



(11)

EP 2 498 263 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
19.11.2014 Bulletin 2014/47

(51) Int Cl.:
H01B 3/44 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **12158603.6**

(22) Date de dépôt: **08.03.2012**

(54) **Câble électrique à moyenne ou haute tension**

elektrische Hochspannungs- und mittelspannungskabel

low and middle voltage electric cable

(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**

(30) Priorité: **08.03.2011 FR 1151892**

(43) Date de publication de la demande:
12.09.2012 Bulletin 2012/37

(73) Titulaire: **Nexans
75008 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Alric, Jérôme
38080 L'Isle d'Abeau (FR)**

- **Marty, Jean-Michel
69110 Sainte Foy Les Lyon (FR)**
- **Goutille, Yannick
69100 Villeurbanne (FR)**

(74) Mandataire: **Peguet, Wilfried et al
Fera y Lenne Conseil
Le Centralis
63, avenue du Général Leclerc
92340 Bourg-la-Reine (FR)**

(56) Documents cités:
**EP-A1- 0 111 043 EP-A1- 0 579 434
EP-A1- 1 156 493 GB-A- 1 303 334
US-A- 2 426 111 US-A- 5 378 539
US-B1- 6 586 509**

EP 2 498 263 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention se rapporte à un câble électrique. Elle s'applique typiquement, mais non exclusivement, aux domaines des câbles d'énergie à moyenne tension (notamment de 6 à 45-60 kV) ou à haute tension (notamment supérieur à 60 kV, et pouvant aller jusqu'à 800 kV), qu'ils soient à courant continu ou alternatif.

[0002] Les câbles d'énergie à moyenne ou haute tension comprennent typiquement un conducteur électrique central et, successivement et coaxialement autour de ce conducteur électrique, une couche interne semi-conductrice, une couche intermédiaire électriquement isolante, une couche externe semi-conductrice, ces trois couches étant réticulées par des techniques bien connues de l'homme du métier.

[0003] Classiquement, ces trois couches réticulées sont obtenues à partir d'une composition à base d'une matrice polymère de polyéthylène associée à un peroxyde organique du type peroxyde de dicumyle ou peroxyde de tert-butyle cumyle (i.e. peroxyde cumylique). Lors de la réticulation desdites compositions, ce type de peroxyde se décompose et forme des sous-produits de réticulation tels que notamment du méthane, de l'acétophénone, de l'alcool cumylique, de l'acétone, du tertibutanol, de l'alpha-méthyle styrène et/ou de l'eau. Ces deux derniers sous-produits se forment par la réaction de déshydratation de l'alcool cumylique.

[0004] La formation d'eau à partir d'alcool cumylique est relativement lente et peut se produire après plusieurs mois, voire quelques années une fois que le câble est en configuration opérationnelle. Le risque de claquage des couches réticulées est ainsi augmenté de façon significative.

[0005] En outre, si le méthane formé au cours de l'étape de réticulation n'est pas évacué des couches réticulées, des risques liés à l'explosivité du méthane et sa capacité à s'enflammer ne doivent pas être ignorés. Ce gaz peut également occasionner des dégâts une fois le câble mis en service. Lorsque la couche externe semi-conductrice est entourée par un écran métallique, ce qui est généralement le cas dans la structure des câbles moyenne et haute tension, celui-ci ne peut se diffuser que longitudinalement le long du câble jusqu'aux jonctions et aux terminaisons de l'installation électrique (i.e. accessoires d'énergie). Le méthane peut donc s'accumuler et exercer une pression sur les accessoires d'énergie, ce qui peut provoquer un claquage électrique. Même si des solutions existent pour limiter la présence de méthane au sein du câble, telles que par exemple traiter le câble thermiquement afin d'accélérer la diffusion de méthane en dehors du câble, elles deviennent longues et coûteuses lorsque l'épaisseur des couches réticulées est importante.

[0006] Le document US 5 252 676 présente une solution pour limiter les sous-produits de réticulation provenant des agents de réticulation, dans les câbles électriques d'énergie. Pour ce faire, il préconise la diminution de la quantité d'agent de réticulation afin que la quantité de gaz et d'eau libérée pendant la décomposition de l'agent de réticulation ne soit trop importante, tout en continuant à utiliser du peroxyde de tert-butyle cumyle (IPC) comme agent de réticulation dans la fabrication des trois couches réticulées. Néanmoins, la quantité d'eau reste sensiblement importante, et une diminution trop importante de la quantité de peroxyde tend à dégrader les propriétés thermomécaniques des couches réticulées.

[0007] On peut également citer le document US 6 586 509 proposant une solution pour limiter les sous-produits de réticulation en mélangeant à une polyoléfine et son agent de réticulation du type peroxyde de dicumyle, un antioxydant à base de thioéther.

[0008] Le but de la présente invention est de pallier les inconvénients des techniques de l'art antérieur en proposant un câble électrique à moyenne ou haute tension, comprenant une couche réticulée dont la fabrication limite de façon significative la présence de sous-produits de réticulation, comme par exemple le méthane et/ou l'eau, tout en garantissant des propriétés thermomécaniques optimales, telles que le fluage à chaud, caractéristiques de la bonne réticulation de ladite couche.

[0009] La présente invention a pour premier objet un câble électrique comprenant un conducteur électrique, une première couche semi-conductrice entourant le conducteur électrique, une deuxième couche électriquement isolante, entourant la première couche, et une troisième couche semi-conductrice entourant la deuxième couche, caractérisé en ce qu'au moins une de ces trois couches est une couche réticulée obtenue à partir d'une composition réticulable comprenant au moins une polyoléfine, et un peroxyde aliphatique en tant qu'agent de réticulation, caractérisé en ce que la composition réticulable comprend en outre un composé aromatique comprenant au moins un noyau aromatique et une unique fonction réactive apte à se greffer à la polyoléfine.

[0010] De préférence, la composition réticulable selon le premier objet de l'invention peut comprendre en outre au moins un coagent de réticulation comportant au moins deux fonctions réactives, identiques ou différentes, qui sont aptes d'une part à se greffer à la polyoléfine, et d'autre part à participer à la réticulation de la polyoléfine. De façon particulièrement préférée, l'une de ces deux fonctions réactives peut être une fonction vinylique du type $\text{CH}_2=\text{CH}-$.

[0011] La présente invention a pour second objet un câble électrique comprenant un conducteur électrique, une première couche semi-conductrice entourant le conducteur électrique, une deuxième couche électriquement isolante, entourant la première couche, et une troisième couche semi-conductrice entourant la deuxième couche, au moins une de ces trois couches est une couche réticulée obtenue à partir d'une composition réticulable comprenant au moins une polyoléfine, et un peroxyde aliphatique en tant qu'agent de réticulation caractérisé en ce que la composition réticulable

comprend en outre au moins un coagent de réticulation comportant au moins deux fonctions réactives, identiques ou différentes, qui sont aptes d'une part à se greffer à la polyoléfine, et d'autre part à participer à la réticulation de la polyoléfine, l'une de ces deux fonctions réactives étant une fonction vinylique du type $\text{CH}_2=\text{CH}-$.

[0012] De préférence, la composition réticulable selon le second objet de l'invention peut comprendre en outre un composé aromatique comprenant au moins un noyau aromatique et une unique fonction réactive apte à se greffer à la polyoléfine.

[0013] L'agent de réticulation de l'invention a pour avantage de ne pas former d'alcool cumylique en tant que sous-produit de réticulation lors de la réticulation de la composition réticulable, et ainsi permet de limiter significativement la présence d'eau au sein de la couche réticulée, tout en gardant de très bonnes propriétés thermomécaniques. Les propriétés thermomécaniques pour la couche réticulée selon l'invention peuvent avantageusement se traduire par un allongement maximal à chaud sous contrainte selon la norme NF EN 60811-2-1 d'au plus 100%, de préférence d'au plus 80%, et de façon particulièrement préférée allant de 60 à 80%.

[0014] En outre, lors de la décomposition du peroxyde aliphatique, la quantité de méthane formée est moins importante que celle formée lors de la décomposition du peroxyde cumylique : la présence de méthane dans les sous-produits de réticulation s'en trouve donc avantageusement diminuée. A propriétés thermomécaniques sensiblement identiques, la quantité de peroxyde aliphatique nécessaire est moins importante que la quantité de peroxyde cumylique.

[0015] Le peroxyde aliphatique de l'invention est un peroxyde ne comprenant pas de groupement aromatique. Le peroxyde aliphatique peut être notamment un peroxyde aliphatique comprenant au moins un groupement alkyle tertiaire. Parmi les peroxydes aliphatiques de l'invention, on peut citer :

- les peroxycarbonates aliphatiques tels que par exemple le tert-amylperoxy 2-ethylhexyl carbonate, le tert-amylperoxy 2-ethylhexyl carbonate, le tert-butylperoxy isopropyl carbonate ;
- les peroxydes aliphatiques de dialkyle tertiaire tels que par exemple le 1,1-di(tert-butylperoxy)cyclohexane, 2,5-diméthyl-2,5-di(tert-butylperoxy)-3-hexyne, 2,5-diméthyl-2,5-di(tert-butylperoxy)-3-hexane, le di-tert-amyl peroxyde, le di-tert-butyl peroxyde, les peroxydes cycliques tels que le 3,6,9-triéthyl-3,6,9-triméthyl-1,4,7-triperoxonane ;
- les peroxyacétals aliphatiques tels que par exemple le butyl 4,4-di(tert-butylperoxy)valérate ; et
- les peroxyesters aliphatiques tels que par exemple le tert-butyl peroxyacétate, le tert-amyl peroxyacétate.

[0016] Parmi les peroxydes cités, on préférera utiliser les peroxydes aliphatiques de dialkyle tertiaire. Ce type de peroxyde présente un très bon compromis entre vitesse de réticulation et risque de grillage ou de pré-réticulation lors de la mise en oeuvre de la composition.

[0017] La réticulation par voie peroxyde de la composition réticulable selon l'invention peut être réalisée sous l'action de la chaleur et de pression, par exemple à l'aide d'un tube de vulcanisation sous atmosphère d'azote, cette technique de réticulation étant bien connue de l'homme du métier.

[0018] La composition réticulable de l'invention peut comprendre au plus 3,00 parties en poids de peroxyde aliphatique pour 100 parties en poids de polymère(s) dans la composition ; de préférence 1,50 parties en poids de peroxyde aliphatique pour 100 parties en poids de polymère(s) dans la composition ; de préférence 1,25 parties en poids de peroxyde aliphatique pour 100 parties en poids de polymère(s) dans la composition ; et de façon particulièrement préférée 1,10 parties en poids de peroxyde aliphatique pour 100 parties en poids de polymère(s) dans la composition.

[0019] De préférence, la composition réticulable ne comprend aucun peroxyde aromatique, tel que notamment des peroxydes de dicumyl ou leurs dérivés.

[0020] Le terme « polyoléfine » en tant que tel signifie de façon générale homopolymère ou copolymère d'oléfine. Il peut notamment désigner un polymère thermoplastique ou un élastomère.

[0021] De préférence, le polymère d'oléfine est un homopolymère d'éthylène ou un copolymère d'éthylène.

[0022] A titre d'exemple de polymères d'éthylène, on peut citer le polyéthylène linéaire basse densité (LLDPE), le polyéthylène basse densité (LDPE), le polyéthylène moyenne densité (MDPE), le polyéthylène haute densité (HDPE), les copolymères d'éthylène et d'acétate de vinyle (EVA), les copolymères d'éthylène et d'acrylate de butyle (EBA), d'acrylate de méthyle (EMA), de 2-hexyléthyl acrylate (2HEA), les copolymères d'éthylène et d'alpha-oléfines tels que par exemple les polyéthylène-octène (PEO), les polyéthylène-butène (PEB), les copolymères d'éthylène et de propylène (EPR) tels que par exemple les terpolymères d'éthylène propylène diène (EPDM), et leurs mélanges.

[0023] On préférera utiliser un polyéthylène basse densité (LDPE) puisqu'il présente de bonnes propriétés rhéologiques pour sa mise en oeuvre, notamment par extrusion, et de très bonnes propriétés thermomécaniques et électriques.

[0024] On entend par « basse densité » une densité pouvant aller notamment de 0,910 à 0,940 g/cm³, et de préférence pouvant aller de 0,910 à 0,930 g/cm³ selon la norme ISO 1183 (à une température de 23°C).

[0025] Typiquement, le polyéthylène basse densité (LDPE) peut être obtenu par un procédé de polymérisation dans un réacteur tubulaire à haute pression, ou dans un réacteur autoclave.

[0026] La composition réticulable peut comprendre plus de 50,0 parties en poids de polyoléfine pour 100 parties en poids de polymère(s) (i.e. matrice polymère) dans la composition, de préférence au moins 70 parties en poids de

polyoléfine pour 100 parties en poids de polymère(s) dans ladite composition, et de façon particulièrement préférée au moins 90 parties en poids de polyoléfine pour 100 parties en poids de polymère(s) dans ladite composition.

[0027] De façon particulièrement avantageuse, la composition réticulable comprend une matrice polymère qui n'est composé uniquement que d'une polyoléfine ou d'un mélange de polyoléfines.

[0028] Lorsque la composition réticulable de l'invention comprend en outre au moins un coagent de réticulation de type multifonctionnel, ce coagent de réticulation peut comprendre au moins deux fonctions réactives, identiques ou différentes, qui sont aptes d'une part à se greffer à la polyoléfine, et d'autre part à participer à la réticulation de la polyoléfine (i.e. à la formation du réseau tridimensionnel de la polyoléfine réticulée), en présence du peroxyde aliphatique de l'invention.

[0029] De préférence, lesdites au moins deux fonctions réactives du coagent de réticulation sont des fonctions insaturées.

[0030] De façon particulièrement préférée, l'une au moins desdites fonctions réactives est une fonction vinylique, notamment une fonction éthylénique du type $\text{CH}_2=\text{CH}-$.

[0031] De façon encore plus préférée, lesdites deux fonctions réactives sont des fonctions vinyliques, notamment des fonctions éthyléniques du type $\text{CH}_2=\text{CH}-$.

[0032] Le coagent de réticulation permet notamment de réduire de manière significative la proportion de peroxyde à utiliser dans la composition réticulable, tout en maintenant de bonnes propriétés thermomécaniques telles que le fluage à chaud, ainsi qu'une vitesse de réticulation satisfaisante.

[0033] De préférence, on utilisera un coagent dont la température d'ébullition est suffisamment élevée de sorte qu'il ne se volatilise pas lors de l'étape de mise en oeuvre de la composition réticulable, notamment par extrusion.

[0034] A titre d'exemple, le coagent de réticulation peut être choisi parmi le 1,3-hexadiène ; 1,4-hexadiène ; 1,5-hexadiène ; 2,3-diméthyl-1,3-butadiène ; 2,4-hexadiène ; 2-méthyl-1,4-pentadiène ; 3-méthyl-1,3-pentadiène ; 3-méthyl-1,3-pentadiène ; 1,6-heptadiène ; 2,4-diméthyl-1,3-pentadiène ; 2-méthyl-1,5-hexadiène ; 4-vinyl-1-cyclohexène ; 1,7-octadiène ; 2,5-diméthyl-1,5-hexadiène ; 2,5-diméthyl-2,4-hexadiène ; 5-éthylidène-2-norbornène ; 5-vinyl-2-norbornène ; 1,8-nonadiène ; 7-méthyl-1,6-octadiène ; 1,5,9-decatriène ; 2,6-Diméthyl-2,4,6-octatriène ; Dipentène ; 7-Méthyl-3-méthylène-1,6-octadiène ; 1,9-Decadiène ; 3,9-Divinyl-2,4,8,10-tetraoxaspiro[5.5]undécane ; 1,2,4-Trivinylcyclohexane ; 1,13-Tetradecadiène ; 2,3-Diphenyl-1,3-butadiène ; trans,trans-1,4-Diphenyl-1,3-butadiène ; 1,15-Hexadecadiène ; 1,6-Diphenyl-1,3,5-hexatriène ; 2,3-Dibenzyl-1,3-butadiène ; et polybutadiène ; ou un de leurs mélanges.

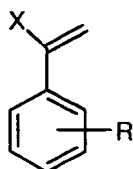
[0035] La concentration du coagent est de préférence limitée de telle façon à ne pas perturber le processus d'extrusion de la composition réticulable de l'invention. Par exemple, la composition réticulable pourra comprendre au plus 3 parties en poids de coagent de réticulation pour 100 parties de polymère(s) dans la composition réticulable. On préférera utiliser de 0,5 à 2 parties en poids de coagent pour 100 parties en poids de polymère(s) dans la composition réticulable.

[0036] Lorsque la composition réticulable de l'invention comprend en outre un composé aromatique comprenant au moins un noyau aromatique, et une unique fonction réactive apte à se greffer à la polyoléfine, ladite fonction réactive du composé aromatique peut être une fonction vinylique. De ce fait, ce composé aromatique ne participe pas à la réticulation de la polyoléfine, contrairement au coagent de réticulation, lorsqu'il est présent dans la composition réticulable.

[0037] La couche réticulée obtenue à partir de cette composition réticulable présente des propriétés renforcées et durables dans le domaine des câbles électriques, en offrant une meilleure résistance aux arborescences d'eau. Plus particulièrement, cela concerne la tenue au claquage électrique, et notamment la capacité à dissiper les charges d'espace qui s'accumulent notamment dans les câbles hautes tension sous courant continu.

[0038] Le composé aromatique peut être choisi parmi le styrène, les dérivés du styrène, et leurs isomères.

[0039] A titre d'exemple de dérivés du styrène, on peut citer les composés de formule générale suivante :



dans laquelle X est un hydrogène, un groupement alkyle ou un groupement aryle ; et R est soit un hydrogène, un groupement alkyle ou un groupement aryle. Plus particulièrement, on peut citer le 4-méthyl-2,4-diphenyl pentène, et le triphenyl éthylène.

[0040] Dans le cadre de la présente invention, on peut également considérer les dérivés du styrène du type hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP). Plus particulièrement, on peut citer les vinyl naphthalène comme par exemple le 2-vinyl naphthalène ; les vinyl anthracène comme par exemple le 9-vinyl anthracène ou le 2-vinyl anthracène ; et les

vinyl phenanthrene comme par exemple le 9-vinyl phenanthrene.

[0041] Le greffage de ces composés aromatiques sur la chaîne polymère de la polyoléfine est typiquement réalisé lors de la phase de réticulation de la polyoléfine, selon un mécanisme d'addition radicalaire bien connu de l'homme du métier, en présence du peroxyde d'alkyle tertiaire aliphatique de l'invention.

[0042] La composition réticulable selon l'invention peut comprendre en outre au moins un agent de protection tel qu'un antioxydant. Les antioxydants permettent de protéger la composition des contraintes thermiques engendrées lors des étapes de fabrication du câble ou de fonctionnement du câble.

[0043] Les antioxydants sont choisis de préférence parmi :

- les antioxydants phénoliques à encombrement stérique tels que le tetrakismethylene(3,5-di-*t*-butyl-4-hydroxy-hydrocinnamate) méthane, le octadecyl 3-(3,5-di-*t*-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate, le 2,2'-thiodiethylene bis[3-(3,5-di-*t*-butyl-4-hydroxyphenyl) propionate], le 2,2'-Thiobis(6-*t*-butyl-4-methylphenol), le 2,2'-methylenebis(6-*t*-butyl-4-methylphenol), le 1,2-Bis(3,5-di-*t*-butyl-4-hydroxyhydrocinnamoyl)hydrazine, le [2,2'-oxamido-bis(ethyl 3(3,5-di-*t*-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate), et le 2,2'-oxamido-bis(ethyl 3-(*t*-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate) ;
- les thioethers tels que le 4,6-bis(octylthiomethyl)-*o*-cresol, le Bis[2-methyl-4-(3-*n*-alkyl (C12 ou C14)thiopropionyl)-5-*t*-butylphenyl]sulfide et le Thiobis-[2-*t*-butyl-5-methyl-4,1-phenylene] bis [3-(dodecylthio)propionate] ;
- les antioxydants à base de soufre tels que le Dioctadecyl-3,3'-thiodipropionate ou le Didodecyl-3,3'-thiodipropionate ;
- les antioxydants à base de phosphore tels que les phosphites ou phosphonates comme par exemple le Tris(2,4-di-*t*-butyl-phenyl)phosphite ou le Bis(2,4-di-*t*-butylphenyl) pentaerythritol diphosphite ; et
- les antioxydants de type amine tels que le 2,2,4-trimethyl-1,2 dihydroquinoline polymérisé (TMQ), ce dernier type d'antioxydant étant particulièrement préféré dans la composition de l'invention.

[0044] Les TMQ peuvent avoir différents grades, à savoir :

- un grade dit « standard » avec un faible degré de polymérisation, c'est-à-dire avec un taux de monomère résiduel supérieur à 1% en poids et ayant une teneur en NaCl résiduelle pouvant aller de 100 ppm à plus de 800 ppm (parties par million massiques) ;
- un grade dit « à haut degré de polymérisation » avec un haut degré de polymérisation, c'est-à-dire avec un taux de monomère résiduel inférieur à 1% en poids et ayant une teneur en NaCl résiduelle pouvant aller de 100 ppm à plus de 800 ppm ;
- un grade dit « à faible teneur en sel résiduel » avec une teneur en NaCl résiduelle inférieure à 100 ppm.

[0045] Le type de stabilisant et son taux dans la composition réticulable sont classiquement choisis en fonction de la température maximale subie par les polymères pendant la production du mélange et pendant la mise en oeuvre par extrusion sur le câble ainsi que selon la durée maximale d'exposition à cette température.

[0046] La composition réticulable peut typiquement comprendre de 0,1% à 2% en poids d'antioxydant(s). De préférence, elle peut comprendre au plus 0,7% en poids d'antioxydant(s) notamment lorsque l'antioxydant est le TMQ.

[0047] D'autres additifs et/ou d'autres charges bien connus de l'homme du métier peuvent également être ajoutés à la composition réticulable de l'invention tels que des retardateurs de grillage ; des agents favorisant la mise en oeuvre tels que des lubrifiants ou des cires ; des agents compatibilisants ; des agents de couplage ; des stabilisants UV ; des charges non-conductrices ; des charges conductrices ; et/ou des charges semi-conductrices.

[0048] Selon un mode de réalisation préféré, la couche réticulée de l'invention est la couche électriquement isolante (i.e. deuxième couche). Dans le cas de la couche électriquement isolante, la composition réticulable peut ne pas comprendre de charge (électriquement) conductrice et/ou peut ne pas comprendre de charge semi-conductrice.

[0049] Plus particulièrement, au moins deux des trois couches du câble sont des couches réticulées, et de préférence les trois couches du câble sont des couches réticulées.

[0050] Lorsque la composition réticulable est utilisée pour la fabrication des couches semi-conductrices (première couche et/ou troisième couche), la composition réticulable comprend en outre au moins une charge (électriquement) conductrice ou une charge semi-conductrice, en une quantité suffisante pour rendre la composition réticulable semi-conductrice.

[0051] On considère plus particulièrement qu'une couche est semi-conductrice lorsque sa conductivité électrique est d'au moins 0,001 S.m⁻¹ (siemens par mètre).

[0052] La composition réticulable utilisée pour obtenir une couche semi-conductrice peut comprendre de 0,1 à 40% en poids de charge (électriquement) conductrice, de préférence au moins 15% en poids de charge conductrice, et encore plus préférentiellement au moins 25% en poids de charge conductrice.

[0053] La charge semi-conductrice peut être choisie avantageusement parmi les noirs de carbone, les nanotubes de carbone, et les graphites, ou un de leurs mélanges.

[0054] Que ce soient la première couche semi-conductrice, la deuxième couche électriquement isolante et/ou la

troisième couche semi-conductrice, au moins une de ces trois couches est une couche extrudée, de préférence deux de ces trois couches sont des couches extrudées, et encore plus préférentiellement ces trois couches sont des couches extrudées.

[0055] Dans un mode de réalisation particulier, généralement conforme au câble électrique bien connu dans le domaine d'application de l'invention, la première couche semi-conductrice, la deuxième couche électriquement isolante et la troisième couche semi-conductrice constituent une isolation tricouche. En d'autres termes, la deuxième couche électriquement isolante est directement en contact physique avec la première couche semi-conductrice, et la troisième couche semi-conductrice est directement en contact physique avec la deuxième couche électriquement isolante.

[0056] Le câble électrique de l'invention peut comprendre en outre un écran métallique entourant la troisième couche semi-conductrice.

[0057] Cet écran métallique peut être un écran dit « filaire », composé d'un ensemble de conducteurs en cuivre ou aluminium arrangé autour et le long de la troisième couche semi-conductrice, un écran dit « rubané » composé d'un ou de plusieurs rubans métalliques conducteurs posé(s) en hélice autour de la troisième couche semi-conductrice, ou d'un écran dit « étanche » de type tube métallique entourant la troisième couche semi-conductrice. Ce dernier type d'écran permet notamment de faire barrière à l'humidité ayant tendance à pénétrer le câble électrique en direction radiale.

[0058] 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.

[0059] En outre, le câble électrique de l'invention peut comprendre une gaine extérieure de protection entourant la troisième couche semi-conductrice, ou bien entourant plus particulièrement ledit écran métallique lorsqu'il existe. Cette gaine extérieure de protection peut être réalisée classiquement à partir de matériaux thermoplastiques appropriés tels que des HDPE, des MDPE ou des LLDPE ; ou encore des matériaux retardant la propagation de la flamme ou résistant à la propagation de l'incendie. Notamment, si ces derniers matériaux ne contiennent pas d'halogène, on parle de gainage de type HFFR (pour l'anglicisme « *Halogen Free Flame Retardant* »).

[0060] D'autres couches, telles que des couches gonflantes en présence d'humidité, peuvent être ajoutées entre la troisième couche semi-conductrice et l'écran métallique lorsqu'il existe, et/ou entre l'écran métallique et la gaine extérieure lorsqu'ils existent, ces couches permettant d'assurer l'étanchéité longitudinale et/ou transversale du câble électrique à l'eau. Le conducteur électrique du câble de l'invention peut également comprendre des matières gonflantes en présence d'humidité pour obtenir une « âme étanche ».

[0061] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lumière de la description d'un exemple non limitatif d'un câble électrique selon l'invention fait en référence à la figure 1 représentant une vue schématique en perspective et en coupe d'un câble électrique selon un mode de réalisation préféré conforme à l'invention.

[0062] Pour des raisons de clarté, seuls les éléments essentiels pour la compréhension de l'invention ont été représentés de manière schématique, et ceci sans respect de l'échelle.

[0063] Le câble d'énergie 1 à moyenne ou haute tension, illustré dans la figure 1, comprend un élément conducteur 2 central allongé, notamment en cuivre ou en aluminium. Successivement et coaxialement autour de cet élément conducteur 2, le câble d'énergie 1 comprend en outre une première couche 3 semi-conductrice dite « couche semi-conductrice interne », une deuxième couche 4 électriquement isolante, une troisième couche 5 semi-conductrice dite « couche semi-conductrice externe », un écran métallique 6 de mise à la terre et/ou de protection, et une gaine extérieure de protection 7, les couches 3, 4 et 5 pouvant être obtenues à partir d'une composition selon l'invention. Les couches 3, 4 et 5 sont des couches extrudées et réticulées.

[0064] La présence de l'écran métallique 6 et de la gaine extérieure de protection 7 est préférentielle, mais non essentielle, cette structure de câble étant en tant que telle bien connue de l'homme du métier.

Exemples

Préparation de compositions réticulables

[0065]

Tableau 1

Composition réticulable	C1	C2	C3	C4
Polyoléfine	100	100	100	100
BCP	1,42	-	1,27	-
DTBH	-	1,25	-	1,05
Antioxydants	0,18	0,18	0,18	0,18

(suite)

Composition réticulable	C1	C2	C3	C4
TVCH	-	-	1,00	1,00

[0066] Dans le tableau 1, les compositions C1 et C3 font références à des exemples comparatifs, tandis que les compositions C2 et C4 font références à des compositions selon l'invention.

[0067] Les quantités des constituants des compositions C1 à C4, détaillées dans le tableau 1, sont exprimées en parties en poids (pcr) pour 100 parties en poids de polymère dans la composition réticulable.

[0068] L'origine des différents constituants des compositions C1 à C4 du tableau 1 est détaillée comme suit :

- « Polyoléfine » est un polyéthylène basse densité commercialisé par la société Ineos sous la référence BPD 2000 ;
- « BCP » est le peroxyde de tert-butyl cumyl, commercialisé par la société Arkema sous la référence Luperox 801 ;
- « DTBH » est le 1,1-di(tert-butylperoxy) cyclohexane (peroxyde aliphatique de dialcyle tertiaire), commercialisé par la société Arkema sous la référence Luperox 101 ; et
- « TVCH » est le coagent de réticulation 1,2,4-trivinylcyclohexane, commercialisé par la société BASF sous la référence TVCH.

[0069] Les compositions C1 à C4 sont préparées en mélangeant les granulés de polyéthylène et les additifs tels que le peroxyde, les antioxydants, et optionnellement le coagent, dans un bocal fermé placé sur un mélangeur à rouleau pendant 3 heures, afin de bien imprégner les granulés de polyéthylène. Les granulés de polyéthylène ont été préchauffés à 60°C avant imprégnation.

[0070] Ensuite, le mélange a été placé à 40°C pendant 16 heures, avant d'être stockés hermétiquement.

Caractérisations des compositions

Caractérisations sur plaque non réticulée

● Cinétique et niveau de réticulation

[0071] Le rhéomètre MDR (Moving Die Rheometer, Alpha Technologies) permet de suivre la réticulation/vulcanisation d'un matériau par mesure de l'évolution de sa viscosité (DIN 53529 (1983)).

[0072] La chambre qui renferme l'échantillon est constituée de deux plateaux chauffants. Le plateau inférieur applique une oscillation de fréquence constante (100 cycles/mn, soit 1,67Hz) et d'amplitude $\pm 0,5^\circ$ d'arc ; le plateau supérieur mesure la réponse du matériau, c'est à dire sa résistance à la contrainte appliquée. L'unité de mesure est celle d'un couple, exprimée en dN.m.

[0073] L'échantillon est préparé à partir des granulés de polyéthylène imprégnés, moulés sous presse hydraulique en une plaque de 3mm d'épaisseur à la température de 120°C, suivant un cycle de 2mn sans pression suivi de 3mn sous une pression de 100 bars, avant d'être refroidit.

[0074] Deux rondelles de 35 mm de diamètre permettant de garnir complètement la chambre, sont découpées dans la plaque à l'aide d'un emporte-pièce, puis placées entre deux feuilles de polyester terphane®, pour être positionnées dans la chambre du rhéomètre.

[0075] La mesure est faite à la température de 190°C, représentative des conditions de vulcanisation en tube. Après une chute initiale du couple due à la fusion préalable du matériau, la viscosité du matériau et le couple qui en résulte augmentent, signe que la réticulation a lieu.

[0076] Un paramètre d'intérêt est le MH qui correspond au couple maximum mesuré. Celui-ci est une valeur de plateau, obtenu lorsque la totalité du système a réagi et que le niveau de réticulation maximum accessible est atteint. Pour un matériau donné, on note une bonne corrélation entre MH et densité de réticulation qui gouvernent les propriétés thermomécaniques après l'étape de réticulation.

● Temps de grillage

[0077] Le viscosimètre Mooney (Monsanto MV2000) permet de mesurer la viscosité d'un matériau, ou dans le cas de matériaux réticulables, d'en suivre l'évolution dans le temps (norme ASTM D1646 (2005)).

[0078] Il se compose de deux mâchoires formant une cavité cylindrique dans laquelle est placé l'échantillon à tester. La chambre présente en son centre un disque métallique qui est mis en rotation à la vitesse constante de 2 tr/mn. Dans notre cas, des deux rotors normalisés disponibles, c'est le « grand » qui est utilisé.

[0079] Pendant la mesure, les mâchoires et la chambre sont maintenues sous pression et à la température de 130°C.

[0080] L'échantillon est préparé à partir des granulés de polyéthylène imprégnés, moulés sous presse hydraulique en une plaque de 3mm d'épaisseur à la température de 120°C, suivant un cycle de 2mn sans pression suivi de 3mn sous une pression de 100 bars, avant d'être refroidit.

5 **[0081]** Quatre rondelles de 50 mm de diamètre sont découpées dans la plaque à l'aide d'un emporte-pièce. Deux d'entre-elles sont percées en leur centre d'un trou de 12mm de diamètre permettant de les enfiler dans la tige du rotor, sous celui-ci ; les deux autres sont conservées intactes et seront placées au dessus du rotor. Le tout est alors placé entre deux feuilles de polyester terphane®, pour être positionné dans la chambre du viscosimètre.

10 **[0082]** C'est la résistance du matériau à la rotation du rotor qui est mesurée. La mesure est exprimée en unité arbitraire, le Mooney (MU). Les paramètres d'intérêt sont : Le ML, valeur minimale de viscosité, mesurée au temps t0 (min). Le ML+1, valeur de viscosité correspondant au ML augmenté d'une unité Mooney. Celle-ci est mesurée au temps t1 (min). Le ML+2, valeur de viscosité correspondant au ML augmenté de deux unités Mooney. Celle-ci est mesurée au temps t2 (min).

15 ● Mesure des volatils (cf. méthane) par technologie Sievert

[0083] La détermination de la quantité de volatils produits pendant la phase de réticulation du polyéthylène, puis désorbés, est faite par la méthode Sievert, à l'aide du PCT Pro 2000 (HY-ENERGY, SETARAM).

20 **[0084]** L'échantillon est préparé à partir des granulés de polyéthylène imprégnés, moulés sous presse hydraulique en une plaque de 1mm d'épaisseur à la température de 120°C, suivant un cycle de 2mn sans pression suivi de 3mn sous une pression de 100 bars, avant d'être refroidit.

[0085] Des rondelles de 6mm de diamètre sont alors découpées dans la plaque à l'aide d'un emporte-pièce, puis pesées exactement, au mg près (masse totale = 300-350 mg).

25 **[0086]** L'échantillon est placé dans la chambre de l'appareil, mise sous pression (hélium). Cette chambre est connectée au moyen d'une valve, à un réservoir de 5ml lui aussi sous pression. En début de test, les pressions dans la chambre et dans le réservoir sont identiques. Pendant le cycle de température, la valve s'ouvre et se ferme par intermittence, permettant l'établissement d'un nouvel équilibre lorsqu'elle est ouverte, puis la mesure de la nouvelle pression dans le réservoir, lorsqu'elle est fermée. L'évolution de la pression provient pour partie du dégagement du méthane, et pour partie de la variation dimensionnelle de la chambre avec la température. Une lecture en temps réel de la quantité de méthane dégagée nécessite donc un étalonnage préalable en faisant subir à la chambre le cycle de température envisagé.

30 **[0087]** L'équipement permet des rampes de température contrôlées de 1°C/s, simulant les conditions de réticulation des différentes couches de polyéthylène en tube de vulcanisation.

[0088] Le cycle prévoit une chauffe depuis la température ambiante jusqu'à 250°C.

35 **[0089]** La différence entre les mesures de pression finale et initiale, à température identique, permet d'accéder au taux de méthane dégagé. La quantité de volatils (i.e. méthane) est exprimée en µmol/g de polyéthylène réticulé.

Caractérisations sur plaque réticulée

40 ● Densité de réticulation par mesure de fluage à chaud

[0090] Des plaques de 1mm d'épaisseur sont moulées à partir des granulés de polyéthylène imprégnés. Le moulage se fait sous presse à 120°C, suivant un cycle de 2 minutes sans pression puis 3 minutes sous 100 bars. Les plaques sont ensuite refroidies sous une pression de 100 bars.

45 **[0091]** L'étape de réticulation se fait sous presse, à la température de 190°C sous 100 bars de pression et dure 10 minutes. Les moules sont préalablement préchauffés à 190°C. L'étape de refroidissement se fait sous pression maintenue à 100 bars.

[0092] La mesure du fluage à chaud d'un matériau sous contrainte mécanique, quant à elle, est déterminée selon la norme NF EN 60811-2-1.

50 **[0093]** Ce test est communément désigné par l'anglicisme Hot Set Test (HST) et consiste à lester une extrémité d'une éprouvette de type haltère H2 avec une masse correspondant à l'application d'une contrainte équivalente à 0,2MPa, et à placer l'ensemble dans une étuve chauffée à 200+/-1°C pendant une durée de 15 minutes.

[0094] Au terme de ce délai, on relève l'allongement maximal à chaud sous contrainte de l'éprouvette, exprimé en %.

[0095] La masse suspendue est alors retirée, et l'éprouvette est maintenue dans l'étuve pendant 5 nouvelles minutes.

55 **[0096]** L'allongement permanent restant, également appelé rémanence (ou élongation rémanente), est alors mesuré avant d'être exprimé en %.

[0097] On rappelle que plus un matériau est réticulé, plus les valeurs d'allongement maximal sous contrainte et de rémanence seront faibles.

[0098] On précise par ailleurs que dans le cas où une éprouvette viendrait à se rompre en cours d'essai, sous l'action

conjuguée de la contrainte mécanique et de la température, le résultat au test serait alors logiquement considéré comme un échec.

[0099] Dans le cas qui nous intéresse, une valeur d'allongement sera considérée comme conforme aux exigences si celle-ci n'excède pas 100%. Au delà de cette valeur, au même titre qu'une rupture, la tenue au test sera considérée comme non conforme.

[0100] L'ensemble des résultats concernant les caractérisations des plaques non réticulées et réticulées provenant des compositions réticulables C1 à C4 est rassemblé dans le tableau 2 ci-après.

Tableau 2

Compositions réticulables	C1	C2	C3	C4
MH (dN.m)	3,2	2,9	3,4	3,2
ML à 130°C (unités Mooney)	9,4	9,7	9,7	7,5
t0 (ML + 0) (min)	15	17	22	31
t1 (ML + 1) (min)	45	49	52	69
t2 (ML + 2) (min)	66	79	74	102
CH ₄ Sievert (μmol/g XLPE)	113	104	101	69
Hot set à 200°C				
Allongement maximal (%)	70-75	70-95	50-65	60-65
Rémanence (%)	0	0	0	0

[0101] A propriétés thermomécaniques équivalentes (voir les résultats de l'allongement maximal et de la rémanence - cf. Hot Set Test à 200°C), la quantité de peroxyde aliphatique utilisée dans la composition réticulable C2 de l'invention est bien moins importante que celle utilisée dans la composition réticulable C1 (1,25 pour C2 contre 1,42 pour C1).

[0102] En comparant les compositions réticulables C1 et C2, la quantité de méthane dégagé pendant la réticulation passe de 113 à 104 μmol/g de XLPE.

[0103] En outre, l'alcool cumylique en tant que sous-produits de réticulation est remplacé par la formation de tertio-butanol dans la composition C2, lors de la réticulation. Le tertio-butanol, comme tout alcool tertiaire, peut bien entendu se déshydrater pour former de l'isobutène et de l'eau. Toutefois, l'isobutène étant nettement moins stabilisé que l'alpha-méthyl styrène formé dans le cadre de la réaction de déshydratation de l'alcool cumylique, cette réaction est nettement défavorisée, et la formation d'eau ralentie.

[0104] Ces différences sont d'autant plus significatives en comparant les compositions C3 et C4. Toujours à propriétés thermomécaniques équivalentes, on observe une diminution significative de la quantité de méthane pour la composition C4 de l'invention par rapport à la composition C3. En outre, les valeurs des temps de grillage sont bien meilleures pour la composition C4 que pour la composition C3. Enfin, la composition C4 ne comprenant pas de peroxyde cumylique, la formation d'eau est nettement ralentie dans cette composition.

Revendications

1. Câble électrique (1) comprenant un conducteur électrique (2), une première couche (3) semi-conductrice entourant le conducteur électrique (2), une deuxième couche (4) électriquement isolante, entourant la première couche (3), et une troisième couche (5) semi-conductrice entourant la deuxième couche (4), au moins une de ces trois couches (3, 4, 5) est une couche réticulée obtenue à partir d'une composition réticulable comprenant au moins une polyoléfine, et un peroxyde aliphatique en tant qu'agent de réticulation caractérisé en ce la composition réticulable comprend en outre un composé aromatique comprenant au moins un noyau aromatique et une unique fonction réactive apte à se greffer à la polyoléfine.
2. Câble selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la composition réticulable comprend en outre au moins un coagent de réticulation comportant au moins deux fonctions réactives, identiques ou différentes, qui sont aptes d'une part à se greffer à la polyoléfine, et d'autre part à participer à la réticulation de la polyoléfine.
3. Câble selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'une de ces deux fonctions réactives est une fonction vinylique du type CH₂=CH-.

4. Câble électrique (1) comprenant un conducteur électrique (2), une première couche (3) semi-conductrice entourant le conducteur électrique (2), une deuxième couche (4) électriquement isolante, entourant la première couche (3), et une troisième couche (5) semi-conductrice entourant la deuxième couche (4), au moins une de ces trois couches (3, 4, 5) est une couche réticulée obtenue à partir d'une composition réticulable comprenant au moins une polyoléfine, et un peroxyde aliphatique en tant qu'agent de réticulation **caractérisé en ce que** la composition réticulable comprend en outre au moins un coagent de réticulation comportant au moins deux fonctions réactives, identiques ou différentes, qui sont aptes d'une part à se greffer à la polyoléfine, et d'autre part à participer à la réticulation de la polyoléfine, l'une de ces deux fonctions réactives étant une fonction vinylique du type $\text{CH}_2=\text{CH}-$.
5. Câble selon la revendication 4, caractérisé en ce la composition réticulable comprend en outre un composé aromatique comprenant au moins un noyau aromatique et une unique fonction réactive apte à se greffer à la polyoléfine.
6. Câble selon l'une des quelconques revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le peroxyde aliphatique est choisi parmi les peroxycarbonates aliphatiques, les peroxydes aliphatiques de dialcyle tertiaire, les peroxyacétals aliphatiques, et les peroxyesters aliphatiques, ou un de leurs mélanges.
7. Câble selon l'une des quelconques revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la polyoléfine est un polymère d'éthylène.
8. Câble selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le polymère d'éthylène est un polyéthylène basse densité (LDPE).
9. Câble selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la composition réticulable comprend plus de 50,0 parties en poids de polyoléfine pour 100 parties en poids de polymère dans la composition.
10. Câble selon la revendication 2, 3 ou 4, **caractérisé en ce que** les au moins deux fonctions réactives du coagent sont des fonctions vinyliques du type $\text{CH}_2=\text{CH}-$.
11. Câble selon la revendication 1 ou 5, caractérisé en ce l'unique fonction réactive du composé aromatique est une fonction vinylique.
12. Câble selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche réticulée est la couche électriquement isolante.
13. Câble selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les trois couches du câble sont des couches réticulées.

Patentansprüche

1. Stromkabel (1), das einen elektrischen Leiter (2), eine erste, den elektrischen Leiter (2) umgebende halbleitende Schicht (3), eine zweite elektrisch isolierende, die erste Schicht (3) umgebende Schicht (4) und eine dritte halbleitende, die zweite Schicht (4) umgebende Schicht (5) umfasst, wobei mindestens eine dieser drei Schichten (3, 4, 5) eine vernetzte Schicht ist, die aus einer vernetzbaren Zusammensetzung hergestellt ist, die mindestens ein Polyolefin und ein aliphatisches Peroxyd als Vernetzungsmittel umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vernetzbare Zusammensetzung ferner eine aromatische Verbindung umfasst, die mindestens einen aromatischen Kern und eine einzige reaktive Funktion umfasst, die in der Lage ist, sich an das Polyolefin zu pfropfen.
2. Kabel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vernetzbare Zusammensetzung ferner mindestens ein Vernetzungs-Coagens umfasst, das mindestens zwei identische oder unterschiedliche reaktive Funktionen aufweist, die in der Lage sind, sich einerseits an das Polyolefin zu pfropfen und andererseits an der Vernetzung des Polyolefins teilzunehmen.
3. Kabel nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine dieser zwei reaktiven Funktionen eine Vinylfunktion vom $\text{CH}_2=\text{CH}-$ ist.
4. Stromkabel (1), das einen elektrischen Leiter (2), eine erste, den elektrischen Leiter (2) umgebende halbleitende Schicht (3), eine zweite elektrisch isolierende, die erste Schicht (3) umgebende Schicht (4) und eine dritte halbleitende

tende, die zweite Schicht (4) umgebende Schicht (5) umfasst, wobei mindestens eine dieser drei Schichten (3, 4, 5) eine vernetzte Schicht ist, die aus einer vernetzbaren Zusammensetzung hergestellt ist, die mindestens ein Polyolefin und ein aliphatisches Peroxyd als Vernetzungsmittel umfasst, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vernetzbare Zusammensetzung ferner ein Vernetzungs-Coagens aufweist, die imstande sind, sich einerseits an das Polyolefin zu pfpfen und andererseits an der Vernetzung des Polyolefins teilzunehmen, wobei eine dieser zwei reaktiven Funktionen eine Vinylfunktion vom $\text{CH}_2=\text{CH}-$ ist.

5. Kabel nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vernetzbare Zusammensetzung ferner eine aromatische Verbindung umfasst, die mindestens einen aromatischen Kern und eine einzige reaktive Funktion umfasst, die imstande ist, sich an das Polyolefin zu pfpfen.

6. Kabel nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aliphatische Peroxid aus den aliphatischen Peroxycarbonaten, den aliphatischen Peroxyden eines tertiären Dialkyls, die aliphatischen Peroxyacetalen und den aliphatischen Peroxyestern oder einem ihrer Gemische ausgewählt ist.

7. Kabel nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Polyolefin ein Ethylenpolymer ist.

8. Kabel nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ethylenpolymer ein Polyethylen niederer Dichte (LDPE) ist.

9. Kabel nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vernetzbare Zusammensetzung mehr als 50 Gewichtsteile Polyolefin auf 100 Gewichtsteile Polymer in der Zusammensetzung umfasst.

10. Kabel nach Anspruch 2, 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens zwei reaktiven Funktionen des Coagens Vinylfunktionen von Typ $\text{CH}_2=\text{CH}-$ sind.

11. Kabel nach Anspruch 1 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die reaktive Funktion der aromatischen Verbindung eine Vinylfunktion ist.

12. Kabel nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vernetzte Schicht die elektrisch isolierende Schicht ist.

13. Kabel nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die drei Schichten des Kabels vernetzte Schichten sind.

Claims

1. An electric cable (1) comprising an electric conductor (2), a first semiconducting layer (3) surrounding the electric conductor (2), a second electrically insulating layer (4), surrounding the first layer (3), and a third semiconducting layer (5) surrounding the second layer (4), at least one of these three layers (3, 4, 5) is a cross-linked layer obtained from a cross-linkable composition comprising at least one polyolefin, and an aliphatic peroxide as a cross-linking agent, **characterized in that** the cross-linkable composition further comprises an aromatic compound comprising at least one aromatic ring and a single reactive function able to be grafted onto the polyolefin.

2. The cable according to claim 1, **characterized in that** the cross-linkable composition further comprises at least one cross-linking co-agent including at least two reactive functions, either identical or different, which are able to be grafted on to the polyolefin on the one hand, and to participate in the cross-linking of the polyolefin on the other hand.

3. The cable according to claim 2, characterizing that one of both of these reactive functions is a vinyl function of the $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ type.

4. An electric cable (1) comprising an electric conductor (2), a first semiconducting layer (3) surrounding the electric conductor (2), a second electrically insulating layer (4), surrounding the first layer (3), and a third semiconducting layer (5) surrounding the second layer (4), at least one of these three layers (3, 4, 5) is a cross-linked layer obtained from a cross-linkable composition comprising at least one polyolefin, and an aliphatic peroxide as a cross-linking agent, **characterized in that** the cross-linkable composition further comprises at least one cross-linking co-agent

including at least two reactive functions, either identical or different, which are able to be grafted onto the polyolefin on the one hand, and to participate in the cross-linking of the polyolefin on the other hand, one of both of these reactive functions being a vinyl function of the $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ type.

- 5 **5.** The cable according to claim 4, **characterized in that** the cross-linkable composition further comprises an aromatic compound comprising at least the one aromatic ring and a single reactive function able to be grafted onto the polyolefin.
- 10 **6.** The cable according to one of any preceding claims, characterizing that the aliphatic peroxide is selected from aliphatic peroxycarbonates, tertiary dialkyl aliphatic peroxides, aliphatic peroxyacetals, and aliphatic peroxyesters, or one of their mixtures.
- 7.** The cable according to one of any preceding claims, **characterized in that** the polyolefin is an ethylene polymer.
- 15 **8.** The cable according to claim 7, characterizing that the ethylene polymer is a low density polyethylene (LDPE).
- 9.** The cable according to any of the preceding claims, **characterized in that** the cross-linkable composition comprises more than 50.0 parts by weight of polyolefin for 100 parts by weight of polymer in the composition.
- 20 **10.** The cable according to claim 2, 3, 4, **characterized in that** said at least two reactive functions of the co-agent are vinyl functions of the $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ type.
- 11.** The cable according to claim 1 or 5, **characterized in that** the single reactive function of the aromatic compound is a vinyl function.
- 25 **12.** The cable according to any of the preceding claims, **characterized in that** the cross-linked layer is an electrically insulating layer.
- 30 **13.** The cable according to any of the preceding claims, **characterized in that** the three layers of the cable are cross-linked layers.

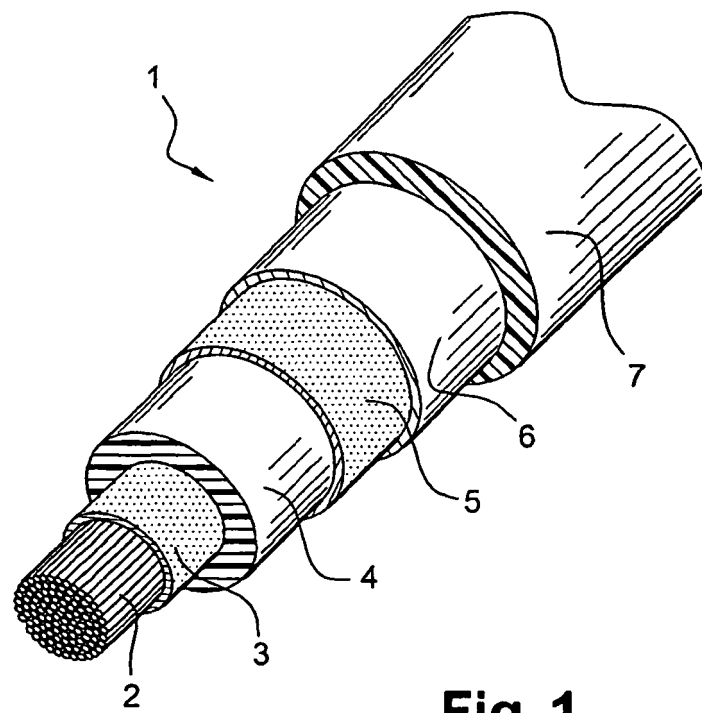


Fig. 1

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 5252676 A [0006]
- US 6586509 B [0007]