

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/124537 A1

(43) Date de la publication internationale
27 août 2015 (27.08.2015)

(51) Classification internationale des brevets :
E21B 34/06 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/053236

(22) Date de dépôt international :
16 février 2015 (16.02.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1451283 18 février 2014 (18.02.2014) FR

(71) Déposant : TRONICO [FR/FR]; 26 Rue du Bocage, F-85660 Saint Philbert de Bouaine (FR).

(72) Inventeur : CHABAS, Jean-Alain; 15 rue de la lande sèche, F-35510 CESSON-SEVIGNE (FR).

(74) Mandataire : GUENE, Patrick; 90333, B, Technopôle Atalante, 16B rue de Jouanet, 35703 Rennes Cedex 7 (FR).

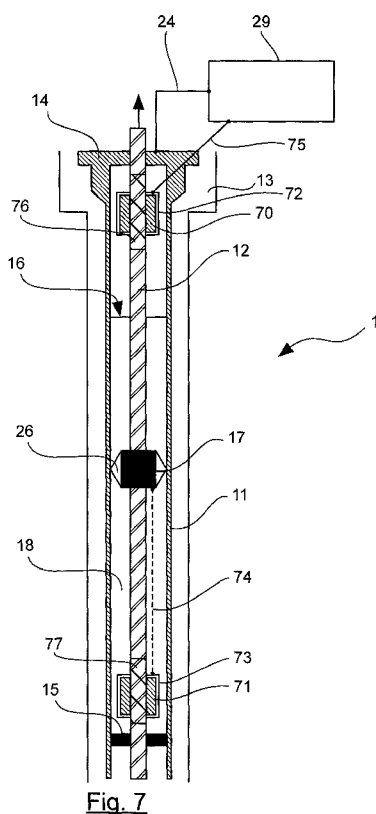
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasiatique (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : TRANSMISSION LINE PROVIDED INSIDE A PIPELINE COMPRISING A CASING TUBE AND A PRODUCTION TUBE, WITH USE OF ROLLERS MADE FROM MAGNETIC MATERIAL

(54) Titre : LIGNE DE TRANSMISSION MISE EN OEUVRE AU SEIN D'UNE CANALISATION DU TYPE COMPRENANT UN TUBE DE CUVELAGE ET UN TUBE DE PRODUCTION, AVEC UTILISATION DE ROULEAUX DE MATÉRIAU MAGNÉTIQUE



Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

électriquement conducteur et logé à l'intérieur du tube de cuvelage, une portion de ladite ligne de transmission comprenant: une portion du tube de cuvelage ou du tube de production; et deux éléments en matériau magnétique (70, 71), entourant chacun une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production. Chaque élément en matériau magnétique (70, 71) comprend au moins un rouleau de matériau magnétique composé d'une feuille de matériau magnétique enroulée en continu selon au moins deux tours, ledit au moins un rouleau possédant une cavité centrale dans laquelle passe une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production.

Ligne de transmission mise en œuvre au sein d'une canalisation du type comprenant un tube de cuvelage et un tube de production, avec utilisation de rouleaux de matériau magnétique.

1. DOMAINE DE L'INVENTION

5 Le domaine de l'invention est celui des canalisations destinées à transporter des substances (c'est-à-dire des liquides et gaz (fluides), boues, poudres, masses de petits solides, etc.) qui peuvent s'écouler, en particulier (mais non exclusivement) des canalisations appropriées pour être utilisées dans des environnements de fond de puits, tels que des canalisations souterraines utilisées dans l'industrie gazière et pétrolière
10 (exploration et production).

Plus précisément, l'invention concerne une technique de réalisation d'une ligne de transmission d'un courant électrique variant dans le temps (courant alternatif par exemple) entre un équipement de surface et au moins un équipement de fond, la ligne de transmission étant mise en œuvre au sein d'une canalisation du type comprenant un tube
15 de cuvelage électriquement conducteur et un tube de production électriquement conducteur et logé à l'intérieur du tube de cuvelage.

Cette technique trouve son champ d'application dans tous les domaines où un courant électrique variable (quelle que soit sa forme) est transmis dans une canalisation du type précité, entre autre et de manière non limitative pour assurer une transmission
20 d'énergie le long de cette canalisation, communiquer le long de cette canalisation, ou encore dissiper de la chaleur dans la canalisation à partir de ce courant électrique.

La présente invention s'applique notamment, mais non exclusivement, dans le cas d'un puits déjà foré et en cours de production.

2. ARRIÈRE-PLAN TECHNOLOGIQUE

25 Dans la suite de la description, on a plus particulièrement cherché à décrire des problèmes existant dans le domaine des canalisations métalliques souterraines, notamment de forages et de puits dans l'écorce terrestre. Il va de soi que l'invention ne se limite pas à ce domaine d'application particulier mais qu'elle présente un intérêt dans n'importe quel contexte où l'on cherche à établir une communication entre un
30 équipement de fond (aussi appelé équipement esclave) installé à poste fixe dans une

canalisation et un équipement de surface (aussi appelé équipement maître) installé en surface.

La **figure 1** représente à des fins d'illustration un exemple de puits en production.

5 Pour équiper un puits 1 pour la production d'effluents et notamment de fluides pétroliers, on y descend généralement un tube de cuvelage 11 (ou « casing » en anglais) en acier que l'on maintient en place par une injection de ciment dans l'espace annulaire 13 entre lui et le puits. On confine alors le puits en le coiffant d'une tête de puits 14 en acier au travers de laquelle on descend un tube de production 12 (ou « tubing » en anglais) en acier jusque dans la zone souterraine de gisement. Le tube de production 12 (tubing), dont le rôle est de remonter l'effluent jusqu'à la surface, passe à travers un organe de confinement 15 (ou « packer » en anglais) en acier ou élastomère qui assure l'étanchéité de la zone de gisement par rapport à l'espace annulaire 18 défini entre le tube de production 12 et le tube de cuvelage 11. Cet espace annulaire 18 est rempli d'une substance inerte telle que, par exemple, de l'eau, du gaz ou du gasoil gélifié. Le tube de production 12 est maintenu centré par rapport au tube de cuvelage, au moyen de l'organe de confinement 15 et d'une ou plusieurs bague(s) de centrage 16 (ou « clamps » en anglais) en métal ou en matériau composite. Comme illustré, le tube de production 12 porte un ou plusieurs boîtiers (ou coffrets) cylindriques 17, qui renferment chacun de façon connue des équipements de fond de puits tels que, par exemple, des capteurs de mesure, des vannes, des pompes, etc.

En matière de forage et de puits pétroliers, notamment, il est très important de pouvoir soit transmettre en surface depuis le fond du puits foré des paramètres appréhendés par les capteurs de mesure fournissant des indications utiles de tout ordre pour l'exploitation du gisement, par exemple, des mesures de pression, des informations sur la nature des fluides et solides rencontrés, des mesures de température, etc., soit de transmettre depuis la surface des ordres de commande aux appareillages et organes divers (vannes, opercules, pompes etc.) localisés en fond de puits.

Traditionnellement, on utilise des câbles électriques multi-lignes pour assurer l'alimentation électrique des équipements de fond de puits, la remontée des mesures et la transmission des ordres de commande générés par l'équipement maître en surface.

Toutefois, la descente de câbles comportant des capteurs ou devant être connectés à des capteurs ou organes de commande situés en profondeur est une opération délicate et coûteuse et qui ne peut pas être effectuée dans tous les cas, notamment pas lorsque le puits foré est en exploitation ou lorsque des vannes ou organes de séparation ne peuvent être traversés par des câbles munis ou non de capteurs.

On connaît une technique de mesure consistant à transmettre des informations par des impulsions de pression (« Mud pulse ») dans le canal de circulation de boue constitué par les tubes en cours de forage. Cette technique de modulation de boue s'est révélée très fiable mais très peu performante, et est limitée aux puits en cours de forage avec circulation de boue et non pas dans des puits en production ou en cours d'essais, par exemple.

On connaît également les systèmes de transmission dits électromagnétiques, dans lesquels il est proposé d'utiliser une portion du tube de cuvelage métallique (casing) comme un dispositif d'antenne d'émission-réception. Il s'agit en fait de faire circuler des courants électriques dans le sol à partir d'une source et de capter ce qu'il reste de ces courants à une certaine distance. Les performances de la transmission électromagnétique sont dépendantes de la résistivité électrique moyenne des formations géologiques environnantes au puits. Si la résistivité de certaines couches ne répond pas à certains critères, alors l'atténuation peut devenir trop importante le long du puits. Ceci peut se traduire par la réduction inacceptable du débit de données que l'on transmet ou l'impossibilité de communiquer sur le parcours souhaité.

Par ailleurs, dans ces systèmes de transmission électromagnétiques les capteurs de fond de puits sont généralement alimentés par une batterie. Pour accomplir les nouveaux progrès dans les performances de production que demande à présent l'industrie gazière et pétrolière, les puits doivent être équipés de très nombreux capteurs qu'il faut solliciter de plus en plus fréquemment et sur des durées très longues, comme par exemple plus de dix ans. Dans ces conditions, l'utilisation d'une batterie comme source d'alimentation n'est pas une solution fiable et durable dans le temps, voire même souvent est une solution impossible.

Une autre technique connue consiste à propager de l'information par vibrations acoustiques, soit dans l'effluent liquide, soit dans la structure métallique du tubing. Bien

qu'utilisée couramment, cette technique ne permet que des communications à courte distance, l'atténuation et la distorsion des vibrations le long du tubing étant rapidement pénalisants. De plus, comme dans le cas des communications électromagnétiques, il est nécessaire de disposer en fond de puits d'énergie pour alimenter l'élément, avec tous les inconvénients déjà cités.

On connaît également des systèmes utilisant le couple tubing/casing comme conducteurs permettant de véhiculer des courants entre les deux extrémités de l'installation. Il est ainsi possible d'échanger des informations de manière bidirectionnelle entre le fond et la surface, tout en fournissant aux dispositifs de fond l'énergie qui leur est nécessaire à partir de la surface. Un des problèmes spécifiques à cette technique est que chaque extrémité de la complétion (i.e. installation) est en court-circuit. En effet, sur la partie supérieure de la complétion, la tête de puits 14 est une pièce métallique massive reliant électriquement tubing 12 et casing 11 (premier court-circuit). De même, en fond de complétion, la liaison électrique entre tubing 12 et casing 11 (second court-circuit) est réalisée par le packer 15, s'il est en métal, ou bien par un élément de court-circuit spécifique (réalisé par divers moyens simples et bien connus), si le packer 15 est en élastomère.

Une solution connue consiste à utiliser cette spécificité et à transmettre de l'information sous forme de courant circulant entre ces deux courts circuits, comme le montre la **figure 2**. Une bobine d'injection 5 est parcourue par un courant alternatif et induit dans le tubing 12 un courant électrique 7 qui circule dans l'assemblage tubing 12, casing 11, tête de puits 14 et packer 15. Ce courant est capté par une bobine de fond 6 qui peut ainsi l'utiliser pour recevoir de l'information et/ou de l'énergie pour s'alimenter. Cette technique présente cependant de nombreuses difficultés, tout particulièrement dans la réalisation des transformateurs d'injection de courant et les transformateurs de collecte de ce courant.

Une autre technique très avantageuse consiste à utiliser une transmission en tension, mais suppose de pouvoir isoler les courts circuits précités. L'utilisation de matières isolantes 22, 23 pour l'élément de tubing 12, comme illustré sur la **figure 3**, est sensiblement impossible compte tenu des contraintes spécifiques d'une complétion. En effet, les efforts (pression, traction, flexion) supportés par un élément de tubing sont tels

qu'il est impossible d'utiliser autre chose que de l'acier. Aucune matière électriquement isolante n'est fiable dans un tel environnement.

Une solution à ce problème est connue du document de brevet US2002/0036085, pour autant que l'on n'utilise que du courant alternatif dans le circuit électrique : réaliser
5 une réactance inductive telle que le fonctionnement souhaité soit possible, en entourant un morceau du tubing métallique 12 par des éléments en matériau magnétique 20, 21, comme le montre la **figure 4**. On conserve ainsi la capacité classique de l'acier à résister aux contraintes d'environnement mécanique, tout en s'opposant à la circulation du courant alternatif, réduisant ainsi les effets des courts circuits terminaux. Cependant,
10 cette solution connue n'expose qu'un principe général, qui en tant que tel ne permet pas de réaliser un système fonctionnel. En effet, les matériaux magnétiques présentent des caractéristiques pénalisantes dans l'environnement d'une complétion :

- la plupart des matériaux magnétiques disponibles possèdent des points de Curie difficilement compatibles avec la température de l'environnement, le point de
15 Curie étant la température au-delà de laquelle un matériau magnétique perd ses propriétés magnétiques. De plus, si le système considéré est supposé fonctionner avec un niveau de puissance élevée, l'auto échauffement du matériau magnétique en présence de la dite puissance réduira encore la capacité à fonctionner dans l'environnement thermique ;
- il est connu du document de brevet US2002/0036085 (voir la figure 4b de ce
20 document), pour réaliser les éléments en matériau magnétique, d'utiliser des anneaux concentriques et superposés, séparés entre eux par un matériau isolant. Chaque anneau est une feuille d'un matériau ferromagnétique, enroulée sur un seul tour. Il est proposé de superposer environ soixante anneaux concentriques.
25 Une telle structure à anneaux concentriques et superposés est très difficile à mettre en œuvre technologiquement, rendant la solution peu pratique concrètement ;
- il est également connu, pour réaliser les éléments en matériau magnétique, d'utiliser des anneaux 50 empilés selon l'axe longitudinal du tubing 12, et
30 découpés chacun dans une feuille de métal magnétique, comme montré sur la **figure 5**. Cette technique est cependant coûteuse car chaque feuille de matériau

doit être la plus fine possible. En outre, cette solution est très limitée, car les courants de Foucault générés dans le matériau magnétique sont à l'origine d'une résistance de fuite en parallèle avec l'inductance souhaitée, rendant rapidement la solution caduque. Sur la **figure 6** apparaît l'inductance « a » recherchée, mise en parallèle avec une résistance de pertes « b », dont l'origine est précisément ces courants de Foucault. Même l'utilisation de feuilles extrêmement fines, de quelques dizaines de microns, ne permet pas de résoudre le problème. Cela crée de très grandes limitations en fréquence de fonctionnement, en puissance utilisable, en température de fonctionnement et en capacité à réaliser un système de petite taille ;

- il est également connu d'utiliser des matériaux ferrite pour réaliser pour réaliser les éléments (anneaux) de matériau magnétique. Les matériaux ferrite ont l'avantage de ne pas présenter de courant de Foucault et de résoudre totalement le problème exposé ci-dessus. Ils présentent cependant des inconvénients majeurs. Premièrement, la réalisation des inductances requises nécessite d'énormes volumes de matériau ferrite, rendant la solution peu pratique concrètement. En effet, la permittivité magnétique des ferrites est assez faible et l'obtention de fortes valeurs d'inductance passe nécessairement par une augmentation du volume de matériau. Deuxièmement, les anneaux nécessaires passent obligatoirement par une réalisation sur mesure, les tailles standard de ces composants n'étant pas du tout compatibles avec les sections de tubing. Une telle réalisation est possible auprès de plusieurs spécialistes, mais est extrêmement coûteuse. En effet, la fabrication de ces anneaux se fait par frittage sous très forte pression et très forte température. Compte tenu de la taille nécessaire à l'équipement d'un tubing, les moyens à mettre en œuvre sont très conséquents. Cela cumulé au fort volume nécessaire de matériau magnétique conduit à une solution financièrement très pénalisante. Troisièmement, ces anneaux de ferrite sont très cassants et très peu tolérants aux chocs et vibrations, ce qui les rend difficilement aptes à travailler dans cet environnement.

En plus des aspects directement liés au choix du matériau pour la mise en œuvre des éléments (anneaux) de matériau magnétique 20, 21, se pose le problème du passage

d'un fil (ou câble) 25 contre l'élément de matériau magnétique 20 situé en partie haute du tubing 12. Les **figures 4 et 5** illustrent le problème posé. Dans cet exemple, la ligne de transmission permet à un équipement de surface 29 de transmettre des données et/ou de l'énergie à un équipement de fond 17. Cette ligne de transmission comprend le casing 11 et le tubing 12, et plus précisément une portion du tubing dont les deux extrémités sont entourées par deux éléments en matériau magnétique 20, 21. Dans cet exemple, l'équipement de fond 17 est connecté d'une part au tubing 12 (par exemple par contact électrique direct entre la paroi extérieure du tubing 12 et une lame métallique (non référencée) portée par la paroi intérieure de l'équipement de fond 17), et d'autre part au casing 11 (par exemple par contact électrique direct entre la paroi intérieure du casing 11 et une lame métallique 26 portée par la paroi extérieure de l'équipement de fond 17).

L'équipement de surface 29 est connecté par un premier fil 24 à la tête de puits 14 et par un second fil 25 au tubing 12. Il est clair que le second fil 25 ne peut être connecté au tubing 12 qu'au-dessous de l'élément (anneaux) de matériau magnétique 20, ce qui conduit à faire passer le second fil 25 le long de l'élément (anneaux) 20. A ce niveau, plusieurs problèmes se posent :

- le champ magnétique 51 généré par le courant électrique circulant dans le fil 25 va pénétrer le matériau magnétique des anneaux de l'élément 20 par l'extérieur, et de ce fait le fil 25 va se voir affecter d'une inductance en série, s'opposant au passage du dit courant. Ceci est absolument non désiré et néfaste au fonctionnement du système ;
- ce champ magnétique 51 pénétrant le matériau magnétique va générer en son sein un flux, qui dans un dispositif de puissance, peut être très conséquent. Cela induit des pertes par hystérésis importantes, dissipant l'énergie en chaleur indésirable, potentiellement dangereuse pour le système. Ceci constitue une limitation importante du système et ce fil 25 est clairement un élément critique du système.

Une autre contrainte usuelle dans une complétion est de devoir faire circuler une ou plusieurs lignes de transmission d'énergie, hydraulique ou électrique (« power lines » en anglais). Dans le cas hydraulique, les lignes véhiculent des fluides sous pression, par exemple de l'huile permettant par application d'une forte pression d'ouvrir les vannes de

sécurité de la complétion et ainsi de commencer à produire. D'autres fluides sont des additifs chimiques que l'on rajoute à l'effluent pour modifier ses propriétés. Dans tous les cas, ces lignes sont constituées de tube d'acier de diamètre usuellement compris entre 0.5 à 0.25 pouces. Le passage de ces lignes pose un problème puisque si aucune précaution n'est prise, leur structure conductrice court-circuite les éléments (anneaux) de matériau magnétique 20, 21 et empêche le fonctionnement de la ligne de transmission.

3. OBJECTIFS DE L'INVENTION

Dans au moins un de ses modes de réalisation, l'invention vise à pallier ces différents inconvénients de l'art antérieur.

Plus précisément, dans au moins un mode de réalisation de l'invention, un objectif est de fournir une technique de réalisation d'une ligne de transmission telle que discutée plus haut, avec des éléments en matériau magnétique faciles à réaliser, tout en étant aptes à assurer l'isolation requise avec un niveau de qualité acceptable.

Un autre objectif d'au moins un mode de réalisation de l'invention est de fournir des éléments en matériau magnétique aptes à fonctionner sous de très forts courants, sans échauffements pénalisant.

Un autre objectif d'au moins un mode de réalisation de l'invention est de fournir des éléments en matériau magnétique d'une taille compatible avec les complétions nécessaires à l'exploration et la production pétrolière et/ou gazière et/ou géothermique.

Un autre objectif d'au moins un mode de réalisation de l'invention est de fournir des éléments en matériau magnétiques aptes à fonctionner de manière fiable sur de longues durées dans les installations nécessaires à l'exploration et la production pétrolière et/ou gazière et/ou géothermique.

Un autre objectif d'au moins un mode de réalisation de l'invention est de fournir une solution au problème discuté ci-dessus du passage des lignes de transmission d'énergie (hydraulique ou électrique).

Un autre objectif d'au moins un mode de réalisation de l'invention est de proposer une ligne de transmission qui peut être montée rapidement et facilement, avec les méthodes et les outils usuels de complétion.

Un autre objectif d'au moins un mode de réalisation de l'invention est de fournir une ligne de transmission de ce type dont le coût de fabrication reste limité.

4. EXPOSÉ DE L'INVENTION

Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, il est proposé une ligne de transmission d'un courant électrique variant dans le temps entre un équipement de surface et au moins un équipement de fond, ladite ligne de transmission étant mise en œuvre au sein d'une canalisation du type comprenant un tube de cuvelage électriquement conducteur et un tube de production électriquement conducteur et logé à l'intérieur du tube de cuvelage, une portion de ladite ligne de transmission comprenant : une portion du tube de cuvelage ou du tube de production ; et deux éléments en matériau magnétique, entourant chacun une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production. Chaque élément en matériau magnétique comprend au moins un rouleau de matériau magnétique composé d'une feuille de matériau magnétique enroulée en continu selon au moins deux tours, ledit au moins un rouleau possédant une cavité centrale dans laquelle passe une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production.

Le principe général de l'invention consiste donc à réaliser les éléments en matériau magnétique, sous forme de rouleaux composés chacun d'une feuille (aussi appelée ruban) de matériau magnétique enroulée en continu selon au moins deux tours.

Sur un plan de la réalisation pratique, une telle constitution est très favorable, l'industrie produisant couramment des feuilles de matériau magnétique (par exemple des feuilles de métal magnétique) de quelques microns d'épaisseur, sous forme de bandes de grande longueur. Cette matière de base étant usuelle et d'un prix industriel, l'obtention de rouleaux de matériau magnétique reste une opération simple et peu coûteuse. Classiquement, l'industrie propose de telles bandes en largeur de 1 pouce, ce qui est tout à fait adapté au besoin.

En outre, ce mode de réalisation permet une grande souplesse dans la constitution des éléments en matériau magnétique. En effet, il est facile de leur donner l'épaisseur requise en adaptant le nombre de tours de l'enroulement. Il est également facile de réaliser un rouleau de toute sorte de forme, en choisissant convenablement le mandrin autour duquel l'enroulement doit être réalisé. Des formes non circulaires sont tout à fait compatibles avec les machines d'enroulement existantes. Tout

particulièrement, et de manière non limitative, il est aisé de réaliser des rouleaux ovoïdes, dont l'intérêt est expliqué plus loin.

Un autre avantage de ce mode de réalisation est qu'il permet d'utiliser des matériaux magnétiques qui n'existent que sous forme de bande laminée (feuille), et donc de ne plus être limité à des matériaux massifs.

Selon un aspect particulier de l'invention, ledit au moins un rouleau de matériau magnétique ne comprend pas de matériau électriquement isolant entre deux tours de la feuille de matériau magnétique.

Ainsi, les rouleaux de matériau magnétique sont simples à fabriquer et peu coûteux.

Selon une caractéristique particulière, chaque élément en matériau magnétique comprend au moins deux rouleaux de matériau magnétique placés de manière adjacente le long de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production.

De cette façon, il suffit pour obtenir la longueur souhaitée de l'élément en matériau magnétique, enroulant une des extrémités du tube de cuvelage (casing) ou du tube de production (tubing), de placer de manière adjacente plusieurs rouleaux matériau magnétique.

Selon une caractéristique particulière, au moins une ligne de transmission d'énergie, hydraulique ou électrique, passe dans un espace de la cavité centrale non occupé par ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production.

De cette façon, l'élément en matériau magnétique englobe la ou les lignes de transmission d'énergie (« power lines »), ce qui permet de neutraliser l'effet de court-circuit qu'elles provoquent. Ainsi, la ou les lignes de transmission d'énergie (« power lines ») entourée(s) par l'élément en matériau magnétique constitue(nt) une inductance suffisamment élevée pour ne pas perturber la ligne de transmission.

Dans une première implémentation, la cavité centrale possède une forme ovoïdale. Ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production possède une section externe de forme circulaire. Ladite au moins une ligne de transmission d'énergie passe dans l'espace restant entre la forme ovoïdale et la forme circulaire.

Dans une seconde implémentation, la cavité centrale possède une première forme circulaire ayant un premier diamètre. Ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de

production possède une section externe de seconde forme circulaire ayant un second diamètre inférieur au premier diamètre. Ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production est montée décentrée à l'intérieur de la cavité centrale. Ladite moins une ligne de transmission d'énergie passe dans l'espace restant entre les première et seconde formes circulaires décentrées l'une par rapport à l'autre.

Selon une caractéristique particulière, ledit matériau magnétique est un métal magnétique.

Ainsi la solution proposée est simple à mettre en œuvre puisque, comme indiqué plus haut, l'industrie produit couramment des feuilles de métal magnétique et il s'agit d'une matière de base usuelle et d'un prix industriel.

Dans une implémentation particulière, ledit métal magnétique est un acier magnétique nanocristallin.

L'utilisation d'aciers magnétiques nanocristallins est particulièrement favorable par les fortes permittivités qu'ils présentent ainsi que par leurs faibles pertes par courant de Foucault. Des mesures précises montrent que ces matériaux mis en œuvre selon l'invention sont aptes à travailler sans pertes gênantes jusqu'à plusieurs centaines de kilo Hertz. De plus, les très fortes perméabilités magnétiques disponibles permettent des réalisations pratiques compactes dans le contexte d'une complétion d'hydrocarbures.

Selon une caractéristique particulière, chaque élément en matériau magnétique est entouré d'une enveloppe protectrice.

L'enveloppe protectrice assure une fonction de protection de l'élément en matériau magnétique (rouleau(x)) contre les agressions mécaniques extérieures.

Selon une caractéristique particulière, ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production comprend une pluralité d'éléments de tube successifs depuis un premier élément de tube jusqu'à un dernier élément de tube, chaque élément de tube étant muni à chaque extrémité d'une connexion destinée à coopérer avec une connexion d'un autre élément de tube adjacent. Le premier élément de tube forme l'une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production, et est entouré de l'un des deux éléments en matériau magnétique. Le dernier élément de tube forme l'autre des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production, et est entouré de l'autre des deux éléments en matériau magnétique.

Ainsi, pour mettre en œuvre la solution proposée, seuls les premier et dernier éléments de tube (de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production) nécessitent une adaptation par rapport aux éléments de tube standards.

5 Dans un autre mode de réalisation de l'invention, il est proposé un puits pour l'exploration ou la production gazière et/ou pétrolière et/ou géothermique, ce puits comprenant une ligne de transmission selon l'un quelconque des modes de réalisation ci-dessus.

10 Dans un autre mode de réalisation de l'invention, il est proposé un élément de matériau magnétique, adapté pour être utilisé dans une ligne de transmission d'un courant électrique variant dans le temps entre un équipement de surface et au moins un équipement de fond, ladite ligne de transmission étant mise en œuvre au sein d'une canalisation du type comprenant un tube de cuvelage électriquement conducteur et un tube de production électriquement conducteur et logé à l'intérieur du tube de cuvelage, une portion de ladite ligne de transmission comprenant : une portion du tube de
15 cuvelage ou du tube de production ; et deux éléments en matériau magnétique, entourant chacun une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production. Ledit élément en matériau magnétique comprend au moins un rouleau de matériau magnétique composé d'une feuille de matériau magnétique enroulée en continu selon au moins deux tours, ledit au moins un rouleau possédant une cavité centrale
20 adaptée pour le passage d'une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production.

5. LISTE DES FIGURES

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée à titre d'exemple indicatif et non limitatif, et des dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1, déjà décrite ci-dessus en relation avec l'art antérieur, représente un puits en production ;
- la figure 2, déjà décrite ci-dessus en relation avec l'art antérieur, représente un puits en production comprenant une ligne de transmission selon une première
30 technique connue (fonctionnement en courant), avec utilisation d'une bobine d'injection et une bobine de fond ;

- la figure 3, déjà décrite ci-dessus en relation avec l'art antérieur, représente un puits en production comprenant une ligne de transmission selon une deuxième technique connue (fonctionnement en tension), avec utilisation de matières isolantes entourant les extrémités du tubing ;
- 5 - la figure 4, déjà décrite ci-dessus en relation avec l'art antérieur, représente un puits en production comprenant une ligne de transmission selon une troisième technique connue (fonctionnement en tension), avec utilisation d'éléments de matériau magnétique entourant les extrémités du tubing ;
- la figure 5, déjà décrite ci-dessus en relation avec l'art antérieur, montre une
10 réalisation connue des éléments de matériau magnétique apparaissant sur la figure 4, ainsi que le passage de câble nécessaire et le champ magnétique généré par ce câble ;
- la figure 6, déjà décrite ci-dessus en relation avec l'art antérieur, montre le
15 schéma électrique équivalent d'un élément (anneau) de matériau magnétique soumis à des courants de Foucault ;
- la figure 7 représente un puits en production comprenant une ligne de transmission (fonctionnement en tension) selon un mode de réalisation particulier de l'invention ;
- la figure 8 montrant le principe de réalisation d'un rouleau de matériau
20 magnétique (anneau élémentaire) selon l'invention, à partir d'un ruban (feuille) de métal ;
- la figure 9 illustre une vue partielle d'un élément de tubing adapté, selon un mode de réalisation particulier de l'invention (cette vue partielle montre un élément en matériau magnétique maintenu par des bagues) ;
- 25 - la figure 10 illustre une vue partielle d'un élément de tubing adapté, selon un mode de réalisation particulier de l'invention (par rapport à la vue partielle de la figure 9, cette vue complète montre en outre un tube métallique de protection et connexion électrique, un fil connecté à ce tube, et enfin des lignes de transmission d'énergie) ;
- 30 - la figure 11 illustre plus précisément un exemple de réalisation du passage des lignes de transmission d'énergie, entre la paroi interne d'un élément de matériau

magnétique de forme ovoïdale et la paroi externe d'un tube de production de forme circulaire.

6. DESCRIPTION DÉTAILLÉE

5 Sur toutes les figures du présent document, les éléments identiques sont désignés par une même référence numérique.

La **figure 7** représente un puits en production comprenant une ligne de transmission (fonctionnement en tension) selon un mode de réalisation particulier de l'invention.

10 Le contexte est celui décrit plus haut avec la figure 4. On cherche à réaliser une ligne de transmission d'un courant électrique variant dans le temps (par exemple un courant alternatif) entre un équipement de surface 29 et au moins un équipement de fond 17. Cette ligne de transmission est mise en œuvre au sein d'une canalisation du type comprenant un tube de cuvelage (casing) 11 électriquement conducteur et un tube de production (tubing) 12 électriquement conducteur et logé à l'intérieur du tube de cuvelage. Une portion de la ligne de transmission comprend une portion du tubing 12 et deux éléments en matériau magnétique, entourant chacun une des extrémités de cette portion du tubing 12. Dans une variante, une portion de la ligne de transmission comprend une portion du casing 11 et deux éléments en matériau magnétique, entourant chacun une des extrémités de cette portion du casing 11.

20 Dans le mode de réalisation de la figure 7, les différences avec la solution connue de la figure 4 portent sur :

- les éléments de matériau magnétiques 70, 71, qui ne sont pas de même nature, comme détaillé par la suite ;
- la manière de connecter l'équipement de surface 29 avec le tubing 12 (fil 75 et tube conducteur 72) ;
- dans une variante, la manière de connecter l'équipement de fond 17 avec le tubing 12 (fil 74 et tube conducteur 73).

25 On présente maintenant en détail ces différences, dans le cas où les éléments en matériau magnétique entourent chacun une des extrémités d'une portion du tubing 12. Il est clair que cet enseignement peut aisément être transposé par l'homme du métier à la

30

variante dans laquelle les éléments en matériau magnétique entourent chacun une des extrémités d'une portion du casing 11.

Tout d'abord, chacun des éléments de matériau magnétiques 70, 71 comprend au moins un rouleau de matériau magnétique composé d'une feuille de matériau magnétique enroulée en continu selon au moins deux tours. Il n'y a pas de matériau électriquement isolant entre deux tours de la feuille de matériau magnétique. Chaque rouleau possède une cavité centrale dans laquelle passe une des extrémités de la portion précitée du tubing 12. En d'autres termes, le principe général consiste à réaliser chaque élément en matériau magnétique 70, 71, sous la forme d'un rouleau, ou de plusieurs rouleaux adjacents.

Sur la figure 7, on a référencé 76 un élément de tubing adapté, placé en partie haute du puits 1, et 77 un élément de tubing adapté, placé en partie basse du puits 1. En pratique ces deux éléments de tubing adaptés 76, 77 peuvent être identiques. Un mode de réalisation particulier de ces éléments de tubing adapté est présenté ci-après en détail, en relation avec les figures 9 et 10.

Comme illustré sur la **figure 8**, chaque rouleau 81 est réalisé à partir d'un ruban (feuille) de matériau magnétique 80 aux propriétés magnétiques adaptées. Il s'agit par exemple d'une feuille de métal magnétique, et plus particulièrement une feuille d'acier magnétique nanocristallin. Partant de ce ruban, le rouleau 81 est constitué par enroulage, en continu et selon au moins deux tours, sur un mandrin de taille convenable. Cet enroulement est effectué jusqu'à obtenir l'épaisseur requise du rouleau. La cavité centrale 83 du rouleau est fonction de la forme du mandrin. Si le mandrin est de forme circulaire, le rouleau est un anneau. La première spire est immobilisée par tout moyen jugé adéquat comme le collage ou la soudure 82. De même pour la dernière spire.

Sur un plan de la réalisation pratique, une telle constitution sous forme de rouleau(x) 81 est très favorable, l'industrie produisant couramment des feuilles de métal magnétique de quelques dizaines de microns d'épaisseur, sous forme de bandes de grande longueur. Cette matière de base étant usuelle et d'un prix industriel, la réalisation des rouleaux reste une opération simple et peu coûteuse. Classiquement, l'industrie propose de telles bandes en largeur de 1 pouce, ce qui est tout à fait adapté au besoin.

La réalisation sous forme de rouleau(x) 81 permet une grande souplesse dans la constitution des éléments en matériau magnétique 70, 71. En effet, il est facile de leur donner l'épaisseur requise en adaptant le nombre de tours des rouleaux. Il est également facile de réaliser un rouleau de toute sorte de forme, en choisissant convenablement le mandrin autour duquel l'enroulement doit être réalisé. Des formes non circulaires sont tout à fait compatibles avec les machines d'enroulement existantes. Tout particulièrement, et de manière non limitative, il est possible de réaliser des rouleaux dont la cavité centrale possède une forme ovoïdale, dont l'utilisation est expliquée plus loin (pour le passage de lignes de transmission d'énergie).

Un autre avantage de la réalisation sous forme de rouleau(x) 81 est qu'elle permet d'utiliser des matériaux qui n'existent que sous forme de bande laminée, et de ne plus être limité à des matériaux massifs. Tout particulièrement, l'utilisation d'aciers nanocristallins est particulièrement favorable par les fortes permittivités qu'ils présentent, ainsi que par leurs faibles pertes par courant de Foucault. Des mesures précises montrent que ces matériaux, mis en œuvre sous forme de rouleau(x), sont aptes à travailler sans pertes gênantes jusqu'à plusieurs centaines de kHz. De plus, les très fortes perméabilités magnétiques disponibles permettent des réalisations pratiques compactes dans le contexte d'une complétion d'hydrocarbures.

Il est également intéressant de protéger les rouleaux de matériau magnétique 81 par tout type d'enrobage destiné à accroître leur robustesse mécanique, à les isoler électriquement entre eux et avec le tubing 90, ainsi que de tout autre élément de leur environnement. Classiquement cet enrobage peut par exemple être réalisé à partir de vernis, de revêtements époxy, ou d'élastomères de tous types. Nous obtenons ainsi des rouleaux 81 aux propriétés magnétiques requises avec la robustesse mécanique indispensable à la survie à l'environnement. De plus, diverses formes dans les revêtements peuvent être réalisées, facilitant la réalisation de l'objet complet.

La **figure 9** illustre une vue partielle d'un élément de tubing adapté 76 (cf. figure 7), selon un mode de réalisation particulier de l'invention. Il comprend un élément de tubing standard 90 entouré d'un élément en matériau magnétique 70.

L'élément de tubing standard 90 répond aux sections standards et normalisées dans l'industrie. Chaque extrémité est munie des connexions 91, 92 standardisées dans

les métiers de la production pétrolière et gazière, comme des connexions API, VAMTOP ou autres. Ainsi, l'élément de tubing adapté 76 pourra être inséré et faire partie du tubing 12 de la complétion, comme tout autre élément de tubing de cette complétion, sans créer de contraintes particulières d'installation.

5 Les rouleaux 81 sont par exemple enfilés, par leur cavité centrale 83, à partir d'une extrémité de l'élément de tubing standard 90. Le nombre de rouleaux est déterminé par la valeur de l'inductance à réaliser, ainsi que par les caractéristiques du matériau magnétique utilisé. Classiquement, quelques dizaines de centimètres à quelques mètres sont des valeurs pratiquement utilisables.

10 Dans l'exemple purement illustratif de la figure 9, l'élément en matériau magnétique 70 comprend cinq rouleaux de matériau magnétique 81. En pratique, le nombre rouleaux 81 dépend de la largeur l des rubans 80 dans lesquels ils sont réalisés, ainsi que de la longueur L souhaitée pour l'élément en matériau magnétique 70.

15 Les rouleaux 81 peuvent être circulaires et être placés concentriquement autour de l'élément de tubing standard 90.

Il est également possible de faire passer, dans un espace de la cavité centrale des rouleaux 81 non occupé par l'élément de tubing standard 90, une ou plusieurs lignes de transmission d'énergie hydraulique ou électrique (power lines) 98, ou autres liaisons ayant à traverser. Ainsi, l'élément en matériau magnétique 70 englobe lignes de transmission d'énergie pour permettre de neutraliser l'effet de court-circuit qu'elles provoquent.

20 Dans une implémentation particulière, les rouleaux 81 possèdent une cavité centrale 83 circulaire, et sont montés de manière décentrée autour de l'élément de tubing standard 90. En d'autres termes, on utilise des rouleaux magnétiques de diamètre intérieur supérieur au diamètre extérieur de l'élément de tubing standard 90, et on les décentre au montage. Le décentrage libère un espace de la cavité centrale des rouleaux 81 pour le passage des lignes de transmission d'énergie.

25 Dans une autre implémentation particulière, illustrée sur la **figure 11**, la cavité centrale 83 des rouleaux 81 possède une forme ovoïdale. L'élément de tubing standard 90 possède une section externe de forme circulaire. Les lignes de transmission d'énergie 98 passent dans l'espace restant entre la forme ovoïdale et la forme circulaire.

D'autres implémentations (arrangements mécaniques) sont possibles pour autant que les lignes de transmission d'énergie soient contenues dans la cavité centrale 83 des rouleaux magnétiques 81.

5 Comme illustré sur la figure 9, l'assemblage de rouleaux magnétiques 81 (formant l'élément en matériau magnétique 70) est maintenu par les bagues 94, 95 (ou tout autre moyen connu).

10 La première bague 94, placée sur la partie basse de l'élément de tubing standard 90, est réalisée en métal de manière à assurer une continuité électrique avec l'élément de tubing standard 90. Pour assurer la qualité de ce contact électrique, tout type de solution peut être adoptée, comme le serrage des pièces entre elles et le choix de métaux adaptés. De plus, cette première bague 94 doit être apte à supporter le poids des tous les rouleaux 81 situés au-dessus d'elle. Ainsi, la constitution en acier est-elle un élément extrêmement intéressant, par la résistance prouvée à ce type d'effort. Il est avantageux, bien que non indispensable d'utiliser le même type d'acier que celui constituant l'élément de tubing standard 90.

15 La seconde bague 95, placée sur la partie supérieure de l'élément de tubing standard 90, assure le maintien de l'autre extrémité de l'assemblage de rouleaux 81. Cette seconde bague 95 est réalisée dans une matière apte à supporter les efforts et l'environnement, mais également apte à assurer une isolation électrique de qualité. Etant placée sur la partie supérieure, cette seconde bague 95 ne subit pas d'effort mécanique important dans la complétion. Sa constitution en matière isolante n'est donc pas pénalisante sur un plan mécanique. Divers types de matériaux sont utilisables, mais le plus avantageux est d'utiliser des matières plastiques usinées, comme du PEEK par exemple.

25 Placé entre les bagues 94 et 95, et maintenues par celles-ci, se trouve une enveloppe protectrice et conductrice électriquement (préférentiellement un tube métallique cylindrique) 72 (73 pour l'élément de tubing adapté 77 en partie basse, sur la figure 7) englobant l'ensemble des rouleaux magnétiques 81. Sur la figure 10, ce tube 72 est partiellement omis afin que l'élément de matériau magnétique 70 soit visible. Ce tube 72 assure plusieurs fonctions.

30

La première est la fonction de protection des rouleaux magnétiques 81 contre les agressions mécaniques extérieures. Ainsi, ce tube 72 est par exemple constitué d'un épais métal apte à supporter durablement ces agressions. A titre d'exemple, il pourrait être fait dans le même acier que le tubing et avoir une épaisseur de 10 millimètres. En outre, le tube 72 contribue à la rigidité mécanique et à la robustesse globale de l'ensemble par les fixations au niveau des bagues 94 et 95. Ainsi constitué, l'assemblage est compact et robuste aux agressions extérieures.

La seconde fonction est de conduire l'électricité de la bague conductrice 94 jusqu'à la bague isolante 95. En d'autres termes, il assure une continuité électrique entre deux points ou éléments de la ligne de transmission, situés de part et d'autre de l'élément en matériau magnétique 70. Pour ce faire, le tube 72 est constitué de matière conductrice adaptée au courant à faire circuler. Pratiquement, la plupart des aciers sont aptes à assurer cette fonction.

L'utilisation d'un tube métallique 72 entourant l'élément magnétique 70 est particulièrement avantageux pour effectuer une connexion électrique en lieu et place d'un câble (cf. 4 et 5 décrivant l'art antérieur, avec le passage d'un fil 25 le long de l'élément en matériau magnétique). En effet, en application de la loi d'ampère, il est connu qu'un cylindre creux parcouru par un courant électrique génère un champ magnétique à l'extérieur de son enveloppe, mais ne génère pas de champ magnétique à l'intérieur. Ainsi, le tube conducteur 72, parcouru par un courant ne produira aucun champ magnétique à l'intérieur de l'élément en matériau magnétique 70. Ainsi, ce courant ne sera pas affecté d'une quelconque inductance liée aux rouleaux magnétiques 81, ce qui est extrêmement avantageux. De même, ce courant ne pourra pas induire de flux dans les rouleaux magnétiques 81 et ainsi provoquer une saturation magnétique, qui serait immédiatement génératrice de pertes thermiques. Cet arrangement particulier assure donc le passage de courant le long de la fonction magnétique sans aucun des inconvénients connus.

Pour l'élément de tubing adapté 76 en partie haute, un élément conducteur (par exemple un fil ou un câble) 75 possède une extrémité reliée électriquement à l'extrémité du tube conducteur 72 située du côté de la bague isolante 95. Cet élément conducteur 75 possède une autre extrémité reliée électriquement à l'équipement de surface 29. Pour des

raisons de robustesse, et pour éviter tout arrachage intempestif au cours de la mise en place ou durant la vie du produit, l'élément conducteur 75 est placé, au sein de l'élément de tubing adapté 76, contre la paroi extérieure de la partie de l'élément de tubing standard 90 non entourée par l'élément en matériau magnétique 70.

5 Pour l'élément de tubing adapté 77 en partie basse (cf. pointillés sur la figure 7), un élément conducteur (par exemple un fil ou un câble) 74 possède une extrémité reliée électriquement à l'extrémité du tube conducteur 73 située du côté de la bague isolante 95. Cet élément conducteur 74 possède une autre extrémité reliée électriquement à l'équipement de fond 17. Pour des raisons de robustesse, et pour éviter tout arrachage
10 intempestif au cours de la mise en place ou durant la vie du produit, l'élément conducteur 74 est placé, au sein de l'élément de tubing adapté 77, contre la paroi extérieure de la partie de l'élément de tubing standard 90 non entourée par l'élément en matériau magnétique 71.

Dans une variante, pour l'élément de tubing adapté 77 en partie basse, le fil ou
15 câble 74 est absent (ou bien présent mais non connecté) et le tube métallique 73 entourant l'élément magnétique 71 n'est pas utilisé pour la seconde fonction (conduire l'électricité). Dans cette variante, l'équipement de fond 17 est connecté d'une part au tubing 12 (par exemple par contact électrique direct entre la paroi extérieure du tubing
20 12 et une lame métallique (non référencée) portée par la paroi intérieure de l'équipement de fond 17), et d'autre part au casing 11 (par exemple par contact électrique direct entre la paroi intérieure du casing 11 et une lame métallique 26 portée par la paroi extérieure de l'équipement de fond 17).

Il est clair que de nombreux autres modes de réalisation de l'invention peuvent être envisagés.

25 Par exemple, bien qu'illustrée et discutée ci-dessus avec des tubes de section circulaire, la technique proposée s'applique également à des tiges incluses l'une dans l'autre, quelle que soit la section de chacune des tiges.

De même, bien qu'illustrée et discutée ci-dessus avec des éléments de matériau magnétique 70, 71 entourant un élément de tubing standard 90, la technique proposée
30 s'applique également avec des éléments de matériau magnétique entourant un élément de casing standard. Notamment, la technique proposée s'applique aux différents cas,

décrits dans le document de brevet US2002/0036085, d'utilisation d'éléments de matériau magnétiques dans une ligne de transmission au sein d'une canalisation.

5 Dans une variante de réalisation, la technique consistant à utiliser des éléments en matériau magnétique 70, 71 réalisés sous forme de rouleau(x) 81 n'est pas combinée avec la technique consistant à utiliser une enveloppe protectrice et conductrice électriquement (préférentiellement un tube métallique cylindrique) 72, 73. Dans cette variante, non optimale, on fait par exemple passer un fil le long de chaque élément en matériau magnétique 70, 71 (malgré les problèmes exposés plus haut).

REVENDICATIONS

1. Ligne de transmission d'un courant électrique variant dans le temps entre un équipement de surface (29) et au moins un équipement de fond (17), ladite ligne de transmission étant mise en œuvre au sein d'une canalisation du type comprenant un tube de cuvelage (11) électriquement conducteur et un tube de production (12) électriquement conducteur et logé à l'intérieur du tube de cuvelage, une portion de ladite ligne de transmission comprenant :
- une portion du tube de cuvelage ou du tube de production ; et
 - deux éléments en matériau magnétique, entourant chacun une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production ;
- caractérisée en ce que chaque élément en matériau magnétique (70, 71) comprend au moins un rouleau de matériau magnétique (81) composé d'une feuille de matériau magnétique enroulée en continu selon au moins deux tours, ledit au moins un rouleau possédant une cavité centrale (83) dans laquelle passe une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production.
2. Ligne de transmission selon la revendication 1, caractérisée en ce que ledit au moins un rouleau de matériau magnétique ne comprend pas de matériau électriquement isolant entre deux tours de la feuille de matériau magnétique.
3. Ligne de transmission selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisée en ce que chaque élément en matériau magnétique comprend au moins deux rouleaux de matériau magnétique placés de manière adjacente le long de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production.
4. Ligne de transmission selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisée en ce qu'au moins une ligne de transmission d'énergie (98), hydraulique ou électrique, passe dans un espace de la cavité centrale non occupé par ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production.
5. Ligne de transmission selon la revendication 4, caractérisée en ce que la cavité centrale possède une forme ovoïdale, en ce que ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production possède une section externe de forme circulaire, et en ce que ladite moins une ligne de transmission d'énergie passe dans l'espace restant entre la forme ovoïdale et la forme circulaire.

6. Ligne de transmission selon la revendication 4, caractérisée en ce que la cavité centrale possède une première forme circulaire ayant un premier diamètre, en ce que ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production possède une section externe de seconde forme circulaire ayant un second diamètre inférieur au premier diamètre, en ce que ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production est montée décentrée à l'intérieur de la cavité centrale, et en ce que ladite moins une ligne de transmission d'énergie passe dans l'espace restant entre les première et seconde formes circulaires décentrées l'une par rapport à l'autre.
7. Ligne de transmission selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisée en ce que ledit matériau magnétique est un métal magnétique.
8. Ligne de transmission selon la revendication 7, caractérisée en ce que ledit métal magnétique est un acier magnétique nanocristallin.
9. Ligne de transmission selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que chaque élément en matériau magnétique est entouré d'une enveloppe protectrice (72, 73).
10. Ligne de transmission selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production comprend une pluralité d'éléments de tube successifs depuis un premier élément de tube jusqu'à un dernier élément de tube, chaque élément de tube étant muni à chaque extrémité d'une connexion destinée à coopérer avec une connexion d'un autre élément de tube adjacent, en ce que le premier élément de tube (76) forme l'une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production, et est entouré de l'un des deux éléments en matériau magnétique, et en ce que le dernier élément de tube (77) forme l'autre des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production, et est entouré de l'autre des deux éléments en matériau magnétique.
11. Puits pour l'exploration ou la production gazière et/ou pétrolière et/ou géothermique, caractérisé en ce qu'il comprend une ligne de transmission selon l'une quelconque des revendications 1 à 10.

12. Élément de matériau magnétique, adapté pour être utilisé dans une ligne de transmission d'un courant électrique variant dans le temps entre un équipement de surface (29) et au moins un équipement de fond (17), ladite ligne de transmission étant mise en œuvre au sein d'une canalisation du type comprenant un tube de cuvelage (11) électriquement conducteur et un tube de production (12) électriquement conducteur et logé à l'intérieur du tube de cuvelage, une portion de ladite ligne de transmission comprenant :

- une portion du tube de cuvelage ou du tube de production ; et
- deux éléments en matériau magnétique, entourant chacun une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production ;

ledit élément en matériau magnétique étant caractérisé en ce qu'il comprend au moins un rouleau de matériau magnétique (81) composé d'une feuille de matériau magnétique enroulée en continu selon au moins deux tours, ledit au moins un rouleau possédant une cavité centrale adaptée pour le passage d'une des extrémités de ladite portion du tube de cuvelage ou du tube de production.

1/10

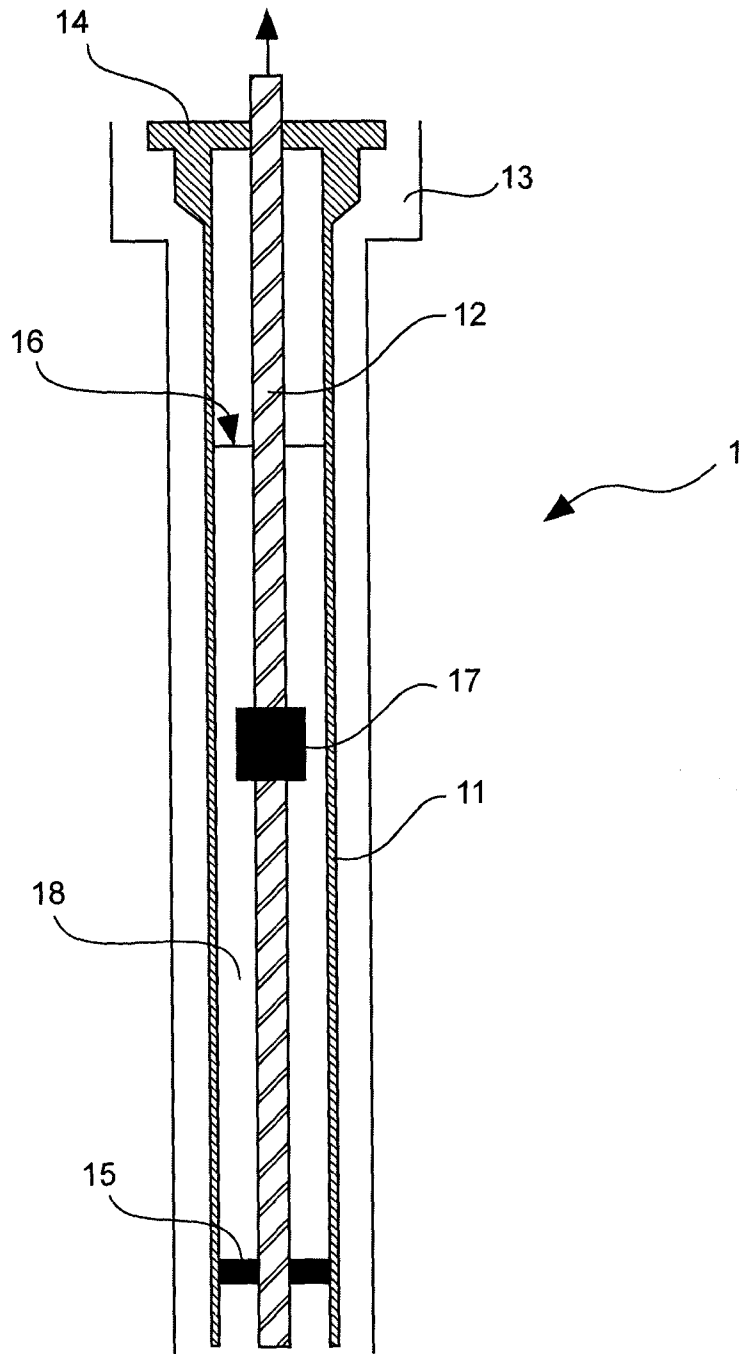


Fig. 1

2/10

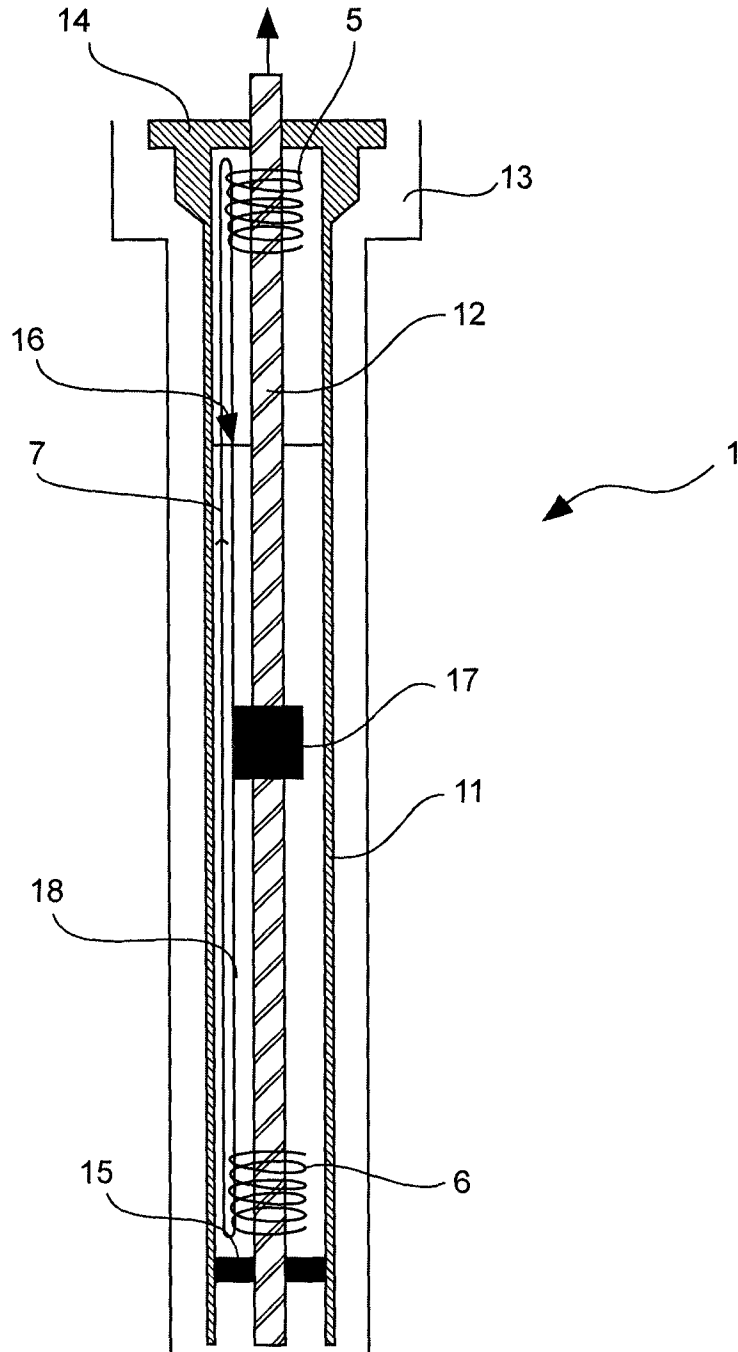


Fig. 2

3/10

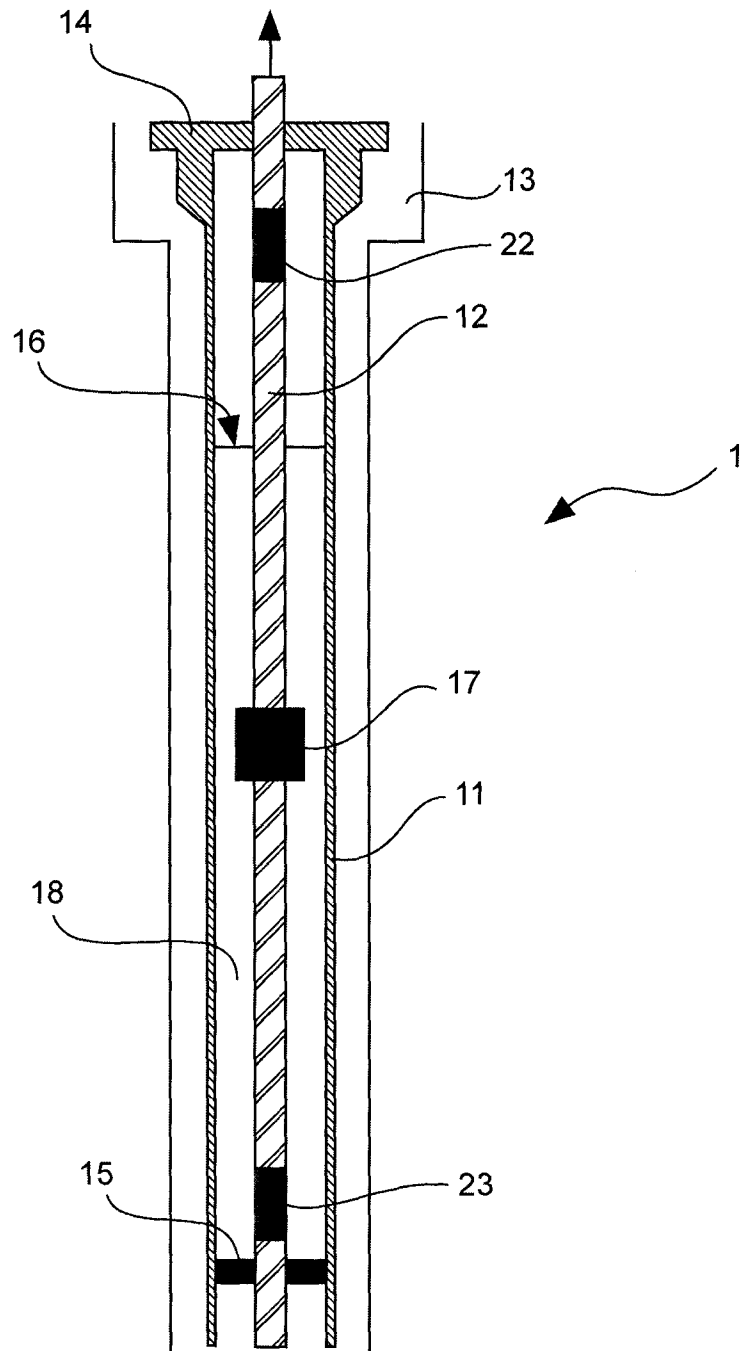


Fig. 3

4/10

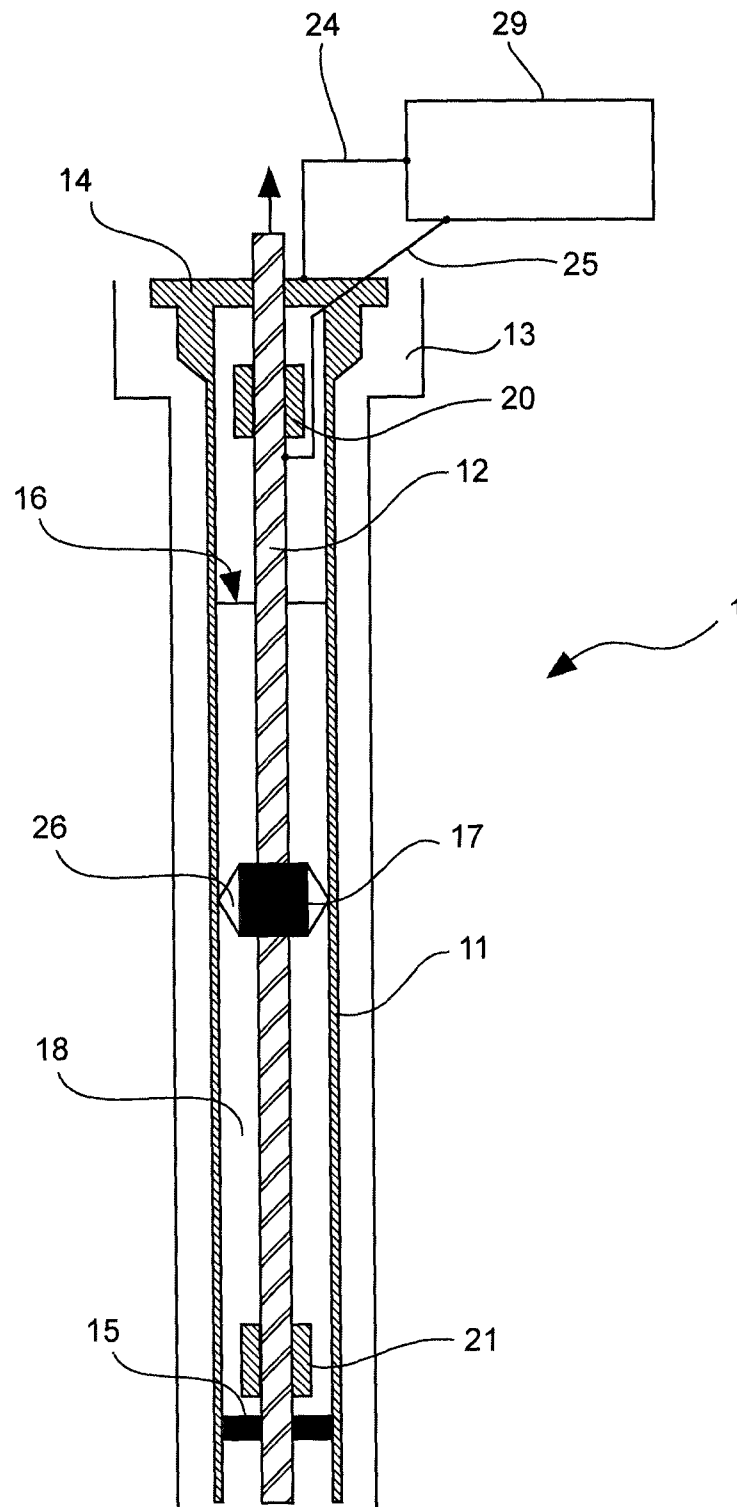


Fig. 4

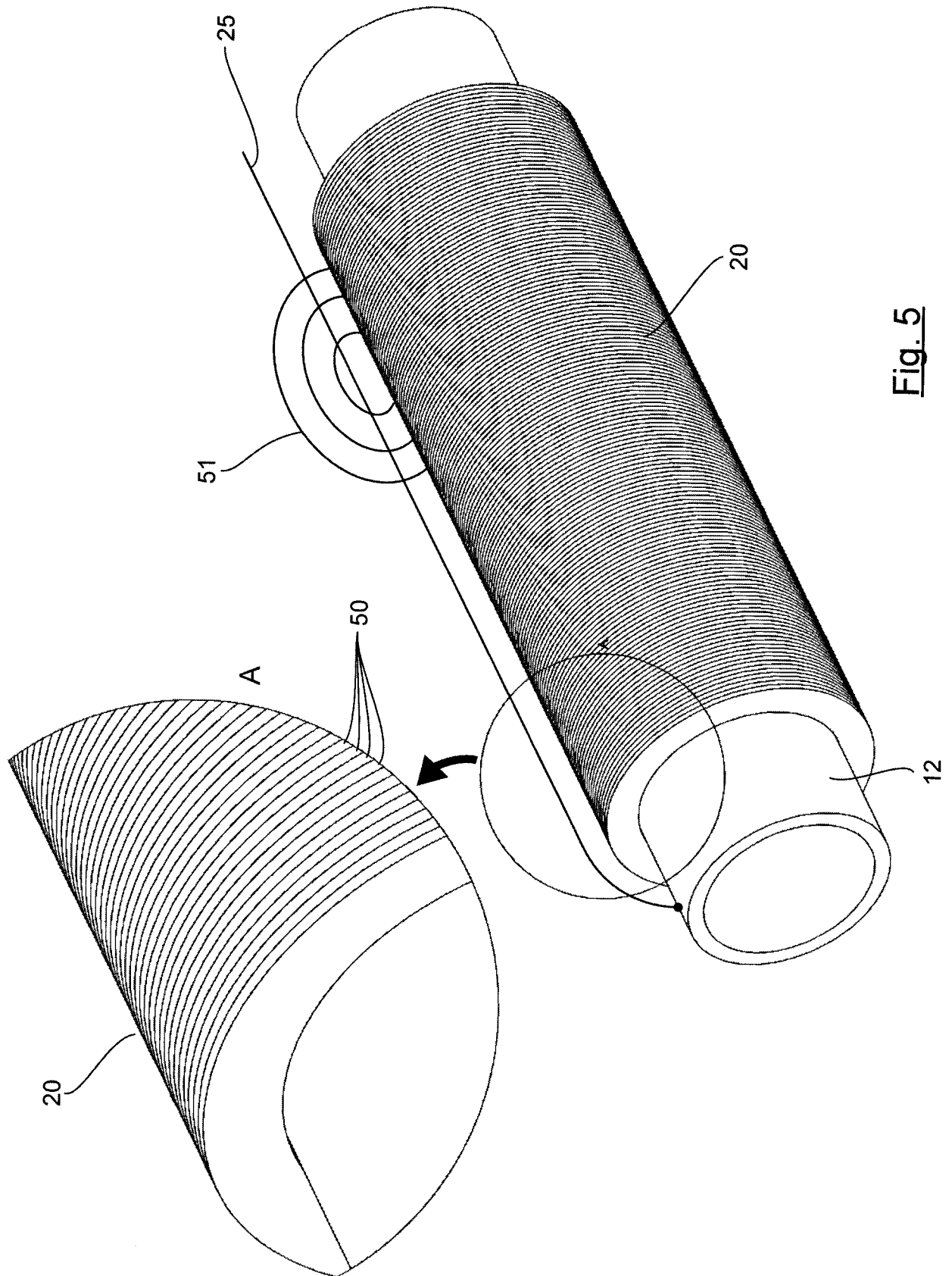


Fig. 5

6/10

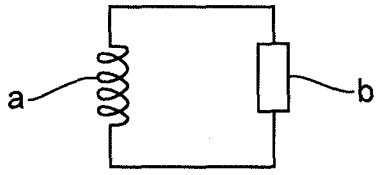


Fig. 6

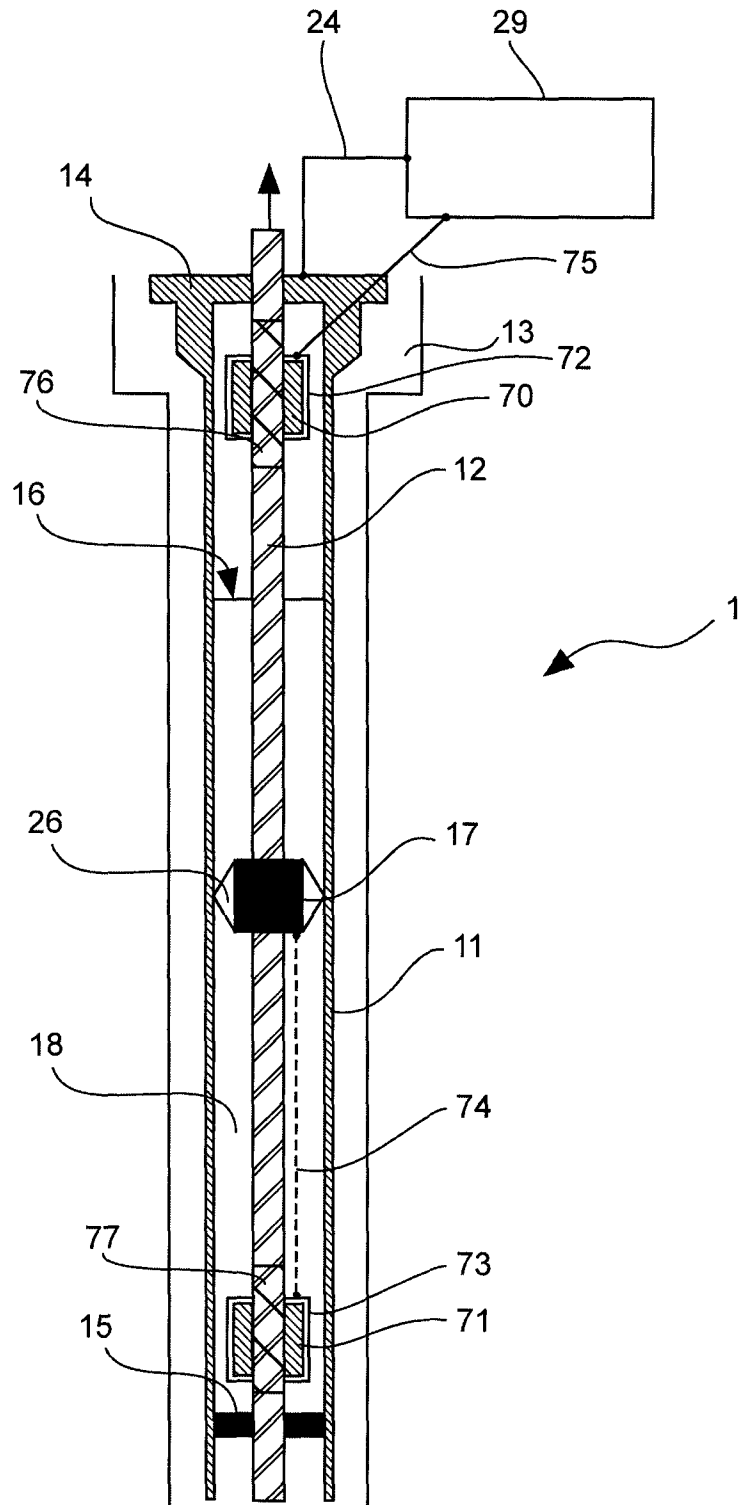


Fig. 7

7/10

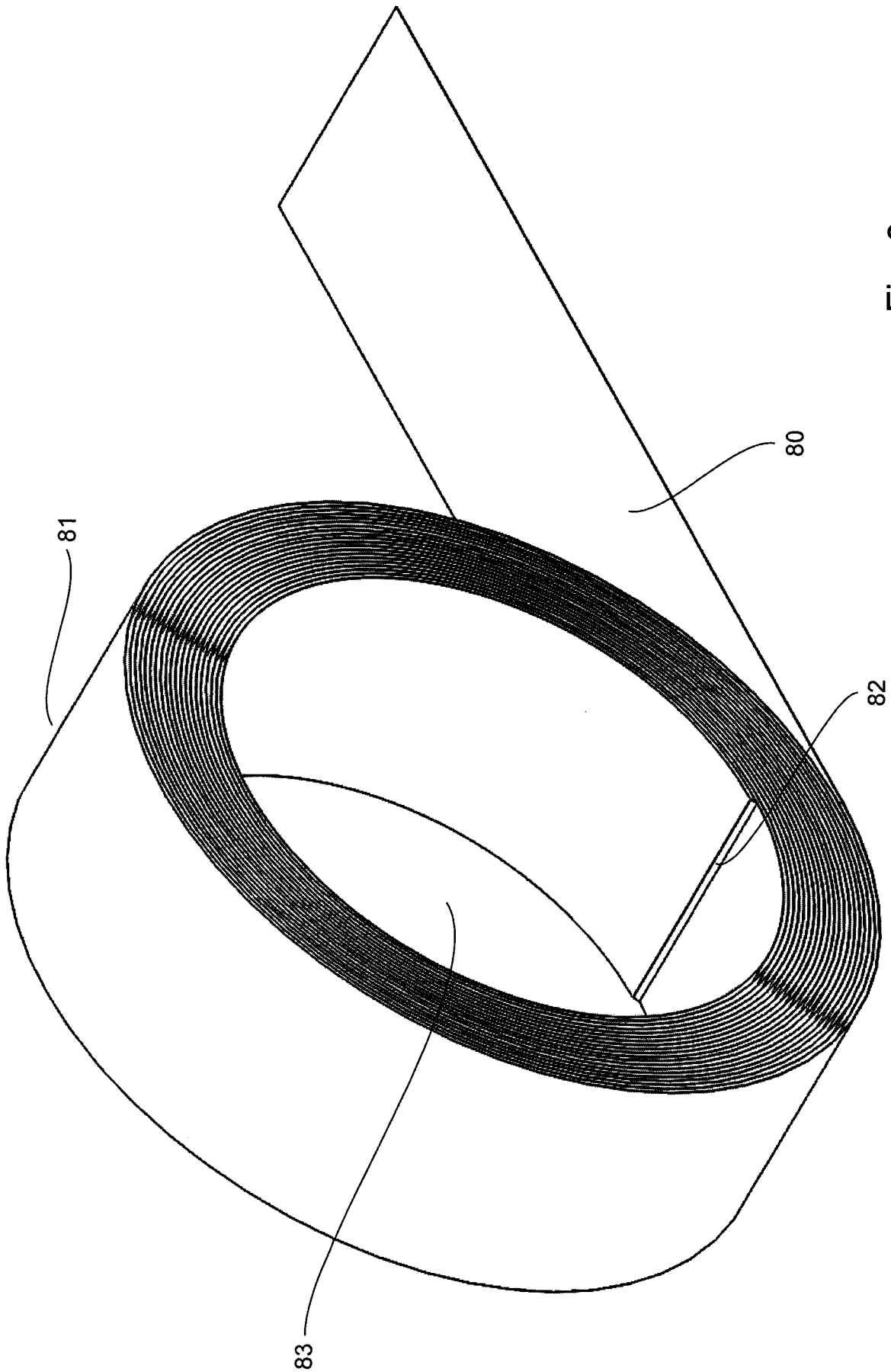


Fig. 8

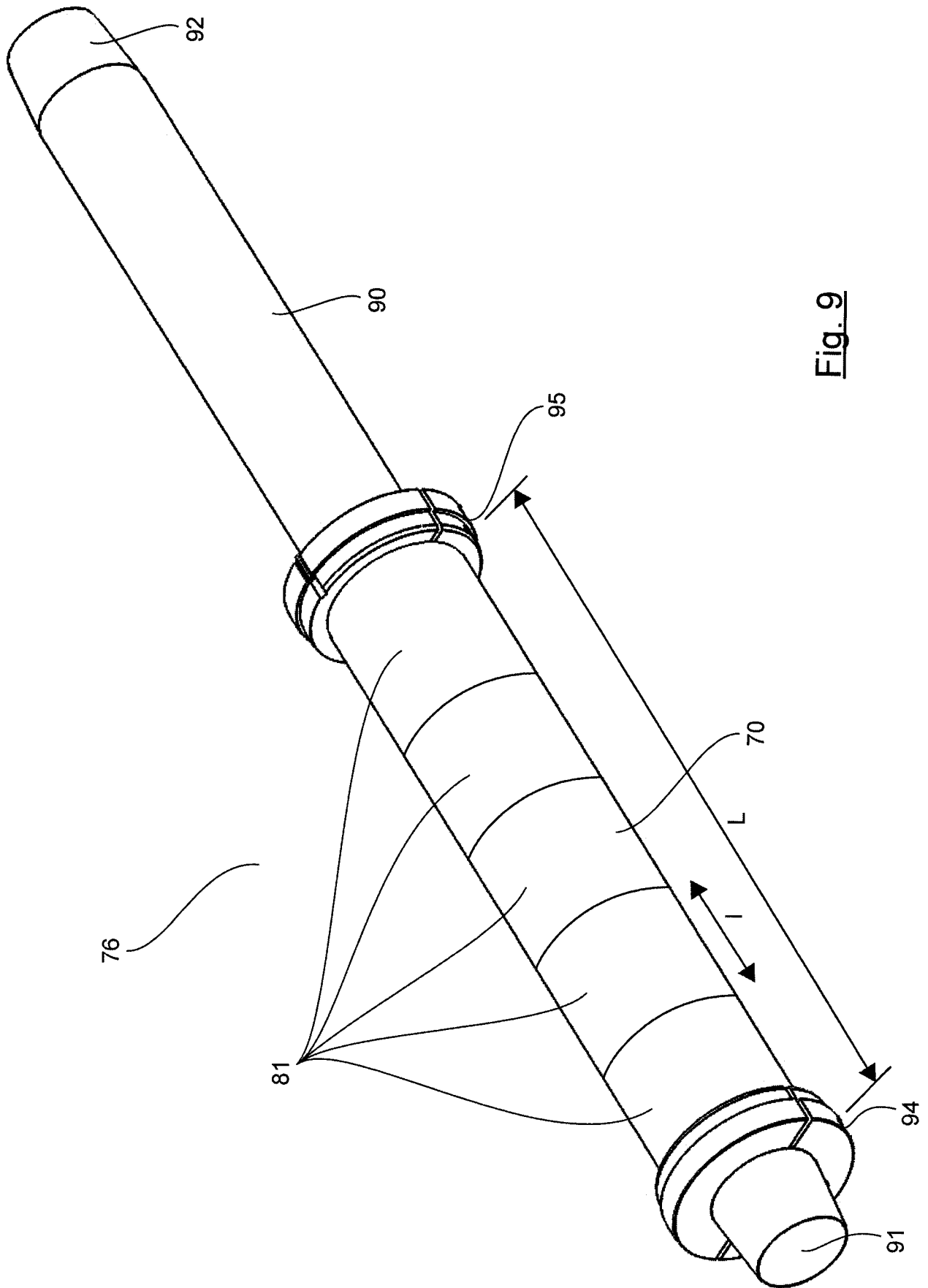


Fig. 9

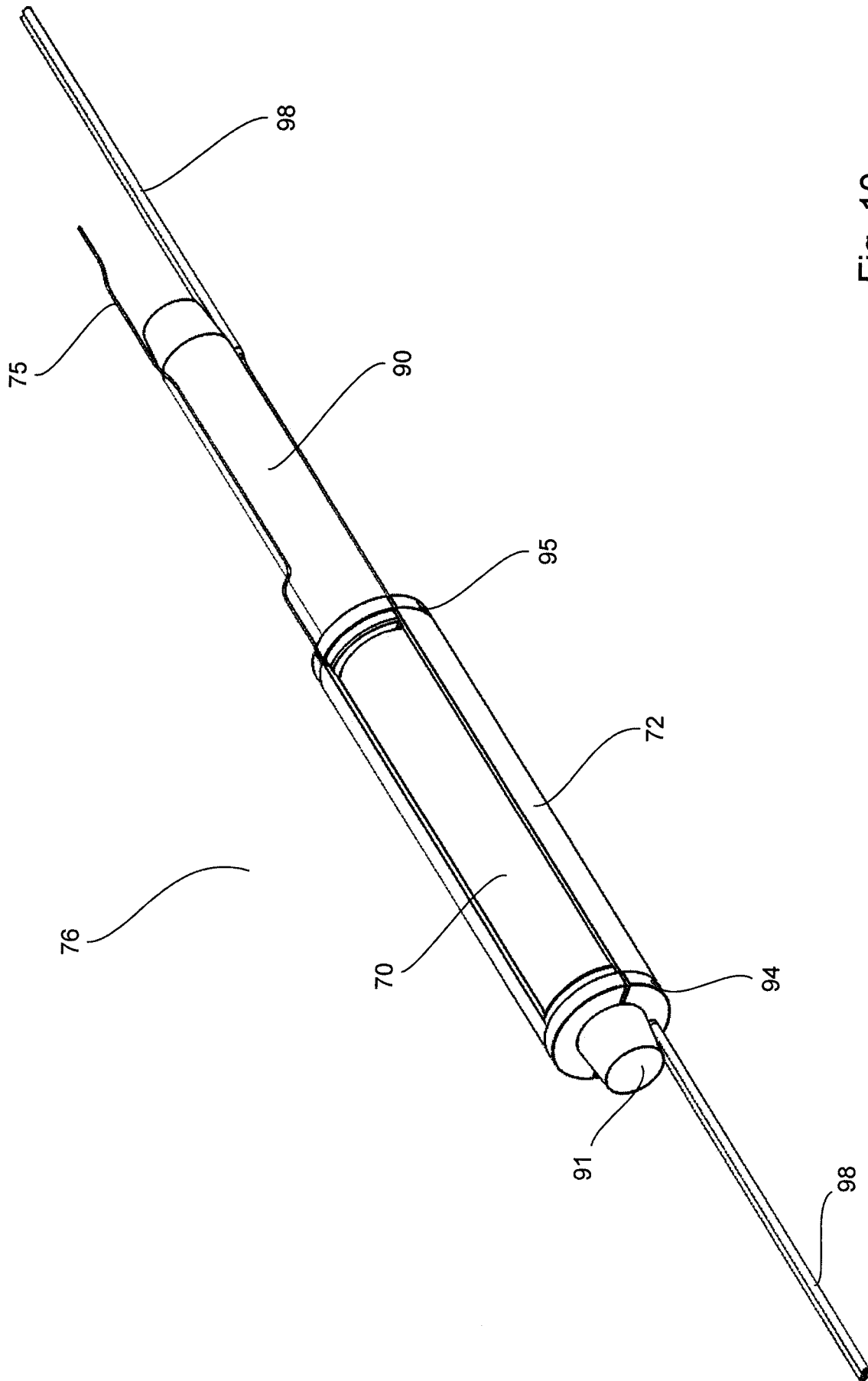


Fig. 10

10/10

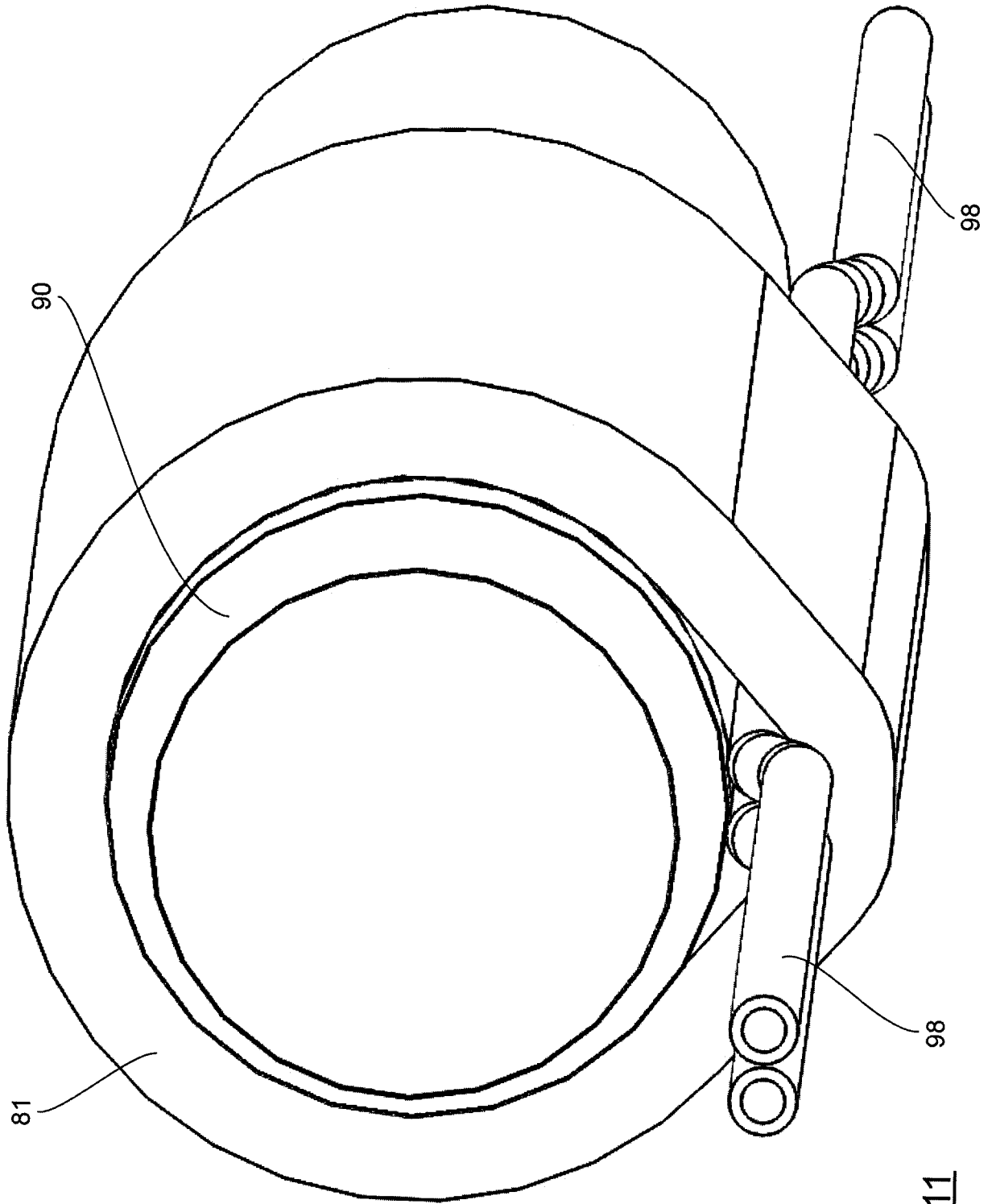


Fig. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/053236

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. E21B34/06
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02G E21B H01F H03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/036085 A1 (BASS RONALD MARSHALL [US] ET AL) 28 March 2002 (2002-03-28)	1,3,7,9, 11,12
Y	figures 1, 4a, 4b page 2, paragraph 0011 page 4, paragraphs 0042, 0044, 0049 page 5, paragraphs 0052, 0059 page 6, paragraphs 0060, 0061, 0062	2,4,8
Y	JP H02 43709 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 14 February 1990 (1990-02-14) abstract pages 2, 4	2
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 15 April 2015	Date of mailing of the international search report 22/04/2015
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Bossi, Paolo
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/053236

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2008/097101 A1 (STATOILHYDRO ASA [NO]; ROSTEN TAGE [NO]; BOLAS TROND [NO]) 14 August 2008 (2008-08-14)	4
A	page 1, line 7 - line 11 page 8, line 14 - line 25 page 8, line 27 - line 33 page 9, line 2 - line 6 figures 2a, 2b	5,6
Y	----- FR 2 755 292 A1 (MECAGIS [FR]) 30 April 1998 (1998-04-30) page 1, line 3 - line 15	8
A	----- FR 2 965 602 A1 (ELECTRONIQUE IND DE L OUEST TRONICO [FR]) 6 April 2012 (2012-04-06) page 1, line 2 - line 8 page 9, line 13 - line 16 page 9, line 20 - line 25 page 10, line 11 - line 24 figures 1-4	1,10,12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2015/053236

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2002036085	A1	28-03-2002	US 2002036085 A1 28-03-2002
			US 2004079524 A1 29-04-2004
			US 2004144530 A1 29-07-2004

JP H0243709	A	14-02-1990	JP H0243709 A 14-02-1990
			JP H0748430 B2 24-05-1995

WO 2008097101	A1	14-08-2008	AU 2008213158 A1 14-08-2008
			DE 112008000354 T5 18-03-2010
			NO 330103 B1 21-02-2011
			RU 2009133790 A 20-03-2011
			US 2010212962 A1 26-08-2010
			WO 2008097101 A1 14-08-2008

FR 2755292	A1	30-04-1998	AT 210332 T 15-12-2001
			AU 715096 B2 13-01-2000
			AU 4102997 A 30-04-1998
			CN 1188317 A 22-07-1998
			CZ 9703372 A3 13-01-1999
			DE 69708828 D1 17-01-2002
			DE 69708828 T2 20-06-2002
			EP 0844628 A1 27-05-1998
			ES 2166516 T3 16-04-2002
			FR 2755292 A1 30-04-1998
			HK 1011578 A1 29-10-2004
			HU 9701672 A2 28-06-1999
			JP H10130797 A 19-05-1998
			PL 322808 A1 27-04-1998
			SK 144597 A3 06-05-1998
			TR 9701235 A2 21-10-1999
			US 5922143 A 13-07-1999
			ZA 9709359 A 12-05-1998

FR 2965602	A1	06-04-2012	AR 083266 A1 13-02-2013
			CA 2813019 A1 12-04-2012
			EP 2625369 A1 14-08-2013
			FR 2965602 A1 06-04-2012
			US 2013186669 A1 25-07-2013
			WO 2012045698 A1 12-04-2012

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2015/053236

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. E21B34/06 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H02G E21B H01F H03H		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2002/036085 A1 (BASS RONALD MARSHALL [US] ET AL) 28 mars 2002 (2002-03-28)	1,3,7,9, 11,12
Y	figures 1, 4a, 4b page 2, alinéa 0011 page 4, alinéas 0042, 0044, 0049 page 5, alinéas 0052, 0059 page 6, alinéas 0060, 0061, 0062	2,4,8
Y	JP H02 43709 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 14 février 1990 (1990-02-14) abrégé pages 2, 4	2
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 15 avril 2015		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 22/04/2015
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Bossi, Paolo

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 2008/097101 A1 (STATOILHYDRO ASA [NO]; ROSTEN TAGE [NO]; BOLAS TROND [NO]) 14 août 2008 (2008-08-14)	4
A	page 1, ligne 7 - ligne 11 page 8, ligne 14 - ligne 25 page 8, ligne 27 - ligne 33 page 9, ligne 2 - ligne 6 figures 2a, 2b	5,6
Y	----- FR 2 755 292 A1 (MECAGIS [FR]) 30 avril 1998 (1998-04-30) page 1, ligne 3 - ligne 15	8
A	----- FR 2 965 602 A1 (ELECTRONIQUE IND DE L OUEST TRONICO [FR]) 6 avril 2012 (2012-04-06) page 1, ligne 2 - ligne 8 page 9, ligne 13 - ligne 16 page 9, ligne 20 - ligne 25 page 10, ligne 11 - ligne 24 figures 1-4	1,10,12

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2015/053236

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2002036085	A1	28-03-2002	US 2002036085 A1	28-03-2002
			US 2004079524 A1	29-04-2004
			US 2004144530 A1	29-07-2004

JP H0243709	A	14-02-1990	JP H0243709 A	14-02-1990
			JP H0748430 B2	24-05-1995

WO 2008097101	A1	14-08-2008	AU 2008213158 A1	14-08-2008
			DE 112008000354 T5	18-03-2010
			NO 330103 B1	21-02-2011
			RU 2009133790 A	20-03-2011
			US 2010212962 A1	26-08-2010
			WO 2008097101 A1	14-08-2008

FR 2755292	A1	30-04-1998	AT 210332 T	15-12-2001
			AU 715096 B2	13-01-2000
			AU 4102997 A	30-04-1998
			CN 1188317 A	22-07-1998
			CZ 9703372 A3	13-01-1999
			DE 69708828 D1	17-01-2002
			DE 69708828 T2	20-06-2002
			EP 0844628 A1	27-05-1998
			ES 2166516 T3	16-04-2002
			FR 2755292 A1	30-04-1998
			HK 1011578 A1	29-10-2004
			HU 9701672 A2	28-06-1999
			JP H10130797 A	19-05-1998
			PL 322808 A1	27-04-1998
			SK 144597 A3	06-05-1998
			TR 9701235 A2	21-10-1999
			US 5922143 A	13-07-1999
			ZA 9709359 A	12-05-1998

FR 2965602	A1	06-04-2012	AR 083266 A1	13-02-2013
			CA 2813019 A1	12-04-2012
			EP 2625369 A1	14-08-2013
			FR 2965602 A1	06-04-2012
			US 2013186669 A1	25-07-2013
			WO 2012045698 A1	12-04-2012
