



(11) **EP 3 108 087 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
08.07.2020 Bulletin 2020/28

(51) Int Cl.:
E21B 41/00^(2006.01) E21B 7/15^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **15705332.3**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2015/053634

(22) Date de dépôt: **20.02.2015**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2015/124733 (27.08.2015 Gazette 2015/34)

(54) **SYSTÈME DE FORAGE ROTARY PAR DÉCHARGES ÉLECTRIQUES**
SYSTEM ZUM ROTATIONSBOHREN MITTELS ELEKTRISCHER ENTLADUNG
SYSTEM FOR ROTARY DRILLING BY ELECTRICAL DISCHARGE

(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: **21.02.2014 FR 1451428**

(43) Date de publication de la demande:
28.12.2016 Bulletin 2016/52

(73) Titulaire: **I.T.H.P.P**
46500 Thegra (FR)

(72) Inventeurs:
• **BAYOL, Frédéric**
46120 Themines (FR)

- **DRAMANE, Boni**
69100 Villeurbanne (FR)
- **GAUSSEN, Jean-Louis**
24190 Neuvic (FR)
- **GOEPFERT, Christophe**
45100 Orléans (FR)

(74) Mandataire: **August Debouzy**
6-8, avenue de Messine
75008 Paris (FR)

(56) Documents cités:
WO-A1-99/37017 WO-A1-03/069110
US-A1- 2006 191 687 US-A1- 2011 100 640
US-A1- 2013 140 086 US-A1- 2013 228 373

EP 3 108 087 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

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention se rapporte à un dispositif et un procédé de forage rotary par décharges électriques et certains éléments du dispositif.

ARRIERE-PLAN TECHNIQUE

[0002] Les techniques conventionnelles de forage dans les domaines Oil & Gaz, Mines, Géothermie, Génie civil et autres activités consistent à faire tourner un outil de forage en fond de trou et à lui appliquer conjointement une force de poussée de l'ordre de quelques tonnes à quelques dizaines de tonnes. La rotation de l'outil de forage est assurée par la rotation de l'ensemble du train de tiges depuis la surface (système dit « forage rotary » dans l'art) ou grâce à un moteur hydraulique de fond (turboforage). Les outils de forage utilisés sont de type tricône à molette, PDC [Poly Diamond Crystalline] ou à matrice imprégnée. Dans tous les cas, la destruction de la roche est réalisée par effet mécanique. Les débris de roche produits par l'outil (les cuttings) sont remontés vers la surface dans l'espace existant entre les parois du trou et le train de tiges (l'espace annulaire) grâce à la circulation ascensionnelle du fluide de forage.

[0003] Cependant ces techniques se heurtent à des vitesses d'avancement faible dans certaines formations géologiques très dures et ou très abrasives. Pour résoudre ce problème, diverses alternatives aux techniques conventionnelles ont été imaginées. Parmi ces diverses tentatives, il a été proposé une technique fondée sur l'injection répétitive d'impulsions électriques de très forte puissance dans le terrain directement grâce à des électrodes placées sous l'outil de forage. Des arcs électriques se produisent entre les électrodes, pénètrent dans le terrain et créent un tunnel de plasma. L'expansion des gaz engendrés par le plasma fracture la roche et produit des cuttings qui sont alors éliminés de façon conventionnelle par le débit de fluide. Cette technique, bien connue depuis longtemps, porte différentes appellations dans la littérature du type « drilling by electrical discharge pulses », « plasma channel drilling process » ou « pulsed electric rock drilling apparatus ».

[0004] Le document US005845854A, faisant référence à des publications antérieures, indique comment optimiser la distance inter-électrodes en fonction du temps de montée en tension (rise time). Le document US6164388 donne des équations permettant d'optimiser le fonctionnement et revendique une conception optimisée du circuit de puissance grâce à l'utilisation de redresseurs à semi-conducteur. Le document WO-A-03/069110 donne des ordres de grandeur relatifs aux paramètres électriques de ce procédé (tension, énergie, durée d'impulsion). Cependant, ces trois brevets souffrent d'une faiblesse majeure, savoir l'alimentation électrique des électrodes. En effet, le générateur d'impul-

sions de ces systèmes est localisé en surface. Un moyen de transmission (par câble ou autre système) est donc nécessaire pour relier la surface au fond du puits, ce qui entraîne une complexité et des problèmes de sécurité.

[0005] Certains documents mettent en exergue la combinaison de cette technique avec d'autres procédés. Ainsi, le document US7416032 fait référence à un système de forage par décharges électriques avec combinaison de l'effet électrique et mécanique. Le document US7527108 fait référence à un système portatif de forage par décharges électrique en contexte minier pour des forages de linéaire métrique. Le document US7784563 fait référence à un système de forage par décharges électriques et notamment un mécanisme permettant de maintenir un contact permanent entre la roche et les électrodes. Le document EP2554780 présente une combinaison entre un système de forage par décharges électriques et un procédé de refroidissement et de pulsation du fluide de forage. Le document EP2554778 présente une combinaison entre un système de forage par décharges électriques, un système de capteurs de forage dirigé et un système de LWD (Logging While Drilling).

[0006] L'ensemble de ces documents présente la même faiblesse : malgré la présence du générateur d'impulsions en fond de puits, l'énergie électrique requise pour alimenter ce dernier est fournie par un câble venant de la surface. Or, la présence d'un câble est un obstacle majeur qui s'oppose à l'utilisation opérationnelle de ces systèmes. En effet, dans le cas d'utilisation de tiges conventionnelles, la présence d'un câble interdit la rotation de ces dernières. Un tel handicap contredit une règle fondamentale de la profession : pouvoir à tout moment faire tourner la garniture de tiges.

[0007] Certains documents évoquent toutefois la possibilité d'utiliser un générateur électrique de fond pour alimenter un système de forage par décharges électrique, comme par exemple les documents US2009/00500371, US8109345, US7784563 et US2013/0140086. En particulier, le document US2013/0140086 décrit un appareil et une méthode de régulation de l'énergie fournie à un système d'énergie pulsée comprenant un commutateur de commande de charge commandant le moment où l'énergie produite par un système d'alimentation primaire alimente un câble. Le commutateur de commande de charge régule aussi la puissance fournie au système d'énergie pulsée dans un ensemble de fond de trou. Cependant ces documents ne fournissent aucun détail sur le fonctionnement du système dans une telle configuration, le premier document étant justement sur un système non-tournant. Or un des avantages principaux d'un générateur électrique de fond est de pouvoir faire tourner la garniture de forage depuis la surface. De plus, dans le cas de l'utilisation d'un générateur électrique de fond, ces documents ne traitent pas les trois questions essentielles suivantes: la maîtrise du fonctionnement du système depuis la surface, la sécurité du personnel vis-à-vis du risque haute tension lors des remontées de la garniture de forage et la compati-

bilité avec l'utilisation d'un MWD (Measurement While Drilling) dont l'usage est de nos jours quasiment systématique notamment en forage pétrolier.

RESUME DE L'INVENTION

[0008] Schématiquement, l'équipement de fond est incorporé à l'extrémité d'une garniture de forage (un ensemble de tiges et de masse-tiges) et se compose de quatre parties principales:

- un générateur électrique,
- un générateur d'impulsions,
- un interrupteur électrique à coulisse,
- un outil de forage électrique.

[0009] Le générateur électrique convertit l'énergie hydraulique du fluide de forage en énergie électrique et délivre un courant électrique qui alimente le générateur d'impulsions.

[0010] Le générateur d'impulsions comprend classiquement des condensateurs et de commutateurs de puissance. Les condensateurs sont alimentés par le générateur électrique. Les commutateurs de puissance délivrent des impulsions de haute tension de façon répétitive vers les électrodes de l'outil de forage électrique.

[0011] L'outil de forage électrique est équipé d'un système d'électrodes. Le système d'électrodes est constitué d'électrodes haute tension (reliées électriquement aux condensateurs du générateur d'impulsions) et d'électrodes à la masse.

[0012] L'interrupteur électrique à coulisse permet de piloter, depuis la surface, de façon simple et fiable, le fonctionnement électrique du système, et ce, sans câble de transmission.

[0013] Parallèlement à la mise en œuvre du procédé électrique, la garniture de forage est mise en rotation de façon conventionnelle depuis la surface puisque aucun câble ou autre système de transmission de l'énergie électrique ne s'oppose à ce mouvement. Ainsi, le foreur dispose d'un système entièrement compatible avec le « rig » de forage et les procédures standards tout en assurant le contrôle du fonctionnement électrique du système de fond grâce à l'interrupteur électrique à coulisse.

[0014] L'interrupteur électrique à coulisse permet de piloter à distance et rend le système fonctionnel et sûr.

[0015] L'invention pallie donc l'ensemble de ces faiblesses en proposant un système de forage par décharges électriques qui ne nécessite aucune liaison électrique depuis la surface et qui permet de commander le fonctionnement du système de fond depuis la surface de façon simple et sûre. L'invention est en outre entièrement compatible avec l'équipement standard des appareils de forage ainsi qu'avec les procédures de forage conventionnelles. L'invention offre donc sécurité, fiabilité et performance.

[0016] Ainsi, l'invention fournit un dispositif de fond pour forage rotary comprenant :

- un générateur électrique installé au bout d'un train de tiges et/ou masse tiges et convertissant l'énergie hydraulique du fluide de forage en énergie électrique ;
- 5 - un générateur d'impulsions relié mécaniquement et électriquement audit générateur électrique, et alimentant un système d'électrodes porté par l'outil de forage ;
- un outil de forage électrique, connecté mécaniquement et électriquement audit générateur d'impulsions, entraîné en rotation par le train de tiges et/ou masse tiges et comprenant un système d'électrodes actives et passives ; et
- 10 - un système d'interrupteur électrique à coulisse.

15

[0017] Selon un mode de réalisation, le dispositif comprend deux interrupteurs à coulisse :

- 20 - un premier interrupteur électrique à coulisse entre la partie du générateur électrique qui convertit l'énergie hydraulique en énergie mécanique et la partie du générateur électrique qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique de telle sorte qu'en position « ouverte » cet interrupteur interdit la production d'électricité et ce même si la circulation du fluide de forage est établie dans ledit compartiment hydraulique ; et
- 25 - un second interrupteur électrique à coulisse au niveau de l'outil de forage électrique de telle sorte qu'en position « ouverte » cet interrupteur force la décharge des condensateurs (16) dudit générateur d'impulsions et empêche leur charge même dans le cas où le compartiment électrique produirait un courant électrique.
- 30
- 35

[0018] Selon un mode de réalisation, la rotation dudit outil de forage électrique combine l'effet mécanique des dites électrodes passives avec l'effet des décharges électriques.

40 **[0019]** Selon un mode de réalisation, la rotation dudit outil de forage électrique fait balayer la totalité de la surface du trou par les arcs électriques de direction radiale qui se produisent entre les dites électrodes passives et actives.

45 **[0020]** Selon un mode de réalisation, ladite coulisse, jouant le rôle d'interrupteur électrique, est normalement ouverte grâce à un ressort mécanique maintenant ladite coulisse ouverte et l'état ouvert du circuit d'alimentation dudit générateur d'impulsions et l'état « court-circuité » des condensateurs grâce à un circuit qui relie les deux bornes des dits condensateurs à une résistance de décharge.

50 **[0021]** Selon une variante, la position « normalement ouverte » de ladite coulisse est renforcée par une action positive déclenchée depuis la surface par injection de fluide de forage dans la garniture.

55 **[0022]** Selon l'invention, le passage de la position ouverte à la position fermée de ladite coulisse est permis

par une action positive déclenchée depuis la surface consistant à appliquer un poids sur ledit outil de forage électrique.

[0023] Dans le dispositif selon l'invention :

- le générateur électrique comprend une turbine ou un moteur à déplacement positif, dont le rotor, entraîné en rotation par le débit du fluide de forage, entraîne à son tour le rotor de l'alternateur,
- l'interface entre ledit rotor de la dite turbine ou dudit moteur et ledit rotor dudit alternateur comprend un interrupteur électrique à coulisse permettant un embrayage mécanique.

Selon un mode de réalisation, dans le dispositif selon l'invention :

- ledit système d'électrodes actives et passives comprend deux groupes d'électrodes isolés électriquement l'un par rapport à l'autre mais solidaires mécaniquement l'un de l'autre tant d'un point de vue axial que d'un point de vue angulaire, ledit groupe comprenant (i) un groupe d'électrodes passives, électrodes à la masse, et (ii) un groupe d'électrodes actives, électrodes haute tension ; ou
- ledit système d'électrodes actives et passives comprend deux groupes d'électrodes isolés électriquement l'un par rapport à l'autre mais découplés mécaniquement l'un de l'autre d'un point de vue angulaire mais non découplés d'un point de vue axial, ledit groupe comprenant (i) un groupe d'électrodes passives, électrodes à la masse, localisé en partie périphérique dudit outil de forage électrique, et un groupe d'électrodes actives, électrodes haute tension, localisé en partie centrale du dit outil de forage électrique, et non solidaire mécaniquement du groupe d'électrodes passives de sorte qu'il ne soit pas entraîné en rotation par ce dernier ; ou
- ledit système d'électrodes actives et passives comprend deux groupes d'électrodes isolés électriquement l'un par rapport à l'autre mais découplés mécaniquement l'un de l'autre tant d'un point de vue angulaire que d'un point de vue axial, ledit groupe comprenant (i) un groupe d'électrodes passives, électrodes à la masse, localisé en partie périphérique, et (ii) un groupe d'électrodes actives, électrodes haute tension, localisé en partie centrale du dit outil de forage électrique, doté d'une course axiale de préférence de plusieurs centimètres et soumis à la force d'un soufflet à ressort permettant aux électrodes d'être en contact permanent avec la roche ; ou
- ledit système d'électrodes actives et passives comprend deux groupes d'électrodes isolés électriquement l'un par rapport à l'autre mais solidaires mécaniquement l'un de l'autre d'un point de vue angulaire mais non solidaires mécaniquement d'un point de vue axial, ledit groupe comprenant (i) un groupe d'électrodes passives, électrodes à la masse, et (ii)

un groupe d'électrodes actives, électrodes haute tension, en position centrale désaxée par rapport à l'axe dudit outil de forage électrique, doté d'une course axiale de préférence de plusieurs centimètres et soumis à la force d'un soufflet à ressort permettant aux électrodes d'être en contact permanent avec la roche.

[0024] Selon un mode de réalisation, la partie terminale de l'outil de forage électrique comprend une chambre intérieure exempte de tous matériaux solides à l'exception des électrodes.

[0025] Selon un mode de réalisation, ledit générateur d'impulsions est traversé en son axe par un tube axial creux en matériau isolant connecté mécaniquement en partie basse dudit générateur d'impulsions à un tube métallique de telle sorte que le continuum desdits tubes assure la transmission du fluide de forage et que ledit tube métallique inférieur, de préférence seul ce tube, reçoive les décharges électriques du dit générateur d'impulsions.

[0026] Selon un mode de réalisation, ledit générateur d'impulsions est un générateur de type Linear Transformer Driver LTD ou un générateur de Marx ou un transformateur de TESLA.

[0027] Selon un mode de réalisation, plusieurs modules constitués de dispositifs de stockage d'énergie de préférence des condensateurs et de commutateurs de puissance de préférence éclateur à gaz sont empilés les uns sur les autres dans l'espace annulaire situé entre ledit tube axial creux et l'enveloppe métallique extérieure.

[0028] Selon une variante, lesdits commutateurs de puissance sont constitués d'électrodes annulaires ayant la forme d'un anneau.

[0029] Selon un mode de réalisation, le dispositif comprend en outre un raccord isolant comprenant deux pièces métalliques, une pièce supérieure et une pièce inférieure, séparées par un matériau isolant et emboîtées entre elles pour transmettre les contraintes axiales ainsi que les contraintes de couple entre ladite pièce supérieure et ladite pièce inférieure.

[0030] Selon un mode de réalisation, les électrodes comprennent des inserts en matériau dur et abrasif, de préférence de type Poly Diamond Crystalline (PDC) ou de type carbure de tungstène et/ou une matrice métallique comprenant une poudre ou des microparticules de matériaux durs, de préférence de diamant.

[0031] L'invention a encore pour objet un dispositif de forage rotary, comprenant le dispositif de fond selon l'invention qui est incorporé à l'extrémité d'une garniture de forage comprenant un ensemble de tiges et éventuellement de masse-tiges pour la transmission de l'énergie électrique et un appareil de forage comprenant un système d'entraînement en rotation d'un train de tiges et/ou de masse tiges, et des pompes de forage d'injection de fluide de forage à l'intérieur du train de tiges et/ou masse tiges.

[0032] L'invention a encore pour objet un procédé de forage, par mise en rotation du dispositif de forage rotary

selon l'invention.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0033]

La **figure 1** représente un système d'ensemble en configuration « coulisse positionnée au niveau de l'outil de forage électrique ». Dans celle-ci :

- 1 : appareil de forage équipé d'un derrick, d'un mât ou de tout autre système de manutention,
- 2 : système de mise rotation de la garniture de forage,
- 3 : pompes permettant d'injecter le fluide de forage sous fort débit et forte pression,
- 4 : un train de tiges et / ou de masses tiges,
- 5 : un générateur électrique,
- 6 : générateur d'impulsions,
- 7 : outil de forage électrique,
- 8 : stabilisateur
- 9 : interrupteur électrique à coulisse positionné au niveau de l'outil de forage électrique,
- 10 : système d'électrodes.

La **figure 2** représente un système d'ensemble en configuration « coulisse positionnée entre le générateur électrique et le générateur d'impulsions ». La légende de la figure 1 s'applique *mutatis mutandis*. La **figure 3** représente un système d'ensemble en configuration « deux interrupteurs électriques à coulisse ». Dans celle-ci :

- 9s : interrupteur électrique à coulisse supérieur
- 9i : interrupteur électrique à coulisse inférieur
- 5a : compartiment hydraulique
- 5b : compartiment électrique
- 5 : générateur électrique

La **figure 4** représente un générateur d'impulsions et outil de forage électrique en configuration « coulisse ouverte » - Configuration « coulisse positionnée au niveau de l'outil de forage électrique ». Dans celle-ci :

- 6 : générateur d'impulsions
- 8 : stabilisateur
- 9 : interrupteur à coulisse en position « normalement ouverte »
- 11 : électrodes à la masse
- 12 : électrode haute tension centrale ou désaxée
- 13 : isolant
- 14 : ressort en position décompressée
- 15 : soufflet à ressort en position déployée
- 16 : condensateur
- 17 : système d'ouverture / fermeture du circuit de charge des condensateurs et de décharge

des condensateurs sur résistance en configuration « normalement désactivée »

- 18 : orifices de circulation du fluide de forage
- 19 : système de transmission mécanique

La **figure 5** représente un générateur d'impulsions et outil de forage électrique en configuration « coulisse fermée » - Configuration « coulisse positionnée au niveau de l'outil de forage électrique ». Dans celle-ci :

- 6 : générateur d'impulsions
- 8 : stabilisateur
- 9 bis: interrupteur à coulisse en position « fermée »
- 11 : électrodes à la masse
- 12 : électrode haute tension centrale ou désaxée
- 13 : isolant
- 14 bis : ressort en position comprimée
- 15 bis : soufflet à ressort en position repliée
- 16 : condensateur
- 17 bis : système d'ouverture / fermeture du circuit de charge des condensateurs et de décharge des condensateurs sur résistance en configuration « activée »
- 18 : orifices de circulation du fluide de forage
- 19 : système de transmission mécanique
- 36 : chambre haute tension

La **figure 6** représente un outil de forage électrique, doté d'un interrupteur électrique à coulisse, en configuration « électrodes haute tension constituées d'une électrode centrale ou désaxée et de plusieurs électrodes périphériques ». Dans celle-ci :

- 11 : électrodes à la masse
- 12 : électrode haute tension centrale ou désaxée
- 12 bis : électrodes haute tension périphériques
- 13 : isolant
- 36 : chambre haute tension

La **figure 7** représente un détail du fonctionnement de la partie mécanique et hydraulique de l'interrupteur électrique à coulisse lorsque positionnée au niveau de l'outil de forage électrique. Dans celle-ci, outre les références déjà données pour les figures 4 et 5 :

- 20 : canaux de circulation du fluide de forage
- 21 : force F1 d'ouverture de la coulisse exercée par le ressort 14
- 22 : force F2 qui résulte de la pression engendrée par les pertes de charge [P2 (24) -P1(25)] du fluide dans les canaux (20) de l'isolant et de la section S (23) sur laquelle s'applique cette pression

- 23 : surface sur laquelle s'exerce la pression qui résulte des pertes de charge [P2 (24) -P1(25)] du fluide dans les canaux (20) de l'isolant
- 24 : pression P1 du fluide de forage en amont des canaux (20) de l'isolant
- 25 : pression P2 du fluide de forage en aval des canaux (20) de l'isolant

La **figure 8** représente un interrupteur électrique à coulisse positionné entre le compartiment hydraulique et le compartiment électrique du générateur électrique - position débrayée. Dans celle-ci :

- 36 : axe creux supérieur entraîné connecté sur le rotor du compartiment hydraulique (turbine ou moteur de fond)
- 37 : roulement supérieur
- 38 : mouvement de rotation de l'axe creux entraîné par le rotor du compartiment hydraulique (turbine ou moteur de fond) du générateur électrique
- 39 : joints
- 40 : mécanisme de connexion mécanique entre la partie supérieure et la partie inférieure de l'axe creux en position débrayée
- 41 : roulement inférieur
- 42 : axe creux inférieur connecté sur le rotor du compartiment électrique (alternateur) du générateur électrique
- 43 : ressort en position décompressée
- 47 : circulation du fluide de forage

La **figure 9** représente un interrupteur électrique à coulisse positionné entre le compartiment hydraulique et le compartiment électrique du générateur électrique - position embrayée. Dans celle-ci :

- 36 : axe creux supérieur entraîné connecté sur le rotor du compartiment hydraulique (turbine ou moteur de fond)
- 37 : roulement supérieur
- 38 : mouvement de rotation de l'axe creux entraîné par le rotor du compartiment hydraulique (turbine ou moteur de fond) du générateur électrique
- 39 : joints
- 41 : roulement inférieur
- 42 : axe creux inférieur connecté sur le rotor du compartiment électrique (alternateur) du générateur électrique
- 44 : mécanisme de connexion mécanique entre la partie supérieure et la partie inférieure de l'axe creux en position embrayée
- 45 : mouvement de rotation de l'axe creux inférieur entraîné par l'axe creux supérieur
- 46 : ressort en position comprimée
- 47 : circulation du fluide de forage

La **figure 10** représente un détail du fonctionnement d'une partie du circuit de décharge des condensateurs sur résistance de l'interrupteur électrique à coulisse. Dans celle-ci :

- 26 : générateur électrique
- 27 : circuit de décharge des condensateurs sur résistance
- 28 : générateur d'impulsions
- 29 : outil de forage électrique
- 30 : condensateur de découplage
- 31 : contacteur actionné par le système de transmission mécanique

La **figure 11** représente un exemple d'une configuration du système d'électrode avec un dispositif haute tension constitué d'une unique électrode centrale désaxée. Dans celle-ci :

- 32 : électrode à la masse
- 33 : électrode haute tension centrale désaxée
- 34 : distance D entre les pointes des électrodes à la masse et l'électrode centrale

La **figure 12** représente un exemple d'une configuration du système d'électrode avec un dispositif haute tension constitué d'une électrode centrale désaxée et d'électrodes périphériques. Dans celle-ci :

- 32 : électrode à la masse
- 33 : électrode haute tension centrale désaxée
- 34 : distance D entre les pointes des électrodes à la masse et l'électrode centrale
- 35 : électrode haute tension périphérique

La **figure 13** représente une coupe du générateur d'impulsions - configuration générateur de Marx avec éclateurs à gaz annulaires. Dans celle-ci :

- 48 : interface électrique entre le générateur d'impulsions et le tube axial creux haute tension
- 49 : éclateur à gaz à électrodes annulaire
- 50 : isolant
- 51 : électrode annulaire de l'éclateur à gaz
- 52 : circulation du fluide de forage
- 53 : tube axial creux en matériau isolant
- 54 : tube axial creux haute tension
- 55 : coque métallique externe
- 56 : module composé d'un dispositif de stockage d'énergie (condensateur) et d'un commutateur de puissance (éclateur à gaz)

La **figure 14** représente un raccord isolant. Dans celle-ci :

- 57 : pièce métallique inférieure
- 58 : pièce métallique supérieure
- 59 : écoulement fluide de forage

- 60 : isolant

La **figure 15** représente une vue d'une partie d'une électrode. Dans celle-ci :

- 61 : PDC
- 62 : matrice imprégnée

La **figure 16** représente une vue tridimensionnelle d'un outil selon l'invention.

DESCRIPTION DE MODES DE REALISATION DE L'INVENTION

[0034] L'invention est maintenant décrite plus en détail et de façon non limitative dans la description qui suit.

[0035] L'invention peut être utilisée potentiellement dans les domaines suivants :

- domaine pétrolier (exploration et développement de gisements d'huile et/ou de gaz),
- domaine minier (forage d'exploration),
- domaine géothermique (forage de puits basse ou haute enthalpie),
- domaine génie civil (forage d'évaluation géologique, forage de congélation, etc).

[0036] L'équipement de fond présenté est incorporé à l'extrémité d'une garniture de forage standard (un ensemble de tiges et/ou de masse-tiges) ne nécessitant aucun aménagement spécifique. Il se compose des éléments suivants :

- un générateur électrique (5),
- un générateur d'impulsions (6),
- un interrupteur électrique à coulisse (9),
- un outil de forage électrique (7).

[0037] Sont associés à cet équipement de fond un appareil de forage équipé d'un derrick, d'un mât ou de tout autre système de manutention (1), un système de mise rotation de la garniture de forage (2) et des pompes permettant d'injecter le fluide de forage sous fort débit et forte pression (3), ainsi qu'un train de tiges et / ou de masses tiges (4). Un stabilisateur (8) de conception standard peut être prévu.

[0038] Parallèlement à la mise en œuvre du procédé électrique, la garniture de forage peut être mise en rotation de façon conventionnelle depuis la surface (avec table de rotation et tige carrée ou « power swivel ») puisque aucun câble ou autre système de transmission de l'énergie électrique ne s'oppose à ce mouvement. Ainsi le foreur dispose d'un système entièrement compatible du « rig » de forage et des procédures standards tout en assurant le contrôle du fonctionnement électrique du système de fond grâce à la coulisse de l'outil.

[0039] Dans la figure 1, l'interrupteur électrique à coulisse est positionné au niveau de l'outil de forage électri-

que, tandis que dans la figure 2, il est positionné entre le générateur électrique et le générateur d'impulsions.

[0040] L'interrupteur électrique à coulisse peut donc être positionné au niveau de l'outil de forage électrique ou aux interfaces entre les différents composants du système.

[0041] La figure 3 présente également une configuration dans laquelle deux interrupteurs électriques à coulisse sont utilisés : l'un au niveau du générateur électrique et l'autre au niveau de l'outil de forage électrique.

[0042] L'équipement de fond est utilisé en conformité avec les procédures standards de forage et ne nécessite aucun aménagement particulier de l'appareil de forage.

[0043] Les différents composants du dispositif et du procédé selon l'invention sont décrits ci-après.

[0044] La fonction du générateur électrique (5) est de convertir l'énergie hydraulique du fluide de forage en énergie électrique. Dans une des différentes configurations considérées (en référence par exemple à la figure 3), le générateur électrique est constitué des composants suivants :

- un compartiment hydraulique (5a) de type turbine ou moteur hydraulique de fond comprenant une partie statorique et une partie rotorique,
- une interface mécanique assurant la transmission du mouvement de rotation du rotor du compartiment hydraulique au rotor du compartiment électrique,
- un compartiment électrique (5b) qui dans une configuration potentielle est lui-même subdivisé en deux parties :
 - un alternateur comprenant une partie statorique qui porte les bobinages de l'alternateur et une partie rotorique qui porte les composants aimantés,
 - un chargeur qui délivre un courant haute tension par exemple de 1 kV à 50 kV, de préférence entre 20 kV et 40 kV destiné à alimenter les condensateurs du générateur d'impulsions.

[0045] Dans cette configuration, le fluide de forage circule entre la partie statorique et la partie rotorique du compartiment hydraulique et fait tourner le rotor. Ce dernier entraîne à son tour le rotor de l'alternateur. Au niveau de l'interface entre le compartiment hydraulique et le compartiment électrique, le fluide de forage pénètre à l'intérieur du rotor de l'alternateur qui est constitué d'un arbre creux doté d'orifices en partie supérieure. Le courant électrique basse tension produit par l'alternateur alimente le chargeur haute tension qui à son tour alimente les condensateurs du générateur d'impulsions.

[0046] C'est la puissance du fluide de forage injecté par les pompes de l'appareil de forage situées en surface qui permet d'entraîner le générateur électrique. Ainsi, la conception de l'invention permet de s'affranchir de tout système de transmission de l'énergie électrique entre la surface et le fond tels que câble électrique, tiges conduc-

trices, coiled tubing ou tout autre système. La production de l'énergie électrique au fond élimine ainsi un obstacle fondamental à l'utilisation d'un système de forage par décharges électriques tels que présentés dans les différents documents de l'état de la technique. Cette conception rend le système de forage rotary par décharges électriques de la présente invention entièrement compatible avec les procédures standard de forage contrairement aux documents de l'état de la technique. Elle permet d'améliorer l'efficacité du processus de destruction de la roche en combinant l'effet mécanique apporté par la rotation et l'effet des décharges électriques. Elle permet de réaliser les manœuvres de garniture (remontée en surface et redescende au fond) de façon conventionnelle sans le handicap d'un câble fixé sur ou dans les tiges. Le mouvement permanent de rotation de la garniture permet également d'éviter les phénomènes classiquement redoutés de collage par pression différentielle et réduit les risques d'abandon de garniture dans le trou.

[0047] L'invention permet de commander le dispositif depuis la surface. Sans le dispositif complémentaire de l'invention, le foreur serait incapable d'autoriser ou interdire, depuis la surface, le fonctionnement électrique du système de forage rotary par décharges électrique. En effet, seul le pilotage de la circulation de boue par les pompes permet de déclencher ou d'arrêter le fonctionnement du système. Or, il est bien connu dans le métier du forage que, dès lors qu'une garniture de forage est présente dans le trou, la permanence de la circulation de la boue est une nécessité vitale tant vis-à-vis de la sécurité du trou que vis-à-vis de la sécurité du personnel et ce même si l'outil de forage n'est pas strictement en train de forer. Cette circulation permanente permet de prévenir les risques de venue de gaz ou d'huile sur les puits du domaine Oil and Gaz et permet d'éviter toute sédimentation de débris de roches (les cuttings) évitant ainsi les risques de coincement de garniture. Dans ces conditions, l'utilisation seule du générateur électrique, sans le dispositif selon l'invention, imposerait un fonctionnement électrique permanent du système de forage rotary par décharges électriques dès lors que la circulation de la boue serait active. Une telle logique serait gravement préjudiciable à la sécurité du personnel, à la sécurité du forage et à l'efficacité du procédé.

[0048] Vis-à-vis de la sécurité du personnel, il est essentiel de garantir que le fonctionnement électrique du système est arrêté et que les condensateurs sont déchargés lors de la remontée en surface de la garniture de forage. Il est également souhaitable, lorsque la garniture de forage se trouve sous la circulation de fluide au « sabot » (l'extrémité) d'un tubage métallique (cuvelage métallique ou « casing ») d'arrêter le fonctionnement électrique du système. L'invention permet d'atteindre cet objectif, par emploi de l'interrupteur à coulisse.

[0049] En termes de performance, il est important que le système ait une durée de vie aussi grande que possible. Cette raison recommande donc de ne déclencher le système de forage rotary par décharges électriques uni-

quement à partir du moment où la garniture de forage est au fond du trou c'est-à-dire lorsque le système est utilisé pour forer. L'invention permet aussi d'atteindre cet objectif, par emploi de l'interrupteur à coulisse qui va activer le dispositif en fond de trou seulement si on le souhaite.

[0050] Enfin, il est préférable de pouvoir arrêter ponctuellement le fonctionnement électrique du système lors de la transmission « mud pulse » d'un MWD pour éviter les interférences entre les systèmes. L'invention permet aussi d'atteindre cet objectif, par emploi de l'interrupteur à coulisse.

[0051] Tous ces exemples (liste non exhaustive) montrent clairement qu'il est souhaitable de disposer d'un moyen de pilotage à distance du fonctionnement électrique du système de forage rotary par décharges électrique et ce tout en main. Ce pilotage depuis la surface est rendue possible grâce à l'incorporation d'un interrupteur électrique à coulisse (9) positionné à divers endroits potentiels de l'architecture du système (cet interrupteur est décrit plus avant infra).

[0052] Dans une configuration selon l'invention, cet interrupteur électrique à coulisse est situé à l'interface entre le compartiment hydraulique et le compartiment électrique (cf figure 3). Cet interrupteur joue le rôle d'un embrayage mécanique. La position « normale » de cet interrupteur empêche le verrouillage mécanique du rotor du compartiment hydraulique avec celui du compartiment électrique. Elle apporte une garantie sur le fait que le système ne peut pas fonctionner tant que le foreur ne l'a pas décidé. La décision du foreur de faire fonctionner le système consiste à appliquer un poids sur l'outil significatif de plusieurs tonnes, par exemple entre 2t et 15t, en mettant une partie de la garniture de forage en compression. Lorsque le foreur applique cette force, la coulisse de l'interrupteur se ferme, le verrouillage mécanique entre les rotors des compartiments hydraulique et électrique est établi et le générateur électrique produit alors le courant électrique.

[0053] Dans une des configurations considérées, cet interrupteur électrique à coulisse permet d'actionner un système d'ouverture / fermeture de l'alimentation haute tension des condensateurs..

[0054] La position « normale » de cet interrupteur empêche l'alimentation électrique haute tension des condensateurs. Elle apporte une garantie sur le fait que le système ne peut pas fonctionner tant que le foreur ne l'a pas décidé. La décision du foreur de faire fonctionner le système consiste à appliquer un poids sur l'outil significatif de plusieurs tonnes en mettant une partie de la garniture de forage en compression. Lorsque le foreur applique cette force, la coulisse de l'interrupteur se ferme, un contact électrique est établi et le système peut alors fonctionner.

[0055] Dans une autre configuration considérée, cet interrupteur électrique à coulisse permet d'actionner un système de verrouillage mécanique entre le rotor du compartiment hydraulique et le rotor de l'alternateur (voir

les figures 8 et 9, infra). La position « normale » de cet interrupteur empêche le rotor de l'alternateur de tourner. Dans cette position, aucun courant électrique ne peut alors être produit. Comme dans le cas précédent, elle apporte une garantie sur le fait que le système ne peut pas fonctionner tant que le foreur ne l'a pas décidé. La décision du foreur de faire fonctionner le système consiste à appliquer, dans une même logique que celle décrite ci-dessus, un poids sur l'outil significatif de plusieurs tonnes en mettant une partie de la garniture de forage en compression. Lorsque le foreur applique cette force, la coulisse de l'interrupteur se ferme, le rotor du compartiment hydraulique embraye sur le rotor de l'alternateur et le système peut alors fonctionner.

[0056] Dans une autre configuration préférée, le système est doté de deux interrupteurs électriques à coulisse (comme représenté à la figure 3) :

- un interrupteur électrique à coulisse supérieur (9s) entre le compartiment hydraulique et le compartiment électrique du générateur électrique,
- un interrupteur électrique à coulisse inférieur (9i) au niveau de l'outil de forage électrique.

[0057] Ainsi dans cette configuration, le système est doté d'une double sécurité. L'interrupteur supérieur en position normale garantit que la production du générateur électrique est arrêtée et qu'aucun courant n'alimente le système et ce même si la circulation du fluide de forage est maintenue. L'interrupteur inférieur en position normale garantit quant à lui que les condensateurs du générateur d'impulsions sont déchargés et ne peuvent être rechargés.

[0058] Ainsi l'interrupteur électrique à coulisse selon l'invention, ainsi que le générateur électrique de fond confèrent au système de forage rotary par décharges électriques la fiabilité, la sûreté et la performance qu'exigent les règles du forage notamment dans le domaine pétrolier.

[0059] Les figures 4 et 5 représentent un générateur d'impulsions et l'outil de forage (coulisse positionnée au niveau de l'outil de forage électrique), en configuration coulisse ouverte et coulisse fermée, respectivement. Dans celles-ci, le générateur d'impulsions (6) est relié au stabilisateur (8), intégré dans l'interrupteur à coulisse (9). Le dispositif comprend des électrodes à la masse (11) et une électrode haute tension centrale ou désaxée unique (12) ou à une pluralité d'électrodes haute tension, entre lesquelles se trouve un isolant (13). Ces électrodes, qui dans leur partie terminale au niveau de la chambre haute tension (36) ne sont séparées par aucun matériau solide, délivrent les impulsions électriques nécessaires pour le forage. Le dispositif comprend par ailleurs des orifices de circulation du fluide de forage (18) et un système de transmission mécanique (19), ainsi que des jeux de condensateurs (16).

[0060] En position ouverte sur la figure 4, on peut voir un ressort en position décomprimée (14), un soufflet à

ressort en position déployée (15), le système (17) d'ouverture / fermeture du circuit de charge des condensateurs et de décharge des condensateurs sur résistance en configuration « normalement désactivée ».

[0061] En position fermée sur la figure 5, on a représenté l'interrupteur (9bis), en position fermée et le ressort en position comprimée (14bis), le soufflet à ressort en position repliée (15bis) et le système (17bis) d'ouverture / fermeture du circuit de charge des condensateurs et de décharge des condensateurs sur résistance (dump des condensateurs) en configuration « activée ». Dans cette configuration de la figure 5, le circuit d'alimentation haute tension du générateur d'impulsions est donc fermé et les condensateurs peuvent donc être chargés. Le détail du fonctionnement de l'ouverture / fermeture du circuit d'alimentation haute tension des condensateurs et de leur décharge est illustré par la figure 10, dans laquelle le générateur électrique (26) est connecté au circuit (27) de décharge des condensateurs sur résistance de « dump », ledit circuit de décharge comprenant aussi un condensateur de découplage (30) et un contacteur (31) actionné par le système de transmission mécanique, ce circuit étant connecté au générateur d'impulsions (28) lui-même lié à l'outil de forage (31).

[0062] La figure 7 représente un détail du fonctionnement de la partie mécanique et hydraulique de l'interrupteur à coulisse (coulisse positionnée au niveau de l'outil de forage électrique), en configuration coulisse ouverte et coulisse fermée, respectivement. Dans cette figure 7, sont à nouveau représentées les électrodes à la masse (11), haute tension centrale ou désaxée (12), l'isolant (13), le ressort en position décomprimée (14) et les orifices de circulation du fluide de forage (18). On a représenté en plus les canaux de circulation du fluide de forage (20) dans l'isolant (13), ainsi que les forces et pressions suivantes :

- 21 : force F1 d'ouverture de la coulisse exercée par le ressort 14
- 22 : force F2 qui résulte de la pression engendrée par les pertes de charge [P2(24) - P1(25)] du fluide dans les canaux (20) de l'isolant et de la section S (23) sur laquelle s'applique cette pression
- 23 : surface S sur laquelle s'exerce la pression qui résulte des pertes de charge [P2(24) - P1(25)] du fluide dans les canaux (20) de l'isolant
- 24 : pression P1 du fluide de forage en amont des canaux (20) de l'isolant
- 25 : pression P2 du fluide de forage en aval des canaux (20) de l'isolant.

[0063] Dans le but de renforcer l'action passive du ressort de la coulisse, les canaux verticaux de l'isolant sont dimensionnés pour créer une perte de charge ($\Delta P = P1 - P2$) qui se traduit par une force verticale F2 dirigée du haut vers le bas égale au produit de cette perte de charge par la surface de la partie coulissante inférieure ($F2 = \Delta P \times S$). Ainsi cette force vient renforcer la force F1 du ressort

et du poids suspendu sous la coulisse.

[0064] Ainsi, lorsque l'outil de forage électrique n'est pas en appui sur le fond du trou et que la circulation du fluide de forage est en fonction, le foreur a non seulement la certitude que les condensateurs ne sont plus alimentés mais également que ces derniers sont entièrement déchargés. En effet l'interrupteur électrique à coulisse, en position normalement ouverte, ouvre le circuit de charge des condensateurs mais également ferme le circuit de décharge des condensateurs sur résistance dite de « dump » (voir figure 10). Lorsque l'outil est en appui sur le fond du trou et qu'un poids supérieur aux forces cumulées du ressort et des pertes de charge est appliqué sur l'outil, la coulisse se referme et la tige de transmission actionne le système de fermeture / ouverture de circuit. Dès cet instant, le circuit de charge des condensateurs est fermé, les condensateurs ne sont plus reliés au système de décharge des condensateurs sur résistance dite de « dump » et le forage rotary par décharges électriques peut alors fonctionner.

[0065] La figure 6 est une représentation dans laquelle on peut voir les électrodes à la masse (11), l'électrode haute tension centrale ou désaxée (12), les électrodes haute tension périphériques (12bis), l'isolant (13) et la chambre haute tension (36) définie entre les électrodes.

[0066] Comme décrit supra, l'interrupteur électrique à coulisse assure les trois fonctions suivantes :

- interdire passivement, dans une logique de type « normalement interdit », la rotation du rotor de l'alternateur, et/ou l'alimentation électrique du chargeur haute tension par l'alternateur et/ou le circuit d'alimentation des condensateurs du générateur d'impulsions,
- assurer passivement, la fermeture du circuit de décharge des condensateurs sur résistance dans une logique de type « normalement déchargé » sur résistance dite de « dump »,
- autoriser, sur action positive déclenchée par le foreur depuis la surface :
 - la rotation du rotor de l'alternateur, et/ou
 - l'alimentation électrique du chargeur haute tension par l'alternateur, et/ou
 - l'alimentation des condensateurs du générateur d'impulsions, et
 - conjointement l'ouverture du circuit de décharge des condensateurs du générateur d'impulsions sur résistance (cf figure 10).

[0067] Ainsi, la position « normalement interdite » ou « normalement ouverte » de cet interrupteur est la position de sécurité qui garantit l'absence du risque haute tension et le non fonctionnement électrique du système de forage rotary par décharges électriques.

[0068] Selon l'invention, cet interrupteur est constitué d'une coulisse incorporée entre le compartiment hydraulique (la turbine ou le moteur de fond) et le compartiment

électrique (l'alternateur) du générateur électrique (comme représenté dans les figures 3, 7 et 8). La coulisse est constituée de deux parties coulissantes entre elles avec une butée haute et une butée basse autorisant une course de l'ordre de quelques centimètres à plusieurs décimètres, par exemple de 1cm à 20cm. Cette coulisse est conçue dans une logique de type « normalement ouverte » grâce à l'action d'un ressort mécanique de robuste constitution qui exerce une puissante force d'écartement entre les deux parties coulissantes. La masse suspendue sous la partie inférieure de la coulisse vient renforcer l'action du ressort qui maintient la coulisse en position ouverte. La partie supérieure de la coulisse porte un axe creux (connecté au rotor du compartiment hydraulique) monté sur roulement pour désolidariser les mouvements de rotation entre la coulisse et cet axe. La partie inférieure de la coulisse porte également un axe creux (connecté au rotor du compartiment électrique) monté sur roulement pour désolidariser les mouvements de rotation entre la coulisse et cet axe. Les axes creux supérieurs et inférieurs sont équipés d'un système d'embrayage. Un des axes est également doté de joints permettant d'assurer la continuité du flux de fluide de forage quelle que soit la position relative des deux axes. Lorsque la coulisse est ouverte, le fluide circule librement de l'espace stator / rotor du compartiment hydraulique vers l'intérieur du rotor du compartiment électrique (l'alternateur) et au-delà vers l'outil de forage électrique mais les deux rotors ne sont pas verrouillés mécaniquement. Ainsi, notwithstanding la permanence de la circulation du fluide de forage, le générateur électrique ne produit aucun courant puisque le rotor de l'alternateur ne tourne pas. Lorsque la coulisse se ferme, le système d'embrayage solidarise les deux rotors et autorise alors la rotation du rotor de l'alternateur. La fermeture de la coulisse n'est possible que lorsque le foreur met une partie de la garniture de forage en compression et applique un poids sur l'outil supérieur à la force d'ouverture du ressort. Dès cet instant, le système de forage rotary par décharges électrique peut alors fonctionner.

[0069] Les figures 8 et 9 représentent un détail de l'interrupteur à coulisse (coulisse positionnée entre le compartiment hydraulique et le compartiment électrique du générateur électrique) en position débrayée et embrayée, respectivement.

[0070] Est représenté l'axe creux (36) supérieur entraîné connecté sur le rotor du compartiment hydraulique (turbine ou moteur de fond) du générateur électrique, le mouvement de rotation étant identifié par la flèche (38). La circulation du fluide de forage est identifiée par la flèche (47). Cet axe est pris dans un roulement supérieur (37).

[0071] Est aussi représenté l'axe creux (42) inférieur connecté sur le rotor du compartiment électrique (alternateur) du générateur électrique, sans rotation. Cet axe est pris dans un roulement inférieur (41). Un joint (39) est présent à la connexion entre les axes supérieur (36) et inférieur (42). Le ressort (43) est en position décom-

pressée, maintenant les deux axes séparés.

[0072] Sur la figure 9, la position est embrayée et dans cette position le: ressort est en position comprimée (46) et il est créé un mécanisme (44) de connexion mécanique entre la partie supérieure et la partie inférieure de l'axe creux en position embrayée, ce qui conduit à un mouvement de rotation de l'axe creux inférieur entraîné par l'axe creux supérieur, identifié par la flèche (45), la connexion mécanique étant ainsi assurée.

[0073] Ainsi que décrit en référence aux figures et notamment la figure 6, l'interrupteur électrique à coulisse comprend trois parties

- une coulisse mécanique,
- un système de transmission mécanique,
- un système d'ouverture / fermeture de circuit.

[0074] Le système d'interrupteur à coulisse peut être incorporé (i) au niveau dudit outil de forage électrique ou (ii) à l'interface entre ledit outil de forage électrique ce dernier et ledit générateur d'impulsions ou (iii) au niveau dudit générateur d'impulsions ou (iv) entre ledit générateur d'impulsions et ledit générateur électrique ou (v) au niveau dudit générateur électrique ou (vi) au-dessus dudit générateur électrique.

[0075] La coulisse est généralement solidaire d'un système de transmission mécanique qui vient actionner le système d'ouverture / fermeture de circuit. Dans un mode de réalisation ce système est constitué d'une ou plusieurs tiges qui coulisent dans un logement pratiqué dans l'épaisseur du corps métallique extérieur du générateur d'impulsions et/ou du générateur électrique en fonction de la position de la coulisse dans l'architecture du système.

[0076] Les systèmes d'ouverture / fermeture de circuit actionnés par la coulisse sont notamment relatifs aux circuits suivants :

- le circuit d'alimentation du chargeur haute tension du générateur électrique ; et/ou
- le circuit d'alimentation des condensateurs du générateur d'impulsions ; et/ou
- le circuit de décharge des condensateurs sur résistance.

[0077] Dans un mode de réalisation, la coulisse est positionnée au niveau de l'outil de forage électrique. Dans cette configuration, la partie coulissante inférieure comprend des composants suivants :

- le corps qui porte les électrodes à la masse,
- l'isolant,
- le système d'électrodes haute tension.

[0078] Le générateur d'impulsions est connecté mécaniquement et électriquement au générateur électrique. C'est l'organe qui crée et délivre les impulsions de très forte tension à l'outil de forage électrique. Il peut être

basé sur diverses architectures d'élévation d'une tension primaire.

[0079] Trois architectures d'élévation de tension sont considérées. La première est fondée sur l'utilisation d'un générateur de Marx. La deuxième repose sur la technologie LTD (Linear Transformer Driver). La troisième est fondée sur la technologie des transformateurs de Tesla.

[0080] Dans les trois cas, comme représenté à la figure 13, le générateur d'impulsions est traversé en son axe par un tube axial creux dont les parois sont constituées d'un matériau isolant (53). Ce tube creux sert à la circulation du fluide de forage (52). Dans la partie inférieure du générateur d'impulsions, ce tube est connecté mécaniquement à un autre tube creux de même diamètre mais dont les parois sont en acier (54). Le tube en acier reçoit les impulsions de haute tension qui les transmet au système d'électrodes de l'outil de forage électrique.

[0081] Compte tenu de la présence du tube en partie axiale, la disposition préférée consiste à disposer les composants du générateur d'impulsions selon un schéma annulaire. Dans le cas de l'utilisation d'un générateur de Marx (un additionneur d'une tension élémentaire V_0 selon une suite arithmétique de terme initial nul et de raison V_0), une configuration considérée consiste à empiler des modules élémentaires (56) identiques et facilement remplaçables dans l'annulaire compris entre le tube axial creux et l'enveloppe métallique extérieure. Ces modules sont entourés d'un matériau isolant (53). Chaque module est composé d'un dispositif de stockage d'énergie (ici des condensateurs) et d'un commutateur de puissance. La capacité d'un module peut être comprise entre 20 nF et 1000 nF, de préférence entre 50 nF et 200 nF. Le nombre de modules utilisés détermine la gamme de tension souhaitée en sortie du générateur d'impulsions. La tension élémentaire appliquée à l'entrée du générateur d'impulsions est fournie par le chargeur haute tension du générateur électrique. Elle peut être comprise entre 1 kV et 50 kV, de préférence entre 20 kV et 40 kV. Typiquement la tension en sortie du générateur d'impulsions peut être comprise entre 200 kV et 1000 kV, de préférence entre 400 kV et 600 kV. La fréquence de production des impulsions de haute tension vers le système d'électrodes de l'outil de forage peut être comprise entre 1 Hz et 100 Hz, de préférence entre 5 Hz et 50 Hz.

[0082] Dans une configuration considérée, le commutateur de puissance est un éclateur à gaz (49). Ses électrodes sont des couronnes pleines annulaires (51). L'isolation électrique du commutateur de puissance est assurée par un gaz sous pression, conservé ou périodiquement renouvelé. La configuration annulaire et profilée des électrodes du commutateur de puissance permet d'augmenter la surface pouvant être érodée par électrode, ce qui est de nature à rallonger leur durée de vie.

[0083] L'isolation électrique entre modules est assurée grâce à l'utilisation d'emboîtement d'isolants et de joints compressés. La sortie du générateur d'impulsions est reliée au système d'électrodes de l'outil de forage par une interface isolée dont l'élément isolant peut être so-

lide, liquide ou gazeux.

[0084] Dans un mode de réalisation, le générateur d'impulsions est doté en partie haute, sous l'interface avec le générateur électrique, d'un système d'ouverture / fermeture du circuit de charge des condensateurs et de décharge de ces derniers (comme représenté sur les figures 3, 4 et 9). Ce système est actionné par un système de transmission mécanique mis en mouvement grâce à l'interrupteur électrique à coulisse qui est normalement ouvert. Ainsi, sans une action voulue par le foreur depuis la surface, ce dernier composant garantit que le fonctionnement électrique du système de forage rotary par décharges électrique est interrompu et que la manipulation de la garniture avec ou sans circulation de boue est possible en sécurité tant vis-à-vis du personnel que du matériel.

[0085] L'outil de forage électrique (voir par exemple les figures 3, 4 et 5), dans un mode de réalisation, comprend :

- un système d'électrodes, passives et actives,
- un corps comportant un stabilisateur de conception standard.

[0086] Le système d'électrodes est constitué de deux groupes d'électrodes séparés par un isolant :

- une ou plusieurs électrodes haute tension (33 et 35),
- un isolant (13),
- des électrodes à la masse (11 et 32).

[0087] Dans un des modes de réalisation considérés, le système d'électrodes haute tension est constitué d'un axe central creux connecté aux condensateurs. L'isolant est doté de canaux verticaux (20). Le fluide de forage circule à l'intérieur de l'axe central et emprunte deux chemins :

- l'intérieur de l'axe central jusqu'à l'extrémité de cet axe c'est-à-dire au bas de l'outil de forage électrique,
- les canaux verticaux de l'isolant (20) grâce à des perforations pratiquées dans l'axe central au-dessus de l'isolant (18).

[0088] Les électrodes à la masse sont solidaires du corps extérieur de l'outil de forage électrique et sont constituées par des excroissances à extension horizontale ou inclinée de robuste constitution (32) conçues pour résister à un couple et à un poids sur l'outil permettant d'utiliser le système en rotation conventionnelle. L'isolant (13) qui sépare le système d'électrodes haute tension du système d'électrodes à la masse est un matériau de type céramique, époxy ou de tout autre composant isolant et résistant à la fois à la température et aux efforts mécaniques auxquels il est soumis en conditions de forage.

[0089] Une des spécificités de l'outil de forage électrique selon l'invention réside dans l'agencement des électrodes par rapport à la matrice de l'outil. En effet, les

documents de l'art antérieur font apparaître une fixation des électrodes dans une matrice et induisent donc la présence d'un matériau solide entre les électrodes haute tension et les électrodes à la masse et ce à proximité de l'extrémité des électrodes. D'autres documents de l'art antérieur ne fournissent aucun détail sur cet aspect. En effet, un matériau solide, fut-il isolant, risque d'être détruit s'il est présent entre les électrodes dans une partie où la composante haute tension est trop rapprochée de la composante à la masse. Lors du forage, bien que l'essentiel des arcs électriques pénètre dans la roche, une faible proportion peut s'établir en ligne droite entre les électrodes. Cette tendance sera d'autant plus forte que le contact physique entre la roche et les électrodes sera moins bon. De plus, lorsque l'outil de forage électrique est décollé du fond du trou et dans l'hypothèse où le système serait toujours en fonctionnement (ce qui n'est pas le cas dans la présente invention grâce aux interrupteurs électriques à coulisse), c'est la totalité des arcs électriques qui passerait en ligne droite entre les électrodes détruisant alors les matériaux solides présents sur le trajet. Ainsi, la logique de constitution des systèmes d'électrodes présentés dans l'art antérieur n'est pas viable.

[0090] Pour répondre à ce problème, la partie terminale de l'outil de forage électrique du présent brevet est constituée d'une chambre intérieure exempte de tous matériaux solides à l'exception des électrodes. Cette chambre est délimitée vers le haut par la partie inférieure de l'isolant et sur les côtés par l'ossature de la partie à la masse. Les électrodes haute tension traversent cette chambre. Cette conception permet de garantir que, dès lors que la distance entre la partie à la masse et la partie haute tension décroît significativement en dessous de la valeur qui sépare ces deux parties au niveau de l'isolant, tout arc électrique se produisant dans cette chambre n'aura aucune conséquence sur l'intégrité de l'outil de forage électrique.

[0091] Il résulte de cette conception, que c'est l'isolant d'une part et la constitution des électrodes haute tension d'autre part qui confèrent à ces dernières leur résistance mécanique tant vis-à-vis des forces de compression que du couple qu'elles subissent lors du forage rotary.

[0092] Dans un mode de réalisation, l'isolant assure les deux fonctions suivantes :

- assurer une isolation électrique entre l'axe haute tension et la partie à la masse en maintenant une distance entre ces deux parties significativement supérieure à la distance (34) qui sépare les extrémités du système d'électrodes haute tension et les extrémités du système d'électrodes à la masse mais également en évitant les phénomènes de propagation non maîtrisée des lignes de courant le long des surfaces de contact entre deux milieux de résistivité différentes et se soldant par la création d'un arc électrique, phénomènes connus sous le terme « rampage »,

- solidariser mécaniquement le corps de l'outil de forage électrique à la masse et le système d'électrodes haute tension et ce tant vis-à-vis des mouvements de rotation que des mouvements axiaux afin de maintenir l'espace entre les extrémités des deux systèmes d'électrodes à une valeur constante (34).

[0093] Plusieurs géométries du système d'électrodes peuvent être considérées :

- une électrode haute tension unique positionnée dans l'axe de l'outil de forage électrique et des électrodes à la masse périphériques de dimensions constantes ;
- une électrode haute tension unique positionnée de façon centrale mais désaxée (33) par rapport à l'axe de l'outil de forage électrique et des électrodes à la masse périphériques (32) de dimensions variables et ajustées pour maintenir un espace constant (34) entre leurs extrémités et l'électrode haute tension (comme il est décrit à la figure 11) ;
- un système d'électrodes haute tension constitué d'une électrode centrale désaxée (33) et des électrodes périphériques (35) intercalées entre les électrodes à la masse (32), l'espace (34) entre leurs extrémités et l'électrode haute tension étant de valeur constante (comme il est décrit à la figure 12).

[0094] L'intérêt des dispositifs haute tension désaxés est d'éviter un taux de fragmentation insuffisant au niveau de la partie centrale du trou. L'effet combiné de la position désaxée et de la rotation permet ainsi qu'aucune surface du trou ne soit exempte de la présence d'arcs électriques. De plus, une telle configuration asymétrique permet de disposer d'électrodes à la masse de dimensions variables. Certaines sont de grande dimension : celles qui sont à l'opposé de l'électrode centrale par rapport à l'axe du trou. D'autres sont de petites dimensions : celles qui sont du même côté que l'électrode centrale par rapport à l'axe du trou.

[0095] Les électrodes les plus grandes sont d'une taille compatible de la mise en place sur cette électrode d'inserts par exemple de type Poly Diamond Crystalline (PDC) (61) ou de type carbure de tungstène ou de tout autre type de matériau dur et abrasif sans courir le risque que ces inserts soient déchaussés par les arcs électriques car les dits inserts sont suffisamment loin de l'extrémité de l'électrode à partir de laquelle se crée l'arc électrique. Ainsi l'existence de ces inserts à la fois sur la face frontale mais aussi sur la face latérale de ces électrodes ainsi équipées permet de renforcer l'effet des arcs électriques par une action mécanique et permet de protéger les électrodes d'une usure prématurée engendrée par la rotation. Il est aussi possible d'équiper l'extrémité des électrodes avec une matrice (62) imprégnée constituée de poudre ou de microparticule de diamant ou de tous matériaux intimement mélangés à une matrice métallique dans le but de protéger les électrodes d'une usure

prématurée engendrée par la rotation. Ce mode de réalisation est représenté à la figure 15.

[0096] Par ailleurs, l'existence d'électrodes de petite dimension permet de créer des arcs électriques très près de la périphérie du trou améliorant ainsi le ratio de couverture de la surface du trou par les arcs électriques.

[0097] Dans une autre mode de réalisation, lorsque le système d'électrodes haute tension est constitué d'une électrode centrale unique dans l'axe de l'outil de forage, l'isolant assure la fonction « isolation électrique », solidarise mécaniquement la partie à la masse avec la partie haute tension d'un point de vue axial mais autorise le découplage en rotation entre ces deux parties. Ainsi, cette configuration évite une usure prématurée de l'extrémité des électrodes haute tension.

[0098] Dans une autre mode de réalisation, l'isolant n'assure que la fonction « isolation électrique », et autorise le découplage mécanique tant d'un point de vue axial que rotationnel entre la partie à la masse et la partie haute tension. Ainsi, cette configuration évite non seulement une usure prématurée de l'extrémité des électrodes haute tension mais maintient également un contact permanent entre les électrodes et le terrain.

[0099] Dans un mode de réalisation, tel qu'illustré sur la figure 14, le système de forage rotary par décharges électriques est isolé électriquement de la partie supérieure de la garniture de forage par un raccord isolant. Ce raccord est constitué d'une pièce métallique supérieure (58) et d'une pièce métallique inférieure (57) séparée par un isolant (60). La géométrie de l'emboîtement des pièces entre elles assure la reprise des contraintes axiales ainsi que les contraintes de couple. Ainsi, ce raccord peut être positionné immédiatement au-dessus du générateur électrique ou plus haut en fonction de l'architecture de la garniture de forage. Ce raccord contribue à deux fonctions potentielles :

- contribuer à la sécurité du personnel situé en surface,
- éviter les interférences potentielles avec les équipements électroniques du type MWD et LWD.

Revendications

1. Dispositif de fond pour forage rotary comprenant :

- un générateur électrique (5) installé au bout d'un train de tiges et/ou masse tiges et convertissant l'énergie hydraulique du fluide de forage en énergie électrique ;
- un générateur d'impulsions (6) relié mécaniquement et électriquement audit générateur électrique, et alimentant un système d'électrodes porté par l'outil de forage ;
- un outil de forage électrique (7), connecté mécaniquement et électriquement audit générateur d'impulsions, entraîné en rotation par le

train de tiges et/ou masse tiges et comprenant un système d'électrodes actives (12, 12bis) et passives (11) ; **caractérisé par** et
- un système d'interrupteur électrique à coulisse (9) ;

dans lequel :

- le générateur électrique (5) comprend une turbine ou un moteur à déplacement positif, et un alternateur ;
- le rotor de la turbine ou du moteur à déplacement positif, entraîné en rotation par le débit du fluide de forage, entraîne à son tour le rotor de l'alternateur ;
- l'interface entre ledit rotor de la dite turbine ou dudit moteur et ledit rotor dudit alternateur comprend un interrupteur électrique à coulisse permettant un embrayage mécanique ;
- le passage de la position ouverte à la position fermée de ladite coulisse est permis par une action positive déclenchée depuis la surface consistant à appliquer un poids sur ledit outil de forage électrique.

2. Dispositif selon la revendication 1, comprenant deux interrupteurs à coulisse :

- un premier interrupteur électrique à coulisse (9s) entre la partie du générateur électrique qui convertit l'énergie hydraulique en énergie mécanique et la partie du générateur électrique qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique de telle sorte qu'en position « ouverte » cet interrupteur interdit la production d'électricité et ce même si la circulation du fluide de forage est établie dans ledit compartiment hydraulique ;
- et
- un second interrupteur électrique à coulisse (9i) au niveau de l'outil de forage électrique de telle sorte qu'en position « ouverte » cet interrupteur force la décharge des condensateurs (16) dudit générateur d'impulsions et empêche leur charge même dans le cas où le compartiment électrique produirait un courant électrique.

3. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 2, dans lequel la rotation dudit outil de forage électrique (7) combine l'effet mécanique desdites électrodes passives (11) avec l'effet des décharges électriques.

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la rotation dudit outil de forage électrique (7) fait balayer la totalité de la surface du trou par les arcs électriques de direction radiale qui se produisent entre les dites électrodes passives (11) et actives (12, 12bis).

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel ladite coulisse, jouant le rôle d'interrupteur électrique, est normalement ouverte grâce à un ressort mécanique (14) maintenant ladite coulisse ouverte et l'état ouvert du circuit d'alimentation dudit générateur d'impulsions et l'état « court-circuité » des condensateurs (16) grâce à un circuit qui relie les deux bornes des dits condensateurs à une résistance de décharge.

6. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel la position « normalement ouverte » de ladite coulisse est renforcée par une action positive déclenchée depuis la surface par injection de fluide de forage dans la garniture.

7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel

- ledit système d'électrodes actives et passives comprend deux groupes d'électrodes isolés électriquement l'un par rapport à l'autre mais solidaires mécaniquement l'un de l'autre tant d'un point de vue axial que d'un point de vue angulaire, ledit groupe comprenant (i) un groupe d'électrodes passives, électrodes à la masse, et (ii) un groupe d'électrodes actives, électrodes haute tension ; ou

- ledit système d'électrodes actives et passives comprend deux groupes d'électrodes isolés électriquement l'un par rapport à l'autre mais découplés mécaniquement l'un de l'autre d'un point de vue angulaire mais non découplés d'un point de vue axial, ledit groupe comprenant (i) un groupe d'électrodes passives, électrodes à la masse, localisé en partie périphérique dudit outil de forage électrique, et un groupe d'électrodes actives, électrodes haute tension, localisé en partie centrale du dit outil de forage électrique, et non solidaire mécaniquement du groupe d'électrodes passives de sorte qu'il ne soit pas entraîné en rotation par ce dernier ; ou

- ledit système d'électrodes actives et passives comprend deux groupes d'électrodes isolés électriquement l'un par rapport à l'autre mais découplés mécaniquement l'un de l'autre tant d'un point de vue angulaire que d'un point de vue axial, ledit groupe comprenant (i) un groupe d'électrodes passives, électrodes à la masse, localisé en partie périphérique, et (ii) un groupe d'électrodes actives, électrodes haute tension, localisé en partie centrale du dit outil de forage électrique, doté d'une course axiale de préférence de plusieurs centimètres et soumis à la force d'un soufflet à ressort permettant aux électrodes d'être en contact permanent avec la roche ; ou

- ledit système d'électrodes actives et passives

- comprend deux groupes d'électrodes isolés électriquement l'un par rapport à l'autre mais solidaires mécaniquement l'un de l'autre d'un point de vue angulaire mais non solidaires mécaniquement d'un point de vue axial, ledit groupe comprenant (i) un groupe d'électrodes passives, électrodes à la masse, et (ii) un groupe d'électrodes actives, électrodes haute tension, en position centrale désaxée par rapport à l'axe dudit outil de forage électrique, doté d'une course axiale de préférence de plusieurs centimètres et soumis à la force d'un soufflet à ressort permettant aux électrodes d'être en contact permanent avec la roche.
8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel la partie terminale de l'outil de forage électrique (7) comprend une chambre intérieure (36) exempte de tous matériaux solides à l'exception des électrodes.
9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel ledit générateur d'impulsions (6) est traversé en son axe par un tube axial creux en matériau isolant connecté mécaniquement en partie basse dudit générateur d'impulsions à un tube métallique de telle sorte que le continuum desdits tubes assure la transmission du fluide de forage et que ledit tube métallique inférieur, de préférence seul ce tube, reçoive les décharges électriques du dit générateur d'impulsions.
10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel ledit générateur d'impulsions (6) est un générateur de type Linear Transformer Driver LTD ou un générateur de Marx ou un transformateur de TESLA.
11. Dispositif selon la revendication 9 ou 10, dans lequel plusieurs modules constitués de dispositifs de stockage d'énergie de préférence des condensateurs et de commutateurs de puissance de préférence éclateur à gaz sont empilés les uns sur les autres dans l'espace annulaire situé entre ledit tube axial creux et l'enveloppe métallique extérieure.
12. Dispositif selon la revendication 11, dans lequel lesdits commutateurs de puissance sont constitués d'électrodes annulaires ayant la forme d'un anneau.
13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, comprenant en outre un raccord isolant comprenant deux pièces métalliques, une pièce supérieure et une pièce inférieure, séparées par un matériau isolant et emboîtées entre elles pour transmettre les contraintes axiales ainsi que les contraintes de couple entre ladite pièce supérieure et ladite pièce inférieure.
14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, dans lequel les électrodes comprennent des inserts (61) en matériau dur et abrasif, de préférence de type Poly Diamond Crystalline (PDC) ou de type carbure de tungstène et/ou une matrice (62) métallique comprenant une poudre ou des microparticules de matériaux durs, de préférence de diamant.
15. Dispositif de forage rotary, comprenant le dispositif de fond selon l'une des revendications 1 à 14, qui est incorporé à l'extrémité d'une garniture de forage comprenant un ensemble de tiges et éventuellement de masse-tiges pour la transmission de l'énergie électrique et un appareil de forage comprenant un système d'entraînement en rotation d'un train de tiges et/ou de masse tiges, et des pompes de forage d'injection de fluide de forage à l'intérieur du train de tiges et/ou masse tiges.
16. Procédé de forage, par mise en rotation du dispositif selon la revendication 15.

Patentansprüche

1. Bohrlochvorrichtung zum Rotationsbohren, umfassend:
- einen elektrischen Generator (5), der am Ende eines Bohrgestänges und/oder Bohrkranzes installiert ist und die hydraulische Energie des Bohrfluids in elektrische Energie umwandelt;
 - einen Impulsgenerator (6), der mit dem elektrischen Generator mechanisch und elektrisch verbunden ist und ein Elektrodensystem versorgt, das von dem Bohrwerkzeug getragen wird;
 - ein elektrisches Bohrwerkzeug (7), das mechanisch und elektrisch an den Impulsgenerator angeschlossen ist, von dem Bohrgestänge und/oder Bohrkranz rotatorisch angetrieben wird und ein System aktiver (12, 12bis) und passiver (11) Elektroden umfasst;
- gekennzeichnet durch**
- ein elektrisches Schiebeschaltersystem (9); wobei
 - der elektrische Generator (5) eine Turbine oder einen Verdrängungsmotor umfasst, und einen Wechselstromgenerator;
 - der Rotor der Turbine oder des Verdrängungsmotors, der von dem Durchfluss des Bohrfluids angetrieben wird, seinerseits den Rotor des Wechselstromgenerators antreibt;
 - die Schnittstelle zwischen dem Rotor der Turbine oder des Motors und dem Rotor des Wechselstromgenerators einen elektrischen Schiebeschalter umfasst, der eine mechanische Kupplung gestattet;
 - der Wechsel aus der geöffneten Position in die

- geschlossene Position des Schiebers durch eine positive Aktion gestattet wird, die ab der Oberfläche ausgelöst wird, die darin besteht, auf das elektrische Bohrwerkzeug ein Gewicht anzuwenden. 5
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, umfassend zwei Schiebeschalter:
- einen ersten elektrischen Schiebeschalter (9s) 10 zwischen dem Teil des elektrischen Generators, der die hydraulische Energie in mechanische Energie umwandelt und dem Teil des elektrischen Generators, der die mechanische Energie in elektrische Energie derart umwandelt, dass dieser Schalter in "geöffneter" Position die Erzeugung von Elektrizität untersagt und auch dann, wenn die Zirkulation des Bohrfluids in der Hydraulikkammer eingerichtet ist; 15
 - und 20
 - einen zweiten elektrischen Schiebeschalter (9i) im Bereich des elektrischen Bohrwerkzeug derart, dass dieser Schalter in "geöffneter" Position die Entladung der Kondensatoren (16) des Impulsgenerators erzwingt und ihr Laden verhindert, auch wenn die elektrische Kammer elektrischen Strom erzeugen sollte. 25
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei die Rotation des elektrischen Bohrwerkzeugs (7) 30 die mechanische Wirkung der passiven Elektroden (11) mit der Wirkung der elektrischen Entladungen kombiniert.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Rotation des elektrischen Bohrwerkzeug (7) 35 bewirkt, dass die Gesamtheit der Oberfläche des Lochs von den Lichtbögen radialer Richtung abgetastet wird, die zwischen den passiven (11) und aktiven (12, 12bis) Elektroden entstehen. 40
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Schieber, der die Rolle eines elektrischen Schalters spielt, dank einer mechanischen Feder (14) normalerweise geöffnet ist, die den Schieber 45 offen hält und den offenen Zustand des Versorgungskreises des Impulsgenerators und den "kurzgeschlossenen" Zustand der Kondensatoren (16) dank eines Kreises, der die zwei Klemmen der Kondensatoren mit einem Entladewiderstand verbindet. 50
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei die "normal geöffnete" Position des Schiebers von einer positiven Aktion verstärkt wird, die ab der Oberfläche durch Einleiten von Bohrfluid in die Garnitur ausgelöst wird. 55
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei
- das System aktiver und passiver Elektroden zwei Elektrodengruppen umfasst, die voneinander elektrisch isoliert, aber sowohl von einem axialen Standpunkt als auch von einem Winkelstandpunkt aus mechanisch fest miteinander verbunden sind, wobei die Gruppe umfasst (i) eine Gruppe passiver Elektroden, Masseelektroden, und (ii) eine Gruppe aktiver Elektroden, Hochspannungselektroden; oder
 - das System aktiver und passiver Elektroden zwei Elektrodengruppen umfasst, die voneinander elektrisch isoliert, aber von einem Winkelstandpunkt aus mechanisch voneinander entkoppelt, aber von einem axialen Standpunkt aus nicht entkoppelt sind, wobei die Gruppe umfasst (i) eine Gruppe passiver Elektroden, Masseelektroden, die im peripheren Teil des elektrischen Bohrwerkzeugs lokalisiert ist, und (ii) eine Gruppe aktiver Elektroden, Hochspannungselektroden, die im zentralen Teil des elektrischen Bohrwerkzeugs lokalisiert ist und nicht mit der Gruppe passiver Elektroden fest verbunden ist, so dass sie von dieser nicht rotatorisch angetrieben wird; oder
 - das System aktiver und passiver Elektroden zwei Elektrodengruppen umfasst, die voneinander elektrisch isoliert, aber sowohl von einem Winkelstandpunkt als auch von einem axialen Standpunkt aus mechanisch voneinander entkoppelt sind, wobei die Gruppe umfasst (i) eine Gruppe passiver Elektroden, Masseelektroden, die im peripheren Teil des elektrischen Bohrwerkzeugs lokalisiert ist, und (ii) eine Gruppe aktiver Elektroden, Hochspannungselektroden, die im zentralen Teil des elektrischen Bohrwerkzeugs lokalisiert ist, versehen mit einem Axiallauf vorzugsweise von mehreren Zentimetern und der Kraft eines Federbalgs ausgesetzt, was den Elektroden erlaubt, ständig mit dem Fels in Kontakt zu sein; oder
 - das System aktiver und passiver Elektroden zwei Elektrodengruppen umfasst, die voneinander elektrisch isoliert, aber von einem Winkelstandpunkt aus mechanisch fest miteinander verbunden, aber von einem axialen Standpunkt aus mechanisch nicht fest miteinander verbunden sind, wobei die Gruppe umfasst (i) eine Gruppe passiver Elektroden, Masseelektroden, und (ii) eine Gruppe aktiver Elektroden, Hochspannungselektroden an zentraler achsverschobener Position in Bezug auf die Achse des elektrischen Bohrwerkzeugs, versehen mit einem Axiallauf vorzugsweise von mehreren Zentimetern und der Kraft eines Federbalgs ausgesetzt, was den Elektroden erlaubt, ständig mit dem Fels in Kontakt zu sein.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wo-

bei der terminale Teil des elektrischen Bohrwerkzeugs (7) eine innere Kammer (36) ohne feste Materialien mit Ausnahme der Elektroden umfasst.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Impulsgenerator (6) an seiner Achse von einem hohlen axialen Rohr aus Isolationsmaterial durchquert wird, das mechanisch im unteren Teil des Impulsgenerators derart an ein Metallrohr angeschlossen ist, dass das Kontinuum der Rohre die Übertragung des Bohrfluids sichert und dass das untere Metallrohr, vorzugsweise nur dieses Rohr, die elektrischen Entladungen des Impulsgenerators empfängt. 5
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Impulsgenerator (6) ein Generator vom Typ Linear Transformer Driver LTD oder ein Marx-Generator oder ein TESLA-Transformator ist. 10
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, wobei mehrere Module, die von Energiespeichervorrichtungen gebildet sind, vorzugsweise Kondensatoren und Leistungsschaltern, vorzugsweise Gasentladungsableitern, in dem ringförmigen Raum, der sich zwischen dem hohlen axialen Rohr und dem äußeren Metallmantel befindet, übereinander gestapelt sind. 15
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei die Leistungsschalter von ringförmigen Elektroden gebildet sind, die die Form eines Rings haben. 20
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, umfassend ferner ein isolierendes Verbindungselement, umfassend zwei Metallteile, ein oberes Teil und ein unteres Teil, die durch ein Isolationsmaterial getrennt und ineinander verrastet sind, um die axialen Beanspruchungen als auch die Drehmomentbeanspruchungen zwischen dem oberen Teil und dem unteren Teil zu übertragen. 25
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Elektroden Einsätze (61) aus hartem und abrasivem Material umfassen, vorzugsweise vom Typ Poly Diamond Crystalline (PDC) oder von Typ Wolframcarbid und/oder eine metallische Matrix (62), umfassend ein Pulver oder Mikropartikel harter Materialien, vorzugsweise Diamant. 30
15. Rotationsbohrvorrichtung, umfassend die Bohrlochvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, die am Ende einer Bohrgarnitur inkorporiert ist, umfassend eine Einheit von Stangen und eventuell von Bohrkränzen für die Übertragung von elektrischer Energie und ein Bohrgerät, umfassend ein Rotationsantriebssystem eines Bohrgestänges und/oder Bohrkranzes, und Bohrpumpen zum Einleiten von 35

Bohrfluid in das Innere des Bohrgestänges und/oder Bohrkranzes.

16. Bohrverfahren durch Inrotationversetzen der Vorrichtung nach Anspruch 15. 40

Claims

1. A downhole device for rotary drilling comprising: 45

- an electrical generator (5) installed at the end of a drill string and/or drill collar and converting the hydraulic energy of the drilling fluid into electrical energy;
- a pulse generator (6) mechanically and electrically connected to said electrical generator, and powering a system of electrodes carried by the drilling tool;
- an electric drilling tool (7), mechanically and electrically connected to said pulse generator, rotated by the drill string and/or drill collar and comprising a system of active (12, 12bis) and passive (11) electrodes; **characterized by**
- an electrical slide switch system (9); 50

wherein:

- the electrical generator (5) comprises a turbine or a positive displacement motor, and an alternator;
- the rotor of the turbine or the positive displacement motor, rotated by the flow of drilling fluid, in turn drives the rotor of the alternator;
- the interface between said rotor of said turbine or said motor and said rotor of said alternator comprises an electrical slide switch allowing a mechanical engagement;
- the passage from the open position to the closed position of said slide is allowed by a positive action triggered from the surface consisting of applying a weight on said electric drilling tool. 55

2. The device according to claim 1, comprising two slide switches: 60

- a first electric slide switch (9s) between the part of the electrical generator that converts the hydraulic energy into mechanical energy and the part of the electrical generator that converts the mechanical energy into electrical energy such that in the "open" position, this switch prevents the production of electricity, even if the circulation of the drilling fluid is established in said hydraulic compartment;
- and
- a second electric slide switch (9i) in the vicinity of the electric drilling tool such that in the "open" 65

- position, this switch forces the discharge of the capacitors (16) of said pulse generator and prevents the charge thereof, even when the electrical compartment is producing an electric current.
3. The device according to one of claims 1 to 2, wherein the rotation of said electric drilling tool (7) combines the mechanical effect of said passive electrodes (11) with the effect of the electrical discharges.
 4. The device according to one of claims 1 to 3, wherein the rotation of said electric drilling tool (7) causes the entire surface of the hole to be swept by the radial electric arcs that are produced between said passive (11) and active (12, 12bis) electrodes.
 5. The device according to one of claims 1 to 4, wherein said slide, serving as electric switch, is normally open owing to a mechanical spring (14) keeping said slide open and maintaining the open state of the power circuit of said pulse generator and the "short-circuited" state of the capacitors (16) owing to a circuit that connects the two terminals of said capacitors to a discharge resistor.
 6. The device according to claim 5, wherein the "normally open" position of said slide is reinforced by a positive action triggered from the surface by injection of drilling fluid into the liner.
 7. The device according to one of claims 1 to 6, wherein
 - said system of active and passive electrodes comprises two groups of electrodes that are electrically insulated from one another but mechanically secured to one another both axially and angularly, said group comprising (i) a group of passive grounding electrodes, and (ii) a group of active, high-voltage electrodes; or
 - said system of active and passive electrodes comprises two groups of electrodes that are electrically insulated relative to one another but mechanically uncoupled from one another angularly but not uncoupled axially, said group comprising (i) a group of passive grounding electrodes, located on the peripheral part of said electric drilling tool, and a group of active, high-voltage electrodes, located in the central part of the electric drilling tool, and not mechanically secured to the group of passive electrodes such that it is not rotated by the latter; or
 - said system of active and passive electrodes comprises two groups of electrodes that are electrically insulated relative to one another but mechanically uncoupled from one another both angularly and axially, said group comprising (i) a group of passive grounding electrodes, located on the peripheral part, and (ii) a group of active, high-voltage electrodes, located in the central part of said electric drilling tool, provided with an axial travel preferably of several centimeters and subject to the force of a bellows spring allowing the electrodes to be in continuous contact with the rock.
 8. The device according to one of claims 1 to 7, wherein the end part of the electric drilling tool (7) comprises an inner chamber (36) that is free of all solid materials with the exception of the electrodes.
 9. The device according to one of claims 1 to 8, wherein said pulse generator (6) is passed through at its axis by a hollow axial tube made from an insulating material mechanically connected in the lower part of said pulse generator to a metal tube such that the continuum of said tubes ensures the transmission of the drilling fluid and said lower metal tube, preferably only this tube, receives the electric discharges from said pulse generating tube.
 10. The device according to one of claims 1 to 9, wherein said pulse generator (6) is a generator of the Linear Transformer Driver LTD type or a Marx generator or a TESLA transformer.
 11. The device according to claim 9 or 10, wherein several modules made up of energy storage devices, preferably capacitors and power switches, preferably gas discharge tubes, are stacked on one another in the annular space located between said hollow axial tube and the outer metal enclosure.
 12. The device according to claim 11, wherein said power switches are made up of annular electrodes in the shape of a ring.
 13. The device according to one of claims 1 to 12, further comprising an insulating connector comprising two metal parts, an upper part and a lower part, which are separated by an insulating material and nested with one another to transmit the axial stresses as well as the torque stresses between said upper part

and said lower part.

14. The device according to one of claims 1 to 13, wherein the electrodes comprise inserts (61) made from a hard abrasive material, preferably such as Polycrystalline Diamond Compact (PDC) or of the tungsten carbide type and/or a metal matrix (62) comprising a powder or microparticles of hard materials, preferably diamond. 5
- 10
15. A rotary drilling device, comprising the downhole device according to one of claims 1 to 14, which is incorporated at the end of a drill string and optionally a drill collar for transmitting electrical energy and a drilling apparatus comprising a system for rotating a drill string and/or a drill collar, and drilling pumps for injecting drilling fluid inside the drill string and/or the drill collar. 15
- 20
16. A drilling method, by rotating the device according to claim 15. 20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

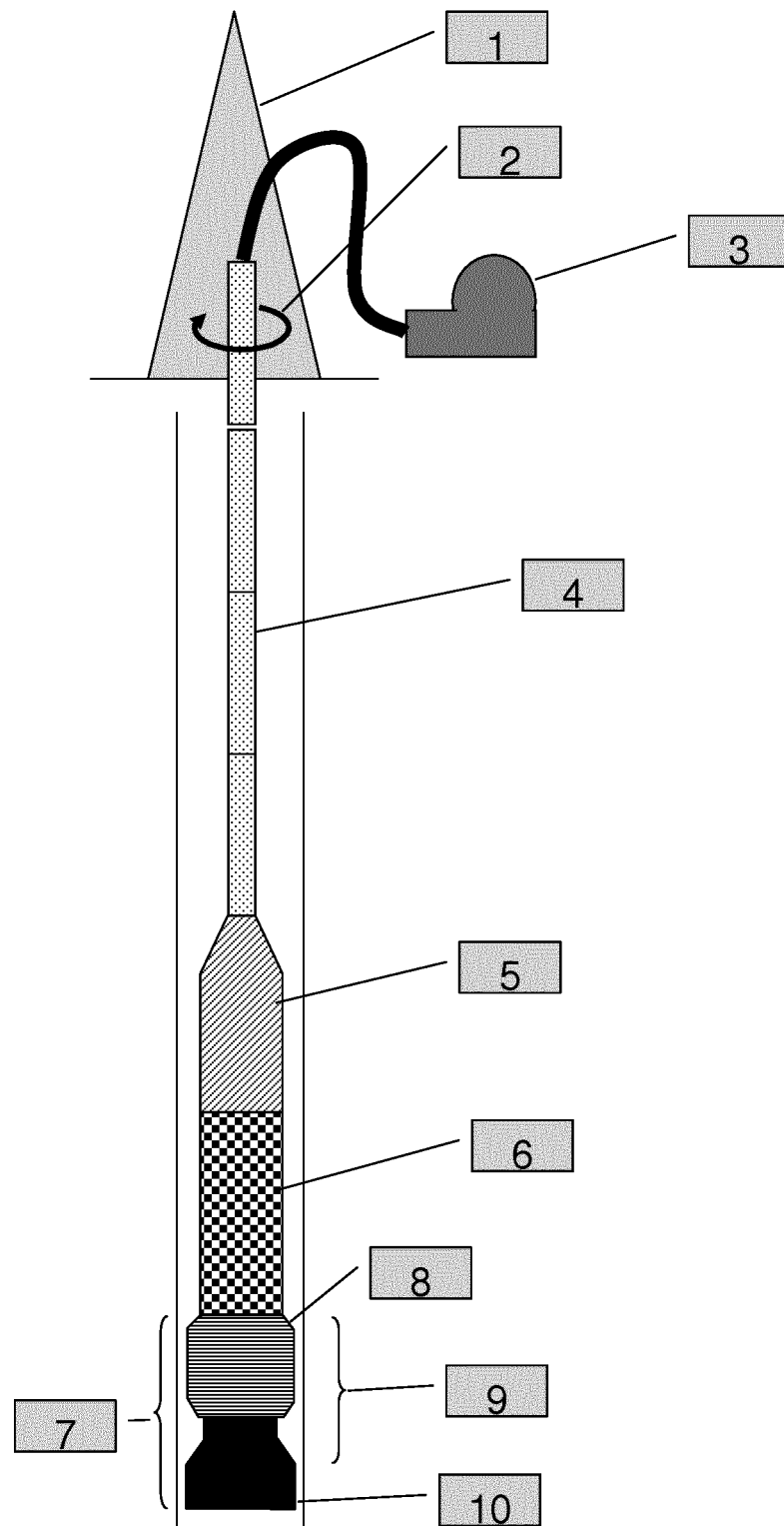


Fig. 2

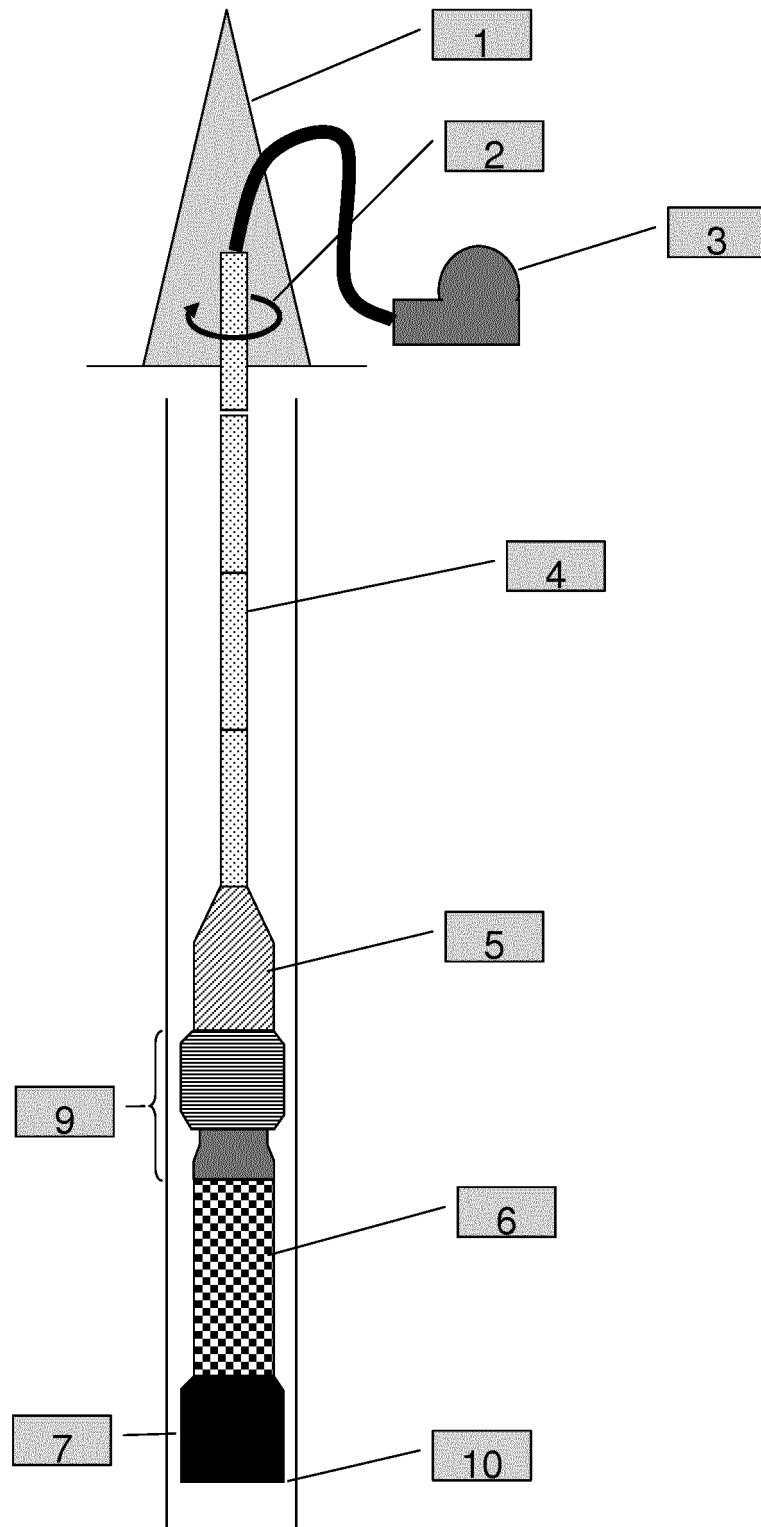


Fig. 3

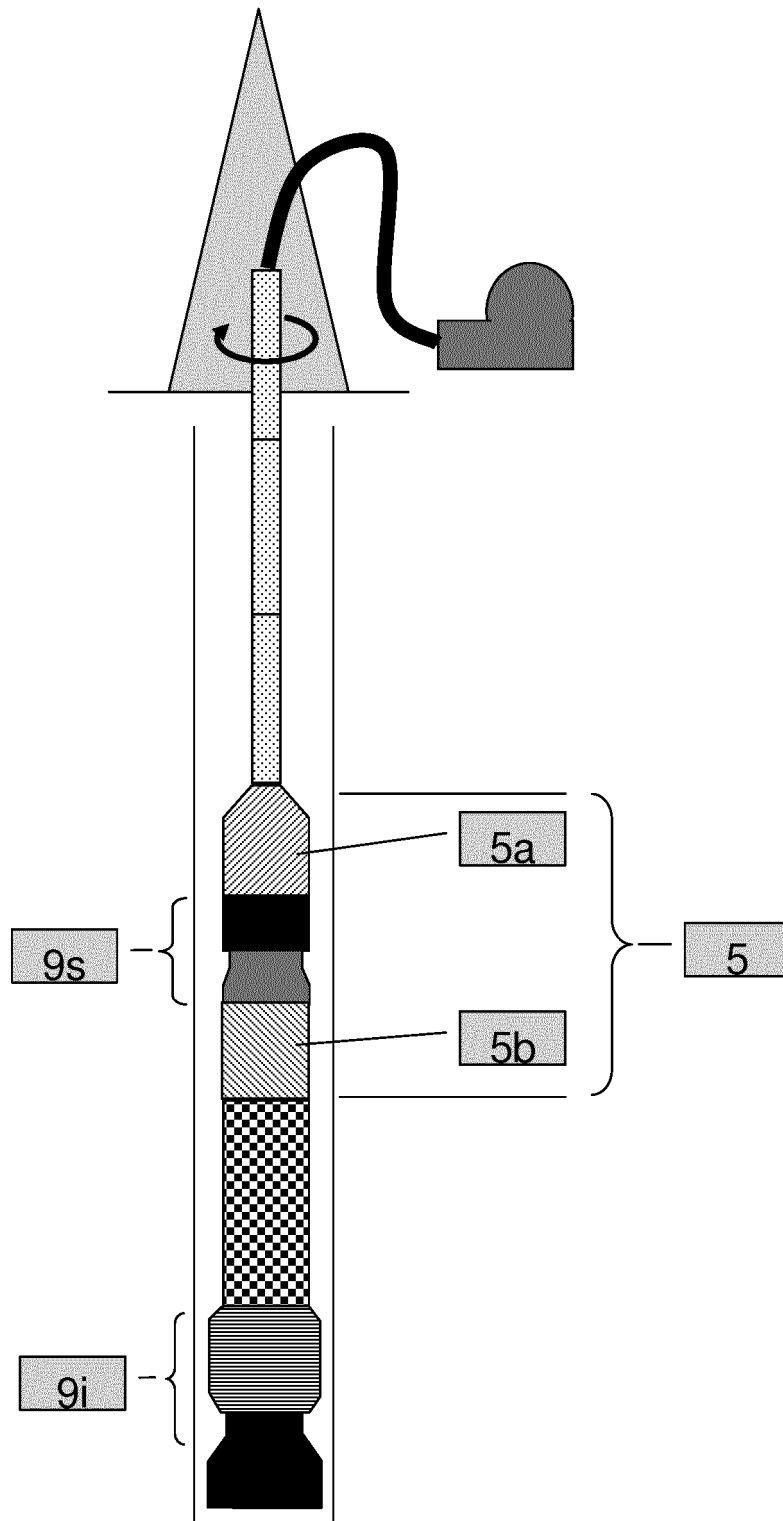


Fig 4

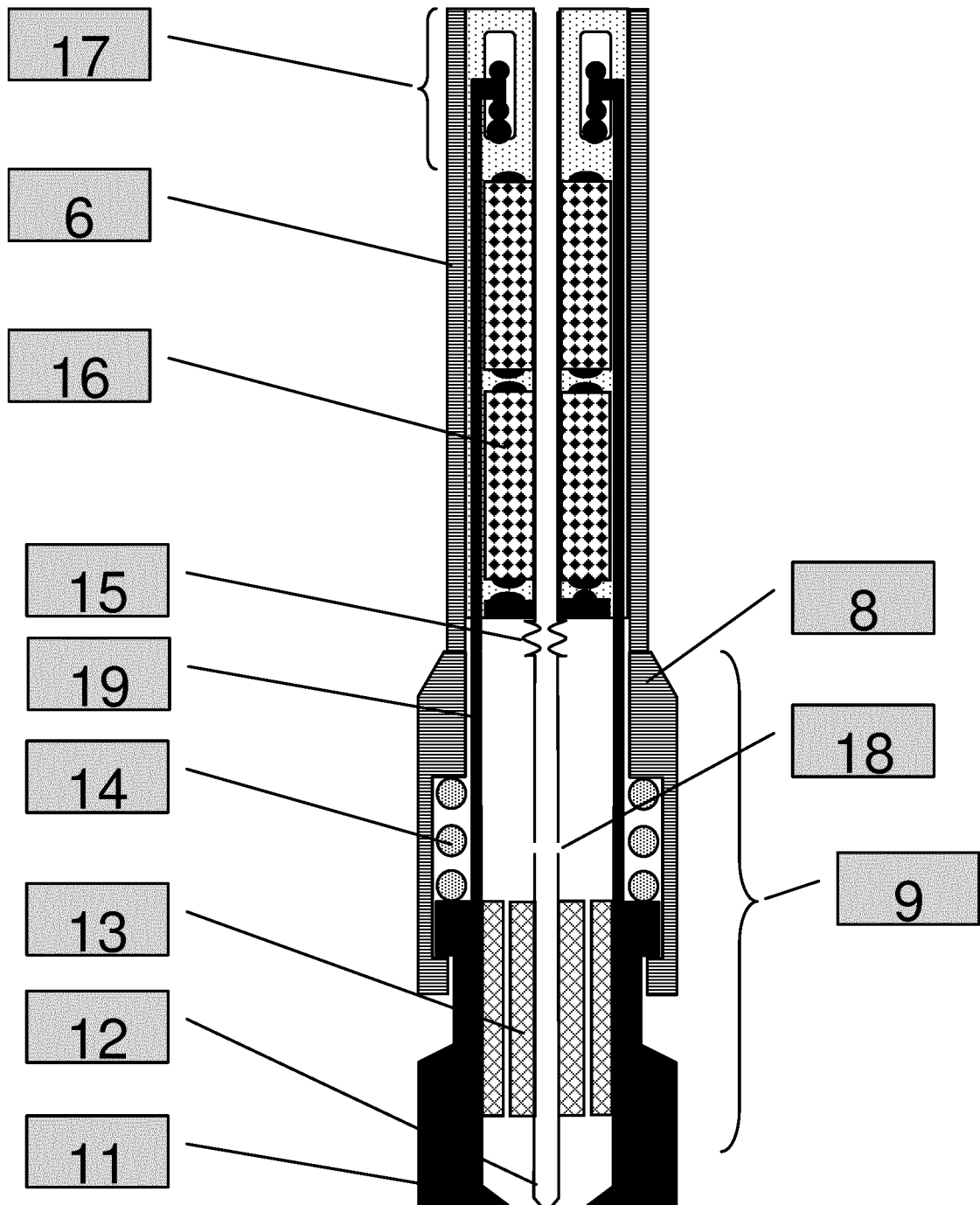


Fig. 5

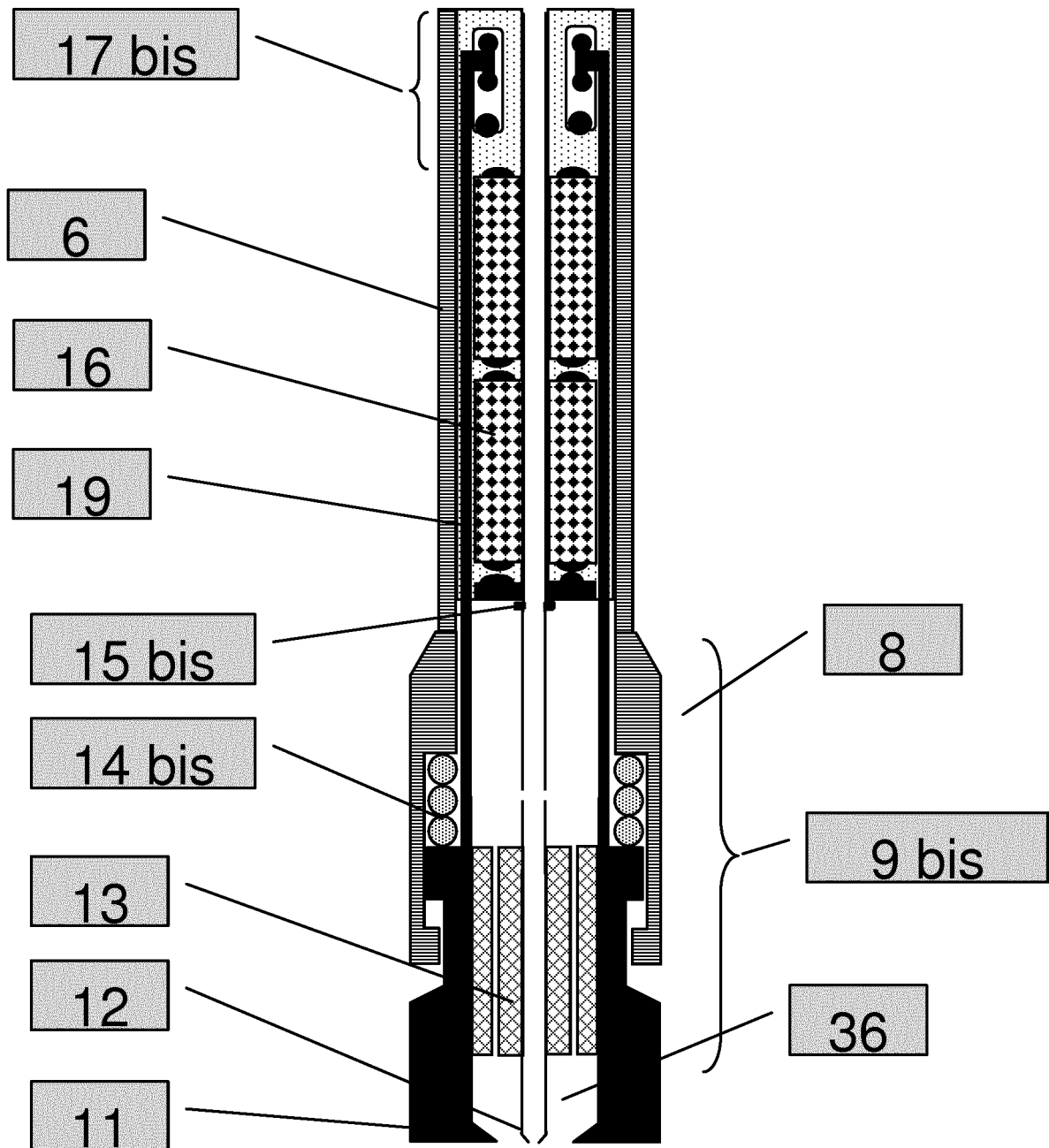


Fig. 6

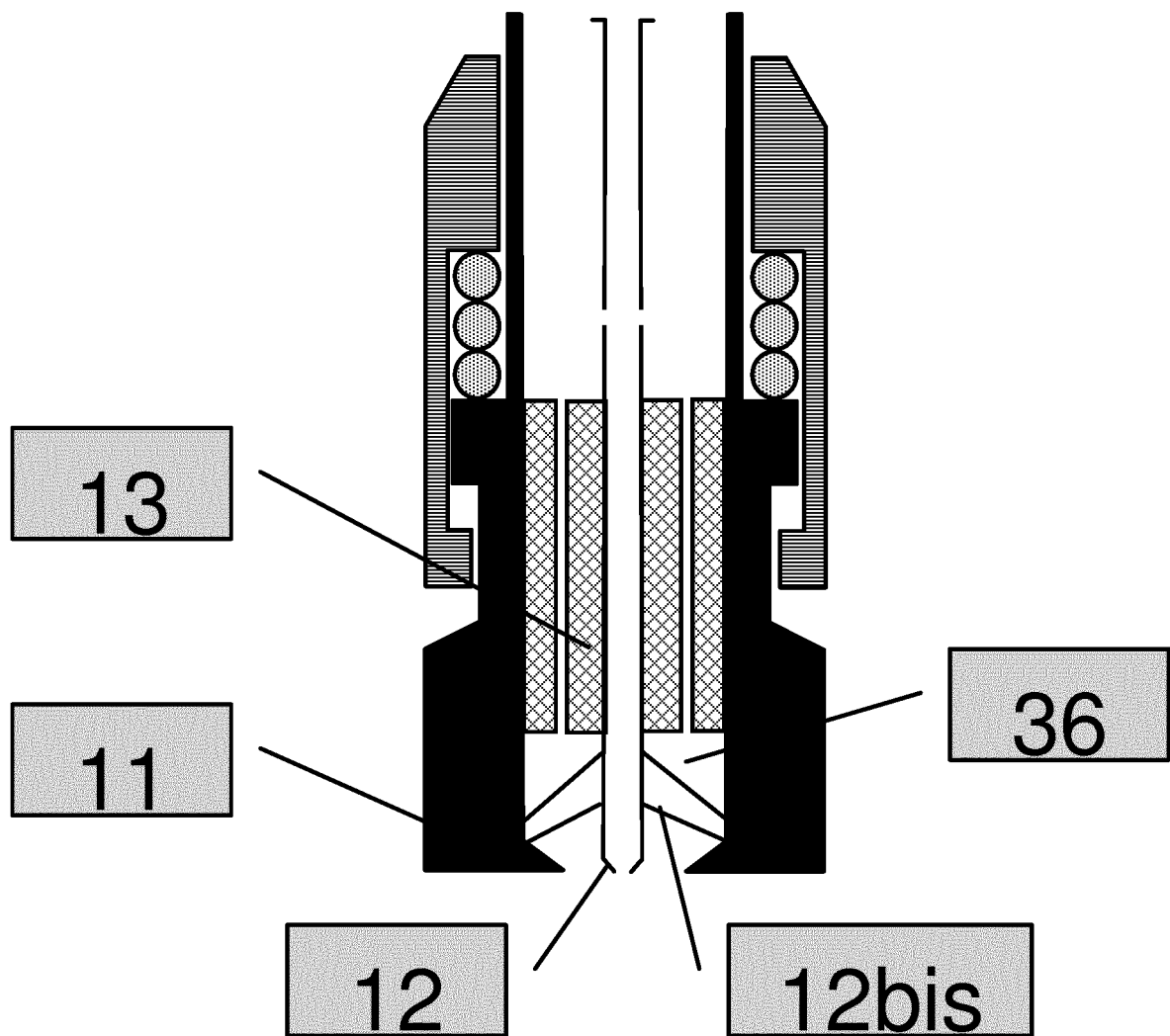


Fig. 7

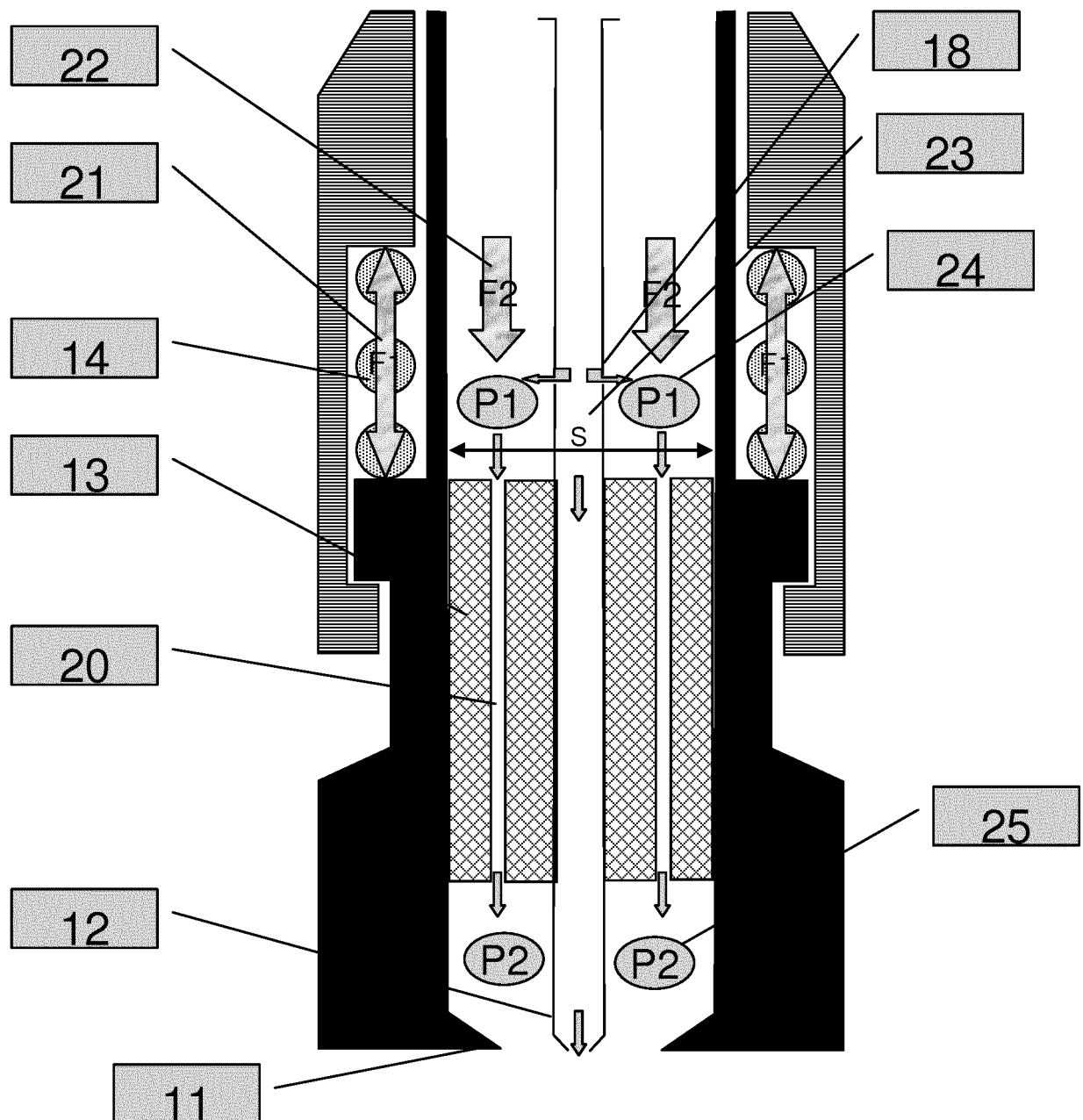


Fig. 8

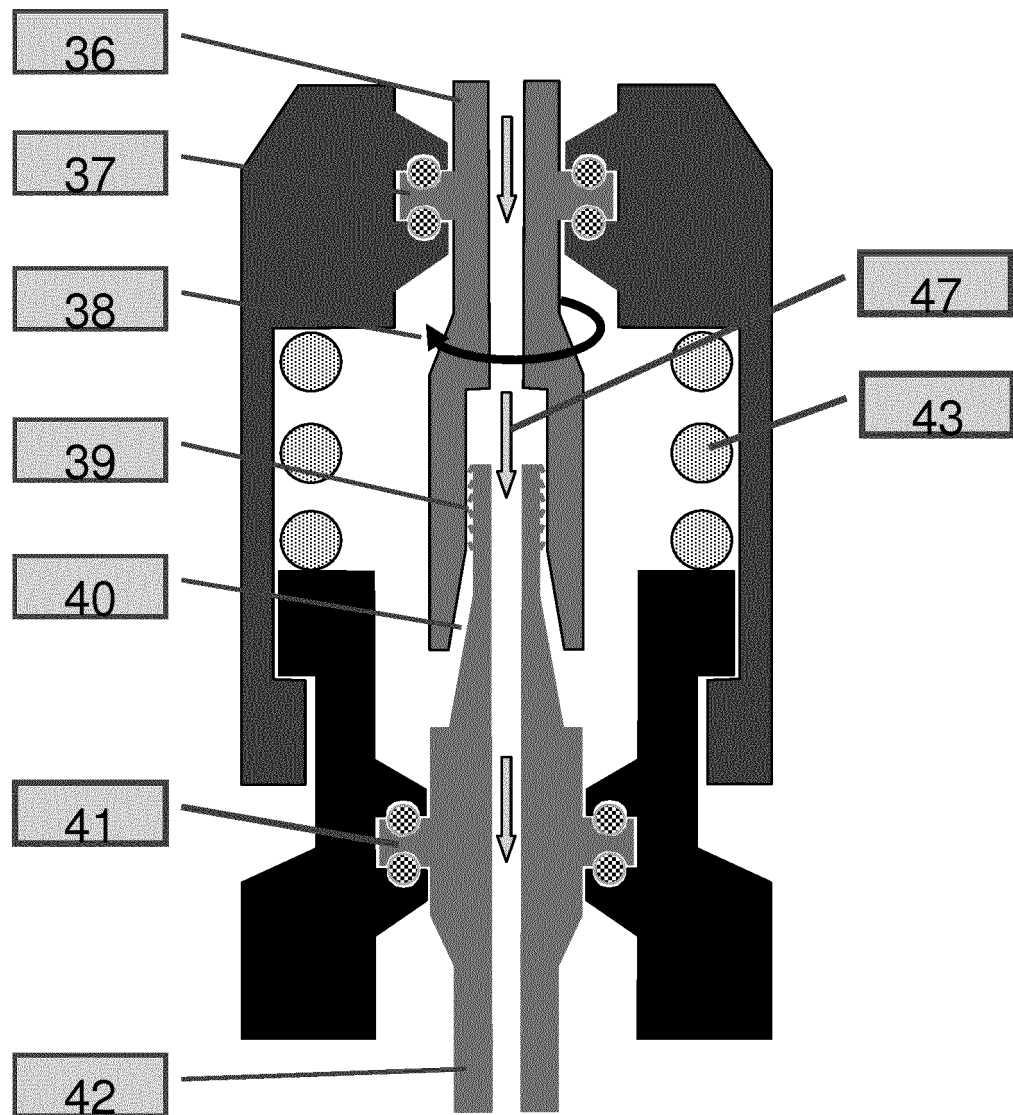


Fig. 9

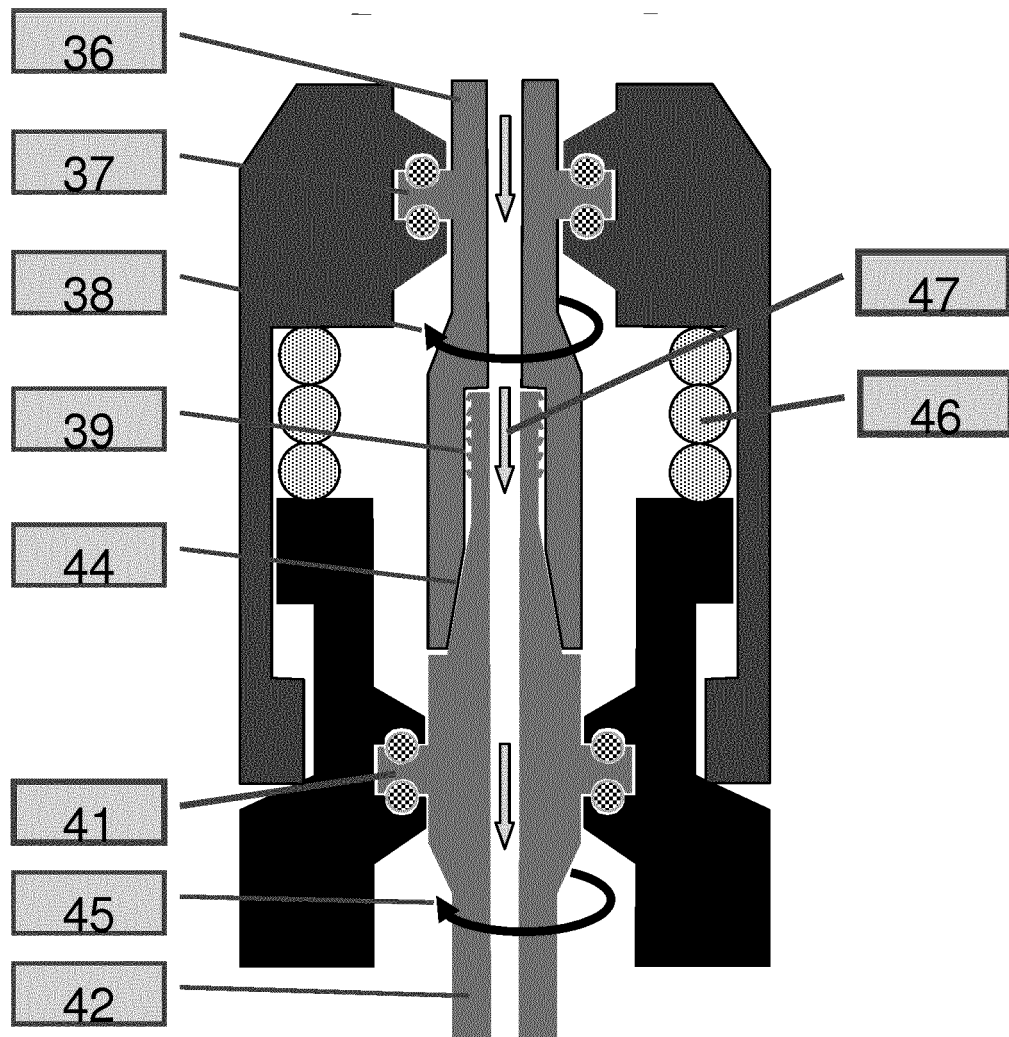


Fig. 10

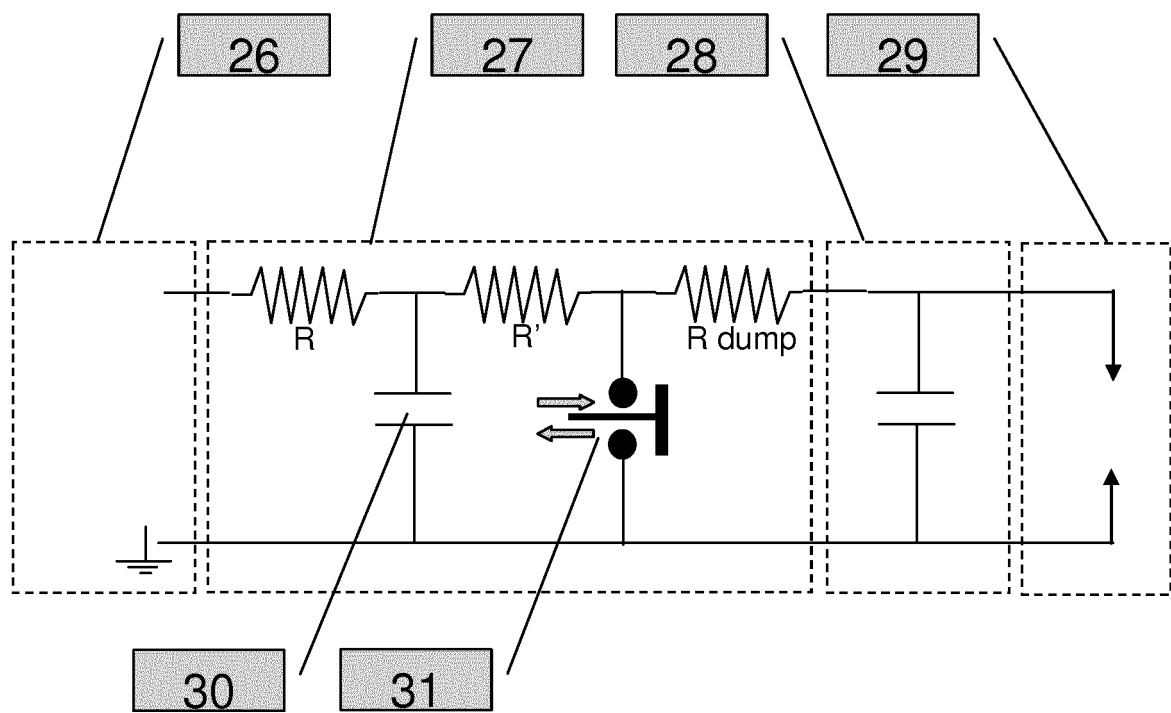


Fig. 11

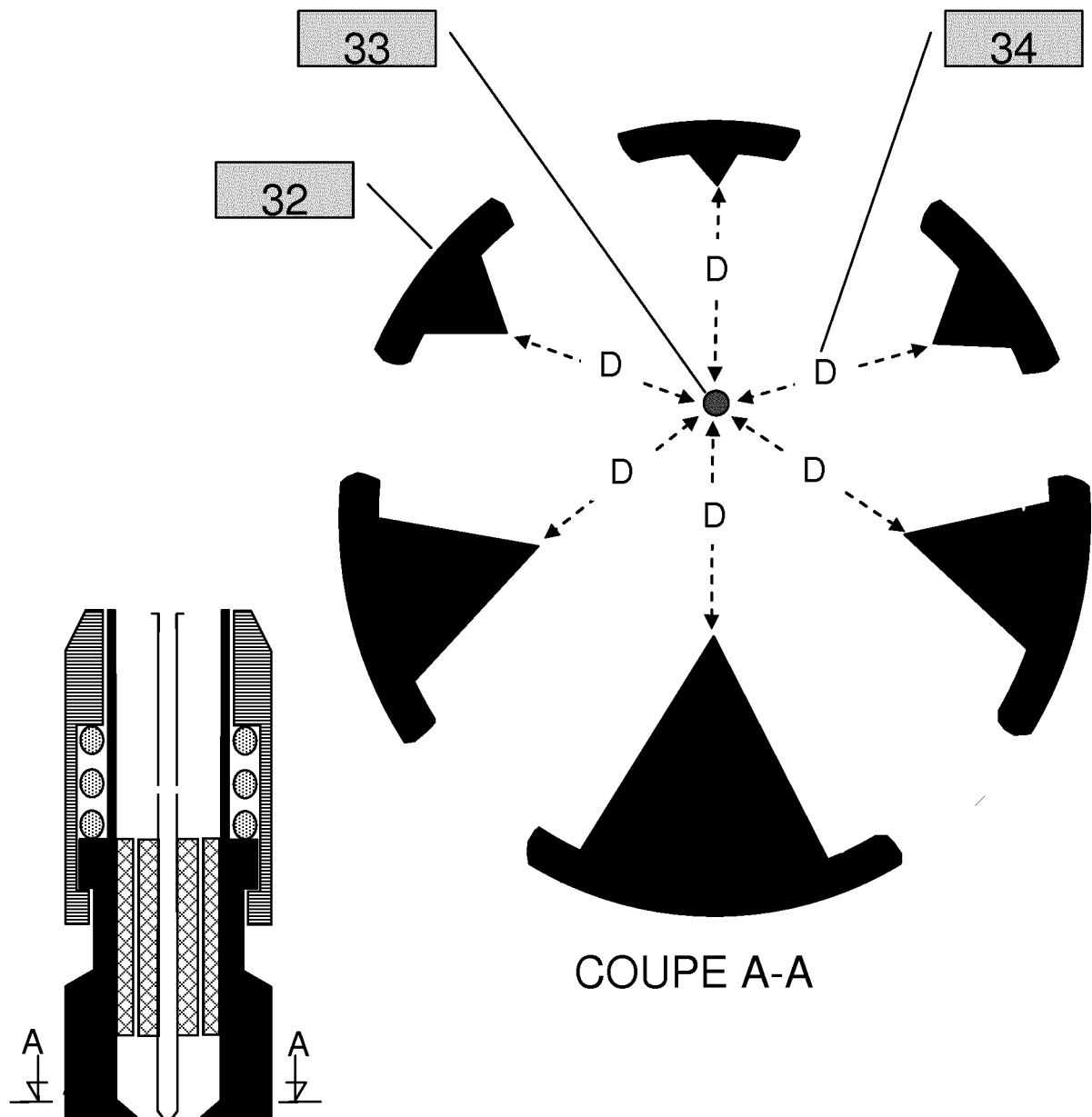


Fig.12

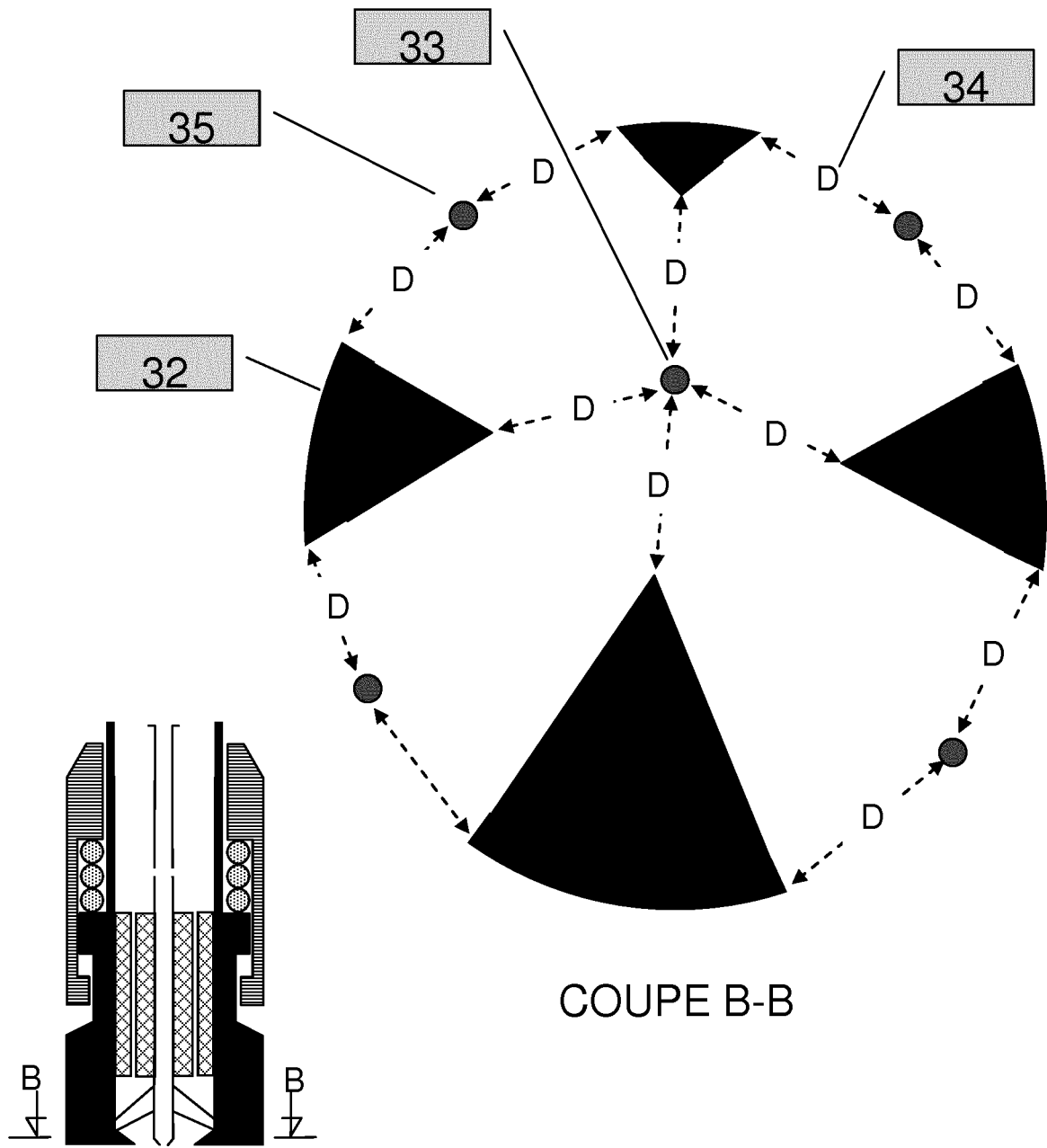


Fig. 13

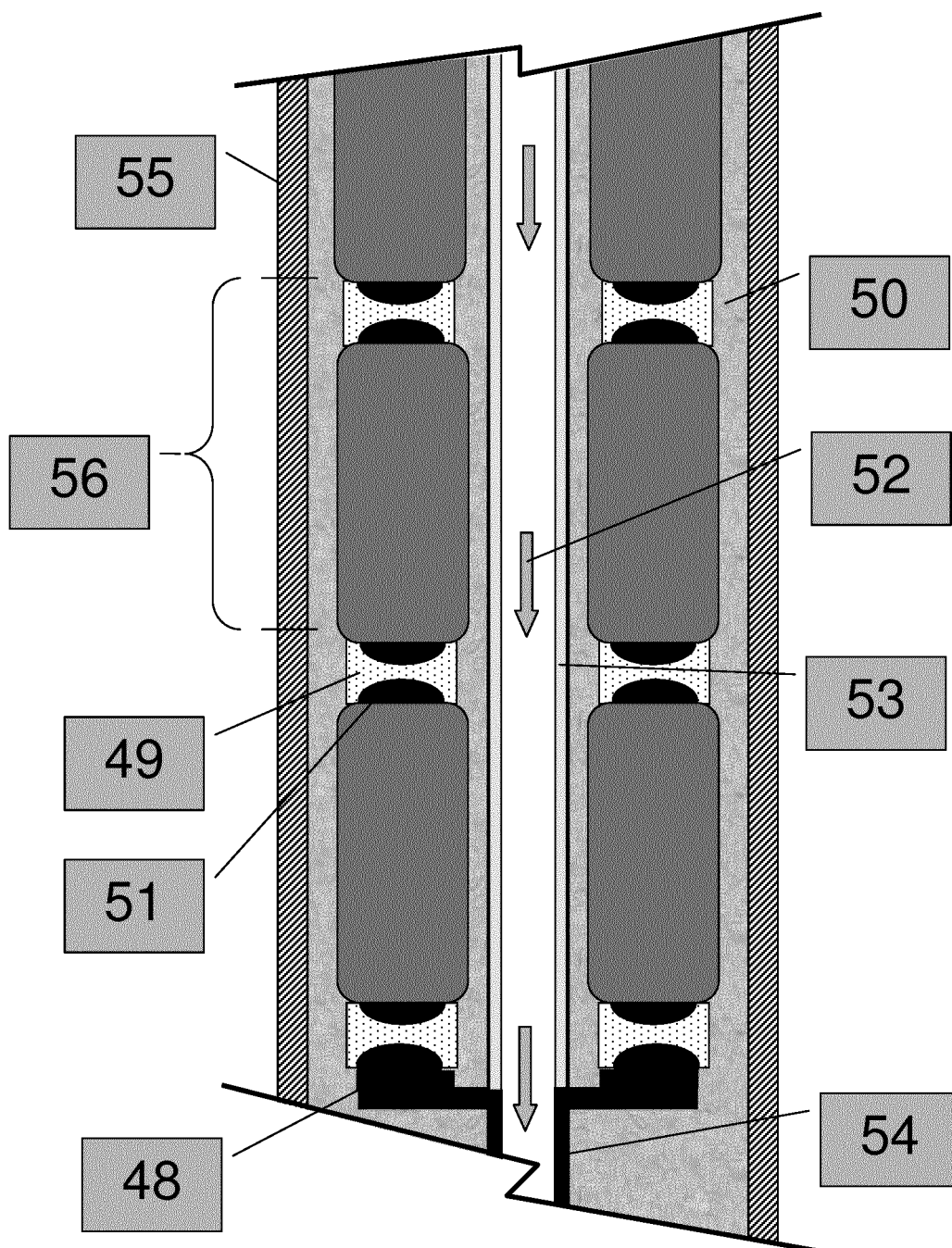


Fig. 14

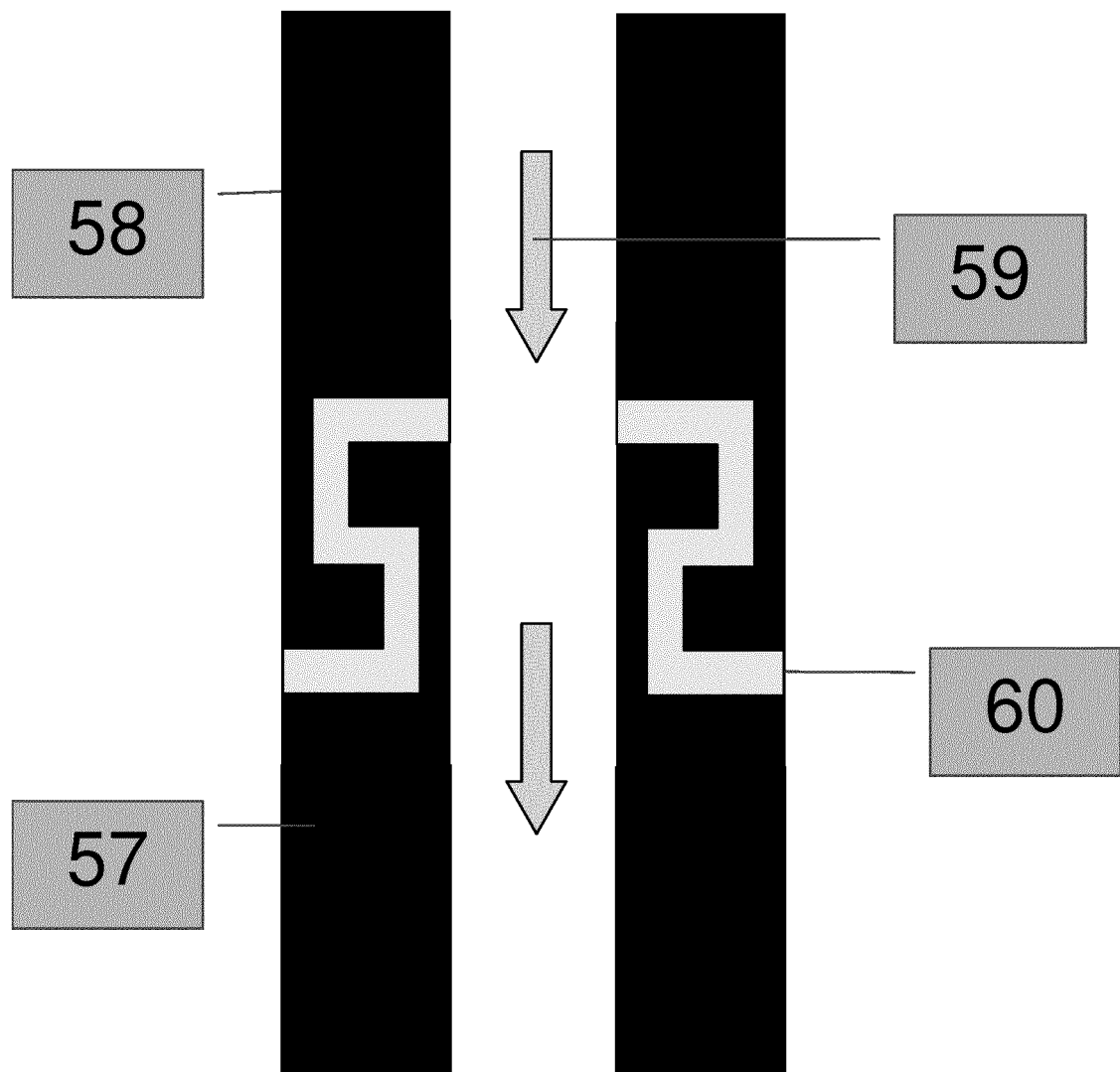


Fig. 15

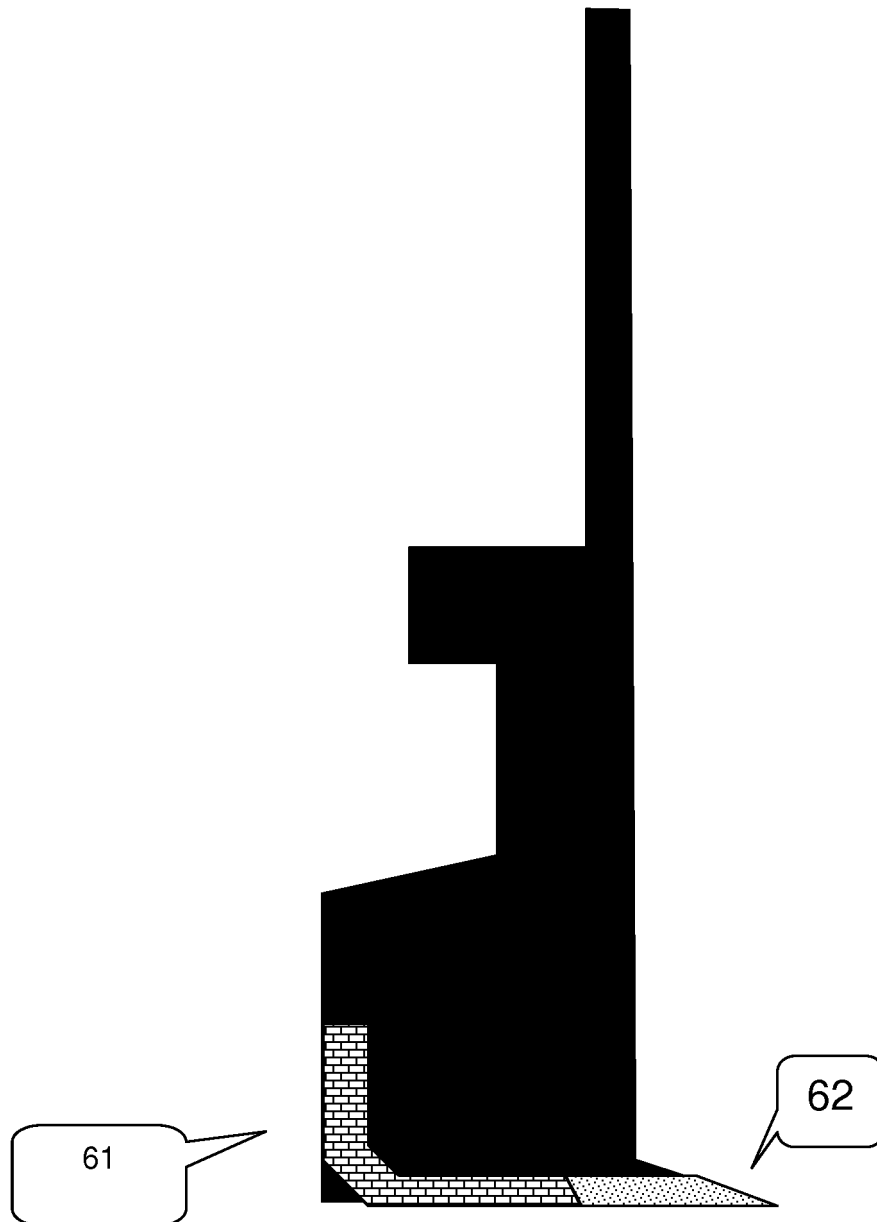
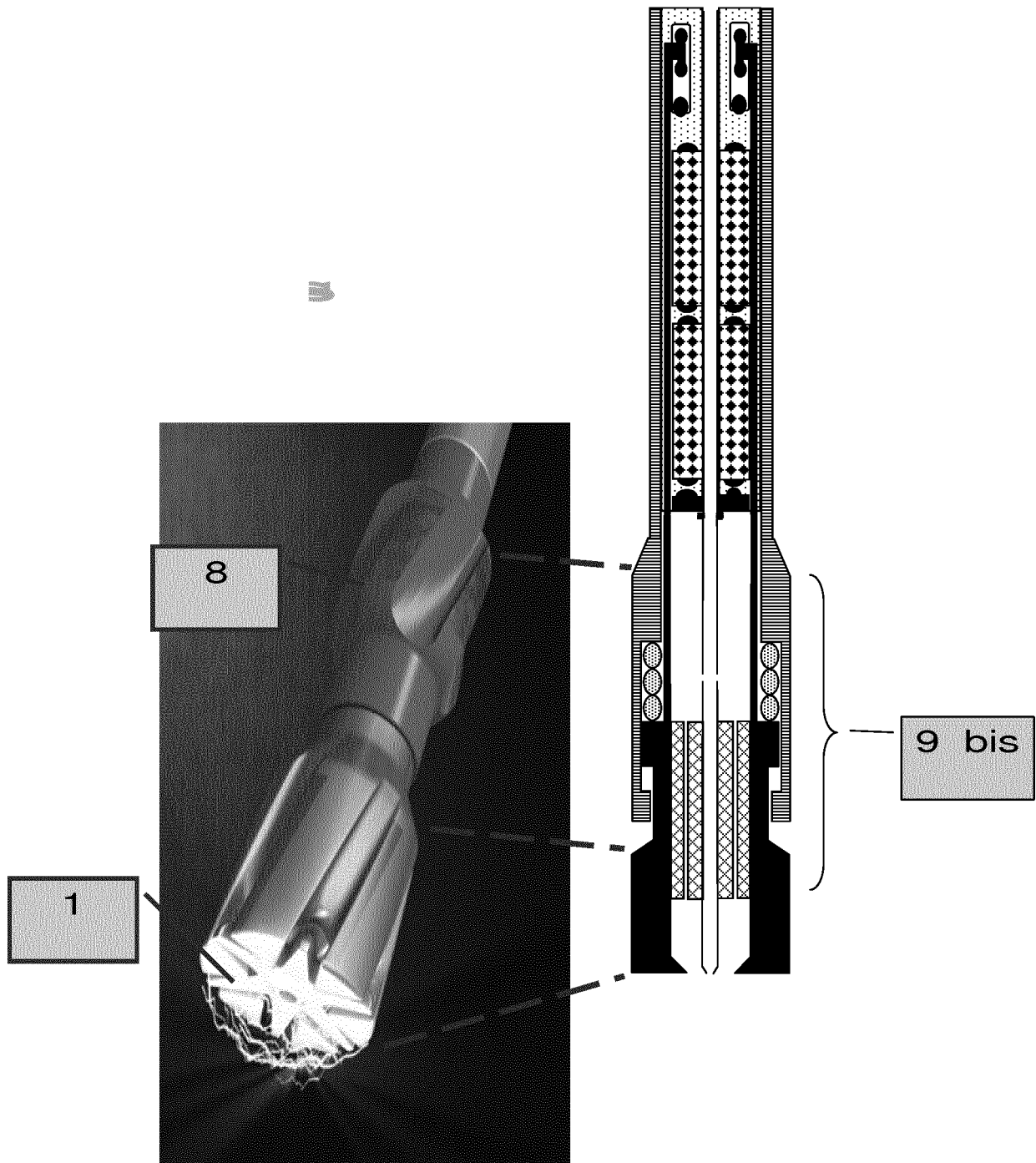


Fig. 16



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 005845854 A [0004]
- US 6164388 A [0004]
- WO 03069110 A [0004]
- US 7416032 B [0005]
- US 7527108 B [0005]
- US 7784563 B [0005] [0007]
- EP 2554780 A [0005]
- EP 2554778 A [0005]
- US 200900500371 A [0007]
- US 8109345 B [0007]
- US 20130140086 A [0007]