

(19)



(11)

EP 3 965 124 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
09.03.2022 Bulletin 2022/10

(21) Numéro de dépôt: **21194923.5**

(22) Date de dépôt: **03.09.2021**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):

H01B 9/02 (2006.01) **H01B 7/02** (2006.01)
H01B 7/28 (2006.01) **H01B 3/00** (2006.01)
H01B 13/24 (2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):

H01B 9/027; H01B 3/00; H01B 7/0291;
H01B 7/2813; H01B 13/24

(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

(30) Priorité: **04.09.2020 FR 2008985**

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

(72) Inventeurs:

• **HÄHNER, Thomas**
91370 VERRIERES LE BUISSON (FR)

• **RYBSKI, Patrick**

91330 YERRES (FR)

• **CHARRIER, Dimitri**

69130 ECULLY (FR)

• **CHARMETANT, Adrien**

01700 MIRIBEL (FR)

• **LAGOMARSINI, Clara**

69003 LYON (FR)

• **MELLOUKY, Nabil**

69003 LYON (FR)

• **PAIXAO DANTAS, Marcelo**

90429 NUREMBERG (DE)

(74) Mandataire: **Ipsilon**

Le Centralis

63, avenue du Général Leclerc

92340 Bourg-la-Reine (FR)

(54) CÂBLE ÉLECTRIQUE LIMITANT LES DÉCHARGES PARTIELLES

(57) L'invention concerne un élément électriquement conducteur isolé (1) pour le domaine de l'aéronautique, caractérisé en ce qu'il comprend un élément électriquement conducteur allongé entouré d'au deux couches, lesdites deux couches étant une couche électri-

quement isolante (4) entourant l'élément électriquement conducteur allongé (2) et une première couche semi-conductrice (5) entourant ladite couche électriquement isolante (4), au moins une des couches comprenant au moins un polymère fluoré.

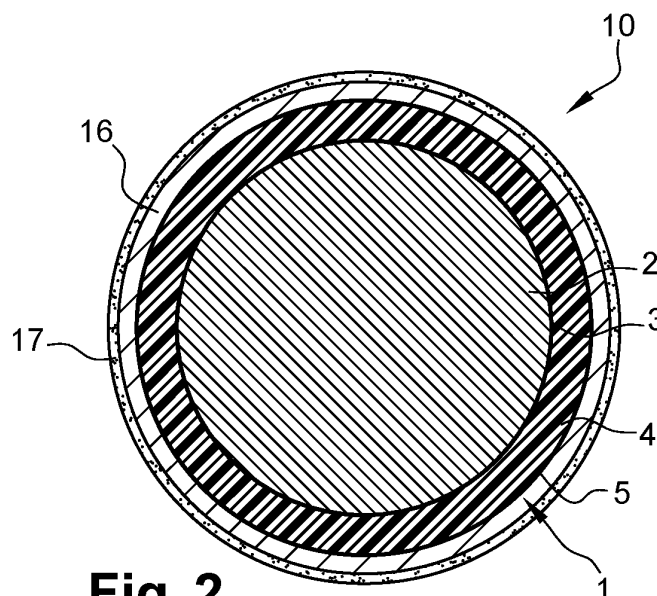


Fig. 2

EP 3 965 124 A1

Description

[0001] La présente invention concerne un élément électriquement conducteur isolé limitant l'apparition de décharges partielles ainsi qu'un câble électriquement conducteur comprenant un tel élément.

[0002] Les câbles électriques comprennent généralement au moins un élément électriquement conducteur entouré d'au moins une couche d'un matériau isolant et éventuellement une ou plusieurs couche(s) d'un matériau semi-conducteur.

[0003] Lors du fonctionnement du câble, des décharges partielles peuvent être générées. Ces décharges partielles peuvent apparaître à la surface de l'isolation et/ou dans l'isolation lorsque des bulles ou cavités d'air sont présentes dans la ou les couches entourant l'élément électriquement conducteur ou entre une couche et l'élément (conducteur ou couche) qu'elle entoure. Des telles cavités d'airs peuvent notamment se former lorsque les câbles sont enrubannés.

[0004] Par ailleurs, dans le domaine de l'aéronautique, les câbles sont soumis à des tensions élevées ce qui, associé aux conditions d'humidité, de température élevée et de basse pression, peut favoriser l'apparition de décharges partielles. Les décharges partielles, qui sont de minuscules arcs électriques dans le matériau isolant, provoquent, avec le temps, une dégradation du matériau électriquement isolant, notamment par érosion lente, pouvant mener à sa rupture diélectrique. Une solution pour éviter que les décharges partielles apparaissent est souvent d'augmenter l'épaisseur de la couche isolante.

[0005] Le problème des décharges partielles dans les câbles électrique, est d'autant plus important avec le développement de systèmes de propulsion hydrides ou électriques, notamment dans le domaine de l'aéronautique. En effet, dans les tels systèmes, les câbles vont devoir transporter des tensions et intensités de plus en plus élevées pour atteindre des puissances pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de mégavoltampères (MVA).

[0006] Par ailleurs, dans la chaîne électrique de systèmes de propulsion hybrides ou électrique il est possible d'utiliser un système de modulation par largeur d'impulsion (MLI) (connu sous l'anglicisme « Pulse Width Modulation » ou PWM) pour convertir une tension continue en tension variable afin de réguler la vitesse de moteurs électriques.

[0007] La MLI repose sur la génération d'une tension carrée à rapport cyclique variable. Le temps de montée de l'impulsion étant court (de l'ordre de 200ns), une surtension peut être créée (pouvant aller jusqu'à doubler la valeur de la tension) ce qui est dû en particulier aux réflexions de l'onde de tension aux extrémités du câble. De telles surtensions favorisent l'apparition de décharges partielles. Par ailleurs, la fréquence de découpage élevée d'un système MLI (de l'ordre de plusieurs dizaine de kHz) peut accélérer l'érosion de la couche isolante en cas d'apparition de décharges partielles.

[0008] A de telles valeurs élevées de tensions, la couche isolante devrait avoir une épaisseur importante pour éviter l'apparition de décharges partielles ce qui rendrait les câbles trop lourds et impropres à une utilisation dans certains domaines comme par exemple dans l'aéronautique.

[0009] Le but de la présente invention est de remédier à au moins un des inconvénients de l'art antérieur en proposant un câble électrique possédant un système d'isolation lui permettant d'être soumis à des tensions et intensités élevées tout en limitant voire évitant l'apparition de décharges partielles.

[0010] La présente invention a pour premier objet un élément électriquement conducteur isolé limitant l'apparition de décharges partielles, caractérisé en ce qu'il comprend un élément électriquement conducteur allongé entouré d'un système d'isolation comportant au moins une couche électriquement isolante entourant l'élément électriquement conducteur allongé et une première couche semi-conductrice entourant ladite couche électriquement isolante, ledit élément électriquement conducteur isolé étant caractérisé en ce que la couche électriquement isolante possède une épaisseur e_i , la valeur de ladite épaisseur e_i étant déterminée en fonction de la tension d'utilisation U de l'élément électriquement conducteur isolé et d'un diamètre intérieur d_1 de la couche électriquement isolante.

[0011] Un tel élément électriquement conducteur permet de limiter voire d'éviter le phénomène d'apparition de décharges partielles, connu sous l'anglicisme « Partial Discharge Inception » (PDI). En particulier, la combinaison du système d'isolation comprenant au moins deux couches, à savoir une couche électriquement isolante et une première couche semi-conductrice, et d'une épaisseur de la couche d'isolation déterminée selon l'invention permet de limiter voire d'éviter l'apparition de décharges partielles et/ou d'éviter les ruptures diélectriques, et ce, même à des valeurs de tension d'utilisation de l'élément électriquement conducteur très élevées.

[0012] Avantagusement, l'épaisseur de la couche d'isolation est réduite par rapport aux câbles de l'art antérieur cherchant à éviter les l'apparition de décharges partielles, ce qui permet à l'élément électriquement conducteur d'être léger et de pouvoir être utilisé dans des domaines nécessitant des câbles électriques légers comme par exemple l'aéronautique.

[0013] Selon un mode de réalisation préféré, la détermination de l'épaisseur de la couche d'isolation peut faire intervenir un calcul, par exemple un calcul mis en œuvre par ordinateur. En particulier, le calcul de la valeur de l'épaisseur de la couche d'isolation est effectué en utilisant la valeur de la tension d'utilisation U de l'élément électriquement conducteur isolé et la valeur du diamètre intérieur d_1 de la couche électriquement isolante.

[0014] Lorsque la couche électriquement isolante est placée en contact direct avec l'élément électriquement conduc-

teur, le diamètre d1 correspond également au diamètre extérieur de l'élément électriquement conducteur.

[0015] Dans un mode de réalisation préféré, l'élément électriquement conducteur isolé peut comprendre en outre une troisième couche, ladite troisième couche étant une deuxième couche semi-conductrice entourant l'élément électriquement conducteur allongé et étant placée de préférence entre l'élément électriquement conducteur allongé et la couche électriquement isolante. Selon ce mode de réalisation, la première couche semi-conductrice, la couche électriquement isolante et la deuxième couche semi-conductrice peuvent constituer un système d'isolation tricouche. En d'autres termes, la couche électriquement isolante peut être en contact physique direct avec la première couche semi-conductrice, et la deuxième couche semi-conductrice peut être en contact physique direct avec la couche électriquement isolante.

[0016] Lorsque la couche électriquement isolante est placée en contact direct avec la deuxième couche semi-conductrice, la deuxième couche semi-conductrice étant placée entre l'élément électriquement conducteur allongé et la couche électriquement isolante, le diamètre d1 correspond au diamètre extérieur de la deuxième couche semi-conductrice.

[0017] Le courant peut être monophasé ou triphasé ou plus généralement multiphasé. La tension peut être sinusoïdale, continue, continue hachée (dans le cas où l'on utilise un système MLI) ou avoir toute autre forme temporelle. La tension d'utilisation U correspond à la tension pouvant être appliquée entre l'élément électriquement conducteur isolé et le neutre (la tension simple) ou entre deux éléments électriquement conducteur isolé (la tension composée) et qui peut être fonction de son utilisation.

[0018] La tension U peut avoir une valeur d'au moins 540 V, de préférence d'au moins 800 V, de préférence d'au moins 1200V, et de façon particulièrement préférée d'au moins 3000V. Dans les cas d'une tension continue ces valeurs de tensions correspondent à la différence de potentiel entre les deux pôles (le plus et le moins). Dans le cas d'une tension non continue (par exemple en courant alternatif ou dans des systèmes MLI) ces valeurs de tensions sont des valeurs crête à crête (connu sous l'anglicisme « peak to peak »).

Couche électriquement isolante

[0019] L'épaisseur e_i de la couche électriquement isolante peut être déterminée en fonction d'un rapport entre la tension d'utilisation U et le diamètre d1.

[0020] De préférence, lorsque le conducteur électriquement isolé comprend deux couches, à savoir la couche isolante et la première couche semi-conductrice d'épaisseur e_1 , la valeur de l'épaisseur e_i satisfait à la relation suivante :

$$e_i \geq e_1$$

[0021] Lorsque le conducteur électriquement isolé comprend en outre une deuxième couche semi-conductrice d'épaisseur e_2 , la valeur de l'épaisseur e_i satisfait à la relation suivante :

$$e_i \geq e_1 + e_2$$

[0022] Dans la présente invention, l'épaisseur e d'une couche est notamment une épaisseur moyenne qui peut varier de $\pm 30\%$, de préférence de $\pm 20\%$, et de façon particulièrement préférée de $\pm 10\%$ par rapport à la l'épaisseur moyenne. Cette variation d'épaisseur peut être aléatoire et être due en particulier au procédé d'application de ladite couche sur l'élément ou la couche qu'elle entoure.

[0023] La valeur minimale de l'épaisseur e_i exprimée en millimètres (mm) peut être déterminée en fonction d'un rapport R1 suivant:

$$R1 = \frac{U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}$$

U étant exprimée en kilovolts (kV),

E_{max} étant la valeur maximale du champ électrique pouvant être appliqué à la couche d'isolation, ou encore que le matériau formant la couche d'isolation peut supporter, et ce pendant la durée de vie requise de l'élément conducteur isolé dans son environnement d'utilisation, E_{max} étant exprimée en kilovolts/mm (kV/mm) et le diamètre d1 étant exprimé en millimètres (mm).

[0024] La valeur du champ électrique E_{max} correspond à la valeur maximale du champ électrique pouvant être appliqué

à la couche d'isolation de l'élément électriquement conducteur isolé sans qu'il n'y ait de dégradation dudit élément amenant à une rupture diélectrique de la couche d'isolation pendant la durée de vie du câble requise. La valeur du champ électrique E_{max} peut être d'au plus 30 kV/mm, de préférence d'au plus 20 kV/mm, et de façon particulièrement préférée d'au plus 10 kV/mm.

[0025] De préférence, la valeur minimale de l'épaisseur e_i est déterminée en fonction d'une expression E1 suivante:

$$E1 = \exp\left(\frac{U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}\right) - 1$$

[0026] De façon particulièrement préférée, l'épaisseur e_i satisfait à la relation suivante:

$$ei \geq \frac{d_1}{2} \left[\exp\left(\frac{U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}\right) - 1 \right]$$

[0027] La valeur maximale de l'épaisseur e_i peut être déterminée en fonction d'un rapport R2 suivant:

$$R2 = \frac{3 \times U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}$$

[0028] De préférence, la valeur maximale de l'épaisseur e_i peut être déterminée en fonction d'une expression E2 suivante:

$$E2 = \exp\left(\frac{3 \times U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}\right) - 1$$

[0029] De façon particulièrement préférée, l'épaisseur e_i satisfait à la relation suivante:

$$ei \leq \frac{d_1}{2} \left[\exp\left(\frac{3 \times U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}\right) - 1 \right]$$

[0030] Selon un mode de réalisation préféré, l'épaisseur e_i satisfait à la relation suivante:

$$\frac{d_1}{2} \left[\exp\left(\frac{U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}\right) - 1 \right] \leq ei \leq \frac{d_1}{2} \left[\exp\left(\frac{3 \times U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}\right) - 1 \right]$$

[0031] Selon un mode de réalisation particulièrement préféré, l'épaisseur e_i satisfait simultanément aux deux relations suivantes:

$$ei \geq \frac{d_1}{2} \left[\exp \left(\frac{U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}} \right) - 1 \right]$$

et

$$ei \geq e1 + e2$$

[0032] Selon un mode de réalisation particulièrement préféré, la valeur du champ électrique E_{max} est de 5 kV/mm et l'épaisseur e_i satisfait alors à la relation suivante:

$$ei \geq \frac{d_1}{2} \left[\exp \left(\frac{U}{2,5 \times d_1} \right) - 1 \right]$$

[0033] La couche électriquement isolante peut comprendre au moins un polymère d'oléfine choisi parmi un polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE); un polyéthylène très basse densité (VLDPE); un polyéthylène basse densité (LDPE); un polyéthylène moyenne densité (MDPE); un polyéthylène haute densité (HDPE); un copolymère élastomère d'éthylène-propylène (EPM); un terpolymère éthylène propylène diène monomère (EPDM); un copolymère d'éthylène et de vinyl ester tel qu'un copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyl (EVA); un copolymère d'éthylène et d'acrylate tel qu'un copolymère d'éthylène et d'acrylate de butyle (EBA) ou un copolymère d'éthylène et d'acrylate de méthyle (EMA); un copolymère d'éthylène et d'alpha-oléfine tel qu'un copolymère d'éthylène et d'octène (PEO) ou un copolymère d'éthylène et de butène (PEB); un polymère fluoré, notamment choisi parmi les copolymères obtenus à partir du monomère de tétrafluoroéthylène, et en particulier parmi le polytétrafluoroéthylène (PTFE), les copolymères d'éthylène et de propylène fluorés (FEP) comme par exemple les poly(tétrafluoroéthylène-co-hexafluoropropylène), les copolymères perfluoroalkoxy (PFA) comme par exemple les copolymères perfluoro(alkylvinyléther)/tétrafluoroéthylène, les copolymères perfluoro méthoxy (MFA), et les poly(éthylène-co-tétrafluoroéthylène) (ETFE); et un de leurs mélanges.

[0034] De préférence, la couche électriquement isolante peut comprendre au moins un polymère fluoré, notamment choisi les copolymères obtenus à partir du monomère de tétrafluoroéthylène, et en particulier parmi le polytétrafluoroéthylène (PTFE); les copolymères d'éthylène et de propylène fluorés (FEP) comme par exemple les poly(tétrafluoroéthylène-co-hexafluoropropylène); les copolymères perfluoroalkoxy (PFA) comme par exemple les copolymères perfluoro(alkylvinyléther)/tétrafluoroéthylène; les copolymères perfluoro méthoxy (MFA); et les poly(éthylène-co-tétrafluoroéthylène) (ETFE); ou un de leurs mélanges.

[0035] De façon particulièrement préférée, la couche électriquement isolante peut comprendre un ou plusieurs copolymères perfluoroalkoxy (PFA).

[0036] De préférence, la couche électriquement isolante peut comprendre la même composition polymérique que la première couche semi-conductrice. Lorsque le conducteur électriquement isolé comprend trois couches, la couche électriquement isolante peut comprendre la même composition polymérique que la deuxième couche semi-conductrice. De façon particulièrement préférée, la couche électriquement isolante peut comprendre la même composition polymérique que la première et que la deuxième couches semi-conductrices.

[0037] Dans la présente invention, une composition polymérique correspond à une composition comprenant un ou plusieurs polymères en quantité déterminée, et notamment avec des pourcentages en poids de polymères déterminés. La composition polymérique comporte essentiellement un ou plusieurs polymères, de préférence uniquement un ou plusieurs polymères. Ainsi, une couche peut être formé à partir d'un mélange polymérique comprenant une composition polymérique à laquelle peuvent être ajoutés des agents additionnels comme par exemple des charges, des pigments, des agents de réticulation, des charges ignifugeantes, des antioxydants, des charges conductrices...

[0038] De préférence, la couche électriquement isolante peut comprendre la même composition polymérique que la première couche semi-conductrice, la composition polymérique comprenant un ou plusieurs copolymères perfluoroalkoxy (PFA). De préférence, la couche électriquement isolante peut comprendre la même composition polymérique que la deuxième couche semi-conductrice, la composition polymérique comprenant un ou plusieurs copolymères perfluoroalkoxy (PFA). De façon particulièrement préférée, la couche électriquement isolante peut comprendre la même composition polymérique que la première et que la deuxième couches semi-conductrices, la composition polymérique comprenant un ou plusieurs copolymères perfluoroalkoxy (PFA).

[0039] La couche électriquement isolante peut comprendre au moins 50% en poids de polymère(s), de préférence au moins 70% en poids de polymère(s), de manière encore plus préférée au moins 80% en poids de polymère(s), et

de manière encore plus préférée au moins 90% en poids de polymère (s).

[0040] La couche électriquement isolante de l'invention peut comprendre classiquement des agents additionnels comme par exemple des charges, des pigments, des agents de réticulation, des charges ignifugeantes...

[0041] La couche électriquement isolante peut-être une couche extrudée autour de l'élément électriquement conducteur, ou une couche sous forme de ruban enroulé autour de l'élément électriquement conducteur, ou une couche de vernis déposée autour de l'élément électriquement conducteur, ou une de leurs combinaisons.

[0042] De préférence, la couche électriquement isolante est extrudée autour de l'élément électriquement conducteur. De façon particulièrement préférée, la couche électriquement isolante est coextrudée avec la première couche semi-conductrice et, lorsqu'elle est présente, avec la deuxième couche semi-conductrice, autour de l'élément électriquement conducteur.

[0043] Selon un mode de réalisation, la couche électriquement isolante peut être directement placée autour de l'élément électriquement conducteur allongé. Lorsque le conducteur électriquement isolé comprend trois couches, la couche électriquement isolante peut être directement placée autour de la deuxième couche semi-conductrice et donc être en contact physique direct avec ladite couche.

[0044] Dans la présente invention, on entend par « couche électriquement isolante » une couche dont la conductivité électrique est très faible voire nulle, notamment inférieure à 10^{-6} S/m, et de préférence inférieure à 10^{-13} S/m, et ce dans la plage de température d'utilisation pouvant aller jusqu'à 260°C.

[0045] De préférence, la couche électriquement isolante de l'élément électriquement conducteur de l'invention peut avoir une ou plusieurs des caractéristiques additionnelles suivante :

- caractéristique 1 : une résistance à des températures allant de -70°C à 260°C, de préférence allant de -65°C à 250°C, et de façon particulièrement préférée de -55°C à 180°C ;
- caractéristique 2 : une résistance à un champ électrique E allant de 1 kV/mm à 30kV/mm , de préférence allant de 3 kV/mm à 20 kV/mm, et de façon particulièrement préférée allant de 5 kV/mm à 20 kV/mm, en particulier lorsque ce champ électrique est appliqué de façon continue pour une durée pouvant aller jusqu'à 430 000 heures (h) de préférence jusqu'à 260 000 h, et de façon encore plus préférée jusqu'à 90 000 h, ces valeurs étant données pour une couche électriquement isolante en forme de plaque d'une épaisseur de 0,5 mm ;
- caractéristique 3: une rigidité diélectrique selon la norme ASTM D149 supérieure à 20 kV/mm, de préférence supérieure à 40 kV/mm, et de façon particulièrement préférée supérieure à 60 kV/mm, ces valeurs étant données pour une couche électriquement isolante en forme de plaque d'une épaisseur de 0,5 mm et étant obtenues par analyse statistique avec une distribution de Weibull avec deux paramètres (cf. norme IEC 62539) sur une population d'au moins dix plaques ; le factor de forme de ladite distribution entant supérieur à 20 ;
- caractéristique 4 : un « facteur de pertes diélectriques » selon la norme ASTM D150 inférieur à 10^{-2} , de préférence inférieur à 10^{-3} , et de façon particulièrement préférée inférieur à 3×10^{-4} , et ce, pour une fréquence comprise entre 100Hz et 100kHz et à une température de 0 à 200°C ;
- caractéristique 5 : une permittivité diélectrique selon la norme ASTM D150 inférieure à 2,3, de préférence inférieure à 2,2, et de façon particulièrement préférée inférieure à 2,1 ; et ce, pour une fréquence comprise entre 100Hz et 100kHz et à une température de 0 à 200°C ;
- caractéristique 6 : un coefficient d'expansion linéaire thermique selon la norme ASTM D696 inférieur à 25×10^{-5} K⁻¹ à 23°C, de préférence inférieur à 20×10^{-5} K⁻¹ à 23°C, et de façon particulièrement préférée inférieur à 15×10^{-5} K⁻¹ à 23°C ;
- caractéristique 7 : un indice limite d'oxygène (ILO) selon la norme ASTM D2863 supérieur à 30, de préférence supérieur à 60, et de façon particulièrement préféré supérieur à 90.

[0046] Selon un mode de réalisation préféré, l'élément électriquement conducteur peut être utilisé dans le domaine de l'aéronautique. Selon ce mode de réalisation, la couche électriquement isolante de l'élément électriquement conducteur isolé peut posséder une ou plusieurs des caractéristiques 1 à 7. Selon ce mode de réalisation préféré, la couche électriquement isolante de l'élément électriquement conducteur isolé peut posséder au moins les caractéristiques 1 et 2.

[0047] Selon un mode de réalisation possible, la première et/ou la deuxième couche semi-conductrice peuvent posséder une ou plusieurs des caractéristiques 6 et 7.

Elément électriquement conducteur

[0048] L'élément électriquement conducteur allongé peut être un conducteur monocorps tel que par exemple un fil métallique ou un conducteur multicorps tel qu'une pluralité de fils métalliques torsadés ou non, de préférence une pluralité de fils métalliques, torsadés ou non, de manière à augmenter la flexibilité du câble. Lorsque l'élément électriquement conducteur isolé comprend une pluralité de fils métalliques, certains des fils métalliques au centre du conducteur peuvent être remplacés par des fils non métalliques possédant au moins la caractéristique 1.

[0049] L'élément électriquement conducteur allongé peut être en aluminium, en alliage d'aluminium, en cuivre, en alliage de cuivre, et un de leurs mélanges.

[0050] L'élément électriquement conducteur allongé peut comprendre un ou plusieurs nanotubes de carbone ou avec du graphène afin d'augmenter la conductivité électrique, la conductivité thermique et/ou la résistance mécanique.

[0051] Selon un mode de réalisation possible, l'élément électriquement conducteur peut être recouvert d'un métal ou d'un alliage différent du métal formant le conducteur ou différent de l'alliage formant le conducteur, tel que par exemple du nickel, un alliage de nickel, de l'étain, un alliage d'étain, de l'argent, un alliage d'argent, ou un de leurs mélanges. Un tel recouvrement, appelé placage, peut permettre de protéger le conducteur de la corrosion et/ou d'améliorer sa résistance de contact.

[0052] L'élément électriquement conducteur formé en un métal ou en un alliage de métal signifie que l'élément électriquement conducteur comprend au moins 70%, de préférence au 80%, et de façon encore plus préférée au moins 90% moins dudit métal ou dudit alliage.

[0053] L'élément électriquement conducteur peut avoir une section allant de 3 mm² (AWG 12) à 107 mm² (AWG 0000), de préférence allant de 14 mm² (AWG 6) à 107 mm² (AWG 0000), de préférence allant de 34 mm² (AWG 2) à 107 mm² (AWG 0000), et de façon encore plus préférée allant de 68 mm² (AWG00) à 107 mm² (AWG0000).

[0054] L'élément électriquement conducteur peut avoir un diamètre extérieur allant de 2,0 mm à 20 mm, de préférence allant de 4,5 mm à 18 mm, de préférence allant de 7,0 mm à 16 mm, et de façon encore plus préférée allant de 10 mm à 15,2 mm.

Première couche semi-conductrice

[0055] La première couche semi-conductrice peut comprendre au moins un polymère d'oléfine choisi parmi un polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE); un polyéthylène très basse densité (VLDPE); un polyéthylène basse densité (LDPE); un polyéthylène moyenne densité (MDPE); un polyéthylène haute densité (HDPE); un copolymère élastomère d'éthylène-propylène (EPM); un terpolymère éthylène propylène diène monomère (EPDM); un copolymère d'éthylène et de vinyl ester tel qu'un copolymère d'éthylène et d'acétate de vinyl (EVA); un copolymère d'éthylène et d'acrylate tel qu'un copolymère d'éthylène et d'acrylate de butyle (EBA) ou un copolymère d'éthylène et d'acrylate de méthyle (EMA); un copolymère d'éthylène et d'alpha-oléfine tel qu'un copolymère d'éthylène et d'octène (PEO) ou un copolymère d'éthylène et de butène (PEB); un polymère fluoré, notamment choisi parmi les copolymères obtenus à partir du monomère de tétrafluoroéthylène, et en particulier parmi le polytétrafluoroéthylène (PTFE), les copolymères d'éthylène et de propylène fluorés (FEP) comme par exemple les poly(tétrafluoroéthylène-co-hexafluoropropylène), les copolymères perfluoroalkoxy (PFA) comme par exemple les copolymères perfluoro(alkylvinyléther)/tétrafluoroéthylène, les copolymères perfluoro méthoxy (MFA), et les poly(éthylène-co-tétrafluoroéthylène) (ETFE); et un de leurs mélanges.

[0056] De préférence, la première couche semi-conductrice peut comprendre au moins un polymère fluoré, notamment choisi parmi le polytétrafluoroéthylène (PTFE); les copolymères d'éthylène et de propylène fluorés (FEP) comme par exemple les poly(tétrafluoroéthylène-co-hexafluoropropylène); les copolymères perfluoroalkoxy (PFA) comme par exemple les copolymères perfluoro(alkylvinyléther)/tétrafluoroéthylène; les copolymères perfluoro méthoxy (MFA); et les poly(éthylène-co-tétrafluoroéthylène) (ETFE); ou un de leurs mélanges.

[0057] De façon particulièrement préférée, la première couche semi-conductrice peut comprendre un ou plusieurs copolymères perfluoroalkoxy (PFA).

[0058] La première couche semi-conductrice peut comprendre au moins 50% en poids de polymère(s), de préférence au moins 70% en poids de polymère(s), de manière encore plus préférée au moins 80% en poids de polymère(s), et de manière encore plus préférée au moins 90% en poids de polymère(s).

[0059] La première couche semi-conductrice de l'invention peut comprendre classiquement des charges électriquement conductrices en une quantité suffisante pour rendre la première couche semi-conductrice. A titre d'exemple, elle peut comprendre de 0,1% à 40% en poids de charges électriquement conductrices, telles que par exemple du noir de carbone, des nanotubes de carbone ...

[0060] La première couche semi-conductrice peut-être une couche extrudée autour de l'élément électriquement conducteur allongé, ou une couche sous forme de ruban enroulé autour de l'élément électriquement conducteur allongé, ou une couche de vernis déposée autour de l'élément électriquement conducteur allongé, ou une de leurs combinaisons.

[0061] De préférence, la première couche semi-conductrice est extrudée autour de la couche électriquement isolante.

[0062] Selon un mode de réalisation préféré, la première couche semi-conductrice peut être directement placée autour de la couche électriquement isolante et donc être en contact physique direct avec ledit élément.

[0063] La première couche semi-conductrice peut posséder une épaisseur e_1 allant de 0,05 mm (millimètre) à 1,0 mm, de préférence allant de 0,07 mm à 0,8 mm, et de façon particulièrement préférée une épaisseur allant de 0,09 mm à 0,5 mm.

[0064] Dans la présente invention, on entend par « couche semi-conductrice » une couche dont la résistivité volumique est inférieure à 10 000 $\Omega \times m$ (Ohm mètre) (à température ambiante), de préférence inférieure à 1000 $\Omega \times m$, et de façon

particulièrement préférée inférieure à $500 \Omega \times m$.

Deuxième couche semi-conductrice

- 5 **[0065]** La deuxième couche semi-conductrice peut comprendre au moins un polymère tel que ceux décrits pour la première couche semi-conductrice.
- [0066]** De préférence, la deuxième couche semi-conductrice peut comprendre au moins un polymère fluoré tel que ceux décrits pour la première couche semi-conductrice.
- 10 **[0067]** La deuxième couche semi-conductrice peut comprendre au moins 50% en poids de polymère(s), de préférence au moins 70% en poids de polymère(s), de manière encore plus préférée au moins 80% en poids de polymère(s), et de manière encore plus préférée au moins 90% en poids de polymère(s).
- [0068]** La deuxième couche semi-conductrice peut comprendre classiquement des charges électriquement conductrices en une quantité suffisante pour rendre la première couche semi-conductrice. A titre d'exemple, elle peut comprendre de 0,1% à 40% en poids de charges électriquement conductrices, telles que par exemple du noir de carbone, des
- 15 nanotubes de carbone ...
- [0069]** La deuxième couche semi-conductrice peut-être une couche extrudée autour de l'élément électriquement conducteur, ou une couche sous forme de ruban enroulé autour de l'élément électriquement conducteur, ou une couche de vernis déposée autour de l'élément électriquement conducteur, ou une de leurs combinaison.
- [0070]** Selon un mode de réalisation préféré, la deuxième couche semi-conductrice peut être extrudée autour de la
- 20 couche électriquement isolante.
- [0071]** Selon un mode de réalisation préféré, la deuxième couche semi-conductrice peut être directement placée autour de l'élément électriquement conducteur et donc être en contact physique direct avec ledit élément. La première couche semi-conductrice permet ainsi de lisser le champ électrique autour du conducteur.
- [0072]** La deuxième couche semi-conductrice peut posséder une épaisseur e_2 allant de 0,05 nm à 1,0 mm, de préférence allant de 0,07 mm à 0,8 mm, et de façon particulièrement préférée une épaisseur allant de 0,09 mm à 0,5 mm.
- 25 **[0073]** La deuxième couche semi-conductrice peut posséder un diamètre extérieur allant de 0,3 mm à 22 mm, de préférence allant de 0,8 mm à 18 mm, de préférence allant de 1,0 mm à 15 mm, et de façon particulièrement préférée allant de 1,2 mm à 12 mm.

30 Élément électriquement conducteur isolé

- [0074]** L'élément électriquement conducteur isolé peut être utilisé à une intensité pouvant aller de $35 A_{RMS}$ à $1000 A_{RMS}$, de préférence de $80 A_{RMS}$ à $600 A_{RMS}$, de façon particulièrement préférée de $190 A_{RMS}$ à $500 A_{RMS}$, ces valeurs étant indiquées pour une température maximale du conducteur en service de $260^\circ C$.
- 35 **[0075]** L'élément électriquement conducteur isolé peut être utilisé en courant continu ou en courant alternatif. Lorsqu'il est utilisé en courant alternatif, la fréquence d'utilisation peut aller de 10 Hz (Hertz) à 100 kHz (kilohertz), de préférence de 10 Hz à 10 kHz, de façon particulièrement préférée de 10 Hz à 3 kHz. Dans un système MLI on entend par fréquence la fréquence fondamentale du courant.
- [0076]** L'élément électriquement conducteur isolé peut être utilisé, dans un aéronef en zone pressurée et non-pres-
- 40 surée, à une puissance allant de 8 kVA (kilovoltampère) à 3000 kVA, de préférence de 100 kVA à 2000 kVA, et de façon particulièrement préférée de 250 kVA à 1500 kVA.

Câble électriquement conducteur

- 45 **[0077]** Un deuxième objet de l'invention concerne un câble électriquement conducteur comprenant un ou plusieurs éléments électriquement conducteurs isolés tels que précédemment décrits.
- [0078]** Les valeurs de tension, d'intensité, de puissance et de fréquence décrites pour l'élément électriquement conducteur isolé s'appliquent également pour le câble électriquement conducteur.
- [0079]** Le câble électrique peut comprendre un écran métallique formant un blindage électromagnétique. Dans le cas
- 50 où le câble comprend un unique élément électriquement conducteur isolé, l'écran métallique peut être placé autour de la deuxième couche semi-conductrice. Dans le cas où le câble comprend plusieurs éléments électriquement conducteurs isolés, l'écran métallique peut être placé autour de la deuxième couche semi-conductrice de chaque élément et/ou autour de l'ensemble des éléments électriquement conducteurs isolés.
- [0080]** L'écran métallique peut être un écran dit « filaire », composé d'un ensemble de conducteurs à base de cuivre
- 55 ou d'aluminium, arrangé autour de la deuxième couche semi-conductrice ou autour de l'ensemble des éléments électriquement conducteurs isolés ; un écran dit « rubané » composé d'un ou de plusieurs rubans métalliques conducteurs posé(s) en hélice autour de la deuxième couche semi-conductrice ou autour de l'ensemble des éléments électriquement conducteurs isolés ; un écran dit « étanche » de type tube métallique entourant la deuxième couche semi-conductrice

ou l'ensemble des éléments électriquement conducteurs isolés ; ou un écran dit « tressé » formant une tresse autour de la deuxième couche semi-conductrice. L'écran métallique est de préférence « tressé », notamment pour conférer au câble électriquement conducteur de la flexibilité.

[0081] Tous les types d'écran métalliques peuvent jouer le rôle de mise à la terre du câble électrique et peuvent ainsi transporter des courants de défaut, par exemple en cas de court-circuit dans le réseau concerné.

[0082] En outre, le câble électriquement conducteur peut comprendre une gaine de protection. Lorsque le câble comprend un écran métallique, la gaine de protection peut entourer l'écran métallique. Dans le cas où le câble ne comprend pas d'écran métallique, la gaine de protection peut entourer la deuxième couche semi-conductrice lorsque le câble comprend un unique élément électriquement conducteur isolé, ou entourer l'ensemble des éléments électriquement conducteurs isolés lorsque le câble en comprend plusieurs.

[0083] La gaine de protection peut être une couche à base de polymères tels que ceux décrits pour la couche électriquement isolante. Pour une application dans le domaine de l'aéronautique, la gaine de protection peut être de préférence à base d'un ou plusieurs polymères fluorés (comme par exemple du type PTFE, FEP, PFA et/ou ETFE) et/ou de polyimide.

[0084] De préférence, la gaine de protection peut être la couche la plus extérieure du câble.

[0085] La gaine de protection peut être sous forme d'un ruban, d'un extrudât ou d'un vernis.

Brève description des dessins

[0086] Les dessins annexés illustrent l'invention :

La figure 1 représente une vue en coupe transversale d'un élément électriquement conducteur isolé selon un mode de réalisation de l'invention ;

La figure 2 représente une vue en coupe transversale d'un câble électriquement conducteur selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

La figure 3 représente une vue en coupe transversale d'un câble électriquement conducteur selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;

La figure 4 est un graphique représentant la tension d'apparition de décharges partielles pour différents types de câbles ; et

La figure 5 est un graphique représentant la tension d'extinction de décharges partielles pour différents types de câbles.

Description de mode(s) de réalisation

[0087] Pour des raisons de clarté, seuls les éléments essentiels pour la compréhension des modes de réalisation exposés ci-après ont été représentés de manière schématique, et ceci sans respect de l'échelle.

[0088] Comme illustré sur la figure 1, un élément électriquement conducteur isolé 1 selon un mode de réalisation de l'invention comprend un élément électriquement conducteur allongé 2, une deuxième couche semi-conductrice (CSC) 3 entourant l'élément électriquement conducteur allongé 2, une couche électriquement isolante (CI) 4 entourant la première couche semi-conductrice 3 et une première couche semi-conductrice (CSC) 5 entourant ladite couche électriquement isolante.

[0089] La deuxième couche semi-conductrice 3 possède une épaisseur e_2 et la première couche semi-conductrice 5 possède une épaisseur e_1 . La couche électriquement isolante 4 possède une épaisseur e_i déterminée selon un mode de réalisation de l'invention et qui est supérieure à la somme : $e_1 + e_2$.

[0090] Dans ce mode de réalisation, la deuxième couche semi-conductrice 3, la couche électriquement isolante 4 et la première couche semi-conductrice 5 constituent un système d'isolation tricouche, ce qui signifie que la couche électriquement isolante 4 est en contact physique direct avec la deuxième couche semi-conductrice 3, et la première couche semi-conductrice 3 est en contact physique direct avec la couche électriquement isolante 4.

[0091] L'élément électriquement conducteur allongé 2 est formé par 37 brins en cuivre recouvert par une couche de nickel et possède ainsi à un diamètre de 12 AWG (« American Wire Gauge »).

[0092] La première et la deuxième couches semi-conductrices 3 et 5 ainsi que la couche isolante 4 sont formées par du PFA.

[0093] La figure 2 représente un câble électriquement conducteur 10 selon un premier mode de réalisation de l'invention comprenant un unique élément électriquement conducteur isolé 1 entouré d'un écran métallique 16 du type « tressé » en cuivre nickelé. L'écran métallique 16 est entouré par une gaine de protection 17 qui est la couche la plus extérieure

du câble 10 et qui est à base de PFA.

[0094] La figure 3 représente un câble électriquement conducteur 20 selon un premier mode de réalisation de l'invention comprenant trois éléments électriquement conducteurs isolés 1, 1' et 1'' selon l'invention. Dans ce mode de réalisation, les trois éléments électriquement conducteurs isolés sont identiques, cependant, selon un autre mode de réalisation possible, ils peuvent être différents. Ils peuvent différer notamment par l'épaisseur des couches semi-conductrices et de la couche isolante.

[0095] L'ensemble formé par les trois éléments électriquement conducteurs isolés 1, 1' et 1'' est entouré d'un écran métallique 16 du type tressé. L'écran métallique 16 est entouré par une gaine de protection 17 qui est la couche la plus extérieure du câble 10 et qui est à base de PFA. Le câble électriquement conducteur 20 comprend également des espaces 25 qui comprennent de l'air.

Exemples de réalisation

Exemple 1

[0096] Le câble électriquement conducteur 10 selon le premier mode de réalisation et dépourvu de la gaine de protection 17 de l'invention est préparé par coextrusion de l'isolation tricouche autour de l'élément électriquement conducteur allongé 2, le système d'isolation tricouche étant formée par la première couche semi-conductrice 3, la couche électriquement isolante 4 et la deuxième couche semi-conductrice 5.

[0097] L'écran métallique 16 est ensuite placé autour de la deuxième couche semi-conductrice.

[0098] Le conducteur électriquement allongé 2 est formé par 37 brins en cuivre et recouvert par une couche de nickel selon la norme européenne EN 2083.

[0099] La première couche semi-conductrice est formée à partir d'un mélange polymérique A comprenant au moins 60 % en poids de copolymère perfluoroalkoxy (PFA) par rapport au poids total du mélange polymérique, commercialisé sous la référence S185.1 B par la société PolyOne.

[0100] La couche électriquement isolante est formée à partir d'un deuxième mélange polymérique B comprenant au moins 95 % en poids de copolymère perfluoroalkoxy (PFA) par rapport au poids total du mélange polymérique, commercialisé sous la référence AP-210 par la société DAIKIN.

[0101] La deuxième couche semi-conductrice est formée à partir d'un troisième mélange polymérique C comprenant 60% en poids de copolymère perfluoroalkoxy (PFA) par rapport au poids total du mélange polymérique, commercialisé sous la référence S185.1 B par la société PolyOne.

[0102] Les mélanges polymériques A, B et C ont été chacun introduits dans une des trois extrudeuses de la coextrusion tri-couche et extrudés autour de l'élément électriquement conducteur allongé 2 avec un profil de température de allant de 320°C à 380°C, la vitesse de rotation des vis de ces trois extrudeuses étant réglée entre 5 et 100 tours par minute.

[0103] Le câble 10 ayant les dimensions ci-dessous est alors formé :

- diamètre moyen du conducteur = 2,15 mm ($\pm 10\%$) ;
- épaisseur moyenne $e_2 = 0,15$ mm ($\pm 10\%$) ;
- diamètre extérieur moyen de la couche 3 = 2,45 mm ($\pm 10\%$) ;
- épaisseur moyenne $e_i = 1,62$ mm ($\pm 10\%$) ;
- diamètre extérieur moyen de la couche 4 = 5,70 mm ($\pm 10\%$) ;
- épaisseur moyenne $e_j = 0,15$ mm ($\pm 10\%$) ;
- diamètre extérieur moyen de la couche 5 = 6,00 mm ($\pm 10\%$) ; et
- épaisseur moyenne de l'écran = 0,2mm ($\pm 10\%$).

[0104] Dans cet exemple de réalisation, le câble 10 comprend une deuxième couche semi-conductrice qui est en contact direct avec la couche électriquement isolante et le diamètre intérieur d1 de la couche électriquement isolante est donc égal au diamètre extérieur de la deuxième couche semi-conductrice 3.

[0105] La couche isolante 4 du câble 10 possède les caractéristiques suivantes :

- caractéristique 1 : une résistance à des températures allant de -55°C à 250°C ;
- caractéristique 2 : une résistance à un champ électrique E de 10 kV_{crête}/mm, lorsque ce champ électrique est appliqué de façon continue pour une durée pouvant aller jusqu'à 90000 heures (h);
- caractéristique 3 : une rigidité diélectrique selon la norme ASTM D149 supérieure à 60 kV/mm ;
- caractéristique 4 : un facteur de pertes diélectriques selon la norme ASTM D150 de 3×10^{-4} et ce, pour une fréquence comprise entre 100 Hz et 100 kHz et à une température de 0 à 200°C ;
- caractéristique 5 : une permittivité diélectrique selon la norme ASTM D150 de 2,0, et ce, pour une fréquence comprise entre 100 Hz et 100 kHz et à une température de 0 à 200°C ;

EP 3 965 124 A1

- caractéristique 6 : un coefficient d'expansion linéaire thermique selon la norme ASTM D696 de 12 K^{-1} à 23°C ;
- caractéristique 7 : un indice limite d'oxygène (ILO) selon la norme ASTM D2863 de 90;

[0106] Ce câble est prévu pour une tension d'utilisation de $10\text{kV}_{\text{crête}}$.

Exemples comparatifs 2 à 6

[0107] Le câble 10 de l'exemple 1 va être comparé avec les câbles 2 à 6 dans lesquels le système d'isolation tricouche est remplacé par l'isolation indiquée dans le tableau 1, l'élément électriquement conducteur étant identique à celui du câble 10.

Tableau 1

N°	Isolation	Polymère	Epaisseur (mm)	Diamètre (mm)
2	CI, rubanée superposée	PTFE	0,42	3,0
3	CI, rubanée bord à bord	PTFE	0,42	3,0
4	CI, extrudée	PFA	0,42	3,0
5	CI1, extrudée	PFA	0,15	2,45
	CI2, extrudée	PFA	1,62	5,70
6	CSC1, rubanée	PFA ⁽¹⁾	0,12	2,39
	CI, rubanée	PFA	0,40	3,19
	CSC2, rubanée	PFA ⁽¹⁾	0,12	3,43
(1) Comprend des charges électriquement conductrices				

[0108] L'épaisseur ei de la couche électriquement isolante 4 satisfait bien aux deux relations suivantes appliquée aux valeurs de l'exemple :

$$\frac{2,45}{2} \left[\exp \left(\frac{10}{10 \times \frac{2,45}{2}} \right) - 1 \right] \leq ei \leq \frac{2,45}{2} \left[\exp \left(\frac{3 \times 10}{10 \times \frac{2,45}{2}} \right) - 1 \right]$$

$$\Rightarrow 1,55 \text{ mm} \leq ei \leq 13,00 \text{ mm}$$

$$ei \geq 0,15 + 0,15$$

[0109] Les câbles des exemples 1 à 6 sont ensuite soumis à un test de décharges partielles selon la norme EN 3475-307 Méthode B. Lors de ce test la tension est augmentée par palier de 50V jusqu'à l'apparition de décharges et on note la tension d'apparition de décharges partielles (connu sous l'anglicisme « Partial Discharge Inception Voltage» ou PDIV). Ensuite la tension est diminuée jusqu'à disparitions de décharges partielles et on note la tension d'extinction de décharges partielles (connu sous l'anglicisme « Partial Discharge Extinction Voltage» ou PDEV).

[0110] Pour cela, 10 échantillons ont été préparés pour chaque exemple de câble 1 à 6 et l'expérience a été réalisée 10 fois sur chacun de ces câbles. Les résultats sont indiqués dans les tableaux 2 et 3 et sont illustrés respectivement sur les figures 4 et 5:

Tableau 2

PDIV	U moy. (V)	U min. (V)	U max. (V)	Dev Std (V)	CV (%)
1	10000	10000	10000	0	0
2	1680	1526	1830	66	3,9
3	1687	1485	1901	96	5,7

(suite)

PDIV	U moy. (V)	U min. (V)	Umax. (V)	Dev Std (V)	CV (%)
4	1778	1622	1919	72	4,1
5	4221	3437	4670	267	6,3
6	3659	3295	3943	141	3,9

Tableau 3

PDEV	U moy. (V)	U min. (V)	Umax. (V)	Dev Std (V)	CV (%)
1	10000	10000	10000	0	0
2	1551	1410	1707	67	4,3
3	1584	1372	1779	95	6,0
4	1631	1427	1877	67	4,1
5	4021	3305	4369	233	5,8
6	3267	3007	3559	99	3,0

[0111] Ces résultats montrent que :

- une couche électriquement isolante extrudée augmente la tension à laquelle les décharges partielles apparaissent (comparaison de l'exemple 4 avec les exemples 2 et 3) ;
- augmenter l'épaisseur de l'isolation augmente la tension à laquelle les décharges partielles apparaissent (comparaison de l'exemple 5 avec l'exemple 4) ; et
- une isolation tricouche extrudée augmente encore la tension à laquelle les décharges partielles apparaissent (comparaison de l'exemple 1 avec l'exemple 6).

[0112] Le câble 10 selon l'invention permet d'augmenter la tension à une valeur d'au moins 10 kV sans que des décharges partielles n'apparaissent.

Revendications

1. Élément électriquement conducteur isolé limitant l'apparition de décharges partielles, **caractérisé en ce qu'il** comprend un élément électriquement conducteur allongé entouré d'un système d'isolation comportant au moins une couche électriquement isolante entourant l'élément électriquement conducteur allongé et au moins une première couche semi-conductrice entourant ladite couche électriquement isolante, ledit élément électriquement conducteur isolé étant **caractérisé en ce que** la couche électriquement isolante possède une épaisseur e_i , la valeur de ladite épaisseur e_i étant déterminée en fonction de la tension d'utilisation U de l'élément électriquement conducteur isolé et d'un diamètre intérieur d1 de la couche électriquement isolante.
2. Élément selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'épaisseur e_i de la couche isolante est déterminée en fonction d'un rapport entre la tension d'utilisation U et le diamètre d1.
3. Élément selon la revendication 1 ou 2 **caractérisée en ce que** la première couche semi-conductrice possède une épaisseur e_j et **en ce que** la valeur de l'épaisseur e_j satisfait à la relation suivante :

$$e_i \geq e_1$$

4. Élément selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la valeur minimale de l'épaisseur e_j est déterminée en fonction d'un rapport R1 suivant :

$$R1 = \frac{U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}$$

U étant exprimée en kilovolts (kV),

E_{max} étant la valeur maximale du champ électrique pouvant être appliqué à la couche d'isolation et étant exprimée en kilovolts/mm, et

le diamètre d_1 étant exprimé en millimètres (mm).

5. Élément selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la valeur minimale de l'épaisseur e_i est déterminée en fonction d'une expression E1 suivante:

$$E1 = \exp\left(\frac{U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}\right) - 1$$

6. Élément selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'épaisseur e_i satisfait à la relation suivante:

$$ei \geq \frac{d_1}{2} \left[\exp\left(\frac{U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}\right) - 1 \right]$$

7. Élément selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la valeur maximale de l'épaisseur e_i est déterminée en fonction d'un rapport R2 suivant:

$$R2 = \frac{3 \times U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}$$

8. Élément selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisées en ce que** la valeur maximale de l'épaisseur e_i est déterminée en fonction d'une expression E2 suivante:

$$E2 = \exp\left(\frac{3 \times U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}\right) - 1$$

9. Élément selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'épaisseur e_i satisfait à la relation suivante:

$$ei \leq \frac{d_1}{2} \left[\exp\left(\frac{3 \times U}{E_{max} \times \frac{d_1}{2}}\right) - 1 \right]$$

10. Élément selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre une troisième couche, ladite troisième couche étant une deuxième couche semi-conductrice entourant l'élément électriquement conducteur allongé et étant placée entre l'élément électriquement conducteur allongé et la couche électriquement isolante.

11. Elément selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche électriquement isolante, la première couche semi-conductrice et/ou la deuxième couche semi-conductrice comprend au moins un polymère fluoré.

5 12. Elément selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche électriquement isolante, la première couche semi-conductrice et la deuxième couche semi-conductrice comprennent au moins un polymère fluoré.

10 13. Elément selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, **caractérisé en ce que** le polymère fluoré peut être choisi parmi le polytétrafluoroéthylène (PTFE) ; les copolymères d'éthylène et de propylène fluorés (FEP) comme par exemple les poly(tétrafluoroéthylène-co-hexafluoropropylène) ; les copolymères perfluoroalkoxy (PFA) comme par exemple les copolymères perfluoro(alkylvinyléther)/tétrafluoroéthylène ; les copolymères perfluoro méthoxy (MFA) ; et les poly(éthylène-co-tétrafluoroéthylène) (ETFE) ; ou un de leurs mélanges.

15 14. Câble électriquement conducteur, **caractérisé en ce qu'il** comprend au moins un élément électriquement conducteur isolé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13.

20

25

30

35

40

45

50

55

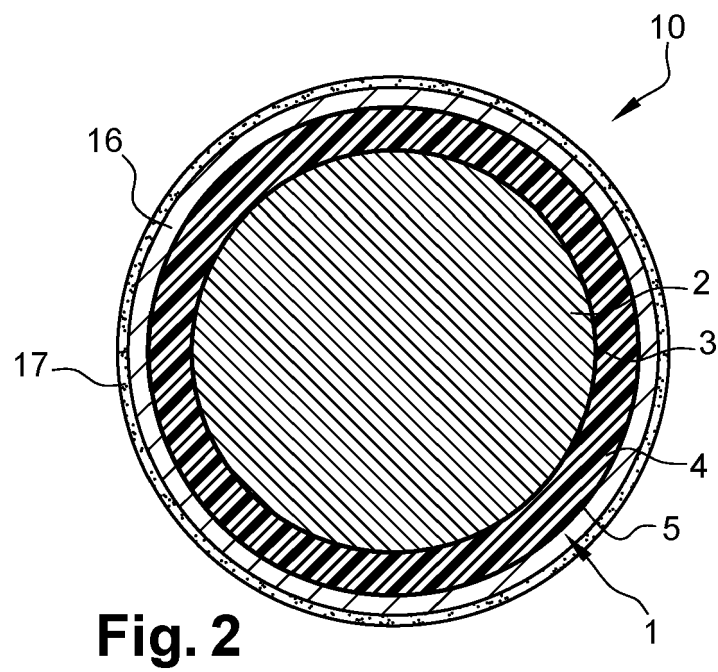
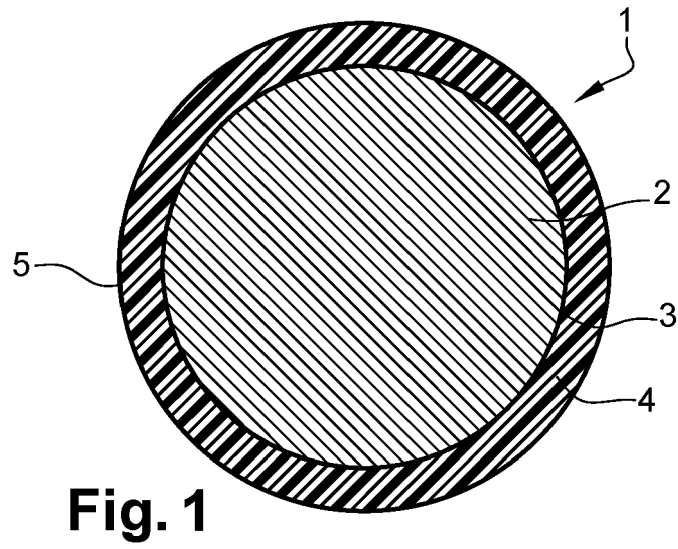
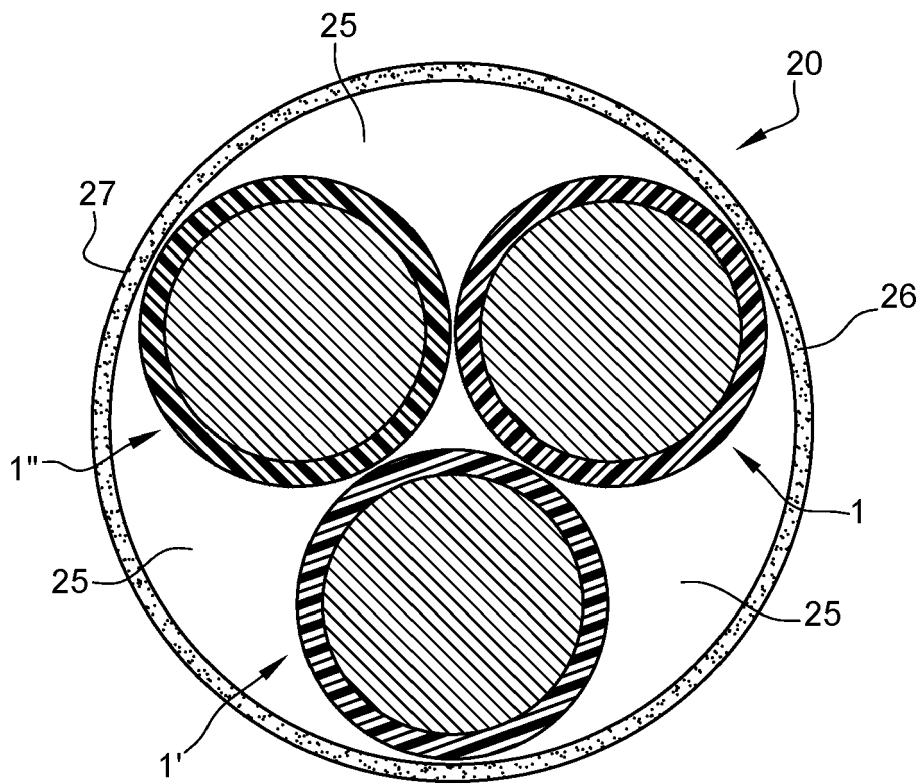
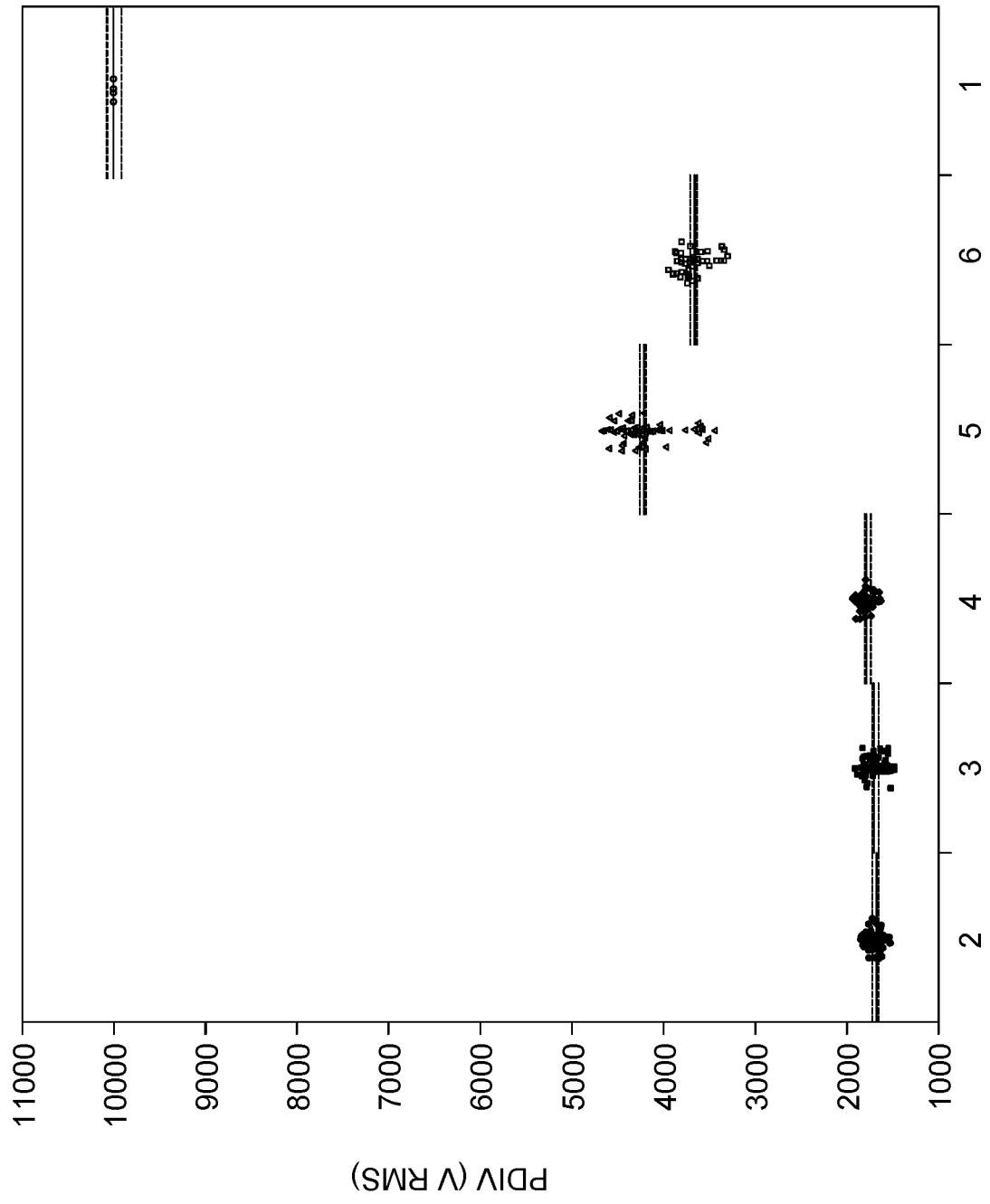
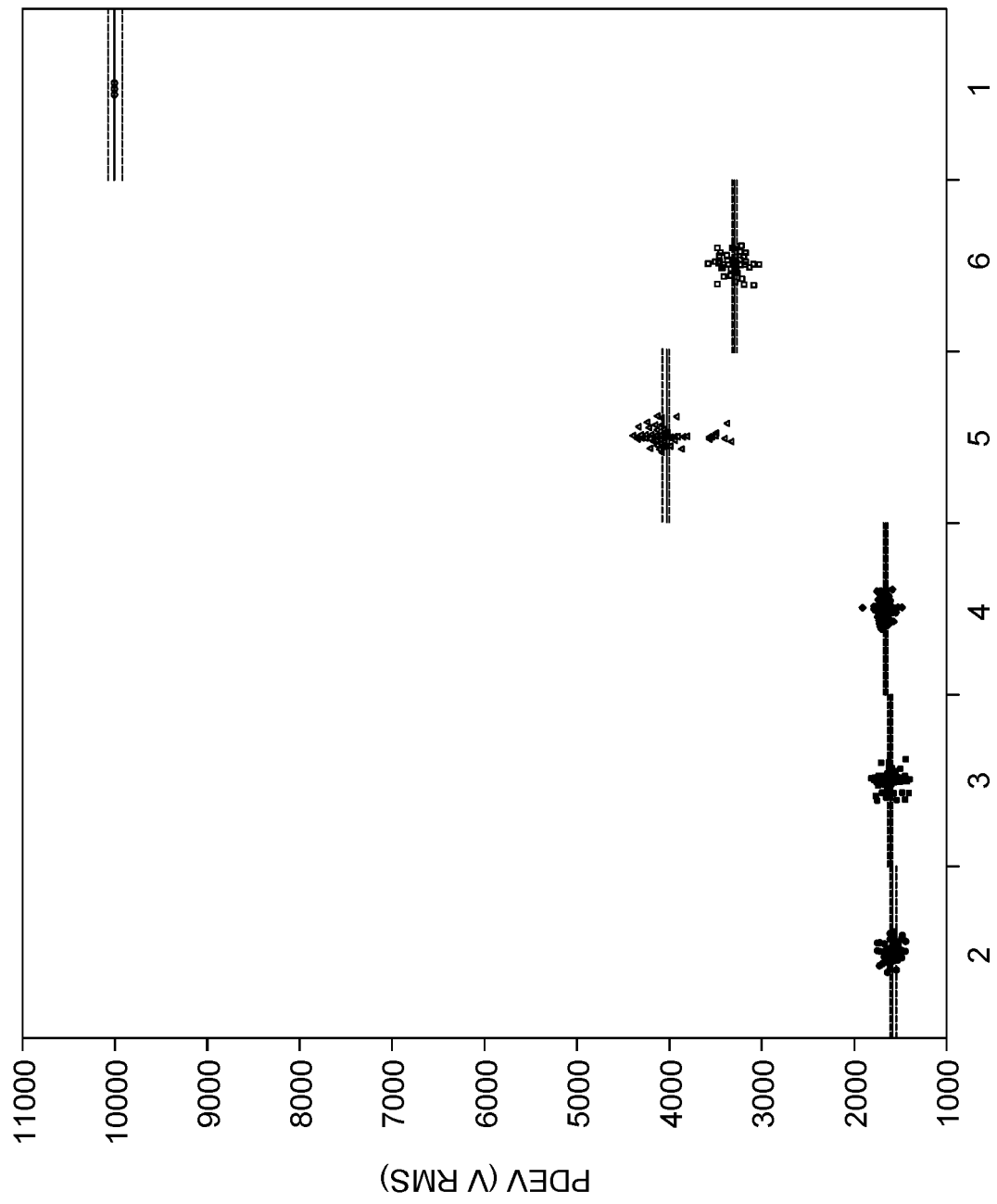


Fig. 3









RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 21 19 4923

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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 2020/251251 A1 (KOELBLIN CHRISTIAN [FR] ET AL) 6 août 2020 (2020-08-06) * alinéa [0145]; figure 1 *	1-10, 14	INV. H01B9/02 H01B7/02 H01B7/28
X	EP 1 042 763 A1 (PIRELLI CAVI E SISTEMI SPA [IT]) 11 octobre 2000 (2000-10-11) * alinéas [0021], [0053] *	1-10, 14	H01B3/00 H01B13/24
X	EP 2 577 683 A1 (PRYSMIAN POWER CABLES AND SYSTEMS USA LLC [US]) 10 avril 2013 (2013-04-10) * alinéa [0081] - alinéa [0082]; figure 1 *	1-10, 14	
X	WO 90/01776 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 22 février 1990 (1990-02-22) * page 13, ligne 34 - page 14, ligne 1; figure 1 *	1-10, 14	
X	US 2014/224521 A1 (JANAH HAKIM [FR] ET AL) 14 août 2014 (2014-08-14) * alinéas [0051], [0071] - alinéa [0077]; figure 1 *	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01B H05B
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 14 janvier 2022	Examineur 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	

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

EP 21 19 4923

14-01-2022

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.

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 2020251251	A1	06-08-2020	CN	111354507 A		30-06-2020
			EP	3671767 A1		24-06-2020
			FR	3090987 A1		26-06-2020
			KR	20200078400 A		01-07-2020
			US	2020251251 A1		06-08-2020

EP 1042763	A1	11-10-2000	AT	241204 T		15-06-2003
			CA	2315694 A1		01-07-1999
			CN	1306668 A		01-08-2001
			DE	69814921 T2		11-03-2004
			DK	1042763 T3		22-09-2003
			EP	1042763 A1		11-10-2000
			ES	2200408 T3		01-03-2004
			HK	1032141 A1		06-07-2001
			HU	0100055 A2		28-05-2001
			JP	2001527267 A		25-12-2001
			PT	1042763 E		30-09-2003
			US	6455769 B1		24-09-2002
			WO	9933070 A1		01-07-1999

EP 2577683	A1	10-04-2013	AR	084114 A1		24-04-2013
			AU	2010354054 A1		06-12-2012
			BR	112012029655 A2		02-08-2016
			CA	2799716 A1		01-12-2011
			CN	103098145 A		08-05-2013
			EP	2577683 A1		10-04-2013
			RU	2012156238 A		10-07-2014
			US	2013168126 A1		04-07-2013
WO	2011149463 A1		01-12-2011			

WO 9001776	A1	22-02-1990	FR	2634940 A1		02-02-1990
			WO	9001776 A1		22-02-1990

US 2014224521	A1	14-08-2014	CN	103985438 A		13-08-2014
			EP	2765581 A1		13-08-2014
			FR	3002076 A1		15-08-2014
			US	2014224521 A1		14-08-2014

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