



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
06.05.2020 Bulletin 2020/19

(51) Int Cl.:
H01B 7/30 (2006.01) H01B 13/02 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **19197837.8**

(22) Date de dépôt: **17.09.2019**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **HAEHNER, Thomas**
91370 VERRIERES LE BUISSON (FR)
• **RYBSKI, Patrick**
91330 YERRES (FR)

(74) Mandataire: **Rosenberg, Muriel Sylvie et al**
Ipsilon
Le Centralis
63, avenue du Général Leclerc
92340 Bourg-la-Reine (FR)

(30) Priorité: **29.10.2018 FR 1859980**

(71) Demandeur: **Nexans**
92400 Courbevoie (FR)

(54) **PROCÉDÉ D'ASSEMBLAGE D'UN CÂBLE ÉLECTRIQUE A EFFET DE PEAU RÉDUIT ET CÂBLE ÉLECTRIQUE CORRESPONDANT**

(57) Pour assembler un câble électrique dont la section transversale présente une surface de dimension prédéterminée, ce câble étant formé d'une pluralité de conducteurs isolés électriquement les uns des autres : on forme (10) une pluralité de premiers faisceaux compor-

tant chacun au moins trois conducteurs ; et tant que la dimension prédéterminée n'est pas atteinte, on forme (14) de façon itérative une pluralité de (n+1)^{èmes} faisceaux comportant chacun au moins trois des n^{èmes} faisceaux, n étant un entier supérieur ou égal à 1.

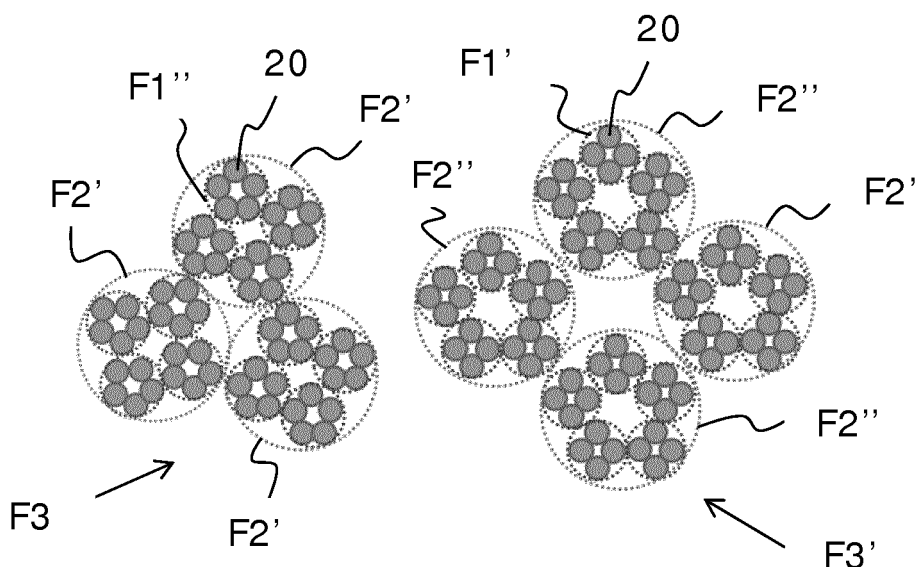


FIG. 4

Description

[0001] La présente invention se rapporte à un procédé d'assemblage d'un câble à effet de peau réduit, ainsi qu'à un câble électrique correspondant.

[0002] L'invention appartient au domaine des câbles électriques parcourus par des courants alternatifs (soit en sinusoïdal, soit en modulation de largeur d'impulsion ou toute autre forme non continue), utilisés, à titre d'exemple non limitatif, dans des applications aéronautiques.

[0003] La tendance actuelle en matière de propulsion d'aéronefs s'oriente vers les systèmes hybrides électriques, voire purement électriques.

[0004] Les niveaux de puissance attendus se situent entre 2 et 4 MVA pour les systèmes de propulsion hybrides et peuvent atteindre 40 MVA pour les systèmes de propulsion entièrement électriques.

[0005] Cela nécessitera la transmission de puissance électrique au travers de la cellule de l'aéronef à une échelle encore inédite. Par exemple, le système électrique pourra utiliser une modulation de largeur d'impulsions (en anglais PWM, Pulse Width Modulation) avec une fréquence fondamentale supérieure à 1 kHz, des niveaux de tension compris entre 1 kV et 3 kV (voire plus) et des courants de plusieurs centaines d'ampères.

[0006] Bien que des travaux soient actuellement menés afin de trouver des systèmes d'isolation électrique appropriée qui puissent résister à des tensions de cet ordre de grandeur, y compris en tenant compte de l'altitude de vol des aéronefs concernés, qui implique une pression faible, on ne connaît pas de travaux visant à optimiser l'agencement des conducteurs.

[0007] Or les courants de plusieurs centaines d'ampères nécessitent des conducteurs ayant une section transversale présentant une grande surface, c'est-à-dire des conducteurs de diamètre élevé.

[0008] Les fréquences élevées précitées, supérieures à 1 kHz, combinées aux grandes surfaces des sections transversales des conducteurs, conduisent à une augmentation significative de la résistance de ces conducteurs, traversés par des courants alternatifs, par rapport à la résistance en courant continu et ce, en raison de l'effet de peau ou effet pelliculaire, qui fait que, à fréquence élevée, le courant a tendance à ne circuler qu'en surface du conducteur.

[0009] A titre d'exemple, pour un conducteur en aluminium du type AWG000, c'est-à-dire dont la surface de la section transversale est de 85 mm², la résistance augmente de l'ordre de 45 % à une fréquence de 1 kHz. Pour compenser cette augmentation de la résistance, il conviendrait d'augmenter la section transversale du conducteur. Cela n'est pas optimal, en particulier dans une application aéronautique embarquée, où toute augmentation de la masse induit une hausse de la consommation de carburant.

[0010] Il existe donc un besoin de concevoir des câbles à effet de peau réduit.

[0011] L'augmentation de la résistance en raison de l'effet de peau est un phénomène également connu dans le domaine des câbles terrestres à haute tension fonctionnant à basse fréquence, typiquement entre 50 Hz et 60 Hz, mais dont la section transversale présente une très grande surface, typiquement supérieure à 1000 mm². Dans ce domaine, afin de réduire l'effet de peau, on utilise des conducteurs formés de plusieurs segments ou secteurs, connus sous le nom de conducteurs Milliken.

[0012] Toutefois, ce type de conducteurs est très rigide et optimisé pour les basses fréquences. Il ne peut donc pas être utilisé pour des applications aéronautiques.

[0013] On connaît un autre type de conducteurs, connus sous le nom de conducteurs Litz, à haute fréquence, ayant des sections transversales de petite surface, typiquement quelques mm² et qui fonctionnent à des fréquences de plusieurs dizaines de kHz, voire davantage.

[0014] Néanmoins, les conducteurs de type Litz sont généralement émaillés. Un inconvénient de l'émail est qu'il doit être supprimé lors du montage des câbles constitués de ces conducteurs. La suppression de l'émail se fait généralement par soudage. Or le soudage est prohibé dans les applications aéronautiques, en raison du risque de rupture du conducteur en cas de vibrations.

[0015] Afin de réduire l'effet de peau, il convient de garantir que le même courant circule dans chaque conducteur individuel du câble. Pour cela, il est nécessaire que les conducteurs individuels soient isolés électriquement. Cela n'est cependant pas suffisant. En effet, si les conducteurs formant le câble sont assemblés en couches concentriques, le câble se comporte électriquement comme un câble plein cylindrique et ce, même si les conducteurs sont isolés électriquement les uns des autres.

[0016] La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients précités de l'art antérieur.

[0017] Dans ce but, la présente invention propose un procédé d'assemblage d'un câble électrique dont la section transversale présente une surface de dimension prédéterminée, ce câble étant formé d'une pluralité de conducteurs isolés électriquement les uns des autres, remarquable en ce qu'il comporte des étapes consistant à :

former une pluralité de premiers faisceaux comportant chacun au moins trois conducteurs ; et
tant que la dimension prédéterminée n'est pas atteinte, former de façon itérative une pluralité de (n+1)^{èmes} faisceaux comportant chacun au moins trois des n^{èmes} faisceaux, n étant un entier supérieur ou égal à 1.

[0018] Ainsi, les conducteurs formant le câble sont assemblés de façon que chacun d'eux passe successivement par divers points de la section transversale du câble au fur et à mesure qu'il progresse dans la direction axiale du câble. Grâce à cette disposition, le déplacement du courant par effet de peau ne peut se produire qu'à l'intérieur d'un conducteur individuel, si la fréquence est suf-

fisamment élevée.

[0019] En outre, il suffit que l'isolation électrique entre des conducteurs adjacents offre une résistance de contact plusieurs fois supérieure à la résistance d'un conducteur individuel pour une longueur telle qu'il passe par tous les points de la section transversale du câble. Une telle résistance est de l'ordre de quelques mΩ. Par conséquent, une résistance d'isolation de quelques ohms entre les conducteurs individuels est suffisante en pratique.

[0020] Dans un mode particulier de réalisation, les au moins trois conducteurs des premiers faisceaux sont disposés de façon que les points centraux de leurs sections transversales soient sur un même cercle et les au moins trois n^{èmes} faisceaux sont disposés de façon que les points centraux de leurs sections transversales soient sur un même cercle.

[0021] Ainsi, les conducteurs formant le câble sont assemblés de façon que chacun d'eux passe successivement par tous les points de la section transversale du câble au fur et à mesure que le conducteur progresse dans la direction axiale du câble. Cela réduit encore davantage l'effet de peau.

[0022] Dans un mode particulier de réalisation, chacun des premiers faisceaux comporte entre trois et cinq conducteurs.

[0023] Dans un mode particulier de réalisation, pour chaque valeur de l'entier n, chacun des (n+1)^{èmes} faisceaux comporte entre trois et cinq des n^{èmes} faisceaux.

[0024] Dans un mode particulier de réalisation, l'entier n prend successivement les valeurs 1 à 3.

[0025] Selon une caractéristique particulière possible, les conducteurs sont réalisés en aluminium.

[0026] Cela permet d'obtenir une isolation électrique naturelle, étant donné que la surface des conducteurs en aluminium est naturellement oxydée et que cette couche d'oxyde est non conductrice.

[0027] Dans le même but que celui indiqué plus haut, la présente invention propose également un câble électrique formé d'une pluralité de conducteurs isolés électriquement les uns des autres, remarquable en ce qu'il est obtenu par la mise en œuvre d'un procédé d'assemblage tel que succinctement décrit ci-dessus.

[0028] Dans un mode particulier de réalisation, ce câble est un câble aéronautique.

[0029] Les avantages et les caractéristiques particulières du câble étant similaires à ceux du procédé d'assemblage, ils ne sont pas répétés ici.

[0030] D'autres aspects et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples nullement limitatifs, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est un organigramme illustrant des étapes d'un procédé d'assemblage d'un câble électrique conforme à la présente invention, dans un mode particulier de réalisation ;

- la figure 2 est une représentation schématique de la section transversale de premiers faisceaux de conducteurs assemblés suivant un procédé d'assemblage conforme à la présente invention, dans des modes particuliers de réalisation ;
- la figure 3 est une représentation schématique de la section transversale de deuxièmes faisceaux de conducteurs assemblés suivant un procédé d'assemblage conforme à la présente invention, dans des modes particuliers de réalisation ; et
- la figure 4 est une représentation schématique de la section transversale de troisièmes faisceaux de conducteurs assemblés suivant un procédé d'assemblage conforme à la présente invention, dans des modes particuliers de réalisation.

[0031] Dans le cadre de la présente invention, on considère un câble électrique dont la section transversale présente une surface prédéterminée. Ce câble est formé de plusieurs conducteurs. Ces conducteurs sont isolés électriquement les uns des autres.

[0032] Le câble peut par exemple être un câble aéronautique, utilisé par exemple à bord d'un avion.

[0033] L'isolation électrique des conducteurs peut être réalisée par tout moyen. Elle est avantageusement obtenue de façon naturelle lorsqu'on réalise les conducteurs en aluminium, car une couche d'oxyde d'aluminium, électriquement isolante, se forme naturellement à la surface de tels conducteurs.

[0034] Comme le montre l'organigramme de la figure 1, le procédé, conforme à l'invention, d'assemblage d'un câble électrique formé de plusieurs conducteurs isolés électriquement les uns des autres comporte une première étape 10 consistant à former plusieurs premiers faisceaux de conducteurs.

[0035] Dans un mode particulier de réalisation, chaque premier faisceau comporte au moins trois conducteurs.

[0036] Avantageusement, chaque premier faisceau comporte entre trois et cinq conducteurs.

[0037] Les conducteurs sont maintenus ensemble dans chaque faisceau par le seul effet de torsade, sans qu'il soit nécessaire de prévoir de moyen de fixation particulier entre les conducteurs.

[0038] La figure 2 illustre la section transversale d'un premier faisceau de conducteurs 20 dans trois exemples de réalisation différents : de gauche à droite sont représentés un premier exemple où le premier faisceau F1 comporte trois conducteurs 20, un deuxième exemple où le premier faisceau F1' comporte quatre conducteurs 20 et un troisième exemple où le premier faisceau F1'' comporte cinq conducteurs 20.

[0039] Dans ces trois exemples de réalisation, les conducteurs 20 de chaque premier faisceau F1 ou F1' ou F1'' sont disposés de façon que les points centraux de la section transversale de ces conducteurs 20 soient situés sur un même cercle. Cette disposition est particulièrement avantageuse car elle permet à chaque conducteur 20 d'occuper successivement, au fur et à mesure

de sa progression suivant l'axe du câble, au moins une partie de tous les points de la section transversale de ce câble, voire tous les points de la section transversale du câble si la longueur du câble est suffisante pour cela.

[0040] Ainsi, à fréquence élevée, l'effet de peau ne se produira qu'à l'intérieur d'un conducteur 20. Le courant circulera ainsi dans tous les conducteurs 20 et ne se cantonnera pas à la surface du câble.

[0041] A l'issue de l'étape 10 de formation des premiers faisceaux F1 ou F1' ou F1" de conducteurs 20, lors d'un test 12, on détermine si la surface de la section transversale du câble a atteint la dimension voulue.

[0042] Si c'est le cas, le procédé d'assemblage du câble est terminé.

[0043] Sinon, lors de l'étape 14 suivante, on forme des deuxième faisceaux de conducteurs 20, comportant chacun au moins trois premiers faisceaux. Les premiers faisceaux utilisés pour former un deuxième faisceau ont avantageusement tous le même nombre de conducteurs 20.

[0044] La figure 3 illustre la section transversale d'un deuxième faisceau de conducteurs 20 dans trois exemples de réalisation différents : de gauche à droite sont représentés un premier exemple où le deuxième faisceau F2 comporte trois premiers faisceaux F1 comportant chacun trois conducteurs 20, un deuxième exemple où le deuxième faisceau F2' comporte quatre premiers faisceaux F1" comportant chacun cinq conducteurs 20 et un troisième exemple où le premier faisceau F2" comporte cinq premiers faisceaux F1' comportant chacun quatre conducteurs 20.

[0045] Dans ces trois exemples de réalisation, les premiers faisceaux compris dans chaque deuxième faisceau F2 ou F2' ou F2" sont disposés de façon qu'aucun des premiers faisceaux ne se trouve au centre du deuxième faisceau. Cela revient à ce que les points centraux des sections transversales des premiers faisceaux soient situés sur un même cercle. Cette disposition est particulièrement avantageuse car elle permet à chaque conducteur 20 d'occuper successivement, au fur et à mesure de sa progression suivant l'axe du câble, au moins une partie de tous les points de la section transversale de ce câble, voire tous les points de la section transversale du câble si la longueur du câble est suffisante pour cela.

[0046] De même qu'à l'issue de l'étape 10 de formation des premiers faisceaux, lors du test 12, on teste à l'issue de l'étape 14 de formation des deuxième faisceaux si on a atteint la dimension voulue pour la surface de la section transversale du câble formé des deuxième faisceaux.

[0047] Si c'est le cas, le procédé d'assemblage du câble est terminé.

[0048] Sinon, on poursuit l'itération consistant à former, lors de l'étape 14, des (n+1)^{èmes} faisceaux comportant chacun au moins trois n^{èmes} faisceaux, n étant un entier supérieur ou égal à 1.

[0049] Avantageusement, pour chaque valeur de l'en-

tier n, chacun des (n+1)^{èmes} faisceaux comporte entre trois et cinq n^{èmes} faisceaux.

[0050] Ainsi, la figure 4 illustre la section transversale d'un troisième faisceau de conducteurs 20 dans deux exemples de réalisation différents : de gauche à droite sont représentés un premier exemple où le troisième faisceau F3 comporte trois deuxième faisceaux F2' comportant chacun quatre deuxième faisceaux F1" de cinq conducteurs 20 et un deuxième exemple où le troisième faisceau F3' comporte quatre deuxième faisceaux F2" comportant chacun cinq premiers faisceaux F1' de quatre conducteurs 20.

[0051] Dans ces deux exemples de réalisation, les deuxième faisceaux de chaque troisième faisceau F3 ou F3' sont disposés de façon qu'aucun des deuxième faisceaux ne se trouve au centre du troisième faisceau. Cela revient à ce que les points centraux des sections transversales des deuxième faisceaux soient situés sur un même cercle. Cette disposition est particulièrement avantageuse car elle permet à chaque conducteur 20 d'occuper successivement, au fur et à mesure de sa progression suivant l'axe du câble, au moins une partie de tous les points de la section transversale de ce câble, voire tous les points de la section transversale du câble si la longueur du câble est suffisante pour cela.

[0052] A titre d'exemple non limitatif, l'entier n peut prendre successivement les valeurs 1 à 3. Ainsi, dans un exemple où les premiers faisceaux comportent chacun 4 conducteurs (comme le faisceau F1'), les deuxième faisceaux comportent chacun 4 premiers faisceaux (comme le faisceau F2'), les troisième faisceaux comportent chacun 4 deuxième faisceaux et les quatrième faisceaux comportent chacun 4 troisième faisceaux, le câble est formé de l'assemblage de $[4 \times (4 \times (4 \times (4 \times 4)))] = 1024$ conducteurs.

[0053] Les câbles en aluminium classiques sont généralement formés de conducteurs de diamètre 0,37 mm. Ce diamètre a été choisi comme un bon compromis entre flexibilité et complexité du câble et est en outre suffisamment petit pour permettre d'éviter une augmentation de la résistance due à l'effet de peau aux fréquences concernées.

[0054] Les sections transversales de câble requises pour supporter des courants importants sont comprises entre AWG00 et AWG0000. Un câble classique AWG000 est un assemblage de 19 faisceaux concentriques, chaque faisceau étant constitué de 44 conducteurs de diamètre 0,37 mm, soit au total 836 conducteurs.

[0055] Dans l'exemple précité de l'invention avec un câble à effet de peau réduit comportant $[4 \times (4 \times (4 \times (4 \times 4)))] = 1024$ conducteurs assemblés suivant le procédé de l'invention, le diamètre des conducteurs peut être réduit à 0,334 mm.

[0056] Un autre exemple non limitatif consiste à assembler $[4 \times (4 \times (4 \times (3 \times 4)))] = 768$ conducteurs conformément à l'invention. Dans cet autre exemple, le diamètre des conducteurs devrait être augmenté jusqu'à 0,39 mm.

[0057] La mesure permet de constater que, tandis que

pour un câble AWG000, l'augmentation de la résistance est de 45% (par rapport à la résistance en courant continu) à une fréquence de 1 kHz, l'augmentation de la résistance pour un câble AWG000 assemblé conformément à la présente invention est négligeable pour des fréquences allant jusqu'à 5 kHz. La résistance d'un câble AWG000 conforme à l'invention est donc 45% moins élevée que celle d'un câble AWG000 classique.

œuvre d'un procédé d'assemblage selon l'une quelconque des revendications précédentes.

8. Câble électrique selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** c'est un câble aéronautique.

10

Revendications

1. Procédé d'assemblage d'un câble électrique dont la section transversale présente une surface de dimension prédéterminée, ledit câble étant formé d'une pluralité de conducteurs (20) isolés électriquement les uns des autres, **caractérisé en ce qu'il** comporte des étapes consistant à :
 - former (10) une pluralité de premiers faisceaux (F1; F1'; F1'') comportant chacun au moins trois conducteurs ; et
 - tant que ladite dimension prédéterminée n'est pas atteinte, former (14) de façon itérative une pluralité de (n+1)^{èmes} faisceaux comportant chacun au moins trois des n^{èmes} faisceaux, n étant un entier supérieur ou égal à 1.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** lesdits au moins trois conducteurs (20) desdits premiers faisceaux (F1 ; F1' ; F1'') sont disposés de façon que les points centraux de leurs sections transversales soient sur un même cercle et lesdits au moins trois n^{èmes} faisceaux sont disposés de façon que les points centraux de leurs sections transversales soient sur un même cercle.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** chacun desdits premiers faisceaux (F1 ; F1' ; F1'') comporte entre trois et cinq conducteurs (20).
4. Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce que** pour chaque valeur dudit entier n, chacun desdits (n+1)^{èmes} faisceaux comporte entre trois et cinq desdits n^{èmes} faisceaux.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit entier n prend successivement les valeurs 1 à 3.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** lesdits conducteurs (20) sont réalisés en aluminium.
7. Câble électrique formé d'une pluralité de conducteurs (20) isolés électriquement les uns des autres, **caractérisé en ce qu'il** est obtenu par la mise en

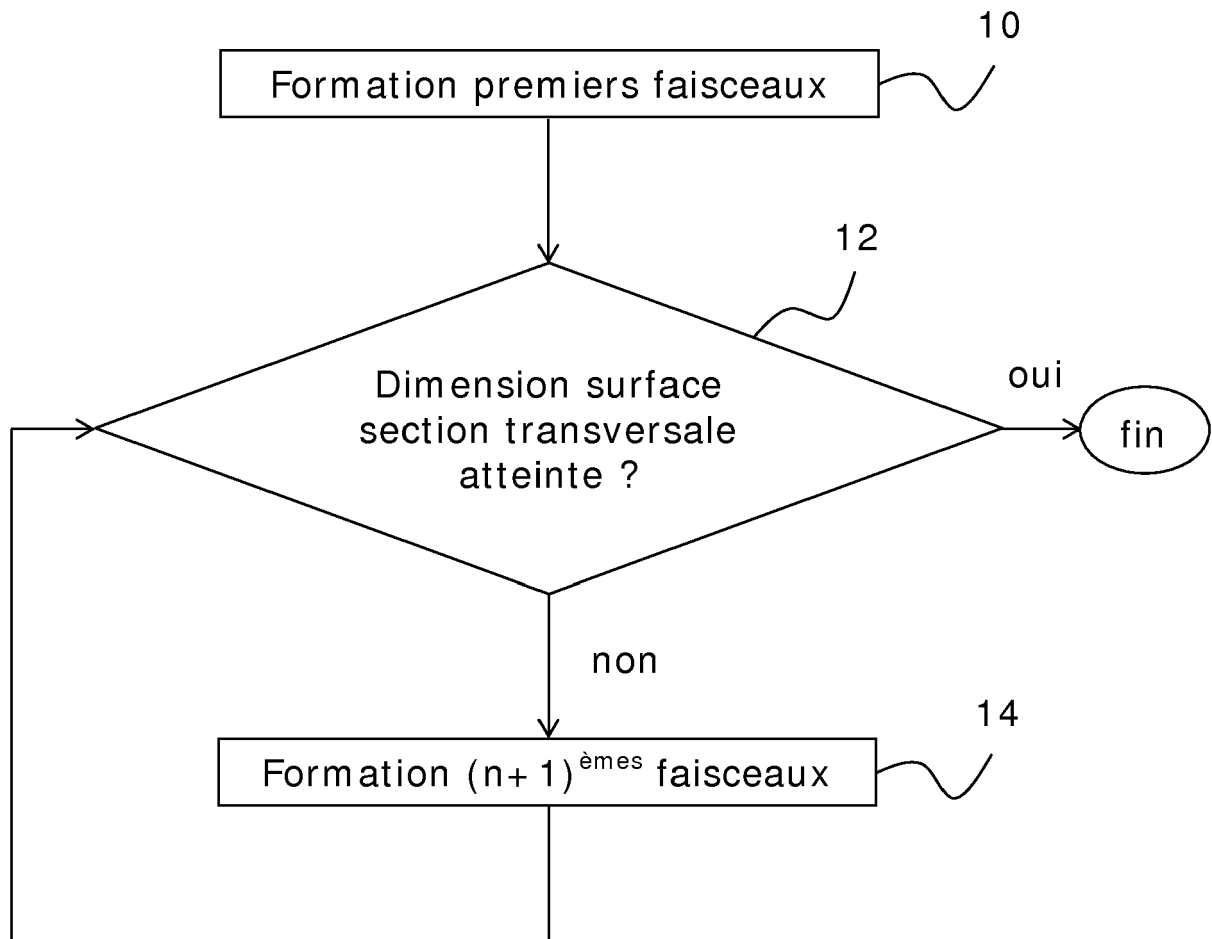


FIG.1

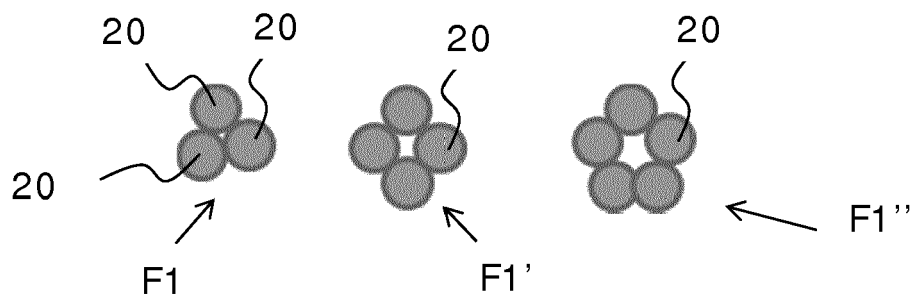


FIG. 2

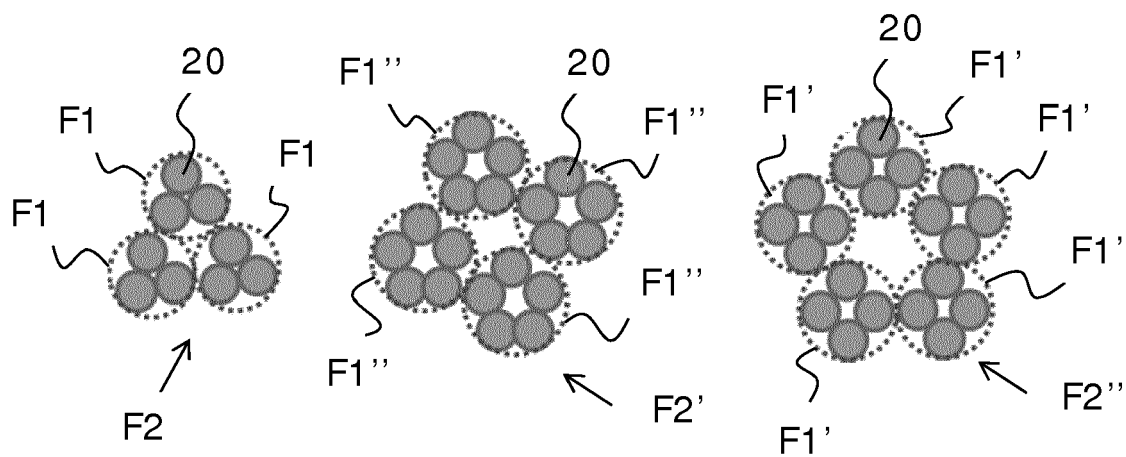


FIG. 3

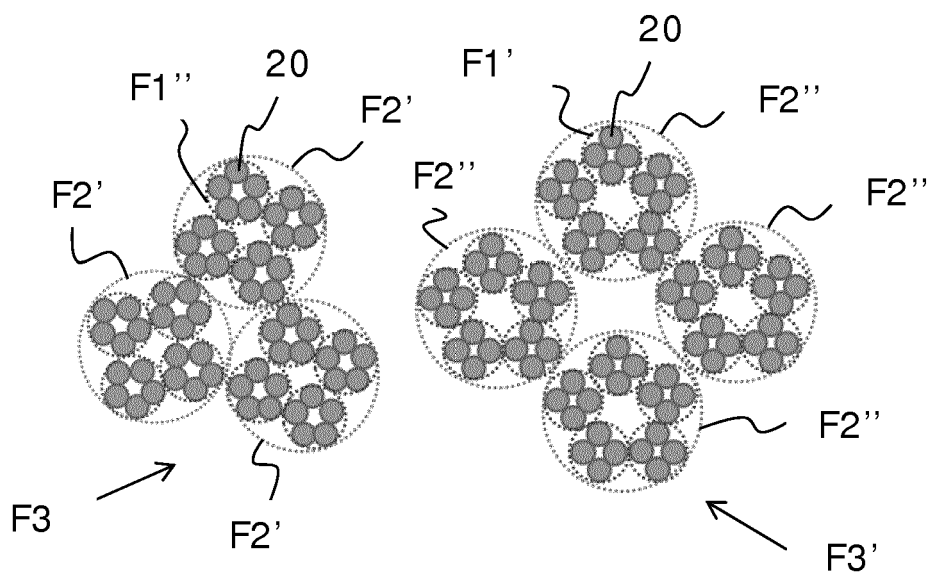


FIG. 4



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 19 19 7837

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2 048 450 A (HEINZ HORN) 21 juillet 1936 (1936-07-21) * figure 1 *	1-5,7,8	INV. H01B7/30
X	US 4 549 042 A (AKIBA YUTAKA [JP] ET AL) 22 octobre 1985 (1985-10-22) * figure 9a *	1-5,7,8	ADD. H01B13/02
X	FR 1 491 689 A (SIEMENS AG) 11 août 1967 (1967-08-11) * figure 1 *	1,2,5,7,8	
X	WO 2013/133038 A1 (CHUO HATSUJO KK [JP]) 12 septembre 2013 (2013-09-12) * figure 3a *	1,5-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		13 février 2020	Alberti, Michele
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 19 19 7837

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.
13-02-2020

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2048450 A	21-07-1936	FR 423695 A GB 423695 A US 2048450 A	24-04-1911 06-02-1935 21-07-1936
US 4549042 A	22-10-1985	JP H0258726 B2 JP S5823106 A US 4549042 A	10-12-1990 10-02-1983 22-10-1985
FR 1491689 A	11-08-1967	AUCUN	
WO 2013133038 A1	12-09-2013	JP WO2013133038 A1 WO 2013133038 A1	30-07-2015 12-09-2013

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82