



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
16.05.2018 Bulletin 2018/20

(51) Int Cl.:
H01Q 13/20 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **17200931.8**

(22) Date de dépôt: **09.11.2017**

(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:
MA MD

(72) Inventeurs:
• **DARDEL, Boris**
2035 CORCELLES (CH)
• **COCHET, François**
1424 CHAMPAGNE (CH)

(30) Priorité: **14.11.2016 FR 1661000**

(74) Mandataire: **Allain, Laurent**
Ipsilon
Le Centralis
63, avenue du Général Leclerc
92340 Bourg-la-Reine (FR)

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

(54) **CÂBLE RAYONNANT**

(57) L'invention a pour objet un câble rayonnant comprenant coaxialement, depuis l'intérieur du câble vers l'extérieur du câble (1), un conducteur central (2), une enveloppe électriquement isolante (3) intermédiaire, et un conducteur extérieur (4) comportant au moins une

ouverture (5), caractérisé en ce que chaque ouverture (5) est délimitée par deux bordures (41, 42) non parallèles du conducteur extérieur (4), chaque bordure (41, 42) formant une sinusoïde le long du câble (1).

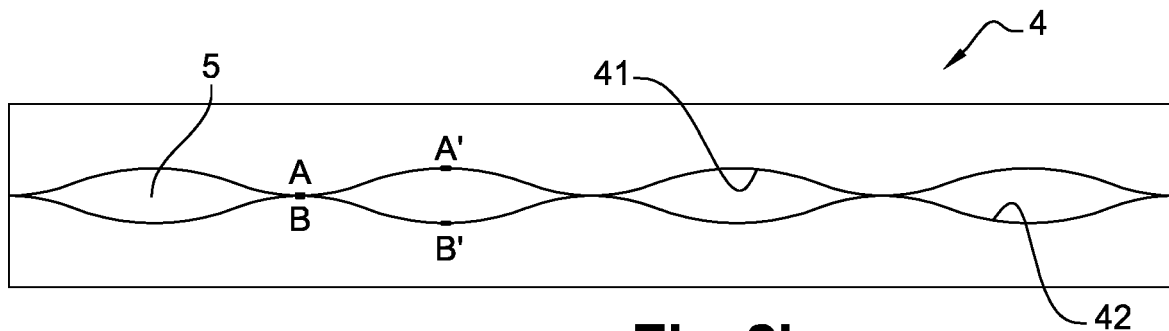


Fig. 2b

Description

[0001] La présente invention concerne un câble dit rayonnant comprenant un conducteur externe muni d'ouvertures.

[0002] Les câbles rayonnants sont destinés à être utilisés comme éléments de transmission de signaux entre un émetteur et un récepteur dans des conditions où ces signaux émis à partir d'une source ponctuelle sont rapidement atténués, en particulier dans les systèmes de radiocommunication comportant des mobiles, dans des souterrains, immeubles ou tunnels.

[0003] Les câbles rayonnants permettent de transmettre les radiofréquences et les hyperfréquences d'ondes électromagnétiques sous la forme d'ondes électromagnétiques transversales homogènes, réparties sur toute leur longueur.

[0004] Les câbles rayonnants assurent une double fonction d'émission-réception desdites ondes électromagnétiques et rendent par exemple l'intérieur d'un tunnel ou d'un immeuble transparent vis-à-vis de l'extérieur.

[0005] Un câble rayonnant est typiquement un câble coaxial tel décrit par exemple dans le document FR 2 685 549.

[0006] La figure 1 représente une vue en perspective éclatée d'un tel câble rayonnant.

[0007] Le câble rayonnant 1 comprend, disposés coaxialement de l'intérieur vers l'extérieur :

- un conducteur central 2 en cuivre ou en aluminium,
- une enveloppe isolante 3 en un matériau diélectrique, comme par exemple du polyéthylène ou du polyéthylène expansé,
- un conducteur extérieur 4, en cuivre ou en aluminium, présentant des ouvertures ou fentes 5, agencées en motifs répétés périodiquement tout le long du câble 1, et
- une gaine de protection 6 en un matériau isolant.

[0008] Il existe deux modes d'ondes électromagnétiques. Le premier mode est le mode guidé, selon lequel l'onde électromagnétique se propage le long du câble.

[0009] Grâce aux fentes 5, une partie de la puissance transmise dans le câble est couplée vers l'extérieur et constitue le deuxième mode, qui est le mode rayonné. Le câble 1 fonctionne alors comme une longue antenne.

[0010] La répartition des fentes est un élément essentiel dans les câbles rayonnants. Elle est généralement constituée de la répétition des motifs de fentes. La fréquence de coupure ν_0 est définie par la relation :

$$\nu_0 = \frac{c}{d(\sqrt{\varepsilon_r} + 1)}$$

dans laquelle c désigne la vitesse de la lumière, d désigne la distance entre deux motifs de fentes consécutifs, et ε_r désigne la permittivité relative du matériau diélectrique

de l'enveloppe isolante.

[0011] Au dessus de la fréquence de coupure, des interférences constructives conduisent à l'apparition de modes rayonnés jusqu'à une seconde fréquence de coupure définie par

$$\nu_f = \frac{c}{d(\sqrt{\varepsilon_r} - 1)}$$

[0012] À partir de fréquences de l'ordre du double de la fréquence de coupure ν_0 apparaissent des modes rayonnés d'ordre supérieur. L'interférence de ces modes supérieurs perturbe le couplage du câble rayonnant vers une antenne extérieure ce qui limite la bande passante du système de transmission.

[0013] Pour éviter ce problème, on restreint usuellement l'utilisation du câble à des fréquences comprises entre ν_0 et $2\nu_0$. Pour augmenter la largeur de cet intervalle de fréquences, il est nécessaire de trouver une solution pour supprimer les modes rayonnés supérieurs et ne conserver que le mode fondamental.

[0014] Une solution connue, telle que décrite dans le document EP 0 375 840, consiste à supprimer sélectivement certains des modes rayonnés supérieurs en augmentant le nombre de fentes. Cette solution a toutefois pour inconvénient que l'augmentation du nombre de fentes conduit à une superposition partielle de fentes, ce qui peut être difficile à gérer. En outre, la discrétisation des fentes crée des perturbations supplémentaires et ne conduit pas à une extinction complète des modes rayonnés supérieurs.

[0015] L'invention vise à remédier à ces inconvénients.

[0016] L'invention a ainsi pour objet un câble rayonnant comprenant coaxialement, depuis l'intérieur du câble vers l'extérieur du câble, un conducteur central, une enveloppe électriquement isolante intermédiaire, et un conducteur extérieur comportant au moins une ouverture.

[0017] Dans le câble selon l'invention, chaque ouverture est délimitée par deux bordures non parallèles du conducteur extérieur, chaque bordure formant une sinusoïde le long du câble. Ainsi, la forme spécifique des ouvertures permet de supprimer les modes rayonnés supérieurs et de ne conserver que le mode fondamental.

[0018] Les sinusoïdes des deux bordures peuvent être de même période.

[0019] Les sinusoïdes des deux bordures peuvent également être de période différente. La différence de période des deux bordures permet d'étendre la bande passante du câble.

[0020] Les sinusoïdes peuvent être en opposition de phase, les sommets inférieurs d'une bordure faisant face longitudinalement aux sommets supérieurs de l'autre bordure.

[0021] Les sommets inférieurs d'une bordure et les sommets supérieurs de l'autre bordure peuvent se toucher périodiquement, définissant ainsi une pluralité

d'ouvertures.

[0022] Les sinusoïdes des deux bordures peuvent être de même amplitude.

[0023] Les sinusoïdes des deux bordures peuvent également être d'amplitude différente.

[0024] Les sinusoïdes des deux bordures peuvent être de même période et de même amplitude, et le rapport de la période sur l'amplitude est typiquement compris entre 20 et 2000. Le choix de la valeur de la période permet de contrôler la fréquence de coupure souhaitée. Le choix de la valeur de l'amplitude permet d'influencer la puissance rayonnée. L'amplitude a également un impact sur la puissance transmise par le mode guidé. Plus l'amplitude est grande, plus l'atténuation de transmission est élevée. Un compromis doit donc être trouvé entre la puissance rayonnée et la puissance transmise afin de trouver un rapport optimal de la période sur l'amplitude et ainsi d'optimiser le couplage à l'antenne et la distance de fonctionnement du câble. Il est à noter que le rapport de la période sur l'amplitude a une dépendance fréquentielle, i.e., un mode de plus haute fréquence rayonne plus et a une atténuation du mode guidé supérieur à un mode de plus basse fréquence qui rayonne moins.

[0025] Le conducteur extérieur peut en outre comprendre des fentes agencées perpendiculairement à l'axe du câble et en motifs répétés périodiquement le long du câble.

[0026] Le câble peut comprendre en outre une gaine extérieure de protection en un matériau électriquement isolant.

[0027] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, illustre un câble rayonnant de l'état de la technique,
- la figure 2a illustre un conducteur extérieur d'un câble selon l'invention, conformément à un premier mode de réalisation, avant son application sur enveloppe isolante en matériau diélectrique du câble,
- la figure 2b est une vue de dessus du conducteur extérieur, conformément au premier mode de réalisation,
- la figure 2c est une vue latérale du conducteur extérieur, conformément au premier mode de réalisation,
- la figure 3 est un diagramme montrant l'atténuation de la transmission linéique le long d'un câble selon un mode de réalisation en fonction de la fréquence de l'onde transmise,
- la figure 4 illustre des conducteurs extérieurs de câbles selon l'invention, conformément à un deuxième mode de réalisation, et
- la figure 5 est un diagramme montrant l'atténuation de la transmission linéique le long de deux câbles, conformément au deuxième mode de réalisation, en fonction de la fréquence de l'onde transmise.

[0028] Tel qu'illustré à la figure 2a, le conducteur extérieur 4 du câble rayonnant selon l'invention comprend deux bordures 41, 42 qui présentent un profil sinusoïdal le long du câble. Une sinusoïde est une courbe ondulée périodique représentative de la fonction trigonométrique appelée sinus.

[0029] Dans un premier mode de réalisation, illustré aux figures 2a à 2c, les sinusoïdes des deux bordures 41, 42 sont identiques, c'est-à-dire que les sinusoïdes des deux bordures sont de même période (i.e. de même pas) et de même amplitude. En outre, les sinusoïdes sont en opposition de phase, c'est-à-dire que les sommets inférieurs A d'une bordure 41 font face longitudinalement, le long de l'axe X, aux sommets supérieurs B de l'autre bordure 42 (i.e. les sommets inférieurs A ont la même abscisse que les sommets supérieurs B sur l'axe longitudinal du câble). De la même façon, les sommets supérieurs A' de la bordure 41 font face longitudinalement, le long de l'axe X, aux sommets inférieurs B' de l'autre bordure 42 (i.e. les sommets supérieurs A' ont la même abscisse que les sommets inférieurs B' sur l'axe longitudinal du câble). Les sommets inférieurs A' peuvent coïncider avec les sommets supérieurs B, définissant ainsi une pluralité d'ouvertures 5, ou être à distance de ceux-ci, ce qui définit une ouverture unique.

[0030] La figure 3 est un digramme illustrant l'atténuation de la transmission linéique le long du câble en fonction de la fréquence de l'onde transmise, pour un diamètre du câble (sans le conducteur extérieur) de 23,5 mm, correspondant à 7/8", une période de la sinusoïde de 2,20 m et une amplitude de la sinusoïde (distance entre un sommet inférieur A et un sommet supérieur A') de 20 mm. La figure 3 montre que seule la fréquence de coupure ν_0 fondamentale est conservée, il n'y a plus de multiples de la fréquence à laquelle se situe le mode fondamental. La bande passante pour le câble selon le premier mode de réalisation n'est donc pas limitée vers les hautes fréquences.

[0031] D'autres modes de réalisation sont possibles. Les deux bordures du conducteur extérieur 4 peuvent notamment présenter des sinusoïdes ayant des périodes et/ou des amplitudes différentes.

[0032] Un conducteur extérieur 40b d'un câble selon un deuxième mode de réalisation de l'invention est illustré à la figure 4B. La figure 4A montre un conducteur extérieur 40a d'un câble selon l'art antérieur. La comparaison entre ces deux câbles permet d'apprécier l'effet du conducteur extérieur selon la présente invention. Le conducteur extérieur 40a du câble selon l'art antérieur (figure 4A) comprend des fentes 50a ou ouvertures agencées en motifs répétés périodiquement tout le long du câble, les fentes 50a étant orientées perpendiculairement à l'axe du câble. Le conducteur extérieur 40b du câble 40b selon le deuxième mode de réalisation (figure 4B) comprend deux bordures 41, 42 qui présentent un profil sinusoïdal le long du câble ainsi que des fentes 50b ou ouvertures, agencées en motifs répétés périodiquement tout le long du câble, les fentes 50a étant orientées

perpendiculairement à l'axe du câble. D'autres agencements des bordures sinusoïdales 41, 42 et des fentes 50b ainsi que des nombres différents de fentes 50b que ceux montrés sur la figure 4B sont possibles.

[0033] Les figures 5 et 6 montrent des résultats de mesure pour un câble selon le deuxième mode de réalisation, combinant bordures 41, 42 sinusoïdales et fentes 50b sur son conducteur extérieur 40b, et pour un câble selon l'art antérieur dont le conducteur extérieur 40a ne présente que des fentes 50a, dont des exemples sont présentés sur les figures 4B et 4A, respectivement. Pour ces mesures, les sinusoïdes des deux bordures 41, 42 sont identiques, c'est-à-dire que les sinusoïdes des deux bordures 41, 42 sont de même période et de même amplitude. En outre, les sinusoïdes sont en opposition de phase. La période est de 2192 mm et l'amplitude de 5 mm. Les groupes 51 a, 51 b de fentes 50a, 50b sont espacés de 130 mm (distance entre les fentes du même ordre pour un groupe) pour les deux câbles. Chaque groupe 51 a, 51 b inclut huit fentes, les fentes 50a, 50b étant espacées l'une de l'autre de 15 mm et ayant des dimensions de 3 mm x 15 mm.

[0034] La figure 5 illustre, en comparaison, l'atténuation du couplage en fonction de la fréquence de l'onde transmise, pour le câble 40b selon le deuxième mode de réalisation et pour le câble 40a selon l'art antérieures 4B et 4A, respectivement. Les deux câbles ont chacun un diamètre de 25,4 mm, correspondant à 7/8". Les courbes 60 et 61 correspondent au câble 40a ayant un conducteur extérieur ne présentant que des fentes 50a, pour l'atténuation médiane (courbe 60) et l'atténuation en dessous de laquelle se trouvent 95% des valeurs mesurées (courbe 61). Les courbes 62 et 63 correspondent au câble 40b ayant un conducteur extérieur présentant des bordures sinusoïdales 41, 42 et des fentes 50b à la fois, pour une valeur de l'atténuation médiane (courbe 62) et une valeur de l'atténuation en dessous de laquelle se trouvent 95% des valeurs mesurées (courbe 63). La figure 5 montre que l'atténuation de couplage pour le câble 40b selon l'invention est moindre ; par exemple, l'atténuation médiane à 900MHz, est de -64 dB pour le câble 40b selon l'invention (courbe 62) et -73 pour le câble 40a avec les fentes seules (courbe 60).

[0035] La figure 6 est un digramme illustrant l'atténuation de la transmission linéique le long du câble en fonction de la fréquence de l'onde transmise, pour le câble 40b selon le deuxième mode de réalisation et pour le câble 40a selon l'art antérieur. La courbe 70 correspond au câble selon l'art antérieur n'ayant que des fentes, la courbe 71 correspond au câble selon l'invention ayant des bordures sinusoïdales et des fentes. La figure 6 montre que l'atténuation linéique n'est que peu impactée par la présence de la bordure sinusoïdale.

[0036] Il s'ensuit des résultats montrés aux figures 5 et 6 que d'une part, le couplage du rayonnement vers l'extérieur est bien amélioré grâce à la présence des bordures sinusoïdales dans le conducteur extérieur du câble selon l'invention. D'autre part, l'atténuation de la trans-

mission du mode guidé n'est pratiquement pas altérée par la présence de ces bordures sinusoïdales. En outre, la combinaison de fentes et de bordures sinusoïdales selon le deuxième mode de réalisation de l'invention permet d'élargir la bande passante du câble car les différentes tailles des ouvertures dans le conducteur extérieur, créées par les fentes et les bordures sinusoïdales, favorisent le couplage de rayonnement à différentes fréquences.

Revendications

1. Câble rayonnant comprenant coaxialement, depuis l'intérieur du câble vers l'extérieur du câble, un conducteur central (2), une enveloppe électriquement isolante (3) intermédiaire, et un conducteur extérieur (4) comportant au moins une ouverture (5), **caractérisé en ce que** chaque ouverture (5) est délimitée par deux bordures (41, 42) non parallèles du conducteur extérieur (4), chaque bordure (41, 42) formant une sinusoïde le long du câble (1).
2. Câble rayonnant selon la revendication 1, caractérisé en ce le conducteur extérieur (4, 40a, 40b) comprend en outre des fentes (50b) agencées perpendiculairement à l'axe du câble et en motifs répétés périodiquement le long du câble.
3. Câble rayonnant selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les sinusoïdes des deux bordures (41,42) sont de même période.
4. Câble rayonnant selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les sinusoïdes des deux bordures (41,42) sont de période différente.
5. Câble rayonnant selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** les sinusoïdes sont en opposition de phase, les sommets inférieurs (A) d'une bordure (41) faisant face longitudinalement aux sommets supérieurs (B) de l'autre bordure (42).
6. Câble rayonnant selon la revendication 3 ou 5, **caractérisé en ce que** les sommets inférieurs (A) d'une bordure (41) et les sommets supérieurs (B) de l'autre bordure (42) se touchent périodiquement, définissant ainsi une pluralité d'ouvertures (5).
7. Câble rayonnant selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les sinusoïdes des deux bordures (41, 42) sont de même amplitude.
8. Câble rayonnant selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les sinusoïdes des deux bordures (41, 42) sont d'amplitude différente.
9. Câble rayonnant selon la revendication 7, **caracté-**

risé en ce que les sinusoïdes des deux bordures (41, 42) sont de même période et de même amplitude, et **en ce que** le rapport de la période sur l'amplitude est compris entre 20 et 2000.

5

10. Câble rayonnant selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce qu'**il comprend en outre une gaine extérieure (6) de protection en un matériau électriquement isolant.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

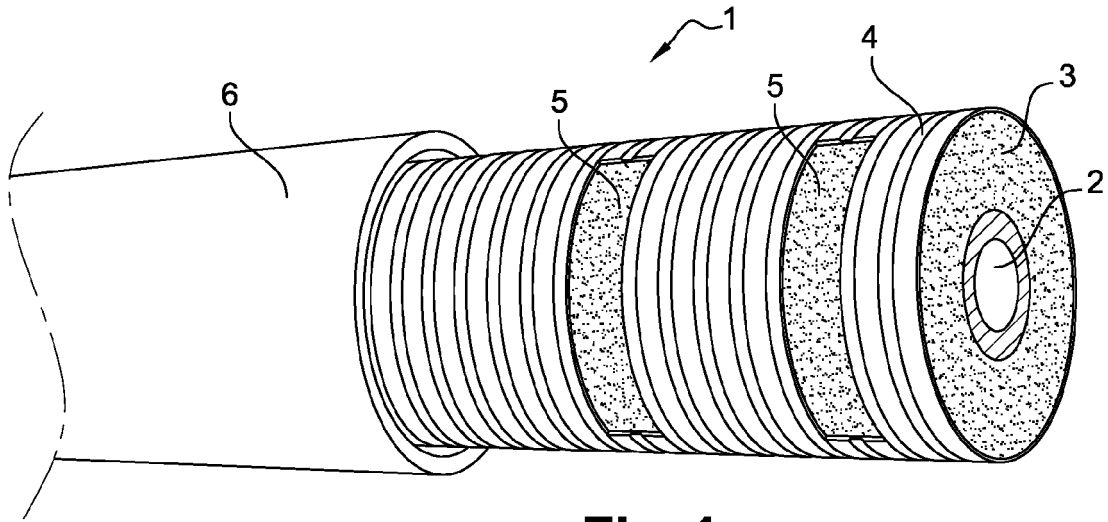


Fig. 1

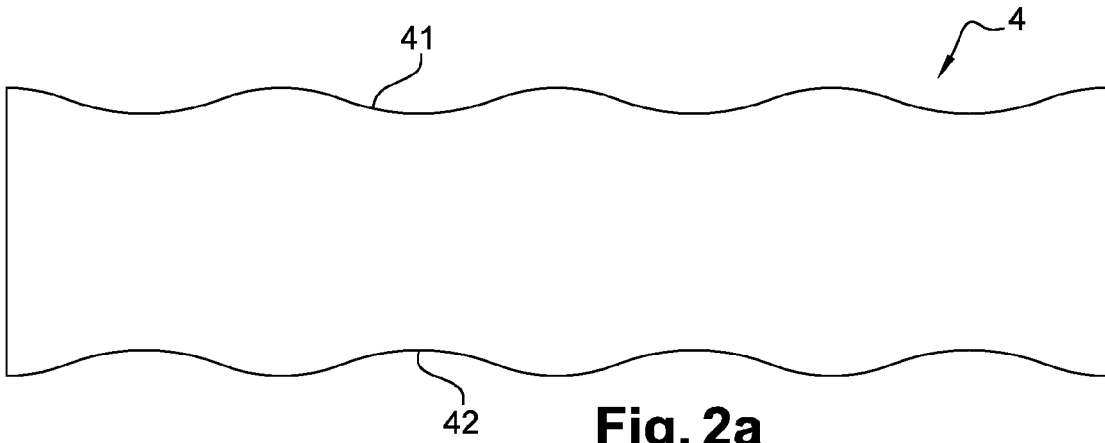


Fig. 2a

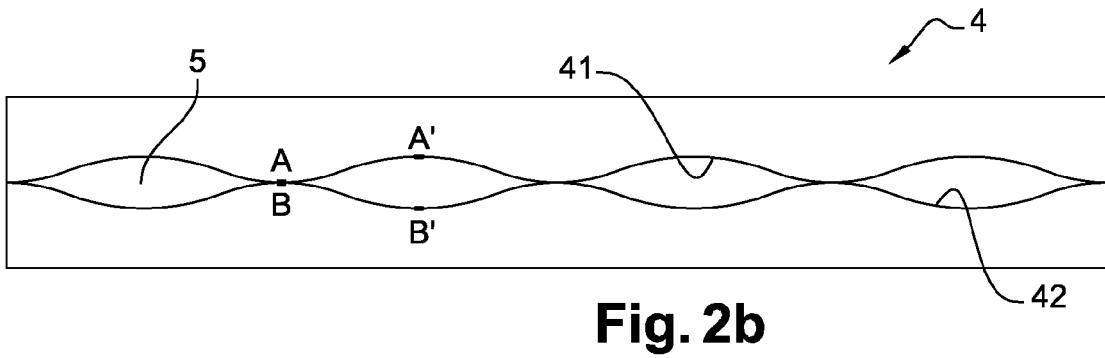


Fig. 2b

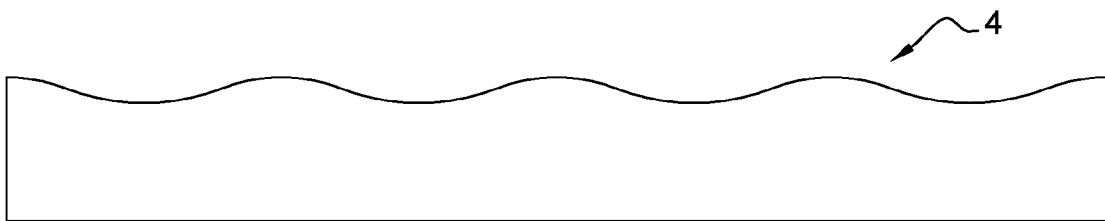


Fig. 2c

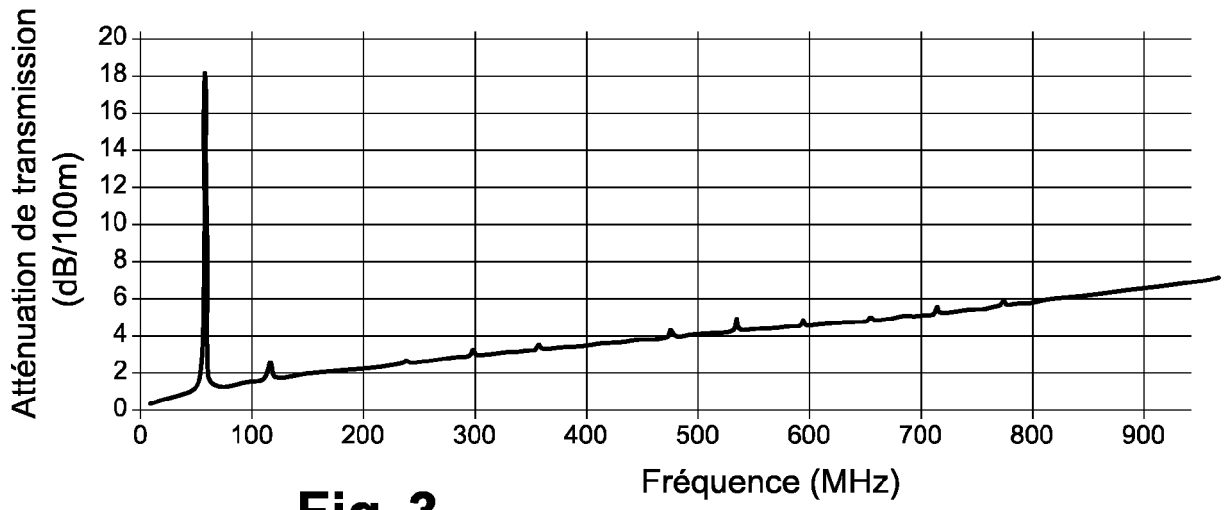


Fig. 3

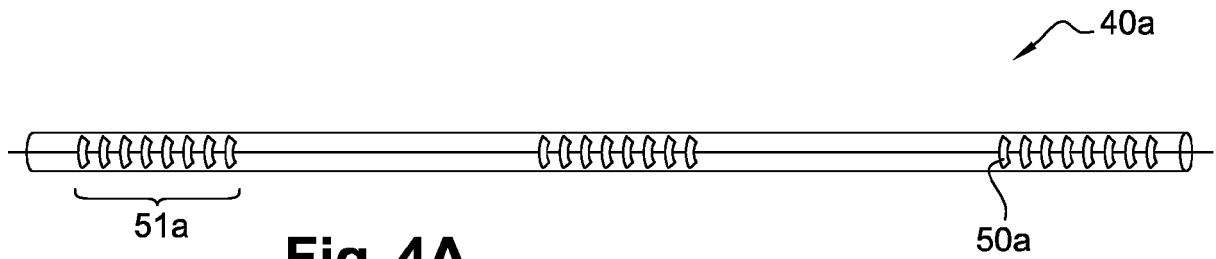


Fig. 4A

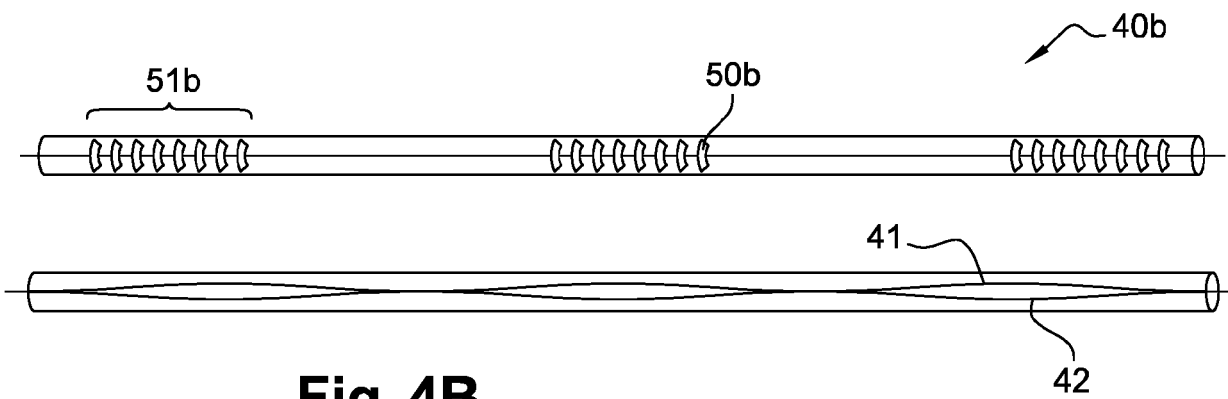


Fig. 4B

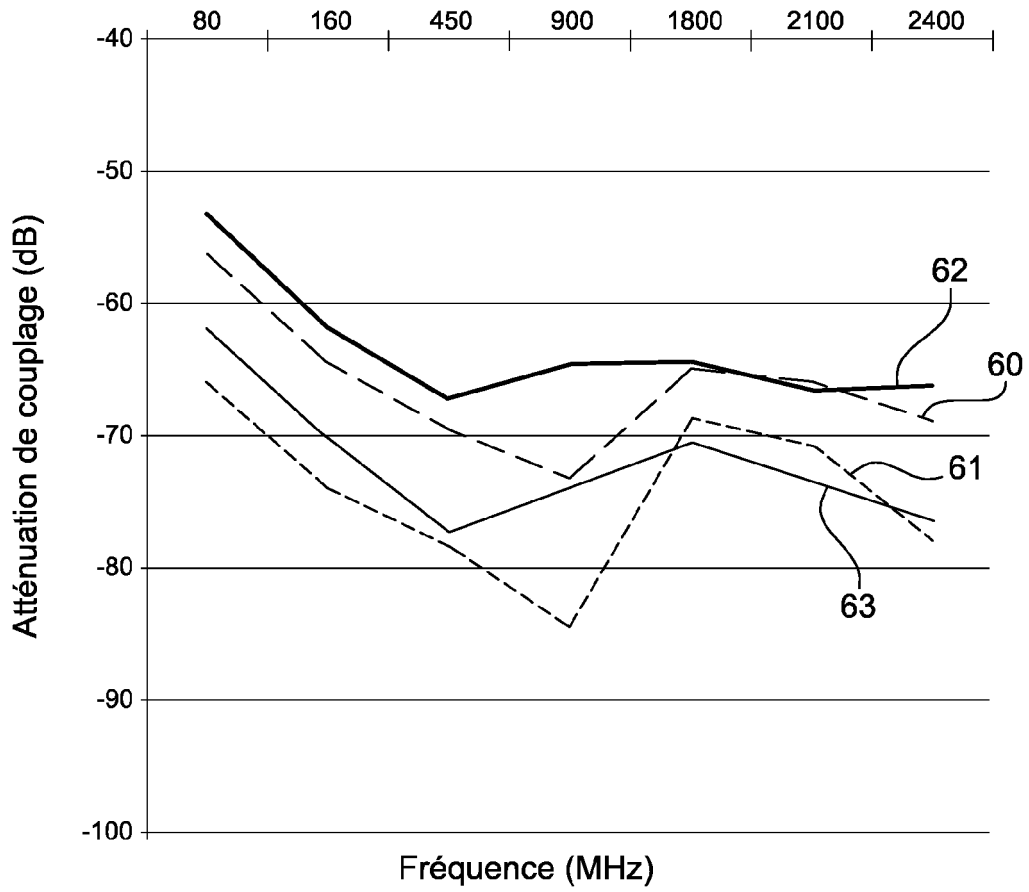


Fig. 5

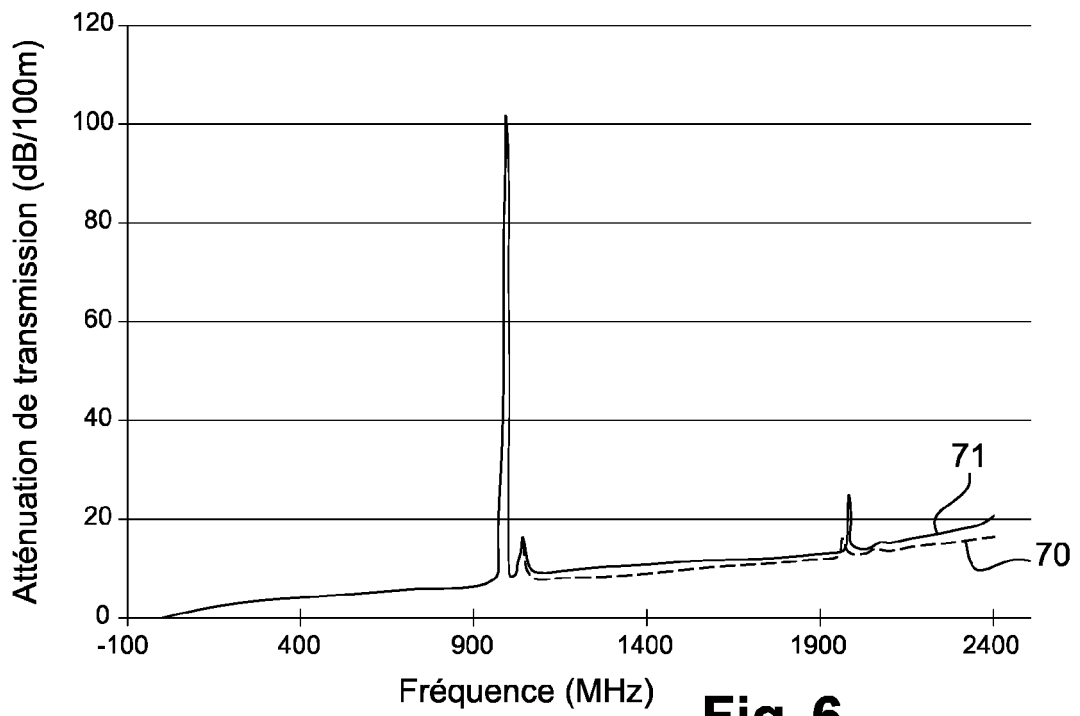


Fig. 6



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 17 20 0931

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A,D	FR 2 685 549 B1 (ALCATEL CABLE [FR]) 28 janvier 1994 (1994-01-28) * page 9, ligne 5 - page 15, ligne 23; figures 2-5 *	1	INV. H01Q13/20
A	----- US 2007/252777 A1 (HSU TSUNG-YUAN [US] ET AL) 1 novembre 2007 (2007-11-01) * alinéa [0034] - alinéa [0042]; figure 2 *	1	
A	----- US 7 956 818 B1 (HSU TSUNG-YUAN [US] ET AL) 7 juin 2011 (2011-06-07) * colonne 5, ligne 66 - colonne 6, ligne 8; figure 2 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01Q
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 9 mars 2018	Examineur Degraeve, Alexis
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.02 (P04C02)

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

EP 17 20 0931

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

09-03-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2685549	B1	28-01-1994	AU 658028 B2 30-03-1995
			BR 9205051 A 22-06-1993
			DE 69214408 D1 14-11-1996
			DE 69214408 T2 20-02-1997
			EP 0547574 A1 23-06-1993
			FI 925725 A 20-06-1993
			FR 2685549 A1 25-06-1993
			JP 2561786 B2 11-12-1996
			JP H06125219 A 06-05-1994
			US 5291164 A 01-03-1994

US 2007252777	A1	01-11-2007	AUCUN

US 7956818	B1	07-06-2011	AUCUN

EPO FORM P0480

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

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

- FR 2685549 [0005]
- EP 0375840 A [0014]