la direction radiale R entre les deux extrémités radiales 101, 102 de la culasse 10.
- [0054] Chaque encoche 12 du stator selon l'invention présente une largeur 121 croissante en fonction de l'augmentation de la distance radiale R par rapport au centre de la culasse 10, et l'épaisseur de la culasse 10, selon la direction axiale X, augmente en fonction de sa distance radiale R.
- [0055] Autrement dit, contrairement aux encoches des stators de l'art antérieur, ces encoches 12 ne sont pas à largeur et à « profondeur » constante.
- [0056] On entend par le terme de profondeur d'encoche la distance entre la surface de la culasse 10 et le sommet des dents adjacentes 11.
- [0057] La largeur des encoches 12, telle que représenté [Fig.2], mesurée comme la distance directe en deux dents pour une distance radiale R donnée au centre du stator, augmente à mesure que l'on s'éloigne du centre du stator.
- [0058] Autrement dit, l'espacement entre deux dents est plus important à l'extérieur du stator, selon la direction radiale, qu'à l'intérieur.
- [0059] En outre le stator présente une épaisseur de la culasse 10, selon la direction axiale X, augmentant en fonction de la distance radiale R au centre du stator 10.
- [0060] Autrement dit, la culasse 10, tel que représenté [Fig.2], est plus épaisse à l'extérieur de la couronne qu'à l'intérieur, selon la direction radiale.
- [0061] Cette répartition avantageuse des encoches et de l'épaisseur de la culasse, permet d'optimiser les flux électriques dans le stator, réduisant les saturations de flux et les pertes fer.
- [0062] Afin de calculer les optimisations de largeur des encoches et d'épaisseur de la culasse par rapport aux stators de l'art antérieur, à largeur d'encoche constante et épaisseur de culasse constante, on définit tout d'abord les termes suivants :
- [0063] Pour un rayon donné R_{Opt} on définit des valeurs standard choisies par l'homme du métier pour réaliser son stator, et qu'il considérerait comme optimal au sens de l'art antérieur :
- [0064] W_{Opt}^{Tooth} largeur optimale des dents pour un stator de l'art antérieur ;
- [0065] W_{Opt}^{Slot} largeur optimale des encoches pour un stator de l'art antérieur ;
- [0066] $H_{Opt}^{Slot} = H_{Opt}^{Tooth}$ respectivement profondeur des encoches et hauteur des dents pour un

stator de l'art antérieur ; et

[0067] Y_{Opt}^{Yoke} épaisseur de la culasse optimale pour un stator de l'art antérieur

[0068] Le terme optimal dans ce contexte signifie uniquement que ces valeurs auraient été choisies par l'homme du métier pour réaliser, de manière optimale, un stator de l'art antérieur tel qu'exposé précédemment, et ce malgré les problèmes que résolvait la présente invention.

[0069] On met alors en œuvre pour la réalisation du stator selon l'invention, les équations suivantes :

[0070] [Math.1]

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{In}^{Slot} = \frac{R_{In}}{R_{Opt}} W_{Opt}^{Slot} \\ W_{Out}^{Slot} = \frac{R_{Out}}{R_{Opt}} W_{Opt}^{Slot} \\ W_{In}^{Teeth} = \frac{R_{In}}{R_{Opt}} W_{Opt}^{Teeth} \\ W_{Out}^{Teeth} = \frac{R_{Out}}{R_{Opt}} W_{Opt}^{Teeth} \end{array} \right.$$

[0071] Dans lesquelles équations, en référence particulière à la [Fig.1b] :

[0072] W_{In}^{Slot} est la largeur d'une encoche entre deux dents au voisinage de l'extrémité interne 102 de la couronne ;

[0073] W_{Out}^{Slot} est la largeur d'une encoche entre deux dents au voisinage de l'extrémité externe 101 de la culasse ;

[0074] W_{In}^{Teeth} est la largeur d'une dent au voisinage de l'extrémité interne 102 de la culasse ; et

[0075] W_{Out}^{Teeth} est la largeur d'une dent au voisinage de l'extrémité externe 101 de la culasse ;

[0076] R_{Out} est le rayon externe de la culasse ;

[0077] R_{In} est le rayon interne de la culasse ;

[0078] W_{Opt}^{Tooth} est la valeur standard de largeur d'une dent, telle que l'aurait défini l'homme du métier pour la réalisation d'un stator de l'art antérieur ;

[0079] W_{Opt}^{Slot} est la valeur standard de largeur d'une encoche, telle que l'aurait défini l'homme du métier pour la réalisation d'un stator de l'art antérieur ;

[0080] $H_{Opt}^{Slot} = H_{Opt}^{Tooth}$ sont les hauteurs standard qu'aurait défini l'homme du métier pour une hauteur de dent d'un stator de l'art antérieur ; et

[0081] Y_{Opt}^{Yoke} est l'épaisseur standard de la culasse telle que l'aurait défini l'homme du

métier pour la réalisation d'un stator de l'art antérieur.

[0082] On notera que Y_{Opt}^{Yoke} est dimensionné de sorte que :

[0083] [Math.2]

$$\frac{W_{Opt}^{Tooth}}{2} < Y_{Opt}^{Yoke} < W_{Opt}^{Tooth}$$

[0084] Pour optimiser les largeurs des encoches et des dents, on souhaite que la surface de la section transversale de l'encoche soit la même à l'intérieur et à l'extérieur, comme suit :

[0085] [Math.3]

$$A_{In}^{Slot} = W_{In}^{Slot} \cdot H_{In}^{Slot} = W_{Opt}^{Slot} \cdot H_{Opt}^{Slot} = W_{Out}^{Slot} \cdot H_{Out}^{Slot} = A_{Out}^{Slot}$$

[0086] Avec

[0087] [Math.4]

$$\begin{cases} H_{In}^{Slot} = \frac{R_{Opt}}{R_{In}} H_{Opt}^{Slot} \\ H_{Out}^{Slot} = \frac{R_{Opt}}{R_{Out}} H_{Opt}^{Slot} \end{cases}$$

[0088] A_{In}^{Slot} la surface de la section transversale d'une encoche au voisinage de l'extrémité interne 102 de la culasse ;

[0089] A_{Out}^{Slot} la surface de la section transversale d'une encoche au voisinage de l'extrémité externe 101 de la culasse ;

[0090] H_{In}^{Slot} l'épaisseur de la culasse 10 au voisinage de l'extrémité interne 102 de la culasse ; et

[0091] H_{Out}^{Slot} l'épaisseur de la culasse 10 au voisinage de l'extrémité externe 101 de la culasse ; et

[0092] (Les fentes peuvent alors être utilisées efficacement pour le refroidissement et le changement de forme de l'enroulement).

[0093] De même, l'épaisseur optimale de la culasse du stator suit les équations de la dent.

[0094] [Math.5]

$$\begin{cases} Y_{In}^{Yoke} = \frac{R_{In}}{R_{Opt}} Y_{Opt}^{Yoke} \leftarrow \text{Optimal} \\ Y_{Out}^{Yoke} = \frac{R_{Out}}{R_{Opt}} Y_{Opt}^{Yoke} \leftarrow \text{Optimal} \end{cases}$$

[0095] Ces équations permettent ainsi de créer un lien entre l'épaisseur de la culasse et la largeur des encoches de sorte à conserver, pour tout rayon R du stator, une surface d'encoche constante.

[0096] Ainsi, on fait varier la largeur de l'encoche et la « profondeur de l'encoche », c'est-à-dire la hauteur entre la surface de la culasse et le haut des dents adjacentes.

[0097] En référence aux figures 3a)-3d) et 4a)-4d), les bobinages statoriques 30 sont

enroulés autour des dents 11, passant dans les encoches adjacentes 12.

- [0098] Afin d'assurer un refroidissement de ces bobinages 30, un corps d'isolation 31 est installé dans chaque encoche au contact de la dent sur sa paroi verticale.
- [0099] Selon le mode de réalisation principal de l'invention, ce corps d'isolation 31 présente une forme comprenant un espacement latéral 311 maintenant le bobinage statorique à distance de la paroi verticale de la dent 11 et un espacement vertical 310 maintenant à distance les bobinages statoriques de la surface de la culasse 10.
- [0100] Les espacement latéraux 311 et verticaux 310 varient en fonction de la distance radiale au centre du stator.
- [0101] Ainsi, tel que représenté figures 3b)-3d) et 4b)-4d), où les vues en coupes sont alignées de gauche à droite représentant chacune trois coupes par distance croissante du rayon au centre du stator, on remarque respectivement :
- [0102] Figure 3b) et figure 4b) : au voisinage du rayon interne de la culasse 10, l'espacement vertical 310 est maximal tandis que l'espacement latéral 311 est nul ;
- [0103] Figure 3c) et figure 4c) : sensiblement à mi-distance des extrémités radiales interne et externe du stator, l'espacement vertical 310 est diminué, par comparaison avec cet espacement au voisinage du rayon interne, tandis que l'espacement latéral 311 est augmenté ; et
- [0104] Figure 3d) et figure 4d) au voisinage du rayon externe de la culasse 10, l'espacement vertical 310 est nul tandis que l'espacement latéral 311 est maximal ;
- [0105] Cette variation des espacements 310 et 311 du corps d'isolation 31 permettent d'assurer un positionnement optimal des bobinages autour des dents, malgré les variations de largeur des encoches et de hauteur de la culasse 10, et tout en assurant un refroidissement optimal des bobinages statoriques.
- [0106] Afin de maintenir les bobinages statoriques fermement autour des dents 11 et dans les encoches 12, une couronne supérieure 15 est installée contre les dents, à leur extrémité libre, opposée à la culasse 10, de sorte à enfermer les bobinages statoriques 30 entre la culasse, les dents et la couronne supérieure 15 ([Fig.1d]). Ceci permet ainsi de maintenir les bobinages statoriques 30 autour des dents 11. Alternativement, la couronne 15 peut être discontinue (fig. 5c)).
- [0107] L'invention n'est pas limitée au corps d'isolation 31 des figures 3a) à 3d).
- [0108] En particulier, en référence au figures 6a) à 6d), le corps d'isolation 31' présente :
- [0109] Figure 6b) : au voisinage du rayon interne de la culasse 10, l'espacement vertical 310 est maximal tandis que l'espacement latéral 311 est nul, mais contrairement aux figures 3a-3d le chemin d'air 60 est ouvert dans l'espace entre le corps d'isolation et la pile du stator tandis que dans le premier mode de réalisation le chemin d'air 310 est enfermé entre les bobinages statoriques et les dents 11 ;
- [0110] Figure 6c) : au voisinage du rayon externe de la culasse 10, l'espacement vertical 310

est nul et l'espacement latéral 311 est nul, maximisant l'espace entre les bobinages insérés dans une même encoche pour le chemin d'air.

- [0111] Une autre alternative de mise en œuvre, non représentée, peut comprendre un chemin d'air entièrement intégré dans le corps d'isolation, par exemple via des canaux formés sans contact direct avec les bobinages, les dents ou la pile du stator.
- [0112] D'autres alternatives de mises en œuvre peuvent être envisagées pour l'invention.
- [0113] En référence à la [Fig.7], le corps d'isolation 31'' ne comprend pas de chemin d'air formé.
- [0114] Dans cette [Fig.7], les bobinages 70 sont montés autour de l'un des corps d'isolation 31, 31', 31'' de l'invention, non limité à ce seul exemple mais pouvant être aussi adapté aux corps d'isolation 31, 31' des autres modes de réalisation décrits.
- [0115] Les bobinages 70 sont constitués d'une pluralité de brins appartenant chacun à au moins une phase du réseau d'alimentation triphasé.
- [0116] Bien que dans l'art antérieur il soit habituel d'empiler les brins par couches successives se rapportant chacune à une phase, dans cette alternative de mise en œuvre, un quatrième ensemble de brins, ici des brins de terre 71, sont intercalés entre les brins des bobinages, et certains brins de phase peuvent être décalés sur des couches voisines, afin d'améliorer le refroidissement des bobinages.
- [0117] Par ailleurs, en référence à la figure 8, le corps d'isolation 31-31'' peut être substitué par une barre de cuivre 80 enroulée directement autour des dents, la barre de cuivre 80 ainsi présente une largeur 82 plus importante sur sa portion au voisinage du rayon externe de la culasse 11, tandis qu'il comprend une largeur amoindrie 83 sur la portion au voisinage du rayon interne de la culasse 10.
- [0118] L'invention concerne aussi un procédé de réalisation du stator 1.
- [0119] Ce procédé comprend, en référence à la [Fig.5], des étapes de
- [0120] -fourniture d'une bande de tôle, ici d'acier électrique ;
- [0121] -cette bande est progressivement enroulée sur elle-même, et à chaque pas d'enroulement une étape répétée de perforation est mise à œuvre de sorte à découper les encoches 12 statoriques.
- [0122] La [Fig.5] représente une cinématique de perforation des encoches ordonnées par ordre alphabétique de a) à m).
- [0123] Ainsi en référence à la [Fig.5] le procédé peut être décrit comme suit :
- [0124] - a) à l) : Un poinçon 60 poinçonne la bande de tôle 50 pour former les encoches du rayon interne stator ;
- [0125] - cette étape est répétée par pas de progression, la bande avançant à chaque perforation d'une valeur correspondant à la largeur voulue des dents.
- [0126] Au fur et à mesure de l'enroulement de la bande sur elle-même, la bande est décalée relativement au poinçon de sorte que l'épaisseur de la culasse 10 augmente. En outre à

mesure de l'augmentation des enroulements statoriques, et donc à mesure qu'on découpe des encoches pour des rayons croissants au centre du stator, la largeur des encoches réalisées est augmentée.

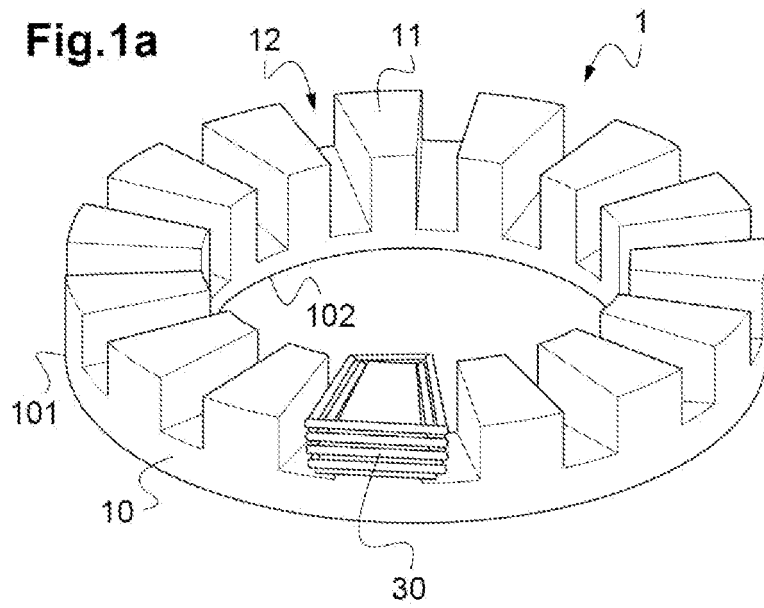
- [0127] Afin d'augmenter la largeur des encoches, et compte tenu du fait que dans ce mode de réalisation le poinçon présente une largeur constante, chaque encoche est poinçonnée une pluralité de fois, tout en étant décalée en conséquence, de sorte à obtenir la largeur d'encoche souhaitée.
- [0128] Selon une alternative, afin de faire varier l'épaisseur de la culasse, en fonction de l'outil de poinçonnage employé, le poinçon 60 peut être déplacé par rapport à la bande 50 et non l'inverse.
- [0129] Ainsi on remarque que [Fig.5] références e) à h) les perforations des encoches sensiblement à mi-épaisseur du stator, présentent des encoches plus larges qu'au rayon interne et une culasse plus haute ; et
- [0130] Les références i) à l) de la [Fig.5], concernent les derniers enroulements correspondant au rayon externe du stator, les encoches sont alors encore plus larges et l'épaisseur de la culasse 10 encore plus importante.
- [0131] Plus l'épaisseur de la culasse 10 augmente moins la hauteur de l'encoche est importante. Ainsi, lorsque la perforation a pour effet d'augmenter l'épaisseur de la culasse 10, on comprend qu'il s'agit aussi d'une réduction de la hauteur de la perforation réalisée pour l'encoche 12 associée.
- [0132] Comme exposé précédemment, ces variations d'épaisseur de la culasse 10 et de largeur de l'encoche 12 sont calculées de sorte que la surface de perforation de chaque encoche 12 soit constante pour toute distance radiale du stator.

Revendications

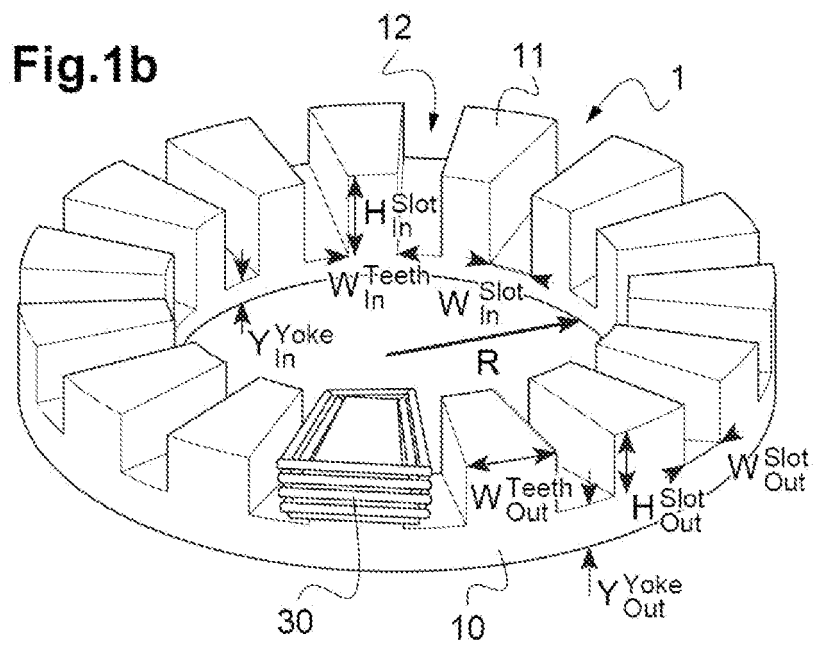
- [Revendication 1] Stator (1) pour machine électrique à flux axial, comprenant une culasse (10) en forme de couronne sur laquelle sont installée une pluralité de dents (11) formant une alternance circonférentielle de dents (11) et d'encoches (12) ;
lesdites dents (11) présentant une forme de prisme droit à base trapézoïdale isocèle ; et chacune des dents (11) étant séparée de chacune de ses dents voisines (11) par une encoche (12), lesdites encoches (12) s'étendant dans la largeur (121) entre deux dents successives (11), et dans la direction radiale (R) entre les deux extrémités radiales (101, 102) de la culasse (10),
ledit stator (1) étant **caractérisé en ce que** chaque encoche (12) présente une largeur (121) croissante en fonction de l'augmentation de la distance radiale (R) par rapport au centre de la culasse (10), et en ce que l'épaisseur de la culasse (10), selon la direction axiale (X), augmente en fonction de sa distance radiale (R) au centre du stator (1).
- [Revendication 2] Stator (1) pour machine à flux axial selon la revendication 1, caractérisé en ce que pour chaque encoche (12), la variation l'épaisseur de la culasse (10) et la variation de la largeur de l'encoche sont déterminées pour que la section transversale de l'encoche soit constante quelle que soit la distance radiale au centre du stator (1).
- [Revendication 3] Stator (1) selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comprend pour chaque dent (11) un bobinage statorique (30) enroulé autour de ladite dent (11) en passant dans les encoches adjacentes (12) à ladite dent (11).
- [Revendication 4] Stator (1) selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un couronne supérieure, agencée de sorte à enfermer les bobinages statoriques axialement entre la culasse et la couronne supérieure.
- [Revendication 5] Stator (1) selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que pour chaque dent (11) un corps d'isolation (31) est monté autour de la dent (11) de sorte à s'intercaler entre la dent (11) et le bobinage (30) et de sorte à s'intercaler entre le bobinage (30) et la culasse (10).
- [Revendication 6] Stator (1) selon la revendication 5, caractérisé en ce que chaque corps d'isolation (31) de chaque dent présente un espacement latéral (311) éloignant le bobinage de la dent (11) et un espacement vertical (310) éloignant le bobinage de la culasse (10), lesdits espacement latéraux

- (311) et verticaux (310) variant en fonction de la distance radiale au centre du stator (1).
- [Revendication 7] Stator (1) selon la revendication 6, caractérisé en ce que pour chaque corps d'isolation (31) plus la distance radiale au centre du stator augmente plus l'espacement latéral (311) augmente et plus l'espacement vertical (310) diminue.
- [Revendication 8] Machine électrique à flux axial comprenant un rotor à aimant permanent et un stator (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.
- [Revendication 9] Procédé d'obtention d'un stator selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend des étapes de :
- fourniture d'une bande de tôle ;
 - une étape d'enroulement de la bande ;
- caractérisé en ce qu'**au cours de l'étape d'enroulement on met en œuvre une étape répétée de perforation ;
ladite étape de perforation étant réalisée de sorte qu'à chaque révolution de l'enroulement la largeur de la perforation augmente et la hauteur de perforation diminue.
- [Revendication 10] Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que la perforation est réalisée par un organe de perforation à largeur constante, et lorsque la largeur d'une perforation à réaliser est supérieure à la largeur de l'organe de perforation, on met en œuvre une pluralité d'actionnement de l'organe de perforation pour ladite perforation à réaliser, la bande étant décalée entre chaque actionnement de sorte à obtenir la largeur de perforation à réaliser.

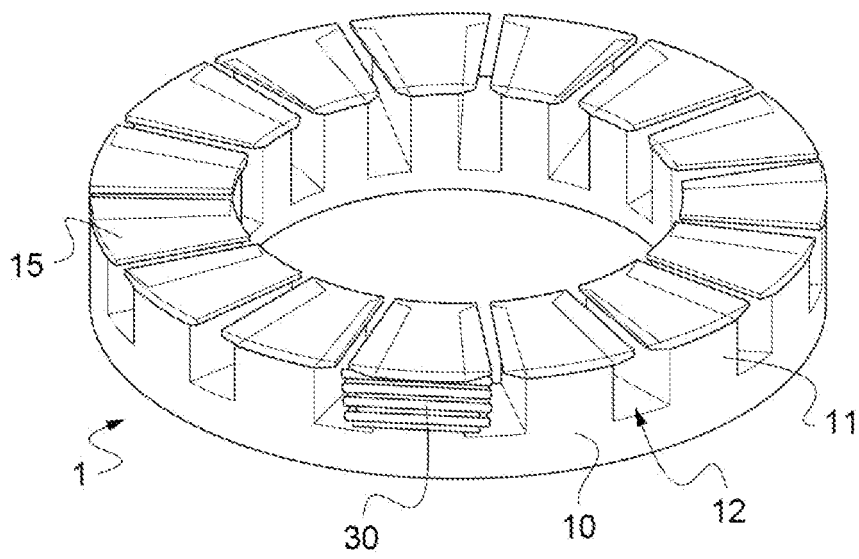
[Fig. 1a]



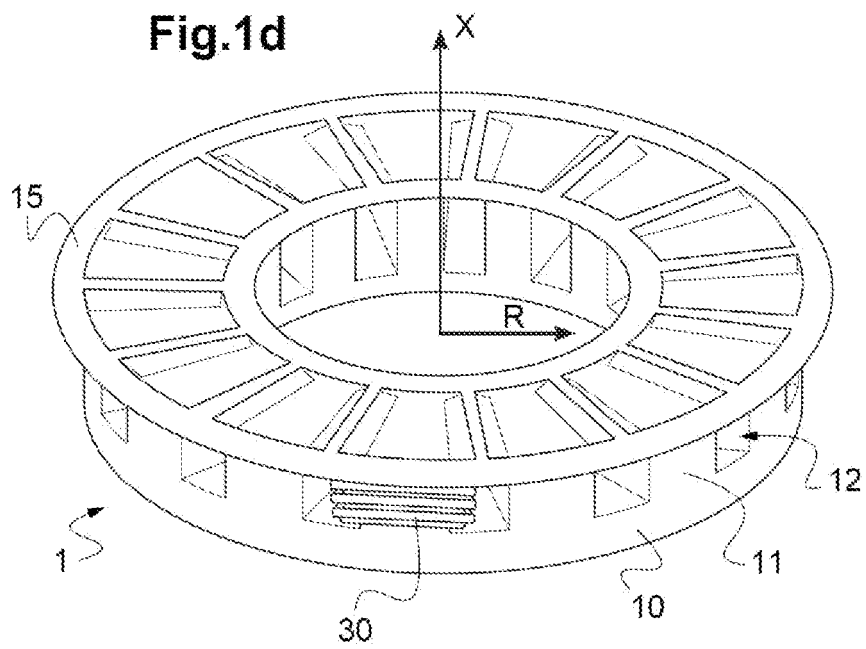
[Fig. 1b]



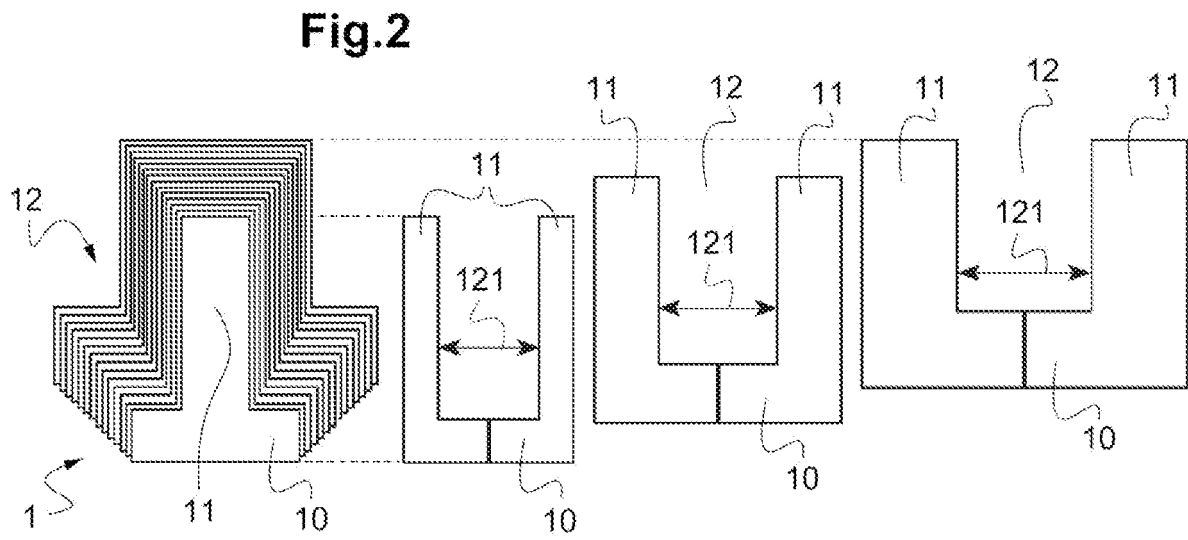
[Fig. 1c]

Fig.1c

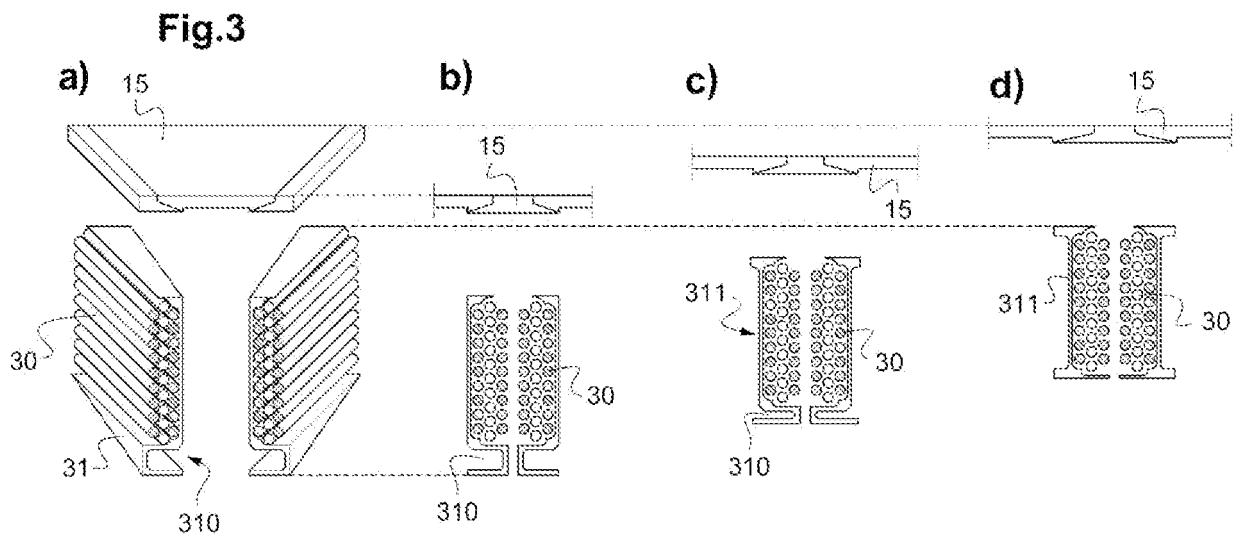
[Fig. 1d]

Fig.1d

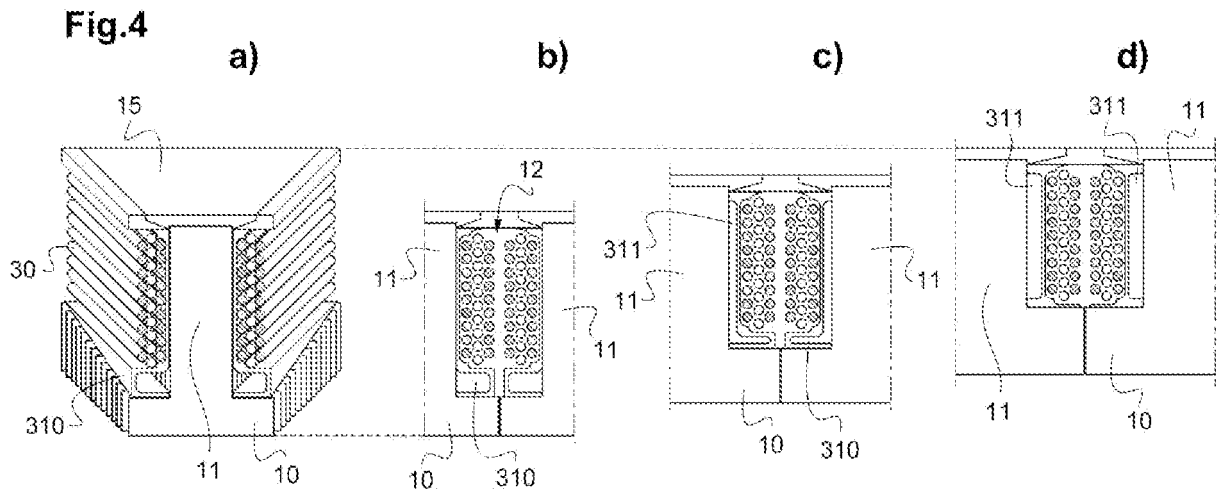
[Fig. 2]



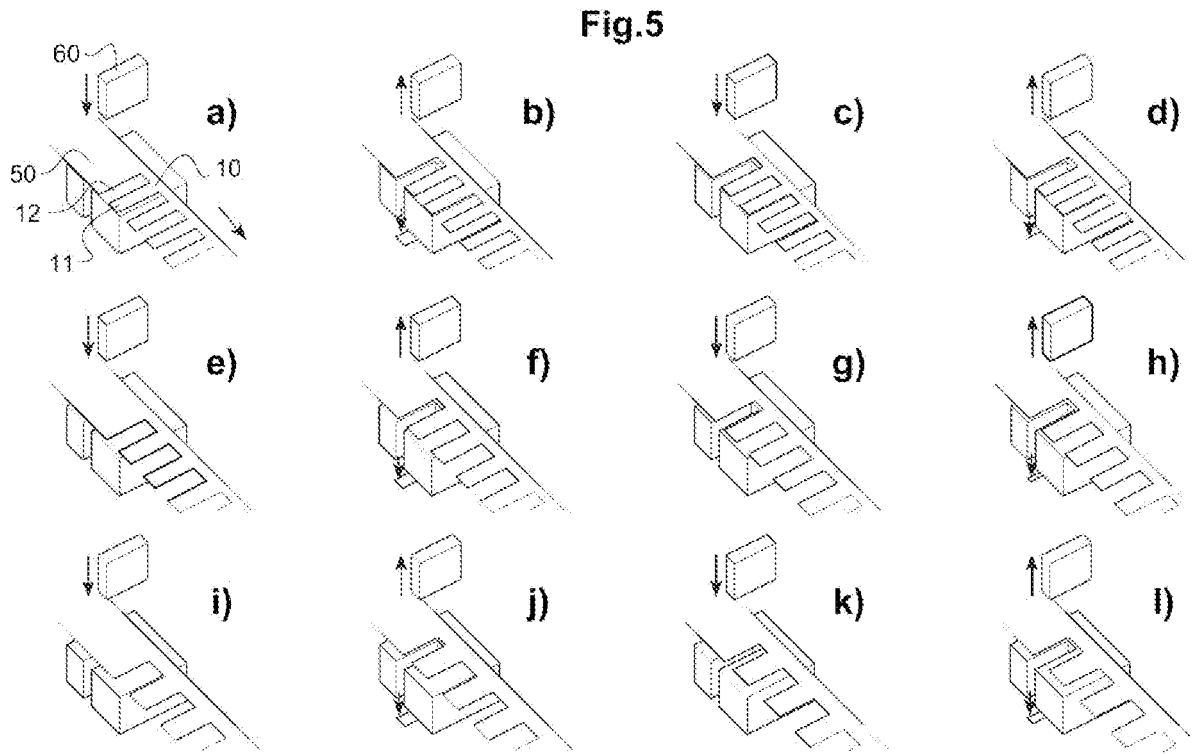
[Fig. 3]



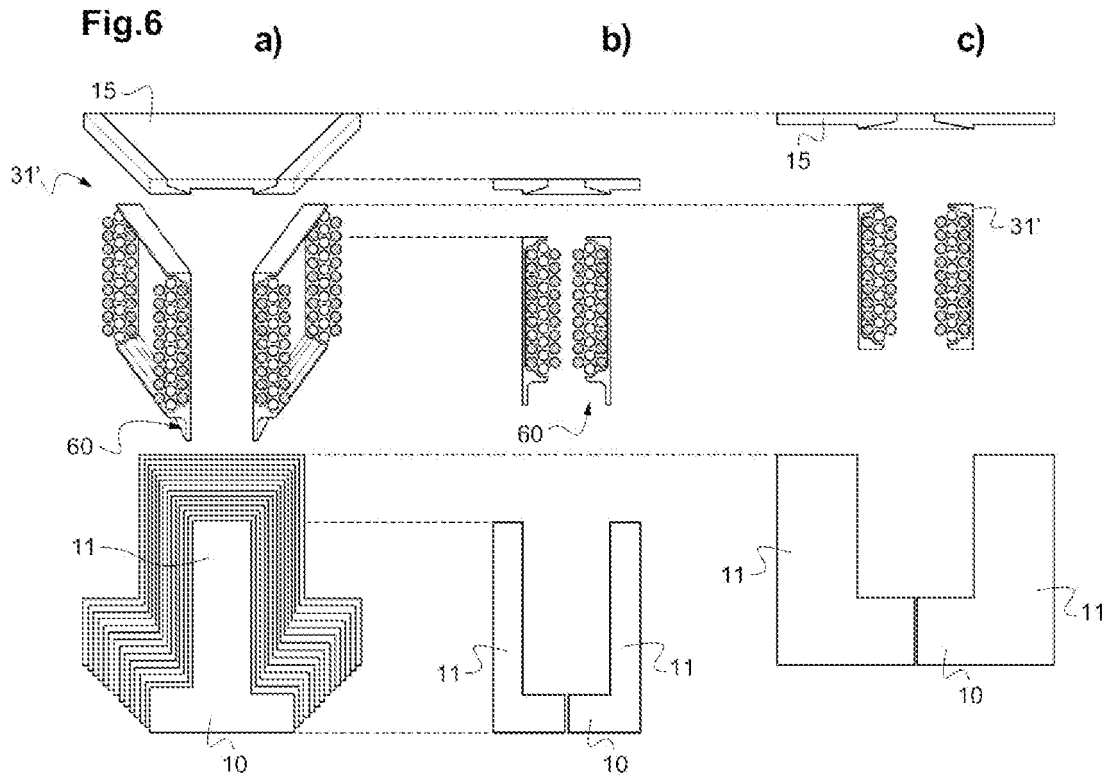
[Fig. 4]



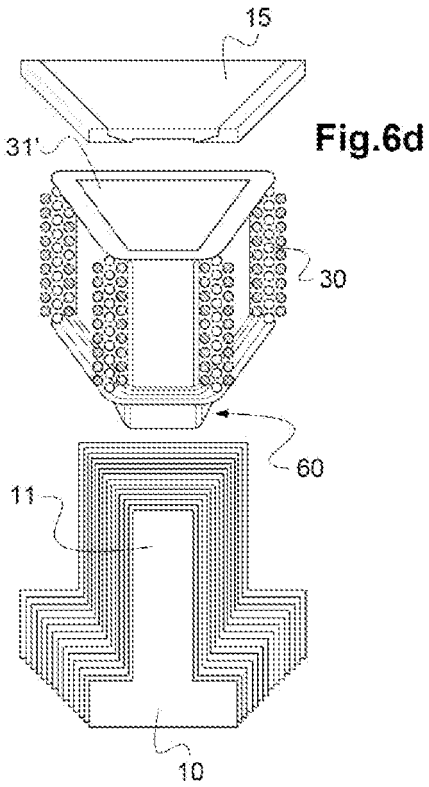
[Fig. 5]



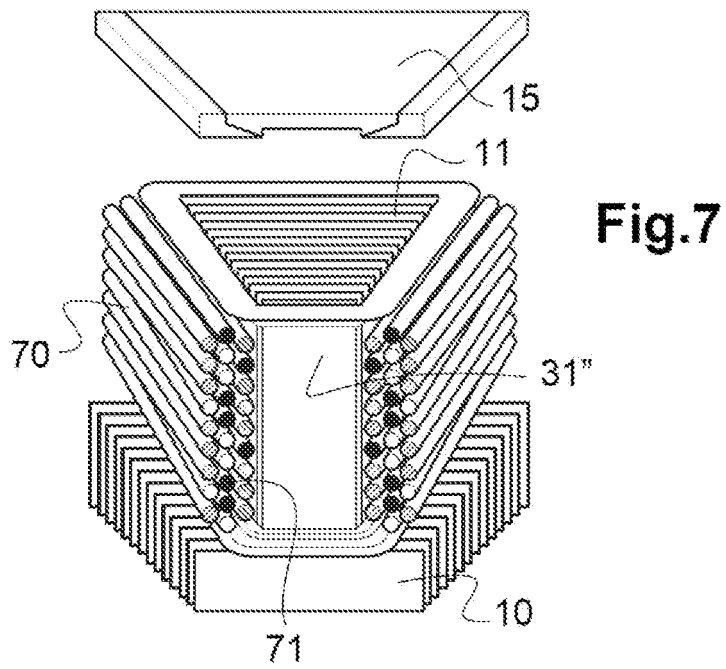
[Fig. 6]



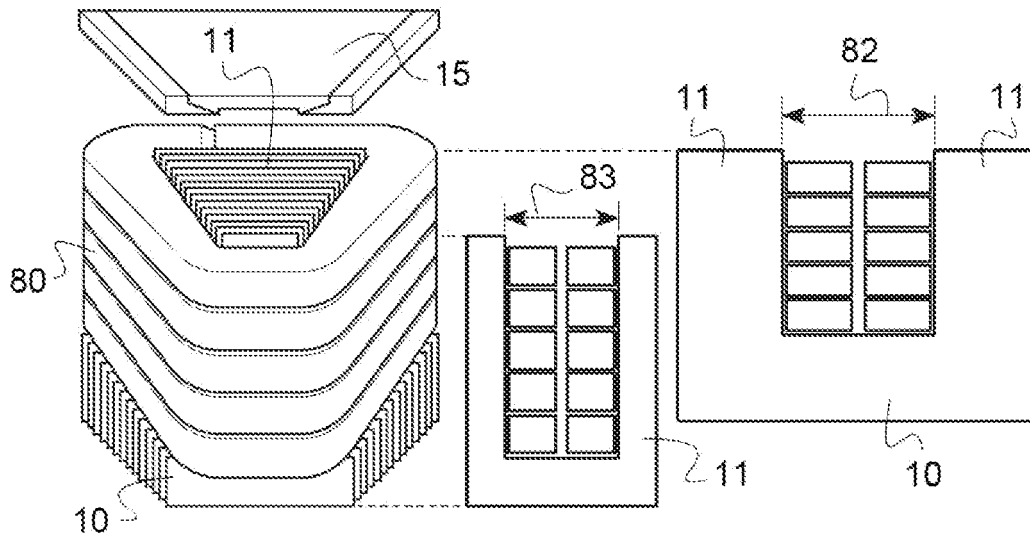
[Fig. 6d]



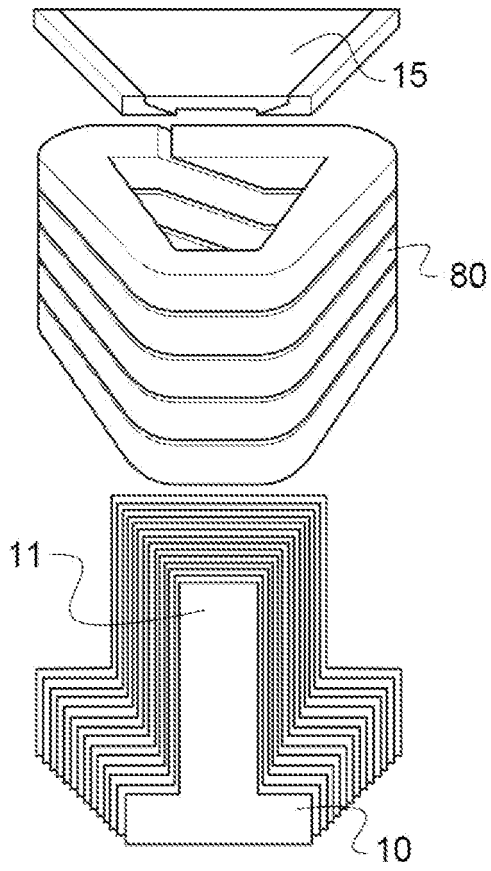
[Fig. 7]



[Fig. 8a]

Fig.8a

[Fig. 8b]

Fig.8b

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 915509
FR 2214579

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	DE 10 2012 217363 A1 (SIEMENS AG [DE]) 30 avril 2014 (2014-04-30)	1	H02K1/14 H02K1/16
Y	* abrégé; figures 2-4 * * alinéa [0024] *	9,10	
X	US 2019/245405 A1 (MOORE NICHOLAS TAYLOR [US] ET AL) 8 août 2019 (2019-08-08)	1-8	
Y	* abrégé; figures 1-5 * * colonne 4, ligne 47 - colonne 6, ligne 14 * * colonne 6, lignes 40-54 *	9,10	
A	JP 2009 130945 A (KAYABA INDUSTRY CO LTD) 11 juin 2009 (2009-06-11) * figure 2 *	1-8	
A	US 5 982 069 A (RAO DANTAM K [US]) 9 novembre 1999 (1999-11-09) * figure 3 *	1-8	
A	US 2012/126653 A1 (YANG YEE-PIEN [TW] ET AL) 24 mai 2012 (2012-05-24) * abrégé; figures 5a-5e *	1-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H02K
Y	US 2020/021174 A1 (LEE JEUNG WOO [KR]) 16 janvier 2020 (2020-01-16) * abrégé; figures 5-7 *	9,10	
Y	US 6 346 759 B1 (SUZUKI YUZURU [JP] ET AL) 12 février 2002 (2002-02-12) * abrégé; revendication 10; figure 4 *	9,10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
10 juillet 2023		Ramos, Horacio	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2214579 FA 915509**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **10-07-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102012217363 A1	30-04-2014	AUCUN	

US 2019245405 A1	08-08-2019	CN 110120731 A	13-08-2019
		US 2019245405 A1	08-08-2019

JP 2009130945 A	11-06-2009	AUCUN	

US 5982069 A	09-11-1999	AUCUN	

US 2012126653 A1	24-05-2012	CN 102480176 A	30-05-2012
		TW 201223082 A	01-06-2012
		US 2012126653 A1	24-05-2012

US 2020021174 A1	16-01-2020	KR 20200006352 A	20-01-2020
		US 2020021174 A1	16-01-2020

US 6346759 B1	12-02-2002	DE 60035080 T2	07-02-2008
		DE 60035134 T2	07-02-2008
		EP 1026809 A2	09-08-2000
		EP 1450463 A1	25-08-2004
		JP 3513042 B2	31-03-2004
		JP 2000224784 A	11-08-2000
		US 6346759 B1	12-02-2002
